

განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაცია მოძველებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებში: ოპერაციული მართვა და ტექნოლოგიური ადაპტაცია

ნინო გიორგიშვილი¹; ზურაბ კუტიბაშვილი²

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი; ²რაუფ აბლიაზოვის აღმოსავლეთ ევროპის უნივერსიტეტის ბიზნეს-ადმინისტრირების (მენეჯმენტის) ფაკულტეტის მაგისტრი

ანოტაცია

განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაცია არსებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებში არა მხოლოდ ინფრასტრუქტურულ, არამედ ტექნოლოგიურ და ოპერაციულ გამოწვევებს წარმოშობს. განსაკუთრებით პრობლემურია მოძველებული ქსელები, რომლებიც არ არიან გათვლილნი განახლებადი ენერჯის გენერაციის ქსელში ინტეგრირებისას. სტატიაში გაანალიზებულია განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის გავლენა ქსელის ოპერირებაზე, დისპეტჩერიზაციაზე და რეალურ დროში მართვის პროცესზე. განხილულია ინვენტორული გენერაციის თავისებურებები, ქსელის ინერციის პრობლემის მაქსიმალური შემცირება, დამცავი და საკონტროლო ალგორითმების ადაპტაციის საჭიროება. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ენერჯის დაგროვების სისტემებს და მოქნილ მართვის მექანიზმებს, როგორც ქსელის საიმედოობის გაზრდის ინსტრუმენტებს. კვლევის შედეგები ცალსახად გვიჩვენებს, რომ მოძველებულ ქსელის პირობებში განახლებადი ენერჯის ეფექტიანი მართვა მხოლოდ შესაძლებელია ტექნოლოგიური ადაპტაციის გზით.

საკვანძო სიტყვები: ქსელის ოპერირება, ოპერაციული გენერაცია განახლებადი ენერჯია, ენერჯის დაგროვება.

შესავალი

ელექტროენერგეტიკული სისტემების ტრანსფორმაცია განახლებადი ენერჯის წყაროების მიმართულებით წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს პროცესს თანამედროვე ენერგეტიკაში. გლობალური კლიმატური ცვლილებები, ნახშირბადოვანი ემისიების შემცირების აუცილებლობა და ენერგეტიკული უსაფრთხოების გაძლიერების

მოთხოვნა ქვეყნებს აიძულებს, ტრადიციული გენერაციის ნაცვლად აქტიურად დაინერგოს მზის, ქარის, ჰიდრო და სხვა განახლებადი ენერჯის ტექნოლოგიები. აღნიშნული პროცესი არ შემოიფარგლება მხოლოდ გენერაციის წყაროების შეცვლით, არამედ ფუნდამენტურად ცვლის ელექტროენერგეტიკული სისტემების დაგეგმვის, ოპერირებისა და მართვის მოდელს. ტრადიციულ ენერჯის სისტემებში გენერაციის ძირითადი ნაწილი ეფუძნებოდა სინქრონულ გენერატორებს, რომლებიც მუშაობდნენ სტაბილურ რეჟიმში და უზრუნველყოფდნენ სისტემის საკმარის ინერციას და სტაბილურობას. ასეთი სისტემები ხასიათდებოდა მაღალი პროგნოზირებადობით, რაც დისპეტჩერიზაციასა და ძაბვის რეგულირებას შედარებით მარტივ ამოცანად აქცევდა. ქსელის ოპერატორებს ჰქონდათ მკაფიო კონტროლი გენერაციისა და დატვირთვის ბალანსზე, ხოლო ავარიული სიტუაციების მართვა ძირითადად ხორციელდებოდა გამოცდილი და დამკვიდრებული მეთოდებით. განახლებადი ენერჯის წყაროების ფართო ინტეგრაციამ ეს სქემა არსებითად შეცვალა. ქარისა და მზის ელექტროსადგურები ხასიათდება არასტაბილური და ამინდის პირობებზე დამოკიდებული გამომუშავებით, რაც მნიშვნელოვნად ართულებს ენერჯის სისტემის ოპერირებას. განსაკუთრებით მწვავედ ეს პრობლემა გვხვდება მოძველებულ ელექტროქსელებში, რომლებიც თავდაპირველად არ იყო გათვლილი დეცენტრალიზებულ და ცვალებად გენერაციაზე. ასეთ პირობებში ოპერაციული მართვა ხდება ერთ-ერთი ყველაზე სუსტი რგოლი, რაც ზრდის ავარიული რეჟიმების, სისტემური არასტაბილურობის, გათიშვებისა და ენერჯომომარაგების ხარისხის გაუარესების რისკს.

სტატიის მიზანია განიხილოს განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის ძირითადი ოპერაციული გამოწვევები მოძველებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებში, გაანალიზოს არსებული პრობლემები და გამოკვეთოს შესაძლო ტექნიკური და მართვითი გადაწყვეტილებები, რომლებიც ხელს შეუწყობს სისტემის სტაბილურობის, საიმედოობისა და ენერჯომომარაგების ხარისხის გაუმჯობესებას.

მოძველებული ელექტროენერგეტიკული ქსელები ხშირად ხასიათდება შეზღუდული გამტარუნარიანობით, არასაკმარისი ავტომატიზაციითა და დაცვის მოძველებული სისტემებით. ამგვარ ინფრასტრუქტურაში განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაცია იწვევს ახალი ტიპის ტექნიკურ გამოწვევებს, როგორცაა ძაბვის მერყეობა, მოკლე ჩართვის დენების ცვლილება და სისტემის ინერციის შემცირება. აღნიშნული ფაქტორები პირდაპირ გავლენას ახდენს როგორც ქსელის საიმედოობაზე, ისე მომხმარებლებისთვის მიწოდებული ელექტროენერჯის ხარისხზე. ოპერაციული მართვის თვალსაზრისით განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს დისპეტჩერიზაციის ახალი მიდგომების დანერგვა. ტრადიციული ცენტრალიზებული მართვის მოდელები ხშირად ვერ პასუხობს დინამიკურ და სწრაფად ცვალებად პროცესებს, რომლებიც დამახასიათებელია მაღალი წილით განახლებადი გენერაციის მქონე სისტემებისთვის. შედეგად, იზრდება მოთხოვნა ციფრულ ტექნოლოგიებზე, პროგნოზირების

გაუმჯობესებულ ალგორითმებზე, რეალურ დროში მონიტორინგისა და ავტომატიზებული მართვის სისტემებზე. აღსანიშნავია, რომ განვითარებად ქვეყნებში, მათ შორის საქართველოში, განახლებადი ენერჯის ინტეგრაცია ხშირად ხორციელდება არსებული, მრავალი ათწლეულის წინ აგებული ქსელების გამოყენებით, რომლებიც ძირითადად სოფლებში და რაიონებში გვხვდება. ეს გარემოება კიდევ უფრო ამძაფრებს ტექნიკურ და ოპერაციულ სირთულეებს. მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოს გააჩნია მნიშვნელოვანი ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი, მზის და ქარის ენერჯის განვითარების მზარდი პერსპექტივა ქსელის მოდერნიზაციის ტემპი ხშირ შემთხვევაში ჩამორჩება გენერაციის განვითარებას. შედეგად, ენერჯის სისტემა დგება გამოწვევის წინაშე, როგორ უზრუნველყოს განახლებადი ენერჯის უსაფრთხო და ეფექტური ინტეგრაცია ქსელის საიმედოობის შელახვის გარეშე. ამ კონტექსტში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ოპერაციული მართვის გაუმჯობესება, როგორც ტექნიკური, ისე ორგანიზაციული თვალსაზრისით. საჭირო ხდება ქსელის ოპერატორების კომპეტენციების გაძლიერება, ახალი რეგულაციური ჩარჩოების ჩამოყალიბება და თანამედროვე ტექნოლოგიების ინტეგრაცია. მხოლოდ კომპლექსური მიდგომით არის შესაძლებელი მოძველებული ელექტროქსელების ადაპტაცია განახლებადი ენერჯის მზარდი წილის პირობებში.

ძირითადი ნაწილი

ელექტროენერგეტიკული სისტემების ოპერაციული მართვა წარმოადგენს იმ ძირითად მექანიზმს, რომლის მეშვეობითაც უზრუნველყოფილია გენერაციისა და მოხმარების ბალანსი, სიხშირისა და ძაბვის ნორმალური პარამეტრების შენარჩუნება და ავარიული სიტუაციების მინიმიზაცია. თუმცა, მოძველებული ელექტროქსელების შემთხვევაში ეს პროცესი მნიშვნელოვნად განსხვავდება თანამედროვე, ციფრულად აღჭურვილი სისტემებისგან და მრავალი შეზღუდვით ხასიათდება. აღნიშნული თავისებურებები განსაკუთრებით თვალსაჩინო ხდება მაშინ, როდესაც ასეთი ქსელები განახლებადი ენერჯის ცვალებად გენერაციასთან ინტეგრაციას იწყებენ.

მოძველებული ელექტროენერგეტიკული ქსელების ოპერაციული მართვა, როგორც წესი, ეფუძნება ტრადიციულ დისპეტჩერიზაციის მოდელს, რომელიც ჩამოყალიბდა თანამედროვე მსოფლიოში. ამ მოდელის მთავარი მახასიათებელია ცენტრალური დისპეტჩერული პუნქტის მიერ გენერაციისა და დატვირთვის მართვა, სადაც გადაწყვეტილებები მიიღება შეზღუდული რაოდენობის მონაცემების საფუძველზე. ქსელის მუშაობა იგეგმება წინასწარ შედგენილი სტატიკური დატვირთვის გრაფიკების მიხედვით, რომლებიც ეყრდნობა ისტორიულ მონაცემებსა და პროგნოზებს. ცენტრალიზებული მართვის პირობებში გენერაციის ძირითადი ნაწილი წარმოადგენილია დიდი სიმძლავრის ელექტროსადგურებით, რომელთა ჩართვა და

გამორთვა შესაძლებელია დისპეტჩერის ბრძანებით. ასეთი მიდგომა ეფექტიანი იყო მაშინ, როდესაც სისტემაში გენერაციის წყაროები ხასიათდებოდა მაღალი პროგნოზირებადობითა და დაბალი დინამიკურობით. ქსელის ინერცია და სინქრონული გენერატორების ბუნებრივი რეგულირების შესაძლებლობები უზრუნველყოფდა სიხშირისა და ძაბვის სტაბილურობას მცირე გადახრების შემთხვევაშიც. თუმცა, ტრადიციული დისპეტჩერიზაციის მოდელი პრაქტიკულად არ ითვალისწინებს სწრაფად ცვალებად გენერაციას, რაც დამახასიათებელია მზისა და ქარის ენერჯისთვის. სტატიკური დატვირთვის გრაფიკები ვერ ასახავს რეალურ დროში მიმდინარე პროცესებს, ხოლო გადაწყვეტილებების მიღება ხშირად ხდება დაგვიანებული ან არასრული ინფორმაციის საფუძველზე. შედეგად, სისტემის რეაქცია გენერაციის ან დატვირთვის მოულოდნელ ცვლილებებზე ხდება არასაკმარისად ეფექტური. დამატებით პრობლემას წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ მოძველებულ ქსელებში დისპეტჩერიზაცია ხშირად ხორციელდება ნახევრადავტომატურ ან სრულად ხელით რეჟიმში. ოპერატორებზე დაკისრებული მაღალი პასუხისმგებლობა და ინფორმაციის დეფიციტი ზრდის ადამიანური შეცდომის რისკს, განსაკუთრებით რთულ ავარიულ სიტუაციებში. ეს გარემოება კიდევ უფრო ამცირებს სისტემის მოქნილობას და ადაპტაციის უნარს თანამედროვე ენერგეტიკული გამოწვევების პირობებში.

მოძველებული ელექტროენერგეტიკული ქსელების ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი სისუსტე უკავშირდება მონიტორინგისა და მონაცემების დეფიციტს. ასეთი ქსელები, როგორც წესი, აღჭურვილია შეზღუდული რაოდენობის საზომი მოწყობილობებით, რომლებიც განლაგებულია მხოლოდ მთავარ ქვესადგურებსა და სტრატეგიულ კვანძებში. შედეგად, ქსელის დიდი ნაწილი რჩება „უხილავი“ ოპერატორებისთვის, რაც მნიშვნელოვნად ართულებს მისი რეალური მდგომარეობის შეფასებას. გაზომვების იშვიათობა იწვევს იმას, რომ დისპეტჩერს არ აქვს სრული სურათი ძაბვის დონეების, დენების განაწილებისა და დატვირთვის ცვლილებების შესახებ. ეს განსაკუთრებით პრობლემურია დეცენტრალიზებული გენერაციის პირობებში, როდესაც მცირე სიმძლავრის განახლებადი წყაროები შეიძლება ლოკალურად იწვევდეს ძაბვის გადაჭარბებას ან უკუდენის წარმოქმნას. მონიტორინგის არარსებობის პირობებში ასეთი მოვლენები ხშირად გამოვლინდება მხოლოდ ავარიის ან მომხმარებლის ჩივილის შემდეგ. რეაგირების დრო მოძველებულ ქსელებში, როგორც წესი, მაღალია. ავარიული მდგომარეობის იდენტიფიკაცია ხშირად ხდება დაგვიანებით, ხოლო პრობლემის ლოკალიზაცია და აღმოფხვრა მოითხოვს მნიშვნელოვან დროსა და ადამიანურ რესურსს. თანამედროვე სენსორებისა და ავტომატური დიაგნოსტიკის სისტემების არარსებობა ნიშნავს, რომ ავარიებზე პასუხი დიდწილად დამოკიდებულია ოპერატორის გამოცდილებასა და ინტუიციაზე, რაც არ უზრუნველყოფს ოპტიმალურ შედეგს. გარდა ამისა, მონაცემების დეფიციტი ზღუდავს პროგნოზირების შესაძლებლობებს. განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის პირობებში ეფექტიანი ოპერაციული მართვა მოითხოვს არა მხოლოდ მიმდინარე მდგომარეობის ცოდნას, არამედ მოკლევადიანი

პროგნოზების არსებობასაც. მოძველებულ ქსელებში არსებული მონაცემთა ნაკლებობა ხელს უშლის დატვირთვისა და გენერაციის ზუსტ პროგნოზირებას, რაც ზრდის რეზერვების საჭიროებას და ამცირებს სისტემის ეკონომიკურ ეფექტიანობას. მონიტორინგისა და მონაცემების დეფიციტი ასევე უარყოფითად აისახება ქსელის განვითარების დაგეგმვაზე. ელექტროენერჯის ოპერატორებს არ გააჩნიათ დეტალური ინფორმაცია ქსელის სუსტი წერტილების, დატვირთვის პიკებისა და რეალური დანაკარგების შესახებ. შედეგად, საინვესტიციო გადაწყვეტილებები ხშირად მიიღება ზოგადი შეფასებების საფუძველზე და არა ზუსტ ტექნიკურ ანალიზზე დაყრდნობით. საბოლოო ჯამში, მოძველებული ქსელების ოპერაციული მართვის თავისებურებები ტრადიციული დისპეტჩერიზაციის მოდელი და მონიტორინგისა და მონაცემების დეფიციტი ქმნის მნიშვნელოვან ბარიერებს განახლებადი ენერჯის ეფექტიანი ინტეგრაციისთვის. აღნიშნული პრობლემების დაძლევა შესაძლებელია მხოლოდ მართვის ფილოსოფიის შეცვლით, ციფრული ტექნოლოგიების დანერგვითა და ოპერაციული პროცესების მოდერნიზაციით.

განახლებადი ენერჯის თანამედროვე ელექტროსადგურების მნიშვნელოვანი ნაწილი ეფუძნება ინვერტორზე დაფუძნებულ გენერაციას. მზის ფოტოელექტრული სადგურები და ქარის ტურბინების უმრავლესობა იყენებს ენერგოელექტრონულ გარდამქმნელებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ გენერირებული ენერჯის შესაბამისობას ქსელის სიხშირისა და ძაბვის პარამეტრებთან. მიუხედავად ტექნოლოგიური პროგრესისა და მაღალი ეფექტიანობისა, ინვერტორული გენერაცია არსებითად განსხვავდება ტრადიციული სინქრონული გენერატორებისგან და მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ელექტროენერგეტიკული სისტემების დინამიკასა და სტაბილურობაზე. მოძველებული ელექტროენერგეტიკული ქსელების პირობებში ინვერტორული გენერაციის ინტეგრაცია განსაკუთრებულ გამოწვევებს ქმნის, ვინაიდან ასეთი ქსელები არ არის გათვლილი ენერგოელექტრონიკაზე დაფუძნებული წყაროების მაღალი წილისთვის. სისტემის ოპერაციული მართვა და დაცვის სქემები ხშირად ეყრდნობა იმ მახასიათებლებს, რომლებიც დამახასიათებელია სინქრონული გენერაციისთვის, რაც ინვერტორული წყაროების მასობრივ დანერგვას პრობლემურს ხდის.

ინვერტორზე დაფუძნებული გენერაციის ერთ-ერთი მთავარი თავისებურებაა ბუნებრივი ელექტრომექანიკური ინერციის არარსებობა. სინქრონული გენერატორების შემთხვევაში, როტორის მასა უზრუნველყოფს სისტემის ინერციას, რაც ამცირებს სიხშირის ცვლილების სიჩქარეს მოულოდნელი დისბალანსის დროს. ინვერტორები კი წარმოადგენს ენერგოელექტრონულ მოწყობილობებს, რომლებიც არ შეიცავს მბრუნავ მასებს და შესაბამისად ვერ ქმნიან ბუნებრივ ინერციას. ინვერტორული გენერაცია ასევე ზღუდავს მოკლე ჩართვის დენებს. ტრადიციული გენერატორებისგან განსხვავებით, რომლებიც ავარიული რეჟიმების დროს აწვდიან მაღალი მნიშვნელობის მოკლე ჩართვის

დენებს, ინვერტორები პროგრამულად ზღუდავენ დენებს საკუთარი დაცვის მიზნით. ეს თვისება დადებითად აისახება მოწყობილობების უსაფრთხოებაზე, თუმცა უარყოფითად მოქმედებს ქსელის დაცვის სისტემებზე, რომლებიც ხშირად გათვლილია მაღალი მოკლე ჩართვის დენების არსებობაზე. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს იმ ფაქტს, რომ ინვერტორების მუშაობა მთლიანად დამოკიდებულია პროგრამულ ალგორითმებზე. ძაბვისა და სიხშირის რეგულირება, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის მართვა, ასევე ავარიულ რეჟიმებზე რეაგირება განისაზღვრება კონტროლის ალგორითმებით. მოძველებულ ქსელებში, სადაც სტანდარტები და მოთხოვნები ხშირად არ არის მორგებული ინვერტორული გენერაციისთვის, სხვადასხვა მწარმოებლის მოწყობილობებს შორის ალგორითმული შეუთავსებლობა შეიძლება გახდეს სისტემური პრობლემების წყარო. ინვერტორების უმრავლესობა მუშაობს „grid-following“ რეჟიმში, რაც ნიშნავს, რომ ისინი საჭიროებენ უკვე არსებულ სტაბილურ ქსელს, რათა მოახდინონ სინქრონიზაცია. ასეთ პირობებში ქსელის სუსტი ან არასტაბილური მდგომარეობა მნიშვნელოვნად ამცირებს ინვერტორული გენერაციის საიმედოობას და ზრდის გათიშვის ალბათობას.

ინვერტორული გენერაციის წილის ზრდა ენერგოსისტემაში გარდაუვლად იწვევს სინქრონული გენერატორების რაოდენობის შემცირებას. აღნიშნული პროცესი პირდაპირ აისახება ქსელის საერთო ინერციაზე. სისტემის ინერციის შემცირება ნიშნავს, რომ გენერაციისა და დატვირთვის დისბალანსის დროს სიხშირე იცვლება უფრო სწრაფად, ვიდრე ტრადიციულ სისტემებში. სიხშირის სწრაფი ცვლილებები (RoCoF – Rate of Change of Frequency) ქმნის სერიოზულ საფრთხეს როგორც გენერაციის, ისე მოხმარების მხარეს. მრავალი დაცვის სისტემა და ავტომატიკა გათვლილია სიხშირის შედარებით ნელ ცვლილებაზე და შესაძლოა არასწორად ამოქმედდეს მაღალი RoCoF-ის პირობებში. შედეგად, შესაძლებელია გენერაციის ან დატვირთვის გაუმართლებელი გათიშვები, რაც კიდევ უფრო ამწვავებს სისტემურ არასტაბილურობას. ქსელის ინერციის შემცირება ასევე ამცირებს სისტემის უნარს გაუძლოს დიდ ავარიებს, მაგალითად, მსხვილი გენერატორის ან გადამცემი ხაზის გათიშვას. ასეთ შემთხვევებში სიხშირის მკვეთრი ვარდნა შეიძლება მიაღწიოს კრიტიკულ მნიშვნელობებს მანამ, სანამ სარეზერვო მექანიზმები ამოქმედდება. მოძველებულ ქსელებში, სადაც სარეზერვო რესურსები და ავტომატიზაცია შეზღუდულია, ეს პრობლემა განსაკუთრებულად მწვავედ იჩენს თავს. დაცვის სისტემების არასწორი ამოქმედება წარმოადგენს კიდევ ერთ მნიშვნელოვან გამოწვევას. მოკლე ჩართვის დენების შემცირება და სიხშირის სწრაფი დინამიკა არღვევს ტრადიციული რელეს დაცვის ლოგიკას. დაცვის მოწყობილობები შესაძლოა ვერ ამოიცნოს ავარიული რეჟიმი ან, პირიქით, არასწორად იმუშაოს ნორმალური ოპერაციის დროს. ეს ზრდის როგორც მოწყობილობების დაზიანების, ისე ფართომასშტაბიანი გათიშვების რისკს, რომელიც ცუდ გავლენას მოახდენს მოსახლეობაზე. აღნიშნული პრობლემების ფონზე ცხადი ხდება, რომ ინვერტორზე დაფუძნებული გენერაციის ფართო ინტეგრაცია მოითხოვს ქსელის ოპერაციული მართვისა და დაცვის სისტემების

ფუნდამენტურ გადახედვას. თანამედროვე ენერგოსისტემებში სულ უფრო მეტი ყურადღება ექცევა ე.წ. „grid-forming“ ინვერტორებს, ვირტუალური ინერციის კონცეფციებსა და ადაპტირებულ დაცვის სქემებს, რომლებიც მიზნად ისახავს ინერციის შემცირების ნეგატიური ეფექტების კომპენსირებას. ამრიგად, ინვერტორული გენერაცია, მიუხედავად მისი ეკოლოგიური და ეკონომიკური უპირატესობებისა, არსებითად ცვლის ელექტროენერგეტიკული სისტემების ქცევას. მოძველებული ქსელების პირობებში მისი გავლენა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია და საჭიროებს როგორც ტექნიკურ, ისე ოპერაციულ ინოვაციებს

განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაცია მოძველებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებში არა მხოლოდ ტექნიკურ, არამედ მნიშვნელოვან ოპერაციულ სირთულეებს წარმოშობს. ოპერაციული მართვა ხდება უფრო დინამიკური, ნაკლებად პროგნოზირებადი და ძლიერ დამოკიდებული რეალურ დროში გადაწყვეტილებების მიღებაზე. ტრადიციული მართვის მიდგომები, რომლებიც ჩამოყალიბდა სტაბილური სინქრონული გენერაციის პირობებში, ხშირად ვერ უზრუნველყოფს სისტემის უსაფრთხო და ეფექტიან მუშაობას განახლებადი ენერჯის მაღალი წილის არსებობისას.

სიხშირის სტაბილურობა წარმოადგენს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ერთ-ერთ უმთავრეს ოპერაციულ პარამეტრს. ტრადიციულ სისტემებში სიხშირის რეგულირება ხორციელდებოდა სინქრონული გენერატორების მექანიკური ინერციისა და ავტომატური სიმძლავრის რეგულატორების მეშვეობით. განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის შედეგად, განსაკუთრებით ინვერტორზე დაფუძნებული გენერაციის ზრდის პირობებში, ეს მექანიზმები მნიშვნელოვნად სუსტდება. რეალურ დროში სიხშირის მართვის მთავარი პრობლემა უკავშირდება გენერაციისა და დატვირთვის სწრაფ დისბალანსს. მაგალითად, მზის ელექტროსადგურების მასობრივი ჩართვისას დილის საათებში ან მათი მოულოდნელი გათიშვისას ღრუბლიანობის გამო, სისტემაში წარმოიქმნება სიხშირის მკვეთრი ცვლილებები. მოძველებულ ქსელებში, სადაც სწრაფი რეგულირების რესურსები შეზღუდულია, დისპეტჩერს ხშირად არ აქვს საკმარისი ბერკეტები ასეთი ცვლილებების დასაბალანსებლად. ოპერაციული პრაქტიკიდან ცნობილია შემთხვევები, როდესაც სიხშირის დაცემისას ავტომატურად ირთვება დატვირთვის განტვირთვის სქემები, თუმცა მათი პარამეტრები არ არის მორგებული სწრაფ ცვლილებებზე. შედეგად, შესაძლებელია ზედმეტი დატვირთვის გათიშვა, რაც იწვევს მომხმარებლების უკმაყოფილებას და ენერგომომარაგების ხარისხის გაუარესებას. სიხშირის რეალურ დროში მართვა განახლებადი ენერჯის პირობებში მოითხოვს უფრო მოქნილ და ადაპტირებულ მიდგომებს, რაც მოძველებულ ქსელებში ხშირად მიუწვდომელია.

განახლებადი ენერჯის ინტეგრაცია მნიშვნელოვნად ართულებს დისპეტჩერიზაციის პროცესს. ტრადიციულ სისტემებში დისპეტჩერი მუშაობდა

შედარებით სტაბილური და პროგნოზირებადი გენერაციის პირობებში, სადაც დატვირთვის ცვლილებები ხდებოდა თანდათანობით. განახლებადი წყაროების შემთხვევაში გენერაცია შეიძლება შეიცვალოს წუთებში ან წამებშიც კი, რაც ზრდის ოპერაციული შეცდომის რისკს. დისპეტჩერიზაციის სირთულე განსაკუთრებით თვალსაჩინოა იმ ქსელებში, სადაც არ არსებობს განახლებადი გენერაციის ზუსტი პროგნოზირების ინსტრუმენტები. მაგალითად, ქარის ელექტროსადგურების გამომუშავება შეიძლება მნიშვნელოვნად შემცირდეს ქარის სიჩქარის მცირე ცვლილების შედეგად, ხოლო დისპეტჩერს არ ჰქონდეს წინასწარი ინფორმაცია ამის შესახებ. ასეთ პირობებში საჭიროა სწრაფი რეაქციების ჩართვა, რაც მოძველებულ სისტემებში ხშირად ტექნიკურად ან ეკონომიკურად შეუძლებელია. ოპერაციული მაგალითები აჩვენებს, რომ დისპეტჩერებს ხშირად უწევთ გადაწყვეტილებების მიღება არასრული მონაცემების საფუძველზე. ეს ზრდის როგორც გენერაციის არაეფექტიან გამოყენებას, ისე ავარიული რეჟიმების ალბათობას. დისპეტჩერიზაციის სირთულე კიდევ უფრო იზრდება დეცენტრალიზებული გენერაციის პირობებში, როდესაც ქსელში ჩართულია ასობით ან ათასობით მცირე სიმძლავრის წყარო, რომელთა ინდივიდუალური მართვა პრაქტიკულად შეუძლებელია ტრადიციული მეთოდებით.

ავარიული რეჟიმების პროგნოზირება წარმოადგენს ოპერაციული მართვის ერთ-ერთ ყველაზე რთულ ამოცანას განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის პირობებში. მოძველებულ ქსელებში პროგნოზირება ძირითადად ეფუძნება ისტორიულ მონაცემებსა და სტატისტიკურ ანალიზს, რაც არ ასახავს სწრაფად ცვალებად რეალობას. განახლებადი ენერჯის ცვალებადობა მნიშვნელოვნად ზრდის სისტემის არაწრფივობას და ართულებს ავარიების წინასწარ იდენტიფიკაციას. ოპერაციულ პრაქტიკაში ხშირია შემთხვევები, როდესაც მცირე ლოკალური პრობლემა მაგალითად, ძაბვის გადაჭარბება დისტრიბუციულ ქსელში მზის სადგურის აქტიური მუშაობის გადადის უფრო ფართომასშტაბიან პრობლემაში. პროგნოზირების ინსტრუმენტების არარსებობის პირობებში ასეთი პროცესები შეუმჩნეველად ვითარდება, სანამ არ მიაღწევს კრიტიკულ დონეს. ავარიული რეჟიმების პროგნოზირების სირთულე განსაკუთრებით მწვავედ იჩენს თავს პიკური დატვირთვის პერიოდში. თუ ამ დროს მოულოდნელად მცირდება განახლებადი გენერაცია, ქსელი შეიძლება გადავიდეს არასტაბილურ რეჟიმში, ხოლო ოპერატორს არ ჰქონდეს საკმარისი დრო რეაგირებისთვის. მოძველებულ ქსელებში ეს ხშირად იწვევს ავარიულ გათიშვებს, რომლებიც შეიძლება გადავიდნენ აცილებულიყო ადრეული გაფრთხილების სისტემების არსებობის შემთხვევაში.

განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციისას ერთ-ერთ ყველაზე სერიოზულ ოპერაციულ პრობლემას წარმოადგენს დაცვისა და ავტომატიკის სისტემების შეუსაბამობა. ტრადიციული დაცვის სქემები გათვლილია სინქრონული გენერატორების მაღალი მოკლე ჩართვის დენებისა და შედარებით ნელი დინამიკის პირობებში. ინვერტორზე დაფუძნებული გენერაცია კი ამ პარამეტრებს არსებითად ცვლის.

ოპერაციული მაგალითები აჩვენებს, რომ მოკლე ჩართვის დროს ინვერტორები ხშირად ზღუდავენ დენებს იმ დონემდე, რომ რელეს დაცვამ ვერ მოახდინოს ავარიული მონაკვეთის იდენტიფიკაცია. შედეგად, დაზიანებული ელემენტი რჩება ქსელში ჩართული უფრო ხანგრძლივი დროით, რაც ზრდის მოწყობილობების დაზიანების რისკს. მეორე მხრივ, სიხშირის ან ძაბვის სწრაფი ცვლილებების დროს დაცვის სისტემები შეიძლება არასწორად ამოქმედდეს და გამოიწვიოს არასაჭირო გათიშვები. ავტომატიკის შეუსაბამობა ასევე ეხება ავარიული აღდგენის პროცესებს. მოძველებულ ქსელებში ავტომატური აღდგენის ალგორითმები ხშირად არ ითვალისწინებს დეცენტრალიზებული გენერაციის არსებობას. შედეგად, ავარიის შემდეგ ქსელის ხელახალი ჩართვა შეიძლება იყოს არასტაბილური ან წარუმატებელი. ამ პრობლემების ერთობლიობა ცხადყოფს, რომ განახლებადი ენერჯის ინტეგრაცია მოძველებულ ქსელებში მნიშვნელოვნად ზრდის ოპერაციული რისკების დონეს. მათი ეფექტიანი მართვა მოითხოვს არა მხოლოდ ტექნიკურ მოდერნიზაციას, არამედ ოპერაციული პროცესების, დაცვის ფილოსოფიისა და დისპეტჩერიზაციის მიდგომების ფუნდამენტურ გადახედვას.

განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის პირობებში ენერჯის დაგროვების სისტემები (Energy Storage Systems – ESS) სულ უფრო მნიშვნელოვანი ოპერაციული ინსტრუმენტი ხდება ელექტროენერგეტიკული სისტემების სტაბილურობისა და საიმედოობის უზრუნველსაყოფად. განსაკუთრებით მოძველებულ ქსელებში, სადაც ოპერაციული მოქნილობა შეზღუდულია, დაგროვების ტექნოლოგიები იძლევა შესაძლებლობას ნაწილობრივ მაინც დაკომპენსირდეს ინერჯის შემცირება, გენერაციის ცვალებადობა და სწრაფი დისბალანსები. ენერჯის დაგროვების სისტემები წარმოადგენს იმ ერთ-ერთ იშვიათ ტექნოლოგიას, რომელიც ერთდროულად ასრულებს როგორც ტექნიკურ, ისე ოპერაციულ ფუნქციებს. ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს როგორც სიხშირისა და ძაბვის რეგულირებისთვის, ასევე დისპეტჩერიზაციის გასამარტივებლად და ავარიული რეჟიმების მართვისთვის. აღნიშნული თვისებები განსაკუთრებით აქტუალურია იმ ენერჯის სისტემებში, სადაც განახლებადი ენერჯის წილი იზრდება, ხოლო ქსელის ინფრასტრუქტურა და მართვის სისტემები ჯერ კიდევ ტრადიციულ მიდგომებზეა დაფუძნებული.

ბატარეებზე დაფუძნებული ენერჯის დაგროვების სისტემები (Battery Energy Storage Systems – BESS) გამოირჩევა ძალიან სწრაფი რეაგირების უნარით, რაც მათ ეფექტიან ინსტრუმენტად აქცევს სიხშირის რეგულირების პროცესში. სინქრონული გენერატორებისგან განსხვავებით, რომელთაც რეაგირებისთვის სჭირდებათ მექანიკური პროცესები, ბატარეები წამების ან თუნდაც მილიწამების განმავლობაში ახდენენ სიმძლავრის მიწოდებას ან შთანთქმას. სიხშირის რეგულირების თვალსაზრისით BESS-ს შეუძლია შეასრულოს როგორც პირველადი, ისე მეორადი რეგულირების ფუნქციები. მაგალითად, გენერაციის მოულოდნელი შემცირების შემთხვევაში ბატარეა მყისიერად იწყებს ენერჯის მიწოდებას ქსელში, რითაც ამცირებს სიხშირის ვარდნის სიჩქარეს. ეს

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დაბალი ინერციის მქონე სისტემებში, სადაც სიხშირის სწრაფი ცვლილებები შეიძლება კრიტიკულ მნიშვნელობებს მიაღწიოს მოკლე დროში. ოპერაციულ პრაქტიკაში ბატარეების გამოყენება ასევე ხელს უწყობს დატვირთვის დაბალანსებას. პიკური დატვირთვის საათებში დაგროვილი ენერჯია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გენერაციის დეფიციტის კომპენსირებისთვის, ხოლო დაბალი დატვირთვის პერიოდში ბატარეების დამუხტვისთვის. ასეთი მიდგომა ამცირებს ქსელზე ზეწოლას და ზრდის სისტემის საერთო ეფექტიანობას. რეზერვის შექმნა წარმოადგენს ბატარეების კიდევ ერთ მნიშვნელოვან ოპერაციულ ფუნქციას. ტრადიციულ სისტემებში სარეზერვო სიმძლავრე ძირითადად წარმოადგენილია თბოსადგურებით ან ჰიდროელექტროსადგურებით, რომელთა ჩართვას სჭირდება გარკვეული დრო. ბატარეები კი უზრუნველყოფს ე.წ. „მყისიერ რეზერვს“, რაც განსაკუთრებით ღირებულია ავარიული სიტუაციების დროს. ოპერაციული მაგალითები აჩვენებს, რომ BESS-ის არსებობა მნიშვნელოვნად ამცირებს ავარიული გათიშვების სიხშირეს და მასშტაბს. მიუხედავად ამ უპირატესობებისა, ბატარეების გამოყენება სიხშირის რეგულირებაში მოითხოვს შესაბამის ოპერაციულ სტრატეგიებს. არასწორი მართვის შემთხვევაში შესაძლებელია ბატარეის სწრაფი დაცლა ან გადატვირთვა, რაც ზღუდავს მის ეფექტიანობას კრიტიკულ მომენტებში. ამიტომ აუცილებელია ბატარეების მუშაობის ინტეგრაცია ცენტრალურ დისპეტჩერიზაციის სისტემასთან და რეალურ დროში მონიტორინგი. დიდი ბრიტანეთის ენერჯოსისტემაში ბატარეებზე დაფუძნებული ენერჯის დაგროვების სისტემის დანერგვამ მნიშვნელოვნად გააუმჯობესა სიხშირის მართვა. NATIONAL GRID- ის პრაქტიკაში ბატარეები გამოიყენება როგორც სწრაფი რეზერვი, რაც საშუალებას იძლევა კომპენსირდეს ინერციის შემცირება და შემცირდეს სიხშირის გადახრების სიღრმე ავარიული რეჟიმების დროს.

ენერჯის დაგროვების სისტემების ინტეგრაცია მოძველებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებში დაკავშირებულია რიგ ტექნიკურ და ოპერაციულ შეზღუდვებთან. პირველ რიგში, ძველი ქსელები ხშირად არ არის გათვლილი ორმხრივ ენერგოდენებზე. ბატარეების ჩართვა, რომლებიც როგორც იტვირთება, ისე აწვდის ენერჯიას ქსელს, მოითხოვს ქსელის სქემების, დაცვის სისტემებისა და ოპერაციული წესების გადახედვას. ტექნიკური თვალსაზრისით პრობლემას წარმოადგენს ქსელის შეზღუდული გამტარუნარიანობა და ძაბვის რეგულირების შესაძლებლობები. ბატარეების ერთდროულმა ჩართვამ შეიძლება გამოიწვიოს ლოკალური ძაბვის გადაჭარბება ან გადატვირთვა, განსაკუთრებით დისტრიბუციულ დონეზე. მოძველებულ ქსელებში, სადაც ძაბვის ავტომატური რეგულატორები და რეაქტიული სიმძლავრის მართვის საშუალებები შეზღუდულია, ეს საკითხი განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს. ოპერაციული შეზღუდვები ასევე უკავშირდება მართვის სისტემების სიმწიფეს. ბატარეების ეფექტიანი გამოყენება მოითხოვს რეალურ დროში მონაცემებს, პროგნოზირებას და ავტომატიზებულ გადაწყვეტილებებს. თუმცა,

მოძველებულ ქსელებში SCADA და ADMS სისტემები ხშირად არ არის სრულად დანერგილი ან არ უზრუნველყოფს საჭირო ფუნქციონალს. შედეგად, ბატარეების პოტენციალი სრულად ვერ გამოიყენება და ისინი მუშაობენ მხოლოდ შეზღუდულ რეჟიმებში. დამატებით გამოწვევას წარმოადგენს დაცვისა და ავტომატიკის ადაპტაცია. ბატარეებზე დაფუძნებული სისტემები, ისევე როგორც ინვერტორული გენერაცია, ზღუდავს მოკლე ჩართვის დენებს და ცვლის ქსელის დინამიკას. ეს მოითხოვს დაცვის პარამეტრების გადახედვას და ახალი ალგორითმების დანერგვას, რაც მოძველებულ ქსელებში ხშირად რთული და ხარჯიანი პროცესია. მიუხედავად არსებული შეზღუდვებისა, გამოცდილება აჩვენებს, რომ ენერჯის დაგროვების სისტემები შეიძლება გახდეს გარდამავალი გადაწყვეტა მოძველებული ქსელებისთვის. მათი ეტაპობრივი ინტეგრაცია, სწორად შერჩეული სიმძლავრეებითა და ოპერაციული სტრატეგიებით, საშუალებას იძლევა შემცირდეს განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციით გამოწვეული რისკები და გაიზარდოს სისტემის მოქნილობა. საბოლოოდ, ენერჯის დაგროვების სისტემები წარმოადგენს მნიშვნელოვან ოპერაციულ ინსტრუმენტს, რომელიც საშუალებას აძლევს მოძველებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებს უფრო ეფექტიანად გაუმკლავდნენ განახლებადი ენერჯის გამოწვევებს. მათი წარმატებული დანერგვა დამოკიდებულია არა მხოლოდ ტექნიკურ გადაწყვეტილებებზე, არამედ ოპერაციული მართვის, რეგულაციური ჩარჩოსა და დისპეტჩერიზაციის ფილოსოფიის ადაპტაციაზე, რაც განსაზღვრავს ენერჯოსისტემის მდგრად განვითარებას მომავალში.

საქართველოს ენერჯოსისტემა გამოირჩევა უნიკალური სტრუქტურითა და ოპერაციული თავისებურებებით, რომლებიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის პროცესს. ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემა ისტორიულად განვითარებულია ჰიდროენერგეტიკაზე დაყრდნობით, რაც ერთდროულად წარმოადგენს როგორც უპირატესობას, ისე ოპერაციულ გამოწვევას. ჰიდროელექტროსადგურების მაღალი წილი ქმნის შედარებით დაბალ ემისიებსა და მოქნილ გენერაციას, თუმცა სისტემას ამყოფებს სეზონური ჰიდროლოგიური ფაქტორების ძლიერი გავლენის ქვეშ. საქართველოს ქსელის ოპერირების სპეციფიკა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული წლიურ ჰიდროლოგიურ ციკლებზე. ზაფხულის პერიოდში, როდესაც მდინარეების წყალმოსავლიანობა მაღალია, ჰიდროგენერაცია სიჭარბით აწვდის ენერჯიას სისტემას. ამ დროს შესაძლებელია ექსპორტის განხორციელება მეზობელ ქვეყნებში, თუმცა დისპეტჩერიზაცია საჭიროებს ზუსტ კოორდინაციას, რათა თავიდან იქნას აცილებული ქსელის გადატვირთვა და ძაბვის პრობლემები. ზამთრის პერიოდში კი, ჰიდროლოგიური რესურსების შემცირების ფონზე, საქართველო დგება ენერჯოდეფიციტის წინაშე და მნიშვნელოვნად იზრდება იმპორტზე დამოკიდებულება. ოპერაციული მართვის თვალსაზრისით, ასეთი სეზონურობა ქმნის დამატებით სირთულეებს. დისპეტჩერებს უწევთ ხშირი რეჟიმების ცვლილება, გენერაციის სწრაფი გადანაწილება და სარეზერვო რესურსების მობილიზაცია. მოძველებული ქსელის პირობებში, სადაც ავტომატიზაცია და რეალურ დროში

მონიტორინგი შეზღუდულია, ეს პროცესი დაკავშირებულია გაზრდილ რისკებთან და ოპერაციულ სტრესთან. მზის და ქარის ენერჯის ინტეგრაცია საქართველოში ჯერ კიდევ განვითარების საწყის ეტაპზეა, თუმცა მისი ზრდის ტენდენცია უკვე აშკარაა. მზის ელექტროსადგურები ძირითადად კონცენტრირებულია ქვეყნის აღმოსავლეთ ნაწილში, სადაც მზიანობის მაღალი მაჩვენებლებია. მათი გამომუშავება პიკურია დღის საათებში, რაც გარკვეულწილად ემთხვევა ზაფხულის დატვირთვის ზრდას, თუმცა ქმნის ახალ გამოწვევებს ძაბვის მართვის თვალსაზრისით. დისტრიბუციულ ქსელებში მზის გენერაციის ზრდა ხშირად იწვევს ლოკალურ ძაბვის გადაჭარბებას, განსაკუთრებით იმ მონაკვეთებში, რომლებიც თავდაპირველად არ იყო გათვლილი დეცენტრალიზებულ გენერაციაზე.

ქარის ენერჯის ოპერაციული გამოწვევები კიდევ უფრო კომპლექსურია. ქარის სიჩქარის სწრაფი ცვლილებები იწვევს გენერაციის მერყეობას, რაც ართულებს დისპეტჩერიზაციას და ზრდის სარეზერვო რესურსების საჭიროებას. საქართველოს პირობებში, სადაც ქსელის ინერცია სეზონურად იცვლება ჰიდროსადგურების მუშაობის რეჟიმიდან გამომდინარე, ქარის გენერაციის ინტეგრაცია მოითხოვს განსაკუთრებულ ყურადღებას სიხშირის მართვის კუთხით. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს საქართველოს ენერჯის სისტემის ტრანზიტულ ფუნქციას. ქვეყანა წარმოადგენს მნიშვნელოვან კვანძს რეგიონულ ენერჯეტიკულ ურთიერთობებში და ახორციელებს ელექტროენერჯის გაცვლას მეზობელ ქვეყნებთან. ეს გარემოება ზრდის ოპერაციული მართვის პასუხისმგებლობას, ვინაიდან შიდა ქსელში არსებული პრობლემები შეიძლება სწრაფად აისახოს რეგიონულ სისტემაზე. მომველებული ინფრასტრუქტურის პირობებში ტრანზიტული ნაკადების მართვა დამატებით ტექნიკურ და ოპერაციულ გამოწვევებს ქმნის. საქართველოს ენერჯის სისტემის ოპერაციული რეალობა ცხადყოფს, რომ განახლებადი ენერჯის ინტეგრაცია ვერ იქნება წარმატებული მხოლოდ ახალი გენერაციის დამატებით. აუცილებელია ქსელის ოპერაციული მართვის გაუმჯობესება, სეზონური ფაქტორების გათვალისწინებით მოქნილი სტრატეგიების შემუშავება და მზისა და ქარის გენერაციის პროგნოზირების შესაძლებლობების გაძლიერება. ენერჯის დაგროვების სისტემებისა და თანამედროვე დისპეტჩერიზაციის ინსტრუმენტების ეტაპობრივი დანერგვა შეიძლება გახდეს მნიშვნელოვანი ნაბიჯი სისტემის მდგრადობისა და საიმედოობის გასაზრდელად. საქართველოს ენერჯის სისტემის მაგალითი რომ ავიღოთ დავინახავთ, რომ ის ხასიათდება ჰიდროგენერაციის მაღალი წილით, რაც ქმნის მკვეთრ სეზონურ ასიმეტრიას გამომუშავებაში. გაზაფხულსა და ზაფხულში მდინარეების მაღალი წყალმოვარდნის პირობებში ელექტროენერჯის ჭარბი გამომუშავება ფიქსირდება, მაშინ როდესაც ზამთარში ჰიდროლოგიური რესურსის შემცირება იწვევს იმპორტზე და თბოგენერაციაზე დამოკიდებულების ზრდას. აღნიშნული სტრუქტურა ოპერაციულად ახლოს დგას დაბალი ინერციის სისტემების პრობლემატიკასთან ზამთრის პერიოდში, როდესაც სისტემაში იზრდება თბოსადგურების წილი და მცირდება ბუნებრივი ჰიდრორეზერვის მოქნილობა.

ასეთ პირობებში მზისა და ქარის გენერაციის დამატება კიდევ უფრო ზრდის ბალანსირების მოთხოვნას რეალურ დროში. ენერჯის დაგროვების სისტემების არარსებობა ან შეზღუდული მოცულობა ამცირებს სისტემის შესაძლებლობას შთანთქოს ჭარბი გამომუშავება ზაფხულში და კომპენსაცია გაუწიოს დეფიციტს პიკურ ზამთრის საათებში. აღნიშნული გარემოება ადასტურებს, რომ საქართველოს შემთხვევაში განახლებადი ენერჯის ინტეგრაცია პირველ რიგში მოითხოვს ოპერაციული მოქნილობის გაძლიერებას და არა მხოლოდ გენერაციის ზრდას.

საბოლოოდ, საქართველოს ენერჯის სისტემა დგას გარდამავალ ეტაპზე, სადაც ტრადიციული ჰიდროენერგეტიკული მოდელი თანდათან ერწყმის ახალ, ინვერტორზე დაფუძნებულ გენერაციას. ამ პროცესის წარმატება დიდწილად დამოკიდებულია ოპერაციული მართვის ადაპტაციის სიჩქარეზე და ქსელის ტექნიკურ მზადყოფნაზე, რაც განსაზღვრავს ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების მომავალს.

დასკვნა

მოდველებული ელექტროენერგეტიკული ქსელების პირობებში განახლებადი ენერჯის ინტეგრაცია წარმოადგენს კომპლექსურ პროცესს, რომელიც სცდება მხოლოდ ახალი გენერაციის წყაროების დამატებას. ნაშრომში განხილულმა ანალიზმა ცხადყო, რომ ასეთი ინტეგრაციის მთავარი გამოწვევა დაკავშირებულია ოპერაციული მართვის ტრანსფორმაციასთან. ტრადიციული მართვის მოდელები, რომლებიც ეფუძნება ცენტრალიზებულ დისპეტჩერიზაციას, სტატიკურ დაგეგმვასა და შეზღუდულ მონიტორინგს, ვერ პასუხობს ინვერტორზე დაფუძნებული და ცვალებადი გენერაციის მოთხოვნებს. ინვერტორული ტექნოლოგიების ფართო დანერგვამ არსებითად შეცვალა ენერჯის სისტემის დინამიკა. ბუნებრივი ინერციის შემცირება, მოკლე ჩართვის დენების შეზღუდვა და პროგრამულ ალგორითმებზე დამოკიდებულება ზრდის სიხშირისა და ძაბვის არასტაბილურობის რისკს და ამძაფრებს დაცვისა და ავტომატიკის სისტემების შეუსაბამობას. განსაკუთრებით მოძველებულ ქსელებში, სადაც ინფრასტრუქტურა და ოპერაციული წესები არ არის ადაპტირებული ახალ რეალობასთან, აღნიშნული ფაქტორები ქმნის სისტემური ავარიების და ენერჯომომარაგების ხარისხის გაუარესების საფრთხეს. ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ ოპერაციული პრობლემების მნიშვნელოვანი ნაწილი უკავშირდება რეალურ დროში მონაცემების დეფიციტს, დისპეტჩერიზაციის სირთულეს და ავარიული რეჟიმების პროგნოზირების შეზღუდულ შესაძლებლობებს. ამ პირობებში ენერჯის დაგროვების სისტემები იძენს განსაკუთრებულ მნიშვნელობას, როგორც ოპერაციული ინსტრუმენტი. ბატარეებზე დაფუძნებული სისტემები უზრუნველყოფს სწრაფ რეაგირებას, სიხშირის რეგულირებას და სარეზერვო სიმძლავრის შექმნას, რაც ნაწილობრივ კომპენსირებს ინერციის შემცირებას და ზრდის სისტემის მოქნილობას.

საქართველოს ენერჯისტიკის მაგალითზე განხილვამ აჩვენა, რომ ჰიდროენერგეტიკაზე დაფუძნებული სტრუქტურა, სეზონური ჰიდროლოგიური ფაქტორები, მზისა და ქარის გენერაციის მზარდი წილი ქმნის სპეციფიკურ ოპერაციულ გარემოს. ამ პირობებში განახლებადი ენერჯის წარმატებული ინტეგრაცია მოითხოვს არა მხოლოდ ტექნიკურ ინვესტიციებს, არამედ ოპერაციული მართვის, დისპეტჩერიზაციისა და დაცვის ფილოსოფიის ფუნდამენტურ გადახედვას.

საბოლოოდ, შეიძლება ითქვას, რომ განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის წარმატება მოძველებულ ელექტროენერგეტიკულ ქსელებში დამოკიდებულია ოპერაციული მართვის მოქნილობაზე, თანამედროვე ინვერტორული ტექნოლოგიების, ენერჯის დაგროვებისა და ციფრული მართვის სისტემების სინერჯიულ გამოყენებაზე. მხოლოდ კომპლექსური და ეტაპობრივი მიდგომით არის შესაძლებელი სისტემის საიმედოობის, სტაბილურობისა და ენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველყოფა გრძელვადიან პერსპექტივაში.

გამოყენებული ლიტერატურა

- IEEE power & energy society (2018) IEEE guide for integration of energy storage
- ACKERMANN, T. WIND POWER IN POWER SYSTEMS
- KUNDER, P. POWER SYSTEM STABILITY AND CONTROL. MACGRAW- HILL.
- KUNDUR, P (1994) . POWER SYSTEM STABILITY AND CONTROL .

Integration of Renewable Energy Source Into Aging Power Grid : Operation Management and Technological Adaptation.

Nino Giorgishvili; Zurab Kutibashvili

Abstract

The integration of renewable energy sources into existing power grids creates not only infrastructural, but also technological and operational challenges. The problem is especially serious for aging power grids that were not designed for the integration of renewable energy generation. The article analyzes the impact of renewable energy integration on grid operation, dispatching , and real-time control processes. It discusses the characteristics of inverter-based generation. The reduction of grid inertia, and the need to adapt protection and control algorithms. Special attention is giving to energy storage systems and flexible control mechanisms as important tools for increasing grid reliability. The research results clearly shows that, under the conditions of outdated power grids, effective management of renewable energy is possible only through technological adaptation.

Keywords: grid operation, operational generation, renewable energy ,energy storage .