

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

დავით დათაშვილი

საქართველოს ენერჯისისტემაში განახლებადი არატრადიციული
ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის შესაძლებლობის შეფასება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: “ენერჯეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი, დავით დათაშვილი

თბილისი

2018 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით დათაშვილი დავითის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საქართველოს ენერგოსისტემაში განახლებადი არატრადიციული ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის შესაძლებლობის შეფასება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2018

ხელმძღვანელი ----- პროფესორი მ. რუხვაძე

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018

ავტორი: დავით დათაშვილი

თემის დასახელება: საქართველოს ენერგოსისტემაში განახლებადი არატრადიციული ენერჯის წყაროების ინტეგრაციის შესაძლებლობის შეფასება

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

აკადემიური ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: ივლისი, 2018

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

კლიმატურ ცვლილებებთან ბრძოლის აქტუალობა გამოიწვია წყლისა და ჰაერის დაბინძურების ზრდამ. დაბინძურების ძირითადი გამომწვევი მიზეზია წიაღისეული საწვავის გამოყენება, წიაღისეული საწვავი არ არის განახლებადი მისი რაოდენობა დროთა განმავლობაში შემცირდება გახდება კიდევ უფრო ძვირი და გარემოს მეტ ზიანს მოუტანს ამიტომ მნიშვნელოვანი ხდება ისეთი ენერჯის წყაროს პოვნა, რომელიც არ გამოყოფს ნახშირორჟანგს და ამ ენერჯის რაოდენობა საკმარისი იქნება საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, განახლებადი ენერჯის წყაროებს კი საერთოდ არ აქვს ბუნების საზიანო ეფექტი, იმ შემთხვევაშიც კი თუ განახლებადი ენერჯის წყაროების წარმოებისათვის და ექსპლუატაციიდან გამოსვლის შემდეგ ბუნების დაზიანებას გავითვალისწინებთ მისი წილი მაინც ძალიან მცირე იქნება. განახლებადი ენერჯის დიდი ნაწილის წყარო პირდაპირ ან არაპირდაპირ არის მზის ენერჯია, მზის ენერჯია შეიძლება უშუალოდ იქნეს გამოყენებული სახლის ან სხვა შენობების გათბობისათვის, ელექტროენერჯის გამომუშავებისათვის, წყლის გაცხელებისათვის და სხვა სამრეწველო საჭიროებებისათვის. მზის ენერჯია ასევე წარმოშობს ქარის ენერჯიას რომელსაც ქარის ელექტროსადგურები გარდაქმნიან ელექტრო ენერჯიად. ქარის და მზის ენერჯია ერთად იწვევენ წყლის აორთქლებას, როდესაც აორთქლებული წყალი გადაიქცევა წვიმად ან თოვლად და მოედინება მდინარეებში ამ ენერჯის გამოყენება ხდება შესაძლებელი ჰიდროელექტროსადგურების მეშვეობით ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან როლს სუფთა ენერჯის მისაღებად საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო წარმოებაში, რომელიც გარემოს არ აზიანებს, თამაშობს მზისა და ქარის ელ.სადგურები, მზის და ქარის ელექტროსადგურების ენერგოსისტემაში ინტეგრაცია არის გარკვეულ გამოწვევებთან დაკავშირებული რადგან ჰიდრო და თბოელექტროსადგურებთან შედარებით ქარისა და მზის ელექტროსადგურების გამომუშავებული ენერჯია დღის განმავლობაში მკვეთრად იცვლება, რამაც შეიძლება ენერგოსისტემის მდგრადობის შესუსტება გამოიწვიოს, ფოტოელემენტებიანი მზის ელექტროსადგურები დამის განმავლობაში ელექტროენერჯიას არ გამოიმუშავებენ რაც თავის მხრივ სიმძლავრის რეზერვების საჭიროებას ქმნის, ასევე მნიშვნელოვანია იმ ფაქტის გათვალისწინება რომ ქარის დიდი სიჩქარის დროს ქარის ელექტროსადგური მკვეთრად წყვეტს ელექტროენერჯის გამომუშავებას რამაც დიდი სიმძლავრის ქარის ელექტროსადგურის გამორთვის შემთხვევაში შეიძლება ელექტრულ სისტემაში სიხშირის მკვეთრი შემცირება გამოიწვიოს რამაც თავის მხრივ ავტომატიკის მოქმედებით შეიძლება ელექტროენერჯის მომხმარებლების გამორთვა გამოიწვიოს, ნაშრომში არის განხილული განახლებადი ენერჯის ენერგოსისტემაში ინტეგრაციის ეს და კიდევ სხვა გამოწვევები და მათი გადაჭრის გზები.

ნაშრომის I თავი მოიცავს ქარის ენერჯიიდან ელექტროენერჯის გენერაციის თანამედროვე მეთოდების მიმოხილვას, ქარის

ელექტროსადგურების ეკოლოგიურ მხარეების შესწავლას რადგან ქარის გენერატორები შეიძლება საფრთხეს უქმნიდეს ფრინველებს, ასევე ქარის ელექტროსადგურები გამოსცემენ ხმაურს, ყინულმოცვის შემთხვევაში ქარის ელექტროსადგურის გაშვებაც შეიძლება საფრთხის შემცველი იყოს რადგან ფრთის ბრუნვის დროს შეიძლება მოხდეს ყინულის ნატეხის გასროლა, ამ ნაშრომში ასევე განხილულია ქარის გენერატორების ტიპები, ქარის ელექტროსადგურები ყოველწელს იცვლება და იხვეწება რადგან უპასუხოს ენერგო სისტემაში ინტეგრაციისა და ეკოლოგიური პრობლემების მიმართ გამოწვევებს, სულ არსებობს 5 ტიპის ქარის ელექტროსადგურები, ხუთივე ტიპის ქარის ელექტროსადგური არის განხილული ამ ნაშრომში ,საქართველოს ენერგოსისტემაში ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაციის შესაძლებლობა არის განხილული 2017,2018,2019 წლებში, ასევე განხილულია ქარის ელ.სადგურზე ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების მეთოდები, ენერჯის დამაგროვებლის საჭირო მოცულობები და სიმძლავრის გამოყენების გრაფიკები.

ნაშრომის II თავი მოიცავს ქარის ელექტროსადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის ცვლილების ხასიათის ანალიზს, საქართველოს ელექტროსისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით 2018 წელს ქარის ინტეგრაციის შესაძლებლობის გათვალისწინებით, 2018 წლის პერსპექტიულ რეჟიმში ქარის ელექტროსადგურების ელექტროსისტემაში ინტეგრაციის ელექტრული სისტემის ელექტრულ პარამეტრებზე გავლენის ანალიზს რომელიც მოიცავს ასევე სხვადასხვა სიმძლავრის ქარის ელექტროსადგურების ინტეგრაციის გავლენის ანალიზს ინერჯის მუდმივის ცვლილებაზე, ქარის ენერგეტიკული პოტენციალის კვლევას საქართველოში, საქართველოს ელექტროსისტემაში ქარისა და მზის ელ.სადგურების დასაინტეგრირებელი ჯამური დასაშვები სიმძლავრეების კვლევას ენერგოსისტემის მდგრადი და საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფის გატვალისწინებით, ასევე საქართველოს ელექტროსისტემაში ქარის ელექტროსადგურების ინტეგრაციის გავლენის ანალიზს ელექტრული სისტემის მდგრადობაზე.

ნაშრომის III თავი მოიცავს მზის ენერჯიდან ელექტროენერჯის მიღებისათვის თანამედროვე მეთოდებს, მზის ენერჯის განსაზღვრას, ღარისებური მზის ელ.სადგურის მუშაობის ანალიზს, კომპლური ტიპის მზის ელ.სადგურების ანალიზს, სტირლინგის ძრავიანი მზის ელექტროსადგურების მუშაობის ანალიზს, ჰაერის ხელოვნური წევით მზის ელექტროსადგურების მუშაობის ანალიზს, ფოტოელემენტებიანი მზის ელექტროსადგურების მუშაობის ანალიზს, მზის ელექტროსადგურების ინტეგრაციის საქართველოს ელექტროსისტემაზე გავლენის ანალიზს.

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 analisys 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.

შინაარსი

შესავალი	17
თავი 1. ქარის ენერგიიდან ელექტროენერჯის მიღება და ბუნებაზე ზეგავლენა	20
1.1. ქარის ენერგიიდან ელექტროენერჯის გენერაციის თანამედროვე მეთოდები.....	20
1.2. ქარის ენერჯის ეკოლოგიური მხარეები.....	24
1.3. ქარის გენერატორები.....	26
___1.3.1. პირველი ტიპის ქარის გენერატორი.....	26
___1.3.2. მეორე ტიპის ქარის გენერატორი	28
___1.3.3. მესამე ტიპის ქარის გენერატორი	30
___1.3.4. მეოთხე ტიპის ქარის გენერატორი	33
___1.3.5. მეხუთე ტიპის და მცირე სიმძლავრის ქარის გენერატორები	36
1.4. საქართველოს ენერჯის სისტემაში ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაციის შესაძლებლობა 2017, 2018, 2020 წლებში.....	38
1.5. ქარის ელექტროსადგურზე ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების ანალიზი.....	40
თავი 2. ქარის ელექტროსადგურის მახასიათებლები და საქართველოს ენერჯის სისტემაში მაქსიმალური დასაშვები სიმძლავრეები წლების მიხედვით	47
2.1. გორის ქარის ელექტროსადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის ცვლილების ხასიათის ანალიზი.	47
2.2. საქართველოს ელ.სისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით 2018 წელს ქარის ინტეგრაციის შესაძლებლობის გათვალისწინებით, 2018 წლის პერსპექტიულ რეჟიმში ქარის ელ.სადგურების ელ.სისტემაში ინტეგრაციის ელ.სისტემის ელ.პარამეტრებზე გავლენის ანალიზი.....	50
2.3. ქარის ენერჯეტიკული პოტენციალი საქართველოში	55
2.4. საქართველოს ელ.სისტემაში ქარისა და მზის ელ.სადგურების ჯამური დასაშვები სიმძლავრეები წლების მიხედვით	56

2.5. საქართველოს ელ.სისტემაში ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაციის გავლენა სისტემის მდგრადობაზე	59
თავი 3. მზის ელექტროსადგურის ტიპები და მათი გავლენა ენერგოსისტემაზე	67
3.1. მზის ელექტროსადგურები	67
3.2. მზის ენერჯის განსაზღვრა.....	68
3.3. მზის ელექტროსადგური ღარისებური სარკეებით	71
3.4. კომპური ტიპის მზის ელექტროსადგურები	77
3.5. სტირლინგის ძრავიანი მზის ელექტროსადგურები	79
3.6. მზის ელექტროსადგურები ჰაერის ხელოვნური წევით.....	81
3.7. ფოტოელემენტებიანი ელექტროსადგურები	83
3.8. მზის ელექტროსადგურის ინტეგრაციის გავლენა საქართველოს ელექტროსისტემაზე.....	85
დასკვნა.....	105
გამოყენებული ლიტერატურა	107

ცხრილების ნუსხა

გვ.

ცხრილი 1. სხვადასხვა წყაროების მიერ გამოცემული ხმის დონის შედარება ქარის ელ.სადგურის მიერ გამოცემულ ხმის დონესთან.....25

ცხრილი 2. საქართველოს ელ.სისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით საქართველოს ელექტროსისტემაში ქარის ელ.სადგურების დასაშვები დასაინტეგრირებელი სიმძლავრეები წლების მიხედვით.....50

ცხრილი 3. საქართველოს ელ.სისტემაში ქარის ელ.სადგურის ინტეგრაციის გავლენის ანალიზის დროს განხილული სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების მიერ გენერირებული ჯამური სიმძლავრეები.....64

ცხრილი 4. ღარისებრი სარკიანი მზის ელ.სადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრეები ქვეყნების მიხედვით.....76

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1. ქარის ელ.სადგურის მიერ გამოიმუშავებული სიმძლავრის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე.....	21
ნახ.2. ქარის სიჩქარის ცვლილება 24 საათის განმავლობაში	21
ნახ.3. ქარის სიჩქარის ცვლილება სიმაღლის ცვლილების მიხედვით	22
ნახ.4. პირველი ტიპის ქარის ელ.სადგურის გენერატორის სიმძლავრის ცვლილება სრიალის ცვლილების მიხედვით	27
ნახ.5. პირველი ტიპის ქარის ელ.სადგური	28
ნახ.6. მეორე ტიპის ქარის ელ.სადგურის სტატორისა და როტორის სქემა.....	29
ნახ.7. მეორე ტიპის ქარის ელ.სადგურის გენერატორის სიმძლავრის ცვლილება სრიალის ცვლილების მიხედვით	30
ნახ.8. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურის გამარტივებული სქემა	31
ნახ.9. სტატორის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება გენერატორის ბრუნთა რიცხვზე	32
ნახ.10. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურში სიმძლავრის გადადინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს	32
ნახ.11. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურში სიმძლავრის გადადინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს	33
ნახ.12. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურში სიმძლავრის გადადინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს	33
ნახ.13. მეოთხე ტიპის ქარის ელ.სადგურის გამარტივებული სქემა	34
ნახ.14. სიხშირე მეოთხე ტიპის ქარის ელ.სადგურის ინვერტორსა და გამმართველზე	35
ნახ.15. მეხუთე ტიპის ქარის ელ.სადგურის ავტომატური სიჩქარეთა კოლოფის სქემა	36
ნახ.16. მეხუთე ტიპის ქარის ელ.სადგურის ჰიდროტრანსფორმატორი	37
ნახ.17. ა.შ.შ -ში შტატების მიხედვით 2015 წელს გამოიმუშავებული ელ.ენერგია	38

ნახ.18. 2017, 2018, 2020 წლების რეჟიმებისათვის ქარის ელ.სადგურის გამორთვის შემთხვევაში სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ.სისტემაში	40
ნახ.19. 20 მეგავატიანი ქარის ელ.სადგურის გამორთვის შემთხვევაში სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ.სისტემაში.....	41
ნახ.20. ქარის ელ.სადგურის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება ქარის სიჩქარის ცვლილების მიხედვით.....	42
ნახ.21. ქარის ელ.სადგურის სიმძლავრის მახასიათებელი.....	42
ნახ.22. ქარის სიჩქარე საათების მიხედვით	43
ნახ.23. ქარის სიჩქარის გრაფიკის	43
ნახ.24. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების სქემა	44
ნახ.25. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების სქემა	45
ნახ.26. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების სქემა	45
ნახ.27. ქარის სიჩქარე 24 საათის განმავლობაში	47
ნახ.28. გორის ქარის ელ.სადგურზე 24 საათის განმავლობაში ქარის სიჩქარისა და გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილებები.....	48
ნახ.29. გორის ქარის ელ.სადგურზე ქარის სიჩქარის ცვლილების დამოკიდებულება სიმძლავრის ცვლილებასთან	49
ნახ.30. ქარის სიჩქარის მრუდი 24 საათის განმავლობაში	52
ნახ.31. ქარის ელ.სადგურზე გენერაციის ცვლილებით გამოწვეული სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ. სისტემაში	52
ნახ.32. საქართველოს სხვადასხვა მხარეში ქარის ელ სადგურების პოტენციური სიმძლავრეები	53
ნახ.33. ქარის ელ.სადგურებზე გენერირებული სიმძლავრის ცვლილებით გამოწვეული სიმძლავრის გადადინების ცვლილება ეგზ იმერეთზე.....	53
ნახ.34. ქარის ელ.სადგურებზე გენერირებული სიმძლავრის ცვლილებით გამოწვეული ენგურჰესის პირველი გენერატორის მექანიკური სიმძლავრე	55
ნახ.35. ქარის გეოგრაფიული ზონები	56

ნახ.36. საქართველოს ელექტროსისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით ქარის ელ.სადგურების მაქსიმალური დასაშვები დასაინტეგრირებელი სიდიდეები	58
ნახ.37. სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში ეგხ.“მუხრანის ველის“ გამორთვის შედეგად გაჩენილი 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტის შედეგად	63
ნახ.38. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში	64
ნახ.39. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში	65
ნახ.40. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში	65
ნახ.41. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში	66
ნახ.42. ფოტოლოელემენტებიანი მზის ელ.სადგური	67
ნახ.43. მზის მოძრაობის ტრაექტორია	69
ნახ.44. ღარისებური მზის ელ.სადგურის თბოშემკრები ელემენტი	72
ნახ.45. ღარისებური მზის ელ.სადგურები	73
ნახ.46. ღარისებური მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა	74
ნახ.47. ღარისებური მზის ელ.სადგური	76
ნახ.48. კოშკური ტიპის მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა	77
ნახ.49. კოშკური ტიპის მზის ელ.სადგური	78
ნახ.50. სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგური	79
ნახ.51. სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა	80
ნახ.52. მოდიფიცირებული სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა	81
ნახ.53. ჰაერის ხელოვნური წევით მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა.....	83

ნახ.54. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგური მუშაობის სქემა	84
ნახ.55. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგურის მოდული	84
ნახ.56. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგურის პანელი	85
ნახ.57.ქარის ელ.სადგურზე ელ.ენერჯის გენერაციის პროგნოზირების სქემა	86
ნახ.58. ქ/ს გარდაბანი 500-ში რეაქტორის გამორთვის დროს მზის ელ.სადგურზე და ჰიდროელექტროსადგურ ენგურზე ძაბვების შედარება	87
ნახ.59. ქ/ს რუსთავი 220-ში ტვირთის გამორთვის დროს მზის ელ,სადგურის გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება	88
ნახ.60. ატმოსფეროში მზის სხივის დანაკარგების სქემა	89
ნახ.61. ცვლადი მოღრუბულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება	90
ნახ.62. ცვლადი მოღრუბულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე	91
ნახ.63. ცვლადი მოღრუბულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება	92
ნახ.64. ცვლადი მოღრუბულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე	92
ნახ.65. ცვლადი მოღრუბულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება	93
ნახ.66. ცვლადი მოღრუბულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე	94
ნახ.67. ცვლადი მოღრუბულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება	94
ნახ.68. ცვლადი მოღრუბულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე	94
ნახ.69. მზის ენერჯის პოტენციალი საქართველოში	96

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

T-D – Time-domain (დროულ-სივრცითი)

CCT – Critical clearing time (ლიკვიდაციის კრიტიკული დრო)

IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers (საინჟინრო ინსტიტუტი ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის განხრით)

AGC – Automatic generation control (გენერაციის ავტომატური რეგულირება)

SCADA – Supervisory control and data acquisition (დისპეტჩერული მართვა და მონაცემების შეგროვება)

EMS – Energy management system (ენერჯის მართვის სისტემა)

RAS – Remedial action scheme (ავარიის საწინააღმდეგო სქემების სისტემა)

LFC – load-frequency control (დატვირთვა-სიხშირული რეგულირება)

ეგხ - ელექტროგადაცემის ხაზი

PSS/E – Power System Simulation for Engineering (ელექტრული სისტემების საინჟინრო მოდელირების პროგრამა)

საგ - სიხშირით ავტომატური განტვირთვა

მშ - მოკლე შერთვა

PV – Photovoltaic (ფოტოელემენტი)

HVDC – High Voltage Direct Current (მაღალი ძაბვის მუდმივი დენი)

შესავალი

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. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა სტუ-ის ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერჯეტიკისა 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.

ასევე, დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 3 სტატია.

თავი 1. ქარის ენერგიიდან ელექტროენერჯის მიღება და ბუნებაზე ზეგავლენა

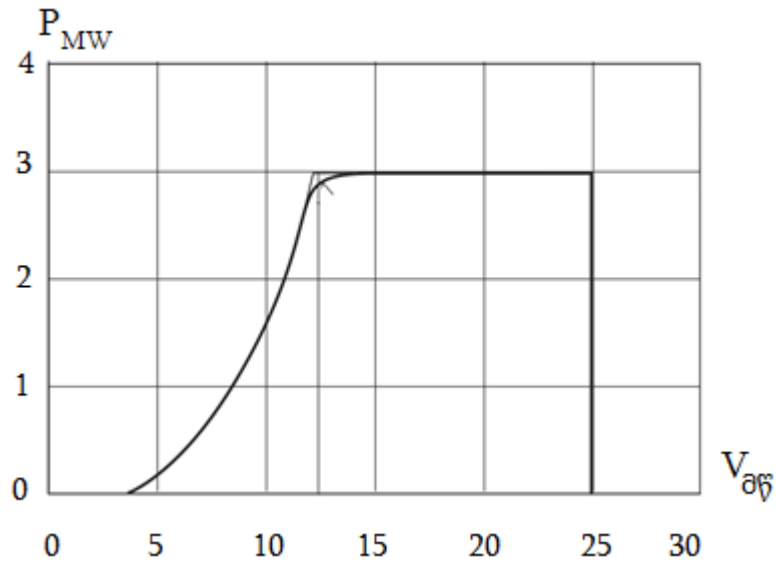
1.1. ქარის ენერგიიდან ელექტროენერჯის გენერაციის თანამედროვე მეთოდები

ქარის გენერატორის სიმძლავრე დამოკიდებულია გენერატორის ფრთის ფართზე და მისი განლაგების სიმაღლეზე. თანამედროვე ქარის გენერატორის ჯამური სიმაღლე არის 115 მეტრი. კოშქურის 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. [15]

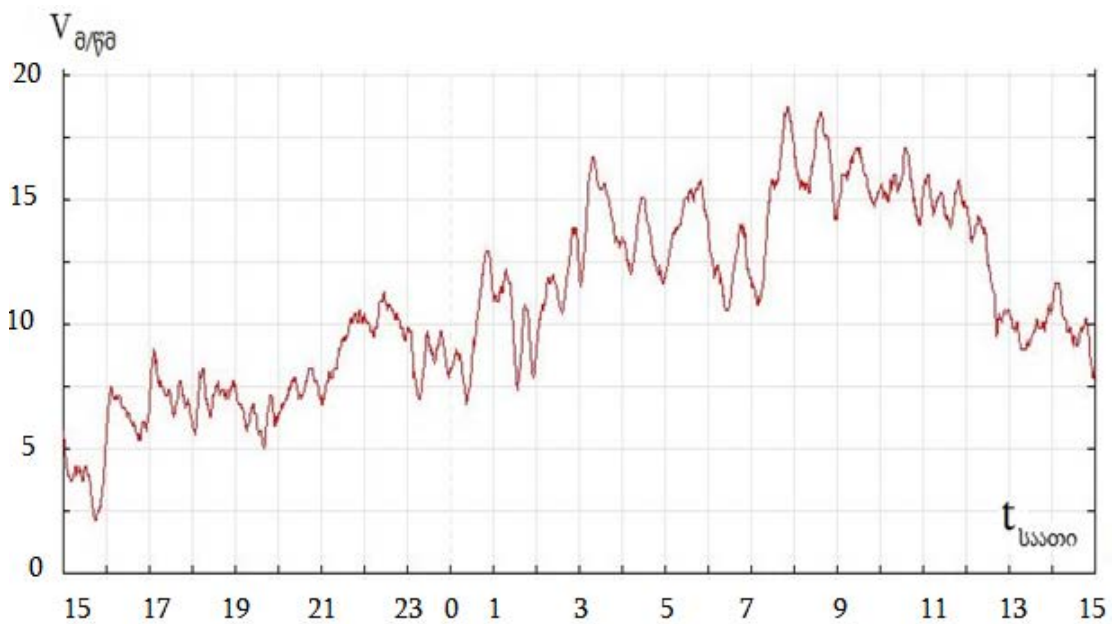
ბოლო ორი-სამი ათწლეულის განმავლობაში მოხდა მათი გამოყენების და სრულყოფის სწრაფი ზრდა. ამჟამად, მსოფლიოში ქარის სადგურებზე წარმოებული ენერჯის სიდიდე უახლოვდება გაზზე მომუშავე თბოსადგურების მიერ გამომუშავებულ ენერჯიას.[22] მიუხედავად ასეთი სადგურების დადებითი თვისებებისა, მათ გააჩნიათ გარკვეული უარყოფითი 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 დაუმზებელი. ეს დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ.1 ზე:



ნახ. 1. ქარის ელ.სადგურის მიერ გამოიმუშავებული სიმძლავრის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე

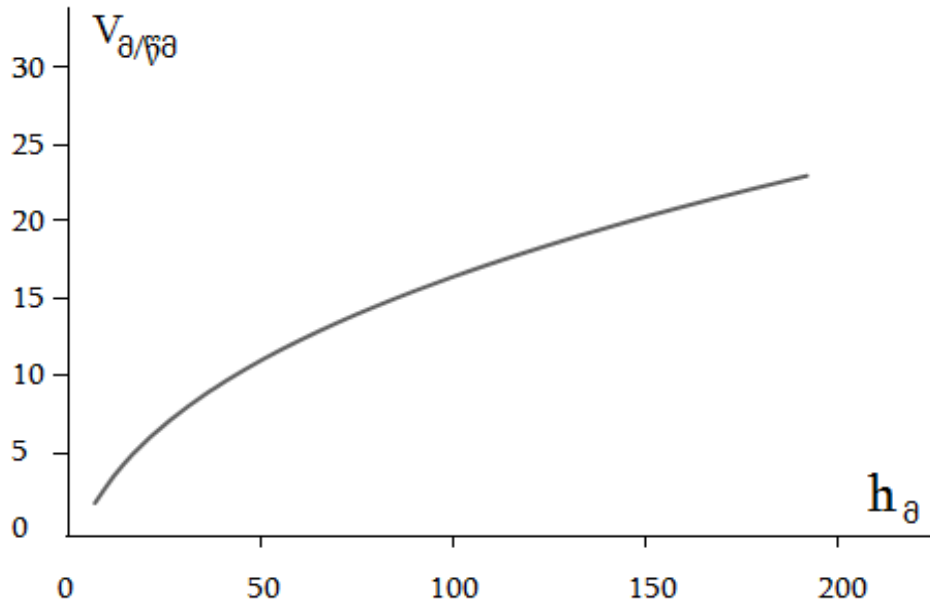
ქარის სიჩქარე არ არის მუდმივი და დღე-ღამის განმავლობაში შეიძლება მნიშვნელოვნად იცვლებოდეს. ნახ.2 ნაჩვენებია ჩინეთის ერთ-ერთ ქარის სადგურზე დაფიქსირებული ქარის სიჩქარე 24 საათის



ნახ. 2. ქარის სიჩქარის ცვლილება 24 საათის განმავლობაში

განმავლობაში.

შესაბამისად ცვლადი იქნება გენერატორის მიერ გაცემული სიმძლავრე. ეს ქმნის გარკვეულ სიმძლევებს 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. ეს დამოკუდებულება ნაჩვენებია ნახ.3 ზე:



ნახ. 3. ქარის სიჩქარის ცვლილება სიმაღლის ცვლილების მიხედვით

3 მეტრი/წმ ქარის სიჩქარის დროს გენერატორი იწყებს ელექტროენერჯის წარმოებას და გამოირთვება 25 მ/წმ ქარის სიჩქარის დროს. მაქსიმალურ სიმძლავრეს ქარის გენერატორი აღწევს 15მ/ წმ ქარის

სიჩქარის დროს. გამომუშავებული სიმძლავრე ქარის სიჩქარის მესამე ხარისხის პროპორციულია: ქარის სიჩქარის 5მ/წმ დან 10 მ/წმ გაზრდის დროს სიმძლავრე იზრდება 8 ჯერ. ერთი ქარის გენერატორის მაქსიმალური სიმძლავრე დრესდღეობით შეადგენს 8 მგვტ-ს, მიმდინარეობს მუშაობა 10 მგვტ და მეტი სიმძლავრის ქარის გენერატორებზე.

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 ჰქონდათ არანაირი მომსახურება 20 წლის განმავლობაში, ისინი გაცილებით ჩუმად მუშაობენ ჰორიზონტალურ ღერძიან გენერატორთან შედარებით, ბოლო წლებში დამუხრუჭების სისტემის დახვეწამ განაპირობა ესეთი გენერატორების სტაბილური მუშაობა 60 მ/წმ ქარის სიჩქარის დროსაც.

ქარის ენერჯიდან ელექტროენერჯის მიღებისათვის ყველაზე პერსპექტიული ადგილია სანაპირო ზონები. მაგრამ ხმელეთთან შედარებით 1.5 – 2 ჯერ მეტი ინვესტიციია საჭირო. ზღვაში ნაპირიდან 10 – 12 კმ -ის დაშორებით შენდება ოფშორული კომქურები რომლებიც ყენდება საყრდენზე რომელიც მიწაში 30 მეტრზეა ჩასმული. შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვა ტიპის წყალქვეშა ფუნდამენტებიც, აგრეთვე მოტივტივე საძირკველი.

1.2. ქარის ენერჯის ეკოლოგიური მხარეები

ქარის გენერატორი 1 მგვტ სიმძლავრით ყოველწლიურად ამცირებს ,1800 ტონა CO₂, 9 ტონა SO₂ - სა და 4 ტონა აზოტის ოქსიდის გამონაბოლქვს ატმოსფეროში.

ქარის გენერატორი მოძრავ ჰაერის მასებს ართმევს კინეტიკურ ენერჯიას რაც ამცირების მათი მოძრაობის სიჩქარეს. ქარის ელექტროსადგურების მასიური გამოყენებამ შეიძლება გავლენა იქონიოს კლიმატის ცვლილებაზე როგორც ლოკალურად ისე გლობალურად. ქარის სიჩქარის შემცირება რეგიონში კლიმატს გახდის შედარებით კონტინენტალურს იმის ხარჯზე რომ ნელა მოძრავი ჰაერის მასები მეტად ასწრებენ გაცხელებას ზაფხულში და გაციებას ზამთარში. ასევე ქარის ენერჯიის ართმევამ შეიძლება გამოიწვიოს მიმდებარე ტერიტორიის ტენიანობის შეცვლა გამოიწვიოს, ქარის ელექტროსადგურების ზემოქმედების მნიშვნელობა ზემოთ ჩამოთვლილ ფაქტორებზე ჯერ არ არის შესწავლილი თუმცა ის შეიძლება გაცილებით მეტი იყოს ვიდრე ვარაუდობდნენ. ქარის სიჩქარის შენელებამ აგრეთვე შეიძლება დადებითი გავლენაც იქონიოს რადგან დიდ ოფშორულ ქარის ელექტროსადგურებს მნიშვნელოვნად შეუძლიათ შეამცირონ ქარიშხლების სიმძლავრე და შესაბამისად ნაკლები ეკონომიკური ზარალი მიადგეს მიმდებარე ტერიტორიას.

ქარის ელექტროსადგურები გამოსცემენ ორი სახეობის ხმაურს

- მექანიკურ ხმაურს - ხმაური რომელსაც იწვევს მექანიკური და ელექტრული ნაწილები (თანამედროვე ქარის ელექტროსადგურებისათვის არა, მაგრამ წინა თაობის მოდელებისათვის მნიშვნელოვანი ნაკლი იყო)
- აეროდინამიკური ხმაური - ხმაური რომელსაც იწვევს ჰაერის ნაკადისა და ფრთის ურთიერთქმედება (ძლიერდება როდესაც ფრთა გადის კოშქურის მიღმა)

ამჟამად ქარის გენერატორებზე ხმის სიძლიერის გამოსავლენად გამოიყენება მხოლოდ გამოთვლითი მეთოდები [23].

ცხრილი 1. სხვადასხვა წყაროების მიერ გამოცემული ხმის დონის შედარება ქარის ელ.სადგურის მიერ გამოცემულ ხმის დონესთან

ხმის წყარო	ხმის დონე , დბ
ადამინის სმენისათვის ტკივილის ზღვარი	120
რექტიული ძრავის ხმა 250 მ მოშორებით	105
ჩაქუჩის ხმა 7 მ მანძილზე	95
ხმის დონე ოფისში	60
ქარის გენერატორის ხმა 350 მ, დაშორებით	35 -40
ხმის დონე ღამე სოფელში	20 - 40

მძლავრი ქარის გენერატორის ღერძის სიახლოვეს ხმის დონე აღწევს და აჭარბებდეს 100 დბ-ს. დანიაში , გერმანიაში და დიდ ბრიტანეთში ქარის ელექტროსადგურის ხმის დონე შეზღუდულია 45 დბ-ით დღის განმავლობაში 35 დბ-ით ღამე, მინიმალური მანძილი გენერატორიდან საცხოვრებელ ადგილებამდე 300 მ-ით. დაბალსიხშირიანი რხევები, რომლებიც გადაეცემა მიწით საკმაოდ შეიგრძნობა სახლებში, 1 მეგაჰერციანი და ზევით სიმძლავრის ქარის ელექტროსადგურიდან 60 მ- ის დაშორებით. როგორც წესი საცხოვრებელი სახლები განლაგებულია არანაკლებ 300 მ-ის დაშორებით ქარის ელექტროსადგურიდან. ესეთი მანძილი საკმარისია იმისათვის რომ დაბალსიხშირიანი რხევები არ იგრძნობოდეს.

ზამთრის პერიოდში ექსპლუატაციის დროს როდესაც ჰაერის ტენიანობა მაღალია გენერატორის ფრთებზე შეიძლება წარმოიშვას ყინული. გენერატორის გაშვებისას ყინულის ნაწილები შეიძლება საკმაოდ დიდ მანძილზე გაიფანტოს, როგორც წესი ისეთ ადგილებზე სადაც

მოსალოდნელია ყინულის ნაწილების განფანტვა, 150 მ-ის დამორებით დაკიდებულია გამაფრთხილებელი ნიშნები.

ქარის ელექტროსადგური იკავებს მთელი ტერიტორიის 1 %-ს დანარჩენი ტერიტორია შეიძლება გამოყენებულ იქნას სასოფლო სამეურნეო მიქნებისათვის როგორც ეს ხდება ისეთ მჭიდროდ დასახლებულ ქვეყნებში როგორცაა დანია გემრანია და ჰოლანდია. ქარისგენერატორის ფუნდამენტი არის 10 მ-ი დიამეტრის, როგორც წესი მთლიანად მიწის ქვეშ არის რაც იმის საშუალებას იძლევა რომ სასოფლო სამეურნეო მიწის გამოყენება შესძლებელი იყოს კომპლურის ძირამდე. [24]

1.3. ქარის გენერატორები

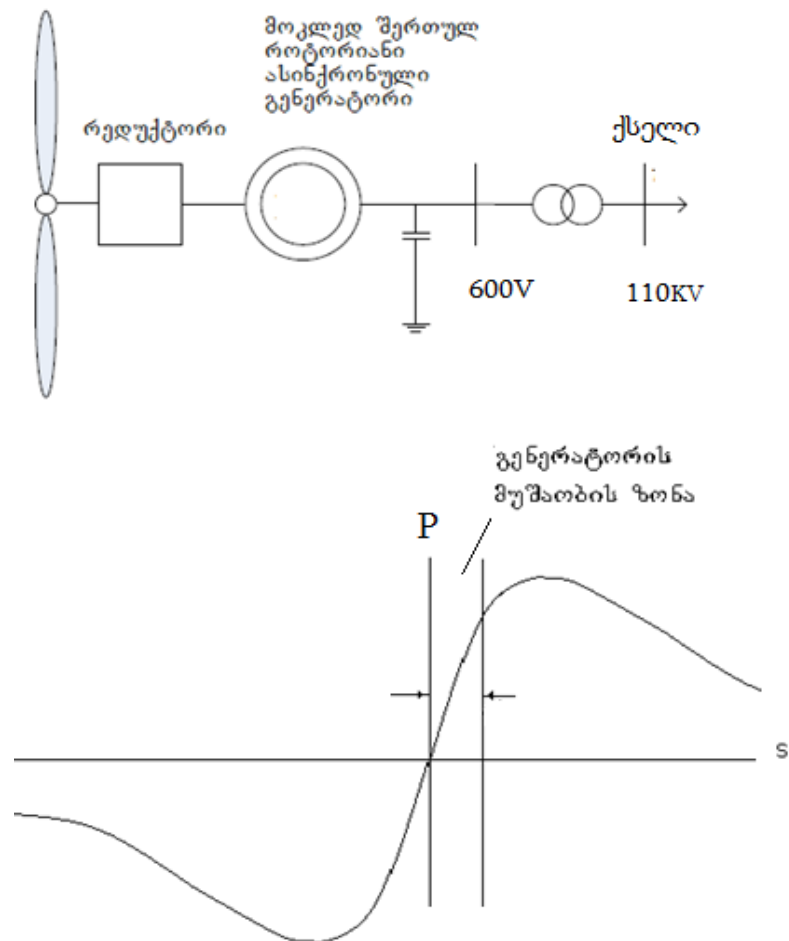
არსებობს ქარის გენერატორების ხუთი ტიპი:

- 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.

1.3.1. პირველი ტიპის ქარის გენერატორი

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, ნახ.5 გენერატორი მიერთებულია ქარის ტურბინასთან

რედუქტორის საშუალებით. ქარის სიჩქარის ცვლილებისას ტურბინის ბრუნთა რიცხვი რომ დარჩესსაჭირო დიაპაზონში, ხდება ტურბინის ფრთების დახრის კუთხის ავტომატური რეგულირება. მაგრამ ასეთი გენერატორის მუშა დიაპაზონი ბრუნთა რიცხვის თვალსაზრისით საკმაოდ ვიწროა. [21]



ნახ. 4. პირველი ტიპის ქარის ელ.სადგურის გენერატორის სიმძლავრის ცვლილება სრიალის ცვლილების მიხედვით

ასეთი ტიპის ქარის გენერატორები ყველაზე იაფია. მათ არა აქვთ საშუალება არეგულირონ ძაბვა და სჭირდებათ მნიშვნელოვანი ტევადობის კონდენსატორები. ისტორიულად, ეს პირველი ქარის გენერატორებია. ერთ-ერთი ასეთი გენერატორინაჩვენებია ნახ.6 ზე

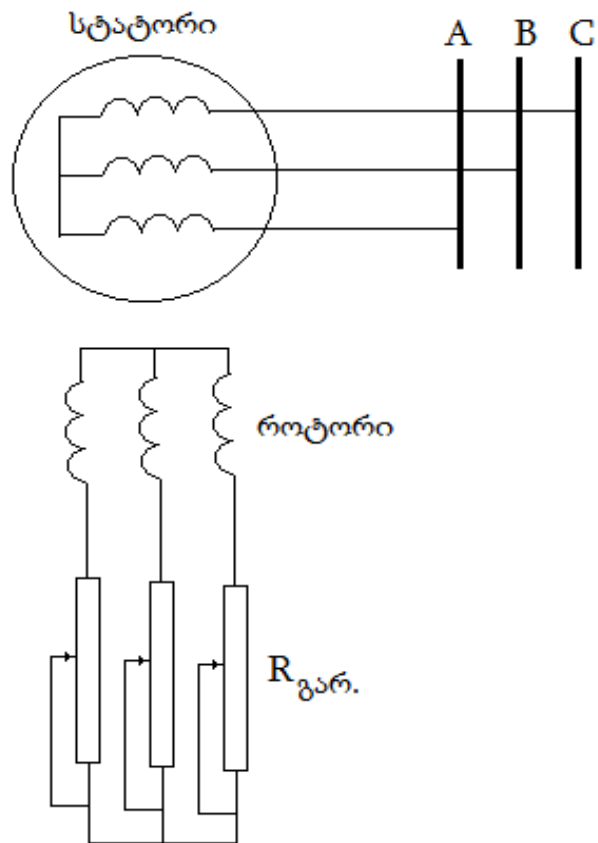
ქარის დანადგარი აშენდა საფრანგეთში 1955 წელს, მისი სიმძლავრე უდრიდა 1 მეგავატს. [24]



ნახ. 5. პირველი ტიპის ქარის ელ.სადგური

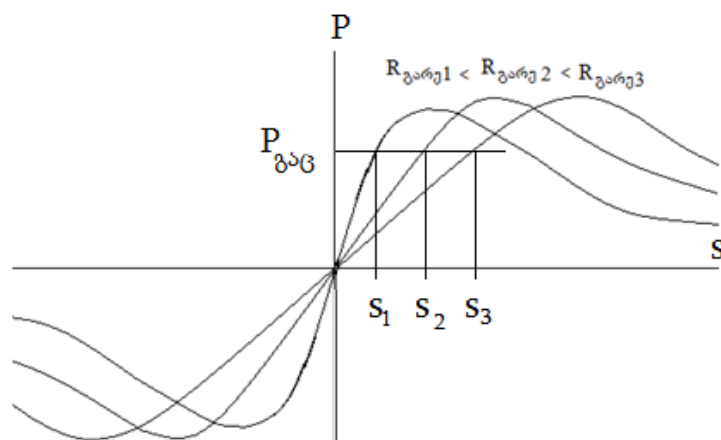
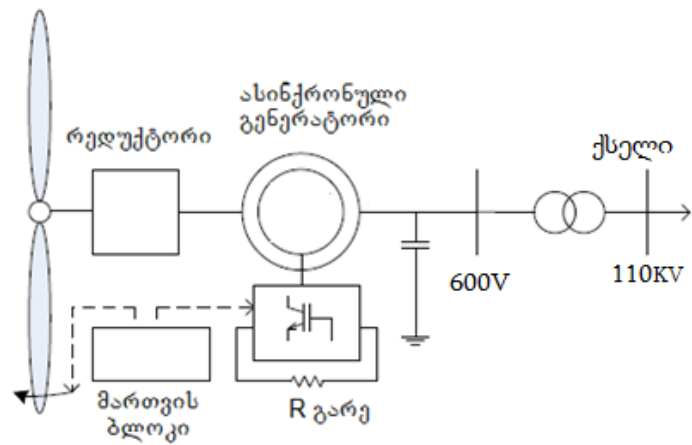
1.3.2 მეორე ტიპის ქარის გენერატორი

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, ნახ.6 რაც უფრო დიდია წინაღობა, მით უფრო



ნახ. 6. მეორე ტიპის ქარის ელ.სადგურის სტატორისა და როტორის სქემა

მარჯვნივ გადაიწევა მახასიათებელი, ნახ 7. წინაღობები ჩართულია ტირისტორების ან ველის ტრანზისტორების მეშვეობით. ტირისტორების გახსნის კუთხის რეგულირებით იცვლება როტორის წრედში ჩართული ექვივალენტური წინაღობის 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.



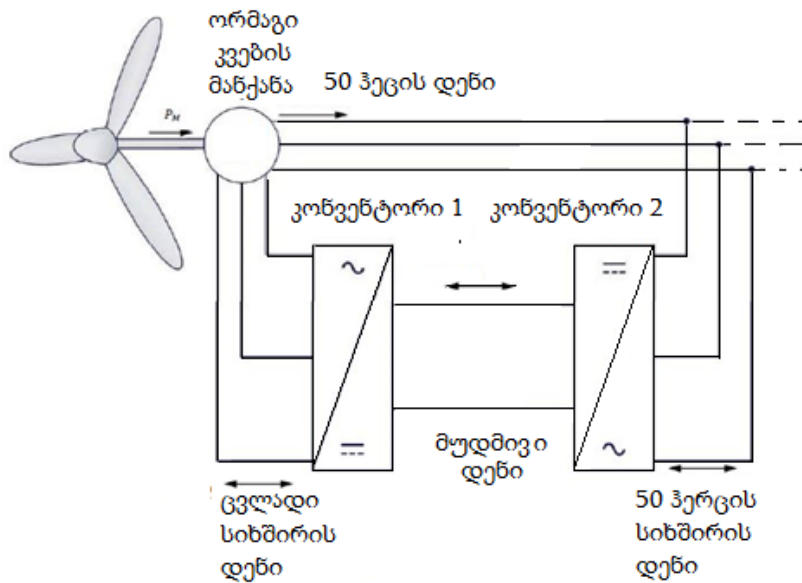
ნახ. 7. მეორე ტიპის ქარის ელ.სადგურის გენერატორის სიმძლავრის ცვლილება სრიალის ცვლილების მიხედვით

1.3.3 მესამე ტიპის ქარის გენერატორი

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.

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

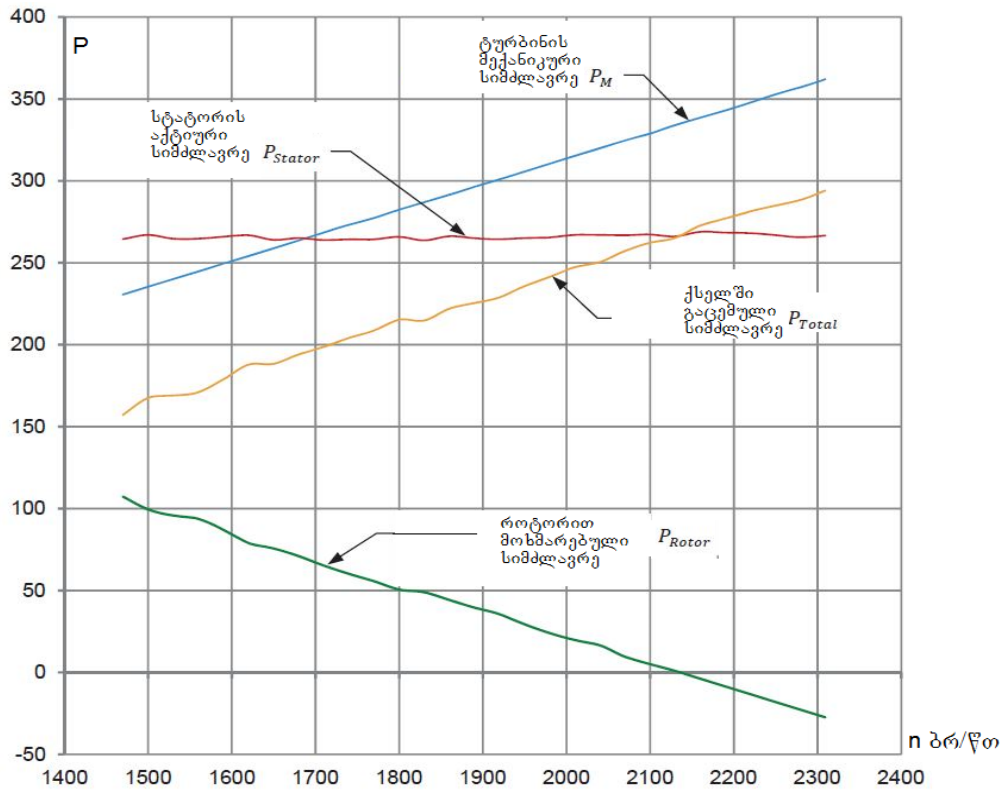
სადაც ω_1 სტატორის მბრუნავი მაგნიტური ველის კუთხური სიჩქარეა, ω_r - როტორის მექანიკური ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა და ω_2 როტორის დენით შექმნილი მბრუნავი მაგნიტური ველის კუთხური სიჩქარეა. ფაქტიურად ასეთ მანქანას გააჩნია როგორც სინქრონული მანქანის, ასევე ასინქრონული მანქანის თვისებები. მას „ასინქრონიზირებულ სინქრონულ მანქანას“ უწოდებენ. მესამე ტიპის ქარის გენერატორის გამარტივებული სქემა მოყვანილია ნახ.8 ზე:



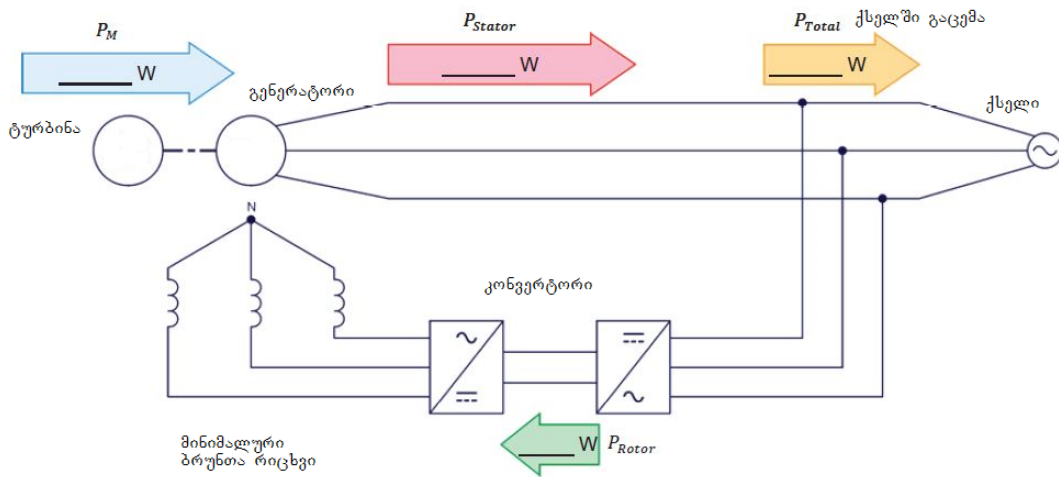
ნახ. 8. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურის გამარტივებული სქემა

ამ მანქანის მახასიათებლები ნაჩვენებია ნახ.11-ზე 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).

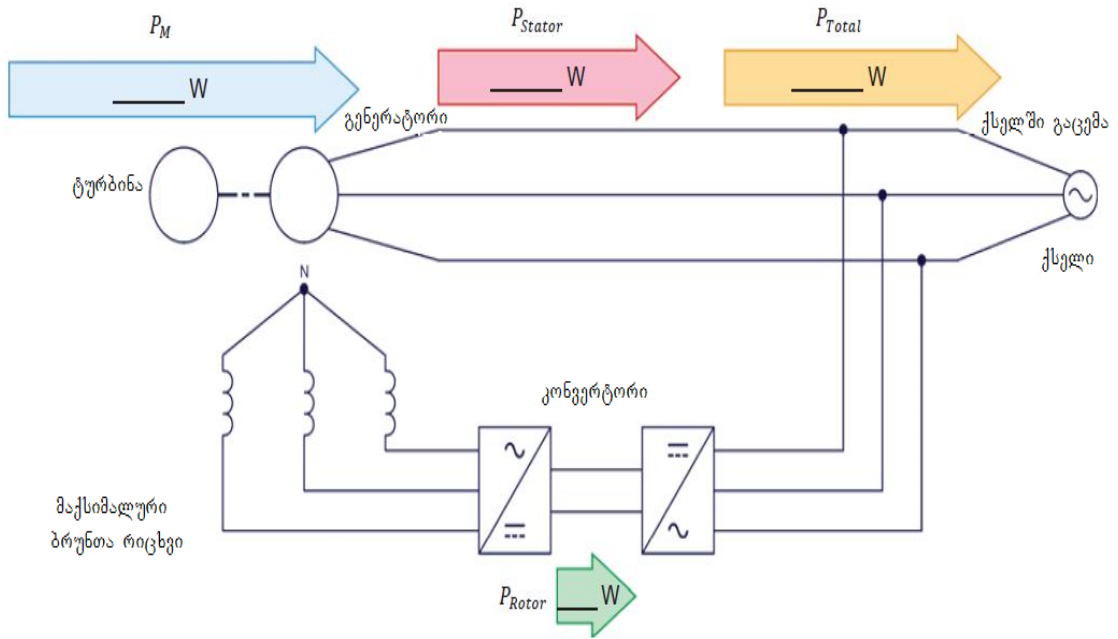
სიმძლავრის გადაღინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს ნაჩვენებია ნახ.10,11,12 ზე.



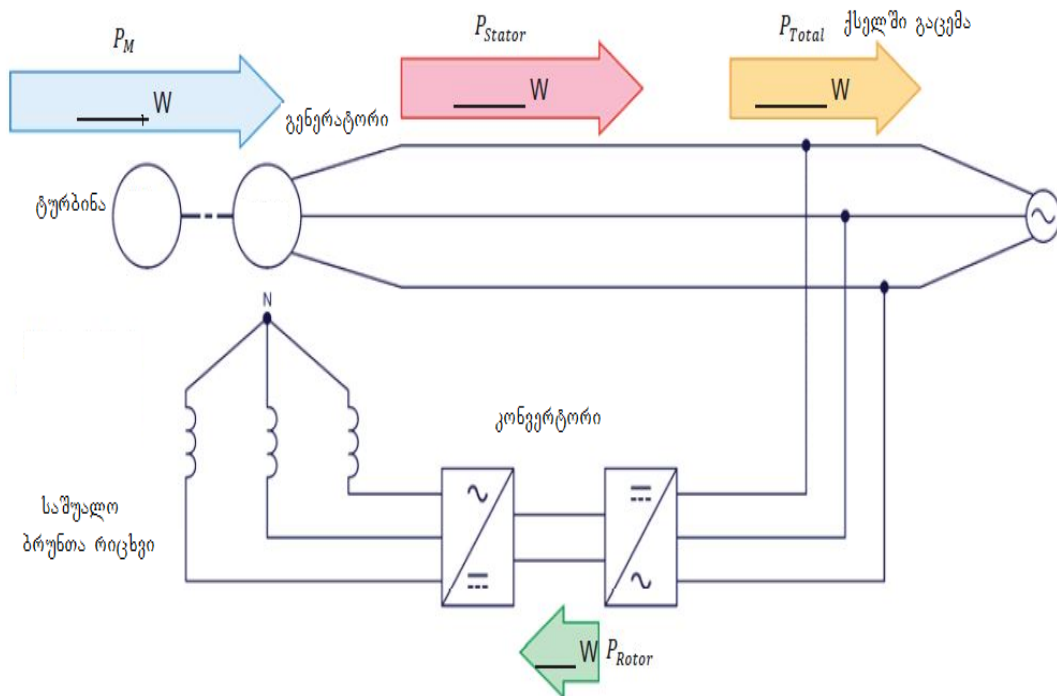
ნახ. 9. სტატორის აქტიური სიმძლავრის დამოკიდებულება გენერატორის ბრუნთა რიცხვზე



ნახ. 10. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურში სიმძლავრის გადაღინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს

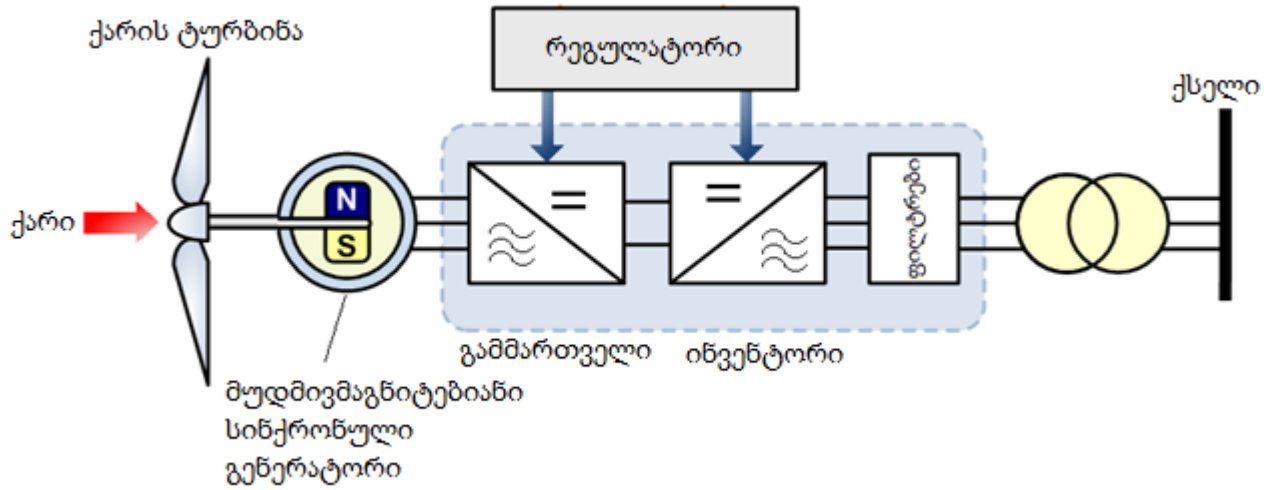


ნახ. 11. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურში სიმძლავრის გადადინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს



ნახ. 12. მესამე ტიპის ქარის ელ.სადგურში სიმძლავრის გადადინების პროცესი სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვის დროს

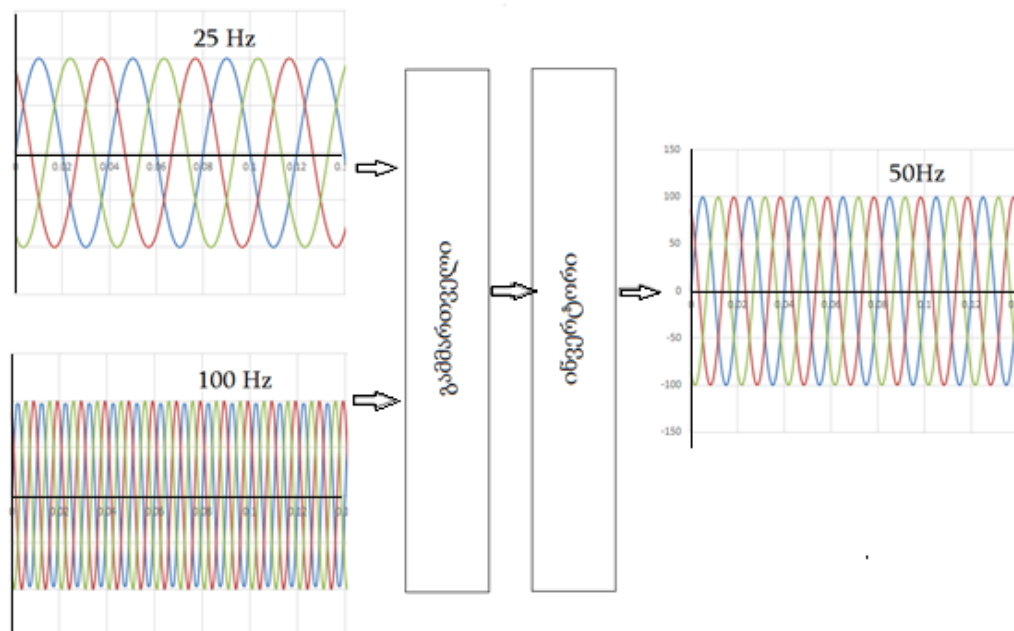
1.3.4 მეოთხე ტიპის ქარის გენერატორი



ნახ. 13. მეოთხე ტიპის ქარის ელ.სადგურის გამარტივებული სქემა

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, ნახ. 13 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. ქვემოთ მოყვანილ ნახ.13-ზე ჩანს, რომ გენერატორის ძაბვის დაბალი (25 ჰერცი) სიხშირის და მაღალი (100 ჰერცი) სიხშირისას, ინვენტორი გვაძლევს 50 ჰერცის სიხშირის ძაბვას.[25]

ამ თვალსაზრისით, ამ გენერატორს აქვს უპირატესობა ზევით აღწერილ გენერატორებთან შედარებით. მეორეს მხრივ ძალოვანი ელექტრონიკის და მართვის სისტემის ღირებულება ზრდის დანადგარის ღირებულებას, რომელიც 30-40% ით მეტია 1,2 და 3 ტიპის ქარის გენერატორებზე.



ნახ. 14. სიხშირე მეოთხე ტიპის ქარის ელ.სადგურის ინვერტორსა და გამმართველზე

შევადროთ ოთხივე ტიპის ქარის გენერატორები:

- 4 ტიპის ქარის გენერატორს აქვს სხვებთან შედარებით დიდი მუშაობის ზონა ბრუნთა რიცხვის მიხედვით;
- პირველი და მეორე ტიპის გენერატორების მაქსიმალური სიმძლავრე 2-2,5 მეგავატი. მესამე და 4 ტიპის კი 5-6 მეგავატი.
- 3 და 4 ტიპის გენერატორების ექსპლუატაცია უფრო მარტივია;
- 3 და 4 ტიპის გენერატორებს შეუძლიათ რეაქტიული სიმძლავრის გაცემა ქსელში და ასევე მისი მოხმარება;
- პირველი და მეორე ტიპის გენერატორები დიდი ხანი არიან ექსპლუატაციაში და 2020 წლისათვის მათი ექსპლუატაციის ვადა ამოიწურება. ისინი შეიცვლებიან მეოთხე ტიპის გენერატორებით.

1.3.5 მეხუთე ტიპის და მცირე სიმძლავრის ქარის გენერატორები

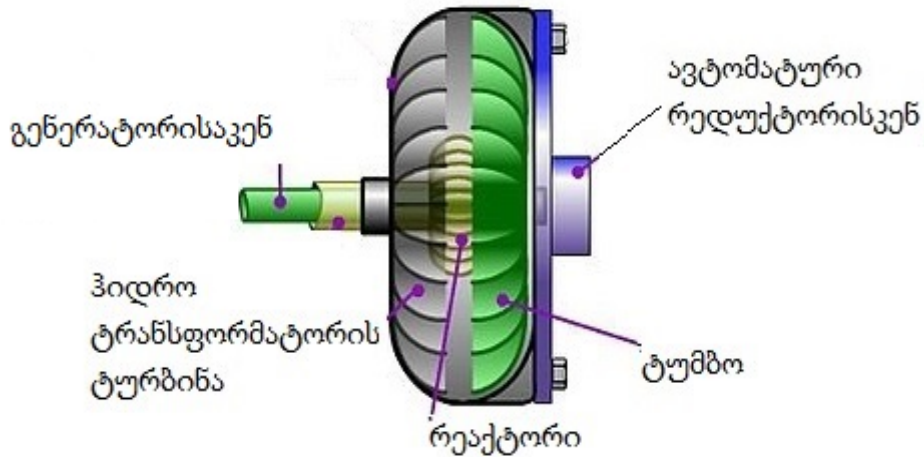


ნახ. 15. მეხუთე ტიპის ქარის ელ.სადგურის ავტომატური სიჩქარეთა კოლოფის სქემა

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, ნახ.15 რედუქტორი თავის მხრივ მიერთებულია ჰიდროტრანსფორმატორთან. ეს უკანასკნელი უზრუნველავს გენერატორის მუდმივ ბრუნთა რიცხვს. ჰიდრო ტრანსფორმატორი შედგება ცენტრიდანულ ტუმბოსაგან და ტურბინისაგან.[25]

ტუმბოს აბრუნებს ავტომატური რედუქტორი და გენერატორს კი ტურბინა. ტუმბო და ტურბინა მოთავსებულები არიან კოლოფში

რომელშიდაც ასხია ზეთი. ტუმბო ქმნის გარკვეულ წნევას და ზეთი ამ წნევით აბრუნებს ტურბინას, ნახ 16.



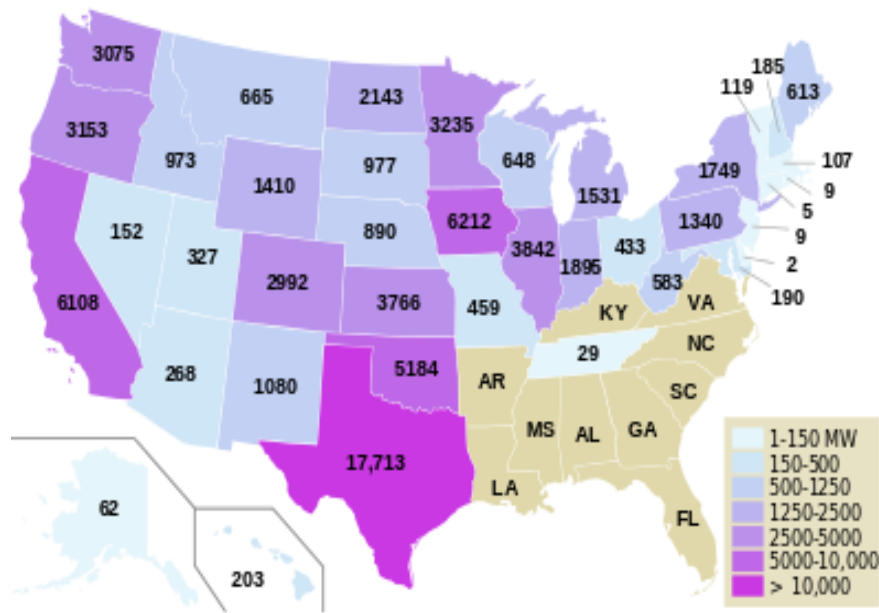
ნახ. 16. მეხუთე ტიპის ქარის ელ.სადგურის ჰიდროტრანსფორმატორი

ასეთი კონსტრუქცია ამარტივებს და აიაფებს გენერატორის ექსპლუატაციას. ზემოთ განხილული ყველა ტიპის გენერატორი გამოიყენება ქარის ელექტროსადგურების ანუ ქარის ფერმების შესაქმნელად. ქარის ფერმა შედგება რომოდენიმე ათეული ან რამოდენიმე ასეული ცალკეული ქარის გენერატორისაგან. ასეთი ფერმის სიმძლავრე შეიძლება აღწევდეს რომოდენიმე ასეულ მეგავატს. მაგალითად, ამერიკის შეერთებულ შტატებში, სამხრეთ კალიფორნიაში არის ქარის ელექტროსადგური „ალტა“. სადგური მოიცავს Vestas ფირმის 600ქარის გენერატორს. სადგურის დადგმული სიმძლავრე 1547 მეგავატია. ამ სადგურს ბევრად არ ჩამორჩება სხვა შტატების ქარის ელექტროსადგურები.

- ორეგონის შტატი--845 მეგავატი;
- ტეხასის შტატი-- 781 მეგავატი;
- ინდიანას შტატი--600 მეგავატი

და ბევრი სხვა. 2015 წელს ქარის სადგურების მიერ გამომუშავებული ელექტრული ენერჯია უდრიდა 74458 მეგავატსაათს. ქვემოთ მოყვანილია

შეერთებული შტატების რუკა რომელზედაც ნაჩვენებია ქარის სადგურების სიმძლავრე შტატების მიხედვით.[22]



ნახ. 17. ა.შ.შ -ში შტატების მიხედვით 2015 წელს გამოშვებული ელ.ენერგია

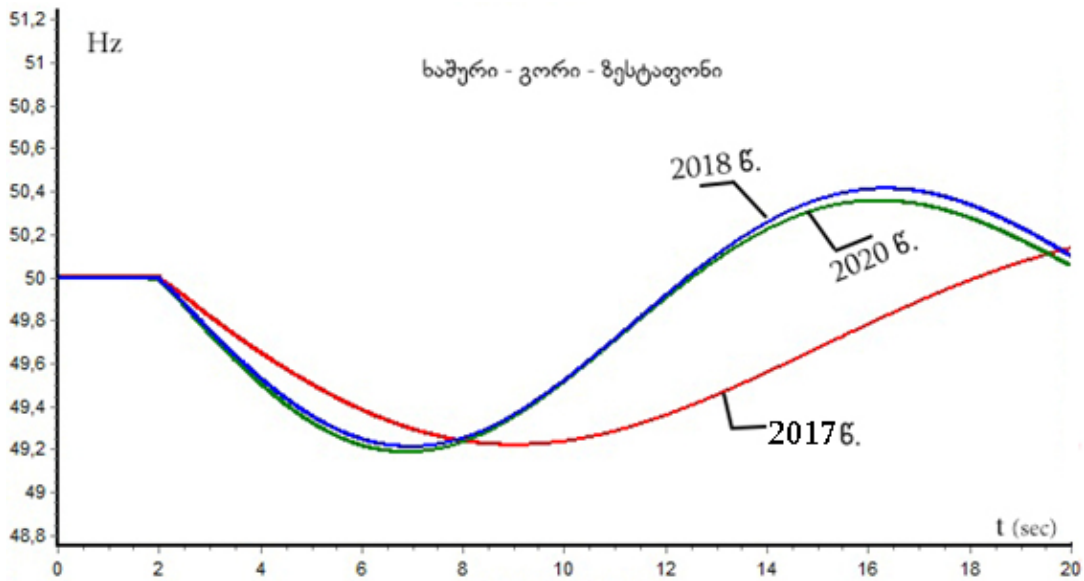
1.4. საქართველოს ენერგოსისტემაში ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაციის შესაძლებლობა 2017, 2018, 2020 წლებში.

საქართველო განახლებადი რესურსებით მდიდარი ქვეყანაა. ამ მხრივ მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ქარის ენერგიასაც. თუმცა რესურსის ეს ნაწილი თითქმის აუთვისებელია. ამასთან, ქარის ტურბინების თვითღირებულება სულ უფრო მცირდება, რის გამოც ქარის ენერჯის ათვისება მიმზიდველი ხდება. მაგრამ, მეორეს მხრივ, ქარის გენერატორებს გააჩნიათ მთელი რიგი თავისებურებებისა რომლებიც სისტემის მდგრადობას და საიმედოებაზე უარყოფით გავლენას ახდენს. რომელთაგან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ქარის ცვალებადობით გამოწვეული გენერაციის არასტაბილურობა. ასევე ქარის გენერატორების ჩართვის შემთხვევაში თბობლოკების გამორთვა გახდება საჭირო, რაც გამოიწვევს

სისტემაში ინერციის მუდმივის შემცირებას რაც სისტემის მდგრადობას შეასუსტებს, რადგან ქარის გენერატორს აქვს მცირე ინერციის მუდმივა.[3]

საქართველოს ელექტროსისტემაში ჩატარდა სისტემის მდგრადობის ანალიზი ქარის ელექტროსადგურების, ძლიერი ქარის შედეგად, გამორთვის შემთხვევაში. გამოყენებული იქნა პროგრამა PSS/E.[4] ქარის სადგურების აშენება იგეგმება ზესტაფონის, ხაშურის ან გორისმახლობლად. ქარის სადგურების გათიშვისას ძლიერი ქარის დროს, სისტემამ უნდა შეძლოს წარმოქმნილი დეფიციტის დაფარვა ისე, რომ არ მოხდეს სიხშირის შემცირება სიხშირის ავტომატური განმტვირთვების (საგ) ამოქმედების დანაყენებამდე. მოდელირება ჩატარდა 2017, 2018 და 2020 წლის ზაფხულის მინიმალური დატვირთვის რეჟიმებისათვის. კრიტერიუმად აღებული იყო სიხშირის შემცირება 49,2 ჰერცამდე. მოდელირება ჩატარდა შემდეგი რეჟიმებისათვის: 2015 წელი, ჯამური დატვირთვა 875 მგვტ, 2018 წელი ჯამური დატვირთვა 1250 მგვტ და 2020 წელი, ჯამური დატვირთვა 1400 მგვტ. მოდელირების შედეგებმა აჩვენა, რომ 2015 წელს, საქართველოს ენერგოსისტემაში ქარის გენერაციის მაქსიმალური დადგმული სიმძლავრე არ უნდა იყოს 50 მგვტ ზე მეტი, 2018 წელს - 100მგვტ.-ზე მეტი, 2020 წელს- 120 მგვტ.-ზე მეტი. ასეთი გენერაციის უეცარი დაკარგვა გამოიწვევს სიხშირის შემცირებას საგ-ის ამოქმედების სიხშირემდე 49,2 ჰერცამდე, შესაბამის წლებისათვის სიხშირის მრუდები ნაჩვენებია ნახ.18-ზე.

ქარის პოტენციალის ათვისების შესაძლებლობის 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.



ნახ. 18. 2017, 2018, 2020 წლების რეჟიმებისათვის ქარის ელ.სადგურის გამორთვის შემთხვევაში სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ.სისტემაში

1.5. ქარის ელექტროსადგურზე ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების ანალიზი

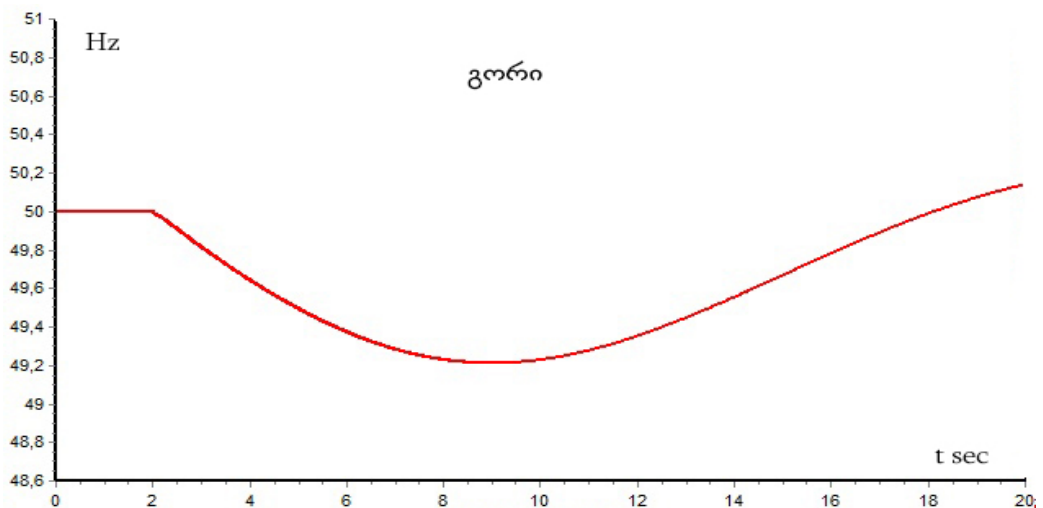
ქარის სადგურების გაზრდილმა სიმძლავრემ შეუქმნა ელექტრულ სისტემებს საკმაოდ სირთულეები. ეს გამოწვეულია ორი ფაქტორით.

1. ქარის რაღაც სიდიდეზე მეტად უეცარი გაძლიერების ან შესუსტების დროს ქარის სადგური ჩერდება. ეს ქმნის სისტემაში გარკვეულ დეფიციტს და კარნახობს სწრაფად მომქმედი სარეზერვო სიმძლავრეების აუცილებლობას.
2. როდესაც ქარის სიჩქარე სადგურისთვის მისაღებ ფარგლებშია, მაშინაც ეს სიჩქარე არ არის მუდმივი . მის ცვლილებასთან ერთად იცვლება სადგურის მიერ გენერირებული სიმძლავრე.
ეს ყველაფერი ართულებს სისტემის დისპეტჩერულ მართვას.

საქართველოში იწყება ქარის ენერჯის ათვისება, კერძოდ გორში აშენდა 20 მეგავატი სიმძლავრის პირველი ქარის ელექტროსადგური.

ელ.სისტემის საინჟინრო მოდელირების პროგრამების მეშვეობით შევისწავლოთ თუ როგორ იმოქმედებს ქარის სადგურის ინტეგრაცია საქართველოს ელექტრულ სისტემაში, სისტემის რეჟიმებზე.

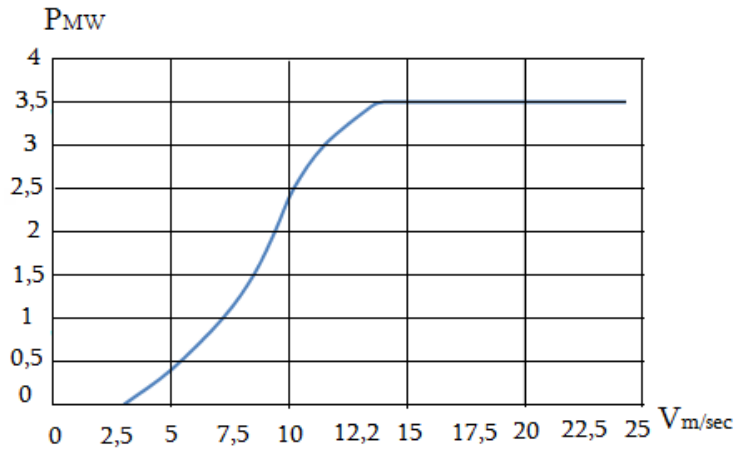
პირველ რიგში საჭიროა შევისწავლოთ საკითხი, თუ როგორ შეიცვლება სისტემის სიხშირე ამ სადგურის უეცარი გამორთვის შედეგად. ამისათვის პროგრამა PSS/E საშუალებით მოხდა ზამთრის მაქსიმალური და ზაფხულის მინიმალური რეჟიმების მოდელირება.[26]



ნახ. 19. 20 მეგავატიანი ქარის ელ.სადგურის გამორთვის შემთხვევაში სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ.სისტემაში

როგორც ვხედავთ ნახ.19 - ზე 20 მეგავატი გენერაციის დაკარგვა არ იწვევს სიხშირის დიდ გადახრებს. მაგრამ ამ სადგურის სიმძლავრის გაზრდა 75-100 მეგავატამდე უკვე ქმნის პრობლემებს და იწვევს საგების მოქმედებას.

განვიხილოთ ქარის სადგურის მეორე თავისებურება. ქარის სიჩქარის არასტაბილურობა. ქარის გენერატორის სიმძლავრის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე ნაჩვენებია ნახ.20-ზე. თუ ქარის სიჩქარე 14,5 მ/წმ ზე მეტია , გენერატორის სიმძლავრე მუდმივია და ნომინალურის ტოლია. ქარის სიჩქარის 3მ/წმ - 14,5 მ/წმ

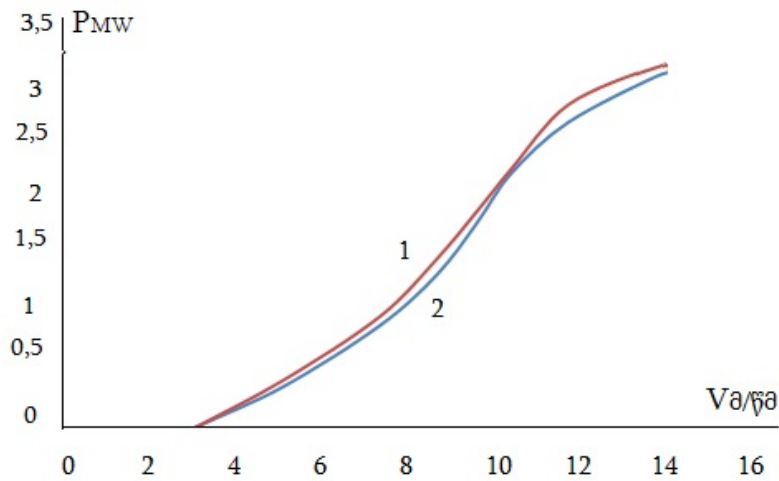


ნახ. 20. ქარის ელ.სადგურის მიერ გამოიმუშავებული სიმძლავრის ცვლილება ქარის სიჩქარის ცვლილების მიხედვით

ფარგლებში გენერატორის სიმძლავრე დამოკიდებულია ქარზე შემდეგნაირად

$$P = -0,001V^4 + 0,02798V^3 - 0,2469V^2 + 1,0776V - 1,62$$

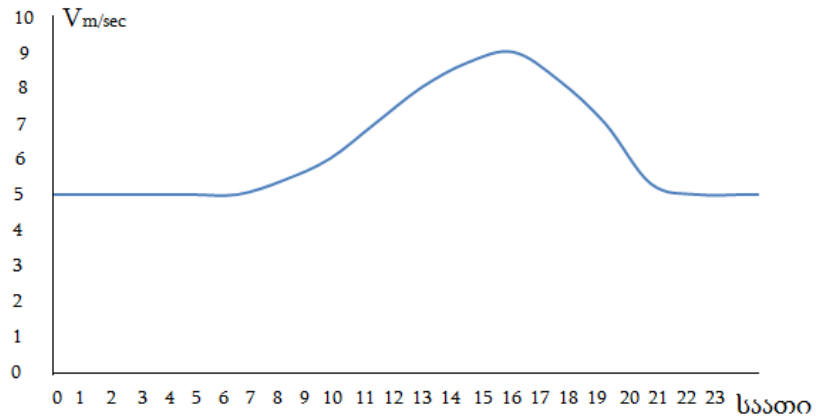
სადაც სიმძლავრე მეგავატებითაა, ქარის სიჩქარე კი მ/წმ.



ნახ. 21. ქარის ელ.სადგურის სიმძლავრის მახასიათებელი

აქ მრუდი 1 ეს ნახ.21 მოცემული მახასიათებლის აღმავალი ნაწილია, მრუდი 2 კი ზემოთ მოყვანილი მეოთხე ხარისხის მრავალწევრია. ამ გამოსახულების საშუალებით შესაძლებელია ქარის სადგურის სიმძლავრის მრუდის დადგენა ქარის სხვადასხვა სიჩქარის დროს. გორის მახლობლობაშიჩვენ განვიხილეთ რამოდენიმე სახასიათო და ავილოთ გორის მახლობლობაშიქარის სიჩქარის გრაფიკები Rambler-ის ამინდის პროგნოზიდან.

2016 წლის 3 სექტემბერი, ნახ.22

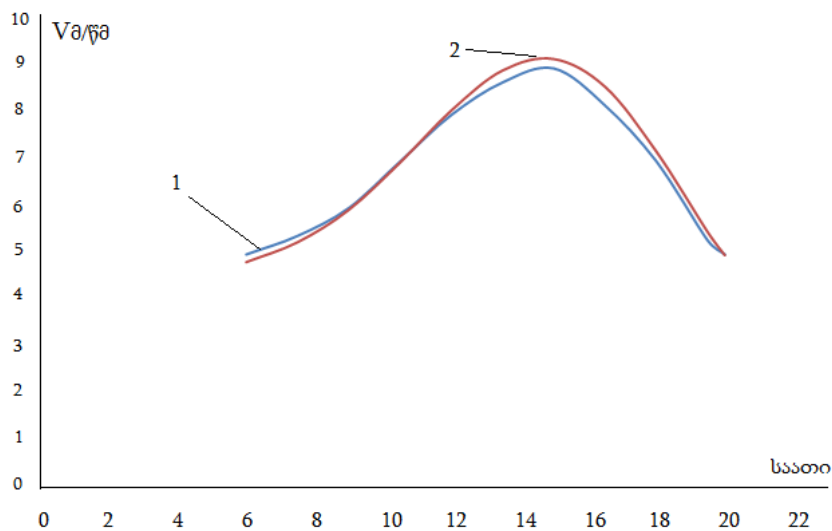


ნახ. 22. ქარის სიჩქარე საათების მიხედვით

0 საათიდან 6 საათის ჩათვლით ქარის სიჩქარე მუდმივია, ის უდრის 5მ/წმ. ასევე 20 საათიდან ქარის სიჩქარე მუდმივია და ისევე 5 მ/წმ უდრის. 6 დან 20 საათამდე ქარის სიჩქარე ცვლადია. ზემოთ მოყვანილ გრაფიკს შეესაბამება ცხრილი

t	0	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18	19.5	21	22.5	24
V	5	5	5	5	5	5.4	6	7	8	8.7	9	8.2	7	5.3	5	5	5

ამ ცხრილის საშუალებით ავაგეთ ქარის სიჩქარის გრაფიკის ცვლადი ნაწილი (მრუდი 1) და ვიპოვეთ მიღებული მრუდის ტრენდი, ნახ 23



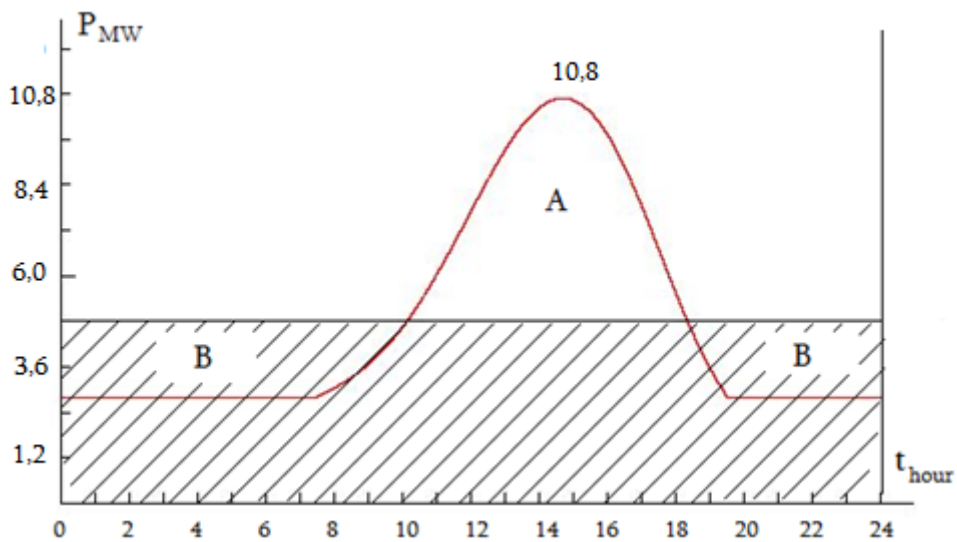
ნახ. 23. ქარის სიჩქარის გრაფიკი

ეს მრუდი (მრუდი 2) გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$V = 0,00015t^5 - 0,009011 * t^4 + 0,1971t^3 - 1,9593t^2 + 9,311t - 12,358$$

თუ ქარის სიჩქარე 14,5 მ/წმ ზე მეტია , გენერატორის სიმძლავრე მუდმივია და ნომინალურის ტოლია. ქარის სიჩქარის 3მ/წმ - 14,5 მ/წმ ფარგლებში გენერატორის სიმძლავრე დამოკიდებულია ქარის სიჩქარეზე.

მიღებული გამოსახულების საფუძველზე შედგენილი იქნა პროგრამა, რომლის საშუალებით გავიანგარიშეთ ქარის გენერატორის სიმძლავრის ცვლილება 24 საათის განმავლობაში ნახ.24 როგორც ვხედავთ ნახატიდან ქარის სადგურის გენერაცია დღე-ღამის განმავლობაში იცვლება საკმაოდ დიდ ფარგლებში. 24 საათში გამომუშავებული ენერგია კი შეადგენს 115.2 მგვტ-სთ. ასეთი ცვლადი სიდიდის სიმძლავრის წყარო, დამოკიდებული ქარის სიჩქარეზე არ არის კარგი სისტემის რეჟიმების დისპეტჩერიზაციის თვალსაზრისით. უკეთესი ვარიანტი იქნება, თუ ქარის სადგური მიაწვდის სისტემას 24 საათის განმავლობაში მუდმივ სიმძლავრეს. ეს შესაძლებელია, თუ ქარის სადგურზე იქნება დადგმული ენერჯის დამაგროვებელი.

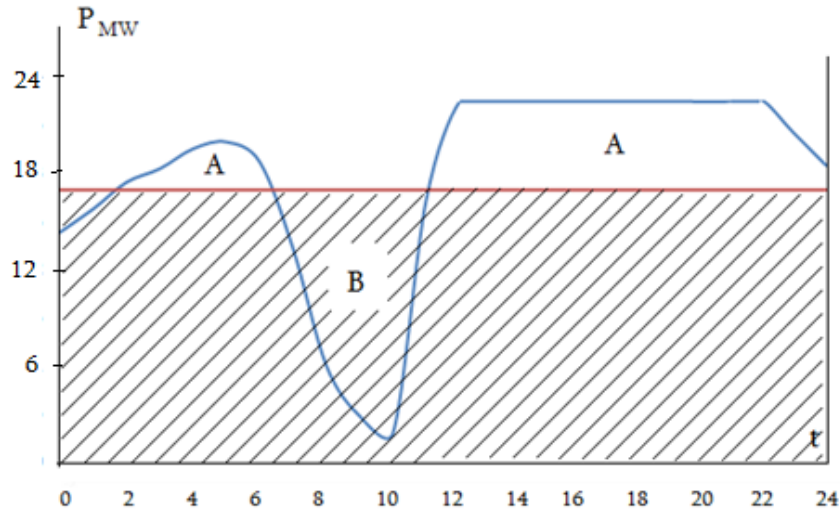


ნახ. 24. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების სქემა

დამაგროვებელი B არეებში გასცემს სიმძლავრეს სისტემაში, ხოლო A არეაში კი მოხდება ენერჯის დაგროვება მასში. ამ შემთხვევაში ქარის

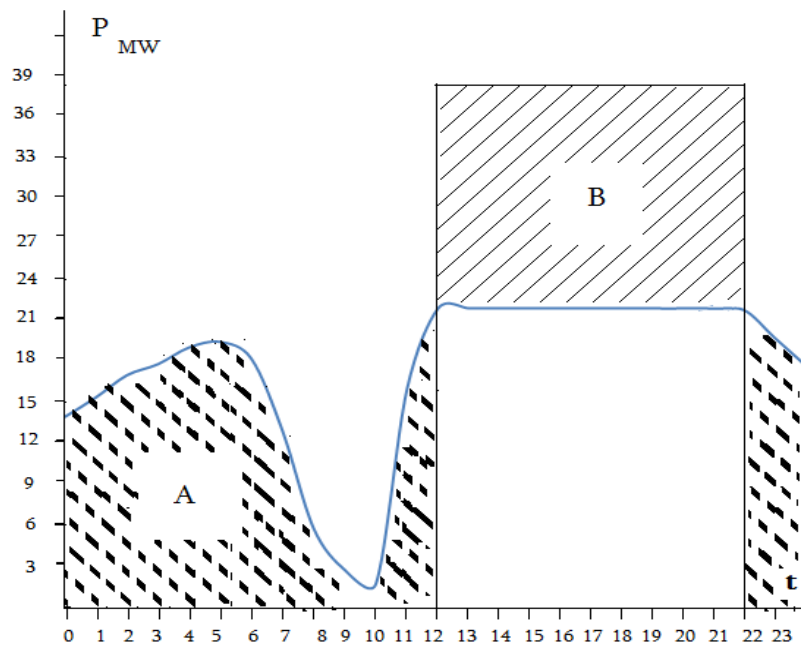
სადგურის+ დამაგროვებლის 4,8 მგვტ სიმძლავრე მიეწოდება სისტემას 24 საათის განმავლობაში. ბატარეის ტევადობა უნდა იყოს 28,8 მგვტ*სთ.

2017 წლის 1 თებერვალს ქარის სადგურის იქნებოდა შემდეგნაირი, ნახ 25.



ნახ. 25. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების სქემა

აქაც ბატარეის საშუალებით სადგურს შეუძლია 24 საათის განმავლობაში გასცეს სისტემაში 16,8 MW. ბატარეის ტევადობა უნდა იყოს 67,8 MW*h შესაძლებელია ქარის სადგურის და ბატარეის ერთობრივი



ნახ. 26. ენერჯის დამაგროვებლის გამოყენების სქემა

მოქმედებით მიიღოთ სხვა , ჩვენთვის სასურველი გრაფიკი. ვთქვათ, საჭიროა ბატარეის გამოყენება 12 დან 22 საათამდე.

მაშინ ბატარეა იტენება 0 დან 12 და 22 დან 0 საათამდე . ამ დროს ქარის სადგურის სიმძლავრე სისტემას არ მიეწოდება. 12 საათიდან 22 საათამდე სისტემას მიეწოდება ქარის სადგურის იმძლავრე 21 მგვტ პლუს ბატარეის სიმძლავრე, ნახ.26 ბატარეა იტენება A არეას ფართის ტოლი ენერგიით და გასცემც ქსელში იმავე ენერგიას (B არეა).

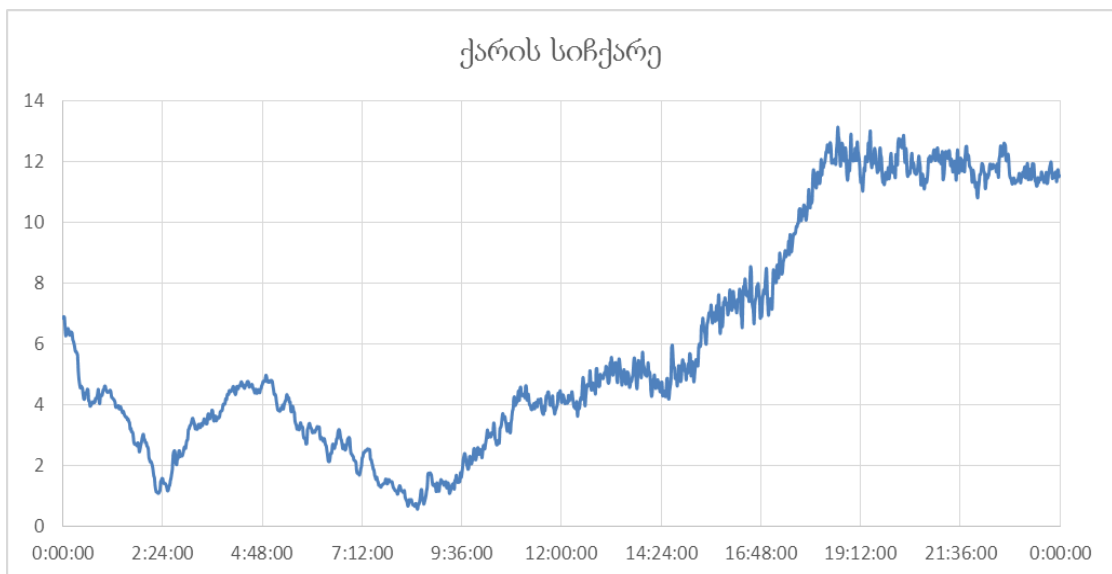
მსოფლიოში ბატერეები ფართოდ გამოიყენება წარის სადგურებთან ერთად. მაგალითად :ტეხასის ქარის Notrees Wind power 154 მგვტ 9 ბატარეა $36\text{მგვტ} \cdot 0,25 \text{ საათი} = 81 \text{ მგვტ} \cdot \text{სთ}$ კანადაში Clear Creek Flywheel Wind Farm 20 მგვტ სიმძლავრის ქარის სადგურზე დგას 5 მგვტ სიმძლავრის ათი მქნევარიანი დამაგროვებელი. აშშ ვირჯინიის შტატში ბატარეა 34 მგვტ*სთ ქარის სადგური 98მ გვტ ჩინეთში 500 მეგავატიან ქარის და 100 მგვტ-იან მზის ელექტროსადგურზე დადგმულია 100 მგვტ სიმძლავრის დამაგროვებელი.

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

2.1. გორის ქარის ელექტროსადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის ცვლილების ხასიათის ანალიზი

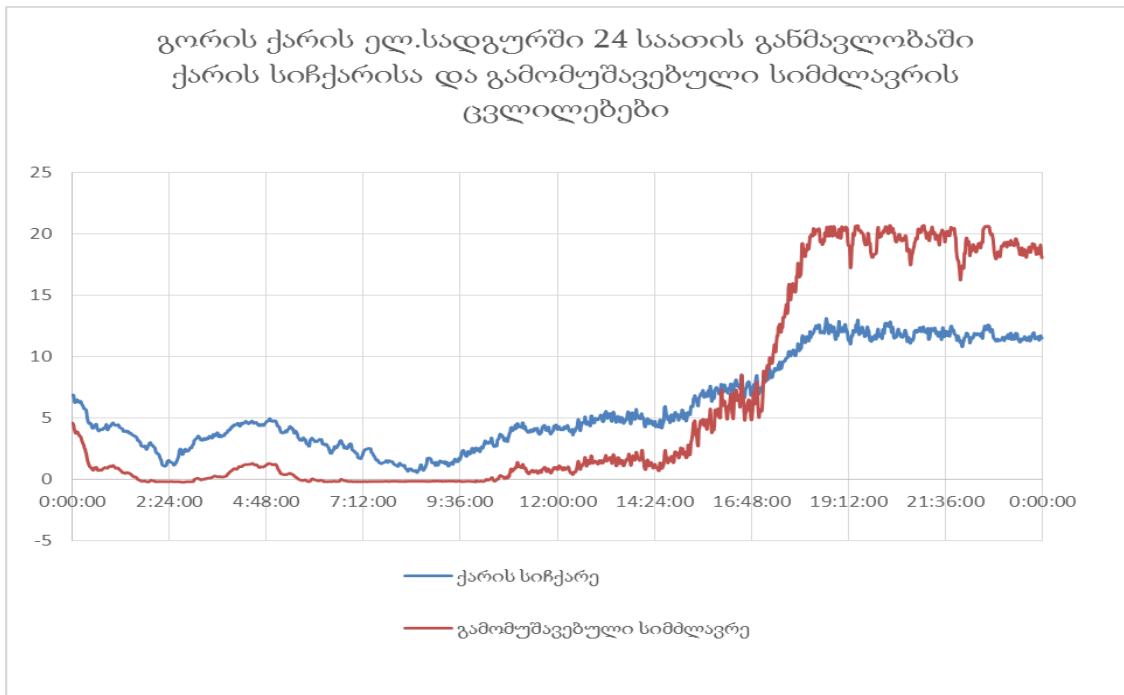
გორის ქარის ელ.სადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის სიჩქარის ცვლილების ხასიათის შესასწავლად მოხდა 2017 წლის 5 აპრილის 24 საათის განმავლობაში წუთობრივი ინფორმაციის გაანალიზება ნახ.27

ქარის სიჩქარის მრუდზე ჩანს რომ 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,



ნახ. 27. ქარის სიჩქარე 24 საათის განმავლობაში

ქარის სიჩქარის დამოკიდებულება გამომუშავებულ ენერგიასთან ნაჩვენებია ნახ.28ზე.

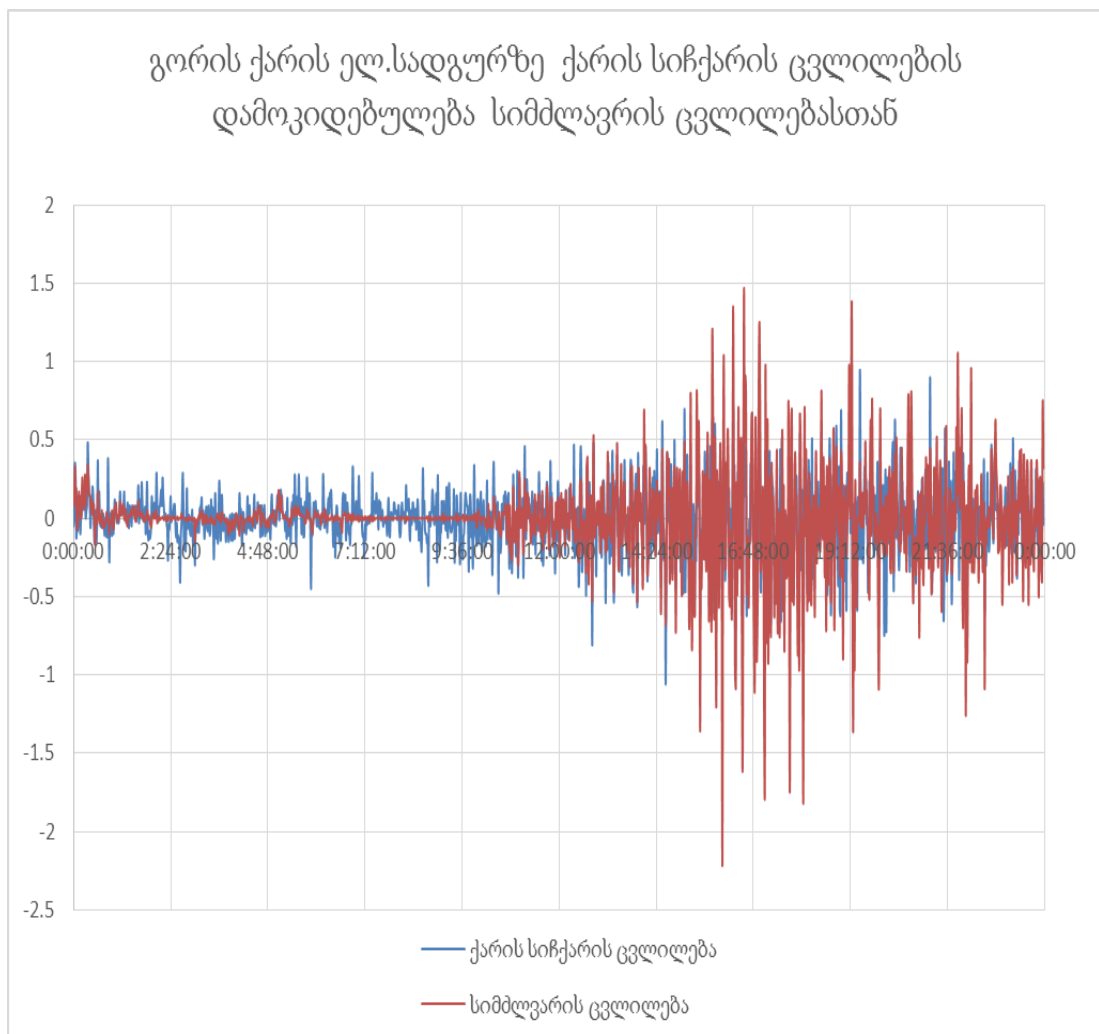


ნახ. 28. გორის ქარის ელ.სადგურზე 24 საათის განმავლობაში ქარის სიჩქარისა და გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილებები

ნახ.28 დან ჩანს რომ 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 ენერგიის 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 ენერგია ქარის სიჩქარის მესამე ხარისხის პროპორციულია ამ შუალედში ქარის მატებასთან შედარებით გაცილებით სწრაფად იზრდება გამომუშავებული ენერგია, 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.

ქარის სიჩქარის ცვლილების დამოკიდებულება გენერაციის ცვლილების დამოკიდებულებასთან ნაჩვენებია ნახ. 29 ზე:



ნახ. 29. გორის ქარის ელ.სადგურზე ქარის სიჩქარის ცვლილების დამოკიდებულება სიმძლავრის ცვლილებასთან

2.2. საქართველოს ელ.სისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით 2018 წელს ქარის ინტეგრაციის შესაძლებლობის გათვალისწინებით, 2018 წლის პერსპექტიულ რეჟიმში ქარის ელ.სადგურების ელ.სისტემაში ინტეგრაციის ელ.სისტემის ელ.პარამეტრებზე გავლენის ანალიზი

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 ეს სიმძლავრე რეგიონების მიხედვით ნაწილდება შემდეგნაირად[2] ცხრ.2

ცხრილი 2. საქართველოს ელ.სისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით საქართველოს ელექტროსისტემაში ქარის ელ.სადგურების დასაშვები დასაინტეგრირებელი სიმძლავრეები წლების მიხედვით.

რეგიონი	ჯამური დასაშვები სიმძლავრე, მგვტ													
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
ფოთი	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
ჭოროხი	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
ქუთაისი	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
მთა-საგურეთი I	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
მთა-საგურეთი II	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
გორი-კასპი	21	21	21	21	21	21	21	21	28	33	39	44	45	46
ფარავანი	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
სამგორი	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46
რუსთავი	8	9	9	10	11	12	16	22	28	33	39	44	45	46

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.

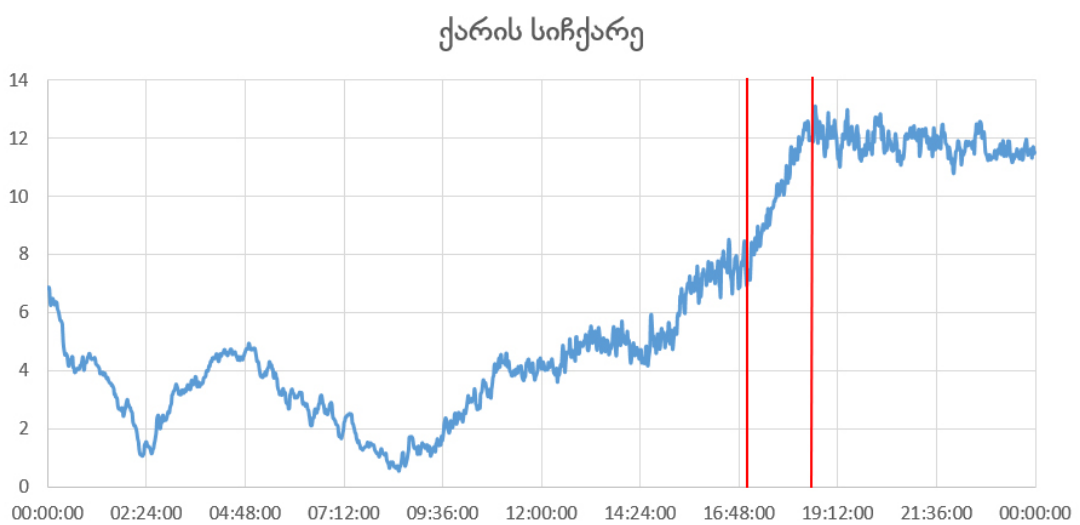
საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E -ში ჩატარდა მოდელირება სადაც წინასწარ მიცემული მახასიათებლის მიხედვით, იცვლებოდა ქარის ელ.სადგურების მიერ გამოიმუშავებული ელ. ენერგია, პროგრამა PSS/E - ის არ შეუძლია იანგარიშოს გარდამავალი პროცესი 24 საათის განმავლობაში რადგან ინფორმაცია რომელიც შედეგის სახით გამოდის ძალიან დიდი იქნება და მის შესაძლებლობს აღემატება, ამიტომ

ანგარიში ჩატარდა 10 წუთის დიაპაზონში, გორის ქარის ელ. სადგურის მახასიათებლიდან აღებულია 10 წუთის დიაპაზონი[4] ნახ.30

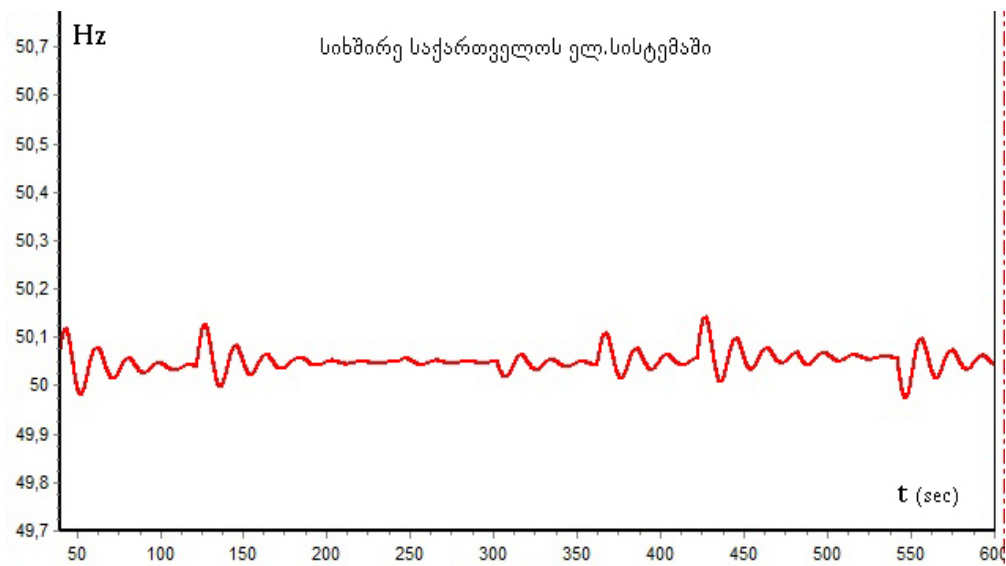
რომელშიც ქარის სიჩქარე ყველაზე მკვეთრად იცვლებოდ და სხვა სადგურების სიმპლავრის მახასიათებლებიც ამის მიხედვით არის შედგენილი.

ანგარიშის შედეგად დადგინდა რომ ქარის ელ.სადგურების გენერაციის ცვლილება სიხშირეს ცვლის $\pm 0,1$ ჰერცის ფარგლებში ნახ. 31

ნახ.31-ზე მრუდიდან ვხედავთ რომ სიხშირის ცვლილება ხდება $\pm 0,1$



ნახ. 30. ქარის სიჩქარის მრუდი 24 საათის განმავლობაში

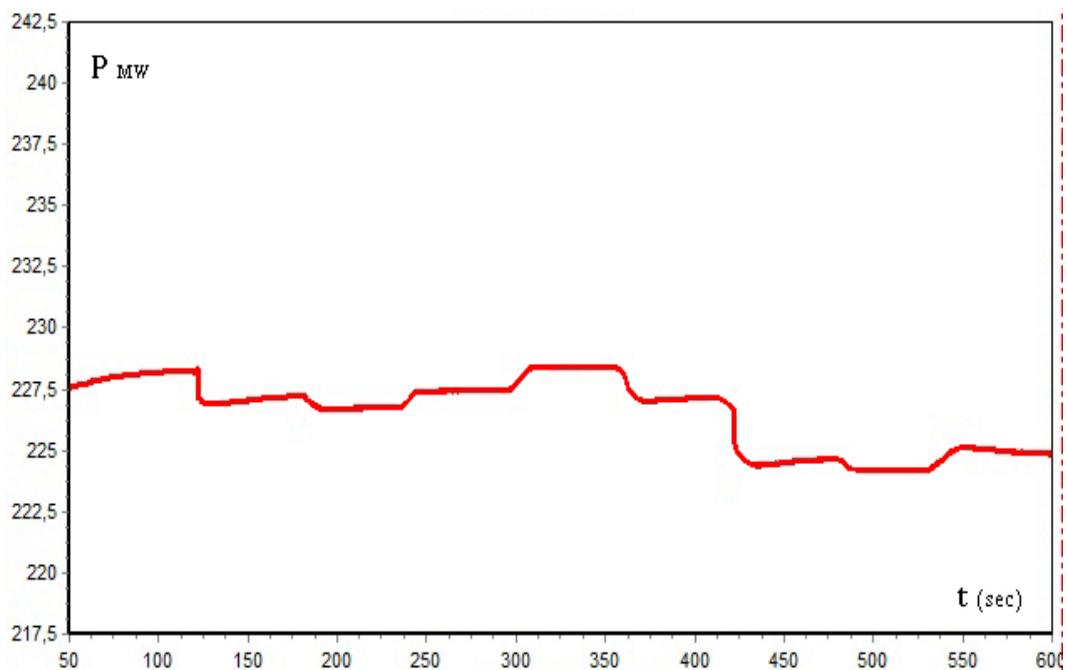


ნახ. 31. ქარის ელ.სადგურზე გენერაციის ცვლილებით გამოწვეული სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ. სისტემაში

ჰერცის დიაპაზონში რაც დასაშვებია ქსელის წესების მიხედვით.

No	ადგილმდებარეობა	სიმძლავრე (გვვტ)	წლიური გამოუშვავება (მლნ.კვტსთ)
1	ფოთი	50	110
2	ჭორონი	50	120
3	ქუთაისი	100	200
4	მთა-საბურთი I	150	450
5	მთა-საბურთი II	600	2000
6	გორი-კასპი	200	500
7	ფარავანი	200	500
8	სამგორი	50	130
9	რუსთავი	50	150
	ჯამი	1450	4160

ნახ. 33. საქართველოს სხვადასხვა მხარეში ქარის ელ სადგურების პოტენციური სიმძლავრეები



ნახ. 32. ქარის ელ.სადგურებზე გენერირებული სიმძლავრის ცვლილებით გამოწვეული სიმძლავრის გადადინების ცვლილება ეგზ იმერეთზე

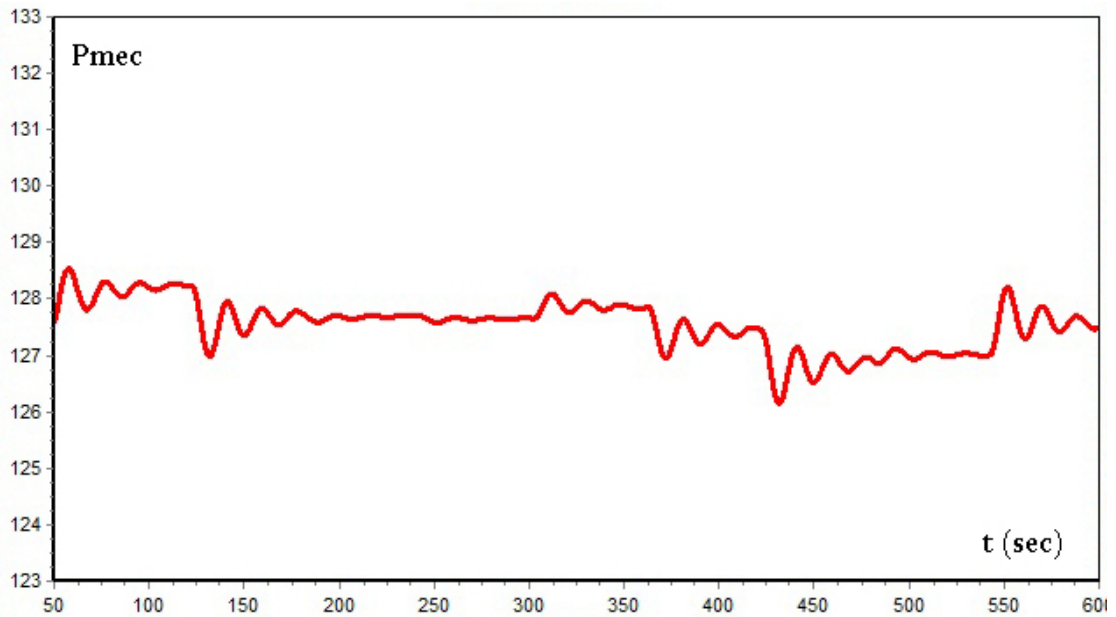
ესეთი პატარა შემოთხვევა ელ.სისტემაში სიხშირის რეგულატორების გამართულ მდგომარეობაში ყოფნის დროს სისტემის მდგრადობისათვის საფრთხეს არ ქმნის. თუმცა ქარის ენერგეტიკული პოტენციალის გათვალისწინებით ნახ.32 სიმძლავრის 3 ჯერ ან მეტჯერ გაზრდის შემთხვევაში რაც დაგეგმილია სამომავლოდ, სიხშირის ცვლილება შეიძლება გავიდეს ქსელის წესების დასაშვებ ფარგლებში. [2]

ნახ.33 ზე ნაჩვენებია ქარის ელ.სადგურებზე გენერირებული სიმძლავრის ცვლილებით გამოწვეული სიმძლავრის გადადინების ცვლილება ეგზიმერეთზე, ამ ანგარიშის დროს ვინაიდან ელ.სისტემის სხვა გენერატორების მიერ გენერირებული სიმძლავრეები არ იცვლებოდა ეგზიმერეთზე სიმძლავრის გადადინების ცვლილებას მხოლოდ ქარის ელ.სადგურები ახდენდნენ.

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 პრობლემა რაც დაკავშირებული იქნება გადადინების ცვლილებასთან.

თუ ეგზ. იმერეთის მაქსიმალური დასაშვები გამტარებლობა არის 800 მგვტ სისტემაში ქარის ელ.სადგურების დიდი რაოდენობის არსებობის შემთხვევაში შეიძლება ეგზ. იმერეთის დატვირთვა ვერ მოხდეს სრული სიმძლავრით რადგან ქარის ცვლილების ალბათობის 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.

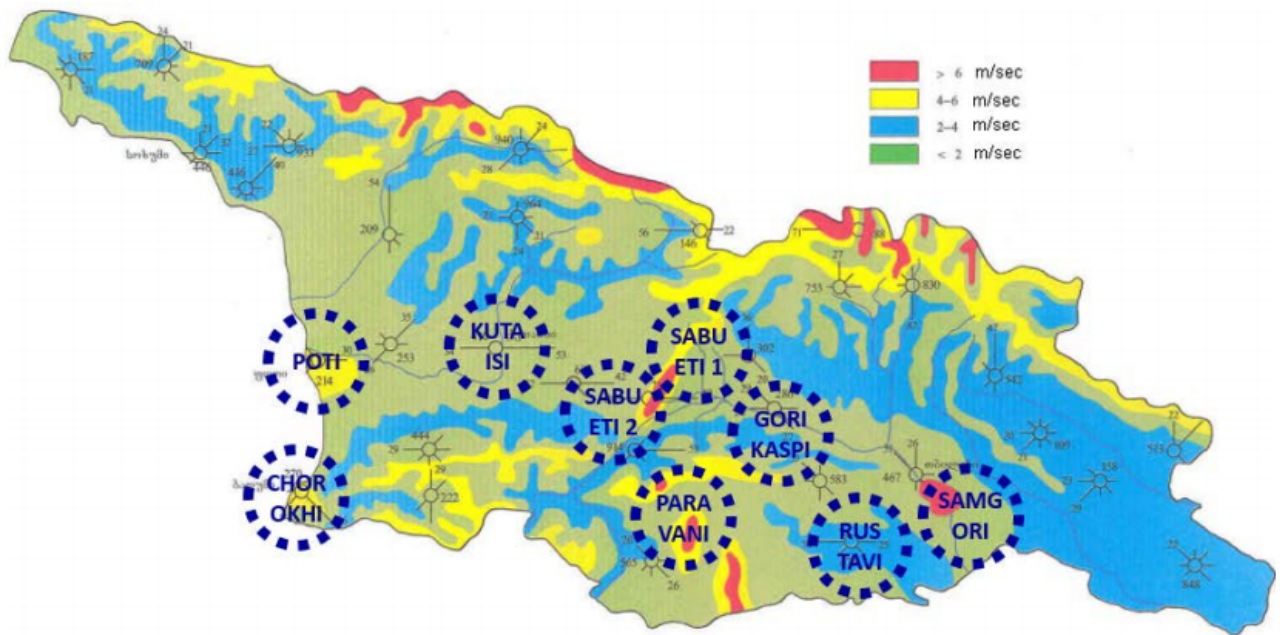
ენგურჰესი არის ერთ-ერთი მთავარი სიმძლავრის მახალანსირებელი სადგური საქართველოში, ნახ 34 ზე ნაჩვენებია როგორ იცვლება ენგურჰესის პირველი გენერატორის მექანიკური სიმძლავრე ქარის ელ.სადგურებზე ხისიქარის ცვლილებით გამოწვეული სიმძვარის დეფიციტის აღმოსაფხვრელად.



ნახ. 34. ქარის ელ.სადგურებზე გენერირებული სიმძლავრის ცვლილებით გამოწვეული ენგურჰესის პირველი გენერატორის მექანიკური სიმძლავრე

2.3 ქარის ენერგეტიკული პოტენციალი საქართველოში

ქარის ენერგეტიკა მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე მზარდი დარგია. ზოგ ქვეყანაში ქარის ენერჯის წილი მთლიან გამომუშავებაში თითქმის 50% შეადგენს. საქართველოს გააჩნია ქარის ენერჯის მნიშვნელოვანი პოტენციალი, რომლის საშუალო წლიური რაოდენობა 4 მლრდ კვტ.სთ - მდე არის შეფასებული. ქვეყანაში გამოიყოფა 9 ზონა, სადაც შესაძლებელია ქარის ელექტროსადგურების მშენებლობა. ქარის გეოგრაფიული ზონები[2] ნახ.35 ეს ზონები, შესაბამისი პოტენციური სიმძლავრეებითა და ელ.ენერჯის წლიური გამომუშავებით მოცემულია ნახ.32- ში.



ნახ. 35. ქარის გეოგრაფიული ზონები

2.4 საქართველოს ელ.სისტემაში ქარისა და მზის ელ.სადგურების ჯამური დასაშვები სიმძლავრეები წლების მიხედვით

ქარის ელ.სადგურების დიდი სიმძლავრის ინტეგრაციისათვის სისტემა უნდა ხასიათდებოდეს შემდეგით პარამეტრებით:

- საკმარისი ინერციის მუდმივა (ენერგოსისტემის მომუშავე აგრეგატების ჯამური დადგმული სიმძლავრე).
- მძლავრი და ურთიერთდარეზერვებული როგორც შიდა ასევე სისტემათშორისი გადამცემი ქსელი.
- ენერგოსისტემის მოქნილობა, საკმარისი სიმძავრის 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.

საქართველოს ენერგოსისტემის დღევანდელი ტოპოლოგიის, შემადგენლობის, რეზერვების უწრუნველსაყოფად, ავარიის განვითარების ახალი წყაროების გაჩენის, ელექტროენერჯის ხარისხის გაუარესებისა და მომხმარებლების შეზღუდვის ასარიდებლად, საქართველოს გადამცემ ქსელში ქარის ენერჯის ინტეგრირება უნდა მოხდეს ენერგოსისტემის სარეზერვო სიმძლავრეებისა და ქსელის განვითარების თანმიმდევრულად, კერძოდ შემდეგი პირობების გათვალისწინებით:

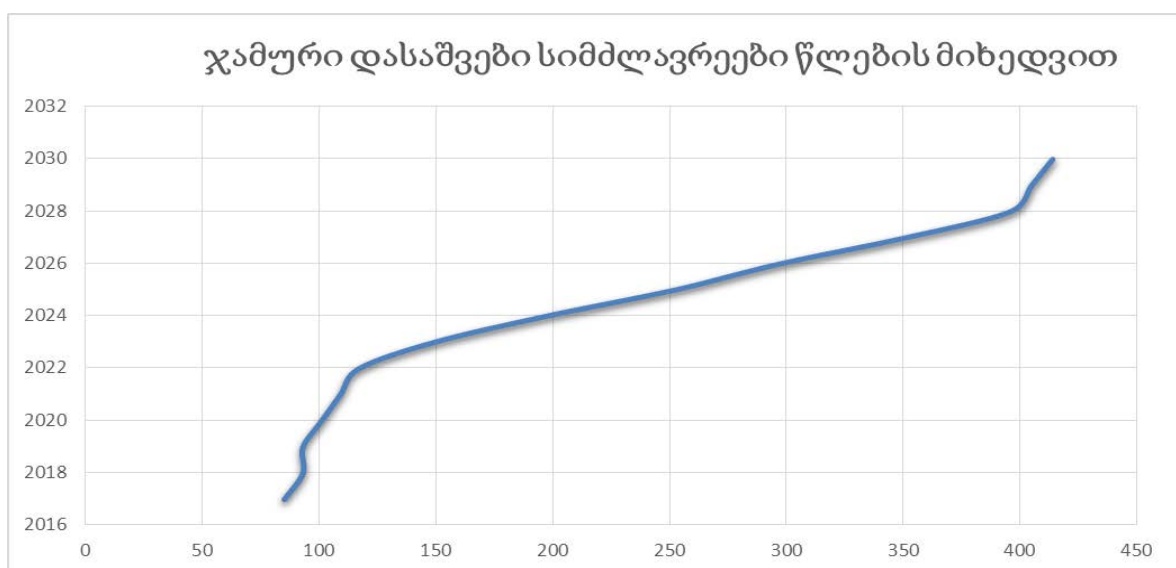
2020 წლამდე ენერგოსისტემაში ჩართული დადგმული სიმძლავრე არ უნდა აღემატებოდეს 100 მგვტ-ს, თუმცა ეს სეიძლება განხორციელდეს სემდეგი პირობების გათვალისწინებით:

- არსებული წყალსაცავიანი ჰესების (ლაჯანური, შაორი, ძევერულა, გუმათი^{1,2}, რიონი, ვარციხე¹) აგრეგატების სიჩქარის რეგულატორებისა და ყველა 1 მგვტ და უფრო მძლავრი აგრეგატის ძაბვის რეგულატორის რაბილიტაცია:
- ქარის ელექტროსადგურების აშენება ისე, რომ დადგმული სიმძვარე თანაბრად გადანაწილდეს ქარის ზონების მიხედვით:

2021 წლიდან 2030 წლამდე სისტემაში სულ 400 მგვტ ქარის ელ.სადგურების დადგმული სიმლზავრის არსებობა დასაშვებია მხოლოდ შემდეგი პირობების შესრულებისას:

- ეგბ. იმერეთის პარალელური 500 კვ მაგისტრალის „ჯვარი-წყალტუბო-ახალციხე“ ექსპლუატაციაში შესვლა
- რუსეთთან დამაკავშირებელი მეოე 500 კვ ელექტროგადამცემი ხაზის ექსპლუატაციაში შესვლა
- მძლავრი მარეგულირებელი ჰესების (ხუდონი, ნამახვანი, ნენსკრა და ცხენისწყალი) ექსპლუატაციაში შესვლა:
- არსებულ ქარის ზონებზე ჯამური 400 მგვტ ქარის სიმძლავრის იმგვარად განაწილება, რომ თითოეულ ზონაში არ იყოს 45 მგვტ-ზე მეტი:
- ძალიან მაღალი სიზუსტის ქარის პროგნოზირებისა, SCADA-სთან ინტეგრირებული ქარის გენერაციის ქსელში ინტეგრირების ანალიზის სპეციალური პროგრამების დანერგვა, ათვისება.

ანგარიში ჩატარდა 2017 დან 2030 წლამდე ზაფხულის მინიმალურ რეჟიმებში, მაქსიმალური დასაშვები სიმძლავრე ქსელის უსაფრთხო მუშაობისათვის 2017 წლისათვის შედაგენს 85 მგვტ-ს. 2027 წლისათვის 414 მგვტ-ს. შედეგები ყველა წლისათვის ნაჩვენებია[2] ნახ.36 ზე



ნახ. 36. საქართველოს ელექტროსისტემის 10 წლიანი განვითარების გეგმის მიხედვით ქარის ელ.სადგურების მაქსიმალური დასაშვები დასაინტეგრირებელი სიდიდეები

2.5. საქართველოს ელ.სისტემაში ქარის ელ.სადგურების ინტეგრაციის გავლენა სისტემის მდგრადობაზე

ელექტრულ სისტემაში ჩართულია მილიონობით მოწყობილობა რომელიც გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიეს სხვა სახის ენერგიად: ნათურები, ძრავები, ღუმელები, ელექტრონული აპარეტურა 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. [9]

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 შევავსოთ 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. [9]

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

შენარჩუნოს 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.

სისტემის მდგრადობაში საკმაოდ დიდი როლი უჭირავს ინერციის მუდმივას T_j -ს, T_j განისაზღვრება ჰიდრო ან ტურბო აგრეგატების მბრუნავი მასების ინერციულობით,

$$J \frac{d\omega}{dt} = \Delta M$$

$J = GD^2/4$ აქ G - წონაა, D - აგრეგატის როტორის დიამეტრი. აქედან გამომდინარეობს რომ ჭარბი მომენტი ქმნის აჩქარებას, მომენტის დეფიციტი კი შეანელებს როტორს.

ბრუნვის სიხშირეს გამოისახება ფარდობით ერთეულებში,

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \omega_*$$

სადაც ω არის ამჟამინდელი ბრუნვის სიხშირე. აქედან გამომდინარე მოძრაობის განტოლებაში რომ ჩავსვათ მივიღებთ,

$$J\omega_0 \frac{d\omega_0}{dt} = M_\tau - M_L = \Delta M$$

ამ განტოლებაში ჭარბი მომენტი ΔM მოცემულია როგორც ტურბინისა M_T და დატვირთვის M_L მომენტების სხვაობა. მომენტების გამოსახვა მოხერხებულია ფარდობით ერთეულებში ამიტომ მარცხენა და მარჯვენა მხარეები უნდა გავყოთ ნომინალურ მომენტზე,

$$\frac{J\omega_0}{M_{\text{ნომ}}} \cdot \frac{d\omega_0}{dt} = \frac{\Delta M}{M_{\text{ნომ}}} = \Delta M.$$

გამოსახულება $J\omega_0/M_{\text{ნომ}}$ განსაზღვრავს დროის მუდმივას T_J , მოძრაობის განტოლება ჩავწეროთ ესეთ ფორმაში,

$$T_J \frac{d\omega_0}{dt} = \Delta M.$$

T_J ის გამოთვლა ხდება შემდეგი ფორმულით

$$T_J = \frac{2,74GD^2 n^2 10^{-6}}{P_{\text{ნომ}}}$$

სადაც GD^2 არის აგრეგატის ინერციის მომენტი, n - ბრუნვის სიხშირე ბრ/წთ; $P_{\text{ნომ}}$ - აგრეგატის ნომინალური სიმძლავრე, მეგავატებში.

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.[8]

ესეთ შემთხვევაში თუ ელ.სისტემის გენერაციის მნიშვნელოვანი წილი მოვა ქარის ელ.სადგურებზე მოხდება სისტემაში ინერციის მუდმივის კლებას რაც ელ.სისტემის მდგრადობას შეშფოთებების 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:

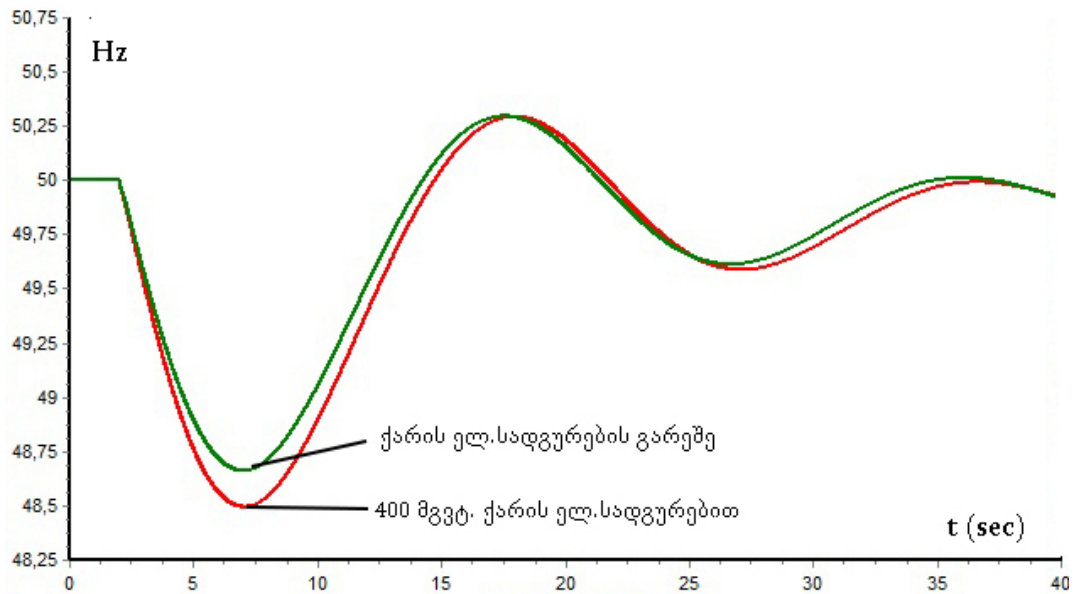
1. საქართველოს ელ.სისტემაში გენერაცია ხდება მხოლოდ ჰიდრო ელ.სადგურების მიერ. ხდება ეგხ. “მუხრანის ველის“ გამორთვა. რაც იწვევს საქართველოს ელ.სისტემაში 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტს. ნახ.37
2. საქართველოს ელ.სისტემაში გენერაცია ხდება როგორც ჰიდრო ელ.სადგურების მიერ ასევე ქარის ელ.სადგურების მიერ ჯამური გენერაციით სისტემაში 400 მგვტ. ხდება ეგხ. “მუხრანის ველის“ გამორთვა. რაც იწვევს საქართველოს ელ.სისტემაში 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტს. ნახ.37

ჩატარებული ანგარიშის საფუძველზე მოხდა დაკვირვება როგორ შეიცვლება სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში, ზემოთ ხსენებულ ორივე შემთხვევაში ნახ.37.

ნახ.37-ზე მწვანე მრუდით არის ნაჩვენები სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში ეგხ. “მუხრანის ველის“ გამორთვის შედეგად გაჩენილი 400 მგვტ. სიმძლავრის დეფიციტის შედეგად როდესაც საქართველოს ელ.სისტემის გენერაცია სრულად ჰიდროელექტროსადგურების გენერაციისაგან შედგებოდა, ამ შემთხვევაში სიხშირე ეცემა 48.75 ჰერცამდე.

წითელი მრუდით არის ნაჩვენები სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში ეგხ. “მუხრანის ველის“ გამორთვის შედეგად გაჩენილი 400

მგვტ. სიმპლავრის დეფიციტის შედეგად იმ შემთხვევაში როდესაც საქართველოს ელ.სისტემაში ჯამში 400 მგვტ. სიმპლავრის 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.



ნახ. 37. სიხშირე საქართველოს ელ.სისტემაში ევბ. “მუხრანის ველის” გამორთვის შედეგად გაჩენილი 400 მგვტ. სიმპლავრის დეფიციტის შედეგად

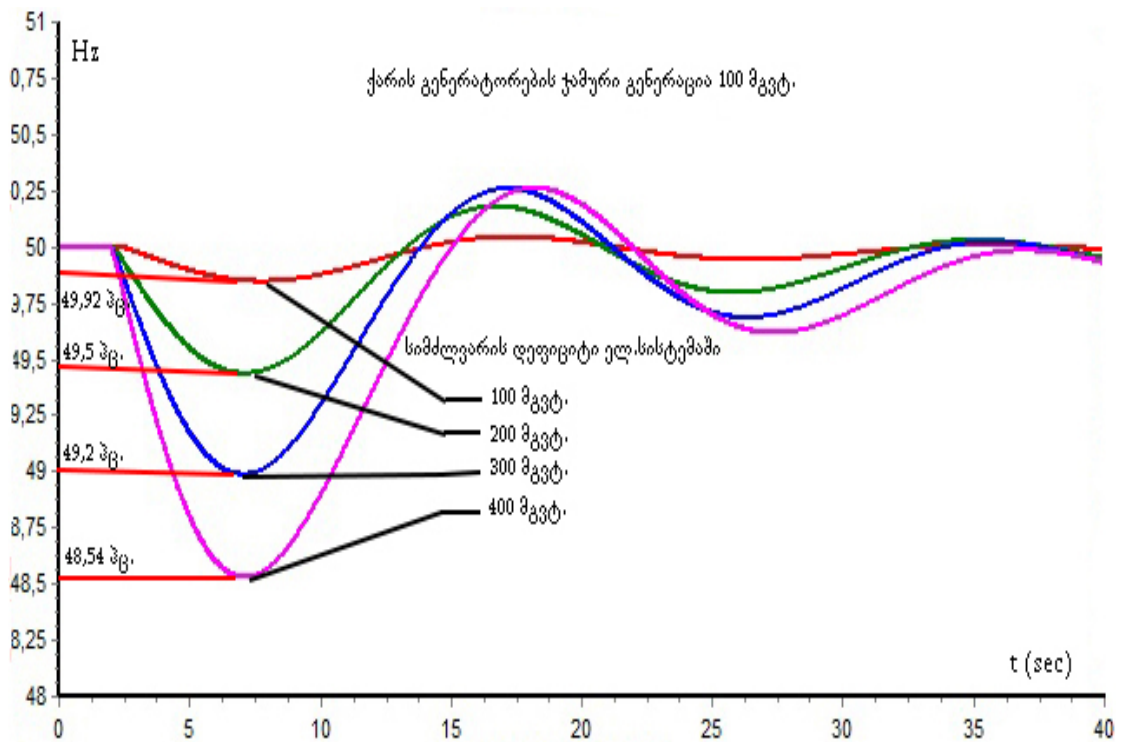
განხილულ ორ შემთხვევას შორის სიხშირის სხვაობა არის 0.25 ჰერცი რაც საკმაოდ დიდი სხვაობაა რადგან სიხშირე ორივე შემთხვევაში ჩამოდის 49.2 ჰერცზე დაბლა მოხდება სიხშირით ავტომატური განტვირთვის (საგ) მოწყობილობის ამუშავება რაც გამოიწვევს მომხმარებლის გამორთვას, საგ-ის ყოველი საფეხური 0.1 ჰერცის ბიჯით.

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. ასევე ანგარიში ჩატარდა შემდეგ შემთხვევებში:

ცხრილი 3. საქართველოს ელ.სისტემაში ქარის ელ.სადგურის ინტეგრაციის გავლენის ანალიზის დროს განხილული სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების მიერ გენერირებული ჯამური სიმძლავრეები

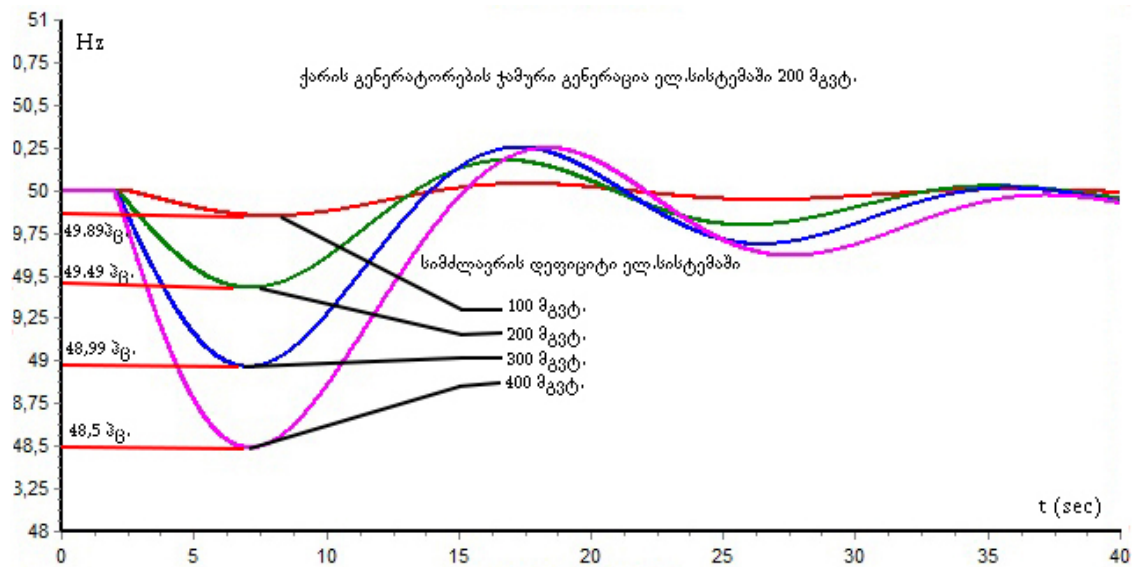
საქართველოს ელ.სისტემაში სიმძლავრის დეფიციტი.	მგვტ.			
	ქარის ელ.სადგურების მიერ გენერირებული ჯამური სიმძლავრე.	100	200	300

ნახ.38-ზე ნაჩვენებია ქარის გენერატორების ჯამური გენერირებული სიმძლავრე 100მგვტ.



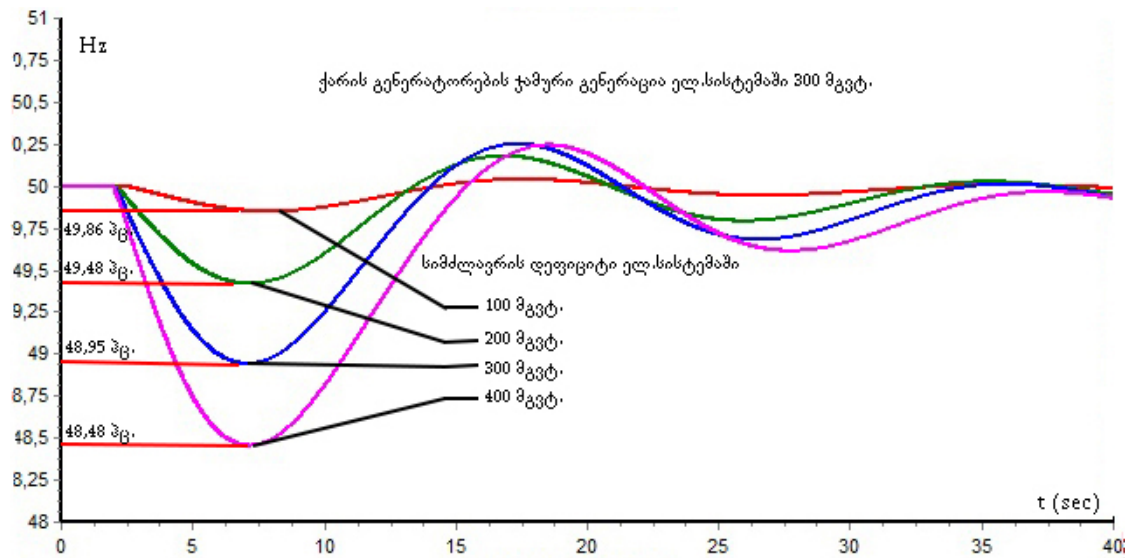
ნახ. 38. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში

ნახ.39 ქარის გენერატორების ჯამური გენერირებული სიმძლავრე 200 მგვტ.



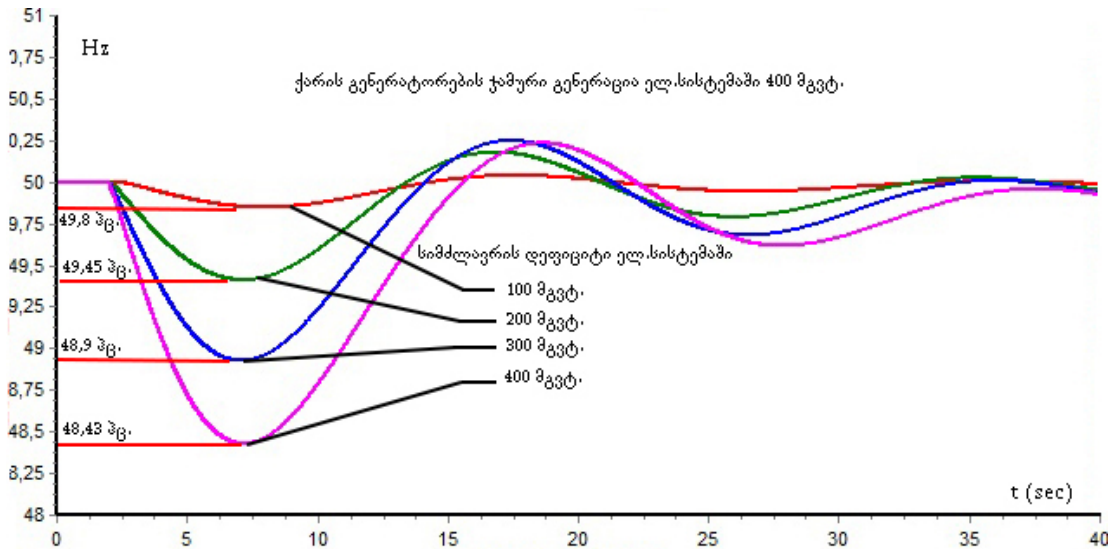
ნახ. 39. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში

ნახ.40 ქარის გენერატორების ჯამური გენერირებული სიმძლავრე 300 მგვტ.



ნახ. 40. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში

ნახ.41 ქარის გენერატორების ჯამური გენერირებული სიმძლავრე 400 მგვტ.



ნახ. 41. სიმძლავრის დეფიციტისა და ქარის ელ.სადგურების სიმძლავრის სხვადასხვა შემთხვევებისათვის სიხშირის მრუდები საქართველოს ელ.სისტემაში

ნახ.39,40,41- ზე ნაჩვენებია 2027 წლის რეჟიმში ქარის ელ.სადგურების სხვადასხვა სიმძლავრისა და ელექტრულ სისტემაში სხვადასხვა სიმძლავრის დეფიციტის შემთხვევაში სიხშირის ცვლილება საქართველოს ელ.სისტემაში, ანგარიშმა აჩვენა რომ 2027 წლის რეჟიმში ქარის გენერატორების ინტეგრაციისას საქართველოს ელ.სისტემაში ყოველ 100 მგვტ. ქარის გენერაციის ინტეგრირებისას საქართველოს ელ.სისტემაში სხვადასხვა სიმძლავრის დეფიციტის დროს სიხშირე იწევს დაბლა 0.05 ჰერცით.

თავი 3. მზის ელექტროსადგურის ტიპები და მათი გავლენა ენერგოსისტემაზე

3.1. მზის ელექტროსადგურები

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 CO₂-ს და ამ ენერჯის რაოდენობა ეყოფა ჩვენს და სამრეწველო მოთხოვნებს ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვან როლს



ნახ. 42. ფოტოლოელემენტებიანი მზის ელ.სადგური

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.ენერგიაში გარდასაქმნელად სხვადასხვა გზა არსებობს მაგალითად წყლის აორთქლება მზის ენერგიის გამოყენებით და აორთქლის გამოყენება ელ.ენერგიის მისაღებად, ასევე არსებობს პანელები რომლებიც მზის სხივს პირდაპირ ელ.ენერგიად გარდაქმნიან მაგრამ, მზის ენერგიის გამოყენება უფრო ეფექტურია და მეტი უპრაქტესობები აქვს მზის ელ.სადგურებს რომლებიც აკონცენტრირებენ მზის სხივს, ეს ენერგია შეიძლება დაგროვდეს თბური ენერგიის 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.[21]

მზის ენერგიის ელ.ენერგიაში გარდაქმნის ტექნოლოგია დამოკიდებულია მზის ელ.სადგურის ტიპზე.

მზის ელ.სადგურების შემდეგი ტიპები არსებობს:

- მზის ელექტროსადგური ლარისებური სარკეებით;
- კომპური ტიპის მზის ელექტროსადგურები;
- სტირლინგის ძრავიანი მზის ელექტროსადგურები;
- მზის და ჰაერის ხელოვნური წვევის ელექტროსადგურები;
- ფოტოელემენტებიანი ელექტროსადგურები;

3.2 მზის ენერგიის განსაზღვრა

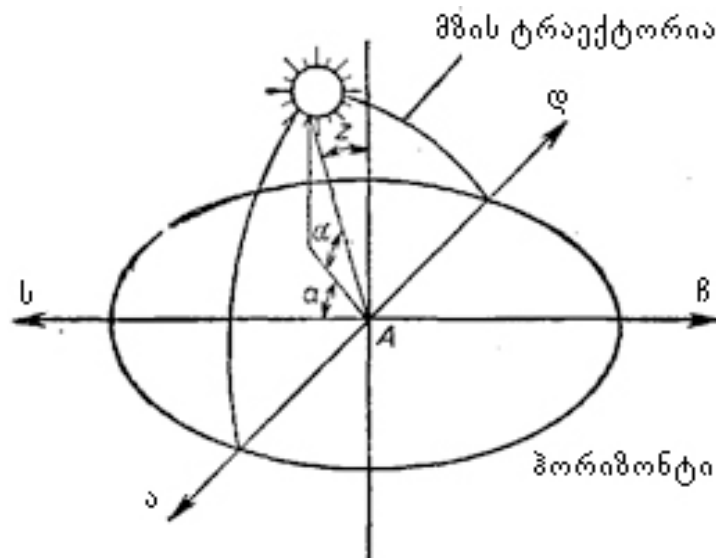
მზის გადახრა δ ეს არის მზის და დედამიწის შორის წარმოსახვითი ხაზის შორის კუთხე და მისი პროექცია ეკვატორის სიბრტყეზე. მზის გადახრა δ წლის განმავლობაში შეუჩერებლივ იცვლება 22 დეკემბერს - 23°27' დან +23°27' მდე 22 ივნისს, და უდრის ნულს 21 მარტს და 23 სექტემბერს.[27]

მზის გადახრა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right)$$

სადაც n - პირველი იანვრიდან გადათვლილი დღის რიგობითი ნომერია, n -ს ძირითადად იყენებენ თვის საშუალო საანგარიშო დღის ნომერს I – XII ქვემოთ მოცემულია I – XII თვის საშუალო დღის მონაცემები n და δ N 17-47-75-105-135-162-198-228-258-288-318-344 Δ 20,9-13-2,4-9,4-18,8-23,1-21,2-13,5-2,2-9,6-18,9 -23 სამ ძირითად φ , ω და δ კუთხესთან ერთად მზის რადიაციის დათვლისათვის ასევე გამოიყენება ზენიტის კუთხე Z , სიმაღლის კუთხე α და მზის აზიმუტი a (ნახ.2).

მზის ზენიტური კუთხე Z - ეს არის კუთხე მზის სხივისა და ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ნორმალის A წერტილში . მზის სიმაღლის კუთხე α - ეს არის კუთხე ვერტიკალურ სიბრტყეზე მზის სხივისა და მის პროექციაზე ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე. $\alpha + Z$ უდრის 90° . მზის აზიმუტი a - ეს არის კუთხე ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მზის სხივის პროექციასა და სამხრეთის შორის. სიმაღლის აზიმუტი a_n იზომება როგორც კუთხე ზედაპირის ნორმალისა და სამხრეთის მიმართულების შორის.



ნახ. 43. მზის მოძრაობის ტრაექტორია

ნახ.43 კუთხეები რომლებიც განსაზღვრავს A წერტილის მდგომარეობას მიწის ზედაპირზე მზის სხივებთან მიმართებით. [27]

კავშირი დამატებით და ძირითად კუთხეებს შორის დგება შემდეგი განტოლებით:

ზენიტის კუთხე $\cos(z) = \cos(\omega) \cos(\varphi) \cos(\delta) + \sin(\varphi) \sin(\delta)$;

მზის სიმაღლის კუთხე $\alpha = 90 - z$, ამიტომ $\sin(\alpha) = \cos(z)$;

მზის აზიმუტი $\sin(a) = \sec(\alpha)\cos(\delta)\sin(\omega)$.

მზიან, შუადღეს ($\omega = 0$) $a = 0$ თუ $\varphi > \delta$ და $a = \pi$ თუ $\varphi < \delta$.

სიმაღლის მაქსიმალური კუთხე შუადღეს მიიღწევა $\omega = 0$, ანუ $\alpha_{\max} = \pi/2 - |\varphi - \delta|$. დროს.

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში φ აიღება $\langle\langle+\rangle\rangle$ ნიშნით და სამხრეთით $\langle\langle-\rangle\rangle$ ნიშნით, მზის გადახრა δ -ს აქვს $\langle\langle+\rangle\rangle$ ნიშანი ზაფხულისთვის გაზაფხულიდან შემოდგომამდე და $\langle\langle-\rangle\rangle$ ნიშანი წლის დანარჩენ დროს. კუთხე ω იცვლება მზიან შუადღეს 0 დან შუალამისას 180° , $\omega < 90^\circ$ დროს მას აქვს $\langle\langle+\rangle\rangle$ ნიშანი და $\omega > 90^\circ$ $\langle\langle-\rangle\rangle$ ნიშანი. მზის აზიმუტი a იცვლება 0 დან 180° მდე.

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

სიახლოვითა 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 გაბნეული 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.

3.3 მზის ელექტროსადგური ღარისებური სარკეებით

ღარისებური სარკიანი მზის ელექტროსადგური მოწყობილია ღარის ქვეშ განლაგებული ღარისებური ფორმის სარკეებით. ღარისებურ სარკეებს აქვს მეტალის ჩონჩხი, მზის სათვალთვალო სისტემა, ესეთ მზის სისტემას შეუძლია მზის ენერჯის 80 % ის კონცენტრირება, სარკე შედგება ბორისსილიკატის მინისაგან, რომლის გამტარუნარიანობა დაახლოებით 98% ია. მისი ქვედა მხარე დაფარულია ვერცხლის ზედაპირით და სპეციალური დამცავი საფარით. საუკეთესო ამრეკლს შეუძლია აირეკლოს მზის რადიაციის 97%.

მზის სათვალთვალო მექანიზმის დანიშნულებაა დაცემული მზის სხივის ამრეკლის პერპენდიკულარულად შენარჩუნება. რადიაცია აირეკლება ფოკუსურ ხაზზე სადაც მოთავსებულია თბოგამტარი მილი სადაც მიედინება თოგამტარი სითხე.

თბოშემკრები ელემენტი შედგება უჟანგავი ფოლადის მილისაგან რომელიც გარშემორტყმულია შუშის გარსაცმით დანაკარგების მინიმუმამდე შესამცირებლად, ნახ.44

რეგულირების სისტემა აბრუნებს სარკეს მისი გრძივი ღერძის გასწვრივ მზის მოძრაობის შესაბამისად. სარკეების ფოკუსში, სადაც ხდება მზის სხივების კონცენტრაცია მოთავსებულია მილი. მილში გადის წყალი.



ნახ. 44. ღარისებური მზის ელ.სადგურის თბოშემკრები ელემენტი

წყალი გადის დიდ მანძილს და თავისი მოძრაობის გზაზე თბება 400 გრადუსამდე. გახურებული წყლის ორთქლი ხვდება ორთქლის ტურბინაში და აბრუნებს მას. ტურბინა კი, როგორც ჩვეულებრივ თბოსადგურში ატრიალებს გენერატორს.

მზის ენერჯის კონცენტრაცია შეიძლება მიიღწეულ იქნეს მზის სხივის მაკონცენტრირებელი ლინზების სისტემის გამოყენებით. ან სარკეებს ისე რომ მზის სხივები კონცენტრირდებიან მცირე ფართზე.

ძირითადად არსებობს ორი მეთოდი კონცენტრირებული მზის ენერჯის გამოყენებისათვის.

- გრძივი ფოკუსური სისტემა: გრძივი კონცენტრაცია.

➤ წერტილოვანი ფოკუსურ სისტემა; კონცენტრირებული წერტილი.

პირველ მეთოდში ხვდება მზის ელ.სადგურების ორი ტიპი: პირველი კომპლური ტიპის მზის ელ.სადგური და მეორე სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგური.

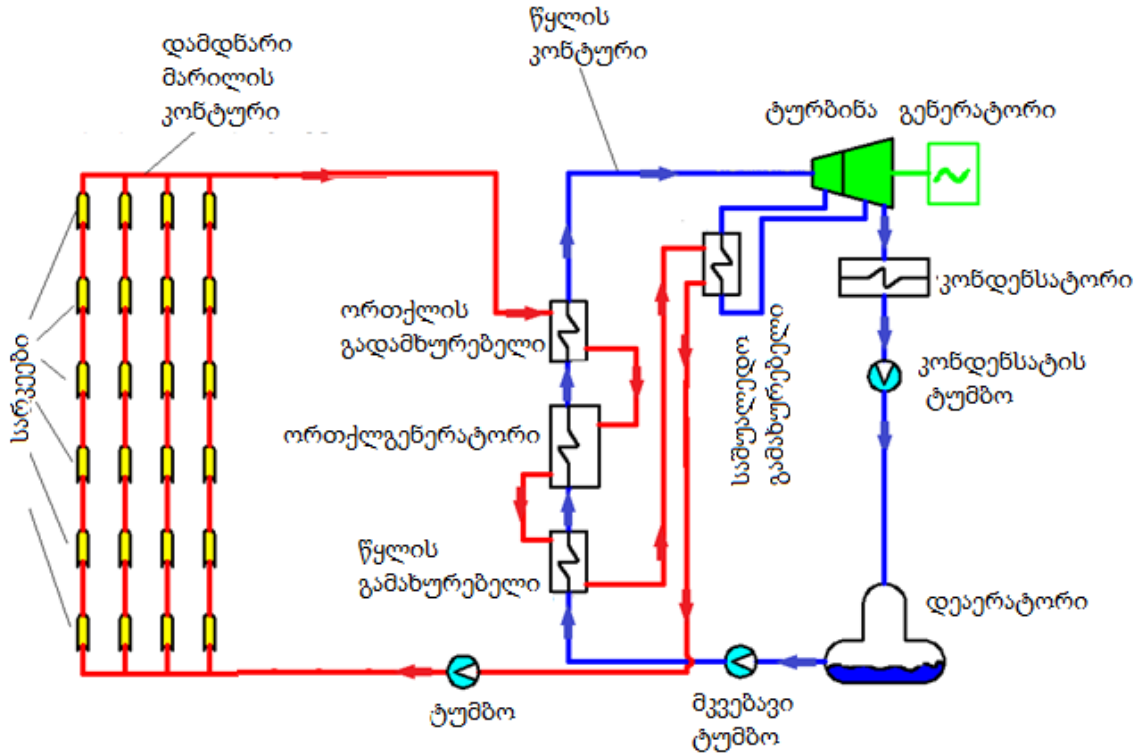
მეორე მეთოდშიც ასევე ორი ტიპის მზის ელ.სადგურია , პირველი ღარისებურ სარკიანი მზის ელ.სადგური და მეორე ფრესნელის გრძივი კოლექტორები.



ნახ. 45. ღარისებური მზის ელ.სადგურები

თანამედროვე მზის ელექტროსადგურებში გამოიყენება ორკონტურიანი სქემა. მზის ენერჯით ათბობენ ზოგიერთ ადვილად მდნარ მარილებს, და უკვე ამ დამდნარი მარილების სითბოთი ახურებენ წყალს. ასეთი ელექტროსადგურის პრინციპიალური სქემა ნაჩვენებია ნახ.46-ზე. წითელი ფერით ნაჩვენებია დამდნარი მარილის კონტური, ლურჯი ფერით კი წყლის კონტური. დამდნარი მარილი ხურდება მზის კოლექტორებში და მიეწოდება ორთქლის გადამხურებელს, რომელშიდაც ორთქლის ტემპერატურა კიდევ მეტად იზრდება. იქიდან დამდნარი მარილი შედის ორთქლგენერატორში და ადუღებს წყალს. ამის შემდეგ დამდნარი მარილი

ხვდება წყლის წინასწარ გამახურებელში. საშუალოდ გამახურებლის გავლის შემდეგ დამდნარი მარილი ტუმბოს საშუალებით ბრუნდება მზის კოლექტორში.



ნახ. 46. დარისებური მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა

წყლის ციკლი შემდეგნაირია. მკვებავი ტუმბოს საშუალებით ცივი წყალი შედის ჯერ წყლის გამახურებელში და მისი ტემპერატურა მატულობს. ამის შემდეგ ორთქლგენერატორში (ქვაბში) ეს წყალი იქცევა ორთქლად და ორთქლი შედის ორთქლის გადამხურებელში. აქ მისი ტემპერატურა კიდევ იზრდება. გადამხურებული ორთქლი შედის ტურბინაში. შემდეგ ნამუშავარი ორთქლი კონდენსირდება წყლად. კონდენსატის ტუმბოს მეშვეობით წყალი შედის დეაერატორში, სადაც ხდება მასში გახსნილი ჰაერის გამოყოფა. [27]

როდესაც სხივები პერპენდიკულარულად ეცემა ერთ კვადრატულ მეტრზე მზის გამოსხივების ენერჯის სიმძლავრე დაახლოებით 1,02 კილოვატის ტოლია. დღის განმავლობაში მზის მოძრაობის გამო ეს სიდიდე იცვლება $P = P_m \cos \alpha$ კანონზომიერებით, ეს სიმძლავრე მაქსიმალურია შუადღე, როცა მზე ზენიტშია და α კუთხე ნულის ტოლია. დილით და საღამოს კი ეს სიდიდე ნულისაკენ მიდის, რადგან α კუთხე 90 გრადუს უახლოვდება.

კონცენტრირებული ტიპის მზის ელ.სადგურები გამოიყენებოდა ადრეული მე 19 საუკუნის ბოლოდან. თავდაპირველად ეს ტექნოლოგია გამოიყენებოდა წყლის გადასატუმბად, მაგრამ არსებობდა კიდევ უფრო შთამბეჭდავი გამოყენება, ორთქლის ამძრავიანი საბეჭდი მანქანა რომელიც პარიზის 1902 წლის ექსპოზიციაზე იყო წარმოდგენილი. პირველი ღარისებრ სარკიანი მზის ელ.სადგური 1984 წელს ა.შ.შ-ში კალიფორნიის შტატში აშენდა. მას მოჰყვა კიდევ 8 ელ.სადგური აქედან ბოლო დასრულდა 1991 წელს. ჯამში მათი სიმძლავრე არის 354 მგვტ. და ყველა მათგანი დღემდე მუშაობს. კიდევ ორი მზის ელ.სადგურის აშენება იგეგმებოდა მაგრამ იაფი ნავთობი იმ წლებში ნიშნავდა ღარისებრ სარკიანი მზის ელ.სადგურების განვითარების შეზღუდვას.

ბოლო წლებში მზის ელ.სადგურების კვლევის და მშენებლობის ახალი იმპულსი წარმოიშვა რომელიც გამოწვეულია კლიმატის ცვლილებების და ნავთობმომპოვებელ ქვეყნებში პოლიტიკური დესტაბილიზაციის გამო.

ამ ტექნოლოგიის მიმზიდველი მხარე ის არის რომ ღარისებური მზის ელ.სადგურები უკვე დიდი რაოდენობით გამოიყენება და კვლევის შედეგები დიდი ალბათობით დადებითი იქნება. ამ ტექნოლოგიამ გააკეთა დიდი ნახტომი სუფთა კონცეპტიდან მუშა ვერსიამდე რომელიც გვთავაზობს წიაღისეული საწვავის რეალურ ალტერნატივას. ღარისებური მზის ელ.სადგურის უკვე დემონსტრირებული შესაძლებლობები იძლევა ნდობის საფუძველს კვლევებისათვის რომლებიც ამ დროისათვის

ფოკუსირებულია უფრო რთულ ტექნოლოგიაზე და კონსტრუქციის და ოპერირების ფასის შემცირებაზე.

მზის ელექტროსადგურებს სჭირდებათ ძალიან დიდი მიწის ფართობები. ამიტომ ასეთ სადგურებს აშენებენ უდაბნოებში, გამოუყენებელ მიწებზე. ყველაზე დიდი ელ.სადგური არის ინდოეთში და მისი ფართი არის 10 კმ². ნახ.47



ნახ. 47. ღარისებური მზის ელ.სადგური

ღარისებრი სარკიანი მზის ელ.სადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრეები ქვეყნების მიხედვით. ცხრ.4.

ცხრილი 4. ღარისებრი სარკიანი მზის ელ.სადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრეები ქვეყნების მიხედვით

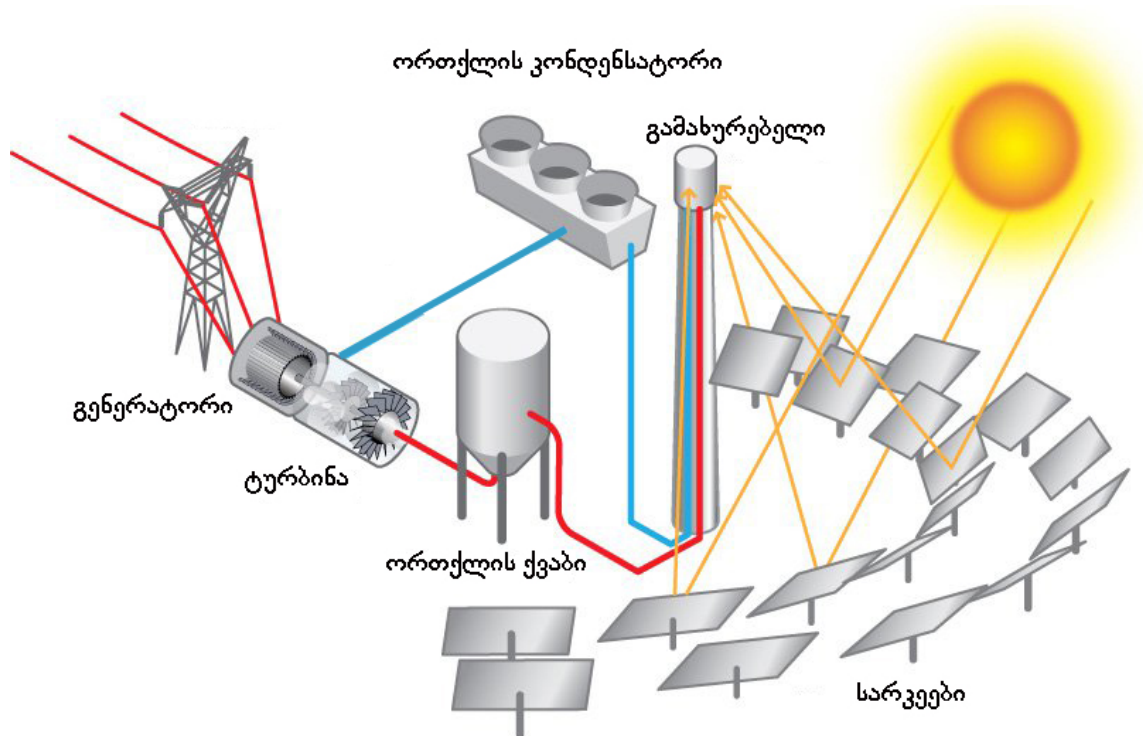
ქვეყანა	შვტ.
 ესპანეთი	2,300
 ა.შ.შ	1,738
 ინდოეთი	225
 სამხრეთ აფრიკა	200
 მოროკო	180
 ა.გ.ე	100
 ალგერია	25
 ეგვიპტე	20
 ავსტრალია	12
 ჩინეთი	10
 ტაილანდი	5

3.4 კომპური ტიპის მზის ელექტროსადგურები

კომპური ტიპის მზის ელექტროსადგურში გამოიყენება გრძივი ფოკუსური სისტემა. კომპის თავზე მოთავსებულია ავზი რომელშიც ხდება დამდნარი მარილის გახურება სარკეებიდან არეკლილი მზის სხივებით. სარკეების რაოდენობა აღწევს რამოდენიმე ათას და ისინი განლაგებული არიან რამოდენიმე ჰექტარზე. დამდნარი მარილი ხურდება 900 გრადუსამდე და თავის სითბოს ორთქლის ქვაბში გადასცემს წყალს. წყლის ორთქლი მაღალი ტემპერატურით და მაღალი წნევით მიეწოდება ორთქლის ტურბინას. ნამუშევარი ორთქლი კონდენსირდება კონდენსატორში და მიღებული წყალი მკვებავი ტუმბოთი ბრუნდება ორთქლის ქვაბში.

იმის შემდეგ რაც დამდნარი მარილი გადასცემს სითბოს წყალს და გაცივდება, ის ტუმბოს საშუალებით ისევ ადის კომპის თავზე დადგმულ ავზში, ნახ.48

კომპური ტიპის მზის ელექტროსადგური. ნახ.48



ნახ. 48. კომპური ტიპის მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა

კომპური ტიპის მზის ელ.სადგურს შეუძლია იმუშაოს უმზეო ამინდშიც ან ღამით რადგან დამდნარი მარილის დამაგროვებელში დამდნარი მარილი ტემპერატურას დამაგროვებლის ავზის ტევადობის მიხედვით დაახლოებით 15 საათის განმავლობაში ინარჩუნებს.[27]

ნახ.49-ზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი ყველაზე დიდი კომპური ტიპის მზის ელ.სადგური „Ivanpah Solar Power Facility“ ა.შ.შ -ში კალიფორნიის შტატში.



ნახ. 49. კომპური ტიპის მზის ელ.სადგური

„Ivanpah Solar Power Facility“ -ის მშენებლობა დაიწყო 2011 წელს და ექსპლუატაციაში შევიდა 2014 წელს მისი დადგმული სიმძლავრეა 390 მგვტ. იგი განლაგებულია უდაბნო მოჰავეში და შედგება სამი კომპისაგან თითოეული მათგანის სიმაღლეა 140 მეტრი. ასევე სარკეების სამი ნაკვეთისგან რომლის ჯამური ფართია 14.2 კმ², 173 500 მბრუნავი სარკისაგან (თითოეული შედგება ორი სარკისაგან, თითოეული სარკის ფართია 7 მ²)

3.5 სტირლინგის ძრავიანი მზის ელექტროსადგურები

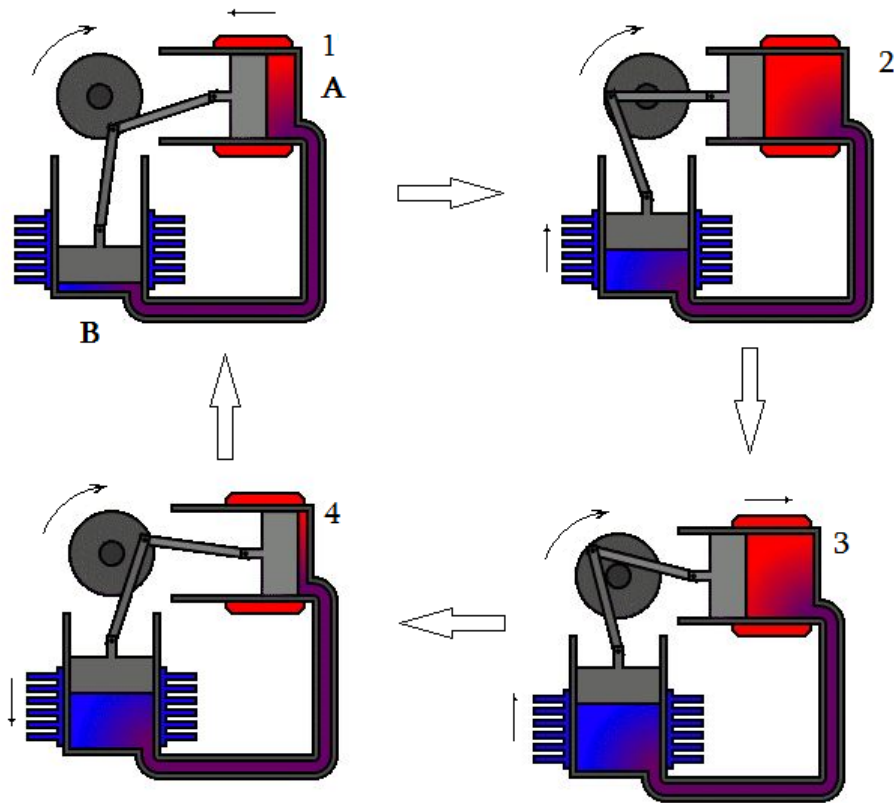
სტირლინგის ძრავი არის თბური ძრავის ნაირსახეობა, გასული ორი საუკუნის განმავლობაში მან განიცადა მნიშვნელოვანი კონსტრუქციული ევოლუცია. ძრავის ამ სახეობას სტირლინგის ძრავი ჰქვია მისი გამომგონებლის რობერტ სტირლინგის საპატივსაცემოდ ამ ძრავს გარე წვის ძრავს უწოდებენ ვინაიდან საწვავი იწვის მისი ცილინდრის გარეთ და თვით ცილინდრი არ უერთდება გარე ატმოსფეროს. სტირლინგის ძრავის მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია ნახ.51-ზე



ნახ. 50. სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგური

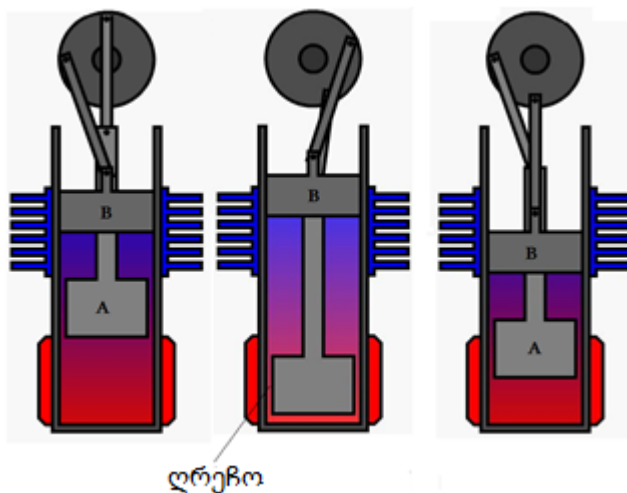
ძრავი შედგება ორი ცილინდრისაგან. ცილინდრები შეერთებულია მილით და ცილინდრებში მოთავსებულია წყალბადი ან ჰელიუმი. ერთ ცილინდრს, დავარქვათ „ცხელი“ -A და მეორეს კი „ცივი“-B. ცხელი ცილინდრი გარედან ცხელდება სითბოს ნებისმიერი წყაროდან. ეს შეიძლება იყოს ნებისმიერი სათბობის წვა ანდა მზე. ცივი ცილინდრს აქვს რადიატორი და ის ცივდება ატმოსფეროს ჰაერით. ცილინდრები მრუდმხარა მექანიზმით უერთდებიან მქნევარა ბორბალს. ძრავის მუშაობის პრინციპი შემდეგია. ცხელ ცილინდრში აირი ხურდება, მისი წნევა იზრდება და დგუში

გადაადგილდება მარცხნივ ნახ.51 (1) . ამასობაში ცივი ცილინდრის დგუში ადის ზევით და იწოვს ცხელ აირს (2).



ნახ. 51. სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა

რადიატორის მეშვეობით ცივი ცილინდრში აირი ცივდება. მქნევარა ბორბლის ზემოქმედებით ცივი ცილინდრის დგუში ადის ზევით, ცხელი აირი ცხელ ცილინდრიდან გადადის ცივი ცილინდრში, (3). ცხელი ცილინდრის დგუში კი მოძრაობს მარჯვნივ, (4) . შემდეგ ციკლი მეორდება. ეს არის აღწერილი სტირლინგის ძრავის [27] პირველი ვარიანტი. შემდგომში ძრავის კონსტრუქცია შეიცვალა და ორი ცილინდრის მაგივრად გამოიყენება ერთი. მისი ერთი ბოლო „ცხელია“ მეორე კი „ცივია“.ცილინდრებს შორის მილის მაგივრობას თამაშობს ღრეჩო „ცხელ“დგუშსა და ცილინდრს შორის, ნახ.52 დგუშები ცალცალკე შეერთებულია მქნევარასთან.



ნახ. 52. მოდიფიცირებული სტირლინგის ძრავიანი მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა

ასეთი ძრავით და გენერატორით აღჭურვილი მზის ელექტროსადგური მოწყობილია შემდეგნაირად. თევზის ფორმის ჩალუნული სარკის ფოკუსში მოთავსებულია სტირლინგის ძრავი გენერატორით, ნახ.52 კონცენტრირებული მზის სხივები ახურებენ ცხელ ცილინდრს 650 გრადუსამდე. ცივი ცილინდრის გაცივება ხდება რადიატორების და ვენტილატორების საშუალებით. სპეციალური მექანიზმის საშუალებით სარკე ყოველთვის ორიენტირებულია მზეზე. მზის ელექტროსადგური შედგება ასეთი დანადგარების დიდი რაოდენობისაგან. უნდა აღინიშნოს ასეთი ელექტროსადგურების ძალიან მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი -32%. გარდა ამისა ასეთი ტიპის მზის ელექტროსადგური გამოიმუშავებს სამფაზა, 50 ჰერცის სიხშირის ძაბვას და ის შეიძლება პირდაპირ მიერთდეს ქსელზე.

3.6 მზის ელექტროსადგურები ჰაერის ხელოვნური წევით

ამ ტიპის ელექტროსადგურები მუშაობენ ჰაერის წევის მეშვეობით. მილში ჰაერის წევა იქმნება მაშინ, როდესაც მილის ზედა და ქვედა ნაწილში არის ტემპერატურის მკვეთრი სხვაობა, ჰაერის მოძრაობა ქვევიდან ზევით იქმნება იმის გამო, რომ ცხელი ჰაერის ρ_1 სიმკვრივე ნაკლებია ცივი ჰაერის

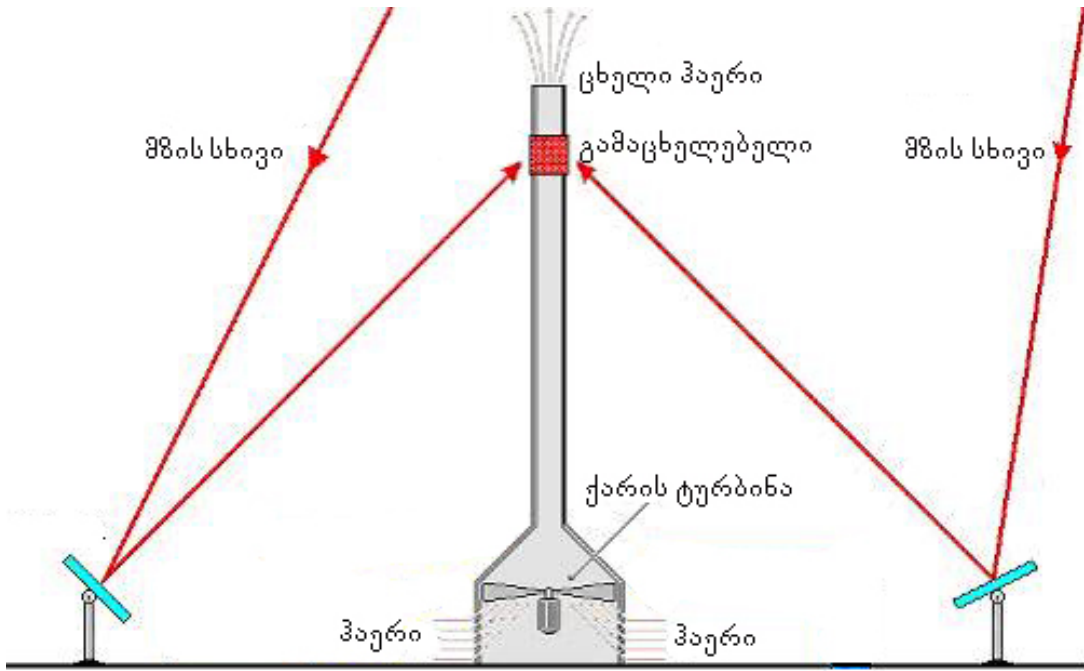
ρ_2 სიმკვრივეზე. მილის გარეთ H სიმაღლის ჰაერის სვეტის წნევა არის $p_2 = H\rho_2g$. მილის შიგნით ცხელი ჰაერის წნევა კი არის $p_1 = H\rho_1g$. $\Delta p = p_2 - p_1 = Hg(\rho_2 - \rho_1)$ წნევათა სხვაობის გავლენით ცხელი ჰაერი მოძრაობს ზევით. იქმნება ჰაერის წევა, ნახ.53 ჰაერის ნაკადი გამავალი მილში გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$Q = CA \sqrt{2gH \frac{T_i - T_o}{T_o}} \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

აქ $C=0,7$ ხახუნის კოეფიციენტია ჰაერსა და მილს შორის, $g=9,81$ მ/წმ² თავისუფალი ვარდნის აჩქარება; $A = \pi R^2$ მილის განიკვეთის ფართობი, H მილის სიმაღლე, T_i ცხელი ჰაერის ტემპერატურა კელვინის გრადუსებით და T_o გარემოს ჰაერის ტემპერატურა კელვინის გრადუსებით. ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ ასეთი სადგურის სიმძლავრე პირდაპირ პროპორციულია მილის რადიუსის კვადრატისა, მილის სიმაღლის $\frac{1}{2}$ ხარისხისა და ტემპერატურათა სხვაობისა. ჰაერის ეს ნაკადი ატრიალებს ქარის ტურბინა-გენერატორს. ამრიგად ჰაერის ნაკადის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად.

ჰაერის ხელოვნური წევით მზის ელ სადგურის მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია ნახ.53 ზე.

მზის სხივი ეცემა სარკეებს და სარკეებიდან არეკლილი სხივები კონცენტრირდება გამაცხელებელზე, მიწის ზედაპირის ტემპერატურა ბევრად ნაკლებია გამაცხელებლის ტემპერატურასთან და იქმნება წვეის ეფექტი ამ მილში გამავალი ჰაერის ნაკადი ატრიალებს ქარის ტურბინას და გარდაიქმნება ელ.ენერგიად.



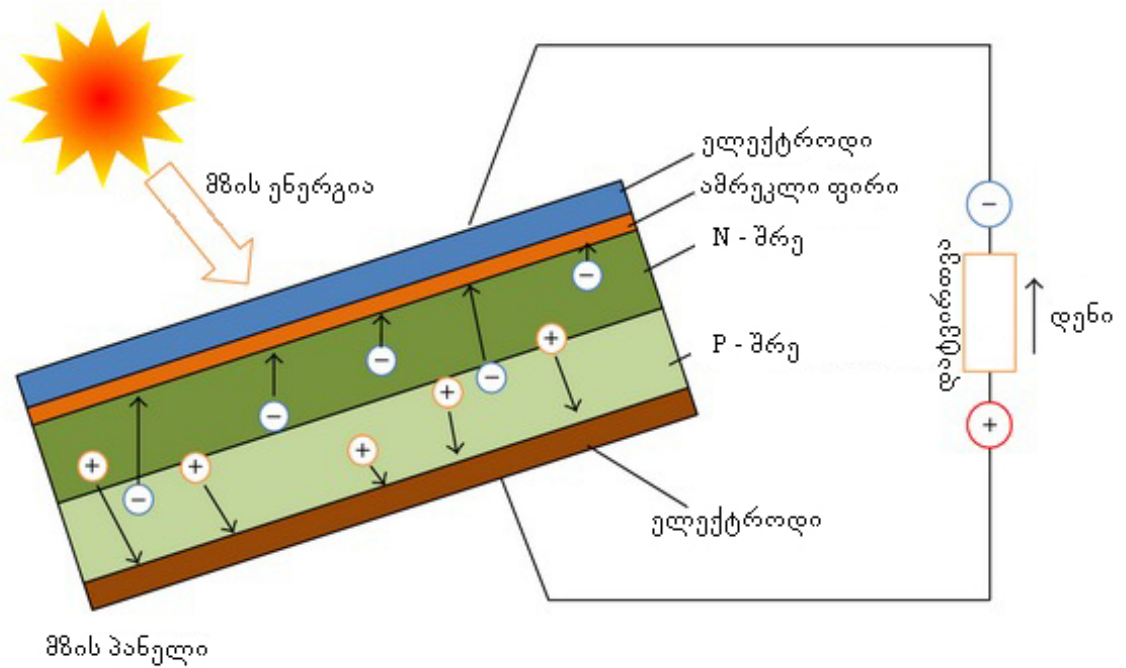
ნახ. 53. ჰაერის ხელოვნური წევით მზის ელ.სადგურის მუშაობის სქემა

3.7 ფოტოელემენტებიანი ელექტროსადგურები

ფოტოელემენტებიანი ელექტროსადგურში სინათლის სხივის ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიაში. ფოტოელემენტებს ამზადებენ ნახევარგამტარულ მასალისაგან, უმეტეს შემთხვევაში სილიციუმისაგან. სილიციუმის თხელ ფირფიტას ფარავენ სპეციალური ნივთიერებით, რომელიც ამდიდრებს მას ელექტრონებით. გამოდის უარყოფითად დამუხტული N შრე. მეორე ფირფიტას ფარავენ სხვა ნივთიერებით რომელიც იწვევს ელექტრონების ნაკლებობას და ქმნის P შრეს. ფირფიტებს კრავენ ერთად, უერთებენ ელექტროდებს და ფარავენ გამჭვირვალე დამცავი აპკით, ნახ.54 ერთი ფოტოელემენტი იძლევა დაახლოებით 1 ვოლტ ძაბვას. დენის სიდიდე კი დამოკიდებულია მისი ზედაპირის ფართობზე და სინათლის ნაკადის სიდიდეზე.

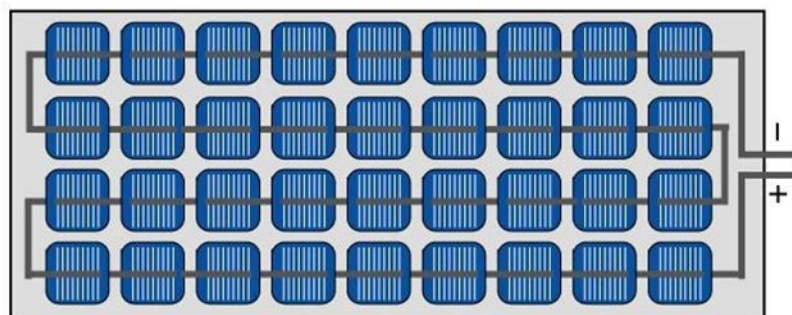
ფოტოელემენტებს ამონტაჟებენ პანელების სახით. ორ ფოტოელემენტს აერთებენ პარალელურად რომ დენი გაზარდონ, შემდეგ ამ

გაორმაგებულ 36 ფოტოელემენტს ართებენ მიმდევრობით და მიიღება ეგრეწოდებული „ზოლი“. ზოლის ძაბვა უკვე 30-36 ვოლტია.

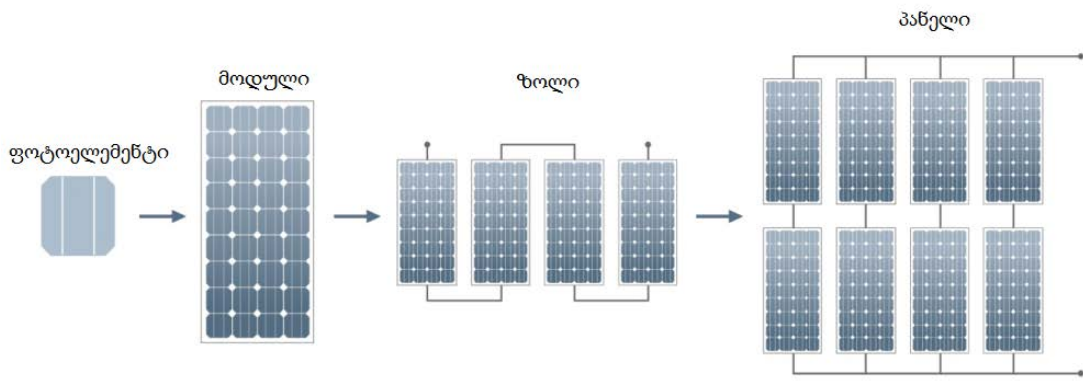


ნახ. 54. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგური მუშაობის სქემა

ზოლებს აერთებენ პარალელურად და მიმდევრობით და დებულობენ „პანელს“. პანელი უკვე მზის ელექტროსადგურის დასრულებული ელემენტია. პანელების რაოდენობა განსაზღვრავს სადგურის სიმძლავრეს. [25]



ნახ. 55. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგურის მოდული



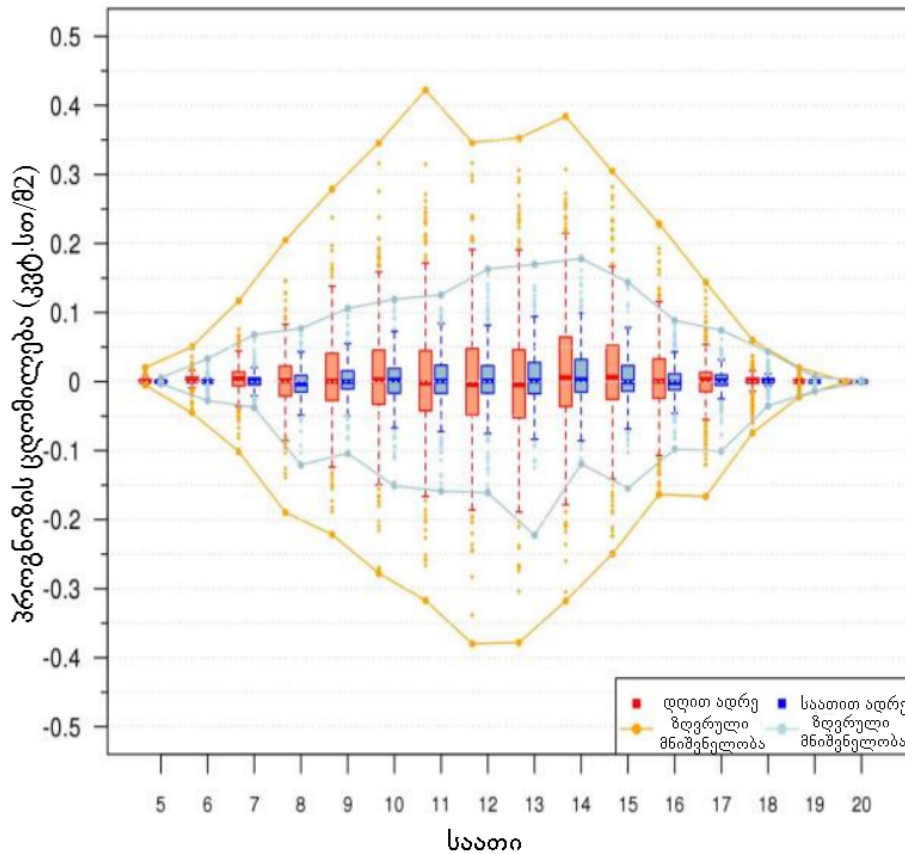
ნახ. 56. ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგურის პანელი

თანამედროვე, სილიციუმის ფოტოელემენტების მარგი ქმედების კოეფიციენტი 20-42%.

ეს საკმაოდ დიდი სიდიდეა, რომ მზის ელექტროსადგური იყოს რენტაბელური. მზის ელექტროსადგური გამოიმუშავებს მუდმივ დენს. ამიტომ, რომ ცვლადი დენის მისაღებად, საჭიროა ინვენტორის გამოყენება. მზის ელექტროსადგურებთან ყენდება ენერჯის დამაგროვებლები, ეს საშუალებას იძლევა ღამით გამოვიყენოთ დღის განმავლობაში დაგროვებული ენერჯია.

3.8 მზის ელექტროსადგურის ინტეგრაციის გავლენა საქართველოს ელექტროსისტემაზე

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 ეგბ. - ებზე გადადინებების ცვლასთან, გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების პრობლემას იწვევს გამომუშავებული ელ.ენერჯის გრაფიკის კონტროლი, რადგან გარდაუვალია უმნიშვნელო და მნიშვნელოვანი შეცდომები ელ.ენერჯის გენერაციის პროგნოზის გეგმებში, ნახ.57. ეს საკითხი უკვე 1970 იანი წლების ბოლოს განიხილებოდა.[6]



ნახ. 57. ქარის ელ.სადგურზე ელ.ენერჯის გენერაციის პროგნოზირების სქემა

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.

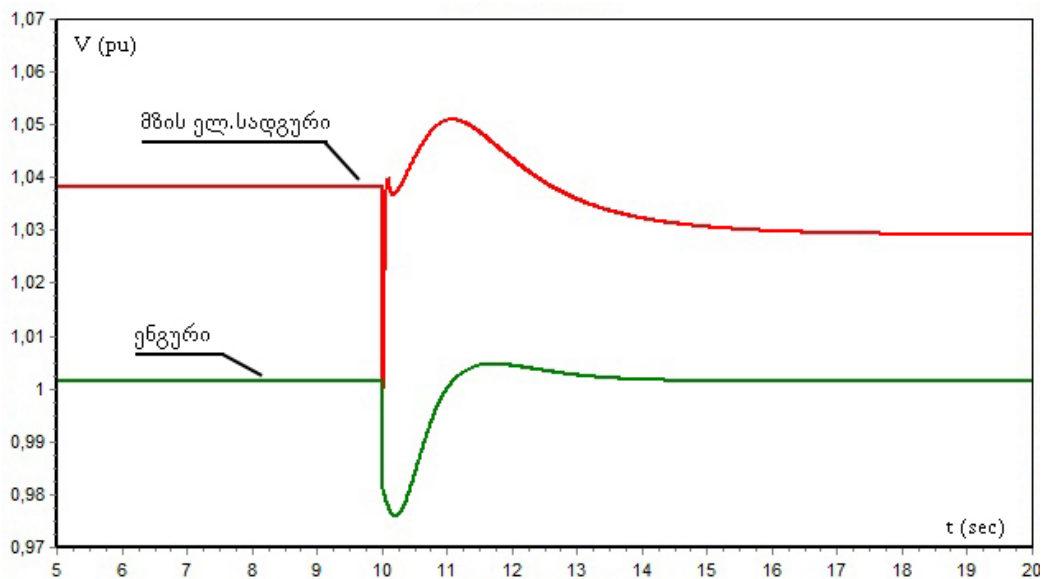
საქართველოს ელ.სისტემაზე მზის ელ.სადგურის გავლენის დასაგენად ჩატარდა ანგარიში საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ში, ანგარიში ჩატარდა შემდეგ რეჟიმში:

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.

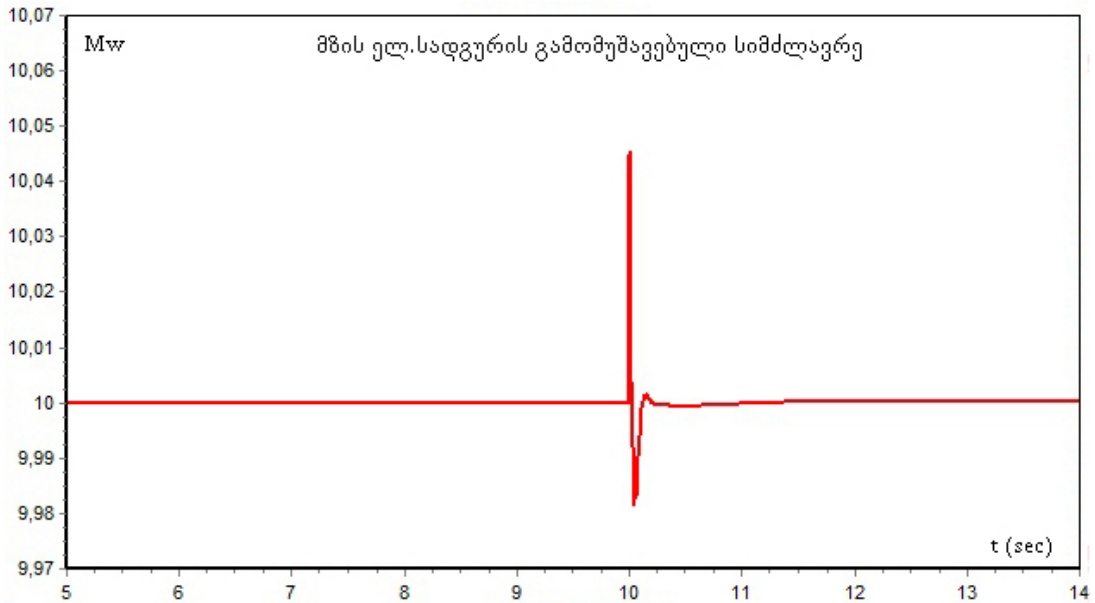
ანგარიში ჩატარდა შემდეგ შემთხვევებში.

- 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 ნახ.58



ნახ. 58. ქ/ს გარდაბანი 500-ში რეაქტორის გამორთვის დროს მზის ელ.სადგურზე და ჰიდროელექტროსადგურ ენგურზე ძაბვების შედარება



ნახ. 59. ქ/ს რუსთავი 220-ში ტვირთის გამორთვის დროს მზის ელ.სადგურის გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება

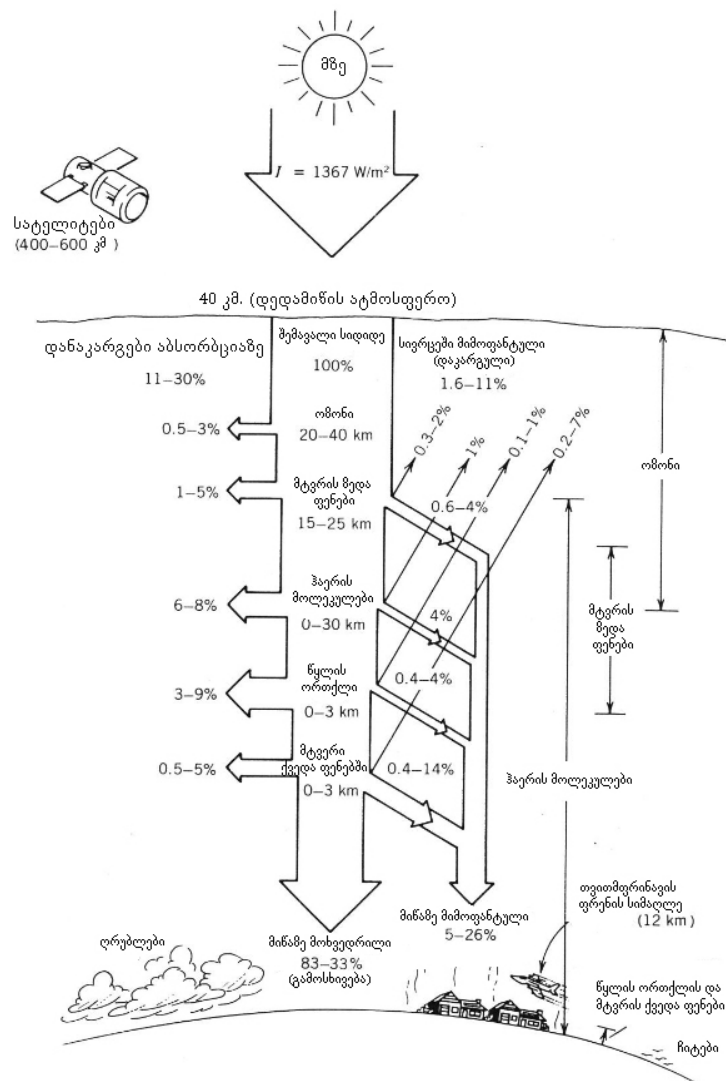
ნახ.58-ზე ქ/ს გარდაბანი 500 - ში რეაქტორის გამორთვის დროს შედარებულია ძაბვები მზის ელ.სადგურზე და ჰიდროელექტროსადგურ ენგურზე რომელზეც გამოყვანილია მოქმედებიდან ძაბვის რეგულატორი. ნახ.58-ზე ძაბვები მოცემულია ფარდობით ერთეულებში. ქ/ს გარდაბანი 500 ის რეაქტორის გამორთვა მოხდა მე-10 წამზე, ნახ.58 ზე ჩანს რომ 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 როგორც ნაჩვენებია ნახ.59-ზე 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 უზალანსობის 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[7] ნახ.60

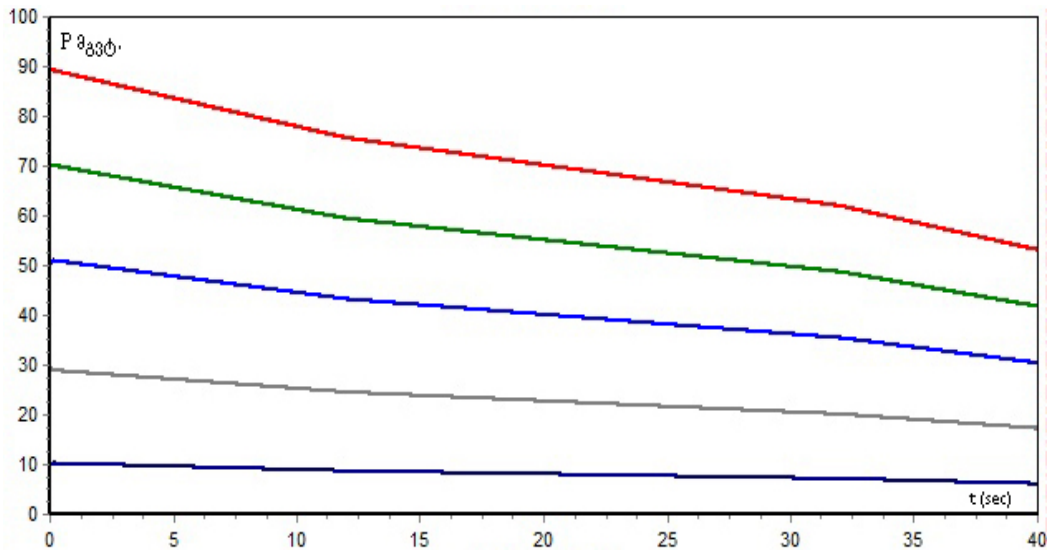


ნახ. 60. ატმოსფეროში მზის სხივის დანაკარგების სქემა

საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E -ის მზის ელ.სადგურის მოდელში შეყვანილი იქნა მაქსიმალური მზის გამოსხივების მნიშვნელობა და ცვლადი მოღრუბლულობის გამო მზის სხივის ენერჯის შემცირებული მნიშვნელობების მახასიათებელი დროში.

ანგარიშის მიზანი ცვლადი მოღრუბლულობის გამო მზის ელ.სადგურის მიერ გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების ზეგავლენის შეფასება საქართველოს ელ.სისტემის მდგრადობაზე.

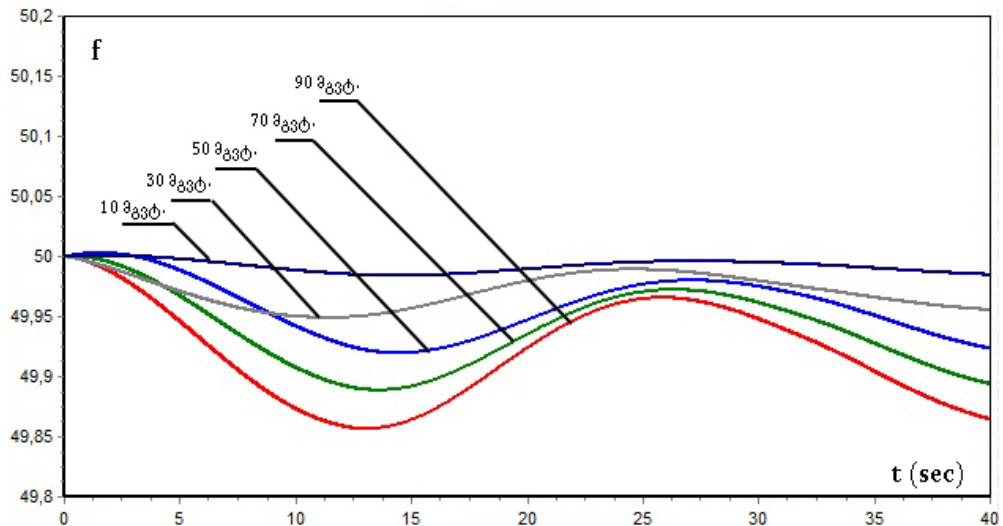
ანგარიში ჩატარდა მზის ელ.სადგურის სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის შემთხვევაში, შესაბამის დადგმულ სიმძლავრეზე ცვლადი მოღრუბლულობის გამო გამომუშავებული სიმძლავრის



ნახ. 61. ცვლადი მოღრუბლულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება

ცვლილებები ნაჩვენებია ნახ.61 - ზე.

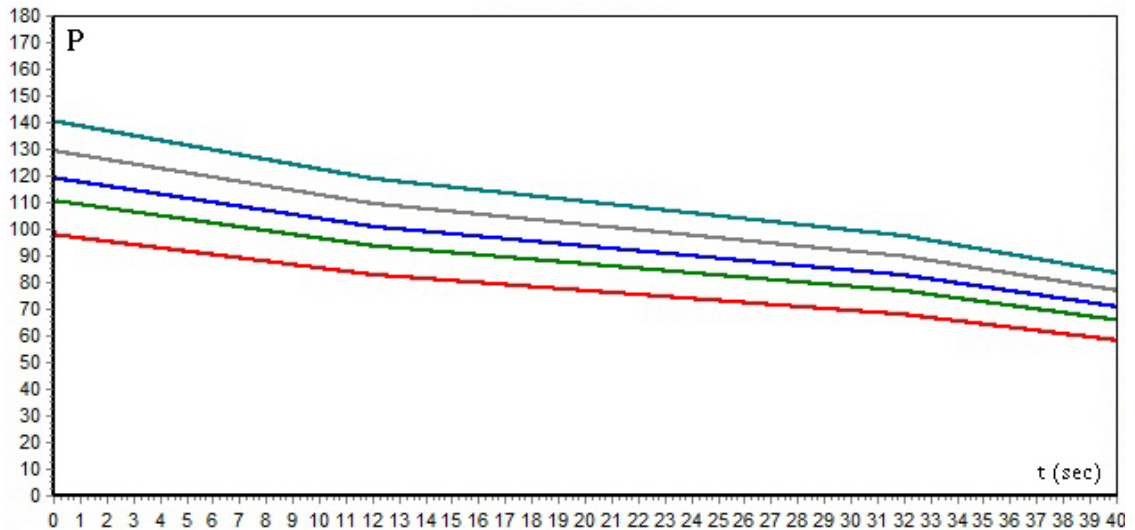
მზის ელ.სადგურის სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის დროს, მოღრუბლულობის გამო, გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების ზეგავლენა საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის ცვლილებაზე ნაჩვენებია ნახ.62-ზე.



ნახ. 62. ცვლადი მოღრუბლულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე

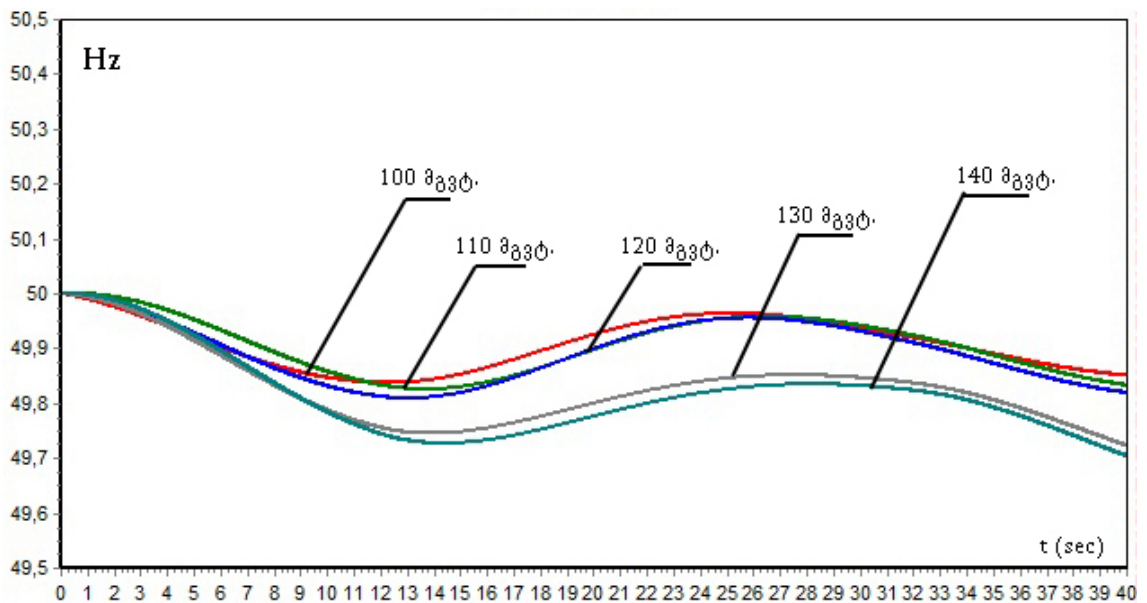
ნახ.62 -დან ჩანს რომ რაც უფრო დიდია საქართველოს ელ.სისტემაში ინტეგრირებული მზის ელ.სადგურების დადგმული სიმძლავრე მით უფრო მეტია სიხშირის რყევა, რადგან მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრე დამოკიდებულია მზის პანელების რაოდენობაზე და მზის გამოსხივების ინტენსივობაზე, დიდ ელ.სადგურზე მზის პანელების 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.

ნახ.63-ზე ნაჩვენებია 100-140 მგვტ დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურებზე გამომუშავებული სიმძლავრე ცვლადი მოღრუბლულობის გამო.



ნახ. 63. ცვლადი მოღრუბლულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება

ნახ.64-ზე ნაჩვენებია საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევა ცვლადი მოღრუბლულობის გამო 100-დან 140 მეგავატამდე დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის შემთხვევებში.

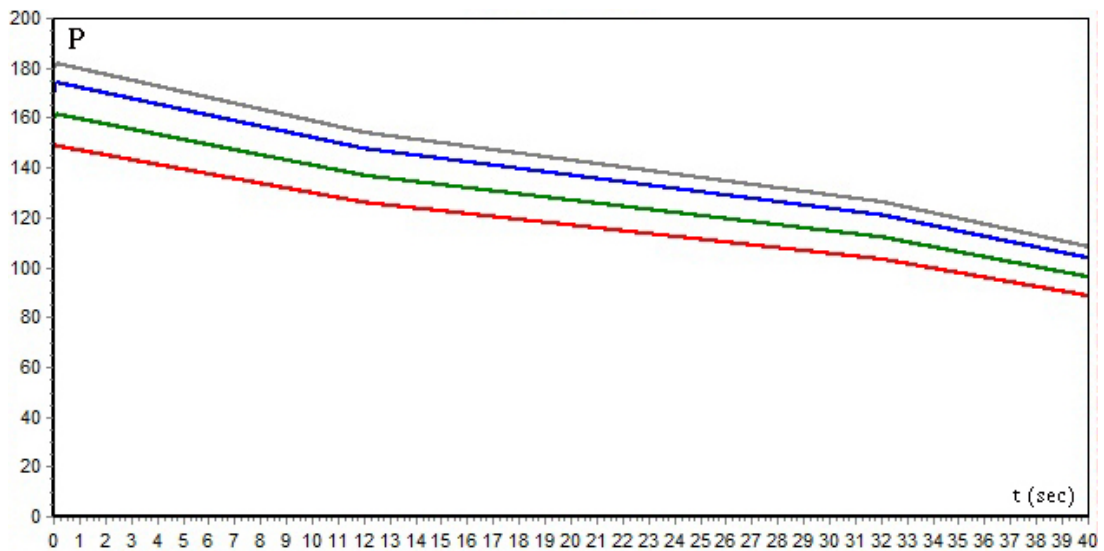


ნახ. 64. ცვლადი მოღრუბლულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე

როგორც ნახ.64 დან ჩანს 140 მგვტ. მდე დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის შემთხვევაში სიხშირის რყევა საქართველოს ელ.სისტემაში არის 0.3 ჰერცის ფარგლებში.

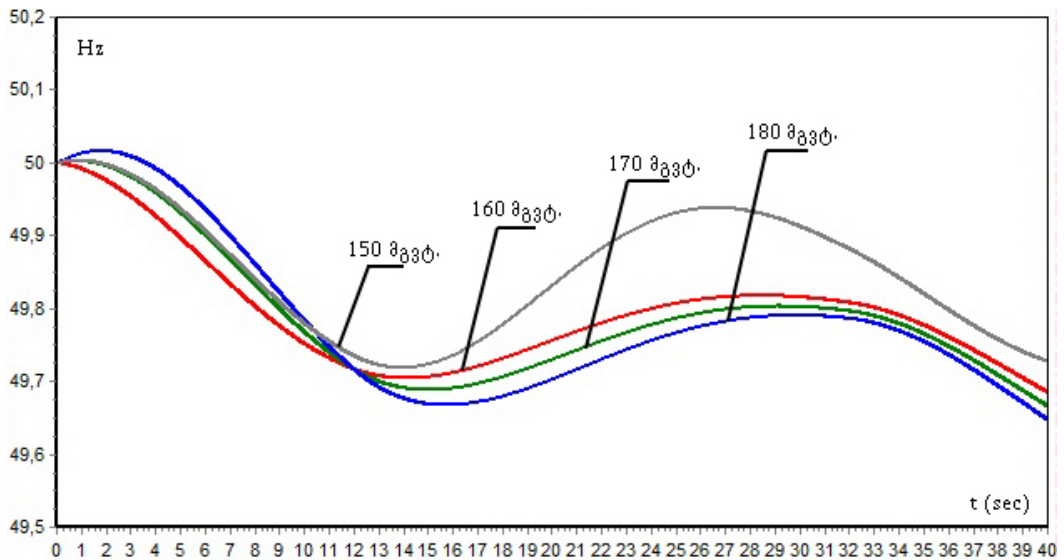
საქართველოს ელ.სისტემაში, მზის ელ.სადგურის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდის ინტეგრაციის შესაძლებლობის კვლევის დროს, სხვადასხვა სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის სისტემის პარამეტრებზე გავლენის დადგენისათვის, სხვადასხვა სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის ელ.სისტემის პარამეტრებზე გავლენის ანგარიშის დროს მზის ენერჯის დროში ცვლილება სხვადასხვა სიმძლავრის ელ.სადგურებისათვის ერთიდაიგივეა.

ნახ.65-ი 150-180 მგვტ დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურებზე გამომუშავებული სიმძლავრე ცვლადი მოღრუბლულობის გამო.



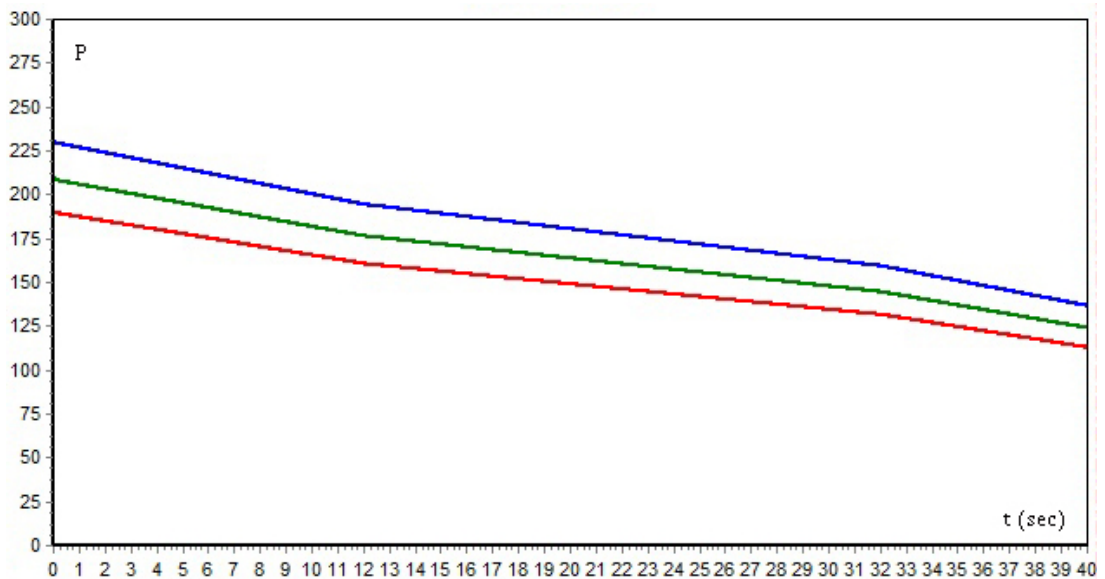
ნახ. 65. ცვლადი მოღრუბლულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილება

ნახ.66-ზე ნაჩვენებია საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევა ცვლადი მოღრუბლულობის გამო 150-დან 180 მეგავატამდე დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის შემთხვევებში.



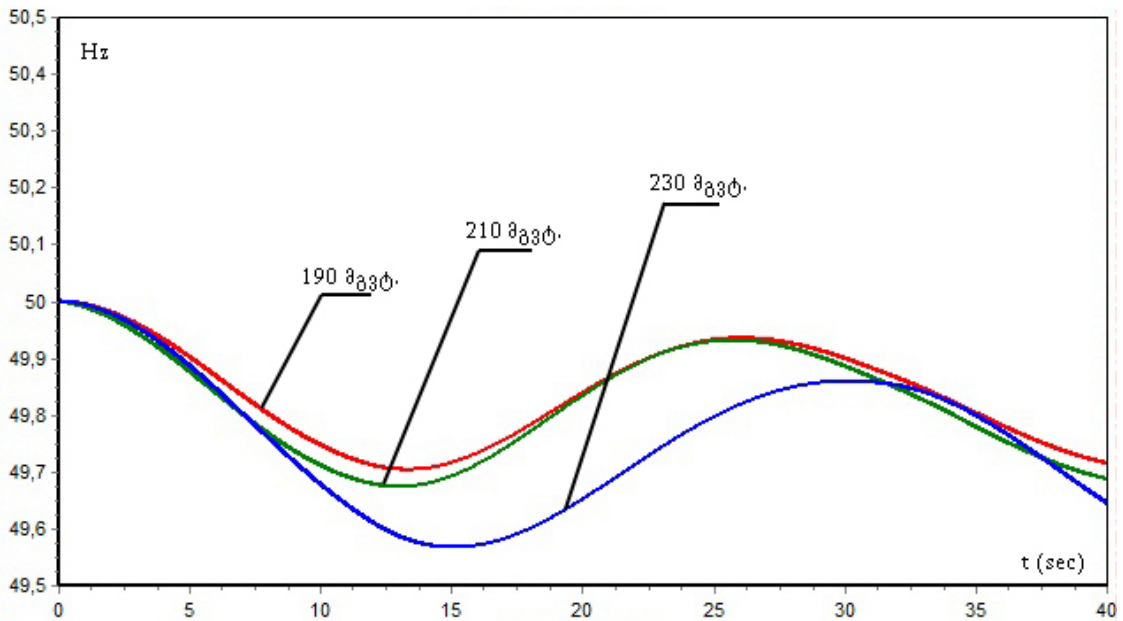
ნახ. 66. ცვლადი მოღრუბლულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამოიმუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე

ნახ.67-ი 190-230 მგვტ დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურებზე გამოიმუშავებული სიმძლავრე ცვლადი მოღრუბლულობის გამო.



ნახ. 67. ცვლადი მოღრუბლულობის გამო მზის ელ.სადგურზე გამოიმუშავებული სიმძლავრის ცვლილება

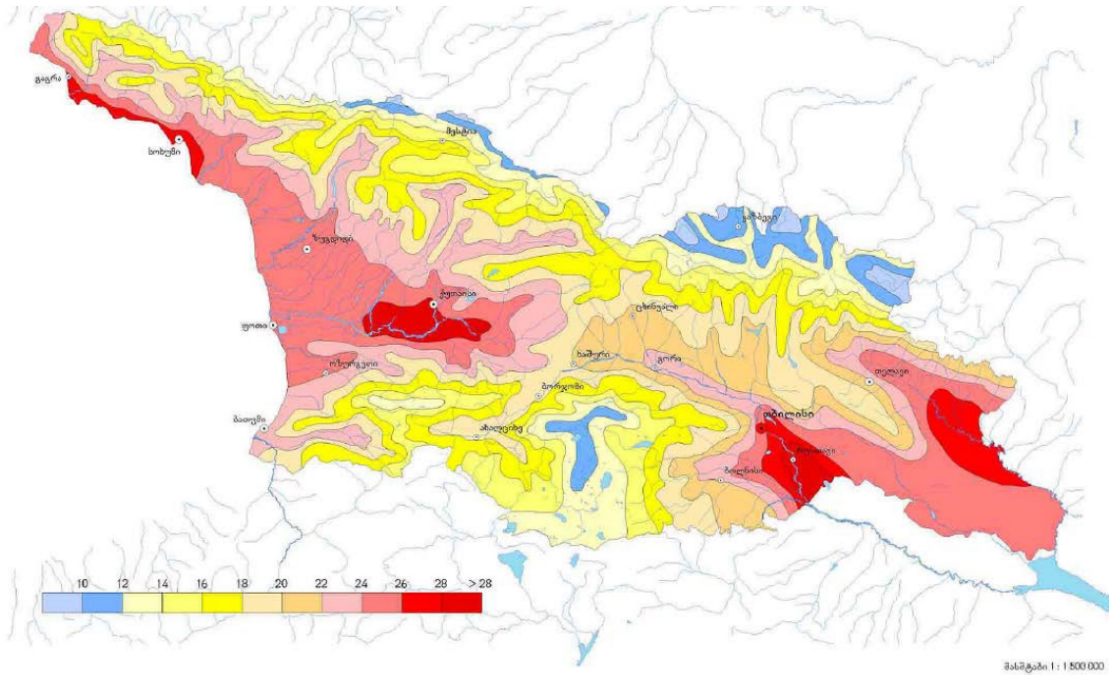
ნახ.68 საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევა ცვლადი მოღრუბლულობის გამო 190 დან 230 მეგავატამდე დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურის შემთხვევებში.



ნახ. 68. ცვლადი მოღრუბლულობის დროს სხვადასხვა დადგმული სიმძლავრის მზის ელ.სადგურზე გამომუშავებული სიმძლავრის ცვლილების გავლენა საქართველოს ელ.სისტემის სიხშირეზე

როგორც ნახ.68- დან ვხედავთ 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. 230 მგვტ.ზე მეტი სიდიდის ფოტოელემენტებიანი მზის ელ.სადგურს ძალიან დიდი მიწის ფართობი სჭირდება საქართველოსი არ არსებობს ისეთი ერთი ლოკაცია სადაც უფრო დიდი ელ.სადგურის განთავსება შესაძლებელი ამიტომ ერთი მზის ელ.სადგურის შემთხვევის ანგარიში 230 მგვტ. სიმძლავრეზე მთავრდება რადგან ასეთ მზის ელ.სადგურს 10 კმ² მიწის ფართობი სჭირდება.

შემდეგი ანგარიში ჩატარდა ისევ პროგრამა PSS/E - ში, მზის ელ.სადგურების სხვადასხვა ლოკაციებზე გადანაწილების შემთხვევებისათვის, როგორც ნახ.69-ზე ჩანს



ნახ. 69. მზის ენერჯის პოტენციალი საქართველოში

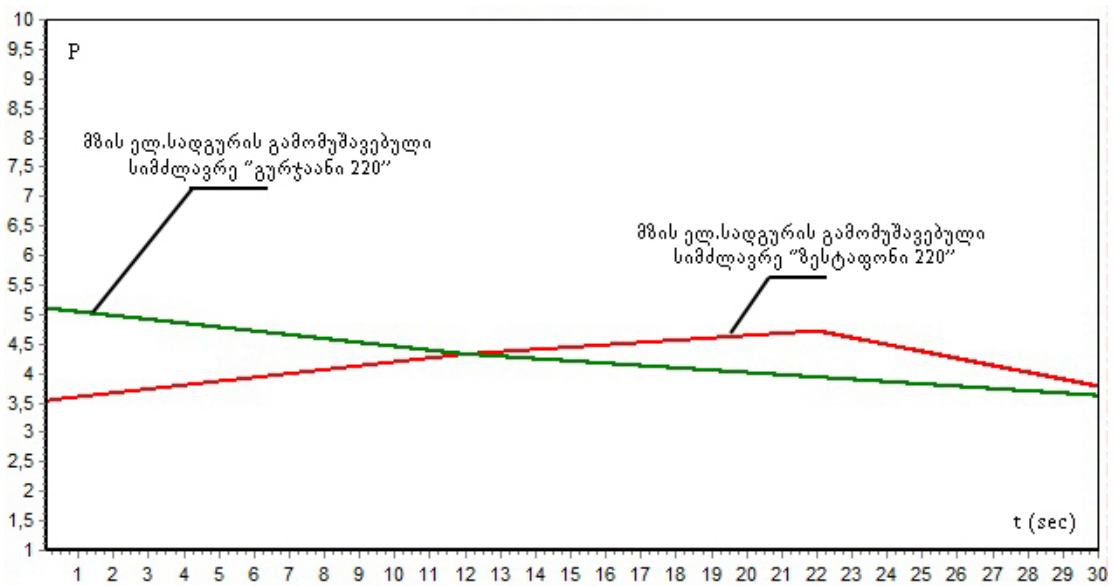
ნახ.69 მაქსიმალური ტემპერატურები ზაფხულში. მზის სადგურების პოტენციური რეგიონები

საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობის გათვალისწინებით, მზის ეფექტური გამოსხივება საკმაოდ მაღალია, საქართველოს უმეტეს რაიონებში მზის ნათების წლიური ხანგრძლიობა 250-280 დღემდე მერყეობს, რაც წელიწადში დღის ხანგრძლივობის მიხედვით დაახლოებით 1900-2200 საათს შეადგენს. მზის სრული წლიური პოტენციალი შეფასებულია 108 მგვტ-ით, აღმოსავლეთ საქართველო გაცილებით მზიანი ვიდრე დასავლეთი თუმცა ქუთაისის მიმდებარე ტერიტორიაზე შესაძლებელია მზის ელ.სადგურების აშენება, ქვემო ქართლის და შირაქის რეგიონებში წინასწარი შეფასებით 50 მგვტ. სიმშპვარის მზის ელ.სადგურების მშენებლობა შესაძლებელი.[2]

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 5 მგვტ. სიმძლავრით. მეორე მზის ელ.სადგური მიერთებულია ზესტაფონი 220 -ის სალტეზე ასევე 5 მგვტ. სიმძლავრით.

მზის ელ.სადგურების სიმძლავრე ყოველ ახალ ანგარიშში ორივე მზის ელ.სადგურზე თანაბრად იზრდება. ანგარიშის მიზანია დადგინდეს რამდენად შეამცირებს სიხშირის რხევას მზის ელ.სადგურებზე გამომუშავებული ერთიდაიგივე სიმძლავრის სხვადასხვა ლოკაციებზე განთავსება.

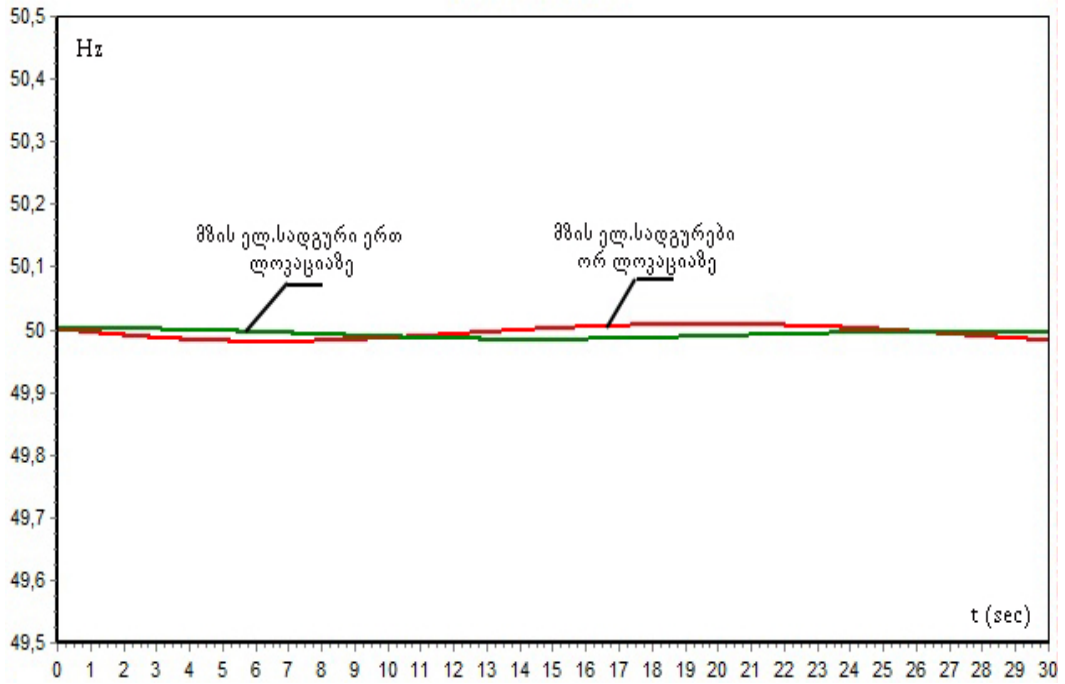
ნახ.70-ი მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით 10 მგვტ.



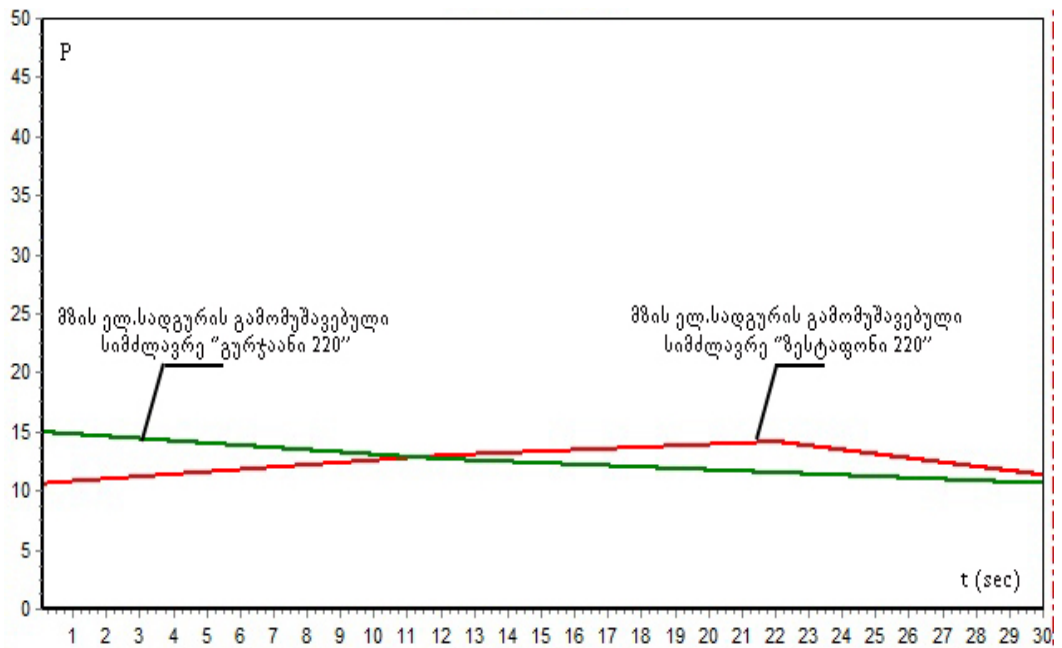
ნახ. 70. მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე ჯამური დადგმული სიმძლავრით 10 მგვტ.

ნახ.71-ი საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 10მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის. ნახ.72-ი მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით 30მგვტ.

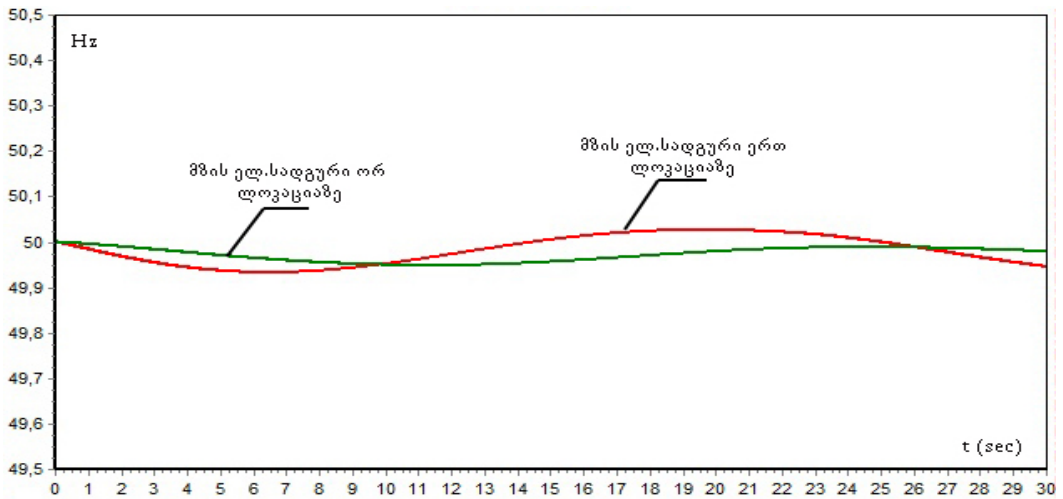
ნახ.73 საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 30მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის.



ნახ. 71. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 10მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

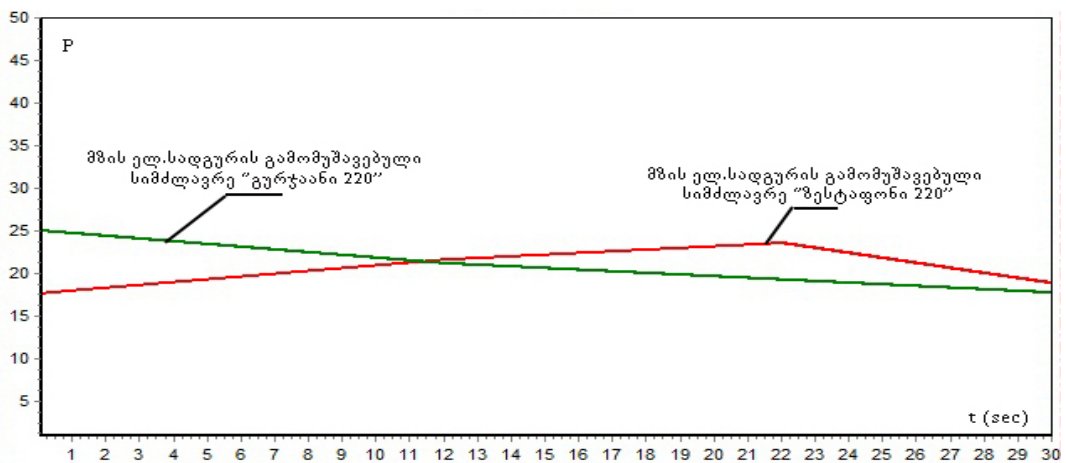


ნახ. 72. მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე "ზესტაფონი 220" და "გურჯაანი 220"-ის სალტეებზე ჯამური დადგმული სიმძლავრით 30მგვტ



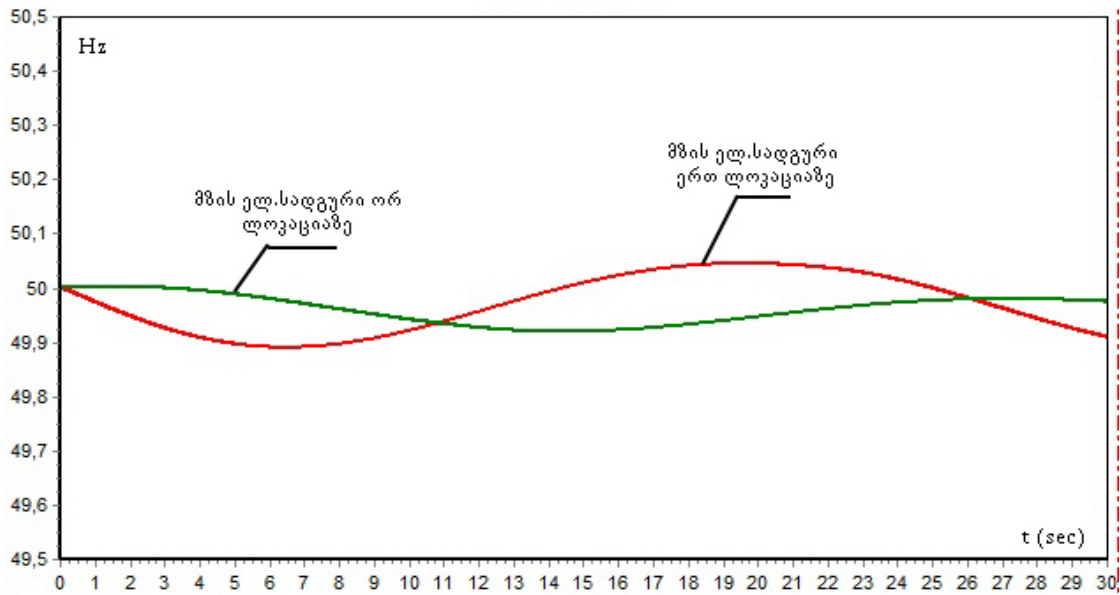
ნახ. 73. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 30მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

ნახ.74-ი მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით 50მგვტ.



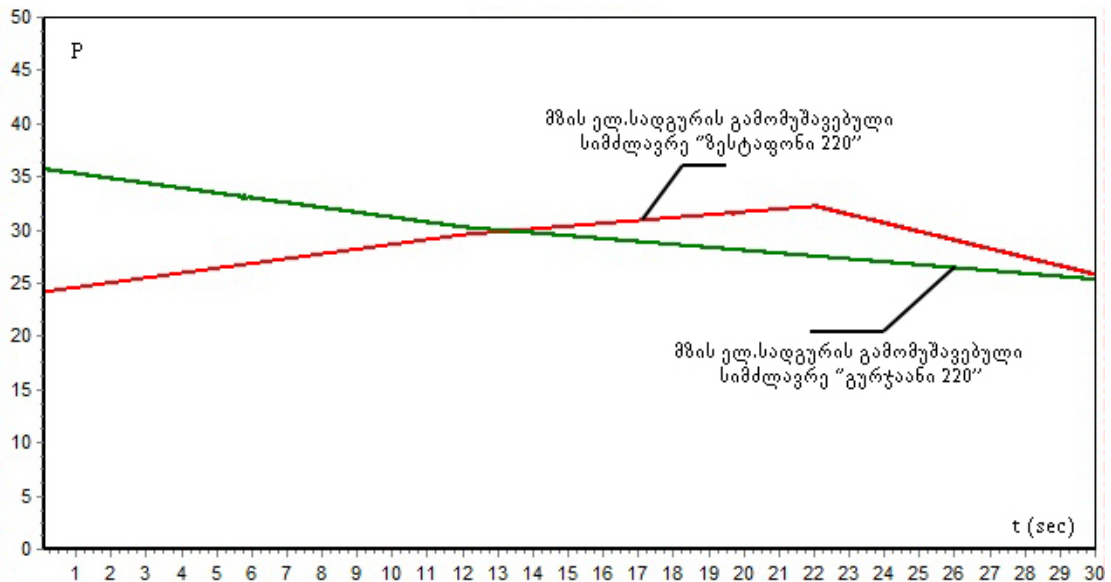
ნახ. 74. მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე ჯამური დადგმული სიმძლავრით 50მგვტ.

ნახ.75. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 50მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის.



ნახ. 75. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 50მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

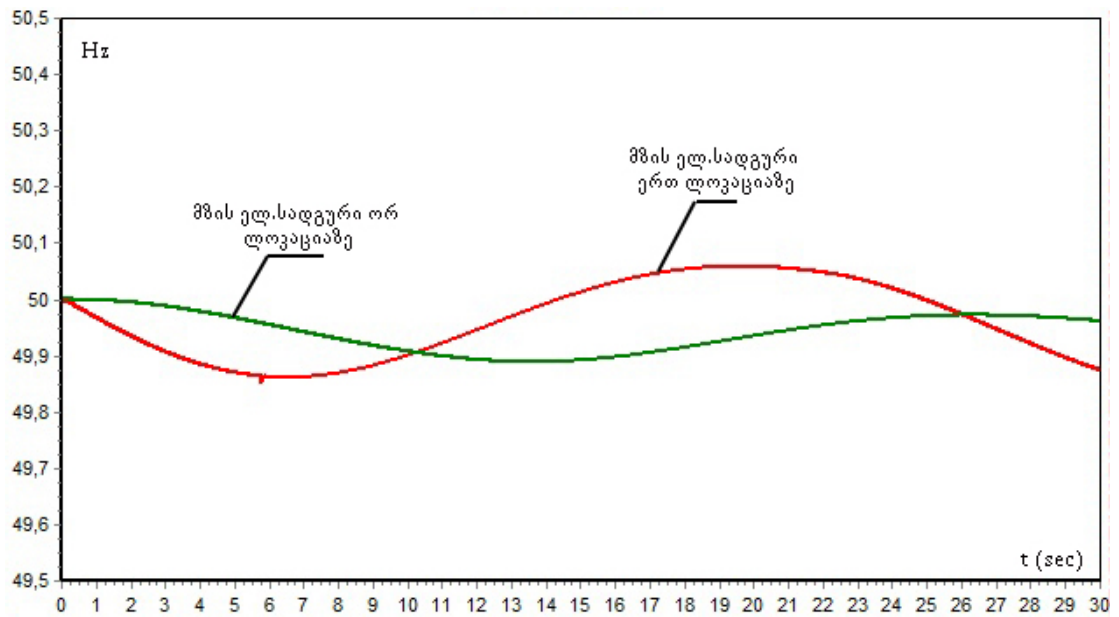
ნახ.76-ი მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით. 70მგვტ.



ნახ. 76. მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით 70მგვტ.

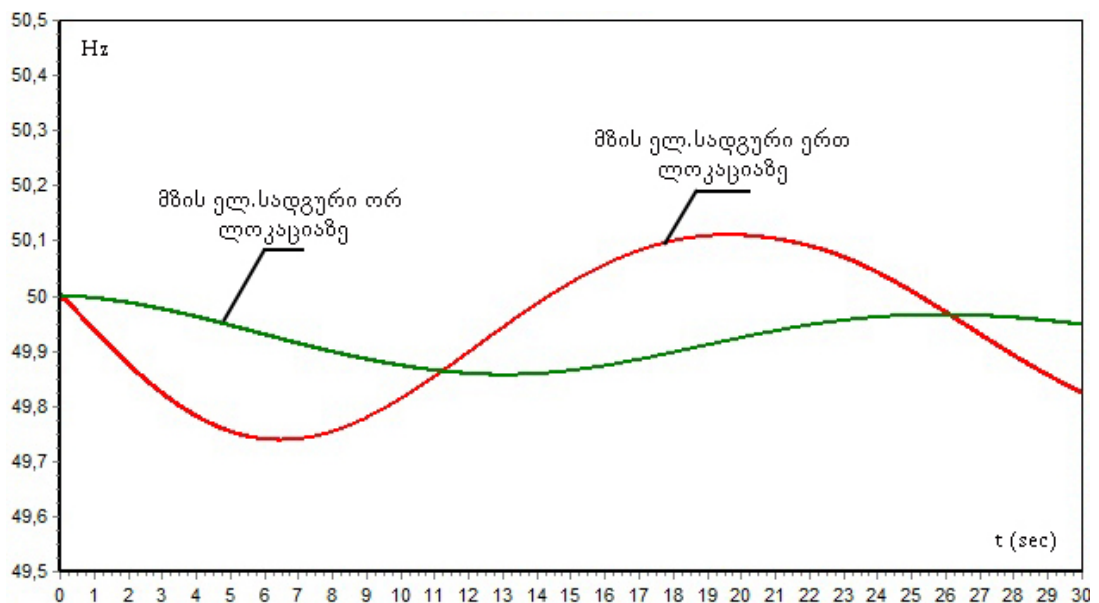
ნახ.77 საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 70მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას

შორის.



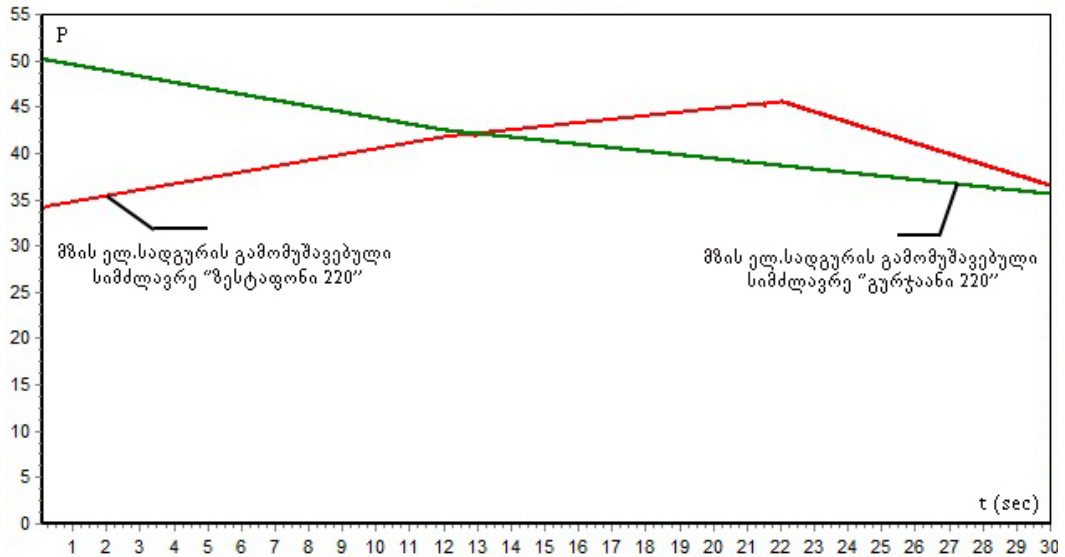
ნახ. 77. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 70მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

ნახ.78 საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 90მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის.



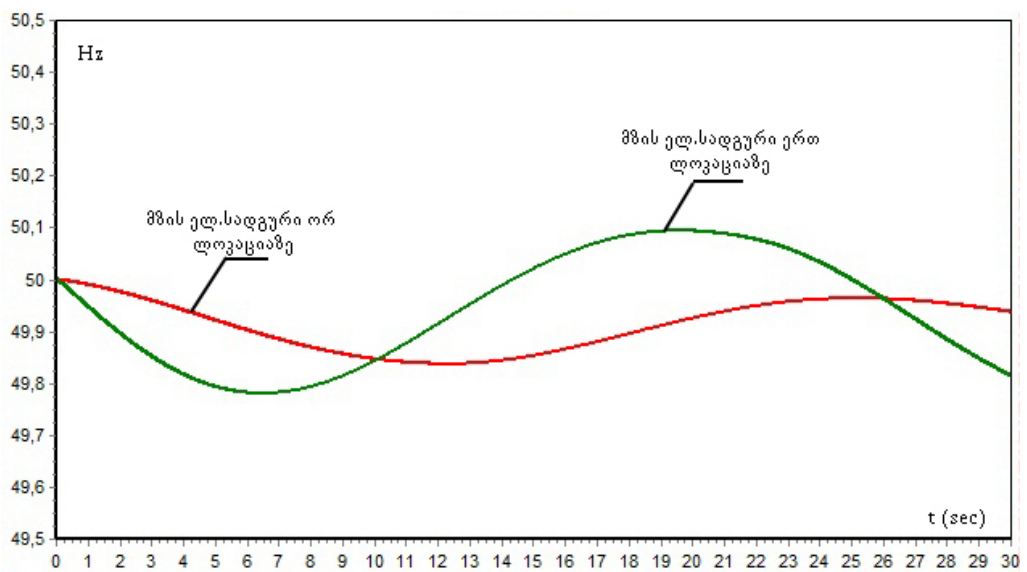
ნახ. 78. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 90მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

ნახ.79-ი მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით 100მგვტ.



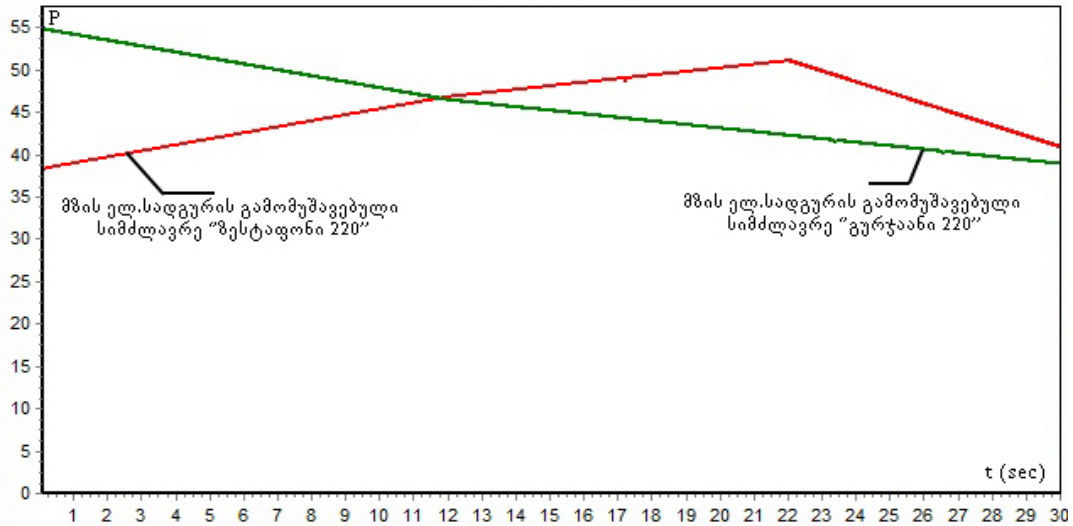
ნახ. 79. მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე ჯამური დადგმული სიმძლავრით 100მგვტ.

ნახ.80 საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 100მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის.



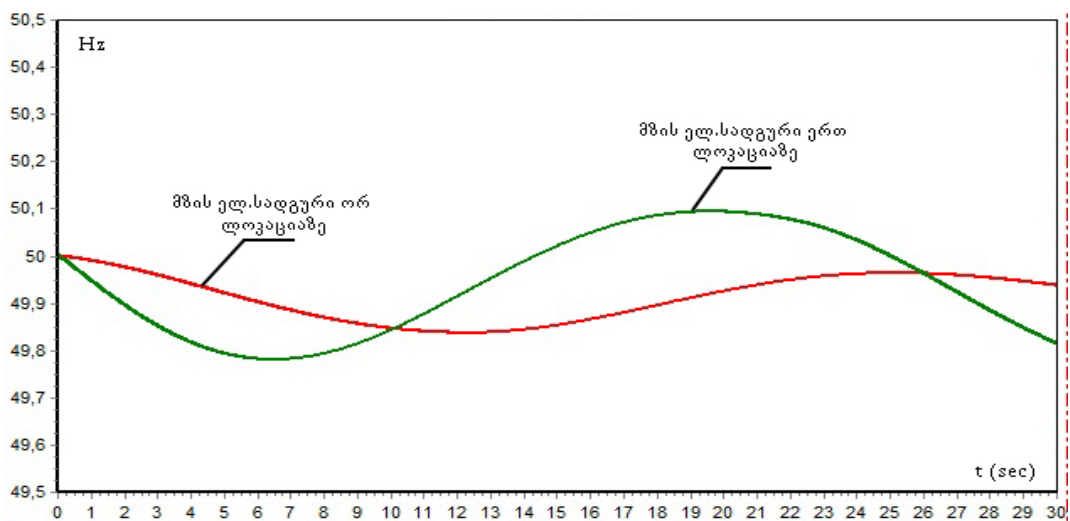
ნახ. 80. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 100მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

ნახ.81-ი მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე. ჯამური დადგმული სიმძლავრით 110მგვტ.



ნახ. 81. მზის ელ.სადგურების გამომუშავებული სიმძლავრე “ზესტაფონი 220” და “გურჯაანი 220”-ის სალტეებზე ჯამური დადგმული სიმძლავრით 110მგვტ.

ნახ.82 საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 110მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის.



ნახ. 82. საქართველოს ელ.სისტემაში სიხშირის რყევის შედარება, მზის ელ.სადგურის 110მგვტ. დადგმული სიმძლავრის 1 და 2 ლოკაციას შორის

როგორც ნახ.82-ზე ჩანს მზის ელ.სადგურების გადანაწილება ორ ლოკაციაზე მკვეთრად ამცირებს სიხშირის რხევას, მზის ელ.სადგურების უფრო მეტ ლოკაციაზე გადანაწილება კიდევ უკეთეს გავლენას იქონიებს სიხშირის რხევაზე მაგრამ რადგან საქართველოში მხოლოდ ორი მხარეა სადაც შესაძლებელია მზის ელ.სადგურის აშენება ამ კვლევის ფარგლებში მზის ელ.სადგურების მეტ ლოკაციაზე ანგარიში არ განიხილება.

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 შემფოთების 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.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. რუხვაძე მ. ელექტრული სისტემების მდგრადობა. თბილისი: „განათლება“, 2009, 34 გვ.
2. საქართველოს გადამცემი ქსელის განვითარების ათწლიანი გეგმა 2017-2027. 260 გვ.
3. რუხვაძე მ. ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესები ელექტრულ სისტემებში. თბილისი: „განათლება“, 1991, 35 გვ.
4. ელ.სისტემის საინჟინრო მოდელირების პროგრამა PSS/E-ის დოკუმენტაცია. 55 გვ.
5. BSTP training on dynamic modeling, MAY 2011 Istanbul. “power system analyses (dynamic modeling) “;
6. [http://www.ajer.org/papers/v2\(5\)/AA02502000211.pdf](http://www.ajer.org/papers/v2(5)/AA02502000211.pdf)
7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716300616>
8. Веников В. А., Жуков Л. А. Переходные процессы в электрических системах. Москва: ”Госэнергоиздат”, 1953, 233 p.
9. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем. Москва: „Энергия“, 1979, 456 p.
10. Murthy P. S. R. Power System Analysis. India: BS Publications, 2007, 336 p.
11. Murthy P. S. R. Operation and Control in Power Systems. India: BS Publications, 2008, 421 p.
12. Saadat H. Power System Analysis. USA: McGraw-Hill Primis Custom Publishing, 2002, 712 p.
13. Bergen A. R., Vittal V. Power System Analysis. USA: Prentice Hall, 1999, 619 p.
14. Pavella M., Ernst D., Vega D. R. Transient Stability of Power Systems: A Unified Approach to Assessment and Control. Belgium: Springer, 2000, 238 p.
15. დათაშვილი დ., კობტაშვილი ა. საქართველოს ენერგოსისტემაში ქარის ელექტროსადგურების ინტეგრაციის შესაძლებლობის ანალიზი. „ენერჯია“, 2016, №1(77), 19-20 გვ.
16. დათაშვილი დ. ქარის ელექტროსადგურზე ენერჯიის დამაგროვებლის ანალიზი. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“, 2017, №3, 359-360 გვ.

17. დათაშვილი დ. მზის ელექტროსადგურის ინტეგრაციის გავლენის ანალიზი საქართველოს ელექტროსისტემის მდგრადობაზე. „ენერჯია“, 2018, №1(85), 59-61 გვ.
18. Eremia M., Shahidehpour M. Handbook of Electrical Power System Dynamics - Modeling, Stability, and Control. USA: Wiley-IEEE Press, 2013, 976 p.
19. Ibrahim M. A. Disturbance Analysis for Power Systems. USA: Wiley-Press, 2011, 736 p.
20. Kothari D.P., Nagrath I. J. Modern Power Systems Analysis. USA: McGraw Hill, 2003, 694p.
21. Hase Y. Handbook of Power System Engineering. England: Wiley, 2007, 548 p.
22. https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power
23. https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_of_wind_power.
24. <https://www.wind-energy-the-facts.org/images/chapter2.pdf>
25. <https://www.renewableenergyhub.co.uk/wind-turbines/types-of-wind-turbines.html>
26. <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Energy%20Storage%20with%20Wind%20Power.pdf>
27. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power
28. დათაშვილი დ. ქარის ელექტროსადგურზე სიმძლავრის გენერაციისა და ქარის ცვლილების ხასიათის ანალიზი. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“, 2018, №1-2, 173-174 გვ.