

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი  
"მეცნიერება და ენერჯეტიკა"

ენერჯეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური რევიზიის  
შურნალი

1(109)/2024

---

თბილისი

ISSN 1512-0120

**სარედაქციო კოლეგია:**

მთავარი რედაქტორი – მერაბ ლორთქიფანიძე

მთავარი რედაქტორის მოადგილე – შალვა გაგოშიძე, თენგიზ ჯიშკარიანი

სარედაქციო კოლეგიის წევრები: რ.არველაძე, გ.არაბიძე, ი.ბიჯამოვი, გ.გიგინეიშვილი, დ.გურგენიძე, მ.გუდიაშვილი, თ.კიზირია, გ.კოხრეიძე, გ.ღეკიშვილი, მ.ღომსაძე-კუჭავა, მ.მადრაძე, თ.მიქიაშვილი, თ.მუსელიანი, ლ.მებონია, დ.ნამგალაძე, ს.ნემსაძე, ა.ყუბანიევი, ნ.ქევიშვილი, ქ.ქუთათელაძე, ა.ჭითანავა, გ.ხელიძე, ლ.შატაკიშვილი, ბ.ჭუნაშვილი, ა.ჩიქოვანი, რ.ჩიხლაძე, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), კ.სეიხანი (თურქეთი), პ.პსაროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.კულიევი (აზერბაიჯანი).

**EDITORIAL BOARD:**

The editor-in-chief – Merab Lordkipanidze

Deputy of the editor-in-chief - Shalva Gagoshidze, Tengiz Jishkariani

Editorial board members: R.Arveladze, G.Arabidze, Y.Bijamov, G.Gigineishvili, D.Gurgenidze, M.Gudiashvili, T.Kiziria, N.Kevkhashvili, G.Kokhreidze, A.Kubaneishvili, K.Kutateladze, G.Lekishvili, M.Lomsadze-Kuchava, M.Magradze, T.Mikiashvili, T.Museliani, I.Mebonia, D.Namgaladze, S.Nemsadze, G.Khelidze, L.Shatakishvili, B.Tchunashvili, A.Tshitana, A.Chikovani, R.Chikhladze, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), Z.Skvortsova (Russia), K.Seyhan (Turkey), P.Psarropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Главный редактор – Мераб Лордкипанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе, Тенгиз Джишкარიани

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Г.Гигинеишвили, Д.Гургенидзе, М.Гудиаშვილი, Т.Кизирия, Г.Кохкуიძე, А.Кубанейшვილი, Н.Кувхишვილი, К.Кутателадзе, Г.Лекишვილი, М.Ломсадзе-Кучава, М.Маградзе, Т.Микиაშვილი, Т.მუსელიანი, ლ.მებონია, დ.ნამგალაძე, ს.ნემსაძე, გ.ხელიძე, ლ.შატაკიშვილი, ა.ჩიტანა, ა.ჩიკოვანი, რ.ჩიხლაძე, ბ.ჩუნაშვილი, ნ.ჩახვაშვილი (ответственный редактор), З.Скворцова (Россия), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

**ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:**

ტექნ. მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-დაკავალონება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ჟურნალ "ენერჯის" რედაქციის მისამართი: 0171 თბილისი, სტუ; ტელ. 218-09-51

The address: office of journal "Energy": 0171, Georgia, Tbilisi, GTU; Ph. 218-09-51.

Адрес редакции журнала "Энергия": 0171, ГТУ, Грузия, Тбилиси; тел. 218-09-51

რეგისტრაციის ნომერი № 5<sup>ა</sup> / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

ს ა რ ჩ მ შ ი

83.

<i>გ.კობრიძე, ზ.გაჩეჩილაძე, ნ.ბერაძე, გოჩა კობრიძე, გ.ქადაგიშვილი.</i> მუდმივი დენის ორ ბოგირა ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ერთიანი IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი გარდამქმნელი სისტემის ზოგიერთი თავისებურებანი, მუშაობის რეჟიმების მდგრადობა და ძირითადი პარამეტრები. ....	5
<i>გ.ხორბალაძე, ზ.გაჩეჩილაძე, ი.ჩომახიძე, გოჩა კობრიძე.</i> აღრიცხვის სისტემის შესაბამისობის ანალიზი მომავალი ელექტროენერგეტიკული ბაზრის სამიზნე მოდელთან. ....	14
<i>თ.მუსელიანი, ბ.ჯინჭველეიშვილი.</i> ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის გაუმჯობესების შესაძლო ვარიანტების განხილვა, ბატარეას ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემების და ფოტოელექტრონული სისტემების დანერგვით საქართველოში. ....	20
<i>მ.სართანია, გ.შოვნაძე.</i> საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მომუშავე ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის ტესტირება. ....	28
<i>ბ.ჯინჭველეიშვილი.</i> ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის კვლევა 500კვ ქს „ქსანი-500“-ის მიმდებარედ 200 მგვტ-ის სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემის გამოყენებით.	36
<i>თ.მუსელიანი, ბ.ჯინჭველეიშვილი.</i> ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის შენარჩუნება ნებისმიერი მყისიერი შეშფოთებების დროს ბატარეას ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით. ....	40
<i>გ.ხუციშვილი, მ.დვალაძე.</i> მზის ელექტროსადგურების ეფექტურობა და გარემოზე ზემოქმედება. ....	49
<i>მ.ტურძელაძე, ა.ფეიქრიშვილი.</i> მდგენელების ხარისხისა და დოზირების გავლენა ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებებზე. ....	55
<i>ლ.პაპავა, თ.ისაკაძე, მ.რაზმაძე, გ.დავითაია, გ.გუგულაშვილი.</i> თერმოაკუსტიკური გამაცივებელი სისტემა. ....	60
სტატიების შემოტანის წესები .....	66



მუდმივი დენის ორ ბოგირა ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ერთიანი IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი გარდამქმნელი სისტემის ზოგიერთი თავისებურებანი, მუშაობის რეჟიმების მდგრადობა და ძირითადი პარამეტრები

\* გივი კობრეიძე - ტექნ.მეცნ.კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

E-mail: [gmgmgkf@mail.ru](mailto:gmgmgkf@mail.ru)

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [zviad.gachechiladze@gse.com.ge](mailto:zviad.gachechiladze@gse.com.ge)

ნანა ბერაძე - ტექნ.მეცნ.კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, ასოც.პროფესორი

E-mail: [beradzenana@gmail.com](mailto:beradzenana@gmail.com)

\*\*გოჩა კობრეიძე - საქართველოს ენერჯეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

E-mail: [gocha.kokhreidze@gse.com.ge](mailto:gocha.kokhreidze@gse.com.ge)

გალინა ქადაგიშვილი - აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: [g.qadagishvili26@gmail.com](mailto:g.qadagishvili26@gmail.com)

\*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

\*\*სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

*ანოტაცია.* სამეცნიერო-საინჟინრო ნაშრომში წარმოდგენილია მუდმივი დენის ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ერთიანი IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი გარდამქმნელი სისტემის ძირითადი თავისებურებანი, ექსპლუატაციისას მუშაობის რეჟიმების მდგრადობა და ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრა ხაზის ერთეულოვან სიგრძეზე. ძირითად სქემაში გათვალისწინებულია ორი ერთ ბოგირა გარდამქმნელების მიმდევრობითი ჩართვა და შესაბამისი სამფაზა ორი ტრანსფორმატორების მეორად მხარეზე ხაზური ძაბვების ერთმანეთის ტოლობა. მიღებულია მეტად სრულყოფილი 12-ფაზა გარდაქმნა და გვაქვს ერთმანეთის მიმართ 30<sup>0</sup>-ით დაძრული სამფაზა ძაბვების სისტემა. ამის გამო გამართულ ძაბვას გააჩნია 12-ის ჯერადი ჰარმონიკები. თითოეული ბოგირის გამართულ ძაბვაში  $(2k+1).6, k=0,1,2,3,\dots$  რიგის ჰარმონიკები იმყოფებიან საწინააღმდეგო ფაზაში, ურთიერთ კომპენსირდებიან და ამიტომ არ არსებობენ ორთავე ბოგირის ჯამურ ძაბვაში. სქემაში მიწა გამოყენებულია, როგორც დენსადენი. მიწაში მუდმივი დენის და ცვლადი დენის გავრცელების სურათი ძლიერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ძირითადი ხაზით გადაცემული აქტიური სიმძლავრის წარმოებული პირველად ძაბვებსა და მეორად ძაბვებს შორის არსებული კუთხით უნდა იყოს დადებითი, რათა ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის მუშაობა იყოს მდგრადი.

*საკვანძო სიტყვები:* IGBT- ტრანზისტორული მოდულები, გამმართველი, ინვერტორი, სამფაზა ტრანსფორმატორები, რეჟიმების მდგრადობა, ძირითადი პარამეტრები,ძაბვებისა და დენების ჰარმონიკები.

*მუდმივი დენის ორ ბოგირა ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ერთიანი IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი გარდამქმნელი სისტემის ზოგიერთი თავისებურებანი*

მუდმივი დენის გადამცემ ხაზში საკმაოდ მაღალი ძაბვის მისაღებად გარდამქმნელ ქვესადგურებში ჩვეულებრივად ხორციელდება რამოდენიმე ერთ-

ბოგირა გარდამქმნელების მიმდევრობითი ჩართვა. ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს ორი დამოუკიდებელი სამფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორი, რომელთა პირველადი გრაგნილები შეერთებულია ვარსკვლავად, ხოლო მეორადი გრაგნილებიდან ერთი ტრანსფორმატორისათვის შეერთებულია

ვარსკვლავად და მეორე ტრანსფორმატორისათვის კი სამკუთხედად (ნახ. 3, 8). ამასთან თითოეული ბოგირს გააჩნია მასთან პარალელურად მიერთებული მაშუნტირებელი ტირისტორები, რომელთა საშუალებით წარმოებს, აუცილებლობის შემთხვევაში, შესაბამისი ბოგირის ექსპლუატაციიდან გამოყვანა [1-2]. სქემაზე ზედა ტრანსფორმატორების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი არის ერთი; ხოლო ქვედა ტრანსფორმატორების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი არის  $\sqrt{3}$ . ე.ი. ტრანსფორმატორისათვის გრაგნილებით “ვარსკვლავი-ვარსკვლავი” პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხვიათა რიცხვები ერთმანეთის ტოლია ( $W_1 = W_2$ ). მეორე ტრანსფორმატორისათვის გრაგნილებით “ვარსკვლავი-სამკუთხედი” ხვიათა რიცხვების თანაფარდობაა  $W_2 = \sqrt{3}W_1$ . ამის გამო ორთავე ტრანსფორმატორის მეორადი მხარეზე ხაზური ძაბვები ერთმანეთის ტოლია. ბოგირების მიმდევრობითი შეერთებით ვლემულობთ მეტად სრულყოფილ 12-ფაზა გარდაქმნას. ამ მიზნისათვის თითოეულ მიმდევრობით ჩართულ ბოგირზე მოედება ერთმანეთის მიმართ 30°-ით დაძრული სამფაზა ძაბვათა სისტემა.

ორბოგირა 12-ფაზა გარდაქმნელის გამოყენების დადებითი ეფექტიდან ერთ-ერთს განეკუთვნება გამართული ძაბვის ხარისხი. ორი ბოგირის ჯამური გამართული ძაბვა აღმოჩნდება უფრო გაგლუვებული (ჰარმონიკების მცირე შემადგენლობა) ერთბოგირის გამართული ძაბვის მიმართ. ორბოგირა გარდაქმნელის

გამართულ ძაბვას გააჩნია ცვლადი დენის პერიოდის განმავლობაში 12 მცირე პულსაცია და შეიცავს მხოლოდ 12-ის ჯერად ჰარმონიკებს ( $n = 12K$ ), ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ). თითოეული ბოგირის გამართულ ძაბვაში არსებული ჰარმონიკები  $n = 6, 18, \dots, (2K + 1)6, \dots$  ( $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ )

იმყოფებიან საწინააღმდეგო ფაზებში, ურთიერთ კომპენსირდებიან და ამიტომ არ არსებობენ ორთავე ბოგირის ჯამურ ძაბვაში.

ორბოგირა 12-ფაზა გარდაქმნელების გამოყენებისას სხვა დადებით ეფექტს განეკუთვნება ქსელიდან მოთხოვნილი ცვლადი დენის ხარისხი (გამართვის შემთხვევაში) ან ქსელში გაცემული დენის ხარისხი (ინვერტირების შემთხვევაში). ორბოგირა 12-ფაზა გარდაქმნელის ცვლადი დენი შეიცავს მცირე მაღალ ჰარმონიკებს და თავისი ფორმით ახლოსაა სინუსოიდასთან ერთბოგირა 6-ფაზა გარდაქმნელთან შედარებით. სქემაზე ნაჩვენები ორი ორ გრაგნილიანი ტრანსფორმატორის შემთხვევაში საერთო ინდუქციური წინაღობა არის მხოლოდ სისტემის  $X_{\text{შ}}$  წინაღობა. ამის გამო გამორიცხულია ბოგირებს შორის კომუტაციური პროცესების გამო ურთიერთ გავლენა. ამ შემთხვევაში არ არსებობს საერთო ინდუქციური წინაღობა ორ ბოგირის ცვლადი დენის მხარეზე.

სქემაში იგულისხმება, რომ თითოეულ ბოგირში ღია მდგომარეობაშია ან ორი ტირისტორი (არა საკომუტაციო ინტერვალი) ან სამი (კომუტაციური ინტერვალი). დამყარებულ პროცესში

ტირისტორები ღია მდგომარეობაშია დროის შუალედში, რომელსაც შეესაბამება  $30^{\circ}$ -იანი კუთხე. ამის გამო ორბოგირა გარდამქმნელში პროცესების განმეორებადობის ინტერვალი ტოლია  $30^{\circ}$ -ის.

თითოეულ ბოგირში კომუტაციის კუთხე  $\gamma \leq 60^{\circ}$ . ტირისტორული გარდამქმნელის შემავალ დენში (ცვლადი დენის ქსელის ცვლად დენში) არსებობს მაღალი რიგის ჰარმონიკები ნომრით  $n = mk \pm 1$ , სადაც  $k = 1, 2, 3, \dots$ , ხოლო გამართულ ძაბვაში არსებობს ჰარმონიკები ნომრით  $n = mk$ .

ზოგად შემთხვევაში მეორადი დენის პირველი და მაღალი რიგის ჰარმონიკების გამოსახულებებში არსებობს ორი პარამეტრი:  $\alpha$  და  $\gamma$ .

IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემთხვევაში ყველა ფორმულისათვის პრაქტიკულად შეიძლება მივიღოთ, რომ  $\gamma = 0$ .

მდგ-ის წარმოდგენილ სქემაში მიწა გამოყენებულია, როგორც დენსადენი. მიწაში მუდმივი დენის და ცვლადი დენის გავრცელების სურათი ძლიერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

მუდმივი დენი დამამიწებლიდან განშტოვდება ყველა მიმართულებით და მიდის მიწაში უმცირესი წინააღობის გზით. ის მიდის არა მარტო დამამიწებლებს შორის მოქცეული შეზღუდული მოცულობაში, არამედ შორს განშტოვდება მისგან ორთავე მხარეს და შეაღწევს ღრმად მიწაში. მასში მუდმივი დენის სიმკვრივე სწრაფად მიიღევა დამამიწებლიდან მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად. მაგალითად 100-1000 მ მანძილზე მუდმივი დენის

სიმკვრივე ხდება უგულვებელსაყოფად მცირე. მუდმივი დენის გადაცემის შემთხვევაში დამამიწებლები სრულდება საკმაოდ დიდი ზომის და შესაბამისად განშტოების წინააღობას აქვს მცირე მნიშვნელობა. მაგალითად, თუ დამამიწებლის ფოლადის ღეროების ექვივალენტური პარამეტრი 1100 მ-ია, მაშინ განშტოების წინააღობა არის რამოდენიმე ათეული ომის ტოლი [3].

ბიპოლარული ხაზის ორთავე პოლუსი სრულდება ერთნაირად, ჩამოიკიდება T-ს მაგვარ საყრდენებზე და პოლუსების სადენები აღმოჩნდებიან პარალელურნი და თანაბრად განლაგებული მიწის ზედაპირის ზემოდ.

მდგ-ში დენის ჰარმონიკის შეზღუდვისათვის ღონისძიებები იყოფა სამ კატეგორიად:

- ჰარმონიკების წყაროზე ზემოქმედება (გარდამქმნელების ფაზათა რიცხვის ამაღლება, ტირისტორების გაღების კუთხის შემცირება);
- ჰარმონიკების დაცემა და ქვესადგურების გამომავალი მოწყობილობების დახმარებით მათი ფილტრაცია;
- ხაზის პარამეტრებზე ზემოქმედება ჰარმონიკების მიღევადობის გაზრდის მიზნით.

განვიხილოთ მოკლედ ცალცალკე ეს ღონისძიებები:

1. ფაზათა რიცხვის ამაღლებისათვის მიზანშეწონილია ბოგირების რიცხვის გაზრდა. ორი ბოგირის შემთხვევაში გვაქვს 12-ფაზა, სამი ბოგირის შემთხვევაში 18-ფაზა, ხოლო ოთხი ბოგირის შემთხვევაში 24-ფაზა სქემა. იცავენ აგრეთვე

ტირისტორების გაღების  $\alpha$ -კუთხის მოცემის სიზუსტეს ყველა ტირისტორებისათვის, რის შედეგადაც მცირდება ჰარმონიკების რიცხვი.

2. ქვესადგურის გამომავალი მოწყობილობების შესახებ ყველაზე ეფექტურია ხაზოვანი რეაქტორების ინდუქციურობების გაზრდა, რაც იწვევს დენის ჰარმონიკების პროპორციულ შემცირებას ხაზის ბოლოებში და მის გასწვრივ. ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია ასეთი ფილტრები  $L_{\Sigma}$  და  $C_{\Sigma}$  პარამეტრებით, როგორც გამართვის, ასევე ინვერტირების ქვესადგურებში გამოიყენება დაბალი სიხშირის ფილტრები [1]. საორიენტაციოდ შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ  $L_{\Sigma}=13$ ჰენრი და  $C_{\Sigma}=0,15$  მკფ. აქ იგულისხმება, რომ გვაქვს რამოდენიმე რკინის გულარიანი რეაქტორი და რამოდენიმე კონდენსატორი. არასასურველი მეტეოროლოგიური პირობებში გასათვალისწინებელია ის, რომ არ მოხდეს კონდენსატორებზე მუდმივი ძაბვის არათანაბარი გადანაწილება, არ გამოიწვიოს შიგა იზოლაციის გარღვევა და ცალკეული კონდენსატორების გამომყვანი იზოლატორების გადაფარვა, რაც აღმოიფხვრება ასეთი ფილტრების დახურულ შენობაში დამონტაჟებით.

3. გადაცემის ხაზის მილევის კოეფიციენტის გაზრდისათვის განიხილება მუდმივი დენის სადენის ახალი კონსტრუქცია „ფოლად-ალუმინიანი“ სადენებით. აქ ფოლადის სადენები გარშემოცმულია ალუმინის სადენების გარე პერიმეტრზე. მუდმივი დენის მიმართ წინაღობა არ იცვლება, ხოლო ცვლადი დენის მიმართ აქტიური წინაღობა მნიშვნელოვნად იზრდება, რითაც იზრდება

სადენის შიგა ინდუქციურობა ისე, რომ იგი ნაკლებია ხაზის ინდუქციურობაზე. ამის გამო ხაზის ტალღური წინაღობა  $Z \approx \sqrt{L/C}$  პრაქტიკულად არ იზრდება. ამის გათვალისწინებით აქტიური წინაღობის გაზრდასთან ერთად თანაბარი ხარისხში იზრდება პოლუს-პოლუსი ხაზის კონტურის მილევის კოეფიციენტი, ვინაიდან  $\alpha_{\text{მოგ}} = R_{\text{სად.}}/2Z$ . აგრეთვე იზრდება მცირე ხარისხში ორი პოლუსი-მიწა კონტურის მილევის კოეფიციენტი. დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ დენის ჰარმონიკები მცირდება 2-3 ჯერ. ასეთი ახალი კონსტრუქციის სადენი უზრუნველყოფს მის სიმტკიცეს [3].

გამართვისა და ინვერტირების რეჟიმში მომუშავე გარდამქმნელები მოიხმარენ რეაქტიულ სიმძლავრეს ცვლადი დენის ქსელიდან. პირველი რიგის ჰარმონიკისათვის ადგილი აქვს დენის ჩამორჩენას ძაბვისაგან და რეაქტიული სიმძლავრე დადებითია. ამ შემთხვევაში ინდუქციური დატვირთვა და გარდამქმნელი წარმოადგენენ რეაქტიული სიმძლავრის მომხმარებელს. მეორე მხრივ, კონდენსატორული ბატარეა და სინქრონული კონპენსატორი, რომლებისთვისაც რეაქტიული სიმძლავრე უარყოფითია, შეიძლება ჩაითვალოს რეაქტიული სიმძლავრის წყაროებად. ამიტომ გარდამქმნელი ქვესადგურის პარალელურად რთავენ კონდენსატორულ ბატარეებს  $C_{\Sigma}$ -ს პარამეტრით, ან სინქრონულ კომპენსატორებს [3].

ხშირად საჭიროა შეზღუდული იქნას დენის მაღალი სიხშირის ჰარმონიკები



ცვლადი დენის სისტემაში შემოყვანილი გარდამქმნელებით. ამისათვის კონდენსატორის მიმდევრობით ირთვება რეაქტორი ინდუქციურობის  $L_{\Phi}$  -პარამეტრით.

*მუდმივი დენის ორ ბოგირა ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ერთიანი IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი გარდამქმნელი სისტემის მუშაობის რეჟიმების მდგრადობა*

მცირე ან მნიშვნელოვანი აღშფოთებისას გაერთიანებული სისტემის რეჟიმების სწრაფი დაბრუნება საწყისი გაწონასწორებულ დამყარებულ რეჟიმში განაპირობებს ენერგეტიკული სისტემის სტატიკურ მდგრადობას. მდგრადობის პრობლემების განხილვა მეტად საჭიროა, განსაკუთრებით მუდმივი დენის გადაცემის შუალედური რგოლით დაკავშირებული ორი სამფაზა ცვლადი ენერგეტიკული სისტემის შემთხვევაში.

სისტემა, რომელიც ხასიათდება უნარით შენარჩუნებული ჰქონდეს სინქრონიზმი რეჟიმის პარამეტრების უცვარი და მკვეთრი ცვლილებისას ან სისტემაში ავარიისას (მოკლე შერთვები, გენერატორების ნაწილის, ხაზებისა და ტრანსფორმატორების გამორთვა), იმყოფება დინამიკური მდგრადობის პირობებში. სისტემაში ნორმალური მუშაობის ასეთი უცვარი დარღვევისას აღიძვრება გარდამავალი პროცესი, რომლის დამთავრებისას ისევ უნდა დადგეს მუშაობის დამყარებული ავარიის შემდგომი ნორმალური რეჟიმი.

უნდა აღინიშნოს, რომ წინა მდებარე სტატიაში შესაბამისი ფორმულების

ნუმერაცია წარმოადგენს წინა სტატიების ნუმერაციების გაგრძელებას.

$U_I$  - ძაბვის მქონე პირველი ენერგოსისტემიდან  $U_{II}$ - ძაბვის მქონე მეორე სისტემისაკენ გადაცემული აქტიური სიმძლავრე ტოლია:

$$P_I = \sum X \frac{U_I U_{II}}{X} \sin \delta, \quad (1)$$

სადაც  $\delta$  -კუთხეა;  $U_I$  და  $U_{II}$  - ძაბვების ვექტორებს შორის;  $\sum X$  - სისტემებს შორის ექვივალენტური რეაქტიული წინაღობაა. ერთიანი სისტემა მდგრადია თუ სრულდება პირობა

$$\frac{dP_I}{d\delta} > 0. \quad (2)$$

წინააღმდეგ შემთხვევაში სისტემა არამდგრადია.

$\delta$  -კუთხის რეგულირება  $0^\circ$ -დან  $90^\circ$ -მდე წარმოებს ინვერტორული ქვესადგურში არსებული ინვერტორის წინსწრების  $\beta$ -კუთხის რეგულირებით. შესაბამისად გვაქვს დამოკიდებულება  $\alpha$  და  $\beta$ -ს შორის

$$\alpha + \beta = \pi. \quad (3)$$

გაერთიანებული ერთიანი სისტემის მუშაობის რეჟიმების მდგრადობის და ოპტიმიზაციის შესწავლის მიზნით საჭიროა განისაზღვროს ერთიანი სისტემის დენების მიხედვით გადაცემის ფუნქცია:

$$W_i(P) = \frac{I_{III}(P)}{I_{II}(P)}, \quad i = A, B, C, \quad (4)$$

სადაც  $I_{II}(P)$  და  $I_{III}(P)$  შესაბამისად არის გადასაცემი და მიმღები სამფაზა ცვლადი დენის სისტემების ფაზური დენების ლაპლასის მიხედვით ოპერატორული გამოსახულებები ნულოვანი საწყისი პირობების  $i_{kl}(0) = 0$ ,

$i_{kl}(0) = 0, k = A, B, C$  გათვალისწინებით. მდგრადობის დადგენა მიზანშეწონილია ჩატარდეს რაუსის კრიტერიუმის შესაბამისად. თუ გადაცემის  $W_i(P)$

ფუნქციის მნიშვნელობა არსებული პოლინომს არ აღმოაჩნდა ფესვები დადებითი ნადვილი ნაწილით, მაშინ ეს იმის მაჩვენებელი იქნება, რომ მოცემული მდგ-ის ერთიანი სისტემა მდგრადია. წინააღმდეგ შემთხვევაში ვლებულობთ ფესვებს დადებითი ნადვილი ნაწილით და გარდამავალ პროცესებში შესაბამისი ელექტრული სიდიდეები უსასრულოდ იცვლებიან დროში, რაც გვიჩვენებს ერთიანი სისტემის არა მდგრადობას.

*მუდმივი დენის IGBT- ტრანზისტორული მოდულებიანი ორ ბოგირა ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ძირითადი პარამეტრები*

ბიპოლარული ხაზის ორივე პოლუსი შესრულებულია ერთნაირად, პარალელურად ერთმანეთის მიმართ და მიწის ზედაპირიდან ერთნაირ სიმაღლეზე. მათ პარამეტრებს ვანგარიშობთ ხაზის ერთეულოვან სიგრძეზე.

ხაზის საკუთარი პოტენციალური და ურთიერთ პოტენციალური კოეფიციენტებისათვის გვაქვს გამოსახულებები [3]:

$$\alpha_{11} = \alpha_{22} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{a}; \alpha_{12} = \alpha_{21} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D}{d}, \quad (5)$$

სადაც  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}$  ფ/მ - ელექტრული მუდმივია;  $a$  - სადენების რადიუსებია;  $d$  - სადენებს შორის მანძილი;  $h$  - სადენსა და მიწას შორის მანძილია;  $D$  - მანძილია ერთ-ერთ სადენსა და მეორე სადენის მიწაში სარკისებურ ანარეკლამდე. პოლუსების  $U_I$  და  $U_{II}$  ძაბვები მიწის მიმართ განისაზღვრებიან პოლუსების  $q_1$  და  $q_2$  მუხტებითა  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ;  $a_{21}$ ,  $a_{22}$  და პოტენციალური კოეფიციენტებით.

$$U_1 = \alpha_{11}q_1 + \alpha_{12}q_2; U_2 = \alpha_{21}q_1 + \alpha_{22}q_2. \quad (6)$$

ამას გარდა მუხტებისთვის გვაქვს:

$$q_1 = C_{11}U_1 + C_{12}(U_1 - U_2); \quad q_2 = C_{22}U_2 + C_{12}(U_2 - U_1), \quad (7)$$

სადაც  $C_{11}$ ,  $C_{22}$  და  $C_{12}$  - შესაბამისად, პოლუსებსა და მიწას შორის და ორ პოლუსს შორის ნაწილობრივი ტევადობებია. (6), (7) განტოლებების ამოხსნის შედეგად ვლებულობთ შესაბამისი ტევადობების გამოსახულებებს:

$$C_{11} = C_{22} = 1/(\alpha_{11} + \alpha_{12}); \quad C_{12} = \alpha_{12}/(\alpha_{11}^2 - \alpha_{12}^2). \quad (8)$$

ამის შემდეგ იოლია განისაზღვროს „პოლუს-პოლუს“ და ორი :პოლუსი-მიწა“-ს ტევადობები. (5), (8)-დან შესაბამისად გვაქვს:

$$C_0^I = C_{12} + 1/2 C_{11} = 1/2(\alpha_{11} - \alpha_{12}) = \pi\epsilon_0 / \ln \frac{2hd}{aD}, \quad (9)$$

$$C_0^{II} = 2C_{11} = 2/(\alpha_{11} + \alpha_{12}) = 4\pi\epsilon_0 / \ln \frac{2hd}{aD}. \quad (10)$$

საჭიროა განვიხილოთ „პოლუს-პოლუსი“ და ორი „პოლუსი-მიწა“ კონტურების გავრცელების კოეფიციენტები. „პოლუს-პოლუსი“ კონტურისათვის გავრცელების  $\gamma^I$  კოეფიციენტისათვის გვაქვს:

$$(\gamma^I)^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \left( \frac{M_1 + F_{11} - F_{12}}{\ln \frac{2hd}{aD}} - 1 \right), \quad (11)$$

სადაც  $c$  - სინათლის სიჩქარეა სივრცეში ( $c = 3 \cdot 10^8$  მ/წმ),  $M_1$  - განსაზღვრავს პოლუსის შიგა წინაღობას;  $F_{11}$  და  $F_{12}$  - კომპლექსური სიდიდეებია, რომლებიც ითვალისწინებენ მიწის გავლენას:

$$M_1 = j \frac{R_{\text{საგ.}}}{\mu_0 f}, \quad (12)$$

სადაც  $R_{\text{ბაღ.}}$  – ერთი პოლუსის სადენის აქტიური წინაღობაა;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  ჰმ/მ – მაგნიტური მუდმივაა;  $f$  – სიხშირე.

$$F_{11} = -V_{11} + jW_{11}, F_{12} = -V_{12} + jW_{12}. \quad (13)$$

(13)-ში შემავალი პირველი ტოლობის სიდიდეები განსაზღვრავენ მიწის გავლენას „პოლუს-პოლუს“ წრედის აქტიურ წინაღობაზე და ინდუქციურობაზე; ხოლო მეორე ტოლობის სიდიდეები განსაზღვრავენ მიწის გავლენას ურთიერთ წინაღობაზე ორ წრედს შორის: „პოლუსი 1-მიწა“ და „პოლუსი 2-მიწა“.  $W_{12}$ -სგან დამოკიდებულია აქტიური, ხოლო  $V_{12}$  -სგან კი ურთიერთ წინაღობის ინდუქციური მდგენელი.

შემოვიღოთ პირველ შემთხვევაში პარამეტრები  $r$  და  $\theta$  [3]:

$$r = 2h\sqrt{\omega\mu_0\gamma_{\text{ბაღ.}}}, \quad \theta = 0, \quad (14)$$

ხოლო მეორე შემთხვევაში -

$$r = \sqrt{(4h^2 + d^2)\omega\mu_0\gamma_{\text{ბაღ.}}}, \quad \theta = \arctg \frac{d}{2h}. \quad (15)$$

ვიციტ რა  $r$  და  $\theta$ , შეიძლება ვიპოვოთ  $W_{12}$  და  $V_{12}$  სიდიდეები წინასწარ გამზადებული ცხრილების მიხედვით. (9)-(13) გამოსახულებების საფუძველზე გარდაქმნების შედეგად ვღებულობთ:

$$(\gamma^I)^2 = 2\omega c_0^I (-a^I + jb^I), \quad (16)$$

სადაც

$$a^I = \left( \ln \frac{2hd}{aD} + V_{11} - V_{12} \right) \mu_0 f; \quad b^I = R_{\text{ბაღ.}} + (W_{11} - W_{12}) \mu_0 f. \quad (17)$$

ანალოგიურად ვპოულობთ ორი პოლუსი-მიწა კონტურისათვის  $\gamma^{II}$  - გავრცელების კოეფიციენტს:

$$(\gamma^{II})^2 = \frac{1}{2} \omega c_0^{II} (-a^{II} + jb^{II}), \quad (18)$$

სადაც

$$a^{II} = \left( \ln \frac{2hd}{aD} + V_{11} + V_{12} \right) \mu_0 f; \quad b^{II} = R_{\text{ბაღ.}} + (W_{11} + W_{12}) \mu_0 f. \quad (19)$$

კვადრატული ფესვის ამოღებით (16) და (18)-დან ვღებულობთ:

$$\gamma^I = \alpha^I + j\beta^I; \quad \gamma^{II} = \alpha^{II} + j\beta^{II}. \quad (20)$$

როგორც ცნობილია, (20)-ში  $\alpha^I$  და  $\alpha^{II}$  - მილევის კოეფიციენტებია.

გავრცელების კოეფიციენტისა და ტევადობის განსაზღვრის შემდეგ იოლია თითოეული კონტურისათვის განისაზღვროს ტალღური წინაღობა და გრძივი კომპლექსური წინაღობა:

$$Z = \sqrt{Z_0/Y_0}; \quad \gamma = \sqrt{Z_0 \cdot Y_0}; \quad Y_0 = \gamma/Z; \quad Z_0 = Z\gamma, \quad (21)$$

სადაც  $Z$  - ტალღური წინაღობაა;  $\gamma$  - გავრცელების კოეფიციენტი,  $Z_0$  - გრძივი კომპლექსური წინაღობაა,  $Y_0 = j\omega c_0$  - განივი გამტარობაა.  $Z$ -ტალღური წინაღობა არ არის ხაზის სიგრძეზე დამოკიდებული.

გავითვალისწინოთ, რომ  $Y_0$  და  $\gamma$  ცნობილია და უნდა ვიპოვოთ  $Z$  და  $Z_0$  სიდიდეები. ამისათვის დავწეროთ კიდევ ასეთი თანაფარდობები:

$$Z = \gamma/Y_0; \quad Z_0 = \gamma^2/Y_0. \quad (22)$$

ტალღური წინაღობის განსაზღვრისათვის ჩავსვათ  $\gamma = \alpha + j\beta$  და  $Y_0 = j\omega c_0$ , შესაბამისად მივიღებთ:

$$Z = \frac{\beta}{\omega c_0} - j \frac{\alpha}{\omega c_0}. \quad (23)$$

„პოლუს-პოლუსი“ კონტურისათვის ამ ფორმულებში უნდა ჩავსვათ ზემოთ

ნაპოვნი  $\alpha', \beta'$  და  $C_0'$  სიდიდეები, ხოლო ორი „პოლუსი-მიწა“ კონტურისათვის კი -  $\alpha'', \beta''$  და  $C_0''$ .

$Z_0$  - გრძივი წინაღობის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ (28), (30) გამოსახულებები. „პოლუს-პოლუსი“ კონტურისათვის ვღებულობთ:

$$Z_0' = 2(R_0' + j\omega L_0'), \quad (24)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} R_0' &= R_{b_{\text{ვგ}}} + (W_{11} - W_{12})\mu_0 f; \\ L_0' &= \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ \ln \frac{2hd}{aD} + (V_{11} - V_{12}) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

აქ  $R_0'$  და  $L_0'$  განეკუთვნებიან ერთ პოლუსს,  $Z_0'$  - ორივე პოლუსს.

ორი „პოლუსი - მიწა“ კონტურისათვის ვპოულობთ:

$$Z_0'' = \frac{1}{2}(R_0'' + j\omega L_0''), \quad (26)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} R_0'' &= R_{b_{\text{ვგ}}} + (W_{11} + W_{12})\mu_0 f; \\ L_0'' &= \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ \ln \frac{2hd}{aD} + (V_{11} + V_{12}) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

აქ  $R_0''$  და  $L_0''$  განეკუთვნებიან „პოლუს-მიწის“ ერთ კონტურს, ხოლო  $Z_0''$  - ამ კონტურების პარალელურ შეერთებას ან ორი „პოლუსი-მიწა“ კონტურს.

ამგვარად, შესაძლებელი გახდა სრულად განვსაზღვროთ გადაცემის ბიპოლარული ხაზის „პოლუს-პოლუსი“ და „ორი პოლუსი-მიწა“ კონტურებისათვის პარამეტრები, რომლებიც აუცილებელია ასეთი ხაზებში ნებისმიერი გარდამავალი პროცესების გაანგარიშებისათვის, გამოკვლევისათვის და

ანალიზისათვის. წარმოდგენილი სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერგეტიკის სამეცნიერო-საინჟინრო ცენტრში(შიფრი 399) და საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემაში.

#### ლიტერატურა

1. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., ბერაძე ნ., კობრეიძე გოჩა. IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯიის გადაცემის პრინციპული ელექტრული სქემის დამუშავება ელექტროენერჯიის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში// „ენერჯია“. №2 (106). 2023. თბილისი. გვ. 20-32.
2. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., ბერაძე ნ., კობრეიძე გოჩა, ქადაგიშვილი გ. მუდმივი დენის გადაცემის ერთ ბოგირა ნახევარწრედის ექვივალენტური სქემა და გარე მახასიათებლების აგება ელექტრული ენერჯიის აღრიცხვიანობისა და დამყარებული პროცესების ოპტიმალური რეგულირების სხვადასხვა რეჟიმებში// „ენერჯია“. №3(107). 2023. გვ.30-43.
3. Поссе А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока// Л:Энергия. 1973. с.50-193.

**SOME PROPERTIES, STABILITY OF OPERATING MODES AND BASIC PARAMETERS OF A CONVERSION SYSTEM OF TWO-BRIDGE BIPOLAR DC TRANSMISSION LINES WITH IGBT-TRANSISTOR MODULES.**

*G. Kokhreidze, Z. Gachechiladze, N. Beradze, Gocha Kokhreidze, G. Qadagishvili.*

“Energy”. №1(109). 2024. Tbilisi. p. 5-13. geo. sum geo. engl.rus.

The scientific-engineering paper presents some basic properties, stability of operating modes and main parameters on a unit line length of the converter system of a two-bridge bipolar DC transmission line with IGBT-transistor modules. The main circuit takes into account the series connection of two one-bridge converters and, accordingly, the equalization of two linear voltages on the secondary sides of two three-phase transformers. A more secure 12-phase conversion has been obtained and we have a three-phase voltage system by a 30<sup>0</sup>th shift relative to each other. In this regard, the rectified voltage has a 12-fold harmonic. In each rectified voltage of the bridges, the harmonics in the order  $(2k+1).6$ ,  $k=0,1,2,3,\dots$  are in opposite phases, mutually compensate and therefore they do not exist in the total voltage of both bridges. In the circuit, the ground is used as a current-wire. The pattern of propagation of direct current and alternating current in the ground is very different from each other. The derivative of the active power transmitted by the main line, in terms of angles, existing between the primary and secondary voltages, must be positive in order for the operation of a single converter system to be stable.

*Bibl. 3.*

**НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА, УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДВУХ-МОСТОВОЙ БИПОЛЯРНОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С IGBT-ТРАНЗИСТОРНЫМИ МОДУЛЯМИ.**

*Г.Кохреидзе, З. Гачечиладзе, Н.Берадзе, Гоча Кохреидзе, Г.Кадагшвили.*

“Энергия”. № 1(109).2024 . Тбилиси. с. 5-13. груз. реф. груз.англ. рус.

В работе представлены некоторые основные свойства, устойчивость режимов работы и основные параметры на единичной длине линии преобразовательной системы двухмостовой биполярной передающей линии постоянного тока с IGBT-транзисторными модулями. В основной схеме учтено последовательное соединение двух одномостовых преобразователей и соответственно равнения двух линейных напряжений на вторичных сторонах двух трехфазных трансформаторов. Получено более обеспеченное 12-фазное преобразование и 30<sup>0</sup>-ый сдвиг относительно друга друг системы трехфазного напряжения. В связи с этим выпрямленные напряжения имеют 12-кратные гармоники. В каждом выпрямленном напряжении мостов гармоники в порядке  $(2k+1).6$ ,  $k=0,1,2,3,\dots$  находятся в противоположенных фазах, взаимно компенсируют и поэтому они не существуют в суммарном напряжении обоих мостов. В схеме земля ток используется как провод. Картина распространения постоянного и переменного тока в земле сильно различаются друг от друга. Производная активной мощности передающей основной линии по углам, существующей между первичными и вторичными напряжениями, должна быть положительная, для того, чтобы работа единой преобразовательной системы была устойчивой.

*Лит. 3. назв.*

აღრიცხვის სისტემის შესაბამისობის ანალიზი მომავალი ელექტროენერგეტიკული  
ბაზრის სამიზნე მოდელთან

გიორგი ხორბალაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [giorgi.khorbaladze@gse.com.ge](mailto:giorgi.khorbaladze@gse.com.ge)

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [zviad.gachechiladze@gse.com.ge](mailto:zviad.gachechiladze@gse.com.ge)

ირაკლი ჩომახიძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [irakli.chomakhidze@gse.com.ge](mailto:irakli.chomakhidze@gse.com.ge)

გოჩა კოხრეიძე - საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

E-mail: [gocha.kokhreidze@gse.com.ge](mailto:gocha.kokhreidze@gse.com.ge)

სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

*ანოტაცია.* განხილულია ევროპული ბაზრის სამიზნე მოდელის დანერგვა საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სექტორში და შესაბამისად განხილულია გადამცემი სისტემის ოპერატორის მიერ განსახორციელებელი საჭირო ქმედებები. ამას გარდა, მიმოხილულია აღრიცხვისა და SCADA-ს სისტემების შესაბამისობა ბაზრის სამიზნე მოდელთან. სექტორი ახალ ეტაპზე უნდა გადავიდეს. ბაზრის მოდელის კონცეფცია ხაზს უსვამს გადამცემი სისტემის ოპერატორის ფუნქციებს და მითითებებს იძლევა აღრიცხვის სისტემის გაუმჯობესების შესახებ. აღრიცხვის სისტემების განახლება წინგადადგმული ნაბიჯია, რომელიც მომხმარებლებს აძლევს შესაძლებლობას მიიღონ ეფექტური გადაწყვეტილებები ელექტროენერჯიის მოხმარების კუთხით. ამას გარდა, ქვეყანა ნათლად აფიქსირებს ევროპულ გზაზე ინტეგრაციის სურვილს და ავითარებს მწვანე ენერგეტიკულ რეგიონს.

*საკვანძო სიტყვები:* ელექტროენერჯიის აღრიცხვა, ელექტროენერგეტიკული ბაზარი, საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზარი, გადამცემი სისტემის ოპერატორი.

ეროვნული კანონმდებლობის ევროპის კავშირის კანონმდებლობასთან დაახლოების მიზნით, 2019 წლის 20 დეკემბერს, მიღებულ იქნა კანონი „ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ“, რამაც საფუძველი დაუდო ევროპული პრინციპებით მოქმედი ბაზრების ჩამოყალიბებას. კანონმა დაადგინა ბაზრის მოდელის კონცეფციის შემუშავების ვალდებულება, რომელიც 2020 წელს 16 აპრილს დამტკიცდა და განისაზღვრა ელექტროენერჯიის საბითუმო ბაზრების სეგმენტები, მათი ორგანიზების პრინციპები. კონცეფციის თანახმად, ელექტროენერჯიის საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების, დღით ადრე და

ორმხრივი ხელშეკრულებების ბაზარი ამოქმედდება 2024 წლის 1 ივლისიდან.

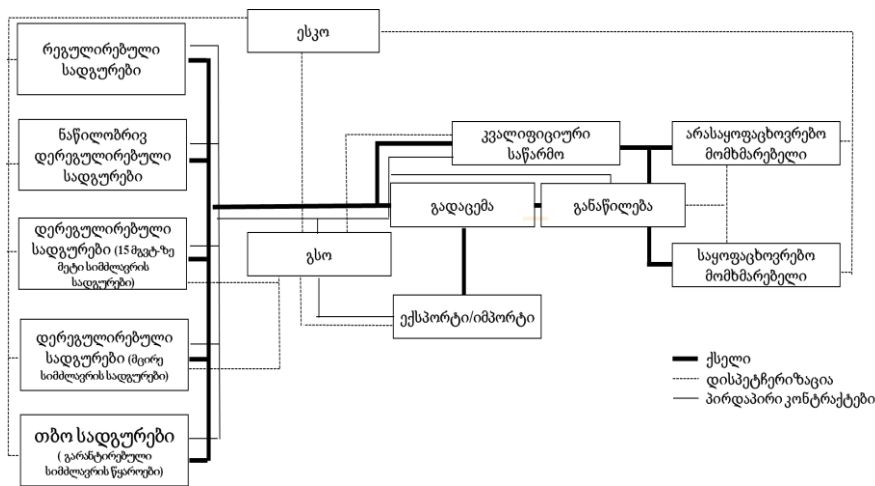
2020 წლის 11 აგვისტოს დამტკიცდა „ელექტროენერჯიის ბაზრის წესები“, რომელიც მოიცავს „ელექტროენერჯიის დღით ადრე და დღიური ბაზრების წესებს“, „ელექტროენერჯიის საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზრის წესებს“ და „ორმხრივი ხელშეკრულებების ბაზრის წესებს“.

ამჟამად, ბაზრის სამიზნე მოდელზე გადასვლამდე, ელექტროენერჯიის ბაზარზე ფუნქციონირებს რეგულირებული, ნაწილობრივ დერეგულირებული და დერეგულირებული ელექტროსადგურები, ძირითადად თბო და

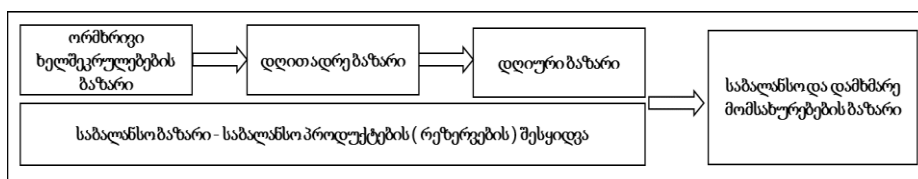
ჰიდროელექტროსადგურები. თბოსადგურები უზრუნველყოფენ სისტემის სტაბილურობას და წარმოადგენენ გარანტირებული სიმძლავრის წყაროებს. ელექტროენერჯიის განაწილებაში მონაწილეობს 2 კომპანია. მომხმარებლები ელექტროენერჯიას შეისყიდებიან ორმხრივი კონტრაქტების მეშვეობით. საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია (სემეკი) გასცემს ლიცენზიებს და სექტორს ზედამხედველობს. ესკო მართავს ელექ-

ტროენერჯიის საბითუმო ბაზარს, ხელს უწყობს გამყიდველებსა და მყიდველებს შორის პირდაპირი კონტრაქტების გაფორმებას, დაკონტრაქტებულ და ფაქტობრივი წარმოების/მოხმარების განსხვავებების დაანგარიშებას.

რაც შეეხება სამიზნე ბაზრის მოდელს, ის მოიაზრებს ელექტროენერჯიის საბითუმო ბაზრის 3 სეგმენტს: დღით ადრე და დღიური ბაზარი, ორმხრივი ხელშეკრულებების ბაზარი, საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზარი.



ნახ. 1. ბაზრის ამჟამინდელი მოდელის დიზაინი



ნახ. 2. ელექტროენერჯიის სამიზნე საბითუმო ბაზარი

სამომავლო ბაზრის მონაწილეების ფუნქცია-მოვალეობები მკაფიოდაა გამიჯნული და მათი როლები შემდეგია:

✓ გადამცემი სისტემის ოპერატორი (გსო): დაბალანსებაზე პასუხისმგებელი პირებისა (BRP) და დაბალანსების მომსახურების მიწოდებლების (BSP) რეგისტრაცია,

საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზრის ოპერირება.

✓ BRP: ბაზარზე ვაჭრობა და უბალანსობაზე პასუხისმგებლობა.

✓ BSP: პროდუქტების მიწოდება გსოსთვის.

✓ ბაზრის ოპერატორი: დღით ადრე/ დღიური, საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზრის ოპერირება, ბაზრის მონაწილეების რეგისტრაცია და საჭირო ინფორმაციის გაცვლის ხელშეწყობა.

✓ საბითუმო საჯარო მომსახურების გამწვევი ორგანიზაცია: პასუხისმგებელია საჯარო მომსახურების სხვადასხვა ასპექტებზე, როგორცაა ენერჯის შესყიდვის ვალდებულება გარანტირებული შესყიდვის მქონე სადგურებისგან და განახლებადი ენერჯის წყაროების პოპულარიზაცია.

✓ უნივერსალური მომსახურების მიმწოდებელი: საყოფაცხოვრებო მომხმარებლებისა და მცირე საწარმოებისთვის ელექტროენერჯის მიწოდება.

გსო-ს უმნიშვნელოვანესი ფუნქციები აკისრია ელექტროენერჯის აღრიცხვის კუთხით ახალ ბაზარზე გადასასვლელად. ამ ახალი როლის გათვალისწინებით, 2 ძირითადი გამოწვევაა გასათვალისწინებელი. ესენია:

1. ელექტროენერჯის გენერაციისა და მოხმარების აღრიცხვის მონაცემების ხელმისაწვდომობა ელექტროენერჯეტიკული სისტემის ეფექტური მუშაობისა და ზედამხედველობისთვის.

2. აღრიცხვის ყოველ საათობრივი მონაცემების გამოყენება BRP-ის ანგარიშსწორებისთვისა და ქსელის დანაკარგების ანგარიშისთვის

სწორედ, ზემოთ აღნიშნული 2 ასპექტის შესწავლა, გაანალიზება და რეკომენდაციები გახლავთ ამ სტატიის მიზანი.

*ელექტროენერჯის წარმოებისა და მოხმარების აღრიცხვის მონაცემების ხელმისაწვდომობა ელექტრო-ენერჯეტიკული სისტემის ეფექტური მუშაობისთვისა და მონიტორინგისთვის*

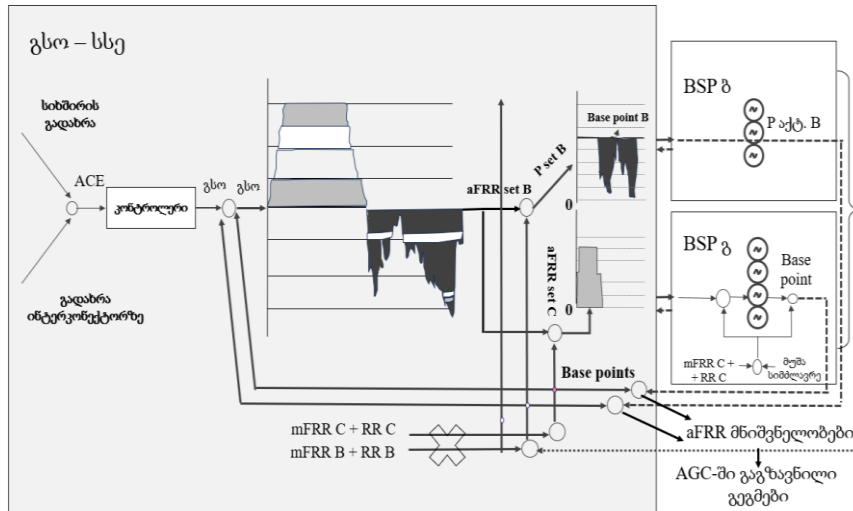
ელექტროენერჯის აღრიცხვის მონაცემები მნიშვნელოვანია ენერჯის ეფექტური მართვისთვის. ის აკონტროლებს მოხმარებას, წარმოებას და განაწილებას, რაც ოპერატორებს საშუალებას აძლევს ოპტიმიზაცია გაუწიონ საკუთარ გადაწყვეტილებებს. SCADA სისტემები აძლიერებს დისტანციურ მონიტორინგს, ამაღლებს სისტემის მდგრადობას. საბოლოო ჯამში, ის უფრო ეფექტურს ხდის გადაწყვეტილების მიღებას, აუმჯობესებს პროდუქტიულობას და ქმნის საიმედო ენერჯეტიკულ ინფრასტრუქტურას. თავდაპირველად, ჩატარდა SCADA AGC მოდულის შესაბამისობის შეფასება სამიზნე ბაზრისთვის მოდელთან.

გსო საბალანსო ბაზრის პირობებში არეზერვებს სიმძლავრეებს ტენდერის მეშვეობით. ერთერთი მნიშვნელოვანი პროდუქტი გახლავთ სიხშირის ავტომატური აღდგენის რეზერვი (aFRR), რომელიც დაკავშირებულია SCADA AGC მოდულთან. aFRR პროდუქტის შესაქმნელად, გსო-ს შემდეგი გამოწვევები ჰქონდა: უნდა შეეცვალა თავისი AGC სისტემა საბაზრო პრინციპების შესაბამისად, SCADA სისტემა უნდა განახლებულიყო და მუშაობა დაეწყო ბაზრის მართვის პროგრამული უზრუნველყოფის (MMS) მიერ ტენდერის საფუძველზე შემდგარი რანჟირების სიის მიხედვით.



aFRR-ის მუშაობა დამოკიდებულია რანჟირების სიაზე, რომელიც შედგენილია ტენდერის შედეგად და ასახავს სადგურების შეთავაზებულ ფასებს.

სწორედ, ფასის მიხედვით არის დალაგებული ეს სია და სადგურების აქტივაცია ხორციელდება მინიმალურიდან მაქსიმალური ფასის გათვალისწინებით.



ნახ. 3. ახალი AGC-ის მუშაობის სქემა

ნახ. 3-ის მიხედვით ენგურჰესმა (იხ. BSP გ-ს სქემა) დანერგა მუშაობის ახალი სტილი, რომლის მიხედვითაც სადგურის მართვის სისტემაში შეყვანილია ბაზარზე ნავაჭრი პოზიცია, ნომინაცია (base point), ხოლო გსო-ს მიერ იგზავნება მხოლოდ გასააქტიურებელი რეზერვის მოცულობა. ეს მოცულობა ემატება ნომინაციას და სადგური შესაბამის სიმძლავრეზე იწყებს მუშაობას. აღსანიშნავია, რომ საჭიროა აღნიშნული სქემის დანერგვა სხვა მარეგულირებელი სადგურების მიერაც განხორციელდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში aFRR პროდუქტი არ იქნება ლიკვიდური და კონკურენტული.

*საკონტროლო აღრიცხვა*

საკონტროლო მრიცხველი მნიშვნელოვანი ელემენტია ელექტროენერჯიის აღრიცხვის კუთხით. თუ საანგარიშ-სწორებო მრიცხველი რიგი მიზნების გამო

არაა ხელმისაწვდომი ან ვერ აღრიცხავს ელექტროენერჯიას, ამ დროს გამოყენებულ უნდა იქნას საკონტროლო მრიცხველი. ის საშუალებას აძლევს ოპერატორებს განახორციელონ მონიტორინგი და კონტროლი. ჩვენ მიერ ჩატარებულმა კვლევამ გამოავლინა ხარვეზი საკონტროლო აღრიცხვაში არამართო ქვეყნის შიგნით (სადაც, საჭირო ადგილას განსახორციელებელი საკონტროლო აღრიცხვა დაახლოებით 90%-ით არის დაფარული) ელექტროენერჯიის გადადინებისას, არამედ ტრანსსასაზღვრო აღრიცხვის კუთხითაც. კერძოდ, საქართველოსა და მის ერთ მეზობელ ქვეყანას შორის ჯერჯერობით არ არსებობს საკონტროლო აღრიცხვა, რომლის გამოსწორებასაც გსო უახლოეს მომავალში აპირებს.

*აღრიცხვის პერიმეტრების ცვლილებები*

ელექტროენერჯიის საბალანსო ბაზარზე მონაწილედ რეგისტრაცია წარმოადგენს საბითუმო ბაზარზე დაშვების წინაპირობას. ყველა ფიზიკური და იურიდიული პირი, რომელიც ახორციელებს ელექტროენერჯიის წარმოების, გადაცემის, განაწილების, მიწოდების, ვაჭრობის საქმიანობას ან/და წარმოადგენს მომხმარებელს, ვალდებულია დარეგისტრირდეს ელექტროენერჯიის საბალანსო ბაზარზე, როგორც BRP ან გაწევრიანდეს უკვე არსებული დაბალანსებაზე პასუხისმგებელი პირის სტატუსის მქონე სუბიექტის დაბალანსების ჯგუფში.

საბითუმო ბაზრის მონაწილე პასუხისმგებელია თავის მიერ გამოწვეულ უბალანსობაზე. ზოგადად, დაბალანსების მოდელი ეფუძნება ნომინაციებს (შეტყობინებებს), რომლებიც წარედგინება ბაზრის ოპერატორს და შეიცავს ინფორმაციას ბაზარზე ნავაჭრი მოცულობების შესახებ. იმ შემთხვევაში, თუ მონაწილე არ დაიცავს წარდგენილ ნომინაციას (მაგალითად:

მოიხმარს/ აწარმოებს ნომინაციაში მითითებულისგან განსხვავებულ ელექტროენერჯიას), მას დაუფიქსირდება უბალანსობა, რაზეც დაეკისრება პასუხისმგებლობა.

ასე რომ, თუ აღრიცხვის პერიმეტრი არასწორია, ეს გავლენას იქონიებს უბალანსობის მოცულობის სისწორეზე - უბალანსობის მოცულობა დაბალანსების ჯგუფისთვის არ იქნება სწორი და დანაკლისი/სიჭარბე გადანაწილდება იმ ქსელის ოპერატორთან/ ოპერატორებთან, რომელზეც მიკუთვნებულია ჯგუფი.

**ლიტერატურა**

1. ხორბალაძე გ. ელექტროენერგეტიკული საბალანსო ბაზრის დანერგვა საქართველოში/ ელ.დისერტაცია. 2022. გვ. 116.
2. „ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ“ საქართველოს კანონის თაობაზე, საქართველოს პარლამენტი, 2019 წლის 20 დეკემბერი.
3. Khorbaladze G. Electricity Balancing Market Implementation in Georgia. Proceedings of the 3rd CIGRE South East European Regional Council Conference. Vienna, Austria. 29 Nov. 02 Dec. 2021.

Analysis of the compliance of the metering system with the target model of the future electricity market.

*G. Khorbaladze, Z. Gachechiladze, I. Chomakhidze, G. Kokhreidze.*

“Energy”. №1(109). 2024. Tbilisi. p. 14-19. geo. sum geo. engl.rus.

The article discuss the transmission system operator (TSO) role in the new european electricity market in terms of metering issues. In 2019, the Georgian electricity sector underwent revolutionary reforms with the goal of creating a modernized marketplace by 2024. The power sector is about to change due to three major components, balancing market, day ahead/intraday market and bilateral contracts market. The proposed market concept highlights the critical function of the transmission system operator and provides guidance on TSO metering system compliance. Smart meters are a step up, giving users the ability to make educated decisions and promoting sustainability. The upgrading project signals Georgia's commitment to meeting European standards and promises improved customer satisfaction as well as a strong, green power region.

*Ил. 3, bibl. 3.*

Анализ соответствия системы учета целевой модели будущего рынка электроэнергии.

*Г. Хорбаладзе, З. Гачечиладзе, И. Чомахидзе, Г. Кохреидзе.*

“Энергия”. № 1(109).2024 . Тбилиси. с. 14-19. груз. реф. груз.англ. рус.

Обсуждается роль оператора системы передачи (ОСП) на новом европейском рынке электроэнергии с точки зрения вопросов измерения. В 2019 г. электроэнергетический сектор Грузии претерпел революционные реформы с целью создания модернизированного рынка к 2024 году.

Энергетическая среда - вот-что изменится из-за трех основных компонентов, включая рынок на день вперед/внутридневный рынок, балансирующие услуги и двусторонние контракты. Предлагаемая концепция рынка подчеркивает важнейшую функцию оператора системы передачи и предоставляет рекомендации по соблюдению требований системы измерения ОСП. «Умные» счетчики — это шаг вперед, предоставляющий пользователям возможность принимать обоснованные решения, способствующие устойчивому развитию.

Проект модернизации свидетельствует о стремлении Грузии соответствовать европейским стандартам, обещает повышение удовлетворенности клиентов, а также созданию сильного региона экологически чистой энергетики.

*Илл. 3, лит. 3 назв.*

ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის გაუმჯობესების შესაძლო ვარიანტების განხილვა, ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების და ფოტოელექტრონული სისტემების დანერგვით საქართველოში

თენგიზ მუსელიანი - პროფესორი

E-mail: [museliანი@yahoo.com](mailto:museliანი@yahoo.com)

ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: [jinchveleishvili.boris22@gtu.ge](mailto:jinchveleishvili.boris22@gtu.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* გარდაბნის რაიონში ხორციელდება 30 მგვტ-ის სიმძლავრის ფოტოელექტრონული სისტემის სადგურის ექსპლუატაციაში შესვლა, მსგავსი მასშტაბის პროექტი საქართველოში ჯერ არ განხორციელებულა, პირველად ხორციელდება და წარმოადგენს სიახლეს საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის. აღნიშნულ პროექტს ანხორციელებს სს „მზის ენერჯიის ბანკი“. ანალოგიური პროექტების განხორციელება მხოლოდ იმსახურებს დადებით შეფასებას, რადგან ფოტოელექტრონულ სისტემები მოიცავს ბატარეას ელექტროენერჯიის დაგროვების სისტემებს, რაც, თავის მხრივ, დაეხმარება ელექტროენერგეტიკულ სისტემას უწყვეტ რეჟიმში დინამიური მდგრადობის შენარჩუნების უზრუნველყოფაში. სტატიაში მოყვანილია საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის სახასიათო რეჟიმები, მათი თავისებურებები და განხილულია ბატარეას ენერგოდამაგროვებელი სისტემის საჭიროება საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის მუშაობის ისეთი რეჟიმების დროს, როგორცაა: ავტონომიურ - იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობა, სინქრონულ - პარალელურ რეჟიმში მუშაობა მეზობელი ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ ქსელთან, როდესაც ხორციელდება ელექტროენერჯიის ექსპორტი ან იმპორტი, ასინქრონულ რეჟიმში მუშაობა მეზობელი ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ ქსელთან - მუდმივი დენის ჩანართის საშუალებით, როდესაც ხორციელდება ექსპორტი ან იმპორტი.

*საკვანძო სიტყვები:* ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, გენერაცია, დინამიური მდგრადობა, სინშირისა და ძაბვის რეგულირება, ფოტოელექტრონული სისტემები.

*შესავალი*

მზის ენერჯია ამოუწურავი და ეკოლოგიურად უსაფრთხოა, ფოტო-ელექტრონული სისტემების და ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების დანერგვა საქართველოში წარმოადგენს ენერგეტიკული პოლიტიკის პრიორიტეტულ მიმართულებას. ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემები მნიშვნელოვან სარგებელს მოუტანს ქვეყნის ენერგოსისტემას, რასაც სტატიის ავტორებმა ვეცადეთ დაგვესაბუთებინა მისი საჭიროება ქვეყნის

ელექტროენერგეტიკული სისტემის სხვადასხვა რეჟიმების გათვალისწინებით.

*ძირითადი ნაწილი*

გარდაბნის რაიონში ხორციელდება მზის ელექტროსადგურის გაშვება და საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ ქსელთან მიერთება, რომლის ჯამური დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 30 მგვტ-ს, ხოლო გამომუშავებული ენერჯია წლის განმავლობაში 58520 მგვტ.სთ.

აღნიშნული სადგური შედგება ექვსი ბლოკისგან და თითო ბლოკის დადგმული სიმძლავრე იქნება 5 მგვტ, ხოლო

გამომუშავებული ენერჯია წლის განმავლობაში - 9753 მგვტ.სთ.

ფოტოელექტრონული მოდული AE MD-144BS Series 550 – 73440 ცალი. ფოტოელექტრონულ მოდულებისთვის გათვალისწინებულია 170 ინვენტორი - SUN2000-215KL-H0, თითოეულის სიმძლავრეა 200 კვტ.

მზის ელექტროსადგურის თითოეულ ბლოკში დგას 6800 კვა სიმძლავრის ძალური ტრანსფორმატორი 35/0,8/0,8, მზის ელექტროსადგურში ჯამურად დამონტაჟებულია ექვსი ერთეული ძალური ტრანსფორმატორი, რომელიც ძაბვას ამალღებს 0,8 კვ-დან 35 კვ-მდე და ექვსივე ბლოკიდან გენერირებული სიმძლავრე შედის მზის ელექტროსადგურის 35 კვ-ის სალტეზე.

მზის ელექტროსადგურში 35 კვ-ის სალტეზე დაერთებულია 40000 კვა სიმძლავრის ერთი ძალური ტრანსფორმატორი 110/35, რომელიც ძაბვას ამალღებს 35 კვ-დან 110 კვ-მდე.

მზის ელექტროსადგურში არ გვაქვს 110 კვ სალტე და ტრანსფორმატორიდან გამომავალი 110 კვ-ის შემყვანები ელექტროგადამცემი ხაზით დაკავშირებულია ქ/ს „გარდაბანი-500“-სთან.

ქ/ს „გარდაბანი-500“-ში 110 კვ-ზე გვაქვს ორმაგი სალტეთა სისტემა და შემოვლითი სალტე, შემოვლითი სალტე I და II სალტეებთან დაკავშირებულია შემოვლითი სალტის ამომრთველით, ხოლო I და II სალტე ერთმანეთთან დაკავშირებულია სალტეთაშორისო ამომრთველით.

მზის ელექტროსადგურიდან ქ/ს „გარდაბანი-500“-ში შემომავალი ხაზის დასახელებაა „მზის ბანკი“.

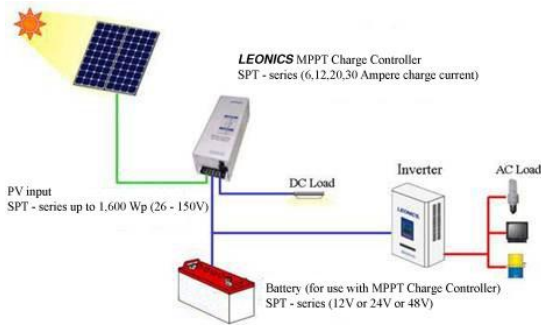
„მზის ბანკის“ უჯრედში დამონტაჟებულია შემდეგი მოწყობილობები:

1. 110 კვ-ის ელეგაზური ამომრთველი.
2. 110 კვ-ის სახაზო გამთიშველი.
3. 110 კვ-ის შემოვლითი სალტეთა სისტემის გამთიშველი.
4. 110 კვ-ის I სალტეთა სისტემის გამთიშველი.
5. 110 კვ-ის II სალტეთა სისტემის გამთიშველი.
6. 110 კვ-ის დენის ტრანსფორმატორი.
7. 110 კვ-ის ხაზის ძაბვის ტრანსფორმატორი.
8. 110კვ-ის მცლელები.

ქ/ს „გარდაბანი-500“-ში 110 კვ სალტეთა სისტემა დაკავშირებულია 220 კვ სალტეთა სისტემასთან 125 მვა სიმძლავრის 220 კვ-ის ავტოტრანსფორმატორი №1 და 125 მვა სიმძლავრის 220 კვ-ის ავტოტრანსფორმატორი №2-ით, ამავდროულად ქ/ს „გარდაბანი-500“-ში 110 კვ სალტეთა სისტემა დაკავშირებულია 6 კვ სალტეებთან 40 მვა სიმძლავრის 110/6 ტრანსფორმატორი №1 და 40 მვა სიმძლავრის 110/6 ტრანსფორმატორი №2-ით.

ქ/ს „გარდაბანი-500“-ში 220 კვ-ში გვაქვს დასექციონირებული ორმაგი სალტეთა სისტემა 220 კვ-ის სექციათაშორისო ამომრთველებით და 220 კვ-ის შემოვლითი სალტე შემოვლითი სალტის ამომრთველით.

220 კვ-ის სალტეები დაკავშირებულია 500 კვ სალტეებთან 800 მვა სიმძლავრის 500 კვ ავტოტრანსფორმატორი №4-ით.



ნახ. 1. მზის დამუხტვის კონტროლერის მაქსიმალური სიმძლავრის მონიტორინგის ზოგადი კონფიგურაცია

ფოტოელექტრონულ სისტემებში განთავსებულია ბატარეები, რათა დააგროვონ მზის ბატარეების მიერ გამოიმუშავებული ენერჯია იმ დროს, როდესაც ქსელში მოხმარება დაბალია და ელექტროენერგეტიკული ქსელი არ მოითხოვს ფოტოელექტრონული სისტემის მიერ გენერირებულ დამატებით აქტიურ სიმძლავრეს.

სადისპეტჩეროსთან ინფორმაციის გაცვლისათვის უნდა მოეწყოს ორი კომუნიკაციის არხი (ძირითადი და სარეზერვო). კომუნიკაციის არხების IP მისამართებს გამოყოფს გადამცემი სისტემის ოპერატორი. თითოეულ არხის მეშვეობით ინფორმაციის მიღება - გაცემა უნდა განხორციელდეს SCADA-ს სამი კომუნიკაციის სერვერზე NCC1/NCC2 და BCC შუალედური კომპონენტის (GateWay) გამოყენებით.

გადამცემი სისტემის ოპერატორის კომუნიკაციის კვანძებზე უნდა განხორციელდეს საპროექტო სადგურის კომუნიკაციის არხების დაერთება. კომუნიკაციის კვანძები შედგება შემდეგი ელემენტებისგან: SCADA-ს ქსელისთვის - 2 ცალი ბრენდმაუერი; IT ქსელისთვის 1

ცალი ბრენდმაუერი; კავშირი ქ/ს „გარდაბანი-500“-სა და 30 მგვტ-იანი მზის ელექტროსადგურს შორის მანძილის შესაბამისი ბრენდმაუერებთან თავსებადი სამი ცალი SFP მოდულით.

სადისპეტჩეროში გადასაცემი საჭირო მონაცემების მოცულობას განსაზღვრავს გადამცემი სისტემის ოპერატორი საპროექტო სადგურის წარმომადგენლების მიერ მიწოდებული ადგილობრივ მართვის სისტემაში არსებული სრული ინფორმაციის (სიგნალების სიის) საფუძველზე. შერჩეული იქნება მხოლოდ სისტემის მართვისა და მონიტორინგისთვის აუცილებელი სადისპეტჩეროში გადასაცემი სიგნალები.

არხების ორგანიზების სხვა მოთხოვნებთან დაკავშირებით, სადგურის მართვის სისტემასა და სადისპეტჩერო ცენტრს შორის ინფორმაციის გადაცემა უნდა განხორციელდეს IEC-60870-5-104 პროტოკოლის გამოყენებით, სიგნალების შერჩევის შემდეგ გადამცემი სისტემის ოპერატორის მხრიდან მოწოდებული იქნება სიგნალების შესაბამისი IEC-60870-5-104 მისამართები.

სატელეფონო საკომუნიკაციო არხების ორგანიზების ტექნოლოგიად შესაძლებელია გამოვიყენოთ IP არხები. ახალი ენერგობიექტის სამორიგეოდან ეროვნული სადისპეტჩერო ცენტრთან ხმოვანი კავშირის მოწყობის მიზნით საჭიროა HIPath 4000 ატს-თან თავსებადი 2 ცალი ტელეფონის აპარატი (Openstage 15 SIP ან CP 400).

30 მგვტ-იანი მზის ელექტროსადგურის მართვის შენობასა და ქ/ს „გარდაბანი-500“-ის მართვის შენობაში არსებულ



სატელეკომუნიკაციო მოწყობილობების კარადებს შორის მოეწყობა ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კომუნიკაცია, რომლის დანიშნულებაა: 30 მგვტ-იანი მზის ელექტროსადგურსა და ქ/ს „გარდაბანი-500“-ს შორის არსებული ტექნოლოგიური ინფორმაციის (შენიშვნა: რელეური მართვის და დაცვის ციფრული მოწყობილობები, SCADA-ს სისტემებს შორის ტექნოლოგიური ინფორმაცია, სადისპეტჩერო ხმოვანი კავშირები, ელენერჯიის აღრიცხვის კვანძების ინფორმაცია და სხვ.) ურთიერთგაცვლისათვის საჭირო ციფრული მოწყობილობებს შორის თანამედროვე, სწრაფი და საიმედო კავშირის არხების ორგანიზება.

ქ/ს „გარდაბანი-500“-ის 110 კვ-ის სალტის რეაქტანსები:

ქ/ს „გარდაბანი-500“

110 კვ სალტზე:

ა) მაქსიმალური რეჟიმი

სამფაზა მ.შ. -  $Z_1 = 0.44 + j5.59$  ომი,

$\Sigma I^{(3)}_{მაქს.} = 11,9$  კა

ერთფაზა მ.შ. მიწაზე -  $Z_0 = 0.0001 + j1.92$

ომი,  $\Sigma 3I_0^{(1)}_{მაქს.} = 15,2$  კა

ბ) მინიმალური რეჟიმი

სამფაზა მ.შ. -  $Z_1 = 0.063 + j6.0$  ომი,

$\Sigma I^{(3)}_{მაქს.} = 11,1$  კა

ერთფაზა მ.შ. მიწაზე -  $Z_0 = 0.0001 + j1.92$

ომი,  $\Sigma 3I_0^{(1)}_{მაქს.} = 14,3$  კა

1. 220/110 კვ-ის ძაბვის ავტოტრანსფორმატორი №1,2.

1-1 დისტანციური დაცვა.

220 კვ. ძაბვის მხარე (მიმართულია 110 კვ-ის ძაბვის სალტისაკენ):

I ზონა

$X_{პირ} = 34,0$  ომი

$R_{პირ} = 0,5$  ომი

$RE_{პირ} = 1,5$  ომი

ამუშავების დრო  $t = 0$  წმ.

II ზონა

$X_{პირ} = 60,0$  ომი

$R_{პირ} = 1,5$  ომი

$RE_{პირ} = 3,5$  ომი

ამუშავების დრო  $t = 1,8/2,1/2,4$  წმ.

III ზონა

$X_{პირ} = 80,0$  ომი

$R_{პირ} = 2,5$  ომი

$RE_{პირ} = 6,0$  ომი

ამუშავების დრო  $t = 3,3/3,6/3,9$  წმ.

1-2. ნულოვანი მიმდევრობის დენური დაცვა

110კვ. ძაბვის მხარე (მიმართულია 110კვ-ის ძაბვის სალტისაკენ)

I საფეხური - 3000ა - 1,3/1,4/1,7 წმ.

მიმართული

II საფეხური - 1000ა - 2,0/2,3/2,6 წმ.

მიმართული

III საფეხური - 200ა - 4,0/4,3/4,6 წმ.

მიმართული

1-3. მაქსიმალური დენური დაცვა

110კვ. ძაბვის მხარე

$I_{აბშ.პირ.} = 900$ ა  $t = 6,3/6,6/7,0$  წმ.

რელეური დაცვის დანაყენები ქ/ს „გარდაბანი-500“-ის 110 კვ-ის ძაბვის უჯრედისათვის განისაზღვრება, როდესაც დაზუსტდება ქსელთან მიერთების სქემა.

ბატარეას ენერგოდამაგროვებელი სისტემა (BESS) ენერჯიის მართვის სისტემის (EMS) საშუალებით შესაძლებელს ხდის უფრო მოქნილი გახადოს სიხშირის და ძაბვის რეგულირება ელექტრო-ენერგეტიკულ ქსელში, როგორც საქართველოს ელექტროენერგეტიკული

ქსელის სინქრონული (პარალელური) მუშაობის დროს მეზობელ ენერგოსისტემასთან, ასევე ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობის დროს.

სისტემაში სიხშირის და ძაბვის რეგულირების სხვადასხვა მეთოდები არსებობს, ესენია:

1. 500 კვ რეაქტორების ჩართვა და გამორთვა ქსელიდან.

2. 500 კვ ელექტროგადამცემი ხაზის ჩართვა და გამორთვა, რომელსაც 500კვ-ის რეაქტორის ჩართვა - გამორთვის საპირისპირო ეფექტი აქვს.

3. მძლავრი გენერატორების მიერ (ძირითადად ენგურჰესში) რეაქტიული სიმძლავრის დამატებით და შემცირებით.

4. თბოსადგურების მიერ რეაქტიული ენერჯიის რეგულირებით, ქსელში ჭარბი რეაქტიული სიმძლავრის არსებობის შემთხვევაში თბოსადგური მოიხმარს კიდევ რეაქტიულ ენერჯიას.

5. ქ/ს „ახალციხე-500“-ში 500 კვ-ის ტევადური შუნტის ჩართვა - გამორთვის საშუალებით. მუდმივი დენის ჩანართით პერიოდულად საქართველოს ელექტრო-ენერგეტიკული ქსელი მუშაობს თურქეთის ენერგოსისტემასთან ასინქრონულ რეჟიმში (არ მიმდინარეობს პარალელში თურქეთის ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან მუშაობა), ხოლო ქ/ს ახალციხე-500-ში სისტემათაშორისო 400კვ ეგზ მესხეთზე, რომელიც ასინქრონულად არის დაკავშირებული საქართველოს ელექტრო-ენერგეტიკულ ქსელთან გვაქვს 3 ცალი სინქრონული კომპესატორი, თითოეული მოიხმარს მუდმივი დენის ჩანართიდან გენერირებულ რეაქტიულ სიმძლავრეს 35

მვარ-ის ოდენობით, ჯამურად 105 მვარ-ს, რომელიც ხაზზე ტვირთის გაჩენისას არამყისიერად, არამედ ეტაპობრივად - მცირე დროში ახდენს ძაბვის დაწევას 400კვ ეგზ მესხეთზე.

6. და სხვა.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულთან ერთად მნიშვნელოვანი იქნება ბატარეის ენერგოდამაგროვებელი სისტემის (BESS) ენერჯიის მართვის სისტემის (EMS) მიერ საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის სიხშირის და ძაბვის რეგულირება, ნომინალური ზღვრების ფარგლებში მათი უზრუნველყოფა.

ბატარეების ნაწილი მუშაობს დატენვაზე, ხოლო მეორე ნახევარი - ქსელში სიხშირის და ძაბვის რეგულირებაზე, რასაც უზრუნველყოფს ენერჯიის მართვის სისტემა.

ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ ქსელში სიხშირის უცრად დაცემის დროს დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემამ უნდა უზრუნველყოს ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული ქსელისთვის ბატარეებში დაგროვილი აქტიური სიმძლავრის მყისიერი მიწოდება, რაც სიხშირეს აწევს ნომინალურ ზღვრამდე, ხოლო ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული ქსელში სიხშირის უცარი გაზრდის დროს დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემამ მყისიერად უნდა მოიხმაროს ქსელიდან აქტიური ენერჯია, რაც შეამცირებს ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული ქსელის სიხშირეს ნომინალურ ზღვრამდე.

ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობისას ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ ქსელში



სიხშირის უეცარი დაცემა შეიძლება გამოწვეული იყოს გენერაციის ავარიული გამორთვით ან სისტემათაშორისო ხაზის ავარიული გამორთვით, რომელზეც მიმდინარეობს იმპორტი, ხოლო ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ ქსელში სიხშირის უეცარი ზრდა შეიძლება გამოწვეული იყოს მომხმარებლის ავარიული გამორთვით ან სისტემათაშორისო ხაზის ავარიული გამორთვით, რომელზეც მიმდინარეობს ექსპორტი, როგორც წესი, თუ ქსელში ავარიის მიერ გამოწვეული ცვლილება ცდება 50 მგვტ-ს მუშაობს ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა.

ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა და სხვა ავტომატიკები, რომლებიც იცავს ქსელს სრული ჩაქრობისგან და ელექტროენერგეტიკული ქსელის გაყოფისგან არის ძალზედ მნიშვნელოვანი, მაგრამ უკეთესი იქნება სისტემის ელექტროენერგეტიკული მდგრადობისთვის, თუ საერთოდ არ წამოიქმნება ავარიის პირობა, აღნიშნულის თავიდან აცილებისთვის რეალურ შესაძლებლობას იძლევა ბატარეას ენერგო-დამაგროვებელი სისტემა ენერჯიის მართვის სისტემის საშუალებით.

ბატარეას ენერგოდამაგროვებელი სისტემა (BESS) ენერჯიის მართვის სისტემის (EMS) საშუალებით მყისიერად რეაგირებს შეშფოთებებზე.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის სინქრონულ რეჟიმში მეზობელ ენერგოსისტემასთან მუშაობის დროს, როდესაც გრაფიკით მიმდინარეობს ექსპორტი, საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ ქსელში გენერაციის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს ექსპორტის

შემცირებას პროპორციულად და შესაძლებელია დაფიქსირდეს იმპორტიც, დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემა, რომელიც ინტეგრირებული იქნება სკადას პროგრამასთან ავარიის დროს მყისიერად გასცემს ქსელში სიმძლავრეს და თავშივე აღმოიფხვრება სასისტემო ავარია.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის სინქრონულ რეჟიმში მეზობელ ენერგოსისტემასთან მუშაობის დროს, როდესაც გრაფიკით მიმდინარეობს ექსპორტი, საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ ქსელში მსხვილი მომხმარებლის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს მყისიერად ექსპორტის გაზრდას პროპორციულად, დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემა, რომელიც ინტეგრირებული იქნება სკადას პროგრამასთან, ავარიის დაწყებამდე, მსხვილი მომხმარებლის გამორთვის დროს მყისიერად მოიხმარს შესაბამის სიმძლავრეს და შეშფოთების გარეშე თავშივე აღმოიფხვრება სასისტემო შეშფოთებები.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის სინქრონულ რეჟიმში მეზობელ მძლავრ ენერგოსისტემასთან მუშაობის დროს, როდესაც გრაფიკით მიმდინარეობს იმპორტი, საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ ქსელში გენერაციის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს იმპორტის გაზრდას პროპორციულად და შესაძლებელია იმუშაოს ავტომატიკამ, თუ გასცდა ზედა ზღვარს დაყოვნების გარეშე (აოზი), მაშინ ავტომატიკა გამორთავს 500 კვ-ის სისტემათაშორისო ხაზს და

გამოიწვევს ძლიერ ავარიას. დამაგროვებლის ენერჯის მართვის სისტემა, რომელიც ინტეგრირებული იქნება სკადას პროგრამასთან გენერაციის ავარიული გამორთვისას მყისიერად გასცემს ქსელში შესაბამის სიმძლავრეს და შეშფოთების გარეშე თავშივე აღმოიფხვრება სასისტემო ავარია.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელის სინქრონულ რეჟიმში მეზობელ ენერჯის სისტემასთან მუშაობის დროს, როდესაც გრაფიკით მიმდინარეობს იმპორტი, საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ ქსელში მსხვილი მომხმარებლის ავარიული გამორთვა გამოიწვევს მყისიერად იმპორტის შემცირებას პროპორციულად და შესაძლებელია დაფიქსირდეს ექსპორტიც, დამაგროვებლის ენერჯის მართვის სისტემა, რომელიც ინტეგრირებული იქნება სკადას პროგრამასთან, ავარიის დაწყების მომენტში მყისიერად მოიხმარს შესაბამის სიმძლავრეს და თავშივე აღმოიფხვრება სასისტემო შეშფოთებები.

#### დასკვნა

ძალზედ მნიშვნელოვანია ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის სიხშირის და ძაბვის მუდმივი უწყვეტი სტაბილიზაცია, ასევე მეზობელ ქვეყნებთან მიმდინარე ექსპორტი-იმპორტის გრაფიკის დაცვა, რაც უნდა უზრუნველყოს ბატარეას

ელექტროენერჯის დამაგროვებელმა სისტემებმა ენერჯის მართვის სისტემის საშუალებით. საქართველოში ყოველივე ზემოთნახსენები დიდ სიმძლავრეებზე დანერგილი არ არის და ძალზედ მნიშვნელოვანია მათი პრაქტიკაში ფართოდ დანერგვა და ექსპლუატაციაში გაშვება.

#### ლიტერატურა

1. ფოტოელექტრონული სისტემების კომპანიის საინფორმაციო ელექტრონული პლატფორმის ინტერნეტ მისამართი [https://www.leonics.com/support/article2\\_14j/articles2\\_14j\\_en.php](https://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php)
2. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2022) [https://energyonline.ge/index.php?option=com\\_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en](https://energyonline.ge/index.php?option=com_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en)
3. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი/ენერჯია. №3-4(103-104). 2022, გვ. 90-95.
4. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი/ენერჯია. №1(105). 2023. გვ. 13-27.
5. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი/ენერჯია. №2(106). 2023. გვ. 24-36.
6. ელექტრონული ჟურნალი, სერია „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები“ 3(107)/2023. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი - [https://energyonline.ge/2020/Konf\\_1\\_23.pdf](https://energyonline.ge/2020/Konf_1_23.pdf) გვ. 42-45.
7. საერთაშორისო ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2023) <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeec/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>

Discussion of possible options for improving the dynamic stability of the electric power system by introducing battery energy storage systems and photovoltaic systems in Georgia.

*T. Museliani, B. Jintchveishvili*

"Energy". №1(109). 2024. Tbilisi. p. 20-27. geo. sum geo. engl. rus.

In Gardabani region, a 30 MW photovoltaic system station is being put into operation, a project of a similar scale has not yet been implemented in Georgia, it is being implemented for the first time and is a novelty for the electric energy system of Georgia. The mentioned project is implemented by JSC "Solar Energy Bank". The implementation of similar projects only deserves a positive evaluation, because photovoltaic systems include battery energy storage systems, which in turn will help the electric power system to maintain dynamic stability. The article describes the modes characteristic of the electric power system of Georgia, their features, and discusses the need for a battery energy storage system during such modes of the electric power network of Georgia, such as: autonomous-isolated mode operation, synchronous-parallel mode operation with the neighboring country's electric power network, when electricity is exported or imported, in asynchronous mode Work with the electricity grid of the neighboring country – HVDC High Voltage Direct Current, when electricity is exported or imported.

**Key words:** Battery energy storage system, Dynamic stability, Frequency and voltage regulation, Generation, Photoelectronic systems, EMS, BMS.

*Ill. 1, bibl. 7.*

Обсуждение возможных вариантов повышения динамической устойчивости электроэнергетической системы путем внедрения аккумуляторных систем хранения электроэнергии и фотоэлектрических систем в Грузии.

*Т.Муслиани, В.Джинчвелешвили.*

"Энергия". №1 (109). 2024. Тбилиси. с. 20-27. груз. реф. англ., рус.

В Гардабанском районе вводится в эксплуатацию фотоэлектрическая станция мощностью 30 МВт, проект подобного масштаба в Грузии еще не реализовывался, он реализуется впервые и является новинкой для электроэнергетической системы Грузии. Указанный проект реализует АО «Солнечный энергетический банк». Реализация подобных проектов заслуживает только положительной оценки, поскольку фотоэлектрические системы включают в себя аккумуляторные системы хранения электроэнергии, что, в свою очередь, поможет электроэнергетической системе сохранять динамическую устойчивость в непрерывном режиме. В статье описаны режимы, характерные для электроэнергетической системы Грузии, их особенности, а также обсуждается необходимость аккумуляторной системы хранения энергии при таких режимах работы электроэнергетической сети Грузии, как: автономно-изолированная работа, синхронно- параллельная работа с электросетью соседней страны, при экспорте или импорте электроэнергии, асинхронная Работа в режиме с электросетью соседней страны - через “Back to back – HVDC” при экспорте или импорте.

**Ключевые слова:** Аккумуляторные системы хранения энергии, генерация, динамическая устойчивость, регулирование частоты и напряжения, фотоэлектрические системы.

*Илл. 1, лит. 7 назв.*

საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მომუშავე  
ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის  
ტესტირება

მიხეილ სართანია - მაგისტრი

E-mail: [mikheil.sartania@gse.com.ge](mailto:mikheil.sartania@gse.com.ge)

გივი შოვნაძე - დოქტორი.

E-mail: [givi.shovnadze@gse.com.ge](mailto:givi.shovnadze@gse.com.ge)

სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

*ანოტაცია.* სტატიაში საუბარია საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიხშირის ნომინალური სიდიდის შენარჩუნების მიზნით ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატურ რეგულირებაში მონაწილეობის მნიშვნელობაზე. ასევე, ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატურ რეგულირების ფუნქციის ტესტირების მეთოდოლოგიაზე, რაც საშუალებას იძლევა სიხშირის რეგულირების კუთხით შესაბამისობაში იქნას მოყვანილი თითოეული ენერგობლოკი/აგრეგატი ქსელის წესებით განსაზღვრულ მოთხოვნებთან, რის შედეგად იზრდება ელექტროენერგეტიკული სისტემის საიმედო და მდგრადი ფუნქციონირება.

*საკვანძო სიტყვები:* ელექტროსისტემა, ენერგობლოკი, სიხშირე, ინერცია, ქსელის წესები.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის-თვის ერთ-ერთ მთავარ პარამეტრს წარმოადგენს სიხშირე, რომელიც უმეტეს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში 50 ჰერცია, ხოლო ზოგიერთში კი 60 ჰერცი. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში სიხშირის შენარჩუნება ხდება ელექტრო-ენერგეტიკულ სისტემაში გენერაციის ობიექტების მიერ გენერირებული და მოხმარებული აქტიური სიმძლავრის თანაფარდობით, კერძოდ თუ გენერირებული და მოხმარებული აქტიური სიმძლავრე იდენტურია ამ დროს სიხშირე ნომინალური სიდიდისაა, ხოლო როდესაც გენერაცია ჭარბობს მოხმარებას ამ დროს სიხშირე ნომინალურზე მეტია და პირიქით როდესაც გენერაცია ნაკლებია მოხმარებაზე ამ დროს სიხშირე ნომინალურზე დაბალია. აქედან გამომდინარე, სიხშირის ცვლი-

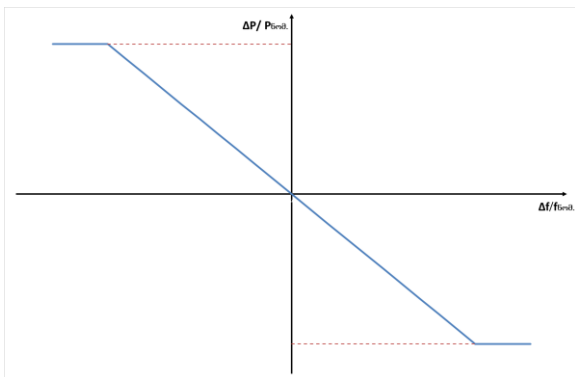
ლებისას აუცილებელია ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატურ რეგულირებაში მონაწილეობა და შესაბამისი გამომუშავებული აქტიური სიმძლავრის ცვლილება.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა მცირე ინერციისაა, შესაბამისად მცირე სიდიდით მოხმარებული აქტიური სიმძლავრის ცვლილებაც კი იწვევს სიხშირის გადახრას, შესაბამისად აუცილებელია საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის 2014 წლის 17 აპრილის №10 დადგენილებით დამტკიცებული „ქსელის წესებით“ განსაზღვრული ყველა ელექტროსადგურის სიხშირის რეგულირებაში მონაწილეობა (1) გამოსახულების შესაბამისად,

$$s(\%) = 100 * \frac{|\Delta f|}{f_{ნომ}} * \frac{P_{ნომ}}{|\Delta P|}, \quad (1)$$

სადაც  $S$  - სტატიზმის კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს სიხშირის ცვლილებისას ენერგობლოკის/აგრეგატის მიერ შესამცირებელი/მოსამატებელი აქტიური სიმძლავრის მოცულობას;  $\Delta f$  - მკვდარი ზონის დანაყენები (ჰერცი), სადაც ენერგობლოკი/აგრეგატი სიხშირის გადახრისას არ ახდენს აქტიური სიმძლავრის ცვლილებას;  $f_{\text{ნომ}}$  - ნომინალური სიხშირე (ჰერცი);  $P_{\text{ნომ}}$  - ენერგობლოკის/აგრეგატის ნომინალური სიმძლავრე;  $\Delta P$  - სიხშირის ცვლილებისას ენერგობლოკის/აგრეგატის მიერ შესამცირებელი/მოსამატებელი აქტიური სიმძლავრის მოცულობა.

(1) გამოსახულების ამსახველი მრუდი წარმოდგენილია ნახ. 1 -ზე.



ნახ. 1.

საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა როგორც გადამცემი სისტემის ოპერატორი პასუხისმგებელია ელექტროენერგეტიკული სისტემის საიმედო და მდგრად ფუნქციონირებაზე, აქედან გამომდინარე შესაბამისი სამსახური მუდმივ მონიტორინგს ახორცილებს ელექტრულ პარამეტრებზე. დაკვირვებით გამოიკვეთა, რომ საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა მეზობელი ელექტროენერგეტიკული სისტემებიდან

გამოყოფის შემდგომ, იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობის პერიოდში ადგილი ჰქონდა სიხშირის მკვეთრ გადახრებს, ხოლო როგორც შემდგომი ანალიზის საფუძველზე ვლინდებოდა სიხშირის გადახრის მთავარი გამომწვევი მიზეზი იყო მოხმარებული აქტიური სიმძლავრის ცვლილებისას ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატურ რეგულირებაში არ მონაწილეობა. აღნიშნული ფაქტის შესახებ ეცნობა როგორც საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიას ასევე გენერაციის ობიექტის მფლობელებს, რის შემდგომაც გენერაციის ობიექტის მფლობელების მიერ გატარებული იქნა შესაბამისი ღონისძიებები ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატურ რეგულირებაში მონაწილეობის უზრუნველსაყოფად, ხოლო აღნიშნული ფუნქციის ქსელის წესებით განსაზღვრული მოთხოვნების შესაბამისობასთან შემოწმების მიზნით სს "საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა"-ში დაინერგა ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის ტესტირების მეთოდოლოგია.

ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის შემოწმების მიზნით ძირითადად გამოიყენება: „სინქრონიზებული ვექტორების გაზომვების მოწყობილობა“ (PMU) რომელიც შედგება კომპანია "Schweitzer Engineering Laboratories"-ის წარმოების მოწყობილობებისგან AXION SEL-2240, SEL-

3355 და SEL-2401; MEGGER SMRT410 – Multi phase Relay Tester;

1. AXION SEL-2240 - ჩამონტაჟებულია SEL-2245-4 და SEL-2245-3 მოდულები:

a) SEL-2245-4 მოდული გამოიყენება ძაბვის და დენის ტრანსფორმატორის მეორეული სიდიდეების გასაზომად;

b) SEL-2245-3 მოდული გამოიყენება 4-20 მილიამპერის გენერირების მიზნით;

2. SEL-3355 - კომპიუტერული პლათფორმა, სადაც დაინსტალირებულია კომპანია "Schweitzer Engineering Laboratories"-ის წარმოების გაფართოებული მონიტორინგის სისტემის (WAMS) პროგრამული უზრუნველყოფა SEL-5703 Synchrowave Monitoring, რომლის საშუალებითაც IEEE C37.118 სტანდარტის შესაბამისად შესაძლებელია AXION SEL-2240 - ჩამონტაჟებული მოდულების მიერ გაზომილი/გენერირებული სიდიდეების გრაფიკული ასახვა.

3. SEL-2401 - სატელიტთან სინქრონიზებული საათი, რომლის საშუალებითაც AXION SEL-2240 ახდენს დროის სინქრონიზაციას თანამგზავრულ სისტემასთან (GPS);

4. MEGGER SMRT410 – Multi phase Relay Tester - გამოიყენება ცვლადი ძაბვის გენერაციის მიზნით;

ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის ტესტირების პროცესში საჭიროა გაიზომოს ენერგობლოკის/აგრეგატის მიერ გამომუშავებული აქტიური სიმძლავრე, ამისათვის გენერატორის ძაბვისა და დენის ტრანსფორმატორის მეორად წრედში

ჩაირთვება AXION SEL-2240-ში ჩამონტაჟებული SEL-2245-4 მოდული.

ცალკეულ შემთხვევაში, ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის შემოწმების მიზნით გამოიყენება არსებული გაფართოებული მონიტორინგის სისტემა, რომელშიც გამოიყენება კომპანია "General Electric"-ის წარმოების პროგრამული უზრუნველყოფა e-terraphasorpoint.

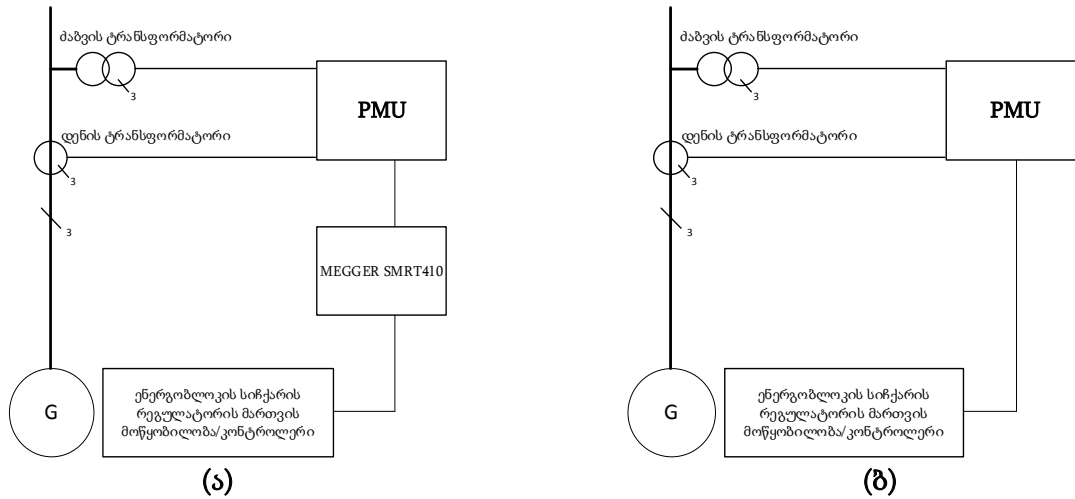
ვინაიდან ელექტროსადგურებზე არსებობს სხვადასხვა მწარმოებლის მიერ დამზადებული სიჩქარის რეგულატორის კონტროლერები, აქედან გამომდინარე შემუშავდა ტესტირების ორი ვარიანტი:

I. ვარიანტი ენერგობლოკის/ აგრეგატის სიჩქარის რეგულატორის მართვის მოწყობილობას/კონტროლერს MEGGER SMRT410-ის საშუალებით მიეწოდება ცვლადი ძაბვა, ასევე აღნიშნული ძაბვა მიეწოდება AXION SEL-2240-ში ჩამონტაჟებულ SEL-2245-4 მოდულს, იმ მიზნით, რომ AXION SEL-2240-ში დაფიქსირდეს სიჩქარის რეგულატორის კონტროლერზე მიწოდებული ძაბვის სიხშირის სიდიდე და ცვლილების დრო, რომელიც აისახება გაფართოებული მონიტორინგის სისტემის პროგრამულ უზრუნველყოფა SEL-5703-ში (ნახ. 2, ა).

II. ვარიანტი ენერგობლოკის/აგრეგატის სიჩქარის რეგულატორის მართვის მოწყობილობაზე/კონტროლერზე SEL-2245-3 მოდულის საშუალებით მიეწოდება 4-20 მილიამპერი, სიხშირის შესაბამისი მილიამპერების დაკალიბრება ხდება წინასწარ ელექტროსადგურზე, ასევე მიწოდებული მილიამპერის სიდიდე



ასახევა გაფართოებული მონიტორინგის სისტემის პროგრამულ უზრუნველყოფა SEL-5703-ში (ნახ. 2, ბ).



ნახ. 2.

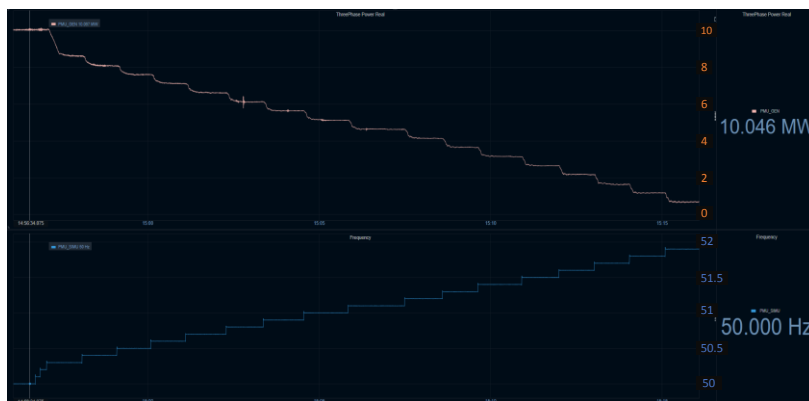
ტესტირება ორივე ვარიანტის შემთხვევაში მიმდინარეობს შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. ტესტირების დაწყებამდე, სანამ სიხშირის (ან სიხშირის შესაბამისი მილიამპერის) აწევა მოხდება ენერგობლოკის/აგრეგატის აქტიური სიმძლავრის გამომუშავება უნდა გაუტოლდეს ნომინალურ სიდიდეს, რის შემდგომაც 0,1 ჰერციანი (ან სიხშირის შესაბამისი მილიამპერი) ბიჯებით მოხდება სიხშირის აწევა, მანამ სანამ ენერგობლოკის/აგრეგატის აქტიური სიმძლავრის გამომუშავება არ შემცირდება მინიმუმამდე.

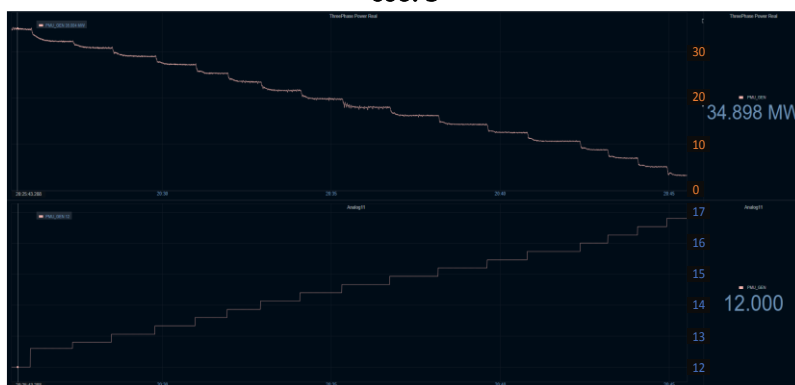
ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია ტესტირების I ვარიანტის შემთხვევა, სიხშირის აწევისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება, ხოლო ნახ. 4-ზე - ტესტირების II ვარიანტის შემთხვევა, მილიამპერის გაზრდისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება.

2. ტესტირების დაწყებამდე, სანამ სიხშირის (ან სიხშირის შესაბამისი მილიამპერის) დაწევა მოხდება ენერგობლოკის/აგრეგატის აქტიური სიმძლავრის გამომუშავება უნდა გაუტოლდეს მინიმალურ სიდიდეს, რის შემდგომაც 0,1 ჰერციანი (ან სიხშირის შესაბამისი მილიამპერი) ბიჯებით მოხდება სიხშირის ცვლილება, მანამ სანამ ენერგობლოკის/აგრეგატის აქტიური სიმძლავრის გამომუშავება არ გაიზრდება მაქსიმალურ სიდიდემდე.

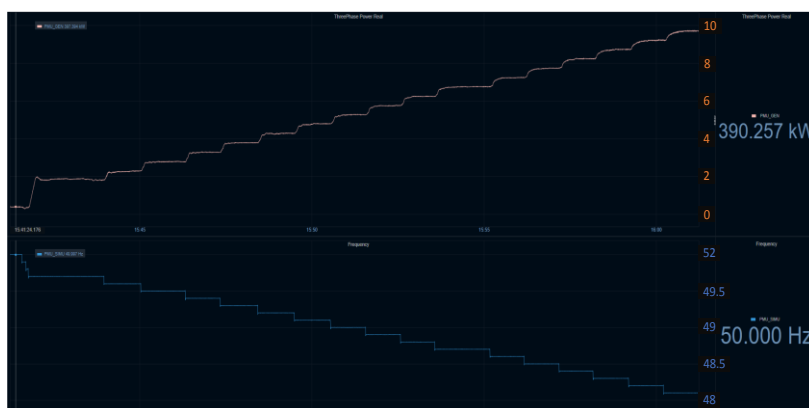
ნახ. 5-ზე წარმოდგენილია ტესტირების I ვარიანტის შემთხვევა, სიხშირის დაწევისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება, ხოლო ნახ. 6-ზე ტესტირების II ვარიანტის შემთხვევა, მილიამპერის დაწევისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება.



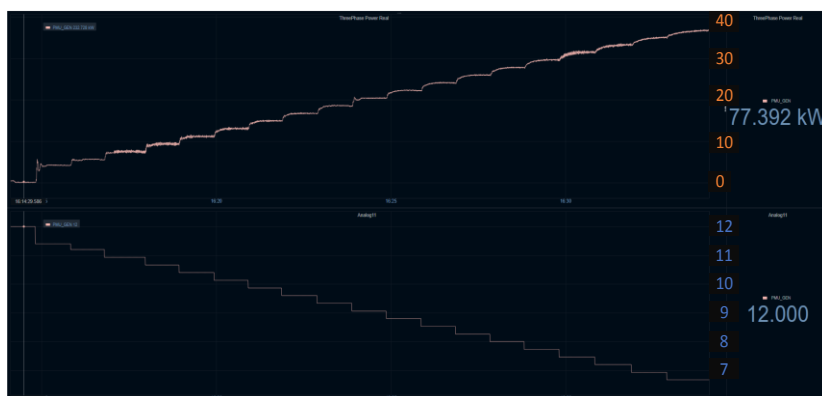
ნახ. 3



ნახ. 4



ნახ. 5



ნახ. 6





ნახ. 7

3. მკვდარი ზონის დანაყენების შემოწმების მიზნით, ენერგობლოკის/აგრეგატის გამომუშავებული სიმძლავრე გაუტოლდება დაახლოებით ნომინალური სიმძლავრის 50%-ს, რის შემდგომაც მკვდარი ზონის დანაყენების დიაპაზონში ხდება სიხშირის (ან სიხშირის შესაბამისი მილიამპერის) ცვლილება.

ტესტირების პროცესში მოწმდება შემდეგი:

1. სიხშირის გადახრისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილების სიდიდე ნახ. 7 (III);

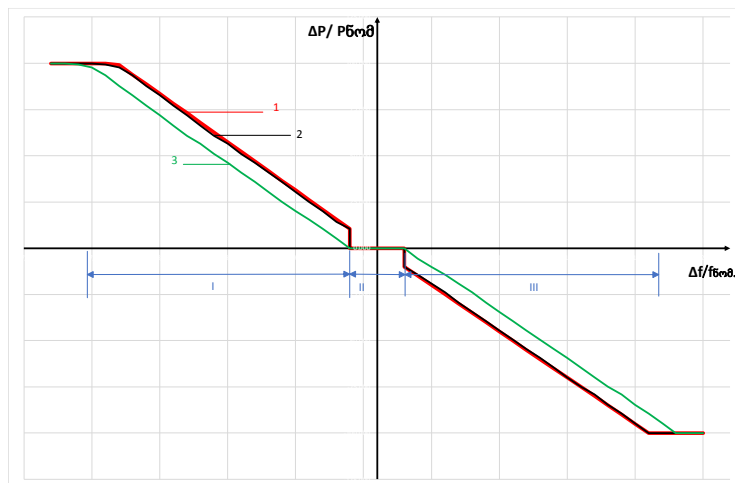
2. სიხშირის ცვლილებისას ენერგობლოკის/აგრეგატის აქტიური სიმძლავრის

3. ცვლილების დაწყების დრო, რომელიც ქსელის წესების თანახმად არ უნდა აღემატებოდეს 2 წმ-ს ნახ. 7 (I).

4. სტატიზმის კოეფიციენტით განსაზღვრული აქტიური სიმძლავრის ცვლილების დასრულების დრო, რომელიც ქსელის წესების თანახმად არ უნდა აღემატებოდეს 30 წმ-ს, ნახ. 7 (II).

5. მკვდარი ზონის დანაყენების დიაპაზონი, სადაც სიხშირის გადახრისას ენერგობლოკმა/აგრეგატმა არ უნდა მოახდინოს აქტიური სიმძლავრის ცვლილება;

ზემოაღნიშნული პუნქტების შემოწმების შემდგომ აიგება მრუდი ნახ. 8,



ნახ. 8

სადაც:

- 1 მრუდი ასახავს 50 ჰერციდან ათვლილი სტატიზმის კოეფიციენტით განსაზღვრული თეორიულად შესაცვლელი აქტიური სიმძლავრის სიდიდის დამოკიდებულებას სიხშირის მიმართ ფარდობით ერთეულში;

- მე-2 მრუდი ასახავს 50 ჰერციდან ათვლილი სტატიზმის კოეფიციენტით განსაზღვრული რეალურად შეცვლილი აქტიური სიმძლავრის სიდიდის დამოკიდებულებას სიხშირის მიმართ ფარდობით ერთეულში;

- მე-3 მრუდი ასახავს სიხშირის მკვდარი ზონის დანაყენებიდან ათვლილი სტატიზმის კოეფიციენტით განსაზღვრული რეალურად შეცვლილი აქტიური სიმძლავრის სიდიდის დამოკიდებულებას სიხშირის მიმართ ფარდობით ერთეულში. მე-2 და მე-3 მრუდი აგებულია სხვადასხვა ტიპის სიჩქარის რეგულატორის კონტროლერისთვის.

I შუალედი - სიხშირის დაწვეისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება;

II შუალედი - სიხშირის მკვდარი ზონის დანაყენების დიაპაზონს;

III შუალედი - სიხშირის დაწვეისას აქტიური სიმძლავრის ცვლილება;

*დასკვნა*

ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების ფუნქციის ტესტირება საშუალებას გვაძლევს წინასწარ ავარიული რეჟიმის დადგომამდე შემოწმებული იქნას თითოეული ენერგობლოკის/აგრეგატის სიხშირის ავტომატურ რეგულირების ფუნქციის შესაბამისობა ქსელის წესებით განსაზღვრულ მოთხოვნებთან, რაც ასევე საშუალებას აძლევს გენერაციის ობიექტის მფლობელებს აღმოფხვრან ტესტირების პროცესში გამოვლენილი ხარვეზ(ებ)ი. შედეგად ენერგობლოკების/აგრეგატების სიხშირის ავტომატური რეგულირების გამართული ფუნქციონირება უზრუნველყოფს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობის და საიმედოობის ამაღლებას.

Testing the function of automatic frequency regulation of power blocks/aggregates working in the electric power system of Georgia.

*M.Sartania, G.Shovnadze.*

"Energy". №1(109). 2024. Tbilisi. p. 28-35. geo. sum geo. engl. rus.

The article talks about the maintaining of nominal frequency levels in Georgian power system. in order to maintaining of nominal frequency it is important each unit takes part in the automatic frequency regulation. Also, there are discussions about testing methodology of function of the unit's automatic frequency regulation, which allow this units will relevant with requirement of grid code. therefore, increasing reliability and stability of power system.

*Ил. 8.*

Тестирование функции автоматического регулирования частоты силовых блоков/агрегатов, работающих в электроэнергетической системе Грузии.

*М.Сартания, Г.Шовнадзе.*

"Энергия". №1 (109). 2024. Тбилиси. с. 28-35. груз. реф. англ., рус.

Статья посвящена сохранению номинальных уровней частоты в энергосистеме Грузии. Для поддержания номинальной частоты важно, чтобы каждый агрегат принимал участие в ее автоматическом регулировании. Также ведутся дискуссии о методике тестирования функции автоматического регулирования частоты агрегата, которая позволяет данным агрегатам соответствовать требованиям сетевых норм, и следовательно, повысить надежность и стабильность энергосистемы.

*Илл. 8.*

ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის კვლევა 500კვ კ/ს „ქსანი-500“-ის მიმდებარედ 200 მგვტ-ის სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის გამოყენებით

ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი  
E-mail: jintchveleishvili.boris22@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* პიკის საათზე საქართველოს მოხმარების დაახლოებით 10%-ის შესაბამისი სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, რეჟიმული თვალსაზრისით პირველ ეტაპზე დააკმაყოფილებს ყველა იმ პრობლემის გადაწყვეტას, რაც შესაძლოა უქმნიდეს საფრთხეს საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიურ მდგრადობას. ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS) ინტეგრირდება სკადას პროგრამაში, რომელიც შეშფოთების დაწყებისთანავე მყისიერად უზრუნველყოფს დაბვის, სიხშირის უწყვეტ რეჟიმში დარეგულირებას ნომინალურ მნიშვნელობებთან ახლოს და გადადინებას (ექსპორტ-იმპორტი) გრაფიკის მიხედვით.

*საკვანძო სიტყვები:* ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, დინამიური მდგრადობა, BESS, EMS, BMS, SOC, SOH, გენერაცია, მოხმარება, ექსპორტი და იმპორტი.

ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემებით ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემის შეშფოთებების მყისიერი აღმოფხვრა არ არის დანერგილი საქართველოში და საჭიროებს კვლევებს, რადგან აღნიშნული დამაგროვებლების ენერჯიის მართვის სისტემები იძლევა ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის უწყვეტ რეჟიმში შენარჩუნების შესაძლებლობას.

ქ/ს „ქსანი-500“-ში 500 კვ-ის ავტო-ტრანსფორმატორი #3-ის ავარიული გამორთვის შემთხვევაში 500 კვ-ისა და 220 კვ-ის დაბვის ქსელს შორის კავშირი დარჩება ქ/ს „ზესტაფონი-500“-სა და 500 კვ-ის ქ/ს-ებს „გარდაბანი-500“ და „მარნეული-500“-ს შორის, ქალაქ ზესტაფონიდან აღმოსავლეთის უკიდურეს ნაწილებამდე დაშორებით არ გვექნება 500 კვ-სა და 220 კვ-ის დაბვის ქსელს შორის ელექტრული

კავშირი, რაც გამოიწვევს აღნიშნულ კვანძში 220 კვ-ის ქსელში დაბვის მნიშვნელოვან დაცემას და 500 კვ-ის დაბვის ქსელში დაბვის მნიშვნელოვან გაზრდას, რადროსაც შემცირდება საერთო მოხმარება 220 კვ-ის ქსელში დაბვის დაწვევის გამო, რაც ქვეყნის იზოლირებულ (ავტონომიურ) რეჟიმში მუშაობისას გაზრდის ქსელის სიხშირეს, ხოლო მეზობელ ელექტრო-ენერგეტიკულ სისტემებთან სინქრონულ (პარალელურ) რეჟიმში მუშაობისას შესაბამისად შეამცირებს იმპორტს, ხოლო თუ მიმდინარეობს ექსპორტი გაზრდის ექსპორტს.

ზემოთ აღნიშნული შეშფოთება განსაკუთრებით ძლიერი იქნება იზოლირებულ (ავტონომიურ) რეჟიმში მუშაობისას, როდესაც სისტემაში არ არის მიერთებული თბოსადგურები, რადგან ქ/ს „ქსანი-500“-ში ატ-3-ის ავარიული

გამორთვისას 220 კვ-ის ქსელში ძაბვის დაცემა უფრო ძლიერი იქნება აღმოსავლეთ ნაწილში გენერაციის ნაკლებობის და დიდი მოხმარების გამო.

ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობისთვის რეკომენდირებულია ქ/ს „ქსანი-500“-ის მიმდებარედ დამონტაჟდეს დაახლოებით 200 მგვტ-ის სიმძლავრის ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, რომელიც თავის მხრივ მოიცავს ენერჯიის მართვის სისტემას (EMS) და ბატარეას მართვის სისტემას (BMS). ბატარეას მართვის სისტემა (BMS) მონიტორინგს უწევს ბატარეების მდგომარეობას და მათ თანაბარ პოტენციალს State of Charge და State of Health - ის ალგორითმების გამოყენებით. State of Charge გვიჩვენებს ბატარეების დამუხტულობას პროცენტულად, ხოლო State of Health გვიჩვენებს თუ რამდენად ვარგისია ექსპლუატაციისათვის ბატარეები.

$$\text{SoC}/\% = 100(Q_0 + Q)/Q_{\max} = \text{SoC}_0/\% + 100Q/Q_{\max} \quad (1)$$

$$\text{SoH}/\% = 100Q_{\max}/C_r \quad (2)$$

ელექტროენერგეტიკული სისტემის იზოლირებულ (ავტონომიურ) რეჟიმში მუშაობისას სიხშირის, ხოლო მეზობელ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან სინქრონულ (პარალელურ) რეჟიმში მუშაობისას გადადინების (ექსპორტი-იმპორტი) რეგულირებისათვის განვიხილოთ ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელ სისტემების მიერ სიხშირის და გადადინების რეგულირების ორი შესაძლო ვარიანტი:

1. როდესაც, მსხვილი საწარმოები (მომხმარებლები) მყისიერად მოიხსნიან ტვირტს დაახლოებით 50 ან 60 მგვტ-მდე და წინასწარ ვიცით მათი ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამომდინარე, რომ მალევე აიღებენ დაახლოებით იმავე სიდიდის ტვირტს, რაც მანამდე ქონდათ მოხსნილი, ამ შემთხვევაში მათი ქსელთან დამაკავშირებელ ელექტროგადამცემ ხაზებზე არსებულ ტვირტებზე მონიტორინგისთვის შესაძლებელია დაკავშირდეს პროგრამულად ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS), რომელიც ამ დროს ბატარეებს მყისიერად გადაიყვანს დატენვის (მოხმარების) რეჟიმში და ასევე, როდესაც მსხვილი საწარმოები (მომხმარებლები) მყისიერად აიღებენ ტვირტს დაახლოებით 50 ან 60 მგვტ-მდე და წინასწარ ვიცით მათი ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამომდინარე, რომ მალევე მოიხსნიან დაახლოებით იმავე სიდიდის ტვირტს, რაც მანამდე ქონდათ აღებული, ამ შემთხვევაში მათი ქსელთან დამაკავშირებელ ელექტროგადამცემ ხაზებზე არსებულ ტვირტებზე მონიტორინგისთვის შესაძლებელია დაკავშირდეს პროგრამულად ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS), რომელიც ამ დროს ბატარეებს მყისიერად გადაიყვანს განმუხტვის (გენერაციის წყარო) რეჟიმში.

2. როდესაც, ავარიულად გამოირთვება შიდა სასისტემო ელექტროგადამცემი ხაზი, რომლითაც იკვებება მომხმარებელი ან სისტემათაშორისო ელექტროგადამცემი ხაზი, რომელზეც

მიმდინარეობს ექსპორტი ამ შემთხვევაში აღნიშნულ ხაზებზე არსებულ ტვირთებზე მონიტორინგისთვის შესაძლებელია დაკავშირდეს პროგრამულად ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS), რომელიც ამ დროს ბატარეებს მყისიერად გადაიყვანს დატენვის (მოხმარების) რეჟიმში, მაგრამ არა იმ სიდიდით რა მოხმარებელიც გამოირთო ან რა რაოდენობის ექსპორტიც (მეგავატებში) მიმდინარეობდა, არამედ მყისიერად იმ სიდიდით უნდა მოიხმაროს ბატარეებმა ენერჯია, რომ არ ამუშავდეს მოქმედი ავტომატიკები, ამის შემდეგ შიდა სასისტემო ელექტროგადამცემი ხაზის ავარიულად გამორთვის, დროს მეზობელ ენერჯოსისტემასთან სინქრონულ რეჟიმში მუშაობისას ექსპორტს გრაფიკის მიხედვით აღადგენს გენერატორებზე შეყვანილი ჯგუფური რეგულირება (ეიჯისი), ხოლო სისტემათაშორისო ელექტროგადამცემი ხაზის ავარიულად გამორთვის შემთხვევაში იზოლირებულ (ავტონომიურ) რეჟიმში მუშაობის დროს სიხშირეს დაარეგულირებს სიხშირის რეგულატორი, რომელიც წინასწარ არის შეყვანილი გენერატორებზე და ასევე როდესაც, ავარიულად გამოირთვება შიდა სასისტემო ელექტროგადამცემი ხაზი, რომელიც დაკავშირებულია გენერაციის წყაროსთან ან სისტემათაშორისო ელექტროგადამცემი ხაზი, რომელზეც მიმდინარეობს იმპორტი ამ შემთხვევაში აღნიშნულ ხაზებზე არსებულ ტვირთებზე მონიტორინგისთვის

შესაძლებელია დაკავშირდეს პროგრამულად ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS), რომელიც ამ დროს ბატარეებს მყისიერად გადაიყვანს განმუხტვის (გენერაციის) რეჟიმში, მაგრამ არა იმ სიდიდით რა გენერაციაც გამოირთო ან რა რაოდენობის იმპორტიც (მეგავატებში) მიმდინარეობდა, არამედ მყისიერად იმ სიდიდით უნდა გასცეს ბატარეებმა ენერჯია, რომ არ ამუშავდეს მოქმედი ავტომატიკები, ამის შემდეგ შიდა სასისტემო ელექტროგადამცემი ხაზის ავარიულად გამორთვის, დროს მეზობელ ენერჯოსისტემასთან სინქრონულ რეჟიმში მუშაობისას იმპორტს გრაფიკის მიხედვით აღადგენს გენერატორებზე შეყვანილი ჯგუფური რეგულირება (ეიჯისი), ხოლო სისტემათაშორისო ელექტროგადამცემი ხაზის ავარიულად გამორთვის შემთხვევაში იზოლირებულ (ავტონომიურ) რეჟიმში მუშაობის დროს სიხშირეს დაარეგულირებს სიხშირის რეგულატორი, რომელიც წინასწარ არის შეყვანილი გენერატორებზე.

#### ლიტერატურა

1. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართები:  
[\[https://energyonline.ge/index.php?option=com\\_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en\]](https://energyonline.ge/index.php?option=com_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en)  
[\[https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/41704/6/1/Energia\\_2022\\_N3-4.pdf\]](https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/41704/6/1/Energia_2022_N3-4.pdf)  
 „ენერჯია“. №3-4(103-104). თბილისი. 2022, გვ. 90-95.
2. „ენერჯია“. №1(105). თბილისი. 2023, გვ. 13-27.]  
[\[https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/44443/8/1/Energia\\_2023\\_N1.pdf\]](https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/44443/8/1/Energia_2023_N1.pdf)

3. „ენერჯია“. №2(106). თბილისი. 2023, გვ. 24-36.
4. „ენერჯია“. №3(107). თბილისი. 2023. სერია „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები“. [https://energyonline.ge/2020/Konf\\_1\\_23.pdf](https://energyonline.ge/2020/Konf_1_23.pdf)  
გვ. 42-45.  
[[https://iverieli.nplg.gov.ge/bitstream/1234/47546/2/1/Energia\\_2023\\_N3\\_Naw\\_I.pdf](https://iverieli.nplg.gov.ge/bitstream/1234/47546/2/1/Energia_2023_N3_Naw_I.pdf)]
5. საერთაშორისო ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2023) <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>
6. [<https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>]

**Study of the dynamic stability of the electric power system, adjacent to the 500kV substation "Ksani-500", using a 200 MW battery power storage system.**

*B.Jintchveleishvili.*

"Energy". №1(109). 2024. Tbilisi. p. 36-39. geo. sum geo. engl. rus.

At the peak hour, the battery energy storage system with a capacity corresponding to approximately 10% of Georgia's consumption will meet the solution of all the problems that may pose a threat to the dynamic stability of Georgia's electrical energy system. The energy management system (EMS) of the battery energy storage system is integrated into the SCADA program, which immediately ensures the continuous regulation of voltage, frequency close to the nominal values and cross-flow (export-import) according to the schedule.

**Keywords:** Battery energy storage system, Dynamic stability, BESS, EMS, BMS, SOC, SOH, Generation, Consumption, Export and Import.

*Bibl. 6.*

**Исследование динамической устойчивости электроэнергетической системы, прилегающей к ПС 500 кВ «Ксани-500», с использованием аккумуляторной системы хранения энергии мощностью 200 МВт.**

*Б.Джинчвелешвили.*

"Энергия". №1 (109). 2024. Тбилиси. с. 36-39. груз. реф. англ., рус.

Решение проблем, представляющих угрозу динамической устойчивости электроэнергетической системы Грузии в час-пик, обеспечит аккумуляторная система хранения электроэнергии, мощность которой соответствует примерно 10% потребления Грузии. Система управления энергопотреблением (EMS) аккумуляторной системы хранения электроэнергии интегрирована в программу SCADA, что сразу обеспечивает непрерывное регулирование напряжения, частоты вблизи номинальных значений и переток по графику.

**Ключевые слова:** аккумуляторная система хранения энергии, динамическая устойчивость, BESS, EMS, BMS, SOC, SOH, генерация, потребление, экспорт и импорт.

*Лит. 6 назв.*

ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის შენარჩუნება  
ნებისმიერი მყისიერი შეშფოთებების დროს ბატარეას ელექტროენერჯიის  
დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით

თენგიზ მუსელიანი - დოქტორი

E-mail: museliani@yahoo.com

ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: jintchveleishvili.boris22@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელმა სისტემებმა და მასში ინტეგრირებულმა ენერჯიის მართვის სისტემებმა უნდა უზრუნველყოს ელექტროენერგეტიკული სისტემების მყისიერი შეშფოთებების თავიდან აცილება, მანამდე სანამ რეაგირებას მოახდენს უკვე არსებული ავტომატიკები და რეგულატორები. სტატიაში დეტალურად არის განხილული ყოველივე ზემოთხსენებული. დღესდღეობით მართვის სისტემებისთვის შესაძლებელი ხდება ისეთი ჩიპების დამზადება, რომელიც მზადდება ნანოტექნოლოგიური დანადგარით, რომლის სახელწოდებაც ASML, აღნიშნული დანადგარი ქმნის ექსტრა-ულტრაიისფერი სინათლის სხივებს, რომელთა ტალღის სიგრძე არის 13,5 ნანომეტრი (EUV), აღნიშნული სინათლის სხივის საშუალებით იქმნება თანამედროვე ნანოტექნოლოგიური ჩიპები, რომლებიც ყველაფრის საშუალებას მისცემს მართვის სისტემებს ელექტროენერგეტიკული სისტემის სრულფასოვანი რეგულირებისათვის.

*საკვანძო სიტყვები:* ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, დინამიური მდგრადობა, ASML, EUV, გენერაცია, მოხმარება, ექსპორტი და იმპორტი.

*ძირითადი ნაწილი*

ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის მოხმარება მიწოდების ბალანსს, სისტემატურად მსხვილი საწარმოების (მომხმარებლების) მიერ გამოწვეული უბალანსობები არღვევს, კერძოდ, რუსთავის კვანძში მოხმარების დიაპაზონი შეიძლება მომენტალურად დაახლოებით 80 მგვტ-მდეც კი შეიცვალოს, რაც ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობის დროს სისტემის სიხშირეს 1 ჰერცზე მეტ დიაპაზონში მყისიერად ცვლის:

1. თუ მსხვილი საწარმოები მომენტალურად გაზრდის საკუთარ მოხმარებას დაახლოებით 60 მგვტ-ით, ამ შემთხვევაში

ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის სიხშირე შემცირდება დაახლოებით 1 ჰერცით.

2. თუ მსხვილი საწარმოები მომენტალურად შეამცირებს საკუთარ მოხმარებას დაახლოებით 60 მგვტ-ით, ამ შემთხვევაში ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის სიხშირე გაიზრდება დაახლოებით 1 ჰერცით.

მსხვილი საწარმოები (მომხმარებლები), რომლებიც იკვებებიან 110 კვ ეგებებით ჯეოსთილი და მეტალურგია-2 ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამომდინარე შეუძლიათ ჯამურად დაახლოებით 80 მგვტ-ის მყისიერად მოხსნა და მალევე ისევ მყისიერად ტვირთის აღება 80 მგვტ-ით.



ტექნოლოგიური პროცესი შემდეგნაირია: მეტალის დნობა მიმდინარეობს ელექტრომაგნიტური რკალით.

ზემოთ განხილული შემთხვევები არის ავარიის წყარო, რადგან სიხშირის ნომინალური მნიშვნელობიდან 1 ჰერცით გადახრა ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიურ მდგრადობას უქმნის მნიშვნელოვან საფრთხეს.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა მეზობელი ენერგო სისტემებიდან სინქრონულ რეჟიმში მუშაობს აზერბაიჯანის, სომხეთის და რუსეთის ენერგოსისტემებთან, ხოლო თურქეთის ენერგოსისტემასთან გვაქვს ასინქრონული კავშირი მუდმივი დენის ჩანართით და ასევე გვაქვს 220 კვ ელექტროგადამცემი ხაზი „აჭარა“, რომლითაც არ შევდივართ პარალელში თურქეთის ენერგოსისტემასთან შესაძლო გაზრდილი გადადინებების საფრთხის გამო, აღნიშნული 220 კვ ელექტროგადამცემი ხაზით საჭიროების შემთხვევაში ვმუშაობთ თურქეთთან ჩიხური (კუნძულოვანი) სქემით.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მეზობელ სისტემასთან სინქრონულ რეჟიმში მუშაობისას მსხვილი საწარმოს მიერ სისტემისთვის 60 მგვტ-ის გამონთავისუფლება, ანუ თუ მსხვილმა საწარმომ მცისიერად მოიხსნა ტვირთი 60 მგვტ, მაშინ მეზობელ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან ექსპორტის მიმდინარეობის დროს ექსპორტი გაიზრდება 60 მგვტ-ით, ხოლო იმპორტის

მიმდინარეობის დროს იმპორტი შემცირდება 60 მგვტ-ით.

ქ/ს „რუსთავი-220“-ის 110 კვ-ის სალტებზე, სადაც სქემატურად თავს იყრის, 110 კვ ელექტროგადამცემი ხაზები „ჯეოსთილი“ და „მეტალურგია-2“ მიზანშეწონილია დაერთდეს დაახლოებით 80 მგვტ-მდე ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, რომელიც ენერჯიის მართვის სისტემის საშუალებით მცისიერად დაარეგულირებს მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლების) მიერ გამოწვეულ მოხმარების მცისიერ ცვლილებებს 110 კვ ეგზ-ზე „ჯეოსთილი“ და „მეტალურგია-2“.

ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS) შესაძლებელია ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელ სისტემას (BESS) მართვის ლოგიკის საშუალებით იყენებდეს მას ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობის დროს, როგორც სიხშირის მცისიერი რეგულატორი (რეგულირებისათვის), ასევე მეზობელ ენერგოსისტემასთან სინქრონული მუშაობის დროს გადადინების მცისიერი (დროის დაყოვნების გარეშე) რეგულირებისათვის, იგულისხმება ექსპორტ-იმპორტი, მაგალითად:

1. იმპორტის მიმდინარეობის დროს, რა სიმძლავრითაც (მგვტ) შემცირდება მცისიერად იმპორტი მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ მცისიერად ტვირთის მოხსნის გამო, იმდენ მეგავატს მოიხმარს მცისიერად ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა და მცისიერად

გაასწორებს იმპორტს გრაფიკის მიხედვით, შემდეგ თუ მსხვილი საწარმო (მომხმარებელი) მცირე დროში ისევ მყისიერად აიღებს იმავე ტვირთს რაც მანამდე ჰქონდა მოხსნილი, მაშინ ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა მყისიერად გასცემს სისტემაში შესაბამის სიმძლავრეს და გაასწორებს იმპორტს გრაფიკის მიხედვით.

2. იმპორტის მიმდინარეობის დროს, რა სიმძლავრითაც (მგვტ) გაიზრდება მყისიერად იმპორტი მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ მყისიერად ტვირთის აღების გამო, იმდენ მეგავატს გასცემს სისტემაში მყისიერად ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა და მყისიერად გაასწორებს იმპორტს გრაფიკის მიხედვით, შემდეგ თუ მსხვილი საწარმო (მომხმარებელი) მცირე დროში ისევ მყისიერად მოიხსნის იმავე ტვირთს რაც მანამდე ჰქონდა აღებული, მაშინ ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა მყისიერად მოიხმარს შესაბამის სიმძლავრეს და გაასწორებს იმპორტს გრაფიკის მიხედვით.

3. ექსპორტის მიმდინარეობის დროს, რა სიმძლავრითაც (მგვტ) შემცირდება მყისიერად ექსპორტი მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ მყისიერად ტვირთის აღების გამო, იმდენ მეგავატს გასცემს სისტემაში მყისიერად ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა და მყისიერად გაასწორებს ექსპორტს გრაფიკის მიხედვით, შემდეგ თუ მსხვილი საწარმო (მომხმარებელი) მცირე დროში ისევ მყისიერად მოიხსნის იმავე ტვირთს

რაც მანამდე ჰქონდა აღებული, მაშინ ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა მყისიერად მოიხმარს შესაბამის სიმძლავრეს და გაასწორებს იმპორტს გრაფიკის მიხედვით.

4. ექსპორტის მიმდინარეობის დროს, რა სიმძლავრითაც (მგვტ) გაიზრდება მყისიერად ექსპორტი მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ მყისიერად ტვირთის მოხსნის გამო, იმდენ მეგავატს მოიხმარს მყისიერად ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა და მყისიერად გაასწორებს ექსპორტს გრაფიკის მიხედვით, შემდეგ თუ მსხვილი საწარმო (მომხმარებელი) მცირე დროში ისევ მყისიერად აიღებს იმავე ტვირთს რაც მანამდე ჰქონდა მოხსნილი, მაშინ ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა მყისიერად გასცემს სისტემაში შესაბამის სიმძლავრეს და გაასწორებს იმპორტს გრაფიკის მიხედვით.

ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS) აზაზენის შემავალ სიგნალს ბატარეების დასატენად ან განმუხტვისთვის, რაც დამოკიდებულია მართვის ლოჯიკის მოთხოვნილებებზე და ბატარეის სისტემის დატენვის მდგომარეობაზე (SOC) ან ბატარეის სისტემის გამართულად მუშაობის შესაძლებლობების მდგომარეობაზე (SOH).

110 კვ ეგზ ჯეოსთილის მოხმარების ცვლილების მყისიერი რეგულირებისთვის საკმარისია 40 მგვტ-იანი ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, თავისი ენერჯიის მართვის სისტემით, ასევე 110 კვ ეგზ „მეტალურჯია-2“-თვის

საკმარისია დაახლოებით 40 მგვტ-იანი ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, თავისი ენერჯიის მართვის სისტემით.

გადადინების (ექსპორტ - იმპორტი) და სიხშირის რეგულირებისთვის ნახსენები მეთოდები არის რეკომენდირებული და ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერჯიის მართვის სისტემაში პროგრამულად უნდა იყოს გააქტიურებული 110 კვ-ის ეგზ-ებისთვის „ჯეოსთილი“ და „მეტალურგია-2“ და ემს უნდა უყურებდეს აღნიშნულ 110 კვ-ის ძაბვის ელექტროგადამცემ ხაზებზე ტვირტს.

ენერჯიის მართვის სისტემის (EMS) გარდა ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელ სისტემას (BESS) გააჩნია ბატარეას მართვის სისტემა (BMS), რომელიც არეგულირებს და უზრუნველყოფს ბატარეების გამართულ მდგომარეობას და მათ თანაბარ პოტენციალს.

საქართველოს ელექტროენერჯეტიკული ქსელი შედგება გადამცემი ქსელისგან, რომელიც თავის მხრივ შედგება 500 კვ და 220 კვ-ის ძაბვის ქსელისგან და გამანაწილებელი ქსელისგან, რომელიც თავის მხრივ შედგება 110/35/10/6 კვ ძაბვის ქსელისგან.

რეჟიმული თვალსაზრისით ზემოთ ხსენებული მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ მყისიერად ჯამურად 50 მგვტ-ით დატვირთვა, განსაკუთრებით არასასურველია სისტემის დინამიური მდგრადობისთვის, როდესაც ხდება თანხვედრა დროში სადგურებზე

გენერაციის წყაროს მარქაფში გაჩერებისას, საუბარია დროის მცირე მონაკვეთზე. დისპეტჩერის მიერ მარქაფში გენერატორის გაჩერებისას გენერაცია აკლდება სისტემას სანამ ენგურის გენერატორი რომელზეც ეიჯისია (ჯგუფური რეგულირება) შეყვანილი გაასწორებს გადადინებას მეზობელ ენერგოსისტემასთან ან თუ ავტონომიურში (იზოლირებულ რეჟიმში) ვმუშაობთ ენგურის გენერატორი, რომელზეც სიხშირის რეგულირება შეყვანილი აწევს სიხშირეს ნომინალურ ზღვრამდე, ამ დროს თუ დაემთხვა მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ ტვირტის აღება მყისიერად, (დისპეტჩერი მომხმარებლის საწარმოო ტექნოლოგიურ პროცესს წინასწარ ვერ განსაზღვრავს, იგულისხმება ტვირტის მყისიერი აღება და მოხსნა), იგი უფრო დაამძიმებს სისტემის საერთო სურათს, რადგან დროის მცირე მონაკვეთში გენერაციის კლება და იმავდროულად მოხმარების მყისიერი გაზრდა იმპორტს ძალიან გაზრდის, ხოლო ექსპორტს ძალიან შეამცირებს და გრაფიკით ექსპორტის მიმდინარეობისას შეიძლება დაფიქსირდეს იმპორტიც, ხოლო სისტემის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობისას ძალიან დაწევს სიხშირეს და შეიძლება იმუშაოს სიხშირის ავტომატურმა განტვირთვამ, რაც გულისხმობს შესაბამის მომხმარებლების გამორთვას.

რეჟიმული თვალსაზრისით ზემოთ ხსენებული მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ მყისიერად ჯამურად 50 მგვტ-ით განტვირთვა, განსაკუთრებით

არასასურველია სისტემის დინამიური მდგრადობისთვის, როდესაც ხდება თანხვედრა დროში სადგურებზე გენერაციის წყაროს მიერთებისას და გენერატორის მიერ ტვირთის აღებისას, საუბარია დროის მცირე მონაკვეთზე. დისპეტჩერის მიერ გენერატორის სისტემასთან მიერთებისას გენერაცია ემატება სისტემას, სანამ ენგურის გენერატორი რომელზეც ეიჯისია (ჯგუფური რეგულირება) შეყვანილი გაასწორებს გადადინებას მეზობელ ენერგოსისტემასთან ან თუ ავტონომიურ რეჟიმში ვმუშაობთ, სანამ ენგურის გენერატორი, რომელზეც სიხშირის რეგულირებაა შეყვანილი დაწევს სიხშირეს ნომინალურ ზღვრამდე, ამ დროს თუ დაემთხვა მსხვილი საწარმოს (მომხმარებლის) მიერ ტვირთის მოხსნა მყისიერად, (დისპეტჩერი მომხმარებლის საწარმოო ტექნოლოგიურ პროცესს წინასწარ ვერ განსაზღვრავს, იგულისხმება ტვირთის მყისიერი აღება და მოხსნა), იგი უფრო დაამძიმებს სისტემის საერთო სურათს, რადგან დროის მცირე მონაკვეთში გენერაციის მატება და იმავდროულად მოხმარების მყისიერი შემცირება იმპორტს ძალიან შეამცირებს და შესაძლებელია დაფიქსირდეს ექსპორტიც, ხოლო ექსპორტს ძალიან გაზრდის და შეიძლება იმუშაოს ავტომატიკამ, ხოლო სისტემის ავტონომიურ (იზოლირებულ) რეჟიმში მუშაობისას ძალიან აწევს სიხშირეს და შეიძლება იმუშაოს გენერატორებზე სიხშირის აწვეისაგან დაცვამ, რაც

გულისხმობს შესაბამის გენერაციის გამორთვას.

განსაკუთრებით ყურადსაღებია რეჟი- მული სურათი, როდესაც ხდება ელექტრო- გადამცემი ხაზების ავარიულად გამორთვა, მათი მიწასთან მოკლედ შერთვის დროს სანამ დაცვა იმუშავებს და გამორთავს ელექტროგადამცემ ხაზს შესაძლებელია დაზიანების ადგილიდან მყისიერად იქნეს მიზიდული (მოქაჩული) სისტემიდან დიდი სიმძლავრე, ასევე როდესაც, მაგალითად 220 კვ-ის ელექტროგადამცემი ხაზით ჩიხურად იკვებება მომხმარებელი დიდი დატვირთვით, რომელიც რაიმე მიზეზით გამორთვება დაცვით და წარმატებით იმუშავებს ავტომატური განმეორებითი ჩართვა ანუ ხაზი დარჩება ჩართული ამ მომენტშიც მყისიერად ხდება აღნიშნული მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრის ჯერ მოხსნა სისტემისთვის და შემდეგ იმავე სიმძლავრით ისევ დატვირთვა.

ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სის- ტემის ავტონომიურ (იზოლირებულ) რეჟიმში მუშაობისას დღის ჭრილში მოხმარების პიკის დროს, როდესაც მოხმარება მაქსიმალურია სისტემაში, უფრო მეტი გენერაციის და მოხმარების ცვლილებათა საჭირო სიხშირის 1 ჰერცის ცვლილებისათვის, ვიდრე ქვეყნის ელექტ- როენერგეტიკული სისტემის მოხმარების ღამის მინიმუმის დროს. მაგალითისთვის ღამის მინიმუმზე მოხმარება გენერაციის 40 მგვტ-ის ცვლილებაც შეიძლება საკმარისი აღმოჩნდეს, რომ სისტემის სიხშირე 1 ჰერცით შეცვალოს (გაათამაშოს),

იგივე სისტემაში 1 ჰერცის ცვლილებას დღის პიკის დროს, როდესაც ქვეყნის მოხმარება მაქსიმალურია შეიძლება 60 მგვტ-მდე მოხმარება გენერაციის ცვლილებაც დასჭირდეს.

მთავარი პრინციპი ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის და მასში ინტეგრირებული ენერჯიის მართვის სისტემის სარგებლიანობისა მდგომარეობს იმაში, რომ მას მყისიერად დროის დაყოვნების გარეშე შეუძლია რეაგირება ნებისმიერ ზემოთხსენებულ შემფოთებებზე, განსხვავებით ეიჯისისა (გენერატორებზე ჯგუფური რეგულირება) და სიხშირის რეგულატორისა, რომლებსაც გარკვეული პერიოდი ჭირდებათ ზემოთხსენებულ შემფოთებებზე რეაგირებისათვის.

მეზობელ ენერჯოსისტემასთან 330 კვ-იანი ელექტროგადამცემი ხაზებით და 500 კვ-იანი ელექტროგადამცემი ხაზით სინქრონული მუშაობის დროს ანუ როდესაც პარალელში ვართ მეზობელ ენერჯოსისტემასთან სამი ელექტროგადამცემი ხაზით და მიმდინარეობს იმპორტი, 500 კვ-ის სისტემათაშორისო ხაზის კომუტაციის დროს ხაზის ამომრთველის ჩართვისას და გამორთვისას ხაზზე ფიქსირდება მყისიერად ექსპორტი, საუბარია იმ სიდიდეზე, რომ იმავე სიდიდის იმპორტის დროს მოქმედებს განტვირთვის ავტომატიკა, აღნიშნული ავტომატიკა მყისიერი ექსპორტის დროს მინუს ნიშანს ვერ აღიქვავს და მოქმედებს

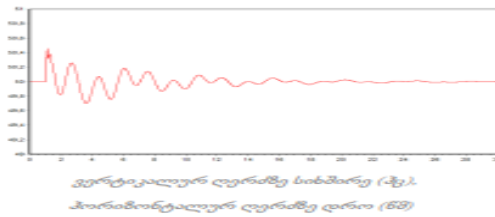
როგორც უნდა იმოქმედოს იმავე სიდიდის იმპორტის გადაჭარბებისას და მოქმედებაში შედის განტვირთვის ავტომატიკა, რომელიც გამორთავს მოხმარებელს და ექსპორტი კიდევ უფრო იზრდება, რაც უფრო ამძიმებს საერთო სურათს, ამის თავიდან ასაცილებლად ხაზის ამომრთველის ჩართვამდე და გამორთვამდე გამოგვყავს მოქმედებიდან განტვირთვის ავტომატიკა და ხაზის ჩართვის და გამორთვის შემდეგ ისევ შეგვყავს მოქმედებაში.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე სისტემური ავარიის თავიდან აცილებისათვის, ზედმეტად რომ არ გამოვიყვანოთ ავტომატიკა მოქმედებიდან და მერე ისევ შევიყვანოთ მოქმედებაში, ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა ენერჯიის მართვის სისტემის საშუალებით 500 კვ ელექტროგადამცემი ხაზის კომუტაციისას მყისიერად დაფიქსირებული ექსპორტის დროს საჭირო დროით მყისიერად მოიხმარს ენერჯიას იმ სიდიდით, რომ ექსპორტი საერთოდ არ დაფიქსირდეს და არ იმუშაოს განტვირთვის ავტომატიკამ, რომელიც ამ შემთხვევაში ვერ აღიქვავს მინუს ნიშანს და ექსპორტს აღიქვავს როგორც იმპორტი, ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემა შეიძლება ვამუშაოთ იმ დანაყენზე, რომ არ გასცდეს მოქმედი ავტომატიკების სამოქმედო ზღვარს, მხოლოდ მიუახლოდეს მას და არ გაემ-

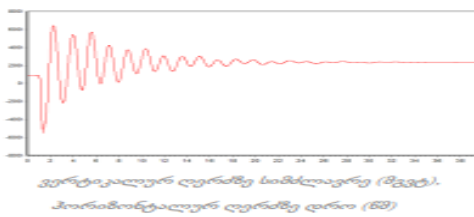
**ვებ „გარდაბანი - სამუხი“-ს გამორთვა**

გადაღონება აღნიშნულ ხაზზე 125 მგვტ.

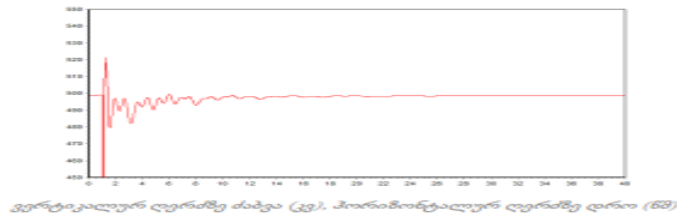
სიხშირე:



გადაღონება ვებ „გარდაბანი - აგსტაფა“-ზე:



ძაბვა „გარდაბანი 500“-ზე სალტეზე:



ნახ. 1. ვებ „გარდაბანი-სამუხი“-ს გამორთვისას სიხშირის, ძაბვის და სიმძლავრის დიაგრამა

ვას მოქმედი ავტომატიკები, შემდეგ კი ექსპორტ იმპორტს დაარეგულირებს ეიჯისი (ჯგუფური რეგულირება) გრაფიკის მიხედვით.

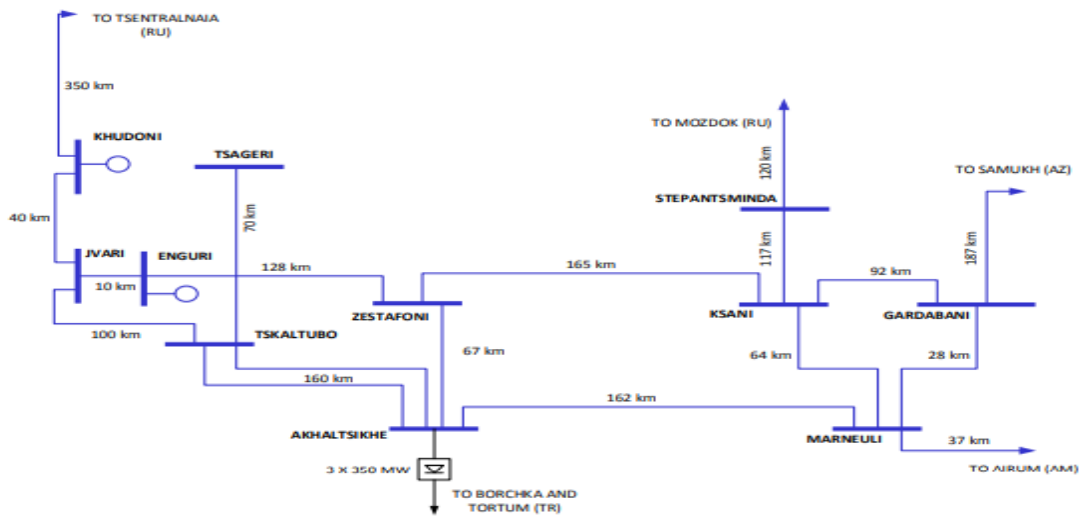
საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ქსელი განაგრძობს განვითარებას, ახლო მომავალში ექსპლუატაციაში შევა შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი, რომელიც გაატარებს 1000 მგვტ სიმძლავრეს, ამჟამად მიმდინარეობს გარემოზე ზემოქმედების შეფასების განხილვა.

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი, რომელიც საქართველოს რუმინეთთან და ბულგარეთთან დააკავშირებს იქნება ფანჯარა კასპიის ზღვის რესურსების ევროპაში ტრანზიტისთვის, ყოველივე ზემოთ აღნიშნულისთვის საჭიროა როგორც 500 კვ ვებ „იმერეთი“-ს პარალელური ახალი 500 კვ-ის ელექტროგადამცემი ხაზის მშენებლობა, ასევე დიდი სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემები, რომელიც გაზრდის სისტემის დინამიურ მდგრადობას და ელექტროენერჯიის უსაფრთხო ტრანზიტს ევროპაში.

ნახ. 2-ზე მოცემულია 500 კვ-ის კავშირები, მაგრამ აღნიშნულ სქემაზე არ არის დატანილი პერსპექტივაში არსებული შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი.

**დასკვნა**

ზემოთ მოცემული გადამცემი სისტემის ცალხაზოვანი სქემები და დიაგრამები გვეხმარება თვალნათლივ დავინახოთ ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების (BESS) საჭიროება ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ - ენერჯიის მართვის სისტემა (EMS) აგზავნისშემავალ სიგნალს ბატარეების დასატენად ან განმუხტვისთვის, რაც დამოკიდებულია მართვის ლოგიკის მოთხოვნილებებზე და ბატარეის სისტემის დატენვის მდგომარეობაზე (SOC – State of charge) ან ბატარეის სისტემის გამართულად მუშაობის შესაძლებლობების მდგომარეობაზე (SOH – State of Health), რაც გულისხმობს შემდეგს:



ნახ. 2. 500კვ-ის ელექტროგადამცემი ხაზების არსებული და სამომავლო ცალხაზოვანი სქემა, მათ შორის ინტერკონექციით და შიდასასიტემო

1. მეზობელ ენერგოსისტემასთან სინქრონული მუშაობის დროს ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემაში შეიძლება პროგრამულად შევიყვანოთ ექსპორტ-იმპორტის გადადინების სიდიდის დანაყენები, რომელიც არ გასცდება უკვე მოქმედი ავტომატიკების სამოქმედო ზღვარს, არამედ გადადინების რეალური სიდიდე მხოლოდ მიუახლოდება აღნიშნულ ზღვარს და არ გაეშვება არსებული ავტომატიკები მოქმედებაში, შემდეგ კი ექსპორტ - იმპორტს დაარეგულირებს ეიჯისი (ჯგუფური რეგულირება) გრაფიკის მიხედვით.

2. ელექტროენერგეტიკული სისტემის ავტონომიურ (იზოლირებული) რეჟიმში მუშაობისას ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ენერჯიის მართვის სისტემაში შეიძლება შევიყვანოთ სიხშირის მაქსიმალური და მინიმალური დანაყენი, რომელიც არ გასცდება უკვე მოქმედი ავტომატიკების და დაცვების

სამოქმედო ზღვარს (სიხშირის ავტომატიკური განტვირთვა და გენერატორებზე სიხშირის აწვევისაგან დაცვა), არამედ მხოლოდ მიუახლოდება მას და არ გაეშვება არსებული ავტომატიკები და დაცვები მოქმედებაში, შემდეგ კი გენერატორი, რომელზეც სიხშირის რეგულატორია შეყვანილი დაარეგულირებს სიხშირეს ნომინალურ მნიშვნელობამდე.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნული მცირე მონახაზია იმ სარგებლისა, რაც ბატარეას ენერჯიის დამაგროვებელმა სისტემამ (BESS) შეუძლია მოუტანოს ქვეყნის ელექტროენერგეტიკულ სისტემას.

ლიტერატურა

1. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2022)  
[https://energyonline.ge/index.php?option=com\\_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en](https://energyonline.ge/index.php?option=com_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en)
2. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფირებადი ჟურნალი/ენერჯია. №3-4(103-104). 2022. გვ. 90-95.



3. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი/ენერჯია. №1(105). 2023. გვ. 13-27.
4. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი/ენერჯია. №2(106). 2023. გვ. 24-36.
5. ელექტრონული ჟურნალი, სერია „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები“ 3(107)/2023. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი - [https://energyonline.ge/2020/Konf\\_1\\_23.pdf](https://energyonline.ge/2020/Konf_1_23.pdf) გვ. 42-45.
6. საერთაშორისო ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2023) <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>
7. <https://sakrusenergo.ge/wp-content/uploads/2020/07/2017-2027-წწ-ის-10-წლიანი-გეგმა-1.pdf>

Maintaining the dynamic stability of the electric power system during any momentary disturbance by using the battery energy storage systems.

*T.Museliani, B. Jintchveleishvili.*

"Energy". №1(109). 2024. Tbilisi. p. 40-48. geo. sum geo. engl. rus.

Battery energy storage systems and integrated energy management systems must ensure that immediate disturbances to power systems are avoided before existing automation and regulators can respond. All of the above is discussed in detail in the article. Today, for control systems, it is possible to make chips that are made with a nanotechnology machine called ASML, this machine creates ultraviolet light rays with a wavelength of 13.5 nanometers (EUV), with the help of this light beam, modern nanotechnology chips are created that allow everything management systems for full regulation of the electric power system.

**Keywords:** Battery energy storage system, Dynamic stability, ASML, EUV, Generation, Consumption, Export and Import.

*Ill. 2, bibl. 7.*

Поддержание динамической устойчивости электроэнергетической системы при любых кратковременных нарушениях за счет использования аккумуляторных систем хранения энергии.

*T.Муселиани, Б.Джинчвелишвили.*

"Энергия". №1 (109). 2024. Тбилиси. с. 40-48. груз. реф. англ., рус.

Аккумуляторные системы хранения энергии и интегрированные системы управления энергией должны гарантировать, что немедленные нарушения в энергосистемах будут предотвращены до того, как существующие средства автоматизации и регуляторы смогут отреагировать. Все вышеперечисленное подробно рассмотрено в статье. Сегодня для систем управления можно применять чипы, изготовленные с помощью нанотехнологической машины под названием ASML, создающей ультрафиолетовые световые лучи, длиной волны 13,5 нанометров (EUV), с помощью которого создаются современные нанотехнологические чипы, системы управления для полного регулирования электроэнергетической системы.

**Ключевые слова:** аккумуляторная система хранения энергии, динамическая устойчивость, ASML, EUV, генерация, потребление, экспорт и импорт.

*Илл. 2, лит. 7 назв.*



მზის ელექტროსადგურების ეფექტურობა და გარემოზე ზემოქმედება

გიორგი ხუციშვილი - მაგისტრანტი

E-mail: [giokhutsishvili1996@gmail.com](mailto:giokhutsishvili1996@gmail.com)

მალხაზ დვალაძე - ასისტენტ პროფესორი

E-mail: [dvalidzemalkhaz02@gtu.ge](mailto:dvalidzemalkhaz02@gtu.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია:* ნაშრომში საუბარია მზის ელექტროსადგურით ენერჯიის მიღების პრინციპზე, სადგურის შემადგენელ კომპონენტებზე, სადგურის ტიპებსა და ფოტოელექტრული მოდულების წარმოების დარგში არსებულ მიღწევებზე. ასევე ნაჩვენებია მსოფლიოს მასშტაბით მოდულების წარმოების დარგში ერთ-ერთი გიგანტის LONGI-ს მიერ შექმნილი სილიციუმ-პეროვსკიტის კრისტალური მოდული, რომლის ეფექტურობამაც 33.9%-ს მიაღწია. განხილულია მზის ელექტროსადგურის მნიშვნელობა გარემოზე ზემოქმედების ფაქტორში და მოყვანილია მაგალითი გარემოს დაბინძურების შესახებ.

*საკვანძო სიტყვები:* განახლებადი ენერჯია, ფოტოელექტრული, ფირფიტა, პოლიკრისტალური, მონოკრისტალური, კონტროლერი.

*შესავალი*

კაცობრიობის განვითარების იმ ეტაპზე რომელზეც დღეს ჩვენ ვიმყოფებით, ტექნოლოგიური მიღწევების და განვითარების პარალელურად, სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი გახდა ეკოსისტემაზე ზრუნვა, რადგან ყველანაირი ცივილიზაცია რა თქმა უნდა აზრს კარგავს კლიმატის ცვლილებასა და ეკოლოგიური კატასტროფების თავიდან აცილებაზე ზრუნვის გარეშე. კლიმატის ცვლილებაზე ზრუნვას ემსახურება ბუნების დაცვის მსოფლიო ფონდის (WWF) მიერ ინიცირებული დედამიწის საათიც, რომელიც 2007 წლიდან ყოველ წელს ტარდება. მწვანე ენერჯია ერთ-ერთია იმ უმნიშვნელოვანეს საკითხთაგან რომელსაც შეუძლია დაეხმაროს კაცობრიობას გლობალური კლიმატური ცვლილების შეკავებაში. რაც შეეხება კონკრეტულად მზის ელექტროსადგურებს, ბევრი ფაქტორის გამო სწორედ იგია გადაწყვეტი

მნიშვნელობის მქონე სამომავლოდ ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯიის მიღების საკითხში.

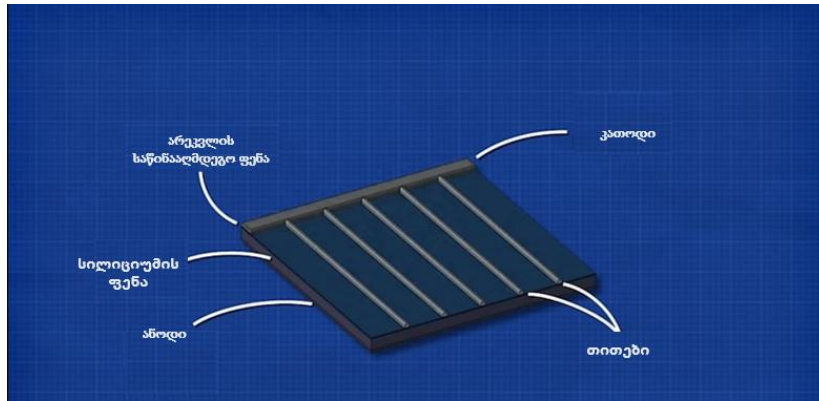
მზის ენერჯია ერთ-ერთია იმ განახლებად ენერჯიათაგან, რომლის ათვისება და სასარგებლოდ გამოყენებაც კაცობრიობამ თავისი ისტორიის მანძილზე შეძლო. კერძოდ 1839 წ., ალექსანდრ ედმონდ ბეკერელმა აღმოაჩინა ფოტო-ელექტრული ეფექტი რომელიც ხსნიდა, როგორ შეიძლება ელექტროენერჯიის მიღება მზის ენერჯიის მეშვეობით, რის საფუძველზეც 1941 წ., ამერიკელმა მეცნიერმა რასელ ოლმა შექმნა პირველი ფოტოელექტრული უჯრედი ხოლო მოგვიანებით, 1954 წ., ამერიკული ინდუსტრიული კვლევისა და სამეცნიერო განვითარების კომპანიის, Bell Laboratories-ის მიერ იქნა გამოშვებული პირველი კომერციული ფოტოელექტრული მზის მოდული. თანამედროვე მზის ფოტო-ელექტრული მოდულები შედგება

მიმდევრობით შეერთებული უჯრედებისგან, რომელსაც დენის და ძაბვის საკუთარი პარამეტრები გააჩნია და რადგან მიმდევრობით ჩართულ წრედში დენსა და ძაბვას აქვს შემდეგი სახე: ძაბვა ტოლია ცალკეული უჯრედების ძაბვების ჯამისა  $V_{სრ} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$ ; ხოლო დენი უცვლელი რჩება  $I_{სრ} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ ; სიმძლავრე კი სწორედ დენისა და ძაბვის ნამრავლის ტოლია, აქედან გამომდინარე მოდულის სიმძლავრე  $P_{მოდ} = I_{სრ} \times V_{სრ}$ . საყოფაცხოვრებო და კომერციული ტიპის მოდულები შეიძლება იყოს 18, 36, 72 ან სხვა რაოდენობის უჯრედებისგან შემდგარი, მათ შორის სხვაობა კი გამოსავალ ელექტრულ პარამეტრებშია. უჯრედი, თავის მხრივ რამდენიმე კომპონენტის ერთობლიობაა, ესენია: დადებითად დამუხტული მეტალის გამტარი ფირფიტა (ანოდი), სილიციუმის შემცველი ფენა, არეკვლის საწინააღმდეგო ფენა, უარყოფითად დამუხტული ლითონის გამტარები (კათოდი), დამცავი შუშა.

სილიციუმის ატომს გარე ორბიტაზე აქვს ოთხი თავისუფალი ელექტრონი რის გამოც მასთან შეჯახებით, ფოტონი მარტივად, დაახლოებით 1,1 ელექტრონ-ვოლტი ძალით გამოათავისუფლებს ელექტრონს. ეს გახლავთ 1839 წ. ბეკერელის მიერ აღმოჩენილი ფოტოელექტრული მოვლენა და ზოგადად მზის ფოტოელექტრული მოდულის მუშაობის პრინციპი. სილიციუმის ფენა შედგება ორი შრისგან, კათოდის მხარეს შრე შედგება სილიციუმის და ფოსფორის ხოლო ანოდის მხარეს სილიციუმის და ბორის ნაერთებისგან, მათი ერთობლიობა მოდულში ქმნის P-

N შეერთებას და უჯრედშიწარმოიქმნება პოტენციალთა შორის სხვაობა. შექმნილი ველის გავლენით, ფოტონის დაჯახებით გამოთავისუფლებული ელექტრონები მიემართებიან მათი შემკრები ლითონის თითებისკენ, (კათოდისკენ) შემდეგ მათ გამაერთიანებელ სალტებზე და შემდეგ უკვე გადამცემ ხაზში. იმისთვის, რომ შეაგროვოს რაც შეიძლება მეტი თავისუფალი ელექტრონი, თითების რაოდენობა უნდა იყოს საკმარისი, მაგრამ ამავდროულად თითები უნდა იყოს რაც შეიძლება თხელი, რადგან არ დაბლოკოს პანელისკენ მიმავალი სხივები. სილიციუმის ფენის მაღლიდან გვაქვს არეკვლის ჩამხშობი ფენა, რადგან სილიციუმი აირეკლავს ბევრ სინათლეს, იმისთვის რომ რაც შეიძლება მეტი ფოტონი მოხვდეს უშუალოდ სილიციუმის ფენაში და რაც შეიძლება ცოტა იქნას არეკლილი, იყენებენ არეკვლის საწინააღმდეგო ფენას.

მიღებული ელ.ენერჯია გახლავთ მუდმივი პარამეტრებით, ასე რომ მზის ფოტოელექტრული სისტემებისთვის აუცილებელი კომპონენტია ინვერტორი. ინვერტორი არის მოწყობილობა, რომელიც უსწრაფესი ელექტრული გადამრთველების მეშვეობით მუდმივ დენს ცვლადად გარდაქმნის. ინვერტორს გააჩნია საკუთარი ელექტრული პარამეტრები, სწორედ ამ პარამეტრების შესაბამისად ხდება მოდულების შეერთება სერიებად: მიმდევრობით, პარალელურად, ან მიმდევრობით და პარალელურად ერთდროულად. თანამედროვე ფოტოელექტრული მოდულების ზომები დამოკიდებულია მათ გამოსავალ სიმძლავრეზე და ტიპზე თუმცა საშუალოდ



სურ. 1. მზის ფოტოელექტრული მოდულის სტრუქტურა

160-228x100-114 სმ-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო წონა 19 კგ-დან 31 კგ-ს აღწევს, რაც შეეხება ტემპერატურას, მათი მუშაობის დიაპაზონი  $-20^{\circ}\text{C}$ -დან  $50^{\circ}\text{C}$ -მდეა, ყველაზე ეფექტური კი მაშინაა როდესაც ტემპერატურა  $25^{\circ}\text{C}$ , ან მის სიახლოვესაა. ძირითადად გამოიყენება პანელების ორი ტიპი, პოლიკრისტალური და მონოკრისტალური, (Monocrystalline, Mono-ერთ) პანელები მზადდება ერთკრისტალური სილიციუმის მასალისგან, რაც ნიშნავს იმას, რომ უჯრედში ატომებს აქვთ ერთგვაროვანი სტრუქტურა, არის შავი ფერის და შეუძლია შთანთქოს მეტი სინათლე, აგრეთვე ოდნავ უფრო ეფექტურია მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას, ასეთი მოდულები გამოირჩევა შედარებით მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით, დაახლოებით 15-19%, მაგრამ შედარებით ძვირი ღირს. Polycrystalline (Poly-მრავალ), ტიპის მოდულში თითოეული კრისტალი წარმოადგენს სხვადასხვა ტიპის ატომების ერთობლიობას, რაც ხელის შეშლელია ფოტოელექტრული პროცესისთვის და მას ასევე უფრო ღია, მოლურჯო ფერს ხდის,

ლურჯი ფერი კი უფრო მეტ სინათლეს ირეკლავს, ეს ყველაფერი მის ეფექტურობაზე უარყოფითად აისახება, ამიტომ შედარებით დაბალი ეფექტურობის მქონე ტიპის მაგრამ ბიუჯეტური მოდულია, მისი მქკ დაახლოებით 13-17% მერყეობს. არსებობს მესამე ტიპის მოდული რომელსაც Thin-film, თხელი ფირი ჰქვია, მაგრამ მისი სარგებლიანობა ბევრად მცირეა და დაახლოებით 8-10% შეადგენს.

უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივად მზარდი მოთხოვნის პარალელურად, მეცნიერები და მზის მოდულების მწარმოებელი კომპანიები გამუდმებით მუშაობენ მათი დამზადებისათვის ხელსაყრელი მასალის ძიებაზე, რათა ეფექტურობის გაზრდასთან ერთად, უფრო ხელმისაწვდომი გახადონ მზის ფოტოელექტრული მოდულები. ამ ყველაფრის დასტურია გასულ წელს, ამ კუთხით მომხდარი რამდენიმე გარღვევა, რომელიც სილიციუმ-პეროვსკიტის მასალისგან დამზადებული პანელების მეშვეობით მოხდა. კერძოდ 2023 წლის 24 მაისს მსოფლიოს მასშტაბით მოდულების წარმოების დარგში ერთ-ერთი გიგანტის

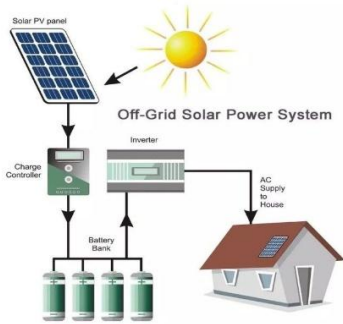
LONGI-ს მიერ შეიქმნა სილიციუმ-პეროვსკიტის კრისტალური მოდული 31.8%-იანი ეფექტურობით, ამავე წლის 24 ივნისს, LONGI-მ იგივე პრინციპზე დამყარებით შეძლო და ეფექტურობა 33,5%-მდე გაზარდა, მაგრამ აუცილებლად უნდა გამოიყოს LONGI-ს მიერ 2023 წლის 3 ნოემბერს მიღებული და ამ მომენტისთვის ბოლო შედეგი, როდესაც მათ შექმნეს მოდული, რომლის ეფექტურობამ 33,9%-ს მიაღწია, ეს უკანასკნელი შედეგი განსაკუთრებული არა მხოლოდ იმითაა, რომ აჩვენა ეფექტურობის რეკორდული შედეგი, არამედ იმითაც, რომ ამით გადააჭარბა ფოტოელექტრული მეთოდით ენერჯიის მიღების შესაძლებლობის იქამდე არსებულ თეორიულ მაქსიმუმს, რაც 1961 წ. ამერიკელი ფიზიკოსის უილიამ შოკლის და გერმანელი ფიზიკოსის ჰანს იოაკიმ კუისერის მიერ ერთობლივად იქნა მიღებული და 33,7% გახლდათ, ამ ზღვარს “შოკლი-კუისერის ლიმიტსაც” უწოდებენ. დღეისათვის ფართო გამოყენებაშია მზის ფოტოელექტრული სადგურების დადგმის სამი ტიპი. პირველი არის ქსელთან დაკავშირებული, მეორე ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე და მესამე ჰიბრიდული, სამივე ვარიანტი არის სხვადასხვა პირობებისათვის და საჭიროებს თავისი დანიშნულებისამებრ გამოყენებას, მაგალითად: ავტონომიურ რეჟიმში მყოფი მზის ელ.სადგურები (Off-Grid Solar System) ძირითადად კეთდება ისეთ ადგილებში, სადაც შეუძლებელია ელ.ქსელთან დაკავშირება, ან ფინანსურად გაუმართლებელია, შესაბამისად, ასეთი ტიპის სადგური მუხტის შესანახად საჭიროებს დამატებით

საკუმულატოროს მოწყობას, რადგან სადგურმა შეძლოს და უზრუნველყოს უწყვეტი მიწოდება მომხმარებელზე მზის სინათლის მოკლების ან არარსებობის (დაღამების) ჟამს, ასევე აუცილებელია დამუხტვის კონტროლერის (Charge controller)-ის გამოყენება, იმისათვის რომ მოხდეს სააკუმულატოროს ნორმალური პარამეტრებით დამუხტვა და ღამით როდესაც უკვე სადგურზე ძაბვა 0-ის ტოლი იქნება, პოტენციალტა შორის სხვაობის გამო მთელი შენახული მუხტი უკან მოდულებში არ დაბრუნდეს. ამ სააკუმულატოროს და დამუხტვის კონტროლერს არ საჭიროებს ქსელთან კავშირის მქონე მზის ელ. სადგური, (On-Grid Solar System) რადგან მას შეუძლია დღის განმავლობაში მოიხმაროს, და გასცეს კიდევ მისივე გამომუშავებული მისთვის არა საჭირო ჭარბი ენერჯია, ხოლო ღამით მიიღოს და მოიხმაროს ქსელიდან მხოლოდ მისთვის საჭირო სიმძლავრე, რადგან ელ.ქსელთან კავშირი მას აქვს, ასეთი ტიპის სადგური აუცილებლად აღჭურვილი უნდა იყოს მრიცხველით. რაც შეეხება ჰიბრიდული ტიპის სადგურს, (Hybrid System) ასეთ სადგურები აღჭურვილია როგორც სააკუმულატორო ასევე ქსელთან კავშირის სისტემით.

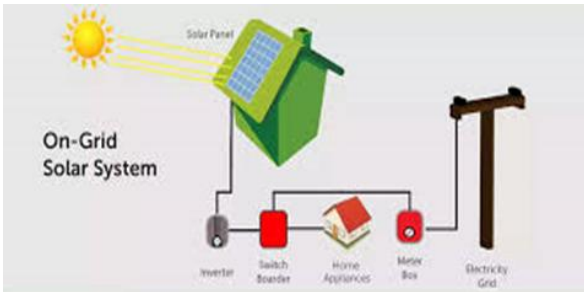
როგორც უკვე ვთქვით მზის ენერჯია განეკუთვნება მწვანე ენერჯიათა ჯგუფს, რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს განახლებად ენერჯიათა ჯგუფის ქვეჯგუფს. ტექნიკურად, ყველა განახლებადი ენერჯიის წყარო შეიძლება ჩაითვალოს მწვანე ენერჯიად, რადგან ისინი ძალიან მცირედ ან საერთოდ არ იწვევენ გარემოს



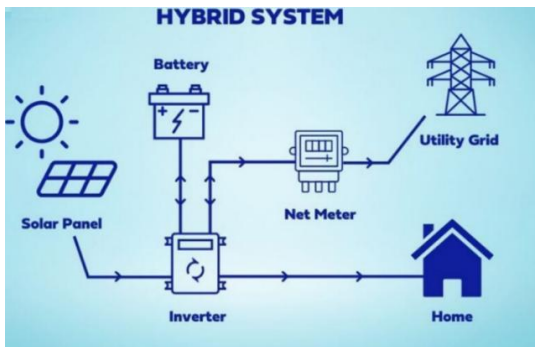
დაბინძურებას მავნე აირების გამოფრქვევით, ელექტროენერჯიის გამომუშავებისას.



ა) ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე მზის ელ.სადგური



ბ) ქსელთან მიერთებული ზმის ელ.სადგური



გ) ჰიბრიდული ტიპის მზის ელ.სადგური

**დასკვნა**

მზის პანელები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ წიაღისეულ საწვავზე დამოკიდებულების შემცირებაში და შესაბამისად ნახშირბადის გამონაბოლქვის

ლუდვაში, მაგალითისთვის: საქართველოში 1 კვტ.სთ დადგმული სიმძლავრის საშუალო წლიური გამომუშავება 1300-1400 კვტ-ია, თუ თქვენ სახლში დააყენებთ 10 კვტ.სთ სიმძლავრის ეკომეგობრულ მიმღებ წყაროს, მისი საშუალო წლიური გამომუშავება იქნება  $10 \times 1300 = 13,000$  კვტ. რადგან 1 კვტ ენერჯია დაახლოებით 0.3837 კგ ნახშირორჟანგის გამოფრქვევის ტოლია, გამოდის, რომ  $13,000 \times 0.3837 = 4988$  კგ, თქვენს მიერ გამომუშავებული მწვანე ენერჯიით პოტენციურად წელიწადში 4988 კგ ნახშირორჟანგის გამოყოფას შეაკავებთ, და რადგან თავის მხრივ, 1კგ ნახშირორჟანგის გამოყოფა დაახლოებით 0,425 ლიტრი საწვავის დაწვის შედეგია, გამოდის რომ  $4988 \times 0.425 = 2119$  ლიტრი საწვავის დაწვით გამოყოფილი ნახშირორჟანგის ოდენობის შეკავებას შეძლებთ.

**ლიტერატურა**

1. <https://theengineeringmindset.com/>
2. <https://www.longi.com/en/news/new-world-record-for-the-efficiency-of-crystalline-silicon-perovskite-tandem-solar-cells/>
3. D.Yogi Goswami “Principles of Solar Engineering”. 2015 by Taylor & Francis Group.

**Efficiency and environmental impact of solar power plants.**

*G. Khutsishvili, M. Dvalidze.*

“Energy”. №1(109). 2024. Tbilisi. p. 49-54. geo. sum geo. engl.rus.

There is a discussed, about the principle of obtaining energy from a solar power plant, the constituent components, the types of plant and the achievements in the field of production of photovoltaic modules. A silicon-perovskite crystal module created by LONGI, one of the world's giants in the field of module production, is also shown the efficiency of which reached 33.9%. The importance of the solar power plant in the environmental impact factor is discussed and an example of environmental pollution is given.

**Keywords:** renewable energy, photovoltaic plate, polycrystalline, monocrystalline, controller.

*Ill. 2, bibl. 3.*

**Эффективность и воздействие солнечных электростанций на окружающую среду.**

*Г.Хуцишвили, М. Двалидзе.*

“Энергия”. № 1(109).2024 . Тбилиси. с. 49-54. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрен принцип получения энергии от солнечной электростанции, составляющих компонентов, типов установок и достижений в области производства фотоэлектрических модулей. Приведен кристаллический модуль кремний-перовскит, созданный компанией LONGI - одной из мировых гигантов в области производства модулей, КПД которого достигает 33,9%. Обсуждается значение солнечной электростанции в факторе воздействия на окружающую среду и приводится пример загрязнения окружающей среды.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические поликристаллические, монокристаллические пластины, контроллер.

*Илл. 2, лит. 3 назв.*

მდგენელების ხარისხისა და დოზირების გავლენა ბეტონის ნარევის და გამყარებული ბეტონის თვისებებზე

მალხაზ ტურმელაძე - პროფესორი

ალექსანდრე ფეიქრიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: aleksandre.peikrishvili@gau.edu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* მაღალი სიმტკიცის ბეტონებში ცემენტის ხარჯის შემცირების ყველაზე რაციონალური მეთოდია – ბეტონის ნარევებში თანამედროვე მოდიფიკატორების გამოყენება და წყალცემენტის ფარდობის მინიმუმამდე დაყვანა. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ასევე, მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მდგენელების ხარისხის მიმართ წაყენებული მოთხოვნების უპირობო შესრულება; შემსვებების გრანულომეტრული შედგენილობის გულდასმითი შერჩევა და ქვიშასა და ღორღს შორის ზუსტი თანაფარდობის დადგენა. ამასთან ერთად, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს შემსვებების მავნე მინარევებისაგან განთავისუფლებას, რომლებიც უარყოფით გავლენას ახდენენ ბეტონის სიმტკიცის და ხანმედეგობის მაჩვენებლებზე.

*საკვანძო სიტყვები:* ბეტონი, ქვიშა, ცემენტი, სიმტკიცე,

მძიმე ბეტონის სიმტკიცეზე ტექნოლოგიური ფაქტორების გავლენის შესასწავლად ჩატარებული მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები მოწმობენ, რომ მისი ცვლილება საკმაოდ კარგად აიწერება ემპირიული დამოკიდებულებით:

$$R=AR_0(\frac{C}{V}-a), \quad (1)$$

სადაც  $R$  – ბეტონის კუბური სიმტკიცე 28 დ/დ-ის გამყარების შემდეგ, მპა;  $R_0$  – ცემენტის აქტივობა, მპა;  $C$  და  $V$  –  $1\text{მ}^3$  ბეტონში ცემენტისა და წყლის მასითი ხარჯებია კგ-ში;  $A$  და  $a$  – ემპირიული კოეფიციენტებია.

ბუნებრივია, რომ ასეთი დამოკიდებულება იძლევა, მდგენელების მხოლოდ საშუალო მნიშვნელობებით დამზადებული ბეტონის სიმტკიცის წინასწარი შეფასების საშუალებას. ბეტონის ფაქტობრივი სიმტკიცე დიდი ან მცირე ხარისხით შეიძლება განსხვავდებოდეს საანგარიშო სიმტკიცისგან, რადგან იგი,

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებისა, კავშირშია აგრეთვე ცემენტის და შემსვების მახასიათებლებთან.

დადგენილია, რომ  $A$  და  $a$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები დამოკიდებულია გამოყენებული ცემენტის აქტივობაზე და მასში სხვადასხვა სახის დანამატების შემცველობაზე [1]. ცნობილია აგრეთვე ბეტონის სიმტკიცეზე შემსვების საწყისი ქანის პეტროგრაფიისა და სტრუქტურის, მსხვილი შემსვების მარცვლების ფორმის და გრანულომეტრიის და მისი მაქსიმალური ზომის გავლენის შესახებაც [2,3]. წვრილი შემსვების ხარისხი ბეტონის სიმტკიცეზე ნაკლებ გავლენას ახდენს [4]. ამიტომ მიზანშეწონილია დიფერენცირებული მიდგომა (1) გამოსახულებაში მოყვანილი კოეფიციენტების შერჩევისას. უკანასკნელ წლებში ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე რეკომენდებულია მათი სიდიდეები შეირჩეს ბეტონის მდგენელების საერთო



მახასიათებლების მიხედვით. მაღალი ხარისხის მასალებისათვის (მინიმალურ დანამატებიანი დიდი აქტივობის ცემენტები, მკვრივი ქანების ღორღი, ოპტიმალური გრანულომეტრიის შემვსებები) რეკომენდებული კოეფიციენტებია  $A = 0,65$  და  $a = 0,5$ .

ბეტონის სიმტკიცის წინასწარი შეფასება (1) გამოსახულების მიხედვით იძლევა მხოლოდ ბეტონში ცემენტის დუღაბის ხარისხზე მსჯელობის საშუალებას. ბეტონის მდგენელების საჭირო რაოდენობის დადგენის საკითხის გადაწყვეტა მჭიდროდაა დაკავშირებული ამ მასალის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელთან – ბეტონის ნარევის ძვრადობასთან (ადვილჩაწყობადობასთან).

ბეტონის სიმტკიცე და მისი ნარევის ძვრადობა (სიხისტე) გარკვეულ დონემდე რჩებიან მასალის ხარისხის დამოუკიდებელ მაჩვენებლებად და ამასთან ერთად განუყოფლად არიან ერთმანეთთან დაკავშირებული: სიმტკიცე განპირობებულია დაპროექტების სტადიაში განსაზღვრული საანგარიშო მაჩვენებლებით, ხოლო სიხისტე – ბეტონის საპროექტო სიმტკიცის უზრუნველყოფის ტექნოლოგიური შესაძლებლობებით, დასამზადებელი ელემენტის კონსტრუქციული თავისებურებების და ბეტონის ნარევის გამკვრივების საშუალებების გათვალისწინებით.

ნარევის სიხისტე, ც/წ-ის ცნობილი მნიშვნელობის შემთხვევაში დამოკიდებულია ძირითადად, ბეტონში ცემენტის დუღაბის შემცველობაზე. ამ კავშირის კანონზომიერება უფრო ნაკლებადაა

გამოკვლევული, ვიდრე ბეტონის სიმტკიცის ემპირიული დამოკიდებულების ფორმულის მდგენელები. დადგენილია, რომ ბეტონის ნარევის კონსისტენციის ძირითადი განმსაზღვრელია წყლის აბსოლუტური ხარჯი (არა ცემენტის). მკვლევარების მიერ შემოთავაზებულია ბეტონის სიხისტის შეფასების ემპირიული ფორმულა:

$$s = CK_{\text{ს}} / (0,19 + K_{\text{ს}})^{0,5}, \quad (2)$$

სადაც  $s$  – ტექნიკური ვისკოზიმეტრით განსაზღვრული ბეტონის ნარევის სიხისტე, წმ-ებში;  $K_{\text{ს}}$  – ცემენტის ცომის ნორმალური სისქეა;  $C$  – შემვსების სიხიზზე დამოკიდებული ემპირიული კოეფიციენტია.

წინასწარ განსაზღვრული სიხისტის ბეტონის ნარევის წყალმოთხოვნილების შეფასებისას, მხედველობაშია მისაღები, რომ ერთი და იგივე მასალის გამოყენების შემთხვევაშიც კი – ნარევის წყალმოთხოვნილება დამოკიდებულია შემვსებების ფრაქციების, კერძოდ, წვრილი და მსხვილი შემვსებების ურთიერთშეფარდებაზე. ცემენტის დუღაბის ერთი და იმავე რაოდენობის და ხარისხის შემთხვევაში, ბეტონში არსებობს ოპტიმალური თანაფარდობა –  $r = \text{ქვ/ღ}$ , რომელიც უზრუნველყოფს მოცემული მასალებით დამზადებული ნარევის საუკეთესო, ოპტიმალურ ადვილჩაწყობადობას. როგორც მსხვილი შემვსებების ურთიერთკონტაქტების რაოდენობის ზრდის (ნარევაში ქვიშის უკმარობა), ასევე შემვსებების კუთრი ზედაპირის მომატების (ქვიშის სიჭარბე) გამო, ნარევის ადვილჩაწყობადობა მცირდება.

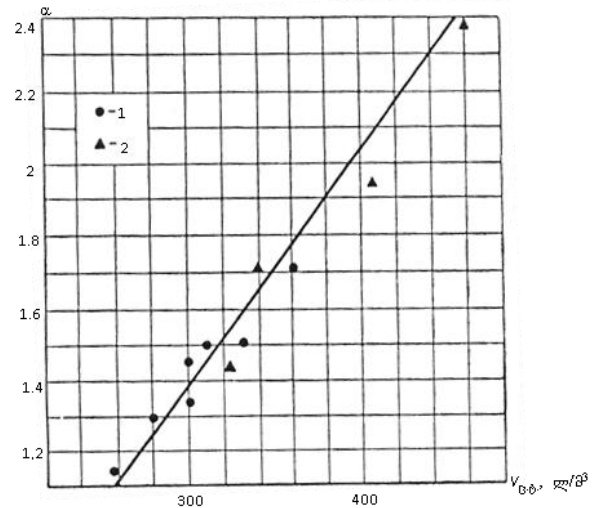
ამიტომ დულაბში წყლის ხარჯის წინასწარი განსაზღვრისას, გათვალისწინებულ უნდა იქნეს აგრეთვე შემვსებების ოპტიმალური გრანულომეტრული შედგენილობა.

ზოგიერთ გამოკვლევაში დადგენილია, რომ  $r = \frac{V_{\text{ფლ.}}}{V_{\text{ს.დ.}}}$  ფარდობის საორიენტაციო შეფასებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას პირობითი მაჩვენებელი – შემვსებების მარცვლების გაწევის კოეფიციენტი -  $V_{\text{ფლ.}}/V_{\text{ს.დ.}}$ , სადაც  $V_{\text{ფლ.}}$  – ბეტონში დულაბის მოცულობაა;  $V_{\text{ს.დ.}}$  – ღორღში სიცარიელების რაოდენობაა სტანდარტულ-ფხვიერ მდგომარეობაში. შემვსებების ოპტიმალური შედგენილობის შესატყვისი მარცვლების გაწევის კოეფიციენტის (ნახ. 1) მნიშვნელობები იმყოფებიან წრფივ დამოკიდებულებაში ცემენტის ცომის მოცულობასთან ბეტონში -  $V_{\text{ფლ.}}$ .

ნახ. 1-ზე გამოსახული წრფის მდებარეობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული შემვსებების, განსაკუთრებით კი - ქვიშის, ხარისხზე.

საბოლოო დასკვნები შეიძლება გაკეთდეს ბეტონის სასინჯ ნარევებზე მიღებული საანგარიშო სიდიდეების შემოწმებისა და კორექტირების შემდეგ.

ბეტონის ნარევის ადვილჩაწყობადობა შეიძლება შეფასდეს  $r$ -ის და მარცვალთა გაწევის კოეფიციენტის მიხედვით, მძიმე ბეტონის სიმტკიცის გათვალისწინების გარეშე. გარდა ამისა, მაღალი სიმტკიცის ბეტონების შედგენილობის შერჩევისას (ხასიათებიან დაბალი  $\nabla/\zeta$  ფარდობით და ცემენტის მომეტებული ხარჯით),



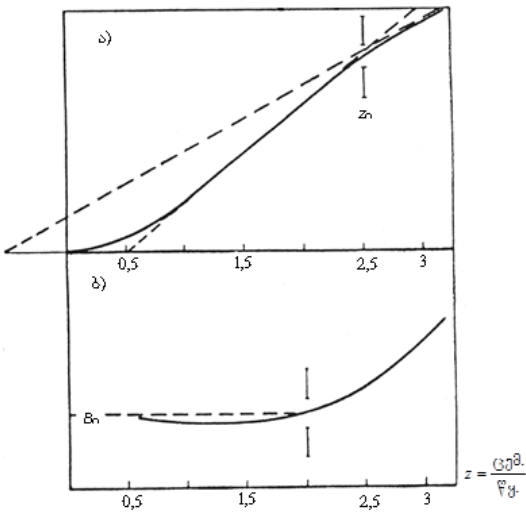
ნახ. 1. შემვსებების მარცვალთა გაწევის კოეფიციენტის ცემენტის ცომის ხარჯზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ქვიშა სისხოს მოდულით  $M_s=2,5-2,8$ ;  $\nabla/\zeta=0,25-0,4$ ):  
1 – გოლიკოვის მიხედვით [5];  
2 – პაუერსის მიხედვით [6]

აუცილებლად გათვალისწინებულ უნდა იქნას, რომ (1 და 2) დამოკიდებულებები, რომლებიც მართებული იყო  $\nabla/\zeta$ -ის ჩვეულებრივი მნიშვნელობებისათვის, დაბალი  $\nabla/\zeta$ -ის დროს უქვევლად დაირღვევა  $\zeta/\nabla=z_0$  [7].

მნიშვნელობის გადამეტების შემდეგ ვლინდება კანონზომიერებები, რომლებიც გათვალისწინებული არ არიან (1 და 2) გამოსახულებებში (ნახ. 2): იცვლება  $R=f(z)$  დამოკიდებულება და ირღვევა თანაბარდენადი ნარევების წყალმომთხოვნელობის მუდმივობა ( $s=\text{const}$ ). ამიტომ,  $z>z_0=2,5$  მახასიათებლის მქონე ბეტონების შედგენილობის ანგარიშისას დამოკიდებულება  $R=f(z)$  წარმოდგენილია წრფის სახით, მაგრამ მისი დახრის კუთხე უფრო ნაკლებია, ვიდრე (1) ფორმულის მიხედვით:

$$R=A_1R_G(z+0,5), \quad (3)$$

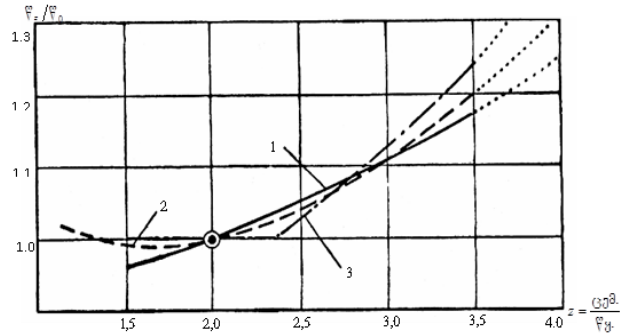
სადაც  $z=c/\bar{v}$  – ნარევის ცემენტ-წყლის ფარდობა;  $A_1 = 0,43$  მაღალხარისხოვანი მასალებისათვის.



ნახ. 2. ბეტონის სიმტკიცის ცვლილების (ა) და ერთნაირი სიხისტის ნარევის წყალ-მოთხოვნილების (ბ) ხასიათი  $z=c/\bar{v}$  მაღალი მნიშვნელობებისას

ფორმულა (3), (1) გამოსახულებასთან ერთად, მოქმედი ნორმატივებით რეკომენდებულია ბეტონის ნარევის შედგენილობის გასაანგარიშებლად  $\bar{v}/c < 0,4$  მნიშვნელობების დროს. როცა  $\bar{v}/c = 0,4$  ( $z_0 = 2,5$ ), ორივე ფორმულა იძლევა ერთი და იგივე რიცხვით მნიშვნელობებს; ხოლო  $\bar{v}/c = 0,3$  დროს სხვაობა შეადგენს უკვე 12%-ს.

ამგვარად, ერთი და იგივე მასალებით და ერთნაირი სიხისტის ნარევებით დამზადებული ბეტონების სამარკო სიმტკიცის R ზრდა გარკვეული ზღვრის ზევით მიიღწევა ცემენტის ხარჯის  $c=\bar{v}z$  (ნახ. 3) მნიშვნელოვანი ზრდით. ამ მოსაზრებების გათვალისწინებით, ცემენტის ხარჯის ზედა ზღვარი მაღალი სიმტკიცის ბეტონებისათვის არ უნდა აღემატებოდეს 550-600 კგ/მ<sup>3</sup>-ს [8].



ნახ. 3. ერთნაირი კონსისტენციის ბეტონის ნარევის წყალმოთხოვნილების ( $\bar{v}/\bar{v}_0$ ) ფარდობითი ცვლილების და ცემენტ-წყლის ( $z=c/\bar{v}$ ) დამოკიდებულების მრუდი: 1 – (3) ფორმულის მიხედვით; 2 – პოპოვიჩის მონაცემების მიხედვით [9]; 3 – ლევისის მონაცემების მიხედვით [10]

მაღალი სიმტკიცის ბეტონებში ცემენტის ხარჯის შემცირების ყველაზე რაციონალური მეთოდია – ბეტონის ნარევებში თანამედროვე მოდიფიკატორების გამოყენება და წყალცემენტის ფარდობის მინიმუმამდე დაყვანა. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ასევე მაღალი სიმტკიცის ბეტონების მდგენელების ხარისხის მიმართ წაყენებული მოთხოვნების უპირობო შესრულება; შემსვებების გრანულო-მეტრული შედგენილობის გულდასმითი შერჩევა და ქვიშასა და ღორღს შორის ზუსტი თანაფარდობის დადგენა. ამასთან ერთად, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს შემსვებების მავნე მინარევისაგან განთავისუფლებას, რომლებიც უარყოფით გავლენას ახდენენ ბეტონის სიმტკიცის და ხანმდეგობის მაჩვენებლებზე.

ლიტერატურა

1. Феррари Г., Сурико Ф. Самоуплотняющийся бетон для моста „калатрава„ в Венеции//Б/ЖБ №3 2006, с.28-29.
2. Collepardi M.. Admixtures-Enhancing concrete performance // 6<sup>th</sup> International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dandee, U.K. – 5-7 July 2005.
3. Collepardi M.. Low-Slump-Loss Superplasticized Concrete / M. Collepardi, M. Corradi, M. Valente // the 8-th International Conf. on Superplasticizers in Concrete: Transportation Research Board and National Academy of Sciences, 1979: Proc – Washington D.C. (USA), 1999. P. 7-12.
4. Mechtcherine V., Haist M., Heveren A., Miller H. Self-Compacting Lightweight concrete a new highperformance building material. The first fib Congress, Conference proceedings, Osaka, Japan.
5. Голиков А.Е. К вопросу подбора составов бетонов марок 700-1000//Труды ЦНИИС, Вып. 69. М:Транспорт. 1988.
6. Powers T. Interpretation of creep test of concrete. “RILEM Bulletin” No. 34. 1977.
7. Поляков Д.М., Коваль С.В. Самоуплотняющийся бетон с использованием карбонатного наполнителя/ Киев:Вестник. # 1(81). 2010. стр. 107-112.
8. Берг О.Я., Щербаков Е.М., Писенко Г.Н. Высокопрочный бетон. М: Стройиздат. 1971. 208 с.
9. S. Popovics. Concrete consistency and its production. “RILEM Bulletin”, No 31, 1996.
10. Левин Л.И. Технологические закономерности бетонной смеси и бетона в области высоких значений Ц/В и их использование в производстве высокопрочных бетонов. XVI конференция по бетону и железобетону. М: Стройиздат. Вып. 26. 2006.

**The influence of the quality and dosage of binders on the properties of concrete mixture and hardened concrete**

M.Turdzeladze, A.Peikrishvili.

“Energy”. №1(109). 2024. Tbilisi. p. 55-59. geo. sum geo. engl.rus.

The most rational way to reduce the cost of cement in high-strength concrete is to use modern modifiers in concrete mixes and minimize the water-cement ratio. Equally important is the unconditional fulfillment of the requirements for the quality of high-strength concrete binders; Careful selection of the granulometric composition of fillers and determination of the exact ratio between sand and gravel. Along with this, special attention should be paid to freeing fillers from harmful impurities, which have a negative impact on concrete strength and durability indicators.

Il. 3, bibl. 10.

**Влияние качества и дозировки вяжущих на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона.**

M.Турдзеладзе, А.Пейкришвили.

“Энергия”. № 1(109).2024 . Тбилиси. с. 55-59. груз. реф. груз.англ. рус.

Наиболее рациональным способом снижения затрат цемента в высокопрочных бетонах является использование в бетонных смесях современных модификаторов и минимизация водоцементного соотношения. Не менее важно безусловное выполнение требований к качеству высокопрочных бетонных вяжущих; тщательный подбор гранулометрического состава наполнителей и определение точного соотношения песка и гравия. Наряду с этим особое внимание следует уделить освобождению наполнителей от вредных примесей, оказывающих негативное влияние на показатели прочности и долговечности бетона.

Илл. 3, лит. 10 назв.

თერმოაკუსტიკური გამაცივებელი სისტემა

ლუიზა პაპავა - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [Papava1949@gmail.com](mailto:Papava1949@gmail.com)

თამაზ ისაკაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [TamazIsakadze@gmail.com](mailto:TamazIsakadze@gmail.com)

მარინე რაზმაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [marina.razmadze@mail.ru](mailto:marina.razmadze@mail.ru)

გვანცა დავითაია - ბაკალავრიატის სტუდენტი

გივი გუგულაშვილი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [g.gugulashvili@gtu.ge](mailto:g.gugulashvili@gtu.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* ნაჩვენებია, რომ თანამედროვე პირობებში სიცივის მისაღებად გამოყენებული მოწყობილობების უმეტესობის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს სხვადასხვა სახის მაცივარი აგენტები, რომლებიც ხასიათდება გლობალური დათბობის პოტენციალით და უარყოფით გავლენას ახდენს დედამიწის დამცავ ოზონის შრეზე. ეკოლოგიურად მავნე მაცივარ-აგენტების გავლენის გამორიცხვის მიზნით წარმოდგენილია ახალი თერმოაკუსტიკური მაცივრის პრინციპული სქემა, რომელშიც სიცივის მისაღებად გამოყენებულია ბგერითი ტალღები. გამაცივებელი დანადგარი შეიცავს აკუსტიკური ტალღების წარმომქმნელ მოწყობილობას, რომელიც რეგულირების საშუალებით დამაგრებულია ღრუტანიან მილზე.

აკუსტიკური ტალღების წარმომქმნელი მოწყობილობიდან გამოსხივებული ბგერითი ტალღები ქმნის ტემპერატურულ გრადიენტს.

*საკვანძო სიტყვები:* აკუსტიკური რეზონატორი, მილი, თერმოაკუსტიკური გაგრილება, თერმო-წყვილი, ტემპერატურის მაჩვენებელი.

*შესავალი*

სიცივის მისაღებად, დღევანდელ პირობებში ყველაზე ფართოდ გამოიყენება სხვადა-სხვა ტიპის კომპრესორები, რომელთა მუშაობის პრინციპი ემყარება მაცივარი აგენტის შეკუმშვას, შემდგომი გაფართოების პირობებში კონდენსაციას სითბოს გარემოზე გადაცემით და კონდენსატის აორთქლების პროცესში სითბოს არინებას გასაცივებელი გარემოდან. ყველა ასეთი მოწყობილობის აუცილებელ ელემენტს წარმოადგენს სხვადასხვა სახის მაცივარ-აგენტები, რომლებიც ხასიათდება აფეთქების-უნარით, ადვილად აალებადია, მომწამლავია. ამასთან, როგორც აღმოჩნდა,

მაცივარ-აგენტები ისეთ უარყოფით გავლენას ახდენს გარემოზე, როგორცაა სტრატოსფერული ოზონის დაშლა, გლობალური დათბობის ეფექტი და სხვ.

გარემოზე მაცივარ-აგენტების უარყოფითი ზემოქმედების აღმოფხვრის მიზნით მთელ მსოფლიოში დაიწყო სხვადასხვა დარგის მეცნიერთა მიერ ალტერნატიული გზების ძიება, რის შედეგად უკვე გამოჩნდა ახალი, გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების არმქონ მაცივარ-აგენტები, რომლებითაც მიმდინარეობს არსებული საფრთხის შემცველი მაცივარ-აგენტების ჩანაცვლება [1,2]. ამავე დროს მიმდინარეობს გაცივების ალტერნატიული ტექნოლოგიების ძიება და დამუშავება,



რომლებიც საშუალებას იძლევა გაცივების ეფექტი მიღწეული იყოს განსხვავებული გზებით, მაცივარ-აგენტების გამოყენებაზე საერთოდ უარის თქმის პირობებში [3,4].

ერთ-ერთ ასეთ თანამედროვე ალტერნატიულ საშუალებას წარმოადგენს გაცივება თერმოაკუსტიკური სისტემით, რომელშიც სიცივის მისაღებად გამოიყენება ბგერითი ტალღები [3,5]. სისტემის მუშაობისას გაცივების ეფექტი მიიღწევა აკუსტიკური ტალღების წარმომქმნელი მოწყობილობიდან გამოსხივებული ბგერითი ტალღების მიერ ტემპერატურული გრადიენტის შექმნის გზით.

თერმოაკუსტიკური მოწყობილობა მუშა აგენტის სახით იყენებს ეკოლოგიურად სუფთა ინერტულ აირებს და ამით აუმჯობესებს გლობალური დათბობისა და ოზონის შრის შენარჩუნების პირობებს.

#### *ძირითადი ნაწილი*

ბოლო წლების განმავლობაში ინჟინრები და ფიზიკოსები ინტენსიურად მუშაობდნენ და დღესაც მუშაობენ სითბურ ძრავებზე და მაცივრებზე, რომლებსაც ექნებათ კომპრესიული ამძრავი ვიბრაციული დგუშების, გამამკვრივე-ბელი საფენების და შესაზეთი მასალების გარეშე.

თერმოაკუსტიკური მოწყობილობა ორი ტიპის არსებობს: თერმოაკუსტიკური ძრავა და თერმოაკუსტიკური მაცივარი.

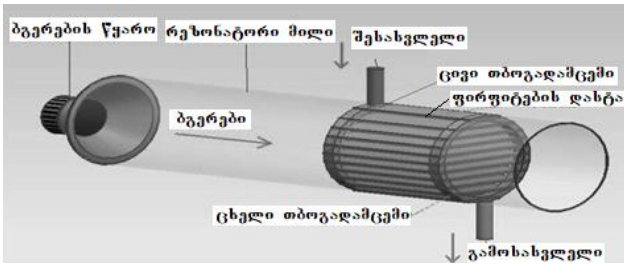
თერმოაკუსტიკური ძრავას მუშაობის პრინციპი ემყარება სითბური ენერჯიის გარდაქმნას ბგერის ენერჯიაში. ამ შემთხვევაში სითბო გადაეცემა მაღალი ტემპერატურის მქონე სითბოს წყაროდან

დაბალი ტემპერატურის მქონე სითბოს წყაროზე მაშინ, როდესაც თერმოაკუსტიკურ მაცივარში პროცესი საპირისპირო მიმართულებით მიმდინარეობს. ხმამაღლა მოლაპარაკებები ან ელექტრული დინამიკები ელექტრულ ენერჯიას გარდაქმნიან აკუსტიკურში. ბგერითი ტალღები წარმოქმნიან სითბოსა და სიცივეს და ეს სითბური ენერჯია გამოიყენება გაცივების სისტემებში.

თერმოაკუსტიკური სამაცივრო სისტემის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე, ხოლო მისი მუშაობის პრინციპი - ნახ. 2-ზე.

თერმოაკუსტიკური სამაცივრო სისტემა შეიცავს ხმამაღლა მოლაპარაკეს (ბგერების წყაროს), რომელიც ჰერმეტიკულადაა მიმაგრებული აკუსტიკურ რეზონატორთან (მილთან). ეს რეზონატორი ინერტული აირით (მაგალითად, აზოტით) არის შევსებული. მილში განლაგებულია ფირფიტების პაკეტი (დასტა), რომელიც შედგება რიგი პარალელური ფირფიტებისაგან და ორი ცალი თბომცვლელისაგან, რომელთაგან ერთი არის გაცივებული, ხოლო მეორე - გაცხელებული თბური ენერჯიისათვის.

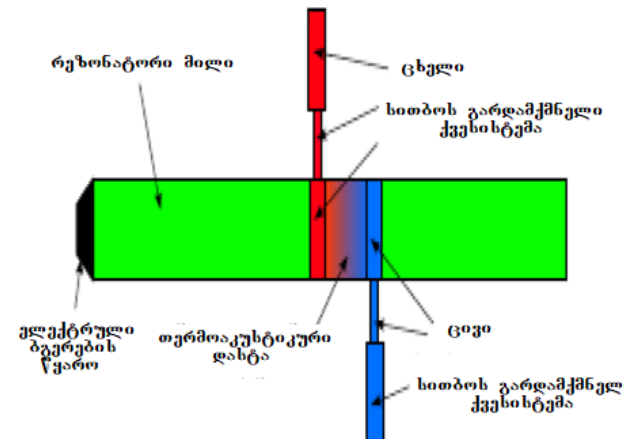
აღნიშნული ფირფიტებით პაკეტის სივრცე დაყოფილია ერთმანეთისაგან გამოყოფილ ქვესექციებად, რომელთა სივრცეში ერთმანეთისაგან დაცილება განსაზღვრავს მუშა აგენტის (აირის) მიერ გამოწვეული სითბური ნაკადის დიაპაზონს.



ნახ. 1. თერმოაკუსტიკური სამაცივრო სისტემის პრინციპული სქემა

მოწყობილობის მუშაობის პრინციპი ემყარება ბგერების წყაროს მიერ გენერირებული აკუსტიკური მდგრადი ტალღის ზემოქმედებას რეზონატორის შიგნით არსებულ ინერტულ აირზე.

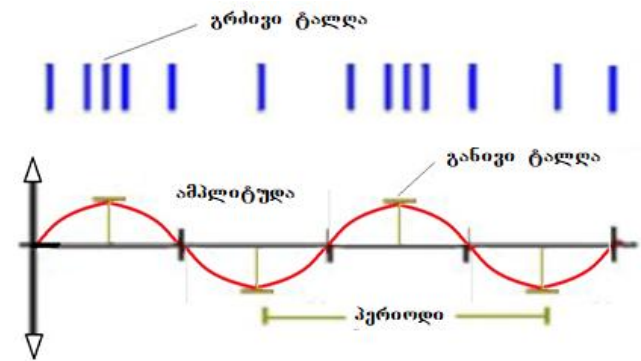
აღნიშნული გენერირებული ტალღა შედენის ინერტულ აირს პაკეტის ფირფიტებს შორის არსებულ არხებში (ქვესექციებში), რაც იწვევს პაკეტის შიგნით არსებული აღნიშნული აირის ადიაბატურ შეკუმშვას და, შესაბამისად, გაცხელებას



ნახ. 2. თერმოაკუსტიკური სამაცივრო სისტემის მუშაობის სქემა

აკუსტიკური ტალღის ზემოქმედებით ეს გაცხელებული აირი მოძრაობს პაკეტის არხების გასწვრივ. ამასთან აკუსტიკური ტალღის ამპლიტუდის გადიდების პროცესში (ნახ. 3) შესაბამისად იზრდება აირის ტემპერატურა. მიღებულ სითბოს

ინერტული აირი პაკეტის კედლების გავლით გადასცემს პაკეტის ცხელ ბოლოზე განლაგებულ თბომცვლელს. ტალღის მიერ (ნახ. 3) ამპლიტუდის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ იწყება მეორე ეტაპი, რა დროსაც ამპლიტუდა იწყებს შემცირებას. ამ დროს აირის დაჭირხვნა პაკეტში შეწყდება და იქ



ნახ. 3. აკუსტიკური ტალღების ზემოქმედება ინერტულ აირზე

არსებული აირი იწყებს ადიაბატურ გაფართოებას, რაც განაპირობებს მისი ტემპერატურის შესაბამის შემცირებას. გაცივებული აირი მიაღწევს პაკეტის ცივ ბოლოზე განლაგებულ თბომცვლელს მინიმალური ტემპერატურით.

პაკეტის ფირფიტებთან შეჯახების შედეგად არეკლილი აკუსტიკური ტალღები უკან ბრუნდება და ზემოქმედებს ძირითად ტალღებზე, რის შედეგად ადგილი აქვს რეზონანსის მოვლენას. რეზონანსი განაპირობებს აკუსტიკური ზემოქმედების გაძლიერებას და, შესაბამისად, ტემპერატურული გრადიენტის გადიდებას პაკეტის ცხელ და ცივ ბოლოებს შორის. ამიტომ მოწყობილობაში მიღწეული ტემპერატურული გრადიენტი დამოკიდებულია არა მარტო აკუსტიკური



ბგერების პარამეტრებზე და ინერტული აირის სახეობაზე, არამედ აგრეთვე ბგერების გენერატორის პაკეტისაგან დაცილების მანძილზეც. რეზონატორი რეაგირებას ახდენს წნევის მდგრად ტალღაზე იმ შემთხვევაში, თუ დრაივერზე (ხმამალა მოლაპარაკეზე) მიეწოდება ისეთი სიხშირე, რომელიც საჭიროა ამ დრაივერის შემავალი სიმპლავრის გასაძლიერებლად. ბატარეის შიგნით მდგრადი ტალღა მოქმედებაში მოიყვანს თერმოაკუსტიკურ პროცესს.

ამგვარად, ბატარეის გასწვრივ იქმნება ტემპერატურული გრადიენტი. მოწყობილობა შეიძლება იყოს მაცივარი ან თბური ტუმბო იმის მიხედვით, თუ სადაა დამაგრებული თბომცვლელები პრაქტიკული გამოყენების შემთხვევაში, როდესაც ცხელი ბოლო თერმიულად დაკავშირებულია გარემოსთან, ხოლო ცივი ბოლო მიერთებულია თბურ დატვირთვასთან, მოწყობილობა მუშაობს თბური ტუმბოს რეჟიმში.

თერმოაკუსტიკური სამაცივრო სისტემის მუშაუნარიანობის დადგენის მიზნით ჩატარებული იყო სპეციალური ექსპერიმენტები. ამისათვის დამზადდა მოწყობილობის საცდელი ნიმუში იაფფასიანი, ხელმისაწვდომი მასალები-საგან. მოწყობილობის რეზონატორი წარმოადგენს 60 მმ დიამეტრის მინის მილს, რომელიც მირჩილვითაა დაკავშირებული პოლიეთერული (აკრილის) მასალისაგან დამზადებულ პაკეტთან. მილი შევსებულია ინერტული აირით (აზოტით). ბგერების გენერირებისათვის გამოყენებულია გამაძლიერებელი დინამიკი,

ტემპერატურის გაზომვა ხდება თერმოწყვილებით. მოწყობილობა აწყობილია რბილი ფოლადისაგან დამზადებულ ჩარჩოზე (ნახ. 4).

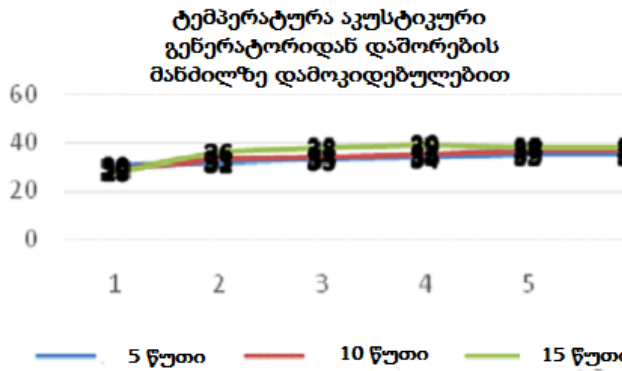


ნახ. 4. თერმოაკუსტიკური მაცივრის ექსპერიმენტული დანადგარი

ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში და გრაფიკზე (ნახ. 5).

ტემპერატურის დამოკიდებულება აკუსტიკური რეზონატორიდან დაცილების მიხედვით დროის სხვადასხვა ხანგრძლიობისათვის

თერმოწყვილის ნომერი	ცხრილი					
	1	2	3	4	5	6
მანძილი აკუსტიკური რეზონატორიდან, სმ.	2	12	23	35	48	60
დროის ხანგრძლიობა, წთ.	ტემპერატურა, °C					
5	30	32	33	34	35	35
10	29	33	34	35	37	37
15	29	36	38	39	38	38



ნახ. 5. ცდების პროცესში ტემპერატურის მიღებული მნიშვნელობები

**დასკვნა**

თერმოაკუსტიკური სამაცივრო სისტემის ექსპერიმენტულმა შესწავლამ უჩვენა, რომ რეზონატორული მილის ორ ბოლოს შორის ტემპერატურულმა სხვაობამ შეადგინა საშუალოდ 7°C. მიღებული შედეგის საფუძველზე შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მოცემული მუშა პარამეტრების პირობებში აღნიშნული გრადიენტი (7°C) შეიძლება შენარჩუნებული იყოს მთელი მილის გასწვრივ. შესაბამისად შეიძლება ითქვას, რომ თერმოაკუსტიკური მოწყობილობით შესაძლებელია ჰაერის გაცივება და თერმოაკუსტიკა შეიძლება გამოყენებული იყოს გაცივების კარგი სისტემის შესაქმნელად. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ სისტემის უკეთესი მწარმოებლობის მიღწევა შესაძლებელია მუშა პარამეტრების უფრო ზუსტი შერჩევის გზით.

**ლიტერატურა**

1. პოეზე მ.ე, გარეტის.ლ. თერმოაკუსტიკური მაცივრის მწარმოებლობის განსაზღვრა. ამერიკის აკუსტიკური საზოგადოების ჟურნალი. ივნისი. 2008.
2. რასპეტი რ., ბასი ჰ.ე. ელემენტების ურთიერთქმედება თერმოაკუსტიკურ სითბურ მანქანაში. სითბური მეცნიერების საერთაშორისო ჟურნალი. ნოემბერი. 2003.
3. ველიანდი ნ.თ., ზინი ბ.თ. შიგა წვის თერმოაკუსტიკური ძრავის კონსტრუქცია. მარტი. 2003.
4. გელერი დ.ა., სვიფტი ვ.ა. ნეონის იზოტოპების თერმოაკუსტიკური გამდიდრება. იანვარი. 2004.
5. ტელეზი მ.პ. თერმოაკუსტიკური გარდამქმნელის ენერჯიის პროექტირება და გამოცდები. მაისი. 2006.

**Thermoacoustic Refrigeration System.**

*L. Papava, T. Isakadze, M. Razmadze, G. Davitaia, G. Gugulashvili.*

*"Energy". №1(109). 2024. Tbilisi. p. 60-65. geo. sum geo. engl. rus.*

It has been shown that in most devices used to produce cold, in modern conditions, the main element is various refrigerants, which are characterized by global warming potential and have a negative impact on the ozone layer of the earth. In order to eliminate the use of environmentally harmful refrigerants, a principal scheme of a new thermoacoustic refrigeration device is presented, in which acoustic waves are used to produce cold. The cooling device contains a device for creating acoustic waves, which is hermetically attached to the pipe. The acoustic waves generated by the device when moving along the pipe are converted into a temperature gradient.

*Key words:* acoustic resonator, pipe, temperature indicator, thermoacoustic cooling, thermocouples.

*Ill. 5, tabl. 1, bibl. 5.*

**Термоакустическая охлаждающая система.**

*Л.Папава, Т.Исакадзе, М.Размадзе, Г.Давитаиа, Г.Гугулашвили.*

*"Энергия". №1 (109). 2024. Тбилиси. с. 60-65. груз. реф. англ., рус.*

Показано, что в большинстве устройств, используемых для получения холода, в современных условиях, основным элементом являются разные холодильные агенты, которые характеризуются потенциалом глобального потепления и отрицательное воздействие оказывают на озоновый слой земли. С целью исключения использования экологически вредных холодильных агентов представлена принципиальная схема нового термоакустического холодильного устройства, в котором для получения холода используются акустические волны. Охладительное устройство содержит приспособление для создания акустических волн, которое герметично прикреплено к трубе. Образующие приспособлением акустические волны при движении вдоль трубы преобразуются в температурный градиент.

*Ключевые слова:* акустический резонатор, показатель температуры, термоакустическое охлаждение, термодатчики, труба.

*Илл. 5, табл. 1, лит. 5 назв.*

## რედაქციაში სტატიების შემოტანის წესები

ჟურნალის რედაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:

სტატიის ტექსტი იწერება ორ სვეტად!

**Paper size – A4.** გვერდის ველები – ზევიდან, ქვევიდან - (2.5 მმ), მარცხნიდან და მარჯვნიდან – 2 მმ. A-4

**შრიფტები:** ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11; ინტერვალი - აზრის დაშორება - 0,75. ტექსტი სწორდება სვეტის სიგანეზე. დანაყოფების დასახელება მუქად.

ფორმულები უნდა აიკრიბოს რედაქტორში: Microsoft Equation 3.0.

გრაფიკული ნაწილი უნდა შესრულდეს \*.jpg ან \*.bmp. ფორმატში (300–600dpi). განმარტებითი წარწერა გრაფიკულ ნაწილს მიეთითოს ქვევით – 10 შრიფტით. განმარტებითი წარწერა და ნომერი ცხრილებს მიეთითოს ზევით – 10 შრიფტით.

### ნაშრომის სტრუქტურა

პირველ სტრიქონზე:

სტატიის ენაზე სტატიის დასახელება.

**შრიფტები:** ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 12. ტექსტი სწორდება გვერდის შუაში (მუქად).

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

ავტორის სახელი, გვარი, სამეცნიერო ხარისხი, სამეცნიერო წოდება.

**შრიფტები:** ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 12. ინტერვალი - 1.

ტექსტი სწორდება გვერდის მარცხენა მხარეზე. (გვარი და სახელი - მუქად).

შემდეგ სტრიქონზე:

ორგანიზაციის დასახელება, ქალაქი, ქვეყანა და ელექტრონული ფოსტის მისამართი. შრიფტები:

ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1. ტექსტი სწორდება გვერდის მარცხენა მხარეზე.

ორი და მეტი ავტორის შემთხვევაში ყოველი ავტორი და მისი მონაცემები უნდა აიკრიფოს ახალ სტრიქონზე.

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

ანოტაცია: სტატიის ენაზე. მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს 500-700 სიმბოლოს.

**შრიფტები:** ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1. ტექსტი სწორდება გვერდის სიგანეზე. (“ანოტაცია” - მუქად).

შემდეგ სტრიქონზე:

საკვანძო სიტყვები: უნდა იყოს 4-5 საკვანძო სიტყვა (სიტყვათშეთანხმება დასაშვებია არა უმეტეს ორი სიტყვისა).

**შრიფტები:** ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1.5

ტექსტი სწორდება გვერდის სიგანეზე. (“საკვანძო სიტყვები” - მუქად).

პირველი იწერება ანოტაცია და საკვანძო სიტყვები სტატიის ენაზე.