

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი
"მეცნიერება და ენერგეტიკა"

ენერგეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური რევირეზიული
ჟურნალი

2(106)/2023

თბილისი

ISSN 1512-0120

სარედაქციო კოლეგია:

მთავარი რედაქტორი – მერაბ ლორთქიფანიძე

მთავარი რედაქტორის მოადგილე – შალვა გაგოშიძე

სარედაქციო კოლეგიის წევრები: რ.არველაძე, გ.არაბიძე, ი.ბიჯამოვი, გ.ქაჯაია, ვ.კინკლაძე, ი.კალანდაძე, გ.ლეკიშვილი, ნ.მელაძე, ა.ნადირაძე, დ.ნამგალაძე, ა.ყუბანეიშვილი, ა.ჭითანავა, გ.ხელიძე, ე.შატაკიშვილი, ა.ჩიქოვანი, ივ.ჩოლოყაშვილი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ვ.ტრასკინი (რუსეთი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), ა.ალექსევი (უკრაინა), 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

Editorial board members: R.Arveladze, G.Arabidze, Y.Bijamov, I.Kalandadze, G.Kajaia, V.Kinkladze, A.Kubaneishvili, G.Lekishvili, N.Meladze, A.Nadiradze, D.Namgaladze, G.Khelidze, E.Shatakishvili, A.Tshitanava, A.Chikovani, Iv.Cholokashvili, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), V.Traskin (Russia), Z.Skvortsova (Russia), A.Alekseev (Ukraina), K.Seyhan (Turkey), P.Psaropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – Мераб Лордkipанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Г.Каджая, А.Кубанейшвили, В.Кинкладзе, И.Каландадзе, Г.Лекишвили, Н.Меладзе, А.Надирадзе, Д.Намгаладзе, Г.Хелидзе, Е.Шатакишвили, А.Читанова, А.Чиковани, И.Чолокашвили, Н.Чахвашвили (ответственный редактор), В.Траскин (Россия), З.Скворцова (Россия), А.Алексеев (Украина), 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-დაკაბადონება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ს.ბერიძე (ინგლისური ტექსტის მომზადება).

ჟურნალ "ენერჯის" რედაქციის მისამართი: 0179 თბილისი, ი.აბაშიძის 40. ტელ. 218-09-51

The address of the editorial office of journal "Energy": 40, I.Abashidze str., Tbilisi, 0179, Georgia, tel. 218-09-51

Адрес редакции журнала "Энергия": 0179 Грузия, Тбилиси, ул. И.Абашидзе, 40.

тел. 218-09-51

რეგისტრაციის ნომერი № 5^ა / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

<i>ბ.პირინაშვილი, ა.კოსტაშვილი.</i> მდინარე ენგურის ენერგეტიკული მახასიათებლების პროგნოზირების ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი.....	5
<i>ბ.კოსტაშვილი, ზ.გაჩეჩილაძე, ნ.ბერაძე, ვიქტორია კოსტაშვილი.</i> IGBT - ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯის გადაცემის პრინციპული ელექტროსქემის დამუშავება ელექტროენერჯის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში.....	11
<i>თ.მუსელიანი, ბ.ჯინჭველიშვილი.</i> ბატარეის ენერჯის დამაგროვებელი სისტემა, რომლის მიზანია გახადოს ენერგეტიკის სექტორი უფრო ხელსაყრელი, კლიმატთან და გარემოსთან მიმართებაში უფრო ეფექტური და კონკურენტუნარიანი, უსაფრთხო და მდგრადი.....	24
<i>მ.მაჭავარიანი, ი.შეშრილაძე.</i> აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურ ამძრავიანი პულსაციური ტუმბო.....	37
<i>მ.მაჭავარიანი, ი.შეშრილაძე.</i> აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებით მომუშავე თბურ ამძრავიანი ტუმბოს ახალი მოდიფიკაცია ორსიჩქარიანი კონდენსაციით.....	45
<i>ი.ჯანგირაშვილი, მ.დვალაძე.</i> რეზონანსი ელექტრულ წრედში.....	53
<i>ა. ჯერეკიძე, თ.ნათენაძე, ნ.კერესელიძე.</i> კოლექტორული წვევის ძრავებით აღჭურვილი მუდმივი დენის ელმავლების წვევის თვისებების გაუმჯობესების შესაძლო გზები.....	60
<i>ლ.აკაკაძე, მ.რაჭმაძე, ს.კატარქალიშვილი, ვ.გუგულაშვილი.</i> თბოგადამცემის ახალი კონსტრუქცია დიდი მოცულობის სითხეების ტემპერატურის სწრაფი და ზუსტი ცვლილებისათვის.....	68
სტატიების შემოტანის წესები.....	74

მდინარე ენგურის ენერგეტიკული მახასიათებლების პროგნოზირების
ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი

გურამი მირინაშვილი - დოქტორანტი

E-mail: guram.mirinashvili@gse.com.ge

არჩილ კოხტაშვილი - პროფესორი

E-mail: archil.kokhtashvili@gse.com.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია მდინარე ენგურის აუზის როლი საქართველოს ჰიდროენერგეტიკაზე. განხილულია ჰიდროლოგიური მახასიათებლების პროგნოზირების პლატფორმა Tethys-ის პროგრამული და მათემატიკური ბაზა. ყურადღება გამახვილებულია ჰიდროლოგიის პროგნოზირების როგორც ტექნიკურ, ასევე ფინანსურ სარგებელზე. მხედველობაში მიღებულია 2013-2022 წლებში ენგურჰესის მიერ დაღვრილი წყლის მოცულობები. მიმოხილულია თურქეთის ენერგეტიკული ბირჟის 2020-2023 წლის ელექტროენერჯის ფასები. დათვლილია ენგურჰესის მიერ დაღვრილი ენერჯის ფინანსური შედეგები.

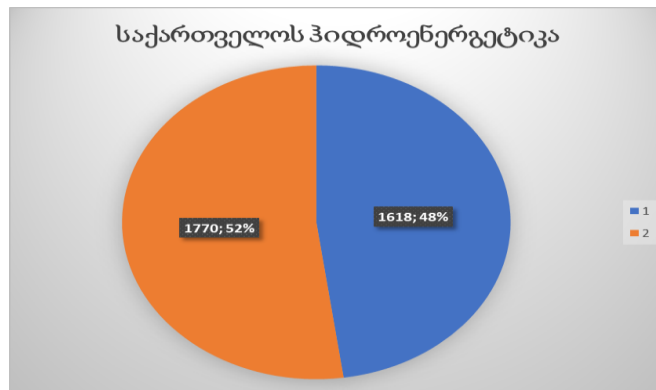
საკვანძო სიტყვები: ჰიდროლოგიური მახასიათებლები, პლატფორმა, ენერგეტიკული ბირჟა, ოპტიმალური და რაციონალური დაგეგმვა.

საქართველოს ენერგობალანსზე დიდ გავლენას ახდენს ჰესების მუშაობა. საშუალოდ ქვეყანაში ელექტროენერჯის მოთხოვნის სამი მეოთხედი ჰიდროსადგურებიდან გამომდინარე ენერჯით კმაყოფილდება. თუმცა ჰიდროლოგიის თავისებურიდან გამომდინარე, გაზაფხული-ზაფხულის პერიოდში გვაქვს წყალუხვობა, შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში კი - წყალმცირობა. მოხმარების თავისებურებიდან გამომდინარე, პირიქით, არის მდგომარეობა, გაზაფხულზე გვაქვს შემცირებული მოხმარება, რაც კომფორტული ტემპერატურით არის გამოწვეული, რადგან ადამიანები ნაკლებად იყენებენ გათბობა-გაგრილების მოწყობილობებს. სეზონური უბალანსობა მოხმარება-გენერაციას შორის პირველ რიგში უნდა დაბალანსდეს წყალსაცავების შევსებით, რადგან წყალსაცავებში შენახული ენერჯია დეფიციტურ პერიოდში გამოვიყენოთ, ხოლო დამატებით ჭარბი ენერჯია გავიტანოთ ექსპორტზე.

ზემოთ მოყვანილი მსჯელობიდან გამომდინარე, ენერგოსისტემის ოპტიმალური და რაციონალური დაგეგმვისათვის სსე (საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა) აქტიურად მუშაობს როგორც ევროპულ კოლეგებთან, ისე დამოუკიდებლად ავითარებს თავის პროგნოზირების მეთოდებს.

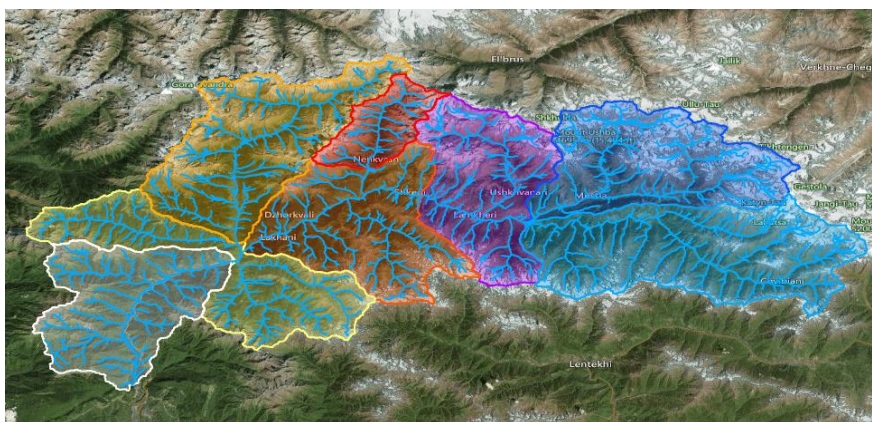
სტატიაში გვინდა განვიხილოთ საქართველოში ენერგეტიკულად ყველაზე მნიშვნელოვანი ენგურის ხეობა და მისი პროგნოზირების შესაძლებლობა.

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია არის მდინარე ენგურის აუზზე არსებული ჰიდროსადგურების სიმძლავრის წილი ქვეყნის ენერგეტიკაში. ნახ. 1-ზე ციფრი 1 აღნიშნავს ენგურის აუზს, ხოლო 2 კი - სხვა დანარჩენ სადგურებს, შესაბამისი აბსოლუტური წილით 1 -1618 მგვტ, 2 -1770 მგვტ და პროცენტული განაწილებით 1 -48% 2 -52%. გრაფიკი თვალსაჩინო მაგალითია, თუ რამდენად დიდი გავლენა აქვს ენგურის აუზის სწორად დაგეგმვა-პროგნოზირებას მთლიანად ქვეყნის ენერგეტიკაზე.



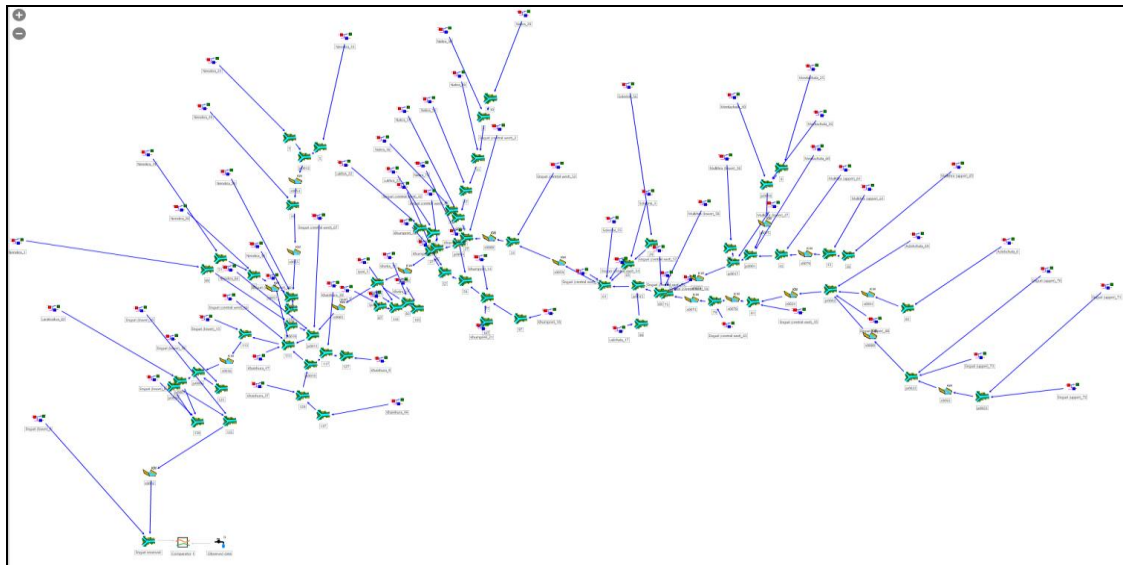
ნახ. 1. მდინარე ენგურის წილი საქართველოს ჰიდროენერგეტიკაში

საკითხის მნიშვნელობიდან გამომდინარე, ვთანამშრომლობთ მსოფლიო ჰიდრო-ენერგეტიკაში წამყვან კომპანია STUCK-თან. ევროპელ კოლეგებთან ერთად თანამშრომლობით შევექმენით პროგნოზირების პლატფორმა Tethys-ი, რომლის მიზანიც არის ენგურის აუზის შემოდინების პროგნოზი, ხოლო შემდგომ არსებული ჰიდროსადგურების ოპტიმალური მუშაობის დაგეგმვა.






ნახ. 2. მდინარე ენგურის აუზში არსებული შენაკადები

პლატფორმის გამართულად მუშაობისათვის მოვახდინეთ ხსენებულ აუზში არსებული ყველა დიდი თუ მცირე შენაკადის გაანალიზება, გრაფიკულად გამოსახვა რუკაზე და პროგრამული სახის მიცემა RS MINERVE-ში. ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია მდინარეთა ქსელი ენგურის აუზში, ხოლო მისი პროგრამული მხარე ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე,



ნახ. 3. RS MINERVE -ში ვიზუალურად ნაჩვენები ენგურის აუზი, სადაც ფიგურები განიმარტება შემდეგნაირად:

-  -სათავე
-  -რეზერვუარი
-  -მდინარის გამაერთიანებელი

პლატფორმა Tethys იყენებს ორ განსხვავებულ მათემატიკური მიდგომის. პირველი, რომელიც დაფუძნებულია მხოლოდ სტატისტიკური მონაცემების ანალიზზე და მხედველობაში არ იღებს სხვა დაშვებებს. მაგალითად, ტემპერატურის ცვლილებას, ნალექებს და ა.შ. ასეთ მიდგომას მონაცემთა ანალიზში „Pattern matching“-ს უწოდებენ, რაც თავისთავში გულისხმობს გასული მონაცემების საფუძველზე შესაბამისობის პოვნას, ხოლო ეს შესაბამისობა წარმოადგენს ჩვენთვის საძიებელ სიდიდეს, ანუ მომდევნო დღის/დღეების პროგნოზს. მეორე მიდგომა, რომელიც ხელოვნური ინტელექტის დახმარებით კორელაციას პოულობს როგორც გასულ მონაცემებში, ასევე ანგარიშებში მონაწილეობას იღებს ამინდის ზემოთხსენებული ცვლადებიც.

მათემატიკურ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

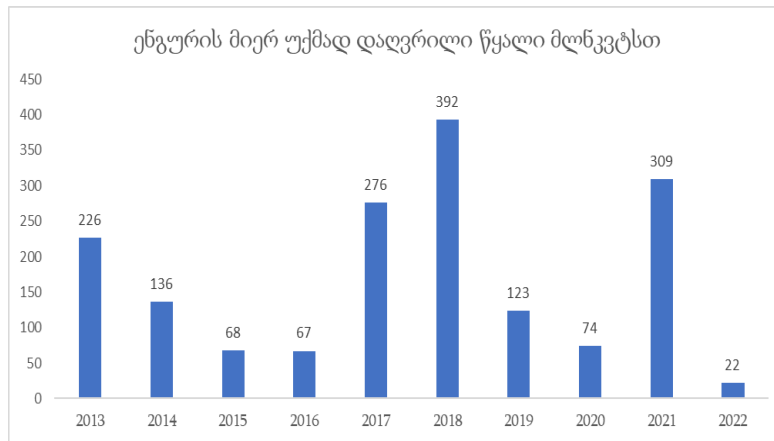
$$Q_d = Q_{d-1} + Q_{d-1} \times (T_d - T_{d-1}) \times K_T + Q_{d-1} \times (PR_d - PR_{d-1}) \times K_{PR}$$

სადაც Q_d - არის დასაგეგმი დღის შემონადენი; Q_{d-1} - გუშინდელი შემონადენი; T_d - დასაგეგმი დღის ტემპერატურა; T_{d-1} - გუშინდელი ტემპერატურა; PR_d - დასაგეგმი დღის ნალექი; R_{d-1} - გუშინდელი ნალექი; K_T - ტემპერატურების მაკორექტირებელი კოეფიციენტი; K_{PR} - ნალექების მაკორექტირებელი კოეფიციენტი.

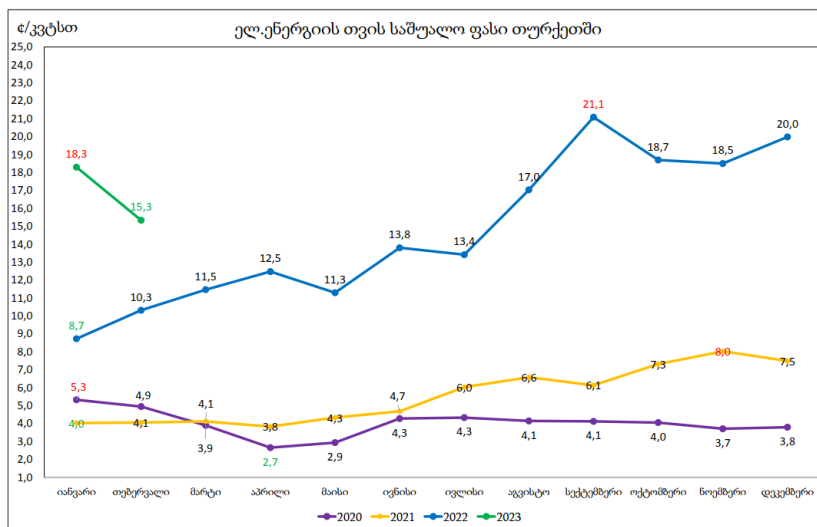
ამჟამად ჩვენ მიერ შექმნილი პლატფორმა გამართულია და შედეგებს გენერირებს, თუმცა მიმდინარე წელს დაგეგმილი არის დამატებით წყლის ხარჯის და თოვლის მზომი მოწყობილობების დაყენება და დაკალიბრება, რაც კიდევ უფრო გაზრდის ჩვენ მიერ შექმნილი პროგრამის პროგნოზირების სიზუსტეს.

ფინანსური ეფექტი

ასევე გვინდა შევხვით იმ ფინანსურ ეფექტს, რაც შეიძლება აღნიშნულმა პროგნოზირებამ მოუტანოს კონკრეტულად ობიექტს და სახელმწიფოს.



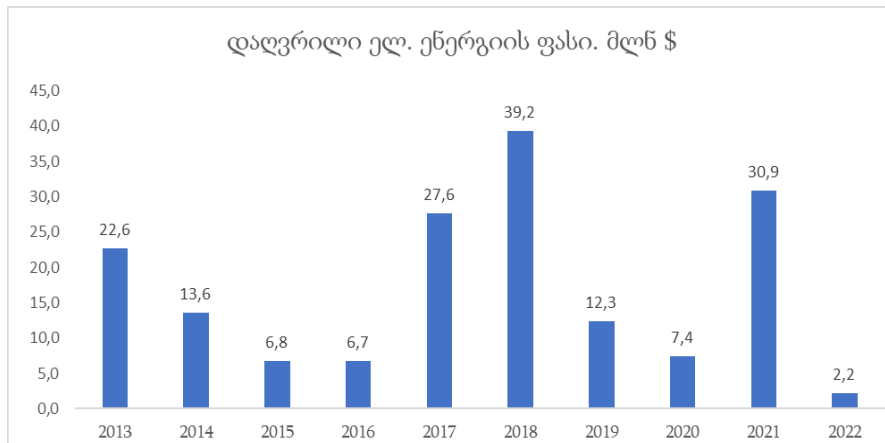
ა)



ბ)

ნახ. 4.

ნახ. 4, ა-ზე ნაჩვენებია არის ენგურჰესის მიერ დაღვრილი წყლის რაოდენობა ბოლო 10 წლის განმავლობაში, ხოლო 4, ბ-ზე კი - ბოლო 4 წლის განმავლობაში თურქეთში არსებული ელექტროენერჯის ფასები. შესაბამისად, ჩვენი მსჯელობა, რომ კონკრეტულ სიდიდეებამდე დავიყვანოთ, ავიღოთ ბოლო 4 წლის საშუალო ელექტროენერჯის ფასი, რაც დაახლოებით \$ 0.10 ცენტს უდრის, გადავამრავლოთ მოცემული თანხა წლების მიხედვით და შედეგად მივიღებთ ნახ. 5- ზე ნაჩვენებ სურათს.



ნახ. 5. ენგურჰესის მიერ დაღვრილი წყალი გადაყვანილი თანხაში

დასკვნის სახით ხაზი გვინდა გავუსვათ, რომ ენგურის აუზის ჰიდროლოგიის პროგნოზირება არა მხოლოდ თავიდან აგვაცილებს ადრეულ პერიოდში უცვარი წყალმოვარდნების რისკს, რაც როგორც ფინანსური, ასევე ადამიანური მსხვერპლით შეიძლება დასრულდეს, არამედ საკმაოდ დიდი ფინანსური სარგებლის მომტანიც იქნება.

FEASIBILITY ANALYSIS OF FORECASTING HYDROLOGY OF ENGURI RIVER.

G.Mirinashvili. A.Kokhtashvili

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 5-10. geo. sum geo. engl. rus.

The article discusses the role of the Enguri river basin on the hydro-energy of Georgia. The software and mathematical base of Tethys, a platform for forecasting hydrological indicators. Emphasis is placed on both the technical and financial benefits of hydrology forecasting. The volumes of water spilled by Enguri HPP in 2013-2022 are taken into account. Turkish Energy Exchange 2020-2023 electricity prices are reviewed. The financial consequences of energy spilled by Engurhesi are calculated.

Илл. 5.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОГНОЗА ГИДРОЛОГИИ РЕКИ ИНГУРИ.

Г.Миринашвили, А.Кохташвили.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 5-10. груз. реф. англ., рус.

Рассмотрена роль бассейна реки Ингури в гидроэнергетике Грузии и программно-математическая база платформы Tethys для прогнозирования гидрологических показателей. Особое внимание уделяется как техническим, так и финансовым преимуществам гидрологического прогнозирования. Учтены объемы сброса воды Ингури ГЭС в 2013-2022 гг. Турецкая энергетическая биржа 2020-2023 гг. пересмотрела цены на электроэнергию. Рассчитаны финансовые последствия выброса энергии Ингури ГЭС гидрологических показателей. Особое внимание уделено как техническим, так и финансовым преимуществам гидрологического прогнозирования.

Илл. 5.

IGBT- ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯის გადაცემის პრინციპული ელექტროსქემის დამუშავება ელექტრო-ენერჯის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში

გივი კონრაძე - ტექნ.მეცნ.კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, დამსახურებული პროფესორ-ემერიტუსი

E-mail: gmgmgkf@mail.ru

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: zviad.gachechiladze@gse.com.ge

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

E-mail: beradzenana@gmail.com

გოჩა კონრაძე - ინჟინერ-ენერგეტიკოსი

E-mail: gocha.kokhraidze@gse.com.ge

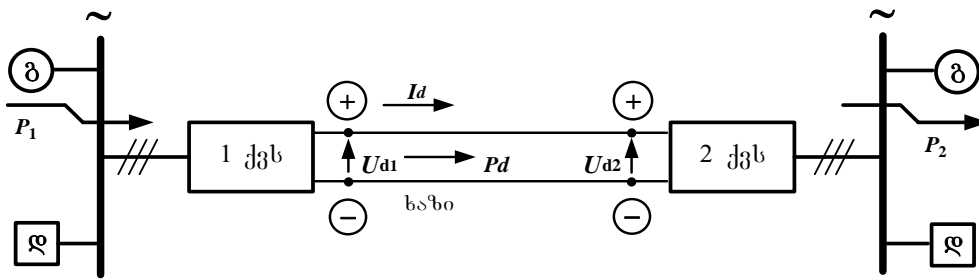
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. სამეცნიერო-საინჟინრო ნაშრომში წარმოდგენილია IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯის გადაცემის პრინციპული ელექტროსქემის დამუშავება ენერჯის აღრიცხვიანობის გაუმჯობესების პირობებში. გათვალისწინებულია გადამცემი და მიმღები სისტემის გენერატორები შესაბამისი სიხშირებით; შესაბამისი დატვირთვები; გამმართველი და ინვერტორული ქვესადგურების ბოგირული სქემები; ბიპოლარული გადამცემი ხაზი; გამმართველი ქვესადგურის შესავალზე ძაბვები და დენები. წარმოდგენილი დამუშავებული ელექტროსქემის შედეგად ექსპლუატაციისას შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს მუშაობის სხვადასხვა ნორმალურ რეჟიმებს, დაწყებული სრული სქემით (ჩართულია ყველა ბოგირი) და დამთავრებული არა სრული სქემით (ჩართულია მხოლოდ ერთი ბოგირი). მიღებულია ბიპოლარული გადამცემი ხაზის მუდმივი დენის გამოსახულება მთლიანი გარდამქმნელი სისტემის მუშაობის დამყარებული პროცესებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: მუდმივი დენის გადაცემა, გარდამქმნელი ქვესადგურები, IGBT-ტრანზისტორული მოდულები, ბიპოლარული ხაზი, სამფაზა გარდამქმნელი ძალური ტრანსფორმატორები.

IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი მუდმივი დენის გადაცემის ფუნქციონალური სტრუქტურული სქემა და მოქმედების პრინციპი ელექტროენერჯის აღრიცხვიანობის გაუმჯობესების პირობებში

თანამედროვე ტექნოლოგიებით აღჭურვილი მუდმივი დენის გადაცემის (მდგ) შემადგენლობაში შედის ორი გარდამქმნელი ქვესადგური (1 ქვს. და 2 ქვს.) და მათი დამაკავშირებელი მუდმივი დენის შუალედური რგოლი - მუდმივი დენის ხაზი (მდხ) (ნახ. 1).



ნახ. 1. მუდმივი დენის გადაცემის ფუნქციონალური სტრუქტურული სქემა:
 1 ქვს და 2 ქვს – გარდაქმნელი ქვესადგურები; გ – გენერატორი; დ – დატვირთვა

გადამცემი ხაზი შეიძლება იყოს საჰაერო, ან კაბელური, ან შედგებოდეს როგორც კაბელური, ასევე საჰაერო უბნებისაგან. ცვლადი დენის მხარეებზე თითოეული ქვესადგური მიერთებულია ენერგოსისტემიდან მაღალი ძაბვის სამფაზა ხაზებთან. ცვლადი დენის ენერგოსისტემა გამოსახულია პირობით, როგორც აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის ყველა წყაროები გ - გენერატორით და ელექტროენერჯის ყველა მომხმარებელი დ - დატვირთვით.

დავუშვათ, რომ ენერჯია გადაეცემა 1 ქვს-დან 2 ქვს-მდე მიმართულებით. მაშინ 1 ქვს უნდა მუშაობდეს გამართვის რეჟიმში, ხოლო 2 ქვს კი - ინვერტორულ რეჟიმში. 1 ქვს-ზე წარმოებს სამფაზა ცვლადი დენის გარდაქმნა მუდმივ დენში (გამართვის პროცესი). 2 ქვს-ზე წარმოებს უკუ გარდაქმნა: ხაზის მეშვეობით მიღებული მუდმივი დენი გარდაიქმნება სამფაზა ცვლადი დენში (ინვერტირების პროცესი). ენერგეტიკული თვალსაზრისით მდგ-ის მუშაობის მთელი პროცესი მდგომარეობს შემდეგში: 1 ქვს ცვლადი დენის სისტემიდან ღებულობს P_1 აქტიურ სიმძლავრეს და გარდაქმნის მას მუდმივი დენის P_{d1} - სიმძლავრეში, რომელიც ხაზით გადაეცემა და ხაზში სიმძლავრის დანაკარგების გათვალისწინებით (გამოკლებით) მიეწოდება 2 ქვს-ს. 2 ქვს-ზე მუდმივი დენის P_{d2} - სიმძლავრე გარდაიქმნება ცვლადი დენის P_2 აქტიურ სიმძლავრეში, რომელიც მიეწოდება მიმღები სისტემის მომხმარებელს.

ერთი სახის ენერჯის მეორე სახეში გარდაქმნის პროცესში და ხაზის გავლით ენერჯის გადაცემისას გარდაუვალია სიმძლავრის ზოგიერთი დანაკარგები:

$$\text{დანაკარგები 1 ქვს-ზე } \Delta P_1 = P_1 - P_{d1};$$

$$\text{დანაკარგები ხაზში } \Delta P_b = P_{d1} - P_{d2};$$

$$\Delta P_2 = P_{d2} - P_2.$$

თანამედროვე მდგ-ზე ერთ გარდამქმნელ ქვესადგურზე სიმძლავრის დანაკარგები შეადგენს 1,5-2%-ს, ხაზის დანაკარგები სიგრძეზე დამოკიდებულებით შეიძლება იყოს 10%-მდე საზღვრებში.

მდგ ხაზის მეშვეობით გადაცემული სიმძლავრის სიდიდის რეგულირება წარმოებს დენის ძალის სიდიდის შეცვლის გზით

$$I_d = \frac{U_{d1} - U_{d2}}{R_b}, \quad (1)$$

სადაც U_{d1} - გამართვის რეჟიმში მომუშავე 1 ქვეს-ის ძაბვა; U_{d2} - ინვერტორული რეჟიმში მომუშავე 2 ქვეს-ის ძაბვა; R_b - მუდმივი დენის ხაზის სადენების წინაღობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ინვერტორული ქვესადგური ქმნის I_d - დენის და U_{d1} ძაბვის საწინააღმდეგოდ მიმართულ შემხვედრ ძაბვას.

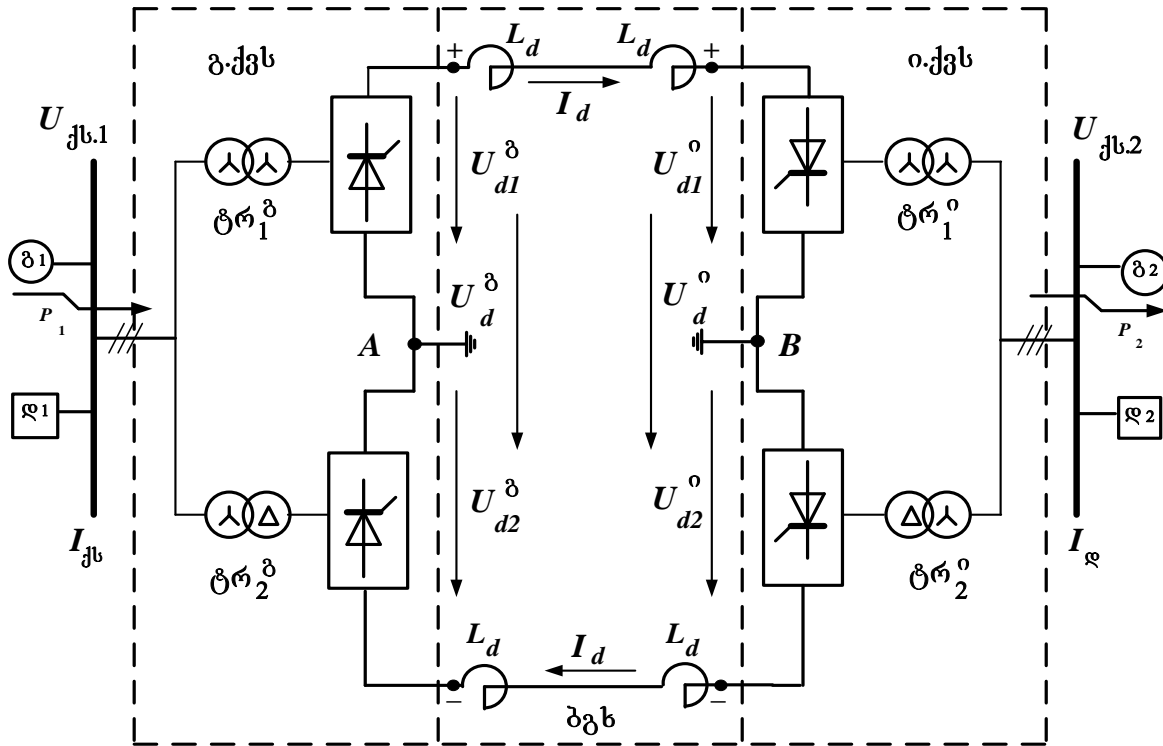
I_d დენის ძალის ცვლილებით და შედეგად გადასაცემი სიმძლავრის ცვლილებით მიიღწევა მუდმივი დენის ხაზის ბოლოებთან U_{d1} , U_{d2} ძაბვათა დონეთა სხვაობის რეგულირება. მუდმივი დენის ხაზის გავლით დენისა და სიმძლავრის ფართო საზღვრებში რეგულირებისათვის საკმარისია ერთ-ერთი ქვესადგურის ძაბვა შეიცვალოს რამოდენიმე %-ით.

მდგ-ის წარმოდგენილი სქემა აუცილებლობის შემთხვევაში საშუალებას იძლევა შეიცვალოს ენერჯის ნაკადის მიმართულება ხაზში – განხორციელდეს გადაცემის რევერსი. ამისათვის ორთავე გარდამქმნელ ქვესადგურში წარმოებს რეჟიმის შეცვლა: ერთი ქვესადგური გადადის გამართვის რეჟიმიდან ინვერტირების რეჟიმში, ხოლო მეორე – შებრუნებით. ამის გარდა, უნდა იქნას უზრუნველყოფილი, რომ გამართვის ძაბვა მეტი იყოს ინვერტორის შემხვედრ ძაბვაზე ხაზში ძაბვის დანაკარგების სიდიდით.

IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ერთ ბოგირა გარდამქმნელიანი ბიპოლარული ხაზით მდგ-ის სქემის უპირატესობა

მუდმივი დენის გადაცემა მიზანშეწონილია განხორციელდეს მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით (ნახ.2). გ.-ქვეს-ის და ი.-ქვეს-ის შუა A და B წერტილები დამიწებულია. ასეთ სქემაში ნორმალური პირობების შემთხვევაში მიწაში დენი არ გადის. ბიპოლარული ხაზით მდგ-ის სქემას აქვს ორი ნახევარ წრედი. ნახევარწრედში შედის ხაზის ერთი პოლუსი და თითოეულ ქვესადგურში დამიწებული შუა A ან B წერტილსა და ამ პოლუსებს

შორის - მისი ერთი ნახევარი. ერთ ნახევარწრედში ავარიის შემთხვევაში (მაგალითად, ხაზის პოლუსზე მოკლე შერთვისას) მეორე ნახევარწრედი აგრძელებს ნორმალურ მუშაობას როგორც უნიპოლარული გადაცემა მიწაში გამავალი უკუდენით. ამიტომ იმედიანობის თვალსაზრისით ბიპოლარული ხაზით მდგ შეესაბამება ორი უნიპოლარული ხაზით მდგ-ს.



ნახ. 2. ბიპოლარული ხაზით მუდმივი დენის გადაცემის სქემა

ბიპოლარული ხაზით გადაცემის ძირითადი უპირატესობაა მიწაში დენის არ-არსებობა ყველა შემთხვევაში, როდესაც ორთავე ნახევარწრედი მუშაობენ დატვირთვის ერთნაირი დენებით. ამასთან დაკავშირებით, მნიშვნელოვნად მცირე საშიშროებაა მიწისქვეშა ლითონური აღჭურვილობის კოროზიული დაზიანებისა, რაც გამოიწვევს მიწაში დამამიწებელი ელექტროდების ხარჯის შემცირებას.

ბიპოლარული ხაზით მდგ-ის გამოყენების არეალია მაღალი ძაბვით დიდი სიმძლავრის გადაცემა.

თანაბარი სიმძლავრის გადაცემის შემთხვევაში მუდმივი დენის კაბელური ხაზი მნიშვნელოვნად იაფია ცვლადი დენის კაბელურ ხაზზე. 35 კვ ცვლადი ძაბვის კაბელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას 200 კვ მუდმივი დენის კაბელად.

მდგ-სათვის კაბელური ხაზი აუცილებელია გამოყენებული იქნას იქ, სადაც არ შეიძლება, ან ძალიან გაძნელებულია საჭირო გადაცემი ხაზის აგება: ფართო

ზედაპირის მქონე წყლის სივრცის გადაკვეთისათვის (ზღვები, წყალსაცავები); მთის პირობებში, დიდ ქალაქებში სიღრმეში სიმძლავრის შეყვანისათვის. ყველა ამ შემთხვევაში სპეციალისტების ყურადღება დათმობილია მუდმივი დენის გადაცემასთან.

მუდმივი დენის ხაზის გამტარუნარიანობა არ არის დამოკიდებული ხაზის სიგრძეზე. ცვლადი დენის შემთხვევაში კი გამტარუნარიანობა მცირდება მისი სიგრძის გაზრდით. ცვლადი დენის შორეულ ხაზებზე დიდი სიმძლავრეების გადაცემისათვის საჭიროებას წარმოადგენს დაყენებული იქნას ძვირადღირებული გრძივი კომპენსაციის მძლავრი კონდენსატორული ბატარეების დანადგარები.

მუდმივი დენის ხაზებზე შიგა (კომუტაციური) გადაძაბვების ჯერადობა დაბალია და ცვლადი დენის ხაზებთან შედარებით შეიძლება მათი შეზღუდვა. მუდმივი დენისას საჭირო შუალედის გამრღვევი ძაბვა $\sqrt{2}$ -ჯერ მაღალია ცვლადი ძაბვასთან შედარებით (საქმე გვაქვს მოქმედ მნიშვნელობასთან). მართლაც ცვლადი ძაბვისას შუალედის გარღვევა ხდება სინუსოიდის ამპლიტუდაზე. მუდმივი დენის საჭირო ხაზებზე გადაძაბვების მცირე ჯერადობის გამო უხდებათ მეტად მაღალი ძაბვის გამოყენება (იზოლაციის ერთნაირი დონის არსებობისას). ამის შედეგად მუდმივი დენის ხაზის ნაგებობების და სიმძლავრის დანაკარგების ღირებულება მათში აღმოჩნდება დაბალი, ვიდრე ასეთი ცვლადი დენის ხაზისა, ვინაიდან მუდმივი დენის შემთხვევაში საჭიროა ორი სადენი სამის ნაცვლად (სადენების ერთნაირი ჯამური კვეთისა, სადენების მარტივი კონსტრუქციებისა და იზოლატორების მცირე გირლიანდების არსებობის პირობებში). მუდმივი დენის საჭირო ხაზით გადაცემის ძირითადი დანიშნულებაა შორეულ მანძილზე დიდი რაოდენობის ელექტროენერგიის ტრანსპორტი. განსაკუთრებული უპირატესობა აქვს მუდმივი დენის გამოყენებას სისტემათაშორისო კავშირებისათვის. ძალიან არსებითია ის, რომ მუდმივ დენზე ვლებულობთ არა ხისტ კავშირს, როგორც ცვლადი დენის შემთხვევაში, არამედ ორი ენერგოსისტემის საკმარისად მოქნილ ასინქრონულ კავშირს. აქედან გამომდინარეობს ორთავე სისტემაში სიხშირის დამოუკიდებელი რეგულირების შესაძლებლობა და სისტემათა ერთმანეთთან მნიშვნელოვნად მცირე ურთიერთგავლენა სხვადასხვა დინამიკური აღშფოთებისას, როგორებიცაა: მოკლე შერთვები, გენერირებული სიმძლავრეთა ამორთვა, დატვირთვის დაგდება და სხვ. ამის გარდა მუდმივ დენზე სისტემათა კავშირისას მნიშვნელოვნად ადვილია ვარგულიროთ სისტემათა შორის ენერგიის ნაკადის სიდიდე და მიმართულება: შეიძლება განხორციელდეს ასეთი რეგულირება დისპეტჩერის ბრძანების ან წინასწარ მოცემული პროგრამის შესაბამისად.

ზოგიერთ შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა აქვს იმ გარემოებას, რომ მდგ-ის ინვერტორული ქვესადგურის გამო, დიდი სიმძლავრის შემთხვევაში სისტემაში არ ხდება მოკლე შერთვის დენების გაზრდა და ამიტომ არ საჭიროებს სისტემაში არსებული ამომრთველების შეცვლას დიდი სიმძლავრის მქონე გამწყვეტი ამომრთველებით. სწორედ ეს არის დიდ ქალაქებში მუდმივი დენის კაბელური გადაცემის გზით დიდი სიმძლავრის შეყვანის უპირატესობა.

დასასრულს უნდა ითქვას, რომ სისტემებს შორის კავშირი მდგ-ით წარმოადგენს ერთადერთ შესაძლებლობას იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროებს სხვადასხვა სიხშირეებზე მომუშავე ცვლადი დენის ორი სისტემის გაერთიანებას. ამ შემთხვევაში მდგ შეიძლება შეიცვალოს სიხშირის გარდამქმნელებით, როდესაც ეს ორი სისტემა იმყოფება ერთ ადგილზე, ხოლო მუდმივი დენის ხაზი არ არსებობს. ასეთ გაერთიანებულ გარდამქმნელ სისტემას აქვს მაღალი ძაბვის მუდმივი დენის ჩანართის ფუნქცია.

მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის დამუშავებული სქემის რეჟიმების მართვა ენერჯის აღრიცხვიანობის ოპტიმიზაციის პირობებში

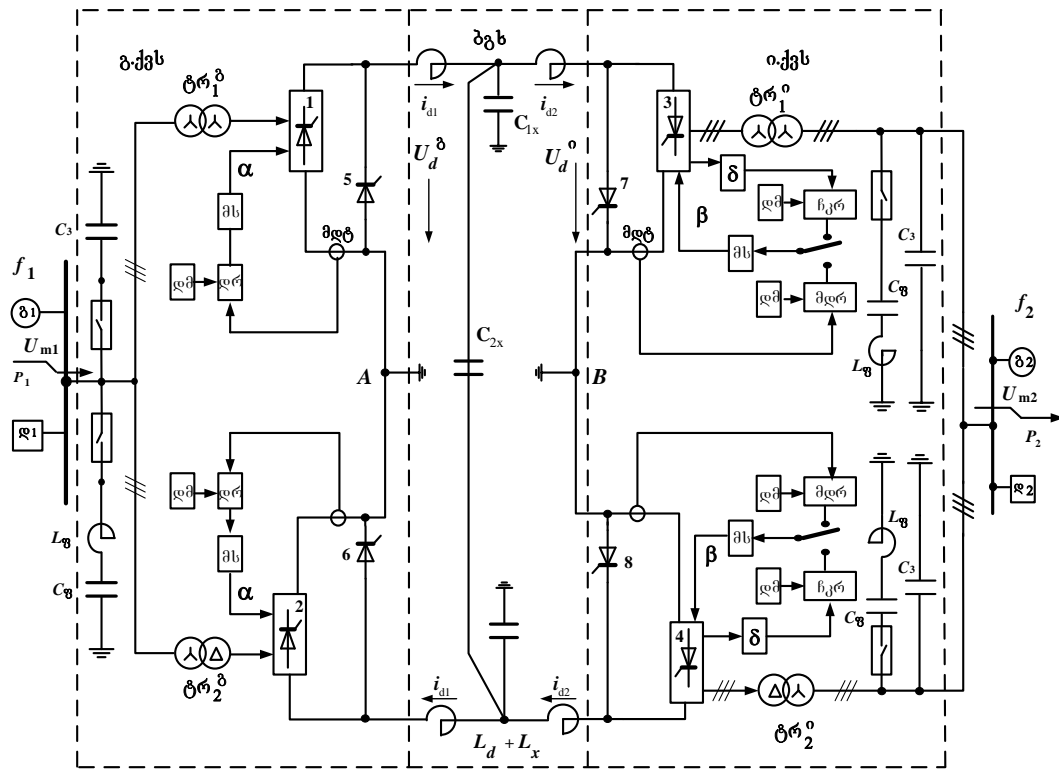
მდგ-ის მუშაობის რეჟიმებს განვიხილავთ ნახ. 3-ზე ნაჩვენები სქემის საფუძველზე. ამ სქემაზე ნაჩვენებია ბიპოლარული ხაზი გამართვისა და ინვერტირების გარდამქმნელების შუა A და B წერტილების დამიწებით.

თითოეულ ქვესადგურზე დამიწებულ შუა წერტილსა და ხაზის პოლუსებს შორის ჩართულია გარდამქმნელი ბოგირი, რომელიც ტ¹ და ტ² ტრანსფორმატორებთან ერთად ქმნიან ერთბოგირა გარდამქმნელებს.

გამართვის ქვესადგურის გამოსავალზე და ინვერტირების ქვესადგურის შესავალზე ხაზის ორთავე პოლუსებში მიმდევრობით ჩართულია ხაზური L_d - პარამეტრის მქონე რეაქტორები. ამ რეაქტორებით ხდება გამართული i_{d1}, i_{d2} დენების გაგლუვება და სხვადასხვა გარდამავალ, ავარიულ პროცესებში დენების ცვლილების სიჩქარისა და ამპლიტუდის შეზღუდვა.

მდგ-ის ნორმალური მუშაობის დამყარებული რეჟიმების გაანგარიშებისას იგულისხმება, რომ $L_d = \infty$ და, შესაბამისად, ხაზში გამავალი დენები არიან აბსოლუტურად გაგლუვებული, არ გააჩნიათ ჰარმონიკები და არიან მუდმივი სიდიდეები. ამის გამო ხაზის ყველა პარამეტრებიდან შეიძლება გათვალისწინებული იქნას ხაზის მხოლოდ აქტიური წინაღობა მუდმივი დენის მიმართ.

ნახ. 3-ზე ძირითადი ძალოვანი წრედის გარდა ნაჩვენებია ტირისტორების (IGBT - ტრანსისტორული მოდულები) მართვის და პროცესების ოპტიმიზაციის ავტომატური მოწყობილობები, მოქმედი ორთავე ქვესადგურზე. გამართვის ქვესადგურზე ყოველ ნახევარ წრედში მოქმედებს დენის რეგულატორი (დრ), რომელიც ადარებს ნახევარწრედში გამავალ i_{d1} დენს დაყენების მოწყობილობის (დმ) დენთან და მოქმედებს ტირისტორების მართვის სისტემის (მს) გავლით ტირისტორების გაღების



ნახ. 3. მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის დამუშავებული სქემა:

გ1 – გადაცემის სისტემის გენერატორი; გ2 – მიმღები სისტემის გენერატორი;

დ1, დ2 – შესაბამისი სისტემის დატვირთვები; ტრ^ბ₁, ტრ^ბ₂, ტრ^ო₁, ტრ^ო₂ – შესაბამისად

გამართვის და ინვერტირების ქვესადგურების ძალოვანი ტრანსფორმატორები; 1, 2, 3, 4 –

შესაბამისად გამართველი და ინვერტირების ქვესადგურების ბოლოვანი სქემები; 5, 6, 7, 8 –

შესაბამისად ბოლოვანების ბლოკირების ტირისტორები; დმ – დაყენების მოწყობილობა; მს –

მართვის სისტემა; მდგ – მუდმივი დენის ტრანსფორმატორი; დრ – დენის რეგულატორი; δ –

ტირისტორის ჩაკეტვის კუთხე; β – ტირისტორის წინსწრების კუთხე; ჩკრ – ჩაკეტვის კუთხის

რეგულატორი; მდრ – მინიმალური დენის რეგულატორი; α – ტირისტორის მართვის კუთხე;

გ.ქ.ს., ი.ქ.ს., ბ.გ.ს. – შესაბამისად გამართვისა და ინვერტირების ქვესადგური და ბიპოლარული

გადაცემის ხაზი; f_1, f_2 – პირველი და მეორე სისტემის სიხშირეები; U_{m1}, U_{m2} – პირველი და

მეორე სისტემის ძაბვები; $C_გ, C_ფ$ – შესაბამისად კომპენსატორის და ფილტრის ტევადობები;

$L_ფ$ – ფილტრის ინდუქციურობა; $U_d^ბ, U_d^ო$ – შესაბამისად გამართველი ქვესადგურის

გამოსავალზე და ინვერტირული ქვესადგურების შესავალზე ძაბვები; i_{d1}, i_{d2} – ბიპოლარული

ხაზში გამავალი მუდმივი დენები; L_d, L_x – ხაზში ჩართული დროსელების (რეაქტორების) და

ხაზის ინდუქციურობები.

α - კუთხეზე. დრ-ის ამოცანაა მოცემული i_{d1} - დენის მუდმივობის შენარჩუნება. ინვერტორულ ქვესადგურზე ნორმარულ რეჟიმებში მოქმედებს ტირისტორების ჩაკეტვის კუთხის რეგულატორი (ჩკრ), რომელიც ადარებს ტირისტორების წინსწრების β - კუთხეს. ჩკრ-ის დანიშნულებაა დაიჭიროს არსებული ჩაკეტვის კუთხე მოცემულთან და შემოქმედებს მისი გავლით ტირისტორის მოცემული ჩაკეტვის ρ -კუთხის მუდმივობაზე.

ზოგიერთ კერძო შემთხვევებში ინვერტორულ ქვესადგურზე ჩკრ-ის ნაცვლად შეჰყავთ მუშაობაში მინიმალური დენის რეგულატორი (მდრ). ნახ. 3-ზე პირობითად ნაჩვენებია, რომ ზედა ნახევარწრედში მოქმედებს ჩკრ, ხოლო ქვედაში - მდრ. მინიმალური დენის რეგულატორი შედის მოქმედებაში, თუ რაიმე მიზეზის გამო დრ ვერ შეძლებს დაიჭიროს მოცემული დენის სიდიდე და ეს უკანასკნელი ვარდება მდრ-ის დაყენების დენის სიდიდის ქვემოთ. ასეთ მოვლენას აქვს ადგილი, მაგალითად, გამმართველი ერთი ბოგირის ბლოკირებისას მასთან პარალელურად მიერთებული მამუნტირებელი ტირისტორების გაღებით. დროის შუალედში, როდესაც ბოგირების რიცხვის შესაბამისობის ავტომატიკა ვერ აშუნტებს ამავე ნახევარწრედში ინვერტორულ ბოგირს, ინვერტორის შემხვედრი ემ ძალა აღმოჩნდება მეტი გამმართველის ემ ძალაზე და ნახევარწრედის i_{d1} დენი იწყებს უეცრად დავარდნას. ჩვეულებრივ, მდრ-ის დაყენების დენი ტოლია დრ-ის დაყენების დენის 0,9 ნაწილის. მდრ-ის მუშაობაში შეყვანა ზრდის ტირისტორების წინსწრების β - კუთხეს, ამცირებს ინვერტორის შემხვედრ ემ ძალას და ამით ინარჩუნებს ნახევარწრედის დენის მნიშვნელობას თავის დაყენების დონეზე.

მდგ-ის ექსპლუატაციისას შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმს თავისი შესაბამისი სქემებით:

- სრული სქემა – ჩართულია ყველა ბოგირი;
- ჩართულია მხოლოდ ერთი ნახევარწრედი.

ბოგირების არასრული რიცხვით სქემა გამოიყენება იძულებით – იმ შემთხვევაში, როდესაც ცალკეული ბოგირი, ტრანსფორმატორი ან სხვა დანადგარები ჩაყენებულია რემონტში.

მდგ-ის მუშაობის რეჟიმები თითოეული ზემოთ განხილულ სქემებისათვის განსხვავდებიან დენის სიდიდით. ორივე ნახევარწრედის მუშაობისას ნახევარწრედებში რეჟიმები შეიძლება იყოს ერთნაირი ან სხვადასხვა დენებით. ბოლო შემთხვევაში მიწის გავლით გადის დენი, რომელიც ტოლია ხაზის პოლუსებში დენების სხვაობისა. დენის სიდიდის გარდა, ქვესადგურის და მდგ-ის რეჟიმზე გავლენას ახდენენ გამმართველის

ტირისტორების გაღების α - კუთხის და ინვერტორის ტირისტორების ჩაკეტვის δ - კუთხის ან წინსწრების β - კუთხის ცვლილება.

მდგ-ის მუშაობის რეჟიმზე განსაზღვრული გავლენა შეიძლება მოახდინოს გადამცემი და მიმღები სისტემების ძაბვათა დონეებმა. ჩვეულებრივ გარდამქმნელ ქვესადგურებში არსებობს ტრანსფორმატორების დატვირთვის ქვეშ მეორადი ძაბვების რეგულირების შესაძლებლობა, ქვესადგურის სალტებზე ძაბვების მცირე საექსპლუატაციო რხევების კონპენსირება და მდგ-ის რეჟიმულ მაჩვენებლებზე გავლენის უგულვებელყოფა.

მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემაში დამყარებული და გარდამავალი (ავარიული) რეჟიმების შესაბამისი პროცესების გაანგარიშების, გამოკვლევის და ანალიზის ეფექტურად ჩატარებისათვის მიზანშეწონილია ნახ. 3-ზე ნაჩვენები სქემა წარმოდგენილი იქნას გადამუშავებულ, გაშლილ სახეში ძირითადი პარამეტრებისა და ელექტრული სიდიდეების ნახ. 4-ზე ჩვენებით.

როგორც ნახ. 3, 4-ზე ჩანს, დამყარებულ რეჟიმში დენი შეიძლება ჩავთვალოთ i_{d2} დენის ტოლი და მდგ-ის ხაზში დენის სიდიდე განისაზღვრება გამოსახულებით

$$i_{d1} = i_{d2} = i_d = \frac{U_d^\beta - U_d^\alpha}{R_b}, \quad (2)$$

სადაც R_b – ხაზის აქტიური (ომიური) წინაღობაა.

იმისათვის, რომ ვიპოვოთ დენი, (2) გამოსახულებაში უნდა ვისარგებლოთ გამმართველისა და ინვერტორის შემდეგი გარე მახასიათებლებით

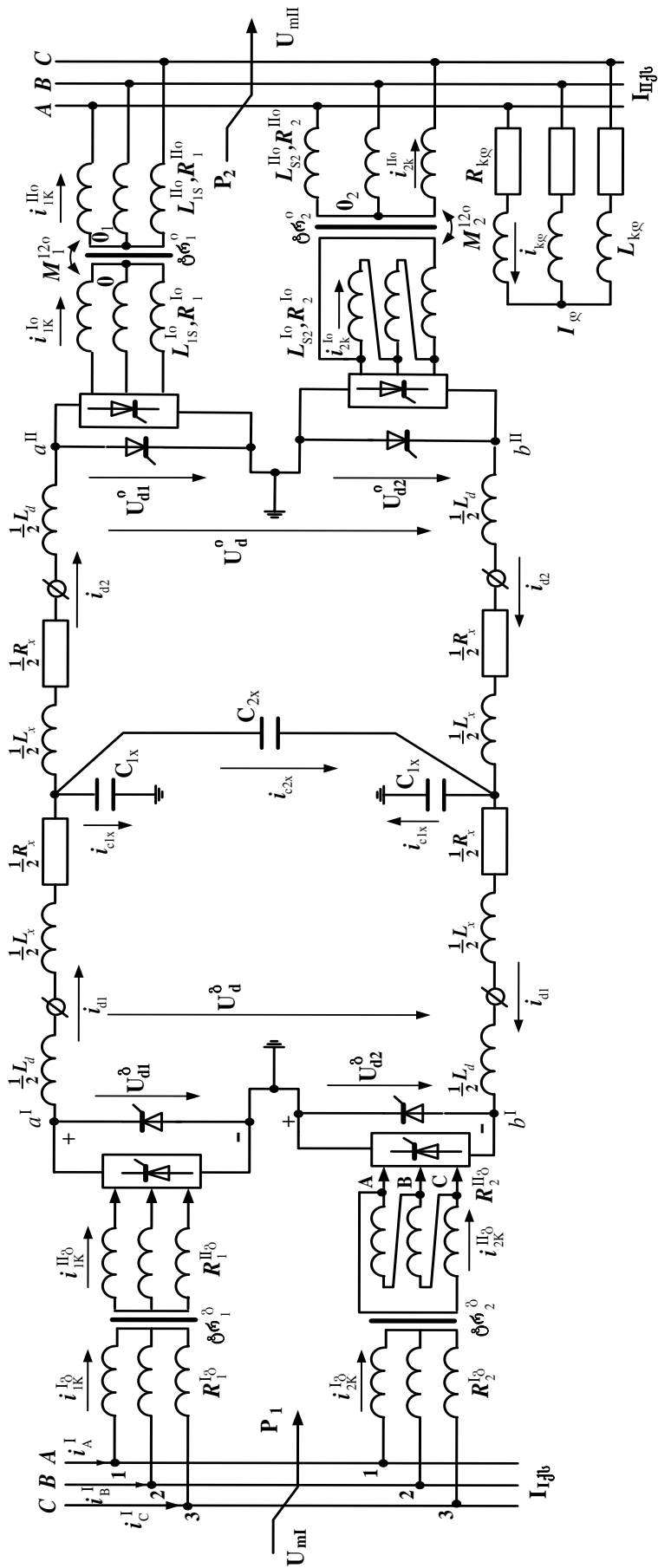
$$U_d^\beta = f(I_d), U_d^\alpha = f(I_d):$$

$$U_d^\beta = E_d^\beta \cos \alpha - \frac{3}{\pi} x_\gamma^\beta I_d, \quad (3)$$

$$U_d^\alpha = E_d^\alpha \cos \beta + \frac{3}{\pi} x_\gamma^\alpha I_d, \quad (4)$$

სადაც
$$E_d^\beta = \frac{3}{\pi} \sqrt{3} E_{2m}^\beta; E_d^\alpha = \frac{3}{\pi} \sqrt{3} E_{2m}^\alpha. \quad (5)$$

$x_\gamma^\beta, x_\gamma^\alpha$ – შესაბამისად გამმართველის და ინვერტორის მუშაობის რეჟიმების კომუტაციური კონტურების (ტირისტორების შემთხვევაში) ინდუქციური წინააღობებია, ხოლო $E_{2m}^\beta, E_{2m}^\alpha$ – შესაბამისად გამმართველი და ინვერტორული სამფაზა ტრანსფორმატორების მეორადი გრაგნილებში დაინდუქცირებული ემ ძალების მოქმედი მნიშვნელობებია.



ნახ. 4. მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის გადამზომვებული, გახსნილი პრინციპული ელექტროსქემა

(2) - (4) განტოლებების ერთდროული ამოხსნით მივიღებთ დენის გამოსახულებას დამყარებული რეჟიმისათვის:

$$I_d = \frac{E_d^{\beta} \cos \alpha - E_d^{\alpha} \cos \beta}{R_b + \frac{3}{\pi} x_{\gamma}^{\beta} + \frac{3}{\pi} x_{\gamma}^{\alpha}}. \quad (6)$$

თუ გამმართველი და ინვერტორული (გ.ქვს, ი.ქვს) ქვესადგურებში (ნახ.3) ჩვეულებრივი ტირისტორების ნაცვლად ჩართული იქნება მაღალი ძაბვისა და დიდი დენის მქონე სწრაფ მომქმედი „ბიპოლარული ტრანზისტორები იზოლირებული ჩამკვეთით“ (IGBT-ტრანზისტორული მოდულები), მაშინ თითოეულ გარდამქმნელ აგრეგატებში ფაზებს შორის კომუტაციის კუთხე და შესაბამისად ენერჯის კომუტაციური დანაკარგები (სწრაფი გადართვების გამო) ნულის ტოლი იქნება. შესაბამისად გამმართველის და ინვერტორის მუშაობის რეჟიმების კომუტაციური კონტურების არარსებობის გამო (IGBT-ტრანზისტორული მოდულების არსებობის შემთხვევაში) ექსპლუატაციისას არსებობს მხოლოდ მუშაობის „არასაკომუტაციო ინტერვალები“, საანგარიშო გაერთიანებული ექვივალენტური სქემა მარტივდება და კომუტაციური ინდუქციური წინაღობები ნულის ტოლია:

$$x_{\gamma}^{\beta} = 0, x_{\gamma}^{\alpha} = 0. \quad (7)$$

თუ (7) ტოლობებს გავითვალისწინებთ (2)-(4),(6) გამოსახულებებში, მაშინ დამყარებულ პროცესში ბიპოლარული გადამცემი ხაზში გამავალი დენის მნიშვნელობა უკუპროპორციული იქნება მხოლოდ ამ ხაზის აქტიური R_b წინაღობისა და ხაზში გაივლის, ჩვეულებრივი ტირისტორების არსებობის შემთხვევასთან შედარებით, დენის უდიდესი მნიშვნელობა. ე.ი. გადაიცემა გაცილებით მეტი სიმძლავრის ელექტროენერგია.

ეს ფაქტორი დადებითად აისახება ენერჯის და სიმძლავრის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაზრდის საქმეში.

IGBT - ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯის გადაცემის პრინციპული ელექტრული სქემის (ნახ. 1) დამუშავება ენერჯის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში საშუალებას მოგვცემს, როგორც საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის გაერთიანებულ მაგისტრალური გადამცემი ხაზის, ასევე საქართველოს რკინიგზის მუდმივი დენის მძლავრი საკონტაქტო ქსელის ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლების გაუმჯობესებას.

წარმოდგენილი სამუშაო ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერგეტიკის სამეცნიერო-საინჟინრო ცენტრში და საქართველოს რკინიგზის ელექტრომომარაგების დეპარტამენტის ტექნიკური განვითარების ცენტრში.

განხილული ეტაპობრივი სამუშაოები განეკუთვნებიან „ ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი: 0405“ - სამეცნიერო-საინჟინრო პროგრამას.

ლიტერატურა

1. Лутидзе Ш.И. Основы теории электрических машин с управляемым полупроводниковым коммутатором. М :Наука. 1968.
2. Поссе А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока. Л.:Энергия. Ленинградское отделение. 1973.
3. Чуа Л.О., Пен-Мин Лин. Машинный анализ электронных схем (алгоритмы и вычислительные методы)/ Перев.с англ. М.:Энергия. 1980.

IGBT- PROCESSING OF THE PRINCIPLE ELECTRICAL SCHEME OF ENERGY TRANSMISSION WITH TWO-BRIDGE TRANSDUCER DC BIPOLAR LINE CONTAINING TRANSISTOR MODULES UNDER THE CONDITIONS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTRICAL ENERGY ACCOUNTABILITY

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

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 11-23. geo. sum geo. engl. rus.

The scientific-engineering paper presents the processing of the principle electrical scheme of energy transmission with two-bridge transducers DC bipolar line containing IGBT-transistor modules under the conditions of improving energy accountability. It provides transmitting and receiving system generators with appropriate frequencies; appropriate loads; bridge schemes of rectifier and inverter substations; bipolar transmitting line; voltages and currents at the input of the rectifier substation. As a result of the presented processed electrical drawings, different normal operating modes can occur during operation, starting with a complete scheme (all bridges are connected) and ending with a non-complete scheme (only one footbridge is connected). A bipolar transmission line DC formula is obtained for the established processes of operation of the entire conversion system.

Ill. 4, bibl. 3

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ С ДВУХМОСТОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ БИПОЛЯРНОЙ ЛИНИЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩИЕ ИЗ IGBT ТРАНЗИСТОРНЫМИ МОДУЛЯМИ В УСЛОВИЯХ УЛУЧШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

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

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 11-23. груз. реф. англ., рус.

Разработана принципиальная электрическая схема передачи электрической энергии с двухмостовой преобразовательной биполярной линией постоянного тока, содержащая из IGBT-транзисторные модули в условиях улучшения эффективности учета электрической энергии. Предусмотрены генераторы передающей и приемной системы соответствующими частотами; нагрузки, мостовые схемы выпрямительной и инверторной подстанции; биполярная передающая линия, напряжения и токи на входе выпрямительной подстанции.

При эксплуатации возможны разные нормальные режимы, начиная от полной схемы (включены все мосты), кончая неполной схемы (включен только один мост). Получено выражение постоянного тока биполярной передающей линией для установившихся процессов цепей преобразовательной системы.

Илл.4. лит.3.

ბატარეის ენერჯის დამაგროვებელი სისტემა, რომლის მიზანია გახადოს ენერჯეტიკის სექტორი უფრო ხელსაყრელი, კლიმატთან და გარემოსთან მიმართებაში უფრო ეფექტური და კონკურენტუნარიანი, უსაფრთხო და მდგრადი

თინგო მუსელიანი - დოქტორი

E-mail: museliani@yahoo.com

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ბორის ჯინჩველიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: jinchveleishvili.boris22@gtu.ge

საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ეროვნული სადისპეტჩერო ცენტრი

ანოტაცია. კლიმატის ცვლილებასთან ბრძოლა ეფექტურია მისი მიზეზების, ევოლუციის, რისკების, ზემოქმედებისა და შესაძლებლობების უკეთ გაგნობიერების გზით.

ბატარეის ენერჯის დამაგროვებელ სისტემას, რომელსაც ექნება შესაძლებლობა მიაწოდოს ენერჯია მომხმარებელს, ასევე შეძლებს დააგროვოს ენერჯია, რომელსაც მოყვება წარმოშობის სერტიფიკატი, ანუ ელექტრონული დოკუმენტი, რომელიც ადასტურებს, რომ მომხმარებლისთვის მიწოდებული ელექტროენერჯის წილი განახლებადი წყაროებიდან არის მიღებული.

საკვანძო სიტყვები: ბატარეის ენერჯოდამაგროვებელი სისტემა, ენერჯის მართვის სისტემა, ბატარეის მართვის სისტემა, ტყვიის მყავა-ნახშირბადის ბატარეა, განახლებადი წყაროები,

განახლებადი წყაროებიდან, მათ შორის მაღალი ეფექტურობის კოგენერაციიდან მიღებული ელექტროენერჯის წარმოშობის სერტიფიკატი, გაიცემა გადამცემი სისტემის ოპერატორის მიერ ზედა დონის ესკაა სისტემაში დაფიქსირებული აღრიცხვის მონაცემებზე დაყრდნობით, რომლის რეესტრში შეტანას ახორციელებს გადამცემი სისტემის ოპერატორი ყოველი საანგარიშო პერიოდის დასრულებიდან არაუგვიანეს 8 კალენდარული დღის ვადაში.

ენერჯის დამაგროვებელს შეუძლია ენერჯია დააგროვოს, როდესაც არის ქვეყნის მინიმალური მოხმარება და არის ტენდენცია საბალანსო პროდუქტების მოხსნის რეზერვის გააქტიურებისა, მათ შორის როგორც სიხშირის ავტომატური აღდგენის რეზერვისა, ასევე სიხშირის ხელით მართვადი რეზერვის და მიაწოდოს ენერჯია სისტემას მოხმარების პიკის დროს, როდესაც არ არის ჰიდროგენერაციის საკმარისი რესურსები და საჭირო ხდება სისტემასთან აირტურბინული ელექტროსადგურის მიერთება და ამით ხელი შეუწყოს განახლებადი წყაროებიდან მიღებული ენერჯის წილის გაზრდას საერთო მოხმარებაში.

სისტემის საბოლოო ბალანსი მიიღწევა ბაზრის მართვის ელექტრონული სისტემის

პლატფორმაში საბალანსო პროდუქტების გააქტიურებით, რომელიც შეიძლება მოწოდებული იყოს ელექტროენერჯის დამაგროვებლის მიერ მისი მართვის სისტემის საშუალებით, რომელიც სკადას პროგრამასთან იქნება დაკავშირებული.

საბალანსო პროდუქტების შესყიდვა ხორციელდება ტენდერის საშუალებით, აქედან საბალანსო ელექტროენერჯის ფასი განისაზღვრება ზღვრული ფასწარმოქმნის მიხედვით, ხოლო საბალანსო სიმძლავრის ფასი - გაცხადებული ფასის მიხედვით.

საბალანსო პროდუქტებია:

პირველადი სწრაფმოქმედი სიმეტრიული საბალანსო პროდუქტი არის სიხშირის შენარჩუნების რეზერვი, რომლის გააქტიურება ხორციელდება ავტომატურად გენერატორების სიჩქარის რეგულატორების მეშვეობით სისტემაში სიხშირის $50 \pm 0,2$ ჰერცზე მეტით გადახრის შემთხვევაში;

მეორეული ავტომატური სიმეტრიული საბალანსო პროდუქტი არის სიხშირის ავტომატური აღდგენის რეზერვი, რომლის გააქტიურება ხორციელდება ავტომატურად სკადას პროგრამის მეშვეობით სიხშირის ან სიმძლავრის ცვლილების პროპორციულად;

მესამეული ასიმეტრიული ხელით მართვის აქტივირებადი საბალანსო პროდუქტი არის სიხშირის ხელით მართვის აღდგენის რეზერვი, რომლის გააქტიურება ხორციელდება დისპეტჩერის მიერ სატელეფონო ზარის მეშვეობით;

სწრაფი ავარიული და ნელი ავარიული რეზერვები წარმოადგენს ხელით აქტივირებად რეზერვს, მისი გააქტიურება ხდება ავარიული რეჟიმის მდგომარეობის დადგომამდე, როდესაც დისპეტჩერი ხედავს საშიშროებას ან ავარიული რეჟიმის დადგომის დროს, რომლის გააქტიურება ხორციელდება დისპეტჩერის მიერ სატელეფონო ზარის მეშვეობით.

ავარიულ რეზერვებში მოისაზრებიან თბოელექტროსადგურები, სისტემათაშორისო ხაზები, მომხმარებლები და სხვა გენერაციის ობიექტები, ვისთანაც იქნება საშუალება მსგავსი ხელშეკრულების გაფორმებისა, მომავალში ავარიულ რეზერვად შესაძლებელია განვიხილოთ ელექტროენერჯის დამაგროვებელი.

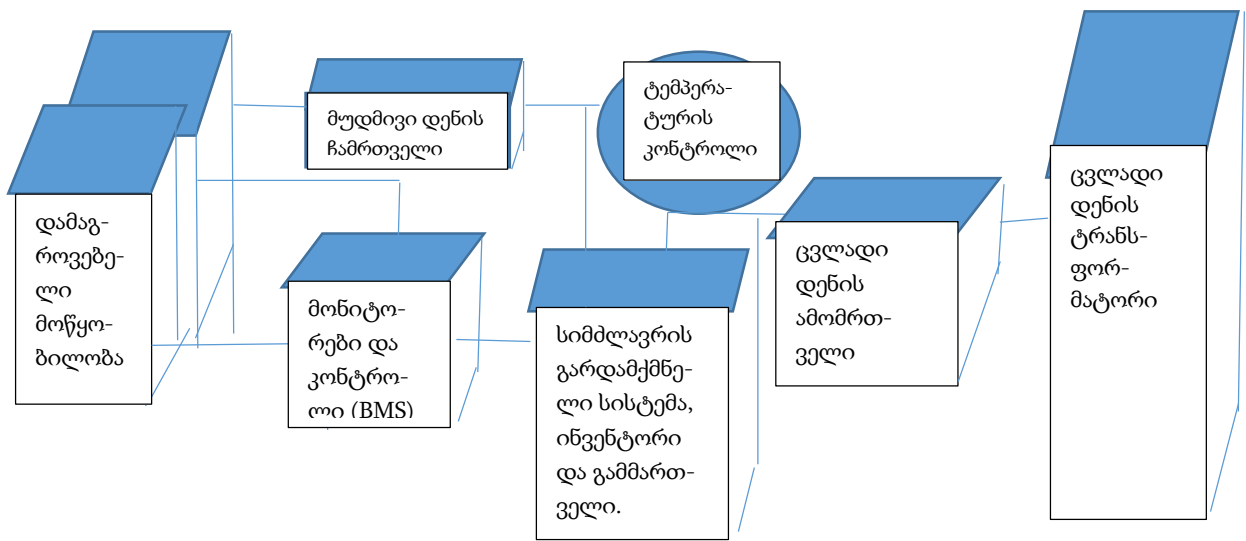
ბაზრის მართვის ელექტრონული სისტემის პლატფორმა მოიცავს ნომინაციების წარდგენისა და დადასტურების, უბალანსობის მოცულობისა და ფასის გამოთვლის, საბალანსო სიმძლავრისა და საბალანსო ელექტროენერჯის ტენდერების, საბალანსო ელექტროენერჯის გააქტიურების, ტრანსსასაზღვრო სიმძლავრის განაწილების, ფინანსური ანგარიშსწორებისა და ბაზართან დაკავშირებულ სხვა სისტემებს.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიური მდგრადობის ამალგების მიზნით ბატარეის ენერჯის დამაგროვებელი სისტემა მნიშვნელოვან ფუნქციას შეასრულებს.

ბატარეის ენერგოდამაგროვებელი სისტემა და პირველადი ძალოვანი კომპონენტები.

ზემოთ ნაჩვენები სურათი მოიცავს შემდეგ სისტემებს:

- ენერჯის მართვის სისტემა (Energy management system - EMS) არეგულირებს ბატარეის მიერ სიმძლავრის მიღება - გაცემის პროცესს ენერჯის სისტემის მოთხოვნების შესაბამისად, თუ სიხშირე დაბალია სისტემაში 50 ჰერცზე, ბატარეამ უნდა გასცეს ენერჯია მცისიერად, ხოლო თუ სიხშირე მაღალია 50 ჰერცზე, ბატარეამ უნდა მიიღოს ენერჯია მცისიერად, კონკრეტულად იგი ეხება ენერჯეტიკული ქსელის აპლიკაციების კოლექტიურ კომპლექტს და გენერირების კონტროლისა და დაგეგმვის (გეგმა-გრაფიკები) აპლიკაციებს. EMS-ის მწარმოებლები ასევე გვთავაზობენ დისპეტჩერის სასწავლო სიმულატორს (DTS), ეს მონათესავე ტექნოლოგია იყენებს SCADA-ს და EMS-ის ენერჯის მართვის სისტემის კომპონენტებს, როგორც სასწავლო ინსტრუმენტს სადისპეტჩერო ცენტრის ოპერატორებისთვის;



ნახ. 1.

- ბატარეის მართვის სისტემა (Battery management system - BMS) გადამწყვეტ როლს თამაშობს ბატარეის უსაფრთხოდ და ეფექტურად მუშაობის უზრუნველსაყოფად და ეხმარება ბატარეის სიცოცხლის გახანგრძლივებას;

BMS არის ელექტრონული სისტემა, რომელიც მართავს და აკონტროლებს ბატარეის ფუნქციონირებას. ის ასრულებს რამდენიმე ფუნქციას, მათ შორის დატენვის მდგომარეობის მონიტორინგს, დატენვისა და განმუხტვის პროცესის მართვას და ბატარეის დაზიანებისგან დაცვას;

BMS ჩვეულებრივ შედგება რამდენიმე კომპონენტისგან, მათ შორის მიკროკონტროლერი, სენსორები და საკომუნიკაციო ინტერფეისები. მიკროკონტროლერი არის სისტემის ტვინი და პასუხისმგებელია ბატარეის მუშაობის მონიტორინგზე და მისი მუშაობის კონტროლზე;

სენსორები BMS-ში გამოიყენება სხვადასხვა პარამეტრების გასაზომად, როგორცაა ბატარეის ძაბვა, დენი და ტემპერატურა;

საკომუნიკაციო ინტერფეისები საშუალებას აძლევს BMS-ს დაუკავშირდეს სხვა სისტემებს;

BMS მუშაობს ბატარეის მუშაობის მონიტორინგზე და აკონტროლებს მის მუშაობას, რათა უზრუნველყოს ის უსაფრთხოდ და ეფექტურად. ამის მისაღწევად ის იყენებს რამდენიმე ალგორითმს და მეთოდს, მათ შორის დატენვის მდგომარეობის შეფასებას, უჯრედის დაბალანსებას და ტემპერატურის მონიტორინგს;

ბატარეის მართვის სისტემის ძირითადი მნიშვნელოვანი ინდექსები:

1. დამუხტვის მდგომარეობა (SOC – State of charge) არის ბატარეაში დარჩენილი ენერჯის ინდიკატორი მოცემულ დროს, ასახავს თუ რამდენ პროცენტზეა დარჩენილი ბატარეაში სიმძლავრე.

$$SOC = Q/Q_{max}$$

Q - დარჩენილი სიმძლავრე

Q_{max} - ნომინალური სიმძლავრე

2. ექსპლუატაციის (მოვლის და სიცოცხლის ხანგრძლივობის) მდგომარეობა (SOH – State of Health) არის ბატარეის მიმდინარე მდგომარეობა მის იდეალურ მდგომარეობასთან შედარებით, სადაც განსხვავება არსებული მდგომარეობისა იდეალურ მდგომარეობასთან შედარებით პროცენტული სახითაა მოცემული, თუ 80%-ზე ქვევითაა აღნიშნული ინდიკატორი მაშინ ბატარეა ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარია.

BMS იყენებს რამდენიმე მეთოდს დამუხტვის მდგომარეობის ზუსტად შესაფასებლად, მათ შორის ძაბვაზე დაფუძნებულ, დენზე დაფუძნებულ და მოდელზე დაფუძნებულ მეთოდებს.

ძაბვაზე დაფუძნებული მეთოდები იყენებს ბატარეის ღია წრედის ძაბვას (OCV) დამუხტვის მდგომარეობის შესაფასებლად. ღია წრის ძაბვა არის ძაბვა, რომელიც იზომება ბატარეის ტერმინალებზე, როდესაც ის არ არის დაკავშირებული რაიმე დატვირთვასთან.

BMS იყენებს საძიებო ცხრილს ღია წრის ძაბვის დამუხტვის მდგომარეობასთან დასაკავშირებლად.

დენზე დაფუძნებული მეთოდები იყენებს ბატარეის დენის ნაკადს დამუხტვის მდგომარეობის შესაფასებლად. BMS ზომავს დენს, რომელიც მიედინება და გამოდის ბატარეიდან და იყენებს ინტეგრაციის ალგორითმს დამუხტვის მდგომარეობის გამოსათვლელად.

მოდელზე დაფუძნებული მეთოდები იყენებს ბატარეის ქცევის მათემატიკურ მოდელს დამუხტვის მდგომარეობის შესაფასებლად.

ეს მოდელები ითვალისწინებენ სხვადასხვა ფაქტორებს, როგორცაა ბატარეის ქიმიური შემადგენლობა, ტემპერატურა და ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა.

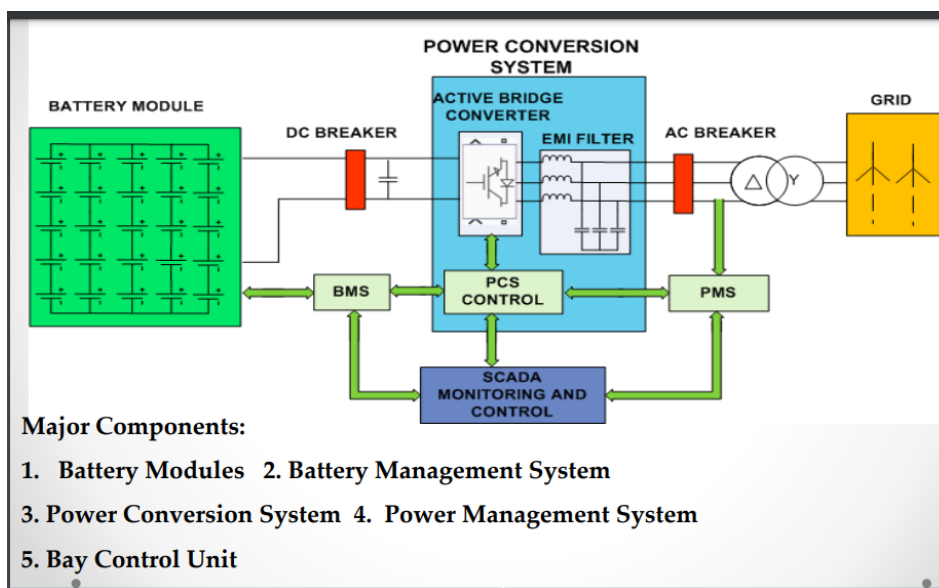
უჯრედის დაბალანსება არის პროცესი იმის უზრუნველსაყოფად, რომ ბატარეის ყველა უჯრედს უნდა ჰქონდეს ერთი და იგივე დატენვის მდგომარეობა. უჯრედის დაბალანსება აუცილებელია, რადგან თუ ერთ უჯრედს აქვს სხვაზე დაბალი მუხტის მდგომარეობა, ამან შეიძლება გამოიწვიოს უჯრედის გადატვირთვა, რაც გამოიწვევს მუდმივ დაზიანებას. BMS იყენებს რამდენიმე მეთოდს უჯრედების დასაბალანსებლად, მათ შორის პასიური დაბალანსება, აქტიური დაბალანსება და ჰიბრიდული დაბალანსება.

პასიური დაბალანსება დაბალანსების უმარტივესი ფორმაა და გულისხმობს რეზისტორების გამოყენებას უჯრედების უფრო მაღალი მუხტის მდგომარეობით განმუხტვისთვის. ეს მეთოდი ნაკლებად ეფექტურია, მაგრამ იაფია.

აქტიური დაბალანსება არის დაბალანსების უფრო მოწინავე ფორმა და მოიცავს მიკროსქემის გამოყენებას, რომელსაც შეუძლია მუხტის გადატანა უჯრედებს შორის. ეს მეთოდი უფრო ეფექტურია, მაგრამ უფრო ძვირი.

ჰიბრიდული დაბალანსება არის პასიური და აქტიური დაბალანსების კომბინაცია და მოიცავს ორივე მეთოდის გამოყენებას უჯრედების დასაბალანსებლად.

ტემპერატურის მონიტორინგი აუცილებელია, რადგან მაღალმა ტემპერატურამ შეიძლება დაზიანოს ბატარეა და შეამციროს მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა. BMS აკონტროლებს ბატარეის ტემპერატურას და იღებს შესაბამის ზომებს, რათა უზრუნველყოს, რომ ის დარჩეს უსაფრთხო მუშაობის დიაპაზონში. BMS იყენებს რამდენიმე საშუალებას ტემპერატურის მონიტორინგისთვის, მათ შორის თერმისტორები, ინფრაწითელი სენსორები და შიდა ტემპერატურის სენსორები.



ნახ. 2.

განვიხილოთ ქიმიური შემადგენლობით და თვისებებით განსხვავებული ბატარეები, როგორცაა:

1. თანამედროვე ტყვიის მჟავა ბატარეა (Advanced Lead Acid)

ტყვიის მჟავა ბატარეა შედგება ტყვიის მეტალის ელექტროდისაგან - ანოდისგან, ტყვიის დიოქსიდის კათოდისგან და გოგირდმჟავას ხსნარის ელექტროლიტისგან. ახასიათებს წარმო-

ების სიმარტივე და მისაღები სასიცოცხლო ციკლი.

$Pb_{(s)}$ - მყარი ტყვია;

$PbO_{2(s)}$ - ტყვიის დიოქსიდი;

$PbSO_{4(s)}$ - ტყვიის სულფატი.

$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} \rightarrow PbSO_{4(s)}$

$Pb \rightarrow Pb^{2+}$

$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$ - ჟანგვა (-ანოდი)

$PbO_2 \rightarrow Pb^{2+}$

$PbO_2 + SO_4 \rightarrow PbSO_4$

$2e^- + 4H^{4+} + PbO_2 + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$ - აღდგენა (+კათოდი)

$Pb + SO_4 + 4H + PbO_2 + SO_4 \rightarrow PbSO_4 + PbSO_4 + 2H_2O$

$Pb + PbO_2 + 4H + 2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

ან $Pb + PbO_2 + 2H + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

ასეთი ბატარეის უჯრედის ვოლტაჟი - ძაბვა არის 2 ვოლტი.

ზემოთ განხილული ტყვიის მჟავა ბატარეისგან განსხვავებით თანამედროვე ტყვიის მჟავა ბატარეაში მყარი ტყვია მოცემულია გრაფიტთან/ნახშირბადთან ერთად.

ბატარეის წყობიდან ნაადრევი გამოსვლა ძირითადად გამოწვეულია ტყვიის სულფატის სწრაფი დაგროვებით უარყოფით ელექტროდის ზედაპირებზე მაღალი სიჩქარის ნაწილობრივი დატენვის პირობებში. კომპანია Superior Graphite-მა შეიმუშავა პროდუქტები სპეციალურად იმისათვის, რომ მინიმუმამდე დაიყვანოს ტყვიის სულფატის დაგროვება უარყოფით ელექტროდზე, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ბატარეის სიცოცხლის ხანგრძლივობას მაღალი სიჩქარის ნაწილობრივი დატენვის პირობებში.

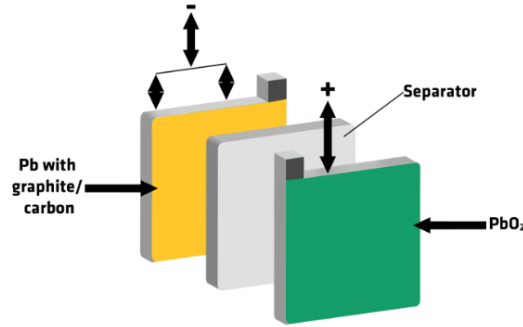
ბატარეის შიდა წინაღობა იზრდება ბატარეის ციკლის (ერთი ციკლი სრულდება, როდესაც იტენება ბატარეა 0%-დან 100%-მდე) დროს. FormulaBT™ პროდუქტები შესანიშნავი არის ელექტროგამტარობით შიდა წინააღმდეგობის გასაუმჯობესებლად.

FormulaBT™ შერეულია სხვა აქტიური მასალის დანამატებთან (მაგ. ექსპანდერის ფხვნილებთან) და ტყვიის ოქსიდის ფხვნილთან, უარყოფითი ელექტროდის ფორმირებისათვის, რათა:

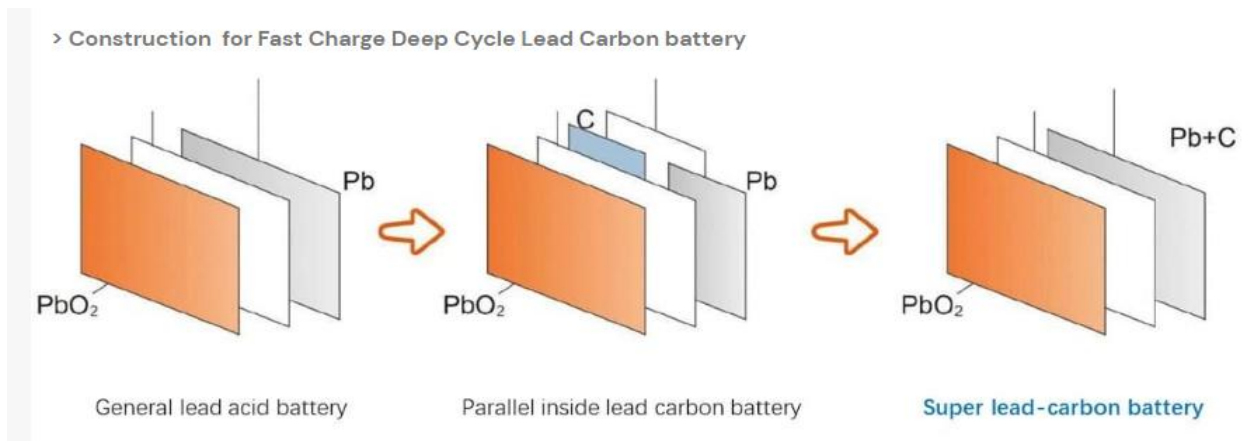
- შემცირდეს ტყვიის სულფატის დაგროვება უარყოფითი ელექტროდის ზედაპირებზე;

- მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდეს მუშაობის ვადას მაღალი სიჩქარის ნაწილობრივი დატენვის პირობებში;
- გაიზარდოს დატენვის მიმდებლობა;
- შეინარჩუნოს განმუხტვის ენერჯია.

Carbon Enhanced Lead-Acid Battery for HRPSoC Applications



ნახ. 3.



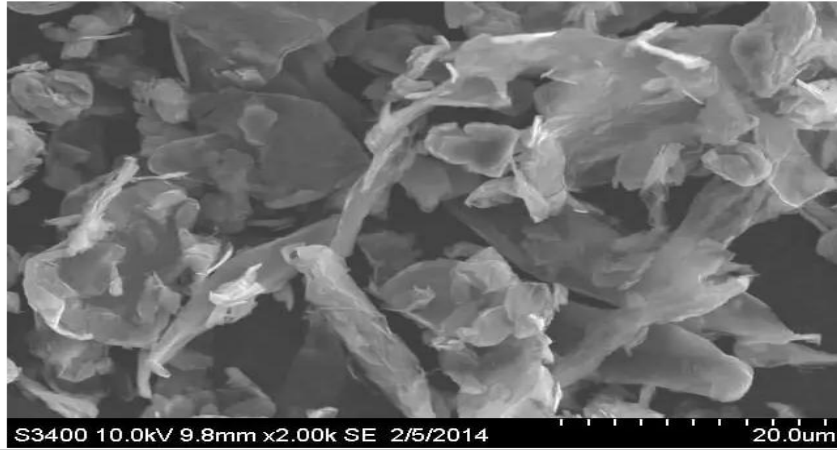
ნახ. 4.

თანამედროვე ტყვიის მჟავა (ტყვია-ნახშირბადის) ბატარეები - FormulaBT™ პროდუქტები, დამზადებული მაღალი სისუფთავის ბუნებრივი გრაფიტით ან გაფართოებული გრაფიტით, უზრუნველყოფს მრავალფეროვან სარგებელს ტყვია-ნახშირბადის ბატარეების წარმოებასა და შესრულებაში.

ციკლის ხანგრძლივობის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება მიიღწევა ტყვიის სულფატის დიდი კრისტალების ზრდის მნიშვნელოვანი შემცირებით უარყოფით ელექტროდის ზედაპირზე და ტყვიის სულფატის ერთგვაროვანი ფორმირების ხელშეწყობით მთელ უარყოფით ელექტროდში მაღალი სიჩქარის ნაწილობრივი დატენვის მდგომარეობის (HRPSoC) პირობებში.

ტყვიის მჟავა ბატარეის დატენვა შეუძლებელია კრიტიკულად განმუხტვის შემდეგ. დაადგინეს, რომ ზემოაღნიშნული გაუარესება გამოწვეულია α -PbO₂-ის წარმოქმნით კათოდ-

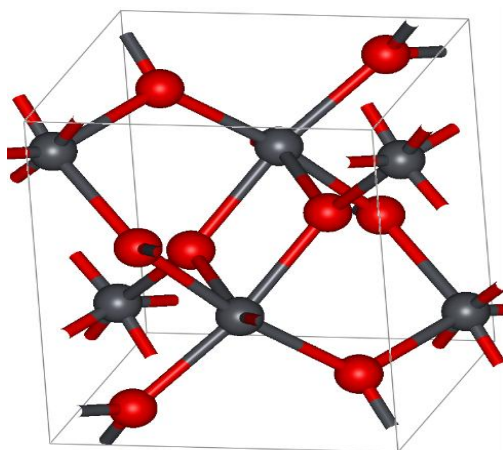
SEM of Expanded Graphite



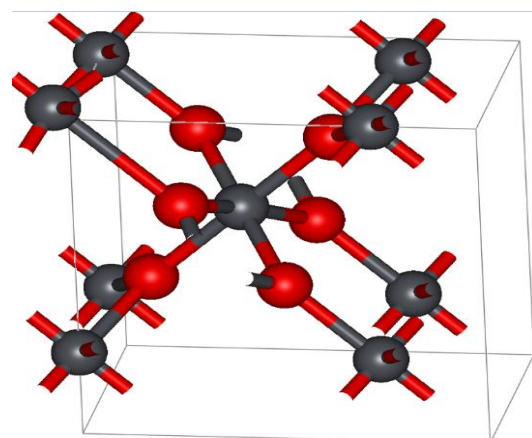
ნახ. 5. გაფართოებული ნახშირბადი

დური აქტიური მასალის β - PbO_2 ზედაპირზე, ადგილობრივი უჯრედის რეაქციით შემცირების გამო. მათ ასევე გამოავლინეს, რომ α - PbO_2 -ის წარმოქმნის პრევენცია შესაძლებელია ოქროს გამოყენებით, როგორც კათოდური დენის კოლექტორი. ამ შემთხვევაში, ტყვიის მჟავა ბატარეის დატენვა შესაძლებელია ზედმეტად განმუხტვის შემდეგაც. ოქრო ძვირია და არ არის შესაფერისი პრაქტიკული გამოყენებისთვის. გრაფიტის ფურცლები გამოიყენება შუასადებისთვის, მაღალი თბოგამტარობის, მაღალი ელექტროგამტარობის, ფიზიკური და ქიმიური მდგრადობის, სამუშაოუნარიანობის და ა.შ მისაღწევად.

α (ალფა)- PbO_2 და β (ბეტა)- PbO_2 არის ტყვიის დიოქსიდის ორი ალოტროპი, ხოლო β - PbO_2 აქვს ტეტრაგონალური რუტილის სტრუქტურა, რომელიც კომპაქტურია და აქვს უკეთესი გამტარობა, ვიდრე α - PbO_2 .



ნახ. 6. α - PbO_2 -ს კრისტალური სტრუქტურა

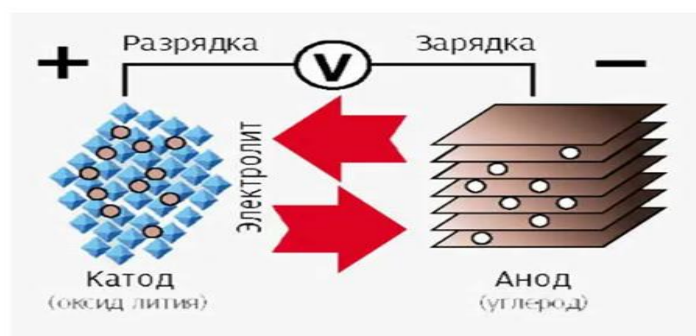


ნახ. 7. β - PbO_2 -ს კრისტალური სტრუქტურა

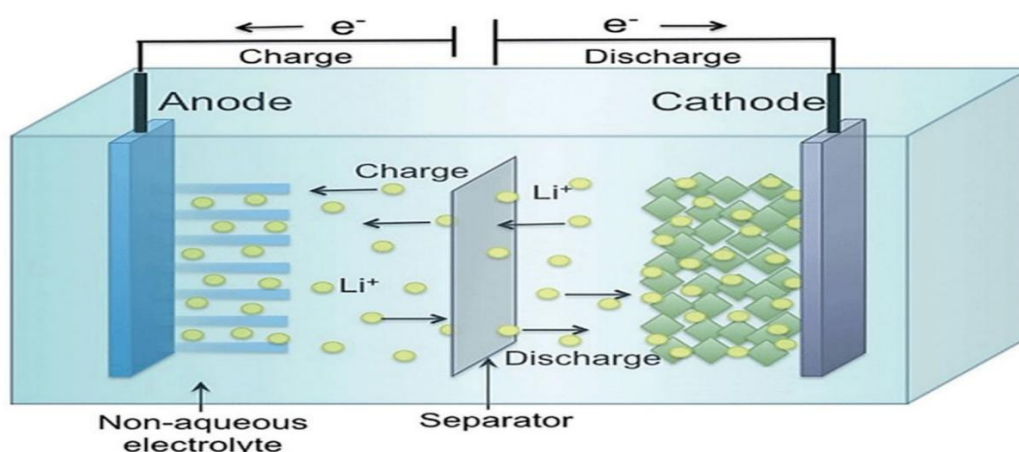
2. ლითიუმ იონის ბატარეა

ლითიუმის იონური ბატარეები მუშაობს ლითონებთან ასოცირებულ კონცეფციაზე, რომელსაც ეწოდება ელექტროქიმიური პოტენციალი. ელექტროქიმიური პოტენციალი არის ლითონის ტენდენცია დაკარგოს ელექტრონები. ლითიუმი არის ლითონი, რომელსაც აქვს ელექტრონების დაკარგვის ყველაზე მაღალი ტენდენცია და იგი გამოიყენება ლითიუმის იონურ უჯრედებში. მას აქვს მხოლოდ ერთი სავალენტო ელექტრონი თავის გარე ელექტრონულ შრეზე და მას სურს ყოველთვის დაკარგოს ეს ელექტრონი. ამ მიზეზის გამო, სუფთა ლითიუმი არის უადრესად რეაქტიული ლითონი და ის რეაგირებს წყალთან და ჰაერთანაც კი. ლითიუმი, მისი სუფთა სახით, არის რეაქტიული ლითონი, მაგრამ როდესაც ის ლითონის ოქსიდის ნაწილია, საკმაოდ სტაბილურია. ლითონის ოქსიდის გარდა, ლითიუმის ბატარეა ასევე იყენებს ელექტროლიტს და გრაფიტს. გრაფიტს აქვს ფენიანი სტრუქტურა. ეს ფენები თავისუფლად არის შემოსაზღვრული, რათა ადვილად შეინახოს მათში ლითიუმის იონები. ელექტროლიტი, რომელიც მდებარეობს გრაფიტსა და ლითონის ოქსიდს შორის, მოქმედებს როგორც დამცავი, რომელიც მხოლოდ ლითიუმის იონებს უშვებს (ელექტრონებს არ აქვთ გავლის უფლება). თუ ბატარეა მიერთებულია დენის წყაროსთან, დადებითი მხარე მიიზიდავს და ამოიღებს ელექტრონებს ლითონის ოქსიდის ლითიუმის ატომებიდან. ეს ელექტრონები მიედინება გარე წრეში, რადგან მათ არ შეუძლიათ ელექტროლიტის გავლა და მიაღწევენ გრაფიტის ფენას. ამასობაში დადებითად დამუხტული ლითიუმის იონები მიიზიდება უარყოფითი ტერმინალიდან და ისინი მიედინება ელექტროლიტის მეშვეობით და მიაღწევენ გრაფიტის სივრცეს. როდესაც ლითიუმის იონები მიაღწევენ გრაფიტის ფურცელს, ბატარეა სრულად იტენება. ამ გზით ჩვენ მივაღწიეთ პირველ მიზანს; ლითიუმის იონები და ელექტრონები, რომლებიც უნდა გამოეყოთ ლითონის ოქსიდისგან. მაგრამ ეს არასტაბილური მდგომარეობაა ანუ ბატარეა დატენილ მდგომარეობაშია. დავუშვათ, რომ დენის წყარო მოხსნილია და მოდებულია დატვირთვა; ლითიუმის იონებს სურთ დაუბრუნდნენ თავიანთ სტაბილურ მდგომარეობას, როგორც ლითონის ოქსიდის ნაწილი. ამ ტენდენციის გამო, ლითიუმის იონები მოძრაობენ ელექტროლიტის მეშვეობით, ხოლო ელექტრონები დატვირთვის წრედის გავლით. ასე ვიღებთ ელექტრულ დენს დატვირთვის მეშვეობით. ადვილი შესამჩნევია, რომ გრაფიტს არავითარი როლი არ აქვს ბატარეის ქიმიურ რეაქციაში. ეს მხოლოდ იონების შესანახი საშუალებაა. თუ ტემპერატურა მოიმატებს ზოგიერთი არანორმალური პირობების გამო, თხევადი ელექტროლიტი გაშრება, რაც გამოიწვევს მოკლე ჩართვას ანოდსა და კათოდს შორის და ამან შეიძლება გამოიწვიოს ხანძარი ან აფეთქება. ასეთი სიტუაციის თავიდან ასაცილებლად, ელექტროდებს შორის მოთავსებულია იზოლირებული ფენა, რომელსაც სეპარატორი ეწოდება. გამყოფი გამტარია იონებისთვის მისი მიკროფორიანობის გამო.

პრაქტიკულ უჯრედულ ბატარეაში გრაფიტი და ლითონის ოქსიდი დაფარულია სპილენძის და ალუმინის ფოლგაში. ფოლგა მოქმედებს როგორც დენის კოლექტორები და მათზე მიმაგრებულია დადებითი და უარყოფითი ჩანართები. ლითიუმის ორგანული მარილი მოქმედებს როგორც ელექტროლიტი და იგი დაფარულია გამყოფ ფურცელზე. ეს სამივე ფურცელი დახვეულია ცილინდრზე ცენტრალური ფოლადის ბირთვის გარშემო, რაც ბატარეის ელემენტს უფრო კომპაქტურს ხდის.



ნახ. 8. ლითიუმ-იონური ბატარეა



ნახ. 9. ლითიუმ-იონური ბატარეის (LiB) პრინციპი, რომელიც გვიჩვენებს ლითიუმ-იონების ინტერკალაციას (ყვითელი სფეროები) ანოდსა და კათოდის მატრიცებში დატენვისა და განმუხტვისას

კონტეინერიზებული ენერჯის შესანახი სისტემა არის შესანიშნავი გადაწყვეტა ფართომასშტაბიანი ენერჯის შენახვის პროექტებისთვის. ენერჯის შენახვა კონტეინერების გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა შენახვის ტექნოლოგიების ინტეგრირებისთვის და სხვადასხვა მიზნებისთვის.

5 მგვტ სიმძლავრის კონტეინერის ენერჯის დამაგროვებელი სისტემის მახასიათებლები:

1. ლითიუმის რკინა ფოსფატის ბატარეა, ენერჯის მაღალი სიმკვრივე, ხანგრძლივი ციკლის სიცოცხლე.

2. ბატარეის სისტემა იღებს სტანდარტიზებულ მოდულურ დიზაინს, რომელიც შეიძლება მოთხოვნის შესაბამისად გაფართოვდეს და მოსახერხებელი იყოს სისტემის მოვლისა და შეკეთებისთვის.

3. სითბოს კარგად გაფრქვევის მართვის სისტემა, ბატარეის ხანგრძლივობა და საიმედოობა გარანტირებულია.

4. ბატარეის პაკეტი იყენებს ეფექტურ შეერთების ტექნოლოგიას, რათა უზრუნველყოს ბატარეის მოდულის კვების კავშირის მაღალი საიმედოობა, დაბალი წინაღობა და მაღალი სტაბილურობა.

5. მაღალი სიმტკიცის სტრუქტურის დიზაინი ბატარეის სისტემის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად შორ მანძილზე ტრანსპორტირებისას და ექსტრემალურ პირობებში (როგორცაა მიწისძვრა).

6. ბატარეის გათანაბრების კონტროლის სისტემას შეუძლია ეფექტურად უზრუნველყოს ენერჯის შენახვის სისტემის ხელმისაწვდომი სიმძლავრე და მომსახურების ვადა.

7. მოწინავე ბატარეისა და სისტემის მონიტორინგის პროგრამას შეუძლია უზრუნველყოს ენერჯის შენახვის სისტემის ავტომატური მუშაობა.

8. კონტეინერების ენერჯის შესანახი სისტემა იყენებს ელექტრული კაბინეტის ორ რიგის განლაგების დიზაინს (სქემა უნდა განისაზღვროს), რაც მოსახერხებელია ყოველდღიური მოვლისა და მართვისთვის.

9. კონტეინერში შერჩეული ხანძარსაწინააღმდეგო სისტემა.

10. კონტეინერს აქვს საავარიო გასასვლელი კარი და საავარიო საკეტის დიზაინი. თერმული მართვის სისტემა იყენებს თხევადი გაგრილების ტექნოლოგიას (ჰაერის გაგრილება არჩევითია).

პროდუქტების აღწერა, მახასიათებლები:

1. ექსპლუატაციის ხანგრძლივი პერიოდი (≥ 6000 ციკლი), მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი (აღწევს 98%-ს), მაღალი უსაფრთხოების LFP ლითიუმ რკინის ფოსფატის უჯრედები.

2. შეცდომის და ოპერაციების ჟურნალის ჩაწერის სრული ფუნქცია, სისტემა.

3. ინფორმაციის შენახვის ვადა გრძელდება ერთი თვე.

4. მხარდაჭერა RS485 (სამრეწველო სპეციფიკაცია, რომელიც განსაზღვრავს ელექტრულ ინტერფეისს და ფიზიკურ ფენას ელექტრო მოწყობილობების ორწერტილოვან კომუნიკაციისთვის.), Ethernet კომუნიკაცია - სისტემა, რომელიც აკავშირებს კომპიუტერულ სისტემის ციფრებს ლოკალური ქსელის შესაქმნელად, პროტოკოლებით ინფორმაციის

გადაცემის კონტროლისა და ორი ან მეტი სისტემის გადაცემის სიმულაციის თავიდან ასაცილებლად.

5. ბატარეის დიზაინი UL1973 სტანდარტის მიხედვით (სტაციონარული, სატრანსპორტო საშუალებების დამხმარე სიმძლავრის და მსუბუქი ელექტრო სარკინიგზო აპლიკაციებში გამოყენების ბატარეების სტანდარტი, არის უსაფრთხოების სტანდარტი ენერჯის შენახვის სისტემებისთვის. იგი განსაზღვრავს დეტალურ მოთხოვნებს, რომლებსაც ESS ენერჯის დააგროვებელი სისტემების მწარმოებლები უნდა აკმაყოფილებდნენ უსაფრთხოების სერთიფიკატის მისაღებად).

სისტემის ფუნქციის დიაგრამა.

ეს მიკრო ქსელი ESS (ენერჯის შენახვის სისტემა) მოიცავს:

1. LiFePO₄ -ლითიუმ რკინა ფოსფატის ბატარეის სისტემა.
 2. PCS (ენერჯის გარდაქმნის სისტემა) ინვერტორი.
 3. HVAC (გათბობა, ვენტილაცია და კონდიციონირება) (1 კომპლექტი).
 4. ხანძარსაწინააღმდეგო, განათების სისტემა (1 კომპლექტი).
 5. ჭექა-ქუხილის საწინააღმდეგო მოწყობილობები, ცვლადი და მუდმივი დენის წყაროები, დამატებითი ნაწილები.
 6. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) System - სკადას სისტემა.
 7. ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი შექმნილია 40 ფუტის სტანდარტულ კონტეინერში.
- ლითიუმ იონის ბატარეის სისტემის (Li-ion battery system) და ენერჯის გარდაქმნის სისტემის PCS - power conversion system ერთობლიობა შეადგენს ენერჯის დამაგროვებელ სისტემას ESS – Energy storage system.

ლიტერატურა

1. 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. თბილისი.
3. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფირებადი ჟურნალი „ენერჯია“. №1(105)/2023. თბილისი.
4. https://www.energyforum.in/fileadmin/user_upload/india/media_elements/Photos_And_Gallery/20191213_15_Study_Tour_Puducherry/POWERGRID_BESS.pdf
5. https://www.researchgate.net/publication/261036010_Energy_Management_Systems
6. https://www.setec-power.com/what-is-a-battery-management-system-and-how-does-bms-work/?gclid=EAIaIQobChMIv7-Akdix_wIVw_3VCh0FzwYkEAAYAiAAEgLy7PD_BwE
7. <https://superiorgraphite.com/applications/lead-acid-batteries/>
8. https://csbattery.cn/products/fast-charge-deep-cycle-lead-carbon-battery/?gclid=EAIaIQobChMIo9XdoZe2_wIVo-jmChIqqAckEAAYASAAEgLC_fD_BwE
9. https://www.alibaba.com/product-detail/Customized-Bess-Energy-1Mwh-2Mwh-3Mwh_1600863260104.html?spm=a2700.7735675.0.0.1485BxaIBxaIne&s=p

A BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM THAT AIMS TO MAKE THE ENERGY SECTOR MORE AFFORDABLE, MORE CLIMATE AND ENVIRONMENTALLY EFFICIENT AND COMPETITIVE, SAFER AND MORE SUSTAINABLE.

T.Museliani, B.Jintchveleishvili.

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 24-36. geo. sum geo. engl. rus.

Combating climate change is effective through better understanding of its causes, evolution, risks, impacts and opportunities. A battery energy storage system that will be able to supply energy to the customer will also be able to store energy that comes with a certificate of origin, or electronic document, that confirms that the share of electricity supplied to the customer is derived from renewable sources.

III. 9, bibl. 9.

АККУМУЛЯТОРНАЯ СИСТЕМА ХРАНИЛИЩА ЭНЕРГИИ, ПРИЗВАННАЯ СДЕЛАТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР БОЛЕЕ ДОСТУПНЫМ, БОЛЕЕ КЛИМАТИЧЕСКИМ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫМ, А ТАКЖЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫМ, БЕЗОПАСНЫМ И УСТОЙЧИВЫМ.

T.Муселиани, Б.Джинчвелешивили.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 24-36. груз. реф. англ., рус.

Борьба с изменением климата эффективна благодаря лучшему пониманию его причин, эволюции, рисков, последствий и возможностей. Аккумуляторная система хранения энергии, которая сможет поставлять энергию потребителю, также сможет хранить энергию, которая поставляется с сертификатом происхождения или электронным документом, подтверждающим, что доля электроэнергии, поставляемой потребителю, получена из возобновляемых источников.

Илл. 9, лит. 9 назв.

აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურ ამძრავიანი
პულსაციური ტუმბო

ევბინე მაჭავარიანი - დოქტორი

E-mail: ev.machavariani@gtu.ge

ირაკლი შეყრილაძე - დოქტორი

E-mail: i.shekriladze@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. აღწერილია დაბალპოტენციურ სითბოზე მომუშავე აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურამძრავიანი პულსაციური ტუმბოს (თბტ) დამუშავების არსებული მდგომარეობა და შემდგომი განვითარების პერსპექტივა. თბტ კლასიკური მემბრანული ტუმბოსგან იმით განსხვავდება, რომ მემბრანას ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებებით გადაადგილებს არა მექანიკური ამძრავი, არამედ უმარტივესი თბური ამძრავი, რომელიც მუშაობს აორთქლება-კონდენსაციის ურთიერთმონაცვლეობით მიმდინარე პროცესებით. ამაორთქლებელზე მუშა სითხე ორთქლდება (თბება ზემოდან ქვევით მიმართული კაპილარული ზედაპირით), ბერავს მემბრანას, რომელიც გადაადგილებს ტუმბოში არსებულ წყალს და შემდეგ კონდენსირდება (მემბრანა ცივდება ქვემოდან ამოტუმბული წყლით), რაც იწვევს გაბერილი მემბრანის შიგა მოცულობის შემცირებას, ანუ მემბრანის გადაადგილებას ისევ ამაორთქლებლისაკენ და ტუმბოში ახალი წყლის შეწოვას. როდესაც ამგვარი ტუმბო ინტეგრირებულია მზის ბრტყელ ფირფიტთან კოლექტორთან, მას შეუძლია წყლის ამოტუმბვა ჭიდან, მზის კოლექტორში გატარება გასათბობად და მაღალნიშნულზე მდებარე ცხელი წყლის ავზში გადატანა. ადრეულ წლებში დამუშავდა ამგვარი ტუმბოს ოთხი პროტოტიპი, რომელთა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევამ დაადასტურა თბტ-ს პრაქტიკული გამოყენების მიზანშეწონილობა.

განხილულია თბტ-ს სითბურ ამძრავში მიმდინარე თერმოდინამიკური ციკლი და მისი ეფექტურობა შედარებულია იმავე ტემპერატურულ ინტერვალში მომუშავე კარნოს ციკლის თერმიულ ეფექტურობასთან. დასაბუთებულია, რომ გარკვეული მოდერნიზაციის შემდეგ აღწერილი ორთქლის მანქანის პრაქტიკული გამოყენება საკმაოდ მომგებიანი გახდება.

საკვანძო სიტყვები: თბურამძრავიანი პულსაციური ტუმბო, ამაორთქლებელი, კონდენსატორი, თერმოდინამიკური ციკლი, პულსირებადი მემბრანა.

შესავალი

წყლის გადატუმბვის ამოცანების გადაწყვეტა მზის ენერჯის პრაქტიკული გამოყენების ერთერთ მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს [1-4]. სხვა აქტუალურ საკითხებთან ერთად განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს წყლის ცირკულაციის უზრუნველყოფა მზის ბრტყელ კოლექტორებიან წყალგამაცხელებელ სისტემებში [5,6]. ცხელი წყლით მომარაგების ამგვარ სისტემებში პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია მათში თბურამძრავიანი, პულსირებულად გადაადგილებადი მემბრანით მოქმედი ტუმბოს [7-9] ინტეგრაციის გზით. დაბალ ტემპერატურაზე აორთქლებადი მუშა სხეულის (სპეციალურად შერჩეული სითხის) ურთიერთ მონაცვლეობით მიმდინარე აორთქლებისა და კონდენსაციის

(გაბერვა და დაპატარავება). გაბერვისას მემბრანის შიგა მოცულობა (4) მთლიანად მუშა სითხის ორთქლითაა სავსე. მემბრანის გაბერვა იწვევს მოცულობის (5) შემცირებას, რის გამოც წყლის გარკვეული რაოდენობა გამოიდევენება ტუმბოდან დამჭირხნი სარქველის (7) გავლით. გაბერილი მემბრანის შიდა ზედაპირზე იწყება მუშა სითხის ორთქლის კონდენსაცია, მემბრანა ნელნელა იკუმშება და მისი შიდა სივრცის ფსკერზე წარმოიქმნება მუშა სითხის კონდენსატი. მემბრანის კუმშვისას ტუმბოს მოცულობაში სარქველიდან (6) ხდება წყლის ახალი ულუფის შეწოვა. კონდენსაციის პროცესის ბოლოს მემბრანის მოცულობის შიგნით მყოფი მუშა სითხის კონდენსატს მემბრანა დააჯახებს ამორთქლებლის ფოროვან ზედაპირს, რომელიც მთლიანად შეივსება და შემდეგ მოხდება აორთქლება, ანუ პროცესი მეორდება.

სარქველის (7) გავლით გადატუმბული წყალი გაივლის წყალგამაცხელებელ ბრტყელ ჰელიოკოლექტორს (8) და ტუმბოს ამორთქლებლის (9) გავლით მიემართება ცხელი წყლის ავზში (10). მუშა სითხის კონდენსაციის პროცესში დრეკად მემბრანაზე დაგროვილი კონდენსატი შეეხება რა ამორთქლებლის ფოროვანი ზედაპირზე არსებული ფორების ქვედა უბნებს, აცივებს მათ და დრეკადი მემბრანის მიერ განხორციელებული მიწოლის ძალით მთლიანად ავსებს არსებულ ფორებს. ამასობაში, ამორთქლებელი ხუფის მაღალი თბოგამტარობის უნარის მქონე მასალა (სპილენძი, ან ალუმინი) ასწრებს მუშა სითხის ასორთქლებლად აუცილებელი სითხოს რაოდენობის გატარებას და ფორებში არსებული მუშა სითხე პრაქტიკულად იმპულსურად ორთქლდება. ცხადია, რომ ამას მოსდევს წყლის ახალი ულუფის გადატუმბვა, ანუ პროცესი მეორდება.

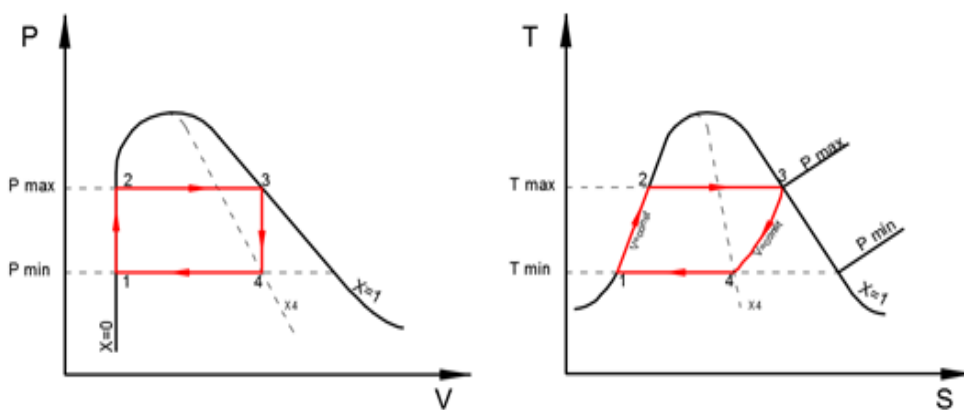
საყურადღებოა, რომ მუშა სითხის აორთქლებისა და შედეგად დრეკადი მემბრანის გაბერვის დასაწყისშივე, დრეკადი მემბრანის შიდა ზედაპირზე უკვე იწყება მუშა სითხის ორთქლის ნაწილობრივი კონდენსაცია, მაგრამ მემბრანა მაინც იბერება ვინაიდან აორთქლების ინტენსიურობა უფრო მაღალია და საკონდენსაციო ზედაპირი კი ჯერ ბოლომდე არ გაზრდილა. ფორებში არსებული მუშა სითხის სრული აორთქლების შემდეგ, როდესაც მემბრანის გაბერვა, ანუ საკონდენსაციო ზედაპირის სიდიდე მაქსიმალურია, იწყება ორთქლის ინტენსიური კონდენსაცია, გაბერილი მემბრანის მოცულობა სწრაფად კლებულობს და ტუმბოს მოცულობაში ხდება წყლის ახალი ულუფის შეწოვა.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ორთქლის მანქანის თერმოდინამიკური ციკლი ფაქტობრივად ერთ სამუშაო არეს ფარგლებში სრულდება. ეს კი ზედმიწევნით მარტივი და იაფი ორთქლის ძრავიანი ტუმბოს დამუშავების შესაძლებლობას იძლევა. ამ მიზნით ჩვენ მიერ ჩატარდა მუშა სხეულის აორთქლება კონდენსაციის ურთიერთ მონაცვლეობითი პროცესებით მოქმედი თბური მანქანის თერმოდინამიკური ციკლის ანალიზი, რომელიც ქვემოთაა წარმოდგენილი.

მონაცვლეობით მუშა სხეულის დარტყმით დუდილზე (აორთქლებაზე) და კონდენსაციაზე მომუშავე იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი

გავანალიზოთ, თუ რა სახე ექნება თერმოდინამიკულ ციკლს, რომლის განმავლობაში მუშა სხეულის ერთი და იგივე რაოდენობა განიცდის აორთქლებისა და კონდენსაციის ურთიერთ მონაცვლეობით მიმდინარე პროცესებს. ამასთან გავითვალისწინოთ ის ფიზიკური პროცესები, რომლებიც ხდება ჩვენ მიერ აღწერილი ტუმბოს დრეკადი მემბრანის ორივე მხარეს, როგორც აორთქლებისა და მემბრანის გაბერვისას, ასევე კონდენსაციისა და მემბრანის შეკუმშვის პროცესებში.

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილ PV და TS დიაგრამებზე მოცემულია მუშა სხეულის აორთქლება კონდენსაციით მომუშავე ორთქლის მანქანის იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი.



ნახ. 2. ორთქლის მანქანის მიერ ტენიანი ნაჯერი ორთქლის არეში განხორციელებული იდეალური თერმოდინამიკური ციკლი PV და TS დიაგრამებზე

ორივე დიაგრამაზე წერტილი 1 შეესაბამება დრეკად მემბრანაზე არსებული მუშა სითხის კონდენსატის შეჯახებას ამორთქლებლის (პოზიცია 1 ნახ. 1-ზე) ქვედა ზედაპირთან. ამ ზედაპირზე არსებული კაპილარული სტრუქტურა შეიწავს მუშა სითხეს (კონდენსატს) და უზრუნველყოფს წნევის მატებას მოცემული კაპილარული სტრუქტურისათვის დამახასიათებელი სიდიდით (დიაგრამაზე P_{max} -მდე). კაპილარული სისტემის შევსების პარალელურად ფორებში შესული კონდენსატი თბება ამორთქლებლის თავზე გამდინარე შემთბარი წყლის სითხოს და თვით ამორთქლებლის მასალის კარგი თბოგამტარობის ხარჯზე. ამრიგად, პრაქტიკულად ერთდროულად ხდება როგორც წნევის მატება, ასევე ტემპერატურის მატება, ანუ სრულდება თითქმის იზოქორული პროცესი 1-2.

მუშა სითხის ტემპერატურა მატულობს კაპილარული სტრუქტურის მიერ უზრუნველყოფილი წნევის, P_{max} -ის შესაბამის დუდილის ტემპერატურამდე, რის შემდეგაც ხდება კაპილარულ სტრუქტურაში არსებული მუშა სითხის ერთგვარი დარტყმითი დუდილი (აორთქლება) და მემბრანა იბერება მუშა სითხის ორთქლით. ანუ სრულდება პროცესი 2-3.

მემბრანის გაბერვას, რასაკვირველია, მოსდევს ტუმბოს მოცულობაში არსებული წყლის გადატუმბვა.

ამის შემდეგ მემბრანის გაზრდილ შიდა ზედაპირზე იწყება მუშა სითხის ორთქლის კონდენსაცია, რაც იწვევს წნევის ვარდნას P_{min} -მდე (პროცესი 3-4). კონდენსაციის სითხის იღებს მემბრანის დაპატარავებით მიზეზით ტუმბოს მოცულობაში ახლად შემოწოვილი გადასატუმბი და ფაქტობრივად ცივი წყალი. კონდენსატი კი გროვდება ელასტიკური მემბრანის ზედა ზედაპირზე და მუშა სითხის ორთქლის სრული კონდენსაციის შემდეგ კვლავ შეეხება ამორთქლებლის კაპილარულ სტრუქტურას (პროცესი 4-1), რის შემდეგაც ციკლი მეორდება.

განხილული ციკლის თერმიულ მ.ქ.კ.-ს ვიანგარიშობთ ფორმულით -

$$\eta_t = 1 - \frac{X_4 (i''_{Pmin} - i'_{Pmin})}{i''_{Pmax} - i'_{Pmin}} \quad (1)$$

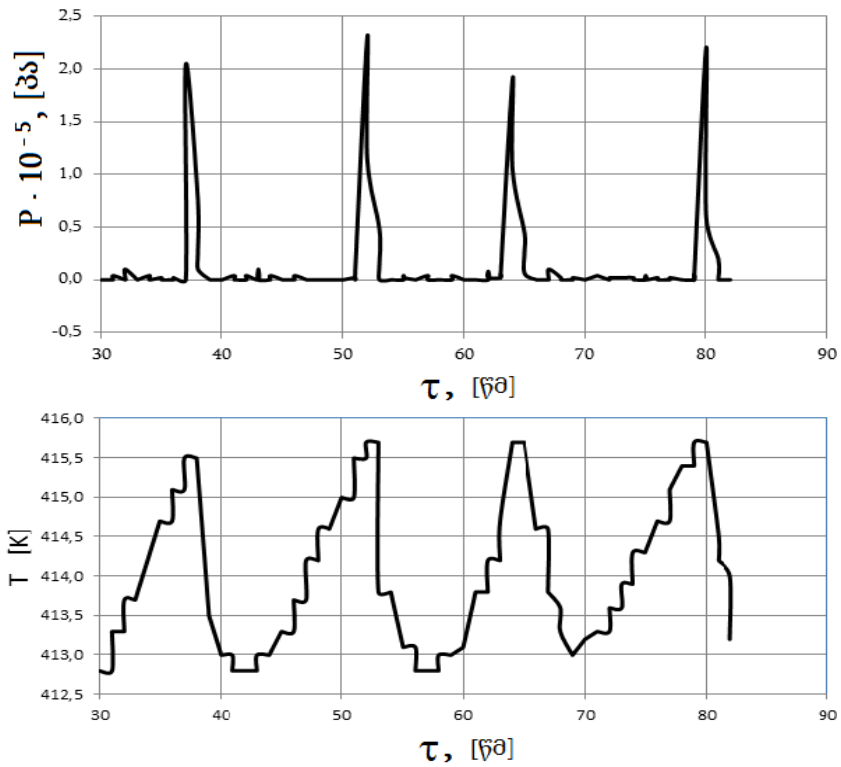
სადაც X_4 - ორთქლის სიმშრალის ხარისხია წერტილში 4, ხოლო i წარმოადგენს სითბომცველობას შესაბამის წნევებზე სითხისა (აღნიშნულია ერთი შტრიხით (')) და მშრალი ნაჯერი ორთქლისათვის (აღნიშნულია ორი შტრიხით ('')).

მუშა სითხის ორთქლის სიმშრალის ხარისხის (X_4) შესაფასებლად და სითბომცველობების დასადგენად ვსარგებლობდით მუშა სითხის (აცეტონი, მეთილის სპირტი) თერმოდინამიკური პარამეტრების ცხრილებით და ტუმბოს მოცულობაში არსებული წნევისა და ტუმბოს ამორთქლებელი ხუფის (პოზიცია 1, ნახ. 1) ტემპერატურის მნიშვნელობათა ავტომატური ჩანაწერებით, რაც ხორციელდებოდა სპეციალური გადამწოდების და თვითმწერი მოწყობილობის მეშვეობით.

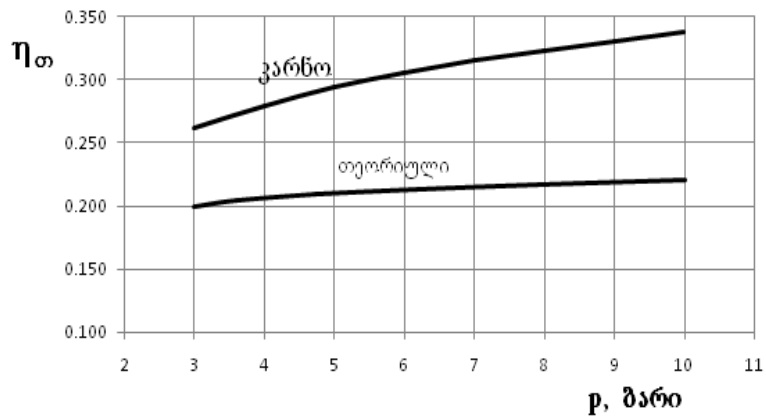
აღსანიშნავია, თვითმწერი მოწყობილობა უზრუნველყოფდა წნევისა და ტემპერატურის გაზომვას 10 წამში დაახლოებით 16-ჯერ და გაზომვების შედეგებს იმახსოვრებდა კომპიუტერის გარე მეხსიერებაში, რაც ძალზე ამარტივებდა მონაცემების დამუშავებას როგორც ცხრილების, ისე გრაფიკული ილუსტრაციების სახით (იხ. ნახ. 3).

ფორმულით (1) გაანგარიშებული შედეგები მოყვანილია ნახ. 4-ზე. აქვე შედარებისათვის მოყვანილია იმავე ტემპერატურულ დიაპაზონში მომუშავე კარნოს ციკლის თმქკ.-ს მნიშვნელობები.

ნახ. 4-ზე წარმოდგენილი გრაფიკიდან ნათლად ჩანს, რომ ჩვენ მიერ განხილული თბურ ამძრავიანი ტუმბოს თბური ამძრავის თერმიული მ.ქ.კ. გაანგარიშებათა ჩატარებულ დიაპაზონში იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში შესრულებული კარნოს ციკლის თერმიული მ.ქ.კ.-ს დაახლოებით 65÷75 %-ს შეადგენს, რაც, ჩვენი აზრით, მნიშვნელოვანია, რადგან პრაქტიკაში ფართოდ დანერგილი თბური ძრავების თერმიული მ.ქ.კ., როგორც წესი, იმავე ტემპერატურულ ფარგლებში შესრულებული კარნოს ციკლის თერმიული მ.ქ.კ.-ს მხოლოდ 50 ÷ 55 %-ს შეადგენს.



ნახ. 3. ტუმბოს კამერაში არსებული წნევისა და ამ აორთქლებლის ტემპერატურის მნიშვნელობათა ავტომატური ჩანაწერები



ნახ. 4. მუშა სხეულის აორთქლება-კონდენსაციით მომუშავე თბური მანქანის თმქ-ს თეორიული მნიშვნელობების შედარება იმავე ტემპერატურულ ინტერვალში მომუშავე კარნოს ციკლის თმქ-სთან

დასკვნა

ჩატარებულმა ანალიზმა ცხადჰყო, რომ არსებული ორთქლის მანქანების თმქ-ს რეალური მნიშვნელობები შესაბამის კარნოს ციკლის თმქ-ს სიდიდის დაახლოებით მესამედს შეადგენენ. ჩვენ მიერ დამზადებული აღწერილი ტიპის მანქანის თერმიულმა მქ-მ კი - შესაბამისი კარნოს ციკლის თერმიული მქ-ს სიდიდის ნახევარს გადააჭარბა. ეს გვაძლევს საფუძველს დავასკვნათ, რომ გარკვეული მოდერნიზაციის შემდეგ კიდევ უფრო მაღალი შედეგის მიღებაა მოსალოდნელი, რის შემდეგაც აღწერილი ორთქლის მანქანის პრაქტიკული გამოყენება ჩვენ მიგვაჩნია, რომ საკმაოდ მომგებიანი გახდება.

ლიტერატურა

1. Gopal C., Mohanraj M., Chandramohan P., Chandrasekar P. "Renewable Energy Source Water Pumping Systems—A Literature Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2. 2013.
2. Shukla R., Sumathy K., Erickson Ph., Gong, J. "Recent Advances in the Solar Water Heating Systems: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19. 2013.
3. Delgado-Torres A.M. "Solar thermal heat engines for water pumping: An update, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*," 13. 2009.
4. Wong Y.W., Sumathy K. "Solar thermal water pumping: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3. 1999.
5. Kalogirou S.A. "Solar Thermal Collectors and Applications," *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3). 2004.
6. Rojas D., Beermann J., Klein S.A., Reindl D.T. "Thermal Performance Testing of Flat-Plate Collectors," *Solar Energy*, 82(8). 2008.
7. Shekriladze I.G., Machavariani E.S., Rusishvili J.G., El-Negiri E., Shekriladze D.I. "Solar Powered Membrane Pump on the Basis of Pulsating Heat Pipe," *Proc. of 9th Int. Heat Pipe Conf.*, vol.2. 1995.
8. Shekriladze I.G., Machavariani E.S., Rusishvili D.G., Shekriladze D.I., Goncharov K.A., Tarabrin A.N. "Solar powered water pumping system on the basis of LHP and TPMP," *Proc. of 5th Int. Heat Pipe Symp.* 1997.
9. Shekriladze I.G., Machavariani E.S., Gigineishvili G.I., Rusishvili J.G., Shekriladze D.I. "Flat-Plate Collector with Solar-Powered Pump and Problem of Boiling on Downward-Facing Surface," *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*. 4(4). 2009.

WATER PUMP POWERED BY AN EVAPORATIVE-CONDENSING HEAT ENGINE.

E. Machavariani, I. Shekriladze.

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 37-44. geo. sum geo. engl. rus.

The paper describes the current state of development of the low-potential heat-driven pulse pump (HDPP) and the prospects for further development. HDPP differs from the classical membrane pump in that the membrane is moved in opposite directions not by a mechanical drive, but by the simplest thermal drive, which works by alternating evaporation-condensation processes. The working liquid evaporates on the evaporator (heated by the capillary surface directed from top to bottom) and the steam inflates the membrane, which displaces water from the pump. Then the steam condenses (the membrane is cooled by water supplied from below), which causes a decrease in the internal volume of the inflated membrane, that is, the membrane moves back to the evaporator and, as a result, fresh water is sucked into the pump. When such a pump is integrated with a flat plate solar collector, it can pump water from a well, pass it through the solar collector for heating, and pump it to a hot water tank at a high point. In the early years, four prototypes of such pulsating pumps were developed, the experimental investigation of which confirmed the expediency of PP in practical use.

The thermodynamic cycle in the heat engine of such a pump is discussed and its efficiency is compared with the thermal efficiency of the Carnot cycle operating in the same temperature range. It is reasoned that after some modernization, the practical use of the described steam engine driven PP will be quite profitable.

Ill. 4, bibl.9.

ПУЛЬСИРУЮЩИЙ НАСОС С ТЕПЛОВЫМ ПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ-КОНДЕНСАЦИИ.

E. Machavariani, I. Shekriladze.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 37-44. груз. реф. англ., рус.

Рассмотрено современное состояние разработки теплоприводного пульсационного насоса (ТППН), основанного на поочередно проводимых процессах испарения и конденсации низкокипящей рабочей жидкости и перспективы дальнейшего усовершенствования. ТППН отличается от классического мембранного насоса тем, что мембрана перемещается в противоположных направлениях не механическим приводом, а простейшим тепловым приводом, работающим за счет чередующихся процессов испарения-конденсации. Рабочая жидкость на испарителе испаряется (нагревается капиллярной поверхностью, направленной сверху вниз), раздувает мембрану, вытесняющую воду из насоса, а затем конденсируется (мембрана охлаждается подаваемой снизу водой). Это уменьшает объем раздутой мембраны, т.е. движется обратно к испарителю, а свежая вода всасывается в объем насоса.

Когда такой насос интегрирован с плоским солнечным коллектором, он может качать воду из скважины, пропускать ее через солнечный коллектор для нагрева и перекачивать в резервуар для горячей воды, расположенный на более высоком уровне. Ранее было разработано четыре прототипа такого насоса, экспериментальное исследование которых подтвердило возможность практического использования ТППН.

Обсуждается также термодинамический цикл, реализованный в ТППН, а его термический КПД сравнивается с теоретическим КПД цикла Карно, работающего в том же диапазоне температур. Аргументировано, что после некоторой модернизации практическое использование описываемой паровой машины станет вполне рентабельным.

Илл. 4, лит. 9 назв.

აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებით მომუშავე თბურ ამბრავიანი ტუმბოს ახალი მოდიფიკაცია ორსიჩქარიანი კონდენსაციით

ევტინე მაჭავარიანი - დოქტორი

E-mail: ev.machavariani@gtu.ge

ირაკლი შეკრილაძე - დოქტორი

E-mail: i.shekriladze@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. აღწერილია დაბალპოტენციურ სითბოზე მომუშავე აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურამბრავიანი პულსაციური ტუმბოს (თბტ) ახალი კონსტრუქციული მოდიფიკაცია, რომელშიც მუშა სითხის აორთქლების პროცესის განმავლობაში ამ ორთქლის კონდენსაციის პროცესი შენელებულია და აორთქლების დამთავრების შემდეგ კი - დაჩქარებული. აღწერილია თბტ-ს კონსტრუქციის ახალი მოდიფიკაცია და მისი მუშაობის პროცესი.

გაანალიზებულია თბტ-ს სითბურ ამბრავში მიმდინარე თერმოდინამიკური ციკლი და ნაჩვენებია, რომ თბტ-ს ეფექტურობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მუშა სხეულის აორთქლების ბოლოს მიღებული ორთქლის სიმშრალის ხარისხის სიდიდეზე. ამ უკანასკნელის გასაზრდელად დამუშავებულია და შექმნილია თბტ-ს ახალი კონსტრუქცია - №4 პროტოტიპი, რომელშიც განხორციელებულია მუშა სითხის ორთქლის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმი.

ნაჩვენებია, რომ №4 პროტოტიპში განხორციელებულმა კონდენსაციის ორსიჩქარიანმა რეჟიმმა თბტ-ს ეფექტურობა თითქმის სამჯერ გაზარდა და იმავდროულად მკვეთრად გაიზარდა ტუმბოს ხვედრითი სიმძლავრე.

საკვანძო სიტყვები: ორთქლის ძრავა-ტუმბო, ამაორთქლებელი, კონდენსატორი, თერმოდინამიკური ციკლი, პულსირებული მემბრანა.

შესავალი

ცნობილია, რომ თანამედროვე წყალგამაცხელებელ სისტემების მზის ენერჯის გამოყენებაზე დაფუძნება მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური და ეკონომიკური უპირატესობით ხასიათდება [1-3]. ამასთან სავსებით ცხადია, რომ მზის ენერჯიაზე მომუშავე წყალსაქაჩი ტუმბოების გამოყენება წყალმომარაგებისათვის ეკონომიკურად ეფექტური და საიმედოა ისეთ სიტუაციებში, სადაც: წყლის რესურსები გაფანტულია დიდ მანძილებზე, ელექტროგადამცემი ხაზები ან არ არსებობს, ან არასაკმარისია და დანახარჯები საწვავსა და ტექნიკურ მომსახურებაზე მაღალია. იმ რაიონებისათვის, რომლებიც საკმაოდ დამორებულია და შეზღუდულია მისაწვდომობა ელექტროგადამცემ ხაზებთან, მზის ენერჯიაზე მომუშავე ტუმბოები საუკეთესო ვარიანტია.

მზის ენერჯიაზე მომუშავე ტუმბოებს შეუძლიათ იმუშაონ მრავალ ადგილზე და

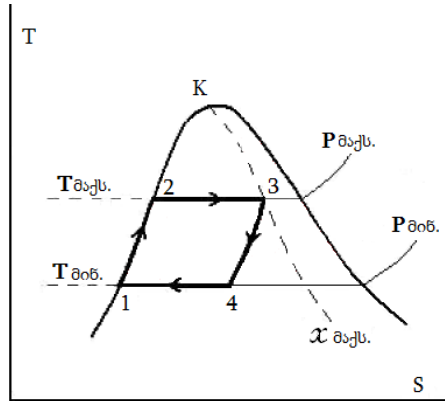
სრული სიმძლავრით, როდესაც ეს ყველაზე უფრო საჭიროა - ცხელი, მზიანი დღეების დროს. ზომიერი კლიმატის რეგიონებში ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნან მთელი წლის განმავლობაში, რაც განსაკუთრებით სასარგებლო შეიძლება იყოს სასმელი წყლით მომარაგების, საძოვრების და სხვა სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ობიექტების წყალმომარაგების სისტემებში. მრავალი ადგილისათვის მზის ენერგიაზე მომუშავე ტუმბოების გამოყენება ხშირად საუკეთესო ვარიანტია დანახარჯებისა და მუშახელის შესამცირებლად.

ჩვენ მიერ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ადრეულ წლებში დამუშავებულია წყალსაქაჩი ტუმბოს ისეთი ვარიანტი, რომელშიც ტუმბოს ამძრავის როლს ასრულებს არა ელექტრომოდული, არამედ თბური ძრავი, რომლის მუშაობა დაბალ ტემპერატურაზე მადულარი მუშა სითხის აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზეა დაფუძნებული [4] და რომელსაც თბურამძრავიანი პულსაციური ტუმბო (თპტ) დავარჯვით. სხვადასხვა წლებში შეიქმნა ამგვარი ტუმბოს სამი სხვადასხვა კონსტრუქციული პროტოტიპი [4-6], რომელთა ექსპერიმენტულმა გამოკვლევამ დაგვარწმუნა მუშა სხეულის აორთქლებისა და კონდენსაციის პროცესების ოპტიმიზაციის აუცილებლობაში. ამის შემდეგ მიზნად დასახული იქნა აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებით მომუშავე თბურ ამძრავიანი ტუმბოში მიმდინარე პროცესების საფუძვლიანი გაანალიზება, რის შედეგადაც შესაძლებელი გახდებოდა ტუმბოს ახალი მოდიფიკაციის შექმნა.

აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებით მომუშავე თბურ ამძრავიანი ტუმბოში მიმდინარე თერმოდინამიკური ციკლისა და პროცესების ანალიზი

ჩვენ მიერ შემუშავებული თპტ წყლის გადაქაჩვას, ანუ მუშაობას ასრულებს მუშა სითხის აორთქლების პროცესში, ანუ მაშინ, როდესაც წარმოქმნილი ორთქლი ბერავს დრეკად მემბრანას, რის შედეგადაც ტუმბოს კორპუსში არსებული წყალი გადაიქაჩება დამჭირხნი სარქველის გავლით. შემდეგ მუშა სითხის ორთქლი კონდენსირდება მემბრანაზე და კონდენსაციის სითბო მიაქვს მემბრანის მეორე მხარეს არსებულ, გადასატუმბ ცივ წყალს. რა თქმა უნდა, რომ მუშა სითხის ორთქლის კონდენსაცია იწყება აორთქლების დასაწყისშივე, რადგან მემბრანის მეორე ზედაპირს შეხება აქვს ცივ წყალთან. ამიტომ აორთქლების პროცესის დასასრულს ორთქლის გარკვეული ნაწილი უკვე კონდენსირებულია. ცხადია, რომ ამ მიზეზით მემბრანის გაბერვის სიჩქარე და მიღწეული მაქსიმალური მოცულობა მცირდება. ასევე ცხადია, რომ ამ მიზეზით მცირდება ტუმბოს წარმადობა.

განვიხილოთ თპტ-ს თბური ამძრავის თერმოდინამიკური ციკლი, რომელიც ნახ. 1-ზეა წარმოდგენილი.



ნახ. 1. თბტ-ს გამარტივებული თერმოდინამიკური ციკლი T-S კოორდინატებში:
 1 - 2 – იზოქორული შეკუმშვა კაპილარული ძალებით და სითბოს მიწოდების თანხლებით;
 2 - 3 – იზობარულ-იზოთერმული გაფართოება (აორთქლება) სითბოს მიწოდებით $T_{\text{მაქს.}}$ და $P_{\text{მაქს.}}$ პირობებში; 3 - 4 – იზოქორული შეკუმშვა სითბოს გადაცემით; 4 - 1 - იზობარულ-იზოთერმული შეკუმშვა (სრული კონდენსაცია) $T_{\text{მინ.}}$ და $P_{\text{მინ.}}$ პირობებში; ; $X_{\text{მაქს.}}$ – მუშა სითბის ორთქლის სიმშრალის მაქსიმალური ხარისხი

განხილული ციკლის თერმიულ მ.ქ.კ.-ს როგორც წესი ვანგარიშობთ ფორმულით [4]:

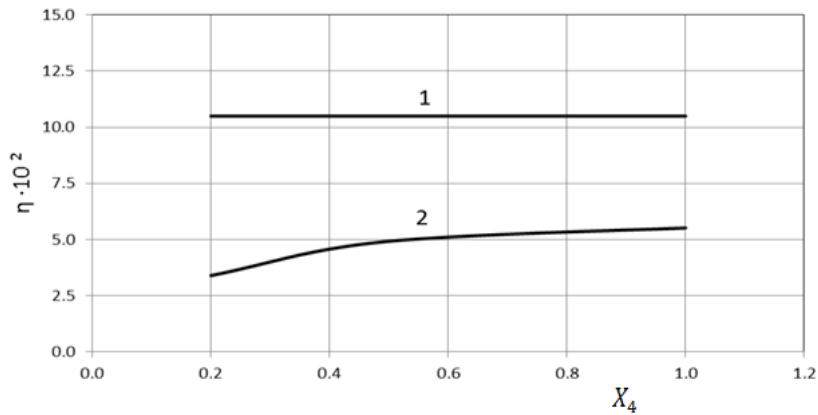
$$\eta_t = 1 - \frac{X_4 (i'_{pmin} - i'_{pmin})}{i''_{pmax} - i'_{pmin}} \quad (1)$$

სადაც X_4 - ორთქლის სიმშრალის ხარისხი წერტილში 4, ხოლო i წარმოადგენს მუშა სითბის სითბომემცველობას შესაბამის წნევებზე (აღნიშნულია ერთი შტრიხით (')) და მშრალი ნაჯერი ორთქლისათვის (აღნიშნულია ორი შტრიხით ('')).

როგორც ფორმულიდან (1) ჩანს, ერთ რომელიმე წნევაზე და შესაბამის ნაჯერობის ტემპერატურაზე მომუშავე ამგვარი თბური მანქანის თერმიული მ. ქ. კ. დამოკიდებულია მუშა სითბის ორთქლის სიმშრალის ხარისხზე X_4 წერტილში 4. ნახ. 1-ზე წარმოდგენილი დიაგრამიდან კი ჩანს, რომ X_4 -ის მნიშვნელობა დამოკიდებულია წერტილი 3-ის მდებარეობაზე, ანუ იმ მაქსიმალურ სიმშრალის ხარისხზე, რომელსაც აღწევს მუშა სითბის ორთქლი აორთქლების პროცესის ბოლოს. ამ მოსაზრების დადასტურებისათვის ჩვენ მიერ ჩატარებულია შესაბამისი გამოთვლები, რომელთა შედეგი ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე წარმოდგენილ დიაგრამაზე.

აქედან გამომდინარე, სასურველია, რომ აორთქლების პროცესის განმავლობაში მუშა სითბის რაც შეიძლება ცოტა ორთქლი დაკონდენსირდეს და, ცხადია, რომ ეს მოხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც აორთქლების პროცესი იქნება რაც შეიძლება სწრაფი, ანუ ჩატარდეს რაც შეიძლება მოკლე დროში, ხოლო ამ პროცესში წარმოქმნილი ორთქლის კონდენსაცია აორთქლების დამთავრებამდე მიმდინარეობდეს რაც შეიძლება მცირე სიჩქარით.

ამ ორი სასურველი პირობის გადასაწყვეტად ჩვენ მიერ დაპროექტებული და დამზადებულია თპტ-ს ახალი, მე-4 პროტოტიპი ორსიჩქარიანი კონდენსაციით, რომლის აღწერა და ექსპერიმენტული გამოცდების შედეგები ქვემოთაა წარმოდგენილი.



ნახ. 2. კარნოს ციკლის ეფექტურობა (მრუდი 1) და თპტ-ს ეფექტურობის დამოკიდებულება ორთქლის სიმშრალის ხარისხის მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე წერტილში 4 (მრუდი 2)

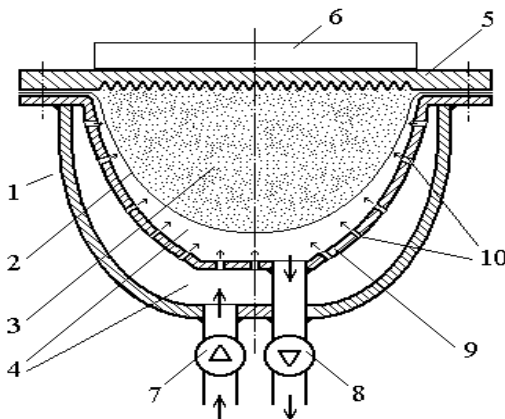
თპტ-ს ახალი პროტოტიპი მუშა სითხის სწრაფი დუღილითა და ორთქლის ორსიჩქარიანი კონდენსაციით

როგორც აღვნიშნეთ, ორთქლადქცევის პროცესის მაღალი ინტენსივობა აუმჯობესებს თპტ-ს მახასიათებლებს, მაგრამ ამავე პროცესში გაფართოებად მემბრანაზე მიმდინარე ორთქლის ნაწილის კონდენსაციის პროცესი ნეგატიურია, რადგან აორთქლების პროცესში მუშა სხეულისათვის გადაცემული სითბოს რაოდენობის გარკვეული ნაწილი, ერთგვარად ტრანზისტულად გადადის ორთქლიდან ცივ წყალზე, რითაც მცირდება მუშა სხეულისათვის მიწოდებული სითბო q_1 . ეს ნათლად ჩანს ნახ. 1-ზე წარმოდგენილ დიაგრამაზეც. 2-3 პროცესის განმავლობაში მემბრანის გავლით სითბოს გადაცემა ამცირებს აორთქლების მუშა პროცესის (იხ. პროცესი 2-3) სიგრძეს და წერტილი 3-ის შესაბამის სიმშრალის ხარისხის მაქსიმალურ მნიშვნელობას და, აქედან გამომდინარე, ამცირებს ციკლის მიერ შემოხაზულ ფართობს, ანუ თერმიულ მ.ქ.კ.-ს.

მეორეს მხრივ, აორთქლების პროცესის ბოლოს, ანუ მემბრანის მაქსიმალური გადაადგილების შემდეგ, მიმდინარე კონდენსაციის პროცესის დაბალი ინტენსიურობა ახანგრძლივებს წყლის ახალი ულუფის შემოწოვის პროცესს, რითაც მცირდება ტუმბოს ეფექტურობა, ანუ დროის ერთეულში გადატუმბული წყლის რაოდენობა. ამავე დროს ტუმბოს თბურ ამძრავში საკმარისად იაფი დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს გამოყენებისას ტუმბოს ხვედრითი სიმძლავრე, ანუ მის მიერ დროის ერთეულში გადატუმბული წყლის მოცულობის შეფარდება ტუმბოს საკუთარ მოცულობასთან

გაცილებით მნიშვნელოვანია, ვიდრე თვით ტუმბოს ამძრავის თერმიული ეფექტურობის (თ.მ.ქ.) კოეფიციენტი.

სწორედ ზემოთქმულ მოსაზრებებზე დაყრდნობით ჩვენ დავამუშავეთ თპტ-ს ახალი, რიგით მე-4 პროტოტიპი, მუშა სითხის სწრაფი დუღილითა და ორთქლის ორსიჩქარიანი კონდენსაციით (იხ. ნახ. 3).



ნახ. 3. თპტ-ს ახალი მოდიფიკაცია:

- 1 – ტუმბოს მუშა კამერის კორპუსი; 2 – მემბრანა (კონდენსატორი); 3 – მემბრანის ზედა სივრცე; 4 – მემბრანის ქვედა სივრცე; 5 – ტუმბოს ხუფი (ამაორთქლებელი);
- 6 – ამაორთქლებლის გამათბობელი; 7 – შემწოვი სარქველი; 8 – დამჭირხნი სარქველი;
- 9 – შუალედური კედელი; 10 – ხვერლები შუალედურ კედელში

თპტ-ს ახალი მოდიფიკაცია ძირითადი ვერსიისგან განსხვავდება ტუმბოს მუშა კამერის ქვედა სივრცეში სპეციალურად პერფორირებული შუალედური კედლის არსებობით და წყლის დამჭირხნი სარქველის შეერთების შეცვლილი სქემით. კერძოდ, როგორც ნახ. 3-ზე კარგად ჩანს, ამ სარქველის ტუმბოს მოცულობასთან შემაკავშირებელი მილი უშუალოდ შუალედურ კედელთან, ანუ მის შიგა მოცულობასთან არის დაკავშირებული.

მუშა სითხის აორთქლების პროცესის განმავლობაში, ანუ მემბრანის მუშა სითხის ორთქლით გაბერვისას, ტუმბოდან წყალი გამოიდევენება მხოლოდ შუალედური კედლის შიგა არედან, რომელიც შედარებით მცირე მოცულობისაა, რის გამოც შეზღუდულია გამოსატუმბი წყლის თავისუფალი კონვექცია და, აქედან გამომდინარე, მემბრანიდან სითხოს ართმევის ინტენსიურობა. ამით უზრუნველყოფილია კონდენსაციის დაბალი სიჩქარე მთელი აორთქლების პროცესის განმავლობაში, რაც ბუნებრივია ზრდის მემბრანის შიგნით არსებული ორთქლის სიმშრალის ხარისხს და აორთქლების პროცესის ბოლოს ორთქლის სიმშრალის ხარისხი X_3 მაქსიმალურია. აქედან გამომდინარე, მაქსიმალურია აგრეთვე 3-4 პროცესის, ანუ წნევის ვარდნის ბოლოს და უშუალოდ კონდენსაციის პროცესის *ქურნალი "ენერჯია" №2(106). 2023*

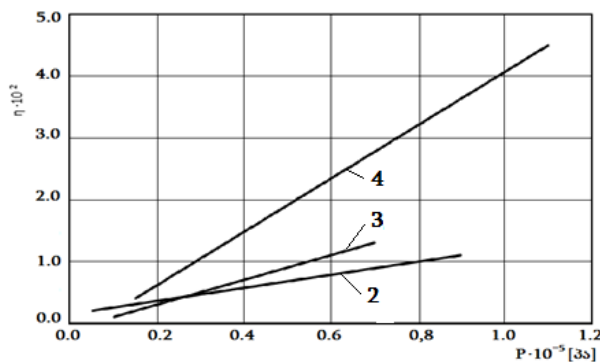
დასაწყის წერტილში (წერტილი 4, ნახ. 1-ზე) არსებული მუშა სითხის ორთქლის სიმშრალის ხარისხი X_4 , რაც როგორც ნახ. 2-დან ჩანს, დადებითად მოქმედებს განხილული თბურ ამრავიანი ტუმბოს თერმიულ ეფექტურობაზე.

საბოლოო ჯამში, იმის გამო რომ სითბური ნაკადი მიმართულია ზემოდან ქვემოთ და დამატებითი კედლით შეზღუდულია უშუალოდ მემბრანის სიახლოვეს განლაგებული წყლის მოცულობა თბოგაცემის კოეფიციენტი მემბრანასა და მის გარეთ არსებულ წყალს შორის ძლიერ შემცირებულია, რის გამოც აორთქლების პროცესში მიღწეულია კონდენსაციის დაბალი სიჩქარე, რაც ხელს უწყობს გადატუმბვის პროცესის ეფექტურობას.

მემბრანის მაქსიმალურად გაბერვის შემდეგ ამორთქლებელი მთლიანად მშრალია და სითბოს წყაროს მოქმედებით იწყება მისი ტემპერატურის მატება. ამავე მომენტში იწყება გაბერილ მემბრანაში არსებული მუშა სითხის ორთქლის კონდენსაცია, რაც იწვევს მემბრანის მოცულობის შემცირებასა და შემწოვი სარქველიდან ახალი წყლის შეწოვას. ახალი წყალი თავდაპირველად შედის პერფორირებული გამყოფი კედლის გარეთა მხარეს არსებულ მოცულობაში და იქიდან, გამყოფ კედელში არსებული ნახვრეტების გავლით ჭავლურად მიედინება მემბრანის ზედაპირისაკენ, რაც იწვევს ამ უკანასკნელის ძლიერ გაცივებას. აქედან გამომდინარე, კონდენსაციის პროცესი მნიშვნელოვნად ჩქარდება.

ზემოთ გამოთქმული მოსაზრებების შესამოწმებლად ჩვენ მიერ დაპროექტებული და დამზადებული იქნა თპტ-ს აღწერილი მე-4 პროტოტიპი, რომელშიც პრაქტიკულად ხორციელდება მუშა სითხის ორთქლის კონდენსაციის ორსიჩქარიანი რეჟიმი.

ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ტუმბოს განხილულმა კონსტრუქციამ უზრუნველყო ახალი წყლის შეწოვის დროის შემცირება და აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვნად გაზარდა ტუმბოს როგორც ხვედრითი სიმძლავრე, ასევე მისი თერმიული ეფექტურობაც, რაც კარგად ჩანს ქვემოთ წარმოდგენილ ნახ. 4-ზე.



ნახ. 4. თპტ-ს ექსპერიმენტული №2, 3 და 4 პროტოტიპების ეფექტურობის დამოკიდებულება დაჭირხვნის წნევაზე

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული გასულ წლებში დამუშავებული იყო თბტ-ს სამი პროტოტიპი. ყველა ექსპერიმენტულ პროტოტიპში მუშა სითხედ გამოყენებული იყო ეთილის სპირტი.

თბტ-ს № 1 პროტოტიპმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა თბტ-ს ბაზური კონცეპციის სამართლიანობა და ტუმბოს თვითგაშვების (მუშაობის თვითდაწყების) შესაძლებლობის არსებობა. №2 და №3 პროტოტიპებმა საშუალება მოგვცეს მოგვეხდინა მართალია არც თუ მაღალი, მაგრამ დაბალპოტენციურ სითხოზე მომუშავე ტუმბოსთვის სავსებით მისაღები ეფექტურობის და საიმედო მუშაობის უნარიანობის დემონსტრირება.

როგორც ნახ. 4-დან ჩანს, თბტ-ს №4 პროტოტიპში განხორციელებულმა კონდენსაციის ორსიჩქარიანმა რეჟიმმა თბტ-ს ეფექტურობა თითქმის სამჯერ გაზარდა და იმავდროულად მკვეთრად გაიზარდა ტუმბოს ხვედრითი სიმძლავრე. №2 და №3 პროტოტიპებს საათში 50 კგ წყლის გადაქაჩვა შეეძლოთ ხოლო და №4 პროტოტიპის შემთხვევაში ეს მაჩვენებელი 130 კგ-მდე გაიზარდა. უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ თბტ-ს №2, 3 და 4 პროტოტიპებს ჰქონდათ დრეკადი მემბრანის ერთი და იგივე დიამეტრი (90 მმ).

დასკვნა

აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებით მომუშავე თბურ ამძრავიანი ტუმბოს ორსიჩქარიანი კონდენსაციით მომუშავე ახალი მოდიფიკაციის (№4) პროტოტიპის) ექსპერიმენტულმა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ აღწერილი ორთქლის მანქანის პრაქტიკული გამოყენება წყლის გადასატუმბად შესაძლებელი და განსაკუთრებით მომგებიანია დაბალპოტენციური სითხოვს წყაროების გამოყენების შემთხვევაში.

ლიტერატურა

1. Kalogirou S.A. Solar Thermal Collectors and Applications. *Progress in Energy and Combustion Science*. 30(3). 2004.
2. Rojas D., Beermann J., Klein S.A., Reindl D.T. Thermal Performance Testing of Flat-Plate Collectors. *Solar Energy*. 82(8). 2008.
3. Wong Y.W., Sumathy K., “Solar thermal water pumping: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 3. 1999.
4. Shekrladze I.G., Machavariani E.S., Rusishvili J.G., El-Negiri E., Shekrladze D.I. Solar Powered Membrane Pump on the Basis of Pulsating Heat Pipe. *Proc. of 9th Int. Heat Pipe Conf.*, Vol.2. 1995.
5. Shekrladze I.G., Machavariani E.S., Rusishvili D.G., Shekrladze D.I., Goncharov K.A., Tarabrin A.N. Solar powered water pumping system on the basis of LHP and TPMP. *Proc. of 5th Int. Heat Pipe Symp.* 1997.
6. Shekrladze I.G., Machavariani E.S., Gigineishvili G.I., Rusishvili J.G., Shekrladze D.I. Flat-Plate Collector with Solar-Powered Pump and Problem of Boiling on Downward-Facing Surface. *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*. 4(4). 2009.

A NEW MODIFICATION OF THE WATER PUMP OPERATING ON EVAPORATIVE-CONDENSING HEAT ENGINE WITH TWO-SPEED CONDENSATION.

E. Machavariani, I. Shekriladze.

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 45-52. geo. sum geo. engl. rus.

The article describes a new design modification of a heat-driven pulsating water pump (HPP) based on low-potential thermal evaporation-condensation processes, in which the process of steam condensation slows down during the evaporation of the working fluid and accelerates after evaporation. A new modification of the HPP design is described and the process of its operation is considered.

The thermodynamic cycle in the thermal drive of the HPP is analyzed and it is shown that the efficiency of the HPP significantly depends on the degree of dryness of the steam obtained at the end of the evaporation of the working fluid. To increase the degree of dryness of the steam, a new design of the HPP was developed and created - prototype No. 4, in which a two-speed mode of condensation of the steam of the working fluid is implemented.

It is shown that the two-speed condensation mode, implemented in the prototype No. 4, made it possible to increase the efficiency of the HPP by almost three times, while the specific power of the pump increased sharply.

Ill. 4, bibl. 6.

НОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ВОДЯНОГО НАСОСА, РАБОТАЮЩЕГО НА ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ С ДВУХСКОРОСТНОЙ КОНДЕНСАЦИЕЙ.

E. Machavariani, И. Шекриладзе.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 45-52. груз. реф. англ., рус.

Описана новая конструктивная модификация теплоприводного пульсирующего насоса (ТПН) на основе низкопотенциальных тепловых процессов испарения-конденсации, в котором процесс конденсации пара замедляется в процессе испарения рабочего тела и ускоряется после испарения. Описана новая модификация конструкции ТПН и рассмотрен процесс ее работы.

Проанализирован термодинамический цикл теплового привода ТПН и показано, что КПД ТПН существенно зависит от степени сухости пара, получаемого в конце выпаривания рабочего тела. Для увеличения степени сухости пара разработана и создана новая конструкция ТПН - прототип №4, в которой реализован двухскоростной режим конденсации паров рабочего тела.

Показано, что двухскоростной режим конденсации, реализованный в опытном образце №4, позволил увеличить КПД ТПН почти в 3 раза. При этом резко возросла удельная мощность насоса.

Илл. 4, лит. 6 назв.

რეზონანსი ელექტრულ წრედში

ირაკლი ჯანგირაშვილი - მაგისტრანტი

E-mail: n.jango24@gmail.com

მალხაზ ღვალაძე - ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: dvalidzemalkhaz02@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია რეზონანსი ელექტრულ წრედში, გაკეთებულია ანალოგია R, L, C წრედის პარალელური და მიმდევრობითი შეერთებებისას შესაბამისი სიდიდებით და ცდებზე დაყრდნობით. ასევე გაკეთებულია უმნიშვნელოვანესი დასკვნა, რომ რეზონანსის დროს იქედან გამომდინარე, რომ მთლიანად წრედი იქცევა ისე, როგორც აქტიური წინაღობა წრედის ველებიდან ენერჯიის დაბრუნებას მოდებული ძაბვის წყაროს ადგილი არ აქვს.

საკვანძო სიტყვები: რეზონანსი ელექტრულ წრედში, ტალღური წინაღობა, წრედის მიღევა, გამტარობების კომპენსირება, რეზონანსული სიხშირე.

შესავალი

იმის გამო, რომ ინდუქციური და ტევადობითი წინაღობები აგრეთვე ინდუქციური და ტევადობითი გამტარობები ერთმანეთს აკომპენსირებდეს, შესაძლებელია შემთხვევები, როდესაც წრედში, რომელიც შეიცავს რეაქტიულ წინაღობებს და გამტარობებს, აღმოჩნდეს ნულის ტოლი და დენი ფაზით დაემთხვეს მის მომჭერებზე მოდებულ ძაბვას, ანუ მთლიანად მოიქცეს როგორც აქტიური წინაღობა. ესეიგი მოვლენას, რომლის დროსაც მიუხედავად წრედში არსებული რეაქტიული ელემენტებისა დენი, ფაზით ემთხვევა ძაბვას, ეწოდება რეზონანსი ელექტრულ წრედში.

რეზონანსის განსაკუთრებული მნიშვნელობისა და მისი ფართო გამოყენებისა ელექტრო მოწყობილობებში გავარკვიოთ მისი რაობა და დამახასიათებელი თვისებები მიმდევრობით და პარალელური შეერთებისას.

1. რეზონანსი წრედში R, L, C უბნების მიმდევრობითი შეერთებისას

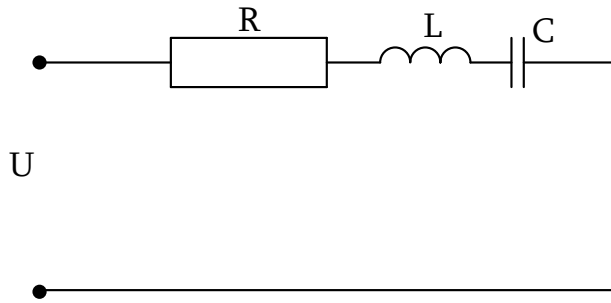
მოცემულია წრედი, სადაც მიმდევრობითაა შეერთებული აქტიური წინაღობა, ინდუქციურობა და ტევადობა.

ამ წრედის რეაქტიული წინაღობა

$$x = \omega L - \frac{1}{\omega C},$$

საიდანაც ჩანს, რომ რეზონანს ადგილი ექნება მაშინ, როდესაც

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{ანუ} \quad \omega^2 LC = 1.$$



ნახ. 1. R, L, C - წრედის მიმდევრობითი შეერთება

ესეიგი რეზონანსი შეიძლება დადგეს მოდებული ძაბვის სიხშირის ან ტევადობისა და ინდუქციურობის ცვლილებით. კუთხურ სიხშირეს, რომლის დროსაც ადგილი აქვს, რეზონანს განისაზღვრება ფორმულით

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad L_0 = \frac{1}{\omega^2 C}; \quad C_0 = \frac{1}{\omega^2 L}.$$

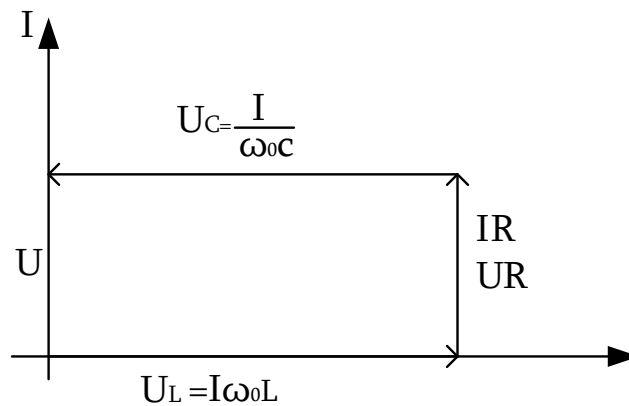
თუ წრედის აქტიური წინაღობა უცვლელია, მაშინ რეზონანსის დროს სრული წინაღობა

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

აღწევს თავის უმცირეს მნიშვნელობას, ანუ

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0; \quad X^2 = (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2 = 0; \quad Z = \sqrt{R^2} = R.$$

რაც ზემოთ იყო აღნიშნული, შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ უცვლელი ძაბვის შემთხვევაში დენი აღწევს უდიდეს მნიშვნელობას



ნახ. 2. რეზონანსის დროს R, L, C წრედის ვექტორული დიაგრამა

განვიხილოთ წრედის ვექტორული დიაგრამა. იქიდან გამომდინარე, რომ U_L და U_C ვექტორები ერთმანეთის საპირისპიროდაა მიმართული, ხოლო რეზონანსის დროს ისინი ერთმანეთს უდრის, წრედზე მოდებული ძაბვა $U=IR$ მიმართულებით და სიდიდით უდრის აქტიურ წინაღობაზე ძაბვის ვარდნას. ამ დროს შეიძლება მოხდეს, რომ U_L და U_C ვექტორები გაცილებით მეტი აღმოჩნდეს, ვიდრე U ძაბვა. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, რეზონანსის დროს ძაბვა ინდუქციურობაზე და ტევადობაზე შეიძლება გაცილებით მეტი აღმოჩნდეს, ვიდრე

მთლიანად წრედზე მოდებული ძაბვა. ამიტომ რეზონანს მიმდევრობითი შეერთებისას ეწოდება ძაბვების რეზონანსი U_L

ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, რომ რეზონანსის დროს ძაბვა კოჭაზე და ტევადობაზე აღემატება მთელი წრედის ძაბვას შემდეგი პირობის დროს:

$$R < \omega L \quad \text{ან} \quad R < \frac{1}{\omega C}.$$

რადგანაც $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, ორივე პირობა დაიყვანება ერთ პირობაზე: $\omega = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

საბოლოოდ $R < \sqrt{\frac{L}{C}}$ მოცემულ სიდიდეს ეწოდება ტალღური წინაღობა, ხოლო აქტიური წინაღობის ფარდობას ტალღური წინაღობასთან ეწოდება წრედის მილევა. აღვნიშნოთ ტალღური წინაღობა ρ -თი. მილევა d -თი, ანუ:

$$d = \frac{R}{\rho}$$

ეწოდება მილევა, ანუ რეზონანსის დროს ძაბვის ამალღების პირობა იქნება

$$\frac{R}{\rho} = d < 1.$$

კონტურის რეზონანსული თვისებების შეფასებისთვის ხშირად სარგებლობენ კონტურის ვარგისიანობის ცნებით

$$Q < \frac{1}{d} = \frac{\rho}{R},$$

ანუ ტალღური წინაღობა შეფარდებული აქტიურ წინაღობასთან.

განსახილველ წრედში რეზონანსის დროს მიმდინარე პროცესების ენერგეტიკული მხარეების გასარკვევად განვიხილოთ $W = W_{\text{მ}} + W_{\text{ელ}}$ მაგნიტური და ელექტრული ველების ენერჯის ჯამი. რადგანაც დენი რეაქტიულ კოჭაში და ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენზე იმყოფებიან კვადრატურაში, ამიტომ $i = I_L \sqrt{2} \sin \omega t$ -ის დროს გვაქვს $U_C = U_C \sqrt{2} \cos \omega t$ და მაშასადამე

$$W_{\text{ელ}} = W_{\text{მ}} + W_{\text{ელ}} = \frac{Li^2}{2} + \frac{CU^2}{2} = \frac{Li^2 + CU^2}{2} = LI^2 \sin^2 \omega t + CU^2 \cos^2 \omega t.$$

რეზონანსის დროს $\frac{UC}{I} = \omega L = \frac{1}{\omega C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ და $CU^2 = LI^2$. ასევე, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t = 1$, გვაქვს:

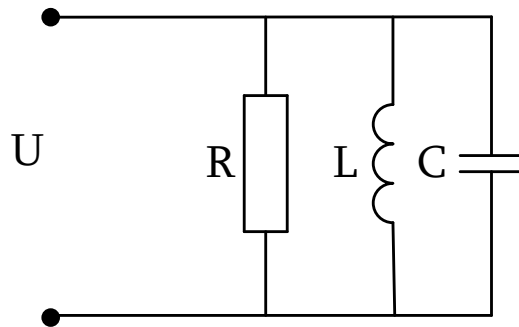
$$W = LI^2 = CU^2 = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} CU^2 = \text{const.}$$

ესეიგი რეზონანსის დროს მაგნიტური და ელექტრული ველების ჯამი დროის განმავლობაში არ იცვლება. ამასთან $W_{\text{ელ}}$ -ის მაქსიმალური მნიშვნელობა W -ს უდრიან.

მიმდევრობით შეერთების შემთხვევაში რეზონანსის დროს მაგნიტურ და ელექტრულ ველებს შორის მუდამ ხდება ენერჯის გაცვლა- გამოცვლა. ენერჯია ირხვევა ამ ველებს შორის და დენის მაქსიმუმის შემთხვევაში მთლიანად თავს იყრის მაგნიტურ ველში. დენის შემცირების დროს ენერჯია მაგნიტური ველიდან თანდათან გადადის ელექტრულ ველში და

კოჭაში დენის ნულზე გადასვლისას, რომლის დროსაც ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე აღწევს მაქსიმუმს მთელი ენერგია თავს იყრის ელექტრულ ველში. შემდეგ იწყება ენერგიის უკუ გადასვლა ელექტრული ველიდან მაგნიტურ ველში და ასე შემდეგ. ამავე დროს, რადგანაც მთელი წრედი იქცევა ისე, როგორც აქტიური წინაღობა, წრედის ველებიდან ენერგიის დაბრუნებას მოდებული ძაბვის წყაროში ადგილი არა აქვს. წრედის მცირე მილევის დროს მთელი პერიოდის განმავლობაში ძაბვის წყაროს მიერ წრედში გაგზავნილი ენერგია PRT-ის ტოლი გაცილებით მცირეა იმ ენერგიასთან შედარებით, რომელიც თავმოყრილია წრედის მაგნიტურ და ელექტრულ ველებში და ამ ველებს შორის ენერგიის ინტენსიური რხევები გამოვლინდებიან ინდუქციური და ტევადობითი წინაღობების მომჭერებზე ძაბვების საგრძნობლად გადიდებით.

2. რეზონანსი წრედში g, L, C უბნების პარალელური შეერთებისას



ნახ. 3. g, L, C - უბნების პარალელური შეერთება

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = Z = \sqrt{g^2 + (b_L^2 - b_C^2)},$$

სადაც b_L - ინდუქციური შტოს გამტარობა, ხოლო b_C - ტევადობითი შტოსი, რადგანაც ინდუქციური და ტევადობითი შტოები არ შეიცავენ აქტიურ წინაღობას. ამიტომ

$$b_L = \frac{1}{\omega L}; \quad b_C = \frac{1}{\omega C} = \omega C.$$

საბოლოოდ წრედის რეაქტიული გამტარობისთვის გვაქვს:

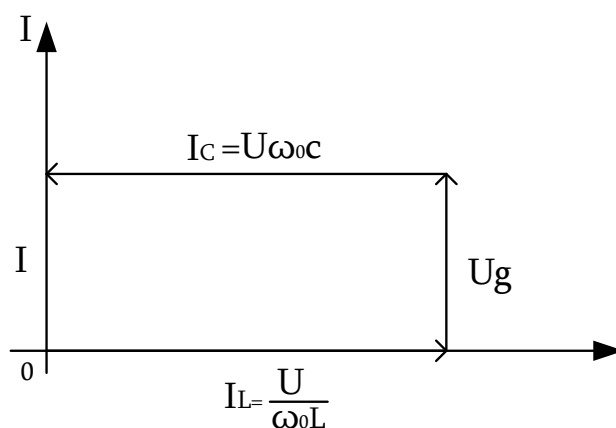
$$b = b_L - b_C = \frac{1}{\omega L} - \omega C.$$

მოცემული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ რეაქტიული გამტარობების ურთიერთ კომპენსაცია და მაშასადამე რეზონანსი პარალელური შეერთებისას გვექნება შემდეგი პირობის დროს:

$$\frac{1}{\omega L} = \omega C; \quad \omega^2 LC = 1; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

ესეიგი იმავე პირობის დროს, რომლის დროსაც ადგილი ჰქონდა რეზონანსს მიმდევრობითი შეერთების დროს ამ ყველაფრის გათვალისწინებით გამოდის, რომ წრედში რეზონანსს შეიძლება მივაღწიოთ სიხშირის, ინდუქციურობის ან ტევადობის ცვლილებით.

თუ წრედის გ აქტიური გამტარობა უცვლელია, მაშინ რეაქტიული გამტარობა $y=0$ აღწევს თავის უმცირესს მნიშვნელობას. ამიტომ განსხვავებით მიმდევრობითი შეერთებისგან აქ სრული წინაღობა აღწევს თავის უდიდეს მნიშვნელობას. ამიტომ, თუ წრედის მომჭერებზე ძაბვა არ იცვლება წრედის არა განშტოებულ ნაწილში, დენს აქვს უმცირესი მნიშვნელობა.



ნახ. 4. რეზონანსის დროს g, L, C უბნების პარალელური შეერთების ვექტორული დიაგრამა

როგორც ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, I_C და I_L ვექტორი ერთმანეთის ტოლია და მიმართულები არიან ურთიერთსაპირისპიროდ, ხოლო I ვექტორი წრედის არა განშტოებულ ნაწილში სიდიდით და მიმართულებით U_g ვექტორის ტოლია. ამ დროს შეიძლება I_L და I_C ვექტორების სიდიდე გაცილებით მეტი იყოს, ვიდრე I ვექტორის, ანუ სხვანაირად რომ ვთქვათ, რეზონანსის ან მასთან საკმაოდ მიახლოებით დროს დენები კოჭაში და კონდენსატორში გაცილებით დიდი იყოს წრედის არა განშტოებულ ნაწილში გამავალ დენზე. ამიტომ პარალელური შეერთების შემთხვევაში რეზონანსს დენების რეზონანსს უწოდებენ დიაგრამიდან ჩანს, რომ რეზონანსის დროს დენები ინდუქციურ და ტევადობით შტოში გადააჭარბებენ დენს არა განშტოებულ ნაწილში შემდეგი პირობების დროს:

$$g < \frac{1}{\omega_0 L}; g < \omega_0 C.$$

რადგანაც $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, აღნიშნული ორივე პირობა დაიყვანება ერთ პირობაზე:

$$g < \sqrt{\frac{L}{C}},$$

სადაც $\sqrt{\frac{L}{C}}$ - წრედის ტალღურ გამტარობას უწოდებენ და, რასაკვირველია, აქვს გამტარობის განზომილება.

3. ელექტრულ წრედებში რეზონანსის მოვლენის პრაქტიკული მნიშვნელობა

რეზონანსის მოვლენა ელექტრულ წრედებში მეტად ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ელექტროტექნიკაში და უფრო ფართოდ მაღალი სიხშირის ტექნიკაში.

რადიოტექნიკაში გამოყენებული მაღალი სიხშირის გენერატორები ძირითადი სახით შეიცავენ რხევით კონტურს, რომელშიც დენისა და ძაბვის რხევები წარმოებს რეზონანსული სიხშირით ან სიხშირით რომელიც ძლიერ ახლოსაა რეზონანსულთან.

ელექტროენერგეტიკული სისტემების მძლავრ მიმღებ მოწყობილობებში დენის ჩამორჩენილი რეაქტიული შემდგენის კომპენსაცია ამ მოწყობილობებთან კონდენსატორების პარალელური მიერთებით, ან გადამეტადგზნებული სინქრონული ძრავების მიერთებით, აგრეთვე ფაქტობრივი წარმოადგენს ღონისძიებას, რომლის დროსაც ვაღწევთ რეზონანსს.

დასკვნა

ზემოთ ჩამოთვლილი მაგალითები შეეხებოდა შემთხვევებს, როდესაც ელექტრულ წრედში რეზონანსის მოვლენა გამოიყენებოდა პრაქტიკული მიზნებისთვის. მაგრამ თუ რეზონანსის მოვლენა წარმოიშობა ელექტრულ წრედში მის გაუთვალისწინებლად, ამან შეიძლება გამოიწვიოს არასასურველი შედეგები. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით საშიშია რეზონანსი წრედის ინდუქციური და ტევადობითი ელემენტების მიმდევრობითი შეერთებისას მცირე აქტიური წინაღობის დროს, რადგანაც ამ დროს ტევადობაზე და ინდუქციურობაზე შეიძლება წარმოიშვას ძლიერ მაღალი ძაბვები. ამგვარი მოვლენა შეიძლება წარმოიშვას გენერატორის ან ტრანსფორმატორის მომჭერებზე გრძელი გადამცემი ხაზის, ან კაბელის მიერთების დროს, როდესაც ისინი არ არიან ჩართული ენერჯის მომხმარებლებზე. ტრანსფორმატორი და გენერატორი ხასიათდებიან ინდუქციურობით, ხოლო ხაზი და კაბელი კი - ტევადობით. როდესაც ხაზის ან კაბელის ბოლოში დატვირთვა არ არის, ასეთი წრედის მიღევა ძალიან მცირეა და ადვილად შეიძლება წარმოიშვას გადამეტაბვები, როდესაც სიხშირე რეზონანსულთან ახლოს არის.

ლიტერატურა

1. ნეიმანი ლ., კალანტაროვი პ. ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლები. თბილისი. 1966.
2. ხუციშვილი ფ. ზოგადი ფიზიკის კურსი. თბილისი. 1978.

RESONANCE IN AN ELECTRICAL CIRCUIT.

I.Jangirashvili, M. Dvalidze.

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 53-59. geo. sum geo. engl. rus.

The resonance in an electric circuit is discussed, an analogy is made with the parallel and series connection of the R, L, C circuit with the corresponding values, and on the basis of tests the most important conclusion is also made that at resonance, due to the fact that the circuit as a whole behaves like an active resistance, there is no place for the source of modulated voltage to give energy from the fields of the circuit.

Ill. 4, bibl. 2.

РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.

И.Джангирашвили, М.Двалидзе.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с 53-59. груз. реф. англ., рус.

Обсуждается резонанс в электрической цепи. Проведена аналогия с параллельным и последовательным соединением цепи R, L, C с соответствующими значениями. По данным испытаний сделан важнейший вывод о том, что при резонансе из-за того, что цепь в целом ведет себя как активное сопротивление, источнику модулированного напряжения негде отдавать энергию от полей цепи.

Илл. 4, лит. 2 назв.

კოლექტორული წევის ძრავებით აღჭურვილი მუდმივი დენის ელმავლების წევის თვისებების გაუმჯობესების შესაძლო გზები

არჩილ ზერეკიძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: archilzerekidze@gmail.com

თენგიზ ნათენაძე - პროფესორი

E-mail: engineer80@inbox.ru

ნატალია კერესელიძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: nata.kereselidze@gmail.com

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია კოლექტორული წევის ძრავებით აღჭურვილი მუდმივი დენის ელმავლების წევისა და სიჩქარის თვისებების გაუმჯობესების სხვადასხვა სქემები. მოცემულია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. შემოთავაზებულია ოპტიმალური მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს წევის ძრავების აგზნების გრაგნილის კვებას მიკროპროცესორული გარდამქმნელიდან, რომელიც აფორმირებს წევის რეჟიმში მიმდევრობითი აგზნების წევის ძრავების მახასიათებლებს, ხოლო რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში დამოუკიდებელი აგზნების მახასიათებლებს. ბუქსაობის დაფიქსირების შემთხვევაში ხორციელდება წევის ძრავების ხისტი მახასიათებლის ფორმირება.

საკვანძო სიტყვები: ელმავალი, წევის ძრავა, მუდმივი დენი, მიკროპროცესორული გარდამქმნელი, რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმი.

საქართველოსთვის როგორც აზია-ევროპის სატრანზიტო დერეფნის ერთ-ერთი წარმატებული ქვეყნისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს საერთაშორისო ტვირთების გადაზიდვების მზარდი დინამიკის უზრუნველყოფას, რაშიც სარკინიგზო ტრანსპორტი უდიდეს როლს ასრულებს. სარკინიგზო ტრანსპორტის განვითარებაში მნიშვნელოვანი წილი ელექტრომანქანებს მიუძღვის. სარკინიგზო ტრანსპორტისათვის განკუთვნილი ელექტრული მანქანები წევის ელექტრომანქანების (ძრავების) დასახელების ქვეშაა გაერთიანებული. წევის ძრავების გამოყენება, არამარტო მათი მაღალი ენერგეტიკული, არამედ საუკეთესო ეკოლოგიური მაჩვენებლებითაცაა განპირობებული, განსხვავებით შიგაწვის ძრავებისაგან. ამიტომაც რომ ტრანსპორტზე წევის ძრავების გამოყენება ჯერ კიდევ მე-19-ე საუკუნის ბოლოდან იღებს სათავეს და ვერნერ სიმენსის სახელთანაა დაკავშირებული.

ცნობილია, რომ რკინიგზის გამტარუნარიანობა შესაძლებელია გაიზარდოს გაუმჯობესებული წევისა და სიჩქარის მახასიათებლების მქონე ლოკომოტივების გამოყენებით. წევის ძალასა და სიჩქარეზე გავლენას ახდენს ისეთი ფაქტორები, როგორცაა, მაგალითად, წევის ძრავების მახასიათებლების და თვალწყვილების

დიამეტრების განსხვავებულობა, წვევის ძრავების შეერთების სქემა, წვევის ძრავების მახასიათებლების „სიხისტე“, ლოკომოტივების განწონვა და სხვ.

აქედან გამომდინარე, რკინიგზის ტრანსპორტისათვის აქტუალურია ლოკომოტივების კონსტრუქციის გაუმჯობესება იმ თვალსაზრისით, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს წვევის ძალის სტაბილურად და საიმედოდ რეალიზება.

განვიხილოთ ძირითადი ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორები. კერძოდ, ელმავლების წვევის თვისებებზე მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს წვევის ძრავების მახასიათებლების (წვევის ძალისა და სიჩქარის დამოკიდებულება) ფორმას, რომელიც მახასიათებლის სიხისტით ფასდება - χ (ხი), ხოლო თვალწყვილების ბუქსაობისას კი იყენებენ წვევის მახასიათებლის დინამიკურ სიხისტეს [1].

წვევის მახასიათებლის სიხისტის ქვეშ გულისხმობენ წვევის ძალის ცვლილებას მოძრაობის სიჩქარის ცვლილებას ნორმალურ პირობებში. რიცხობრივად მახასიათებლის სიხისტე განისაზღვრება ფორმულით

$$\chi = -\frac{\Delta F_K}{\Delta v},$$

სადაც ΔF_K წვევის ძალის ცვლილებაა, რომელიც შეესაბამება ელმავლის სიჩქარის ცვლილებას Δv .

დინამიკურ სიხისტეს შეესაბამება ანალოგიური ფორმულა, მხოლოდ წვევის ძალისა და სიჩქარის მნიშვნელობები ბუქსაობის რეჟიმს შეესაბამება.

ნიშანი მინუსი ფორმულაში არის იმიტომ, რომ თვით მახასიათებელს დამრეცი ფორმა აქვს და სიჩქარის დადებით ნაზრდს Δv , წვევის ძალის ΔF_K შემცირება შეესაბამება.

ხისტი მახასიათებლის შემთხვევაში თვალწყვილების სრიალის მცირედით მომატების შემთხვევაშიც კი წვევის ძალა მკვეთრად მცირდება და ბუქსაობის პროცესი დასაწყისშივე ჩერდება, ხოლო წვევის ძალა სტაბილიზირდება ზღვრულ მნიშვნელობასთან ახლოს მდგომ მნიშვნელობამდე. ამიტომ წვევის ძრავების ხისტი მახასიათებლების შემთხვევაში ელმავლის ბუქსაობისადმი მიდრეკილება მცირდება და შესაბამისად ელმავლის წვევის თვისებების უკეთესად გამოყენების ხარისხიც იზრდება. მაგრამ ხისტი მახასიათებლების შემთხვევაში თავს იჩენს სხვა პრობლემა, მაგალითად, დატვირთვების თანაბრად განაწილება წვევის ძრავებს შორის.

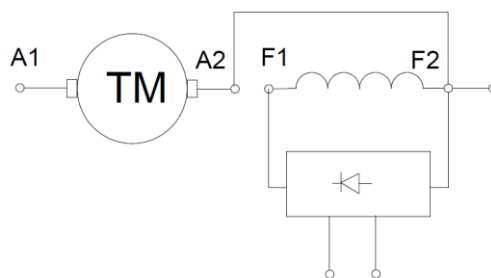
როდესაც წვევის მახასიათებელი ნაკლებად ხისტია (ანუ „რბილი“) და ასეთ შემთხვევას აქვს ადგილი მუდმივი დენის ელმავლებში წვევის ძრავების მიმდევრობითი აგზნებისას და რეოსტატული გაშვებისას, მაშინ მათ ახასიათებს ბუქსაობის პროცესისადმი საკმაოდ მაღალი მიდრეკილება, რაც გულისხმობს იმას, რომ ნორმალური რეჟიმი მარტივად შეიძლება ვეღარ აღდგეს. ბუქსაობის პროცესისადმი მიდრეკილებით ხასიათდება ასევე წვევის ძრავების მაგნიტური სისტემის გაჯერების ხარისხი. თვით წვევის

ძრავი ზღვრული გამოყენების ელექტრომანქანების სახეობას მიეკუთვნება, რაც მისი გამომავალი პარამეტრების მაქსიმუმიზაციით ხასიათდება, მათ შორის მაგნიტური სისტემის გაჯერების ხარისხითაც (მაგნიტური წრედის შედარებით მცირე გეომეტრიული ზომები და გაზრდილი მაგნიტური ნაკადი).

მუდმივი დენის წევის ძრავებით აღჭურვილი ელმავლების წევის თვისებების გაუმჯობესებისადმი სწრაფვამ, რაც პირველ რიგში ბუქსაობის პროცესის შემცირებაში გამოიხატება, განაპირობა წევის ძრავების ჩართვის სხვადასხვა სქემების დამუშავება.

წევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების სქემაში, აგზნების გრაგნილი მიერთებულია ცალკე მუდმივი დენის წყაროსთან და გალვანურად განცალკევებულია ღუზის წრედიდან (ნახ.1). აგზნების დენის რეგულირების ასეთი მიდგომა საშუალებას იძლევა, რომ წევის მახასიათებელს პრაქტიკულად ნებისმიერი ფორმა მიეცეს იმისდა მიხედვით, თუ რეგულირების როგორი წესი იქნება მიღებული. ეს განპირობებს მახასიათებლის სასურველი სიხისტის მიღებას.

ასეთი ელმავლის შექმნის მცდელობა თბილისის ელმავალმშენებელ ქარხანაში ჯერ კიდევ 1961 წელს განხორციელდა. წევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნება განხორციელდა სერიულ ელმავალზე ვლ8^რ-414 [2]. აგზნების გრაგნილის კვების წყაროდ ნბ-436 ტიპის მბრუნავი გარდამქმნელი გამოიყენებოდა. სერიულ ელმავლებზე ეს გარდამქმნელი მხოლოდ რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში გამოიყენებოდა. საცდელმა გარბენებმა გარდა რიგი გაუმჯობესებული პარამეტრებისა, გარკვეული უარყოფითი მხარეებიც გამოააშკარავა, როგორცაა, მაგალითად, ნაკლები ველის შესუსტების ხარისხი ვიდრე სერიულ მანქანებზე, რეკუპერაციულ რეჟიმის არამდგრადი მუშაობა მართვის კონტროლერის საწყის პოზიციებზე, წევის ძრავების მთავარი პოლუსების გადახურება და სხვ.



ნახ. 1. წევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების გამარტივებული სქემა: TM - წევის ძრავას ღუზა; A1, A2 - ღუზის მომჭერები; F1, F2 - აგზნების გრაგნილის მომჭერები

მუდმივი დენის ელმავლებში წევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების სისტემის დანერგვის მცდელობა განხორციელდა ასევე 1973-1974 წლებში, როდესაც აშენდა 2 საცდელი ვლ-12 სერიის ელმავალი. გამოცდებმა აჩვენა, რომ დამოუკიდებელი აგზნების

ძრავებისათვის ბუქსაობის პროცესი ორ ეტაპად მიმდინარეობს: პირველ ეტაპზე მიმდინარეობს ბუქსაობის ნელა განვითარება, ხოლო მეორე ეტაპზე კი ბუქსაობის განვითარება მიმდინარეობს უფრო სწრაფად [3]. მიმდევრობითი აგზნებიანი ძრავების შემთხვევაში პირველი ეტაპი - ნელა ბუქსაობის ეტაპი - არ არსებობს და შეიმჩნევა მობუქსავე წვევის ძრავების სიჩქარისა და დენის ცვლილების მკვეთრი ცვლილება. გარდა ამისა, დამოუკიდებელი აგზნებისას, მობუქსავე თვალწყვილების რელსზე გასრიალების სიჩქარე მცირეა, ვიდრე წვევის ძრავების მიმდევრობითი აგზნებისას. ასევე გამოცდებისას დადგინდა, რომ წვევის ძრავების მიმდევრობითი შეერთებისას და მათ წრედში გამშვით რეოსტატის არსებობისას, წვევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების გამოყენების ეფექტი საკმაოდ მცირეა.

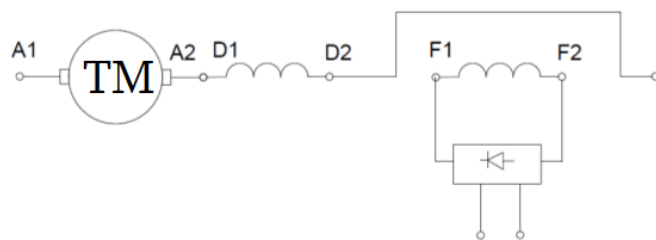
მოკლე დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ მუდმივი დენის ელმავლებში წვევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების ღირსება პრაქტიკულად ნიველირებულია წვევის ძრავების მიმდევრობითი შეერთების არსებობით და რეოსტატული გაშვებით. რასაც ვერ ვიტყვით ცვლადი დენის ელმავლებზე, სადაც წვევის ძრავების მიმდევრობითი შეერთება არ გვაქვს და ამიტომ წვევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების სისტემას უფრო მეტი ტექნიკური ეფექტი უნდა გააჩნდეს.

საერთო ჯამში ყოფილი სსრკ-ს ტერიტორიაზე სხვადასხვა მოდიფიკაციის დაახლოებით 400 ელმავლი იქნა გადაიარაღებული წვევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების სისტემაზე. თუმცა მათი ექსპლუატაციისას გამოვლინდა ლუზის დენების მნიშვნელოვანი განსხვავება, რაც წვევის ძრავების სხვადასხვა მახასიათებლებით და თვალწყვილების სხვადასხვა დიამეტრებით იყო გამოწვეული. დენებს შორის განსხვავება დაახლოებით 3,5-4-ჯერ მეტი იყო, ვიდრე მიმდევრობითი აგზნების ძრავების გამოყენების შემთხვევაში. ეს ფაქტორი პრაქტიკულად ზღუდავდა დამოუკიდებელი აგზნების გამოყენებას ელმავლებზე.

მიუხედავად ამკარა უპირატესობისა ბუქსაობის პროცესისადმი ნაკლებად მიდრეკილების მხრივ, დამოუკიდებელი აგზნების სისტემამ ვერ ჰპოვა ფართე გამოყენება, წვევის ძრავებს შორის დატვირთვების თანაბარ განაწილებასთან დაკავშირებული სირთულეების გამო. გარდა ამისა, უნდა აღინიშნოს, რომ მიმდევრობითი აგზნების ძრავები, რომელთაც რბილი მახასიათებელი გააჩნიათ, უპირატესობები აქვთ ისეთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებლების მხრივ, როგორცაა დატვირთვების თანაბრად განაწილება წვევის ძრავებს შორის, დენის ნაკლებად ცვლილება ქსელის მავის ცვლილებისას, სიმძლავრის ნაკლებად ცვლილება გზის სხვადასხვა პროფილზე მოძრაობისას. ამიტომ საქართველოს რკინიგზაზე ექსპლუატაციაში მყოფი ელმავლების აბსოლუტურ უმეტესობას წვევის ძრავების მიმდევრობითი აგზნების სისტემა გააჩნია. იმისათვის, რომ შეამცირონ რბილი

მახასიათებლების უარყოფითი მხარეები ბუქსაობის მხრივ, ეს ელმავლები აღჭურვილია ბუქსაობის საწინააღმდეგო მოწყობილობებით (როგორცაა ბუქსაობის რელე, ბუქსაობის გადამწოდი), რომელთა ეფექტურობა და სწრაფმოქმედება შეიძლება ითქვას, რომ არც თუ ისე მაღალია.

დამოუკიდებელი აგზნების გარდა, განვითარება ჰპოვეს აგრეთვე სხვა სქემებმაც. ასეთია, მაგალითად, წევის ძრავების აგზნების გრაგნილის დამატებითი კვების განხორციელება გარეშე წყაროდან. ეს ფაქტორიც უზრუნველყოფს ელმავლების წევის თვისებების გაუმჯობესებას. შემდეგი ნაბიჯი იყო წევის ძრავების შერეული აგზნება წევის ძრავების აგზნების გრაგნილების სექციონირების გზით (ნახ. 2). მთავარი პოლუსის გრაგნილი გახლეჩილი იყო ორად - ერთი ნაწილი მიეკუთვნება დამოუკიდებელი აგზნების სისტემას, ხოლო მეორე ნაწილი მიმდევრობითი აგზნების სისტემას. ელმავლებმა საცდელი გარბენებისას აჩვენა საკმაოდ დადებითი შედეგები, მაგრამ მოცემულმა სქემებმა შემდგომი განვითარება ვერ ჰპოვეს, რადგან დაკავშირებული იყო წევის ძრავების კონსტრუქციის გართულებასთან.



ნახ. 2. წევის ძრავების შერეული აგზნების გამარტივებული სქემა:
 TM - წევის ძრავას ლუზა; D1, D2 - მიმდევრობითი აგზნების გრაგნილის მომჭერები;
 F1, F2 - დამოუკიდებელი აგზნების გრაგნილის მომჭერები

ვერც ძაბვის იმპულსური ელმავლები გამოირჩევიან უნაკლო თვისებებით, რადგან თავად იმპულსური რეგულირება მნიშვნელოვნად აფართოებს ელმავლის დენის ჰარმონიკულ სპექტრს. იმპულსური რეგულატორი გენერირებს დამატებით ჰარმონიკულ მდგენელებს და მათი მავნე ზეგავლენის გასაბათილებლად საჭიროა მძლავრი შემავალი ფილტრების დაყენება, რაც თავის მხრივ, ართულებს ელმავლის კონსტრუქციას და ზრდის ფასს.

კიდევ ერთი მიმართულება, რომელიც დაკავშირებულია ელმავლების წევის თვისებების გაზრდასთან უკოლექტორო წევის ძრავების გამოყენებაა. მათ მიეკუთვნება ასინქრონული და ვენტილური ძრავები. მათი გამოყენება განაპირობებს წევის ძალის გაზრდას, ხოლო წევის გარდამქმნელები კი უზრუნველყოფენ ნებისმიერი სასურველი ფორმის მახასიათებლის მიღებას [4].

თუმცა უკოლექტორო წვევის ძრავებით აღჭურვილი ელექტრომოდრავი შემადგენლობა, ჩვენ ქვეყანაში ჯერჯერობით ვერ პოულობს ფართე გამოყენებას (თუ არ ჩავთვლით ცალკეულ შემთხვევებს სამგზავრო გადაზიდვებში) და როგორც ჩანს, უახლოეს მომავალში სურათი კარდინალურად შეიძლება არ შეიცვალოს, გამომდინარე იქედან, რომ ეს საკითხი საჭიროებს მნიშვნელოვან კაპიტალდაბანდებებს, სარემონტო და საექსპლუატაციო ბაზების გადაიარაღებას და სხვ.

ამიტომ შეიძლება გამართლებული იყოს არსებული კოლექტორული წვევის ძრავების მქონე ელმავლების მოდერნიზება წვევის თვისებების გაუმჯობესების მიზნით.

დღეისათვის სიტუაცია შეიცვალა იმ მხრივ, რომ ნახევარგამტარული და მიკროპროცესორული ტექნიკის დიდი ტემპებით განვითარებამ განაპირობა აღნიშნული ტექნიკის დანერგვა ელმავლებზე. მათ აქვთ საშუალება მისცენ წვევის მახასიათებელს ნებისმიერი სასურველი ფორმა და მართონ წვევის ძრავებს შორის დატვირთვების განაწილება თითოეული წვევის ძრავის აგზნების დენის ინდივიდუალური რეგულირების ხარჯზე, . ეს ფაქტორი ელმავლებზე წვევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების გამოყენებისათვის ფართე შესაძლებლობებს ხსნის.

ამ მიზნით, თბილისის სს „ელმავალმშენებელში“ 2007-2008 წლებში შეიქმნა 10² მარვის ელმავალი წვევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნების სქემით წვევისა და რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმებში. ელმავალი ვლ-10 წერიის ელმავლის ბაზაზე იყო დამზადებული. წვევის ძრავების აგზნების გრაგნილის კვების წყაროდ ჩეხურ ფირმაში - „დიელკომ“ დამზადებული სტატიკური გარდამქნელი „დცბ 1.0“ გამოიყენებოდა. ეს გარდამქნელი თანამედროვე IGBT ტრანზისტორების ბაზაზე იყო დამზადებული [5] და მართვა მიკროპროცესორის მეშვეობით ხორციელდებოდა. შემოთავაზებული იყო ელმავლის მართვის ოპტიმალური ალგორითმი. კერძოდ, წვევის რეჟიმში სტატიკური გარდამქნელი აფორმირებდა მიმდევრობითი აგზნების ძრავის მახასიათებლებს, რომელიც ყველაზე უფრო მისაღებია ზემოთგანხილული წვევის მიზნებისათვის. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელი იყო აგერეთვე წვევის ძრავების ველის გაძლიერების ალგორითმიც. ბუქსაობის დაფიქსირებისას, ალგორითმით გათვალისწინებული იყოს წავის ძრავების ხისტი მახასიათებლის ფორმირება, რაც ბუქსაობის პროცესის სწრაფი ელიმინაციის საშუალებას იძლევა, რიც შემდეგაც სისტემა დააბრუნებდა მიმდევრობითი აგზნების ალგორითმი.

ელმავალი თავისუფალი იყო იმ ნაკლოვანებებისაგან, რაც მის წინამორბედზე დაფიქსირდა (ვლ-8-414), მაგრამ როგორც საცდელმა გარბენებმა აჩვენა, შეიმჩნეოდა ელმავლის არც თუ ისე მდგრადი მუშაობა გარდამავალ რეჟიმებში (მაგალითად, წვევის ძრავების გადაჯგუფების შეცვლისას, ძაბვის უეცრად მოხსნისას და მოწოდებისას და სხვ.). საჭირო იყო სქემის დაყვანა, რაც გამოიხატებოდა წვევის ძრავების აგზნების დენის

ინდივიდუალურ რეგულირების დანერგვაში, თითოეული თვალწყვილის სიჩქარის გადამწოდებით აღჭურვაში, რაც უთუოდ გააუმჯობესებდა ბუქსაობის პროცესის სწრაფად დაფიქსირების და მის ადრეულ ეტაპზე გამოვლინების შესაძლებლობას. თუმცა მიდგომა, რაც ითვალისწინებს წევის რეჟიმში მიმდევრობითი აგზნების მახასიათებლების ფორმირებას, ხოლო ბუქსაობისას კი ხისტი მახასიათებლის ფორმირებას წარმატების მიღების საფუძველს იძლევა მუდმივი დენის ელმავლების წევის თვისებების გაუმჯობესების მხრივ.

ლიტერატურა

1. Головатый А.Т., Исаев И.П., Горчаков Е.В.. Независимое возбуждение тяговых двигателей электровозов/Под ред. А.Т.Головатого. М.:Транспорт.1976.
2. Зерекидзе И.И.. Электровоз с регулируемыми характеристиками тяговых двигателей// Электрическая и тепловозная тяга. 1961. №3.
3. Тулупов В.Д., Бондаренко Б.Р.и др. Грузовой электровоз постоянного тока ВЛ12// Электрическая и тепловозная тяга. 1976. №3.
4. Киржнер Д.Л., Кучумов В.А., Аулов Е.В.. Бесколлекторные тяговые двигатели: проблемы и достижения// Журнал «Локомотив». №12. 2014.
5. Чехура И., Болашвили Д.Н., Манджавидзе Н.Г., Зерекидзе А.И. Статический преобразователь на базе IGBT транзисторов для электровозов постоянного тока. Вестник всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. Новочеркасск. 2007.

POSSIBLE WAYS TO IMPROVE THE TRACTION PROPERTIES OF DC ELECTRIC LOCOMOTIVES EQUIPPED WITH TRACTION MOTORS WITH COMMUTATORS.

A.Zerekidze, T.Natenadze, N.Kereselidze.

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 60-67. geo. sum geo. engl. rus.

The article discusses various schemes for improving the traction and speed properties of DC electric locomotives equipped with traction motors with commutators. Their pros and cons are given. An optimal model is proposed that takes into account the power supply of the excitation winding of traction motors from a microprocessor converter, which forms the characteristics of series excitation traction motors in traction mode, and the characteristics of independent excitation in the regenerative braking mode. When slip of the wheels is detected, less drooping characteristic of traction motors is formed.

Ill. 2, bibl. 5.

ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА ОСНАЩЕННЫМИ КОЛЛЕКТОРНЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.

А.Зерекидзе, Т.Натенадзе, Н.Кереселидзе.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 60-67. груз. реф. англ., рус.

Рассматриваются различные схемы улучшения тягово-скоростных свойств электровозов постоянного тока, оснащенных коллективными тяговыми двигателями. Приведены их плюсы и минусы. Предложена оптимальная модель, учитывающая питание обмотки возбуждения тяговых двигателей от микропроцессорного преобразователя, формирующего характеристики тяговых двигателей последовательного возбуждения в тяговом режиме, и характеристики независимого возбуждения в режиме рекуперативного торможения. При обнаружении тяги формируется жесткая характеристика тяговых двигателей.

Илл. 2, лит. 5 назв.

თბოგადამცემის ახალი კონსტრუქცია დიდი მოცულობის სითხეების
ტემპერატურის სწრაფი და ზუსტი ცვლილებისათვის

ლუიზა პაპავა - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: Papava1949@gmail.com

მარინე რაზმაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: marina.razmadze30@mail.ru

საბა კატარქალიშვილი - ბაკალავრიატის სტუდენტი

გივი გუგულაშვილი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: g.gugulashvili@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია სითბოს გადამცემი მოწყობილობები და ნაჩვენებია, რომ ისინი ხასიათდება სითბოს არაეფექტური გადაცემით, რაც განაპირობებს სასურველი ტემპერატურის მიღწევის ხანგრძლივობის გადიდებას და მიღწეული ტემპერატურის მნიშვნელობის დაბალ სიზუსტეს. აღნიშნული უარყოფითი მხარე განსაკუთრებით იჩენს თავს დიდი მოცულობის მქონე სითხეების ტემპერატურის ცვლილების შემთხვევაში.

წარმოდგენილია თბოგადამცემი მოწყობილობის ახალი კონსტრუქცია, რომელიც მზრუნავ თბოგადამცემ მილზე დამაგრებული თბური მილების გამოყენებით უზრუნველყოფს თბოგადამცემის პროცესის ინტენსიფიკაციას, რაც იძლევა სითხის სასურველი ტემპერატურის მაღალი სიზუსტითა და დიდი სიჩქარით მიღწევის შესაძლებლობას.

საკვანძო სიტყვები: ავზი, თბური მილი, თბოგადამცემი მილი, სითბოს გადაცემა, სითხე.

შესავალი

წარმოების მრავალ დარგში, როგორცაა, მაგალითად, ავიაცია და კოსმოსური კვლევები, ენერგეტიკა, რადიოტექნიკა, მედიცინა და კვების მრეწველობა, ტექნოლოგიური პროცესების განხორციელებისათვის, ძალზე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება დიდი მოცულობის მქონე სითხეების ტემპერატურის ზუსტ მნიშვნელობებს და ამ მნიშვნელობის სწრაფ და ეფექტურ მიღწევას [4].

კვების მრეწველობაში ასეთი პრობლემები წარმოიქმნება, მაგალითად, შამპანურისა და ცქრიალა ღვინოების წარმოებაში, როდესაც ღვინოში საფუარის სპეციალური კულტურის დამატების შემდეგ მეორადი დუდილის ნორმალურად წარმართვისათვის აუცილებელია დიდი მოცულობის (4750 ლ) ჭურჭელში შენარჩუნებული იყოს ზუსტად +18°C ტემპერატურა, ხოლო დუდილის დასრულების შემდეგ უმოკლეს ვადაში (დღეისათვის ცდილობენ, რომ გაცივების ხანგრძლივობამ არ გადააჭარბოს 18 სთ-ს) მთელი აღნიშნული მოცულობის მქონე სითხე გაცივდეს მინუს 5°C ტემპერატურამდე [2].

მსგავსი ამოცანაა გადასაწყვეტი რძის წარმოებაში, როდესაც ახლად მიღებული რძე შესაძლოდ მცირე დროში უნდა გაცივდეს $+4^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე [6]. ენერგეტიკაში ძალზე ხშირია დიდი მოცულობის მქონე წყლის სწრაფი გაცხელების აუცილებლობა.

გაცხელებისათვის მრავალი სხვადასხვა მეთოდი გამოიყენება. მაგალითად, “მწვავე” ორთქლით გაცხელება ბარბოტერის გამოყენებით, “ყრუ” ორთქლით გაცხელება თბოგადამცემი პერანგის დახმარებით, საცეცხლურიდან გამომავალი ნამწვი აირების სითბოს გამოყენება, ელექტრული დენის გამოყენებით მომუშავე პირდაპირი და არაპირდაპირი (წინაღობის) ღუმელები, ელექტრული ინდუქციური ტიპის ღუმელები და სხვ. გაცივებისათვის კი გამოიყენება გარსაცმშილებიანი, კლაკნილამილებიანი თბოგადამცემები, მაცივარ-აგენტის მილებს შორის ან მილებს შიგნით დულილის, აორთქლების პრინციპზე მომუშავე და სხვა ტიპის თბოგადამცემები [5].

ყველა აღნიშნული გამაცხელებელი ან გამაცივებელი მოწყობილობა დღეისათვის ფართოდ გამოიყენება კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად. მაგრამ ნებისმიერი მათგანისათვის დამახასიათებელ საერთო ნაკლს წარმოადგენს ტემპერატურის ცვლილების დიდი ხანგრძლიობა და მიღწეული ტემპერატურის მცირე სიზუსტე. ეს ნაკლი განსაკუთრებით იზრდება დასამუშავებელი სითხის მოცულობის ზრდასთან ერთად. ამ მოვლენის ძირითადი მიზეზია სითბოს გადამცემიდან სითბოს მიმღებზე თბოგადაცემის მცირე ეფექტურობა [3,5].

აღნიშნული ნაკლის გამოსწორების მიზნით დამუშავებულია თბოგადამცემის ახალი კონსტრუქცია თბური მილების [1] გამოყენებით.

ძირითადი ნაწილი

თბური მილების მქონე თბოგადამცემის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე.

მოწყობილობის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს დიდი მოცულობის მქონე რეზერვუარი, რომლის კორპუსი 1 საყრდენებით 2 დადგმულია იატაკზე. კორპუსს აქვს სახურავი 3 და ფსკერი 4, აგრეთვე მილყელები სითხის შემოსაყვანად 5 და გამოსაყვანად 6. კორპუსის შიგნით სახურავის 3 გავლით ჩადგმულია ამრევი მილი 7, რომელსაც საკისრების 8 დახმარებით შეუძლია ბრუნვა ვერტიკალური ღერძის მიმართ. ამრევი მილის ბრუნვის შემთხვევაში კორპუსის ჰერმეტიულობას უზრუნველყოფს სახურავში 3 განლაგებული ჩობალები 9. ამრევი მილში 7 მისი ღერძისადმი მართობულად (ავზის კორპუსისათვის ჰორიზინტალურად) ჰერმეტიულად ჩასმულია თბური მილები. ყოველი თბური მილი წარმოადგენს ცილინდრულ ჰერმეტიულ

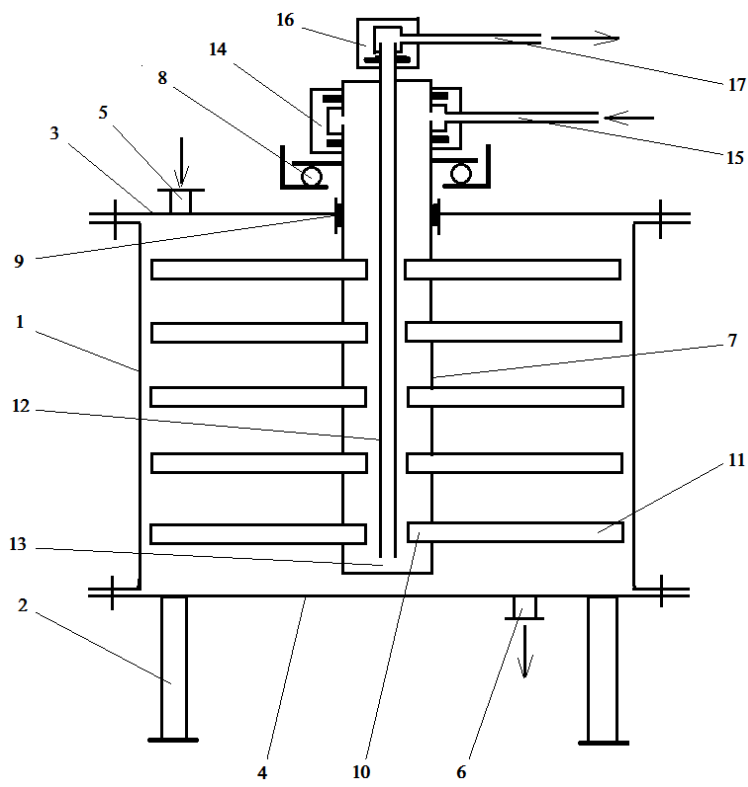
ჭურჭელს, რომლის შიგა კედელი აღჭურვილია თხევადი მუშა სხეულით გაჟღენთილი კაპილარული სისტემით – ფორების მქონე პატრუქით. თბური მილების კონდენსაციის ზონა 10 განლაგებულია ამრევი მილის 7 შიგნით გარკვეულ სიღრმეზე, ხოლო მათი აორთქლების ზონა 11 განლაგებულია კორპუსის 1 შიგნით მისი შიგა კედლიდან მცირე ღრეჩოთი. ამრევი მილის 7 შიგნით კონცენტრიულად განლაგებულია მეორე, დამატებითი მილი 12 ისე, რომ თბური მილების კონდენსაციის ზონა 10 მოთავსებულია აღნიშნულ მილებს (7 და 12) შორის დარჩენილ სივრცეში. ამასთან, ამრევი 7 და დამატებით 12 მილებს შორის ქვედა მხარეზე დატოვებულია ფანჯარა 13 თბოგადამტანი სითხის გასასვლელად. კორპუსის თავზე სახურავის 3 ზემოდან განლაგებულია კოლექტორი 14, რომელიც მილყელის 15 დახმარებით უზრუნველყოფს თბოგადამტანი სითხის მიწოდებას ამრევი მილის 7 შიგნით. აღნიშნული კოლექტორის 14 ზევით განლაგებულია მეორე კოლექტორი 16, რომელიც მილყელის 17 გავლით უზრუნველყოფს ნამუშევარი თბოგადამტანი სითხის გამოყვანას ამრევი მილიდან.

მოწყობილობა მუშაობსშემდეგნაირად.

როდესაც საჭიროა კორპუსის შიგნით არსებული სითხის გაცივება, მაშინ ამრევი მილის 7 შიგნით, კონცენტრულ მილებს 7 და 12 შორის არსებულ სივრცეში მილყელის 15 გავლით კოლექტორის 14 დახმარებით მიეწოდება გაცივებისათვის საჭირო ტემპერატურის მქონე თბოგადამტანი სითხე. აღნიშნული სითხე ჩამოდის ზევიდან ქვევით, გაუვლის აქ განლაგებული თბური მილების კონდენსაციის ზონებს 10 და მათი გაცივების შემდეგ ფანჯრის 13 გავლით მოხვდება დამატებითი მილის 12 შიგა სივრცეში, საიდანაც, თბური მილების კონდენსაციის ზონასთან 10 კონტაქტის შედეგად შედარებით გამთბარი, გამოდის კოლექტორის 16 და მილყელის 17 დახმარებით.

რეზერვუარში სითხის გასაცივებლად ჩაირთვება ამმრავი და თბურ მილებიანი ამრევი მილი 7 იწყებს ბრუნვით მოძრაობას საკისრების დახმარებით. ბრუნვითი მოძრაობისას ამრევი მილზე დამაგრებული თბური მილების გარე ნაწილები (აორთქლების ზონები) კონტაქტში შედის გასაცივებელ სითხესთან. ამის შედეგად ხდება გასაცივებელი სითხიდან სითხოს გადაცემა თბური მილების აორთქლების ზონისათვის, რასაც აძლიერებს მილის 7 ბრუნვის ხარჯზე გასაცივებელი სითხის ინტენსიური არევა. მიღებული სითხოს ხარჯზე ადგილი აქვს თბურ მილებში მუშა სითხის აორთქლებას. წარმოქმნილი ორთქლი თბური მილის ჰერმეტიკულ კორპუსში წნევათა გათანაბრების ხარჯზე გადადის ამავე თბური მილის კონდენსაციის ზონისაკენ 11, სადაც განიცდის კონდენსაციას თბოგადამტანი სითხის დაბალი ტემპერატურის ხარჯზე. მიღებული

კონდენსატი კაპილარული სისტემის (პატრუქის) დახმარებით კვლავ ბრუნდება აორთქლების ზონაში 10, კვლავ შედის (თბური მილის კედლის გავლით) კონტაქტში გასაცივებელ სითხესთან, კვლავ ორთქლდება და სითბოს გადატანის პროცესი გასაცივებელი სითხიდან თბოგადამტანი სითხისაკენ კვლავ მეორდება.



ნახაზი. თბოგადამცემის პრინციპული სქემა

აღნიშნული სახით სითბოს გადატანა გრძელდება მანამ, სანამ არსებობს ტემპერატურული სხვაობა კორპუსში არსებულ გასაცივებელ სითხესა და თბურ მილებთან ამრევ მილში მიწოდებულ თბოგადამტან სითხეს შორის. როდესაც ეს ტემპერატურები გათანაბრდება, სითბოს გადაცემის პროცესი ავტომატურად შეწყდება, რადგან თბური მილის აორთქლებისა და კონდენსაციის ზონებს შორის ტემპერატურული სხვაობა და, შესაბამისად, თბური მილის მუშაობის მამოძრავებელი ძალა, ნულის ტოლი გახდება.

ამრევ მილზე თბური მილების საჭირო რაოდენობა დამოკიდებულია დასამუშავებელი სითხის საწყის და საბოლოო ტემპერატურებს შორის სხვაობაზე და მის საერთო მოცულობაზე, ხოლო ამ სითხის კონკრეტული ტემპერატურის მიხედვით შეირჩევა თბური მილების კაპილარული სტრუქტურა და მუშა სითხე. ამასთან, თბური

მიღები ხასიათდება ტემპერატურის რეგულირების ძალზე მაღალი სიზუსტით. მუშა სითხის აორთქლება-კონდენსაციის პრინციპით მომუშავე თბური მიღები უზრუნველყოფს კორპუსის შიგნით არსებული სითხისათვის სითბოს არა მარტო სწრაფად გადაცემას, არამედ ამ სითბოს ძალზე დიდი სიზუსტით რეგულირებას.

დასკვნა

თბური მიღები წარმოადგენს დღეისათვის სითბოს გადაცემის ყველაზე უფრო ეფექტურ საშუალებას, რაც განაპირობებს ნებისმიერ დიდ მოცულობაში არსებული სითხის ძალზე მოკლე დროის განმავლობაში გაცივებას ან გათბობას. აღნიშნულ მოვლენას ხელს უწყობს აგრეთვე თბური მიღებით აღჭურვილი ამრევი მილის ბრუნვა, რითიც უზრუნველყოფს ყოველი თბური მილის ინტენსიურ კონტაქტს დასამუშავებელ სითხესთან. ამასთან, თბურ მიღებს ახასიათებს რევერსიულობა, რაც იძლევა იმის საშუალებას, რომ რაიმე კონსტრუქციული ცვლილებების გარეშე სითხის გაცივების პროცესი შეიცვალოს გათბობით, ან პირიქით. ამისათვის საჭიროა მხოლოდ ტემპერატურის მქონე თბოგადამტანი სითხის მიწოდება ამრევი მილის შიგნით.

თბოგადამცემის ახალი კონსტრუქცია უზრუნველყოფს დიდი მოცულობის მქონე ჭურჭელში არსებული სითხის ტემპერატურის სწრაფად და მაღალი სიზუსტით ცვლილების შესაძლებლობას.

ლიტერატურა

1. მეგრელიძე თ., შეყრილაძე ი., გუგულაშვილი გ., ღვაჩლიანი ვ. თბური, გრიგალური და პულსაციური მიღები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2013.
2. მეგრელიძე თ., ღვაჩლიანი ვ., გუგულაშვილი ლ., მეგრელიძე გ., გუგულაშვილი გ. თბოგადამცემი დანადგარი. საპატენტო სიგელი № GE P 4902 B. 25.02.2010. კლასი F 25 B 15/00.
3. მეგრელიძე თ., ღვაჩლიანი ვ., სადალაშვილი ე., გუგულაშვილი გ. ახალი ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენება სიცივის მისაღებად. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. შრომათა კრებული. ქუთაისი: 2010.
4. მეგრელიძე თ., ისაკაძე თ., გუგულაშვილი გ. მაცივარი მანქანების ეფექტურობის ზრდა თბომცვლელი აპარატების მოდერნიზაციის გზით. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური პროცესების და მოწყობილობების პრობლემები“/შრომათა კრებული. თბილისი. 2015.
5. პაპავა ლ., გუგულაშვილი ლ., რაზმაძე მ., სადალაშვილი ე., გუგულაშვილი გ. გამახურებელი ზედაპირიდან სითხეზე სითბოს გადაცემის ინტენსიფიკაცია. “ენერგია“. №4(88). თბილისი. 2018.
6. გოლეთიანი გ., ისაკაძე თ., გუგულაშვილი გ., ლაზარაშვილი ზ., თიკანაშვილი მ. ჰაერგამაცივებლები მიღების შიგა ზედაპირების მიკროგაწიბოვნებით/ ”ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ №2(54). თბილისი. 2022.

NEW HEAT EXCHANGER DESIGN FOR FAST AND PRECISE CONTROL TEMPERATURE OF LIQUIDS OF LARGE CAPACITY.

L.Papava, M.Razmadze, S.Patarkalishvili, G.Gugulashvili.

"Energy". №2(106). 2023. Tbilisi. p. 68-73. geo. sum geo. engl. rus.

Heat exchange devices are considered and it is shown, that they are characterized by low efficiency of heat transfer, which predetermines the increase in the duration of reaching the required temperature and the low accuracy of the temperature reached. This shortcoming is especially revealed when the temperature of liquids of a large volume changes.

A new design of the heat exchange device is presented, which, using heat pipes mounted on a rotating heat exchange pipe, provides an intensification of the heat transfer process, which increases the accuracy of the obtained liquid temperature and reduces the duration of its achievement.

Ill. 1, bibl. 6.

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ БЫСТРОГО И ТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТЕЙ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ.

Л.Папавა, М.Размадзе, С.Патаркалишвили, Г.Гугулашвили.

"Энергия". №2 (106). 2023. Тбилиси. с. 68-73. груз. реф. англ., рус.

Рассмотрены теплообменные устройства. Показано, что они характеризуются малой эффективностью передачи тепла, что предопределяет увеличение продолжительности достижения требуемой температуры и малую точность достигнутой температуры. Указанный недостаток особенно выявляется при изменениях температуры жидкостей большого объема.

Представлена новая конструкция теплообменного устройства, которая с использованием укрепленных на вращающейся теплообменной трубе тепловых труб обеспечивает интенсификацию процесса теплопередачи, что повышает точность полученной температуры жидкости и уменьшает продолжительность ее достижения.

Илл. 1, лит. 6 назв.

რელაქციაში სტატიების შემოტანის წესები

1. ჟურნალის რელაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:
 - საკუთრივ სტატიას - 1 ეგზ. (სტატია და რეფერატი უნდა იყოს სტრუქტურირებული და შედგებოდეს შემდეგი ნაწილებისგან:
 - მეცნიერების დარგი;
 - სამუშაოს საგანი, თემა, მიზანი;
 - სამუშაოს შესრულების მეთოდი ან მეთოდოლოგია;
 - სამუშაოს შედეგები;
 - შედეგების გამოყენების სფერო;
 - დასკვნები.
 - ანოტაციას ქართულ ენაზე - 1 ეგზ.
 - ანოტაციას რუსულ ენაზე - 1 ეგზ.
 - ანოტაციას ინგლისურ ენაზე - 1 ეგზ.
 - დისკეტაზე ჩაწერილ სტატიასა და სამივე ანოტაციას (სათაურებით ქართულ, რუსულ და ინგლისურ ენებზე).
2. რელაქციაში შემოტანილი სტატიის გვერდის მოცულობა განისაზღვრება 1,5 ინტერვალით. შრიფტის ზომაა 12; გვერდის ველები – ზევიდან, ქვევიდან, მარცხნიდან და მარჯვნიდან – 25 მმ. შრიფტები: ქართული – Sylfaen, ინგლისური და რუსული – Times New Roman.
3. სტატია შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ქართულ, რუსულ ან ინგლისურ ენაზე. მისი მოცულობა არ უნდა იყოს 3 გვერდზე ნაკლები.
4. გრაფიკული (ნახაზი, ფიგურა, სქემა, დიაგრამა, ნომოგრამა) და ფოტო მასალა აღირიცხება ტექსტის შემადგენლობაში ისევე, როგორც ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა და, თანაც აუცილებელია უახლესიც. აუცილებელია ციტირებული ლიტერატურის რიგითი თანმიმდევრობის ნუმერაციის განთავსება ტექსტში. წარმოდგენილი გრაფიკული ან ფოტო მასალა იბეჭდება შავ-თეთრი გამოსახულებით. ფერად გამოსახულებაში მათი შესრულების შესაძლებლობა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დგინდება გამომცემლობა "ენერჯის" ხელმძღვანელობასთან შეთანხმებით. ყველა გრაფიკულ ან ფოტო მასალას უნდა ჰქონდეს დასახელება.
5. სტატიის ქართული, რუსული და ინგლისური ანოტაცია თითოეული უნდა შეიცავდეს 500 ნიშანს (დაახლოებით ხელნაწერი ტექსტის 10 სტრიქონს). ქართული, რუსული და ინგლისური ტექსტები უნდა ემთხვეოდეს ერთმანეთს.
6. ფიზიკური სიდიდეები უნდა იყოს წარმოდგენილი საერთაშორისო SI სისტემასთან შესაბამისობაში. ფორმულებში შემავალი სიდიდეები და აღნიშვნები უნდა გამოისახოს ქართული, ბერძნული ან ლათინური ანბანის შესაბამისად. როგორც გამონაკლისი, დასაშვებია რუსული ანბანის ასოების გამოყენება ეკონომიკური ხასიათის სტატიის წარმოდგენისას.
7. აუცილებელია სტატიის ავტორის (ავტორების) სახელის, სამეცნიერო ხარისხის, წოდების ან სპეციალობის მოყვანა. ავტორის (ავტორების) ხელმოწერის გარეშე სტატია არ მიიღება. საჭიროა ბინის ან სამუშაო ადგილის ტელეფონის მითითება.