

UDC 621.311.2

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-146-151>**მაღალი საიმედოობის ელექტრული გარდამქმნელების ოპტიმალური დაპროექტება**

- ზურაბ გობიანიძე** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: gobianidzezurabi@gmail.com
- გრიგოლ ხარშილაძე** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: kharshiladze72@mail.ru
- ნიკა ჭანტურია** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: nikachanto@gmail.com

რეცენზენტები:

თ. ნათენაძე, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: engineer80@inbox.ru

კ. წერეთელი, სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: tsereetelik@gmail.com

ანოტაცია. სტატიაში განხილულია ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების, კერძოდ ელექტრული ძრავებისა და გენერატორების საიმედოობის გაზრდის გზები, რაც მნიშვნელოვანია ენერგოსისტემებისა და მრეწველობის სტაბილური მუშაობისთვის. ტრადიციული მიდგომები, როგორცაა მაღალი ხარისხის მასალების გამოყენება, ეფექტური გაგრილების სისტემები, რეგულარული ტექნიკური მოვლა და ექსპლუატაციის წესების სრული დაცვა, საფუძველს უქმნის ელექტრული გარდამქმნელების მწყობრიდან გამოსვლის რისკების შემცირებას. სტატიაში მოხსენიებულია სენსორული მონიტორინგის სისტემები, რომ-

ლებიც რეალურ დროში აწვდიან მონაცემებს მექანიზმის მდგომარეობაზე. კვლევის მთავარი მიზანი კი არის ინოვაციური მიდგომა — მრავალხიანი კონსტრუქციიდან ერთხიანიანზე გადასვლა ელექტრულ ძრავებში, რაც გამორიცხავს ხვიათა შორის იზოლაციის დარღვევას. ელექტრული გარდამქმნელების 80% მწყობრიდან გამოდის ხვიათაშორისი იზოლაციის დაზიანების გამო. ამ მიდგომის დანერგვა მნიშვნელოვნად ზრდის ძრავების საიმედოობას, ამცირებს რემონტის ხარჯებს და ქმნის პირობებს ენერგოეფექტური და გამართული სისტემების შექმნისთვის. წარმოდგენილი შედეგები მრეწველობის ღირებული სამეცნიერო და პრაქტიკული საფუძველია.

საკვანძო სიტყვები: გენერატორი; ელექტრომექანიკური გარდამქმნელები; ელექტრული ძრავა; მარგი ქმედების კოეფიციენტი; საიმედოობა; სიმძლავრე; ხვიათა რიცხვი; ხვიათაშორისი იზოლაცია.

შესავალი

ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების საიმედოობა პირდაპირ გავლენას ახდენს თანამედროვე ინდუსტრიული სისტემების უწყვეტ მუშაობასა და ენერგორესურსების რაციონალურ გამოყენებაზე. ტექნოლოგიური პროგრესი და წარმოების მაღალი მოთხოვნები მოითხოვს ახალ მიდგომებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ როგორც კომპონენტების გამძლეობას, ისე მათი ექსპლუატაციის ხანგრძლივობას. თანამედროვე ინჟინერია აქცენტს აკეთებს არა მხოლოდ მექანიკურ სიმტკიცესა და ელექტრულ პარამეტრებზე, არამედ სისტემის ინტელექტუალურ მართვაზეც, რაც შესაძლებელს ხდის მწყობრიდან გამოსვლის პოტენციური მიზეზების ადრეულ იდენტიფიცირებას. ამ კონტექსტში, ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვა გარდამქმნელების კონსტრუქციასა და მართვაში წარმოადგენს გარდამტეხ ნაბიჯს, რაც ახალ სტანდარტებს აყალიბებს ენერგოინფრასტრუქტურაში. სტატიაში გამოკვეთილია თანამედროვე მიდგომების როლი და მათი ეფექტიანობა საიმედოობის გაუმჯობესების პროცესში.

ძირითადი ნაწილი

ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების საიმედოობა მრეწველობის და ენერგოსისტემების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხია. მიუხედავად ტექნოლოგიური პროგრესისა და მასალათმცოდნეო-

ბის გაუმჯობესებისა, სტატისტიკურად დადასტურებულია, რომ ელექტრული ძრავასა და გენერატორის მწყობრიდან გამოსვლის დაახლოებით 80% ხვიათა შორის იზოლაციის დარღვევით არის გამოწვეული. ეს მონაცემი მრავალ საერთაშორისო ტექნიკურ კვლევაში ფიქსირდება და მის დასადასტურებლად შეიძლება მოვიშველიოთ ავტორიტეტული ლიტერატურა [1], მათ შორის სადაც აღნიშნულია, რომ ძრავაში არსებულ ხვიათა შორის იზოლაციის დაზიანება ყველაზე ხშირი მოვლენაა. ხვიათა შორის იზოლაცია ასრულებს ცენტრალურ როლს ელექტრომექანიკური გარდამქმნის პროცესში. ამ იზოლაციის რღვევა იწვევს მოკლე ჩართვას ხვიათა შორის ან წარმოქმნის ელექტრულ რკალს, რაც საბოლოოდ იწვევს ძრავას გადახურებას, ძაბვის ვარდნას, ძრავას დაზიანებას და მწყობრიდან გამოსვლას. იზოლაციის დაზიანება შეიძლება გამოწვეული იყოს სხვადასხვა ფაქტორით, მათ შორის: მაღალი ტემპერატურით, ჭარბი დატვირთვით, ტენიანობით, ქიმიური ნივთიერებებით, მტვრით და სხვ.

როგორც წინშია [2] განმარტებული, იზოლაციის დაზიანების გამომწვევ მიზეზთა შორის პირველ ადგილზე დგას გადახურება — ტემპერატურის ყოველი 10°C-ით მატება მომსახურეობის ხანგრძლივობას ანახევრებს. შესაბამისად, ერთ-ერთი პრიორიტეტული ამოცანაა ხვიათა რიცხვის დაყვანა ერთამდე რაც მაქსიმუმამდე გაზრდის საიმედოობას.

ინოვაციური მიდგომა, რომელიც განიხილება სტატიაში, ემყარება სწორედ ხვიათა რიცხვის ერთამდე დაყვანას. ასეთი კონსტრუქციული მიდგომა გამორიცხავს შიდა ხვების არსებობას და შესაბამისად, სრულად აღმოფხვრის ხვიათა შორის იზოლაციის დარღვევის შესაძლებლობას.

ასევე, აღსანიშნავია კვლევა, რომელიც გამოქვეყნდა ჟურნალში [3], სადაც ნაჩვენებია, რომ ტრადიციული სამფაზიანი ძრავების დაახლოებით 77% მწყობრიდან გამოდის იზოლაციის პრობლემის გამო.

გარდა სტრუქტურული ცვლილებებისა, დიდ მნიშვნელობას იძენს პრევენციული დიაგნოსტიკის და სენსორული მონიტორინგის სისტემების დაწერვა. თანამედროვე ძრავებში ინტეგრირებულია თერმული სენსორები, ვიბრაციის ანალიზატორები და ძაბვის – დატვირთვის რეალურ დროში მონიტორინგის ტექნოლოგია. ეს მონაცემები ეხმარება ოპერატორს, დროულად აღმოაჩინოს იზოლაციის დარღვევის საწყისი ნიშნები და შეაჩეროს ძრავას ფუნქციონირება მანამდე, სანამ პრობლემა სერიოზულ ავარიად გადაიქცევა.

საინტერესო მაგალითია General Electric-ის მიერ განხორციელებული პილოტური პროგრამა ქიმიური ინდუსტრიის ქარხანაში, სადაც ძრავებში დამონტაჟებული იყო უახლესი სენსორული მოდულები და მონაცემები უშუალოდ ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებულ ანალიტიკურ სისტემაში გაიფილტვრებოდა. შედეგად, ხუთიდან ოთხ ძრავაში მოხდა პოტენციური ხარვეზის ადრეული იდენტიფიცირება და დაზიანების თავიდან აცილება.

ამრიგად, ძრავების ხვიათა რაოდენობის ოპტიმიზაცია, ინოვაციური კონსტრუქციული მიდგომები და ჭკვიანი მონიტორინგის სისტემები იძლევა კომპლექსურ და ეფექტიან გადაწყვეტილებებს საიმედოობის გასაუმჯობესებლად. ხვიათა შორის იზოლაციის დარღვევა არ უნდა დარჩეს უყურადღებოდ, რადგან სწორედ ეს ასპექტი განსაზღვრავს ძრავას საიმედოობას.

ამ კონტექსტში, საინჟინრო პრაქტიკაში ჩამოყალიბებულია რამდენიმე სტანდარტული მეთოდი, რომლებიც მიზნად ისახავს ძრავას საიმედოობის გაუმჯობესებას:

მაღალხარისხიანი მასალების გამოყენება მაგნიტური პოლუსებისათვის; გამოიყენება ფერიტები ან დაბალი დანაკარგის მქონე ელექტრომაგნიტური ფოლადი; დენგამტარი ნაწილებისთვის კი – მაღალი ხარისხის სპილენძი, რაც უზრუნველყოფს დაბალ ელექტრულ წინააღმდეგობას და მაღალ ენერგოეფექტურობას.

გაგრილების სისტემების გაუმჯობესება ძრავების ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ასპექტია. სტანდარტულად გამოიყენება ჰაერით გაგრილება, თხევადი გაგრილების სისტემები. გაგრილების ხარისხი განსაზღვრავს იზოლაციის შენარჩუნების ვადასა და ძრავას მუშაობის ხანგრძლივობას.

ზუსტი მექანიკური აწყობა მაღალი სიზუსტით დამზადებული მექანიკური ნაწილები ამცირებს ხახუნს, ცვეთას და ხელს უწყობს ელექტრომექანიკური გარდამქმნელის საიმედო მუშაობას.

ვიბრაციისა და ხმაურის შემცირება დაბალვიბრაციული ფუნქციონირება არა მხოლოდ ზრდის საიმედოობას, არამედ ამცირებს შიდა ლოკალურ დაზიანებებს. ამისთვის გამოიყენება როტორის ბალანსირება, ამორტიზატორები და ანტივიბრაციული საყრდენები.

ელექტრონული კონტროლი და დაცვა ინვერტორები, რელეები და ჭკვიანი მართვის სისტემები იცავს ძრავას გადატვირთვისა და მოკლე ჩართვისგან. თანამედროვე მართვის მოდულები რეალურ

დროში აკვირდებიან ძრავას მდგომარეობას და ადრე აფრთხილებენ მოსალოდნელ პრობლემებზე;

სწორი ექსპლუატაცია და ტექნიკური მომსახურება რეგულარული ინსპექცია, საპოხი მასალის გამოყენება, მტვრის მოცილება.

მოდერნიზაცია და ავტომატიზაცია ძველი სისტემების თანამედროვე კომპონენტებით ჩანაცვლება, სენსორებისა და PLC მოდულების ინტეგრირება სისტემის საიმედოობაზე და მოქნილობაზე აისახება.

მიუხედავად ამ ქმედითი ნაბიჯებისა, კვლევებმა აჩვენა, რომ ხვიათა შორის იზოლაციის დაზიანების საფრთხე მაინც რჩება ყველაზე კრიტიკულ ზონად ძრავას კონსტრუქციაში. სწორედ ამ ფონზე იბადება კვლევის ინოვაციური მიდგომა, რომელიც არსებითად განსხვავდება ტრადიციული მიდგომებისგან.

- **კონსტრუქციული ინოვაცია — მრავალხვიანი გრაგნილის ერთხვიანი გრაგნილით შეცვლა:** მოცემული გადაწყვეტა გამორიცხავს ხვიათა შორის ელექტრულ კონტაქტს, რაც პრაქტიკულად სრულად აღმოფხვრის ხვიათა შორის იზოლაციის დარღვევის პრობლემას. გამოყენებულია ერთი ხვიით შესრულებული კონსტრუქცია, რომელიც სტრუქტურულად გამორიცხავს ხვიათა შორის მოკლე შერთვის შესაძლებლობას. შედეგად, იზოლაციის დაზიანების რისკი ნულამდე მცირდება.

- **გაგრილების გაუმჯობესებული ეფექტურობა:** მრავალხვიანი მოდელებში გარკვეულ უბნებში ჰაერის ნაკადის წვდომა შეზღუდულია, რის გამოც წარმოიქმნება „მკვდარი ზონები“ — გრაგნილის ადგილები, რომლებიც ინტენსიურად არ ცივდებიან. ერთი ხვიით შესრულებულ ძრავაში ასეთი ზონები

აღარ არსებობს, რადგან გაგრილება თანაბრად ნაწილდება მთელ ხვიაზე, რაც იზოლაციის საიმედოობას მნიშვნელოვნად ზრდის.

ამ მიდგომების კომბინაცია არა მხოლოდ ზრდის ძრავების საიმედოობას, არამედ ამცირებს სარემონტო ინტერვალებს, ახანგრძლივებს ექსპლუატაციის ვადას და ქმნის საფუძველს ენერგოეფექტური და ეკონომიკურად გამართული სისტემების განვითარებისთვის. ინოვაციური დიზაინი და გაგრილების ეფექტიანობის ზრდა გვამდევს საშუალებას საიმედო ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების შექმნისათვის.

გამოყენების არეალი

წარმოდგენილი კონსტრუქციული გადაწყვეტა განსაკუთრებით ეფექტურია იმ შემთხვევებში, როდესაც კვების წყარო, მართვის ბლოკი და ელექტრომექანიკური გარდამქმნელი განლაგებულია მცირე სივრცეში და საჭიროა კომპაქტურობა, ეფექტურობა და საიმედოობა ერთდროულად. შესაბამისად, მსგავსი ძრავების გამოყენების ძირითადი არეალებია:

სატრანსპორტო სექტორი — მათ შორის საჰაერო და საზღვაო ტრანსპორტი, სადაც კომპაქტური, მსუბუქი და მაღალი საიმედოობის მქონე ძრავებია საჭირო, მაგალითად უპილოტო საფრენი აპარატები (UAV), წყალქვეშა რობოტები, სწრაფ-მავალი ნავები და ელექტროგემები.

სახმელეთო ტრანსპორტი — ელექტრომობილები, ჰიბრიდული მანქანები, მეტროპოლიტენის სისტემები და ინდუსტრიული ავტომატიზაციისათვის განკუთვნილი მოძრავი პლატფორმები, სადაც მოდულურობა და ენერგოეფექტურობა გადამწყვეტია.

ზუსტად ამგვარი სისტემებისთვის, სადაც სივრცის ოპტიმიზაცია, გაგრილების ეფექტიანობა და ხანგრძლივი ექსპლუატაცია უმნიშვნელოვანესია, ახალი ტიპის ელექტროძრავები შეიძლება გახდეს გარდამტეხი ტექნოლოგიური გადაწყვეტილება.

დასკვნა

წარმოდგენილი კვლევა მიუთითებს, რომ ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების საიმედოობის გაუმჯობესება შესაძლებელია როგორც კონსტრუქციული ინოვაციებით, ისე მენეჯმენტის თანამედ-

როვე მიდგომებით. ერთხვიანი გრაგნილის გამოყენება იძლევა საშუალებას, სრულად იქნეს აღმოფხვრილი ხვიათა შორის იზოლაციის დარღვევის ძირითადი რისკები, ხოლო თანაბარი გაგრილება გამორიცხავს ლოკალურ გადახურების ზონებს. აღნიშნული ტექნოლოგიური ნაბიჯები ქმნის მყარ საფუძველს ახალი თაობის ენერგოეფექტური, კომპაქტური და გამძლე სისტემების განვითარებისთვის, რაც განსაკუთრებით აქტუალურია მაღალი საიმედოობის მქონე ინდუსტრიულ და სატრანსპორტო სექტორებში.

ლიტერატურა

1. Finley, W. R., Hodowanec, M. M., & Waldoch, W. G. (n.d.). An analytical approach to solving motor failures. *IEEE Transactions*.
2. Nailen, R. (2024). *Electric motor predictive and preventive maintenance guide*.
3. IEEE. (2021). *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. IEEE.

UDC 621.311.2

SCOPUS CODE 2102

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-4-146-151>

Optimal Design of High-Reliability Electrical Converters

Zura Gobianidze	Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: gobianidzezurabi@gmail.com
Grigol Kharshiladze	Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: kharshiladze72@mail.ru
Nika Chanturia	Department of Electric Power and Electromechanics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: nikachanto@gmail.com

Reviewers:

T. Natenadze, Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: engineer80@inbox.ru

K. Tsereteli, Professor, Faculty of Energy, GTU

E-mail: tsereetelik@gmail.com

Abstract. This article discusses ways to improve the reliability of electromechanical converters, in particular electric motors and generators, which are crucial for the stable operation of power systems and industrial processes. Traditional approaches—such as the use of high-quality materials, efficient cooling systems, and strict adherence to maintenance and operating protocols—lay the foundation for reducing the risk of failure. The article also examines sensor-based monitoring systems that provide real-time data on the condition of mechanisms. The main focus of the research is an innovative approach: reducing the number of winding turns in electric motors to one, thereby eliminating the possibility of insulation failures between turns. It is worth noting that about 80% of the failures of electrical transformers are caused by such insulation damage. The implementation of this approach significantly increases engine reliability, reduces maintenance costs, and contributes to the development of energy-efficient and reliable systems. The presented results represent a valuable scientific and practical basis for industrial application.

Keywords: Efficiency coefficient; Electric motor; Electromechanical converters; Generator; Inter-turn insulation; Number of windings; Power; Reliability

განხილვის თარიღი 29.05.2025

შემოსვლის თარიღი 11.06.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.12.2025