

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნინო გვარამაძე

ახალი ტიპის ამორფულმაგნიტურგულარიანი  
ტრანსფორმატორების თავისებურებების კვლევა

ელექტროენერგეტიკა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2011 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
ელექტროენერგეტიკის დეპარტამენტის  
ელექტრული ენერჯის წარმოების, გადაცემის და განაწილების  
მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: შ. ნაჭყებია – სრ. პროფესორი

რეცენზენტები: -----  
-----

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----  
----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს  
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს  
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## რეზიუმე

გვარამაძე ნინოს დისერტაცია „ახალი ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების თავისებურებების კვლევა“ ეხება აქტუალურ პრობლემას. ნაშრომი შედგება 130 გვერდისგან და დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის გაფორმების ინსტრუქციის მიხედვით მოიცავს: ტიტულის გვერდს, ხელმოწერების გვერდს, საავტორო უფლებების გვერდს, რეზიუმეს ორ ენაზე (ქართულ-ინგლისური), შინაარსს (სარჩევს), ცხრილების და ნახაზების ნუსხას. ძირითადი ტექსტი შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, ოთხი თავის, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან.

შესავალში განხილულია კვლევის აქტუალურობა, პრობლემის შესწავლის მდგომარეობა, კვლევის მიზანი და ამოცანები, კვლევის საგანი, თეორიული და მეთოდოლოგიური საფუძველი, კვლევის მეცნიერული სიახლე, ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა, ნაშრომის აპრობაცია, მისი მოცულობა და სტრუქტურა. ტრანსფორმატორის გულარისათვის მასალის შერჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას ტრანსფორმატორის დამზადებისას. მნიშვნელოვანია, რომ ამ მასალას ჰქონდეს კარგი მაგნიტური და მექანიკური თვისებები. ლითონის შერჩევა დამოკიდებულია უქმი სვლის დანაკარგებზე და სრულ თვითღირებულებაზე.

დისერტაციის **პირველ თავში** – ამორფული მასალების დახასიათება. მოიცავს შემდეგ პარაგრაფებს: ამორფული ლითონი; ამორფული ლენტი; ამორფული მასალის შედგენილობის მიკრორენტგენულ-სპექტრული ანალიზი; ამორფული ლენტისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის დამზადების ტექნოლოგია.

არსებობს ორი ძირითადი მასალა, რომელიც გამოიყენება ტრანსფორმატორების გულარის დასამზადებლად: ამორფული ლითონი და ცივად ნაგლინი ფოლადი. უქმი სვლის დანაკარგები ამორფულ გულარაში შეადგენს ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის გულარის უქმი სვლის დანაკარგების 25%-ს.

დისერტაციის **მეორე თავი** – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის დახასიათება. მოიცავს შემდეგ პარაგრაფებს: გულარის დიზაინი და ზომები; გულარის თერმიული თვისებები; ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის წარმოება და სატრანსფორმატორო უპირატესობები; ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის საიმედოობა, ხარისხი და რემონტის თავისებურებანი; ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ძალოვანი ტრანსფორმატორების ტიპები და მახასიათებლები. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების დიზაინი და რემონტის თავისებურებები კლასიკური (ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებული) ტრანსფორმატორის და რემონტის თავისებურებების მსგავსია.

დისერტაციის **მესამე თავი** – ტრანსფორმატორის ელექტრული პარამეტრები. მოიცავს შემდეგ პარაგრაფებს: ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები; სამგრაგნილა ტრანსფორმატორების და ავტოტრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები; სატრანსფორმატორო დანაკარგების აღწერა.

ტრანსფორმატორების შერჩევა ხდება მათი საპასპორტო მონაცემების მიხედვით. ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების საპასპორტო მონაცემებს მიეკუთვნება ნომინალური სიმძლავრე, გრაგნილთა ნომინალური ძაბვები, აგრეთვე უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის დენის მონაცემები, უქმი სვლის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები და უქმი სვლის დენი, მოკლე შერთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები და მოკლე შერთვის ძაბვა.

ამ ელექტრული პარამეტრების საფუძველზე განისაზღვრება სხვა ელექტრული პარამეტრები.

დისერტაციის **მეოთხე თავი** – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება. მოიცავს შემდეგ პარაგრაფებს: ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების ურთიერთშედარება; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების მაგნიტური და ფიზიკური თვისებების

ურთიერთშედარება; უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტაბვის ურთიერთშედარება; ფერორეზონანსის მოვლენით გამოწვეული გადამეტაბვების ურთიერთშედარება ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კალსიკური ტრანსფორმატორებისათვის; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კალსიკური ტრანსფორმატორების უპირატესობები და ნაკლოვანებები; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კალსიკური ტრანსფორმატორების მარგი ქმედების კოეფიციენტების ურთიერთშედარება; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კალსიკური ტრანსფორმატორების ეკონომიკური ურთიერთშედარება.

ჩატარებული გაანგარიშების ანალიზიდან ჩანს, რომ ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორში მოკლედ შერთვის დანაკარგები და უქმი სვლის დანაკარგები გაცილებით ნაკლებია კლასიკურ ტრანსფორმატორთან შედარებით. ჩატარებული გადამეტაბვის ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი უკეთესია კლასიკურ ტრანსფორმატორთან შედარებით, რადგან უქმი სვლის რეჟიმში ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორზე გადამეტაბვის დაახლოებითსიდიდე 3-ჯერ ნაკლებია კლასიკურ (ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებული) ტრანსფორმატორთან შედარებით. სატრანსფორმატორო დანაკარგების შემცირების მიზნით, რეკომენდირებულია ძალოვანი ტრანსფორმატორების გამოყენება, რომლებიც დამზადებულია ამორფული მასალების ბაზაზე. ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებს აქვთ ბევრად უფრო ნაკლები გაბარიტები და მასა, ვიდრე კლასიკური ტიპის ძალოვან ტრანსფორმატორებს. ამორფული მასალებისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორები ყოველდღიურად უფრო მოთხოვნადი ხდება მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში.

ბოლოს მოცემულია დასკვნები და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალი. კვლევაში მოცემული მასალა დაეხმარება, როგორც სახელმწიფო, ისე კერძო ენერგეტიკულ კომპანიებს ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებაში.

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**ნაშრომის აქტუალურობა:** თანამედროვე ელექტროტექნიკურ მრეწველობაში საგრძნობლად ამაღლდა მაგნიტური ტექნიკის კონკურენტუნარიანობა, რაც განაპირობა ბოლო ათწლეულში მაგნიტური შენადნობების წარმოების ტექნოლოგიაში მიღწეულმა წარმატებებმა. აშშ-ში, იაპონიაში, გერმანიაში, რუსეთში, ინგლისსა და სხვა მაღალგანვითარებულ ქვეყნებში მიღებული იქნა სრულიად ახალი კლასის მაგნიტური მასალები ამორფული მაგნიტური შენადნობების სახით.

ამორფული მაგნიტური მასალების მიღების რამოდენიმე ტექნოლოგიური მეთოდია დამუშავებული. მათ შორის: ლითონური შენადნობის ორთქლის კონდენსაციის, ზეჩქარული იონურპლაზმური დაფრქვევის, ლითონურ ნადნობთა სწრაფად წრთობისა და სხვა. დღეისათვის უპირატესად გამოიყენება ლითონურ ნადნობთა სწრაფადწრთობის მეთოდი და ამ წესით მიღებული მასალისაგან მზადდება სხვადასხვა ზომის თხელი ფირფიტები, ლენტები, მავთულები და ფხვნილები. ამორფული მაგნიტური მასალების თვისებები ზოგადად დამოკიდებულია მასალის შედგენილობასა და თერმული დამუშავების ხარისხზე; იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად – მაგნიტურბილ და მაგნიტურხისტ მასალებად.

ატომთა განლაგებაში შორისი წესრიგის უქონლობამ და იდეალურმა ატომურსტრუქტურულმა და ფაზურმა ერთგვაროვნებამ განსაზღვრა ამორფული მაგნიტური მასალების უნიკალური ფიზიკური, მექანიკური, ქიმიური და ელექტროტექნიკური თვისებების ერთობლიობა. ამდენად ამორფული მასალები წარმოადგენენ მრავალფუნქციონალური დანიშნულების მასალებს. მათი მკვეთრი მაგნიტური თვისებები განპირობებულია იმით, რომ მათში შეინიშნება დომენური საზღვრების ურთიერთქმედება მარცვლების საზღვრებთან და კრისტალური გისოსის დეფექტებთან. განსაკუთრებით ის გარემოება, რომ მათ დიდი მაგნიტური შეღწევადობა ( $\mu_6 - 80\ 000$ ,  $\mu_{6,კს} - 300\ 000 \div 700\ 000$ ) ახასიათებთ, რომლის ცვლილება ნაკლებადაა დამოკიდებული სიხშირეზე. ისინი ხასიათდებიან აგრეთვე კოჰერციული ძალის სიმცირით ( $H_c$  ნაკლებია  $0,01$  ერთეულზე),

მართკუთხოვანი ჰისტერეზისის მარყუით, დიდი ელექტრული კუთრი წინაღობით ( $\rho - 1 \div 1,5 \text{ ომი } \frac{\text{მმ}^2}{\text{გ}}$ ) გაჯერების დიდი ინდუქციითა და გადამაგნიტებაზე მცირე კუთრი დანაკარგებით. ამორფული მაგნიტური მასალები აგრეთვე ძლიერი კოროზია, რადიაცია და ცვეთამედველობით გამოირჩევიან. ყოველივე ამის გამო ელექტროტექნიკურ მრეწველობაში ინტენსიურად დაიწყო აღნიშნული მაგნიტური მასალების ბაზაზე სხვადასხვა მოწყობილობებისა და დანადგარების წარმოება.

**მეცნიერული სიახლე.** ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ის, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების წარმოება ხორციელდება უფრო მაღალ ძაბვებზეც მათი გამოყენება გაცილებით გამართლებულია 10 კვ და ნაკლები ძაბვაზე. ამ ძაბვაზე ამორფულმაგნიტურგულარიანი ტრანსფორმატორების გამოყენება ეკონომიკურად უფრო მომგებიანია, ვიდრე ჩვეულებრივი კლასიკური ტრანსფორმატორების გამოყენება. ჩატარებულია გადაძაბვის ანგარიშები, როგორც ამორფულმაგნიტურგულარიანი ტრანსფორმატორებისათვის, ისე კლასიკური ტრანსფორმატორებისათვის, კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ ამორფულმაგნიტურგულარიან ტრანსფორმატორებს უფრო მეტი მედეგობა გააჩნიათ გადაძაბვების მიმართ, ვიდრე კლასიკურ ტრანსფორმატორებს.

**პრობლემის შესწავლის მდგომარეობა.** სახელდობრ დღეისათვის ამორფული მაგნიტური მასალები წარმატებით გამოიყენება, როგორც ძალოვან, ასევე მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორების, ძრავების, მეორეული კვების წყაროების, მაგნიტური მაძლიერებლებისა და მოდულატორების, ფერორეზონანსული სტაბილიზატორების, დიდი სიმძლავრის აქტიური ფილტრების, მაგნიტური ეკრანების, დამამახსოვრებელი მაგნიტური მოწყობილობებისა და სხვა ელექტროტექნიკური აპარატურის დასამზადებლად.

პირველი 200 ვტ სიმძლავრის ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორი დამზადდა გერმანიაში და იგი გათვალისწინებული იყო იმპულსური სტაბილიზაციით კვების წყაროსათვის. მისი გულარა დახვეული იყო “VITROVAC-4040” მარკის ამორფული მაგნიტური

მასალისაგან დამზადებული ლენტით. ამ ტრანსფორმატორის მოცულობა 2-3-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდა იმავე სიმძლავრის ტრადიციული მასალებით დამზადებულ ტრანსფორმატორებთან შედარებით. შემდგომ იგივე გერმანულ ფირმაში ინტენსიური სამუშაოები გაიშალა ძალოვანი ტრანსფორმატორების დასამზადებლად ამორფული მაგნიტური მასალების ბაზაზე.

ჩვეულებრივ ძალოვან ტრანსფორმატორებთან შედარებით ამორფული “VITROVAC”- მაგნიტური მასალების ბაზაზე დამზადებული ტრანსფორმატორის უპირატესობას წარმოადგენს მართკუთხოვანი ჰისტერეზისის მარყუჟი და დაბალი მაგნიტური დანაკარგები, ამორფული მასალები წარმოადგენს საუკეთესო მასალას ფერიტებთან შედარებით. “VITROVAC” ტრანსფორმატორები გამოირჩევიან შედარებით უფრო მსუბუქი წონით, მცირე მოცულობით, უფრო მაღალი ეფექტიურობით და ტემპერატურული დიაპაზონით (“-120° C”- მდე).

ზემოთ ნახსენები უპირატესობებიდან აღსანიშნავია, ის რომ ამ ტიპის ტრანსფორმატორების მიერ შესაძლებელია გაცილებით დიდი სიმძლავრის (ენერჯის) გარდაქმნა, ჩვეულებრივ კრისტალურ ტრანსფორმატორებთან შედარებით.

**კვლევის მიზანი და ამოცანები:** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მიზანია ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება, მათი ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების შესწავლა და საქართველოს ენერგეტიკული სისტემისათვის ახალი უფრო გაუმჯობესებული დანადგარების დამონტაჟების შეთავაზება ძველი ტექნიკის ნაცვლად.

დასახული მიზნის მისაღწევად გამოიყო კვლევის ყველაზე უფრო აქტუალური ამოცანები:

- ამორფული მასალებისა და მათი წარმოების ტექნოლოგიის განხილვა.
- ამორფული მასალებისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორების გულარის ტიპების განხილვა და მათი დახასიათება.
- ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების ელექტრული და მაგნიტური მახასიათებლების განხილვა.



➤ ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების ურთიერთშედარება.

➤ საქართველოს ენერგეტიკული სისტემისათვის ახალი ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების დამონტაჟების მიზანშეწონილობის დასაბუთება.

**კვლევის საბანია** ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორისა და კლასიკური ტრანსფორმატორის ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების უპირატესობებისა და ნაკლოვანებების დადგენა და მათი ურთიერთშედარება.

**კვლევის თეორიული და მეთოდოლოგიური საფუძველი.**

სადისერტაციო ნაშრომის გეგმით გათვალისწინებული საკითხების კვლევა მოხდა მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე. კვლევის დროს გამოყენებულ იქნა ადგილობრივი და უცხოელი ავტორთა ფუნდამენტალური ნაშრომები. ჩვენს მიერ შესრულებული ნაშრომი ეფუძნება საკვლევი ობიექტის კომპლექსურ, სისტემურ მიდგომას. ზემოთ ჩამოთვლილ პრობლემათა ანალიზისას ვახდენთ ცალკეულ მოვლენათა სინთეზს და ანალიზს, რასაც მივალწიეთ სისტემური მეთოდოლოგიისა და დედუქციური მიდგომის საფუძველზე.

ნაშრომში გამოყენებული საინფორმაციო მასალა ეყრდნობა ფირმა ABB-სა და Siemens-ის მონაცემებსა და საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტთან არსებული სტრუქტურული კვლევის ცენტრის ბაზაზე ჩატარებული ამორფული ლენტის გამოკვლევის მასალებს.

**კვლევის მეცნიერული შედეგები** მდგომარეობს შემდეგში:

➤ დამუშავებულია ტრანსფორმატორების ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების ანგარიშის მეთოდები;

➤ გამოკვლეულია ტრანსფორმატორების ბაზრის ინფრასტრუქტურა მსოფლიო მასშტაბით. დადგენილია ტრანსფორმატორების ბაზრის ფორმირების მიმართულებები;

➤ გამოკვლეული და გაანალიზებულია ტრანსფორმატორების მოთხოვნა-მიწოდებაზე მოქმედი ფაქტორები და მოთხოვნა-მიწოდების არსებული მდგომარეობა;

➤ ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ეკონომიკური და ელექტრული მახასიათებლების ანგარიშისა და ურთიერთშედარების საფუძველზე შედგენილია ტრანსფორმატორების მახასიათებლების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი ;

➤ ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ეკონომიკური და ელექტრული მახასიათებლების ანგარიშისა და ურთიერთშედარების საფუძველზე ჩამოყალიბებულია და დასაბუთებულია დასკვნები და რეკომენდაციები ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების გამოყენების ეფექტურობის შესახებ.

**ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა.** ნაშრომში მოყვანილი ტრანსფორმატორების ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების ანგარიშის მეთოდები და შედგენილი ანგარიშის მათემატიკური მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც სტუდენტებისათვის, ასევე მაგისტრანტების მომზადებისათვის. კვლევაში მოცემული მასალა დაეხმარება, როგორც სახელმწიფო, ისე კერძო ენერგეტიკულ კომპანიებს ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებაში.

**ნაშრომის აპრობაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები გამოქვეყნებულია სამეცნიერო სტატიების სახით რეფერირებად და რეცენზირებად საერთაშორისო ჟურნალებში.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იყო:

- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე: „ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები“ თბილისი 2009.
- საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №17 მიმართულების სხდომებზე და თემატურ სემინარებზე.

**ღისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 130 გვერდს და შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის, გამოყენებული ლიტერატურის სიისა და დანართისაგან.

# დისერტაციის შინაარსი

## I თავი. ამორფული მასალების დახასიათება

არსებობს ლითონების დიდი ასორტიმენტი, რომელთა გამოყენებაც შეიძლება ტრანსფორმატორებში. ყველა ლითონს აქვს გავლენა ტრანსფორმატორის მქკ-სა და მის მასა-გაბარიტებზე. ლითონის შერჩევა დამოკიდებულია უქმი სვლის დანაკარგებზე და სრულ თვითღირებულებაზე. დღეისათვის თითქმის ყველა ტრანსფორმატორის მწარმოებელი იყენებს ფოლადს თავიანთი ტრანსფორმატორების გულარისათვის, რომელიც უზრუნველყოფს დანაკარგების სიმცირეს ჰისტერეზისზე და უქმი სვლაზე.

### ამორფული ლითონი

არსებობს ორი ძირითადი მასალა, რომელიც გამოიყენება ტრანსფორმატორების გულარის დასამზადებლად: ამორფული ლითონი და ცივად ნაგლინი ფოლადი. უქმი სვლის დანაკარგები ამორფულ გულარაში შეადგენს ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის გულარის უქმი სვლის დანაკარგების 25%-ს.

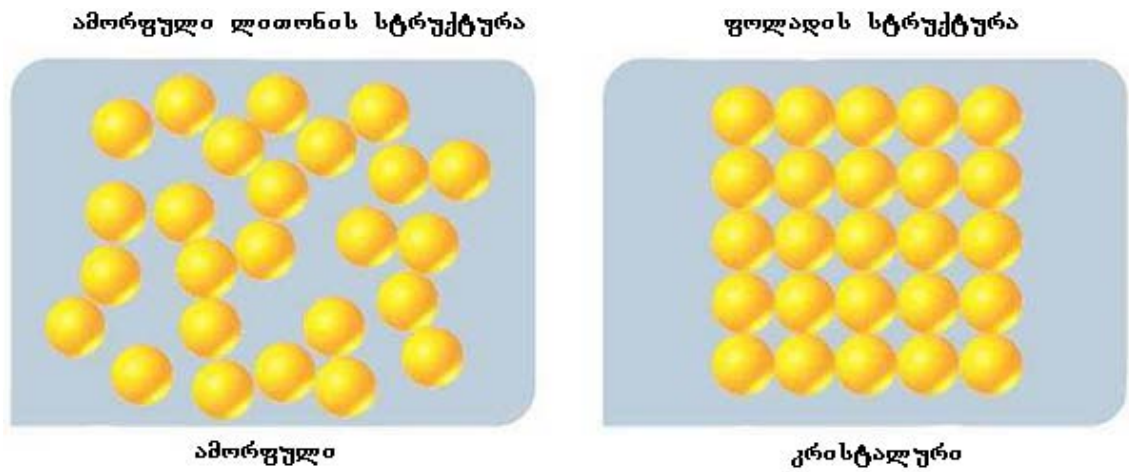
ამორფული ლითონი არის მრავალფუნქციური მასალა, რომელიც წარმოადგენს Fe (რკინა), B (ბორი), Si (სილიციუმი) და სხვა ნივთიერებების შენადნობს. მისი მიღება ხდება ლითონურ ნადნობთა სწრაფად წრთობის ( $10^6$  °C/წმ) მეთოდის საშუალებით.

ამორფული მაგნიტური მასალების თვისებები ზოგადად დამოკიდებულია მასალის შედგენილობასა და თერმული დამუშავების ხარისხზე; იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად – მაგნიტურბილ და მაგნიტურხისტ მასალებად.

- ამორფულ სტრუქტურაში ატომები განლაგებულია ქაოსურად (მოუწესრიგებელი სტრუქტურა)
- იმ უპირატესობის გამო, რასაც წარმოადგენს მაგნიტური ველის ცვლილებით ატომთა ადვილი მობრუნება, ამორფული მასალა

უფრო კარგად ამცირებს დანაკარგებს ვიდრე ჩვეულებრივი ფოლადი კრისტალური სტრუქტურით.

- ამორფულ ლითონს აქვს მაღალი წინაღობა (3-ჯერ მეტი ვიდრე ფოლადს) და თხელი სისქე (დაახლოებით ფოლადის ერთი მეათედი, ამორფული მასალა ხელს უწყობს უქმი სვლის დანაკარგების შემცირებას).

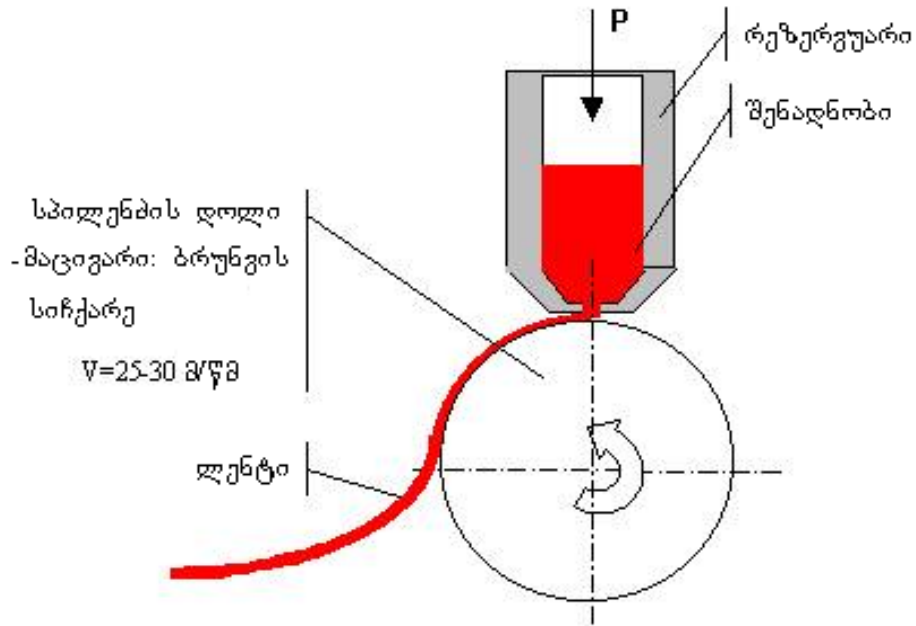


ნახ. 1 – ამორფული ლითონისა და ფოლადის სტრუქტურის ურთიერთშედარება

### ამორფული ლენტი

სპეციფიური ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა ამორფული შენადნობები დამზადდეს ლენტების სახით 40 მკმ-ზე მცირე სისქის ( $25 \pm 5$  მკმ) და მიკროსადენები დამზადდეს მეტალის ძარღვის ტოლი დიამეტრის 5-დან რამდენიმე ათეულ მკმ-მდე.

ლენტის ფორმის ამორფული მასალების დასამზადებლად ჩვეულებრივად იყენებენ გაცივების მეთოდს, რომლის დროსაც თხევადი ლითონის ნაკადი გარკვეული სისწრაფით მიემართება მბრუნავი ცილინდრის ზედაპირზე, რომელიც დამზადებულია მაღალი სითბოგამტარობის მქონე მასალისაგან.



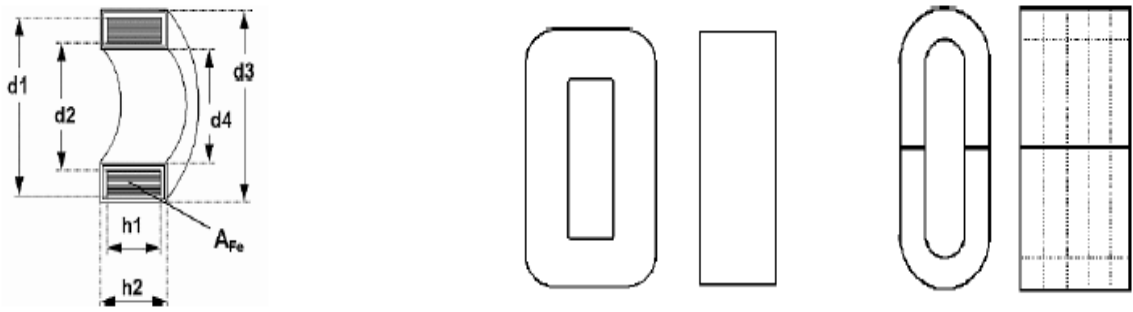
ნახ. 2- ამორფული ლენტის მიღების პროცესი

### ამორფული მასალის შედგენილობის მიკრორენტგენულ-სპექტრული ანალიზი

საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტთან არსებულ სტრუქტურული კვლევის ცენტრში განხორციელდა ამორფული მაგნიტური მასალისაგან დამზადებული ლენტის ნიმუშების სტრუქტურული ანალიზი და ზოგიერთი სხვა ფიზიკური თვისებების შემოწმება. გადაღებული იქნა ელექტროგრამა, რენტგენოდიფრაქტოგრამა, ასევე მიღებული იქნა ნიმუშის ელექტრომიკროსკოპული გამოსახულება და რასტრული ელექტრომიკროსკოპიული გამოსახულება, რომელიც ადასტურებს მასალის ამორფულ აღნაგობას.

### II თავი. ამორფულმაგნიტურ გულრიანი ტრანსფორმატორის დახასიათება

სტანდარტული გამოშვებების გარდა ხელმისაწვდომია აგრეთვე ოვალური ან მართკუთხა ფორმის გულარები.



ნახ. 3 - გულარის დიზაინი

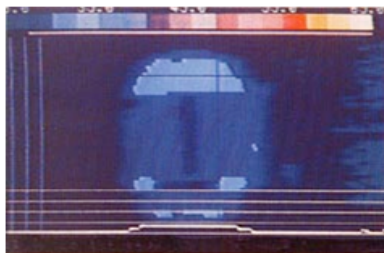
ამორფული ლენტისაგან დამზადებული მაგნიტოგამტარები გამოირჩევიან, იმით რომ შესაძლებელია სხვადასხვა სისქის ლენტების გამოყენება (რამოდენიმე მიკრომეტრამდე), რაც ხელს უწყობს მათ გამოყენებას მაღალსიხშირულ ტრანსფორმატორებში. ამორფული ლენტისაგან დამზადებულ მაგნიტოგამტარებს უკეთესი მექანიკური და ფიზიკური თვისებები გააჩნიათ ფერიტებისაგან დამზადებულ მაგნიტოგამტარებთან შედარებით. ამორფულ მასალებს აქვთ უკეთესი მაგნიტური მახასიათებლები ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებულ მაგნიტოგამტარებთან შედარებით, რომლებიც გამოირჩევიან უფრო მეტი დანაკარგებით, საჭაერო ღრეხოს არსებობით და დამზადების მცირე ღირებულებით.

კონსტრუქციის მიხედვით ამზადებენ: ღეროვანი, ჯავშნიანი, და რგოლისებური (ტოროიდალური) ტიპის მაგნიტოგამტარებს.

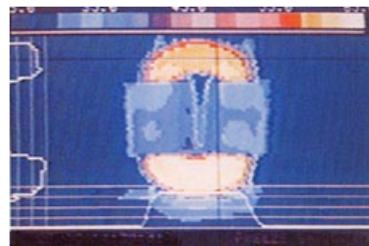
### თერმიული თვისებები

ინფრაწითელ კამერაში გადაღებული ფოტოებიდან ჩანს, რომ ამორფული გულარა გაცილებით უფრო ნაკლებად ხურდება ვიდრე ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებული გულარა

ამორფული გულარა



ცნფტ გულარა



ნახ. 4 – ინფრაწითელ კამერაში მოთავსებული ამორფული და ფოლადის გულარების ურთიერთშედარება

ამორფული ლითონის სატრანსფორმატორო უპირატესობები

ენერგოდაზოგვა



დაუტვირთავი ტრანსფორმატორის დანაკარგები ტიპური ტრანსფორმატორის დანაკარგების 20%-დან 30%-მდეა.

- გამოიხატება უახლოესი 3 წლიანი ამორტიზაციით, რის შემდეგაც მომგებიანობა გრძელდება დანადგარის მთელი ექსპლუატაციის მანძილზე დატვირთვის მიუხედავად

ტრანსფორმატორის რემონტზე დანახარჯების ეკონომია



სწრაფი და იოლი რემონტი უნიფიცირებული ელემენტების კონსტრუქციის დამსახურებით

ეკონომიურობა ხანგრძლივი რესურსის გამო



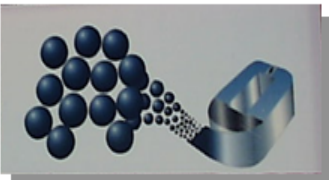
მაღალსაიმედოობა

საიმედოობა და ხარისხი

საუკეთესო შედეგობა მოკლედ შერთვის მიმართ



- ცალკეული მყარი კოჭის კონსტრუქცია გათვლილია მოკლედ შერთვის მაქსიმალურ ძალებზე
- ლენტის წერტილოვანი და ხვევისათვის გამოიყენება შრეებს შორის მირჩილება, რაც შესაბამება მოკლედ შერთვის ძალის რადიალურ შემდგენს



კარგი გადატვირთვამედეგობა



- მცირე დანაკარგების გამო ნაკლები სითბოს გამოყოფა
- იზოლაციის დაძველებაზე დაბალი ზეგავლენა

- METGLAS® SA1
- გამანაწილებელი ტრანსფორმატორის გულარები

პროდუქტის გარანტირებული ხარისხი



- განსაკუთრებული ხარისხის (კლასის) გულარის მასალის გამოყენება
- მაღალმექანიზირებული და სტანდარტიზირებული პროცესი საუკეთესო ხარისხის მისაღწევად



მარტივი წარმოება და რემონტი



- კოჭის დასაყენებლად გულარის ადვილი გახსნა და შეკვრა

- ტრანსფორმატორები
- ტექნოლოგია

სტანდარტული ტრანსფორმატორის შემუშავება



- ტრანსფორმატორის შემუშავება ხდება პროგრამული დამუშავების საფუძველზე იმისათვის, რომ მიღწეული იქნას წარმატებული ექსპლუატაციის ოპტიმალური პარამეტრები

## გამანაწილებელი ტრანსფორმატორის რემონტის თავისებურებები

ამორფული ლითონის გამანაწილებელი ტრანსფორმატორების გულარა დამზადებულია ცივად ნაგლინი ფოლადის ტრანსფორმატორების გულარის მსგავსად. ამორფული ლითონის გამანაწილებელი ტრანსფორმატორების რემონტი ტარდება ცივად ნაგლინი ფოლადის ტრანსფორმატორების რემონტის მსგავსად.

### III თავი. ტრანსფორმატორების ელექტრული პარამეტრები

ტრანსფორმატორების შერჩევა ხდება მათი საპასპორტო მონაცემების მიხედვით. ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების საპასპორტო მონაცემებს მიეკუთვნება ნომინალური სიმძლავრე  $S_n$ , გრაგნილთა ნომინალური ძაბვები  $U_{ა.ნ}$ ;  $U_{ს.ნ}$ ;  $U_{დ.ნ}$ , აგრეთვე უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის დენის მონაცემები (უქმი სვლის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები  $\Delta P_{უ.ს}$  და უქმი სვლის დენი  $I_{უ.ს}$  %, მოკლე შერთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები  $\Delta P_{ა.შ}$  და მოკლე შერთვის ძაბვა  $U_{ა.შ}$  %) და ამ ელექტრული პარამეტრების საფუძველზე განსაზღვრული ელექტრული პარამეტრები (ტრანსფორმატორების განივი გამტარობა  $G$ ,  $B$  და გრძივი წინაღობა  $R, X$ ).

- \* **ჰისტერეზისის დანაკარგები:** ფოლადის გულარაში მაგნიტური ნაკადის გავლის დროს ადგილი აქვს დანაკარგებს მაგნიტურ ნაწილაკებს შორის.
- \* **დანაკარგები გრიგალურ დენებზე:** ფოლადის გულარაში მაგნიტური ნაკადის გავლის დროს ადგილი აქვს დანაკარგებს, რომლებიც გამოწვეულია გრიგალური დენებით.
- \* **უქმი სვლის დანაკარგები:** ამ დანაკარგებს ადგილი აქვს ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის მხრიდან, დატვირთვის მიუხედავად. ამ დანაკარგებს ყოველთვის აქვს ადგილი ფოლადის გულარაში (აგზნებულ მდგომარეობაში).
- \* **დანაკარგები დატვირთვაზე:** პერიოდული დანაკარგები, რომლებიც დამოკიდებულია ტრანსფორმატორის გრაგნილების



დატვირთვაზე. ეს დანაკარგები დატვირთვის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია. ტვირთის არ არსებობის შემთხვევაში დანაკარგები ნულის ტოლია.

#### **თავი IV. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება**

დღეისათვის ყველაზე კონკურენტუნარიანია 400 კვა და 630 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები, რომელთა მაღალი ძაბვა 10,5 კვ, ხოლო დაბალი ძაბვა 0,4 კვ-ა. საქართველოში არსებული ენერგობიექტების უდიდეს ნაწილში კი სწორედ ამ სიმძლავრის ტრანსფორმატორებია დამონტაჟებული 10 კვ ძაბვის მხარეს. მაგალითისათვის მოცემულია ცხრილი №14

**ცხ. №1 - საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ბალანსზე არსებული 10 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორები**

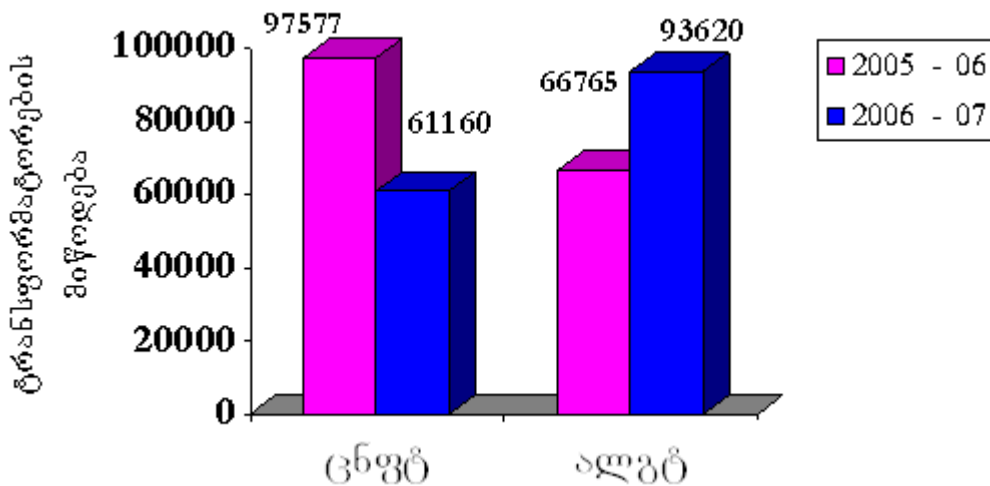
250 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	400 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	630 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი
ქ/ს “მენჯი 220”	ქ/ს “გლდანი 220”	ქ/ს “ქსანი 500”
	ქ/ს “ღისი 220”	ქ/ს “ზესტაფონი 500”
	ქ/ს “დიდი ბათუმი 220”	ქ/ს “დიდი ბათუმი 220”
	ქ/ს “ზუგდიდი 220”	ქ/ს “ქუთაისი 220”
	ქ/ს “წყალტუბო 220”	ქ/ს “წყალტუბო 220”
	ქ/ს “მარნეული 220”	ქ/ს “ფერო”
	ქ/ს “გურჯაანი 220”	ქ/ს “რუსთავი 220”

აღნიშნულ თავში (IV თავი) წარმოდგენილი ანგარიშები ჩატარებულია იმის გათვალისწინებით, რომ შესაძლებელია ზემოთ მოყვანილ ქვესადგურებში 10 კვ მხარეს დამონტაჟებული კლასიკური ტრანსფორმატორების ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებით შეცვლა.

აღსანიშნავია, რომ მსოფლიო ბაზარზე ყოველწლიურად მატულობს მოთხოვნა ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებზე.

### მოთხოვნა ამორფული ლითონისაგან დამზადებულ გამანაწილებელ ტრანსფორმატორებზე

მოთხოვნები ცნფტ-სა და ალგტ-ზე



ნახ. 5 – ტრანსფორმატორების რეალიზაცია

#### 4.1. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების ურთიერთშედარება

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების ურთიერთშედარებისათვის საჭიროა ორივე ტიპის ტრანსფორმატორისათვის სხვადასხვა ელექტრული პარამეტრების ანგარიში. დანართში მოცემულია Visual Basic-ში დაწერილი მათემატიკური მოდელი, რომლის საშუალებითაც

შესაძლებელია ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლებისა და ეკონომიკური ურთიერთშედარება.

**ცხრილი №15 - ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები**

ნომინალური სიმძლავრე (კვა)	ძაბვა			შეერთების ჯგუფი	$\Delta P_{\text{უ.ს}}$ (ვტ)	$\Delta P_{\text{მ.წ}}$ (ვტ)	$I_{\text{უ.ს}}$ %	$U_{\text{მ.წ}}$ %	
	მაღალი ძაბვა (კვ)	ძაბვის ქვეშ რეგულირება %	დაბალი ძაბვა (კვ)						
30	6	±5 ან ±2×2.5	0.4	ΔY011	33	600	1.70	4.0	
50					43	870	1.30		
80					50	1040	1.20		
100					60	1250	1.10		
125					75	1500	1.00		
160					85	1800	0.90		
200					100	2200	0.70		
250					6.6	120	2600		0.70
315					140	3050	0.70		
400					10	170	3650		0.50
500					10.5	200	4300		0.50
630					240	5150	0.50		
630					320	6200	0.30		
800					11	380	7500		0.30
1000					450	10300	0.30		
1250	530	12000	0.20						
1600	630	14500	0.20						
2000	750	17400	0.20						
2500	900	20200	0.20						
								4.5	
								5	

ტრანსფორმატორის დანაკარგები ძირითადად შედგება გულარაში და სპილენძში დანაკარგებისაგან (უ.ს. და მ.წ დანაკარგებისაგან), პირველი, წარმოაგენს დანაკარგებს უქმ სვლაზე და მას ადგილი აქვს ტრანსფორმატორის მთელი ექსპლუატაციის განმავლობაში, ხოლო მეორე – დატვირთვაზე დანაკარგებია და დამოკიდებულია ტრანსფორმატორის დატვირთვაზე. იქიდან გამომდინარე, რომ უქმ სვლაზე დანაკარგები წარმოადგენენ ტრანსფორმატორის სრული დატვირთვის დაახლოებით 0.2-0.25 %, ხოლო სპილენძში დანაკარგები შეადგენენ ტრანსფორმატორის სრული დატვირთვის დაახლოებით 10%-ს, შესაბამისად ტრანსფორმატორში დანაკარგების დიდი წილი მოდის სპილენძში

დანაკარგებზე. ამ დანაკარგების შემცირების მიზნით როგორც დიდი ისე მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორებში რკინის გულარას ცვლიან ამორფული მასალისაგან (ლენტისაგან) დამზადებული გულარით, იმის გამო რომ ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებში გრაგნილების ხვიათა რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია კლასიკური ტრანსფორმატორების გრაგნილების ხვიათა რიცხვზე და შესაბამისად სპილენძში დანაკარგები ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებისათვის გაცილებით (38%-ით) ნაკლებია კლასიკურ ტრანსფორმატორებთან შედარებით. ამორფულ ტრანსფორმატორებში სრული დანაკარგები 75%-ით (უ.ს.დ. = 37%; მ.შ.დ. = 38%. სრული დანაკარგები = უ.ს.დ. + მ.შ.დ. = 37%+38% = 75%) ნაკლებია ვიდრე კლასიკური ტრანსფორმატორებში.

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის თვითგამოსყიდვის პერიოდი შეადგენს 2,5 წელს, ხოლო მაღალი კლასის ცნუ დამზადებული ტრანსფორმატორის თვითგამოსყიდვის პერიოდი 3 წელია, ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის ექსპლუატაციის პერიოდი 25 წელს შეადგენს.

ცხრილი № 2 - ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები

მახასიათებლები	განზომილება	ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	კლასიკური ტრანსფორმატორი
$\Delta S_{\text{უბ}}$	კვ <sup>2</sup>	5	10
$\Delta Q_{\text{უბ}}$	კვ <sup>2</sup>	4,9	<b>9,68</b>
$\Delta S_{\text{აა}}$	კვ <sup>2</sup>	125	<b>137,5</b>
$\Delta Q_{\text{აა}}$	კვ <sup>2</sup>	123	<b>134,82</b>
$G_{\text{ფ}}$	სიმ	0,000009	<b>0,000022</b>
$B_{\text{ფ}}$	სიმ	0,00005	<b>0,000087</b>
$R_{\text{ფ}}$	ომი	0,35	<b>0,4</b>
$X_{\text{ფ}}$	ომი	<b>2205</b>	<b>2425,5</b>

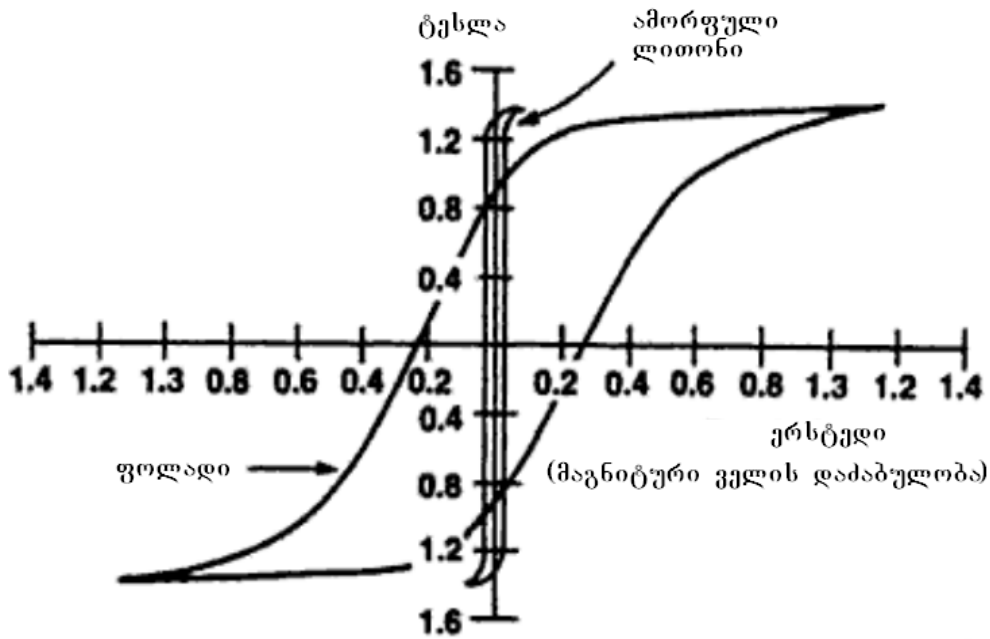
**ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური  
ტრანსფორმატორების მაგნიტური და ფიზიკური თვისებების  
ურთიერთშედარება**

ცხრილი №3- გულარის მახასიათებლების შედარება

	მახასიათებელი	ამორფული ლითონი	ცივად ნაგლინი ფოლადი	შენიშვნა
<b>მაგნიტური თვისებები</b>	ფოლადის გულარის დანაკარგები (ვტ/კვ)	0.23	1.72	ამორფული ლითონი:  1.35 ტესლა  ფოლადი:  1.7 ტესლა
	აგზნების მახასიათებელი (ვა/კვ)	0.37	5.2	
	გაუღენთვის მახასიათებელი (25 °C)	1.64	1.86	
	წინაღობა (მკომი-სმ)	130	45	
<b>ფიზიკური თვისებები</b>	სისქე (მკმ)	25	270 ~ 300	
	კუთრი წონა (გ/სმ <sup>3</sup> )	7.19	7.65	
	სიმყიფე	900	210	

**ჰისტერეზისის ყულფი (მარყუვი)**

ჰისტერეზისის ყულფი (მარყუვი) არის მაგნიტური მასალის მთავარი მახასიათებელი.



ნახ. 6 – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ჰისტერეზისის მახასიათებლების ურთიერთშედარება

იმის გამო, რომ ამორფული მასალის კოჰერციტიულობა ნაკლებია ცივად ნაგლინ ფოლადებთან შედარებით და ამორფული ლითონს აქვს მაღალი გამტარუნარიანობა ცივად ნაგლინ ფოლადთან შედარებით, შესაბამისად ამორფული ლითონის ჰისტერეზისის დანაკარგები ნაკლებია ცივად ნაგლინ ფოლადთან შედარებით.

**უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტებების ურთიერთშედარება**

სატრანსფორმატორო დანაკარგების შემცირების მიზნით, რეკომენდირებულია ძალოვანი ტრანსფორმატორების გამოყენება, რომლებიც დამზადებულია ამორფული მასალების ბაზაზე. ამ ტრანსფორმატორებს აქვთ ბევრად უფრო ნაკლები გაბარიტები და მასა, ვიდრე კლასიკური ტიპის ძალოვან ტრანსფორმატორებს. ამორფული

მასალებისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორები ყოველდღიურად უფრო მოთხოვნადი ხდება მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში.

იმის გათვალისწინებით, რომ ამორფულ ტრანსფორმატორებს აქვთ მკვეთრად განსხვავებული ჰისტერეზისის მახასიათებელი, კლასიკური ტიპის ძალოვანი ტრანსფორმატორებთან შედარებით, საინტერესოა თუ რა სიდიდის გადამეტებას ექნება ადგილი კომუტაციის შემთხვევაში.

ამისათვის ანგარიში ჩატარდა ორი ტიპის 10კვ ძაბვის

(ამორფულგულარიანი და კლასიკური) ტრანსფორმატორზე ATPDraw

პროგრამით. მოცემულია მათი საპასპორტო მონაცემები:

ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორი:

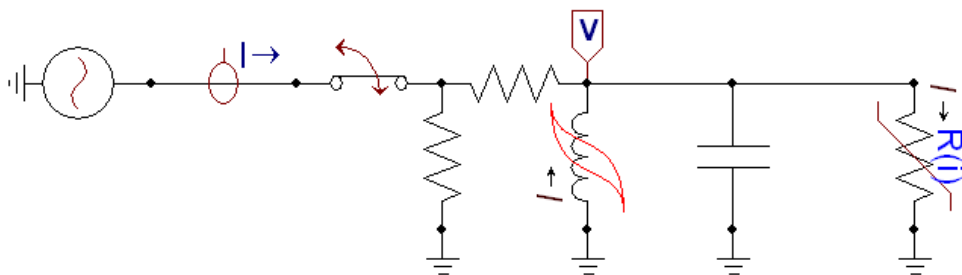
$$U_n = 10 \text{ კვ}; S = 400 \text{ კვა}; \Delta P_{\text{უ.ს.}} = 200 \text{ ვტ}; \Delta P_{\text{ა.შ.}} = 4300 \text{ ვტ}; I_{\text{უ.ს.}} = 0,5 \text{ \%};$$

$$U_{\text{ა.შ.}} \% = 4\%$$

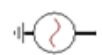
კლასიკური ტრანსფორმატორი:

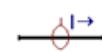
$$U_n = 10 \text{ კვ}; S = 400 \text{ კვა}; \Delta P_{\text{უ.ს.}} = 900 \text{ ვტ}; \Delta P_{\text{ა.შ.}} = 5500 \text{ ვტ}; I_{\text{უ.ს.}} = 1,9\%;$$


$$U_{\text{ა.შ.}} \% = 4,5 \text{ \%}$$

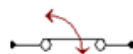



ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია ATPDraw პროგრამაში შესაყვანი ჩანაცვლების სქემა

 წყარო

 დენის მზომი ხელსაწყო

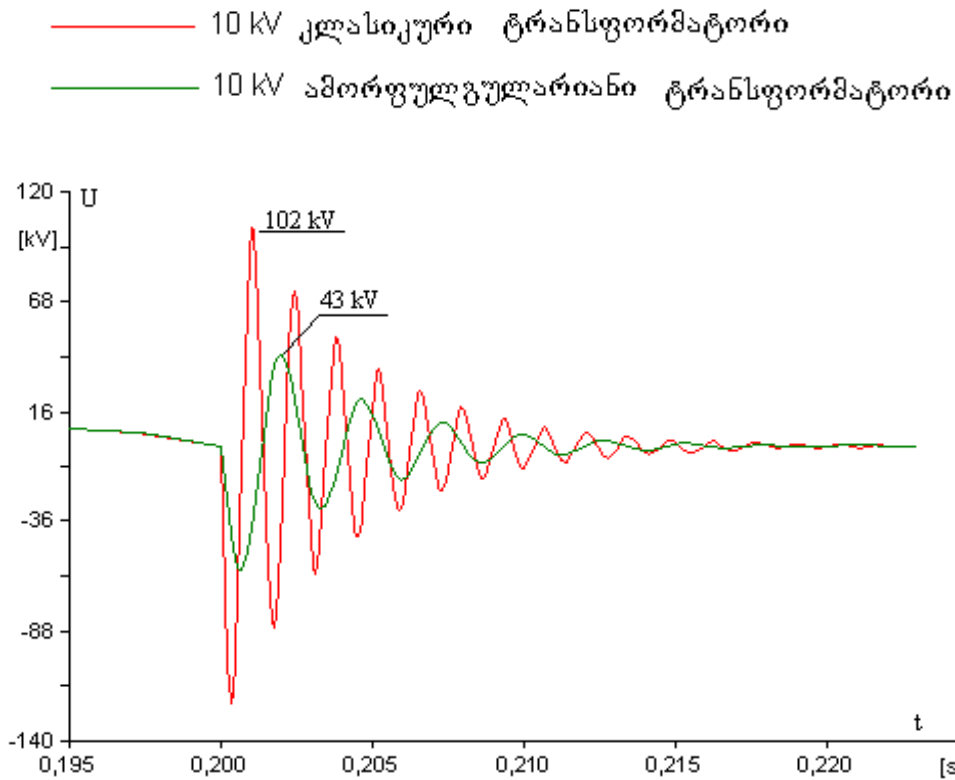
 ძაბვის მზომი ხელსაწყო

 ამომრთველი

 იზოლაციის წინაღობა

 გადამეტების არახაზოვანი შემზღუფველი

 ტრანსფორმატორი



ნახ. 8 - ATPDraw პროგრამით ჩატარებული ანგარიშის შედეგები მრუდების სახით

წარმოდგენილია ATPDraw პროგრამით ჩატარებული ანგარიშის შედეგები მრუდების სახით. როგორც ნახაზიდან ჩანს, კლასიკური ტიპის ტრანსფორმატორზე გადამეტაბვის სიდიდე აღწევს 102 კვ-ს, ხოლო ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორზე გადამეტაბვა არის 43 კვ.

შედეგები გვიჩვენებს, რომ ამორფულ ტრანსფორმატორზე გადამეტაბვის სიდიდე გაცილებით ნაკლებია ვიდრე კლასიკურ ტრანსფორმატორზე. ამას განაპირობებს ის, რომ ამორფულგულარიანი ტრ-ის  $I_p$  ნაკლებია, კლასიკურთან შედარებით. რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია  $I_{sc}\%$ -ზე.



## ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების უპირატესობები და ნაკლოვანებები

### ამორფული ტრანსფორმატორის უპირატესობები კლასიკურ ტრანსფორმატორთან შედარებით

- მინიატურიზაცია: მკვეთრადაა შემცირებული ზომები და გრაგნილების განსაკუთრებული სტრუქტურა
- მაღალი  $B_{max}$
- მცირე სითბოგამოცემა:
  - სჭირდება მცირე ადგილი დაყენებისათვის
  - გრაგნილებსა და საიზოლაციო მასალების შეცვლა
  - გრაგნილების ტემპერატურის მომატების აღმოფხვრის გამო მცირდება ტრანსფორმატორის გადატვირთვის ალბათობა
- დანაკარგების შემცირების გამო, ტრანსფორმატორის მუშაობისა და რემონტის ღირებულება მცირდება, რაც ახანგრძლივებს ტრანსფორმატორის ექსპლუატაციის ხანგრძლივობას
- საუკეთესო მაგნიტური თვისებები მაღალი სიხშირე და ჰარმონიკები უზრუნველყოფს ტრანსფორმატორის მაღალეფექტიურობას და მინიატურიზაცია
- საუკეთესო ეკოლოგიური ეფექტები
  - შემცირებულია მაღალი ტემპერატურის ემისია, რაც უზრუნველყოფს გლობალური დათბობის აღკვეთას
  - უზრუნველყოფს მანე აირების ემისიის შემცირებას
  - ელექტრული სადგურის ზომების შემცირების

გამო გაუმჯობესებულია ეკოლოგიური  
ეფექტები

- ტრანსფორმატორს აქვს ენერჯის მაღალმწარმოებლურობის სერტიფიკატი.

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების ნაკლოვანებას კლასიკურ ტრანსფორმატორთან შედარებით წარმოადგენს

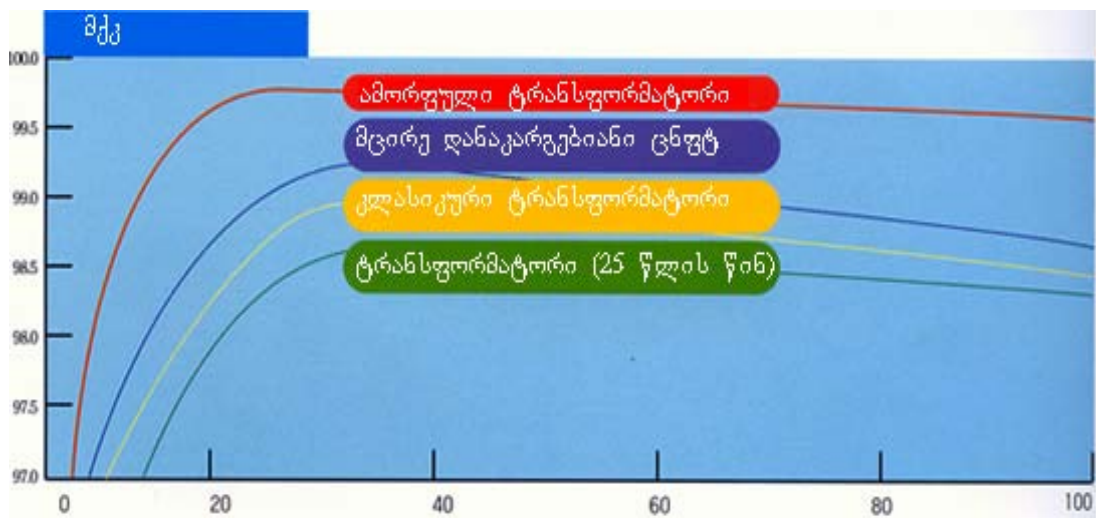
1. მართკუთხოვანი ჰისტერეზისის მახასიათებელი
2. მაღალი ღირებულება
3. ტემპერატურული შეზღუდვები ხანგრძლივი ექსპლუატაციის დროს
4. ელექტრომაგნიტური ხარვეზები
5. გულარის კვეთი

ცხრილი № 4 - მქკ-ების ურთიერთშედარება სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის

სიმძლავრე (კვტ)	ზეთით შევსებული ტრანსფორმატორის მქკ (%)		რეზინის იზოლაციის ტრანსფორმატორის მქკ (%)	
	ამორფული ლითონი	ფოლადი	ამორფული ლითონი	ფოლადი
100	98.20	97.60	97.96	97.30
200	98.40	97.80	98.28	97.80
300	98.49	98.00	98.51	98.00
400	98.64	98.10	98.61	98.10
500	98.68	98.20	98.75	98.30
600	98.71	98.30	98.76	98.50
750	98.75	98.30	98.83	98.50
1,000	98.78	98.40	98.96	98.60
1,250	98.80	98.50	99.10	98.60

ცხრილი №5 - მქკ-ების ურთიერთშედარება ტრანსფორმატორების დატვირთვის მიხედვით

დატვირთვის კოეფიციენტი (%)		30	50	70	100
მქკ (%)	ამორფული ტრანსფორმატორების რეზინის იზოლაციით	99.33	99.19	98.99	98.65
	ფოლადისაგად დამზადებული ტრანსფორმატორი	98.55	98.60	98.54	98.30
	მქკ-ს გაზრდა	0.78	0.59	0.45	0.35

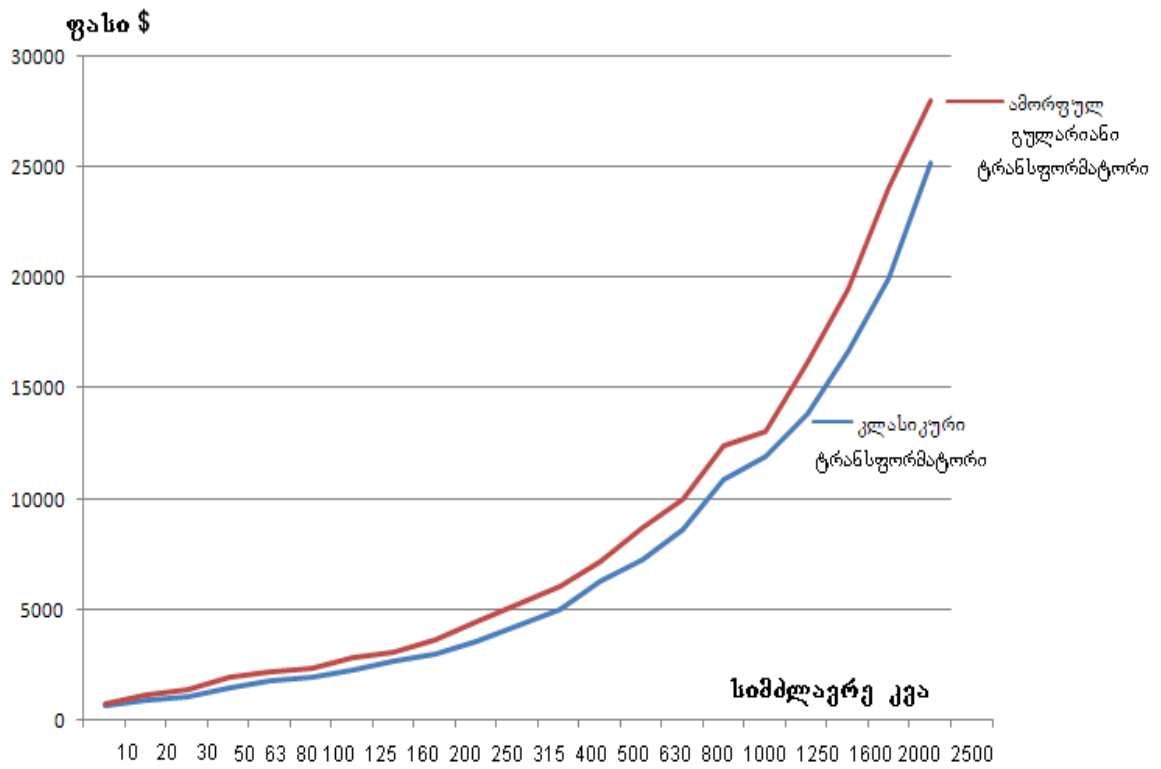


ნახ. № 6 - ტრანსფორმატორების მქკ-ების ურთიერთშედარება დატვირთვის მიხედვით

**ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური**

**ტრანსფორმატორების ეკონომიკური ურთიერთშედარება**

ტრანსფორმატორის ეკონომიკური ანალიზის დროს, დანადგარის ეკონომიურობის თავდაპირველი ღირებულებით შეფასება იძლევა მცდარ ეკონომიკურ შედეგს, ზუსტი ანალიზისათვის საჭიროა ტრანსფორმატორის სრული თვითღირებულების გათვალისწინება.



ნახ. 7 – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ღირებულებების ურთიერთშედარება

## დასკვნა

ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებზე ჩატარებულმა ცდებმა და დაკვირვებებმა აჩვენა, რომ ამ 2500 კვა სიმძლავრით 10 კვ ძაბვაზე მომუშავე ტრანსფორმატორებს შორის უპირატესობა ენიჭება ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებს, გარდა მცირე გაბარიტებისა და ზომების ეს ტრანსფორმატორები გამოირჩევიან გულარასა და გრაგნილებში მცირე დანაკარგებით, მათი თვითგამოსყიდვის პერიოდი ძალიან ხანმოკლეა (3 წელი), ხოლო ექსპლუატაციის პერიოდი კი 25 წელს აღემატება. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები ჩვეულებრივი კრისტალური ტრანსფორმატორებისაგან განსხვავებით გამოირჩევიან კომუტაციური გადამეტაბვების მიმართ კარგი მედეგობით, ამ ტრანსფორმატორების აწყობა და რემონტი გაცილებით მარტივია, რადგან ისინი კრისტალური ტრანსფორმატორებისაგან განსხვავებით საჭიროებენ მცირე ხვიათა რაოდენობას გრაგნილებისათვის. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების უპირატესობას ჩვეულებრივ კრისტალურ ტრანსფორმატორებთან შედარებით ადასტურებს ტრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელი, რომელიც შექმნილი იქნა სპეციალურად ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებისა და კრისტალური ტრანსფორმატორების შესადარებლად.

## გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

1. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები”, ჟურნალი ენერჯია № 4 (48), 2008 წ.
2. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტებების ურთიერთშედარება”, ჟურნალი ენერჯია №4 (52)-2 2009 წ.
3. ზ. ბაბუნაშვილი, ნ. გვარამაძე, გ. არზიანი “ფერორეზონანსი”, ჟურნალი “ენერჯია” №2 (50)-1, 2009 წ
4. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის ელექტრული, მაგნიტური და ეკონომიკური მახასიათებლების ურთიერთშედარება”, ჟურნალი “ენერჯია” ” № 2 (54), 2010 წ.

## Abstract

Dissertation work of Gvaramadze Nino “**New type amorphous metal core transformers properties study**” deals with the significant problem. Work consists of 130 pages and in accordance with the instructions for submission of the dissertations for award of doctor’s academic degree, includes: title page; signatures’ page, copyright page, summary in two languages (Georgian and English), contents, list of the tables and drawings. Body text consists of the introduction, literature overview, four chapters, conclusion and references.

The Introduction includes discussion of significance of the issue, current status of research, goals and objectives of research work, theoretical and methodological principles, scientific novelty of the research, as well as practical significance of the work, its approbation, volume and structure.

At manufacturing of transformers the most important thing a choice of a material for the core. Very important that the material had good magnetic and mechanical characteristics. The choice of material depends from the cost and no load current.

**First chapter** of the dissertation – *Description of amorphous materials* includes the following sections: Amorphous alloy; Amorphous ribbon; Microspectroscopy and rentgenoscopy of amorphous materials; Amorphous ribbon and amorphous metal core transformers making technology.

There are two basic materials for transformer cores amorphous materials and CRGO. No load loss in amorphous metal core makes 25% of a no load loss in CRGO (classical) transformers core.

**Second chapter** of the dissertation – *Description of amorphous metal core transformers* includes the following sections: Core design and sizes; Core thermal propertys; Making of amorphous metal core transformers and amorphous metal core transformers advantages; Amorphous metal core transformer reliability, quality and repairing; Amorphous metal core Power transformer types and characteristics.

design and repair of amorphous metal core transformer are the same like a design and repair of classical (CRGO) transformer.

**Third chapter** of the dissertation – *Transformer electric parameters* includes the following sections: Equivalent circuit and electric parameters of double-wound transformer; Triple-wound transformer and autotransformers equivalent circuit and electric parameters; Description of transformer losses.

The choice of transformers is made on nameplate data. The nameplate data of transformers and autotransformers are: rated power, rated voltages, also no load current and short circuit current, No load loss and No load current, load loss and short circuit voltage. Other electric characteristics are calculated from this nameplate data.

**fourth chapter** of the dissertation – *Comparison of amorphous metal core and classical transformers* includes the following sections: Electric parameters comparison of amorphous metal core and classical transformers; Comparison of physical and magnetic property of amorphous metal core and classical transformers; No load loss comparison of 10 kV amorphous metal core and classical transformers; Ferroresonance overvoltage comparison for amorphous metal core and classical transformers; Advantages and disadvantages of amorphous metal core and classical transformers; Efficiency comparison of amorphous metal core and classical transformers; Economical comparison of amorphous metal core and classical transformers.

From the analysis of calculations follows that in amorphous transformers no load loss and load loss are much less than in classical transformers. From the analysis of overvoltage calculation follows that amorphous transformers are much better than classical transformers, at no load state - overvoltage on amorphous transformers in 3 times is less than in classical (CRGO) transformers.

For reduction transformer loss it is recommended to use amorphous metal for transformer manufacturing. Amorphous core transformer have much less dimensions and weight than classical transformers. Amorphous core transformer are more required in many countries day by day.

Finally there are provided the conclusions and list of the references.

Materials provided in the work would assist both to the state and private power companies in improvement of technical and economical characteristics.



