

ნინო გვარამაძე

ახალი ტიპის ამორფულმაგნიტურგულარიანი
ტრანსფორმატორების თავისებურებების კვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
თვე, წელი

საავტორო უფლება © წელი, “ნინო გვარამაძე, 2011 წ”

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნინო გვარამაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ახალი ტიპის ამორფულმაგნიტურგულარიანი ტრანსფორმატორების თავისებურებების კვლევა” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: შალვა ნაჭყებია

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

წელი

ავტორი: ნინო გვარამაძე

დასახელება: ახალი ტიპის ამორფულმაგნიტურგულარიანი
ტრანსფორმატორების თავისებურებების კვლევა

ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: თარიღი

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

ავტორის ხელმოწერა

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

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

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 თავში** – 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: ორგანიზაცია 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 გადამეტაბვის ურთიერთშედარება ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორებისათვის; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების უპირატესობები და ნაკლოვანებები; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების მარგი ქმედების კოეფიციენტების ურთიერთშედარება; ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური 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 ძალოვანი 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.

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 property; 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 end 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.

შინაარსი

ტიტულის გვერდი	I
ხელმოწერების გვერდი	II
საავტორო უფლების გვერდი	III
რეზიუმე (ორ ენაზე)	IV
შინაარსი (სარჩევი)	IX
ცხრილების ნუსხა	XI
ნახაზების ნუსხა	XIII
დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები	XVII
 მადლიერება	 XVIII
 შ ე ს ა ვ ა ლ ი	 19
 ლიტერატურის მიმოხილვა	 24
 შედგები და მათი განსჯა	 29
 ექსპერიმენტული ნაწილი	 30
 თავი I. ამორფული მასალების დახასიათება	 31
1.1 ამორფული ლითონი	35
1.2 ამორფული ლენტი	36
1.3 ამორფული მასალის შედგენილობის მიკრორენტგენულ-სპექტრული ანალიზი	40
თავი II. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის დახასიათება	45
2.1 გულარის დიზაინი და ზომები	45
2.2 გულარის თერმიული თვისებები	55
2.3 ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის წარმოება და სატრანსფორ მატორ უპირატესობები	55
2.4 ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის საიმედოობა, ხარისხი და რემონტის თავისებურებები	58

2.5. ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ძალოვანი ტრანსფორმატორების ტიპები და მახასიათებლები	59
თავი III. ტრანსფორმატორის ელექტრული პარამეტრები	67
3.1 ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები	72
3.2 სამგრაგნილა ტრანსფორმატორების და ავტოტრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები	74
3.3 სატრანსფორმატორო დანაკარგების აღწერა	79
თავი IV. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება	80
4.1 ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების ურთიერთშედარება	82
4.2 ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების მაგნიტური და ფიზიკური თვისებების ურთიერთშედარება	96
4.3 უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტძაბვის ურთიერთშედარება	98
4.4 ფერორეზონანსის მოვლენით გამოწვეული გადამეტძაბვების ურთიერთშედარება ამორფულმაგნიტურგულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორებისათვის	107
4.5 ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების უპირატესობები და ნაკლოვანებები	115
4.6 ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების მარჯი ქმედების კოეფიციენტების ურთიერთშედარება	117
4.7 ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ეკონომიკური ურთიერთშედარება	118
დასკვნა	124
გამოყენებული ლიტერატურა	125

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი № 1 – 34 გვ. 1994 წლის მონაცემების მიხედვით შედგენილი ცხრილი (მიღებულმა დანაზოგმა მოლოდინს გადააჭარბა);
- ცხრილი № 2 – 39 გვ. ამორფული ლენტის მაგნიტური და ფიზიკური მახასიათებლები;
- ცხრილი № 3 – 44 გვ. მაგნიტური ამორფული მასალის ძირითადი პარამეტრები;
- ცხრილი № 4 – 46 გვ. ამორფული ლენტისაგან დამზადებული Π- სებური მაგნიტოგამტარები;
- ცხრილი № 5 – 49 გვ. ამორფული ლენტისაგან დამზადებული III -სებური მაგნიტოგამტარები;
- ცხრილი № 6 – 54 გვ. ამორფული ლენტისაგან დამზადებული O-სებური მაგნიტოგამტარები;
- ცხრილი № 7 – 61 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის განზომილებები და მახასიათებლები;
- ცხრილი № 8 – 61 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის სტანდარტული მახასიათებლები;
- ცხრილი № 9 – 63 გვ. განსხვავებული ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის მახასიათებლები და განზომილებები;
- ცხრილი № 10 – 66 გვ. ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის მახასიათებლები და განზომილებები;
- ცხრილი № 11 – 66 გვ. ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის სტანდარტული მახასიათებლები;
- ცხრილი № 12 – 68 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები;

- ცხრილი № 13 – 68-69 გვ. ზეთით შევსებული ამორფული მასალისაგან დამზადებული 3-ფაზა ტრანსფორმატორის ზომები და მასა;
- ცხრილი № 14 – 80 გვ. საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ბალანსზე არსებული 10 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორები;
- ცხრილი № 15 – 82 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები;
- ცხრილი № 16 – 85 გვ. კლასიკური ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები;
- ცხრილი № 17 – 87 გვ. ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები;
- ცხრილი № 18 – 93 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების უქმი სვლის დანაკარგების ურთიერთშედარება ;
- ცხრილი № 19 – 95 გვ. 2500 კვა სიმძლავრის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება;
- ცხრილი № 20 – 96 გვ. გულარაში და სპილენძში დანაკარგები სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის;
- ცხრილი № 21 – 98 გვ. გულარის მახასიათებლების შედარება;
- ცხრილი № 22 – 110 გვ. ძაბვის ტრანსფორმატორის დამაგნიტების მრუდის მონაცემები;
- ცხრილი № 23 – 117 გვ. მქე-ების ურთიერთშედარება სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის ;
- ცხრილი № 24 – 117 გვ. მქე-ების ურთიერთშედარება ტრანსფორმატორების დატვირთვის მიხედვით ;
- ცხრილი № 25 – 120 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ფასების ურთიერთშედარება;
- ცხრილი № 26 – 121 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების სრული თვითღირებულებების ურთიერთშედარება;
- ცხრილი № 27 – 122 გვ. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების ეკონომიკური შეფასება.

ნახაზების ნუსხა

- ნახაზი № 1 – 33 გვ. – ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის განვითარების ისტორია;
- ნახაზი № 2 – 35 გვ. – ამორფული ლითონისა და ფოლადის სტრუქტურის ურთიერთშედარება;
- ნახაზი № 3 – 36 გვ. – ამორფული ლენტის მიღების პროცესი;
- ნახაზი № 4 – 37 გვ. – შენადნობის საერთო ხედი (ა) ; მიღების პროცესი (ბ); ამორფული ლენტი (გ);
- ნახაზი № 5 – 38 გვ. – ავტომატიზირებული დაზგა მაგნიტოგამტარების დასახვევად "Модуль-30";
- ნახაზი № 6 – 38 გვ. – ამორფული ლენტი;
- ნახაზი № 7 – 41 გვ. – ამორფული მასალისაგან დამზადებული ლენტის ელექტროგრამა;
- ნახაზი № 8 – 42 გვ. – ნიმუშის ელექტრომიკროსკოპული გამოსახულება (რომელიც ადასტურებს მასალის ამორფულ აღნაგობას);
- ნახაზი № 9 – 42 გვ. – ამორფული ლენტის რენტგენოდიფრაგტოგრამა;
- ნახაზი № 10 – 43 გვ. – ამორფული ლენტის რასტრული ელექტრომიკროსკოპიული გამოსახულება;
- ნახაზი № 11 – 43 გვ. – ამორფული მასალის მიკროპლასტიკური ხასიათის შემოწმება;
- ნახაზი № 12 – 45 გვ. – გულარის დიზაინი;
- ნახაზი № 13 – 46 გვ. – ღეროვანი მაგნიტოგამტარი;
- ნახაზი № 14 – 49 გვ. – ჯავშნიანი მაგნიტოგამტარი;
- ნახაზი № 15 – 53 გვ. – რგოლისებური მაგნიტოგამტარი;
- ნახაზი № 16 – 55 გვ. – ინფრაწითელ კამერაში მოთავსებული ამორფული და ფოლადის გულარების ურთიერთშედარება;
- ნახაზი № 17 – 55 გვ. – ალდტ-ს წარმოების პროცესის სქემა;

- ნახაზი № 18 – 56 გვ. – ალდტ-ს წარმოების სქემა მსგავსია კლასიკური ტრანსფორმატორის წარმოებისა;
- ნახაზი № 19 – 56 გვ. – ალდტ-ს გულარის წარმოების სქემა;
- ნახაზი № 20 – 57 გვ. – ალდტ-ს დასრულებული გულარა;
- ნახაზი № 21 – 59 გვ. – ალდტ-ს რემონტი;
- ნახაზი № 22 – 59 გვ. – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები;
- ნახაზი № 23 – 60 გვ. – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა;
- ნახაზი № 24 – 62 გვ. – განსხვავებული ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი;
- ნახაზი № 25 – 63 გვ. – განსხვავებული ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა;
- ნახაზი № 26 – 64 გვ. – ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი;
- ნახაზი № 27 – 65 გვ. – ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა;
- ნახაზი № 28 – 72 გვ. – ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა;
- ნახაზი № 29 – 73 გვ. – ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების გამარტივებული საანგარიშო სქემა;
- ნახაზი № 30 – 75 გვ. – სამგრაგნილა ტრანსფორმატორის (ავტოტრანსფორმატორის) ჩანაცვლების სქემა;
- ნახაზი № 31 – 81 გვ. – ტრანსფორმატორების რეალიზაცია;
- ნახაზი № 32 - 88 გვ. – ტრანსფორმატორების ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების ანგარიშის მათემატიკური მოდელი;
- ნახაზი № 33 – 90 გვ. – მონაცემების შეყვანის ველები ტრანსფორმატორების ურთიერთ შედარებისათვის;
- ნახაზი № 34 - 90 გვ. – ანგარიშის შედეგად მიღებული სიდიდეები;

- ნახაზი № 35 – 91 გვ. – უქმი სვლის დანაკარგები ტრანსფორმატორებში;
- ნახაზი № 36 – 93 გვ. – მოკლედ შერთვის დანაკარგები ტრანსფორმატორებში;
- ნახაზი № 37 – 95 გვ. – სატრანსფორმატორო დანაკარგების ურთიერთშედარება (სტატისტიკის მიხედვით);
- ნახაზი № 38 - 97 გვ. – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ჰისტერეზისის მახასიათებლების ურთიერთშედარება;
- ნახაზი № 39 - 99 გვ. – ჰისტერეზისის დანაკარგები მაგნიტოგამტარში;
- ნახაზი № 40 – 100 გვ. – გრიგალური დენები ტრანსფორმატორის მაგნიტოგამტარში ა) მასიური რკინის დროს; ბ) ერთმანეთისაგან იზოლირებული თხელი ფირფიტების შემთხვევა;
- ნახაზი № 41 – 101 გვ. – უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტებების საანგარიშო სქემა (ა) და ჩამოჭრის პარამეტრები I ჩამ და U ჩამ (ბ).;
- ნახაზი № 42 – 105 გვ. – ATPDraw პროგრამაში შესაყვანი ჩანაცვლების სქემა;
- ნახაზი № 43 - 106 გვ. – ATPDraw პროგრამით ჩატარებული ანგარიშის შედეგები მრუდების სახით;
- ნახაზი № 44 – 107 გვ. – ქ/ს “წყალტუბო-220” სრული სქემა;
- ნახაზი № 45 - 108 გვ. – ქვესადგური “წყალტუბო-220” -ს 10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის სქემა და სალტეების ძირითადი პარამეტრები;
- ნახაზი № 46 – 109 გვ. – ATPDraw პროგრამით საანგარიშო მოდელი;
- ნახაზი № 47 - 111 გვ. – ძაბვის ტრანსფორმატორის დამაგნიტების მრუდი;
- ნახაზი № 48 – 112 გვ. – სასალტეო კონსტრუქცია;
- ნახაზი № 49 - 113 გვ. – ძალოვანი ტრანსფორმატორის ნეიტრალის ძაბვა;

ნახაზი № 50 – 113 გვ. – ძალოვანი ტრანსფორმატორის ნეიტრალის
ძაბვის საწყისი სტადია, პირველი 40
მილიწამის განმავლობაში;

ნახაზი № 51 - 114 გვ. – ძაბვის ტრანსფორმატორის A ფაზის ძაბვა;

ნახაზი № 52 – 114 გვ. – A ფაზაში ჩართული ძაბვის
ტრანსფორმატორის დენი;

ნახაზი № 53 - 118 გვ. – ტრანსფორმატორების მ.ქ.კ.-ების
ურთიერთშედარება დატვირთვების მიხედვით;

ნახაზი № 54 – 119 გვ. – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და
კლასიკური ტრანსფორმატორების
ღირებულებების ურთიერთშედარება;

ნახაზი № 55 - 122 გვ. – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და
კლასიკური ტრანსფორმატორების
თვითგამოსყიდვის პერიოდი.

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

- აღდტ - ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორები
ცნფტ - ცივად ნაგლინი ფოლადისაგან დამზადებული
ტრანსფორმატორები
მ.ქ.კ. - მარგი ქმედების კოეფიციენტი
სთღ - სრული თვითღირებულება
ამმ - ამორფული მაგნიტური მასალები

მადლიერება

მადლობას ვუხდით ფირმა “ABB”-ს და “vacuumshmelze”-ს
ხელმძღვანელობას გაწეული დახმარებისათვის.

შესავალი

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 ($\mu_6 - 80\ 000$, $\mu_{\text{მაკს}} - 300\ 000 \div 700\ 000$) ახასიათებთ, რომლის ცვლილება ნაკლებადაა დამოკიდებული სიხშირეზე. ისინი ხასიათდებიან

აგრეთვე კოჰერციული ძალის სიმცირით (Hc ნაკლებია 0,01 ერთეულზე), მართკუთხოვანი ჰისტერეზისის მარყუით, დიდი ელექტრული კუთრი წინაღობით ($\rho - 1 \div 1,5$ ომი $\frac{\text{მმ}^2}{\text{გ}}$) გაჯერების დიდი ინდუქციითა და გადამაგნიტებაზე მცირე კუთრი დანაკარგებით. ამორფული მაგნიტური მასალები აგრეთვე ძლიერი კოროზია, რადიაცია და ცვეთამედევობით 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 ამორფულმაგნიტურგულარიანი 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 მარყუქი 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 მივადწიეთ 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;

➤ 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.

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

ლიტერატურის მიმოხილვა

1. გ. მახარაძე, ვ. ბეგიაშვილი, ბ. დარჩია “ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილება” თბილისი 2006 წ.

წიგნი შედგება 8 თავისაგან და მასში განხილულია, როგორც ელექტრული ენერჯის წარმოება-გადაცემის პროცესის დამახასიათებელი განსაკუთრებული ტექნოლოგიური თავისებურებები, ისე ელექტრული ქსელის ძირითადი ელემენტები და მათი მახასიათებელი პარამეტრები; შორეული ელექტროგადაცემის თავისებურებები და ელექტროგადაცემის უბნის რეჟიმის პარამეტრების გაანგარიშება; ელექტრული ქსელის რეჟიმების პარამეტრების გაანგარიშება; ელექტრული ენერჯის ხარისხი და მისი უზრუნველყოფა; ელექტრული ენერჯის დანაკარგები და მათი შემცირების ღონისძიებები.

2. ვ. მეტრეველი, თ. თხელიძე, გ. მახარაძე, ზ. ბაბუნაშვილი “ძალოვანი ტრანსფორმატორები”, თბილისი 2002წ.

სახელმძღვანელო შედგება 4 თავისაგან და განკუთვნილია მაღალი ძაბვის დანადგარების მომსახურე ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალისა და ელექტროენერგეტიკული ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის.

ძალოვანი ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების შესახებ არსებობს დიდი რაოდენობის ლიტერატურა. წიგნები სპეციალიზირდება იმ თვალსაზრისით, რომ ზოგიერთ მათგანში მოცემულია ტრანსფორმატორების თეორია, აღწერილია მათი კონსტრუქციები და გამოყენებული მასალები; ზოგიერთში – კი აღწერილია მათი რეალური დაცვა. არის წიგნები, სადაც განხილულია ტრანსფორმატორების დაზიანებები და რემონტი.

წინამდებარე სახელმძღვანელოში წარმოდგენილია ტრანსფორმატორების კონსტრუქციული შესრულება. დეტალურად არის ნაჩვენები ტრანსფორმატორის შემადგენელი ყველა ძირითადი ნაწილი. განხილულია ტრანსფორმატორების ელექტრული პარამეტრები, მუშაობის რეჟიმები და სხვ.

3. И. Долгинов "Техника высоких напряжений в электроэнергетике" Москва 1968 г.

წიგნი შესდგება 7 ნაწილისაგან და 28 თავისაგან. წიგნში განხილულია, როგორც ატმოსფერული ისე კომუტაციური გადამეტაბვები. მათი წარმოქმნის ალბათობა და გადამეტაბვის შემცირების ღონისძიებები.

სულ უფრო აქტუალური ხდება მაღალი ძაბვის დანადგარების იზოლაციაზე ექსპლუატაციის პირობებში წარმოშობილი გადამეტაბვის შესწავლა და მათგან დაცვის საშუალებების დახვეწა.

დანადგარის იზოლაციაზე შეიძლება წარმოიშვას შინაგანი გადამეტაბვა. ასეთი სახის ძაბვა ჩნდება გადამცემი ხაზებისა და ელექტრული დანადგარების ჩართვა-გამორთვის, ელექტრული სისტემების არასიმეტრიული რეჟიმებისა და ავარიული პირობების დროს, სისტემაში რეზონანსული მოვლენების წარმოქმნისას და სხვა.

ატმოსფერული დაცლების (მეხის დაცლების) შედეგად წარმოიშვება ატმოსფერული გადამეტაბვები. ამ სახელმძღვანელოში განხილულია ატმოსფერული და შინაგანი გადამეტაბვის შეზღუდვისა და თავიდან აცილების ღონისძიებები.

4. თ. ჟვანია, ზ. ბაბუნაშვილი "მაღალი ძაბვის ტექნიკა ელექტროენერგეტიკაში", თბილისი 2002 წ

წინამდებარე სახელმძღვანელო განკუთვნილია ელექტროენერგეტიკისა და ელექტროტექნიკური ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის. აქ განხილულია ისეთი აუცილებელი საკითხები, როგორებიცაა მაღალი ძაბვის დანადგარების იზოლაცია; ატმოსფერული და შინაგანი გადამეტაბვა, მათგან დაცვის საშუალებები; მაღალი ძაბვის ლაბორატორიებში გამოყენებული გამოსაცდელი დანადგარები და სხვ.

წიგნი შესდგება 5 ნაწილისაგან და 8 თავისაგან. თითოეულ თავში განხილულია ელექტრული ენერჯის მომხმარებლებისათვის ენერჯის უწყვეტი მიწოდების დამოკიდებულება მაღალი ძაბვის ელექტრული სისტემებისა და დანადგარების მუშაობის საიმედოობაზე.

5. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები”, ჟურნალი ენერჯია № 4 (48), 2008 წ.

სტატიაში განხილულია ამორფული მასალების სახეობები, მიღების ტექნოლოგია და ამორფული ლითონის სატრანსფორმატორო უპირატესობები. წარმოდგენილია ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების გულარის ზომები. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების სატრანსფორმატორო უპირატესობები და სხვ.

6. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტაბვების ურთიერთშედარება”, ჟურნალი ენერჯია №4 (52)-2 2009 წ.

სტატიაში განხილულია ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებისა და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთედარება კომუტაციური გადამეტაბვის დროს. წარმოდგენილია ელექტრული მახასიათებლების ანგარიში და მიღებული შედეგების ურთიერთშედარება ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებისა და კლასიკური ტრანსფორმატორებისათვის.

7. ზ. ბაბუნაშვილი, ნ. გვარამაძე, გ. არზიანი “ფერორეზონანსი”, ჟურნალი “ენერჯია” №2 (50)-1, 2009 წ

სტატიაში განხილულია კომუტაციური გადამეტაბვა, რომელსაც ადგილი აქვს ფერორეზონანსის მოვლენის დროს. წარმოდგენილია ფერორეზონანსის ანგარიში და მიღებული შედეგების ანალიზი; დასკვნები და რეკომენდაციები ფერორეზონანსის მოვლენის თავიდან ასაცილებლად.

8. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის ელექტრული, მაგნიტური და ეკონომიკური მახასიათებლების ურთიერთშედარება”, ჟურნალი “ენერჯია” № 2 (54), 2010 წ.

სტატიაში განხილულია ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებისა და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთედარება ელექტრული, მაგნიტური და ეკონომიკური მახასიათებლების მიხედვით. წარმოდგენილია ელექტრული მაგნიტური, ეკონომიკური მახასიათებლების ანგარიში და მიღებული შედეგების ურთიერთშედარება ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებისა და კლასიკური ტრანსფორმატორებისათვის.

9. ე. ქუთელია, შ. ნაჭყეზია “ამორფული მაგნიტური მასალები”,
ჟურნალი “მეცნიერება და ტექნიკა” 1994 წ

სტატიაში განხილულია ამორფული მაგნიტური მასალების
(ამმ) სტრუქტურა და მაგნიტური თვისებები. აგრეთვე მოყვანილია
ამორფლი ლენტის სპექტრული, რენტგენოგრაფიული და
ელექტრომიკროსკოპიული ანალიზის შედეგები.

შედეგები და მათი განსჯა

აღნიშნულ ნაშრომში განხილულია ამორფული მასალების დამზადების ტექნოლოგია და მათი სტრუქტურა, ჩატარებული იქნა ამორფული ლენტის მიკროსკოპიული ანალიზი და რენდგენოგრაფია. ამორფული მასალის მახასიათებლების საფუძველზე ჩატარებული იქნა სხვადასხვა სახის ანგარიშები, რომლებიც ადასტურებენ ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორების უპირატესობას სხვა, მათ შორის კლასიკური ტიპის ტრანსფორმატორებთან შედარებით.

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორის ურთიერთშედარების შედეგად დადგინდა, რომ კომპუტაციური გადამეტაბვის შემთხვევაში გადამეტაბვის სიდიდე ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებზე გადამეტაბვის სიდიდე დაახლოებით 2,4 –ჯერ ნაკლებია კლასიკური ტრანსფორმატორთან შედარებით.

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები ხასიათდებიან მცირე გაბარიტებითა და მაღალი მ.ქ.კ.-თი, რაც უპირატესობას ანიჭებს მათ სხვა ტიპის ტრანსფორმატორებთან შედარებით.

ექსპერიმენტული ნაწილი

ჩატარებულია ამორფული ლენტის რენტგენოგრაფიული, სპექტროსკოპიული და ელექტრონულ-მიკროსკოპიული ანალიზი. აგრეთვე შესწავლილი იქნა ამორფული მასალების სტრუქტურის ცვლილება მათი გახურების საფუძველზე. გადამეტაბვის საანგარიშო პროგრამით “ATPDraw” ჩატარებული იქნა ამორფული ტრანსფორმატორის მოდელირება, რითაც შემოწმდა მისი მედეგობა კომუტაციური გადამეტაბვების მიმართ. შედგენილი იქნა ამორფული ტრანსფორმატორის საანგარიშო მათემატიკური მოდელი, რომლითაც შესაძლებელია ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემების საფუძველზე მისი სხვადასხვა მახასიათებლების გამოთვლა.

I თავი

ამორფული მასალების დახასიათება

ტრანსფორმატორის გულარისათვის მასალის შერჩევა წარმოადგენს ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას ტრანსფორმატორის დამზადებისას. მნიშვნელოვანია, რომ ამ მასალას ჰქონდეს კარგი მაგნიტური და მექანიკური თვისებები. 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. მაღალი გამტარუნარიანობის მისაღწევად თითქმის ყოველთვის გამოიყენება ცივად ნაგლინი ფოლადი. მასალების განვითარება და დახვეწა, რომლებიც გამოიყენებიან ტრანსფორმატორებში მოყვანილია ქვემოთ.

სხვადასხვა ქვეყნებში მომუშავე ამორფული

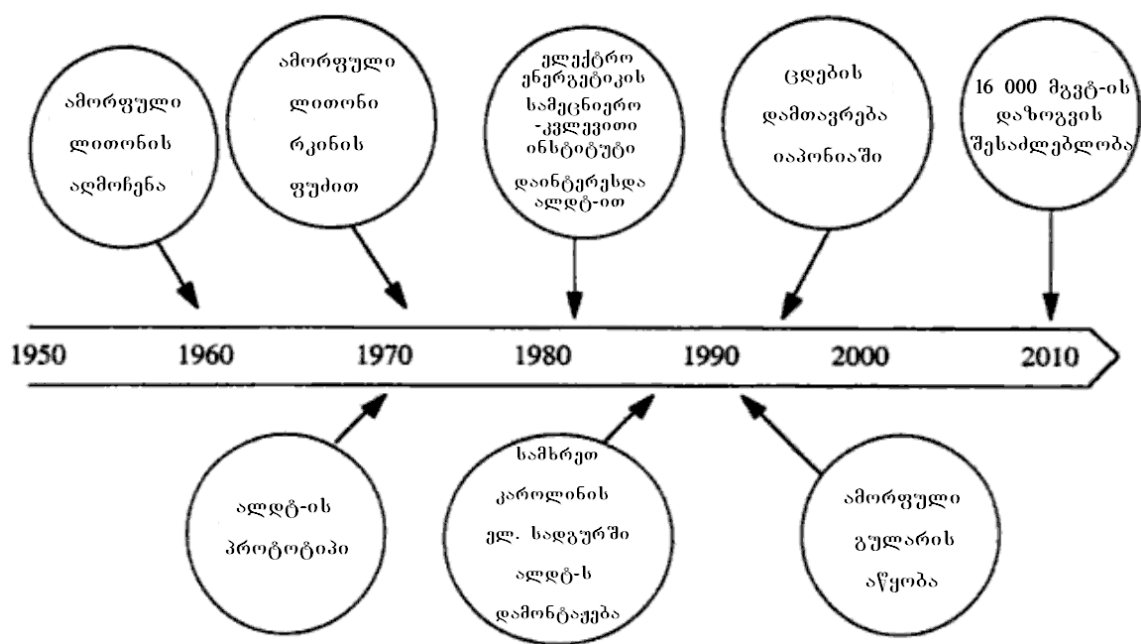
ტრანსფორმატორები

აშშ	2 მილიონზე მეტი ერთეული მუშაობს
იაპონია	ამჟამად მუშაობს 300 000-ზე მეტი ერთეული
ინდოეთი	ამჟამად მუშაობს 56 000-ზე მეტი ერთეული ენერგეტიკის სამინისტროს მიერ რეკომენდირებულია
ფილიპინები	ამორფული ტრანსფორმატორების შექმნა ამჟამად მუშაობს 22 000-ზე მეტი ერთეული
ტაილანდი	ამჟამად მუშაობს 1 000-ზე მეტი ერთეული
ტაივანი	ამჟამად მუშაობს 5 250-ზე მეტი ერთეული
ბანგლადეში	ამჟამად მუშაობს 14 900-ზე მეტი ერთეული

ჩინეთი ამჟამად მუშაობს 100 000-ზე მეტი ერთეული ამორფული ტრანსფორმატორის 30 %-ის შექმნა რეკომენდირებულია ყველა რეგიონისათვის.

ამორფული ტრანსფორმატორების ისტორია და ამჟამინდელი მდგომარეობა მთელი მსოფლიოს მასშტაბით

- 1967 წ. მსოფლიოში პირველად აღმოაჩინეს ამორფული შენადნობი
- 1975 წ. “Alliedsignal” კორპორაციამ (აშშ) დაიწყო ამორფული შენადნობის წარმოება
- 1979 წ. “Alliedsignal” კორპორაციამ (აშშ) წარმოებაში ჩაუშვა 15 კვა-იანი ამორფული ტრანსფორმატორი
- 1980 წ. ორმა იაპონურმა კომპანიამ, მათ შორის “Mitsubish”—მა გამოუშვეს ერთფაზა ზეთით შევსებული ამორფული ტრანსფორმატორი
- 1985 წ. “General Electric” (GE) (აშშ) გამოუშვა 1000 ერთეული ამორფული ტრანსფორმატორი
- 1986 წ. “General Electric” (GE) (აშშ) დაიწყო ამორფული ტრანსფორმატორების გაყიდვა (რეალიზაცია)
- 1995 წ. 500 000-ზე მეტი ამორფული ტრანსფორმატორი იყიდება მსოფლიო ბაზარზე
- 1997 წ. “Alliedsignal” კორპორაციამ (აშშ) შეიმუშავა ამორფული შენადნობის
- 1998 წ. “Dyna-power” კორპორაცია (აშშ)
- 1999 წ. “Hitachi” კორპორაცია (იაპონია)
- 2005 წ. “Hitachi”—იმ (იაპონია) შეიმუშავა ახალი თაობის ამორფული ლითონის ლენტი (მცირე ხმაური, მინიატურისა)
- ამჟამად ამორფული ტრანსფორმატორები, როგორც კომერციულად მომგებიანი ტრანსფორმატორები იყიდება მსოფლიო ბაზარზე (25 000 კვა)



ნახ. 1 – ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის განვითარების ისტორია

ცხრილი № 1 - 1994 წლის მონაცემების მიხედვით შედგენილი ცხრილი
(მიღებულმა დანახოვმა მოლოდინს გადააჭარბა)

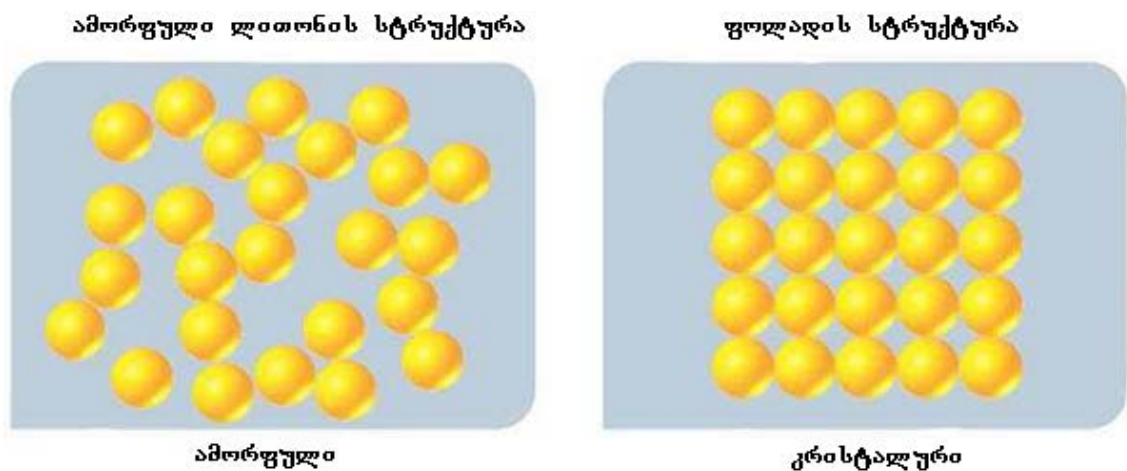
ქვეყანა	მთხოვნილი ელ. ენერჯია 1994 წ (მილიარდი კვტსთ)	გამანაწილებელი ტრანსფორმატორის ბუჯტარის დანაკარგების შეფასება, 1994 წ (მილიარდი კვტსთ)	ყოველწლი იური ზრდის პროცენტი	გამანაწილებელი ტრანსფორმატორის ბუჯტარის დანაკარგების შეფასება, 2000 წ (მილიარდი კვტსთ)	პოტენციური დანახოვი აღდტ-ით 2000 წ (მილიარდი კვტსთ)
აშშ	3280	52	2	59	47
კვროპა	2960	31	1	33	26
იაპონია	930	15	2	17	14
ჩინეთი	840	15	8	24	19
ბრაზილია	275	5	5	7	6
ინდოეთი	245	4	7	6	5
სამხრეთ კორეა	147	3	10	5	4
ტაივანი	106	2	8	3	2.5
ტაილანდი	60	1	11	2	1.5
ინდონეზია	43	0.7	11	1.3	1
მალაიზია	40	0.7	10	1.2	1
ფილიპინები	26	0.5	14	1.1	0.9

1.1. 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. □ლ. 9□



ნახ. 2 – ამორფული ლითონისა და ფოლადის სტრუქტურის ურთიერთშედარება

- ამორფულ სტრუქტურაში ატომები განლაგებულია ქაოსურად (მოუწესრიგებელი სტრუქტურა)
- იმ უპირატესობის გამო, რასაც წარმოადგენს მაგნიტური ველის

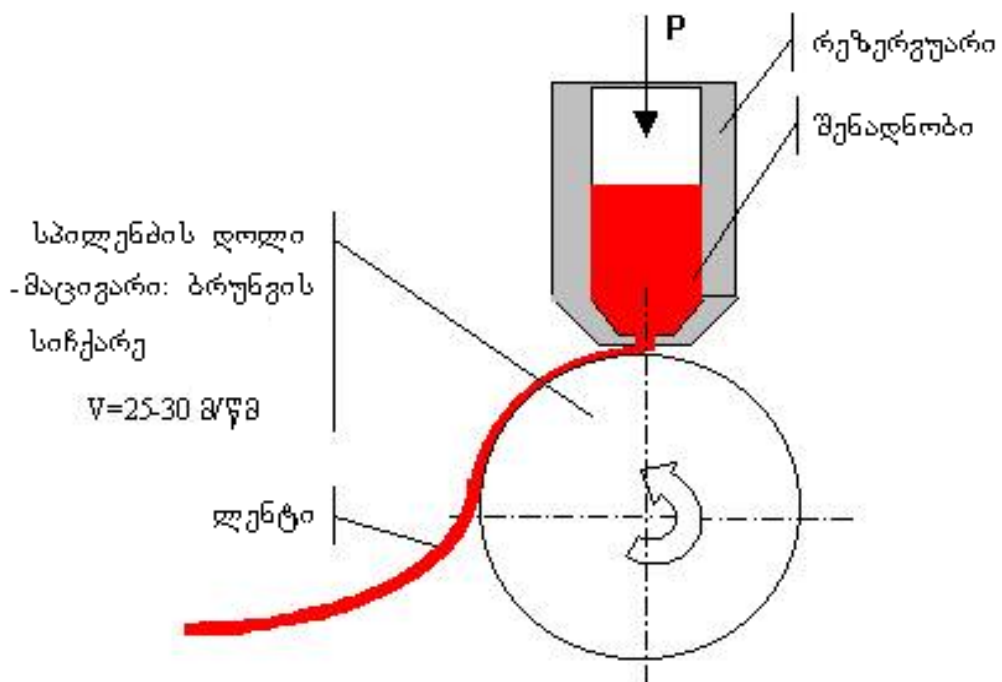
ცვლილებით ატომთა ადვილი მობრუნება, ამორფული მასალა უფრო კარგად ამცირებს დანაკარგებს ვიდრე ჩვეულებრივი ფოლადი კრისტალური სტრუქტურით.

- 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).

1.2. ამორფული ლენტი

სპეციფიური ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა ამორფული შენადნობები დამზადდეს ლენტების სახით 40 მკმ-ზე მცირე სისქის (25 ± 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.



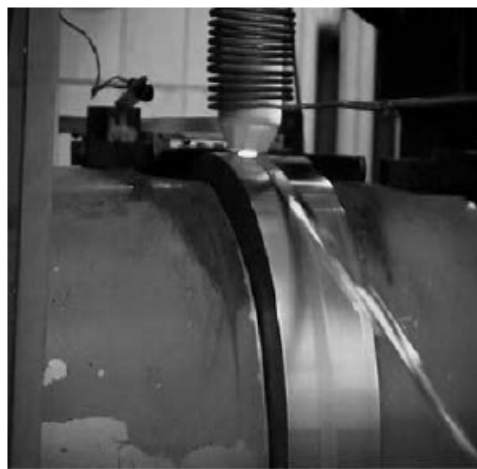
ნახ. 3- ამორფული ლენტის მიღების პროცესი

ამორფული შენადნობები გარკვეულ ტემპერატურაზე გახურების დროს გადადიან კრისტალურ მდგომარეობაში (კრისტალიზირდებიან). ამორფული მასალისაგან დამზადებული მოწყობილობების სტაბილური მუშაობისათვის, აუცილებელია, რომ დანადგარის (შენადნობის) ტემპერატურამ არ გადააჭარბოს მუშა მაქსიმალურ ტემპერატურას ($T_{\text{მუშა. მაქს}}$).

დღეისათვის უპირატესად გამოიყენება ამორფულ მაგნიტური შენადნობები, რომლებიც შერწყმულია მაღალი მაგნიტური და მექანიკური თვისებები. [ქლ. 6]



ა)



ბ)



გ)

ნახ. 4.

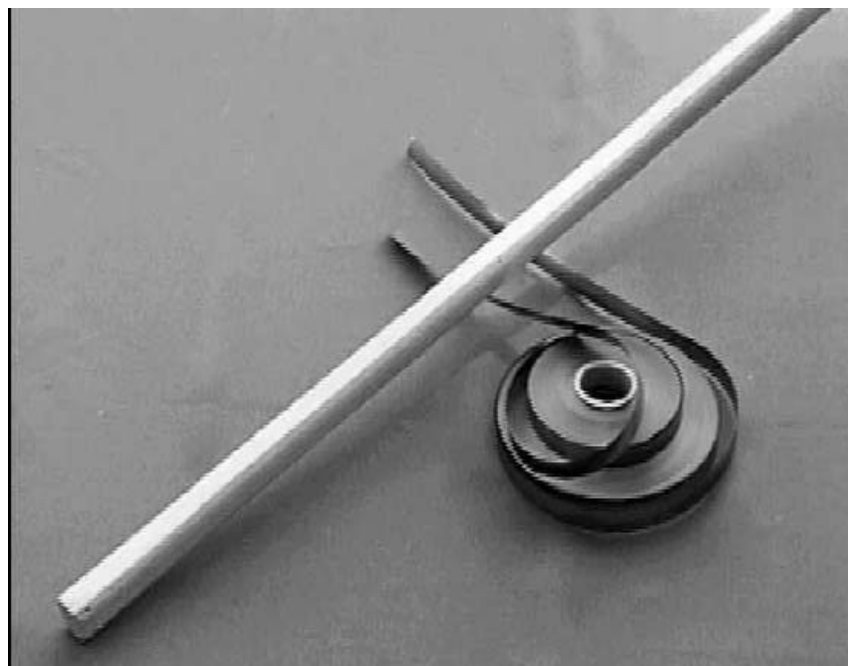
შენადნობის
საერთო ხედი (ა)

მიღების პროცესი (ბ)

ამორფული ლენტი (გ)



ნახ. 5 - ავტომატიზირებული დაზგა მაგნიტოგამტარების დასახვევად "Модуль-30"



ნახ. 6 –ამორფული ლენტი

ამორფული ლენტის სიგანე 3-დან 80 მმ-მდეა.

თერმულად დამუშავებული ლენტის ტიპური მაგნიტური და ფიზიკური მახასიათებლებია:

ცხრილი № 2- ამორფული ლენტის მაგნიტური და ფიზიკური მახასიათებლები

მახასიათებლები	განზომილება	ამორფული ლითონი	ცივად ნაგლინი ფოლადი (კნფ)
სიმკვრივე	(გ/სმ ³)	7.15	7.65
კუთრი წინაღობა		130.00	45.00
გაჯერების ინდუქციურობა	(ტესლა)	1.56	2.03
გულარის ტიპური დანაკარგები (50 ჰერცის და 1,4 ტესლას დროს)	ვტ/კვ	0.20	0.90
სისქე	მმ	0.025	0.27
გაუდენტვის კოეფიციენტი		0.86	0.97
სიმყიფე		მაღალი	დაბალი
ფორმა		ლენტი/ფოლგა (სტანდარტული ზომები - 142.2 მმ, 172.2 მმ და 213.4 მმ)	ფურცლოვანი/რულონი
მოწვის ტემპერატურა	°C	360	810
აირი, რომელშიც ხდება მოწვა		ინერტული აირი	ინერტული აირი
სპეციალური მოთხოვნები მოწვისათვის		მაგნიტური ველის მოწვა	-

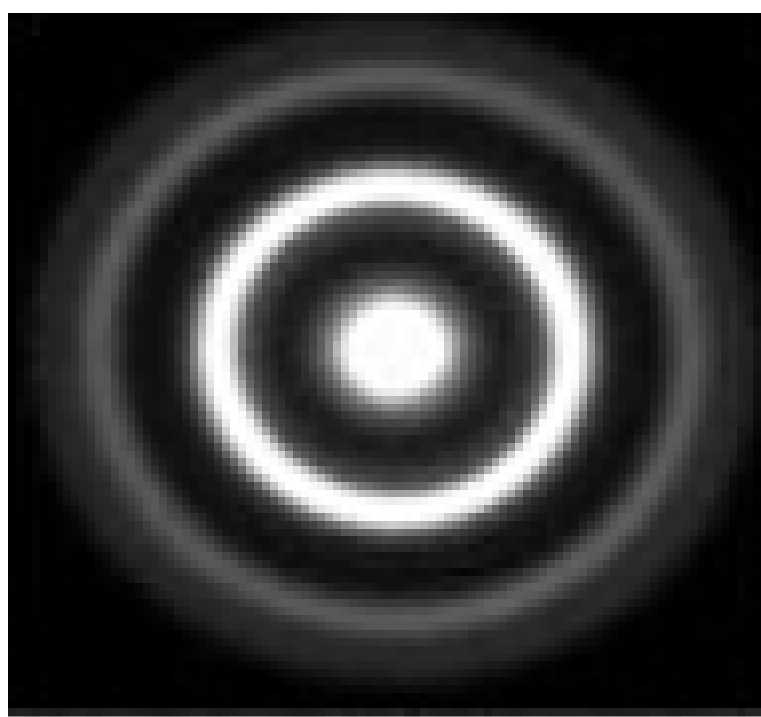
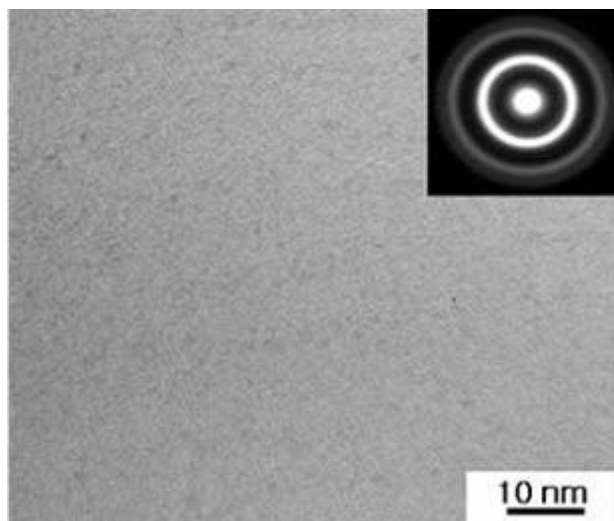
ლენტის მახასიათებლები ლენტის ნიმუშის თერმიული დამუშავების შემდეგ ხელმეორედ გამოიკვლიან. მოთხოვნილი მაგნიტური მახასიათებლების მიღებისათვის ამორფული ლენტისაგან დამზადებული ნაკეთობები საჭიროებენ აუცილებელ თერმიულ ან თერმომაგნიტურ დამუშავებას. თერმიული დამუშავების გარეშე გამოიყენება ამორფული ლენტი, რომელიც დამზადებულია მხოლოდ კობალტის ბაზაზე და რომელიც გამოიყენება მაგნიტური ეკრანებისათვის (ტრანსფორმატორებში ამ ტიპის ამორფული ლენტების გამოყენება არ ხდება).

ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ლენტი წარმოადგენს მასალას, რომელიც თავისი სტრუქტურით ძალიან ჰგავს მინას და არ გააჩნია კრისტალური მესერი. ლენტის მიღება ხდება ცივ ზედაპირზე ლითონურ ნადნობთა სწრაფადწრთობის მეთოდით. მიღებული ლენტის სისქე არის 20-30 მკმ და მისი თერმიული დამუშავების ტემპერატურა 420-460 °C –ია. [ლ.9]□

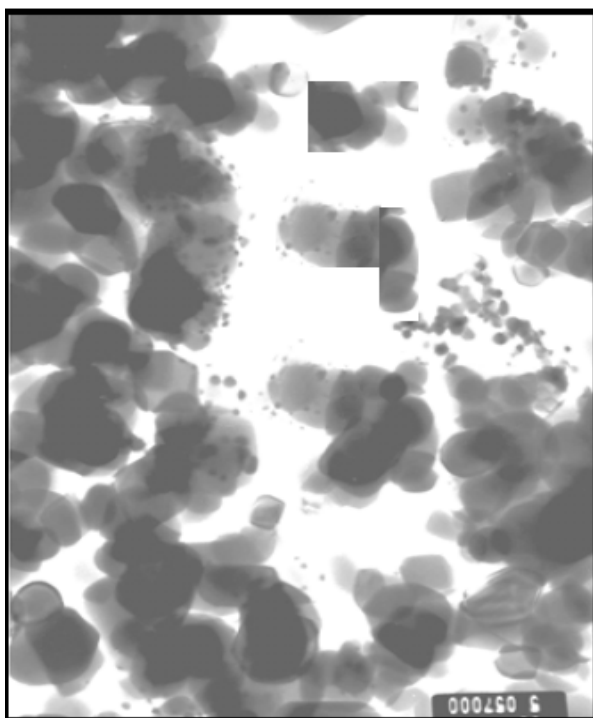
1.3. ამორფული მასალის შედგენილობის მიკრორენტგენულ-სპექტრული ანალიზი

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, სადაც დაიმზირება ორისამი დიფუზიური ჰალო (ნახ. 7), რომელთა ნახევარსიგანის მიხედვით გამოანგარიშებული კოჰერენტული გაბნევის არეების ზომები შეესაბამება

30 Å –ს მიღებული იქნა ნიმუშის მაღალი გარჩევის ელექტრო მიკროსკოპული გამოსახულება (ნახ 8), რომელიც მასალის ამორფულ ადნაობას ადასტურებს. [ლ.9]□



ნახ. 7 - ამორფული მასალისაგან დამზადებული ლენტის ელექტროგრამა

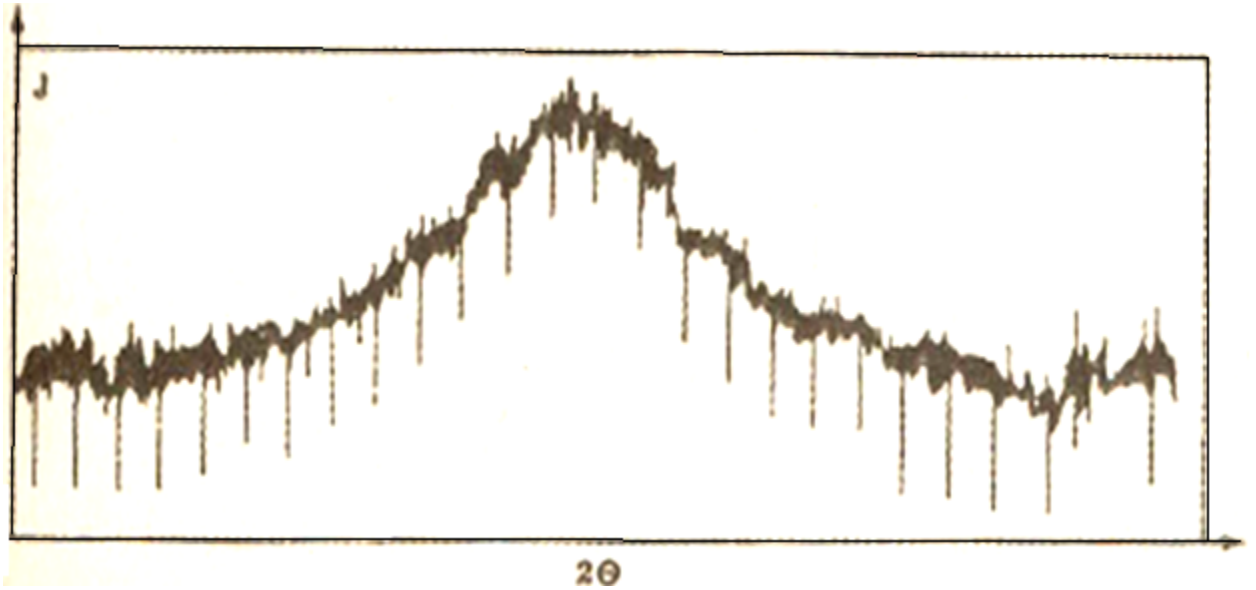


ნახ. 8 - ნიჟუშის ელექტრომიკროსკოპული გამოსახულება (რომელიც ადასტურებს მასალის ამორფულ აღნაგობას)

აგრეთვე გადაღებული იქნა ამორფული მაგნიტური მასალების რენტგენოდიფრაქტოგრაფია (ნახ. 9) და რასტრული ელექტრონული მიკროსკოპული გამოსახულება (ნახ. 10).

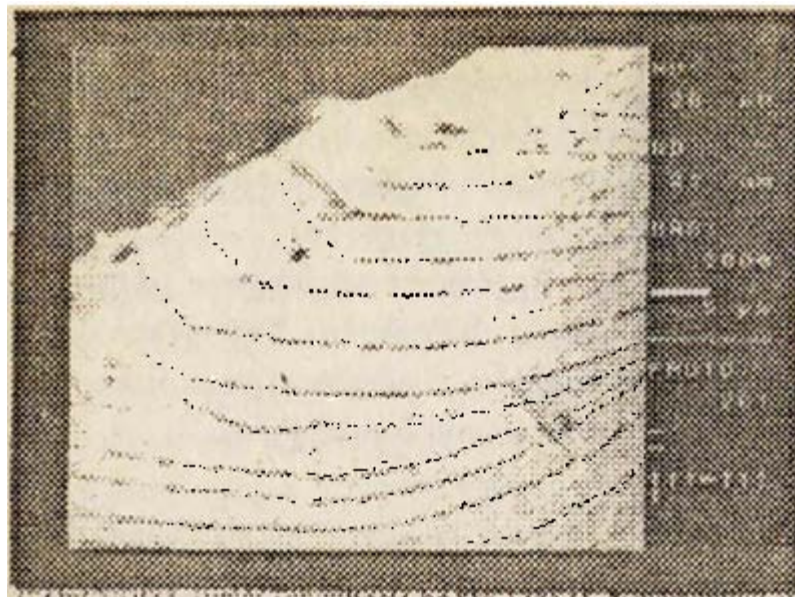


ნახ. 9 - ამორფული ლენტის რენტგენოდიფრაქტოგრაფია



ნახ. 10 - ამორფული ლენტის რასტრული ელექტრომიკროსკოპიული გამოსახულება

ნიმუშის ტეხით შემოწმდა მისი მიკროპლასტიკური ხასიათი (ნახ. 11).



ნახ. 11- მასალის მიკროპლასტიკური ხასიათის შემოწმება

ცხ. № 3 - მაგნიტური ამორფული მასალის ძირითადი პარამეტრები

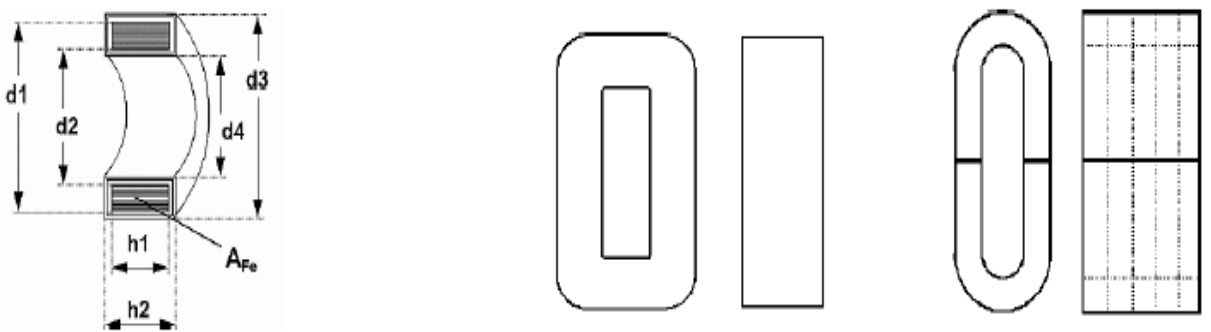
ამმ-ს ტიპი	ლენტის სიგანე, მმ	ლენტის სისქე, მმ	კიურის ტემპერატურა °C-ით	კუთრი წინაღობა ρ , ომი \times მმ ² /მ	სიმკვრივე γ გ/სმ ³	გაჯერების ინდექსი B_s ტესლა	კოპერციტიული ძალა H_c ა/მ	კრისტალიზაციის ტემპერატურა °C
AMAF - 183	0,7; 1;	0.015	350°	1.2 – 1.5	7.7	0.7	2.4	525°
	2; 4; 6;							
	8; 10;	0.020						
	12; 14;							
	16;							
AMAF - 325	0,7; 1;	0.015	535°	1.2 – 1.5	7.3	1.45	5.6	555°
	2; 4; 6;	0.020						
	8; 10;							
	12; 14;							
	16;							
ЭКСП	10; 20	0.025	460°	1.2	7.3	1.61	14	520°

II თავი

ამორფულმაგნიტურ გულრიანი ტრანსფორმატორის დახასიათება

2.1. გულარის დიზაინი და ზომები

სტანდარტული გამოშვებების გარდა ხელმისაწვდომია აგრეთვე
ოვალური ან მართკუთხა ფორმის გულარები.



ნახ. 12 - გულარის დიზაინი

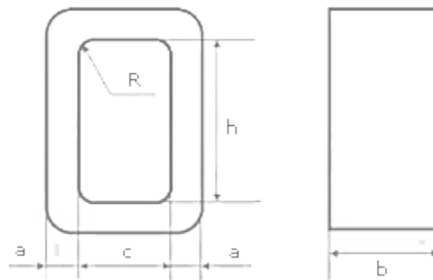
შესაძლებელია ტრანსფორმატორის გულარების შერჩევა 100 - დან
40000 ვატი და ზემოთ.

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 ღრეჩოს არსებობით და დამზადების მცირე
ღირებულებით.

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

დეროვანი მაგნიტოგამტარები

დეროვან მაგნიტოგამტარებში ხეიები განლაგებულია ორ დეროზე. ამასთან მცირდება დახვევის სისქე და შესაბამისად ტრანსფორმატორის გაბნევის (გაფანტვის) ინდუქციურობა მცირდება. გარდა ამისა მცირდება სადენის (გამტარის) ხარჯი და იზრდება გაცივების ზედაპირი, რაც მნიშვნელოვანია დიდი სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის.



ნახ. 13 - დეროვანი მაგნიტოგამტარი

ცხრილი № 4 - ამორფული ლენტისაგან დამზადებული II-სებური მაგნიტოგამტარები

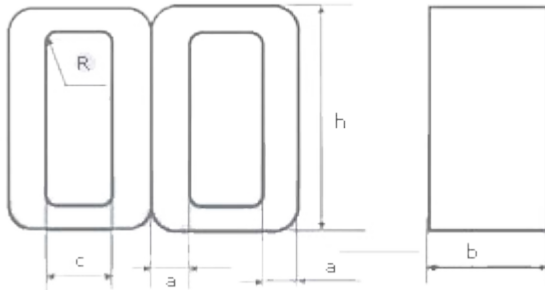
IIIM ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპური ზომები	ზომები, მმ			
	a	b	c	h
IIIM 20X32X28	20.0	32.0	19.0	28.0
IIIM 20X32X36	20.0	32.0	19.0	36.0
IIIM 20X32X46	20.0	32.0	19.0	46.0
IIIM 20X32X58	20.0	32.0	19.0	58.0
IIIM 25X40X36	25.0	40.0	24.0	36.0
IIIM 25X40X46	25.0	40.0	24.0	46.0
IIIM 25X40X58	25.0	40.0	24.0	58.0
IIIM 25X40X73	25.0	40.0	24.0	73.0
IIIM 32X50X46	32.0	50.0	30.0	46.0
IIIM 32X50X58	32.0	50.0	30.0	58.0
IIIM 32X50X73	32.0	50.0	30.0	73.0
IIIM 32X50X90	32.0	50.0	30.0	90.0

<p style="text-align: center;">PL ტიპის მაგნიტოგამტარი</p>				
<p style="text-align: center;">მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპიური ზომები</p>	<p style="text-align: center;">ზომები, მმ</p>			
	a	b	c	h
PL 6,5x12,5x8	6.5	12.5	8.0	8.0
PL 6,5X12,5X10	6.5	12.5	8.0	10.0
PL 6,5X12,5X12,5	6.5	12.5	8.0	12.5
PL 6,5X12,5X16	6.5	12.5	8.0	16.0
PL 8x12,5x12,5	8.0	12.5	10.0	12.5
PL 8X12,5X16	8.0	12.5	10.0	16.0
PL 8X12,5X20	8.0	12.5	10.0	20.0
PL 8X12,5X25	8.0	12.5	10.0	25.0
PL 10X12,5X20	10.0	12.5	12.5	20.0
PL 10X12,5X25	10.0	12.5	12.5	25.0
PL 10X12,5X32	10.0	12.5	12.5	32.0
PL 10X12,5X40	10.0	12.5	12.5	40.0
PL 12,5X16X25	12.5	16.0	16.0	25.0
PL 12,5X16X32	12.5	16.0	16.0	32.0
PL 12,5X16X40	12.5	16.0	16.0	40.0
PL 12,5X16X50	12.5	16.0	16.0	50.0
PL 12,5X25X32	12.5	25.0	20.0	32.0
PL 12,5X25X40	12.5	25.0	20.0	40.0
PL 12,5X25X50	12.5	25.0	20.0	50.0
PL 12,5X25X60	12.5	25.0	20.0	60.0
PL 16X32X40	16.0	32.0	25.0	40.0
PL 16X32X50	16.0	32.0	25.0	50.0
PL 16X32X65	16.0	32.0	25.0	65.0
PL 16X32X80	16.0	32.0	25.0	80.0
PL 20X40X50	20.0	40.0	32.0	50.0
PL 20X40X60	20.0	40.0	32.0	60.0
PL 20X40X80	20.0	40.0	32.0	80.0
PL 20X40X100	20.0	40.0	32.0	100.0
PL 25X50X65	25.0	50.0	40.0	65.0
PL 25X50X80	25.0	50.0	40.0	80.0
PL 25X50X100	25.0	50.0	40.0	100.0
PL 25X50X120	25.0	50.0	40.0	120.0
PL 32X64X80	32.0	64.0	50.0	80.0
PL 32X64X100	32.0	64.0	50.0	100.0
PL 32X64X130	32.0	64.0	50.0	130.0
PL 32X64X160	32.0	64.0	50.0	160.0
PL 40X80X100	40.0	80.0	64.0	100.0
PL 40X80X120	40.0	80.0	64.0	120.0
PL 40X80X160	40.0	80.0	64.0	160.0
PL 40X80X200	40.0	80.0	64.0	200.0

ПЛР ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპური ზომები	ზომები, მმ			
	a	b	c	h
ПЛР 10X12,5	10.0	12.5	8.0	32.0
ПЛР 10X16	10.0	16.0	8.0	32.0
ПЛР 10X20	10.0	20.0	8.0	32.0
ПЛР 10X25	10.0	25.0	8.0	32.0
ПЛР 12,5X12,5	12.5	12.5	10.0	40.0
ПЛР 12,5X16	12.5	16.0	10.0	40.0
ПЛР 12,5X25	12.5	25.0	10.0	40.0
ПЛР 12,5X32	12.5	32.0	10.0	40.0
ПЛР 14X12,5	14.0	12.5	11.5	45.0
ПЛР 14X16	14.0	16.0	11.5	45.0
ПЛР 14X20	14.0	20.0	11.5	45.0
ПЛР 14X25	14.0	25.0	11.5	45.0
ПЛР 14X32	14.0	32.0	11.5	45.0
ПЛР 14X36	14.0	36.0	11.5	45.0
ПЛР 16X12,5	16.0	12.5	16.0	60.0
ПЛР 16X16	16.0	16.0	16.0	60.0
ПЛР 16X20	16.0	20.0	16.0	60.0
ПЛР 16X25	16.0	25.0	16.0	60.0
ПЛР 16X32	16.0	32.0	16.0	60.0
ПЛР 16X40	16.0	40.0	16.0	60.0
ПЛР 18X16	18.0	16.0	18.0	71.0
ПЛР 18X20	18.0	20.0	18.0	71.0
ПЛР 18X25	18.0	25.0	18.0	71.0
ПЛР 18X32	18.0	32.0	18.0	71.0
ПЛР 18X40	18.0	40.0	18.0	71.0
ПЛР 18X45	18.0	45.0	18.0	71.0
ПЛР 21X20	21.0	20.0	25.0	85.0
ПЛР 21X25	21.0	25.0	25.0	85.0
ПЛР 21X32	21.0	32.0	25.0	85.0
ПЛР 21X36	21.0	36.0	25.0	85.0
ПЛР 21X40	21.0	40.0	25.0	85.0
ПЛР 21X45	21.0	45.0	25.0	85.0
ПЛР 22X32	22.0	32.0	21.0	58.0
ПЛР 25X20	25.0	20.0	28.0	100.0
ПЛР 25X25	25.0	25.0	28.0	100.0
ПЛР 25X32	25.0	32.0	28.0	100.0
ПЛР 25X36	25.0	36.0	28.0	100.0
ПЛР 25X40	25.0	40.0	28.0	100.0
ПЛР 25X45	25.0	45.0	28.0	100.0
ПЛР 25X50	25.0	50.0	28.0	100.0
ПЛР 26X45	26.0	45.0	40.0	100.0
ПЛР 28X20	28.0	20.0	32.0	120.0
ПЛР 28X25	28.0	25.0	32.0	120.0
ПЛР 28X32	28.0	32.0	32.0	120.0
ПЛР 28X36	28.0	36.0	32.0	120.0
ПЛР 28X40	28.0	40.0	32.0	120.0
ПЛР 28X45	28.0	45.0	32.0	120.0
ПЛР 28X50	28.0	50.0	32.0	120.0

ჯავშნიანი მაგნიტოგამტარები

ჯავშნიან მაგნიტოგამტარებში ხვეები განლაგებულია ცენტრალურ დეროზე, რაც ამარტივებს კონსტრუქციას, ჩარჩოს უკეთესად გამოყენების საშუალებას იძლევა და ნაწილობრივ ქმნის გრაგნილის დაცვას (იზოლაციას) მექანიკური ზემოქმედებისაგან. ჯავშნიან მაგნიტოგამტარიანი ტრანსფორმატორის ნაკლს წარმოადგენს, მისი მომატებული მგრძობიარობა დაბალი სიხშირის მაგნიტური ველების ზემოქმედების მიმართ. ეს ზღუდავს ჯავშნიან მაგნიტოგამტარიანი ტრანსფორმატორის გამოყენებას.



ნახ. 14 - ჯავშნიანი მაგნიტოგამტარი

ცხრილი № 5 - ამორფული ლენტისაგან დამზადებული III-სებური მაგნიტოგამტარები

III-სებური ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპური ზომები	ზომები, მმ			
	a	b	c	h
III-სებური 3x12,5	1.5	12.5	3.0	13.0
III-სებური 3x16	1.5	16.0	3.0	13.0
III-სებური 3x20	1.5	20.0	3.0	13.0
III-სებური 4x12,5	2.0	12.5	4.0	20.0
III-სებური 4x16	2.0	16.0	4.0	20.0
III-სებური 4x20	2.0	20.0	4.0	20.0
III-სებური 4x25	2.0	25.0	4.0	20.0
III-სებური 5x16	2.5	16.0	5.0	20.0
III-სებური 5x20	2.5	20.0	5.0	20.0
III-სებური 5x25	2.5	25.0	5.0	20.0
III-სებური				

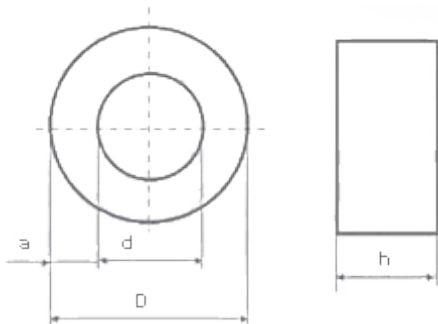
შლო ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპური ზომები	ზომები, მმ			
	a	b	c	h
შლო 4X5	2.0	5.0	6.0	13.0
შლო 4X6,5	2.0	6.5	6.0	13.0
შლო 4X8	2.0	8.0	6.0	13.0
შლო 4X10	2.0	10.0	6.0	13.0
შლო 4X12,5	2.0	12.5	6.0	13.0
შლო 4X16	2.0	16.0	6.0	13.0
შლო 5X5	2.5	5.0	8.0	16.0
შლო 5X6,5	2.5	6.5	8.0	16.0
შლო 5X8	2.5	8.0	8.0	16.0
შლო 5X10	2.5	10.0	8.0	16.0
შლო 5X12,5	2.5	12.5	8.0	16.0
შლო 5X16	2.5	16.0	8.0	16.0
შლო 6X6,5	3.0	6.5	10.0	22.0
შლო 6X8	3.0	8.0	10.0	22.0
შლო 6X10	3.0	10.0	10.0	22.0
შლო 6X12,5	3.0	12.5	10.0	22.0
შლო 6X16	3.0	16.0	10.0	22.0
შლო 6X20	3.0	20.0	10.0	22.0
შლო 8X8	4.0	8.0	12.0	27.0
შლო 8X10	4.0	10.0	12.0	27.0
შლო 8X12,5	4.0	12.5	12.0	27.0
შლო 8X16	4.0	16.0	12.0	27.0
შლო 10X10	5.0	10.0	15.0	32.0
შლო 10X12,5	5.0	12.5	15.0	32.0
შლო 10X16	5.0	16.0	15.0	32.0
შლო 10X20	5.0	20.0	15.0	32.0
შლო 12X12,5	6.0	12.5	20.0	44.0
შლო 12X16	6.0	16.0	20.0	44.0
შლო 12X20	6.0	20.0	20.0	44.0
შლო 12X25	6.0	25.0	20.0	44.0
შლო 16x16	8.0	16.0	24.0	54.0
შლო 16x20	8.0	20.0	24.0	54.0
შლო 16x25	8.0	25.0	24.0	54.0
შლო 16x32	8.0	32.0	24.0	54.0

III ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპიური ზომები	ზომები, მმ			
	a	b	c	h
III4x5	2.0	5.0	4.0	10.0
III4x6,5	2.0	6.5	4.0	10.0
III4x8	2.0	8.0	4.0	10.0
III4x10	2.0	10.0	4.0	10.0
III4x12,5	2.0	12.5	4.0	10.0
III4x16	2.0	16.0	4.0	10.0
III5x5	2.5	5.0	5.0	12.5
III5x6,5	2.5	6.5	5.0	12.5
III5x8	2.5	8.0	5.0	12.5
III5x10	2.5	10.0	5.0	12.5
III5x12,5	2.5	12.5	5.0	12.5
III5x16	2.5	16.0	5.0	12.5
III6x6,5	3.0	6.5	6.0	15.0
III6x8	3.0	8.0	6.0	15.0
III6x10	3.0	10.0	6.0	15.0
III6x12,5	3.0	12.5	6.0	15.0
III6x16	3.0	16.0	6.0	15.0
III6x20	3.0	20.0	6.0	15.0
III8x8	4.0	8.0	8.0	20.0
III8x10	4.0	10.0	8.0	20.0
III8x12,5	4.0	12.5	8.0	20.0
III8x16	4.0	16.0	8.0	20.0
III10x10	5.0	10.0	10.0	25.0
III10x12,5	5.0	12.5	10.0	25.0
III10x16	5.0	16.0	10.0	25.0
III10x20	5.0	20.0	10.0	25.0
III16x16	8.0	16.0	16.0	40.0
III16x20	8.0	20.0	16.0	40.0
III16x25	8.0	25.0	16.0	40.0
III16x32	8.0	32.0	16.0	40.0
III20x20	10.0	20.0	20.0	50.0
III20x25	10.0	25.0	20.0	50.0
III20x32	10.0	32.0	20.0	50.0
III20x40	10.0	40.0	20.0	50.0
III25x25	12.5	25.0	25.0	62.5
III 25x32	12.5	32.0	25.0	62.5
III 25x40	12.5	40.0	25.0	62.5
III 25x50	12.5	50.0	25.0	62.5
III 32X32	16.0	32.0	32.0	80.0
III 32X64	16.0	64.0	32.0	80.0
III 40X40	20.0	40.0	40.0	100.0
III 40X50	20.0	50.0	40.0	100.0
III 40X64	20.0	64.0	40.0	100.0
III 40X80	20.0	80.0	40.0	100.0

IIIIM ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპიური ზომები	ზომები, მმ			
	a	b	c	h
IIIIM 8X6,5	4.0	6.5	5.0	13.0
IIIIM 8X8	4.0	8.0	5.0	13.0
IIIIM 8X10	4.0	10.0	5.0	13.0
IIIIM 8X12,5	4.0	12.5	5.0	13.0
IIIIM 8X16	4.0	16.0	5.0	13.0
IIIIM 10X8	5.0	8.0	6.0	18.0
IIIIM 10X10	5.0	10.0	6.0	18.0
IIIIM 10X12,5	5.0	12.5	6.0	18.0
IIIIM 10X16	5.0	16.0	6.0	18.0
IIIIM 10X20	5.0	20.0	6.0	18.0
IIIIM 12X10	6.0	10.0	8.0	23.0
IIIIM 12X12,5	6.0	12.5	8.0	23.0
IIIIM 12X16	6.0	16.0	8.0	23.0
IIIIM 12X20	6.0	20.0	8.0	23.0
IIIIM 12X25	6.0	25.0	8.0	23.0
IIIIM 16X12,5	8.0	12.5	9.0	26.0
IIIIM 16X16	8.0	16.0	9.0	26.0
IIIIM 16X20	8.0	20.0	9.0	26.0
IIIIM 16X25	8.0	25.0	9.0	26.0
IIIIM 16X32	8.0	32.0	9.0	26.0
IIIIM 20X16	10.0	16.0	12.0	36.0
IIIIM 20X20	10.0	20.0	12.0	36.0
IIIIM 20X25	10.0	25.0	12.0	36.0
IIIIM 20X32	10.0	32.0	12.0	36.0
IIIIM 20X40	10.0	40.0	12.0	36.0
IIIIM 25X20	12.5	20.0	15.0	45.0
IIIIM 25X25	12.5	25.0	15.0	45.0
IIIIM 25X32	12.5	32.0	15.0	45.0
IIIIM 25X40	12.5	40.0	15.0	45.0
IIIIM 25X50	12.5	50.0	15.0	45.0
IIIIM 32X25	16.0	25.0	18.0	55.0
IIIIM 32X32	16.0	32.0	18.0	55.0
IIIIM 32X40	16.0	40.0	18.0	55.0
IIIIM 32X50	16.0	50.0	18.0	55.0
IIIIM 40X32	20.0	32.0	24.0	72.0
IIIIM 40X40	20.0	40.0	24.0	72.0
IIIIM 40X50	20.0	50.0	24.0	72.0
IIIIM 40X64	20.0	64.0	24.0	72.0

რგოლისებური მაგნიტოგამტარები

რგოლისებური მაგნიტოგამტარები მასალის მაგნიტური თვისებების უკეთესად გამოყენების და ტრანსფორმატორის გარე მაგნიტური ველის შემცირების საშუალებას იძლევა. [ლ. 15]



ნახ. 15 - რგოლისებური მაგნიტოგამტარი

სამუშაო ტრანსფორმატორები ლენტისანი მაგნიტოგამტარებით ხასიათდებიან მცირე მასით, მცირე გაბარიტული ზომებით და უფრო მაღალი მქკ-თი იმავე სიმძლავრეზე მომუშავე ფირფიტოვან მაგნიტოგამტარებთან შედარებით.

3-ფაზა ტრანსფორმატორის დამზადების დროს, როდესაც გამოიყენება ლენტისანი მაგნიტოგამტარი მცირდება სადენის ხარჯი, კლებულობს შრომატევადობა და ხვევაზე და ტრანსფორმატორის აწეობაზე.

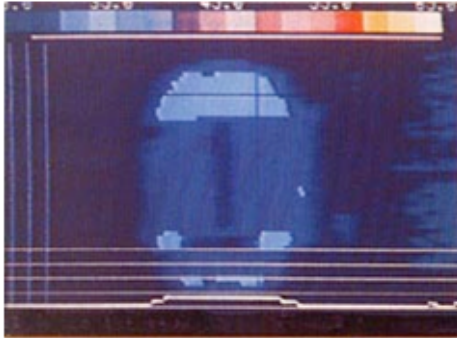
ცხრილი №6 - ამორფული ლენტისაგან დამზადებული O-სებური
მაგნიტოგამტარები

OJ ტიპის მაგნიტოგამტარი				
მაგნიტოგამტარის აღნიშვნა და ტიპიური ზომები	ზომები, მმ			
	d	a	h	D
OJ 6x12x5	6.0	3.0	5.0	12.0
OJ 6x12x6,5	6.0	3.0	6.5	12.0
OJ 8x12x5	8.0	2.0	5.0	12.0
OJ 10x16x5	10.0	3.0	5.0	16.0
OJ 10x16x6,5	10.0	3.0	6.5	16.0
OJ 10x16x8	10.0	3.0	8.0	16.0
OJ 12x20x5	12.0	4.0	5.0	20.0
OJ 12x20x6,5	12.0	4.0	6.5	20.0
OJ 12x20x8	12.0	4.0	8.0	20.0
OJ 12x20x10	12.0	4.0	10.0	20.0
OJ 16x26x5	16.0	5.0	5.0	26.0
OJ 16x26x6,5	16.0	5.0	6.5	26.0
OJ 16x26x8	16.0	5.0	8.0	26.0
OJ 16x26x10	16.0	5.0	10.0	26.0
OJ 16x26x12,5	16.0	5.0	12.5	26.0
OJ 20x32x8	20.0	6.0	8.0	32.0
OJ 20x32x10	20.0	6.0	10.0	32.0
OJ 20x32x12,5	20.0	6.0	12.5	32.0
OJ 20x32x16	20.0	6.0	16.0	32.0
OJ 25x40x10	25.0	7.5	10.0	32.0
OJ 25x40x20	25.0	7.5	20.0	32.0
OJ 25x40x25	25.0	7.5	25.0	32.0
OJ 32x50x16	32.0	9.0	16.0	50.0
OJ 32x50x20	32.0	9.0	20.0	50.0
OJ 32x50x25	32.0	9.0	25.0	50.0
OJ 32x50x32	32.0	9.0	32.0	50.0
OJ 40x64x20	40.0	12.0	20.0	64.0
OJ 40x64x25	40.0	12.0	25.0	64.0
OJ 40x64x32	40.0	12.0	32.0	64.0
OJ 40x64x40	40.0	12.0	40.0	64.0
OJ 50x80x25	50.0	15.0	25.0	80.0
OJ 50x80x32	50.0	15.0	32.0	80.0
OJ 50x80x40	50.0	15.0	40.0	80.0
OJ 50x80x50	50.0	15.0	50.0	80.0
OJ 64x100x32	64.0	18.0	32.0	100.0
OJ 64x100x64	64.0	18.0	64.0	100.0
OJ 80x130x40	80.0	25.0	40.0	130.0
OJ 80x130x50	80.0	25.0	50.0	130.0
OJ 80x130x64	80.0	25.0	64.0	130.0
OJ 80x130x80	80.0	25.0	80.0	130.0
OJ 100x250x50	100.0	75.0	50.0	250.0

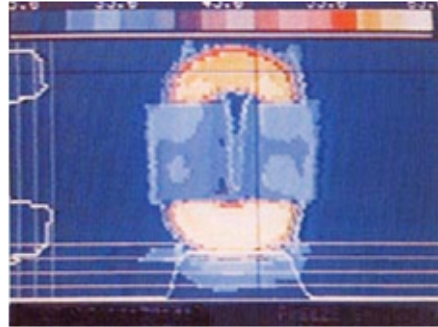
2.2 თერმიული თვისებები

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

ამორფული გულარა



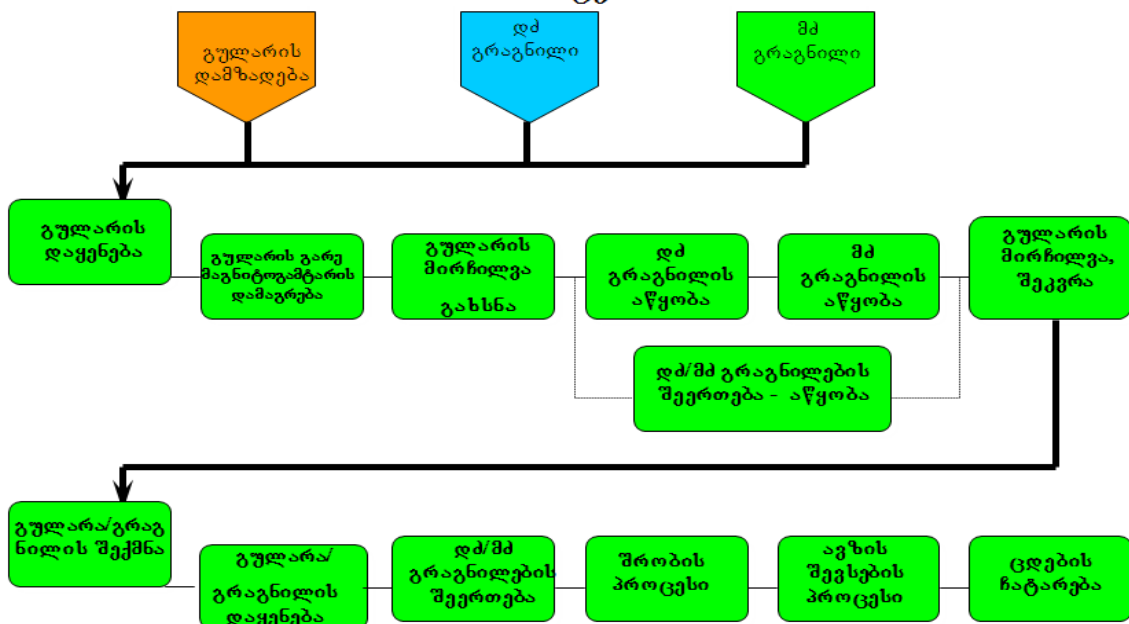
ცნფტ გულარა



ნახ. 16 – ინფრაწითელ კამერაში მოთავსებული ამორფული და ფოლადის გულარების ურთიერთშედარება

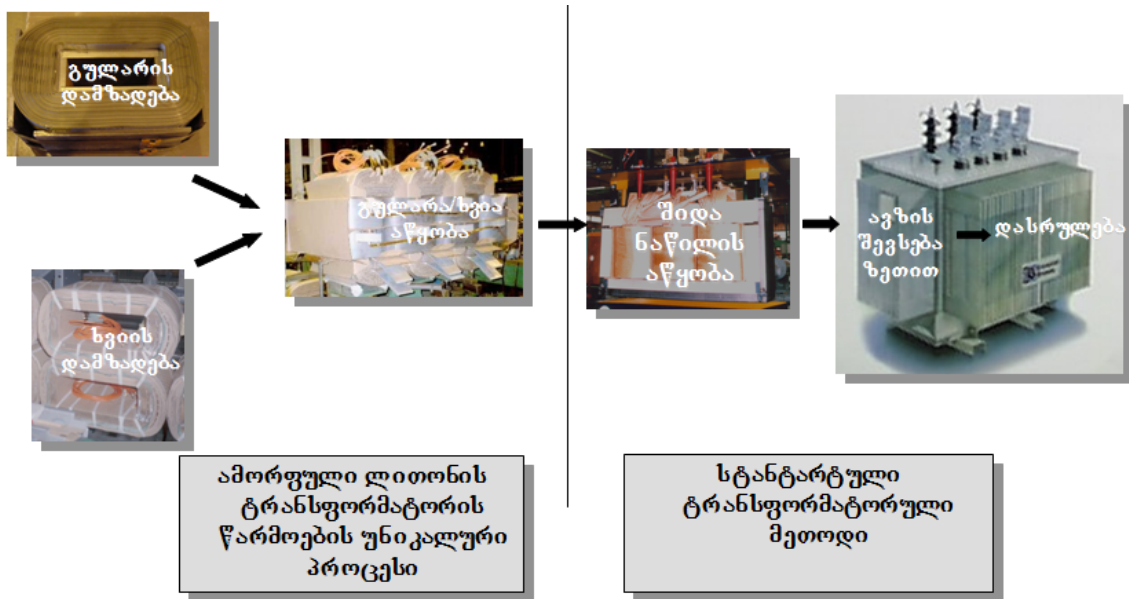
2.3. ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის წარმოება და სატრანსფორმატორო უპირატესობები

ამორფული ლითონის გამანაწილებელი ტრანსფორმატორის წარმოების პროცესი



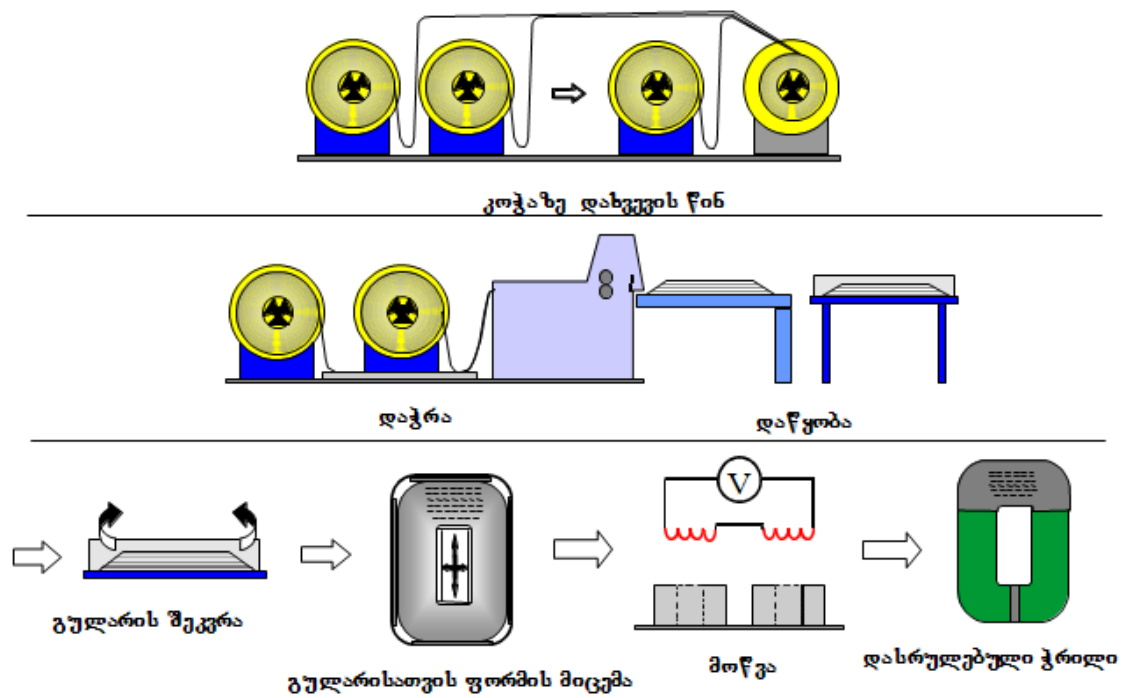
ნახ. 17 – ალდტ-ს წარმოების პროცესის სქემა

ამორფული ლითონის ტრანსფორმატორის წარმოება

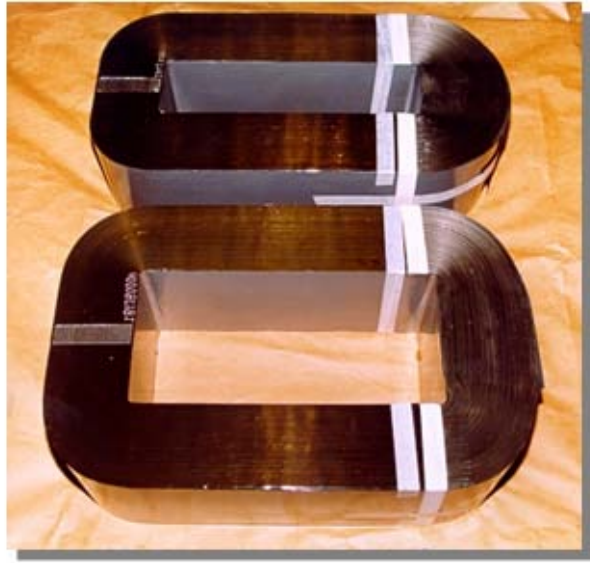


ნახ. 18 – ალდტ-ს წარმოების სქემა მსგავსია კლასიკური ტრანსფორმატორის წარმოებისა

ამორფული ლითონის გულარის წარმოება



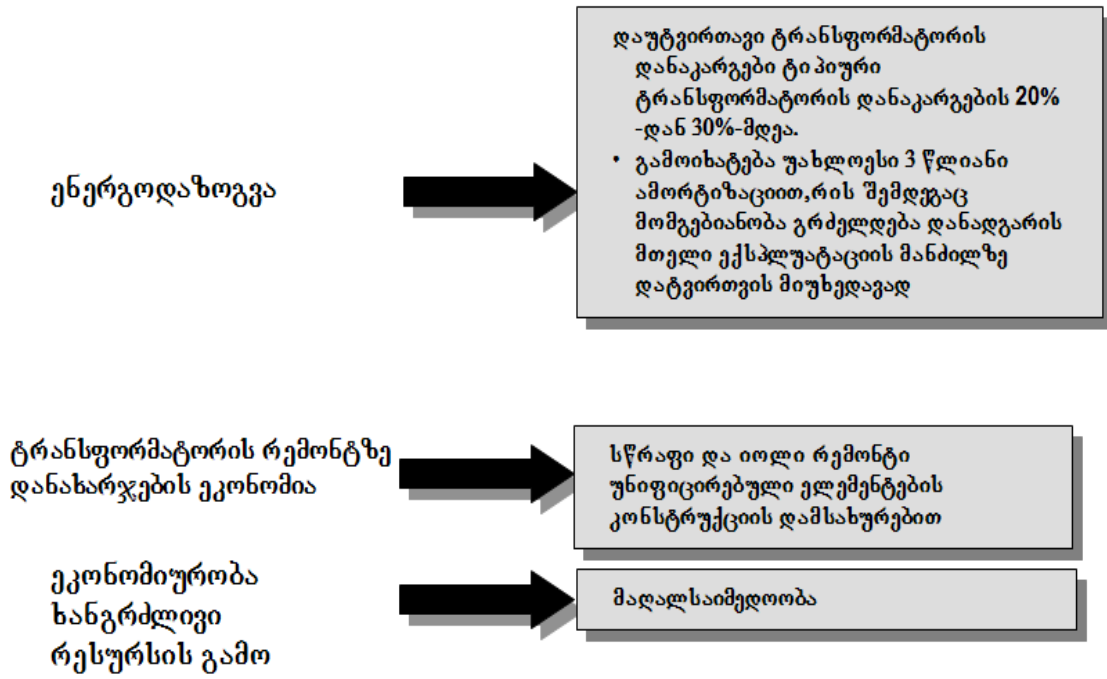
ნახ. 19 – ალდტ-ს გულარის წარმოების სქემა



დასრულებული გულარა აწყობილი გულარა/ხვია

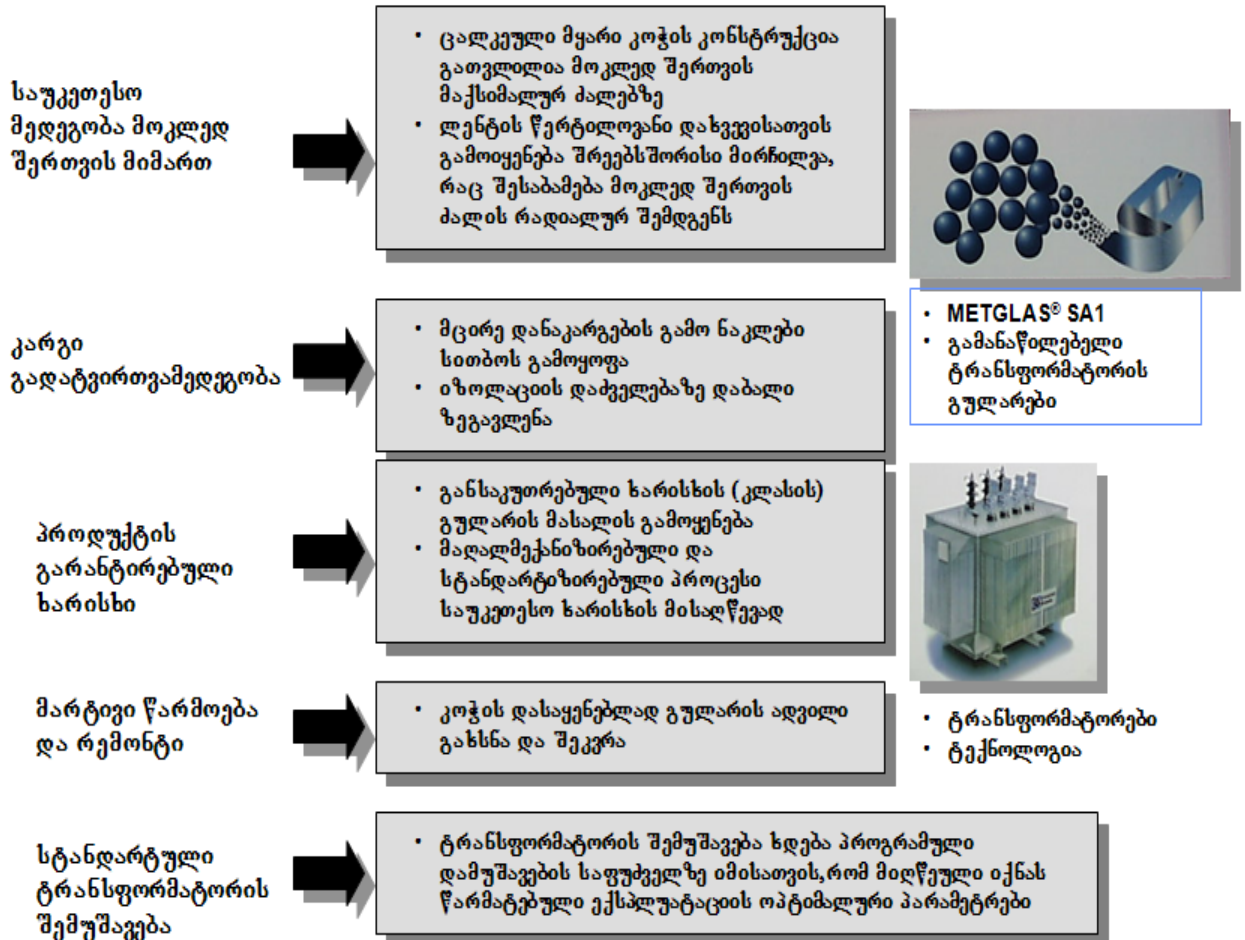
ნახ. 20 – ალტ-ს დასრულებული გულარა

ამორფული ლითონის სატრანსფორმატორო უპირატესობები



2.4. ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ტრანსფორმატორის საიმედოობა, ხარისხი და რემონტის თავისებურებები

საიმედოობა და ხარისხი

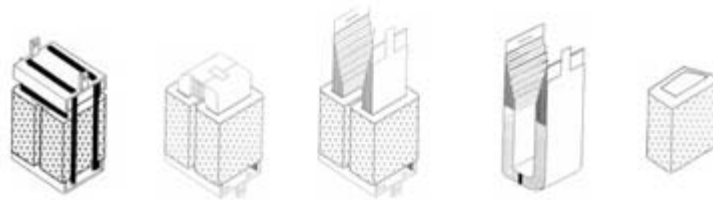


გამანაწილებელი ტრანსფორმატორის რემონტის თავისებურებები

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

Hitachi-ს საიტზე განთავსებულია ინფორმაცია ამორფული ლითონის გამანაწილებელი ტრანსფორმატორებზე რემონტის ჩატარების შესახებ.

ხვიებისა და გულარის ამოღება ავზიდან → ფურცლოვანი ფოლადისა და დამონტაჟებული მილების მოცილება → გულარის გარსაცმის მოხსნა → გულარის მოხსნა ზემოდან → კოჭების ამოღება გულარიდან → გულარის ხელმეორედ შეკვრა.

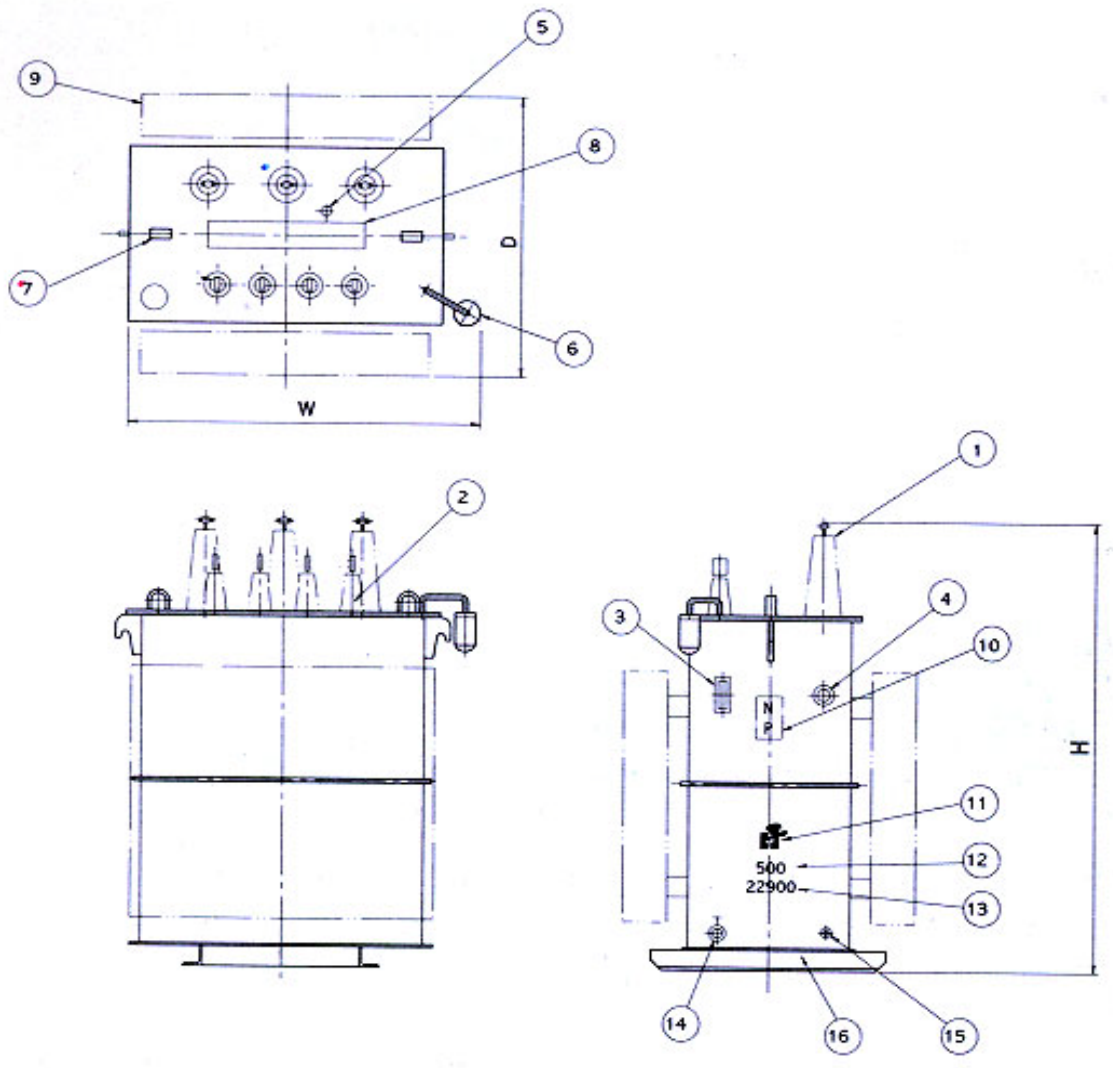


ნახ. 21 - ალტ-ს რემონტი

2.5. ამორფული ლითონისაგან დამზადებული ძალოვანი ტრანსფორმატორების ტიპები და მახასიათებლები



ნახ. 22 - ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები



ნახ. 23 – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა

1. მ.ძ. გამომყვანი;
2. დ.ძ. გამომყვანი ;
3. ზეთის მაჩვენებელი მინის მილი;
4. ტემპერატურის მაჩვენებელი;
5. ანცაფები (ძაბვის რეგულატორის);
6. სილიკოგელი;
7. კაუჭი (საკიდი);
8. ხუფის სახელური;
9. რადიატორი;
10. ნომინალური მონაცემების ცხრილი (საპასპორტო მონაცემები);
11. მწარმოებელი ფირმის (Hanchang) ნიშანი;

12. სიმძლავრე;
13. ძაბვის სიდიდე;
14. ონკანი;
15. დამიწების მომჭერი;
16. ავზი

ცხრილი № 7 - ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის განზომილებები და მახასიათებლები

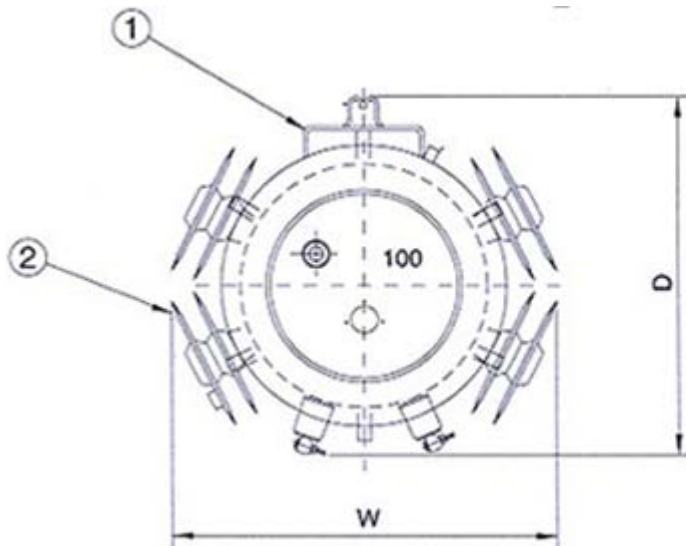
სიმძლავრე (კვა)	მახასიათებელი სიდიდეები			განზომილებები			სრული მასა (კგ)
	მქკ (%)	აგზნების დენი (%)	უ.ს. დანაკარგები (ვტ)	W (მმ)	D (მმ)	H (მმ)	
100	97.9	1.2	100	900	750	1,250	600
150	98.0	1.2	120	900	900	1,270	700
200	98.2	1.2	150	1,000	920	1,300	950
300	98.3	1.2	200	1,050	1,000	1,450	1,150
400	98.4	1.2	230	1,100	1,100	1,550	1,450
500	98.5	1.2	270	1,300	1,510	1,350	1,600
600	98.5	1.0	280	1,300	1,600	1,370	1,950
750	98.5	1.0	310	1,300	1,500	1,400	2,200
1,000	98.7	1.0	390	1,300	1,850	1,450	2,750
1,500	98.7	1.0	640	1,700	2,000	1,650	4,000
2,000	98.8	1.0	780	1,800	2,400	1,750	5,500

ცხრილი № 8 - ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის სტანდარტული მახასიათებლები

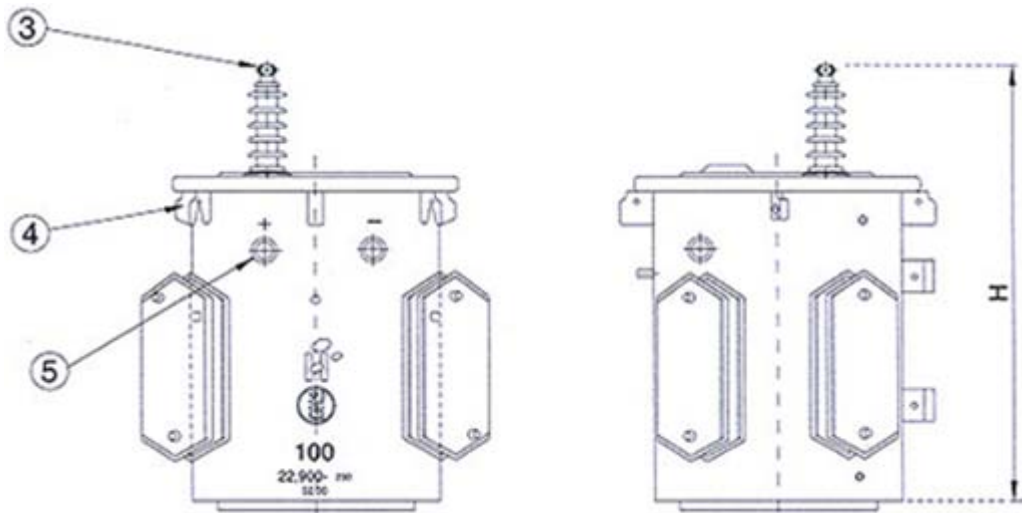
სიხშირე		50, 60 ჰც		
იზოლაციის კლასი		E კლასი		
დასაშვები ტემპერატურა		65 °C		
იზოლაციის ღონე (კვ)	ძაბვა (კვ)	24	7.2	3.6
	გამოსაცდელი ძაბვა (კვ)	50	22	16
	გამოსაცდელი იმპულსური ძაბვა (კვ)	150	60	45
პირველადი გრაგნილის ძაბვა (კვ)			6.6	3.3
მეორადი გრაგნილის ძაბვა (კვ)		6.6, 3.3, 0.48, 0.38, 0.22		
სიმძლავრე (კვა)		100/200/300/400/500/600/750/1,000/1,250/1,500/2,000		



ნახ. 24 - განსხვავებული ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი



1. სახელური
2. რადიატორი
3. პირველადი შეშყვანი
4. ჭანჭიკი
5. მეორადი შეშყვანი

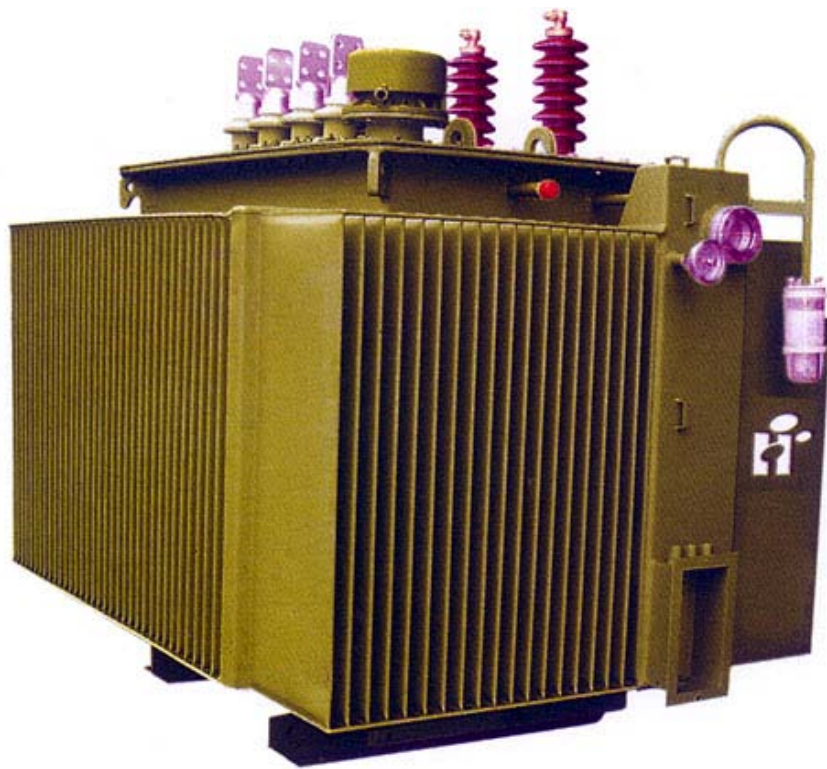


ნახ. 25 – განსხვავებული ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა

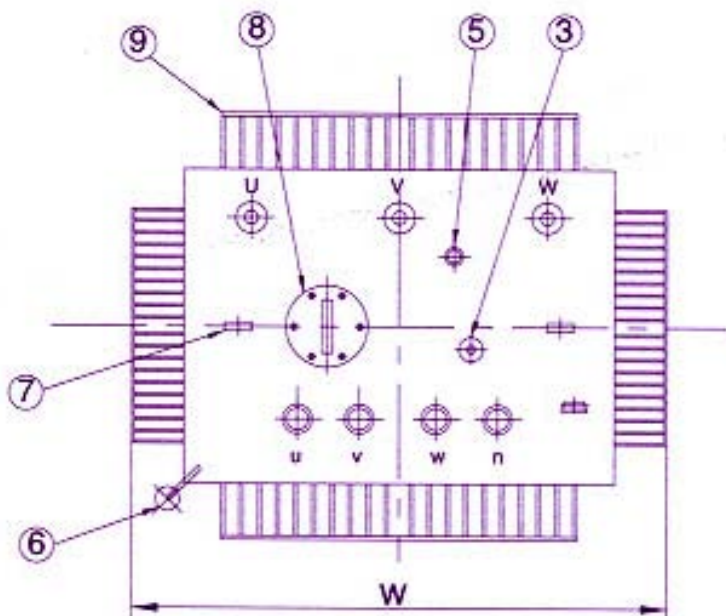
- სიხშირე: 50 ჰც, 60 ჰც
- პირველადი გრაგნილის ძაბვა: 22.9 კვ-Y/13, 200 ვ
- მეორადი გრაგნილის ძაბვა: 230 ვ
- პოლარობა: მინუსი, პლიუსი

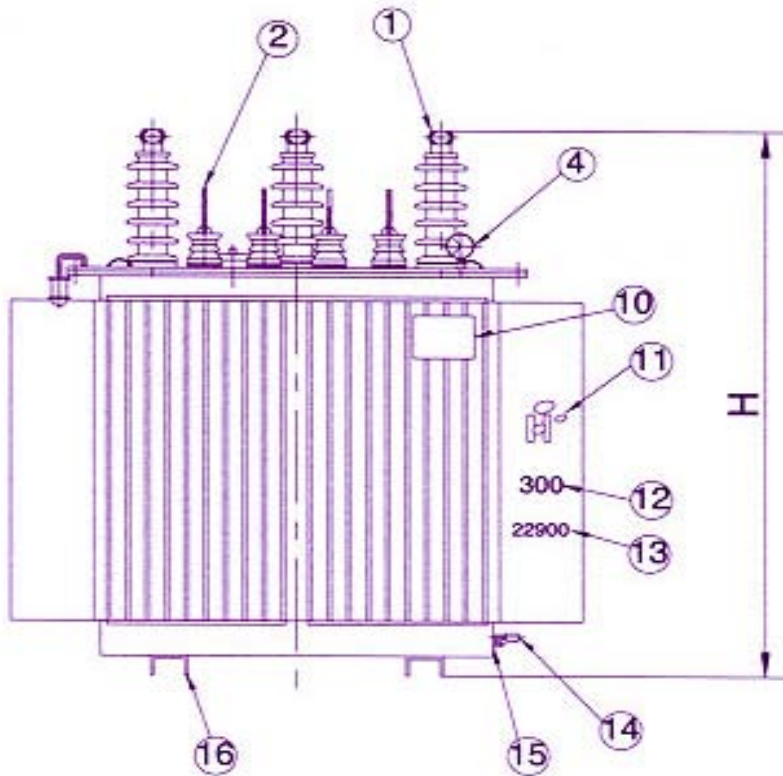
ცხრილი № 9 - განსხვავებული ტიპის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის მახასიათებლები და განზომილებები

სიმძლავრე (კვა)	მქკ (%)	აგზნების დენი (%)	უ.ს. დანაკარგები (ვტ)	განზომილებები (მმ)			ზეითი (ლ)	სრული მასა (კგ)
				W	D	H		
30	98.3	1.2	28	690	640	1,050	70	280
50	98.5	1.2	38	720	670	1,100	90	380
75	98.5	1.2	52	760	760	1,160	115	440
100	98.6	1.2	62	800	800	1,200	150	540



ნახ. 26 - ამორფუმბაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი





ნახ. 27 - ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა

1. მ.ძ. გამოძევანი;
2. დ.ძ. გამოძევანი ;
3. ზეთის მაჩვენებელი მინის მილი;
4. ტემპერატურის მაჩვენებელი;
5. ანცაფები (ძაბვის რეგულატორის);
6. სილიკოგელი;
7. კაუჭი (საკიდი);
8. ხუფის სახელური;
9. რადიატორი;
10. ნომინალური მონაცემების ცხრილი (საპასპორტო მონაცემები);
11. მწარმოებელი ფირმის (Hanchang) ნიშანი;
12. სიმძლავრე;
13. ძაბვის სიდიდე;
14. ონკანი;
15. დამიწების მომჭერი;
16. ავზი

**ცხრილი №10 - ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი
ტრანსფორმატორის მახასიათებლები და განზომილებები**

სიმძლავრე (კვა)	მახასიათებელი სიდიდეები			განზომილებები			სრული მასა (კგ)
	მკკ (%)	აგზნების დენი (%)	უ.ს. დანაკარგები (ვტ)	W (მმ)	D (მმ)	H (მმ)	
100	97.9	1.2	100	1,000	750	1,300	650
150	98.0	1.2	120	1,010	980	1,330	790
200	98.2	1.2	150	1,150	1,020	1,400	1,050
300	98.3	1.2	200	1,210	1,120	1,500	1,300
400	98.4	1.2	230	1,300	1,130	1,550	1,570
500	98.5	1.2	270	1,500	1,510	1,350	1,780
600	98.5	1.0	280	1,400	1,600	1,370	2,000
750	98.5	1.0	310	1,500	1,520	1,400	2,270
1,000	98.7	1.0	390	1,480	1,890	1,450	2,870
1,500	98.7	1.0	640	1,720	2,090	1,680	4,410
2,000	98.8	1.0	780	1,830	2,370	1,760	5,710

**ცხრილი №11 - ძალოვანი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი
ტრანსფორმატორის სტანდარტული მახასიათებლები**

სიხშირე	50, 60 ჰც			
იზოლაციის კლასი	E კლასი			
დასაშვები ტემპერატურა	65 °C			
იზოლაციის დონე (კვ)	ძაბვა (კვ)	24	7.2	3.6
	გამოსაცდელი ძაბვა (კვ)	50	22	16
	გამოსაცდელი იმპულსური ძაბვა (კვ)	150	60	45
პირველადი გრაგნილის ძაბვა (კვ)	22.9	6.6	3.3	
მეორადი გრაგნილის ძაბვა (კვ)	6.6, 3.3, 0.48, 0.38, 0.22			
სიმძლავრე (კვა)	100/200/300/400/500/600/750/1,000/1,250/1,500/ 2,000			

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). [ლ. 1]

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი მიეკუთვნება ტრანსფორმატორების ახალ თაობას, მისი გულარა დამზადებულია ამორფული მასალისაგან, ხოლო გრაგნილები კი სპილენძისაგან.

საპასპორტო მონაცემები დგინდება ქარხანა-დამამზადებლის მიერ, ზემოთ ჩამოთვლილი საპასპორტო მონაცემებით ახასიათებენ, როგორც კრისტალური ტიპის ტრანსფორმატორებს, ასევე ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებს.

ზეთით შევსებული ამორფული მასალისაგან დამზადებული 3-ფაზა ტრანსფორმატორის YYNO შეერთების ჯგუფით, ზომები და წონა.

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები:

**ცხრილი №12 - ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის
საპასპორტო მონაცემები:**

ნომინალური სიმძლავრე (კვა)	ძაბვა			შეერთების ჯგუფი	$\Delta P_{\text{უ.ს}}$ (ვტ)	$\Delta P_{\text{გ.უ}}$ (ვტ)	$I_{\text{უ.ს}}$ %	$P_{\text{მ.შ}}$ %	
	მაღალი ძაბვა (კვ)	ძაბვის ქვეშ რეგულირ ება %	დაბალი ძაბვა (კვ)						
30	6	±5 ან ±2×2.5	0.4	ΔY0 11	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					10	140	3050		0.70
400					10.5	170	3650		0.50
500					11	200	4300		0.50
630						240	5150		0.50
630						320	6200		0.30
800						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					
								5	

**ცხრილი №13 -ზეთით შევსებული ამორფული მასალისაგან დამზადებული
3-ფაზა ტრანსფორმატორის ზომები და მასა**

სიმძლავრე (კვა)	გამზომილებები (მმ)	მასა (კგ)
30	1120×720×980	470
50	1135×745×990	490
63	1200×760×1010	580
80	1230×760×1040	655

სიმძლავრე (კვა)	გამზომილებები (მმ)	მასა (კგ)
100	1355×780×1150	722
125	1270×890×1180	840
160	1320×890×1180	1050
200	1380×910×1250	1130
250	1430×920×1300	1310
315	1540×980×1300	1630
400	1690×990×1410	1870
500	1760×1070×1440	2235
800	1810×1120×1490	2950
630	1840×1280×1500	3220
1000	1920×1320×1520	3770
1250	2040×1440×1640	4650
1600	2120×1450×1700	5960

ტრანსფორმტორებისა და ავტოტრანსფორმტორებისათვის უკმი სვლისა და მოკლედ შერთვის დანაკარგების განსაზღვრა წარმოებს ტრანსფორმტორის ექსპლუატაციაში შეყვანამდე ქარხანა-დამამზადებლის მიერ და ექსპლუატაციისას კაპიტალური რემონტისას და შუალედებში რემონტთა შორის.

$$I_{\text{ტბ}} \% = \frac{I_{\text{ტბ}}}{I_{\text{ფ}}} \cdot 100 \quad (1)$$

უქმი სვლის დენი წარმოადგენს ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემს. უქმი სვლის დენი ქმნის ფოლადის დამამაგნიტებელ სიმძლავრეს, რაც აუცილებელია მაგნიტური ნაკადის მისაღებად და რომლის გარეშეც ტრანსფორმატორის მუშაობა შეუძლებელია.

უქმი სვლის დენის საშუალებით შესაძლებელია უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგები

$$\Delta S_{\text{ტბ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{ტბ}} \quad (2)$$

$\Delta S_{\text{ტბ}}$ შეიცავს როგორც აქტიური, ისე რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებს

$$\Delta S_{\text{ტბ}} = \sqrt{\Delta P_{\text{ტბ}}^2 + \Delta Q_{\text{ტბ}}^2} \quad (3)$$

უქმი სვლის რეაქტიული დანაკარგები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\Delta Q_{\text{ტბ}} = \sqrt{\Delta S_{\text{ტბ}}^2 - \Delta P_{\text{ტბ}}^2} \quad (4)$$

მძლავრი (1 მგვა და მეტი) ტრანსფორმატორებისათვის $\Delta P_{\text{ტბ}} \ll \Delta S_{\text{ტბ}}$ და შესაბამისად (3)-ის თანახმად:

$$\Delta Q_{\text{ტბ}} = S_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{ტბ}} \% \div 100 \quad (5)$$

უქმი სვლის დენის მნიშვნელობა ნომინალური დენის მნიშვნელობის რამოდენიმე ერთეულ პროცენტს შეადგენს. ამიტომ უქმი სვლის რეჟიმში ტრანსფორმატორის გრაგნილში აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები უმნიშვნელოა და არ აღემატება რამოდენიმე ათეულ ვატს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ უქმი სვლის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები, პრაქტიკულად, მთლიანად იხარჯება ტრანსფორმატორის ფოლადის გახურებაზე. კერძოდ, ტრანსფორმატორის დამამაგნიტება – გადამამაგნიტებაზე (ჰისტერეზისის მოვლენა) დახარჯული ენერჯისა და გრიგალური (ფუკოს) დენებით გამოწვეული სითბური ენერჯის სახით.

მოკლე შერთვის ცდისას ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის დაბალი ძაბვის გრაგნილი მოკლედ შერთულია (სამგრაგნილა ტრანსფორმატორში დაბალი და საშუალო ძაბვის გრაგნილები გახსნილია), ხოლო მაღალი ძაბვის გრაგნილზე მოდებულია იმ სიდიდის

ძაბვა, რომელიც საკმარისია ამ ორივე გრაგნილში ნომინალური დენის შესაქმნელად. მოკლე შერთვის ძაბვას გამოსახავენ პროცენტებში ტრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვის მიმართ და იგი ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემს წარმოადგენს.

$$U_{\text{გა}}\% = \frac{U_{\text{გა}}}{U_{\text{ფ}}} \cdot 100 \quad (6)$$

მოკლე შერთვის ძაბვის საშუალებით შესაძლებელია მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგების განსაზღვრა:

$$\Delta S_{\text{გა}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{გა}} \cdot I_{\text{ფ}} \quad (7)$$

(7)-ის გათვალისწინებით:

$$\Delta S_{\text{გა}} = S_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{გა}}\% \div 100 \quad (8)$$

მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები:

$$\Delta Q_{\text{გა}} = \sqrt{\Delta S_{\text{გა}}^2 - \Delta P_{\text{გა}}^2} \quad (9)$$

მძლავრი (1 მგვა და მეტი) ტრანსფორმატორებისათვის $\Delta P_{\text{გა}} \ll \Delta S_{\text{გა}}$ და შესაბამისად:

$$\Delta Q_{\text{გა}} = S_{\text{ფ}} \cdot U_{\text{გა}}\% \div 100 \quad (10)$$

მოკლე შერთვის ძაბვის მნიშვნელობა ტრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვის (8-12)%-ს შეადგენს. აქედან გამომდინარე მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგები უმნიშვნელოა და რამოდენიმე ათეულ ან ასეულ ვატს (ვარ-ს) აღწევს. მოკლა სერთვის აქტიური სიმძლავრის დანაკარგები მთლიანად იხარჯება ტრანსფორმატორის გრაგნილის გახურებაზე, ხოლო მოკლე სერთვის რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები კი მთლიანად იხარჯება მანტვის მაგნიტური ნაკადის შექმნაზე.

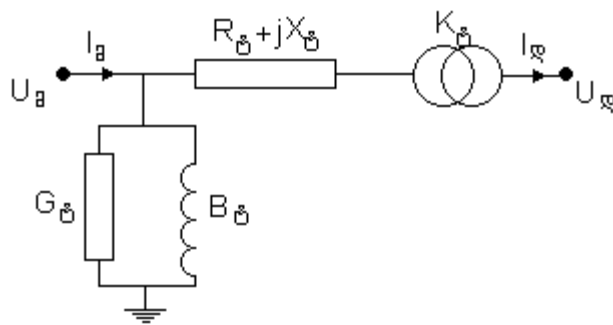
3.1. ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები

ტრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელის წარმოდგენა შეიძლება Γ -სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 31), რომლის გრძივი ნაწილი შეიცავს აქტიურ R_{δ} და რეაქტიულ ეწინააღმდეგობებს, ხოლო განივი ნაწილი კი აქტიურ G_{δ} და რეაქტიულ B_{δ} გამტარობებს, მიყვანილს მაღალი ნომინალური ძაბვის საფეხურზე. ტრანსფორმატორის განივი გამტარობები შეგვიძლია განვსაზღვროთ უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებით. [კლ. 1]□

$$G_{\delta} = \Delta P_{\text{გყყ}} / U_{\delta}^2 \quad \text{ვფ} \quad B_{\delta} = \Delta Q_{\text{გყყ}} / U_{\delta}^2$$

თუ სიმძლავრის დანაკარგებსა და ძაბვას ჩავსვამთ კილო ერთეულებში, მივიღებთ

$$G_{\delta} = \frac{\Delta P_{\text{გყყ}}}{U_{\delta}^2} \cdot 10^{-3} \quad \text{მჟ} \quad \text{9N0}$$



ნახ. 28 - ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა

და

$$B_{\delta} = \frac{\Delta Q_{\text{გყყ}}}{U_{\delta}^2} \cdot 10^{-3} \quad \text{მჟ} \quad \text{9N0}$$

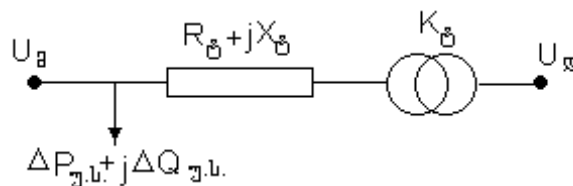
სადაც $\Delta P_{\text{გყყ}}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემიდან, ხოლო $\Delta Q_{\text{გყყ}}$ განისაზღვრება 90 ფგ 9.0 გამოსახულებების მიხედვით.

მძლავრი ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, (5) გამოსახულების თანახმად, რეაქტიული გამტარობის საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$B_j = \frac{I_{\text{ფაქტ}} \% \cdot S_{\text{ტ}}}{U_{\text{ტ}}} \cdot 10^{-5} \quad \text{ომქმუ} \quad \text{მწმ}$$

სადაც $I_{\text{ფაქტ}} \%$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ტრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგები არ არის დამოკიდებული დატვირთვის დენზე (სიმძლავრეზე). იგი ძირითადად განისაზღვრება მუშა ძაბვის მნიშვნელობით და განიხილება როგორც მუდმივი სიდიდე. აქედან გამომდინარე, ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების ჩანაცვლების საანგარიშო სქემა შეიძლება გავამარტივოთ, სადაც განივი გამტარობის ნაცვლად ვუჩვენებთ ტრანსფორმატორის ფოლადში სიმძლავრის დანაკარგებს (ნახ. 32).



ნახ. 29 ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების გამარტივებული საანგარიშო სქემა

ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს მაღალი ძაბვის გრაგნილისა და მაღალი ძაბვის საფეხურზე მიყვანილი დაბალი ძაბვის გრაგნილის წინააღობათა ჯამს, განისაზღვრება ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიხედვით

$$\Delta P_{\text{ჯგვ}} = 3I_{\text{ტ}}^2 R_{\text{ტ}} = \frac{S_{\text{ტ}}^2}{U_{\text{ტ}}^2} R_{\text{ტ}}$$

აქედან

$$R_{\text{ა}} = \frac{\Delta P_{\text{ჟჟ}} \cdot U_{\text{ბ}}''}{S_{\text{ბ}}''}$$

თუ ამ გამოსახულებაში შემავალ სიდიდეებს ჩავსვამთ კილოვრთეულებში (კვტ, კვ, კვა), მაშინ გვაქვს

$$R_{\text{ა}} = \frac{\Delta P_{\text{ჟჟ}} \cdot U_{\text{ბ}}''}{S_{\text{ბ}}''} \cdot 10^3 \quad \text{წ კმბ} \quad \text{მწ0}$$

სადაც $\Delta P_{\text{ჟჟ}}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ანალოგიურად განისაზღვრება ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობა

$$X_{\text{ა}} = \frac{\Delta Q_{\text{ჟჟ}} \cdot U_{\text{ბ}}''}{S_{\text{ბ}}''} \cdot 10^3 \quad \text{წ კმბ} \quad \text{მწ0}$$

სადაც $\Delta Q_{\text{ჟჟ}}$ დადგინდება (9) ან (10) გამოსახულებების მიხედვით.

მძლავრი ტრანსფორმატორების შემთხვევაში, (10) გამოსახულების თანახმად, ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობის საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს

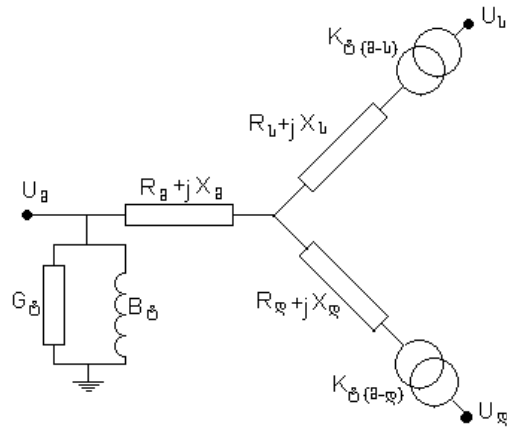
$$X_{\text{ა}} = \frac{U_{\text{ჟჟ}}\% \cdot U_{\text{ბ}}'' \cdot 10}{S_{\text{ბ}}} \quad \text{მწ0}$$

სადაც $U_{\text{ჟჟ}}\%$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

3.2 სამგრაგნილა ტრანსფორმატორების და ავტოტრანსფორმატორების ჩანაცვლების სქემა და ელექტრული პარამეტრები

სამგრაგნილა ტრანსფორმატორების და ავტოტრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელის წარმოადგენა ხდება სამსხვიანი Γ-სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 33), სადაც ნაჩვენებია განივი

გამტარობები და ცალკეული გრაგნილის (სხივის) აქტიური და რეაქტიული წინაღობები, მიყვანილი მაღალი ძაბვის საფეხურზე. \square ლ. 11



ნახ. 30 - სამგრაგნილა ტრანსფორმატორის (ავტოტრანსფორმატორის) ჩანაცვლების სქემა

განივი გამტარობები \mathcal{R} ებ $B_{\text{ე0}}$ განისაზღვრება იმავე გამოსახულებებით, როგორც ორგრაგნილა ტრანსფორმატორების შემთხვევაში. სხივების (გრაგნილების) აქტიური წინაღობების დასადგენად ჯერ განვსაზღვროთ მოკლე შერთვის დანაკარგები ცალკეული გრაგნილისთვის:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\text{ქეფი0}} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{ქეფი-0}} + \Delta P_{\text{ქეფი-30}} - \Delta P_{\text{ქეფი-30}}); \\ \Delta P_{\text{ქეფი0}} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{ქეფი-0}} + \Delta P_{\text{ქეფი-30}} - \Delta P_{\text{ქეფი-30}}); \\ \Delta P_{\text{ქეფი0}} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{\text{ქეფი-30}} + \Delta P_{\text{ქეფი-30}} - \Delta P_{\text{ქეფი-0}}). \end{aligned} \right\} \mathcal{R}_{\text{ე0}}$$

და შემდეგ, ვპოულობთ:

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{ეჭ}} &= \frac{\Delta P_{\text{ქეჭ0}} \cdot U_{\text{ტ}}''}{S_{\text{ტ}}''} \cdot 10^3 \\ R_{\text{ებთ}} &= \frac{\Delta P_{\text{ქეჭ0}} \cdot U_{\text{ტ}}''}{S_{\text{ტ}}''} \cdot 10^3 \\ R_{\text{ეზ}} &= \frac{\Delta P_{\text{ქეჭ0}} \cdot U_{\text{ტ}}''}{S_{\text{ტ}}''} \cdot 10^3 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

სამგრაგნილა ტრანსფორმატორებისთვის ქარხანა-დამამზადებელი ხშირად იძლევა მოკლე შერთვის სიმძლავრის მხოლოდ ერთ მნიშვნელობას, რომელიც შეესაბამება მოკლე შერთვის ცდის ყველაზე უფრო მძიმე რეჟიმს ანუ, როცა მოკლე შერთვის სიმძლავრე მაქსიმალურია. ამ შემთხვევაში გრაგნილთა აქტიური წინაღობების დასდგენად უნდა ვისარგებლოთ იმ პირობით, რომ გრაგნილთა აქტიური წინაღობები ამ გრაგნილების ნომინალურ სიმძლავრეთა უკუპროპორციულია. კერძოდ, როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეები ერთნაირია (100/100/100) მაშინ ჩანაცვლების სქემის სხივების (გრაგნილების) აქტიური წინაღობები, მიყვანილი მაღალი ძაბვის საფეხურზე, ერთნაირია

$$R_{\text{ეჭ0}} = R_{\text{ეჭ0}} = R_{\text{ეჭ0}} = R_{\text{ე ბ}} \quad 9\%0$$

ხოლო როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრე სხვადასხვაა (100/100/66,7 ან 100/66,7/66,7), მაშინ მათი აქტიური წინაღობები შემდეგ თანაფრდობაშია

$$\frac{R_{66,7}}{R_{100}} = \frac{100}{66,7} = 1,5 \quad 9,5\%$$

თანამედროვე სამგრაგნილა ტრანსფორმატორების გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეები ერთნაირია და ამიტომ:

$$\Delta P_{\text{ქს.ჭი-თ}} = 3I_{\delta}^2 (R_{\text{ეჭი}} + R_{\text{ეჭთ}}) = \frac{S_{\delta}^2}{U_{\delta}^2} \cdot 2R_{\text{ე}} \cdot 10^{-3} \text{ ლმე.}$$

ფუნქცია

$$R_{\text{ეჭი}} = R_{\text{ეჭთ}} = R_{\text{ეჭო}} = \frac{\Delta P_{\text{ქს.ჭი}} \cdot U_{\delta}^2}{2S_{\delta}^2} \cdot 10^3 \text{ წქმე} \quad 9,10$$

იმ შემთხვევაში, როცა გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეებია 100/100/66,7, მაშინ

$$R_{\text{ეჭი}} = R_{\text{ეჭთ}} = \frac{\Delta P_{\text{ქს.ჭი}} \cdot U_{\delta}^2}{2S_{\delta}^2} \cdot 10^3 \quad 9,10$$

და (20) გამოსახულების თანახმად

$$R_{\text{ეჭო}} = 1,5R_{\text{ეჭი}} \quad 9,10$$

თუ გრაგნილთა ნომინალური სიმძლავრეებია 100/66,7/66,7, მაშინ

$$R_{\text{ეჭი}} = \frac{\Delta P_{\text{ქს.ჭი}} \cdot U_{\delta}^2}{1,83S_{\delta}^2} \cdot 10^3 \text{ წქმე} \quad 9,10$$

და

$$R_{\text{ეჭთ}} = R_{\text{ეჭო}} = 1,5R_{\text{ეჭი}} \quad 9,10$$

ავტოტრანსფორმატორების მაღალი და საშუალო ძაბვის გრაგნილები ერთნაირი სიმძლავრისაა და ავტოტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის ტოლია, ხოლო დაბალი ძაბვის გრაგნილის ნომინალური სიმძლავრე ავტოტრანსფორმატორის ტიპური სიმძლავრის ტოლია ან მასზე ნაკლებია.

როცა ავტოტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრე მოცემულია ყოველი წყვილი გრაგნილისთვის და ეს სიდიდეები მიყვანილია ავტოტრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრეზე, მაშინ

გრაგნილთა აქტიური წინაღობების განსაზღვრისას ვისარგებლებთ (17) და (18) გამოსახულებებით. თუ მოკლე შერთვის სიმძლავრე მოცემულია ერთი სიდიდით $9\Delta P_{\text{ქვჭ-თ}}$ მაშინ (22) გამოსახულები შესაბამისად

$$R_{\text{კჟ0}} = R_{\text{კზ0}} = \frac{\Delta P_{\text{ქვჭ-თ}} \cdot U_{\text{ტ}}^2}{2S_{\text{ტ}}^2} \cdot 10^3 \quad \text{ომი} \quad (25)$$

და (20)-ის შესაბამისად

$$R_{\text{კზ0}} = R_{\text{კჟ0}} \cdot \frac{S_{\text{კკჭყ}}}{S_{\text{ვოჭყ}}} \quad (26)$$

სამგრაგნილა ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების გრაგნილთა რეაქტიულ წინაღობათა დასადგენად ჯერ განვსაზღვრავთ ცალკეული გრაგნილის მოკლე შერთვის ძაბვებს:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{ქვჭ0}}\% &= \frac{1}{2}(U_{\text{ქვჭ-თ}}\% + U_{\text{ქვჭ-ვ0}}\% - U_{\text{ქვჭ-ვ0}}\%); \\ U_{\text{ქვჭ0}}\% &= \frac{1}{2}(U_{\text{ქვჭ-თ}}\% + U_{\text{ქვჭ-ვ0}}\% - U_{\text{ქვჭ-ვ0}}\%); \\ U_{\text{ქვჭ0}}\% &= \frac{1}{2}(U_{\text{ქვჭ-ვ0}}\% + U_{\text{ქვჭ-ვ0}}\% - U_{\text{ქვჭ-თ}}\%). \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

რომლის შემდეგ (18) გამოსახულების შესაბამისად გვაქვს

$$\left. \begin{aligned} X_{\text{კჟ0}} &= \frac{U_{\text{ქვჭ0}}\% \cdot U_{\text{ტ}}''}{S_{\text{ტ}}} \cdot 10; \\ X_{\text{კზ0}} &= \frac{U_{\text{ქვჭ0}}\% \cdot U_{\text{ტ}}''}{S_{\text{ტ}}} \cdot 10; \\ X_{\text{კჟ0}} &= \frac{U_{\text{ქვჭ0}}\% \cdot U_{\text{ტ}}''}{S_{\text{ტ}}} \cdot 10. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

ერთ-ერთი სხივის (გრაგნილის) რეაქტიული წინაღობა მიიღება ნულთან ახლო მნიშვნელობის და მას ნულის ტოლად მიიჩნევენ. [ლ. 1]□

სამგრანდის ტრანსფორმატორებისა და ავტოტრანსფორმატორების ჩანაცვლების გამარტივებულ საანგარიშო სქემას წარმოადგენენ 32 ნახაზზე ნაჩვენები სქემის ანალოგიურად, სადაც განივი გამტარობები შეცვლილი იქნება უქმი სვლის დანაკარგებით.

3.3. სატრანსფორმატორო დანაკარგების აღწერა

- * **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.

IV თავი

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. №14 - საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის ბალანსზე არსებული 10 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორები

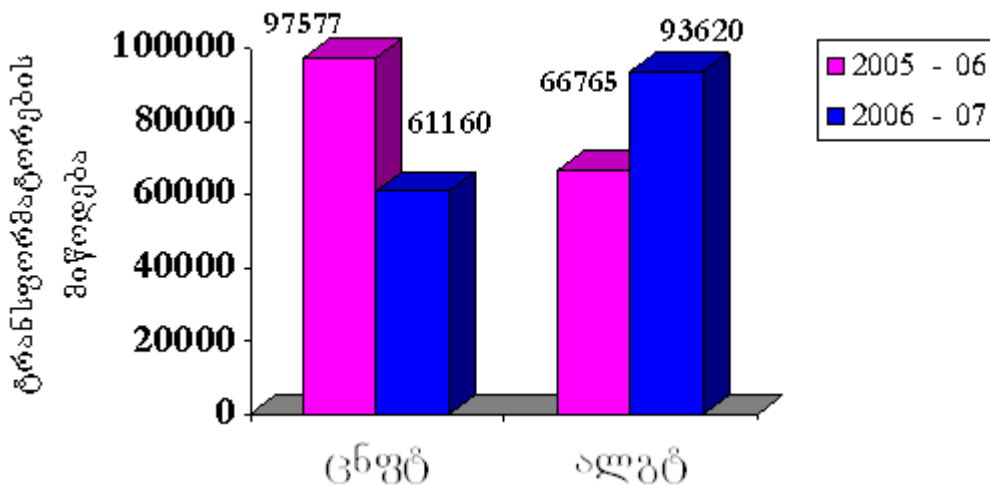
250 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	400 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	630 კვა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი
ქ/ს “მენჯი 220”	ქ/ს “გლდანი 220”	ქ/ს “ქსანი 500”
	ქ/ს “ლისი 220”	ქ/ს “ზესტაფონი 500”
	ქ/ს “დიდი ბათუმი 220”	ქ/ს “დიდი ბათუმი 220”
	ქ/ს “ზუგდიდი 220”	ქ/ს “ქუთაისი 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. 31 – ტრანსფორმატორების რეალიზაცია

ცნობილია, რომ ამერიკულმა ფირმამ **“General Electric”**-მა დაამზადა ამორფულგულარიანი 25 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორების პირველი სამრეწველო პარტია 1000 ცალის ოდენობით. ამერიკელი მეცნიერების გაანგარიშებით ძალოვანი და გამანაწილებელი ტრანსფორმატორების შეცვლა ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებით ყოველწლიურად ქვეყანას მისცემს 23 მლრდ. კვტ.სთ. ელექტროენერჯის ეკონომიას, რაც 6,3 მლნ. ტონა ნავთობის ეკონომიის ექვივალენტურია და შეადგენს 1 მლრდ. დოლარს. [ლ. 12]□

დღეისათვის ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორები გამოიყენება ევროპის, აშშ, ბრაზილია, აფრიკა, იაპონია, ჩინეთი, ინდოეთი და სხვა ქვეყნებში. ასეთი ტრანსფორმატორის ერთ-ერთი მსხვილი მწარმოებელია ფირმა “ABB” და “Hitachi”.

4.1. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების ურთიერთშედარება

ცხრილი №15 - ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები

ნომინალური სიმძლავრე (კვა)	ძაბვა			შეერთების ჯგუფი	$\Delta P_{\text{უ.ს}}$ (ვტ)	$\Delta P_{\text{გ.წ}}$ (ვტ)	$I_{\text{უ.ს}}$ %	$U_{\text{გ.წ}}$ %		
	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					10	140	3050		0.70	
400					10	170	3650		0.50	
500					10.5	200	4300		0.50	
630					10.5	240	5150		0.50	
630					11	320	6200		0.30	4.5
800						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	5						

ამ მონაცემების საშუალებით შესაძლებელია ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის სხვადასხვა ელექტრული პარამეტრების ანგარიში. კერძოდ, ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დენის საშუალებით შესაძლებელია უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგების გამოთვლა:

$$\Delta S_{\text{უქმ}} = S_{\text{ტ}} \cdot I_{\text{უქმ}} \% \div 100 = 2500 \cdot 0.2 \div 100 = 5 \text{ კვა} \quad (29)$$

(4)-ის გათვალისწინებით:

$$\Delta Q_{\text{უქმ}} = \sqrt{\Delta S_{\text{უქმ}}^2 - \Delta P_{\text{უქმ}}^2} = \sqrt{25000000 - 810000} = \sqrt{24190000} = 4,9 \text{ კვა} \quad (30)$$

მოკლე შერთვის ძაბვის საშუალებით შესაძლებელია მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგების განსაზღვრა:

$$\Delta S_{\text{ძაბ}} = S_{\text{ტ}} \cdot I_{\text{ძაბ}} \% \div 100 = 2500 \cdot 5 \div 100 = 125 \text{ კვა} \quad (31)$$

მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები:

$$\Delta Q_{\text{ძაბ}} = \sqrt{\Delta S_{\text{ძაბ}}^2 - \Delta P_{\text{ძაბ}}^2} = \sqrt{(125000)^2 - (20200)^2} = 123357 = 123 \text{ კვა} \quad (32)$$

რადგან, ტრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელის წარმოდგენა შეიძლება Γ-სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 32). [ლ. 2]

ტრანსფორმატორის განივი გამტარობები შეგვიძლია განვსაზღვროთ უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებით.

$$G_{\partial} = \frac{\Delta P_{\text{უბ}}}{U_{\delta}^2} = \frac{900}{(10500)^2} = 0,000009 \quad (33)$$

და

$$B_{\partial} = \frac{\Delta Q_{\text{უბ}}}{U_{\delta}^2} = \frac{4900}{(10500)^2} = 0,00005 \quad \text{სიძ}, \quad (34)$$

ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს მაღალი ძაბვის გრაგნილისა და მაღალი ძაბვის საფეხურზე მიყვანილი დაბალი ძაბვის გრაგნილის წინაღობათა ჯამს, განისაზღვრება ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიხედვით

$$\Delta P_{\text{კვყ}} = 3I_{\delta}^2 R_{\delta} = \frac{S_{\delta}^2}{U_{\delta}^2} R_{\delta},$$

აქედან

$$R_{\delta} = \frac{\Delta P_{\text{კვყ}} \cdot U_{\delta}^2}{S_{\delta}^2} = \frac{20200 \cdot (10500)^2}{(2500000)^2} = 0,35 \quad \text{ომი} \quad (35)$$

სადაც $\Delta P_{\text{კვყ}}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ანალოგიურად განისაზღვრება ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობა

$$X_{\delta} = \frac{\Delta U_{\text{კვყ}} \% \cdot U_{\delta}^2 \cdot 10}{S_{\delta}} = \frac{5 \cdot (10500)^2 \cdot 10}{2500000} = 2205 \quad \text{ომი}, \quad (36)$$

სადაც $U_{\text{კვყ}} \%$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ამ მონაცემების საშუალებით შესაძლებელია კლასიკური ტრანსფორმატორის სხვადასხვა ელექტრული პარამეტრების ანგარიში.

ცხრილი №16 - კლასიკური ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები

სიმძლავრე (კვა)	ძაბვა (კვ)	შერთვის ჯგუფი	$\Delta P_{\text{უ.ს}}$ (კტ)	$\Delta P_{\text{ა.ა}}$ (კტ)	$U_{\text{ა.ა}}$ %	$I_{\text{უ.ს}}$ %
30	6 - 15	Yyn0	100	600	4 - 5.5	1.5
50			130	870		1.4
63			150	1040		1.3
80			180	1250		1.2
100			200	1500		1.1
125			240	1800		1.0
160			280	2200		0.9
200			340	2600		0.9
250			400	3050		0.8
315			480	3650		0.8
400		Dyn11	570	4300		0.7
500			680	5150		0.7
630			810	6200		0.6
800			980	7500		0.6
1000			1150	1030		0.5
1250			1360	1200		0.4
1600			1640	1450		0.4
2000			2200	1980		0.4
2500			2500	2300		0.4
3150			3300	2700		0.4

კერძოდ, ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დენის საშუალებით შესაძლებელია უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგების გამოთვლა:

$$\Delta S_{\text{უ.ს}} = S_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{უ.ს}} \% \div 100 = 2500 \cdot 0.4 \div 100 = 10 \text{ კვა} \quad (37)$$

(4)-ის გათვალისწინებით:

$$\Delta Q_{\text{უ.ს}} = \sqrt{\Delta S_{\text{უ.ს}}^2 - \Delta P_{\text{უ.ს}}^2} = \sqrt{100000000 - 6250000} = 9,68 \text{ კვა} \quad (38)$$

მოკლე შერთვის ძაბვის საშუალებით შესაძლებელია მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგების განსაზღვრა:

$$\Delta S_{\text{გა}} = S_{\text{ფ}} \cdot U_{\text{გა}} \% \div 100 = 2500 \cdot 5,5 \div 100 = 137,5 \text{ კვა} \quad (39)$$

მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები:

$$\Delta Q_{\text{გა}} = \sqrt{\Delta S_{\text{გა}}^2 - \Delta P_{\text{გა}}^2} = \sqrt{(137,5)^2 - (27)^2} = 134,82 \text{ კვა} \quad (40)$$

რადგან, ტრანსფორმატორების საანგარიშო მათემატიკური მოდელის წარმოდგენა შეიძლება Γ-სებრი ჩანაცვლების სქემის სახით (ნახ. 32).

ტრანსფორმატორის განივი გამტარობები შეგვიძლია განვსაზღვროთ უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგებით.

$$G_{\text{ფ}} = \frac{\Delta P_{\text{უქმ}}}{U_{\text{ფ}}^2} = \frac{2500}{(10500)^2} = 0,000022 \quad (41)$$

და

$$B_{\text{ფ}} = \frac{\Delta Q_{\text{უქმ}}}{U_{\text{ფ}}^2} = \frac{9680}{(10500)^2} = 0,000087 \quad \text{სიმ, (42)}$$

ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს მაღალი ძაბვის გრაგნილისა და მაღალი ძაბვის საფეხურზე მიყვანილი დაბალი ძაბვის გრაგნილის წინაღობათა ჯამს, განისაზღვრება ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიხედვით

$$\Delta P_{\text{ფფ}} = 3I_{\text{ფ}}'' R_{\text{ფ}} = \frac{S_{\text{ფ}}''}{U_{\text{ფ}}''} R_{\text{ფ}}, \quad \text{აქედან,}$$

$$R_{\text{ფ}} = \frac{\Delta P_{\text{გა}} \cdot U_{\text{ფ}}^2}{S_{\text{ფ}}^2} = \frac{23000 \cdot (10500)^2}{(2500000)^2} = 0,4 \text{ ომი} \quad (43)$$

სადაც $\Delta P_{ფყ}$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ანალოგიურად განისაზღვრება ტრანსფორმატორის რეაქტიული წინაღობა

$$X_{\rho} = \frac{\Delta U_{\delta\alpha} \% \cdot U_{\rho}^2 \cdot 10}{S_{\rho}} = \frac{5,5 \cdot (10500)^2 \cdot 10}{2500000} = 2425,5 \text{ ომი} \quad (44)$$

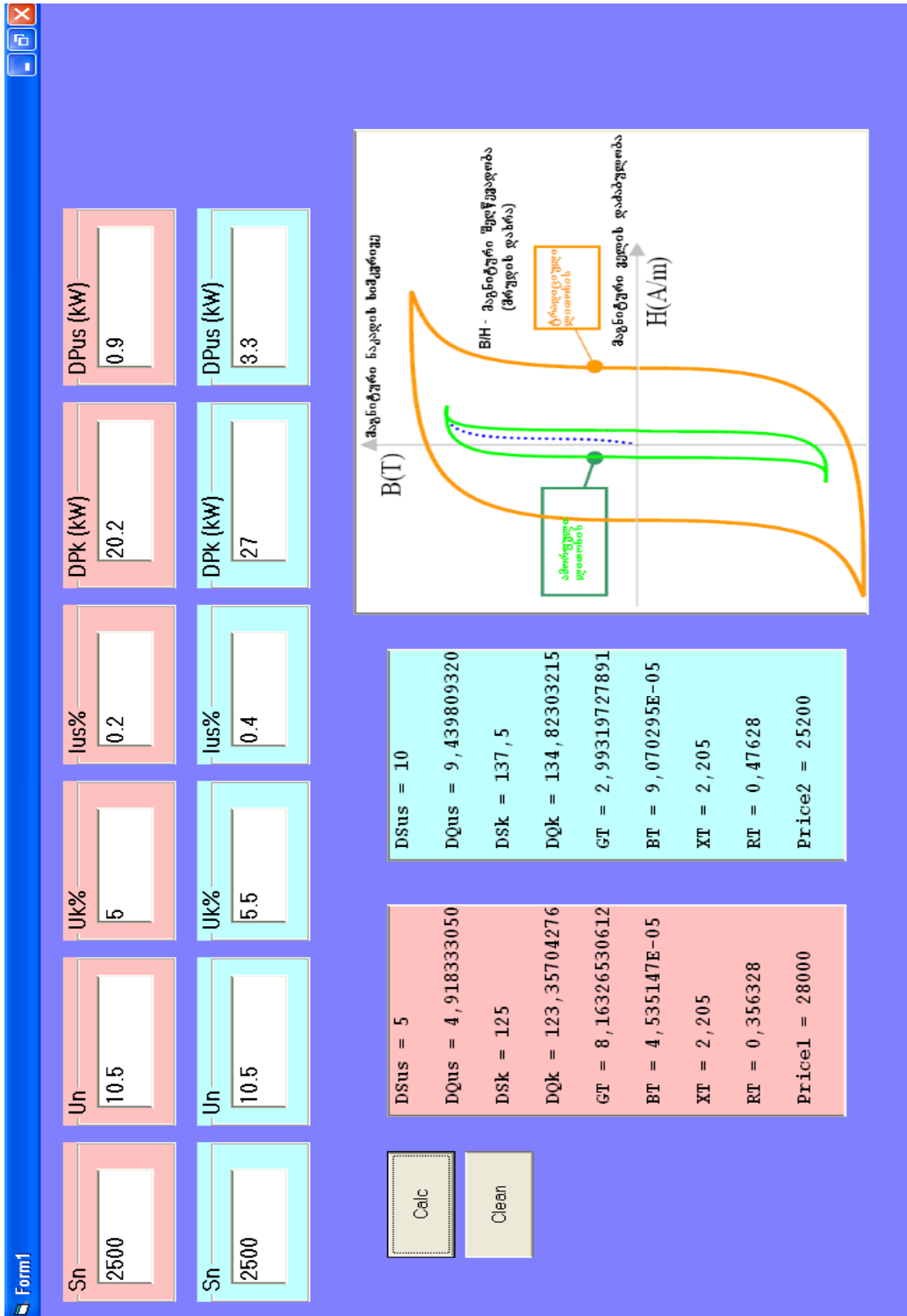
სადაც $U_{ფყ} \%$ აიღება ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემებიდან.

ჩატარებული გაანგარიშების ანალიზიდან ჩანს, რომ ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორში მ.შ და უქმი სვლის დანახარჯები გაცილებით ნაკლებია კლასიკურ ტრანსფორმატორთან შედარებით. მიღებული შედეგები მოვიყვანოთ ცხრილის სახით:

ცხრილი № 17 - ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები

მახასიათებლები	განზომილება	ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	კლასიკური ტრანსფორმატორი
$\Delta S_{უს}$	კვა	5	10
$\Delta Q_{უს}$	კვა	4,9	9,68
$\Delta S_{\delta\alpha}$	კვა	125	137,5
$\Delta Q_{\delta\alpha}$	კვა	123	134,82
G_{ρ}	სიმ	0,000009	0,000022
B_{ρ}	სიმ	0,00005	0,000087
R_{ρ}	ომი	0,35	0,4
X_{ρ}	ომი	2205	2425,5

ჩატარებული ანგარიშის გადასამოწმებლად შედგენილი იქნა მათემატიკური მოდელი ტრანსფორმატორების ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების ანგარიშისა და ურთიერთშედარებისათვის. [იხ. დანართი]



ნახ. 32 – ტრანსფორმატორების ელექტრული და ეკონომიკური მახასიათებლების ანგარიშის მათემატიკური მოდელი

მოდელში შესაყვან სიდიდეებს წარმოადგენენ ტრანსფორმატორის საპასპორტო მონაცემები. კერძოდ, 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 ხდება ისეთი ელექტრული პარამეტრების განსაზღვრა, როგორებიცაა:

$\Delta S_{უ.ს}$ - უქმი სვლისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგები

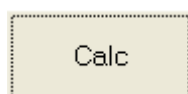
$\Delta Q_{უ.ს}$ - უქმი სვლის რეაქტიული დანაკარგები

$\Delta S_{ა.შ}$ - მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში სრული სიმძლავრის დანაკარგები

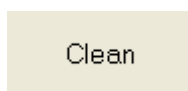
$\Delta Q_{ა.შ}$ - მოკლე შერთვისას ტრანსფორმატორში რეაქტიული სიმძლავრის დანაკარგები

ტრანსფორმატორების განივი გამტარობა G , B და გრძივი წინაღობა R , X .

გარდა ელექტრული მახასიათებლებისა მოდელით შესაძლებელია ყველა სიმძლავრის ტრანსფორმატორის ფასების განსაზღვრა და მათი ურთიერთშედარება (ტრანსფორმატორის ფასები მოცემულია დოლარებში). [იხ. დანართი]



- ამ ღილაკით ხორციელდება შეყვანილი სიდიდეების ანგარიში



- ეს არის გასუფთავების ღილაკი (მონაცემების ხელახალი შეყვანისათვის)

Sn 2500	Un 10.5	UK% 5	Ius% 0.2	DPk (kW) 20.2	DPus (kW) 0.9
Sn 2500	Un 10.5	UK% 5.5	Ius% 0.4	DPk (kW) 27	DPus (kW) 3.3

ნახ. 33 – მონაცემების შეყვანის ველები ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარებისათვის

კლასიკური ტრანსფორმატორი

ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი

ანგარიშის შედეგად მიღებული სიდიდეების გამოტანა ხდება ქვედა ველებში:

DSus = 5	DSus = 10
DQus = 4,918333050	DQus = 9,439809320
DSk = 125	DSk = 137,5
DQk = 123,35704276	DQk = 134,82303215
GT = 8,16326530612	GT = 2,99319727891
BT = 4,535147E-05	BT = 9,070295E-05
XT = 2,205	XT = 2,205
RT = 0,356328	RT = 0,47628
Price1 = 28000	Price2 = 25200

ნახ. 34 –ანგარიშის შედეგად მიღებული სიდიდეები

ორივე მეთოდით ანგარიშის შედეგად მიღებული სიდიდეები ემთხვევა ერთმანეთს, რაც მიუთითებს ჩატარებული ანგარიშებისა და შედგენილი მათემატიკური მოდელის სიზუსტეზე. [იხ. დანართი]

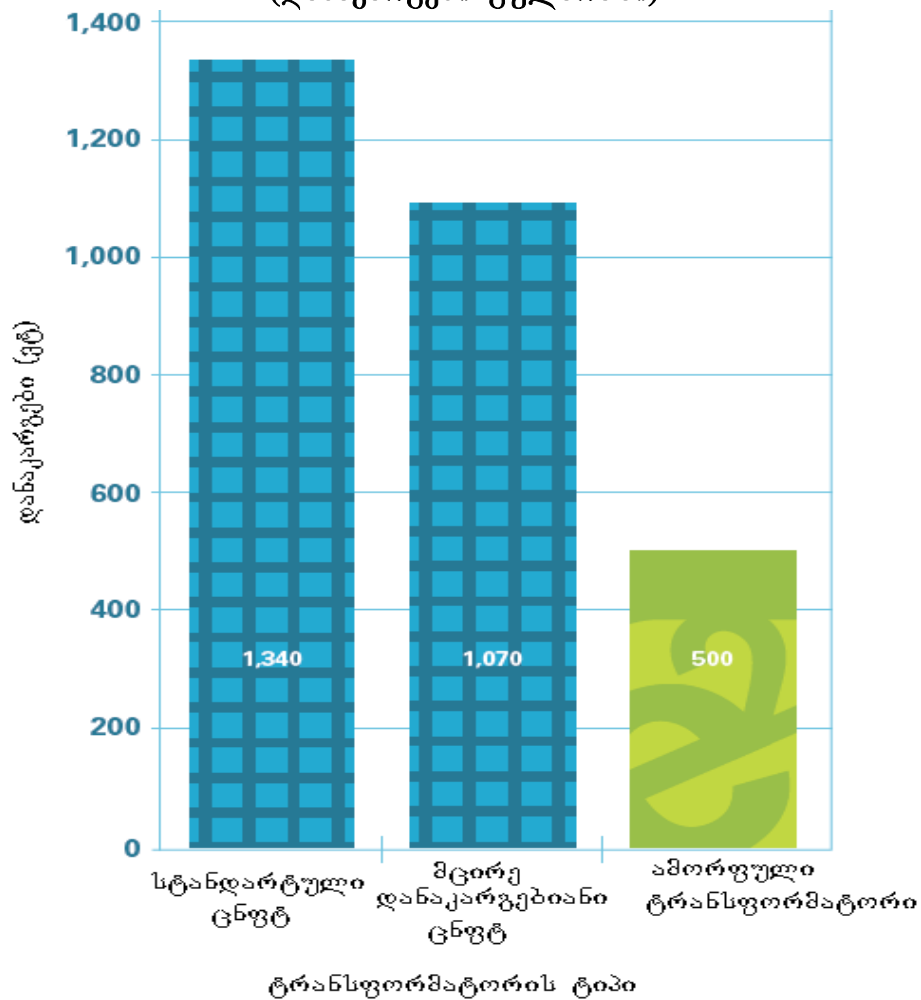
ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებში უქმი სვლის (უ.ს.) დანაკარგები ანუ დანაკარგები გულარაში 37 %-ით უფრო ნაკლებია

ვიდრე კლასიკურ ტრანსფორმატორებში. ხოლო რაც შეეხება მოკლედ შერთვის (მ.შ.) დანაკარგებს, უფრო სწორად რომ ვთქვათ, დატვირთვაზე დანაკარგებს (ანუ დანაკარგები სპილენძში) ისინი ამორფულმაგნიტურ გულარიან ტრანსფორმატორებში 38.2%-ით ნაკლებია კლასიკურ ტრანსფორმატორებთან შედარებით და შეადგენს კლასიკურ ტრანსფორმატორებში დანაკარგების 62%-ს. [ლ. 8]

ქვემოთ მოცემულია 1000 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება სტანდარტული ცნფტ, მაღალი კლასის მცირე დანაკარგებიანი ცნფტ-სა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორებისათვის.

უქმი სვლის დანაკარგები

(დანაკარგები გულარაში)

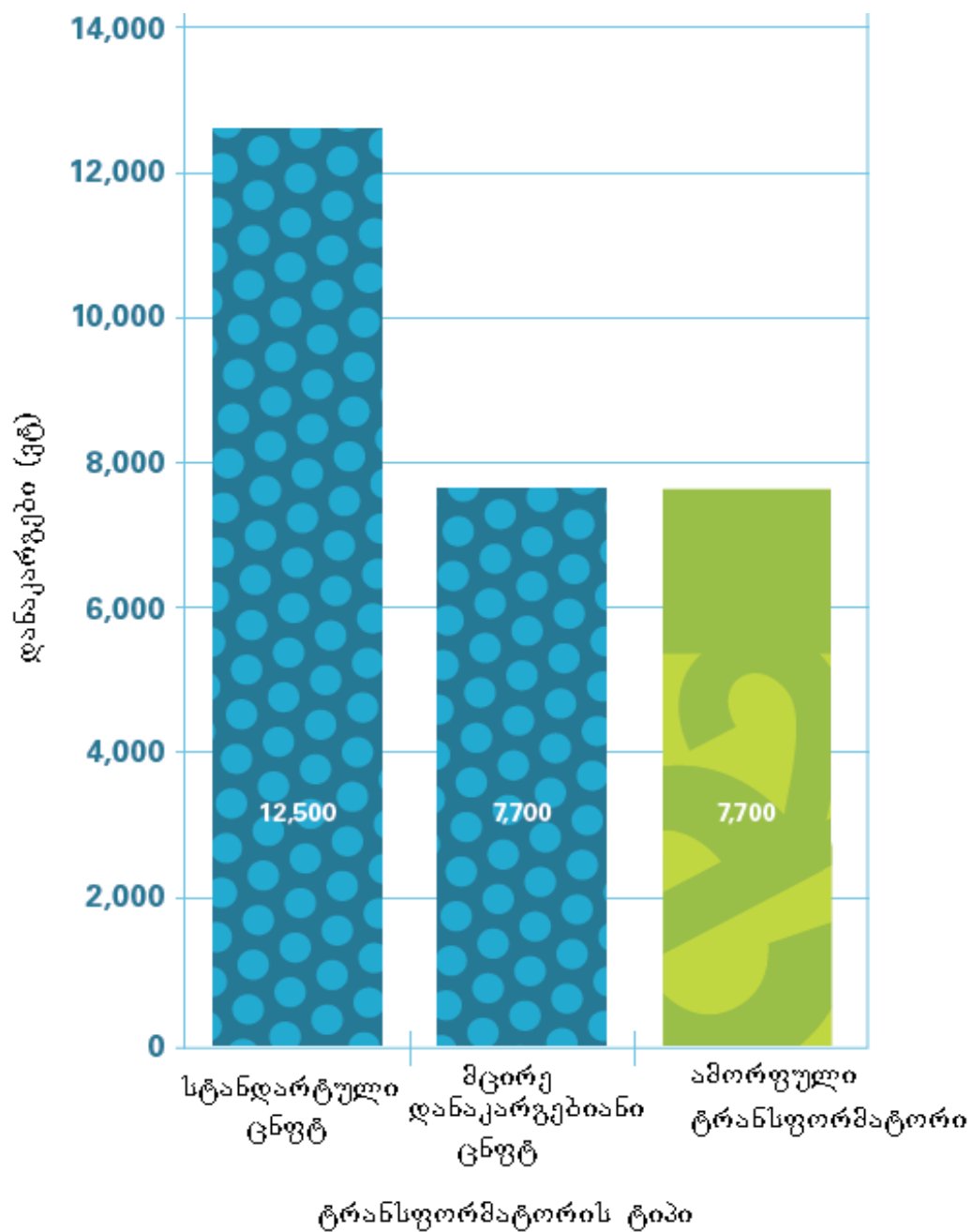


ნახ. 35 –უქმი სვლის დანაკარგები ტრანსფორმატორებში

ტრანსფორმატორის დანაკარგები ძირითადად შედგება გულარაში და სპილენძში დანაკარგებისაგან (უ.ს. და მ.შ 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 გრაფნილების ხვიათა რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია კლასიკური ტრანსფორმატორების გრაფნილების 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. [ლ. 11]

მოკლედ შერთვის დანაკარგები
(დანაკარგები სპილენძში)



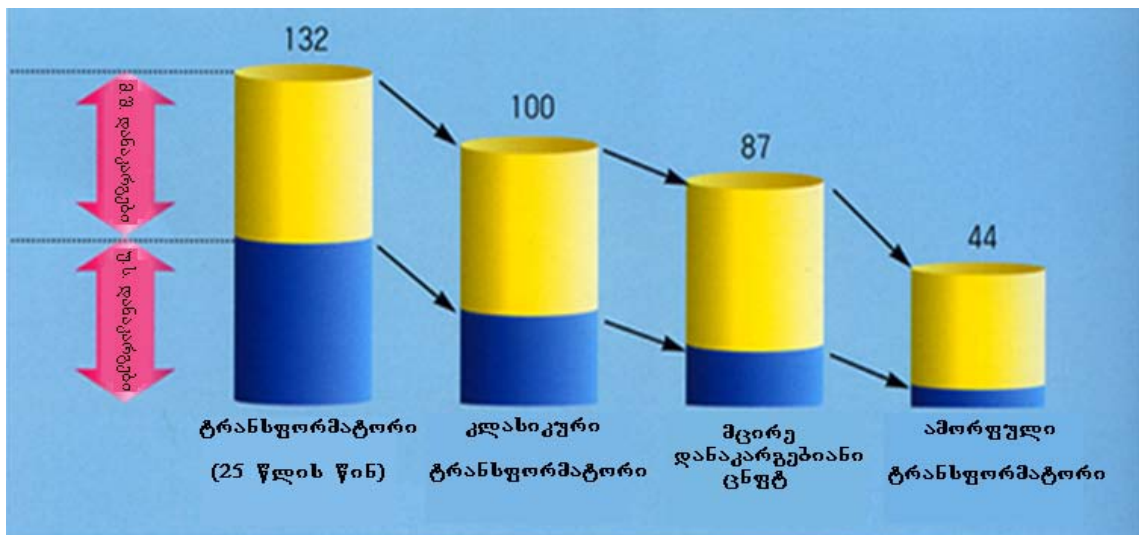
ნახ. 36 –მოკლედ შერთვის დანაკარგები ტრანსფორმატორებში

ცხრილი № 18 – ამორფულმაგნიტურ გუაღრიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების უქმი სვლის დანაკარგების ურთიერთშედარება

სიმძლავრე (კვა)	უქმი სვლის დანაკარგები (ვტ)		
	ტიპიური სატრანსფორმატორო ფოლადი	მცირე დანაკარგებიანი ფოლადი	ამორფული ლითონი
ერთფაზა			
10	60	30	11
25	100	50	20
50	210	105	32
75	260	130	39
100	320	160	54
სამფაზა			
75	370	185	67
150	540	270	107
300	950	475	185
500	1400	710	260
750	1750	875	310
1000	2400	1200	420
1500	3600	1800	555
2000	4000	2000	750
2500	4800	2400	850

ცხრილი № 19 – 2500 კვა სიმძლავრის ამორფულმაგნიტურ გუალრიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარება

მახასიათებლები	ამორფული ლითონი	ფოლადი
უ.ს. დანაკარგები (ვტ)	15,4	57
მ.შ. დანაკარგები (ვტ)	328	314
უ.ს. დენი (%)	0.14	0.36
მ.შ. ძაბვა (%)	2.45	2.45
დაბალსიხშირული ხმაური (დბ)	33	40
გახურების ტემპერატურა (°C)	48	57
მოკლედ შერთვის ცდა (xN)	40	40
უქმი სვლის ცდა (xN)	12/13	23/14
მასა (კგ)	199.7	184



ნახ. № 37 - სატრანსფორმატორო დანაკარგების ურთიერთშედარება (სტატისტიკის მიხედვით)

ცხრილი № 20 - გულარაში და სპილენძში დანაკარგები სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის

სიმძლავრე კვა	სტანდარტული ცნობი		მაღალი კლასის მცირე დანაკარგებიანი ცნობი		ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი	
	დანაკარგები გულარაში უ.ს. დანაკარგები	დანაკარგები სპილენძში მ.შ. დანაკარგები	დანაკარგები გულარაში უ.ს. დანაკარგები	დანაკარგები სპილენძში მ.შ. დანაკარგები	დანაკარგები გულარაში უ.ს. დანაკარგები	დანაკარგები სპილენძში მ.შ. დანაკარგები
315	600	5,350	365	3,850	175	3,850
500	900	7,400	560	5,000	215	5,000
800	1,150	11,000	900	7,300	300	7,300
1000	1,350	12,500	1,070	7,700	500	7,700
1250	1,575	16,000	1,350	10,700	620	10,700
1500	1,700	21,000	1,575	14,000	675*	14,000
2000	2,300	24,000	1,900	19,000	800*	15,000

ფერიტების სიმცირის გამო მიიღწევა, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ინდუქციურობის გაზრდა (ზედა ზღვარი), რაც დაკავშირებულია ჰისტერეზისის მარყუჟის გაუმჯობესებასთან.

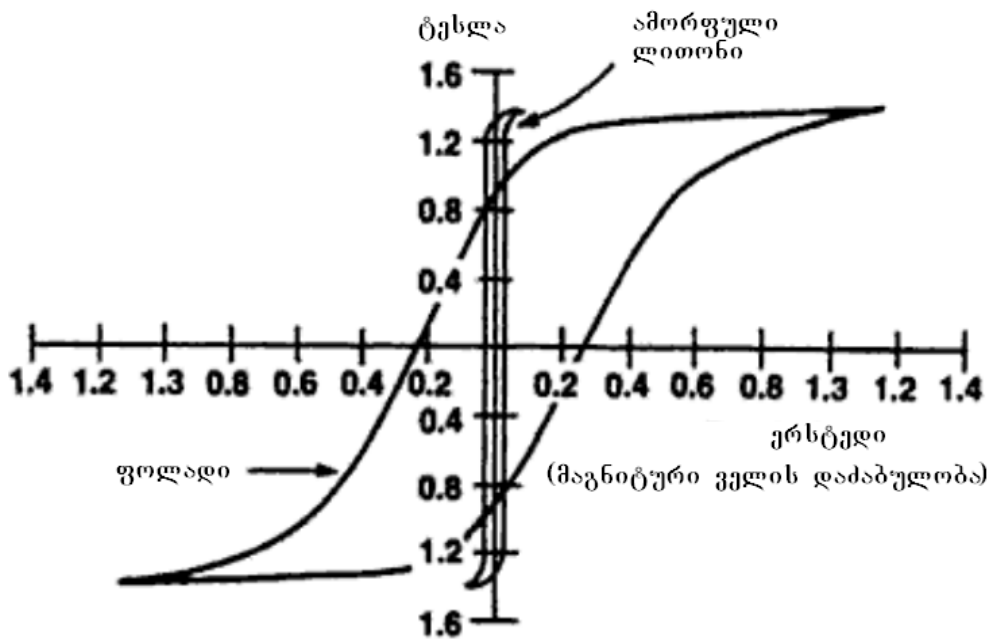
4.2. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების მაგნიტური და ფიზიკური თვისებების ურთიერთშედარება

ეს ტრანსფორმატორები დამზადებულია EN 50178, EN 60950 და სხვა სტანდარტების მიხედვით.

VAC- ტრანსფორმატორების პირველადი და მეორადი გრაგნილები ძირითადად დამზადებულია სტანდარტული სადენისაგან, რომლის გამომყვანები შეერთებულია კაბელის ბოლოებთან. იზოლაცია ნაწილობრივ შესრულებულია სპეციალური პლასტმასური კომპონენტებისაგან, აგრეთვე თბოგამტარი ეპოქსიდური რეზინისაგან, რომელიც დაწნეხილია ვაკუუმის პირობებში. ალუმინის კონსტრუქცია გამოიყენება დამიწების დაცვისათვის და ის შეიძლება დამონტაჟებული იყოს რადიატორზე.

ჰისტერეზისის ყულფი (მარყუჟი)

ჰისტერეზისის ყულფი (მარყუჟი) არის მაგნიტური მასალის მთავარი მახასიათებელი.



ნახ. 38 – 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. [ლ. 19]

ცხრილი № 21- გულარის მახასიათებლების შედარება

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

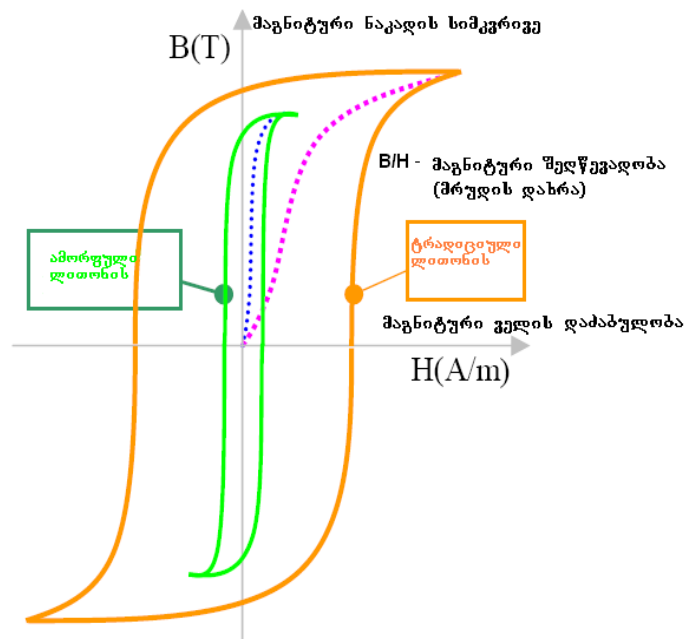
**4.3. უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კგ ძაბვის კლასიკური
ტრანსფორმატორისა და ამორფულგულარიანი
ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტებების
ურთიერთშედარება**

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.

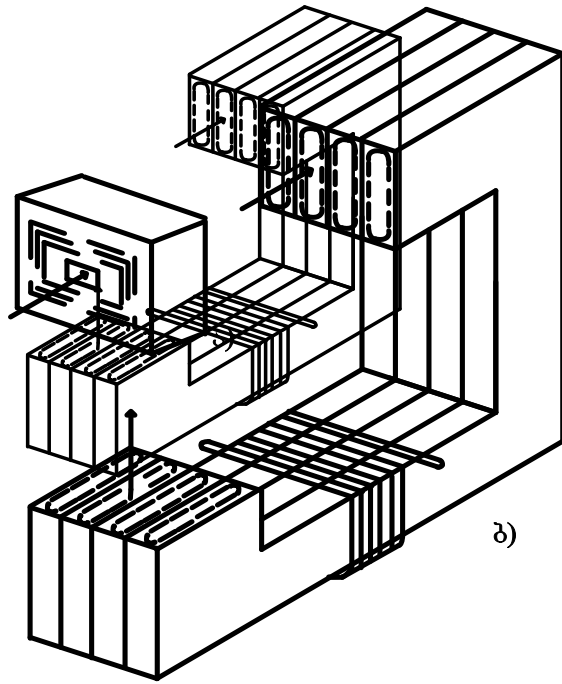
ვინაიდან, განასხვავებენ სატრანსფორმატორო დანაკარგების ორ ძირითად სახეს – დანაკარგებს ჰისტერეზისზე (P_h) და დანაკარგებს გრიგალურ დენებზე (P_g). ფოლადის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს მისი ინდუქცია, რომელიც ტრანსფორმატორის მაგნიტოგამტარისა და გრაგნილის ზომებისა და წონის განმსაზღვრელია.

ფართი, რომელიც შემოსაზღვრულია ჰისტერეზისის ყულფით (ნახ. 39) პროპორციულია სიმძლავრის იმ ხვედრითი დანაკარგებისა, რომლებიც იხარჯება ფოლადის გადამაგნიტებაზე.



ნახ. 39 - ჰისტერეზისის დანაკარგები მაგნიტოგამტარში

გრიგალური დენები წარმოიქმნებიან მაგნიტური ნაკადის მიმართულების პერპენდიკულარულ სიბრტყეში, (ნახ. 40). ამიტომ ამ დენებით გამოწვეული დანაკარგები დამოკიდებულია მაგნიტოგამტარის ზომებზე და პირდაპირპროპორციულია ფოლადის სისქის კვადრატისა და უკუპროპორციულია ფოლადის ხვედრითი ელექტრული წინააღობისა.



ნახ. 40 - გრიგალური დენები ტრანსფორმატორის მაგნიტოგამტარში
 ა) მასიური რკინის დროს;
 ბ) ერთმანეთისაგან იზოლირებული თხელი ფირფიტების შემთხვევა.

იმის გათვალისწინებით, რომ ამორფულ ტრანსფორმატორებს აქვთ მკვეთრად განსხვავებული ჰისტერეზისის მახასიათებელი, კლასიკური ტიპის ძალოვან ტრანსფორმატორებთან შედარებით, საინტერესოა თუ რა სიდიდის გადამეტებას ექნება ადგილი კომპუტაციის შემთხვევაში. ამისათვის ანგარიში ჩატარდა ორი ტიპის 10კვ ძაბვის (ამორფულგულარიანი და კლასიკური) ტრანსფორმატორზე ATPDraw პროგრამით. მოცემულია მათი საპასპორტო მონაცემები: ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორი:

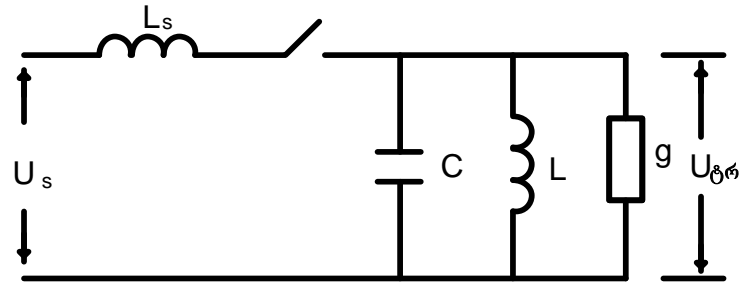
$$U_6 = 10 \text{ კვ}; S = 400 \text{ კვა}; \Delta P_{\text{უ.ს.}} = 200 \text{ ვტ}; \Delta P_{\text{ა.შ}} = 4300 \text{ ვტ}; I_{\text{უ.ს.}} = 0,5 \text{ \%};$$

$$U_{\text{ა.შ}} \% = 4\%$$

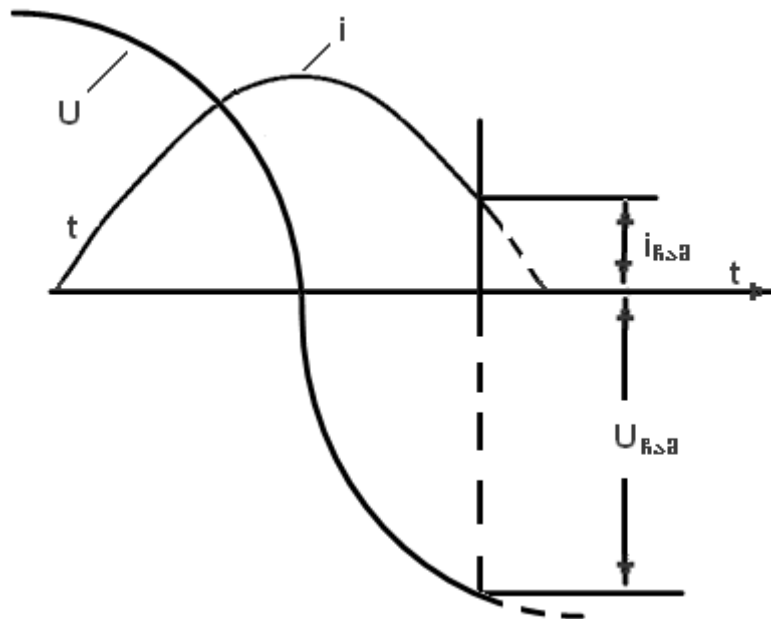
კლასიკური ტრანსფორმატორი:

$$U_6 = 10 \text{ კვ}; S = 400 \text{ კვა}; \Delta P_{\text{უ.ს.}} = 900 \text{ ვტ}; \Delta P_{\text{ა.შ}} = 5500 \text{ ვტ}; I_{\text{უ.ს.}} = 1,9\%;$$

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



ა)



ბ)

ნახ. 41 - ჩანაცვლების სქემა

ნახ. 41-ზე წარმოდგენილია უკმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამეტებების საანგარიშო სქემა (ა) და ჩამოჭრის პარამეტრები $I_{წამ}$ და $U_{წამ}$ (ბ).

ამ ნახაზზე L - ტრანსფორმატორის დამაგნიტების ინდუქციურობაა, C - ტევალობა, g - გამტარებლობაა, რომელიც ტრანსფორმატორის სპილენძსა და ფოლადში დანაკარგების ექვივალენტურია.

[ლ.1]-ში მოყვანილი ფორმულების თანახმად კლასიკური ტრანსფორმატორის ინდუქციურობის გაანგარიშება ჩატარებულია შემდეგნაირად:

ნომინალური დენი:

$$I_6 = S_6 / \sqrt{3} U_6 = 400 / 1,73 \times 10 = 23,12 \text{ ა} \quad (45)$$

უქმი სვლის დენი:

$$I_{\text{უ.ს.}} = I_{\text{უ.ს.}} \% \times I_6 / 100 = 0,44 \text{ ა} \quad (46)$$

მოდებული ძაბვის სიხშირის მიხედვით უქმი სვლის დენის სიდიდისა და მიმართულების მუდმივად ცვლილების გამო მაგნიტოგამტარში ადგილი აქვს ფოლადის დამაგნიტება-გადამაგნიტებას, რომელსაც თან სდევს მისი გახურება ე.ი. ენერგიის დანაკარგი. ამ ენერგიის სიმძლავრე ფოლადის ერთეული მასის მიმართ წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს მაგნიტოგამტარის ფოლადისათვის და მას ფოლადში ხვედრითი დანაკარგები ეწოდება.

$$Z_0 = U_6 / \sqrt{3} \times I_{\text{უ.ს.}} = 10\ 000 / (1,73 \times 0,44) = 13\ 137 \text{ ომი} \quad (47)$$

$$R_0 = \Delta P_{\text{უ.ს.}} / 3 \times I_{\text{უ.ს.}}^2 = 900 / (3 \times (23,12)^2) = 1\ 550 \text{ ომი} \quad (48)$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = \sqrt{13137^2 - 1550^2} = 13\ 045 \text{ ომი} \quad (49)$$

ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა, რომელიც წარმოადგენს მაღალი ძაბვის გრაგნილსა და მაღალი ძაბვის საფეხურზე მიყვანილი დაბალი ძაბვის გრაგნილის წინაღობათა ჯამს, განსაზღვრება ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის სიმძლავრის მიხედვით:

$$\Delta P_{\text{აა}} = 3 \times I_6^2 \cdot R_T, \text{ აქედან}$$

$$R_T = \Delta P_{ა.გ.} / 3 \times I_{\epsilon}^2 = 5\,500 / (3 \times (23,12)^2) = 3,43 \text{ ომი} \quad (50)$$

$$Z_T = U_{ა.გ.} \% \times U_{\epsilon}^2 / 100 S_{\epsilon} = (4,5 \times 10^2) / (100 \times 0,4) = 11,25 \text{ ომი} \quad (51)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{11,25^2 - 3,43^2} = 10,7 \text{ ომი} \quad (52)$$

ტრანსფორმატორის მაღალი და დაბალი ძაბვის გრაგნილების წინაღობები:

$$R_1 = R_2 = 1,7 \text{ ომი}$$

$$X_1 = X_2 = 5,4 \text{ ომი}$$

საბოლოოდ, კლასიკური ტრანსფორმატორისათვის მივიღეთ:

$$R_{უ.ს.} = R_0 + R_1 = 1\,550 + 1,7 = 1\,552 \text{ ომი} \quad (53)$$

$$X_{უ.ს.} = X_0 + X_1 = 13\,045 + 5,4 = 13\,050 \text{ ომი} \quad (54)$$

$$L = X_{უ.ს.} / \omega = 13\,050 / 314 = 41,6 \text{ ჰჰ} \quad (55)$$

ანალოგიური ანგარიშები ჩატარებულია ამორფული ტრანსფორმატორისათვის:

$$R_{უ.ს.} = R_0 + R_1 = 4\,630 + 1,34 = 4\,631,4 \text{ ომი} \quad (56)$$

$$X_{უ.ს.} = X_0 + X_1 = 47\,952 \text{ ომი} \quad (57)$$

$$L = X_{უ.ს.} / \omega = 153 \text{ ჰჰ} \quad (58)$$

ამომრთველით ინდუქციური დენის გაწვევით გამონთავისუფლებული მაგნიტური ენერჯია გადადის ელ. ენერჯიის

სახით ტევადობაში, რომელიც ჩართულია ინდუქციურობის პარალელურად. ამ ენერგიით არის განპირობებული გადამეტაბვის წარმოშობა ტევადობაზე ანუ ტრანსფორმატორზე.

გადამეტაბვის სიდიდე დამოკიდებულია ტრანსფორმატორის დამაგნიტების დენის მნიშვნელობაზე [ლ. 2]□

$$I_{\mu} = \sqrt{2} \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot I_{\Sigma\mu} \quad (59)$$

ამორფული ტრანსფორმატორის შემთხვევაში:

$$I_{\mu} = \sqrt{2} \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot I_{\Sigma\mu} = 0,16 \text{ ა} \quad (60)$$

კლასიკური ტრანსფორმატორის შემთხვევაში:

$$I_{\mu} = \sqrt{2} \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot I_{\Sigma\mu} = 0,62 \text{ ა} \quad (61)$$

ტრანსფორმატორზე გადამეტაბვის სიდიდე ტოლია:

$$U = I_{\mu} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (62)$$

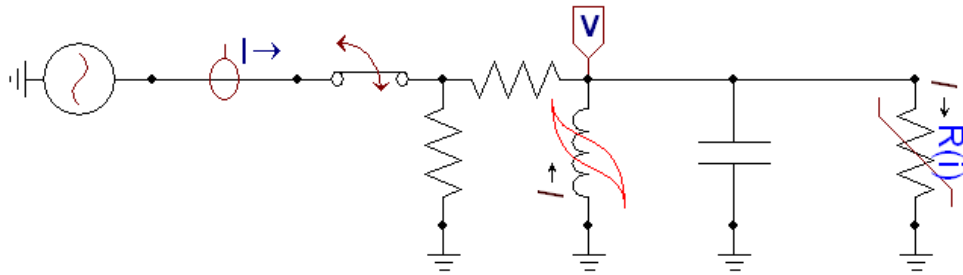
ამორფული ტრანსფორმატორის შემთხვევაში:

$$U = I_{\mu} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 43 \text{ კვ} \quad (63)$$

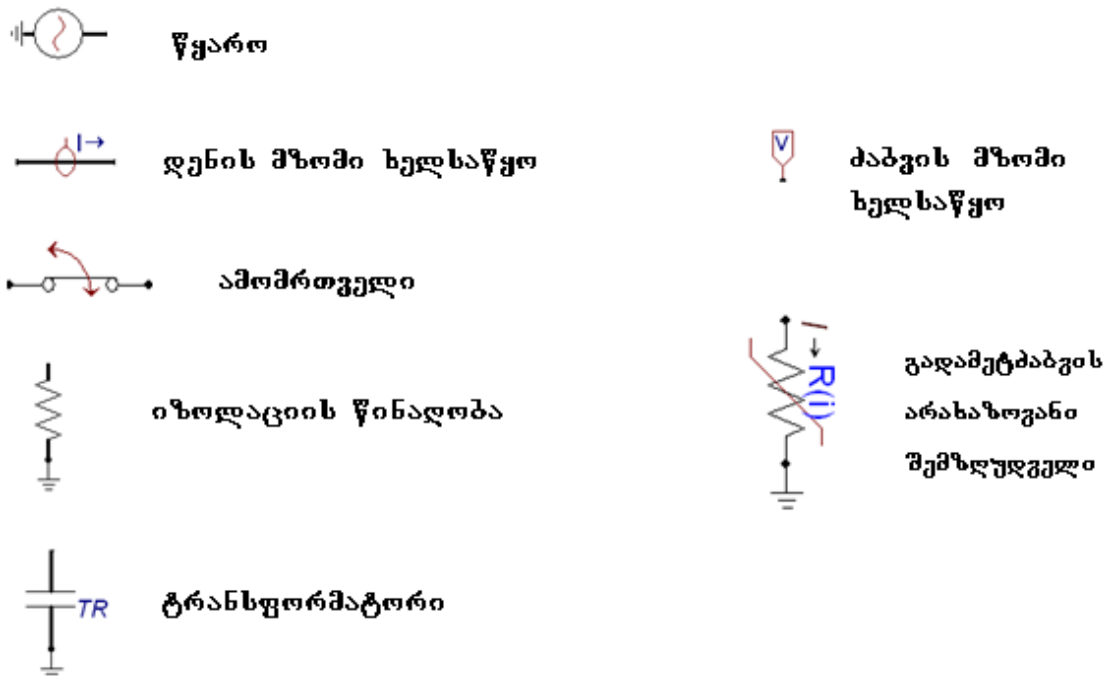
კრისტალური ტრანსფორმატორის შემთხვევაში:

$$U = I_{\mu} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 102 \text{ კვ} \quad (64)$$

გადამეტაბვის საანგარიშო ATPDraw პროგრამით ჩატარებული ანგარიშები ზუსტად ემთხვევა [ლ. 2] და [ლ. 3]ში მოცემული გადამეტაბვის საანგარიშო ფორმულებით ჩატარებული ანგარიშის შედეგებს

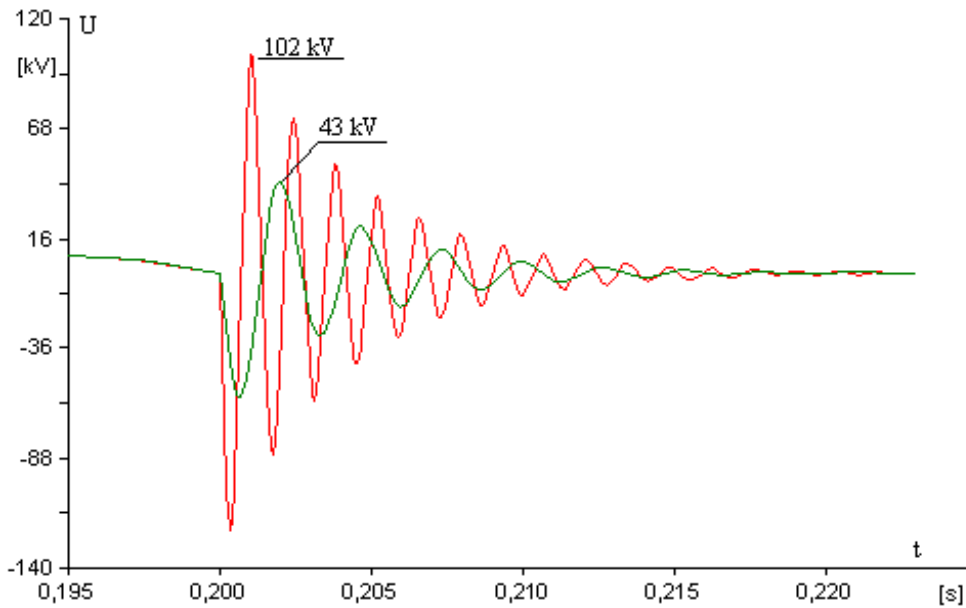


ნახ. 42-ზე წარმოდგენილია ATPDraw პროგრამაში შესაყვანი ჩანაცვლების სქემა



ნახ. 42 – ზე წარმოდგენილი აღნიშვნების განმარტება მოცემულია ზემოთ, ხოლო ნახ. 43 –ზე ნაჩვენებია ჩატარებული ანგარიშის შედეგები

— 10 kV კლასიკური ტრანსფორმატორი
 — 10 kV ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორი

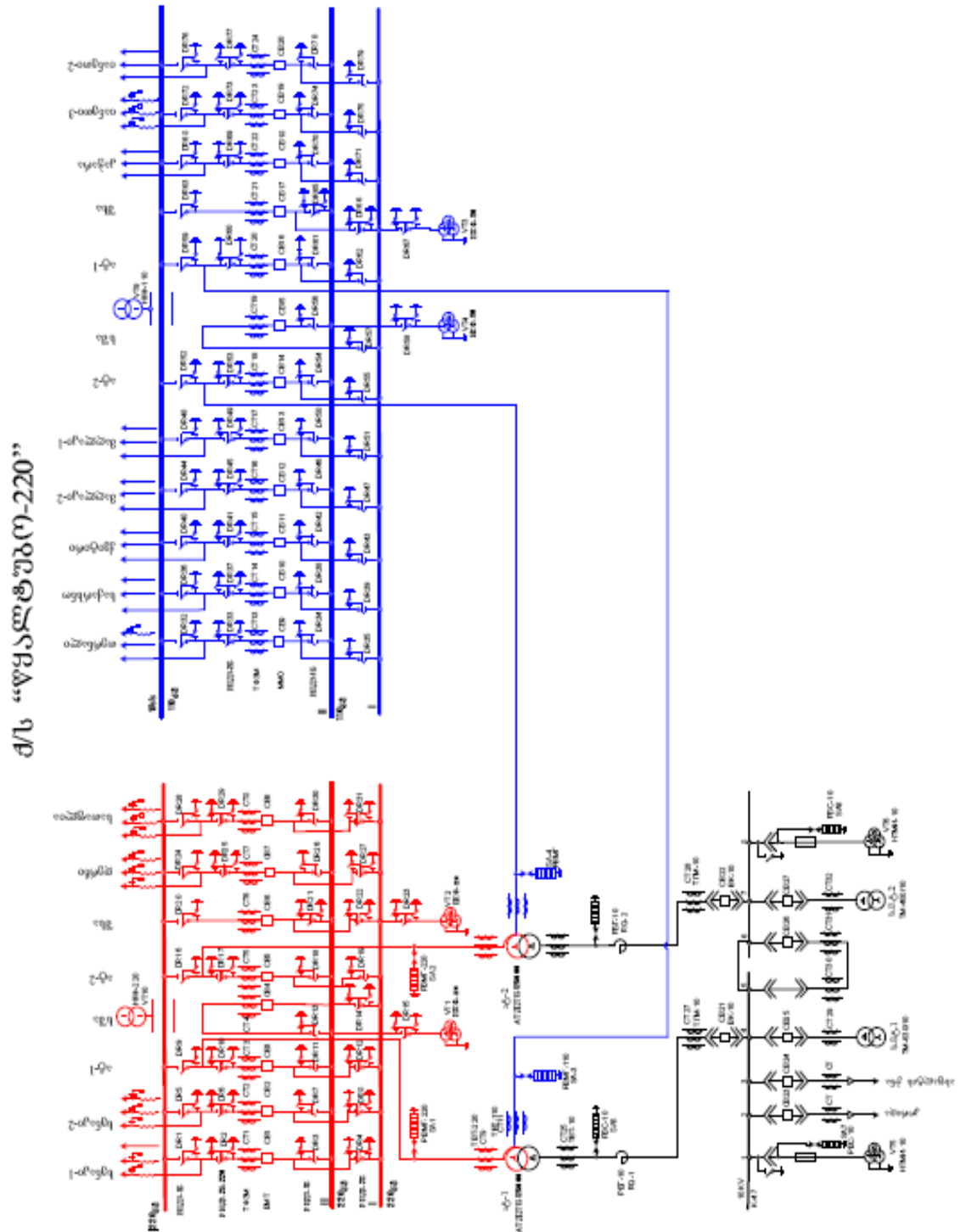


ნახ. 43 - ATPDraw პროგრამით ჩატარებული ანგარიშის შედეგები მრუდების სახით

ნახ. 46-ზე წარმოდგენილია ATPDraw პროგრამით ჩატარებული ანგარიშის შედეგები მრუდების სახით. როგორც ნახაზიდან ჩანს, კლასიკური ტიპის ტრანსფორმატორზე გადამეტაბვის სიდიდე აღწევს 102 კვ-ს, ხოლო ამორფულმაგნიტურ გულარიან 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_{μ} ნაკლებია, კლასიკურთან შედარებით. რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია $I_{\mu, \%}$ -ზე.

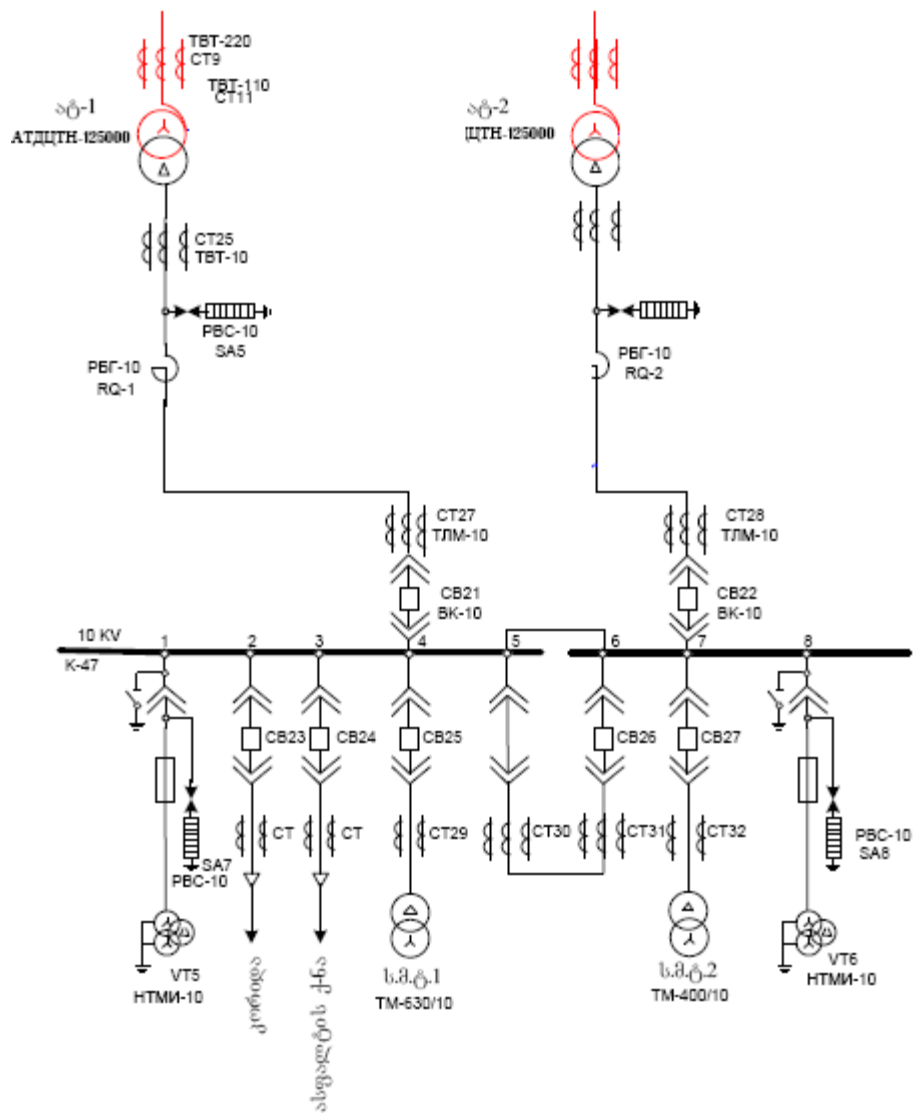
4.4. 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულგულარიანი ტრანსფორმატორის ფერორეზონანსული მოვლენით გამოწვეული გადამეტაბებების ურთიერთშედარება ქს “წყალტუბო-220” –ის სქემისათვის



ნახ. 44- ქს “წყალტუბო-220” სრული სქემა

სიმძლავრის გაცემა ქ/ს “წყალტუბო-220”-დან ხორციელდება 110 და 10 კვ ძაბვის გადაცემის ხაზებით.

220 კვ ძაბვის ღია გამანაწილებელი მოწყობილობა შესრულებულია სალტეების ორმაგი სისტემით. სალტეებზე მიერთებულია ორი 220/110/10 სამგრაგნილა ტრანსფორმატორი და ოთხი გადაცემის ხაზი. სალტეების ორივე სისტემაზე მიერთებულია ტიპის ძაბვის ტრანსფორმატორი. [დ. 3]□



ნახ. 45 -ზე მოყვანილია ამ ქვესადგურის 10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის სქემა და სალტეების ძირითადი პარამეტრები.

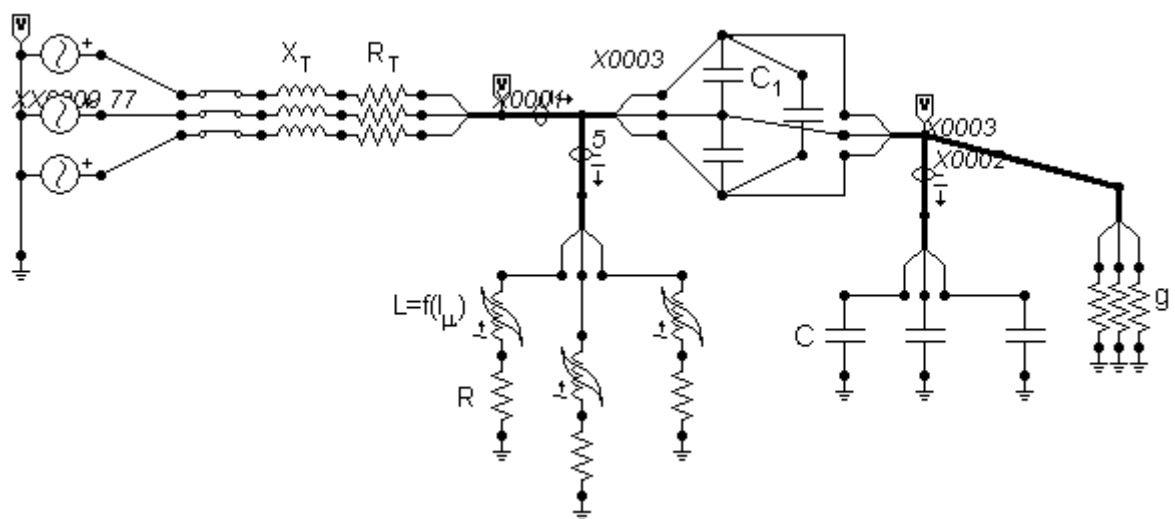
პრაქტიკიდან და ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ შესაძლებელია ისეთი პირობების შექმნა, როდესაც ძაბვის ტრანსფორმატორების

არაწრფივი დამაგნიტების მრუდის გამო იქმნება ფერორეზონანსი. ეს მოვლენა ხასიათდება როგორც ძაბვის მკვეთრი აწევით, ასევე ძაბვის ტრანსფორმატორების დენის ზრდით. ძაბვის აწევა საშიშია ქვესადგურის იზოლაციისათვის, ხოლო ძაბვის ტრანსფორმატორების დენის ზრდა იწვევს მათ თერმიულ დაზიანებას.

ფერორეზონანსის წარმოქმნის მიზეზი სხვადასხვაა. ერთ-ერთია დაუტვირთავი სალტების ძაბვის ისეთი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც რომელიმე ფაზის ძაბვის ტრანსფორმატორი იწვევს გაუდენთვას. თუ ამ დროს ძალგანი ტრანსფორმატორის ნეიტრალი გახსნილია (1 ფაზა მშ დენის შემცირების მიზნით), მაშინ ფერორეზონანსის ალბათობა მკვეთრად იზრდება.

ქ/ს “წყალტუბო-220”-ში ფერორეზონანსის გამოკვლევა ჩატარდა 10კვ გამანაწილებელ მოწყობილობაში, როდესაც რაიმე მიზეზით სალტები დაუტვირთავია, ესე-იგი გადაცემის ხაზები გამორთულია და ტრანსფორმატორის ნეიტრალი გახსნილია. გამოკვლევა ჩატარდა ATPDraw პროგრამის საშუალებით.

მოდელი ნაჩვენებია ნახ.1-ზე. აქ X_T და R_T წყაროს (ტრანსფორმატორის) რეაქტიული და აქტიური წინააღობებია, $L = f(\mu)$ და R ძაბვის ტრანსფორმატორის არაწრფივი ინდუქტიურობა და აქტიური წინააღობაა, C სალტების ტევადობა მიწის მიმართ, g - სალტების აქტიური გამტარებლობა და C_1 ფაზათშორისი ტევადობაა.



ნახ. 46- ATPDraw პროგრამით საანგარიშო მოდელი

ძაბვის ტრანსფორმატორის დამაგნიტების მრუდი აღებულია [ლ-1] დან:

$$\Psi = \begin{cases} a_1 \arctg(b_1 I_\mu) + c_1 I_\mu & I_\mu > I_{\mu cr} \\ a_2 \arctg(b_2 I_\mu) + c_2 I_\mu & I_\mu < I_{\mu cr} \end{cases}$$

სადაც $a_1=512,4$; $b_1=71,5815$; $c_1=109,5$;

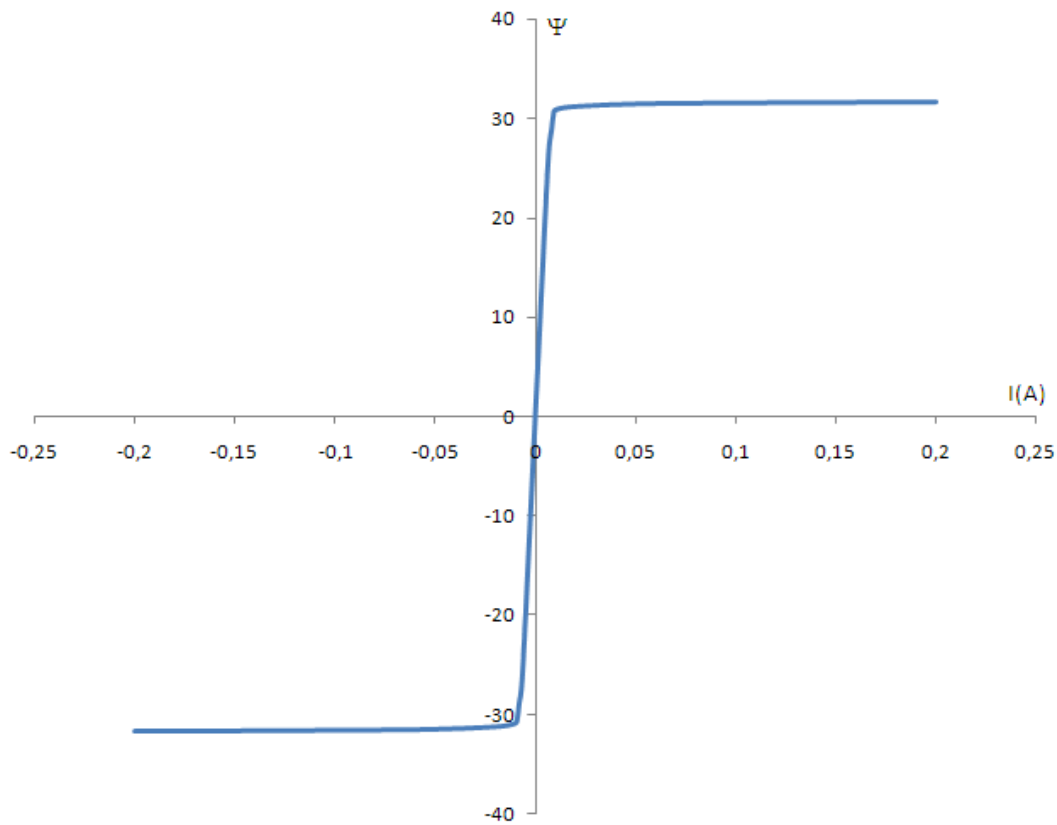
$a_2=461,17$; $b_2=552,6565$; $c_2=366,5$;

$I_{\mu cr}=0,16A$.

ცხრილი №22 - ძაბვის ტრანსფორმატორის დამაგნიტების მრუდის მონაცემები

I_μ	Ψ
-0,2	-31,6
-0,1	-31,5
-0,05	-31,4
-0,017	-31,1
-0,01	-30,8
-0,009	-30,3
-0,008	-28,7
-0,007	-27,4
-0,006	-24,4
0	0
0,006	24,4
0,007	27,4
0,008	28,7
0,009	30,3
0,01	30,8
0,017	31,1
0,05	31,4
0,1	31,5
0,2	31,6

ეს მრუდი მოყვანილია ნახ 50-ზე. ძაბვის ტრანსფორმატორის R აქტიური წინაღობა უდრის 350 ომს.



ნახ. 47 - ძაბვის ტრანსფორმატორის დამაგნიტების მრუდი

საღტეების ტევადობა გაანგარიშებულია [ლ-2]-ში მოცემული ფორმულებით:

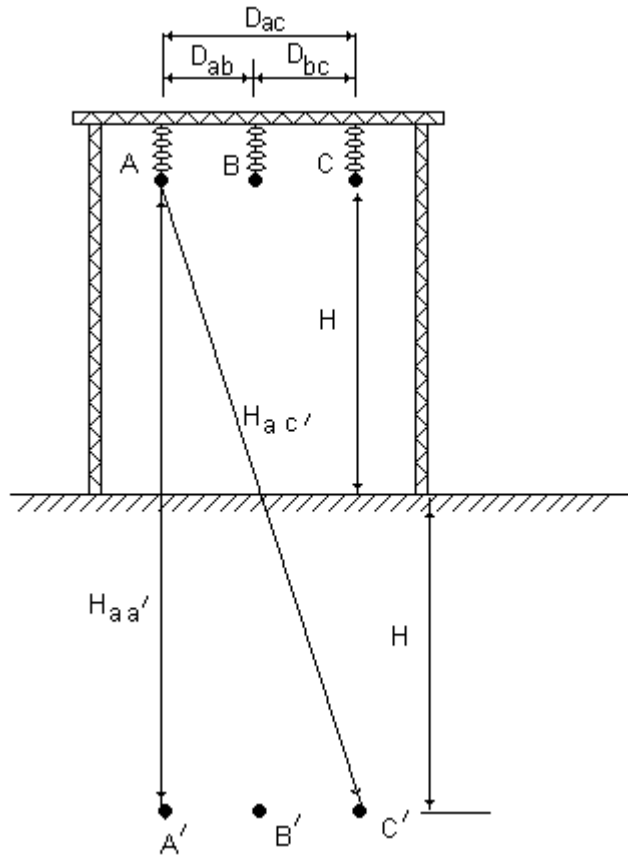
საღტეების ფაზების ურთიერთ და მიწის მიმართ ტევადობების მატრიცა არის:

$$C = p^{-1}.$$

სადაც p არის:

$$p = \alpha \lg \begin{vmatrix} \frac{H_{aa'}}{\rho} & \frac{H_{ab'}}{D_{ab}} & \frac{H_{ac'}}{D_{ac}} \\ \frac{H_{ab'}}{D_{ab}} & \frac{H_{bb'}}{\rho} & \frac{H_{bc'}}{D_{bc}} \\ \frac{H_{ac'}}{D_{ac}} & \frac{H_{bc'}}{D_{bc}} & \frac{H_{cc'}}{\rho} \end{vmatrix} \quad (66)$$

$\alpha=41,4 \cdot 10^6$ კმ/ფარადი, $\rho=1$ სმ- სადენის რადიუსია სანტიმეტრებით. მატრიცაში შემავალი სხვა სიდიდეები განისაზღვრა სასაღტეო კონსტრუქციის მიხედვით, ნახ. 49.



ნახ. 48 - სასაღტეო კონსტრუქცია

10 კვ ძაბვის ღია გამანაწილებელ მოწყობილობებში საღტეების სადენები დამაგრებულია მიწიდან 4.2 – 6 მეტრი სიმაღლეზე, ფაზებს შორის მანძილი კი შეადგენს 0.9 - 1.5 მეტრს. (66) მატრიცის შებრუნების შემდეგ, კ/ს “წყალტუბო-220” -ისათვის მივიღეთ:

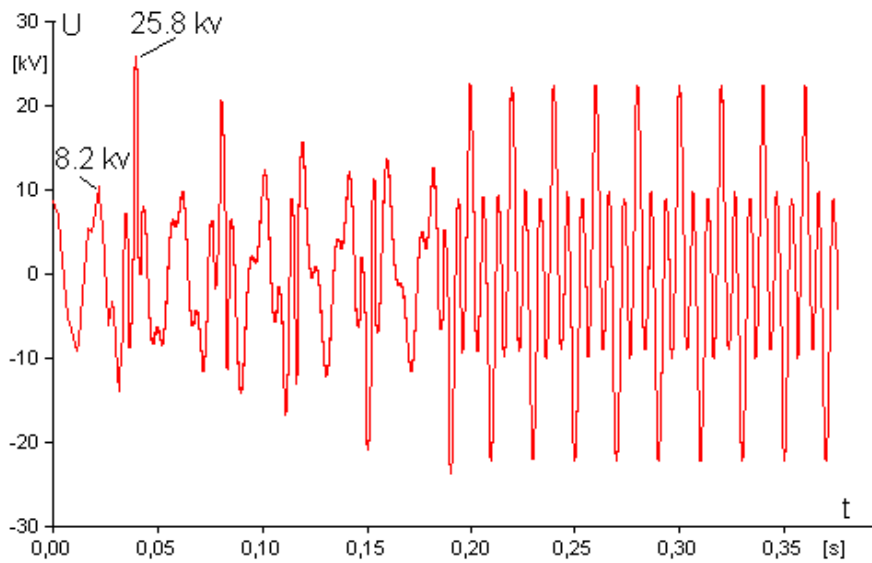
$$C = \begin{vmatrix} C_{a-o} & C_{a-b} & C_{a-c} \\ C_{b-a} & C_{b-o} & C_{b-c} \\ C_{c-a} & C_{c-b} & C_{c-o} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 40 & 10 & 5 \\ 10 & 40 & 10 \\ 5 & 10 & 40 \end{vmatrix} 10^{-5} \mu F$$

(67)

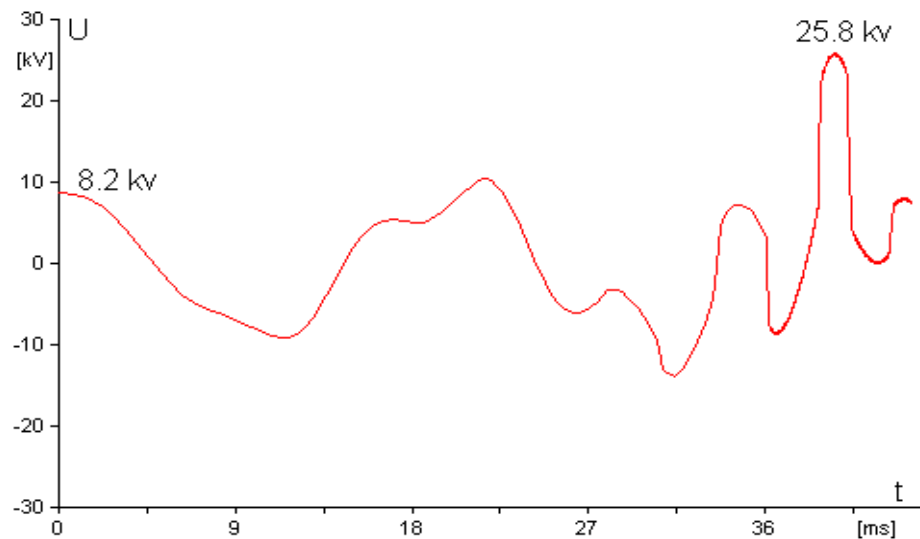
საღტეების იზოლაციის g აქტიური გამტარებლობა უდრის 10^{-8} სიმენს.

ფერორეზონანსის მოდელირება ტრანსფორმატორის გახსნილი ნეიტრალის და დაუტვირთავი საღტეების შემთხვევაში

თუ ასეთ რეჟიმში სალტების ძაბვა მიაღწევს 25.8 კილოვოლტს ან მეტს იწვება ძაბვის ტრანსფორმატორების გაუღებთვა. გაუღებთვა გამოიწვევს ძაბვის ტრანსფორმატორის ინდუქციონობის შემცირება. ვინაიდან ძაბვები დაძრულია დროში 120 გრადუსით, ჯერ გაიუღებთვა ერთი რომელიმე ფაზის ტრანსფორმატორი. წარმოიქმნება განივი ასიმეტრია. ძალოვანი ტრანსფორმატორის ნეიტრალი “გადაინაცვლებს”, და წარმოიქმნება ნულოვანი მიმდევრობის ძაბვა. პროცესი მიმდინარეობს ზრდადი რხევების სახით.

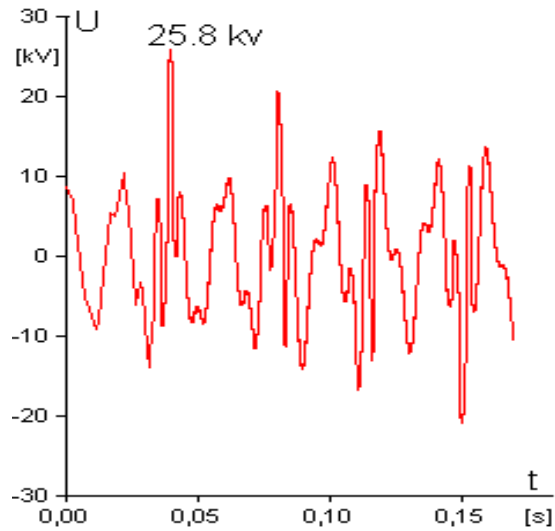


ნახ. 49-ზე ნაჩვენებია ძალოვანი ტრანსფორმატორის ნეიტრალის ძაბვა



ნახ. 50-ზე ნაჩვენებია იმავე მრუდის საწყისი სტადია, პირველი 40 მილიწამის განმავლობაში

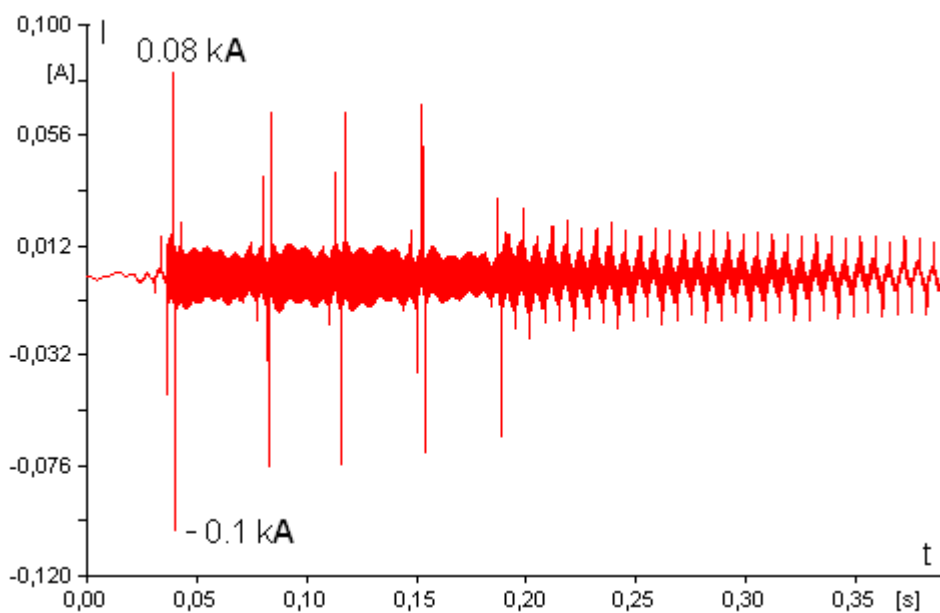
ნათლად ჩანს ნეიტრალის ძაბვის ზრდადი რყევები. ძაბვა აღწევს ძალიან დიდ სიდიდეს, რაც საშიშია როგორც ტრანსფორმატორია, ასევე საღებების იზოლაციისათვის.



ნახ. 51-ზე ნაჩვენებია ძაბვის ტრანსფორმატორის A ფაზის ძაბვა

გადამეტძაბვის ჯერადობა აქ აღწევს 3,14. რხევების სიხშირე დაახლოებით 500 ჰერცია.

როგორც ჩანს, დენის პიკები აღწევენ 0.08 - 0.1 ამპერს, რაც ტრანსფორმატორისათვის საშიშია.



ნახ. 52 -ზე ნაჩვენებია A ფაზაში ჩართული ძაბვის ტრანსფორმატორის დენი

10 კვ-ის მხარეს ფერორეზონანსის აღსაკვეთად საჭიროა აღიკვეთოს საღტეების (ხაზების) დაუტვირთავი მდგომარეობა. ან გატარდეს ფერორეზონანსის აღკვეთის სხვა ღონისძიებები.

აღსანიშნავია, რომ ფერორეზონანსი რთული მოვლენაა, რომელიც ერთნაირად მოქმედებს, როგორც კლასიკურ (SiFe) სატრანსფორმატორო ფოლადზე ისე ამორფულ ლითონზე. ფერორეზონანსის მოვლენა დამოკიდებულია ხაზის ტევადობებზე, ნეიტრალის ტიპზე, ქსელის დატვირთვაზე და ა.შ ფაქტორებზე. წარმოდგენილი ანალიზი წარმოადგენს იმის დემონსტრირებას, რომ ამორფული ლითონი და კლასიკური (SiFe) სატრანსფორმატორო ფოლადი ერთნაირი მედეგობით ხასიათდებიან ფერორეზონანსული მოვლენის მიმართ.

4.5. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების უპირატესობები და ნაკლოვანებები

ამორფული ტრანსფორმატორის უპირატესობები კლასიკურ ტრანსფორმატორთან შედარებით

- მინიატურიზაცია: მკვეთრად 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 მავნე აირების ემისიის შემცირებას
 - ელექტრული სადგურის ზომების შემცირების გამო გაუმჯობესებულია ეკოლოგიური ეფექტები
- ტრანსფორმატორს აქვს ენერჯის მაღალმწარმოებლურობის სერთიფიკატი.

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

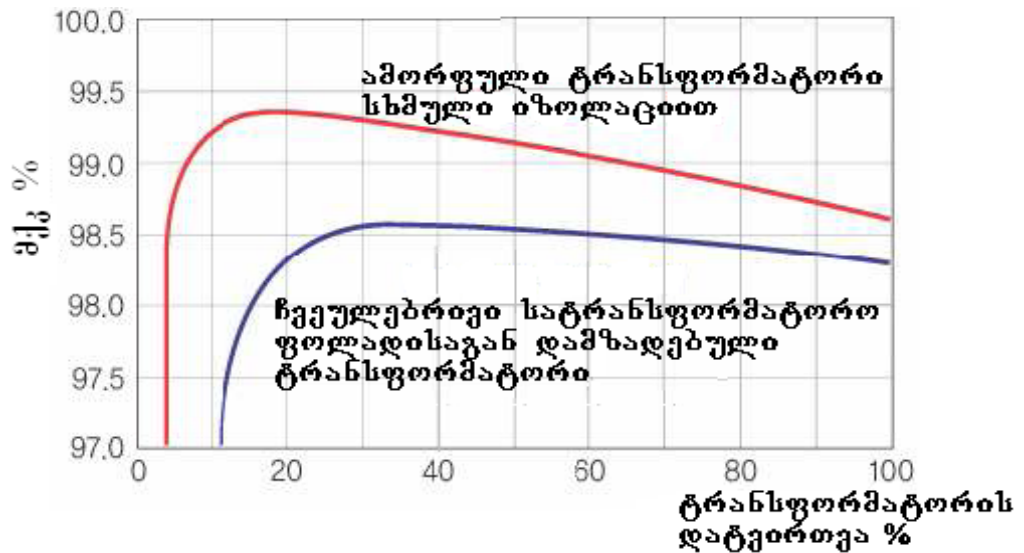
4.6. ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების მქკ-ების ურთიერთშედარება

ცხრილი № 23 - მქკ-ების ურთიერთშედარება სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის

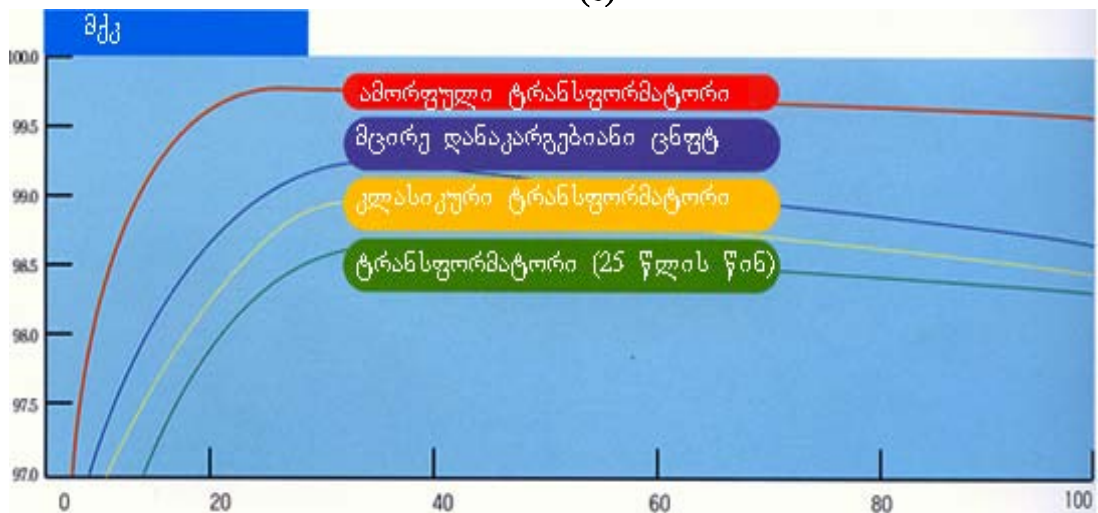
სიმძლავრე (კვტ)	ზეთით შევსებული ტრანსფორმატორის მქკ (%)		რეზინის იზოლაციის ტრანსფორმატორის მქკ (%)	
	ამორფული ლითონი	ფოლადი	ამორფული ლითონი	ფოლადი
100	98.20	97.60	97.96	97.30
200	98.40	97.80	98.28	97.80
300	98.49	98.00	98.51	98.00
400	98.64	98.10	98.61	98.10
500	98.68	98.20	98.75	98.30
600	98.71	98.30	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 №24 - მქკ-ების ურთიერთშედარება ტრანსფორმატორების დატვირთვის მიხედვით

დატვირთვის კოეფიციენტი (%)		30	50	70	100
მქკ (%)	ამორფული ტრანსფორმატორი 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



(ა)



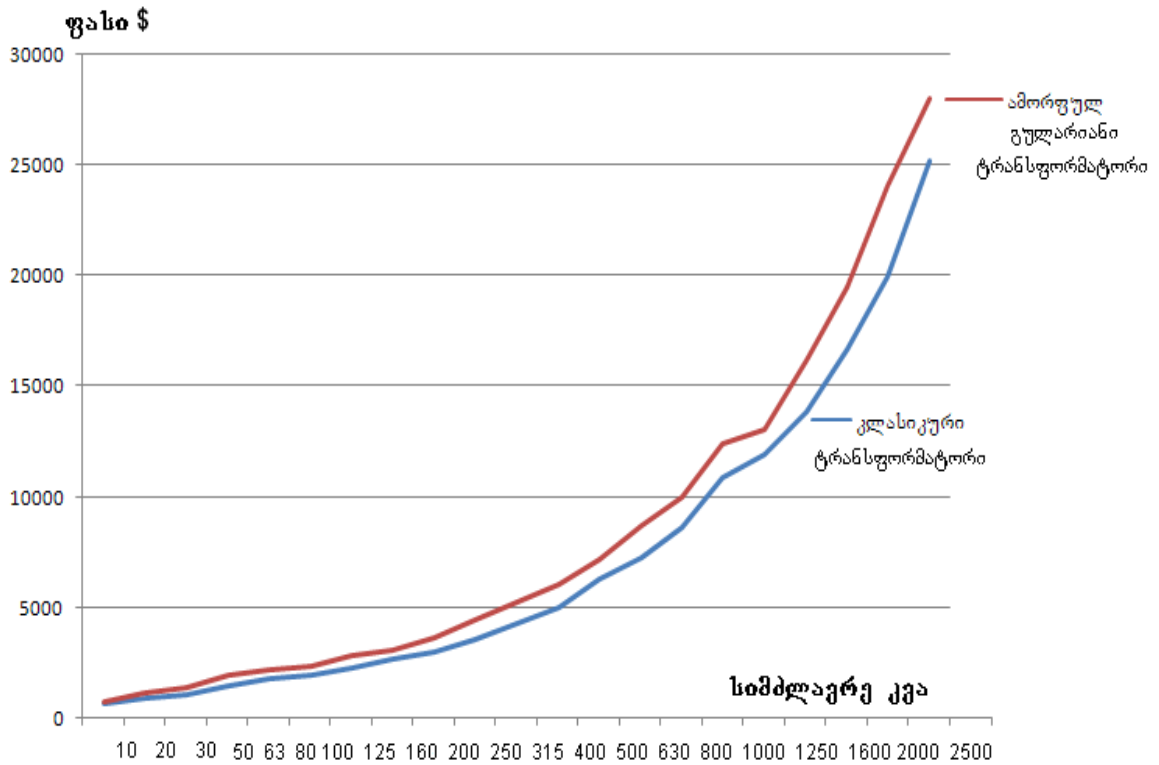
(ბ)

ნახ. № 53 - ტრანსფორმატორების მ.ქ.კ.-ების ურთიერთშედარება დატვირთვების მიხედვით

4.7. 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. 54 – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ღირებულებების ურთიერთშედარება

სრული თვითღირებულების გაანგარიშება (სთგ)

სრული			
თვითღირებულება =	ტრანსფორმატორის ფასი	+ (A x უქმი სვლის დანაკარგები)	+ (B x დანაკარგები დატვირთვაზე)
(სთგ)	(თავდაპირველი ღირებულება)	(დანაკარგები გულარაში)	(გრაგნილში დანაკარგები)

ანუ 2500 კვა სიმძლავრის ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორისათვის სრული თვითღირებულება დაახლოებით არის 47600 ლარი; ხოლო იმავე სიმძლავრის კლასიკური ტრანსფორმატორისათვის სრული თვითღირებულება დაახლოებით არის 43 050 ლარი.

ცხრილი № 25 – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების ფასების ურთიერთშედარება

სიმძლავრე KVA	კლასიკური ტრანსფორმატორი	ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორი
10	\$670	\$760
20	\$890	\$1150
30	\$1100	\$1440
50	\$1500	\$2000
63	\$1760	\$2220
80	\$1970	\$2360
100	\$2300	\$2850
125	\$2660	\$3100
160	\$3000	\$3680
200	\$3600	\$4450
250	\$4300	\$5220
315	\$5050	\$6040
400	\$6300	\$7200
500	\$7300	\$8750
630	\$8600	\$10000
800	\$10900	\$12400
1000	\$11900	\$13020
1250	\$13900	\$16200
1600	\$16700	\$19500
2000	\$20000	\$24100
2500	\$25200	\$28000

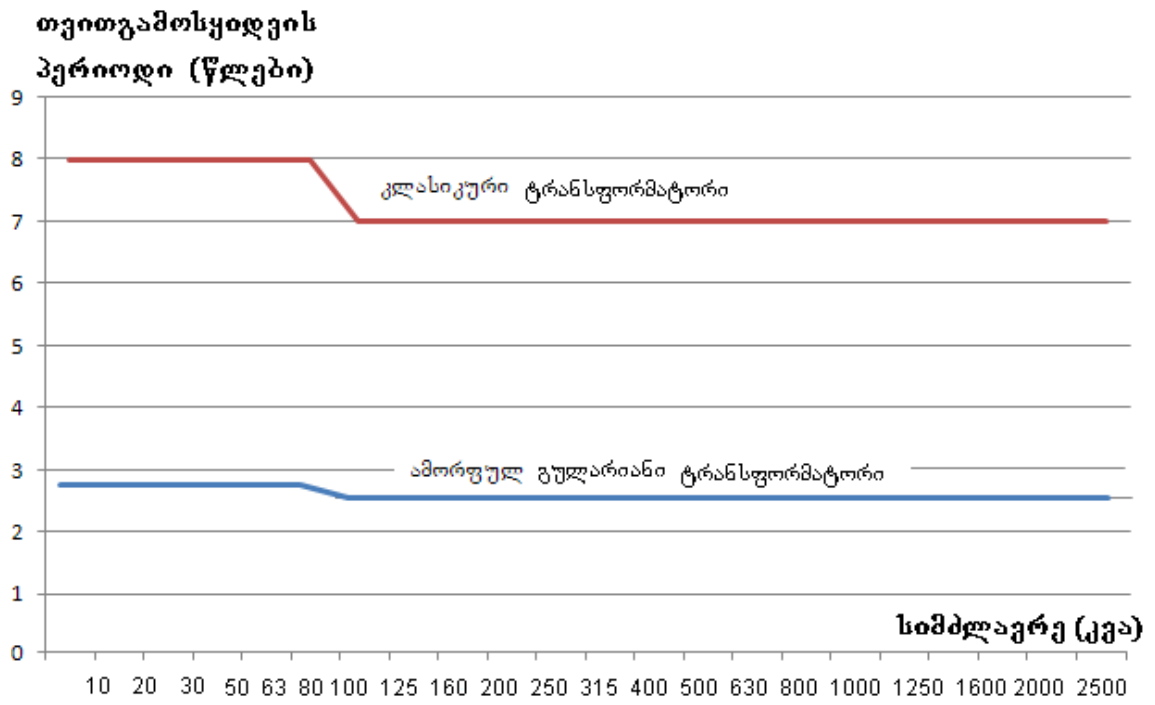
ცხრილი შედგენილია 1987 წლის ოქტომბერ-ნოემბერში ფირმა ABB-ს მიერ და შესაბამისად ცხრილში მოყვანილი ფასები არ შეესაბამება დღევანდელ რეალობას, თუმცა ეს ცხრილი იძლევა ტრანსფორმატორების სრული თვითღირებულების ანგარიშის ნათელ სურათს. [ლ. 21]

ცხრილი №26 – ამორფულმაგნიტურ გუალრიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების სრული თვითღირებულებების ურთიერთშედარება

სთდ (სრული თვითღირებულების) განმსაზღვრელი ფაქტორები	25კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორის ღირებულება	
	მცირე დანაკარგებიანი ფოლადი	ამორფული ლითონი
უქმი სვლის დანაკარგები	48 ვტ x\$5/ვტ \$240	18 ვტ x\$5/ვტ \$90
მ.შ. დანაკარგები	\$284 x\$1/ვტ \$284	249 ვტ x\$1/ვტ \$249
სრული დანაკარგები	\$525	\$339
თავდაპირველი ღირებულება	\$510	\$695
სრული თვითღირებულება	\$1034	\$1034

ეკონომიურად ეფექტიან ტრანსფორმატორებს არჩევენ თვითგამოსყიდვის პერიოდის მიხედვით, რომელიც იანგარიშება სრული თვითღირებულებისა და საწყისი ღირებულების მიხედვით.

შესაბამისად თვითგამოსყიდვის პერიოდის შეფასებისას გათვალისწინებულია ტრანსფორმატორის თავდაპირველი ღირებულება, სატრანსფორმატორო დანაკარგები და მუშაობის სავარაუდო ვადა. [ლ. 20].□



ნახ. 55 – ამორფულმაგნიტურ გულარიანი და კლასიკური ტრანსფორმატორების თვითგამოსყიდვის პერიოდი

ცხრილი № 27 - ამორფუმბაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორების ეკონომიკური შეფასება

ტრანსფორმატორის ტიპი და სიმძლავრე (კვა)	საშუალო დასაბრუნებელი ტრანსფორმაციის საშუალო ღირებულება	საშუალო დასაბრუნებელი (გტ)	საშუალო დასაბრუნებელი (გტ)	საშუალო დასაბრუნებელი (გტ)	განახლების საშუალო ღირებულება	შეცვლის საშუალო ღირებულება	რეკონსტრუქციის საშუალო ღირებულება	რეკონსტრუქციის საშუალო ღირებულება	რეკონსტრუქციის საშუალო ღირებულება
ერთფაზა	10	31	151	\$ 130	\$ 339	14	21		
	15	40	212	\$ 137	\$ 370	13	21		
	25	58	312	\$ 168	\$ 365	13	22		
	37,5	81	412	\$ 168	\$ 422	12	23		
	50	99	520	\$ 220	\$ 409	12	23		
სამფაზა	50	98	536	\$ 309	\$ 533	10	25		
	75	133	718	\$ 309	\$ 533	9	29		
	167	256	1350	\$ 314	\$ 623	7	32		
	225	396	1998	\$ 755	\$ 926	10	25		
	500	721	4021	\$ 1346	\$ 1410	14	20		
1000	1230	7246	\$ 1346	\$ 1410	10	25			
საშუალო წლოვანება						11,3	24,2		

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.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. გ. მახარაძე, ვ. ბეგიაშვილი, ბ. დარჩია “ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილება” თბილისი 2006 წ.
2. ვ. მეტრეველი, თ. თხელიძე, გ. მახარაძე, ზ. ბაბუნაშვილი “ძალოვანი ტრანსფორმატორები”, თბილისი 2002წ.
3. А. И. Долгинов “Техника высоких напряжений в электроэнергетике” Москва 1968 г.
4. თ. ჟვანია, ზ. ბაბუნაშვილი “მაღალი ძაბვის ტექნიკა ელექტროენერგეტიკაში”, თბილისი 2002 წ
5. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორები”, ჟურნალი “ენერჯია” № 4 (48), 2008 წ.
6. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “უქმ სვლაზე მომუშავე 10 კვ ძაბვის კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის გამორთვით გამოწვეული გადამტანების ურთიერთშედარება”, ჟურნალი “ენერჯია” № 4 (52)-2, 2009 წ.
7. ზ. ბაბუნაშვილი, ნ. გვარამაძე, გ. არზიანი “ფერორეზონანსი”, ჟურნალი “ენერჯია” №2 (50)-1, 2009 წ
8. შ. ნაჭყებია, ნ. გვარამაძე “კლასიკური ტრანსფორმატორისა და ამორფულმაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის ელექტრული, მაგნიტური და ეკონომიკური მახასიათებლების ურთიერთშედარება”, ჟურნალი “ენერჯია” № 2 (54), 2010 წ.
9. ე. ქუთელია, შ. ნაჭყებია “ამორფული მაგნიტური მასალები”, ჟურნალი “მეცნიერება და ტექნიკა” 1994 წ

10. <http://seedt.ntua.gr/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 20.09.2010
11. Dziura, J., Spalek, D., The cost of capitalized transformer – compromise between transformer producer and user, Conference “Transformator 2006”
12. Frost & Sullivan, European Transformer Markets, 2000
13. <http://iea.org/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 16.05.2010
14. <http://www.abb.com/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 19.11.2010
15. <http://www.vacuumschmelze.de/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 21.02.2011
16. <http://public.eurelectric.org/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 15.05.2010
17. <http://www.ieee.org/portal/site> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა 12.08.2010
18. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 26.08.2010
19. European Commission, *The scope for energy saving in the EU through the use of energy-efficient electricity distribution transformers*, December 1999
20. <http://transformers.copperwire.org> - უკანასკნელად გადამოწმებულ იქნა - 3.12.2010
21. SEEDT [Strategies for development and diffusion of Energy-efficient Distribution Transformers], Frangiskos Topalis, Wolfgang Irrek, Roman Targosz, Polish Cooper Promotion Centre, Wuppertal Institute 2008

დაწართი

Visual basic-ში დაწერილი ამორფულმაგნიტურ გულარიანი
და კლასიკური ტრანსფორმატორების ურთიერთშედარების
მათემატიკური მოდელი

Dim Sn1, Un1, Uk1, Ius1, DPk1, DPus1 As Double 'sawyisi monacemebi

Dim DSk1, DSus1, DQk1, DQus1, Inom1, RT1, XT1, GT1, BT1 As Single 'sadziebeli parametrebi

Dim BB1, HH1 As Single

Dim Price1 As Single

Dim Sn2, Un2, Uk2, Ius2, DPk2, DPus2 As Double 'sawyisi monacemebi

Dim DSk2, DSus2, DQk2, DQus2, Inom2, RT2, XT2, GT2, BT2 As Single 'sadziebeli parametrebi

Dim BB2, HH2 As Single

Dim Price2 As Single

Private Sub Command1_Click()

'<<<<<<<< klasikuri transformatori (1)

Sn1 = Val(Text1.Text) 'kVA

Un1 = Val(Text2.Text) 'kV

Uk1 = Val(Text3.Text) '%

Ius1 = Val(Text4.Text) '%

DPk1 = Val(Text5.Text) ' kW

DPus1 = Val(Text6.Text) 'kW

Inom1 = Sn1 / (Sqr(3) * Un1)

DSus1 = Sn1 * Ius1 / 100

DQus1 = Sqr(DSus1 ^ 2 - DPus1 ^ 2)

DSk1 = Sn1 * Uk1 / 100

DQk1 = Sqr(DSk1 ^ 2 - DPk1 ^ 2)

GT1 = DPus1 / Un1 ^ 2 * 0.001 'sim

BT1 = Ius1 * Sn1 / Un1 ^ 2 * 0.00001 'sim/km

XT1 = Uk1 * Un1 ^ 2 / Sn1 * 10

RT1 = DPk1 * Un1 ^ 2 / Sn1 ^ 2 * 1000

```
If Sn1 < 10 Then Price1 = 500
If Sn1 >= 10 And Sn1 < 20 Then Price1 = 760 '$
If Sn1 >= 20 And Sn1 < 30 Then Price1 = 1150 '$
If Sn1 >= 30 And Sn1 < 50 Then Price1 = 1440 '$
If Sn1 >= 50 And Sn1 < 63 Then Price1 = 2000 '$
If Sn1 >= 63 And Sn1 < 80 Then Price1 = 2220 '$
If Sn1 >= 80 And Sn1 < 100 Then Price1 = 2360 '$
If Sn1 >= 100 And Sn1 < 125 Then Price1 = 2850 '$
If Sn1 >= 125 And Sn1 < 160 Then Price1 = 3100 '$
If Sn1 >= 160 And Sn1 < 200 Then Price1 = 3680 '$
If Sn1 >= 200 And Sn1 < 250 Then Price1 = 4450 '$
If Sn1 >= 250 And Sn1 < 315 Then Price1 = 5220 '$
If Sn1 >= 315 And Sn1 < 400 Then Price1 = 6040 '$
If Sn1 >= 400 And Sn1 < 500 Then Price1 = 7200 '$
If Sn1 >= 500 And Sn1 < 630 Then Price1 = 8750 '$
If Sn1 >= 630 And Sn1 < 800 Then Price1 = 10000 '$
If Sn1 >= 800 And Sn1 < 1000 Then Price1 = 12400 '$
If Sn1 >= 1000 And Sn1 < 1250 Then Price1 = 13020 '$
If Sn1 >= 1250 And Sn1 < 1600 Then Price1 = 16200 '$
If Sn1 >= 1600 And Sn1 < 2000 Then Price1 = 19500 '$
If Sn1 >= 2000 And Sn1 < 2500 Then Price1 = 24100 '$
If Sn1 >= 2500 Then Price1 = 28000 '$

Picture1.Print " DSus ="; DSus1
Picture1.Print
Picture1.Print " DQus ="; DQus1
Picture1.Print
Picture1.Print " DSk ="; DSk1
Picture1.Print
Picture1.Print " DQk ="; DQk1
Picture1.Print
Picture1.Print " GT ="; GT1
Picture1.Print
Picture1.Print " BT ="; BT1
Picture1.Print
Picture1.Print " XT ="; XT1
```



```

Picture1.Print
Picture1.Print " RT ="; RT1
Picture1.Print
Picture1.Print " Price1 ="; Price1
'<<<<<<<<<< amorfuli transformatori
Sn2 = Val(Text7.Text) 'kVA
Un2 = Val(Text8.Text) 'kV
Uk2 = Val(Text9.Text) '%'
Ius2 = Val(Text10.Text) '%'
DPk2 = Val(Text11.Text) ' kW
DPus2 = Val(Text12.Text) 'kW
Inom2 = Sn2 / (Sqr(3) * Un2)

DSus2 = Sn2 * Ius2 / 100
DQus2 = Sqr(DSus2 ^ 2 - DPus2 ^ 2)
DSk2 = Sn2 * Uk2 / 100
DQk2 = Sqr(DSk2 ^ 2 - DPk2 ^ 2)
GT2 = DPus2 / Un2 ^ 2 * 0.001 'sim
BT2 = Ius2 * Sn2 / Un2 ^ 2 * 0.00001 'sim/km
XT2 = Uk1 * Un2 ^ 2 / Sn2 * 10
RT2 = DPk2 * Un2 ^ 2 / Sn2 ^ 2 * 1000

If Sn2 < 10 Then Price1 = 400
If Sn2 >= 10 And Sn2 < 20 Then Price2 = 670 '$
If Sn2 >= 20 And Sn2 < 30 Then Price2 = 890 '$
If Sn2 >= 30 And Sn2 < 50 Then Price2 = 1100 '$
If Sn2 >= 50 And Sn2 < 63 Then Price2 = 1500 '$
If Sn2 >= 63 And Sn2 < 80 Then Price2 = 1760 '$
If Sn2 >= 80 And Sn2 < 100 Then Price2 = 1970 '$
If Sn2 >= 100 And Sn2 < 125 Then Price2 = 2300 '$
If Sn2 >= 125 And Sn2 < 160 Then Price2 = 2660 '$
If Sn2 >= 160 And Sn2 < 200 Then Price2 = 3000 '$
If Sn2 >= 200 And Sn2 < 250 Then Price2 = 3600 '$
If Sn2 >= 250 And Sn2 < 315 Then Price2 = 4300 '$
If Sn2 >= 315 And Sn2 < 400 Then Price2 = 5050 '$

```

```

If Sn2 >= 400 And Sn2 < 500 Then Price2 = 6300 '$
If Sn2 >= 500 And Sn2 < 630 Then Price2 = 7300 '$
If Sn2 >= 630 And Sn2 < 800 Then Price2 = 8600 '$
If Sn2 >= 800 And Sn2 < 1000 Then Price2 = 10900 '$
If Sn2 >= 1000 And Sn2 < 1250 Then Price2 = 11900 '$
If Sn2 >= 1250 And Sn2 < 1600 Then Price2 = 13900 '$
If Sn2 >= 1600 And Sn2 < 2000 Then Price2 = 16700 '$
If Sn2 >= 2000 And Sn2 < 2500 Then Price2 = 20000 '$
If Sn2 >= 2500 Then Price2 = 25200 '$

Picture2.Print " DSus ="; DSus2
Picture2.Print
Picture2.Print " DQus ="; DQus2
Picture2.Print
Picture2.Print " DSk ="; DSk2
Picture2.Print
Picture2.Print " DQk ="; DQk2
Picture2.Print
Picture2.Print " GT ="; GT2
Picture2.Print
Picture2.Print " BT ="; BT2
Picture2.Print
Picture2.Print " XT ="; XT2
Picture2.Print
Picture2.Print " RT ="; RT2
Picture2.Print
Picture2.Print " Price2 ="; Price2

End Sub

Private Sub Command2_Click()
Picture1.Cls
Picture2.Cls
End Sub

```