

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მალხაზ ხახანოვი

ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების კვლევა

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ეფერ ატი

თბილისი
2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტროტექნიკის და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თ. კოხრიძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2023 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
აუდიტორია 805.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. მუდმივი დენის გამოყენება ძალოვან ზეგამტარულ წრედებში წარმოადგენს დიდ ინტერესს. ასე მაგალითად, ზეგამტარული მაგნიტების კვება, ენერჯის მაგროვებლები მოითხოვენ მუდმივ დენს, ენერჯის გადაცემას მუდმივი დენის ზეგამტარული კაბელით გააჩნია დიდი უპირატესობა, შედარებით ცვლად დენთან. ენერჯის შეყვანა ზეგამტარულ კაბელში ხორციელდება ძალოვანი ზეგამტარული გარდამქმნელებით. აქედან გამომდინარე, ძალოვანი კრიოტრონული გარდამქმნელების კვლევა წარმოადგენს აქტუალურ საკითხებს.

სამუშაოს მიზანი. გამოკვლევულ იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელები.

ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. დამუშავებული იქნეს ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული ტრანსფორმატორული ძალოვანი გამმართველი ნულოვანი გამომყვანით, ძალოვანი კრიოტრონების ბაზაზე.

2. მიღებული იქნეს ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები და შესწავლილი იქნეს მისი მუშაობის რეჟიმები.

3. შესწავლილი იქნეს სიმძლავრის დანაკარგები ამორფულ-ზეგამტარული გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილების სადენებში.

4. შესწავლილი იქნეს სიმძლავრის დანაკარგები ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში დამყარებული და გარდამავალი პროცესების საფუძველზე.

5. დამუშავებული იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების ექსპლუატაციის უსაფრთხოების სპეციალური საკითხები.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა მათემატიკური მოდელირების მეთოდები.

სამეცნიერო სიახლე:

1. შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული ტრანსფორმატორული გამმართველის კონსტრუქციაში ამორფული გულარისა და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენების გამოყენება, საშუალებას იძლევა შევამციროდ დანაკარგები და გავზარდოთ მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

2. იმასთან დაკავშირებით, რომ გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაფილი ასრულებს როლს ერთდროულად გადამრთველი ელემენტისა, ე.ი. ითავსებს კრიოტრონის გადამრთველი ელემენტის ფუნქციას, ყოველივე ამას მიყვავართ მთლიანობაში მოწყობილობის გაზარტის შემცირებაზე.

3. მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარული გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაფილების სადენებში სიმძლავრის სრული დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებები, რომელიც შეიცავს ჯამს ელექტრული დანაკარგებისა ზეგამტარის წინაღობაში, ელექტრული დანაკარგებისა ზეგამტარის მატრიცაში, გრიგალური და ჰისტერეზისული დანაკარგებისა ზეგამტარში.

შეფასებულია სიმძლავრის დანაკარგები ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში დამყარებული და გარდამავალი პროცესების საფუძველზე. მიღებულია სიმძლავრის დანაკარგების ძირითადი თანაფარდობები. საიდანაც ჩანს, რომ სიმძლავრის დანაკარგები დამოკიდებულია სქემის კონფიგურაციაზე და მის ყველა პარამეტრებზე, როგორცაა დატვირთვის ინდუქციურობა, გამმართველი ტრანსფორმატორის შტოების ინდუქციურობა და მკვებავი ცვლადი დენის სიხშირე. მათი გაზრდით იზრდება შესაბამისად დანაკარგები. პირიქით, გადამრთველი ელემენტის აქტიური წინაღობის გაზრდით ნორმალურ მდგომარეობაში მცირდება დანაკარგები.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების დაგეგმარების და დამზადების დროს.

აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა: II საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციაზე - „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, თბილისი,

საქართველო, 2020 წლის 7-10 დეკემბერი. ასევე, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში I, II, III კოლოქვიუმებზე და წინასწარ დაცვაზე სტუ-ის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტის გაფართოებულ სხდომაზე.

სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები გამოქვეყნებული იქნა ექვს სამეცნიერო სტატიაში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისა და 5 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 107 გვერდზე. ის შეიცავს 30 ნახაზს, 4 ცხრილს და 81 დასახელების ლიტერატურას.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია გამოსაკვლევ საკითხთა წრე, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

ნაშრომის პირველ თავში წარმოდგენილია ზეგამტარული ტრანსფორმატორული ძალოვანი გამმართველი სისტემის მაგნიტურ წრედში ამორფული შენადნობების გამოყენების თანამედროვე ტენდენციები. დამუშავებულია ძალოვანი კრიოტრონი ამორფული გულარით და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით. დამუშავებულია ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული ტრანსფორმატორული ძალოვანი გამმართველი ნულოვანი გამომყვანით. ჯერ განვიხილოდ ძალოვანი კრიოტრონი:

კრიოტრონი წარმოადგენს ზეგამტარული (ზგ) დენის გადამრთველს. კრიოტრონის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ზეგამტარის ფაზური მდგომარეობის ცვლილებაზე მაგნიტური ველის სიდიდესთან დამოკიდებულებაში.

პირველი კრიოტრონი, შემოთავაზებული ბაკის მიერ, წარმოადგენდა ზეგამტარულ სადენს, რომელიც იცვლიდა ფაზურ მდგომარეობას მაგნიტურ ველთან დამოკიდებულებაში, წარმოქმნილი მართვის გრაგნილით. მართვის დენის არარსებობის დროს ზგ სადენი იმყოფებოდა ზეგამტარულ ფაზურ მდგომარეობაში $R = 0$ წინააღობით, ხოლო მართვის დენის არსებობის დროს ზგ სადენი გადადიოდა ნორმალურ ფაზურ მდგომარეობაში წინააღობით $R = R_{\phi}$. გადამრთველი ელემენტის (გე) დიდი მოცულობასთან დაკავშირებით, რომელიც ბაკის კრიოტრონში წარმოადგენს ზგ სადენს, კრიოტრონის სწრაფქმედება იყო დაბალი და შეადგენდა მილიწამს.

კრიოტრონის მახასიათებლების გაუმჯობესება მიღწეული იქნა გე ზომების შემცირების გზით, გე შესრულება თხელი აფსკის გამოყენებით, რაც იყო განხორციელებული აფსკური კრიოტრონების კონსტრუქციებში.

ძალოვანი კრიოტრონის ეფექტურობა შეიძლება ამდლდეს ამორფული გულარის და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენების გამოყენებით. კრიოტრონის პრინციპული სქემა და მისი მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია ნახ. 1 და ნახ. 2.

კრიოტრონი შეიცავს მართვის გრაგნილს 1, შემაგნიტების გრაგნილს 2, წანაცვლების გრაგნილს 3, მუშა გრაგნილს 4, რომელიც წარმოადგენს გადამრთველ ელემენტს და ამორფულ გულარას 5.

მუშა გრაგნილი შესრულებულია ლოკალიზირებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებისაგან შევსების კოეფიციენტით $K_{შვს.} \ll 1$.

მართვის გრაგნილი წარმოადგენს ჩამკეტ გრაგნილს, რომელშიც ჩამკეტი დენი აჭარბებს გადამრთველი ელემენტის კრიტიკულ დენს და შესრულებულია მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებისაგან.

ჩამკეტი გრაგნილი იმართება დენური მართკუთხა ფორმის β სიგანის იმპულსით და შესრულებულია მრავალ-ძარღვიანი ზეგამტარული სადენებით, შევსების კოეფიციენტით $K_{შვს.} \approx 1$.

იმპულსის β დროის ინტერვალში კრიოტრონი ღიაა, $R_{კე} = 0$, დანარჩენ დროში კრიოტრონი ჩაკეტილია, $R_{კე} < R_{ტ}$.

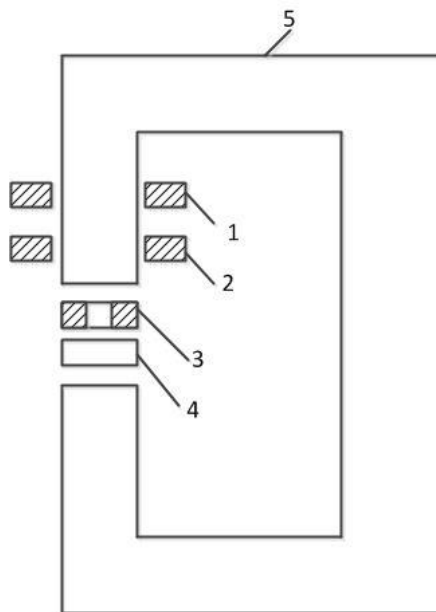
მართვის გრაგნილი 1 და შემაგნიტების გრაგნილი 2 განლაგებულია ამორფულ გულარაზე 5, ხოლო წანაცვლების გრაგნილი 3 და მუშა გრაგნილი 4 განლაგებულია ამორფულ გულარას 5 საჰაერო ღრეჩოში.

კრიოტრონი მუშაობს შემდეგი სახით:

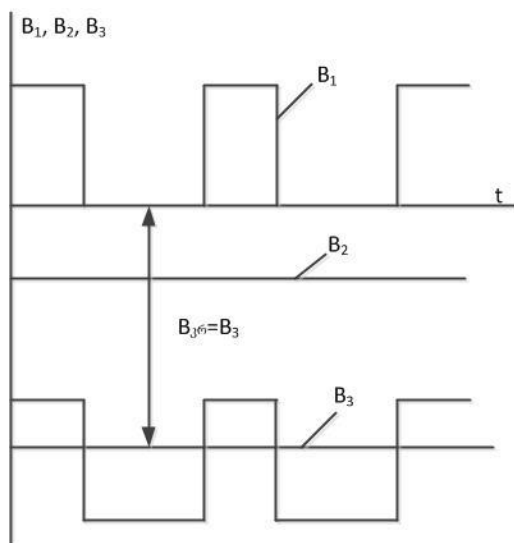
მართვის გრაგნილს 1 მიეწოდება დენის მართკუთხა იმპულსი პროპორციული B_1 ინდუქციის (ნახ.2), შემაგნიტების 2 გრაგნილს და წანაცვლების 3 გრაგნილს მიეწოდება მუდმივი სიგნალები, პროპორციული B_2 და B_3 ინდუქციებისა. B_1 , B_2 და B_3 ინდუქციები შეირჩევა იმგვარად, რომ

$$B_3 = B_{კრ}; B_1 = 2B_2 < B_{კრ}. \quad (1)$$

სადაც $B_{კრ}$ - მუშა გრაგნილის კრიტიკული ინდუქცია.



ნახ.1. კრიოტრონის პრინციპული სქემა



ნახ.2. კრიოტრონის მუშაობის პრინციპი

ჯამური ინდუქცია

$$B = B_1 + B_2 + B_3 \quad (2)$$

თუ $B < B_{კრ}$ კრიოტრონი ღიაა, ხოლო თუ $B > B_{კრ}$ კრიოტრონი ჩაკეტილია.

შემაგნიტების 2 გრაგნილი და წანაცვლების 3 გრაგნილი, როცა მართვადი სიგნალი არსებობს B_1 -ს გადაყავს კრიოტრონი ჩაკეტილ მდგომარეობაში. მართვადი B_1 სიგნალის არ არსებობის დროს კრიოტრონი ღიაა.

კრიოტრონის სიმძლავრე პირდაპირ პროპორციულია მუშა გრაგნილში გამავალი (ტრანსპორტული) დენისა. ის შეიძლება გაიზარდოს ტრანსპორტული დენის გაზრდით. მოცემული კრიოტრონის კონსტრუქციაში, აღნიშნული მიიღწევა ამორფული გულარისა და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენების გამოყენებით, მეორე მხრივ ტრანსპორტული დენის გაზრდა მოითხოვს მართვადი სიგნალის სიმძლავრის გაზრდას. მოცემულ შემთხვევაში წანაცვლების გრაგნილი შესრულებულია მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებით, შევსების კოეფიციენტით $K_{შვს.} \ll 1$, რომელიც საშუალებას იძლევა გაატაროს შესაბამისად გაზრდილი სიმძლავრის მართვადი სიგნალები. ამავე დროს ამორფული გულარას არსებობა კრიოტრონის კონსტრუქციაში საშუალებას იძლევა შევამციროდ მართვის გრაგნილის და შემაგნიტების გრაგნილის ამპერ-ხვეები და შესაბამისად გავზარდოთ კრიოტრონის სწრაფქმედება.

ძალოვანი კრიოტრონის კონსტრუქციაში ამორფული გულარას გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს მაგნიტურ დანაკარგებს. ასეთ გულარას გააჩნია შედარებით მაღალი საწყისი და მაქსიმალური შეღწევადობა და ასევე მაღალი გაჯერების ინდუქცია, მაღალი სიხშირეებზე მუშაობის დროს. ტრანსფორმატორის გულარაში გამოიყენება ამორფული ლენტა, რომელიც შედის: 78% - რკინა , 13% - ბორი და 9% - სილიციუმი.

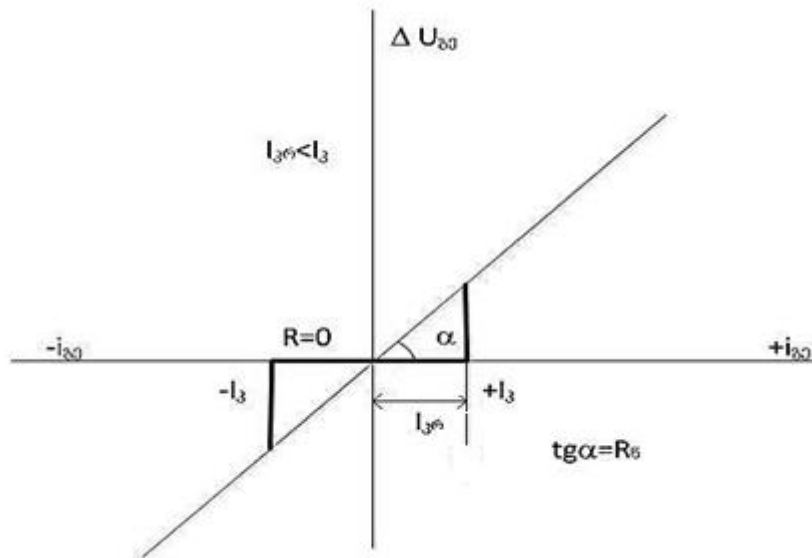
კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახ.3.

ვოლტამპერული მახასიათებლისგან განისაზღვრება კრიოტრონის დენი $I_{კრ} < I_3$, ძაბვის ვარდნა და დანაკარგები კრიოტრონის ჩაკეტილ მდგომარეობაში.

დანაკარგები ΔP კრიოტრონში შეადგენს:

$$\Delta P = \frac{U^2}{R_5} = \frac{U^2}{\rho_5 l} S = \frac{U^2 J}{\rho_5 j l} \quad (3)$$

სადაც ρ_{δ} - სადენის ხვედრითი წინაღობა ნორმალურ მდგომარეობაში, S და ℓ - მისი კვეთი და სიგრძე, U - ძაბვა, J -კრიოტრონის დენი, j -დენის სიმკვრივე.



ნახ.3. კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი

ფარდობითი დანაკარგები ტოლია:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{U}{\rho_{\delta} j \ell} \quad (4)$$

აღნიშნული გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ρ_{δ} დაბალი მნიშვნელობის დროს დანაკარგების შემცირებისათვის აუცილებელია U ძაბვის შემცირება.

კრიოტრონის ეფექტიანობის ამაღლებისათვის აუცილებელია გადამრთველი ელემენტის მოცულობის შემცირება, რაც შეიძლება მიღწეული იქნეს კრიოტრონის კონსტრუქციაში ამორფული გულარას გამოყენება და გადამრთველი ელემენტის გრაფნილის დამზადება ლოკალიზირებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენისაგან, ძარღვების დაბალი შევსების კოეფიციენტით და ძარღვებში მაქსიმალური დენების სიმკვრივეებით.

გადამრთველი ელემენტის მოცულობა:

$$V_{\Delta U} = S \ell \quad (5)$$

ვითვალისწინებთ, რომ

$$R_{\delta} = \rho_{\delta} \frac{\ell}{S} \text{ და } \ell = \frac{R_{\delta}}{\rho_{\delta}} \quad (6)$$

(5) გამოსახულებიდან გვექნება:

$$V_{\delta\delta} = \frac{R_{\delta}}{\rho_{\delta}} S^2, \quad (7)$$

სადაც სადენის კვეთი

$$S = \frac{I}{j} \quad (8)$$

(7) და (8) განტოლებებიდან მივიღებთ

$$V_{\delta\delta} = \frac{1}{\rho_{\delta} j^2} R_{\delta} I^2 \quad (9)$$

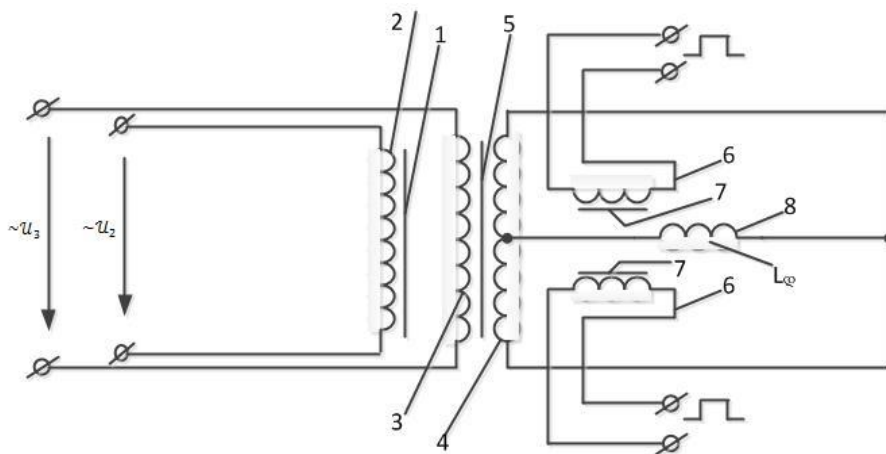
მოცემული დენის დროს, როგორც (8) და (9) გამოსახულებებიდან ჩანს გადამრთველი ელემენტის სადენების კვეთი და მოცულობა მცირდება დენის სიმკვრივის კვადრატის ზრდასთან ერთად. გადამრთველი ელემენტის დენის სიმკვრივე იზრდება ლოკალიზირებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენების გამოყენებით, რომლებიც შეიცავს ძარღვების მინიმალურ რიცხვს. გადამრთველი ელემენტის მოცულობის შემცირება აგრეთვე დაკავშირებულია მაღალი ხვედრითი წინაღობის ρ_{δ} სადენების გამოყენებასთან, რაც შეიძლება განხორციელდეს ლოკალური მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენების საშუალებით მაღალტემპე-რატურული ზეგამტარების საფუძველზე ძალოვანი კრიოტრონის ბაზაზე დამუშავებულია შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველი.

ნახ.4 ნაჩვენებია პრინციპული ელექტრული სქემა შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველის ნულოვანი გამომყვანით, მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით და ამორფული გულარებით. მოწყობილობა შეიცავს ამორფულ გულარას 1, რომლის კილოში მოთავსებულია აგზნების გრაგნილი 2, პირველადი 3 და მეორადი 4 გრაგნილები მოთავსებულია ერთ კილოში ერთი მეორის გვერდით ამორფულ გულარაზე 5. მართვის გრაგნილი 6 მოთავსებულია დამატებით ამორფულ გულარაზე 7. ზეგამტარული მაგნიტური სისტემა 8 შეერთებულია მეორადი გრაგნილის შუა წერტილთან.

მოწყობილობა მუშაობს შემდეგი სახით.

აგზნების გრაგნილის 2 ჩართვის დროს ცვლადი დენის ქსელში, ამორფულ გულარაში 1 წარმოიქმნება ძირითადი მაგნიტური ნაკადი, ხოლო პირველადი

გრაგნილში 3 დატვირთვის დენის გავლის დროს მეორად გრაგნილში 4 ინდუქცირდება ცვლადი ე.მ.ძ. და დენი მართვის გრაგნილის 6 საშუალებით მეორადი გრაგნილი 4 გადადის რეზისტულ მდგომარეობაში დენური მართკუთხა იმპულსებით იმგვარად, რომ დატვირთვაში 8 დენს ორივე ნახევარპერიოდის განმავლობაში გააჩნია ერთნაირი ნიშანი, ე.ი. ერთ ნახევარპერიოდში მეორადი გრაგნილის ერთი ნაწილი ღიაა, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში - მეორადი გრაგნილის მეორე ნაწილი ჩაკეტილია, რითაც ხდება დამუხტვის უზრუნველყოფა მუდმივი დენით ზეგამტარული მაგნიტური სისტემის 8.



ნახ.4. პრინციპული ელექტრული სქემა შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველის ნულოვანი გამომყვანით, მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით და ამორფული გულარებით

პირველადი 3 და მეორადი 4 გრაგნილებს გააჩნიათ ძლიერი მაგნიტური კავშირი ერთმანეთის მიმართ და შედარებით სუსტი მაგნიტური კავშირი აგზნების გრაგნილის 2 მიმართ.

დატვირთვის ცვლილება, შესაბამისად მეორად გრაგნილში არ აირეკლება აგზნების გრაგნილზე. აგზნების დენის გამორიცხვა უშუალოდ ძალოვან გრაგნილებში იძლევა შესაძლებლობას პირველადი და მეორადი გრაგნილების სრული მაკომპენსირებელი შესრულებისა ერთმანეთის მიმართ და აღნიშნული გრაგნილების ირგვლივ ყველა მაგნიტური ნაკადების შემცირებისა, რაც თავის მხრივ იწვევს მოწყობილობის დანაკარგების შემცირებას, დენგამტარუნარიანობის და სიმძლავრის გაზრდას.

გარდა ამისა, იმასთან დაკავშირებით, რომ მეორადი გრაგნილი ასრულებს როლს ერთდროულად გადამრთველი ელემენტისა, ე.ი. ითავსებს კრიოტრონის გადამრთველი ელემენტის ფუნქციას, ყოველივე ამას მივყავართ მთლიანობაში მოწყობილობის გაბარიტის შემცირებაზე.

მოცემული მოწყობილობაში დანაკარგების შემცირებისათვის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის ამაღლებისათვის აუცილებელია გადამრთველი ელემენტის მოცულობის შემცირება, რაც შეიძლება მიღწეული იქნეს მოწყობილობის კონსტრუქციაში ამორფული გულარების გამოყენება და გადამრთველი ელემენტის გრაგნილის დამზადება ლო კალიზირებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენისაგან, ძარღვების დაბალი შევსების კოეფიციენტით და ძარღვებში მაქსიმალური დენების სიმკვრივებით.

ნაშრომის მეორე თავში მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები, რომლებიც საშუალებას იძლევა პროცესების ანალიზისა, როგორც გარდამავალ, ისე სტაციონალურ რეჟიმებში. დადგენილია, რომ გამმართველი ტრანსფორმატორის თითოეული ზეგამტარული გრაგნილის აქტიური წინაღობა შედგება სამი მდგენელისაგან: აქტიური წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ელექტრულ დანაკარგებთან; ეკვივალენტური წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ჰისტერიზისულ დანაკარგებთან; წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში და ფუძემშრეში გრიგალურ დანაკარგებთან.

განხილულია გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის მუშაობის რეჟიმები: უქმი სვლის რეჟიმი, დატვირთვის რეჟიმი და მოკლე შერთვის რეჟიმი.

განტოლებების შედგენისათვის და ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის ჩატარებისათვის დამყარებულ და გარდამავალ რეჟიმებში, აუცილებელია პარამეტრების განსაზღვრა ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ძალოვან გამმართველ ტრანსფორმატორში ნახ. 4. როგორცაა მისი აქტიური წინაღობები და ინდუქციურობები.

აქტიური წინაღობები ზეგამტარული ტრანსფორმატორის (ზგტ) დაკავშირებულია თბური დანაკარგების გამოყოფასთან ზეგამტარულ

გრაფიკებში, როცა მასში გადის ცვლადი დენი, აგრეთვე მაგნიტოგამტარში (ამორფული გულარას არსებობის დროს), როცა მასში აგიზნება ცვლადი მაგნიტური ველი.

ინდუქციურობები და ინდუქციური წინაღობები ზგტ დაკავშირებულია განზნევის არხში განზნევის მაგნიტური ველების წარმოშობასთან, შექმნილი დატვირთვის დენებით და მაგნიტოგამტარში აგზნების მაგნიტური ველებით, შექმნილი დამაგნიტების დენებით.

აქტიური წინაღობები თითოეული ზგტ გრაფიკების შედგენა სამი მდგენელისაგან:

1. აქტიური წინაღობა - ΔR , დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ელექტრულ დანაკარგებთან;

2. ეკვივალენტური წინაღობა - $\Delta R_{\text{ჰ}}$, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ჰისტერეზისულ დანაკარგებთან;

3. წინაღობა - $\Delta R_{\text{გ}}$, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში და ფუძემშრეში გრიგალურ დანაკარგებთან.

შესაბამისად, სრული აქტიური წინაღობებისათვის მუშა და აგზნების გრაფიკებისათვის შესაბამისად გვექნება:

$$r_3 = \Delta R_3 + \Delta R_{3\text{ჰ}} + \Delta R_{3\text{გ}}$$

$$r_4 = \Delta R_4 + \Delta R_{4\text{ჰ}} + \Delta R_{4\text{გ}}$$

$$r_2 = \Delta R_2 + \Delta R_{2\text{ჰ}} + \Delta R_{2\text{გ}}$$

წინაღობები პირველადი, მეორადი და აგზნების გრაფიკების იქნება შესაბამისად - $\Delta R_3, \Delta R_4, \Delta R_2$.

წინაღობები, სადაც გათვალისწინებულია ჰისტერეზისული დანაკარგები პირველადი, მეორადი და აგზნების გრაფიკებში შესაბამისად - $\Delta R_{3\text{ჰ}}, \Delta R_{4\text{ჰ}}, \Delta R_{2\text{ჰ}}$

წინაღობები, სადაც გათვალისწინებულია გრიგალური დანაკარგები პირველადი, მეორადი და აგზნების გრაფიკებში შესაბამისად - $\Delta R_{3\text{გ}}, \Delta R_{4\text{გ}}, \Delta R_{2\text{გ}}$.

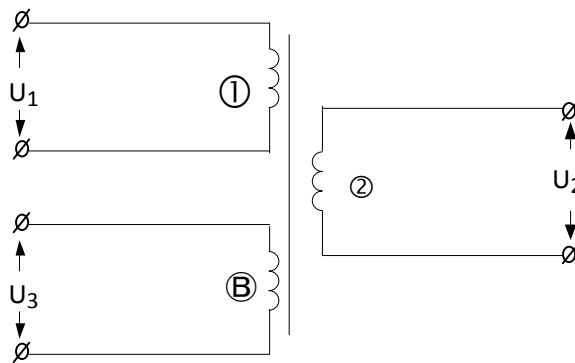
როცა განიხილება ზგტ ცალკე აგზნების გრაფიკით, როგორც სამგრაფილა ტრანსფორმატორი, აუცილებელია განისაზღვროს ცხრა ინდუქციურობები. თუმცა გამარტივებული მიდგომის შემთხვევაში, შეიძლება შემოვიფარგლოდ ინდუქციურობების ნაკლები რიცხვით, სახელდობრ:

L_{3S} , L_{4S} - განზნევის ინდუქციურობები პირველადი და მეორადი გრაგნილების.

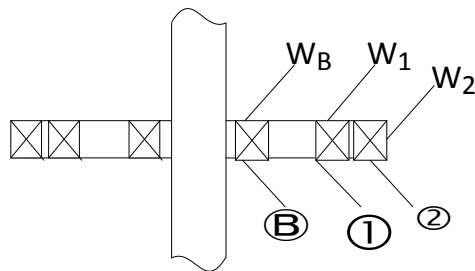
L_{2S} - განზნევის ინდუქციურობა აგზნების გრაგნილის.

M- ურთიერთინდუქციურობა პირველადი (მეორადი) გრაგნილებს და აგზნების გრაგნილს შორის.

შემდგომში მოხერხებულობისათვის ნახ. 4. ზგტ-ის პირველადი გრაგნილი ავლნიშნოთ - ①, მეორადი გრაგნილი - ② და აგზნების გრაგნილი - ③



ნახ. 5. ზგ ტრანსფორმატორის სქემა, ცალკე აგზნების გრაგნილით



ნახ. 6. გრაგნილების განლაგება ზგტ-ში, ცალკე აგზნების გრაგნილით

ნახ. 5. და ნახ. 6 - წარმოდგენილია სქემა და გრაგნილების განლაგება ზგტ-ში ცალკე აგზნების გრაგნილით.

აგზნების გრაგნილი B ხვეების რიცხვით W_B იმყოფება ახლოს ამორფულ გულარასთან, პირველადი 1 და მეორადი 2 გრაგნილები ხვეების რიცხვით W_1 და W_2 იმყოფება გარკვეული დაშორებით აგზნების გრაგნილიდან და განლაგებულია ერთმანეთის მიმართ ახლოს.

ჩვეულებრივ ორგრაგნილა ტრანსფორმატორში პირველადი გრაგნილი ითავსებს დანიშნულებას ძალოვანი გრაგნილის და აგზნების გრაგნილის.

ამასთან დაკავშირებით, დენი პირველად გრაგნილში დატვირთვის რეჟიმში შედგება ორი მდგენელისაგან: აგზნების დენი, რომელიც წარმოშობს ძირითად მაგნიტურ ნაკადს ტრანსფორმატორის ამორფულ მაგნიტოგამტარში, და დატვირთვის დენი, რომელიც აკომპენსირებს მეორადი გრაგნილის დენს.

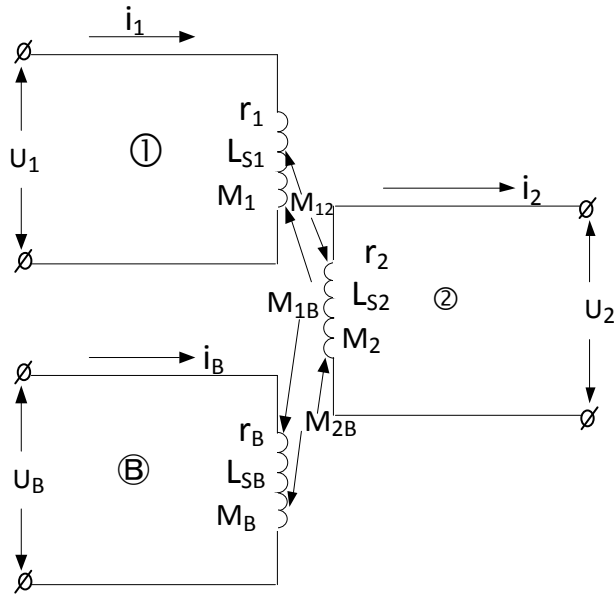
ზეგამტარული ტრანსფორმატორის პირველადი მხარე, როგორც იყო აღნიშნული, შესრულებულია ორი გრაგნილით, ამავე დროს 1 გრაგნილში უნდა გაიაროს მხოლოდ დატვირთვის დენმა, აგზნების გრაგნილში - მხოლოდ აგზნების დენმა.

ვითვალისწინებთ, რომ ყველა სამი გრაგნილი ზგტ-ში მაგნიტურად კავშირშია ერთმანეთთან, განაწილება დენების და სიმძლავრეების დამოკიდებულია გრაგნილების პარამეტრებზე და მოთხოვნილი განაწილება დენების და სიმძლავრეების აღიძვრება მხოლოდ გარკვეულ პირობებში და გრაგნილების პარამეტრების თანაფარდობისას.

მითითებული თანაფარდობის მიღებისათვის აუცილებელია გამოვიდეთ სამ გრაგნილიანი ტრანსფორმატორის ზოგადი განტოლებებიდან. გარკვეული დაშვებების დროს, საანგარიშო სქემა სამ გრაგნილა ტრანსფორმატორის მიიღებს სახეს, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 7. შემდგომში მიღებულია შემდეგი დაშვებები: 1) წრედი შეიცავს მხოლოდ აქტიურ და ინდუქციურ წინაღობას, ტევადური დენები გამორიცხულია; 2) გრაგნილების ყველა პარამეტრები მუდმივია, და წრედი წრფივია; 3) ზოგადი გადაწყვეტის მიღებისათვის, გრაგნილებს გააჩნია აქტიური წინაღობები: r_1, r_2, r_B .

ზეგამტარული ტრანსფორმატორის გრაგნილებისათვის ელექტრული წონასწორობის განტოლებას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= r_1 i_1 + (L_{S1} + M_1) \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} + M_{1B} \frac{di_B}{dt} \\
 -U_2 &= r_2 i_2 + (L_{S2} + M_2) \frac{di_2}{dt} + M_{21} \frac{di_1}{dt} + M_{2B} \frac{di_B}{dt} \\
 U_B &= r_B i_B + (L_{SB} + M_B) \frac{di_B}{dt} + M_{B1} \frac{di_1}{dt} + M_{B2} \frac{di_2}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$



ნახ.7. საანგარიშო სქემა ზგტ ცალკე აგზნების გრაგნილით

(10) განტოლებებში r_1, r_2, r_B -გრაგნილების აქტიური წინაღობები; L_{S1}, L_{S2}, L_{SB} -გრაგნილების განზნევის ინდუქციურობები; $M_1, M_2, M_B, M_{1B}, M_{2B}$ -ურთიერთინდუქციურობების კოეფიციენტები.

ინდუქციურობების კოეფიციენტებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= W_1^2 \Lambda = M \\
 M_2 &= W_2^2 \Lambda \\
 M_B &= W_B^2 \Lambda_B \\
 M_{12} &= M_{21} = W_1 W_2 \Lambda_{12} \\
 M_{1B} &= M_{B1} = W_1 W_B \Lambda_{1B} \\
 M_{2B} &= M_{B2} = W_2 W_B \Lambda_{2B} \\
 L_{S1} &= W_1^2 \Lambda_{S1} \\
 L_{S2} &= W_2^2 \Lambda_{S2} \\
 L_{SB} &= W_B^2 \Lambda_{SB}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

(11) განტოლებებში, $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_B, \Lambda_{12}, \Lambda_{1B}, \Lambda_{2B}, \Lambda_{S1}, \Lambda_{S2}, \Lambda_{SB}$ -შესაბამისი გრაგნილების მაგნიტური გამტარობები, ზოგად შემთხვევაში განსხვავდებიან ერთმანეთისგან; W_1, W_2, W_B -ხვიათა რიცხვები პირველადი, მეორადი გრაგნილების და აგზნების გრაგნილის.

ანგარიშის გამარტივებისათვის, მათ შორის, როცა 1 და 2 გრაგნილები განლაგებულია ახლოს ერთმანეთისაგან (ნახ. 6.), შეიძლება დაუშვათ:

$$\begin{aligned}\Lambda_1 &= \Lambda_2 = \Lambda_{12} = \Lambda \\ \Lambda_{1B} &= \Lambda_{2B} = \Lambda_B\end{aligned}\quad (12)$$

(12) თანაფარდობის გათვალისწინებით (11) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned}M_1 &= W_1^2 \Lambda \\ M_2 &= W_2^2 \Lambda \\ M_B &= W_B^2 \Lambda_B \\ M_{12} &= M_{21} = W_1 W_2 \Lambda \\ M_{1B} &= M_{B1} = W_1 W_B \Lambda_B \\ M_{2B} &= M_{B2} = W_2 W_B \Lambda_B\end{aligned}\quad (13)$$

(11-13) თანაფარდობის გათვალისწინებით (10) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\begin{aligned}U_1 &= r_1 i_1 + W_1^2 \Lambda_{S1} \frac{di_1}{dt} + W_1^2 \Lambda \frac{di_1}{dt} + W_1 W_2 \Lambda \frac{di_2}{dt} + W_1 W_B \Lambda_B \frac{di_B}{dt} \\ -U_2 &= r_2 i_2 + W_2^2 \Lambda_{S2} \frac{di_2}{dt} + W_2^2 \Lambda \frac{di_2}{dt} + W_2 W_1 \Lambda \frac{di_1}{dt} + W_2 W_B \Lambda_B \frac{di_B}{dt} \\ U_B &= r_B i_B + W_B^2 \Lambda_{SB} \frac{di_B}{dt} + W_B^2 \Lambda_B \frac{di_B}{dt} + W_B W_1 \Lambda_B \frac{di_1}{dt} + W_B W_2 \Lambda_B \frac{di_2}{dt}\end{aligned}\quad (14)$$

შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$k_{1B} = \frac{W_1}{W_B} - \text{ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი პირველად გრაგნილსა და}$$

აგზნების გრაგნილს შორის;

$$k_{12} = \frac{W_1}{W_2} - \text{ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი პირველად და მეორად გრაგნილს}$$

შორის;

$$i_2' = -\frac{1}{k_{12}} i_2, \quad i_B' = \frac{1}{k_{1B}} i_B\quad (15)$$

i_B' - დაყვანილი აგზნების დენი პირველად გრაგნილთან.

i_2' - დაყვანილი მეორადი დენი პირველად გრაგნილთან.

თუ დავიყვანთ ყველა სიდიდეებს მეორადი გრაგნილის და აგზნების გრაგნილის პირველად გრაგნილთან, გავითვალისწინებთ (14) და (15) განტოლებებს, გარდაქმნების შემდეგ, მივიღებთ შემდეგ განტოლებებს ზგტ-ისათვის:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= r_1 i_1 + L_{S1} \frac{di_1}{dt} + M \frac{(i_1 - i_2')}{dt} + kM \frac{di_B'}{dt} \\
 U_2' &= -r_2' i_2' - L_{S2} \frac{di_2'}{dt} + M \frac{d(i_1 - i_2')}{dt} + kM \frac{di_B'}{dt} \\
 U_B' &= -r_B' i_B' - L_{SB} \frac{di_B'}{dt} + kM \frac{d(i_1 - i_2' + i_B')}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

(16) განტოლებებში გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები:

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{\Lambda_B}{\Lambda} \\
 U_2^1 &= -k_{12} U_2 \\
 U_B' &= k_{1B} U_B \\
 L_{S2}' &= k_{12}^2 L_{S2} \\
 L_{SB}' &= k_{1B}^2 L_{SB} \\
 r_2' &= k_{12}^2 r_2 \\
 r_B' &= k_{1B}^2 r_B
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

(16) განტოლება აღწერს გარდამავალ პროცესს ზგტ-ში. ვღებულობთ აღნიშვნას $P = \frac{d}{dt}$, გარკვეული აღნიშვნების შემდეგ (16) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= r_1 i_1 + PL_{S1} i_1 + PM(i_1 - i_2') + PkM(i_1 - i_2' + i_B') \\
 -U_2' &= -r_2' i_2' - PL_{S2}' i_2' + P(1 - k)M(i_1 - i_2') + PkM(i_1 - i_2' + i_B') \\
 U_B' &= r_B' i_B' - PL_{SB}' i_B' + kPM(i_1 - i_2' + i_B')
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

თუ ავღნიშნავთ $\omega M = X_M$, მაშინ სტაციონალური რეჟიმებისათვის განტოლებას კომპლექსურ ფორმაში ექნება შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned}
\underline{U}_1 &= r\underline{I}_1 + jX_{S1}\underline{I}_1 + j(1-k)X_M(\underline{I}_1 - \underline{I}'_2) + jkX_M(\underline{I}_1 - \underline{I}'_2 + \underline{I}'_B) \\
-\underline{U}'_2 &= r'_2\underline{I}'_2 + jX_{S2}\underline{I}'_2 - j(1-k)X_M(\underline{I}_1 - \underline{I}'_2) - jkX_M(\underline{I}_1 - \underline{I}'_2 + \underline{I}'_B) \\
\underline{U}'_B &= r'_B\underline{I}'_B + jX_{SB}\underline{I}'_B + jkX_M(\underline{I}_1 - \underline{I}'_2 + \underline{I}'_B)
\end{aligned} \tag{19}$$

თუ დაუშვებთ, რომ $k=0$ და $I_B=0$, მივიღებთ ჩვეულებრივი ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის განტოლებებს.

ვითვალისწინებთ, რომ

$$\begin{aligned}
\underline{I}_1 &= \underline{I}'_2 + \underline{I}_{D1} \\
\underline{I}_{D2} &= \underline{I}_1 - \underline{I}'_2 + \underline{I}_B \\
Z_1 &= r_1 + jX_{S1} \\
Z'_2 &= r_2 + jX'_{S2} \\
Z'_B &= r'_B + jX'_{BS}
\end{aligned} \tag{20}$$

(19) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\begin{aligned}
\underline{U}_1 &= Z_1\underline{I}_1 + j(1-k)X_M\underline{I}_{D1} + jkX_M\underline{I}_{D2} \\
-\underline{U}'_2 &= Z'_2\underline{I}'_2 - j(1-k)X_M\underline{I}_{D1} - jkX_M\underline{I}_{D2} \\
(21) \\
\underline{U}'_B &= Z'_B\underline{I}'_B + jkX_M\underline{I}_{D2}
\end{aligned}$$

სადაც

$$\begin{aligned}
\underline{I}_{D1} &= \underline{I}_1 - \underline{I}'_2 \\
\underline{I}_{D2} &= \underline{I}_{D1} + \underline{I}'_B
\end{aligned}$$

გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ (18) განტოლება, როცა გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორი მუშაობს აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
U_1 &= (r_1 + PL_1)i_1 - PMi_2' + PkMi_B' \\
0 &= PMi_1 - [(r_2' + r_H') + P(L_2' + L_H')]i_2' + PkMi_B' \\
U_B' &= PkMi_1 - PkMi_2' + (r_B' + PL_B')i_B'
\end{aligned} \tag{22}$$

r_H', L_H' -დატვირთვის აქტიური წინაღობა და ინდუქციურობა დაყვანილი პირველად გრაგნილთან.

მიღებული ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები საშუალებას იძლევა პროცესების ანალიზისა, როგორც გარდამავალ, ისე სტაციონალურ რეჟიმებში.

მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში სტაციონარული პროცესების განტოლებები მატრიცულ ფორმაში. განტოლებების ამოხსნის შედეგად მიღებულია გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის გრაგნილების სიმძლავრეების ძირითადი თანაფარდობები უქმი სვლის რეჟიმში.

ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული ძალოვანი გამმართველის განტოლებას მატრიცულ ფორმაში გააჩნია შემდეგი სახე:

$$[u] = [Z][i]$$

სადაც:

$$[u] = \begin{bmatrix} u_1 \\ 0 \\ u_B \end{bmatrix}; \quad [i] = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2' \\ i_B' \end{bmatrix} \tag{23}$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} r_1 + PL_1 & -PM & PkM \\ PM & -(r_2' + PL_2') & PkM \\ PkM & -PkM & r_B' + PL_B' \end{bmatrix} \tag{24}$$

(23) განტოლების ამონახსნას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$[i] = [u][Y]$$

სადაც

$[Y]$ – გამტარობების მატრიცა, შებრუნებულია $[Z]$:

$$[Y] = [Z]^{-1}$$

გამტარობების მატრიცისათვის მივიღებთ შემდეგ მნიშვნელობას:

$$[Y] = \begin{bmatrix} \frac{\Delta_{11}}{\Delta} & -\frac{\Delta_{21}}{\Delta} & \frac{\Delta_{31}}{\Delta} \\ -\frac{\Delta_{12}}{\Delta} & \frac{\Delta_{22}}{\Delta} & -\frac{\Delta_{23}}{\Delta} \\ \frac{\Delta_{13}}{\Delta} & -\frac{\Delta_{23}}{\Delta} & \frac{\Delta_{33}}{\Delta} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Δ – $[Z]$ მატრიცის მსაზღვრელი;

$\Delta_{12} = \Delta_{21}, \Delta_{13} = \Delta_{31}, \Delta_{23} = \Delta_{32}$ – $[Z]$ მატრიცის მსაზღვრელის შესაბამისი მინორები.

აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის განტოლება სტაციონალურ რეჟიმში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\begin{aligned} \underline{u}_1 &= (r_1 + jX_1)I_1 + jX_M I_2' + jkX_M I_B' \\ 0 &= jX_M I_1 - [r_2' + r_H + j(X_2' + X_H')]I_2' + jkX_M I_B' \\ \underline{u}_B &= jkX_M I_1 - jkX_M I_2' + (r_B' + jX_B')I_B' \end{aligned} \quad (26)$$

სადაც: $k = \frac{\Lambda_B}{\Lambda}$; $\Lambda_B, \Lambda = \Lambda_1 = \Lambda_2 = \Lambda_{12}$ – ტრანსფორმატორის შესაბამისად აგზნების, პირველადი და მეორადი გრაგნილის მაგნიტური გამტარობები.

$$X_1 = X_{S1} + X_M$$

$$X_2' = X_{S2}' + X_M$$

$$X_B' = X_{SB}' + kX_M$$

(26) განტოლების საფუძველზე განვიხილოდ უქმი სვლის რეჟიმი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის. დაუშვათ, რომ ტრანსფორმატორის გრაგნილები იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში, $r_1 = r_B' = 0, I_2' = 0$, მაშინ (26) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\underline{u}_1 = j(X_{S1} + X_M)I_{10} + jkX_M I_B' \quad (27)$$

$$\underline{u}_B' = jkX_M I_{10} + (X_{SB}' + X_M k)I_B'$$

(27) განტოლებების ამოხსნის შემდეგ გვექნება:

$$\underline{I}_{10} = -j \frac{X_{SB} \underline{U}_1 + k X_M (\underline{U}_1 - \underline{U}_B)}{(X_{S1} + X_M)(X_{SB} + k X_M) - k^2 X_M^2} \quad (28)$$

$$\underline{I}'_B = -j \frac{X_{S1} \underline{U}'_B + X_M (\underline{U}_B - k \underline{U}_1)}{(X_{S1} + X_M)(X_{SB} + k X_M) - k^2 X_M^2} \quad (29)$$

(28) განტოლებიდან მივიღებთ პირობას, მისი მრიცხველის ნულთან გატოლების შემთხვევაში

$$\underline{U}_B = \frac{W_B}{W_1} \left(1 + \frac{1}{k} \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \underline{U}_1 \quad (30)$$

აღნიშნულ შემთხვევაში, $\underline{I}_{10} = 0$, $\underline{I}_B = -j \frac{\underline{U}_1}{k X_M}$

მაგნიტური ნაკადი ამორფულ მაგნიტოგამტარში აგიზნება მხოლოდ \underline{I}_B დენით.

(30) პირობიდან გამომდინარეობს:

1. თუ აგზნების გრაგნილს შევასრულებთ მინიმალური განზნევის ინდუქციურობით $X_{SB} = 0$, როცა $\underline{I}_{10} = 0$ მაშინ:

$$\underline{U}_B = \underline{U}_1 \frac{W_B}{W_1} \quad (31)$$

2. თუ $k=1$, ესე იგი ყველა გრაგნილები განლაგებულია ახლოს ამორფულ მაგნიტოგამტართან, მაშინ:

$$\underline{U}_B = \left(1 + \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \frac{W_B}{W_1} \underline{U}_1 \quad (32)$$

(30-32) განტოლებებიდან გამომდინარეობს, რომ აგზნების გრაგნილი უნდა იკვებებოდეს ძაბვით, რომლის ფაზა უნდა ემთხვეოდეს პირველადი გრაგნილის ძაბვის ფაზას, მაგრამ ის უნდა განსხვავდებოდეს სიდიდის მიხედვით. კერძო შემთხვევაში, თუ პირველადი გრაგნილის და აგზნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვები ერთმანეთის ტოლია, $W_B = W_1$, (30-32) -დან მივიღებთ:

$$\underline{U}_B = \left(1 + \frac{1}{k} \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \underline{U}_1 \quad (33)$$

როცა $X_S \approx 0$, $\underline{U}_B = \underline{U}_1$, ესე იგი აგზნების გრაგნილი შეიძლება უშუალოდ შევეერთოდ პარალელურად პირველად გრაგნილთან;

როცა $k=1$ (31) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\underline{U}_B = \left(1 + \frac{X_{SB}}{X_M}\right) \underline{U}_1 \quad (34)$$

ზგტ-ის აგზნების გრაგნილის სიმძლავრე

$$S_B = E_B I_B \quad (35)$$

სადაც: - ე.მ.ძ., ინდუქციურებული აგზნების გრაგნილში

$$E_B = 4,44 f W_B \Phi_{BM} \quad (36)$$

I_B - აგზნების გრაგნილის დენი;

W_B - აგზნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვი;

$$I_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{H_B \ell_{cp}}{W_B} \quad (37)$$

ℓ_{cp} - ამორფული მაგნიტოგამტარის სიგრძე;

H_B - ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ველის დაძაბულობა

Φ_{BM} - ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ნაკადი;

$$\Phi_{BM} = B_B S_{cep} \quad (38)$$

S_{cep} - ამორფული მაგნიტოგამტარის კვეთი;

ჩავსვათ (36-38), განტოლებაში (36) მივიღებთ:

$$S_B = \frac{4,44}{\sqrt{2}} B_B H_B f S_{cep} \ell_{cp} \quad (39)$$

გავითვალისწინოთ, რომ $V = S_{cep} \ell_{cp}$; V - ამორფული მაგნიტოგამტარის მოცულობა:

$$S_B = \pi B_B H_B f V \quad (40)$$

ზგტ-ის ამორფული მაგნიტოგამტარის ერთეულ მოცულობაზე მოსული სიმძლავრე

$$\frac{S_B}{V} = \pi B_B H_B f \quad (41)$$

B_B და H_B - ამორფული მაგნიტოგამტარში ინდუქციისა და მაგნიტური ველის დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა. H_B მნიშვნელობისათვის გვექნება (37 განტოლების თანახმად)

$$H_B = \frac{\sqrt{2} I_B W_B}{\ell_{cp}} = \sqrt{2} \frac{I_B W_B S_{oB}}{S_{oB} \ell_{cp}} \quad (42)$$

S_{oB} - აგზნების გრაგნილის კვეთი.

ვითვალისწინებთ, რომ $j_{oB} = \frac{I_B W_B}{S_{oB}}$ და $\frac{S_B}{\ell} = \Delta_{oB}$ (43)

განტოლებიდან მივიღებთ:

$$H_B = \sqrt{2} j_{oB} \Delta_{oB} \quad (44)$$

j_{oB} - აგზნების დენის სიმკვრივე;

Δ_{oB} - აგზნების გრაგნილის სიგანე.

ჩავსვათ (44), განტოლებაში (40) აგზნების გრაგნილის სიმძლავრისათვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას:

$$S_B = \sqrt{2} \pi \Delta_{oB} B_{oB} j_{oB} V \quad (45)$$

$$\frac{S_B}{V} = \sqrt{2} \pi \Delta_{oB} B_{oB} j_{oB} \quad (46)$$

(46) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ერთეული სიმძლავრე აგზნების გრაგნილის მოცემული სიგანის დროს განისაზღვრება ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ველის ინტენსივობით და აგზნების დენის სიმკვრივით და პროპორციულია აღნიშნული სიდიდეების ნამრავლის ($B_{oB} j_{oB}$).

აგზნების მკვებავი ქსელის განტვირთვისათვის, მიზანშეწონილია კონდენსატორის გამოყენება, აწყობილი რეზონანსში აგზნების გრაგნილის ინდუქციურობასთან.

ნაშრომის მესამე თავში მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარული გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილების სადენებში სიმძლავრის სრული დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებები, რომელიც შეიცავს ჯამს ელექტრული დანაკარგებისა ზეგამტარის წინაღობაში, ელექტრული დანაკარგებისა ზეგამტარის მატრიცაში, გრიგალური და ჰისტერიზისული დანაკარგებისა ზეგამტარში.

ნაშრომის მეოთხე თავში შეფასებულია სიმძლავრის დანაკარგები ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში გარდამავალი პროცესების საფუძველზე. მიღებულია დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულება. გამოსახულებიდან ჩანს, რომ დანაკარგები დამოკიდებულია სქემის კონფიგურაციაზე და მის ყველა პარამეტრებზე, როგორცაა დატვირთვის ინდუქციურობა, ტრანსფორმატორის

შტოების ინდუქციურობა, მკვებავი ცვლადი დენის სიხშირე. მათი გაზრდით იზრდება შესაბამისად დანაკარგები. პირიქით, გადამრთველი ელემენტის აქტიური წინაღობის გაზრდით ნორმალურ მდგომარეობაში მცირდება დანაკარგები.

დადგენილია, რომ სიმძლავრის დანაკარგები და შესაბამისად მარგი ქმედების კოეფიციენტი გამმართველში დამოკიდებულია არა მხოლოდ გამმართველის სქემის პარამეტრებზე, არამედ დატვირთვის ინდუქციურობაზე. ამიტომ გამმართველის ოპტიმიზაცია დატვირთვის გათვალისწინების გარეშე დაუშვებელია.

ნაშრომის მეხუთე თავში განხილულია ენერგტეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების ექსპლუატაციის უსაფრთხოების წესები: საერთო წესები თხევადი კრიოგენული მასალებთან მუშაობის დროს; სპეციალური წესები თხევადი აზოტთან და ჰელიუმთან მუშაობის დროს; ფეთქებადსაშიში მინარევები და მათი შემადგენლობის კონტროლი; უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ორგანიზაციული წესები.

დასკვნები

1. შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველის კონსტრუქციაში ამორფული გულარისა და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენების გამოყენება, საშუალებას იძლევა შევამციროდ დანაკარგები და გავზარდოთ მარგი ქმედების კოეფიციენტი.

2. იმასთან დაკავშირებით, რომ გამმართველი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილი ასრულებს როლს ერთდროულად გადამრთველი ელემენტისა, ე.ი. ითავსებს კრიოტრონის გადამრთველი ელემენტის ფუნქციას, ყოველივე ამას მივყავართ მთლიანობაში მოწყობილობის გაზარტის შემცირებაზე.

3. მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები, რომლებიც საშუალებას იძლევა პროცესების ანალიზისა, როგორც გარდამავალ, ისე სტაციონალურ რეჟიმებში.

4. განხილულია გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის მუშაობის რეჟიმები, როგორებიცაა: უქმი სვლის რეჟიმი, დატვირთვის რეჟიმი და მოკლე შერთვის რეჟიმი. შედგენილია ეკვივალენტური ელექტრული ჩანაცვლების საქემები შესაბამის რეჟიმებში.

5. მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილების სიმძლავრეების ძირითადი თანაფარდობები.

6. მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარული გამმართველი ტრანსფორმატორის გრაგნილების სადენებში სიმძლავრის სრული დანაკარგების საანგარიშო გამოსახულებები, რომელიც შეიცავს ჯამს ელექტრული დანაკარგებისა ზეგამტარის წინაღობაში, ელექტრული დანაკარგებისა ზეგამტარის მატრიცაში, გრიგალური და ჰისტერეზისული დანაკარგებისა ზეგამტარში.

7. შეფასებულია სიმძლავრის დანაკარგები ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში დამყარებული და გარდამავალი პროცესების საფუძველზე. მიღებულია სიმძლავრის დანაკარგების ძირითადი თანაფარდობები. საიდანაც ჩანს, რომ სიმძლავრის დანაკარგები დამოკიდებულია სქემის კონფიგურაციაზე და მის ყველა პარამეტრენზე,

როგორცაა დატვირთვის ინდუქციურობა, გამმართველი ტრანსფორმატორის შტოების ინდუქციურობა და მკვებავი ცვლადი დენის სიხშირე. მათი გაზრდით იზრდება შესაბამისად დანაკარგები. პირიქით, გადამრთველი ელემენტის აქტიური წინაღობის გაზრდით ნორმალურ მდგომარეობაში მცირდება დანაკარგები.

8. განხილულია ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული ტრანსფორმატორული ძალოვანი გამმართველის ოპტიმიზაციის მეთოდები და მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდის პერსპექტივები.

ჩატარებულია ტრანსფორმატორების მიმოხილვითი სამუშაო მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გრაგნილებით. შეკრებილი და გაანალიზებულია კონსტრუქტორებისა და მკვლევარების ნაშრომების შედეგები, რომელთა ანგარიშზე ჯამში შექმნილია 20 მტზგ ტრანსფორმატორი 25 კვა-დან 5000 კვა-მდე სიმძლავრის დიაპაზონი.

9. განხილულია ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების ექსპლუატაციის უსაფრთხოების წესები: საერთო წესები თხევადი კრიოგენული მასალებთან მუშაობის დროს; სპეციალური წესები თხევადი აზოტთან და ჰელიუმთან მუშაობის დროს; ფეთქებადსაშიში მინარევები და მათი შემადგენლობის კონტროლი; უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ორგანიზაციული წესები.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. კოხრიძე თ., ხახანოვი მ. შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველი ნულოვანი გამომყვანით, მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით და ამორფული გულარებით. „ენერჯია“, 2020, №4(96), II ნაწ., გვ. 197-198.
2. კოხრიძე თ., ხახანოვი მ. ძალოვანი კრიოტრონი ამორფული გულარით და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით. „ენერჯია“, 2020, №4(96), II ნაწ., გვ. 199-201.
3. კოხრიძე თ., ხახანოვი მ. ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში სტაციონარული პროცესები. „ენერჯია“, 2021, №3(99), გვ. 17-21.
4. კოხრიძე თ., ხახანოვი მ. ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესები. „ენერჯია“, 2021, №3(99), გვ. 22-31.
5. კოხრიძე თ., ხახანოვი მ. სიმძლავრის დანაკარგების შეფასება ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში გარდამავალი პროცესების საფუძველზე. „ენერჯია“, 2021, № 4(100), გვ. 75-82.
6. ხახანოვი მ. მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გრაგნილებით გამმართველი ტრანსფორმატორების კონსტრუქციის განვითარების თანამედროვე მდგომარეობა. „ენერჯია“, 2022, №2(102), გვ. 13-18.

Summary

Constant current usage in powerful superconductor circuits present great interest. So, for example, superconductor magnets feeding, energy collectors require constant current, energy transferring variable current. Energy insertion to with constant current superconductive cables have a great advantage, compared with variable current. Energy insertion to superconductive cable is realized with powerful superconductive transformers.

Following from that, powerful cryotron transformers research present actual tasks. In the first chapter of the thesis there is presented amorphous - superconductive combined transformative powerful reactor with zero excretory. There is discussed: superconductive combined transformative powerfully excretory; modern tendencies of amorphous alloy in system magnetic field using; powerful cryotron with amorphous core and multi cables superconductive wire scrolls; amorphous-superconductive combined transformative excretory working principle. One of the main difference of amorphous alloy from electro technical steel, presents periodically non-existence in atomics location. Also, amorphous alloys differ from crystal alloys, in connection of corrosion with great steadiness, they are somehow solid and are characterized with better electromagnetic features. With modern technologies there became possible tape form thickness 16/60mkm amorphous substance. From received tape comes magnetic circuit preparation with different form. In magnetic circuits, in which, as usual, there is used tape from amorphous alloys, consists of Fe-78%, B- 13% and Si- 9%.

In magnetic circuits made from ferritin, permalloy electro technical steel, are rather more relative magnetic losses, than made from nano-crystal and amorphous alloys made in magnetic circuits.

Such core has comparably high starting and maximal inductivity and also high saturation induction during working on high frequencies. In magnetic circuit with amorphous alloys, in spite of reducing of loss, there reduces also magnetic current quantity. In the result there is reduced transformative temperature and raised its service term.

There are processed cryotron with amorphous core and multi cable superconductive current scrolls. Such construction of cryotron gives opportunity to grow fast action, reduce losses in closed condition and reduce managing current quantity.

On powerful cryotron base there is processed combined powerful amorphous-superconductive transformative excretory with zero excretive. In combined powerful superconductive excretory construction using of amorphous-core and multi cable superconductive cables, give opportunity to reduce losses and raise useful effect coefficient. In connection, that excretory transformative second scroll performs at the same time switcher element role, co-called it combines cryotron switcher element function, all of that takes us to reducing of gauge in total.

In the second chapter of the thesis there is received amorphous-superconductive combined with excretory powerful electromagnetic processes equations, which give opportunity to analyze processes, as in transfer, so in stationary regimes, too. There are discussed excretory superconductive transformative working regime, as are: idler moving regime, loading regime and short mixing regime. There is composed equivalent electric replacing schemes in proper regimes.

There are received amorphic-superconductive combined excretory in main correlation with transformative scrolls power.

In the third chapter there is received amorphic-superconductive excretory in transformative scrolls cables power full losing calculation expressions, which includes sum in electric losing superconductive resistance, in electric losing superconductive matrix, in tornadic and hysteresis losing in super conduction.

In the fourth chapter of the thesis there is evaluated losing of power in amorphic-superconductive combined transformative power excretory based on basic and transitional processes. There are received main correlations of power losing, from where there is seen, that losing of power depends on scheme conception and on its all parameters, as are: loading inductivity, excretory transformative branch inductivity and supply changing current frequency. By their raising there raises corresponding losing. In opposite, by raising of with excretory element active resistance in normal condition there are reduced loses.

There are discussed amorphic-superconductive combined transformative powerful excretory optimization methods and useful action coefficient raising perspectives.

In the fifth chapter of the thesis there are discussed energetic prescription cryotron transformers exploitation safety special tasks: general circulation rules from liquid cryogenic products; special apply of liquid azoth and helium; explosive mixtures control; safety ensuring organizational basis.