

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გალინა ქადაგიშვილი

ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული (77კ)

ზეგამტარული გადამრთველის-კრიოტრონის კვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი

დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0405

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თამაზ კობრეიძე

რეცენზენტები:.

დაცვა შედგება 2018 წლის "-----" ----- "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე

კორპუსი VIII , აუდიტორია 304

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

სამუშაოს აქტუალობა. ბოლო დროს სპეციალისტები ელექტროენერგეტიკის დარგში დიდ ყურადღებას აქცევენ პრობლემას ზეგამტარული მოვლენის გამოყენებისა მრეწველობაში, კერძოდ შეიქმნას ზეგამტარული გადამრთველი ელემენტი და კომუტაციის მოწყობილობები, რომლებსაც პირველ რიგში მიეკუთვნება კრიოტრონები და მათ ბაზაზე გარდამქნელები. აქედან გამომდინარე, სადისერტაციო ნაშრომში ჩატარებული ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გადამრთველის-კრიოტრონის კვლევა - დამუშავება და მათ ბაზაზე კრიოტრონული გარდამქნელების შექმნა მეტად აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანი: დამუშავებული და გამოკვლეული იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გადამრთველი - კრიოტრონი.

ძირითადი ამოცანები. დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. შესწავლილი იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქნელების მახასიათებლები, დადგინდეს კრიოტრონული გადამრთველის კლასიფიკაცია, მათი პარამეტრები, დამუშავდეს ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გადამრთველი - კრიოტრონი, მათ ბაზაზე კი მაღალტემპერატურული სამფაზა კრიოტრონული გამმართველი ნახევრადგამტარული მართვით.

2. შესწავლილი იქნეს ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ კრიოტრონულ გარდამქნელებში და ასევე სამფაზა ბოგირულ ტირისტორულ გარდამქნელებში, როგორც მართვის საისტემა კრიოტრონული გარდამქნელისთვის.

3. დამუშავებული იქნეს სამფაზა ბოგირული კრიოტრონული გარდამქნელის ერთძარღვიანი და მრავალძარღვიანი ზეგამტარული

სადენების დენგამტარუნარიანობის და დანაკარგების ანგარიშის მეთოდი ცვლად მაგნიტურ ველში.

4. დამუშავებული იქნეს თხევადი კრიოგენული პროდუქტებთან მიმოქცევის უსაფრთხოების სპეციალური საკითხები.

კვლევის მეთოდები. სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას გამოყენებული იქნა თეორიული და ემპირიული შემეცნებითი მეთოდები. თეორიულ დონეზე ეს მეთოდია ინდუქციურად დაკავშირებული წრედების თეორია. ემპირიულ დონეზე გამოყენებული იქნა მათემატიკური მოდელირების მეთოდები.

სამეცნიერო სიახლე:

1. დამუშავებულია ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გადამრთველი - კრიოტრონის პრინციპული სქემა, რომელიც შეიცავს სამ გრაგნილს: მუშა გრაგნილი, რომელიც წარმოადგენს გადამრთველ ელემენტს და შესრულებულია ლოკალიზირებული მრავალძარღვა ზეგამტარული სადენით, შვესების კოეფიციენტით $K_{შვ} \ll 1$; მართვის გრაგნილი, რომელიც აღებს კრიოტრონს; ჩამკეტი გრაგნილი სუსტი მაგნიტური კავშირით მართვის გრაგნილთან, იმართება მართკუთხა ფორმის დენის იმპულსით და შესრულებულია მრავალძარღვა ზეგამტარული სადენით, შვესების კოეფიციენტით $K_{შვ} \approx 1$. იმპულსის დროის ინტერვალში კრიოტრონი გაღებულია, დანარჩენ დროში კრიოტრონი ჩაკეტილია. აგებულია კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი, რომლისგანაც განისაზღვრება კრიოტრონის დენი, ძაბვის ვარდნა და დანაკარგები ჩაკეტილ მდგომარეობაში.

2. დამუშავებულია პრინციპული სქემა მაღალტემპერატურული სამფაზა კრიოტრონული გამმართველის ნახევრადგამტარული მართვით. მოწყობილობა შეიცავს პირველად გრაგნილს, შესრულებული ჩვეულებრივი სადენისაგან; მეორად გრაგნილს, შესრულებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენისაგან. სამფაზა კრიოტრონულ გამმართველს, რომელიც შეიცავს კრიოტრონებს, რომლის გადამრთველი

ელემენტის გრაგნილი შესრულებულია მრავალმარჯვიანი ზეგამტარული სადენისაგან. შემაგნიტების გრაგნილი და მართვის გრაგნილი შესრულებულია ჩვეულებრივი ზეგამტარული სადენისაგან. კრიოტრონული გამმართველის მართვა ხორციელდება ტირისტორებით გაღების α კუთხის ცვლილების გზით.

3. შესწავლილია ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ ტირისტორულ გარდამქმნელში, როგორც მართვის სისტემა კრიოტრონული გარდამქმნელისთვის.

განხილულია გამმართველის და ინვერტორის რეჟიმები. დადგენილია, რომ მართვადი გამმართველისთვის გარე მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერება დამოკიდებულია რეგულირების კუთხის სიდიდეზე და თითოეულ ტირისტორში დენის გატარების ხანგრძლივობაზე, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება ვენტილების რიცხვით, რომლებიც ერთდროულად ატარებენ დენს.

4. დამუშავებულია სამფაზა ბოგირული კრიოტრონული გარდამქმნელის ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობის და დანაკარგების საანგარიშო მეთოდი ცვლად მაგნიტურ ველში. ნაჩვენებია, რომ ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების დამუშავება და შექმნა მოითხოვს ზეგამტარული სადენების გამოყენებას მაღალი დენგამტარუნარიანობით და დაბალი დანაკარგებით. დადგენილია, რომ აღნიშნული მიზნის მიღწევა შესაძლებელია მრავალმარჯვიანი ზეგამტარული სადენებით ლოკალიზებული მაგნიტური ველით, რომელშიც ურთიერთ გავლენა ცალკეული მარჯვების მაგნიტური ველების დაყვანილია მინიმუმამდე. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობის და დანაკარგების ანგარიშისათვის ცვლად მაგნიტურ ველში. მოცემულია თხევადი კრიოგენული პროდუქტებთან მიმოქცევის უსაფრთხოების სპეციალური საკითხები.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გადამრთველის-კრიოტრონის და კრიოტრონული გარდამქმნელების დაგეგმარების და დამზადების დროს.

აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - “ენერგეტიკა: რეგიონალური პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”, (2016 წ.) და სტუ-ის სტუდენტური კონფერენციაზე (2016 წ.). ასევე, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე.

სადისერტაციო სამუშაოს შედეგები გამოქვეყნებული იქნა 4 სამეცნიერო სტატიაში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისა და 3 თავისაგან, რომლებიც გადმოცემულია 102 გვერდზე. შეიცავს 25 ნახაზს, 1 ცხრილს და 29 დასახელების ლიტერატურას.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

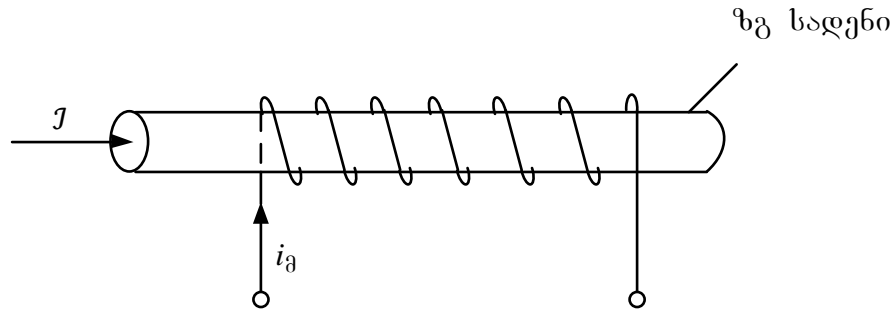
შესავალში დასაბუთებულია პრობლემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებული და განსაზღვრულია გამოსაკვლევ საკითხთა წრე, ასევე კვლევის მიზანი და ამოცანები. ფორმულირებულია ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეთა და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

პირველ თავში წარმოდგენილია ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელის მახასიათებლები. განხილულია კრიოტრონული გადამრთველის კრიტიკული ლიტერატურული მიმოხილვა და კრიოტრონების პარამეტრები. გამოვლინდა, რომ არსებული კრიოტრონების გადამრთველი ელემენტების დიდი მოცულობასთან დაკავშირებით, მათი სწრაფქმედება საგრძნობლად დაბალია. სამუშაოში დამუშავებულია ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული (77კ) ზეგამტარული გადამრთველი-კრიოტრონი, რომელიც წარმოადგენს დენის ზეგამტარული (ზგ) გადამრთველს. კრიოტრონის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია ზეგამტარის ფაზური მდგომარეობის ცვლილებაზე მაგნიტური ველის სიდიდისაგან დამოკიდებულებაში.

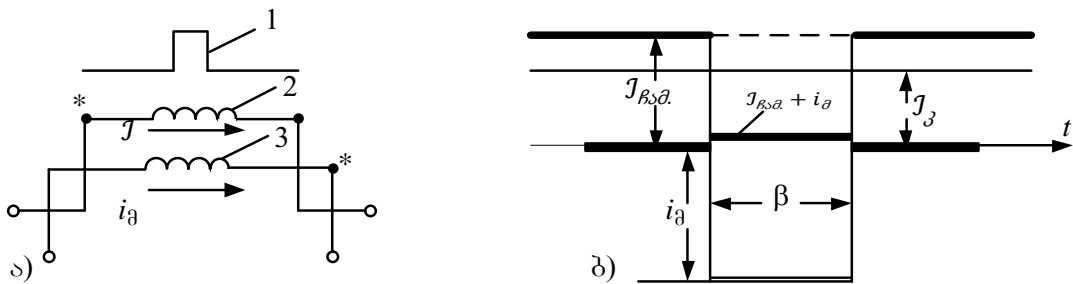
პირველი კრიოტრონი, შემოთავაზებული ბაკის მიერ წარმოადგენდა ზეგამტარულ სადენს, რომელიც იცვლიდა ფაზურ მდგომარეობას მაგნიტური ველის სიდიდისაგან დამოკიდებულებაში, შექმნილი მართვის გრაგნილით (ნახ. 1). მართვის დენის არ არსებობის დროს ზგ სადენი იმყოფებოდა ზეგამტარული ფაზურ მდგომარეობაში წინააღობით $R = 0$, ხოლო მართვის დენის არსებობის დროს ზგ სადენი გადადიოდა ნორმალურ ფაზურ მდგომარეობაში წინააღობით, $R = R_f$.

კრიოტრონის მახასიათებლების შედარებით გაუმჯობესება იყო მიღწეული გე-ის ზომების შემცირების გზით, რომელშიც გე-ად გამოყენებული იყო თხელი ფირი, რომელიც იყო განხორციელებული აფსკური კრიოტრონების კონსტრუქციაში. ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონის ეფექტურობა, შეიძლება ამაღლდეს მაღალტემპერატურული

(77კ) მრავალმარდიანი ზეგამტარული სადენების (მძზგს) გამოყენებით. კრიოტრონის სქემა და მისი მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია ნახ. 2.



ნახ.1. ბაკის მავთულიანი კრიოტრონი



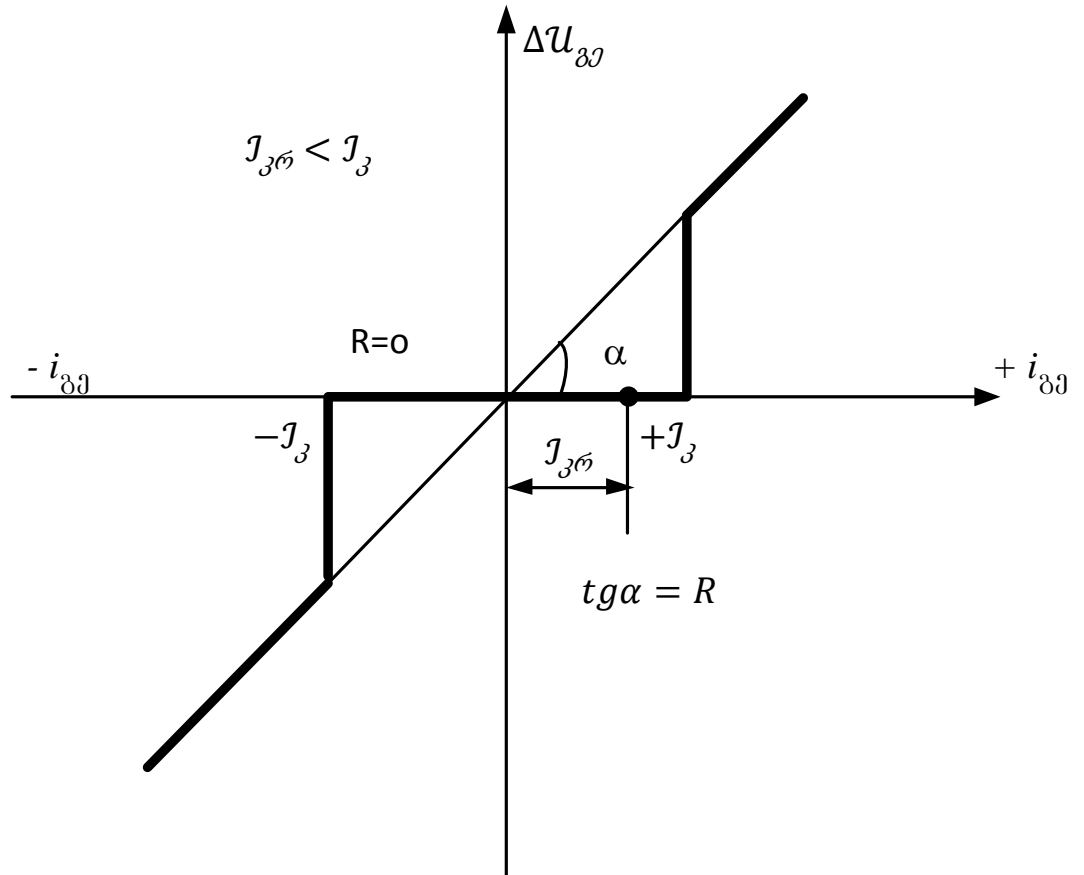
ნახ.2. კრიოტრონის სქემა (ა) და მუშაობის პრინციპი (ბ)

კრიოტრონი შეიცავს სამ გრაგნილს: მუშა გრაგნილი (მგ)-1, რომელიც წარმოადგენს გადამრთველ ელემენტს (გე). მართვის გრაგნილი (მგ)- 2, რომელიც ალუბს კრიოტრონს; ჩამკეტი გრაგნილი (ჩგ)- 3 სუსტი მაგნიტური კავშირით მართვის გრაგნილთან.

მუშა გრაგნილი წარმოადგენს გე-ს და შესრულებულია ლოკალიზირებული მძზგს (ლმძზგს) შევსების კოეფიციენტით $K_{შეგ} \ll 1$. მართვის გრაგნილი წარმოადგენს ჩამკეტ გრაგნილს, რომელშიც ჩამკეტი დენი აჭარბებს გე-ის კრიტიკულ დენს ($I_{ჩ,მ} > J_c$ და შესრულებულია მძზგს-ის

საფუძველზე. ჩამკეტი გრაგნილი იმართება მართკუთხა ფორმის β სიგანის დენის იმპულსით და შესრულებულია მძზგს-ით შევსების კოეფიციენტით

$K_{\text{მეკ}} \approx 1$. იმპულსის β დროის ინტერვალში კრიოტრონი გაღებულია,
 $R_{\text{გე}} = 0$. დანარჩენ დროში კრიოტრონი ჩაკეტილია $R_{\text{გე}} < R_{\text{ს}}$.



ნახ.3. კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი

კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი ნაჩვენებია ნახ.3.

ვოლტამპერული მახასიათებლიდან განისაზღვრება კრიოტრონის დენი $J_{3რ} < J_3$, ძაბვის ვარდნა და დანაკარგები ჩაკეტილ მდგომარეობაში.

კრიოტრონში დანაკარგები ΔP შეადგენს:

$$\Delta P = \frac{U^2}{R_{\text{ს}}} = \frac{U^2}{\rho_{\text{ს}} l} S = \frac{U^2 J}{\rho_{\text{ს}} j l^2}$$

სადაც ρ_6 -სადენის ხვედრითი წინაღობა ნორმალურ მდგომარეობაში, S და ℓ - მისი კვეთი და სიგრძე, U -ძაბვა, J -კრიოტრონის დენი, j - დენის სიმკვრივე.

ფარდობითი დანაკარგები

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{U}{\rho_6 j \ell}$$

აღნიშნული გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ρ_6 -ის დაბალი მნიშვნელობის დროს დანაკარგების შეზღუდვისათვის აუცილებელია U ძაბვის დადაბლება.

კრიოტრონი წარმოადგენს სრულად მართვადი სიმეტრიულ გადამრთველს ორმხრივი გამტარობით და ხასიათდება

1) ღია მდგომარეობაში ძაბვის ვარდნის არ არსებობით ($R = 0, \Delta U = 0$);

2) ღია მდგომარეობაში ორმხრივი გამტარობით;

3) ჩაკეტილ მდგომარეობაში ორმხრივი ჩაკეტვით $-J_j \leq i \leq j_j$;

4) ჩართვა და გამორთვა დენის მიმართულებისა და ძაბვის პოლარობისაგან დამოუკიდებლად.

კრიოტრონის ძირითად ნაკლოვანებას წარმოადგენს:

1) შეზღუდული სწრაფქმედება;

2) ჩაკეტილ მდგომარეობაში დანაკარგების არსებობა;

3) მართვის დიდი დენები.

აღნიშნული ნაკლოვანებობის აცილებისათვის აუცილებელია გე-ის მოცულობის შემცირება, რის მიღწევა შეიძლება გე-ის გრაგნილის დამზადება ლმპზგს-ისაგან, ძარღვის არამაღალი შევსების კოეფიციენტით და ძარღვში დენების მაქსიმალური სიმკვრივით.

გე-ის მოცულობა:

$$V_{30} = s \ell \quad (1)$$

გავითვალისწინოთ, რომ

$$R_6 = \rho_6 \frac{\ell}{S} \text{ და } \ell = \frac{R_6}{\rho_H} S$$

(1) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს:

$$V_{\text{ბგ}} = \frac{R_{\text{გ}}}{\rho_{\text{გ}}} S^2, \quad (2)$$

სადაც სადენის კვეთი

$$S = \frac{J}{j} \quad (3)$$

(2) და (3) განტოლებიდან მივიღებთ

$$V_{\text{ბგ}} = \frac{1}{\rho_{\text{გ}} j^2} R_{\text{გ}} J^2 \quad (4)$$

მოცემული დენის დროს, როგორც გამომდინარეობს (3) და (4) გამოსახულებიდან, გე-ის სადენების კვეთი და მოცულობა მცირდება დენის სიმკვრივის კვადრატის ზრდით.

გე-ის დენის სიმკვრივის გაზრდა მიიღწევა ლმმზგს-ის გამოყენებით, რომლებიც შეიცავს ძარღვების მინიმალურ რაოდენობას. გე-ის მოცულობის შემცირება აგრეთვე დაკავშირებულია მაღალი ხვედრითი წინააღობის $\rho_{\text{გ}}$ სადენების გამოყენებასთან, რაც შეიძლება განხორციელდეს ლმმზგს-ის საშუალებით მაღალტემპერატურული (77კ) ზეგამტარებით.

კრიოტრონების პროექტირების დროს მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს ზღვრული დენის მნიშვნელობა კრიოტრონის ვენტილურ ელემენტში (სარქველი) და დენი მართვად კოჭაში, რომლითაც მართვის ჯამური მაგნიტური ველი აღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას როგორც სარქველის ზედაპირზე, ისე მისი მოცულობის ყველა წერტილში გადართვის შემდეგ. შესაბამისად გადართვის პროცესი შეიძლება დაიყოს სამ ეტაპად.

პირველი ეტაპი განსაზღვრავს τ_1 დროის მნიშვნელობას, რომელიც აუცილებელია დაიხარჯოს სარქველის ზედაპირზე მართვის მაგნიტური ველის კრიტიკული მნიშვნელობის შექმნისათვის. ეს დრო დაკავშირებულია მართვის სისტემის ტიპის შერჩევასთან, მის სქემასთან და პარამეტრებზე.

მეორე ეტაპი – სარქველის მთელი მოცულობის გადართვა ზეგამტარული მდგომარეობიდან ნორმალურ მდგომარეობაში. τ_2 დრო აუცილებელია აღნიშნული ეტაპის რეალიზაციისთვის, დაკავშირებულია

სარქველის მოცულობის სიდიდესთან და სარქველის ზეგამტარული მასალის მახასიათებლების პარამეტრებზე, შესაბამისად სარქველის გავლით გადაცემული სიმძლავრეზე.

მესამე ეტაპი დაკავშირებულია კომუტაციური პროცესებთან სარქველის ელექტრულ წრედში, რომელიც შეესაბამება აქტიური წინააღმდეგობის შეყვანასთან, როცა სარქველი გადადის რეზისტორულ მდგომარეობაში.

მართვის სისტემის ტიპები, რომელიც აუცილებელია გავითვალისწინოთ პირველ ეტაპში კრიოტრონის გადართვის დროს, შეიძლება აიგოს ელექტრომექანიკური სისტემის საფუძველზე, მექანიკური გადაადგილებით მაგნიტური ველის წყაროს ან ელექტრომაგნიტური ეკრანის, აგრეთვე სტატიკური ელექტრომაგნიტური სისტემა, რომელშიც თავის მხრივ, შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც რთული რეზონანსური კონტური ელექტრომამოძრავებელი ძალის (ემძ) კომუტაციის, ასევე მარტივი ინდუქციურობის კოჭა, ჩართული ძაბვის წყაროზე.

მაგალითის სახით განვიხილოდ მარტივი შემთხვევა კრიოტრონის მართვის ინდუქციური კოჭას ჩართვა ძაბვის წყაროზე.

პრინციპში, კრიოტრონის გადართვის პირველი ეტაპის ხანგრძლივობა τ_1 შეიძლება განისაზღვროს გარდამავალი პროცესის განტოლების ამოხსნით, როცა მართვის კოჭა L_θ ჩართულია მუდმივი U ძაბვის კვების წყაროზე.

ზოგად შემთხვევაში მართვის კოჭას გააჩნია ელექტრომაგნიტური კავშირი რამოდენიმე მოკლედშერთული კონტურებთან (დამცავი ეკრანი, საკონტაქტო რგოლი დენის მოხსნისთვის და ა.შ.).

მართვის კოჭას ჩართვის გარდამავალი პროცესი შეიძლება განვიხილოდ, როგორც მუდმივი ძაბვის ჩართვა სისტემაში, რომელსაც გააჩნია რამოდენიმე შეკრული კონტურები, თანაც აუცილებელია ჯერ განისაზღვროს თვითინდუქციის კოეფიციენტები L_{kk} თითოეული კონტურის ცალკე, აგრეთვე ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტები ყველა

კონტურების. ამ შემთხვევაში აუცილებელია ამოიხსნას განტოლება, რომლის რიგი შეესაბამება მართვის სისტემის განსახილველი კონტურების რიცხვს. ამოხსნის ასეთი გზა ყოველთვის არაა მოხერხებული. აღნიშნული პროცესი შეიძლება განვიხილოდ სხვაგვარად. გავითვალისწინოთ, რომ უმრავლეს შემთხვევაში განსახილველი კონსტრუქციაში ზეგამტარული კონტური, დაკავშირებული ელექტრომაგნიტურად მართვის კოჭასთან, არ გააჩნია აქტიური წინაღობა, შეიძლება განვიხილოდ გარდამავალი პროცესი ერთკონტურიან ეკვივალენტურ მართვის სისტემაში; მაშინ კრიოტრონის გადართვის პირველი ეტაპის ხანგრძლივობა მიიღება მარტივი ანალიზური დამოკიდებულების სახით:

$$\tau_1 = \frac{L_y}{r} \ell_n \left(\frac{1}{1 - i_{yc}/i_{y\infty}} \right) \quad (5)$$

სადაც $i_{y\infty} = U/r$ -მართვის წრედში დამყარებული დენის ზღვრული მნიშვნელობა; i_{yc} - მართვის დენის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მართვის ველის დამაბულობა აღწევს კრიტიკულ მნიშვნელობას სარქველის ზედაპირზე; L_y -მართვის წრედის ეკვივალენტური ინდუქციურობა.

i_{yc}, L_y - პარამეტრების საანგარიშო მნიშვნელობა შეიძლება მივიღოთ ერთი ზოგადი ამოცანის ამოხსნით – მოცემული კონსტრუქციის კრიოტრონის მართვის მაგნიტური ველის სივრცითი განაწილება. ამოცანის ამოხსნა დადის ცნობილ მეთოდზე. დენების სიმკვრივის განაწილების ანგარიში შეკრულ ზეგამტარულ ეკრანში მოცემული კონფიგურაციით მიმდინარეობს პირობიდან, რომ მაგნიტური ველის ვექტორ-პოტენციალიდან ინტეგრალი ეკრანის ზეგამტარული შეკრული კონტურის მიხედვით უცვლელია და კერძო შემთხვევაში ტოლია ნულის:

$$\oint_{\ell} \vec{A}(Q) d\vec{\ell} = 0, \quad (6)$$

სადაც $A(Q)$ -მართვის მაგნიტური ველის ვექტორ-პოტენციალი, შექმნილი Q წერტილში განსახილველ ℓ კონტურში მართვის კოჭას დენით i_k და ზეგამტარული ეკრანის დენით i_s .

კრიოტრონებისათვის ღერძისმეტრიული კონსტრუქციით გარე შეკრული ზეგამტარული ეკრანით, რომელიც მოიცავს მართვის მთელ კოჭას, (6) განტოლების ამოხსნა შეიძლება არსებითად გამარტივდეს:

$$A_K(Q) + A_3(Q) = 0 \quad (7)$$

სიდიდეები $A_K(Q)$ და $A_3(Q) = 0$ ცნობილი ფორმულების საშუალებით შეიძლება მარტივად გამოისახოს კოჭაში ცნობილი დენების სიმკვრივის საშუალებით და საძიებო დენების სიმკვრივის სიდიდით ეკრანის კვეთში. მაგალითად, მართვის კოჭასათვის, რომელსაც გააჩნია S კვეთი დაკავებული დენით,

$$A_K(Q) = \frac{\mu_0}{2\pi} \int_S^- j(M) \sqrt{\frac{\rho_M}{\rho_Q}} f(K) dS_M, \quad (8)$$

სადაც ρ_Q -Q წერტილის რადიუსი, რომელშიც გამოითვლება მაგნიტური ველი; ρ_M -M წერტილის რადიუსი, რომელშიც მოთავსებულია dS_M კვეთი, დაკავებული დენით, სიმკვრივით $j(M)$;

$$f(K) = \left(\frac{2}{K} - K\right) K(K) - \frac{2}{K} E(K);$$

$$K^2 = \frac{4\rho_Q\rho_M}{(\rho_Q + \rho_M)^2 + (Z_Q - Z_M)^2},$$

სადაც $Z_Q, Z_M - Z$ ღერძის მიხედვით კოორდინატები Q და M წერტილების; $K(k), E(k)$ -სრული ელიფსური ინტეგრალი შესაბამისად პირველი და მეორე რიგის k მოდულის ფუნქციის. მაგნიტური ველის ვექტორ-პოტენციალის გამოსახულების ჩაწერა საძიებო დენებით ეკრანში $A_3(Q)$ ანალოგიურია (8) განტოლების. დავყოთ მართვის კოჭა და ეკრანი ერთნაირი კონტურების რიცხვით, შეიძლება განისაზღვროს მიღებული განტოლებათა სისტემიდან საძიებო დენების სიმკვრივის მნიშვნელობა ეკრანში, აგრეთვე მაგნიტური ველის მნიშვნელობა კრიოტრონის სარქველის ზედაპირზე და მართვის კოჭას ინდუქციურობა L_y .

კრიოტრონის გადართვის მეორე ეტაპის ხანგრძლივობის τ_2 შეფასებისათვის, დაკავშირებული სარქველის მთელი მოცულობის გადართვასთან ზეგამტარული მდგომარეობიდან ნორმალურ მდგომარეობაში, შეიძლება ჩავატაროთ გარკვეული მსჯელობა. გამოვყოთ

იმ სრული მოცულობიდან, რომელიც დაკავებულია კრიოტრონის ვენტილური ელემენტით (სარქველი), ელემენტარული მოცულობა $\Delta V = \Delta S \Delta \ell$, კვეთით ΔS და სიგრძით $\Delta \ell$. მართვის ელექტრომაგნიტური ველის ენერგია, რომელიც აუცილებელია თავმოყრილი იქნეს გამოყოფილ ელემენტარულ მოცულობაში ΔV კრიოტრონის სარქველის გადართვისათვის ზეგამტარული მდგომარეობიდან ნორმალურ მდგომარეობაში, შეიძლება განისაზღვროს ცნობილი თანაფარდობიდან:

$$\Delta W_y = 0,5 H_c B_c \Delta V \quad (9)$$

ან მუდმივი მაგნიტური შეღწევადობის μ არესთვის

$$\Delta W_y = 0,5 \mu H_c^2 \Delta V \quad (10)$$

სადაც H_c, B_c -კრიოტრონის სარქველის მასალის მართვადი მაგნიტური ველის დაძაბულობის და ინდუქციის კრიტიკული მნიშვნელობა.

ელექტრული დანაკარგების სიმძლავრე გაზნეულია ΔV ელემენტარულ მოცულობაში. სარქველზე მოდებულია უკუ ძაბვა $U_{\text{ოპ}}$ „არაგამტარ“ მდგომარეობაში. კომუტაციის პერიოდში შეიძლება განისაზღვროს დანაკარგების სიმძლავრე თანაფარდობიდან:

$$\Delta P_\sigma = (\Delta U_{\text{ოპ}})^2 \Delta S / \rho \Delta \ell \quad (11)$$

სადაც ρ - სარქველის ზეგამტარული მასალის ხვედრითი წინაღობა, რომელიც იმყოფება რეზისტორულ მდგომარეობაში მოცემულ მუშა ტემპერატურაზე. ზღვრული სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება გადაეცეს დატვირთვაში ელემენტარული ΔV მოცულობით, როცა სარქველზე მოდებულია „პირდაპირი“ ძაბვა U კომუტაციის პერიოდის ნაწილში, და სარქველი იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში, შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახეში

$$\Delta P = \Delta U j_c \Delta S, \quad (12)$$

სადაც j_c -სარქველის ზეგამტარული მასალისათვის დენის სიმკვრივის კრიტიკული მნიშვნელობა.

როგორც წესი, თანაფარდობა „პირდაპირი“ U და „უკუ“ $U_{\text{ოპ}}$ ძაბვები უცვლელია გარდამქმნელის თავიდან შერჩეული სქემებისთვის, და კავშირი

ამ სიდიდეებს შორის შეიძლება დავადგინოთ სქემის მუდმივი კოეფიციენტით K_{cx} :

$$\Delta U_{odp} = K_{cx} \Delta U \quad (13)$$

(11)-(13) ფორმულების გათვალისწინებით და გარდამქმნელის მ.კ.კ. სიდიდის შემოყვანით $\eta = 1 - P_{\sigma}/P$, შეიძლება განისაზღვროს სარქველის ელემენტარული მოცულობა ΔV პარამეტრების საშუალებით, რომელიც ხასიათდება სარქველის ზეგამტარული მასალის თვისებებით და ელემენტარული გადასაცემი ΔP სიმძლავრით:

$$\Delta V = \Delta P / (K_{cx}^2 (1 - \eta) \rho j_c^2) \quad (14)$$

(14)-დან ჩანს, რომ ρj_c^2 პარამეტრის გაზრდით წრფივად მცირდება ელემენტარული მოცულობის ΔV სიდიდე მოცემული გადასაცემი სიმძლავრის დროს.

განსახილველ ელემენტარულ მოცულობაში ΔV მართვის ელექტრომაგნიტური ველის ენერგია შეიძლება აგრეთვე გამოვსახოთ მართვის სიმძლავრის P_y გზით და τ დროით, რომლის დროსაც მართვის ელექტრომაგნიტური ველის დამაბულობა აღწევს კრიტიკულ H_c მნიშვნელობას მთლიან ელემენტარულ მოცულობაში ΔV :

$$\Delta W_y = \Delta P_y \tau \quad (15)$$

(10), (14), (15) განტოლებების ერთობლივი ამოხსნით და მუდმივი სიდიდეების k_{cx}, η გაერთიანებით ერთ პროპორციულობის კოეფიციენტში K , შეიძლება მივიღოთ შემდეგი გამოსახულება გადართვის დროისათვის

$$\tau = k \frac{\Delta P}{\Delta P_y} - \frac{\mu H_c^2}{\rho j_c^2} \quad (16)$$

ΔV ელემენტარული მოცულობიდან გადასვლით სარქველის სრულ მოცულობაზე, შეიძლება მივიღოთ კრიოტრონის გადართვის მეორე ეტაპის ხანგრძლივობა τ_2 , როგორც ფუნქცია τ_M პარამეტრის და სქემის პარამეტრების

$$\tau_2 = f(k_{cx}, \eta, P_y/P, \tau_M),$$

სადაც

$$\tau_M = \frac{\mu H_c^2}{\rho j_c^2} \quad (17)$$

კერძო შემთხვევაში, როცა თანაფარდობა მართვის სიმძლავრის და გადასაცემი სიმძლავრის შენარჩუნებულია უცვლელი, არჩეული სქემისთვის მეორე ეტაპის ხანგრძლივობა

$$\tau_2 = k(P/P_y)\tau_M \quad (18)$$

τ_M პარამეტრი, განსაზღვრულია (17) ფორმულით, შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც სიდიდე, რომლითაც ხასიათდება კრიოტრონის ვენტილური ელემენტის მუშაობის სპეციფიკა, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ ასეთი ელემენტის მასალას უნდა ქონდეს მაღალი კრიტიკული დენის სიმკვრივე, კრიტიკული მაგნიტური ველი და მაღალი ხვედრითი წინაღობა რეზისტორულ მდგომარეობაში.

ლიტერატურული მიმოხილვიდან ჩანს, რომ კრიოტრონის სარქველის ზეგამტარული მასალის შეფასების კრიტერიუმად ძირითადად მიღებულია ორი პარამეტრი:

მუშა ტემპერატურაზე რეზისტორულ მდგომარეობაში მასალის ხვედრითი წინაღობის ნამრავლი მის კრიტიკულ დენის სიმკვრივეზე.

ხვედრითი წინაღობის ნამრავლი კრიტიკული დენის სიმკვრივის კვადრატზე ρj_c^2 , აგრეთვე აღნიშნული პარამეტრების წრფივ კომბინაციაზე. ნამრავლს ρj_c^2 გააჩნია განზომილება ვტ/მმ და შეუძლია დაახასიათოს ხვედრითი სიმძლავრე ზეგამტარული გარდამქმნელის კრიოტრონის სარქველის მოცულობაში. არსებითად ასეთი დაახასიათება საკომპუტაციო მასალის, შეიძლება გამოყენებული იქნეს არა მხოლოდ ზეგამტარებისთვის, არამედ მაგალითად ნახევრადგამტარული მასალებისთვის ლიტერატურული მიმოხილვიდან ჩანს, რომ თუ იქნება დამუშავებული ახალი ზეგამტარული მასალები პარამეტრების სიდიდით $\rho j_c^2 > 10^{15}$ ვტ/მმ, მაშინ შესაძლებელი გახდება შეიქმნას კრიოტრონული გარდამქმნელი, რომელიც თავისი ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრებით გადააჭარბებს თანამედროვე ნახევრადგამტარულ გარდამქმნელებს.

ახლა გადავიდეთ კომპუტაციური პროცესის მესამე ეტაპზე. შეიძლება ითქვას რომ ΔW ენერგია, განზნეული კრიოტრონის სარქველის აქტიურ

წინააღმდეგობაში კომპუტაციის პროცესში, დამოკიდებულია სარქველში საწყისი დენის i_{10} მნიშვნელობაზე, სარქველის აქტიური წინააღმდეგობის სიდიდეზე r_k , აგრეთვე არსებითად დამოკიდებულია სქემის სხვა პარამეტრებზე. უფრო ზუსტად, თეორიულად გაზნეული ენერჯის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს რეალური კრიოტრონული გარდამქმნელის სქემაში, გარდამავალი პროცესების ანალიზით. ამისათვის საკმარისია მივიღოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულება დენის მნიშვნელობისა დროში იმ წრედისათვის, სადაც ჩაირთვება კრიოტრონის სარქველის აქტიური წინააღმდეგობა r_k , შემდეგ გამოითვლება გაზნეული ენერჯია ცნობილი ფორმულით:

$$\Delta W = \int_0^T i^2 r_k d\tau \quad (19)$$

შეიძლება გამოვიყენოთ ელექტრული წრედების ანალიზისათვის მატრიცული მეთოდი, რომელიც იძლევა საშუალებას ყველა განხილული დროის ინტერვალისათვის მივიღოთ კონტურული დენების მატრიცა

$$I_k = Z_k^{-1} \Gamma (E - Z_B j) \quad (20)$$

$$\text{სადაც } Z_k^{-1} = \Delta_{ik}^t |Z_k|,$$

I_k და E – მატრიცები კონტურული დენების და შტოების ელექტრომამოძრავებელი ძალები (ემძ), j -დენის წყაროების მატრიცა; Γ -კონტურული მატრიცა მიმართული ჩანაცვლების სქემის გრაფთან; Z_k -კონტურული ოპერატორული წინააღმდეგობების მატრიცა; Z_B -შტოების წინააღმდეგობების მატრიცა; $|Z_k| - Z_k$ მატრიცის მსაზღვრელი; Δ_{ik}^t -ტრანსპორტირებული მატრიცა $|Z_k|$ მატრიცის მსაზღვრელის ალგებრული დამატების.

(20) გამოსახულება საშუალებას იძლევა გავიანგარიშოდ კომპუტაციური გარდამავალი პროცესები ნებისმიერად არჩეული კრიოტრონული გარდამქმნელის სქემებისათვის და ნებისმიერი ფორმის მკვებავი ძაბვისათვის. (20) გამოსახულების გამოყენებით ჩატარებული იქნა ანალიზი ორკონტურიანი ელექტრული წრედისათვის შეერთებული ერთი კრიოტრონით.

სქემის მიმართული გრაფის პარამეტრების ჩაწერას მატრიცულ სახეში გააჩნია შემდეგი სახე:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; E = o; j = \begin{bmatrix} i_{10} \\ i_{10} \\ o \end{bmatrix};$$

$$Z_B = \begin{bmatrix} Z_1 & 00 \\ 0 & Z_2 0 \\ 0 & 0Z_3 \end{bmatrix}$$

კონტურული დენების მატრიცას ოპერატორულ ფორმაში კრიოტრონის სარქველის აქტიური წინაღობის r_k ჩართვის შემთხვევაში გააჩნია შემდეგი სახე:

$$I_K = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \frac{i_{10}P}{|Z_K|} \begin{bmatrix} Z_1 + Z_3 - Z_1 & L_1 + L_2 \\ -Z_1 & Z_1 + Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 + L_2 \\ L_1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

შესაბამისად, მაგალითად მე-6 სქემისათვის წარმოდგენილ ცხრილში, ანალიზური გამოსახულება i_1 დენისთვის ოპერატორულ ფორმაში, როცა ჩართულია წრედის პირველ კონტურში აქტიური წინაღობა r_K ექნება შემდეგი სახე:

$$i_1(P) = \frac{i_{10}P[P(L_1L_2+L_1L_H+L_2L_H)+R(L_1+L_2)]}{P^2(L_1L_2+L_1L_H+L_2L_H)+P[R(L_1+L_2)+r_k(L_1+L_H)]+Rr_k} \quad (22)$$

(22)-დან გამოსახულების ორიგინალის ჩასმის გზით (19)-ში შესაძლებელია ვიპოვოთ განზნევი ენერჯის დანაკარგები კრიოტრონის სარქველის წინაღობაზე:

$$\Delta W = \frac{i_{10}^2}{2} \left(L_2 + \frac{L_1[R(L_1+L_2)+r_kL_H]}{r_k(L_1+L_H)+R(L_1+L_2)} \right) \quad (23)$$

კრიოტრონის სარქველის აქტიურ წინაღობაში დანაკარგების ანალიზური გამოსახულებისთვის სხვადასხვა ვარიანტებისათვის განსახილველი ორკონტურიანი ელექტრული სქემები ნაჩვენებია ცხრილში, რომლის ანალიზი გვამძევს შევაფასოდ პარამეტრების გავლენა სქემაზე კრიოტრონის ეფექტურ მუშაობაზე, აგრეთვე ზოგიერთი მოთხოვნები, რომლებიც შეიძლება წაუყენოთ თვითონ კრიოტრონის პარამეტრებს გარე სქემის სხვადასხვა პარამეტრებისათვის. ამგვარად ცხრილიდან ჩანს, რომ თუ კრიოტრონის საშუალებით ხორციელდება გადასვლა ელექტრომაგნიტური ენერჯის ერთი

ზეგამტარული ინდუქციურობიდან მეორეში (1 და 2 სქემები), მაშინ განზნევის ენერჯის მნიშვნელობა არ არის დამოკიდებული კრიოტრონის სარქველის აქტიური წინალობის r_k სიდიდეზე. პირიქით, ენერჯის განმუხტვის დროს, დაგროვილი ინდუქციურ მაგროვებელში, აქტიურ წინალობაზე (სქემა 3) დანაკარგების სიდიდე ΔW არსებითად დამოკიდებულია r_k მნიშვნელობაზე.

ახლა შეიძლება შევჩერდეთ დასაშვები ძაბვის U შერჩევის საკითხზე კრიოტრონული გარდამქმნელის გამოსავალზე. საორიენტაციო შეფასება დასაშვები ძაბვის შეიძლება შესრულდეს ზეგამტარული მასალების თვისებების საფუძველზე. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ გარდამქმნელის შექმნა ცივ ზონაში იქნება ეკონომიურად არამიზანშეწონილი, თუ დანაკარგების მნიშვნელობა მასში გადააჭარბებს თბომილების სიდიდეს ცივ ზონაში. ცნობილია, რომ ხვედრითი თბომილება ოპტიმალურად დაპროექტებული დენშემყვანების, გაცივებული თხევადი ჰელიუმით, შეიძლება მივიღოთ ტოლი $\Delta P_T \approx 10^{-3}$ ვტ/ა, მაშინ თბომილების სიმძლავრე ცივ ზონაში დატვირთვის დენის (I) დროს, განისაზღვრება თანაფარდობით:

$$P_T = \Delta P_1 I = 10^{-3} I.$$

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ უმნიშვნელო თბომილებას ზეგამტარული გარდამქმნელის დენშემყვანში და ვიგულისხმებთ, რომ ძირითადი დანაკარგები ცივ ზონაში განისაზღვრება ომიური დანაკარგებით კრიოტრონის სარქველის წინალობით, მივიღებთ სიმძლავრის დანაკარგების მნიშვნელობას ცივ ზონაში ზეგამტარული გარდამქმნელისათვის:

$$P_k = \frac{U_2}{r_k} = \frac{U^2 I}{\rho \ell j_2},$$

სადაც ℓ - კრიოტრონის სარქველის სიგრძე;

U -ძაბვა ზეგამტარული გარდამქმნელის გამოსასვლელზე;

I – დატვირთვის (სარქველის) დენი.

ბუნებრივია, რომ ზეგამტარული გარდამქმნელის გამოყენება პირდაპირი დენების შემყვანებთან ერთად, იქნება გამართლებული როცა

$P_T > P_k$ აქედან შეიძლება განისაზღვროს დასაშვები ძაბვის მნიშვნელობა გარდამქმნელის გამოსასვლელზე, რომელიც დამოკიდებულია კრიოტრონის სარქველის პარამეტრებზე

$$U < \sqrt{10^{-3} \ell \rho j_c}$$

კრიოტრონის სარქველის დასაშვები სიგრძე შეიძლება შეფასდეს იმ ვარაუდით, რომ კრიოტრონის დამატებითი დანაკარგების სიმძლავრე სარქველის მასალის შემაგნიტებაზე P_r არ უნდა აჭარბებდეს 10%-ს სარქველის წინაღობაში დანაკარგების „უკუ დენი“-დან, ე.ი. $P_r < 0,1P_k$ ან $P_r < 0,1P_T$. ჩვეულებრივ მიღებულია დანაკარგები მიეკუთვნოს შემაგნიტებაზე ზეგამტარის ერთეულ ზედაპირზე. თუ მივიღებთ აღნიშნული დანაკარგების

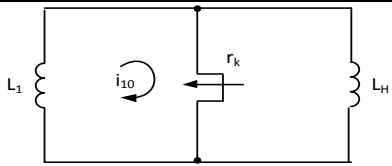
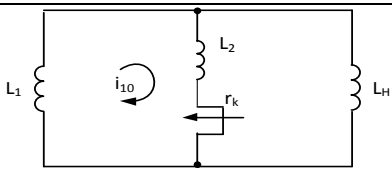
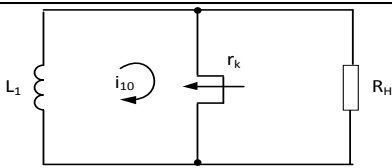
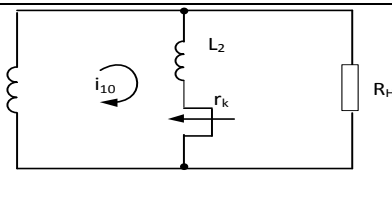
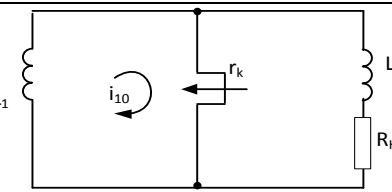
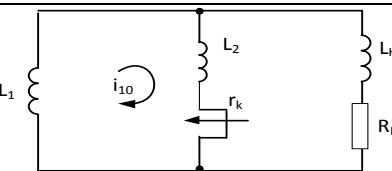
საშუალო მნიშვნელობას, მოსული სარქველის მასალის ზედაპირის ერთეულ ფართზე.

$\Delta P_r = 10^{-2}$ ვტ/მ², მაშინ მივიღებთ სიმძლავრის დანაკარგებს შემაგნიტებაზე, გამოსახული კრიოტრონის სარქველის პარამეტრებით:

$P_r = \Delta P_r S = 10^{-2} \ell \frac{I}{j_c(\ell)}$, სადაც I - გარდამქმნელის დატვირთვის დენი; $j_c(\ell)$ - სარქველის მასალისთვის წრფივი დენის სიმკვრივე არ აჭარბებს არსებული მასალებისთვის 10^5 ა/მ.

ნაშრომის მეორე თავში განხილულია ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ კრიოტრონულ გარდამქმნელში. დამუშავებულია მაღალტემპერატურული სამფაზა კრიოტრონული გამმართველი ნახევრადგამტარული მართვით ნახ.4. მოწყობილობა შეიცავს პირველად 1 გრაგნილს, შესრულებული ჩვეულებრივი სადენისაგან; მეორად გრაგნილს 2, შესრულებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენისაგან. სამფაზა კრიოტრონულ გამმართველს, რომელიც შეიცავს კრიოტრონებს, რომლის გადამრთველი ელემენტის გრაგნილი 3 შესრულებულია მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებით, შემაგნიტების გრაგნილი 4 და მართვის გრაგნილი 5

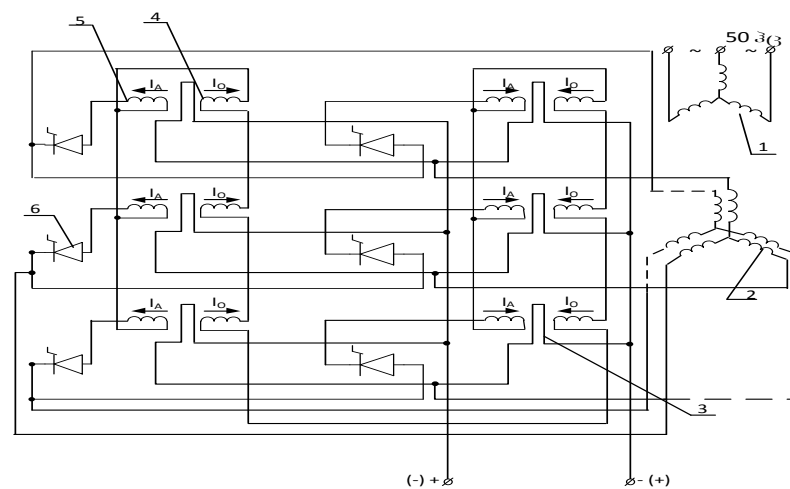
შესრულებულია ჩვეულებრივი ზეგამტარული სადენისაგან. სამფაზა კრიოტრონული გამმართველი მუშაობს შემდეგი სახით. პირველადი 1 გრაგნილის ჩართვით სამფაზა ცვლადი დენის ქსელში, მასში გაივლის ცვლადი დენი და სივრცეში პირველად 1 და მეორად 2 გრაგნილებში წარმოიქმნება მბრუნავი მაგნიტური ველი, რომელიც მეორადი გრაგნილის 2 ფაზებში აღძრავს ცვლად ემმ და დენებს. აღნიშნული დენები კრიოტრონული გამმართველის საშუალებით გარდაიქმნება მუდმივ დენში.

№	შეერთების სქემა	კრიოტრონში დანაკარგების ანალიზური გამოსახულება
1		$\Delta W = \frac{W_1}{1 + L_1/L_H}$ <p>სადაც $W_1 = L_1 \frac{i_{10}^2}{2}$</p>
2		$\Delta W = \frac{W_1}{1 + L_1/L_H} + L_2 \frac{i_{10}^2}{2}$ <p>სადაც $W_1 = L_1 \frac{i_{10}^2}{2}$</p>
3		$\Delta W = \frac{W_1}{1 + r_k/R_H}$ <p>სადაც $W_1 = L_1 \frac{i_{10}^2}{2}$</p>
4		$\Delta W = \frac{W_1}{1 + r_k L_1 / R_H (L_1 + L_2)} + L_2 \frac{i_{10}^2}{2}$ <p>სადაც $W_1 = L_1 \frac{i_{10}^2}{2}$</p>
5		$\Delta W = \frac{W_1}{1 + r_k L_1 / (R_H L_1 + r_k L_H)}$ <p>სადაც $W_1 = L_1 \frac{i_{10}^2}{2}$</p>
6		$\Delta W = \frac{W_1}{1 + r_k L_1 / [R_H (L_2 + L_1) + r_k L_H]} + L_2 \frac{i_{10}^2}{2}$ <p>სადაც $W_1 = L_1 \frac{i_{10}^2}{2}$</p>

ცვლადი სიდიდეების გარდაქმნა მუდმივში კრიოტრონული გამმართველით დაფუძნებულია ზეგამტარების თვისებაზე, რომ ის

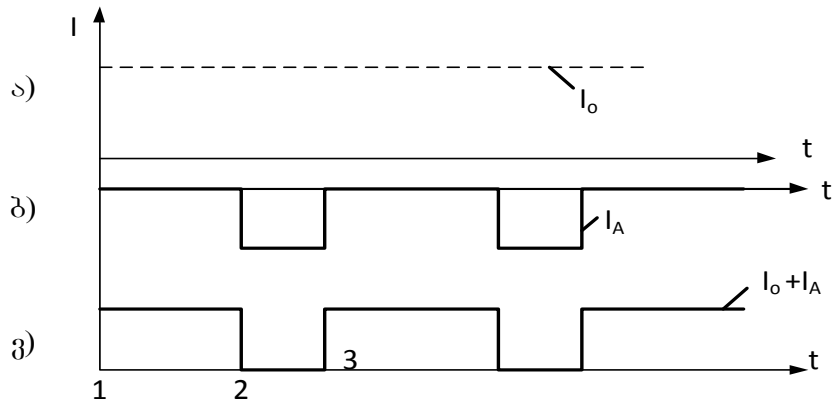
ხდება ერთის მხრივ ზეგამტარი, როცა მაგნიტური ველი ნაკლებია კრიტიკულზე, და გააჩნია მინიმალური წინაღობა, მეორე მხრივ მეტად დიდი წინაღობა, როცა მაგნიტური ველი მეტია კრიტიკულზე. კრიოტრონის გადამრთველი ელემენტის გრაგნილი 3 მოთავსებულია მუშა არეში თანაღერძულად განლაგებული შემაგნიტების 4 და მართვის 5 გრაგნილების, განივად გრძივი ველების მიმართ შექმნილი 4 და 5 გრაგნილებით. 4 და 5 გრაგნილები შესრულებულია ერთნაირი ხვიათა რიცხვით, ხოლო მათი დამამაგნიტებელი ძალები მოქმედებენ საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამგვარად მუშა არეში ველი შეიქმნება 4 და 5 გრაგნილების ჯამური ამპერხვეებით.

ნახ. 5 ნაჩვენებია სამფაზა კრიოტრონული გამმართველის მართვის ახსნა-განმარტებითი მახასიათებლები. ყველა კრიოტრონების შემაგნიტების გრაგნილები შეერთებულია მიმდევრობით და ჩართულია ტირისტორული გამმართველის (ნახ.4) გამოსასვლელზე. ამიტომ მასში გადის მუდმივი დენი I_0 (ნახ.5, ა). თითოეული კრიოტრონის მართვის 5 გრაგნილი შეერთებულია მიმდევრობით ტირისტორებთან და მათი გავლით გადის ტირისტორის ანოდის I_A დენი (ნახ.5, ბ). ამიტომ ჯამური ამპერხვეების მრუდი, რომელიც ქმნის ველს მუშა არეში, გააჩნია სახე, წარმოდგენილი ნახ.5, ვ.



ნახ.4. სამფაზა კრიოტრონული გამმართველის პრინციპიალური სქემა: 1-პირველადი გრაგნილი; 2-მეორადი გრაგნილი; 3-კრიოტრონის გადამრთველი ელემენტის გრაგნილი; 4-კრიოტრონის შემაგნიტების გრაგნილი; 5-კრიოტრონის მართვის გრაგნილი; 6-ტირისტორი

უბანზე 1-2 (ნახ.5), მუშა არეში ველი, მეტია კრიტიკულზე, კრიოტრონი არ ატარებს დენს, რადგანაც მისი გადამრთველი ელემენტის გრაგნილი გადადის ნორმალურ მდგომარეობაში ელექტრული წინაღობის დიდი მნიშვნელობით.



ნახ.5. სამფაზა კრიოტრონული გამმართველის მართვის ახსნა-განმარტებითი მახასიათებლები

უბანზე 2-3 (ნახ.5) შემაგნიტების და მართვის გრაგნილების ამპერხვეები აკომპენსირებენ ერთმანეთს და ველი მუშა არეში ახლოსაა ნულთან, ამ შემთხვევაში კრიოტრონი იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში, ე.ი. ატარებს მაქსიმალურ დენს. ტირისტორის ჩართვას მიმდევრობით კრიოტრონის მართვის 5 გრაგნილთან პრაქტიკულად მყისად გადაჰყავს კრიოტრონი ზეგამტარულ მდგომარეობაში, ამაღლებს კრიოტრონის სწრაფქმედებას და საგრძნობლად ამარტივებს მართვის სქემას კრიოტრონული გამმართველის, განსაკუთრებით მრავალფაზა სისტემის შემთხვევაში.

განხილულია ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ ტირისტორულ გარდამქმნელში, როგორც მართვის სისტემა კრიოტრონული გარდამქმნელისთვის.

ნახ.6. მოცემულია სამფაზა ბოგირული ტირისტორული გარდამქმნელი, როგორც მართვის სისტემა კრიოტრონული გარდამქმნელისთვის.

$$\left. \begin{aligned} i_{a1} = i_{b3} = i_{cs} = i_{a4} = i_{b6} = i_{c2} = I_A \\ I_{01} = I_{02} = I_{03} = I_{04} = I_{05} = I_{06} = I_d = I_o \\ L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 = L_d \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

განვიხილოდ ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ ტირისტორულ გარდამქმნელში, როგორც მართვის სისტემა კრიოტრონული გარდამქმნელისთვის.

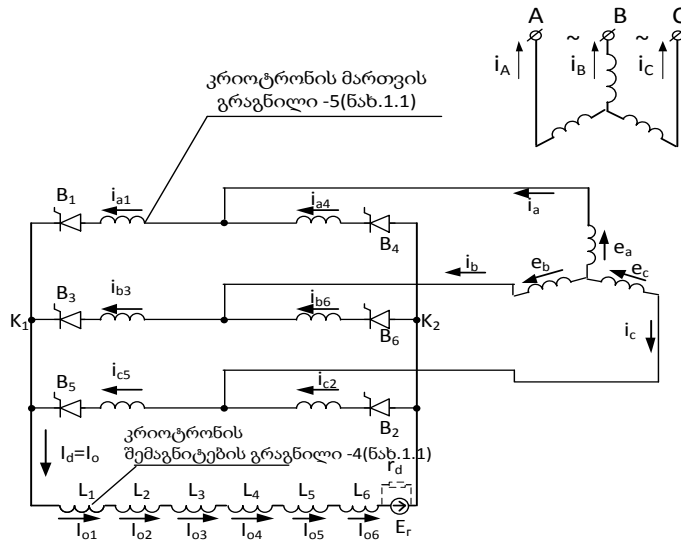
მართვადი გამმართველებისთვის გარე მახასიათებლის ცვლილების კანონზომიერება დამოკიდებულია რეგულირების α კუთხის სიდიდეზე. ამიტომ ასეთი გამმართველებისთვის ჩვეულებრივ აგებენ გარე მახასიათებლის სიმრავლეს, რეგულირების α კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის.

აღნიშნული დამოკიდებულების მიღების დროს სამფაზა ბოგირული ტირისტორული გამმართველისთვის აქტიურ-ინდუქციური r_d, L_d დატვირთვით, უგულვებელყოფთ დანაკარგებს ტირისტორებში და ტრანსფორმატორის გრაგნილებში, გავითვალისწინებთ მხოლოდ ტრანსფორმატორის გრაგნილის განბნევის ინდუქციურობას L_a , აგრეთვე უშვებთ, რომ დატვირთვის წრედში ინდუქციურობის სიდიდე $L_d = \infty$.

ასეთი გამარტივების პროცესში დატვირთვის წრედში დენი მიიღება იდეალურად გამართული და უცვლელი თავისი სიდიდით, ხოლო კომუტაციის დენი დამოკიდებულია განბნევის ინდუქციურობის L_a სიდიდეზე და ტრანსფორმატორის გრაგნილის ელექტრომაგნიტური ძალის (ემძ) ცვლილების კანონზომიერებაზე კომუტაციის კონტურში. გამმართველის გარე მახასიათებლის ცვლილების კანონზომიერება დამოკიდებულია თითოეულ ტირისტორში დენის გატარების ხანგრძლივობაზე $\lambda = \frac{2\pi}{3} + \gamma$ (ნახ.7, ა),

რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება ვენტილების რიცხვით, რომლებიც ერთდროულად ატარებენ დენს. კომუტაციის γ კუთხის, შესაბამისად, λ კუთხე იცვლება დატვირთვაში დენის ცვლილების დროს. როცა დატვირთვის დენი I_d , ახლოსაა ნომინალურ მნიშვნელობასთან, $\gamma < \frac{\pi}{3}$ და $\lambda < \pi$. აღნიშნულ რეჟიმში, სქემაში ერთდროულად, მონაცვლეობით ატარებს დენს ორი ან სამი ტირისტორი.

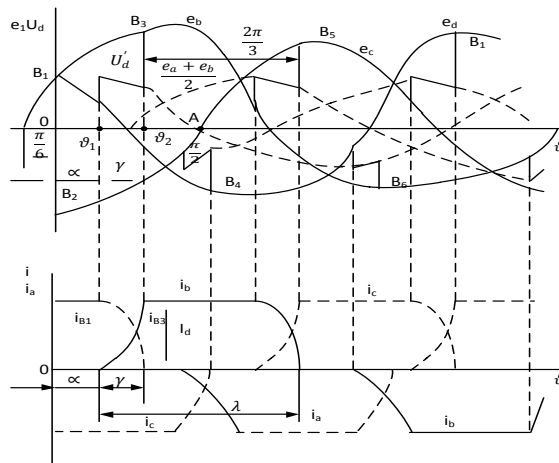
I_d დენის გაზრდით, ერთდროულად მომუშავე ოთხი ტირისტორის ინტერვალი ფართოვდება, და მოკლე შერთვის დროს სქემაში ნებისმიერ მომენტში ერთდროულად ატარებს დენს ოთხო ვენტილი; ამ შემთხვევაში $\gamma < \frac{\pi}{3}$ და $\lambda = \frac{4\pi}{3}$



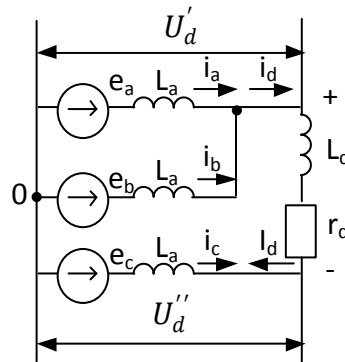
ნახ.6. სამფაზა ბოგირული ტირისტორული გარდამქმნელი, როგორც მართვის სისტემა კრიოტრონული გარდამქმნელისთვის

თითოეული სამი რეჟიმიდან სქემის მუშაობა ხასიათდება გარკვეული კანონზომიერებით, გარე მახასიათებლების ცვლილებით, ამიტომ განხილული უნდა იქნეს აღნიშნული რეჟიმები ცალკე, ხოლო შემდეგ უნდა ჩავატაროდ მიღებული გარე მახასიათებლის უბნების შეუღლება.

ნაშრომის მესამე თავში მოცემულია სამფაზა ბოგირული კრიოტრონული გარდამქმნელის ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობა და დანაკარგები ცვლად მაგნიტურ ველში. ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების დამუშავება და შექმნა მოითხოვს ზეგამტარული (ზგ) სადენების გამოყენებას მაღალი დენგამტარუნარიანობით და დაბალი დანაკარგებით. აღნიშნული მიზნის მიღწევა შესაძლებელია მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებით ლოკალიზებული მაგნიტური ველით (მმზგსლ), რომელშიც ურთიერთ გავლენა ცალკეული ძარღვების მაგნიტური ველების დაყვანილია



ა)



ბ)

ნახ.7. სამფაზა ბოგირული ტირისტორული გარდამქმნელი, გამმართველის რეჟიმში მუშაობის დროს:

ა) რეჟიმის პარამეტრების დროის დიაგრამები, როცა $\gamma < \frac{\pi}{3}$;

ბ) ეკვივალენტური სქემა

მინიმუმამდე. გრაგნილების ასეთი შესრულებით დენგამტარუნარიანობა თითოეული ზგ ძარღვის განისაზღვრება საკუთარი მაგნიტური ველით და საკუთარი პარამეტრებით. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობის და დანაკარგების ანგარიშისათვის ცვლად მაგნიტურ ველში. ამავე თავში მოცემულია თხევადი კრიოგენული პროდუქტებთან მიმოქცევის უსაფრთხოების სპეციალური საკითხები.

დასკვნები

1. დამუშავებულია ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული ზეგამტარული გადამრთველი-კრიოტრონის პრინციპული სქემა, რომელიც შეიცავს სამ გრაგნილს: მუშა გრაგნილი, რომელიც წარმოადგენს გადამრთველ ელემენტს და შესრულებულია ლოკალიზირებული მრავალძარღვა ზეგამტარული სადენით, შევსების კოეფიციენტით $K_{შვ} \ll 1$; მართვის გრაგნილი, რომელიც აღებს კრიოტრონს; ჩამკეტი გრაგნილი სუსტი მაგნიტური კავშირით მართვის გრაგნილთან, იმართება მართკუთხა ფორმის დენის იმპულსით და შესრულებულია მრავალძარღვა ზეგამტარული სადენით შევსების კოეფიციენტით $K_{შვ} \approx 1$. იმპულსის დროის ინტერვალში კრიოტრონი გაღებულია, დანარჩენ დროში კრიოტრონი ჩაკეტილია.

2. აგებულია კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი, რომლისგანაც განისაზღვრება კრიოტრონის დენი, ძაბვის ვარდნა და დანაკარგები ჩაკეტილ მდგომარეობაში.

3. დამუშავებულია პრინციპული სქემა მაღალტემპერატურული სამფაზა კრიოტრონული გამმართველის ნახევრადგამტარული მართვით. მოწყობილობა შეიცავს პირველად გრაგნილს, შესრულებული ჩვეულებრივი სადენისაგან. მეორად გრაგნილს, შესრულებული მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენისაგან. სამფაზა კრიოტრონული გამმართველს, რომელიც შეიცავს კრიოტრონებს, რომლის გადამრთველი ელემენტის გრაგნილი შესრულებულია მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებით. შემაგნიტების და მართვის გრაგნილები შესრულებულია ჩვეულებრივი ზეგამტარული სადენისაგან. კრიოტრონული გამმართველის მართვა ხორციელდება ტირისტორებით გაღების α კუთხის ცვლილების გზით.

4. შესწავლილია ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ ტირისტორულ გარდამქმნელში, როგორც მართვის სისტემა კრიოტრონული

გარდამქმნელისთვის. განხილულია გამმართველის და ინვერტორის რეჟიმები. მართვადი გამმართველებისთვის გარე მახასიათებლების ცვლილების კანონზომიერება დამოკიდებულია რეგულირების კუთხის სიდიდეზე და თითოეულ ტირისტორში დენის გატარების ხანგრძლივობაზე, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება ვენტილების რიცხვით, რომლებიც ერთდროულად ატარებენ დენს.

5. შესწავლილია სამფაზა ბოგირული კრიოტრონული გარდამქმნელის ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობა და დანაკარგები ცვლად მაგნიტურ ველში.

ნაჩვენებია, რომ ენერგეტიკული დანიშნულების კრიოტრონული გარდამქმნელების დამუშავება და შექმნა მოითხოვს ზეგამტარული სადენების გამოყენებას მაღალი დენგამტარუნარიანობით და დაბალი დანაკარგებით.

6. დადგენილია, რომ აღნიშნული მიზნის მიღწევა შესაძლებელია მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენებით ლოკალიზებული მაგნიტური ველით, რომელშიც ურთიერთ გავლენა ცალკეული ძარღვების მაგნიტური ველების დაყვანილია მინიმუმამდე.

7. მიღებულია ძირითადი თანაფარდობები ზეგამტარული სადენების დენგამტარუნარიანობის და დანაკარგების ანგარიშისათვის ცვლად მაგნიტურ ველში.

8. მოცემულია თხევადი კრიოგენული პროდუქტებთან მიმოქცევის უსაფრთხოების სპეციალური საკითხები.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. კობრეიძე თ., ქადაგიშვილი გ. ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალტემპერატურული (77კ) ზეგამტარული გადამრთველი კრიოტრონი. „ინტელექტუალი“, 2016, №31, გვ.194-197.

2. კობრეიძე თ., ქადაგიშვილი გ. ძალოვანი ზეგამტარული გადამრთველი-კრიოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი. სტუ, სტუდენტური კონფერენცია. თეზისების კრებული. თბილისი, საქართველო, 2016, გვ.1-3.

3. კობრეიძე თ., ქადაგიშვილი გ. მაღალტემპერატურული სამფაზა კრიოტრონული გამმართველი ნახევრადგამტარული მართვით. IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები”. მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, საქართველო, 2016, გვ.90-93.

4. კობრეიძე თ., ქადაგიშვილი გ. ზეგამტარული გარდამქმნელები ენერგეტიკული კრიოტრონების ბაზაზე. “ენერგია”, 2017, №4(84), გვ.20-29.

5. კობრეიძე თ., ქადაგიშვილი გ. ელექტრომაგნიტური პროცესები სამფაზა ბოგირულ კრიოტრონულ გარდამქმნელში ნახევრადგამტარული მართვით. “ენერგია”, 2018, №1(85), გვ. 21-28.

Summary

It's known that under influence of magnetic field, electric current or temperature an electric resistance of superconductive material changes from zero to certain finite value. Initially cryotron in simple form was represented by superconductive wire, which could be switched from zero resistance to normal condition by means of magnetic field generated by electric current passed through other superconductor. The wire, which switches from normal state to superconductive one and inversely, is called a gate.

In 1954 D.A. Back has invented superconductive switch – a wired niobium-tantalum cryotron for creation of computing devices. Later, in 1956 I.S. Kahn's developed a wired lead-tin cryotron. Advantage of the mentioned cryotron compared with the former was: a simplicity of large-volume production, lower cost of materials used for manufacturing. All this gave at that time a boost to prepare experimental mock-ups and to carry out studies on cryotrons: computing, measuring and switching devices.

In the first chapter of the work are represented characteristics of cryotronic converters intended for energy purposes. There's considered critical analysis of available literature on cryotronic switches and parameters of cryotrons. Due to large volume of available switching elements of cryotrons their response speed was low.

High-temperature (77K) superconductive switch – cryotron for energy purposes is elaborated, which characteristics can be improved with the use of high-temperature multi-core superconductive wires.

Cryotron contains three windings: operating winding, which represents switching element; control winding, which opens cryotron; closing coil with weak magnetic link with control winding. Operating winding is made from localized multi-core cables, which coefficient of fullness is much less than 1. Control winding is represented by closing coil, closing current of which exceeds critical current of switching element and is made on the basis of multi-core superconductive wires. Closing coil is controlled by current impulse of rectangular shape. Within impulse time cryotron is open, while at all other times cryotron is closed. Volt-ampere characteristic of cryotron is constructed that makes possible determination of voltage drop and losses in closed state.

Cryotron is a completely controlled symmetric switch with two-way conductivity and is characterized by:

- non-existence of drop in voltage in open state;
- two-way conductivity in open state;
- two-way closing in closed state;
- power down and up irrespective of current direction and voltage polarity.

Main disadvantages of cryotron are:

- limited response speed;
- loss presence in closed state;

- high control currents.

In order to get rid of the mentioned disadvantages is necessary to manufacture the winding of switching element from localized multi-core superconductive wires, with not high coefficient of fullness and maximum current density in the core.

There's considered one-phase cryotronic converter, which represents double-circuit electric circuit connected by one cryotron. Commutation transient processes occurring in it are studied.

In the second chapter of the work are considered electromagnetic processes in three-phase bridge-type cryotronic converter. There's elaborated diagram of three-phase bridge-type cryotronic converter with semiconductive control and there're studied electromagnetic processes in three-phase bridge-type thyristor converters, as a control system for cryotronic converter. Rectifying and inverter modes are considered. Regularities of external characteristic's change for controlled rectifier are depended on control angle magnitude and current-flow interval in each thyristor, which in its turn is determined by number of valves, which simultaneously conduct current. According to commutating angle, the angle of current-flow interval in thyristor changes during current change in the load. When load current is close to nominal value, commutating angle is less than 60° and angle of current-flow interval in thyristor is less than 180° . In the mentioned mode, two or three thyristors simultaneously and alternately conducts current in the circuit.

With increase in current, the interval of simultaneously operating four thyristors is getting larger and during short circuit four valves simultaneously conduct current at any time. In this case commutating angle is less than 60° and angle of current-flow interval in thyristor is equal to 60° . In all three modes, circuit operation is characterized by certain regularities and change of external characteristics. The mentioned modes are considered separately in the work, and afterwards there's made a conjugation of sections of obtained external characteristics.

In the third chapter of the work is given a current conductivity of superconductive wires of three-phase bridge-type cryotronic converters and its losses in variable magnetic field. There's shown that developing and manufacturing of cryotronic converters for energy purposes requires use of superconductive wires with high current conductivity and low losses. It's established that achievement of this goal is possible by magnetic field localized by multi-core superconductive wires, in which mutual influence of magnetic fields of separate cores is reduced to a minimum. Current conductivity of each superconductive core in case of such execution of windings is determined by own magnetic field and own parameters. There're obtained basic ratios for calculation of current conductivity of superconductive wires and its losses in variable magnetic field. Special issues of safety are given.