

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ჩაჩხიანი

საქართველოს ენერგეტიკულ სისტემაში
თბოელექტროსადგურების თბოენერგეტიკული დანადგარების
ოპტიმალური მართვისათვის რეკომენდაციების შემუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი
დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

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 თ. კობრეიძე

რეცენზენტები:

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

კორპუსი VIII, აუდიტორია

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს
მდივანი, ასოც. პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. მძლავრი ნახევრადგამტარული ხელსაწყოების განვითარების დონე, საშუალებას იძლევა მათ საფუძველზე, შეიქმნას სხვადასხვა სახის ენერგეტიკული დანიშნულების ელექტრული დენის გარდამქმნელები. ნახევრადგამტარული გარდამქმნელების გამოყენება თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში, წარმოადგენს მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორები (მნკ), მძლავრი ასინქრონული და სინქრონული ძრავების გაშვებისათვის და ბრუნთა სიჩქარის რეგულირებისათვის, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სხვადასხვა მექანიზმების ამძრავებისათვის. ხშირ შემთხვევაში თბოელექტროსადგურებში 300 მგვტ-მდე სიმძლავრის ენერგობლოკები ჩაბმულია მანევრულ რეჟიმებთან, რომლის დროს მოეთხოვებათ ენერგობლოკის სიმძლავრის დიდ დიაპაზონში ღრმა რეგულირება. ენერგობლოკის სიმძლავრის ცვლილების დროს, აუცილებელია იცვლებოდეს მკვებავი წყლის ხარჯი, კვამლგამწოვის წვევა და ა.შ.

ამგვარად, აუცილებელია ენერგობლოკის საკუთარი მოხმარების ყველა მექანიზმების მწარმოებლურობის რეგულირება. აქედან გამომდინარე, თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მწარმოებლურობის ოპტიმალური რეგულირების რეკომენდაციების შემუშავება არ კარგავს აქტუალობას.

სამუშაოს მიზანია თბოელექტროსადგურების თბოენერგეტიკული დანადგარების ოპტიმალური მართვისათვის რეკომენდაციების შემუშავება. ძირითადი ყურადღება მიქცეული იქნება ნახევრადგამტარული გარდამქმნელების გამოყენებაზე თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში.

კვლევის ობიექტი და ამოცანები. დასახული მიზნის შესაბამისად ფორმულირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. დამუშავებული იქნეს თბოელექტროსადგურის თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამბრავის ელექტრული სქემა.

2. რეგულირების კანონის გათვალისწინებით მიღებული იქნეს ცვლადების კომპლექსური გარდაქმნის საფუძველზე თბოტურბინისა და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმების განტოლებები.

3. დამყარებულ რეჟიმში განსაზღვრული იქნეს კომუტატორის შესასვლელზე დენის გამოსახულება, მაგნიტური ველის სიმძლავრე, ელექტრომაგნიტური მომენტი და მაქსიმალური გამშვი მომენტი. მიღებული გამოსახულებების მიხედვით აგებული იქნეს სიჩქარული და მექანიკური მახასიათებლები.

4. ჩატარებული უნდა იქნეს კომპლექსური ანგარიში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური რეჟიმების და მიღებული უნდა იქნეს გარდამავალი პროცესების მახასიათებლები.

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

სამეცნიერო სიახლე:

1. დამუშავებულია თბოელექტროსადგურის თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამბრავის ელექტრული სქემა, რომლის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ კომუტატორის გადართვის სიხშირე წარმოადგენილია ძრავას რეაქტიული დენის ცვლილების სიხშირისა და საწყისი მიწოდებული სრიალის სიხშირის ჯამის.

2. რეგულირების კანონის გათვალისწინებით ცვლადების კომპლექსური გარდაქმნის საფუძველზე მიღებულია თბოტურბინისა და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმების განტოლებები.

3. დამყარებულ რეჟიმში განსაზღვრულია კომუტატორის შესასვლელზე დენის გამოსახულება, მაგნიტური ველის სიმძლავრე, ელექტრომაგნიტური მომენტი და მაქსიმალური გამშვი მომენტი. მიღებული გამოსახულებების მიხედვით აგებულია სიჩქარული და მექანიკური მახასიათებლები.

4. ჩატარებულია კომპლექსური ანგარიში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური რეჟიმების და აგებულია დამოკიდებულება დენების, მომენტის და როტორის ბრუნთა სიჩქარის დროზე. გამოკვლეულია ძრავას რეგულირების დინამიკური თვისება და დამყარებულია კავშირი გარდამავალი პროცესების ხარისხსა და ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურასთან.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო სამუშაოში მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნეს თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების, მათ შორის თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ელექტროამძრავის მოდერნიზაციის – დამუშავების დროს.

აპრობაცია. სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში მე-III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ (2015 წ.) და ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტში I, II და III კოლოქვიუმებზე.

გარდა ამისა, სადისერტაციო სამუშაოების შედეგები გამოქვეყნებულია ხუთ სამეცნიერო სტატიაში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლისა და 5 თავისაგან, რომლების გადმოცემულია 153 გვერდზე. ნაშრომი შეიცავს 41 ნახაზს, 5 ცხრილს და 29 დასახელების ლიტერატურას.

სამუშაოს ძირითადი შინაარსი

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

პირველ თავში წარმოდგენილია თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირების აქტუალური საკითხები. საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ტუმბოების, ვენტილატორების, კომპრესორების და სხვა მექანიზმების ელექტრული ამძრავების მწარმოებლურობის ცვალებადობა უმრავლეს შემთხვევაში ხორციელდება სხვადასხვა სახის საკვალთით ან ჰიდრომუფთით. ღრმა რეგულირების დროს ასეთი მეთოდები იწვევენ მნიშვნელოვან ენერჯის დანაკარგებს, საკვალთის და ჰიდრომუფთის ჰიდრავლიკური წინააღობის გადალახვაზე.

მძლავრი მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორების გამოყენება თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში იძლევა მნიშვნელოვან ტექნიკო-ეკონომიურ ეფექტს, რომელიც მიიღება ენერგომომჭირნეობის ხარჯზე (საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მიერ ენერგომომხმარების შემცირება), საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირება და კაპიტალური დანახარჯების შემცირება.

მოყვანილია ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც ქმნიან მოცემულ ტექნიკო-ეკონომიურ ეფექტს: ბრუნთა სიჩქარის რეგულირების დროს ელექტროამძრავების საშუალო მ.ქ.კ-ის ამაღლება; მძლავრი ელექტროძრავების გამშვიდების მკვეთრი შემცირება. აღნიშნულის შედეგად არსებითად იზრდება ელექტროძრავების რესურსი და იზრდება სარემონტო ვადები, მცირდება დანახარჯები საკუთარი მოხმარების მკვებავი ქსელის გაძლიერებაზე, რომელიც აუცილებელია დიდი გამშვიდების დროს. მომსახურე პერსონალის რაოდენობის შემცირება,

ელექტროამძრავების სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობის შედეგად, რომლებიც იკვებებიან მნკ-იდან.

ძირითადი ტექნოლოგიური მოწყობილობების: ორთქლის ქვაბი, ორთქლის ტურბინა, გენერატორი და ამამალელებელი ტრანსფორმატორის ნორმალური მუშაობა უზრუნველყოფილი ხდება საკუთარი მოხმარების მრავალრიცხოვანი მექანიზმებით. საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავებად ძირითადად გამოიყენება ცვლადი დენის სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავები, როგორც მოკლე ჩართული როტორით, ისე ფაზურ როტორიანი, რომლებიც გამოირჩევიან კონსტრუქციის სიმარტივით და ექსპლუატაციაში მაღალი საიმედოობით. ენერგობლოკების სიმძლავრის ზრდასთან ერთად მნიშვნელოვნად იზრდება საკუთარი მოხმარების ელექტროძრავების სიმძლავრე. გარდა ამისა შეიცვალა აგრეთვე მძლავრი ელექტროძრავების მუშა ძაბვების დონე: ამჟამად ელექტროძრავები 200 კვტ სიმძლავრეზე მეტი მუშაობენ 6 კვ. ძაბვაზე, ნაცვლად 3 კვ ძაბვისა. დანარჩენი ელექტროძრავები მუშაობენ 0,4 კვ. ძაბვაზე.

თბოელექტროსადგურებში თბოენერგეტიკული დანადგარების მართვისათვის აუცილებელია რეგულირებადი ასინქრონული ძრავები, რომლის დამუშავებისათვის საჭიროა უპირველეს ყოვლისა გამოვლენილ იქნეს შესაბამისობა ასინქრონული ძრავას მექანიკურ მახასიათებელსა და თბოენერგეტიკული დანადგარების მექანიზმების მახასიათებლებს შორის. ამისათვის ელექტროამძრავების სწორი პროექტირებისათვის და ეკონომიური ექსპლუატაციისათვის აუცილებელია შესწავლილი იქნეს აღნიშნული მახასიათებლები.

დამოკიდებულება ძრავას ლილვზე დაყვანილი სიჩქარესა და მექანიზმის წინაღობის მომენტს შორის $\omega = f(M_e)$ წარმოადგენს მექანიზმის მექანიკურ მახასიათებელს. სხვადასხვა მექანიზმები ხასიათდებიან სხვადასხვა მექანიკური მახასიათებლებით.

წინააღმდეგობის მომენტის მიხედვით საკუთარი მოხმარების მექანიზმები იყოფიან ორ ჯგუფად:

- როცა ბრუნთა სიხშირე არ არის დამოკიდებული წინააღმდეგობის მომენტზე;
- ბრუნთა სიხშირე დამოკიდებულია ხარისხის მიხედვით წინააღმდეგობის მომენტზე.

ნახ. 1. ნაჩვენებია თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები. შეიძლება მივიღოთ ზოგიერთი განზოგადოებული დასკვნა, თუ გამოვიყენებთ შემდეგ ემპირულ ფორმულას თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლებისათვის:

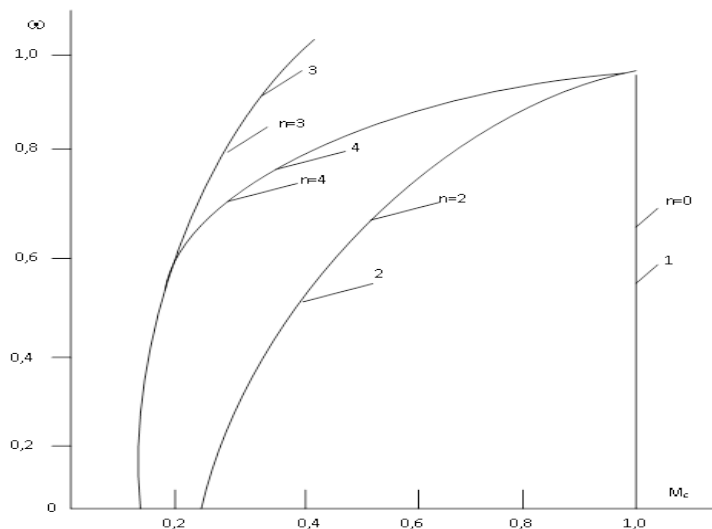
$$M_c = M_0 + (M_{c,n} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^n ,$$

სადაც, M_c - მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტი ω სიჩქარის დროს;

M_0 - მექანიზმის მოძრავი ნაწილის ხახუნის წინააღმდეგობის მომენტი;

$M_{c,n}$ - მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტი ω_n ნომინალური სიჩქარის დროს;

n - ხარისხის მაჩვენებელი, რომელიც ახასიათებს წინააღმდეგობის მომენტის ცვლილებას სიჩქარის ცვლილების დროს.



ნახ.1. თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები: 1-სფერული წისქვილი; 2-ვენტილატორები და ტუმბოები; 3,4-უკუწნევაზე მომუშავე მექანიზმები

განხილულიდან გამომდინარე შეიძლება მოვახდინოთ კლასიფიკაცია თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლების შემდეგი ძირითადი კატეგორიებად:

- მექანიკური მახასიათებელი, როცა არ არის დამოკიდებული სიჩქარისაგან (სწორი ხაზი-1, ნახ.1), ამ შემთხვევაში $n = 0$ და წინაღობის მომენტი M_e არ არის დამოკიდებული სიჩქარეზე;
- არახაზოვანი, ზრდადი მექანიკური მახასიათებელი (მრუდი -2, ნახ.1), აღნიშნულ მახასიათებელს შეესაბამება $n = 2$; წინაღობის მომენტი M_e დამოკიდებულია სიჩქარის კვადრატზე.

შესწავლილია თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები. ძირითადი კვლევები ჩატარებულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის დამუშავებაზე, როგორც განსაკუთრებით პასუხსაგები მექანიზმი.

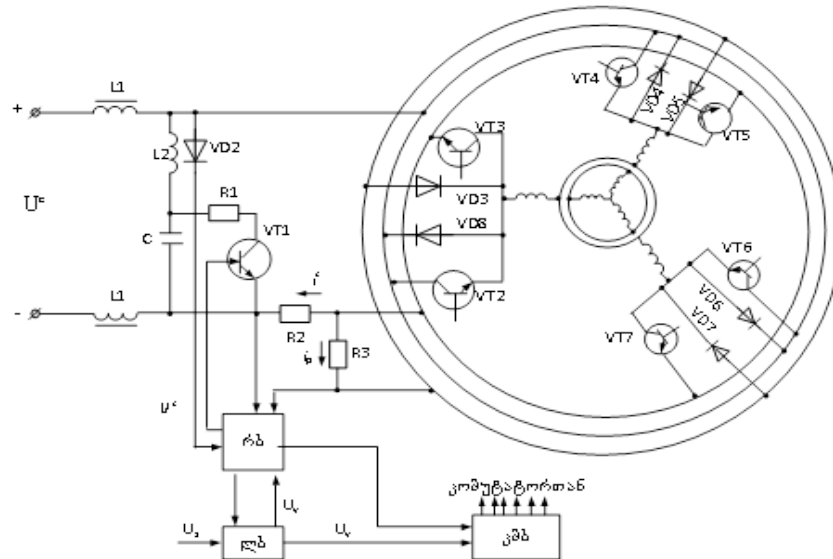
თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმებიდან განსაკუთრებით პასუხსაგებს წარმოადგენს ზეთის ტუმბო, რომლის მტყუნებამ, შეიძლება გამოიწვიოს ძირითადი აგრეგატების დაზიანება. თბოელექტროსადგურის ავარიული გაჩერების დროს, საკუთარი მოხმარების სისტემის კვების დაკარგვის შემთხვევაში, სარეზერვო ზეთის ტუმბოს მტყუნებამ, შეიძლება გამოიწვიოს ზეთის მომარაგების შეწყვეტა თბოტურბინის და თბოგენერატორის საკისრებზე და შესაბამისად მათი სადებების გადნობა. ამიტომ თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს კვება რეზერვირდება სააკუმულატორო ბატარეებიდან.

სამუშაოში განხილულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას დამუშავება. ელექტრული სქემა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ნაჩვენებია ნახ.2-ზე. სქემის ძალოვანი ნაწილი შედგება მოკლე შერთული როტორიანი ასინქრონული ძრავასაგან ტიპით

4X90L4Y3 და მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორისაგან (მნკ). კომპუტატორი აწყობილია სამფაზა ბოგირული სქემით, შესრულებული ტრანზისტორულ გასაღებებზე.

თითოეული გასაღების გამტარობის ინტერვალი შეადგენს 180 ელ.გრადუსს. ასეთი სქემა უზრუნველყოფს გამოსავალი ძაბვის მრუდის ფორმის დამოუკიდებლობას ელექტროძრავას სიმძლავრის კოეფიციენტისაგან. კომპუტატორი შეიცავს უკუ დიოდების ბოგირს, აწყობილი KD209A დიოდებზე. სტატორის გრაგნილების ფაზებთან მნკ შეერთებულია სამფაზა ბოგირული სქემით. მნკ-ის შესასვლელზე მიეწოდება მუდმივი ძაბვა სააკუმულატორო ბატარეადან. მართვის სქემა შეიცავს შემდეგი ფუნქციონალურ ბლოკებს. კომპუტატორის მართვის ბლოკი (კმბ), რეგულატორის ბლოკი (რბ), ლოგიკის ბლოკი (ლბ). კომპუტატორის უკუ დიოდების წრედში გადის ძრავას რეაქტიული დენი I_{ϕ} . მნკ-ის გადართვის სიხშირის რეგულირება ხორციელდება მართვადი მიმწოდებელი გენერატორით (მმგ), რომელიც მოთავსებულია კომპუტატორის მართვის ბლოკში (კმბ). მმგ-ის გამოსასვლელიდან სიგნალი მიეწოდება იმპულსების მანაწილებლებზე და შემდეგ მაფორმირებლის გავლით ზემოქმედებს მნკ-ის ძალოვან გასაღებებზე. მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის სიხშირე პროპორციულია მართვადი ძაბვის და ძრავას რეაქტიული დენის ცვლილების სიჩქარეზე. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავა (მდუეძ) მართულია ლბ-ის საშუალებით, რომლის შესასვლელზე მიეწოდება მართვის გარე სიგნალი, ამგზნები ძაბვა U_{ϕ} . მნკ მუშაობს შემდეგი სახით. დაუშვით ძრავას დენი გადის $V_{თ2}$, $V_{თ7}$, $V_{თ4}$ გასაღებების გავლით. გამტარობის ინტერვალის დამთავრების დროს გასაღები $V_{თ2}$ გამოირთვება. ძრავას გამოსართავი ფაზის დენი (რეაქტიული დენი I_{ϕ}) იწყებს გავლას $V_{თ3}$ გასაღების უკუ დიოდის V_3 გავლით. აუცილებელი დაყოვნებით, $V_{თ2}$ გასაღების საიმედო ჩაკეტისათვის, მიეწოდება მართვის სიგნალი $V_{თ3}$ გასაღებზე, რომელიც გაიღება V_3 დიოდში დენის ნულამდე შემცირების შემდეგ. 60 ელ. გრადუსის შემდეგ ანალოგიური პროცესები

განმეორდება V_{t7} გასაღების გამორთვის დროს. გასაღებების მუშაობის მიმდევრობა შემდეგია: V_{t2} - V_{t7} - V_{t4} - V_{t3} - V_{t6} - V_{t5} - V_{t2} . როცა ძრავას სიმძლავრის კოეფიციენტი ნაკლებია 0,55, რეაქტიული დენის გავლის ხანგრძლივობა აჭარბებს 60 ელ.გრადუსს, ერთდროულად ჩართული აღმოჩნდება ორი უკუ დიოდი, და გარდა ფაზათა-შორის გაცვლისა, მიმდინარეობს რეაქტიული ენერჯის გაცვლა ძრავასა და მაგლუვებელი ფილტრის კონდენსატორს შორის. ელექტროძრავას დამუხრუჭების დროს მზრუნავი სისტემის ენერჯია ნაწილობრივ განიზნევა კომუტატორში, რის შედეგად ძაბვა კომუტატორის შესასვლელზე შეიძლება მეტისმეტად გაიზარდოს.



ნახ. 2. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემა: კმბ-კომუტატორის მართვის ბლოკი; რბ-რეგულატორის ბლოკი; ლბ-ლოგიკის ბლოკი

ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ელექტროძრავას გაჟღენთვა, კომუტატორის შესასვლელზე დენის უეცარი გაზრდა. ყოველივე ამის თავიდან აცილების მიზნით კომუტატორის შესასვლელში პარალელურად ჩართულია ძაბვის შემზღუდველი, რომელიც შეიცავს ბალასტურ

რეზისტორს R_1 და ტრანზისტორულ გასაღებს V_{t1} . გასაღები V_{t1} ჩაერთვება, თუ ძაბვა კომპუტატორის შესასვლელზე გადააჭარბებს მოცემულ მნიშვნელობას. ინდუქციურობა L_2 ზღუდავს დენის ზრდის სიჩქარეს მოკლე შერთვის დროს კომპუტატორის ძალოვან წრედში. VD_2 ემსახურება კომპუტატორის შესასვლელზე გადამეტაბვის მოხსნას. მოკლე შერთვის დენის შეზღუდვისათვის ინდუქციურობის ერთი გრაგნილი 1 ჩართულია დადებით წრედში, ხოლო მეორე გრაგნილი უარყოფით წრედში. რეგულატორის ბლოკი (რბ) შეიცავს ელექტროძრავას რეაქტიული დენის რეგულატორს. რეაქტიული დენის რეგულატორი საშუალებას იძლევა შევინარჩუნოდ ძრავაში მაგნიტური ნაკადი ნომინალურ დონეზე სიხშირის დიაპაზონში მინიმალურიდან ნომინალურამდე. როცა სიხშირე ნომინალურზე მაღალია მაგნიტური ნაკადი მცირდება სიხშირის ზრდის შესაბამისად. მიმდინარეობს შედარება, ელექტროძრავას რეაქტიული დენის i_{α} პროპორციული ძაბვის (აღნიშნული ძაბვა მოიხსნება R_3 -დან, საყრდენი ძაბვასთან, რომელიც ფორმირდება R_2 რეზისტორის საშუალებით. რეზისტორების ნომინალური მნიშვნელობები განისაზღვრება ელექტროძრავას სიმძლავრის მიხედვით.

განსაკუთრებულობას განსახილველი სისტემის ნახ.2 წარმოადგენს ის, რომ კომპუტატორის გადართვის სიხშირე დაკავშირებულია ძრავას რეაქტიული დენის ცვლილების სიხშირესთან შემდეგი კანონით:

$$f_{\alpha}^c = f_o + f_{\alpha} \quad (1)$$

სადაც f_{α}^c -კომპუტატორის გადართვის სიხშირე;

f_o -საწყისი მიწოდებული სრიალის სიხშირე, რომელიც განსაზღვრავს როტორის დენის სიხშირეს, როცა $f_{\alpha} = 0$;

f_{α} - როტორის ბრუნვის სიხშირე;

$f_{i\alpha}$ -ძრავას რეაქტიული დენის სიხშირე.

მეორე თავში განხილულია თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორები, მათი კლასიფიკაცია,

კომპიუტაციური ფუნქციის საშუალებით მიღებულია დამოკიდებულება მნკ-ის გამოსავალი ძაბვასა და შესავალ ძაბვას შორის. შესწავლილია ელექტრომაგნიტური პროცესები, კომპიუტაციური პროცესები და მართვადი ნახევრადგამტარულ კომპუტატორში ელემენტების შერჩევა.

მესამე თავში განხილულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავში გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმები.

მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას (ნახ.1) განტოლებებს აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{bmatrix} \bar{U}^c + \bar{U}_o^c \\ \bar{U}_o^p \\ \bar{U}_o^{*p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^{cc} Z_{11}^{cp} Z_{12}^{cp} \\ Z_{11}^{pc} Z_{11}^{pp} O \\ Z_{12}^{pc} O Z_{11}^{*pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}^c \\ \bar{I}^p \\ \bar{I}^{*p} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2) განტოლებაში ზედა ინდექსი "C" აღნიშნავს, რომ ცვლადი ან პარამეტრი მიეკუთვნება სტატორს, ხოლო ინდექსი "P", შესაბამისად როტორს. (2) განტოლების ჩაწერისათვის ფარდობით ერთეულებში ჯერ ყველა პარამეტრები დავიყვანით სტატორის წრედთან გამოსახულებებით:

$$L L_S^{P1} = k^2 L_S^P; r^{P1} = k r^P; M^{PP1} = K M^{PP}; \bar{I}^{P1} = \frac{1}{K} \bar{I}^P,$$

სადაც, $k = k_{o\delta 1} W_1 / k_{o\delta 2} W_2$ - მიყვანის კოეფიციენტი;

W_1, W_2 - სტატორისა და როტორის გრაგნილების ფაზის ხვიათა რიცხვი;

$k_{o\delta 1}, k_{o\delta 2}$ - სტატორისა და როტორის გრაგნილების საგრანგილე კოეფიციენტები, სადაც გათვალისწინებულია ცალკეული ხვიების სხვადასხვა ნაკადუმბმა.

(2) განტოლების ჩაწერის დროს ფარდობით ერთეულებში, ბაზისურ კუთხურ სიხშირედ მიღებულია $\omega_g = 314$ რად/წმ; ხოლო ბაზისურ დროდ $t_g = 1/\omega_g$ წმ. როგორც ქვემოთ ჩანს ინდუქციური და აქტიური წინაღობების გამოსახულებისათვის, რომლებიც შედის (2) განტოლებაში, მათი ანგარიშებისათვის საკმარისია ვიცოდეთ ასინქრონული ძრავას ჩანაცვლების სქემის პარამეტრები სიმეტრიულ რეჟიმში. (2) განტოლებაში ოპერატორული წინაღობებისათვის გვაქვს შემდეგი გამოსახულებები:

$$Z_{11}^{cc} = (\rho^c + P)x_{11}^{cc}, Z_{11}^{cp} = \frac{1}{2}k_1x_{11}^{pp}(P + j\omega_n^c),$$

$$Z_{12}^{cp} = -\frac{1}{2}k_1x_{11}^{cp}e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)}(P - j\omega_n^c), \quad (3)$$

$$Z_{11}^{pp} = [\rho^p + P + j(\omega_n^c - \omega_p)]x_{11}^{pp}k_1, Z_{12}^{cp}$$

$$= -[P - j(\omega_n^c - \omega_p)]k_1e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)}x_{11}^{pc}Z_{11}^{pc} = k_1x_{11}^{cp}[P + j(\omega_n^c - \omega_p)]$$

სადაც α_1^c, α_2^c -კუთხეები სტატორის ფაზების გრანგილების მაგნიტური ღერძსა და სტატორის გრძივი ღერძს შორის.

ინდუქციური წინაღობებისათვის გვექნება:

$$x_{11}^{cp} = 2[1 - \cos(\alpha_1^c - \alpha_2^c)]x_m^{cp} = 2[1 - \cos(\alpha_1^c - \alpha_2^c)]x_m, x_{11}^{cc} = 2x_s^c + x_{BH} + 3x_m^{cc}$$

$$= 2x_s^c + x_{BH} + 3x_m,$$

$$X_{11}^{pc} = \frac{3}{2}x_m^{pc} = \frac{3}{2}x_m, \quad (4)$$

$$X_{11}^{pp} = x_s^p + \frac{3}{2}x_m^{pp} = x_s^p + \frac{3}{2}x_m, x_m^{cc} = x_m^{cp} = x_m^{pc} = X_m^{pp} = x_m$$

მილევის კოეფიციენტისთვის გვექნება:

$$\rho^c = \frac{2r^2 + 2r_E + r_{BH}}{x_{11}^{cc}}, \rho^p = \frac{r^p}{x_{11}^{pp}}$$

სადაც, ρ^c -სტატორის გრანგილის ფაზის აქტიური წინაღობა; r_E — ვენტის აქტიური წინაღობა პირდაპირი მიმართულებით;

r_{BH} -გარე წრედის აქტიური წინაღობა;

$$k_1 = \frac{\sin \frac{\omega_p}{\omega_n^c} \frac{\pi}{m^c}}{\frac{\omega_p}{\omega_n^c} \frac{\pi}{m^c}} \quad \text{გასაშუალების კოეფიციენტი.}$$

ბოგირული სქემისთვის k_1 კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის უნდა მივიღოთ $m^c = 6$, რაც შეესაბამება ფაზის ექვსჯერადი გადართვას.

(2) განტოლებაში $\bar{U}_\sigma^c, \bar{U}_\sigma^p, \bar{U}_\sigma^{sp}$ კომპლექსური სიდიდეები, განსაზღვრული საწყისი პირობებით:

$$\bar{U}_\sigma^c = P \left[x_{11}^{cc} \bar{I}_\sigma^c + \frac{1}{2}k_1x_{11}^{cp} \bar{I}_\sigma^p - \frac{1}{2}k_1x_{11}^{cp} e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} \bar{I}_\sigma^c \right],$$

$$\bar{U}_\sigma^p = P(k_1x_{11}^{pc} \bar{I}_\sigma^p + x_{11}^{pp} \bar{I}_\sigma^p),$$

$$\bar{U}_\sigma^{sp} = P[-k_1x_{11}^{pc} e^{-j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} \bar{I}_\sigma^c + x_{11}^{pp} \bar{I}_\sigma^{sp}],$$

$\bar{I}_\sigma^c, \bar{I}_\sigma^p$ -სტატორისა და როტორის დენების საწყისი კომპლექსური მნიშვნელობებია.

(2) განტოლება აღწერს გარდამავალ და დამყარებულ პროცესებს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ძრავაში. უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გამოყენება თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის, იძლევა შემდეგი ტექნიკო-ეკონომიკურ ეფექტს: ბრუნთა სიჩქარის რეგულირების დროს ელექტროამძრავის საშუალო მ.ქ.კ-ის ამაღლება; გამშვი დენების მკვეთრი შემცირება; აღნიშნულის შედეგად არსებითად იზრდება ელექტროძრავების რესურსი და იზრდება სარემონტო ვადები, მცირდება დანახარჯები საკუთარი მოხმარების მკვებავი ქსელის გაძლიერებაზე, რომელიც აუცილებელია დიდი გამშვი დენების დროს.

მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში დამყარებული რეჟიმების განტოლებას [2]-იდან გააჩნია შემდეგი სახე:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}^c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11}^{cc} \rho^c & j \frac{1}{2} k_1 x_{11}^{cP} \omega_n^c & j \frac{1}{2} k_1 e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} \omega_n^c x_{11}^{cP} \\ j(\omega_n^c - \omega_p) k_1 x_{11}^{cP} & [\rho^P + j(\omega_n^c - \omega_p) x_{11}^{PP}] & 0 \\ j e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} (\omega_n^c - \omega_p) x_{11}^{cP} k_1 & 0 & [\rho^P - j(\omega_n^c - \omega_p) x_{11}^{PP}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}^c \\ \bar{I}^P \\ \bar{I}^{sP} \end{bmatrix} \quad (5)$$

(5) განტოლებიდან ვპოულობთ:

$$j^c = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad j^P = \frac{\Delta_2}{\Delta},$$

სისტემის მსაზღვრელი:

$$\Delta = x_{11}^{cc} x_{11}^{PP2} [\rho^c \rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2 \rho^c + (\omega_n^c - \omega_p) \mu \rho^P \omega_n^c] \quad (6)$$

Δ_1 და Δ_2 მსაზღვრელებისთვის გვექნება:

$$\Delta_1 = \bar{U}^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2 \rho^c + (\omega_n^c - \omega_p) \mu \rho^P \omega_n^c] \quad (7)$$

$$\Delta_2 = -\dot{U}^c x_{11}^{cP} x_{11}^{cP} [j \rho^P (\omega_n^c - \omega_p) k_1 + (\omega_n^c - \omega_p)^2]$$

სტატორის დენის მყისი მნიშვნელობისთვის, (5-7) განტოლებების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$i^c = \frac{\bar{U}^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2]}{x_{11}^{cc} \rho^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2] + x_{11}^{cP} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)} \quad (8)$$

$$\text{ან } i^c = \frac{U^c}{2r^c + 2r_B + r_{BH} + \Delta R}$$

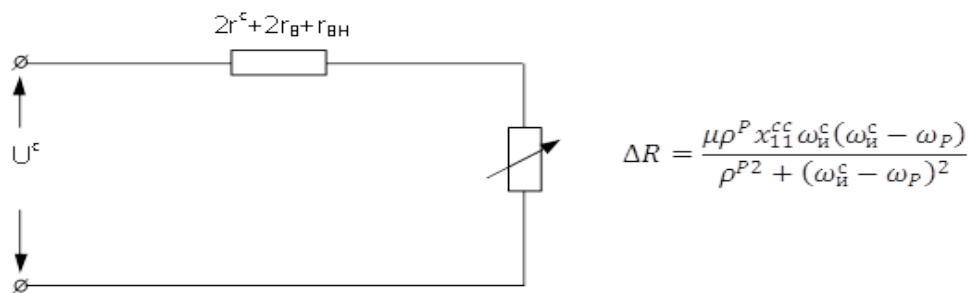
$$\text{სადაც } \Delta R = \frac{\mu \rho^P x_{11}^{cc} \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)}{\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2} \quad (9)$$

ნახ. 3. ნაჩვენებია მანქანის ჩანაცვლების სქემა დამყარებულ რეჟიმში, აგებული (9) განტოლების თანახმად. ნახ.4. ნაჩვენებია ვექტორული დიაგრამა. სტატორის წრედში დამატებითი აქტიური წინაღობა ეკვივალენტურია როტორის მხრიდან დატვირთვის (დატვირტვა ლილვზე და აქტიური დანაკარგები როტორში) და დამოკიდებულია როტორის ბრუნთა სიჩქარეზე, მართვადი იმპულსის სიხშირეზე და მანქანის პარამეტრებზე. სტატორის მაგნიტური ველი სივრცეში ბრუნავს ω_n^c სიჩქარით. მაგნიტური ველის მომენტი, ბრუნვას იმავე სიჩქარით, რომელიც ტოლია:

$$M_{\Sigma} = \frac{P_1}{\omega_n^c} \quad (10)$$

მაგნიტური ველის სიმძლავრისათვის გვაქვს:

$$P_1 = U^c i^c = \frac{U^{c2} [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2]}{x_{11}^{cc} \rho^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2] + x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)} \quad (11)$$

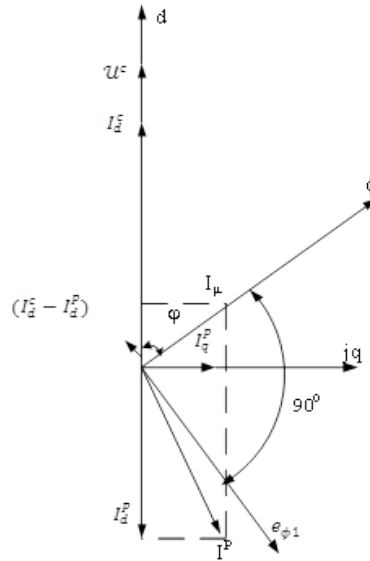


ნახ. 3. ჩანაცვლების სქემა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამბრავის როტორზე გადაცემული სიმძლავრისათვის გვექნება:

$$P_2 = i^{c2} \Delta R = \frac{U^{c2} x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p) [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2]}{[\rho^c x_{11}^{cc} [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2] + \mu \rho^P x_{11}^{cc} \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)]^2} \quad (12)$$

(10) და (11) გათვალისწინებით ლილვზე მომენტისათვის მივიღებთ:

$$M_{\exists} = \frac{U^c x_{11}^{cc} \mu \rho^P (\omega_n^c - \omega_p) [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2]}{\{x_{11}^{cp} \rho^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2] + x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)\}^2} \quad (13)$$



ნახ. 4. ვექტორული დიაგრამა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის

(13) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ელექტრომაგნიტური მომენტი, გარდა ძრავას პარამეტრებისა, დამოკიდებულია როტორის ბრუნთასიჩქარეზე და კომუტატორის მართვადი იმპულსების სიხშირეზე. გამშვი მომენტისათვის, თუ დაუშვებთ (13) განტოლებაში $\omega_p = 0$ მივიღებთ:

$$I_d^c = \frac{\sqrt{3} U^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2]}{x_{11}^{cc} [\rho^c \rho^{P2} + \rho^c (\omega_n^c - \omega_p)^2 + \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)]}$$

$$I_d^p = \frac{\sqrt{3} U^c x_{11}^{pc} (\omega_n^c - \omega_p)^2}{x_{11}^{pp} x_{11}^{cc} [\rho^c \rho^{P2} + \rho^c (\omega_n^c - \omega_p)^2 + \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)]} \quad (14)$$

$$I_q^p = \frac{\sqrt{3} U^c x_{11}^{pc} \rho^P k_1 (\omega_n^c - \omega_p)^2}{x_{11}^{pp} x_{11}^{cc} [\rho^c \rho^{P2} + \rho^c (\omega_n^c - \omega_p)^2 + \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)]}$$

(14) განტოლებიდან ჩანს, რომ

$$I_d^c = -\frac{x_{11}^{pp}}{x_{11}^{pc}} I_d^p + I_{\sigma d}^c \quad (15)$$

სადაც

$$I_{od}^c = \frac{\sqrt{3}U^c p^P z}{z_{11}^{cc} [p^c p^{Pz} + p^c (\omega_n^c - \omega_p)^2 + \mu p^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)]} \quad (16)$$

დამამაგნიტებელი დენის განსაზღვრისათვის გვექნება:

$$I_\mu = \sqrt{(I_d^c - I_d^P)^2 + I_q^P^2} \quad (17)$$

ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ.3) φ კუთხის განსაზღვრისათვის d ღერძსა და ϕ ველის გრძივი ღერძს შორის გვექნება

$$\varphi = \arctg \frac{I_q^P}{I_d^c - I_d^P} \quad (18)$$

რადგანაც კოორდინატთა სისტემის d ღერძი და მაგნიტური ღერძი კომპუტირებული ფაზის თანხვედრშია, მაშინ სტატორის ფაზის ემძ-ისთვის გვექნება:

$$e_{\phi 1}^c = E_{\phi m}^c \cos \left(\omega_n^c t + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) \quad (19)$$

სადაც $E_{\phi m}^c$ -სტატორის ფაზის ემძ-ის ამპლიტუდე

$$E_{\phi m}^c = \psi_{\phi m}^c \omega_n^c. \quad (20)$$

$\psi_{\phi m}^c$ --სტატორის ფაზის ნაკადშეზღვევის ამპლიტუდა, რომელიც ტოლია

$$\psi_{\phi m}^c = \phi \omega_\phi k_\psi, \quad (21)$$

სადაც ϕ - საპოლუსო დანაყოფზე ველის ნაკადი;

k_ψ - ბიჯის შემოკლების კოეფიციენტი;

ω_ϕ - ფაზის ხვიათა რიცხვი.

(14-21) განტოლებების საფუძველზე შეიძლება აიგოს ვექტორული დიაგრამა (ნახ.3). როტორის დენის გაზრდით, როგორც ჩანს (15) განტოლებიდან, სტატორის დენი იზრდება, როგორც ამას ადგილი აქვსდატვირთვის გაზრდის დროს ცვლადი დენის ასინქრონულ ძრავაში. გამშვი დენისათვის ($\omega_p = 0$) დამყარებულ რეჟიმში (9)-დან მივიღებთ:

$$i_n^c = \frac{u^c}{2r^c + 2r_B + r_{BH} + \frac{x_{11}^{cc} \mu^p \omega_1^2}{\rho^p \sigma^2 + \omega_1^2}} \quad (22)$$

(13) და (8) თანაფარდობის გამოყენებით, შეიძლება აიგოს მექანიკური და სიჩქარული მახასიათებლები ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავისათვის. განსახილველი სისტემა შესრულებულია სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას ბაზაზე ტიპით 4AMX90 4Y3 შემდეგი ნომინალური მონაცემებით: შეერთების სქემა Δ ; სიმძლავრე $P = 2,2$ კვტ; ძაბვა $U_H = 380$; სტატორის დენი $I_H = 5$; ა. ბრუნთა სიჩქარე $n_H = 1500$ ბრ/წთ; წყვილ პოლუსთა რიცხვი $P = 2$. ძაბვისა და დენის სიდიდეების ბაზისურ სიდიდედ მიღებულია $U_B = 220$ ვ; $I_B = 5,0$ ა.; ბაზისური წინაღობისთვის გვექნება:

$$Z_B = \frac{U_B}{I_B} = 44 \text{ ომი} \quad (23)$$

ბაზისური სიმძლავრე:

$$S_B = 3U_H I_H = 3,3 \text{ კვტ.}$$

ბაზისურ მომენტად მიღებულია მომენტი, განსაზღვრული გამოსახულებით:

$$M_B = \frac{P - S_B}{\omega_1} = 21 \text{ ნმ,}$$

სადაც $\omega_1 = 314$ რად/წმ. - მანქანის სინქრონული კუთხური სიჩქარე. ძრავას წინაღობა, განსაზღვრული ექსპერიმენტულად და მიყვანილი სტატორთან, ფარდობით ერთეულებში ტოლია:

$$r^c = 0,098; \quad r^p = 0,06; \quad x_s^c = 0,076; \\ x_s^{p'} = 0,13; \quad x_m = 1,4; \quad x_{BH} = 0,236; \quad r_{BH} = 0,012$$

ინდუქციური წინაღობებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} x_{11}^{cc} &= 4,352; & \rho^c &= 0,045; \\ x_{11}^{pc} &= 2,1; & \rho^p &= 0,027; \\ x_{11}^{pp} &= 4,2; & \mu^c &= 0,965; \\ x_{11}^{pp'} &= 2,23; & \mu^p &= 0,941; \\ \mu &= 0,908; & \sigma &= 0,092. \end{aligned} \quad (24)$$

ინერციის მომენტისთვის გვაქვს $J = 13,129$. გამოსახულება (13) და (8) გაანალიზებული იქნა კომპიუტერული ტექნიკის საშუალებით სხვადასხვა ω_{Σ}^c მნიშვნელობისათვის. ცვლადი ძაბვა კომუტატორის გამოსასვლელზე U^c და კომუტატორის გადართვის კუთხური სიხშირე ω_{Σ}^c რეგულირდება იმგვარად, რომ შენარჩუნებული იქნეს პირობა:

$$\frac{u^c}{\omega_{\Sigma}^c} = const$$

ნახ.5. ნაჩვენებია სიჩქარული მახასიათებლები მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის. ნახ.6. ნაჩვენებია მექანიკური მახასიათებლები. მახასიათებლებიდან ჩანს, რომ კომუტატორის გადართვის სიხშირის გაზრდით სიჩქარული და მექანიკური მახასიათებლები გადაადგილდება მარჯვნივ და ზევით, თავისი პირვანდელი სახის შენარჩუნებით. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ კომუტატორის გადართვის სიხშირის ცვლილებით, შეიძლება ვარეგულიროთ ამძრავის ბრუნთა სიჩქარე ფართო დიაპაზონში.

როგორც აღნიშნული იყო (2) განტოლება აღწერს გარდამავალ და დამყარებულ პროცესებს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ძრავაში. გავაგრძელოთ (2) განტოლების გარდაქმნა გარდამავალი პროცესების ანალიზისთვის.

სტატორის ძაბვის კომპლექსური მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$\bar{U}^c = (e^{j\alpha_1^c} - e^{j\alpha_2^c})U^c = U_d^c + jU_q^c$$

$$U_d^c = (\cos\alpha_1^c - \cos\alpha_2^c)U^c, \quad (25)$$

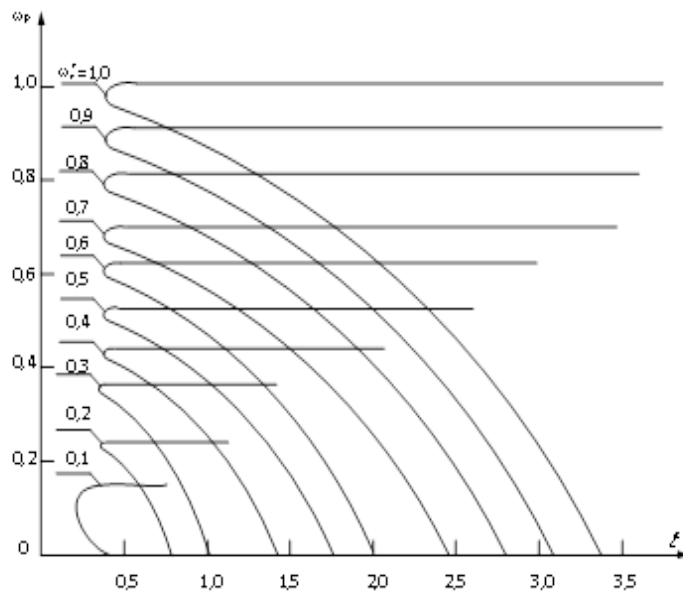
$$U_q^c = (\sin\alpha_1^c - \sin\alpha_2^c)U^c,$$

ანგარიშის გამარტივების მიზნით შემდგომში მივიღებთ $\alpha_1^c = 30^\circ$, $\alpha_2^c = 150^\circ$, მაშინ:

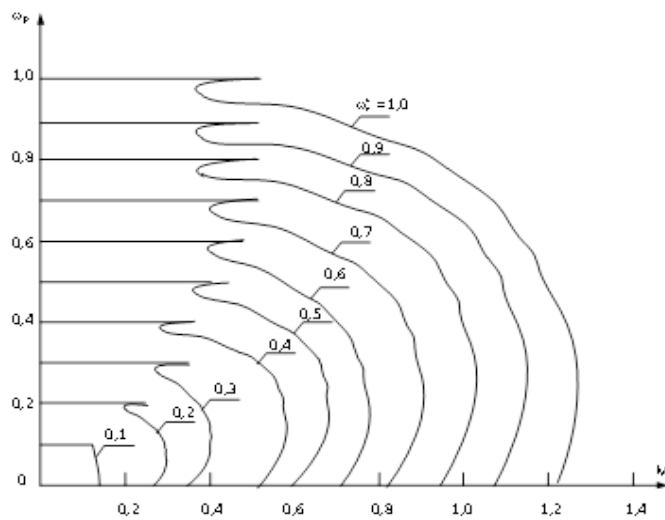
$$U_d^c = \sqrt{3}U^c, U_q^c = 0 \quad (26)$$

ანალოგიურ დამოკიდებულებას მივიღებთ სტატორის დენისთვის:

$$I_d^c = \sqrt{3}i^c, I_q^c = 0 \quad (27)$$



ნახ.5. სიჩქარული მახასიათებლები $\omega_F^c = f(i^c)$ კომუტატორის გადართვის სიხშირის ω_H^c სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის



ნახ.6. მექანიკური მახასიათებლები $\omega_F = f(M)$ კომუტატორის გადართვის სიხშირის ω_H^c სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის

(2) განტოლება აღწერს გარდამავალ პროცესებს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ძრავაში, შეიძლება წარმოვიდგინოთ d და q კოორდინატებში, მომზადებული კომპიუტერზე ამოხსნისათვის.

$$PI_d^c = 1/1 - k_1^2 \mu (U_d^c / x_{11}^{cc} - \rho^c I_d^c + k_1 \mu^c \rho^p I_d^p + k_1 \mu^c \omega_p I_q^p),$$

$$PI_d^c = -1/1 - k_1^2 \mu \{ k_1 \mu^p U_d^c / x_{11}^{cc} - k_1 \mu^p \rho^c I_d^c + \rho^p I_d^p + [\omega_p - \omega_n^c (1 - k_1 \mu^c)] I_q^p \},$$

(28)

$$PI_d^c = k_1 \mu^p (\omega_p - \omega_n^c) I_d^c - \rho^p I_q^p + (\omega_p - \omega_n^c) I_d^p,$$

$$P\omega_p = (M_\exists - M_B) / J,$$

$$M_\exists = -k_1 x_m I_d^c I_q^p,$$

თუ $M_\exists - M_B \leq 0$, მაშინ $\omega_p = 0$

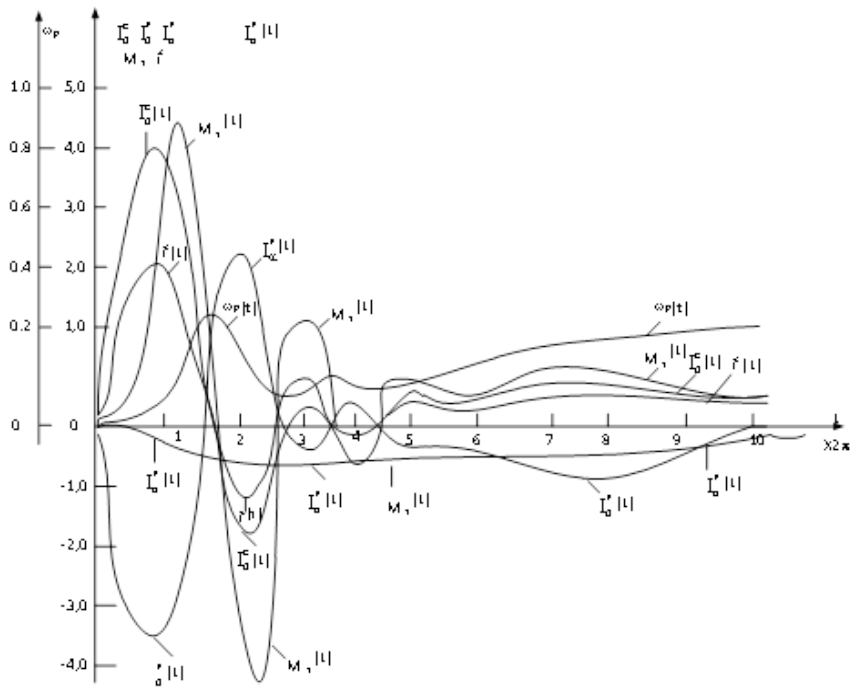
$$U_d^c = \sqrt{3} U^c$$

(28) განტოლებათა სისტემა გაანალიზებული იქნა კომპიუტერული ტექნიკის საშუალებით.

ნახ. 7-8 ნაჩვენებია ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები კომპუტატორის გადართვის სხვადასხვა სიხშირის მნიშვნელობისათვის, როცა დატვირთვა $M_B = 0,5$.

გარდამავალი პროცესი შედგება ორი ეტაპისაგან: ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური. ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესი იწყება ძრავას ქსელში ჩართვის მომენტიდან და მთავრდება როცა $M_\exists = M_B$. ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესის დამთავრების მომენტიდან იწყება ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესი და ძრავა ანვითარებს სიჩქარეს. გარდამავალი პროცესის საწყის უბანზე როტორის ბრუნთა კუთხური სიხშირის ცვლილება, განაპირობებს ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტის რხევითი ხასიათით ცვლილებას დროში მნიშვნელოვანი ამპლიტუდით. ელექტრომაგნიტურ მომენტს გააჩნია ნიშანცვლადი ხასიათი. უარყოფითი მომენტის გავლენა აისახება სიჩქარის მრუდზე, საიდანაც ჩანს, რომ უარყოფითი მომენტი იწვევს

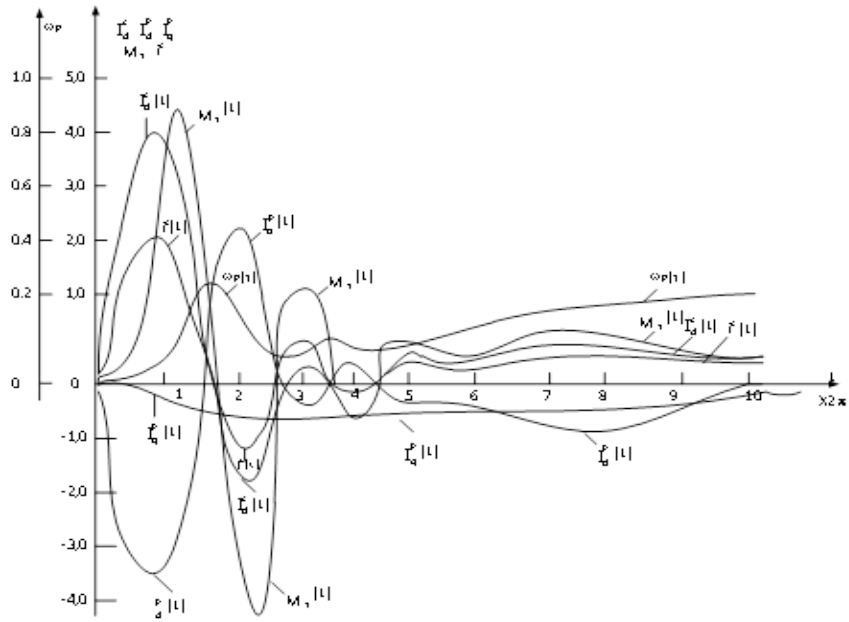
სიჩქარის შენელებას. მომენტის რხევა უარყოფით მნიშვნელობამდე აიხსნება \vec{I}^C და \vec{I}^P ვექტორების ფაზების შერევით. როცა $\omega_H^C = 0,8$ დარტყმის ელექტრომაგნიტური მომენტი $M_3 = 4,25$ გაშვების მომენტში აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას $t = 1,45 \times 2\pi$ დროის მომენტში. კომპუტატორში შემავალი დარტყმის დენი $i^C = 2,25$ აღწევს მაქსიმუმს $t = 1,15 \times 2\pi$ დროის მომენტში ელექტრომექანიკური გარდამავალი რეჟიმის ხანგრძლივობა (გაშვების დრო) $i^C = 2,25$. (ნახ.6).



ნახ.7. ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები

$$(\omega_H^C = 0,8; U_{MARC}^C = 0,513; M_E = 0,5)$$

$\omega_H^C = 0,6$ დროს დარტყმის ელექტრომაგნიტური მომენტი $M_3 = 4,18$ აღწევს თავის მაქსიმუმს $t = 1,65 \times 2\pi$ დროის მომენტში. კომპუტატორში შემავალი დარტყმის დენი $i^C = 2,21$ აღწევს მაქსიმუმს $t = 1,25 \times 2\pi$ დროის მომენტში ელექტრომექანიკური გარდამავალი რეჟიმის ხანგრძლივობა $t = 9,5 \times 2\pi$. (ნახ.8).



ნახ.8. ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები

$$(\omega_{II}^C = 0,6; \quad u_{\text{MAXC}}^C = 0,513; \quad M_E = 0,5)$$

მეოთხე თავში განხილულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში ენერგოდაზოგვის ტექნიკური გადაწყვეტა. შესწავლილია ოპტიმიზაციის, დაბრკოლებამდგრადობის, დასაშვები დატვირთვების და გახურების საკითხები.

მეხუთე თავში მოცემულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გამოცდის თავისებურებანი. განხილულია რეგულირებადი ასინქრონული ძრავა, როგორც გამოცდის ობიექტი. განსაზღვრულია ძრავას უქმი სვლის და მოკლე შერთვის რეჟიმებში ელექტრული დანაკარგებით მინიმალური და მაქსიმალური მაბრუნე მომენტი, მათი დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა. განხილულია ელექტროძრავების კონტროლისა და მართვის ხარისხისათვის ავტომატიზებულ გამოსაცდელ – დიაგნოსტიკის სისტემები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით.

დასკვნები

1. შესწავლილია თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები და გამოვლენილია შემდეგი კატეგორიები:

მექანიკური მახასიათებელი, როცა მომენტი არ არის დამოკიდებული სიჩქარისაგან, წრფივი მახასიათებელი;

მექანიკური მახასიათებელი, როცა მომენტი დამოკიდებულია სიჩქარის კვადრატზე, არაწრფივი ზრდადი მახასიათებელი.

2. დამუშავებულია თბოელექტროსადგურის თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემა, რომლის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ კომპუტატორის გადართვის სიხშირე წარმოადგენილია ძრავას რეაქტიული დენის ცვლილების სიხშირისა და საწყისი მიწოდებული სრიალის სიხშირის ჯამით.

3. განხილულია თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორები. მოცემულია მათი კლასიფიკაცია, მასში ელექტრომაგნიტური და კომუტაციური პროცესები.

4. რეგულირების კანონის გათვალისწინებით ცვლადების კომპლექსური გარდაქმნის საფუძველზე მიღებულია თბოტურბინისა და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმების განტოლებები.

5. დამყარებულ რეჟიმში განსაზღვრულია კომპუტატორის შესასვლელზე დენის გამოსახულება, მაგნიტური ველის სიმძლავრე, ელექტრომაგნიტური მომენტი და მაქსიმალური გამშვი მომენტი. მიღებული გამოსახულებების მიხედვით აგებულია სიჩქარული და მექანიკური მახასიათებლები.

6. ჩატარებულია კომპლექსური ანგარიში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური რეჟიმების და აგებულია დამოკიდებულება დენების, მომენტის და როტორის ბრუნთა სიჩქარის დროზე. გამოკვლეულია ძრავას რეგულირების დინამიკური თვისება და დამყარებულია კავშირი გარდამავალი პროცესების ხარისხსა და ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურასთან.

7. მიღებულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში ენერგოდაზოგვის ტექნიკური გადაწყვეტა, როგორცაა ოპტიმიზაცია, დაბრკოლებამდგრადობა, დასაშვები დატვირთვა და გახურება.

8. განხილულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გამოცდის თავისებურებანი, როგორცაა:

- უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა;
- მოკლე შერთვის რეჟიმში დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა;
- მინიმალური და მაქსიმალური მაბრუნე მომენტების განსაზღვრა;
- ელექტროძრავების კონტროლისა და მართვის ხარისხისათვის ავტომატიზებული გამოსაცდელ-დიაგნოსტირების სისტემები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები:

1. კობრეიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოელექტროსადგურებში თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას დამუშავება. „ენერჯია“, 2016, №4(80), გვ. 59-63.
2. კობრეიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში დამყარებული რეჟიმები. „ენერჯია“, 2016, №4(80), გვ. 64-69.
3. კობრეიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში გარდამავალი პროცესები. „ინტელექტუალი“, 2017, №34, გვ. 203-209.
4. კობრეიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში დამყარებული რეჟიმები. „ინტელექტუალი“, №33, 2017, გვ. 221-227.
5. ჩაჩხიანი გ. თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირების აქტუალური საკითხები. III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - „ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, საქართველო, 2015, გვ. 57-60.

Summary

The high level of development of powerful semiconductor devices makes possible to create various types of electrical current converters for energy purposes. Semiconductor converters used in self-consumption systems of thermal power stations are represented by controlled solid-state (semiconductor) switches (CSS) for start-up of powerful asynchronous and synchronous engines and for control of rotation velocity, which are widely used for actuators (drives) of different self-consumption mechanisms of thermal power stations.

Power generator units of thermal power stations with up to 300 MgWt capacity on frequent occasions are involved in maneuver mode, during which a strong control (regulation) of power generator unit is needed in wide range of capacity. When changing the capacity of power generator unit is necessary to change a feed water discharge, the induced draft of smoke exhauster etc. Thus, there is necessary to control the productivity of all self-consumption mechanisms of power generator unit.

In the first chapter of the work are represented self-consumption mechanisms of thermal power stations. Variability of productivity of electric actuators of pumps, fans, compressors and other mechanisms of electric drive mechanisms in most cases is achieved by damper valve or hydraulic clutch. In case of strong control these methods cause significant energy losses for overcoming the hydraulic resistance of damper valve and hydraulic clutch. Use of powerful controlled solid-state (semiconductor) switches in the self-consumption systems of thermal power stations produces a significant technical and economic effect, which is obtained at the expense of energy economy (reduction of energy consumption by self-consumption mechanisms), decrease in operating expenses and capital expenditures.

There are cited basic factors, which produce the given technical and economic effect: improvement of average coefficient of efficiency of electric actuators during rotation velocity control; drastic reduction of inrush currents of powerful electric engines. As a result of abovementioned substantially grows the resource of electric engines and increases a repair time, while expenses needed for amplification of network feeder that is compulsorily in case of heavy inrush currents reduce.

Mechanical characteristics of self-consumption mechanisms of thermal power stations are studied. Basic researches are conducted related to elaboration of non-contacting electric direct-current drive of oil pump of thermal turbine and heat generator as the especially responsible mechanism. There are given basic requirements imposed to controlled semiconductor (solid-state) switch for the control (regulation) of electric actuators of oil pump of thermal turbine and heat generator.

In the second chapter of the work are considered controlled solid-state (semiconductor) switches for the control (regulation) of electric actuators of self-consumption mechanisms of thermal power stations, their classification, by means

of commutation function is obtained the dependence between output voltage and input voltage of controlled solid-state (semiconductor) switch, are studied electromagnetic processes, commutation processes and selection of elements in controlled solid-state (semiconductor) switch.

In the third chapter of the work are considered transitional and steady-state modes of non-contacting direct current electric drive of oil pump of thermal turbine and heat generator. In steady-state mode is determined the expression for current at the switch input, field capacity, electromagnetic torque and maximum starting torque. As is seen from mentioned expression, except the engine parameters, all of them are depended on rotation velocity of rotors and switching frequency of the switch. According to obtained expressions are plotted speed and mechanical characteristics.

It is seen from these characteristics that by increase of switching frequency the speed and mechanical characteristics shift to the right and up, keeping their original appearance. It points at the fact that through variation of switching frequency we can control rotation velocity of the actuator in the wide range. Complex calculation is made for transitional electromagnetic and electromechanical modes, and dependencies are plotted on current, torques and rotation velocity of the rotor. Dynamic property of engine regulation is investigated and the linkage between quality of transitional processes and structure of automatic control system is established. On the basis of conducted research is formulated the demand for the law of automatic control of rational structure, which provides necessary quality of transitional process.

In the fourth chapter of the work is considered technical solution of energy economy in non-contacting direct-current electric actuator of oil pump of thermal turbine and heat generator. Problems of optimization, interference immunity, permissible loads and heating are studied.

In the fifth chapter of the work are given peculiarities of testing of non-contacting direct-current electric actuator of oil pump of thermal turbine and heat generator. Controlled asynchronous engine as the test object is considered. There are determined electric losses, minimum and maximum rotation moments in idle conditions and short-circuit conditions of the engine, and the area of their permissible values is identified. Automated testing and diagnostics systems for controlling and handling quality of electric engines are considered with the use of computer equipment.