

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გრიგოლ ხარშილაძე

როტორზე მრავალფაზა აგზნების გრაგნილიანი მუდმივი დენის
ვენტილური ძრავის დამუშავება და კვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“, შიფრი 0405

თბილისი

2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფ. დემურ კოხრეიძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2016 წლის „----“ „-----“ „-----“ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.
დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ასოც. პროფ. გ. გიგინეიშვილი

სამუშაოს აქტუალურობა.

მრეწველობაში ფართოდ გამოიყენება რეგულირებადი მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტროამძრავი. ამძრავის მთავარ რგოლს წარმოადგენს ელექტრული ძრავა. კარგი რეგულირების თვისებები აქვს მუდმივი დენის ელექტრულ მანქანებს, მაგრამ მათი სუსტი ადგილია კოლექტორ-მუსების კვანძი, რომელიც საჭიროებს მუდმივ მოვლას. ეს კვანძი მნიშვნელოვნად ამცირებს ამძრავის საიმედოობას.

ჩვენს ამოცანას წარმოადგენს დავამუშაოთ და გამოვიკვლიოთ მუდმივი დენის უკოლექტორო ძრავა, რომელიც აგებულია ფაზურ როტორიანი მანქანის ბაზაზე. მანქანის სტატორზე განთავსებულია ნახევრად გამტარული კომუტატორი (ტირისტორებზე ან ტრანზისტორებზე). კომუტატორის საშუალებით ხდება სტატორის ფაზების გარკვეული წესით გადართვა და მბრუნავი მაგნიტური ველის მიღება. ეს ველი განჭოლავს როტორის გრაგნილს. როტორზე მოთავსებულია სამფაზა აგზნების გრაგნილი, რომელიც იკვებება სამფაზა ძაბვის წყაროდან. როტორის გრაგნილი თავის მხრივ ქმნის მბრუნავ მაგნიტურ ველს, რომელიც როტორთან ერთად ბრუნავს გარკვეული სიჩქარით. როტორისა და ამ ველის სიჩქარეები იკრიბება და ადგილი აქვს სტატორის მბრუნავ ველთან ურთიერთქმედებას. როტორზე წარმოიშვება მბრუნავი მომენტი. სტატორის ფაზების გადართვის კუთხური სიხშირე გარკვეული კანონით დაკავშირებულია როტორის ველთან. ძრავას გააჩნია მომენტისა და ბრუნვის სიხშირის რეგულირების საშუალება.

კვლევის მიზანი და ამოცანა.

მუდმივი დენის უკოლექტორო რეგულირებადი ძრავას მათემატიკური მოდელირება, მისი სტატიკური და დინამიკური რეჟიმების კვლევის მიზნით. დისერტაციაში დასმული საკითხები გადაჭრილია კომუტატორიანი ელექტრული მანქანების კომპლექსური განტოლებების გამოყენებით. გამოყენებულია ანალიზის ორი მეთოდი. მყისი მნიშვნელობების და საშუალო მნიშვნელობების მიხედვით.

გამოკვლევის მეთოდика

ნაშრომში გამოყენებულია საინჟინრო გამოთვლების მეთოდები. საკითხები გადაჭრილია ელექტრული ქსელების, ელექტრული მანქანების, მათემატიკური ანალიზისა და კომპიუტერული მოდელირების თეორიათა გამოყენებით. ვენტილური ძრავას კვლევისათვის გამოყენებულია ცვლადთა კომპლექსური გარდაქმნის მეთოდი, სიდიდეთა როგორც მყისი ისე საშუალო მნიშვნელობებისათვის. განტოლებების საშუალებით ხდება სტატიკური და დინამიკური რეჟიმების კვლევა და მანქანის ძირითადი მახასიათებლების გაანგარიშება.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:

- დამუშავდა ვენტილური ძრავას დამყარებული და გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გამოვიკვლიოთ ძრავას მუშაობის სახასიათო რეჟიმები.
- გაანგარიშებათა საფუძველზე შეირჩა სქემის ელემენტების პარამეტრები.
- დამუშავდა ძრავას ძალური სქემის მოდელი რეგულირების წესის გათვალისწინებით, რომელიც განისაზღვრება მომენტის, დენების და ძაბვების ხასიათით, გარდამავალ და დამყარებულ რეჟიმებში.

პრაქტიკული ღირებულება.

ვენტილური ძრავას კვლევისათვის გამოყენებული ცვლადთა კომპლექსური გარდაქმნის მეთოდი, სიდიდეთა როგორც მყისი ისე საშუალო მნიშვნელობებისათვის საშუალებას გვაძლევს ჩატარდეს ძრავას ყოველმხრივი გამოკვლევა სტაციონალურ და გარდამავალ რეჟიმებში, ოპტიმალური პარამეტრების დადგენის მიზნით, თანამედროვე რეგულირებადი ამძრავის შესაქმნელად სხვადასხვა დანიშნულების მექანიზმებისათვის.

პირველ თავში განხილულია ვენტილური ძრავების პრინციპული სქემები.

ძალური ნახევარგამტარული ტექნიკის განვითარებამ საშუალება მოგვცა მზრუნავი კოლექტორული ნაწილების შეცვლისა სტატიკური ვენტილური გარდამქმნელების საშუალებით.

ასეთი გარდამსახები უნდა იყვნენ საიმედო და დაბალი მასა-გაბარიტული მახასიათებლებით. ასეთ ძრავებს მიეკუთვნებათ კერძოდ ვენტილური ელექტრული ძრავები, რომლებიც ხასიათდებიან სიჩქარის რეგულირების დიდი სპექტრით, ისევე როგორც მუდმივი დენების ძრავები.

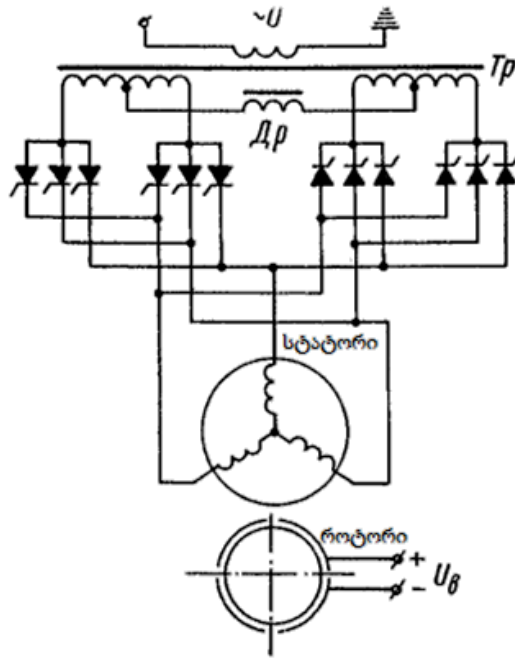
დაიბეჭდა უამრავი ლიტერატურა სხვადასხვა სიმძლავრის, როგორც ცვლადი, ასევე მუდმივი დენის ვენტილური ძრავების შესახებ. თუმცა ვენტილური ძრავების მრავალფეროვანი მუშაობის რეჟიმების თეორია ჯერ კიდევ საფუძვლიანად შესწავლილი არ არის.

პირველი ცდები მექანიკური კოლექტორის შეცვლისა უკონტაქტო გადამრთველებით ჩატარებული იყო 1930-იან წლებში. ვენტილურ ძრავებში უკონტაქტო გადამრთველების სახით გამოყენებული იყო იონური ხელსაწყოები, რომლებიც ახორციელებდნენ სტატორის გრაგნილის კომუტაციას, როტორის კუთხური მდგომარეობის მიხედვით. როტორზე განლაგებული იყო ძრავის აგზნების საპოლუსო სისტემა.

პირველი სქემა შემოთავაზებული იყო ინჟინერ კერნის მიერ, რომელსაც ჰქონდა სტატორის გრაგნილის ძალიან მცირე გამოყენების კოეფიციენტი. ამ სქემაში სტატორის გრაგნილი შესრულებული იყო 12 ფაზის სახით და დროის ნებისმიერ მონაკვეთში დენი გადიოდა მხოლოდ ერთ გრაგნილში და მხოლოდ ერთი მიმართულებით.

იმ პერიოდის თეორიული გამოკვლევები ეხება კერნის 12 ფაზა ძრავას გამოკვლევას, რომელსაც ძალიან დაბალი გამოყენების კოეფიციენტი ჰქონდა.

ვეგნერმა გადაწყვიტა მნიშვნელოვანი საკითხი, თუ რამდენი უნდა ყოფილიყო მინიმალური სექციების რიცხვი იმისათვის, რომ შექმნილიყო ოპტიმალური საექსპლუატაციო და ენერგეტიკული მონაცემები.



ნახ. 1 ზავალიშინი-ვეგნერის მიერ დამუშავებული ვენტილური ძრავას სქემა.

ელექტრომაგნიტური სიმძლავრის შედარების საფუძველზე სამფაზა ძრავასა და მრავალსექციიან ძრავს შორის, გაკეთდა დასკვნა, რომ დანაწევრება ძრავას სექციებისა ეფექტს არ იძლევა.

ზავალიშინი-ვეგნერის მიერ დამზადებულ 6,2 კვტ ვენტილურ ძრავაზე ჩატარებულმა გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ სამფაზა გრაგნილი უზრუნველყოფს მაღალ ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს და არ არის აუცილებელი სტატორის გრაგნილის მრავალ სექციებად დაყოფა.

კვლევის რეზულტატებმა აჩვენეს, რომ ვეგნერ-ზავალიშინის ვენტილური ძრავას სქემა (ნახ.1) ყველაზე ეფექტურია ოპტიმალური მაღალი გამოყენების კოეფიციენტით.

იმ დროისათვის არსებული იონური მართვადი ვენტილები არ იყვნენ საიმედო. ვერ უზრუნველყოფდნენ უავარიო მუშაობას, გარდა ამისა იყვნენ არა ეკონომიური და ჰქონდათ დიდი გაბარიტული ზომები. ამიტომ სამუშაოები ვენტილურ ძრავებზე შეწყდა, მანამ, სანამ არ გამოუშვეს საიმედო ახალი ტიპის ვენტილები - ტრანზისტორები და ტირისტორები. მძლავრი, მართვადი ვენტილები - ტირისტორები, რომელიც ათთვისა

წარმოებამ. რამაც საშუალება მოგვცა გადაგვეწყვიტა ვენტილურ ძრავებთან დაკავშირებული პრობლემები.

დღეისათვის დიდი რაოდენობით განიხილება მცირე სიმძლავრის (რამდენიმე ასეული ვატი) ვენტილური ძრავები ავტომატიკის წრედებისათვის, სადაც ვენტილებად გამოყენებულია ტრანზისტორები. ეს სქემები გამოირჩევიან იმით, რომ მთლიანად მართვადი ტრიოდები, ახორციელებენ ძრავის გრაგნილების ჩართვას მართვის სიგნალების მიხედვით.

განსაკუთრებულ ინტერესს იმსახურებენ როტორის მდგომარეობის განმსაზღვრელი მდებარეობის გადამწოდები. პრაქტიკამ გვაჩვენა, რომ ყველაზე ეფექტურია ტრანსფორმატორული, ინდუქციური, ფოტოელექტრონული მდგომარეობის გადამწოდები.

უცხოელი ავტორები ანალიზის დროს იყენებდნენ განზოგადოებული ელექტრული მანქანის ელექტრომაგნიტურ პროცესების მოდელებს.

ამ გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ დემფერული გრაგნილის გამოყენება საშუალებას იძლევა გავზარდოთ მუშა სიხშირის ზედა ზღვარი რეგულირების დროს, შევამციროთ კონდენსატორის ტევადობა ხელოვნური კომუტაციის დროს და შევქმნათ დამატებითი ამუშავების მომენტი, ორიგინალურად შეიძლება ჩაითვალოს ვენტილური ძრავის მდგრადობის კვლევა. ამ მეთოდის საფუძველია ავტომატური რეგულირების თეორია. კერძოდ გურვიცის მდგრადობის კრიტერიუმი. ე.ი. არსებობს უამრავი მეთოდი ვენტილური ძრავების ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევისა. თუმცა არ არსებობს რეკომენდაციები, შედარებები და გამოყენების სფეროების ანალიზი.

ძალური ელექტრონიკის განვითარებამ და წინსვლამ ხელი შეუწყო ისეთი ტირისტორების შექმნას, რომლებიც ხასიათდებიან დიდი სიმძლავრეებით და მაღალი დონის კომუტირებადი ძაბვით, მცირე

დანაკარგებით, მართვის მცირე მოთხოვნილი სიმძლავრეებით, მცირე მართვის (გადართვის) დროით და ა.შ.

ამგვარად, თანამედროვე ვენტილური ძრავები, მიუხედავად იმისა, რომ აქვთ უამრავი უარყოფითი თვისებები, ფლობენ უამრავ უპირატესობებს: უბრალო ამუშავება, სიჩქარის რეგულირება მდორედ დიაპაზონში, რევერსის შესაძლებლობა ძალური ქსელის გადართვის გარეშე და აქვთ მუდმივი დენის მანქანის ანალოგიური მახასიათებლები.

მეორე თავში განხილულია როტორზე ცვლადი დენით აგზნებიანი ვენტილურ ძრავებიანი ელექტროამძრავის სისტემები.

ვენტილურ ძრავას ბრუნვას უზრუნველყოფს სპეციალური მართვის ელექტრონული სისტემა. მისი ინვერტორი მოცემულ შემთხვევაში ეწოდება ელექტრონულ სისტემას, რომელიც ახორციელებს ძაბვის მოწოდებას, რომლის სიხშირე არ არის დამოკიდებული ძრავის გრაგნილებზე მიწოდებული მკვებავი ძაბვის სიხშირეზე.

ინვერტორებით აღჭურვილია არა მარტო ასინქრონული ვენტილური ძრავები, არამედ სინქრონული ძრავებიც, როდესაც საჭიროა სიჩქარის რეგულირება. არსებობს ორი ძირითადი პრინციპი ვენტილური ძრავების მართვისა:

1. კომუტაციით მართვა (ექვს პულსიანი მართვა)
2. ვექტორული მართვა.

კომუტაციით მართვის დროს მუდმივი ძაბვა მიეწოდება ერთდროულად სტატორის მხოლოდ ორ გრაგნილს, მესამე გრაგნილი არ არის მიერთებული დენის წყაროსთან. ძრავის მუშაობის პროცესში, მართვის სისტემა უთვალთვალებს როტორის მდგომარეობას და შესაბამისად ორ გრაგნილს აძლევს განსაზღვრული პოლარობის ძაბვას, ისე, რომ სტატორის მაგნიტური ველი ქმნის მბრუნავ მაგნიტურ ველს და ატრიალებს როტორს.

როტორის ბრუნვის სიჩქარე რეგულირდება როტორის გრაგნილებში კომუტირებული მუდმივი ძაბვის საშუალებით.

ამასთან კომპუტაციის სიხშირე კორექტირდება როტორის ბრუნვის სიჩქარის მიხედვით.

როტორის ბრუნვის სიჩქარე კი არ იცვლება მბრუნავი ველის სიხშირისაგან, არამედ მბრუნავი ველის სიხშირე იცვლება და კორექტირდება როტორის ბრუნვის სიჩქარის მიხედვით.

ვექტორული მართვის არსი მდგომარეობს მართვის და ძრავას ზუსტი მათემატიკური მოდელის შექმნაში. იქმნება ძრავისა და მისი მართვის ზუსტი მათემატიკური მოდელი. ნებისმიერ მომენტში ძრავის ყველა ფაზის წრედში მიეწოდება მოდელირებული სიხშირის და სიდიდის დენები. მყისური სიდიდეები დროის ნებისმიერ მომენტში ძრავის ყველა ფაზაში ინდივიდუალურია და ისეთი სიხშირისაა და სიდიდის, რომ უზრუნველყოფენ მაქსიმალურ მ.კ.კ. და მაღალ ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს.

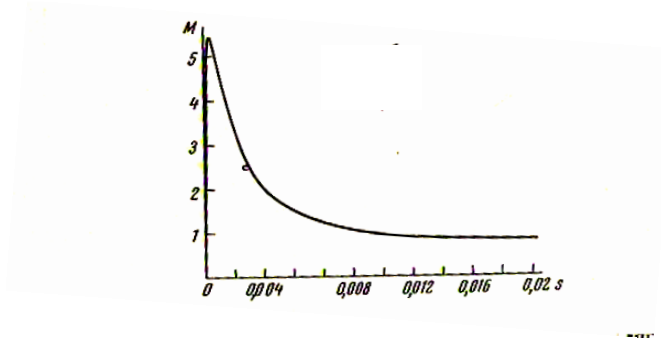
მათემატიკური მოდელის გამოყენებით და საშუალებით დენები სინუსოიდალურია, ძვრის კუთხე როტორის და სტატორის მაგნიტურ ნაკადებს შორის 90° - თან ახლოსაა.

ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა ზუსტად ვმართოთ ელექტრული ძრავა. მაგრამ მოითხოვს დიდი მოცულობის მათემატიკურ გამოთვლებს, რაც მიკროპროცესორების გამოყენებით შესაძლებელია მცირე სიგრძის მკვებავი ხაზების შემთხვევაში, მეთოდი ძალზედ ეფექტურია. დიდი სიგრძის ხაზების შემთხვევაში ჩნდება დამატებითი სიძნელები გამოთვლებში, სიზუსტეები მართვაში იკლებს და არაეფექტურია.

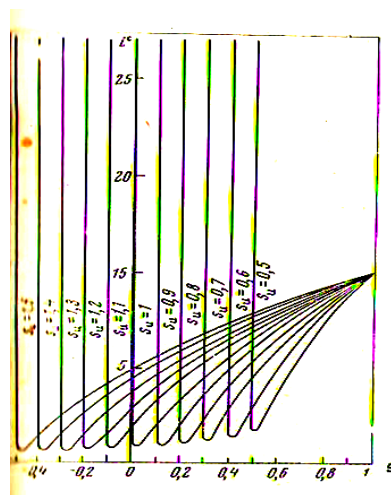
ვექტორული მართვა ყველაზე მიზანშეწონილია და გამოყენებადია, მაგრამ მოითხოვს სპეციალურ მომსახურე პერსონალის მომზადებას, მათემატიკური მოდელის ცოდნას, ტექნოლოგიურ დონეს და ა.შ.

ძრავი აღჭურვილია ტახოგენერატორით, მდგომარეობის გადამწოდით, ელექტრომუხრუჭით-ავარიული გაჩერებისათვის. ელექტრომუხრუჭი კიდევ გამოიყენება ლილვის ფიქსაციისათვის სასურველ მდგომარეობაში.

მცირე სიჩქარეების ინტერვალში ვენტილური ძრავების შესწავლა მოითხოვს მათემატიკური მოდელის დაზუსტებას და ელექტრონული კომპუტატორის არაწრფივი ელემენტების გათვალისწინებას. ამ მიზნით მათემატიკური ანალიზი და მოდელები მოითხოვენ დაზუსტებას და კომპიუტერულ რეალიზაციას. ნახ. 2 და ნახ. 3 ნაჩვენებია ძრავას მექანიკური მახასიათებლები.



ნახ.2 ძრავას მექანიკური მახასიათებელი



ნახ.3 ძრავას დენსა და სრიალს შორის დამოკიდებულება

აღნიშნულ სისტემაში შეიძლება გამოვიყენოთ მიკროპროცესორული მართვა შესაბამისი მათემატიკური მოდელების მხედველობაში მიღებით. ეს საშუალებას იძლევა ვაკონტროლოთ სიდიდეთა მყისი მნიშვნელობები დროის ნებისმიერ მომენტში და მივიღოთ მაქსიმალური მ.ქ.კ. მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლებით.

მესამე თავში განხილულია ვენტილური ძრავას განტოლებები ცვლადთა მყისი მნიშვნელობებისათვის, ცვლადთა კომპლექსური

გარდაქმნის მეთოდის გამოყენებით და განტოლებები კომპლექსურ ცვლადებში სტატორზე სხივური გრაფილის შემთხვევაში.

ნახევრადგამტარულ კომპუტატორიან მანქანებში დამყარებული და გარდამავალი რეჟიმების ანალიზი მიზანშეონილია ჩატარდეს ცვლადთა მყისი მნიშვნელობების მიხედვით. გაანგარიშებას მნიშვნელოვნად ამარტივებს კოორდინატთა გარდაქმნის მეთოდი. ფაზური ცვლადების (ძაბვების, დენების, ნაკადთშემების) მყისი მნიშვნელობებიდან კომპლექსურ ცვლადებზე გადასვლის მიზნით იყენებენ პირდაპირი გარდაქმნის მატრიცას:

$$[A] = e^{-j\theta_0} [e^{j\alpha_1} e^{j\alpha_2} \dots e^{j\alpha_m}]$$

სადაც $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ – ფაზების მაგნიტური ღერძებით განსაზღვრული კუთხეებია;

m – ფაზათა რიცხვი

$$\theta_0 = \int_0^t \omega_0 dt$$

(აქ ω_0 , კუთხური სიხშირეა, რომლის შერჩევით მიიღწევა განტოლებათა სისტემის გამარტივება).

გარდაქმნის შედეგად ახალი ცვლადთათვის მივიღებთ კომპლექსურ სიდიდეებს. მაგალითად დენებისათვის გვექნება

$$\bar{I} = [A][i], \quad \text{სადაც} \quad [i] = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_m \end{bmatrix}$$

\bar{I} – დენის კომპლექსის მნიშვნელობაა.

კომპლექსური სიდიდეებიდან ნამდვილ ფაზურ სიდიდეებზე გადასვლისათვის გამოიყენება ურთიერთშეუღლებული სვეტური $[T]$ და

*
 $[T]$ მატრიცები:

$$[i] = \frac{1}{2}[T] \cdot \bar{I} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} * \\ T \end{bmatrix} \cdot I + [i_0], \quad [i_0] = \begin{bmatrix} i_{01} \\ i_{02} \\ \cdot \\ \cdot \\ i_{0m} \end{bmatrix},$$

სადაც i_0 – ნულოვანი დენების მატრიცაა.

ცვლადთა გარდაქმნის ფიზიკური შინაარსი მდგომარეობს ფაზური დენების, ძაბვების და ნაკადუმბების წარმოდგენაში ვექტორული სიდიდეების სახით. ამ ვექტორების მოდულები წარმოადგენენ სიდიდეთა მყის მნიშვნელობებს, ხოლო მიმართულებები განისაზღვრება მაგნიტური ღერძებით მანქანაში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესი განისაზღვრება დენების, ძაბვების და ნაკადუმბების მაჯამებელი რეზულტატური ვექტორებით.

მაგალითის სახით განვიხილოთ ასინქრონული ტიპის ვენტილური ძრავას გარდამავალი პროცესების განტოლებები მყისი მნიშვნელობებისათვის.

სტატორისა და როტორის წრედების ელექტრული წონასწორობის განტოლებებს აქვს სახე:

$$\begin{aligned} u_k^s &= r^s i_k^s + \frac{d\psi_k^s}{dt}, \quad (k=1,2) \\ u_k^r &= r^n i_k^r + \frac{d\psi_k^r}{dt}, \quad (k=1,2,3) \\ d\psi_k^s &= L_s^s i_k^s + \sum_{i=1}^3 M^{ss} i_i^s \cos(\alpha_i^s - \alpha_k^s) + \\ &+ \sum_{i=1}^3 M^{sr} i_i^r \cos(\alpha_i^r - \alpha_k^s), \quad (k=1,2) \\ \psi_k^r &= L_s^r i_k^r + \sum_{i=1}^3 M^{rr} i_i^r \cos(\alpha_i^r - \alpha_k^r) + \\ &+ \sum_{i=1}^2 M^{rs} i_i^s \cos(\alpha_i^s - \theta_r - \alpha_k^r), \quad (k=1,2,3) \end{aligned} \quad (2.1)$$

სადაც r^s, r^r – სტატორისა და როტორის ფაზების აქტიური წინააღობებია;

$i_k^s, u_k^s, \psi_k^s, i_k^r, u_k^r, \psi_k^r$ – სტატორისა და როტორის წრედების დენების, ძაბვების და ნაკადუმბების მყისი მნიშვნელობებია;

L_s^s, L_s^r – სტატორისა და როტორის ფაზების ფანტვის ინდუქციურობებია;

M^{ss} – სტატორის ორ ფაზას შორის მაქსიმალური ურთიერთინდუქციურობაა;

M^{rr} – როტორის ორ ფაზას შორის მაქსიმალური ურთიერთინდუქციურობაა;

$M^{sr} = M^{rs}$ – სტატორის ერთ ფაზასა და როტორის ერთ ფაზას შორის მაქსიმალური ურთიერთინდუქციურობაა;

α_k^s – სტატორის გრაგნილის ფაზების მაგნიტურ ღერძებსა და სტატორის გრძივ ღერძს შორის კუთხეა;

α_k^r – როტორის გრაგნილის ფაზების მაგნიტური ღერძებსა და როტორის გრძივ ღერძს შორის კუთხეა;

$\theta_r = \int_0^t \omega_r dt$ – სტატორისა და როტორის გრძივ ღერძებს შორის კუთხეა;

ω_r – როტორის ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა.

აღნიშვნებში ზედა ინდექსი „S“ მიუთითებს იმას, რომ ცვლადი ან პარამეტრი მიეკუთვნება სტატორს, ხოლო „r“, ინდექსი, შესაბამისად, როტორს. ქვედა ინდექსებით „k“ და „t“ აღნიშნულია შესაბამისი გრაგნილების ფაზების ნომრები.

ფაზური ცვლადების (ძაბვის, დენის, ნაკადობების) გადასაყვანად ახალ ცვლადებში (2.1)-ის თითოეული განტოლება გავამრავლოთ შესაბამისად $e^{j\alpha_k^s}$ და $e^{j\alpha_k^r}$ -ზე, მაშინ სტატორისა და როტორის გრაგნილებისათვის მივიღებთ ელექტრული წონასწორობის ვექტორულ (კომპლექსურ) განტოლებებს:

$$\begin{aligned} \bar{U}^s &= 2r^s \bar{I}^s + \frac{d\bar{\psi}^s}{dt}, \\ \bar{U}^r &= r^r \bar{I}^r + \frac{d\bar{\psi}^r}{dt}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

სადაც

$$\begin{aligned}\bar{U}^s &= U(e^{j\alpha_1^s} - e^{j\alpha_2^s})\bar{I}^s = i^s(e^{j\alpha_1^s} - e^{j\alpha_2^s}), \\ \bar{U}^r &= \sum_{k=1}^3 u_k^r e^{j\alpha_k^r}, \quad \bar{I}^r = \sum_{k=1}^3 i_k^r e^{j\alpha_k^r}, \\ \bar{\psi}^s &= \bar{\psi}_1^s - \bar{\psi}_2^s(e^{j\alpha_1^s} - e^{j\alpha_2^s}), \\ \psi^r &= \sum_{k=1}^3 \psi_k^r e^{j\alpha_k^r}\end{aligned}$$

(2.2) განტოლებებში ვექტორები \bar{I}^s და $\bar{\psi}^s$ განსაზღვრულია სტატორის უძრავ კოორდინატა სისტემაში d, q ხოლო ვექტორები \bar{I}^p და $\bar{\psi}^p$ განსაზღვრულია როტორის d, q კოორდინატა სისტემაში. (1.2) სისტემის მეორე განტოლება გავამრავლოთ $e^{j\theta_r}$ -ზე, მაშინ ის განისაზღვრება სტატორის კოორდინატა სისტემაში და (2.2) სისტემა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned}\bar{U}^s &= 2r^s \bar{I}^s + \frac{d\bar{\psi}^s}{dt}, \\ \bar{U}^r &= r^r \bar{I}^r + \frac{d\bar{\psi}^r}{dt} - j\omega_r \bar{\psi}^r, \\ \bar{\psi}^s &= (2L_s^s - 3M^{ss})\bar{I}^s + \frac{3}{2}M^{sr}\bar{I}^r - \frac{3}{2}M^{sr}e^{j(\alpha_1^s - \alpha_2^s)} \bar{I}^r, \\ \psi^r &= (L_s^r + \frac{3}{2}M^{rr})\bar{I}^r + \frac{3}{2}M^{rs}\bar{I}^s\end{aligned}\tag{2.3}$$

სადაც

$$\bar{U}^r = e^{j\theta_r} \sum_{k=1}^3 u_k^r e^{j\alpha_k^r} = \frac{3}{2}U_m^r e^{j[\omega_r + \omega_2]t + \phi_0^r}$$

ϕ_0^r - როტორის სამფაზა ძაბვის ჩართვის ფაზაა,

ω_2 - როტორის ძაბვის კუთხური სიხშირეა,

U_m^r - როტორის ძაბვის ამპლიტუდაა.

დენების კომპლექსებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ მათი d, q შემდგენები შემდეგნაირად:

$I_d^s = R_e(\bar{I}^s), I_q^s = I_m(\bar{I}^s), I_d^r = R_e(\bar{I}^r), I_q^r = I_m(\bar{I}^r)$. აქ Re - აღნიშნავს კომპლექსის ნამდვილ ნაწილს, ხოლო Im - წარმოსახვით ნაწილს. მაგალითად, როტორის გრაგნილის ფაზების დენების მყისი მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned}
 i_1^r &= \frac{2}{3} (I_d^r \cos \omega_r t - I_q^r \sin \omega_r t), \\
 i_2^r &= \frac{2}{3} [I_d^r \cos(\omega_r t - \frac{2\pi}{3}) - I_q^r \sin(\omega_r t - \frac{2\pi}{3})], \\
 i_3^r &= \frac{2}{3} [I_d^r \cos(\omega_r t - \frac{4\pi}{3}) - I_q^r \sin(\omega_r t - \frac{4\pi}{3})]
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

ზემოთ მოყვანილი გამოსახულებებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ დენები დროის თითოეულ Δ შუალედში. როგორც განტოლებებიდან ჩანს დენები დამოკიდებულია α_1^s და α_2^s კუთხეებზე, რომლებიც იცვლებიან ნახევარგამტარ გადამრთველებზე მართვის იმპულსების მიწოდების მომენტის მიხედვით.

დავეყთ დრო Δ შუალედებად, მივიღებთ $t = (n-1)\Delta + \tau, 0 < \tau < \Delta$.

დროის თითოეული შუალედისათვის თანმიმდევრულად ვიანგარიშებთ დენების მყის მნიშვნელობებს და მათი ერთმანეთთან შეუღლებით მივიღებთ დროში გარდამავალი პროცესის სურათს.

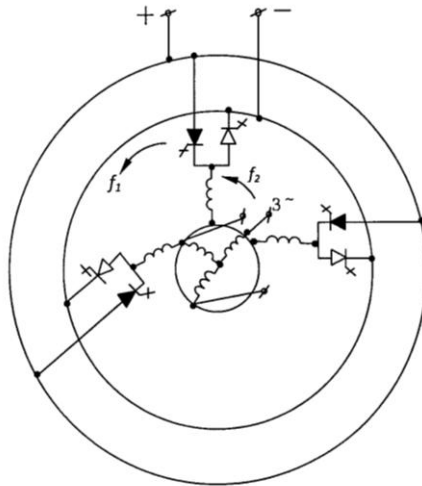
დამყარებულ და გარდამავალი რეჟიმების ზუსტი ანალიზი მიზანშეწონილია ჩატარდეს ცვლადთა მყისი მნიშვნელობების მიხედვით კოორდინატთა გარდაქმნის მეთოდთან ერთად. არასიმეტრიული რეჟიმების მაჯამებელი ვექტორების საშუალებით ვპოულობთ მყის მნიშვნელობებს. ჩატარებული მიკროპროცესების ზუსტი ანალიზი სასუალებას გვაძლევს დავაზუსტოთ მანქანის პარამეტრები.

მეოთხე თავში განხილულია ვენტილური ძრავას კომპუტაციური პროცესების ანალიზი ცვლადთა მყისი მნიშვნელობებისათვის კომპლექსური სიდიდეების მიხედვით.

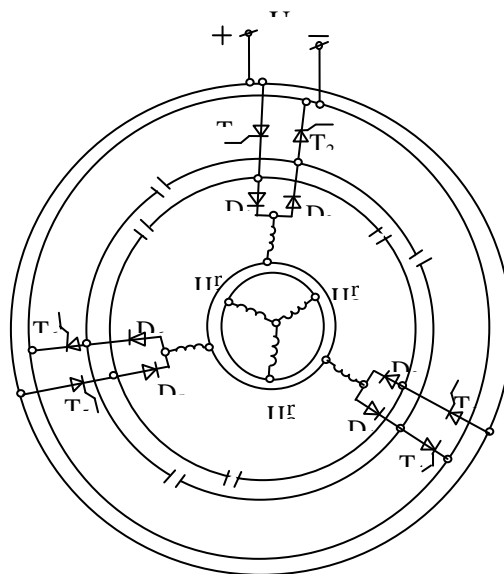
კომპუტაცია დამყარებულ რეჟიმში ნაკადუმების განტოლებები მუდმივობის პრინციპის გამოყენებით, ასევე კომპუტაცია გარდამავალ პროცესში და

ვენტილური ძრავას კომპლექსური განტოლებები კონდენსატორული კომუტაციის გათვალისწინებით.

ვენტილურ ძრავაში მუშა პროცესი წარმოადგენს ორი ძირითადი რეჟიმის ერთობლიობას-არაკომუტაციურისა და კომუტაციურის.



ნახ. 4 ვენტილური ძრავა კომუტატორით სრულად მართვად ვენტილებზე



ნახ. 5 ვენტილური ძრავა კონდენსატორული კომუტაციით.

არაკომუტაციურ რეჟიმში დენს ატარებს სტატორის გრაგნილის ორი ფაზა, ხოლო კომუტაციის პერიოდში სამი ფაზა. მაგალითად, სტატორის გრაგნილის მეორე ფაზიდან დენი გადადის მესამე ფაზაში. გარკვეული γ

დროის ინტერვალის შემდეგ კომპუტაციური პროცესი მთავრდება და დენს ატარებს ისევ ორი ფაზა და ა.შ. პროცესები მეორდება. კომპუტაციური პროცესები შეიძლება განვიხილოთ გარდამავალ და დამყარებულ რეჟიმში ელექტრული მანქანის პარამეტრების მხედველობაში მიღებით. კომპუტაციური პროცესების ანალიზისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ მანქანის განტოლებები სიდიდეთა მყისი მნიშვნელობებისათვის. მიზანშეწონილია განტოლებების წარმოდგენა ვექტორული სახით (კომპლექსური სახით) ცვლადთა გარდაქმნის მატრიცის გამოყენებით.

ვუშვებთ, კომპუტაციამდე დენს ატარებს სტატორის პირველი და მეორე ფაზა, ხოლო კომპუტაციის დროს სამი ფაზა. დენი მეორე ფაზიდან გადადის მესამე ფაზაში. კომპუტაციის პერიოდში სტატორისა და როტორის სამივე ფაზა ატარებს დენს და ამის გამო გვაქვს ტოლობები:

$$\sum_{k=1}^3 e^{j2\alpha_k^s} = 0 ,$$

$$\sum_{k=1}^3 e^{j2\alpha_k^r} = 0 ,$$

სადაც α_k^s და α_k^r კუთხეები განსაზღვრავენ სტატორისა და როტორის ფაზების მაგნიტური ღერძების მდებარეობას სივრცეში. ამ შემთხვევაში კომპუტაციური პროცესების განტოლებები მიზანშეწონილია ჩაიწეროს კომპლექსურ ფორმაში სტატორის გრაგნილის ხვიათა რიცხვზე დაყვანილი და ფარდობით ერთეულებში. ასინქრონული მანქანის დაყვანის კოეფიციენტი

$$k = \frac{K_{g1} \cdot W_1}{K_{g2} \cdot W_2}$$

სადაც W_1 და W_2 - შესაბამისად სტატორისა და როტორის ფაზების ხვიათა რიცხვებია; K_{g1} და K_{g2} - სტატორის და როტორის საგრანგილე კოეფიციენტებია. სტატორზე დაყვანილი როტორის წრედის პარამეტრებისათვის გვაქვს გამოსახულებები:

$$X_s^r = K^2 X_s^r ,$$

$$r^r = K^2 X_r^r ,$$

$$X_m^{rr} = K X_m^{ss} ,$$

$$I_s^r = \frac{1}{K} I^{rr} ,$$

$$I_s^r = KV^r .$$

დაყვანის შედეგად ვღებულობთ:

$$X_m^{ss} = X_m^{rr} = X_m^{rs} = X_m ,$$

სადაც X_m არის ურთიერთინდუქციის მაქსიმალური წინაღობა. გამოსახულებებში s და r ინდექსები შეესაბამება შესაბამისად სტატორისა და როტორის მხარეს.

კომპუტაციური პროცესების განტოლებებს ფარდობით ერთეულებში აქვთ სახე:

$$\begin{aligned} V^s &= r^s I^s + \frac{d\psi^s}{dt} , \\ V^r &= r^r I^r + \frac{d\psi^r}{dt} - j\omega_r \psi^r , \\ \psi^s &= X_s^s I^s + \frac{3}{2} (X_m I^s + X_m I^r) , \\ \psi^r &= X_s^r I^r + \frac{3}{2} (X_m I^r + X_m I^s) , \\ V^s &= U^s e^{j\alpha_1^s} , \quad I^s = \sum_{k=1}^3 i_k^s e^{j\alpha_k^s} , \\ V^r &= \frac{3}{2} U_m^r e^{j[(\omega_1 + \omega_2)t + \varphi]} \end{aligned} \quad (3.1)$$

სადაც φ -როტორის ძაბვის ჩართვის ფაზაა.

(1) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა გვამღევს სტატორისა და როტორის დენების კომპლექსებს. სტატორისა და როტორის დენების მყისი მნიშვნელობები განისაზღვრება შებრუნებული გარდაქმნის საშუალებით. დენების მყისი მნიშვნელობებისათვის გვაქვს გამოსახულებები:

$$\begin{aligned} I_s^k &= \frac{2}{3} \operatorname{Re} [I^s e^{-j(k-1)\frac{2\pi}{3}}] , \\ I_k^r &= \frac{2}{3} \operatorname{Re} [I^r e^{-j(k-1)\frac{2\pi}{3}}] . \end{aligned} \quad (3.2)$$

სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით $t = 0, I_2^s = I_{20}^s ,$

$$t = \gamma, \quad I_2^s = 0, \quad (3.3)$$

კომპუტაციური პროცესების განსაზღვრისათვის დამყარებულ რეჟიმში უნდა ვისარგებლოთ საკუთარ კოორდინატებში ჩაწერილი განტოლებებით, რომლებშიც არ არის ბრუნვის ე.მ. ძალა. ამ შემთხვევაში ვუშვებთ, რომ

$r^s = r^r = 0.$ განტოლებებს აქვთ სახე:

$$\begin{aligned}
V^s &= \frac{d\psi^s}{dt} , \\
V^r &= \frac{d\psi^r}{dt} , \\
\psi^s &= X_s^s I^s + \frac{3}{2} (X_m I^s + X_m I^r) , \\
\psi^p &= \frac{3}{2} (X_m e^{-j\theta p} I^s + X^r I^r) \\
V^s &= U e^{j\alpha_1} , \\
V^r &= \frac{3}{2} U_m^r e^{j(\omega_2 t + \varphi)} .
\end{aligned} \tag{3.4}$$

დენების მყისი მნიშვნელობები ასე განისაზღვრება:

$$\begin{aligned}
I_k^s &= \frac{2}{3} \operatorname{Re} [I^s e^{-j(k-1)\frac{2\pi}{3}}] , \\
I_k^r &= \frac{2}{3} \operatorname{Re} [I^r e^{-j(k-1)\frac{2\pi}{3}} e^{j\omega_r t}].
\end{aligned} \tag{3.5}$$

სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით მივიღებთ:

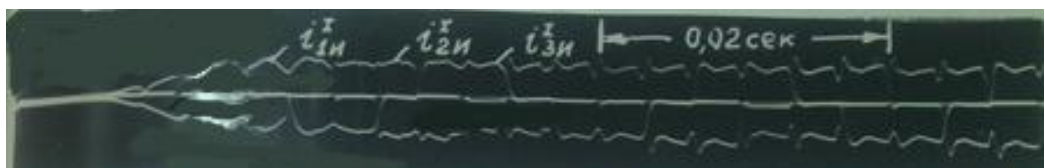
$$\begin{aligned}
t=0, \quad I_2^s &= I_{20}^s , \\
t = \gamma, \quad I_2^s &= 0 .
\end{aligned} \tag{3.6}$$

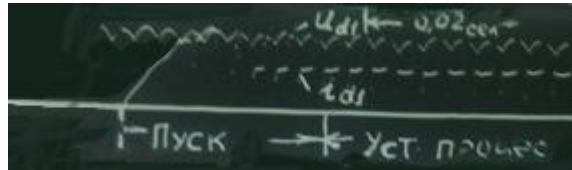
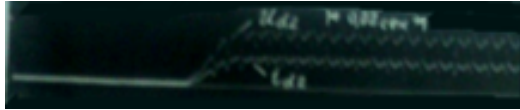
ამ ტოლობებიდან განვსაზღვრავთ კომუტაციის γ კუთხეს ძრავას პარამეტრების მხედველობაში მიღებით.

ზემოთ განხილული იყო კომუტაციური პროცესი დამყარებულ რეჟიმში. გარდამავალ პროცესში კომუტაციის გასაანგარიშებლად საჭიროა ამოიხსნას კომპლექსური განტოლებები d და q ღერძებში მანქანის ყველა პარამეტრის გათვალისწინებით. მაგალითის სახით განვიხილოთ კომუტაციური რეჟიმის განტოლებები მანქანის ამუშავების რეჟიმში, როცა აგზნების გრაგნილზე არ არის მიწოდებული ძაბვა:

$$(\dot{U}^r = 0)$$

სადაც J - ინერციის მომენტია; M - ელექტრომაგნიტური მომენტია; M_c - ლილვზე მოდებული გარე მომენტია, განტოლებათა სისტემაში შემავალი კოეფიციენტები დამოკიდებულია მანქანის პარამეტრებზე.





ნახ. 6 სქემის ელემენტებზე ძაბვების დენების ოსცილოგრამები ამუშავების და დამყარებულ რეჟიმებში .

ჩატარებული ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვიკვლიოთ კომპუტაციური რეჟიმები ვენტილურ მანქანებში ცვლადთა კომპლექსური გარდაქმნის მეთოდით სიდიდეთა მყისი მნიშვნელობებისათვის. განტოლებები ჩაიწერება სხვადასხვა საკოორდინატო სისტემაში. გარდამავალ რეჟიმში კომპუტაციის გასაანგარიშებლად მიზანშეწონილია განტოლებებში გავითვალისწინოთ მანქანის ყველა პარამეტრიც, ხოლო დამყარებულ რეჟიმში კომპუტაციური პროცესის ანალიზი წარმოებს აქტიური წინალობების უგულვებელყოფით და კომპლექსური განტოლებების ჩაწერით საკუთარ კოორდინატებში. ამ შემთხვევაში განტოლებებში არ ფიგურირებს ბრუნვის ელექტრომომოდრავებელი ძალები.

მეხუთე თავში განხილულია ვენტილური ძრავას გაანგარიშება ცვლადთა გასაშუალების მეთოდით. გვაქვს ვენტილური ძრავას განტოლებები, გასაშუალოებულ ცვლადებში გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმებისათვის. გაანგარიშებული არის ვენტილური ძრავას დინამიკური მახასიათებლები პროგრამა Matlab -ის საშუალებით.

მანქანის ინტეგრალური მახასიათებლების გასაანგარიშებლად მიზანშეწონილია ცვლადთა (დენის, ძაბვის, ნაკადთშემხმის) გასაშუალოებული მნიშვნელობების გამოყენება სიდიდეთა კომპლექსური გარდაქმნის მეთოდთან შეთავსებით (4.1).

გამოვიყენოთ აღნიშნული მეთოდისა ზემოთმოყვანილი ვენტისური ძრავასათვის არაკომუტაციურ რეჟიმში სტატორისა და როტორის წრედებისათვის.

აღნიშნულ მეთოდში დრო t წარმოვადგინოთ შუალედების სახით და მივიღებთ:

$$t = (k-1)\Delta_s + \tau, \quad -\frac{\Delta_s}{2} < \tau < \frac{\Delta_s}{2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

სადაც ω_s - სტატორის გრაგნილის გადართვის კუთხური სიხშირეა;

$$\Delta_s = \frac{\pi}{3\omega_s} - \text{გადართვის შუალედი.}$$

τ - შუალედის შიგნით დრო, რომელიც აითვლება თითოეული შუალედის დასაწყისიდან.

დროის თითოეული შუალედის შემდეგ სტატორის ექვივალენტური ფაზის მაგნიტური ღერძი ნახტომისებურად შემობრუნდება სივრცეში $\frac{\pi}{3}$ კუთხით. იგი დროის შუალედის განმავლობაში არ იცვლის თავის მდებარეობას. ვთვლით, რომ კომუტაცია ხდება მყისიერად.

ასეთი დაშვების გამო β_k^s დროის ერთი შუალედიდან მეორეზე გადასვლისას იცვლება ნახტომისებურად. მეორე მხრივ დენების, ძაბვებისა და ნაკადთშებმების მყისი მნიშვნელობები და როტორის მობრუნების θ_r კუთხე τ დროისაგან დამოკიდებულებით იცვლებიან უწყვეტად. გასაშუალების მეთოდის გამოყენებით Δ_s შუალედში დენის და ნაკადთშებმა ტოლია ამ სიდიდეთა საშუალო მნიშვნელობისა. მანქანის მომჭერებზე მოდებული მუდმივი ძაბვა გასაშუალოებას არ საჭიროებს. შუალედში სიდიდეთა გასაშუალოებული მნიშვნელობები იქნება:

$$i_k^{sd} = \frac{1}{\Delta_s} \int_{-\frac{\Delta_s}{2}}^{+\frac{\Delta_s}{2}} \psi_k^s d\tau; \quad i_k^{rd} = \frac{1}{\Delta_s} \int_{-\frac{\Delta_s}{2}}^{+\frac{\Delta_s}{2}} i_k^{rd} d\tau;$$

$$\psi_k^{sd} = \frac{1}{\Delta_s} \int_{-\frac{\Delta_s}{2}}^{+\frac{\Delta_s}{2}} \psi_k^s d\tau; \quad \psi_k^{rd} = \frac{1}{\Delta_s} \int_{-\frac{\Delta_s}{2}}^{+\frac{\Delta_s}{2}} \psi_k^r d\tau; \quad (4.1)$$

ფარდობით ერთეულებში განტოლებები საშუალო მნიშვნელობებისათვის ოპერატორული სახით ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\begin{bmatrix} u^s + u_0^s \\ u^r + u_0^r \\ u_0^r + u_0^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^{ss} & Z_{11}^{sr} & Z_{12}^{sr} \\ Z_{11}^{rs} & Z_{11}^{rr} & 0 \\ Z_{11}^{rs} & 0 & Z_{11}^{rr} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I^s \\ I^r \\ I^r \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

ოპერატორული წინააღობები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} Z_{11}^{ss} &= (P + \rho_c) X_{11}^{ss} \\ Z_{12}^{sr} &= \frac{1}{2} k_1 X_{11}^{sr} [P + \gamma(\omega_r + \omega_s)] \\ Z_{12}^{rr} &= X_{11}^{rr} (P + \rho^p \gamma \omega_s) \\ Z_{11}^{rs} &= k_1 X_{11}^{rs} (P + j\omega_s) \\ Z_{12}^{rs} &= -k_1 X_{11}^{rs} (P - j\omega_s) e^{-j(\alpha_1^s + \alpha_2^s)} \end{aligned} \quad (4.3)$$

სადაც ინდუქციური წინააღობები ტოლია:

$$\begin{aligned} X_{12}^{ss} &= 2X_s^s + 3X_m^{ss} = 2X_s^3 + 3X_m \\ X_{11}^{sr} &= 2[1 - \cos(\alpha_1^s - \alpha_2^s)] X_m \\ X_{11}^{sr} &= \frac{3}{2} X_m \\ X_{11}^{rr} &= X_s^r + \frac{3}{2} X_m \\ X_m^{ss} &= X_m^{sr} = X_m^{rs} = X_m \end{aligned} \quad (4.4)$$

მილევის კოეფიციენტები ტოლია:

$$\rho^s = \frac{2r^s}{x_{11}^{ss}}; \quad \rho^r = \frac{r^r}{x_{11}^{rr}};$$

მაზვისა და დენის კომპლექსები სტატორის კოორდინატა სისტემაში ტოლია:

$$\begin{aligned} U^s &= U^s (e^{j\alpha_1^s} - e^{j\alpha_2^s}) = U_\alpha^s + jU_q^s \\ I^s &= i^s (e^{j\alpha_1^s} - e^{j\alpha_2^s}) = I_\alpha^s + jI_q^s \end{aligned} \quad (4.5)$$

გასაშუალებების კოეფიციენტისათვის გვაქვს გამოსახულება

$$K_1 = \frac{\sin \frac{\omega_r}{\omega_r + \omega_s} \cdot \frac{\pi}{m^s}}{\frac{\omega_r}{\omega_r + \omega_s} \cdot \frac{\pi}{m^s}}, \quad m^s = 6 \quad (4.6)$$

შემდგომში ანალიზის გამარტივების მიზნით, ვუშვებთ, რომ

$$\alpha_d^s = \sqrt{3} u^s; \quad I_d^s = \sqrt{3} i^s; \\ U_q^s = 0; \quad I_q^s = 0;$$

ზემოთმოყვანილი განტოლებები შეიძლება წარმოდგენილი იქნას სკალარული სახით კომპიუტერზე გასაანგარიშებლად.

განტოლებებს d,q კოორდინატებში კომპიუტერზე გაანგარიშებისათვის მოხერხებულ ფორმაში აქვს სახე:

$$\frac{dI_d^s}{dt} = \frac{1}{1-K_1^2 \mu} \left[\frac{U_d^s}{X_{11}^{ss}} \rho^s I_d^s + K_1 \mu^s \rho^r I_d^r - K_1 \mu^s (S-1) I_q^r \right], \\ \frac{dI_d^r}{dt} = \frac{1}{1-K_1^2 \mu} \left[\frac{K_1 \mu^r U_d^s}{X_{11}^{sr}} - K_1 \mu^r I_d^s + K_1 \mu^s \rho^s I_d^s + \rho^r I_d^r - [S_i (1 - K_1^2 \mu) + S - 1] I_q^r \right], \\ \frac{dI_q^r}{dt} = -K_1^2 \mu^r (S_i - 1 + S) I_d^s - \rho^r I_d^r - (S_i - 1 + S) I_q^r, \\ I \frac{dS}{dt} = M_B - M, \\ M = -X_m I_d^s I_q^r K_1, \quad (4.7)$$

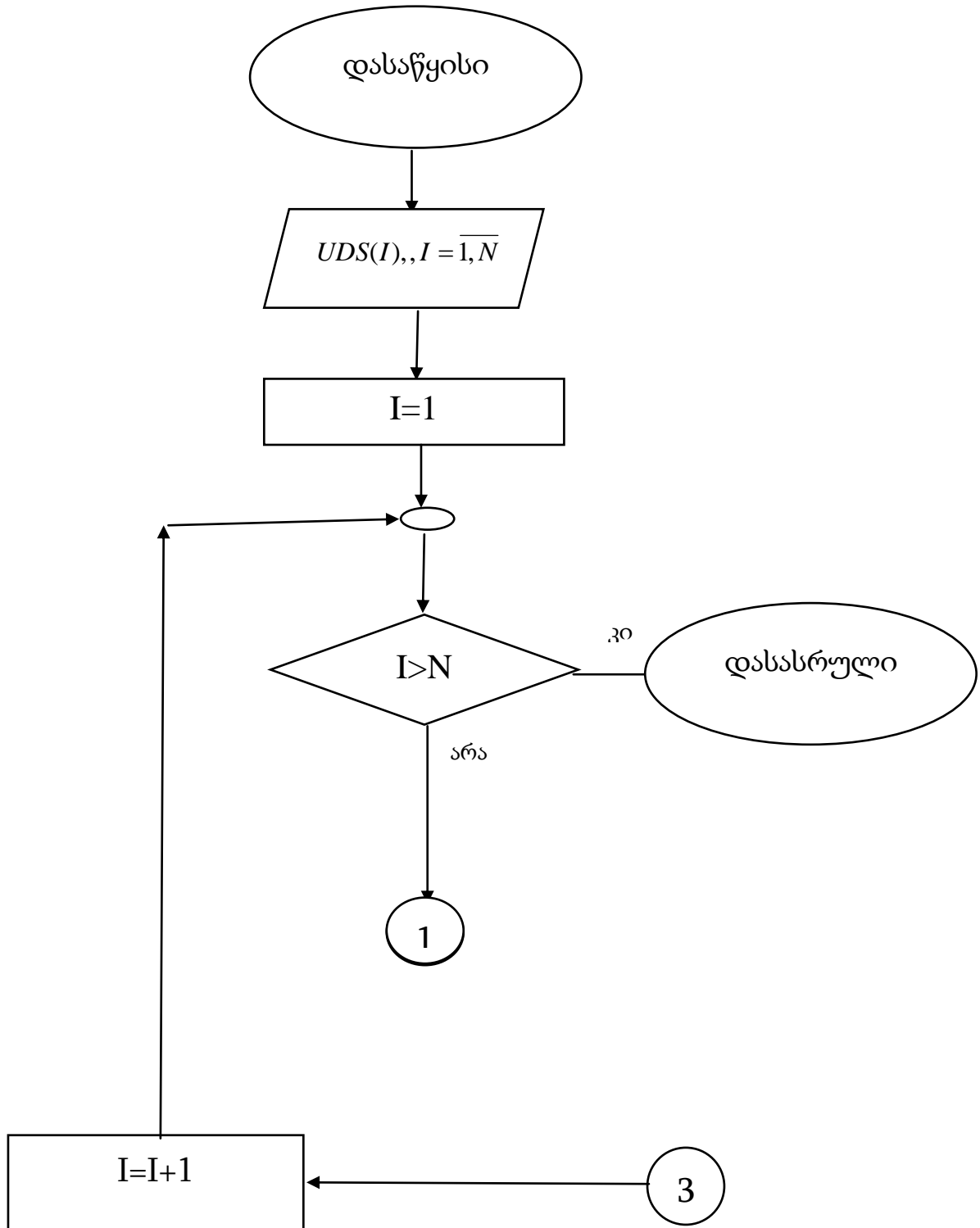
$$\mu^s = \frac{K_1 X_{11}^{sr}}{X_{11}^{ss}}, \quad \mu^r = \frac{K_1 X_{11}^{pc}}{X_{11}^{rr}}, \quad \mu = \mu^s \mu^r$$

$$\frac{\omega_r}{\omega_1} = 1-S, \quad \frac{s}{\omega_1} = S_i,$$

S – როტორის სრიალია; S_i – მართვის იმპულსის სიხშირეა ფარდობით ერთეულებში; ω_1 – სტატორის ველის ბრუნვის კუთხური სიხშირეა; M_B - გარე ძალების მომენტი.

(4.2) განტოლებები საერთოა გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმებისათვის. დამყარებული რეჟიმის გაანგარიშებისათვის განტოლებებში უნდა დავუშვათ $P=0$ ზოგიერთი გარდაქმნის შემდეგ შეიძლება ვიპოვოთ დენებისა და მომენტის მნიშვნელობები და ავაგოთ მანქანის მახასითებლები. ძრავას პარამეტრების გათვალისწინებით, ნახევარგამტარი კომპუტატორის მართვის კანონების მხედველობაში მიღებით.

ვენტილური ძრავას დინამიკური მახასიათებლების გაანგარიშება
პროგრამა Matlab -ის საშუალებით: ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი
და ბლოკსქემა:



1

ვხსნით დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას
UDS(I) –ის მიმდინარე I-ური მნიშვნელობისათვის

ვხსნით დიფერენციალურ განტოლებას
$$\frac{ds}{dt} = 0,01(1 + 4,13x(t)z(t)) = 0,01 + 0,0413x(t)z(t)$$
 $x(t)$ და $y(t)$ ცვლადების მიღებული
მნიშვნელობებისათვის

ვითვლით $M = -4,13x(t)z(t)$; და
 $\omega_r = 1 - s$ სიდიდეებს

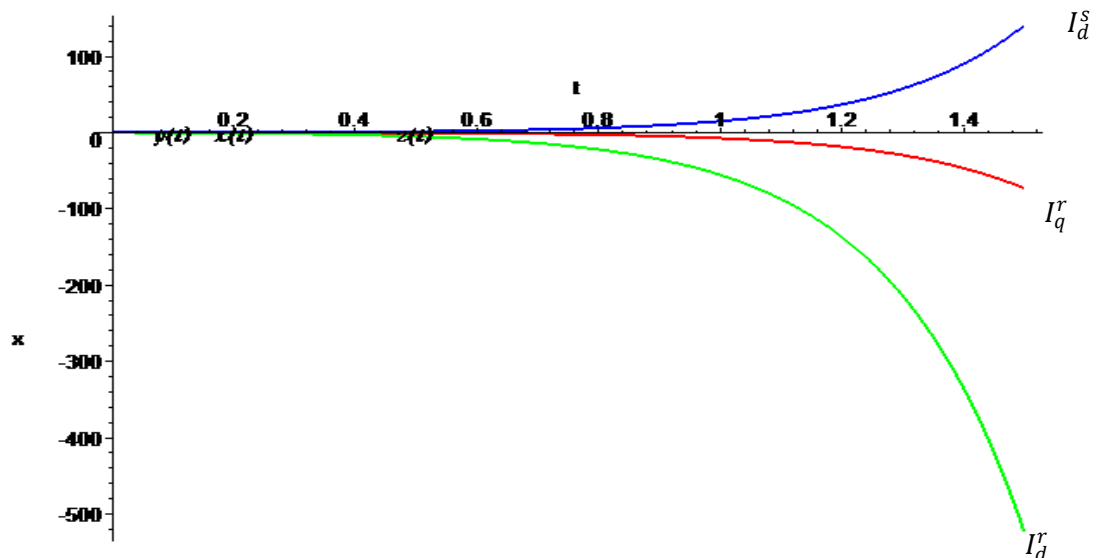
ვაგებთ გრაფიკის მიმდინარე
სახეს

3

```

>restart;cond:=x(0)=0,y(0)=0,z(0)=0:
>uds:=1;
                                uds := 1
>sys:=diff(x(t),t)=16.66*(0.076*uds-0.0083*x(t)-
0.074*y(t)),diff(y(t),t)=-16.66*(0.073*uds+0.968*x(t)-
0.0076*y(t)-0.003*z(t)),diff(z(t),t)=-0.484*x(t)-
0.0076*z(t)+0.5*y(t):
>F:=dsolve({sys,cond},[x(t),y(t),z(t)],numeric):
>with(plots):
>p1:=odeplot(F,[t,x(t)],0..1.5,color=blue,thickness=2,lin
estyle=5):
>p2:=odeplot(F,[t,y(t)],0..1.5,color=green,thickness=2):
>p3:=odeplot(F,[t,z(t)],0..1.5,color=red,thickness=2):
>p3:=odeplot(F,[t,z(t)],0..1.5,color=red,thickness=2):
>p4:=textplot([0.2,0.2,"x(t)",font=[TIMES,ITALIC,12]):
>p5:=textplot([0.1,0.3,"y(t)",font=[TIMES,ITALIC,12]):
>p6:=textplot([0.5,0.3,"z(t)",font=[TIMES,ITALIC,12]):
>display(p1,p2,p3,p4,p5,p6);

```



```

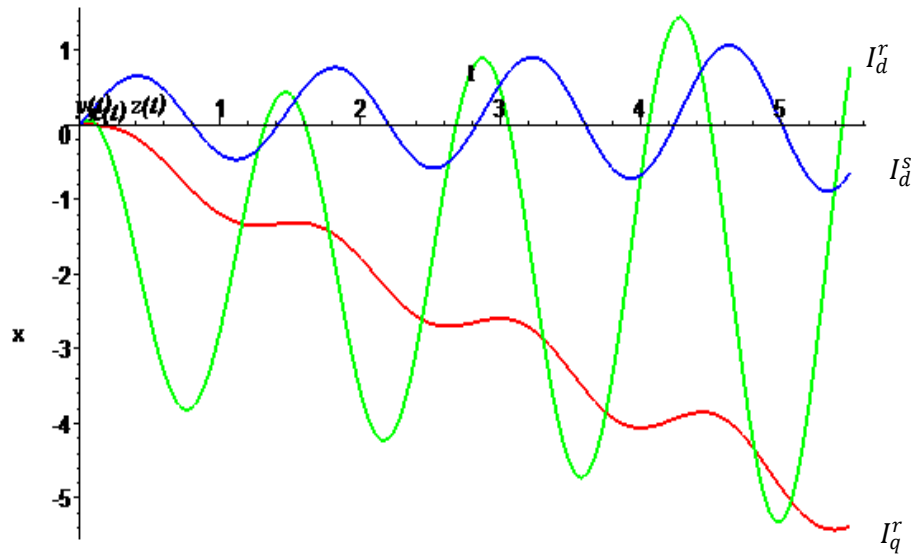
>restart;cond:=x(0)=0,y(0)=0,z(0)=0:
>uds:=1.73;
                                uds := 1.73
>sys:=diff(x(t),t)=16.66*(0.076*uds+0.0083*x(t)+0.074*y(t)
),diff(y(t),t)=16.66*(0.073*uds-0.968*x(t)+0.0076*y(t)-
0.003*z(t)),diff(z(t),t)=-0.484*x(t)-
0.0076*z(t)+0.5*y(t):
>F:=dsolve({sys,cond},[x(t),y(t),z(t)],numeric):
>with(plots):
>p1:=odeplot(F,[t,x(t)],0..5.5,color=blue,thickness=2,lin
estyle=5):
>p2:=odeplot(F,[t,y(t)],0..5.5,color=green,thickness=2):

```

```

>p3:=odeplot(F, [t, z(t)], 0..5.5, color=red, thickness=2) :
>p3:=odeplot(F, [t, z(t)], 0..5.5, color=red, thickness=2) :
>p4:=textplot([0.2, 0.2, "x(t)", font=[TIMES, ITALIC, 12]) :
>p5:=textplot([0.1, 0.3, "y(t)", font=[TIMES, ITALIC, 12]) :
>p6:=textplot([0.5, 0.3, "z(t)", font=[TIMES, ITALIC, 12]) :
>display(p1, p2, p3, p4, p5, p6) ;

```



ვენტილური მანქანის მიღებული განტოლებები ცვლადთა გასაშუალებების მეთოდის და კოორდინატთა გარდაქმნის მეთოდის ერთობლივი განხილვით, საშუალებას გვაძლევს ჩატარდეს მანქანის დამყარებული და გარდამავალი რეჟიმების ანალიზი.

დასკვნა

- განხილულ ვენტილურ ძრავას გააჩნია ბრუნვის სიხშირის რეგულირების შესაძლებლობა მკვებავი ძაბვის სიდიდის ცვლილებით, აგზნების დენის რეგულირებით და კომუტატორის რეგულირების კუთხის ცვლილებით.

- მიღებული კომპიუტერული მოდელი საკმარისი სიზუსტით აღწერს ელექტრომაგნიტურ და ელექტრომექანიკურ გარდამავალ პროცესებს, რომლებიც მიმდინარეობენ მუდმივი დენის ვენტილურ ძრავებში და შეიძლება გამოყენებული იქნას დინამიკის ანალიზისა და მართვის კანონების სინთეზისათვის.

- ნახევრადგამტარული კომუტატორებით აღჭურვილ ელექტრულ მანქანებში მიზანშეწონილია არასტაციონალური რეჟიმების ზუსტი ანალიზი ჩატარდეს ცვლადთა მყისი მნიშვნელობებისათვის კოორდინატთა გარდაქმნის მეთოდის გამოყენებით. გარდაქმნის პირდაპირი და შებრუნებული-მატრიცების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გავიანგარიშოთ ნებისმიერი არასიმეტრიული გარდამავალი რეჟიმი კომუტატორიან მანქანებში.

- მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს გავიანგარიშოთ პროცესები მყისი კომუტაციის დროს, კომუტაციური რეჟიმი და შევარჩიოთ საკომუტაციო ელემენტების პარამეტრები.

- გამოყვანილი კომპლექსური განტოლებები შეიცავენ მანქანის ექვივალენტურ პარამეტრებს კომუტატორით გადართვების მხედველობაში მიღებით, რაც ზრდის გაანგარიშების სიზუსტეს. განტოლებების სკალარულ სახეში ჩაწერა მოხერხებულია პროცესების კომპიუტერის გამოყენებით გაანგარიშებისათვის.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. წერეთელი კ., კერესელიძე ნ., ხარშილაძე გ. ელმავლის ძრავების გამშვებ წინაღობათა თბური გახურება. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურ. „ინტელექტუალი“, 2014, 2(54), გვ. 150-155
2. კოხრეიძე დ., ხარშილაძე გ., კერესელიძე ნ. ასინქრონული ტიპის ვენტილური ძრავის განტოლებები ცვლადთა მყისი მნიშვნელობებისათვის. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. 2014, 4 (72), გვ. 59-62.
3. ხარშილაძე გ. როტორზე სამფაზა აგზნების გრაგნილიანი ვენტილური ძრავის განტოლებები ცვლადთა გასაშუალოებული მნიშვნელობებისათვის. კონფერენცია „ბიზნეს-ინჟინერინგი“ IEC-2014, 4, გვ. 64-66.
4. Кохреидзе Д. К. Харшиладзе Г.П. Уравнения бесконтактного двигателя посьоанного тока с асинхронным вращением ротора. XI Международная научно-практическая конференция, 2015, 6(11), с-37-40.
5. ხარშილაძე გ. კომუტაცია ასინქრონული ტიპის ვენტილურ ძრავაში როტორის ცვლადი დენით აგზნებისას. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. 2016, 1 (77), გვ. 52-56.

აპრობაცია

დისერტაციის მასალები მოხსენებული იყო შემდეგ კონფერენციებზე და სემინარებზე:

1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის, კოლოქვიუმი-1, 12.02.2015
2. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის, კოლოქვიუმი-2, 14.07.2015
3. ხარშილაძე გ. როტორზე სამფაზა აგზნების გრაგნილიანი ვენტილური ძრავის განტოლებები ცვლადთა გასაშუალოებული მნიშვნელობებისათვის. კონფერენცია „ბიზნეს-ინჟინერინგი“ IEC-2014, 4, გვ. 64-66.
4. Кохреидзе Д. К. Харшиладзе Г.П. Уравнения бесконтактного двигателя посьоянного тока с асинхронным вращением ротора. XI Международная научно-практическая конференция, 2015, 6(11), с-37-40.
5. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის, კოლოქვიუმი-3, 12.02.2016

Summary

The main goal of the thesis is creation of gated motor of constant current for electric drives of mechanisms of various destination. The motor has been realized on the basis of phase rotor asynchronous machine. The three – phase winding of a stator is fed from the direct current network by means of commutator. The commutator is fulfilled by three-phase bridge scheme on the completely triggered thyristors. Fulfillment of the commutator on ordinary thyristors has been considered through the condensate commutation. The drive winding located on the rotor is fed from the network of three-phase voltage. The valve engine to be considered has a wide range of speed control and the reliability of the machine of alternative current like a machine of constant current.

In the given work the static, dynamic and energetic modes of the work of valve motor has been investigated.

It should be noted that the motor to be considered is always in asymmetric mode running alternately from each other. For analysis of the processes there are applied two methodics of calculation: calculation by instant values and the averaged values. Both these methods are compatible with the method of transformation of the coordinates.

By the complex equations derived for the instant values of the variables the current processes of the machine have been calculated in separated intervals of time. The precise image data of the magnitudes have been obtained with allowance of all parameters of the machine. By this method the analysis of commutative process of the motor has been carried out both in established and transient processes by using of the computer. In accord to the results of the analysis an angle of commutation has been defined taking into account the induction resistance of the machine. Separately has been considered a case during existence of condensing commutation. The obtained image data are valid (justified) for commutative and non-commutative intervals. The algorithms corresponding to these intervals have been compiled for further programming and solutions. The oscillograms of currents and voltages corresponding to commutation processes have been represented.

By means of complex equations compiled by averaged values of variables of electrical motor can be calculated the integral characteristics of the machine. The indicated equations are common for established and transient processes. From the equations of established equations it is obtained a rotational moment, image data of stator and rotor currents, the working characteristics have been constructed. The dynamic characteristics of the machine have been calculated by means of Matlab-Simulink programme. The curves of changes in time of values in relative units have been brought for specific motor.

The results of the analysis have shown that the mathematical model adequately reflects the electromechanical processes running in gated motor. The results of calculation can be successfully used for creation of gated motors for various mechanisms.

The reviewed gated motor by its peculiarities of regulation can be successfully used as a controlled power circle in the system of automatic regulation. It meets a number of requirements such are the quick action, elasticity of regulation, efficiency, reliability of work and great term of service.

It is expedient that the elaborated motor with its characteristics be used in electric drives of various destination, e.g., in electric transport, in metal cutters, on various testing stands, etc.

In comparison to machines of alternating current in commutator machines the changeover to winding elements in separate intervals of time for receiving of rotating magnetic field gives to the machine a property of regulation within the wide range of electric and mechanical magnitude.

The success in the field of machines with commutator is conditioned by achievements of power electronics. The semiconductor switches created for today, both completely controllable and incompletely controllable, give a possibility to be created the perfect gated engines (motors and generators), within a wide range of mechanical electric units having the property of regulation for various responsible customers.

It should be noted that using of modern informational technologies in the elaborated device formational technologies, with the aim of widening of its possibilities, is possible to occur relatively simply. Realization of various laws of control for receiving of required electric and mechanical characteristic which grants to electric drive created on its basis the definite universal properties.

The investigated motor, as all electrical machines is able to work in generator mode and the received results can be used during planning of a gated generator of constant current for various customers.

Regulation of output voltage of indicated generator according to the opening of semiconductor switches gives us a possibility that the generator were switched on in a complex of automatic control with the aim of optimal control of the production processes. The loading might be of active-pulse, active-induction or active – capacious character. The investigated ventilator machine, with allowance of some constructional changes can be used as a source of alternative current in the systems of autonomous electric supply, in wind electric power stations and in other installations.

The models of electromechanical processes of the machine elaborated in the dissertation work (thesis) give a possibility to be carried out an automatic planning with allowance of optimization of the parameters for the installations of various power.

For assimilation of the discussed machine in serial production in addition to the optimal planning it is necessary to work out the modern technology for its fabrication. As result we'll receive the highly effective devices with great economical efficiency.