

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გიორგი ჩაჩხიანი

საქართველოს ენერგეტიკულ სისტემაში თბოელექტროსადგურების  
თბოენერგეტიკული დანადგარების ოპტიმალური მართვისათვის  
რეკომენდაციების შემუშავება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი, გიორგი ჩაჩხიანი

თბილისი

2018 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ჩაჩხიანი გიორგის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “საქართველოს ენერგეტიკულ სისტემაში თბოელექტროსადგურების თბოენერგეტიკული დანადგარების ოპტიმალური მართვისათვის რეკომენდაციების შემუშავება” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2018 წელი

ხელმძღვანელი ----- პროფესორი თ. კობრეიძე

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018

**ავტორი:** გიორგი ჩაჩხიანი

**თემის დასახელება:** საქართველოს ენერგეტიკულ სისტემაში თბოელექტროსადგურების თბოენერგეტიკული დანადგარების ოპტიმალური მართვისათვის რეკომენდაციების შემუშავება

**ფაკულტეტი:** ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

**ხარისხი:** აკადემიური დოქტორი

**სხდომა ჩატარდა:** ივლისი, 2018 წ.

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

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

მძლავრი ნახევრადგამტარული ხელსაწყოების განვითარების დონე, საშუალებას იძლევა მათ საფუძველზე, შეიქმნას სხვადასხვა სახის ენერგეტიკული დანიშნულების ელექტრული დენის გარდამქმნელები. ნახევრადგამტარული გარდამქმნელების გამოყენება თბოელექტრო-სადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში, წარმოადგენს მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორები (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 წევა და ა.შ.

ამგვარად, აუცილებელია ენერგობლოკის საკუთარი მოხმარების ყველა მექანიზმების მწარმოებლურობის რეგულირება.

ნაშრომის პირველ თავში წარმოდგენილია თბოელექტრო-სადგურების 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 ენერგიის დანაკარგებს, საკვალთის და ჰიდრომუფთის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის გადალახვაზე.

მძლავრი მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორების 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 ამალღება; მძლავრი ელექტროამძრავების გამშვიდების დენების მკვეთრი შემცირება. აღნიშნულის შედეგად არსებითად იზრდება ელექტროამძრავების რესურსი და იზრდება სარემონტო ვადები, მცირდება დანახარჯები საკუთარი მოხმარების

მკვებავი ქსელის გაძლიერებაზე, რომელიც აუცილებელია დიდი გამშვი დენების დროს.

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.

მოცემულია ძირითადი მოთხოვნები წაყენებული მართვადი ნახევრადგამტარულ კომუტატორზე თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ელექტროამძრავის რეგულირებისათვის.

ნაშრომის მეორე თავში განხილულია თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორები, მათი კლასიფიკაცია, კომუტაციური ფუნქციის საშუალებით მიღებულია დამოკიდებულება მნკ-ის გამოსავალი ძაბვასა და შესავალ ძაბვას შორის. შესწავლილია ელექტრომაგნიტური პროცესები, კომუტაციური პროცესები და მართვადი ნახევრადგამტარულ კომუტატორში ელემენტების შერჩევა.

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

დამყარებულ რეჟიმში განსაზღვრულია კომუტატორის შესასვლელზე დენის გამოსახულება, მაგნიტური ველის სიმძლავრე, ელექტრომაგნიტური მომენტი და მაქსიმალური გამშვი მომენტი. აღნიშნული გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ ისინი, გარდა ძრავას პარამეტრებისა დამოკიდებულია როტორის ბრუნთა სიჩქარეზე და კომუტატორის გადართვის სიხშირეზე. მიღებული გამოსახულებების მიხედვით აგებულია სიჩქარული და 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.

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. ჩატარებული კვლევის საფუძველზე ფორმულირებულია მოთხოვნა რაციონალური სტრუქტურაზე ავტომატური რეგულირების კანონზე, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო გარდამავალი პროცესის ხარისხს.

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

ნაშრომის 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.

## 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.



## შინაარსი

შესავალი.....	16
ლიტერატურული მიმოხილვა.....	19
შედეგები და მათი განსჯა.....	21
<b>თავი I. თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირების აქტუალური საკითხები .....</b>	<b>21</b>
1.1. თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები.....	21
1.2. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემა.....	24
1.3. ძირითადი მოთხოვნები წაყენებული მართვადი ნახევრადგამტარულ კომუტატორზე თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ელექტროამძრავის რეგულირებისათვის.....	28
<b>თავი II. თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორები.....</b>	<b>36</b>
2.1. ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორების კლასიფიკაცია.....	36
2.2. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორის გამოსასვლელზე ძაბვის დამოკიდებულება მის შესასვლელზე.....	38
2.3. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორში მუშა ელექტრომაგნიტური პროცესები.....	46
2.4. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორში კომუტაციური პროცესები.....	49
2.5. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორში ელემენტების შერჩევა.....	58
<b>თავი III. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავში გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმები.....</b>	<b>62</b>
3.1. გარდამავალი პროცესების განტოლებები.....	62
3.2. დამყარებული რეჟიმების განტოლებები.....	65

3.3. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში გარდამავალი პროცესები.....	71
<b>თავი IV. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში ენერგოდაზოგვის ტექნიკური გადაწყვეტა .....</b>	<b>74</b>
4.1. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ოპტიმიზაცია.....	74
4.2. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ოპტიმიზაცია, სტატორის დენის სიხშირის მუდმივობის დროს.....	75
4.3. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის დაბრკოლებამდგრადობა.....	80
4.4. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის დასაშვები დატვირთვა და გახურება.....	85
<b>თავი V. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გამოცდის თავისებურებანი.....</b>	<b>88</b>
5.1 რეგულირებადი ასინქრონული ძრავა როგორც გამოცდის ობიექტი.....	88
5.2. რეგულირებადი ასინქრონული ძრავას უქმი სვლის რეჟიმი.....	94
5.3. ასინქრონული ძრავას მოკლე შერთვის რეჟიმი.....	97
5.4. გამოცდის პროგრამა .....	98
5.5. ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა.....	99
5.6. უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა.....	99
5.7. მოკლე შერთვის რეჟიმში დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა.....	101
5.8. მუშა მახასიათებლებით მ.ქ.კ.-ის, სიმძლავრის კოეფიციენტისა და სრიალის განსაზღვრა.....	105
5.9. მინიმალური და მაქსიმალური მაბრუნე მომენტების განსაზღვრა .....	106
5.10. ძრავების მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით ნომინალური მაჩვენებლების შესაბამისობის განსაზღვრა სტანდარტულ მოთხოვნებთან.....	107
5.11 მოკლე შერთვისა და უქმი სვლის დენისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა.....	109

5.12. დენებისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა გაჟღენთვისა და დენის გამოდევნის გათვალისწინებით.....	117
5.13. ელექტროძრავას ამუშავების დროს განბნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვა.....	118
5.14. მოკლე შერთვისა და უქმი სვლის დანაკარგებისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა.....	122
5.15. მოკლე შერთვის დენისა და დანაკარგებისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა .....	126
5.16. მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით ელექტროძრავების ნომინალური მაჩვენებლების შემოწმების მეთოდი.....	130
5.17. მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის დიაგნოსტიკა.....	131
5.18. სერიული წარმოების პროცესში ერთი და იგივე ტიპის ელექტროძრავების ნომინალური მაჩვენებლების ცვლილების განსაზღვრა.....	134
5.18.1. ნომინალური მაჩვენებლების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების განსაზღვრა.....	134
5.18.2. ნომინალური მაჩვენებლების საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრა.....	139
5.19. ელექტროძრავების კონტროლისა და მართვის ხარისხისათვის ავტომატიზებული გამოსაცდელ-დიაგნოსტიკების სისტემები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით.....	142
დასკვნები.....	149
გამოყენებული ლიტერატურა .....	151

## ცხრილების ნუსხა

გვ.

ცხრილი 2.1. კომუტაციური ფუნქცია (1) როცა $\theta_k = \pi$ .....	39
ცხრილი 2.2. პოტენციალები და ხაზური ძაბვები როცა $\theta_k = \pi$ .....	40
ცხრილი 2.3. კომუტაციური ფუნქცია (1) როცა $\theta_k = 2\pi/3$ და $\cos\varphi_s > \cos\varphi_{zR}$ .....	42
ცხრილი 2.4. პოტენციალები და ხაზური ძაბვები, როცა $\theta_k = 2\pi/3$ და $\cos\varphi_s > \cos\varphi_{zR}$ .....	43
ცხრილი 5.1.....	100

## ნახაზების ნუსხა

83.

- ნახ.1.1.** თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები .....24
- ნახ.1.2.** თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემა.....26
- ნახ.2.1.** მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორი .....38
- ნახ.2.2.** მართვადი ნახევრადგამტარულ კომუტატორში დენების და ძაბვების დიაგრამები როცა  $\theta_k = 180^\circ$  .....39
- ნახ.2.3.** მნკ-ში ზღვრული სიმძლავრის კოეფიციენტი .....41
- ნახ.2.4.** დამოკიდებულება  $\theta_0(\cos\varphi_s)$  როცა  $\theta_k = 120^\circ$  .....42
- ნახ.2.5.** მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის ჰარმონიკული მდგენელები დენების წყვეტის რეჟიმში როცა  $\theta_k = 120^\circ$  და  $\theta_k = 150^\circ$  .....45
- ნახ.2.6.** მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის ჰარმონიკული მდგენელების ფაზური კუთხეები დენების წყვეტის რეჟიმში როცა  $\theta_k = 120^\circ$  .....45
- ნახ.2.7.** კომუტაციური კონტურის ეკვივალენტური სქემა:  
ა – პარალელური; ბ – მიმდევრობითი .....50
- ნახ.2.8.** ტირისტორის კომუტაციის დროს დენების და ძაბვების დიაგრამა. ა – პარალელურ კონტურში; ბ – მიმდევრობით კონტურში .....51
- ნახ.2.9.** მნკ ორსაფეხურიანი კომუტაციით და  $LC$  კომუტაციური კონტურით.  
ა) სქემა; ბ – დენებისა და ძაბვების დიაგრამა.....55
- ნახ.2.10.** დამყარებული მახასიათებლები .....58
- ნახ.3.1.** ჩანაცვლების სქემა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის .....66
- ნახ.3.2.** ვექტორული დიაგრამა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის .....67

<b>ნახ.3.3.</b> სიჩქარული მახასიათებლები $\omega_{H}^c$ სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის .....	70
<b>ნახ.3.4.</b> მექანიკური მახასიათებლები $\omega_p = f(M)$ კომპუტატორის გადართვის სიხშირის $\omega_{H}^c$ სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.....	70
<b>ნახ.3.5.</b> ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები $\omega_{H}^c = 0,8; U_{\text{მაკს}}^c = 0,513; M_B = 0,5)$ .....	73
<b>ნახ.3.6.</b> ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები $\omega_{H}^c = 0,6; U_{\text{მაკს}}^c = 0,513; M_B = 0,5)M_{B=0,5}$ .....	73
<b>ნახ.4.1.</b> მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ჩანაცვლების სქემა (ა) და მისი ვექტორული დიაგრამა ნომინალური სრიალის დროს (ბ) .....	74
<b>ნახ.4.2.</b> დამოკიდებულება სტატორის დენის, მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის და დანაკარგების ასინქრონული ძრავას ტიპით 4AMX90L4Y3 ძაბვისაგან, როცა სიხშირე ტოლია 50 ჰც .....	77
<b>ნახ.4.3.</b> ენერგეტიკული (ა) და ეკვივალენტური წრფივი (ბ) სპექტრი.....	84
<b>ნახ.5.1.</b> ასინქრონული მანქანა დამუხრუჭებული როტორით სტატორისა და როტორის ფაზების გრაფილების ღერძების დამთხვევის შემთხვევაში.....	89
<b>ნახ.5.2.</b> ასინქრონული მანქანის $T$ - ს მაგვარი ჩანაცვლების სქემა მაგნიტური დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე .....	91
<b>ნახ.5.3.</b> ასინქრონული მანქანის $T$ - ს მაგვარი ჩანაცვლების სქემა, მაგნიტური დანაკარგების გათვალისწინებით .....	92
<b>ნახ.5.4.</b> უქმი სვლის გამოცდის სქემა .....	95
<b>ნახ.5.5.</b> უქმი სვლის მახასიათებლები .....	96
<b>ნახ.5.6.</b> მოკლე შერთვის მახასიათებლები .....	98
<b>ნახ.5.7.</b> სიმძლავრის კოეფიციენტის განსაზღვრა ორი ვატმეტრის ჩვენების ფარდობით .....	104
<b>ნახ.5.8.</b> მოკლე შერთვის გამოცდის დროს გაჟღენთვის გათვალისწინება .....	104

<b>ნახ.5.9.</b> ასინქრონული ძრავას წრიული დიაგრამა დენის გამოდენისა და გაჟღენთვის მოვლენის გათვალისწინების გარეშე .....	110
<b>ნახ.5.10.</b> ასინქრონული ძრავას წრიული დიაგრამა მობრუნებული $2Y$ კუთხით კოორდინატთა სისტემაში .....	110
<b>ნახ.5.11.</b> $I_o - I_k$ ცვლილების დასაშვები ზონა .....	112
<b>ნახ.5.12.</b> $I_o$ და $I_k$ შორის თანაფარდობის განსაზღვრა გამომდინარე $\cos\varphi_d$ - დან .....	114
<b>ნახ.5.13.</b> $P_o - P_k$ ზონის დასაშვები ცვლილება .....	125
<b>ნახ.5.14.</b> $I_k - P_k$ ცვლილების დასაშვები ზონა .....	130
<b>ნახ.5.15.</b> ფაზურ როტორიანი ელექტროძრავასათვის $I_o - I$ და $P_k - P_o$ ცვლილების დასაშვები ზონა .....	130
<b>ნახ.5.16.</b> ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის დიაგნოსტირება .....	133
<b>ნახ.5.17.</b> წრიული დიაგრამის გამოყენებით დამოკიდებულებების $\cos\varphi = (I_o, I_k, P_k)$ და $M_M = \varphi(I_o, I_k, P_k)$ განსაზღვრა, აგებული გაჟღენთვისა და დენის გამოდენის გათვალისწინების გარეშე (ა) და კოორდინატთა სისტემაში შემობრუნებული $2\gamma$ კუთხით (ბ) .....	137
<b>ნახ.5.18.</b> მოკლე ჩართული როტორიანი ასინქრონული ძრავას უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების, მოკლე შერთვის დენისა და დანაკარგების მნიშვნელობების მიხედვით ნომინალური მაჩვენებლების კონტროლის ალგორითმის ბლოკ-სქემა .....	143
<b>ნახ.5.19.</b> ასინქრონული ძრავების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის მიზეზების დიაგნოსტირების ალგორითმის ბლოკ-სქემა .....	144
<b>ნახ.5.20.</b> “ტესტ-2” სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმის ბლოკ-სქემა .....	147

## შესავალი

**თემის აქტუალობა.** მძლავრი ნახევრადგამტარული ხელსაწყოების განვითარების დონე, საშუალებას იძლევა მათ საფუძველზე, შეიქმნას სხვადასხვა სახის ენერგეტიკული დანიშნულების ელექტრული დენის გარდამქმნელები. ნახევრადგამტარული გარდამქმნელების გამოყენება თბოელექტრო-სადგურების 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 წევა 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 ამძრავის 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 კომპუტატორის 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 ამძრავის ელექტრული სქემა, რომლის განსაკუთრებულობას წარმოადგენს ის, რომ კომპუტატორის 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 კომპუტატორის 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.

## ლიტერატურული მიმოხილვა

ენერგეტიკის დარგში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს ელექტრულ სისტემაში არსებული მოწყობილობების მოდერნიზაცია და გაუმჯობესება მათი მართვის ფართო დიაპაზონში.

ამის შესაბამისად იზრდება კერძოდ, მოთხოვნა წაყენებული მოწყობილობებზე, რომლებიც გამოიყენება თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარებისთვის. აღნიშნულ მოთხოვნებს წარმატებით ვერ აკმაყოფილებენ მუდმივი დენის კოლექტორული მანქანები, არამართვადი ასინქრონული და სინქრონული მანქანები, რომლებიც ფართო გამოყენებას პოულობენ თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში.

უფრო ფართო შესაძლებლობებით და უნივერსალური თვისებებით ხასიათდებიან ელექტრული მანქანები მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორებით. ასეთი მანქანები ხასიათდებიან ფართო შესაძლებლობებით, ვიდრე კოლექტორული მანქანები. ახალი შესაძლებლობები, შედარებით კოლექტორულ მანქანებთან, მდგომარეობს შემდეგში: უკონტაქტო კომუტაცია, გრაგნილის ელემენტების გადართვა ნებისმიერი მოცემული კანონით, იქმნება შესაძლებლობა კომუტატორის შეთავსებისა მანქანის სტატორში. ყოველივე ეს საშუალებას იძლევა დამუშავდეს ახალი ტიპის ელექტრული მანქანა, რომელიც ხასიათდება მაღალი საიმედოობით, მომსახურების დიდი ვადით, გააჩნია უნარი იმუშაოს ფეთქებად საშიშ გარემოში, პასუხობენ უკეთეს პირობებს ავტომატიზაციის, სწრაფქმედების და რეგულირების მოქნილობით.

უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტრული მანქანები მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორებით გამოირჩევა სირთულით. ვიდრე ასინქრონული ძრავები. ამიტომ, როცა საკითხი დგას მისი გამოყენების, უნდა ჩატარდეს შესაბამისი ტექნიკური შეპირისპირება.

აღნიშნული შეპირისპირება, რა თქმა უნდა, იქნება წარმატებული მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა კარგად შესწავლილია თვისებები და

მახასიათებლები ელექტრული მანქანების მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორებით.

ამჟამად ცნობილია ელექტრომექანიკური სისტემები, რომლებიც ცნობილია მანქანურ-ვენტილური სისტემების სახით (კოზიარუკ ა.ა., პლახტინა ე.გ., ლუტიძე შ.ი. და ა.შ.) მანქანები ნახევრადგამტარული კომპუტატორებით ლუტიძე შ.ი., სიტნიკ ი.ხ. და ა.შ.), ვენტილური ან უკონტაქტო მანქანები (ბუტ ა.ა., კოპილოვი ი.პ., ლებედევი ნ.ი., ლოზენკო ვ.კ., სკოროსპეშკინი ა.ი., ოვჩინიკოვი ი.ე. და ა.შ., რომელთა მუშაობა ელექტრონული კომპონენტების გარეშე შეუძლებელია [6,7,18].

დამუშავება და წარმოება ასეთი ელექტრული მანქანების, ფუნქციონალურად შეთავსებული ელექტრონულ კომპონენტებთან მოითხოვენ სპეციალური მათემატიკური მოდელების გამოყენებას და პროექტირების ახალ ტექნოლოგიებს.

## შედეგები და მათი განსჯა

### თავი I. თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირების აქტუალური საკითხები

#### 1.1. თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები

თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ტუმბოების, ვენტილატორების, კომპრესორების და სხვა მექანიზმების ელექტრული ამძრავების მწარმოებლობის ცვალებადობა უმრავლეს შემთხვევაში ხორციელდება სხვადასხვა სახის საკვალთით ან ჰიდრომუფთით.

ღრმა რეგულირების დროს ასეთი მეთოდები იწვევენ მნიშვნელოვან ენერჯის დანაკარგებს, საკვალთის და ჰიდრომუფთის ჰიდრავლიკური წინაღობის გადალახვაზე.

მძლავრი მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორების (მნკ) გამოყენება თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების სისტემებში იძლევა მნიშვნელოვან ტექნიკო-ეკონომიურ ეფექტს, რომელიც მიიღება ენერგომომჭირნეობის ხარჯზე (საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მიერ ენერგომომხმარების შემცირება) და საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირება, კაპიტალური დანახარჯების შემცირება [1-5].

ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც ქმნიან მოცემულ ტექნიკო-ეკონომიურ ეფექტს თბოელექტროსადგურებზე შემდეგია: ბრუნთა სიჩქარის რეგულირების დროს ელექტროამძრავების საშუალო მ.ქ.კ-ის ამაღლება; მძლავრი ელექტრომძრავების გამშვიდების მკვეთრი შემცირება. აღნიშნულის შედეგად არსებითად იზრდება ელექტრომძრავების

რესურსი და იზრდება სარემონტო ვადები, მცირდება დანახარჯები საკუთარი მოხმარების მკვებავი ქსელის გაძლიერებაზე, რომელიც აუცილებელია დიდი გამშვი დენების დროს. მომსახურე პერსონალის რაოდენობის შემცირება, ელექტროამძრავების სრული ავტომატიზაციის შესაძლებლობის შედეგად, რომლებიც იკვებებიან მნკ-იდან.

ძირითადი ტექნოლოგიური მოწყობილობების: ორთქლის ქვაბი, ორთქლის ტურბინა, გენერატორი და ამამაღლებელი ტრანსფორმატორის ნორმალური მუშაობა უზრუნველყოფილი ხდება საკუთარი მოხმარების მრავალრიცხოვანი მექანიზმებით. საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავებად ძირითადათ 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 წინააღობის მომენტს შორის  $\omega = f(M_c)$  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. 1.1. ნაჩვენებია თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები.

შეიძლება მივიღოთ ზოგიერთი განზოგადოებული დასკვნა, თუ გამოვიყენებთ შემდეგ ემპირულ ფორმულას თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლებისათვის:

$$M_c = M_0 + (M_{c,5} - M_0) \left( \frac{\omega}{\omega_5} \right)^n, \quad (1.1)$$

სადაც  $M_c$ - მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტი  $\omega$  სიჩქარის დროს;

$M_0$  - მექანიზმის მოძრავი ნაწილის ხახუნის წინააღმდეგობის მომენტი;

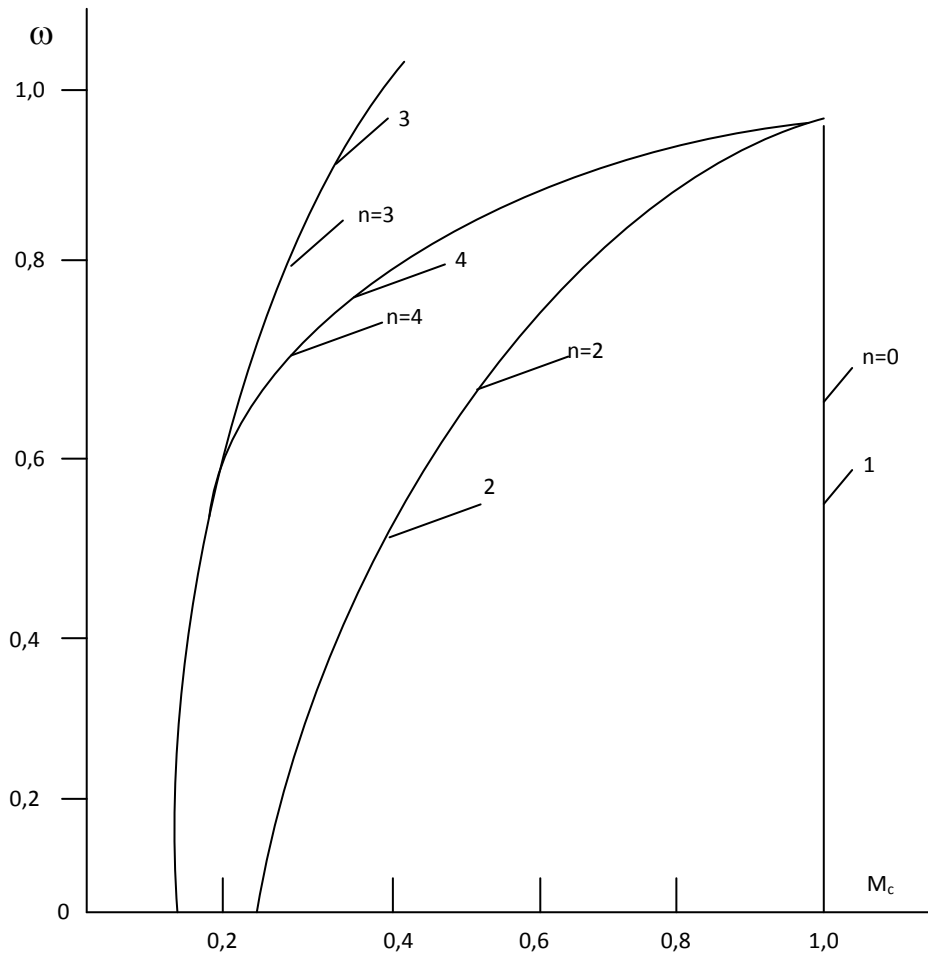
$M_{c,5}$  - მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტი  $\omega_5$  ნომინალური სიჩქარის დროს;

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

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.1.1), ამ შემთხვევაში  $n = 0$  და წინააღმდეგობის მომენტი  $M_c$  არ არის დამოკიდებული სიჩქარეზე;

- არახაზოვანი, ზრდადი მექანიკური მახასიათებელი (მრუდი -2, ნახ.1.1), აღნიშნულ მახასიათებელს შეესაბამება  $n = 2$ ; წინააღმდეგობის მომენტი  $M_c$  დამოკიდებულია სიჩქარის კვადრატზე.



ნახ.1.1. თბოელექტროსადგურის საკუთარი მოხმარების მექანიზმების მექანიკური მახასიათებლები: 1- სფერული წისქვილი; 2-ვენტილატორები და ტუმბოები; 3,4 - უკუწნევაზე მომუშავე მექანიზმები.

## 1.2. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემა

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

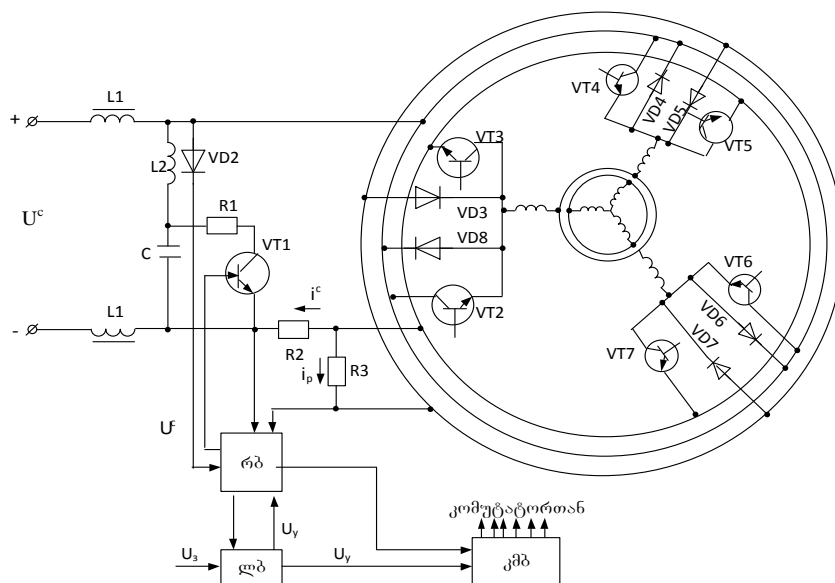


ტუმბოს მტყუნებამ, შეიძლება გამოიწვიოს ზეთის მომარაგების შეწყვეტა თბოტურბინის და თბოგენერატორის საკისრებზე და შესაბამისად მათი სადებების გადნობა. ამიტომ თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს კვება რეზერვირდება სააკუმულატორო ბატარეებიდან.

სამუშაოში განხილულია თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას დამუშავება. ელექტრული სქემა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ნაჩვენებია ნახ.1.2 სქემის ძალოვანი ნაწილი შედგება მოკლედ შერთული როტორიანი ასინქრონული ძრავასაგან ტიპით 4AMX90L4Y3 და მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორისაგან (მნკ). კომუტატორი აწყობილია სამფაზა ბოგირული სქემით, შესრულებული ტრანზისტორულ გასაღებებზე ტიპით KT834A [6,7,13].

თითოეული გასაღების გამტარობის ინტერვალი შეადგენს 180 ელ.გრადუსს. ასეთი სქემა უზრუნველყოფს გამოსავალი ძაბვის მრუდის ფორმის დამოუკიდებლობის ელექტროძრავას სიმძლავრის კოეფიციენტისაგან. კომუტატორი შეიცავს უკუ დიოდების ბოგირს, აწყობილი KД209A დიოდებზე. სტატორის გრაგნილების ფაზებთან მნკ შეერთებულია სამფაზა ბოგირული სქემით. მნკ-ის შესასვლელზე მიეწოდება მუდმივი ძაბვა სააკუმულატორო ბატარეადან. მართვის სქემა შეიცავს შემდეგი ფუნქციონალურ ბლოკებს; კომუტატორის მართვის ბლოკი (კმბ), რეგულატორის ბლოკი (რბ), ლოგიკის ბლოკი (ლბ). კომუტატორის უკუ დიოდების წრედში გადის ძრავას რეაქტიული დენი  $i_{\phi}$ . მნკ-ის გადართვის სიხშირის რეგულირება ხორციელდება მართვადი მიმწოდებელი გენერატორით (მმგ), რომელიც მოთავსებულია კომუტატორის 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 (მდუემ) მართულია ლბ-ის

საშუალებით, რომლის შესასვლელზე მიეწოდება მართვის გარე სიგნალი, ამგზნები ძაბვა  $U_{sd}$ . მნკ მუშაობს შემდეგი სახით. დაუშვით ძრავას დენი გადის VT2, VT7, VT4 გასაღებების გავლით. გამტარობის ინტერვალის დამთავრების დროს გასაღები VT2 გამოირთვება. ძრავას გამოსართავი ფაზის დენი (რეაქტიული დენი  $i_r$ ) იწყებს გავლას VT3 გასაღების უკუ დიოდის VD3 გავლით. აუცილებელი დაყოვნებით, VT3 გასაღების საიმედო ჩაკეტისათვის, მიეწოდება მართვის სიგნალი VD3 გასაღებაზე, რომელიც გაიღება VD3 დიოდში დენის ნულამდე შემცირების შემდეგ.



ნახ. 1.2. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემა. კმბ - კომუტატორის მართვის ბლოკი; რბ-რეგულატორის ბლოკი; ლბ-ლოგიკის ბლოკი.

60 ელ. გრადუსის შემდეგ ანალოგიური პროცესები განმეორდება VT7 გასაღების გამორთვის დროს.

გასაღებების მუშაობის მიმდევრობა შემდეგია: VT2- VT7- VT4- VT3- VT6- VT5- VT2.

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 განიბნევა კომუტატორში, რის შედეგად ძაბვა კომუტატორის შესასვლელზე შეიძლება მეტისმეტად გაიზარდოს. 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 VT1. გასაღები VT1 ჩაირთვება, თუ ძაბვა კომუტატორის შესასვლელზე გადააჭარბებს მოცემულ მნიშვნელობას. ინდუქციურობა  $L_2$  ზღუდავს დენის ზრდის სიჩქარეს მოკლედ შერთვის დროს კომუტატორის ძალოვან წრედში. VD2 ემსახურება კომუტატორის შესასვლელზე გადამეტძაბვის მოხსნას. მოკლედ შერთვის დენის შეზღუდვისათვის ინდუქციურობის ერთი გრაგნილი  $L_1$  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  $i_{\text{პროპორციული ძაბვის (აღნიშნული ძაბვა მოიხსნება } R_3 - \text{დან), საყრდენი ძაბვასთან, რომელიც ფორმირდება } R_2 \text{ რეზისტორის საშუალებით. რეზისტორების ნომინალური მნიშვნელობები განისაზღვრება ელექტროძრავას სიმძლავრის მიხედვით.}$

**1.3. ძირითადი მოთხოვნები წაყენებული მართვადი ნახევრადგამტარულ კომპუტატორზე თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ელექტროამძრავის რეგულირებისათვის**

მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორი (მნკ), რომლის დანიშნულებაცაა ზეთის ტუმბოს ელექტროამძრავის რეგულირება, წარმოადგენს ძალოვან მოწყობილობას ელექტრული ძრავას ან ელექტრული ძრავების კვებისათვის ცვლადი ძაბვით (ან დენით) ამპლიტუდის, სიხშირის და ფაზის ცვლილებით გარკვეულ დიაპაზონში, აღნიშნული ძრავას ან ერთდროულად ელექტროძრავების ყველა ჯგუფის მართვისათვის. მნკ-ის ფუნქციონალური დანიშნულება განსაზღვრავს მოთხოვნებს, მასზე წაყენებულს. აღნიშნული მოთხოვნები შეიძლება გამოიკვეთოს სამ ჯგუფად:

1) საერთო მოთხოვნები მნკ-თან, როგორც კვების წყარო და ენერჯის მომხმარებელი;

2) საერთო მოთხოვნები, განპირობებული მნკ-ის გამოყენებით ელექტროამძრავში;

3) სპეციალური მოთხოვნები, რომელიც დამოკიდებულია ამძრავის დანიშნულებაზე და მკვებავი ქსელის პარამეტრებზე.

განვიხილოდ მოკლედ ყველა სამი ჯგუფის მოთხოვნები. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება შემდეგი მოთხოვნები.

1. მნკ-ის გამოსავალი პარამეტრების და მისი დატვირთვის ცვლილების დროს ყველა დიაპაზონში მაღალი მქკ. ეს მოთხოვნა წარმოადგენს მნიშვნელოვანს, ვინაიდან მნკ წარმოადგენს ძალოვან მოწყობილობას და მის გავლით მიეწოდება სრული სიმძლავრე, მოთხოვნილი ძრავას მიერ. მარგო ქმედების კოეფიციენტი მნკ-ის დამოკიდებულია მნკ-ის ტიპზე, მის სქემაზე, სიმძლავრეზე, გამოსავალი სიხშირეზე და დატვირთვის სიმძლავრის კოეფიციენტზე. თანამედროვე სამამულო და უცხოური მნკ-ები დამაკმაყოფილებლად პასუხობენ მითითებულ მოთხოვნებს.

2. მნკ-ის მინიმალური ზომები და წონა. მნკ წარმოადგენს ელექტროამძრავის განუყოფელ ნაწილს, უმრავლეს შემთხვევაში მოთავსებულია მუშა მანქანაზე ან უშუალოდ მასთან ახლოს, ამიტომ მისი ზომები და მასა უნდა იყოს მინიმალური. აღნიშნული მოთხოვნის შესრულება ხელს უწყობს მუშა მანქანის ზომებისა და წონის შემცირებას.

3. მნკ-ის საიმედოობის მაღალი მაჩვენებელი. აღნიშნული მოთხოვნა მეტად აქტუალურია. მისი შესრულება უზრუნველყოფს საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირებას მომსახურებაზე და რემონტზე, ხოლო მთავარია, მუშა მანქანის ნორმალური ფუნქციონირება დროის გარანტირებულ ინტერვალში.

4. მაღალი სიმძლავრის კოეფიციენტი და ქსელიდან მოთხოვნილი მინიმალური დენი. მნკ წარმოადგენს ენერჯის მომხმარებელს და უნდა აკმაყოფილებდეს მოთხოვნებს წაყენებული ენერჯოსისტემის მომხმარებლების მიმართ. სასურველია, რომ მნკ-ს გააჩნდეს ნორმატიული სიმძლავრის კოეფიციენტი 0,9-0,92 და მეტი.

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება შემდეგი მოთხოვნები.

1. მრავალფაზა მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის (ან დენის) მცირე არასიმეტრია ფაზების მიხედვით.

2. თავისუფალი ან მართვადი გაცვლა რეაქტიული სიმძლავრის მნკ-სა და ძრავას შორის, ქსელსა და ძრავას შორის ან ძრავას ფაზებს შორის გამოსავალი სიხშირის სიმძლავრის კოეფიციენტის და დატვირთვის ცვლილების ყველა დიაპაზონში. აღნიშნული მოთხოვნა წარმოადგენს ერთ-ერთ განმსაზღვრელს მნკ-ის სქემის შერჩევის დროს ელექტროამძრავის რეგულირების დროს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რომ ეს მოთხოვნა შესრულდეს ფართო დიაპაზონში მნკ-ის გამოსავალი სიხშირის და ძაბვის რეგულირების დროს, მნკ-ის პროცესების ხასიათის არსებითი ცვლილების გარეშე.

3. გამოსავალი ძაბვის (ან დენის) მაღალი რიგის ჰარმონიკების მინიმალური შემადგენლობა. ეს მოთხოვნა განპირობებულია უპირველეს

ყოვლისა შევამციროდ სიმპლავრის დანაკარგები ძრავაში მაღალი რიგის დენების ჰარმონიკებისაგან, ამავე დროს უზრუნველყოთ ძრავას ლილვის თანაბარი ბრუნვა ამძრავის სტატორის ძაბვის დაბალი სიხშირის დროს უმრავლეს მნკ-სათვის, რომელიც დანიშნულია რეგულირებადი ელექტროამძრავისთვის, რეგულირების დიაპაზონისთვის 20:1-მდე, მიიღება ისეთი ფორმა, რომლის დროს გამოსავალი ძაბვა (ან დენი) შეიცავს მხოლოდ კენტი ჰარმონიკებს, გარდა მე-3 და მისი ჯერადის, რომლის დროსაც დამახინჯების კოეფიციენტი (1 რიგის ჰარმონიკის მომქმედი მნიშვნელობის ფარდობა სრული მომქმედი მნიშვნელობასთან) უნდა იყოს არა ნაკლები  $k_H = 0,955$  ხშირად არასინუსოიდურობის ფორმას ახასიათებენ არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტით  $k_f$  (მაღალი რიგის ჰარმონიკის მომქმედი მნიშვნელობის ფარდობა 1 რიგის ჰარმონიკის მომქმედი მნიშვნელობასთან), რომელსაც ზოგჯერ უწოდებენ მაღალი რიგის ჰარმონიკის პროცენტს. კავშირი დამახინჯების კოეფიციენტს და არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტს შორის განისაზღვრება ფორმულით

$$k_f = \sqrt{1/k_H^2 - 1} = 100\sqrt{A^2/A_1^2 - 1}, \quad (1.2)$$

სადაც  $A$  - ძაბვის (ან დენის) სრული მომქმედი მნიშვნელობა;  $A_1$ - ძაბვის (ან დენის) 1 რიგის ჰარმონიკის მომქმედი მნიშვნელობა. როცა  $k_H = 0,955$  შეესაბამება  $k_f = 31\%$  მნიშვნელობას, ე.ი. გამოსავალ ძაბვაში (ან დენში) მნკ-ის 31%-მდე მაღალი რიგის ჰარმონიკების (კენტი, გარდა 3-ის და მისი ჯერადის) ითვლება დასაშვები.

მოცემული მოთხოვნის დაცვის დროს გამოსავალი ცვლადების ფორმასთან, მაგალითად, როცა მნკ მუშაობს მოკლედ ჩართული როტორიანი ასინქრონულ ძრავაზე, მაქსიმალური მომენტი მცირდება 1-2%-ით, დენი ნომინალური დატვირთვის დროს იზრდება დაახლოებით 1-4%-ით. მკვ ძრავას შესაბამისად მცირდება 1-3%-ით.

ცვლადი დენის ძრავას, რომელსაც გააჩნია გრაგნილის მნიშვნელოვანი ინდუქციურობა, ხასიათდება კარგი მაფილტრირებელი თვისებებით, ამიტომ მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის (მხოლოდ არა დენის)

არასინუსოიდური ფორმის შეფასებისთვის, რომელიც დანიშნულია რეგულირებადი ამპრვისათვის, არასაკმარისია მხოლოდ ცოდნა მაღალი რიგის ჰარმონიკის პროცენტის შემადგენლობა, კიდევ აუცილებელია ცოდნა მათი შემადგენლობა (ნომრები) და მინიმალური მოთხოვნილი სიხშირის მნიშვნელობა ძირითადი ჰარმონიკის. ვინაიდან დენის მაღალი რიგის ჰარმონიკები, რომლებიც გადიან ძრავაში უკუ პროპორციულია მათი ნომრის, ამიტომ დენის არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტი ტოლია:

$$k_{f,I} = k \sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{U_{m\gamma}^2}{U_{m1}^2 \gamma^2}}, \quad (1.3)$$

სადაც  $U_{m\gamma}/U_{m1}$ - ძაბვის ჰარმონიკის  $\gamma$  ამპლიტუდა, შეფარდებული ძაბვის 1 რიგის ჰარმონიკის ამპლიტუდასთან;  $\gamma$  - ჰარმონიკის ნომერი,  $k$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი, დამოკიდებულია ძრავას პარამეტრებზე და მწკ-ის გამოსავალი ძაბვის სიხშირეზე. იმ შემთხვევისათვის როცა მწკ-იდან იკვებება მოკლედ ჩართული როტორიანი ასინქრონული ძრავა (1.3) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$k_{f,I} = \frac{U_{s1}}{I_{s1} x_k f_{s*}} \sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{U_{s\gamma}^2}{U_{s1}^2 \gamma^2}}, \quad (1.4)$$

სადაც  $I_{s1}$ -სტატორის დენის 1 რიგის ჰარმონიკის მომქმედი მნიშვნელობა, სტატორის ძაბვის 1 რიგის ჰარმონიკის  $U_{s1}$  მნიშვნელობის დროს;  $x_k$ -ძრავას მოკლედ შერთვის ინდუქციური წინაღობა ნომინალური სიხშირის დროს.  $f_{s*} = f_s / f_{s, \text{ნომ}}$  - სტატორის ძაბვის 1 რიგის ჰარმონიკის ფარდობითი სიხშირე.  $U_{s\gamma}$ - ძაბვის  $\gamma$  ნომრის ჰარმონიკის მომქმედი მნიშვნელობა.

დენის არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტი დამოკიდებულია სიხშირეზე, ძრავას დატვირთვაზე და  $U_s/f_s$  ფარდობაზე. ამიტომ შედეგების შეპირისპირებისთვის მიზანშეწონილია შევავასოდ აღნიშნული კოეფიციენტი ნომინალურ რეჟიმში, ე.ი. როცა ძაბვის და დენის 1 რიგის ჰარმონიკების მნიშვნელობები ტოლია ნომინალური მნიშვნელობების ნომინალურ სიხშირეზე. მაშინ

$$k_{f,I6\text{ომ}} = \frac{1}{x_{k*}} \sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{U_{S\gamma}^2}{U_{S16\text{ომ}}^2 \gamma^2}}, \quad (1.5)$$

სადაც  $x_{k*} = x_k I_{S16\text{ომ}} / U_{S16\text{ომ}} = x_k / Z_{\delta}$ -ძრავას მოკლედ შერთვის ინდუქციური წინაღობა ნომინალური სიხშირის დროს, გამოხატული ფარდობით ერთეულებში ბაზისური წინაღობის დროს  $Z_{\delta} = U_{S16\text{ომ}} / I_{S16\text{ომ}}$  ფართოსამრეწველო გამოყენების მანქანებისთვის ერთიანი სერიის გამოყენებისთვის  $x_{k*} \approx 0,16 \div 0,23$ , სადაც დიდი მნიშვნელობა მიეკუთვნება მრავალპოლუსიან (დაბალი სიჩქარის) ძრავებს. სწორკუთხოვანი - საფეხურიანი ფორმის ძაბვისათვის, რომელიც შეიცავს მხოლოდ კენტი ჰარმონიკებს, გარდა ნულოვანი მიმდევრობის ჰარმონიკებისა, დამახასიათებელია უკუპროპორციული დამოკიდებულება ძაბვის ჰარმონიკის ფარდობითი ამპლიტუდის მის ნომრისგან. მაშინ (1.5) მიიღებს სახეს:

$$k_{fI} = \frac{1}{x_{k*}} \sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{1}{\gamma^4}} = \frac{\sqrt{2,15 \cdot 10^{-3}}}{x_{k*}}, \quad (1.6)$$

სადაც  $\gamma = 6n + q (n = 1, 2, 3, \dots, q = \pm 1)$

ამ შემთხვევაში დენის არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტი ნომინალური რეჟიმის დროს შეადგენს  $k_{fI} \approx (20 - 29)\%$ , როცა ძაბვის არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტი ტოლია 31%.

ძრავას მაფილტრირებელი თვისების შეფასებისთვის შეიძლება შემოვიტანოთ ძრავას ფილტრირების კოეფიციენტი  $q_{\text{ძრ.}}$ , რომელიც წარმოგვიდგება, როგორც სტატორის ძაბვის და დენის არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტების ფარდობა ნომინალური რეჟიმის დროს . (1.5)-დან, მივიღებთ

$$q_{\text{ძრ.}} = \frac{k_{f,U}}{k_{f,I}} = \frac{x_{k*} \sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{U_{S\gamma}^2}{U_{S16\text{ომ}}^2}}}{\sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{U_{S\gamma}^2}{U_{S16\text{ომ}}^2 \gamma^2}}} \quad (1.7)$$

(1.6) შემთხვევისათვის ძრავას ფილტრირების კოეფიციენტი იქნება ტოლი:

$$q_{\text{ძრ.}} = \frac{x_{k*} \sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{1}{\gamma^2}}}{\sqrt{\sum_{\gamma \neq 1}^{\gamma} \frac{1}{\gamma^4}}} = x_{k*} \sqrt{\frac{0,096}{2,15 \cdot 10^{-3}}} \approx 6,7 x_{k*} \quad (1.8)$$



რაც შეადგენს  $q_{dr} \approx 1,07 \div 1,54$ . დიდი მნიშვნელობა კოეფიციენტის მიეკუთვნება მრავალპოლუსიანი ძრავას.

შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ სიმძლავრის დანაკარგები ასინქრონულ ძრავაში მაღალი რიგის ჰარმონიკებისგან  $\sum \Delta P_\gamma$  ნომინალური რეჟიმის წერტილში, შეფარდებული ნომინალური დანაკარგებთან  $\Delta P_{\text{ნომ}}$ , ტოლია

$$\frac{\sum \Delta P_\gamma}{\Delta P_{\text{ნომ}}} = \frac{r_{k*} k_{f,I}^2}{\cos \varphi_{\text{ნომ}} (1 - \eta_{\text{ნომ}})}, \quad (1.9)$$

სადაც  $r_{k*}$ -ძრავას მოკლე შერთვის აქტიური წინაღობა, გამოსახული ფარდობით ერთეულებში (საერთო სამრეწველო გამოყენების ძრავებისათვის  $r_{k*} \approx 0,02 \div 0,16$ , სადაც მცირე მნიშვნელობა მიეკუთვნება დიდი სიმძლავრის ასინქრონულ ძრავებს);  $\cos \varphi_{\text{ნომ}}, \eta_{\text{ნომ}}$ -სიმძლავრის ნომინალური კოეფიციენტი და მქვ ასინქრონული ძრავას შესაბამისად.

(1.9)-დან ჩანს, რომ მნკ-ისათვის, რომელიც მუშაობს ძრავას დატვირთვაზე, მთავარს წარმოადგენს მოთხოვნა გამოსავალი დენის ფორმაზე.

მნკ-სათვის, როგორც ძაბვის წყარო (1.9) ფორმულა შეიძლება ჩავწეროთ (1.7)-ის გათვალისწინებით შემდეგი სახეში

$$\frac{\sum \Delta P_\gamma}{\Delta P_{\text{ნომ}}} = \frac{r_{k*} k_{f,U}^2}{q_{dr}^2 \cos \varphi_{\text{ნომ}} (1 - \eta_{\text{ნომ}})} \quad (1.10)$$

(1.9) და (1.10) შეპირისპირებიდან ჩანს, რომ მნკ-ის გამოსავალი დენის და ძაბვის ერთნაირი არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტების დროს დანაკარგები მაღალი რიგის ჰარმონიკებიდან გამოწვეული ძრავაში იქნება  $q_{dr}^2$ -ჯერ ნაკლები.

ასინქრონული ძრავას გრაგნილების იზოლაციის ტემპერატურის ამაღლების თავიდან აცილების მიზნით, გამოწვეული მაღალი რიგის ჰარმონიკებით, აუცილებელია შევამციროდ დატვირთვა ძრავას ლილვზე. დასაშვები მომენტი გახურების მიხედვით  $M_{\text{დაშ}}$ . ასინქრონული ძრავას ნომინალური სიხშირის დროს, როცა ის იკვებება მნკ-ისგან, შეიძლება შეფასდეს ფორმულით

$$\frac{M_{\text{დამ.}}}{M_{\text{ნომ}}} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + 1,64 \frac{\sum \Delta P_{\gamma}}{\Delta P_{\text{ნომ}}}}}, \quad (1.11)$$

(1.11)-ის ანგარიშის მიხედვით  $M_{\text{დამ.}}/M_{\text{ნომ}} \approx 0,92 \div 0,97$  დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება მძლავრ დიდი სისწრაფის მანქანებს, ხოლო მცირე მნიშვნელობა შეესაბამება მცირე სიმძლავრის დაბალი სისწრაფის მანქანებს.

ელექტროამძრავებს დიდი დიაპაზონით რეგულირების დროს (20:1-ზე მეტი) მოეთხოვება სინუსოიდური ფორმასთან ახლოს ძაბვისა (ან დენის) ცვლილების მრუდის ფორმა, რათა გამორიცხული იქნეს ბრუნთა რიცხვის პულსაცია და ამძრავის მოძრაობის დისკრეტულობა. ამ შემთხვევაში მნკ-იდან გამოსავალი ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების შემადგენლობა არ უნდა აჭარბებდეს 16%. გამოსავალი ძაბვის ფორმის გაუმჯობესებისათვის ძირითადად გამოიყენება ორი მეთოდი: მრავალფაზა სქემების გამოყენება და ფართო იმპულსური მოდულაცია (ფიმ). მაგალითად ეკვივალენტური 12 ფაზიანი სქემის გამოყენება მნკ-ის მოგვიწოდებს გამოვრიცხოთ გამოსავალი ცვლადებიდან ყველა ჰარმონიკები ნომრებით  $6k + q$  ( $k = 1, 3, 5 \dots, q = \pm 1$ ), რაც მოგვიწოდებს შევამციროდ მაღალი რიგის ჰარმონიკების შემადგენლობა 16%-მდე.

მნკ-ის სიხშირის სტაბილიზაცია  $\delta_f$  შეადგენს  $\pm 2$ -დან  $\pm 0,5\%$ -მდე; ძაბვის სტაბილიზაციის სიზუსტე  $\delta_U - \pm 2$ -დან  $\pm 1,5\%$ -მდე.

დასაშვები გადატვირთვა მნკ-ის განისაზღვრება ტრანზისტორების გადატვირთვის უნარით.

ასინქრონული ძრავას გამშვი მომენტის საჭირო ჯერადობა იცვლება ფართო ზღვრებში (1,3-დან 4-5 მდე) და განისაზღვრება ამძრავის დანიშნულების მიხედვით. მოცემული გამშვი მომენტის ჯერადობას შეესაბამება (სიხშირული მართვის დროს) გამშვი დენის ჯერადობა მაგალითისთვის 1,3-დან 3-4 მდე.

სიხშირისა და გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდის განცალკევებული მდოვრე რეგულირებით ფართო ზღვრებში (იდეალურ შემთხვევაში - ნულიდან მოცემული მაქსიმალური მნიშვნელობამდე).

რეგულირებადი ელექტროამძრავის მახასიათებლებთან მოთხოვნები განისაზღვრება გამომდინარე ტექნოლოგიური პროცესებიდან. ყველა რეგულირებადი ელექტროამძრავები მუშაობის რეჟიმების მიხედვით შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად:

1) ელექტროამძრავები, რომლებიც მუშაობენ ხანგრძლივ რეჟიმში მუდმივი ან მცირე ცვლილების დატვირთვით, იშვიათი გამწვებით და გაჩერებით; 2) ელექტროამძრავები, რომლებიც მუშაობენ განმეორებით-მოკლე დროით.

პირველი ჯგუფის ელექტროამძრავებისთვის მთავარს წარმოადგენს მოთხოვნები სტატიკურ მახასიათებლებთან: უზრუნველყოფა საჭირო სიხისტის მექანიკური მახასიათებლების, რეგულირების ყველა დიაპაზონში; სასურველი გადატვირთვის უნარი ელექტროამძრავის აღნიშნული რეგულირების დიაპაზონში; გამწვების და გადატვირთვის დროს დენის ან მომენტის შეზღუდვა; ელექტროამძრავის სისტემის მუშაობის მდგრადობა; ბრუნთა სიხშირის მდოვრე რეგულირება და ეკონომიურობა.

მეორე ჯგუფის ელექტროამძრავებისთვის მთავარს წარმოადგენს მოთხოვნები დინამიკური მოთხოვნებთან და გარდამავალი პროცესის ხარისხთან: გარდამავალი პროცესის მინიმალური დრო, რომელიც მიიღწევა დიდი გამწვი მომენტით.

მნიშვნელოვანი საერთო მოთხოვნას ყველა რეგულირებადი ელექტროამძრავებისთვის წარმოადგენს ბრუნთა სიხშირის რეგულირების ეკონომიურობა. ბრუნთა სიხშირის რეგულირების მაღალი ეკონომიურობა მიიღწევა, როგორც მაღალი მქკ-ით.

მარეგულირებელი მოწყობილობის გამოყენება, ასევე ისეთი რეგულირების მეთოდების გამოყენება, რომლებიც უზრუნველყოფენ ენერჯის მინიმალურ დანაკარგებს ძრავაში და მნკ-ში ბრუნთა სიხშირის ფართო დიაპაზონში ცვლილების დროს.

**თავი II. თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების  
მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის  
მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორები**

**2.1. ელექტროამძრავების რეგულირებისათვის მართვადი  
ნახევრადგამტარული კომუტატორების კლასიფიკაცია**

მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორები (მნკ) გამოიყენება ელექტროამძრავებში ბრუნთა სიხშირის მდოვრე და ეკონომიკური რეგულირებისათვის და აგრეთვე გარდამავალი პროცესების საჭირო ხარისხის უზრუნველყოფისათვის. მუდმივი დენის ელექტროამძრავებში ისინი გამოიყენება უკონტაქტო კომუტატორების სახით.

ცნობილია ოთხი ძირითადი სისტემები ელექტროამძრავების მნკ-ით.

1. ასინქრონული და სინქრონული ძრავების სიხშირული მართვის სისტემები (სტატორის მხრიდან მართვა).

2. ასინქრონული ელექტროამძრავი ვენტილური ელექტრული კასკადის სქემის მიხედვით (როტორის მხრიდან მართვა).

3. ცვლადი დენის ელექტროამძრავი ფაზურ როტორიანი ასინქრონული ძრავას ბაზაზე ორმაგი კვების მანქანების სქემის მიხედვით (როტორის მხრიდან მართვა).

4. ვენტილური ძრავა სინქრონული ძრავას ბაზაზე ან სინქრონიზირებული (მუდმივი დენით აგზნებით) ფაზური როტორით.

მოცემული სისტემებიდან ყველაზე გავრცელებულია სიხშირული მართვის სისტემები, ვინაიდან მხოლოდ მათ შეუძლიათ უზრუნველყონ ეკონომიკური რეგულირება სინქრონული ძრავების და მოკლე ჩართული როტორიანი ასინქრონული ძრავების.

იდეალური მნკ-ს გააჩნია ნულოვანი შიდა წინააღობა და წრფივი დამოკიდებულება გამოსავალი ძაბვისა შესავალი ძაბვისაგან. იდეალური

მნკ-ს ვენტილების ღია მდგომარეობის ინტერვალი  $Q_k = \pi$ , დატვირთვაში დენის გავლის წრედში მნკ-ის გავლით, არ არის რეზისტორები და რეაქტორები, და ისინი მუშაობენ საკმარისი მაღალი ძაბვის დროს, როცა  $U_K \gg \Delta U_B$ , სადაც  $U_K$  - კომუტატორის შესავალი ძაბვა;  $\Delta U_B$ -ვენტილურ ელემენტებზე ძაბვის ვარდნა.

ელექტრომაგნიტური პროცესები მნკ-ში შეიძლება დაიყოს მუშა და კომუტაციური რეჟიმების სახით. მუშა რეჟიმი დაკავშირებულია მნკ-ის ელემენტებში დატვირთვის დენის გავლასთან და შეიძლება განვიხილოთ იდეალიზირებული სქემაში, შესრულებული სრულად მართვადი ვენტილურ ელემენტებზე. კომუტაციური რეჟიმები დაკავშირებულია სქემაში ელემენტების არსებობასთან, აუცილებელი ვენტილების ჩაკეტვისათვის. კომუტაციური რეჟიმების აბსოლუტური დროის ხანგრძლივობა  $t_K$  დამოკიდებულია მაკომუტირებელი ელემენტების და ვენტილების დინამიკური თვისებებზე.

1000-2000 ჰც-ზე ნაკლები გამოსავალი სიხშირის დროს, მუშა რეჟიმების ანგარიში არ არის დამოკიდებული კომუტაციურ რეჟიმებზე, ხოლო კომუტაციური კონტურების სქემების ანალიზის დროს მუშა რეჟიმები გავლენას ახდენენ, მხოლოდ საწყის და ბოლო პირობებზე.

ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზი მნკ-ში იქნება განხილული შემდეგი დაშვებების გათვალისწინებით:

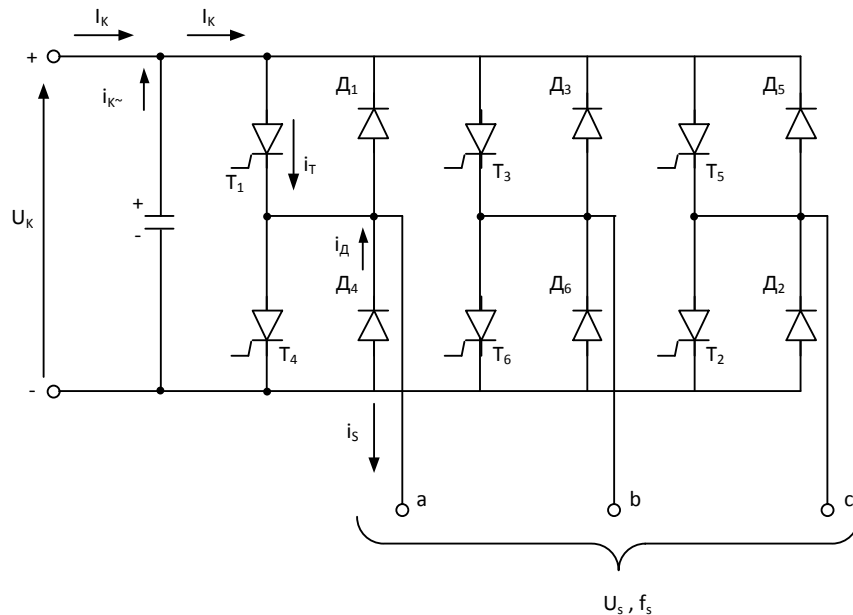
- ვენტილების წინაღობა ღია მდგომარეობაში და გამტარობა დაკეტილ მდგომარეობაში ტოლია ნულის;
- მნკ-ის შესასვლელში ძაბვის პულსაცია ტოლია ნულის;
- ვენტილის ჩართვა ემთხვევა მართვადი იმპულსის მიწოდების მომენტს.
- მნკ-ის დატვირთვის ხასიათი აქტიურ-ინდუქციური. მუშა რეჟიმების განხილვა მიზანშეწონილია დავიწყოთ მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის დამოკიდებულებით დატვირთვისაგან, ვენტილების გადართვის კანონის და შესავალი ძაბვის განსაზღვრით.

## 2.2. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორის გამოსასვლელზე ძაბვის დამოკიდებულება მის შესასვლელზე

ნახ. 2.1. მოცემულია მნკ-ის სამფაზა ბოგირული სქემა, შესრულებული ოროპერაციული  $T1 - T6$  ტირისტორებზე და  $D_1 - D_6$  დიოდებზე. ტირისტორების ჩართვის მიმდევრობა შეესაბამება მათ ნომრებს -  $T_1, T_2, T_3$  და ა.შ.

დამოკიდებულება გამოსავალი ძაბვას  $U_s$  შესავალი ძაბვასგან  $U_K$  შეიძლება მივიღოთ მნკ-ის კომუტაციური ფუნქციის საშუალებით, რომელიც ითვალისწინებს ვენტილური ელემენტების გამტარობის დისკრეტული ცვლილების ხასიათს. რადგანაც მნკ-ის ვენტილები შეიძლება იმყოფებოდეს მხოლოდ ორ მდგომარეობაში, ტირისტორის ღია მდგომარეობა გამოვხატოდ 1-ით, ხოლო დაკეტილი მდგომარეობა 0-ით.

ამ შემთხვევაში კომუტაციური ფუნქცია წარმოგვიდგება იმპულსური ერთეული ფუნქციით, რომელიც შეიძლება ჩაიწეროს ტრიგონომეტრიული (ან ხარისხოვანი) მწკრივით [8] ან ცხრილით [9].

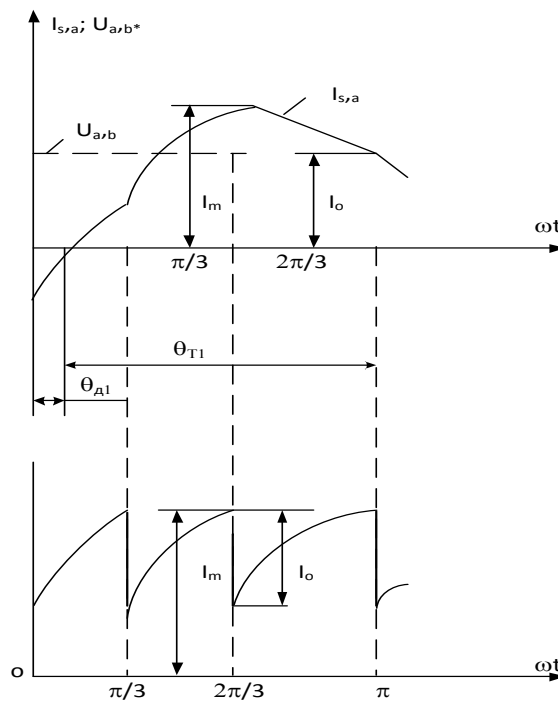


ნახ. 2.1. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორი

ტირისტორების  $\theta_K = \pi$  გამტარობის მდგომარეობის ხანგრძლივობის დროს კომუტაციური ფუნქციის ( $\bar{I}$ ) ჩაწერას შეესაბამება ცხრილი 2.1.

ცხრილი 2.1. კომუტაციური ფუნქცია ( $\bar{I}$ ) როცა  $\theta_K = \pi$

ელემენტი	კომუტაციათაშორისი ინტერვალი					
	$0-\pi/3$	$\pi/3-2\pi/3$	$2\pi/3-\pi$	$\pi-4\pi/3$	$4\pi/3-5\pi/3$	$5\pi/3-2\pi$
T <sub>1</sub> ან D <sub>1</sub>	1	1	1	0	0	0
T <sub>2</sub> ან D <sub>2</sub>	0	1	1	1	0	0
T <sub>3</sub> ან D <sub>3</sub>	0	0	1	1	1	0
T <sub>4</sub> ან D <sub>4</sub>	0	0	0	1	1	1
T <sub>5</sub> ან D <sub>5</sub>	1	0	0	0	1	1
T <sub>6</sub> ან D <sub>6</sub>	1	1	0	0	0	1



ნახ. 2.2. მართვადი ნახევრადგამტარულ კომუტატორში დენების და ძაბვების დიაგრამები როცა  $\theta_K = 180^\circ$

მივიღოთ მუდმივი ძაბვის წყაროს უარყოფითი პოლუსი  $\varphi_{-K}$  ნულის ტოლად ( $\varphi_{-K} = 0, \varphi_{+K} = U_K$ ) და გავითვალისწინოთ, რომ  $\varphi_{a,b,c} = \varphi_K(\bar{1})_i$ , ხოლო  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ ;  $U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c$ ;  $U_{ca} = \varphi_c - \varphi_a$ , სადაც  $(\bar{1})_i - i$  ელემენტის კომპუტაციური ფუნქცია, ვლებულობთ ცხრილიდან პოტენციალების და ხაზური ძაბვების მნკ-ის გამოსასვლელზე (ცხრილი 2.2).

ცხრილი 2.2. პოტენციალები და ხაზური ძაბვები როცა  $\theta_K = \pi$

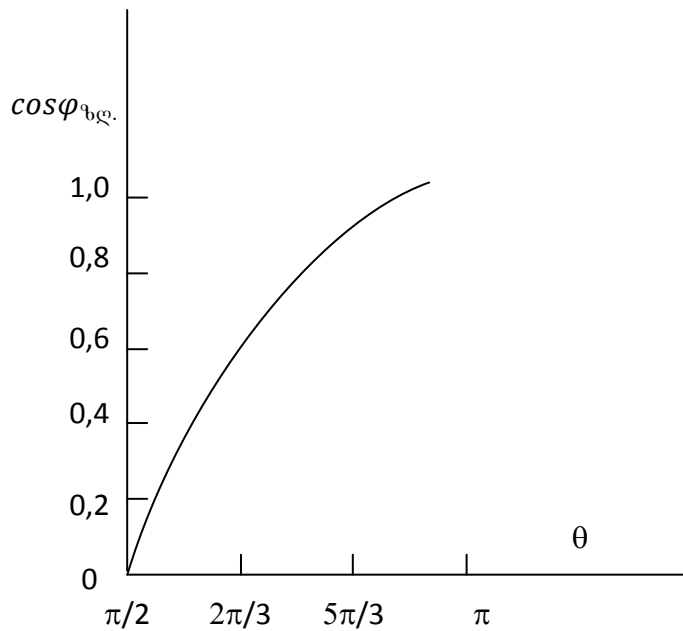
პარამეტრი	კომპუტაციათაშორისი ინტერვალი					
	0- $\pi/3$	$\pi/3$ - $2\pi/3$	$2\pi/3$ - $\pi$	$\pi$ - $4\pi/3$	$4\pi/3$ - $5\pi/3$	$5\pi/3$ - $2\pi$
$\varphi_a$	$+U_K$	$+U_K$	$+U_K$	0	0	0
$\varphi_b$	0	0	$+U_K$	$+U_K$	$+U_K$	0
$\varphi_c$	$+U_K$	0	0	0	$+U_K$	$+U_K$
$U_{a,b}$	$+U_K$	$+U_K$	0	$-U_K$	$-U_K$	0
$U_{b,c}$	$-U_K$	0	$+U_K$	$+U_K$	0	$-U_K$
$U_{c,a}$	0	$-U_K$	$-U_K$	0	$+U_K$	$+U_K$

ხაზური დენის  $i_a$  და დენის მოთხოვნილი კვების წყაროდან  $i_K$ , აქტიურ-ინდუქციური დატვირთვის დროს, სიმძლავრის კოეფიციენტით  $0 < \cos\varphi < 1$  ნაჩვენებია ნახ. 2.2. აქ დროის მომენტში  $\omega t = 0$  შეესაბამება  $T4$  ტირისტორის დაკეტვის მომენტს და  $T1$  ტირისტორზე მართვის გალების იმპულსის მიწოდებას. რადგანაც როცა  $\theta_K = \pi$  დატვირთვა ყოველთვის დაკავშირებულია მუდმივი ძაბვის კვების წყაროსთან, გამოსავალი ძაბვის ფორმა არ არის დამოკიდებული დატვირთვისაგან (ნახ. 2.2. ძაბვა  $U_{a,b*} = U_{a,b}/U_K$

მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის ფორმა იქნება შენარჩუნებული მუდმივი და როცა  $\theta_K < \pi$  სიმძლავრის კოეფიციენტი ნაკლები ან ტოლია ზღვრული სიმძლავრის კოეფიციენტის  $\cos\varphi_{\text{ზღ.}}$ .

ნახ. 2.3. ნაჩვენებია დამოკიდებულება  $\cos\varphi_{\text{ზღ.}}$  და ტირისტორის გამტარობის ინტერვალს შორის.





ნახ.2.3. მნკ-ში ზღვრული სიმძლავრის კოეფიციენტი

მნკ-ის ტირისტორების მართვის ხერხის გარდა, როცა  $\theta_K = \pi$  ფართო გამოყენება მიიღო გადართვის რეჟიმებმა, როცა  $\theta_K = 2\pi/3$  და  $\theta_K = 5\pi/6$ , რაც გამოწვეულია პირველი, სისტემის მართვის იმპულსების მიღების სიმარტივით და მეორე გამოსავალი ძაბვის მცირედ გაუარესებით.

თუ  $\cos \varphi_S > \cos \varphi_{ზღ.}$ , მაშინ  $\theta_K < \pi$  ხაზური დენი მნკ-ის გამოსასვლელზე ატარებს წყვეტილ ხასიათს. მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის მრუდის მყისი მნიშვნელობა, როცა  $\theta_K = 2\pi/3$  აიგება კომუტაციური ფუნქციის დახმარებით ცხრილი 2.3, სადაც კომუტაციათა შორის ინტერვალი დამატებით გაყოფილია დიოდის გამტარობის ინტერვალად  $\theta_{\Delta}$  და დატვირთვის ხაზური დენის გამონაკლისის ინტერვალად  $\theta_0$ .

პოტენციალების და ხაზური ძაბვების ცხრილი (ცხრილი 2.4) შევადგინოთ ცხრილი 2.2-ის ანალოგიურად, გავითვალისწინოთ, რომ სიმეტრიული დატვირთვის სამფაზა სქემის დამოუკიდებლად პოტენციალი ინტერვალზე  $\theta_0$  როცა  $i_S = 0$  ტოლია:  $\varphi_{\theta_0} = +U_k/2$ , რაც ცხრილი 2.3-ში პირობითად აღნიშნულია ( $\theta$ ).

დენის წყვეტის რეჟიმში ტირისტორების გამტარობის ინტერვალი რჩება მუდმივი და ტოლია  $\theta_K = \theta_T$ . დენი მნკ-ის შესასვლელზე ყველა სიმძლავრის კოეფიციენტებისათვის ზღვრებში  $\llbracket 1 > \cos \varphi_S \geq \cos \varphi_{ზღ.}$

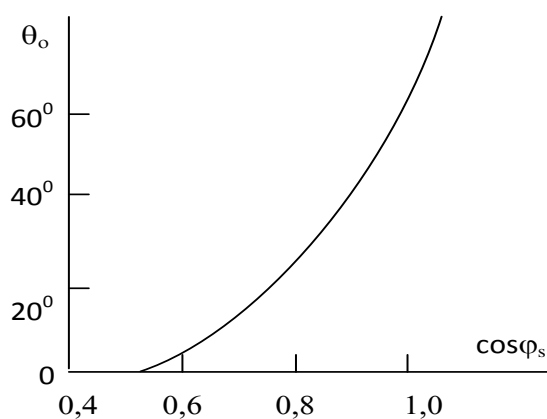
თითოეული კომუტაციის დროს იცვლება ნახტომისებურად მნიშვნელობაზე,  $I_m = I_o$ .

**ცხრილი 2.3. კომუტაციური ფუნქცია (1) როცა  $\theta_K = 2\pi/3$  და  $\cos\varphi_s > \cos\varphi_{\text{ფლ}}$ .**

ელემენტი	0- $\pi/3$		$\pi/3$ - $2\pi/3$		$2\pi/3$ - $\pi$		$\pi$ - $4\pi/3$		$4\pi/3$ - $5\pi/3$		$5\pi/3$ - $2\pi$	
	$\theta_d$	$\theta_o$	$\theta_d$	$\theta_o$	$\theta_d$	$\theta_o$	$\theta_d$	$\theta_o$	$\theta_d$	$\theta_o$	$\theta_d$	$\theta_o$
T <sub>1</sub> (M <sub>1</sub> )	(1)	(0)	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
T <sub>2</sub> (M <sub>2</sub> )	0	0	(1)	(0)	1	1	1	1	0	0	0	0
T <sub>3</sub> (M <sub>3</sub> )	0	0	0	0	(1)	(0)	1	1	1	1	0	0
T <sub>4</sub> (M <sub>4</sub> )	0	0	0	0	0	0	(1)	(0)	1	1	1	1
T <sub>5</sub> (M <sub>5</sub> )	1	1	0	0	0	0	0	0	(1)	(0)	1	1
T <sub>6</sub> (M <sub>6</sub> )	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	(1)	(0)

ცხრილი 2.3 და 2.4 ანალოგიურად, შეიძლება შევადგინოთ ცხრილები კომუტაციური ფუნქციის და ხაზური ძაბვების შემთხვევისათვის  $\theta_K = 5\pi/6$ ; ეს ცხრილები იქნება განსხვავებული მხოლოდ დიდი რიცხვით კომუტაციური ინტერვალების (კომუტაციათაშორისი ინტერვალი  $\pi/6$  მიღებულია რეჟიმში  $\cos\varphi_s > \cos\varphi_{\text{ფლ}}$  დაიყოს ქვეინტერვალებად  $\theta_d$  და  $\theta_o$ ).

$\theta_o$  კუთხე დამოკიდებულია დატვირთვის სიმძლავრის კოეფიციენტისგან, მაგრამ ერთმნიშვნელოვნად შეიძლება განისაზღვროს მხოლოდ პასიური  $RL$  დატვირთვის დროს [10].  $\theta_o$  ინტერვალის დამოკიდებულება დატვირთვის სიმძლავრის კოეფიციენტისგან ნაჩვენებია ნახ. 2.4.



**ნახ.2.4. დამოკიდებულება  $\theta_o(\cos\varphi_s)$  როცა  $\theta_K = 120^\circ$**

ცხრილი 2.4. პოტენციალები და ხაზური ძაბვები, როცა  $\theta_K = 2\pi/3$  და  $\cos\varphi_S > \cos\varphi_{ზღ.}$

არამეტრიც	$0 - \frac{\pi}{3}$		$\frac{\pi}{3} - \frac{2\pi}{3}$		$\frac{2\pi}{3} - \pi$		$\pi - \frac{4\pi}{3}$		$\frac{4\pi}{3} - \frac{5\pi}{3}$		$\frac{5\pi}{3} - 2\pi$	
	$\theta_{\Delta}$	$\theta_o$	$\theta_{\Delta}$	$\theta_o$	$\theta_{\Delta}$	$\theta_o$	$\theta_{\Delta}$	$\theta_o$	$\theta_{\Delta}$	$\theta_o$	$\theta_{\Delta}$	$\theta_o$
$\varphi_a$	$+U_K$		$+U_K$	$+U_K$	$+U_K$	$+U_K$	o	$+\frac{U_K}{2}$	o	o	o	o
$\varphi_b$	o	o	o	o	$+U_K$	$+\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+U_K$	$+U_K$	$+U_K$	o	$+\frac{U_K}{2}$
$\varphi_c$	$+U_K$	$+U_K$	o		o	o	o	o	$+U_K$	$+\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+U_K$
$\mathcal{U}_{a,b}$	$+U_K$	$+\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+U_K$	o	$+\frac{U_K}{2}$	$-U_K$	$-\frac{U_K}{2}$	$-U_K$	$-U_K$	o	$-\frac{U_K}{2}$
$\mathcal{U}_{b,c}$	$-U_K$	$-U_K$	o	$-\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+U_K$	o	$+\frac{U_K}{2}$	$-U_K$	$-\frac{U_K}{2}$
$\mathcal{U}_{c,a}$	o	$+\frac{U_K}{2}$	$-U_K$	$-\frac{U_K}{2}$	$-U_K$	$-U_K$	o	$-\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+\frac{U_K}{2}$	$+U_K$	$+U_K$

ძაბვის იმპულსური მდგენელები  $U_m$  ამპლიტუდის და იმპულსების ხანგრძლივობის დროს შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს ტრიგონომეტრიული მწკრივის სახეში

$$U_o = \sum_{\gamma=1}^{\infty} U_{m\gamma} \sin(\omega_s t + \varphi_{\gamma U}), \quad (2.1)$$

სადაც  $\gamma$  - მთელი კენტი რიცხვი;

$$U_{m\gamma} = \frac{4U_m}{\pi\gamma} \cos \frac{\gamma(\pi - \theta)}{2}$$

პირველი იმპულსური მდგენელი (სრული ძაბვა მნკ-ის გამოსასვლელზე უწყვეტი დენის რეჟიმში) განისაზღვრება (2.1)-დან  $U_m = U_K, \theta = 2\pi/3$  ჩასმის დროს.

$U'_s = 1,1U_K \left( \sin\omega_s t - \frac{1}{5}\sin 5\omega_s t - \frac{1}{7}\sin 7\omega_s t + \dots \right)$ ; (2.2) აქ  $\omega_s t = 0$  როცა  $U'_{1s} = 0$ , ე.ი. კოორდინატის საწყისად მიღებულია დროის მომენტი, როცა 1 იმპულსის მდგენელის პირველი ჰარმონიკა ტოლია ნულის. მეორე იმპულსური მდგენელი დენის წყვეტის რეჟიმისათვის (2.1)-დან როცა  $U_m = 0,5U_K$  და  $\theta = \theta_0$  ტოლია:

$$U''_s = 1,1U_K \left[ -\cos \frac{\pi - \theta_0}{2} \sin \left( \omega_s t + \frac{\pi}{6} + \frac{\theta_0}{2} \right) + \frac{1}{5} \cos \frac{5(\pi - \theta_0)}{2} \sin 5 \left( \omega_s t + \frac{\pi}{6} + \frac{\theta_0}{2} \right) + \frac{1}{7} \cos \frac{5(\pi - \theta_0)}{2} \sin 7 \left( \omega_s t + \frac{\pi}{6} + \frac{\theta_0}{2} \right) + \dots \right]. \quad (2.3)$$

მნკ-ის გამოსასვლელზე სრული ძაბვა

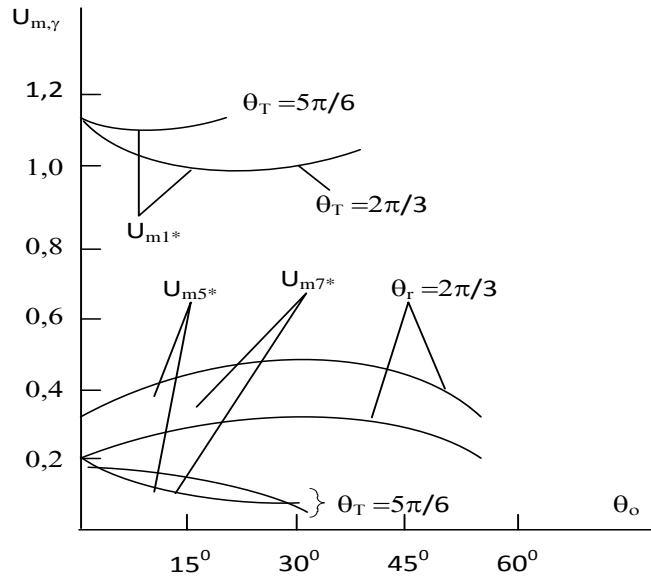
$$U_s = U'_s + U''_s = U_{m1} \sin(\omega_s t + \varphi_{1U}) + U_{m,s} \sin(5\omega_s t + \varphi_{5U}) + U_{m7} \sin(\omega_s t + \varphi_{7U}) + \dots, \quad (2.4)$$

სადაც  $U_{m,\gamma} = \sqrt{(U'_{m,\gamma})^2 + (U''_{m,\gamma})^2 + 2U'_{m,\gamma}U''_{m,\gamma}\cos\varphi_{\gamma 1,2}}$  - ძაბვის მდგენელების  $\gamma$  ჰარმონიკის ამპლიტუდა;

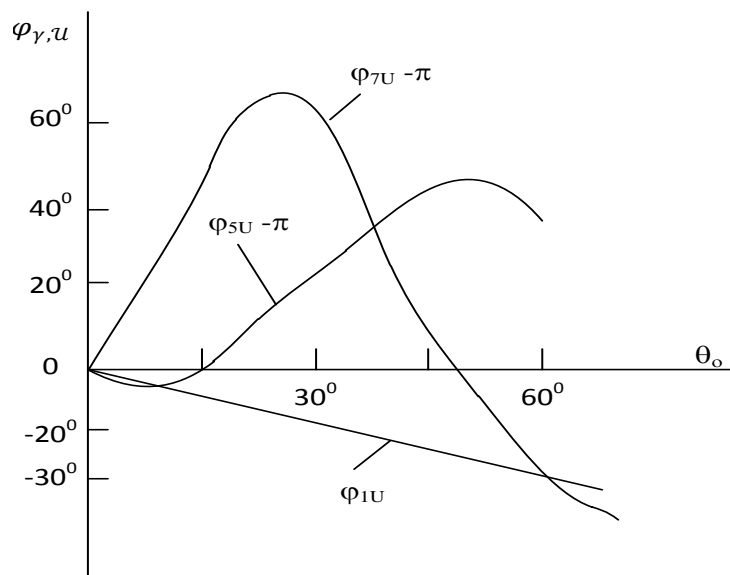
$$\varphi_{\gamma,U} = \arctg \frac{U''_{m,\gamma}\sin\varphi_{\gamma 1,2}}{U'_{m,\gamma} + U''_{m,\gamma}\sin\varphi_{\gamma 1,2}}$$
 ფაზური კუთხე ძაბვის  $\gamma$  ჰარმონიკის

შეფარდება  $U'_{1s}$  მდგენელის იმპულსის პირველი ჰარმონიკასთან;  $U'_{m,\gamma}$  და  $U''_{m,\gamma} - 1(U'_s)$  და  $2(U''_s)$  იმპულსური მდგენელების შესაბამისად  $\gamma$  ჰარმონიკის ამპლიტუდები;  $\varphi_{\gamma 1,2}$  - ფაზური კუთხე,  $U''_{\gamma,s}$  - ის შეფარდება  $U'_{\gamma,s}$ .

(2.3.)-ის მიხედვით გამოთვლილი ძაბვის 1,5,7 ჰარმონიკების ამპლიტუდების მნიშვნელობები (მიყვანილი  $U_K$ -სთან) ნაჩვენებია წყვეტილი დენის რეჟიმისათვის ნახ.2.5 ( $\theta_T = 2\pi/3$  და  $\theta_T = 5\pi/6$  ძაბვის ჰარმონიკების მდგენელები, სამი ჯერადი, ორივე შემთხვევაში ტოლია ნულის).



ნახ. 2.5. მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის ჰარმონიკული მდგენელები დენების წყვეტის რეჟიმში როცა  $\theta_K = 120^\circ$  და  $\theta_K = 150^\circ$



ნახ. 2.6. მნკ-ის გამოსავალი ძაბვის ჰარმონიკული მდგენელების ფაზური კუთხეები დენების წყვეტის რეჟიმში როცა  $\theta_K = 120^\circ$ .

ფაზური კუთხეები  $\varphi_{\gamma,U}$  ამ შემთხვევისთვის, გათვლილი (2.4)-ის მიხედვით, ნაჩვენებია ნახ. 2.6, სადაც მე-5 და მე-7 ჰარმონიკებისათვის ფაზური კუთხეები მოხერხებულობისათვის წარმოდგენილია  $\pi$  დამატებითი კუთხით.

### 2.3. მართვადი ნახევრადგამატრული კომუტატორში მუშა ელექტრომაგნიტური პროცესები

მუშა პროცესების ანალიზი სამფაზა ბოგირული მნკ-ში შეიძლება განვიხილოდ ნახ. 2.1. სქემის მიხედვით. ანალიზის მიზანი შეიცავს მივიღოთ მნკ-ის ელემენტებში და დატვირთვაში დენების მყისი მნიშვნელობები. მნკ-ის ელემენტებში დენების ცოდნა (მუშა მდგენელები) შეიძლება გამოყენებული იქნეს საბოლოო შერჩევისათვის აღნიშნული ელემენტები დაბალსიხშირული მნკ-ში, ხოლო მაღალსიხშირულში წინასწარი შერჩევისათვის კომუტაციური მდგენელების გათვალისწინებით. მნკ-ის ელემენტებზე ძაბვის მყარი მნიშვნელობის განსაზღვრას მუშა რეჟიმში აზრი არა აქვს, რადგანაც ძაბვის ფორმაზე გადამწყვეტი გავლენას ახდენს მნკ-ში კომუტაციური პროცესები. ელექტრული ძრავას მყისი დენის მნიშვნელობა დამყარებულ რეჟიმში არასინუსოიდური ძაბვით კვების დროს შეიძლება განისაზღვროს,  $T$  - ს მაგვარი ჩანაცვლების სქემა [8,11]. ხაზური დენი ტოლია.

$$i_s = \sum_{\gamma=1}^{\infty} I_{\gamma,m} \sin[\gamma(\omega_s t - \theta) - \varphi_{\gamma,\Sigma}], \quad (2.5)$$

სადაც  $\varphi_{\gamma,\Sigma} = \varphi_{\gamma,S} + \varphi_{\gamma,U}$ ;  $\theta = \pi/6$ -ძვრის კუთხე ფაზური და ხაზური დენებს შორის სიმეტრიული სამფაზა სისტემაში. მიღებულ სისტემაში გამტარობის ინტერვალის დროის ათვლას გააჩნია შემდეგი საზღვრები:

$$(\varphi_o + \theta_o) \leq \theta_T \leq \frac{7}{6} \pi;$$

$$\frac{\pi}{6} \leq \theta_{\Delta} \leq \varphi_o;$$

$$\frac{\pi}{2} \leq \theta_K \leq \frac{5}{6}\pi$$

$\theta_T$  და  $\theta_{\Delta}$ -მნკ-ის ტირისტორების და დიოდების გამტარობის ინტერვალი;

$\theta_o$  -დატვირთვის ხაზურ სადენში დენის არ არსებობის ინტერვალი;

$\theta_K - \pi/3$ -კვების წყაროდან მოთხოვნილი დენის ინტერვალი;

$\varphi_o$ -კუთხე, რომლის დროსაც დატვირთვის დენი ტირისტორის დაკეტვის დროს მცირდება ნულამდე.

დენის წყვეტის რეჟიმში  $\varphi_o + \theta_o = \pi/2$ , უწყვეტი რეჟიმში  $\theta = o$ . კუთხე  $\varphi_o$  შეიძლება განისაზღვროს, (2.5)-ის ამოხსნით, როცა  $i_s = o$ .

დენის საშუალო მნიშვნელობას ტირისტორის, დიოდის და დენის მოთხოვნილი კვების წყაროდან მივიღებთ დატვირთვის დენის ინტეგრირებით, ზღვრებში, გამტარობის ინტერვალის შესაბამისად:

$$I_T = \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\pi_{\gamma}} \cos \left[ \frac{\gamma(\gamma_o + \theta_o)}{2} - \frac{\gamma\pi}{12} \right] \times \quad (2.6)$$

$$\times \cos \left[ \frac{-\gamma(\gamma_o + \theta_o)}{2} + \varphi_{\gamma,\Sigma} + \frac{\gamma\pi}{12} \right];$$

$$I_{\Delta} = \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\pi_{\gamma}} \sin \frac{\gamma(\varphi_o - \pi/6)}{2} \sin \left[ \frac{\gamma(\varphi_o - \pi/6)}{2} - \varphi_{\gamma,\Sigma} \right] \quad (2.7)$$

$$I_K = \frac{3}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\gamma} \cos \varphi_{\gamma,\Sigma} \quad (2.8)$$

დენის წყვეტის რეჟიმში  $\varphi_o = \pi/2 - \theta_o$ , ამიტომ (2.6) და (2.7) მიიღებს სახეს:

$$I_T = \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\pi_{\gamma}} \cos \frac{\gamma\pi}{6} \cos \left( \varphi_{\gamma,\Sigma} - \frac{\gamma\pi}{6} \right); \quad (2.9)$$

$$I_{\Delta} = \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\pi_{\gamma}} \sin \frac{\gamma(\pi/3 - \theta_o)}{2} \sin \left[ \varphi_{\gamma,\Sigma} - \frac{\gamma(\pi/3 - \theta_o)}{2} \right]. \quad (2.10)$$

დენის უწყვეტობის რეჟიმში  $\varphi_o = \pi/6 + \theta_{\Delta}$ ;  $\theta_o = 0$ , ამიტომ

$$I_T = \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\pi_{\gamma}} \cos \frac{\gamma \theta_{\Delta}}{2} \cos \left( \varphi_{\gamma,s} - \frac{\gamma \theta_{\Delta}}{2} \right); \quad (2.11)$$

$$I_{\Delta} = \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\pi_{\gamma}} \sin \frac{\gamma \theta_{\Delta}}{2} \sin \left( \varphi_{\gamma,s} - \frac{\gamma \theta_{\Delta}}{2} \right); \quad (2.12)$$

სადაც  $\varphi_{\gamma,s}$ -  $\gamma$  რიგის ჰარმონიკისთვის დატვირთვის დენის ფაზური კუთხე;

$$\varphi_{\gamma,\Sigma} = \varphi_{\gamma,s} + \varphi_{\gamma,U};$$

$\varphi_{\gamma,U}$ - ხაზური ძაბვის  $\gamma$  ჰარმონიკის ძვრის კუთხე.

უმრავლეს შემთხვევაში მნკ-ის ელემენტებში საშუალო დენების ანგარიში შეიძლება ჩავატაროთ პირველი რიგის ჰარმონიკების მიხედვით, რაც უზრუნველყოფს 5%-ის სიზუსტეს.

(2.8) და (2.5) განტოლებები შეიძლება გამოვიყენოთ მნკ-ის შესავალი  $C$  კონდენსატორის განსაზღვრისათვის. ვთვლით, რომ კვების წყაროდან  $U_K$  გადის მნკ-ის მხოლოდ მუდმივი მდგენელის დენი  $I_K$ , ე.ი. ინდუქციურობა  $L$  მნკ-ის მუდმივი დენის რგოლში საკმაოდ დიდია, ვიპოვოთ მნკ-ის დენის ცვლადი მდგენელი  $i_{K\sim}$ , გამავალი კონდენსატორის გავლით:

$$i_{K\sim} = i_K - I_K = \sum_1^{\infty} I_{\gamma,m} \left\{ \sin \left[ \gamma \left( \omega_{st} + \frac{\pi}{3} \right) - \varphi_{\gamma,\Sigma} \right] - \frac{3}{\pi \gamma} \cos \varphi_{\gamma,\Sigma} \right\}. \quad (2.13)$$

(2.13)-ში დროის ათვლა იწყება  $i_K$  დენის ნახტომისებური ცვლილების მომენტში ( $\omega_{st} = \pi/2$ ). დენის განმეორების პერიოდი  $i_K \pm \pi/3$  კონდენსატორზე ძაბვა ტოლია მინიმუმის,  $i_K$  დენის ნახტომის მომენტში და აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას როცა  $i_{K\sim} = 0$ . ამ დროს ძაბვის ცვლილება ტოლია:

$$\Delta U_K = \frac{1}{C \omega_s} \int_0^{\theta_m} i_{K\sim} d\omega_{st}, \quad (2.14)$$

სადაც  $\theta_m$ - დროის მომენტი, რომელიც შეესაბამება  $U_{km}$ .  $\theta_m$ - ის განსაზღვრა (2.13)-დან ზოგად სახეში წარმოადგენს რთულ გამოსახულებას, რომლის პრაქტიკული გამოყენება გარკვეულ სიძნელეებთანაა



დაკავშირებული (2.13)-ში მხოლოდ პირველი რიგის ჰარმონიკების გათვალისწინებით მივიღებთ  $\theta_m \approx \pi/6$  ეს შედეგი ზოგად სახეში შესაბამება  $\varphi_{\gamma,s} = \pi/2$ ; როცა  $\varphi_{\gamma,s} < \pi/2$ ,  $\theta_m < \frac{\pi}{6}$  და ცდომილება  $\delta\theta \neq 0$ . მეორე მხრივ  $C$  კონდენსატორის ტევადობის განსაზღვრისათვის ჩვეულებრივ აირჩევა რეჟიმი, რომლის დროსაც დატვირთვის სიმძლავრის კოეფიციენტი მინიმალურია, ამიტომ დასაშვებია მივიღოთ  $\theta_m = \pi/6$ .

მნკ-ის შესასვლელზე ძაბვის დასაშვები პულსაციის მიწოდებით  $q = \Delta U_K / U_K$  (ჩვეულებრივ  $q \leq 0,05$ ), (2.13), (2.14)-დან შეიძლება განისაზღვროს მნკ-ის შესავალი კონდენსატორის ტევადობა:

$$C \approx \frac{1}{2\pi f_s U_K q} \sum_1^{\infty} \frac{I_{\gamma,m}}{\gamma} \left[ 2 \sin \left( \frac{5\gamma\pi}{12} - \varphi_{\gamma,\Sigma} \right) \times \sin \frac{\gamma\pi}{12} \cos \frac{\varphi_{\gamma,\Sigma}}{2} \right]$$

მნკ-ის დატვირთვის დენის მხოლოდ პირველი რიგის ჰარმონიკის გათვალისწინების დროს

$$C \approx \frac{I_{1m} \sin \varphi_{1\Sigma}}{48 U_K f_s q}$$

## 2.4. მართვადი ნახევრადგამატრული კომუტატორში

### კომუტაციური პროცესები

კომუტაციური პროცესების ანალიზი შეიძლება ჩატარდეს მხოლოდ მნკ-ის სრულ სქემაში, რადგანაც საანგარიშო კონტურები წარმოიქმნება არა მხოლოდ კომუტაციური, არამედ მუშა ელემენტებით. კომუტაციური ელემენტების შერჩევა მნკ-ის განისაზღვრება დენით გამავალი ტირისტორში, მისი კომუტაციის მომენტში,  $I_o$  და დინამიკური პარამეტრებით გამოყენებული ტირისტორებში, ძირითადი რომლისგანაც: გამორთვის დასაშვები დრო  $t_{B,D}$ , პირდაპირი ძაბვის კრიტიკული ზრდის სიჩქარე  $(dU/dt)_{kp}$  დენის კრიტიკული ზრდის სიჩქარე  $(di/dt)_{kp}$  გადართვის დროს სიმძლავრის დანაკარგები  $\Delta P_T$  [12]

$I_o$  დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება (2.5)-დან,  $\omega_{st} = 7\pi/6$

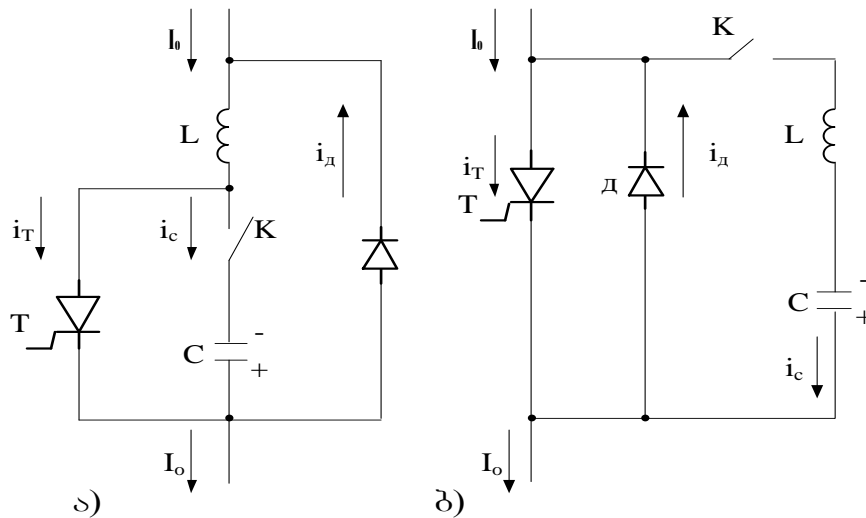
$$I_o = I_{1m} \sin \varphi_{1\Sigma} + I_{5m} \sin \varphi_{5\Sigma} + I_{7m} \varphi_{7\Sigma}, \quad (2.15)$$

სადაც დენის წყვეტის რეჟიმისათვის

$$\varphi_{1\Sigma} = \varphi_{1S} + \varphi_{1U}; \quad \varphi_{5\Sigma} = \varphi_{5S} + 5\varphi_{1U}; \quad \varphi_{7\Sigma} = \varphi_{7S} + 7\varphi_{1U};$$

$\varphi_{1U}$  განისაზღვრება მრუდეებიდან, მოცემული ნახ. 2.6., უწყვეტი დენის რეჟიმისათვის  $\varphi_{1U} = 0$ .

ტირისტორის გამორთვისათვის გამოიყენება, როგორც წესი, ენერგია დაგროვილი კონდენსატორში, რომელიც  $t_0$  მომენტში (კომუტაციის დაწყების მომენტი) ჩაერთვება გამოსართავი  $T$  ტირისტორს  $K$  გასაღებით (ნახ. 2.7.) მნკ-ის პრაქტიკულ სქემაში  $K$  გასაღების როლს ასრულებს ან სხვა მუშა ტირისტორი, ან სპეციალური კომუტაციის ტირისტორი. კომუტაციური პროცესების ფორმირებისათვის კონტური შეიცავს ძირითად კომუტაციურ  $L$  რეაქტორს.



ნახ. 2.7. კომუტაციური კონტურის ეკვივალენტური სქემა:  
ა-პარალელური; ბ- მიმდევრობითი

თუ  $L$  რეაქტორი ჩართულია ტირისტორის მუშა დენის წრედში (ნახ. 2.7, ა), მაშინ კომუტაციის დასაწყისში  $i_{t0} = i_{L0} = I_o$  როცა  $t > t_0$  ტირისტორი დაკეტილია,  $D$  დიოდი - გაღებულია. დენები და ძაბვები (დიაგრამა ნახ. 2.8, ა) შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახეში:

$$I_o = const;$$

$$i_L = i_c = I_o \cos \omega_{kt} - U_{co} \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega_{kt}$$

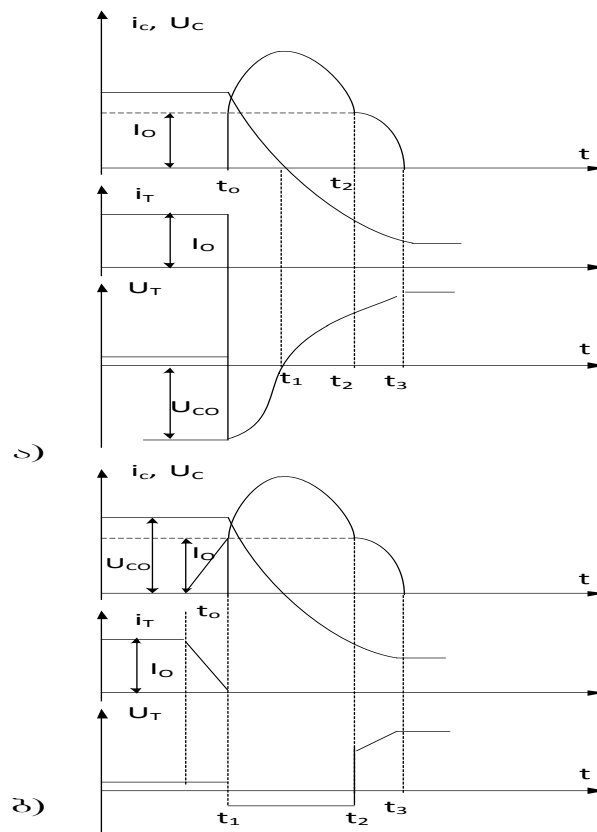
$$U_c = U_{co} \cos \omega_{kt} - I_o \sqrt{\frac{L}{C}} \sin \omega_{kt};$$

$$i_{\text{д}} = i_c - I_o;$$

$$\Delta U_c = U_{co}(1 - \cos \omega_{kt}) + I_o \sqrt{\frac{L}{C}} \sin \omega_{kt};$$

სადაც  $\omega_K = 1/\sqrt{LC}$ .

Д დიოდი გაღებულია, C კონდენსატორი და L რეაქტორი წარმოქმნიან რხევით კონტურს საკუთარი კუთხური სიხშირით  $\omega_K$ , ხოლო დაკეტილი ტირისტორი ჩართულია პარალელურად კონდენსატორთან C, ე.ი.  $U_T = U_c$ .



ნახ. 2.8. ტირისტორის კომუტაციის დროს დენების და ძაბვების დიაგრამა.  
ა - პარალელურ კონტურში; ბ - მიმდევრობით კონტურში

დრო, განკუთვნილი ტირისტორის გამორთვისათვის (ინტერვალი  $t_1 - t_0$  როცა  $\mathcal{U}_T < 0$ ),

$$t_B = t_1 - t_0 = \sqrt{LC} \operatorname{arctg} \frac{U_{co}\sqrt{C}}{I_o\sqrt{L}}, \quad (2.16)$$

აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას მნკ-ის უქმი სვლის რეჟიმში ( $I_o = 0$ ):

$$t_{B,m} = \frac{\pi\sqrt{LC}}{2}, \quad (2.17)$$

$t = t_1$  მომენტში ტირისტორზე პირდაპირი ძაბვის გაზრდის სიჩქარე ტოლია:

$$\frac{d\mathcal{U}_T}{dt} = \left( \frac{U_{co}^2}{L} + \frac{I_o^2}{C} \right) \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{LI_o^2 + CU_{co}^2}} \quad (2.18)$$

გამდები ტირისტორში დენის გაზრდის სიჩქარე (გასაღები  $K$  ნახ. 2.7.)  $di_T/dt = \infty$ .

$L$  რეაქტორი შეიძლება გამოყვანილი იქნეს ტირისტორის მუშა დენის წრედიდან (სქემა ნახ. 2.7, ბ).  $t_0$  მომენტში  $K$  გასაღების ჩართვა  $i_{T0} = I_o$ ;  $i_{L0} = i_{c0} = 0$ . რხევითი კონტური აგრეთვე წარმოიქმნება  $L$  რეაქტორით,  $C$  კონდენსატორით, მაგრამ გამოსართავი ტირისტორი ჩართულია მასში მიმდევრობით. როცა  $t > t_0$  (ნახ. 2.8, ბ)

$$I_o = \text{const};$$

$$i_L = i_c = U_{co}\sqrt{\frac{C}{L}} \sin\omega_k t;$$

$$i_T = I_o - i_c;$$

$$\Delta\mathcal{U}_c = U_{co}(1 - \cos\omega_k t).$$

$t_1$  მომენტში დენი ტირისტორში მცირდება ნულამდე, როცა  $I_o = i_c$  როცა  $t > t_1$  პროცესების ხასიათი კონტურში არ იცვლება, რადგანაც ღიადაა  $\mathcal{A}$  დიოდი. აღნიშნულ ინტერვალზე ( $t_2 - t_1$ , როცა  $i_c \geq I_o$  გამოსართავი ტირისტორზე მოდებულია უკუ ძაბვა, ტოლი  $\Delta\mathcal{U}_\pi$ . ტირისტორის გამორთვის დრო ( $t_2 - t_1$ ) ინტერვალი,

$$t_B = t_2 - t_1 = \sqrt{LC} \left( \pi - 2\arcsin \frac{I_o\sqrt{L}}{U_{co}\sqrt{C}} \right) \quad (2.19)$$

აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას როცა  $I_o = 0$ :

$$t_{B,m} = \pi\sqrt{LC} \quad (2.20)$$

დენის ცვლილების სიჩქარე  $T$  ტირისტორში და  $K$  გასაღებში  $t = t_0$  მომენტში

$$di_T/dt = U_{co}/L \quad (2.21)$$

$d$  დიოდის გამორთვის მომენტში პირდაპირი ძაბვის ზრდის სიჩქარე ( $t_2$  მომენტი).

$$dU_T/dt = \infty$$

პირდაპირი ძაბვის ზრდის სიჩქარის შემცირებისათვის ტირისტორის პარალელურად რთავენ  $RC$  წრედს [12].

ელექტროამძრავში პრაქტიკული გამოყენება პოვა ძირითადად მხოლოდ სამფაზა მნკ-ის სქემებმა. კონკრეტული სქემის არჩევა მნკ-ის დაფუძნებულია ხარისხოვან ანალიზზე ფიზიკური პროცესების და მთავრდება კონტურების გამოყოფაზე მუშა და კომუტაციური დენების გატარებისთვის და განსაზღვრა დროებითი ზღვრების კომუტაციური ინტერვალების.

პირველი ეტაპი პროექტირების ეძვნება მნკ-ში მუშა პროცესების ანგარიშს: განისაზღვრება საშუალო და მომქმედი მნიშვნელობა მუშა დენების მდგენელების ელემენტებში და გამოითვლება დენი ტირისტორებში კომუტაციის დასაწყისში ( $I_0$ ).

შემდეგ მიმდინარეობს კომუტაციური პროცესების ანგარიში, რომლის შედეგად ხორციელდება არჩევა კომუტაციური ელემენტების და განსაზღვრა მნკ-ში დენებისა და ძაბვების კომუტაციური მდგენელების. თუ მნკ-ის არჩეული სქემისათვის არ არის ცნობილი მახასიათებლები  $U_{co}(I_0)$ , მაშინ კომუტაციური პროცესების ანგარიშს იწყებენ სახელდობრ ამ მახასიათებლების მიღებით ან მათი ცალკეული წერტილების საინტერესო რეჟიმებისთვის.

ძირითადი ამოცანა კომუტაციური პროცესების ანგარიშისა დადის განტოლების შედგენაში, რომელიც აკავშირებს პირობას ტირისტორების გამორთვისა გამოსაკვლევი სქემის ( $t_B, dU_T/dt, di_T/dt$ )საკომუტაციო

კონტურების (რეაქტორების ინდუქციური და აქტიური წინაღობა, კონდენსატორის ტევადობა) და მნკ-ის დატვირთვის პარამეტრები. შედგენილი განტოლება, მსგავსია (2.16)-(2.21) ელემენტარული კონტურებისათვის, გამოიყენება საკომუტაციო ელემენტების ( $L, C, R$ ) პარამეტრების შერჩევისათვის დატვირთვის ცნობილი დენისთვის  $I_0$  და ცნობილი პასპორტული მონაცემები ტირისტორების ( $t_{B, \mu}, dU_T/dt, di_T/dt$ ).

მეორე ამოცანა, წყდება კომუტაციური პროცესების ანალიზის დროს, რომელიც მდგომარეობს განტოლებების შედგენაში, მნკ-ის ელემენტებში კომუტაციური დენების მომქმედი და საშუალო მნიშვნელობების განსაზღვრაში, რომელიც აუცილებელია მათი კონსტრუქციული შერჩევისათვის, პარამეტრების  $L, C, R$  ვდა სიხშირის  $f_s$ .

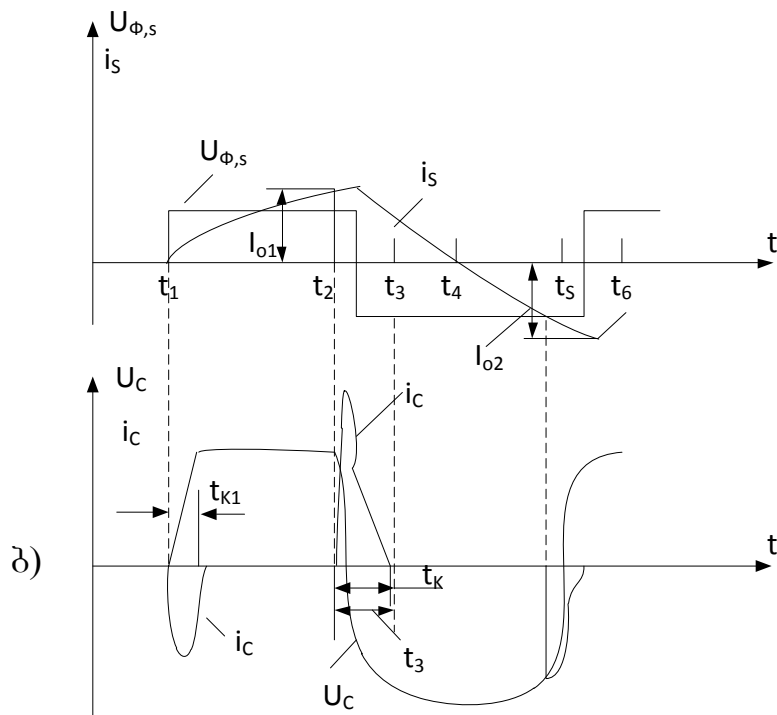
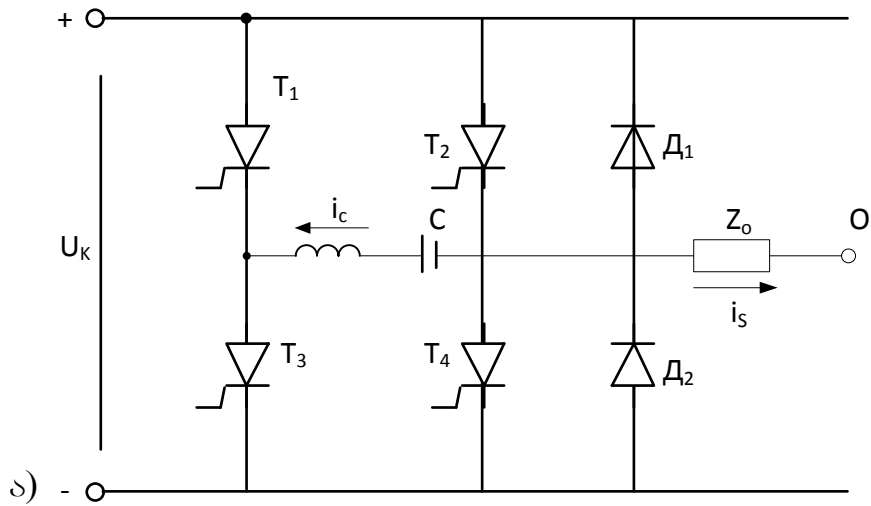
რადგანაც ყველა განტოლებაში, რომელიც აღწერს კომუტაციურ პროცესებს, შედის  $U_{co}$  დაბვა კომუტაციურ კონდენსატორზე კომუტაციის დასაწყისში, მაშინ ანალიზს იწყებენ შემდეგი დამოკიდებულობებით  $U_{co*} = U_{co}/U_K$  და  $t_{B*} = t_B/\sqrt{LC}$  დატვირთვის  $I_0$  დენისგან.

კომუტაციური პროცესების ანგარიშისთვის ძირითადად გამოიყენება ორო მეთოდი:

- დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის მეთოდი ცალკეული ინტერვალისთვის და შემდეგ შეუღლება საწყისი და ბოლო პირობებით.
- ფაზური სიბრტყის მეთოდი.

ფაზური სიბრტყის მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა კომუტაციური პროცესები აღიწერება მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებით.

მნკ-თან მიმართებაში ფაზური სიბრტყის მეთოდი იძლევა საშუალებას გავანალიზოთ ჩართვის და დატვირთვის ცვლილების პროცესები. ეხლა განვიხილოდ საერთო პრინციპები აღნიშნული მეთოდის, კომუტაციური პროცესების ანალიზისათვის, რომელიც განხილულია კერძო მაგალითზე, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 2.9. მნკ შესრულებულია სამფაზა (ამ შემთხვევაში წერტილი  $o$  - სამფაზა დატვირთვის ნულოვანი წერტილი).



ნახ. 2.9. მნკ ორსაფეხურიანი კომუტაციით და LC კომუტაციური კონტურით  
ა- სქემა; ბ-დენებისა და ძაბვების დიაგრამა

$T_2, T_4$  ტირისტორები - მუშა,  $T_1$  და  $T_3$  კომუტაციური. ჩართვის მომენტში ნახ. 2.9, ბ შეესაბამება  $t_1$  წერტილს, როცა ირთვება ტირისტორები  $T_2$  და  $T_3$ , დატვირთვა  $Z_o$  ჩაირთვება კვების წყაროსთან ( $U_{\phi,s}, i_s$  დატვირთვის ძაბვა და დენი), კომუტაციური კონდენსატორი იმუხტება. კომუტაციურ კონტურში პროცესები აღიწერება განტოლებებით.

$$U_K = L \frac{di_c}{dt} + i_c r + U_c;$$

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt}$$

$$\text{საიდანაც } LC \frac{d^2U_c}{dt^2} + rc \frac{dU_c}{dt} + U_c = U_K \quad (2.2)$$

კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი მიმდინარეობს ისე, როგორც ელემენტარულ სქემაში ნახ. 2.7, ბ და მთავრდება როცა  $i_c = 0, U_c = U_{c,K}$ . T2 ტირისტორის გამორთვისათვის ჩართავენ T1 ტირისტორს  $t_2$  დროის მომენტში ნახ. 2.9, ბ). კომუტაციის პირველი ეტაპი შეიცავს ორ ინტერვალს: 1) ინტერვალი, რომელშიც  $i_c < I_{o1}$  და დენი  $i_c < I_{o1}$  ტირისტორში მცირდება, მაგრამ ის დიდია ნულზე; 2) ინტერვალი, რომელშიც  $i_c > I_{o1}$  და T2 ტირისტორი გამორთულია, ხოლო  $D_1$  დიოდი ატარებს დენს. კონტურის სტრუქტურის ფიზიკური ცვლილება არ ცვლის კონდენსატორის გადამუხტვის ხასიათს. გადამუხტვის პროცესის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$LC \frac{d^2U_c}{dt^2} + rc \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0 \quad (2.23)$$

კომუტაციის პირველი ეტაპი დამთავრდება როცა  $i_c = I_{o1}, i_c$  სინუსოიდური დენის კლებად ნაწილში  $t_2$  მომენტი ნახ. 2.8, ბ). ამის შემდეგ გაიღება  $D_2$  დიოდი, უზრუნველყოფს დატვირთვაში დენის გავლას წინა მიმართულებით, ხოლო დატვირთვაზე ძაბვა იცვლის ნიშანს. თუ ძაბვა კონდენსატორზე როცა  $i_c = I_o$  ნაკლებია  $U_K$  მაშინ გამოჩნდება ინტერვალი კონდენსატორის დამუხტვის მუდმივი დენით, ტოლია  $I_o$  დენის, ხოლო  $D_2$  გაიღება მხოლოდ როცა  $U_c = U_K$

აღნიშნული ინტერვალის გამოვლენა რეალური მილევის კოეფიციენტით კომუტაციურ კონტურში დამახასიათებელია მცირე დენების რეჟიმისათვის.

გაღებული  $D_2$  დიოდი წარმოქმნის  $C$  კონდენსატორის დამუხტვის კონტურის კვების წყაროდან და მიწოდება მასზე კომუტაციური რეაქტორის ენერჯის, დაგრვილი კომუტაციის პირველი ეტაპის ბოლოს  $0,5LI_{o1}^2$ . საწყისი



პირობები: კონდენსატორზე ძაბვა და დენი რეაქტორში ტოლია შესაბამისი ბოლო მნიშვნელობების პირველი ეტაპისთვის. კომუტაციის მეორე ეტაპი მთავრდება როცა  $i_c = 0$ . კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი აღიწერება (2.22).

$t_3$  დროის მომენტში (ნახ. 2.9, ბ), განსხვავებით მომენტისაგან მართვადი იმპულსის მიწოდებისა მაკომუტირებელ  $T1$  ტირისტორზე  $t_2$  მომენტი)  $t_3$  დროის დაყოვნებაზე, მიეწოდება მართვის იმპულსი  $T4$  მუშა ტირისტორზე. დენი მასში გამოჩნდება მხოლოდ  $t_4$  მომენტში, დამოკიდებული დატვირთვის სიმძლავრის კოეფიციენტისაგან, როცა დაიკეტება  $\Delta_2$  დიოდი.  $t_3$  დროის დაყოვნება მუშა და კომუტაციური ტირისტორების ჩართვის მომენტებს შორის აუცილებელია თავიდან ავიცილოდ კვების წყაროს მოკლე შერთვა, კომუტაციის პირველ ეტაპში  $T2$  და  $T4$  მუშა ტირისტორების გავლით.

$T4$  ტირისტორის გამორთვისათვის  $t_5$  მომენტი) ჩაერთვება  $T3$  ტირისტორი და კომუტაციის პროცესი გაივლის წინას ანალოგიურად. (2.22), (2.23) განტოლება, რომელიც აღწერს გადამუხტვას მაკომუტირებელი კონდენსატორის კომუტაციის სხვადასხვა ეტაპზე, შეიძლება ჩაიწეროს ზოგად სახეში:

$$U_K = K_L LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + k_r r c \frac{d u_c}{dt} + U_c, \quad (2.24)$$

სადაც  $K_L = L_k/L$  და  $k_r = r_k/r$ -რიცხობრივი კოეფიციენტები;  $L_k$  და  $r_k$ - ინდუქციურობა და წინაღობას კონტურის მოცემული ეტაპისთვის;  $U_K$  - მუდმივი დენის წყაროს ძაბვა, ჩართული კომუტაციის კონტურში.

(2.24) განტოლება შეიძლება გავამარტივოდ, თუ მას ჩავწერთ ფარდობით ერთეულებში, ბაზისურ ძაბვად მივიღებთ ძაბვას მნკ-ის შესასვლელზე  $U_\delta = U_K$ , ბაზისური დენი  $I_\delta = U_K \sqrt{c/L}$ , ბაზისური დრო  $t_\delta = \sqrt{LC}$ . მაშინ

$$U_{K*} = K_L \frac{d^2 u_{c*}}{dt_*^2} + 2k_r k_\delta i_{c*} + U_{c*}; \quad (2.25)$$

$$i_{c*} = d u_{c*} / dt_* \quad (2.26)$$

(2.26) და (2.25) -დან მივიღებთ კონდენსატორის დენის პირველ წარმოებულს:

$$\frac{di_{c^*}}{dt_*} = \frac{1}{K_L} (U_{K^*} - U_{c^*}) - 2k_r k_\delta i_{c^*} \quad (2.27)$$

(2.25) და (2.27)-ში კონტურის მიღევის კოეფიციენტი

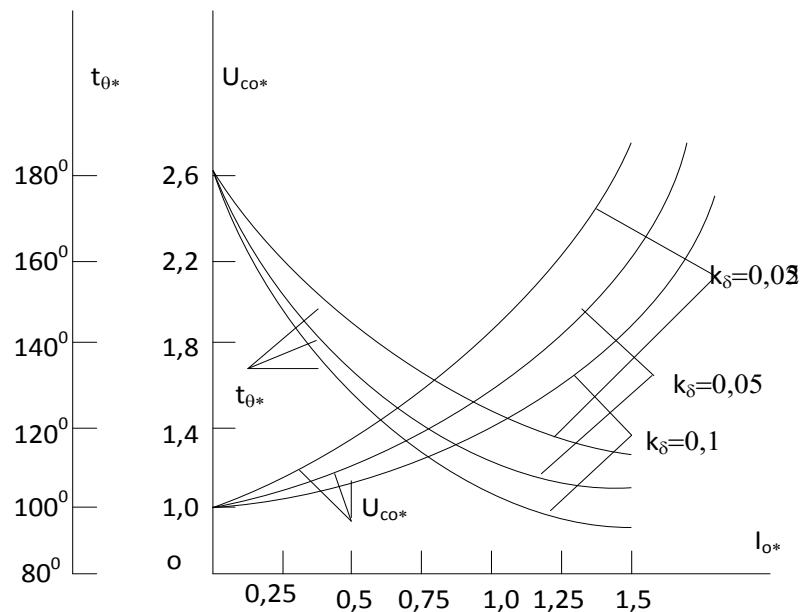
$$K_\delta = r\sqrt{c}/2\sqrt{L} = \delta/\omega_K, \text{ სადაც}$$

$$\delta = r/2L; \omega_K = 1/\sqrt{LC}$$

(2.26) და (2.27)-ის ერთობლივი ამოხსნით მივიღებთ ფაზური ტრაექტორიის განტოლებას:

$$\frac{di_{c^*}}{dU_c} = \frac{1}{k_L} \left( \frac{U_{K^*} - U_{c^*}}{i_{c^*}} - 2k_r k_\delta \right) \quad (2.28)$$

ნახ. 2.10. ნაჩვენებია დამყარებული მახასიათებლები  $U_{co^*}(I_{o^*})$ ,  $t_{B^*}(I_{o^*})$  მნკ-ის LC კომუტაციური კონტურის როცა  $k_\delta = 0,025; 0,05$  და  $0,1$ .



ნახ. 2.10. დამყარებული მახასიათებლები

## 2.5. მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორში ელემენტების შერჩევა

მნკ-ში ელემენტების შერჩევა შეიძლება განისაზღვროს, თუ მოცემულია დრო, ტირისტორის გამორთვისთვის  $t_B$ , და დატვირთვის

დენის ჯერადობა კომუტაციის მომენტში, კომუტაციური დენის ამპლიტუდის მიმართ  $I_o/I_{km}$ . ნებისმიერი ტირისტორის გამორთვის დროს გამოიყენება ერთი კონდენსატორი, კომუტაციური დენის ამპლიტუდა ტოლია:

$$I_{k,m} = I_{c,m} \approx U_{co} \sqrt{C/L} e^{-k\delta\pi/2} \quad (2.29)$$

რადგანაც  $I_o = I_{o*} U_k \sqrt{C/L}$ , მაშინ (2.29)-ის გათვალისწინებით

$$I_o/I_{k,m} = I_{o*} e^{k\delta\pi/2} / U_{co*} \quad (2.30)$$

(2.30)-ის საფუძველზე და განზოგადოებული მახასიათებლების გამოყენებით აიგება მახასიათებლები  $U_{co*}(I_o/I_{k,m})$  და  $t_{B*}(I_o/I_{k,m})$

მნკ-ში ფაზათაშორისი კომუტაციით, კომუტაციის დენი

$$i_k = -i_{c1} + i_{c5},$$

ამიტომ კომუტაციური დენის ამპლიტუდა ფარდობით ერთეულებში

$$I_{k,m*} = (U_{co1*} - U_{co5*} - 1)e^{-k\delta\frac{\pi}{2}} \quad (2.31)$$

მნკ-სათვის  $LC$  კომუტაციური კონტურებისთვის გვექნება:

$$\frac{I_o}{I_{k,m}} = \frac{I_{o*}}{I_{k,m*}} = \frac{e^{-k\delta t_{k1*} \text{ sint } t_{k1*}}}{e^{-k\delta\frac{\pi}{2}}} \quad (2.32)$$

განზოგადოებული მახასიათებლების აგების დროს მნიშვნელობა

$e^{-k\delta t_{k1*} \text{ sint } t_{k1*}}$  განისაზღვრება კომუტაციის პირველი ეტაპის დამთავრების  $t_{k1*}$

$L$  და  $C$  კომუტაციის ელემენტების პარამეტრები განისაზღვრება განტოლებების ერთობლივი ამოხსნით.

$$\left. \begin{aligned} t_B &= t_{B*} \sqrt{LC}; \\ I_{k,m} &= f(U_{co}; c; L; K_\delta), \end{aligned} \right\} \quad (2.33)$$

სადაც  $I_{k,m}$  დენის ამპლიტუდა ჩაწერილია აბსოლუტური ერთეულებში.

$I_o/I_{k,m}$  მნიშვნელობის მიხედვით მრუდეებიდან  $U_{co*}(I_o/I_{k,m})$  და  $t_{B*}(I_o/I_{k,m})$  განსაზღვრავენ  $t_{B*}$  და  $U_{co*}$ . შემდეგ პოულობენ  $U_{co} = U_{co*} U_k$ , ხოლო დროის აბსოლუტური მნიშვნელობა  $t_B$  აირჩევა კოეფიციენტით 1.2-1.4[12].

ტირისტორების და დიოდების შერჩევისათვის განსაზღვრავენ დენის საშუალო მნიშვნელობას.

მნკ-ში დენებს გააჩნია მუშა  $I_p$  და კომუტაციური  $I_k$  მდგენელები.  $j$  ელემენტისათვის ჯამური დენის საშუალო მნიშვნელობა

$$I_j = I_{j,p} + I_{j,k},$$

ჯამური მომქმედი მნიშვნელობა

$$I_{j,d} = \sqrt{I_{j,p,d}^2 + I_{j,k,d}^2}$$

მაბვა მნკ-ის შესასვლელზე დამოკიდებულია კვების წყაროს  $U_k$  პარამეტრებზე, რომელიც შეიცავს ტირისტორული რეგულატორი.

მაგლუვებელი რეაქტორის ინდუქციურობა განისაზღვრება ფორმულით

$$L = \frac{q_1 U_k \min}{q_2 I_k 2\pi f}$$

სადაც  $q_1$  და  $q_2$  - შესაბამისად პულსაციის კოეფიციენტი რეაქტორამდე და მის შემდეგ.  $f$  - პულსაციის სიხშირე. რეაქტორის სიმძლავრე

$$Q_o Q_M = \frac{L_d I_{k,max}^2}{B k_3 J_{доп}},$$

სადაც  $Q_o$  და  $Q_M$  შესაბამისად ფანჯრის ფართი და აქტიური კვეთი რეაქტორის მაგნიტოგამტარის;  $I_{k,max}$  მაქსიმალური მნიშვნელობა რეაქტორის დენის;  $B$  დასაშვები ინდუქცია;  $J_{доп}$  -გრაგნილში დასაშვები დენის სიმკვრივე;  $K_3$  - გრაგნილის შევსების კოეფიციენტი. რეაქტორის გრაგნილის ხვიათა რიცხვი.

$$\omega = Q_o k_3 J_{доп} / I_{k,max}$$

კონსტრუქციული არამაგნიტური ღრეჩო

$$l_\delta = \frac{I_{k,max} \omega \mu_\delta}{n_\delta B}$$

აქ  $\mu_\delta$  - ჰაერის მაგნიტური შეღწევადობა;  $n_\delta$  - ფიზიკური არამაგნიტური ღრეჩოს რიცხვი მაგნიტოგამტარის სრული ნაკადისთვის.

გარდამავალ პროცესებში, ე.ი. დატვირთვის მომატების ან შემცირების შემთხვევაში მნკ-ის მდგრადი კომუტაცია მნკ-ში შესაძლებელია მხოლოდ პირობის შესრულების დროს  $t_B > t_{B,д}$  სადაც  $t_{B,д}$  - ტირისტორის მინიმალური დასაშვები გამორთვის დრო.

$t_{B,д}$  - ტირისტორის მინიმალური დასაშვები გამორთვის დრო.

$t_B$  ცვლილება გარდამავალ პროცესში რიგი მიმდევრობითი კომუტაციისათვის შეიძლება მიღებული იქნეს იგივე მეთოდებით, რომლითაც მიღებული იქნა დამოკიდებულებები  $t_{B*}(I_{o*})$  სტატიკაში, ე.ი. ფაზური სიბრტყის მეთოდი, ან განტოლებათა სისტემის ამოხსნით, რომელიც აღწერს კომუტაციურ პროცესს.

**თავი III. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს  
მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავში  
გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმები**

**3.1. გარდამავალი პროცესების განტოლებები**

განსაკუთრებულობას განსახილველი სისტემის ნახ. 1.2. წარმოადგენს ის, რომ კომუტატორის გადართვის სიხშირე დაკავშირებულია ძრავას რეაქტიული დენის ცვლილების სიხშირესთან შემდეგი კანონით:

$$f_n^c = f_o + f_{i\phi}, \quad (3.1)$$

სადაც  $f_n^c$ -კომუტატორის გადართვის სიხშირე;

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

$f_{i\phi}$ - როტორის ბრუნვის სიხშირე;

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

მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას განტოლებებს აქვს შემდეგი სახე

$$\begin{bmatrix} \bar{U}^c + \bar{U}_o^c \\ \bar{U}_o^p \\ \bar{U}_o^{*p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11}^{cc} & Z_{11}^{cp} & Z_{12}^{cp} \\ Z_{11}^{pc} & Z_{11}^{pp} & 0 \\ Z_{12}^{pc} & 0 & Z_{11}^{*pp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}^c \\ \bar{I}^p \\ \bar{I}^{*p} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

(3.2.) განტოლებაში ზედა ინდექსი "C" აღნიშნავს, რომ ცვლადი ან პარამეტრი მიეკუთვნება სტატორს, ხოლო ინდექსი "P", შესაბამისად როტორს. (3.2) განტოლების ჩაწერისათვის ფარდობით ერთეულებში ჯერ ყველა პარამეტრები დავიყვანით სტატორის წრედთან გამოსახულებებით:

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

სადაც  $k = k_{o\delta 1} W_1 / k_{o\delta 2} W_2$ -დაყვანის 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 ნაკადშემა.

(3.2) განტოლების ჩაწერის დროს ფარდობით ერთეულებში, ბაზისურ კუთხურ სიხშირედ მიღებულია  $\omega_\delta = 314$  რად/წმ; ხოლო ბაზისურ დრო  $t_\delta = 1/\omega_\delta$  წმ.

როგორც ქვემოთ ჩანს ინდუქციური და აქტიური წინაღობების გამოსახულებისათვის, რომლებიც შედის (3.2) განტოლებაში, მათი ანგარიშებისათვის საკმარისია ვიცოდეთ ასინქრონული ძრავას ჩანაცვლების სქემის პარამეტრები სიმეტრიულ რეჟიმში. (3.2) განტოლებაში ოპერატორული წინაღობებისათვის გვაქვს შემდეგი გამოსახულებები.

$$\begin{aligned} Z_{11}^{cc} &= (\rho^c + P)x_{11}^{cc}, \\ Z_{11}^{CP} &= \frac{1}{2}k_1x_{11}^{PP}(P + j\omega_n^c), \\ Z_{12}^{CP} &= -\frac{1}{2}k_1x_{11}^{CP}\ell^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)}(P - j\omega_n^c), \quad (3.3) \\ Z_{11}^{PP} &= [\rho^P + P + j(\omega_n^c - \omega_p)]x_{11}^{PP}k_1, \\ Z_{12}^{CP} &= -[P - j(\omega_n^c - \omega_p)]k_1\ell^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)}x_{11}^{PC} \\ Z_{11}^{PC} &= k_1x_{11}^{CP}[P + j(\omega_n^c - \omega_p)] \end{aligned}$$

სადაც  $\alpha_1^c, \alpha_2^c$ -კუთხეები სტატორის ფაზების გრაგნილების მაგნიტური ღერძსა და სტატორის გრძივი ღერძს შორის.

სადაც ინდუქციური წინაღობებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} x_{11}^{CP} &= 2[1 - \cos(\alpha_1^c - \alpha_2^c)]x_m^{CP} = 2[1 - \cos(\alpha_1^c - \alpha_2^c)]x_m, \\ x_{11}^{cc} &= 2x_\zeta^c + x_{BH} + 3x_m^{cc} = 2x_\zeta^c + x_{BH} + 3x_m, \\ X_{11}^{PC} &= \frac{3}{2}x_m^{PC} = \frac{3}{2}x_m, \quad (3.4) \\ X_{11}^{PP} &= x_\zeta^P + \frac{3}{2}x_m^{PP} = x_\zeta^P + \frac{3}{2}x_m, \\ x_m^{cc} &= x_m^{CP} = x_m^{PC} = X_m^{PP} = x_m \end{aligned}$$

მილევის კოეფიციენტისთვის გვექნება:

$$\rho^c = \frac{2r^2 + 2r_B + r_{BH}}{x_{11}^{cc}}, \quad \rho^P = \frac{r^P}{x_{11}^{PP}}$$

$r^c$ -სტატორის გრაგნილის ფაზის აქტიური წინაღობა;  $r_B$ -ვენტილის აქტიური წინაღობა პირდაპირი მიმართულებით;  $r_{BH}$ -გარე წრედის აქტიური წინაღობა

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

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

(3.2) განტოლებაში  $\bar{U}_o^c, \bar{U}_o^P, \bar{U}_o^{*P}$  კომპლექსური სიდიდეები, განსაზღვრული საწყისი პირობებით:

$$\begin{aligned} \bar{U}_o^c &= P \left[ x_{11}^{cc} \bar{I}_o^c + \frac{1}{2} k_1 x_{11}^{cP} \bar{I}_o^P - \frac{1}{2} k_1 x_{11}^{cP} \rho^j (\alpha_1^c + \alpha_2^c) \bar{I}_o^c \right], \\ \bar{U}_o^P &= P (k_1 x_{11}^{PC} \bar{I}_o^P + x_{11}^{PP} \bar{I}_o^P), \\ \bar{U}_o^{*P} &= P [-k_1 x_{11}^{PC} e^{-j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} \bar{I}_o^c + x_{11}^{PP} \bar{I}_o^{*P}], \end{aligned}$$

$\bar{I}_o^c, \bar{I}_o^P$ -სტატორისა და როტორის დენების საწყისი კომპლექსური მნიშვნელობები.

სტატორის ძაბვის კომპლექსური მნიშვნელობისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} \bar{U}^c &= (e^{j\alpha_1^c} - e^{j\alpha_2^c}) \mathcal{U}^c = U_d^c + jU_q^c \\ U_d^c &= (\cos \alpha_1^c - \cos \alpha_2^c) \mathcal{U}^c, \\ U_q^c &= (\sin \alpha_1^c - \sin \alpha_2^c) \mathcal{U}^c, \end{aligned} \quad (3.5)$$

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

$$U_d^c = \sqrt{3} \mathcal{U}^c, U_q^c = 0 \quad (3.6)$$

ანალოგიურ დამოკიდებულებას მივიღებთ სტატორის დენისთვის.

$$I_d^c = \sqrt{3} i^c, I_q^c = 0 \quad (3.7)$$

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

$$\begin{aligned} P I_d^c &= 1/1 - k_1^2 \mu (U_d^c / x_{11}^{cc} - \rho^c I_d^c + k_1 \mu^c \rho^P I_d^P + k_1 \mu^c \omega_P I_q^P), \\ P I_d^c &= -1/1 - k_1^2 \mu \{ k_1 \mu^P U_d^c / x_{11}^{cc} - k_1 \mu^P \rho^c I_d^c + \rho^P I_d^P + [\omega_P - \omega_n^c (1 - k_1 \mu^c)] I_q^P \}, \\ P I_d^c &= k_1 \mu^P (\omega_P - \omega_n^c) I_d^c - \rho^P I_q^P + (\omega_P - \omega_n^c) I_d^P, \end{aligned} \quad (3.8)$$



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

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

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

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

$$i^c = I_d^c / \sqrt{3}$$

$$\mu = k_1^2 \mu^c \mu^P = k_1^2 x_{11}^{cP} x_{11}^{PC} / x_{11}^{cc} x_{11}^{PP}$$

$M_\exists$ -მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტი;

$M_B$ -ძრავას ლილვზე გარე მომენტი;

$J$ -ელექტრომექანიკური სისტემის ინერციის მომენტი.

### 3.2. დამყარებული რეჟიმების განტოლებები

დამყარებულ რეჟიმში მივიღოთ, რომ  $P = 0$ . მაშინ (3.2)-დან მივიღებთ:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}^c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11}^{cc} \rho^c & j \frac{1}{2} k_1 x_{11}^{cP} \omega_n^c & j \frac{1}{2} k_1 e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} \omega_n^c x_{11}^{cP} \\ j(\omega_n^c - \omega_p) k_1 x_{11}^{PC} & [\rho^P + j(\omega_n^c - \omega_p) x_{11}^{PP}] & 0 \\ j e^{j(\alpha_1^c + \alpha_2^c)} (\omega_n^c - \omega_p) x_{11}^{PC} k_1 & 0 & [\rho^P - j(\omega_n^c - \omega_p) x_{11}^{PP}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}^c \\ \bar{I}^P \\ \bar{I}^{*P} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

(3.9) განტოლებიდან ვპოულობთ:

$$i^c = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad i^P = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad (3.10)$$

სისტემის მსაზღვრელი

$$\Delta = x_{11}^{cc} x_{11}^{PP2} [\rho^c \rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2 \rho^c + (\omega_n^c - \omega_p) \mu \rho^P \omega_n^c] \quad (3.11)$$

$\Delta_1$  და  $\Delta_2$  მსაზღვრელებისთვის გვექნება:

$$\Delta_1 = \bar{U}^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2 \rho^c + (\omega_n^c - \omega_p) \mu \rho^P \omega_n^c] \quad (3.12)$$

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

სტატორის დენის მყისი მნიშვნელობისთვის, (3.6), (3.7), (3.9-3.12)

განტოლებების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$i^c = \frac{U^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2]}{x_{11}^{cc} \rho^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_p)^2] + x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_p)} \quad (3.12)$$

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

$$\text{სადაც } \Delta R = \frac{\mu \rho^P x_{11}^{cc} \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P)}{\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2} \quad (3.13)$$

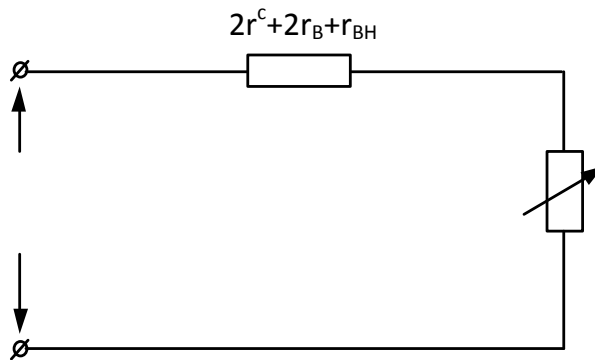
ნახ. 3.1. ნაჩვენებია მანქანის ჩანაცვლების სქემა დამყარებულ რეჟიმში, აგებული (3.13) განტოლების თანახმად. ნახ. 3.2. ნაჩვენებია ვექტორული დიაგრამა. სტატორის წრედში დამატებითი აქტიური წინაღობა ეკვივალენტურია როტორის მხრიდან დატვირთვის (დატვირტვა ლილვზე და აქტიური დანაკარგები როტორში) და დამოკიდებულია როტორის ბრუნთა სიჩქარეზე, მართვადი იმპულსის სიხშირეზე და მანქანის პარამეტრებზე.

სტატორის მაგნიტური ველი სივრცეში ბრუნავს  $\omega_n^c$  სიჩქარით. მაგნიტური ველის მომენტი, ბრუნვას იმავე სიჩქარით, რომელიც ტოლია:

$$M_{\Xi} = \frac{P_1}{\omega_n^c} \quad (3.14)$$

მაგნიტური ველის სიმძლავრისათვის გვაქვს:

$$P_1 = U^c i^c = \frac{U^{c2} [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2]}{x_{11}^{cc} \rho^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2] + x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P)} \quad (3.15)$$



$$\Delta R = \frac{\mu \rho^P x_{11}^{cc} \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P)}{\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2}$$

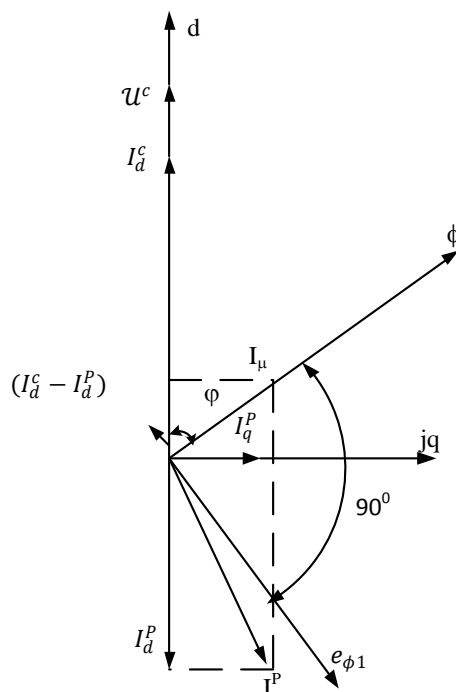
ნახ. 3.1. ჩანაცვლების სქემა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამბრავის

როტორზე გადაცემული სიმძლავრისათვის გვექნება

$$P_2 = i^{c2} \Delta R = \frac{U^{c2} x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P) [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2]}{\{\rho^c x_{11}^{cc} [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2] + \mu \rho^P x_{11}^{cc} \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P)\}^2} \quad (3.16)$$

(3.14) და (3.15) გათვალისწინებით ლილვზე მომენტისათვის მივიღებთ:

$$M_{\Xi} = \frac{U^c x_{11}^{cc} \mu \rho^P (\omega_n^c - \omega_P) [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2]}{\{x_{11}^{cP} \rho^c [\rho^{P2} + (\omega_n^c - \omega_P)^2] + x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P)\}^2} \quad (3.17)$$



ნახ. 3.2. ვექტორული დიაგრამა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტროლი ამბრავის

(3.17) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ელექტრომაგნიტური მომენტი, გარდა ძრავას პარამეტრებისა, დამოკიდებულია როტორის ბრუნთა სიჩქარეზე და კომუტატორის მართვადი იმპულსების სიხშირეზე. გამშვი მომენტისათვის, თუ დაუშვებთ (3.17) განტოლებაში  $\omega_P = 0$  მივიღებთ:

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

$$I_d^P = \frac{\sqrt{3} U^c x_{11}^{cP} (\omega_n^c - \omega_P)^2}{x_{11}^{PP} x_{11}^{cc} [\rho^c \rho^{P2} + \rho^c (\omega_n^c - \omega_P)^2 + \mu \rho^P \omega_n^c (\omega_n^c - \omega_P)]} \quad (3.19)$$

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

(3.19) განტოლებიდან ჩანს, რომ

$$I_d^c = -\frac{x_{11}^{PP}}{x_{11}^{cP}} I_d^P + I_{od}^c, \quad (3.20)$$

სადაც

$$I_{od}^c = \frac{\sqrt{3}U^c \rho^{P2}}{x_{11}^{cc}[\rho^c \rho^{P2} + \rho^c(\omega_n^c - \omega_p)^2 + \mu \rho^P \omega_n^c(\omega_n^c - \omega_p)]} \quad (3.21)$$

დამამაგნიტებელი დენის განსაზღვრისათვის გვექნება

$$I_\mu = \sqrt{(I_d^c - I_d^P)^2 + I_q^P{}^2} \quad (3.22)$$

ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ.3.2)  $\varphi$  კუთხის განსაზღვრისათვის დ ღერძსა და  $\varphi$  ველის გრძივი ღერძს შორის გვექნება

$$\varphi = \arctg \frac{I_q^P}{I_d^c - I_d^P} \quad (3.23)$$

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

$$e_{\phi 1}^c = E_{\phi m}^c \cos \left( \omega_n^c t + \varphi - \frac{\pi}{2} \right), \quad (3.24)$$

სადაც  $E_{\phi m}^c$  -სტატორის ფაზის ემმ-ის ამპლიტუდა

$$E_{\phi m}^c = \psi_{\phi m}^c \omega_n^c. \quad (3.25)$$

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

$$\psi_{\phi m}^c = \phi \omega_\phi k_y, \quad (3.26)$$

სადაც  $\phi$  - საპოლუსო დანაყოფზე ველის ნაკადი;

$k_y$ - ბიჯის შემოკლების კოეფიციენტი;

$\omega$  - ფაზის ხვიათა რიცხვი.

(3.19-3.26) განტოლებების საფუძველზე შეიძლება აიგოს ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 3.2) როტორის დენის გაზრდით, როგორც ჩანს (3.20) განტოლებიდან, სტატორის დენი იზრდება, როგორც ამას ადგილი აქვს დატვირთვის გაზრდის დროს ცვლადი დენის ასინქრონულ ძრავაში. გამშვი დენისათვის  $\omega_p = 0$ ) დამყარებულ რეჟიმში (3.13)-დან მივიღებთ:

$$i_{II}^c = \frac{U^c}{2r^c + 2r_B + r_{BH} + \frac{x_{11}^{cc} \mu \rho^P \omega_n^{c2}}{\rho^{P2} + \omega_n^{c2}}} \quad (3.27)$$

(3.17) და (3.12) თანაფარდობის გამოყენებით, შეიძლება აიგოს მექანიკური და სიჩქარული მახასიათებლები ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავისათვის. განსახილველი სისტემა შესრულებულია სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას ბაზაზე ტიპით

4AMX90L4Y3 შემდეგი ნომინალური მონაცემებით: შეერთების სქემა  $\sphericalangle/\Delta$ ; 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  $U_\delta = 220$  ვ;  $I_\delta = 5,0$  ა.

ბაზისური წინაღობისთვის გვექნება

$$Z_\delta = \frac{U_\delta}{I_\delta} = 44 \text{ ომი} \quad (3.28)$$

ბაზისური სიმძლავრე

$$S_\delta = 3U_H I_H = 3,3 \text{ კვტ.}$$

ბაზისურ მომენტად მიღებულია მომენტი, განსაზღვრული გამოსახულებით

$$M_\delta = \frac{P \cdot S_\delta}{\omega_1} = 21 \text{ ნმ,}$$

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

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

(3.4) გამოსახულებების მიხედვით ინდუქციური წინაღობებისათვის

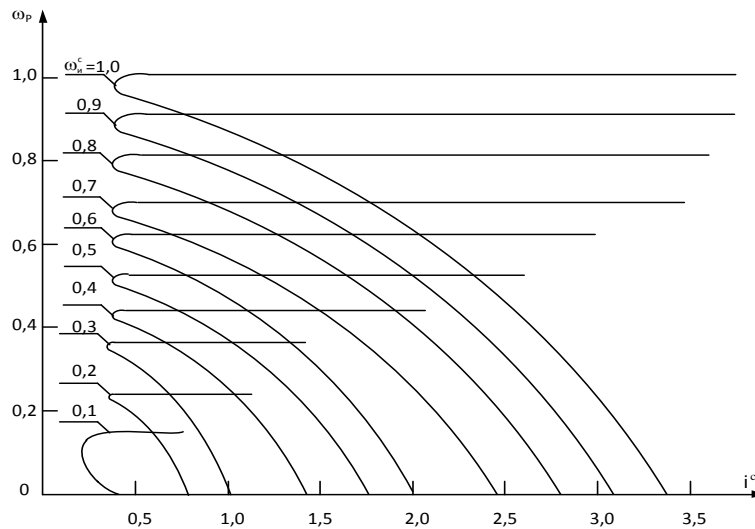
გვექნება:

$$\begin{aligned} x_{11}^{cc} &= 4,352; & \rho^c &= 0,045; \\ x_{11}^{Pc} &= 2,1; & \rho^P &= 0,027; \\ x_{11}^{cP} &= 4,2; & \mu^c &= 0,965; \\ x_{11}^{PP} &= 2,23; & \mu^P &= 0,941; \\ \mu &= 0,908; & \sigma &= 0,092. \end{aligned} \quad (3.29)$$

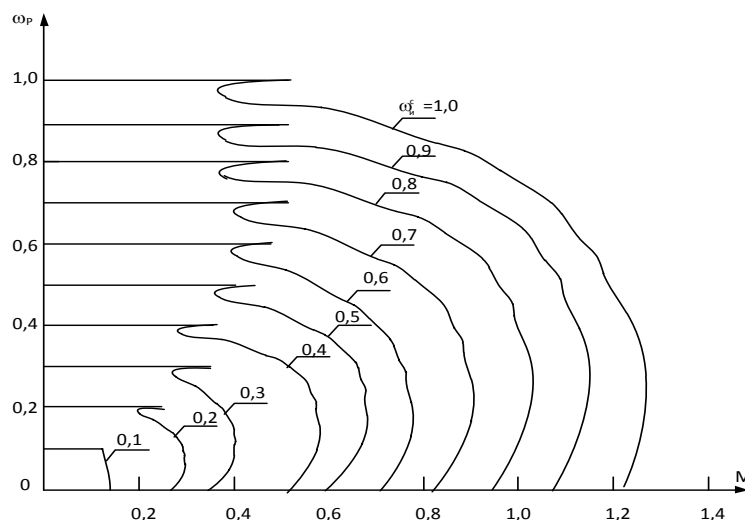
ინერციის მომენტისთვის გვაქვს  $J = 13,129$ . გამოსახულება (3.17) და (3.12) გაანალიზებული იქნა კომპიუტერული ტექნიკის საშუალებით სხვადასხვა  $\omega_H^c$  მნიშვნელობისათვის. ცვლადი ძაბვა კომპუტატორის გამოსასვლელზე  $U^c$  და კომპუტატორის გადართვის კუთხური სიხშირე  $\omega_H^c$  რეგულირდება იმგვარად, რომ შენარჩუნებული იქნეს პირობა

$$\frac{U^c}{\omega_H^c} = const$$

მახასიათებლებიდან ჩანს, რომ კომპუტატორის გადართვის სიხშირის გაზრდით სიჩქარული და მექანიკური მახასიათებლები გადაადგილდება მარჯვნივ და ზევით, თავისი პირვანდელი სახის შენარჩუნებით. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ კომპუტატორის გადართვის სიხშირის ცვლილებით, შეიძლება ვარეგულიროთ ამძრავის ბრუნთა სიჩქარე ფართო დიაპაზონში.



ნახ. 3.3. სიჩქარული მახასიათებლები  $\omega_H^c = f(i^c)$  კომპუტატორის გადართვის სიხშირის  $\omega_H^c$  სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის



ნახ. 3.4. მექანიკური მახასიათებლები  $\omega_p = f(M)$  კომპუტატორის გადართვის სიხშირის  $\omega_H^c$  სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის

### 3.3. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში გარდამავალი პროცესები

როგორც აღნიშნული იყო, განსახილველი სისტემა შესრულებულია სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას ბაზაზე ტიპით 4AMX90L4Y3 შემდეგი ნომინალური მონაცემებით: შეერთების სქემა  $\Delta$ ; სიმძლავრე  $P = 2,2$  კვტ; ძაბვა  $U_H = 380$  ვ; 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  $U_\delta = 220$  ვ;  $I_\delta = 5,0$  ა.

ბაზისური წინაღობისთვის გვექნება

$$Z_\delta = \frac{U_\delta}{I_\delta} = 44 \text{ ომი}$$

ბაზისური სიმძლავრე

$$S_\delta = 3U_H I_H = 3,3 \text{ კვტ.}$$

ბაზისურ მომენტად მიღებულია მომენტი, განსაზღვრული გამოსახულებით

$$M_\delta = \frac{P \cdot S_\delta}{\omega_1} = 21 \text{ ნმ,}$$

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

$$r^c = 0,098; r^P = 0,06; X_S^c = 0,076;$$

$$X_S^{P'} = 0,13; X_m = 1,4; X_{BH} = 0,236; r_{BH} = 0.012$$

(3.4) გამოსახულებების მიხედვით ინდუქციური წინაღობებისათვის გვექნება:

$$X_{11}^{cc} = 4,352; \rho^c = 0,045;$$

$$X_{11}^{Pc} = 2,1 \quad \rho^P = 0,027;$$

$$X_{11}^{cP} = 4,2; \mu^c = 0,965;$$

$$X_{11}^{PP} = 2,23; \mu^P = 0,941;$$

$$\mu = 0,908; \sigma = 0,092.$$

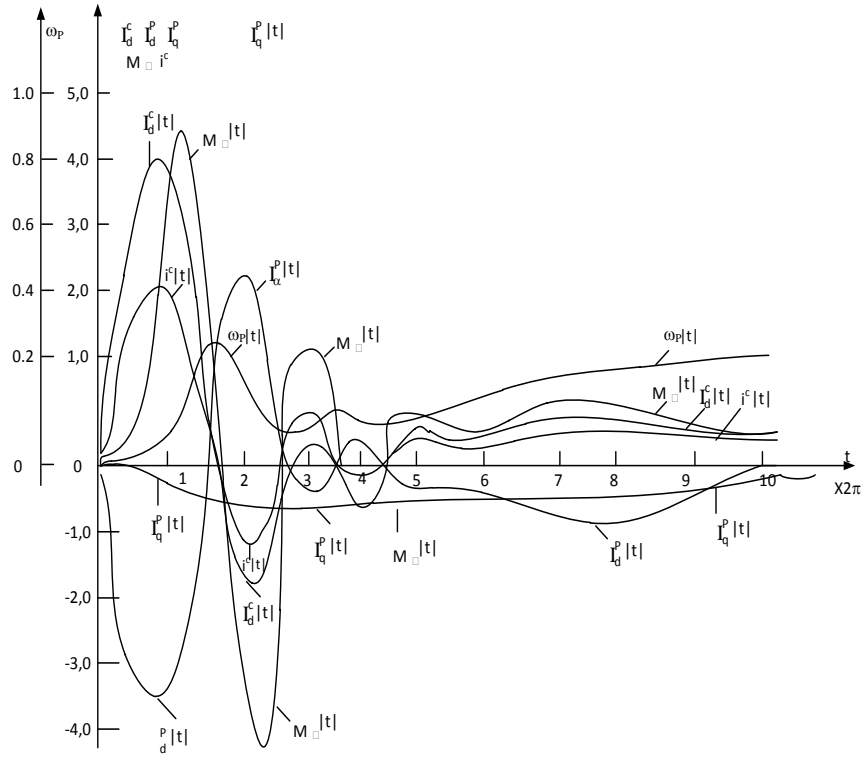
ინერციის მომენტისთვის გვაქვს  $J = 13,129$ . (3.8) განტოლებათა სისტემა გაანალიზებული იქნა კომპიუტერული ტექნიკის საშუალებით.

ნახ. 3.5-3.6 ნაჩვენებია ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები კომპუტატორის გადართვის სხვადასხვა სიხშირის მნიშვნელობისათვის, როცა დატვირთვა  $M_B = 0,5$ .

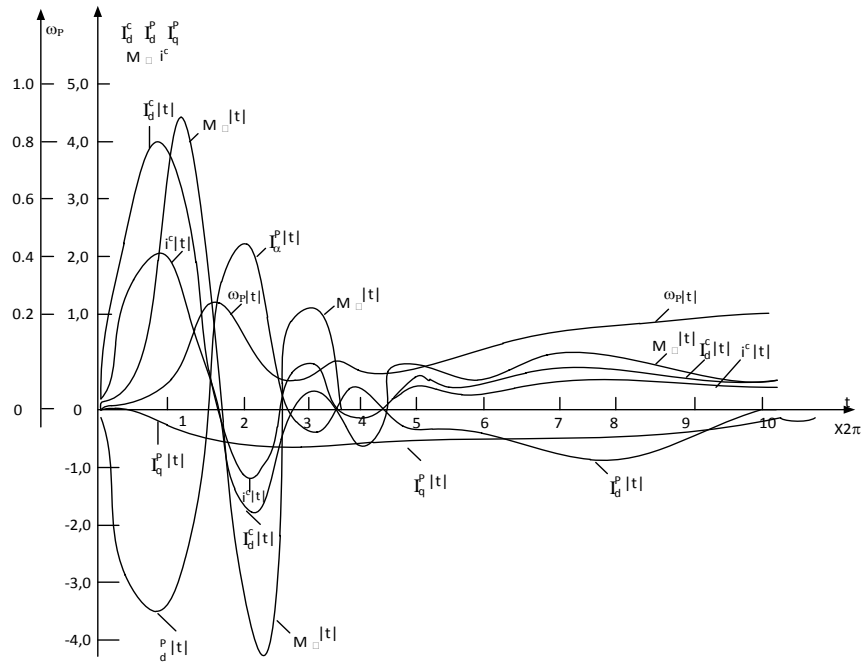
გარდამავალი პროცესი შედგება ორი ეტაპისაგან: ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური. ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესი იწყება ძრავას ქსელში ჩართვის მომენტიდან და მთავრდება როცა  $M_3 = M_B$ . ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესის დამთავრების მომენტიდან იწყება ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესი და 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  $\bar{I}^c$  და  $\bar{I}^p$  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  $i^c = 2,25$  დროის მომენტში ელექტრომექანიკური გარდამავალი რეჟიმის ხანგრძლივობა (გაშვების დრო)  $t = 10 \times 2\pi$ . (ნახ.3.5).

$\omega_H^c = 0,6$  დროს დარტყმის ელექტრომაგნიტური მომენტი  $M_3 = 4,18$  აღწევს თავის მაქსიმუმს  $t = 1,65 \times 2\pi$  დროის მომენტში. კომპუტატორში შემავალი დარტყმის დენი  $i^c = 2,21$





ნახ.3.5. ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები  
 $(\omega_H^C = 0,8; \quad u_{\text{მაკს}}^C = 0,513; M_B = 0,5)$

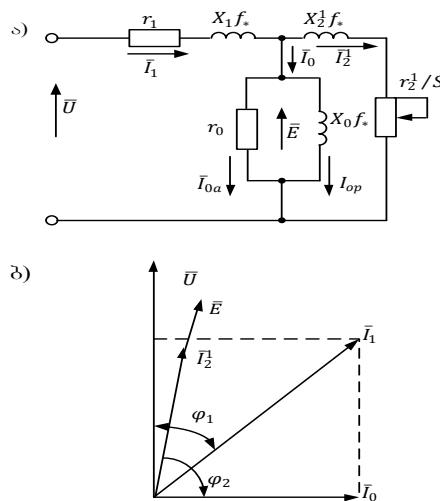


ნახ. 3.6. ძრავას გაშვების საანგარიშო მახასიათებლები  
 $(\omega_H^C = 0,6; \quad u_{\text{მაკს}}^C = 0,513; M_B = 0,5)$

**თავი IV. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს  
მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში  
ენერგოდაზოგვის ტექნიკური გადაწყვეტა**

**4.1. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ოპტიმიზაცია**

ნახ. 4.1, ა ნაჩვენებია მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ჩანაცვლების სქემა, ხოლო ნახ. 4.1, ბ-ვექტორული დიაგრამა ამძრავის ნომინალური სრიალის დროს



**ნახ. 4.1. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ჩანაცვლების სქემა (ა) და მისი ვექტორული დიაგრამა ნომინალური სრიალის დროს (ბ)**

თუ არ გავითვალისწინებთ მაგნიტოგამტარის გაჟღერებას, მაშინ

$$\phi_* = E_*/f_*$$

ე.ი. ნაკადის რეგულირება ითვალისწინებს აუცილებლობას შევინარჩუნოდ  $E_*/f_*$  საჭირო თანაფარდობა. ოპტიმალური ნაკადი  $\phi_{opt*}$  განისაზღვრება ძრავას ლილვზე  $M_*$  მომენტით.

$$M_* = \phi_* I_2' \sin \varphi_2,$$

სადაც  $\varphi_2$ -კუთხე  $\phi_*$  და  $I_2'$  შორის, რომელიც  $S$  სრიალის მცირე მნიშვნელობის დროს ტოლია  $\pi/2$  ე.ი.

$$M_* \approx \phi_* I'_{2*} \quad (4.1)$$

ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 4.1, ბ) ჩანს, რომ

$$I'_{2*} \approx I_{1*} \cos \varphi_1 \quad (4.2)$$

ოპტიმალური  $U_{\text{opt}}$  ძაბვის მნიშვნელობა, რომელიც აუცილებელია ოპტიმალური ნაკადის შესაქმნელად, გამოითვლება ნახ. 4.1-ის შესაბამისად შემდეგი სახით:

$$\bar{U}_* = \bar{E}_* + \bar{I}_{1*} \bar{Z}_{1*} \approx \phi_* f_* + I_{1*} Z_{1*}, \quad (4.3)$$

$$\text{სადაც } Z_{1*} = \sqrt{r_{1*}^2 + (f_* X_{1*})^2}; \quad Z_{1*} = Z_1 / Z_{1H};$$

$$r_{1*} = r_1 / Z_{1H}; \quad X_{1*} = X_1 / Z_{1H}; \quad Z_{1H} = U_H / I_{1H}$$

მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ოპტიმიზაცია დაკავშირებულია პრინციპულ აუცილებლობასთან, დამაგნიტების არაწრფივი მრუდის გათვალისწინებასთან. ნაკადი პროპორციულია  $E/f$ . მართვადი ნახევრადგამტარულ კომუტატორში განხორციელებულია დამოუკიდებელი მართვა სიხშირის და ძაბვის ამპლიტუდის, მოდებული ძრავას სტატორთან, ამიტომ არსებობს შესაძლებლობა სისტემამ იმუშაოს დაბალ სიხშირეზე ნაკადის დიდი მნიშვნელობით, რომელიც არსებითად აჭარბებს ნომინალურ მნიშვნელობას.

ამავე დროს შეიძლება დავასაბუთოდ, რომ დანაკარგების მინიმიზაციისთვის მცირე სიხშირის დროს აუცილებელია გავზარდოთ ნაკადი შედარებით ნომინალურ მნიშვნელობასთან, ე.ი. ძრავამ უნდა იმუშაოს დამაგნიტების მრუდის არაწრფივ უბანზე. ამავე დროს დამაგნიტების მრუდის გათვალისწინება არსებითად ართულებს ელექტრული დანაკარგების მინიმუმის არსებობის პირობის ანალიზს.

#### 4.2. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ოპტიმიზაცია,

##### სტატორის დენის სიხშირის მუდმივობის დროს

განსაკუთრებით პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს არარეგულირებად ელექტრულ ამძრავში ელექტროენერგიის დანაკარგების შემცირებისათვის შესაძლებლობის დამუშავება:

- ასეთი ელექტროამძრავები წარმოადგენენ ელექტრული ენერჯის მასობრივ მომხმარებლებს, ამიტომ მისი ეკონომია იძლევა მნიშვნელოვან ეფექტს.

- ძაბვის რეგულირება ძრავას მუდმივი ბრუნთა სიხშირის დროს თეორიულად საშუალებას იძლევა მივიღოთ მაღალი ენერგეტიკული ეფექტი შედარებით ელექტროამძრავის სხვა პირობებში მუშაობის დროს. სტატორის დენის სიხშირის მუდმივობა ითვალისწინებს ძრავას სტატორის მხოლოდ ძაბვის რეგულირებას. სიხშირის მუდმივობა ამარტივებს აგრეთვე პირობის ძებნას, ძრავაში დანაკარგების მინიმიზაციის უზრუნველყოფისა.

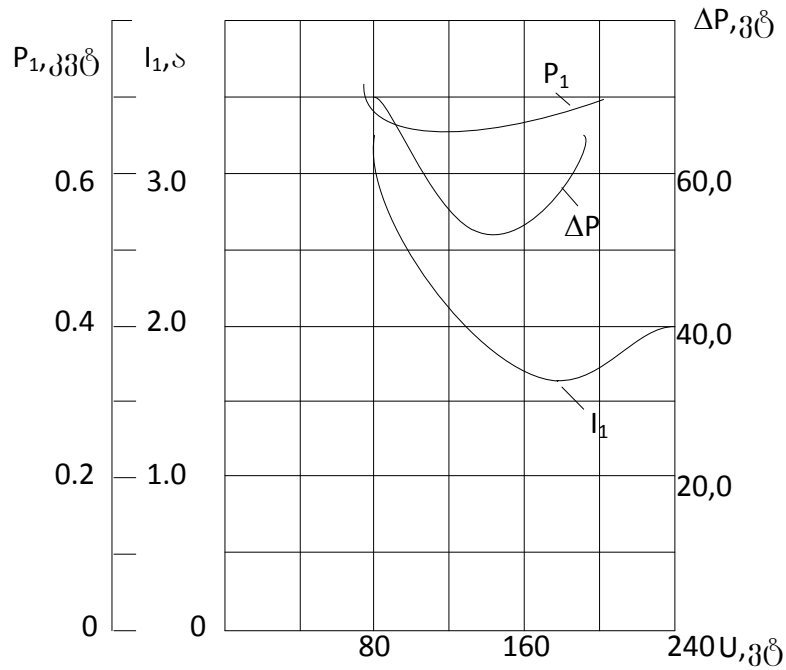
განვიხილოდ, რა შესაძლებლობა არსებობს აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად, გამოვიყენოთ ჩანაცვლების სქემა ძრავას (ნახ. 4.1, ა) იმ პირობით, რომ  $f_* = 1$ .

ნახ. 4.2 ნაჩვენებია ჩანაცვლების სქემის მიხედვით დამოკიდებულება ძაბვისაგან (სინუსოიდური ფორმის) დანაკარგების, დენის და სიმძლავრის ასინქრონული ძრავას ტიპით 4AMX90L4Y3 (2,2 კვტ, 1500 ბრ/წთ) როცა წინაღობის მომენტი ლილვზე, ტოლია, ნომინალურის 20%. მოყვანილი მონაცემები მეტყველებს იმაზე, რომ ძაბვის რეგულირების გზით შეიძლება უზრუნველვყოთ არა მხოლოდ დანაკარგების მინიმუმი, არამედ სტატორის დენის მინიმუმი და აქტიური მოთხოვნილი სიმძლავრე. ამიტომ ამჟამად ფუნქციონირებს სხვადასხვა რეგულირების სისტემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მოცემულიდან ერთ-ერთი სიდიდის მინიმიზაციას.

ჩავატაროთ შედარებითი ანალიზი ასინქრონული ელექტროამძრავის ენერგეტიკული ოპტიმიზაციის სხვადასხვა მეთოდების ანალიზით. ამისათვის ასინქრონულ ძრავაში დანაკარგებს გამოვსახავთ მისი ჩანაცვლების სქემის პარამეტრებით:

$$\Delta P_{\Sigma} = 3I_1^2 r_1 + 3I_2'^2 r_2' + 3I_{oa}^2 r_o, \quad (4.4)$$

სადაც  $I_{oa}$ --დამაგნიტების დენის აქტიური მდგენელი. გამარტივების მიზნით (4.4)-ში არაა გათვალისწინებული მექანიკური და დამატებითი დანაკარგები.



ნახ.4.2. დამოკიდებულება სტატორის დენის, მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრის და დანაკარგების ასინქრონული ძრავას ტიპით 4AMX90L4Y3 ძაბვისაგან, როცა სიხშირე ტოლია 50 ჰც

დანაკარგები ასინქრონული ძრავას როტორის წრედში ტოლია

$$3I_2'^2 r_2' = M \omega_o S$$

აღნიშნული თანაფარდობა, მიიღება თუ გავანალიზებთ, როგორ ნაწილდება ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე, გადაცემული სტატორიდან ძრავას როტორზე. ის ტოლია მომენტისა და ელექტრომაგნიტური ველის კუთხური სიჩქარის ნამრავლის.

$$P_1 = M \omega_o$$

ეს სიმძლავრე იყოფა ორ ნაწილად, ერთი რომელიც გადაეცემა ძრავას ლილვზე, რომელიც ბრუნავს  $\omega$  კუთხური სიჩქარით:

$$P = M \omega$$

ხოლო მეორე მისი ნაწილი გამოიყოფა სითბოს სახით ძრავას როტორის წრედში:

$$P_2 = P_1 - P = M \omega_o - M \omega = M \omega_o S$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ რეალურ ასინქრონულ ძრავაში  $r_0 \gg X_0$  ხოლო მცირე სრიალის მნიშვნელობის დროს, რომელიც შეესაბამება ძრავას მუშაობას მისი მექანიკური მახასიათებლის წრფივ ნაწილში, შეიძლება მივიღოთ, რომ  $x'_2 \ll r'_2/S$ , მაშინ შეიძლება მივიღოთ შემდეგი თანაფარდობა ჩანაცვლების სქემისათვის:

$$I_1'^2 \approx I_2'^2 + I_{op}^2; E^2 \approx (I_2' r'_2/S)^2 = M\omega_o r'_2/3S, \quad (4.5)$$

სადაც  $I_{op}$ -დამაგნიტების დენის რეაქტიული მდგენელი. (5.5)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ დანაკარგებისათვის შემდეგი გამოსახულებას

$$\Delta P_{\Sigma} = 3I_2'^2 r'_2 (1 + r_1/r'_2) + 3I_{op}^2 r_1 + 3I_{oa}^2 r_o = \\ M\omega_o S (1 + r_1/r'_2) + M\omega_o (r_1 r'_2/X_o^2 + r'_2/r_o)/S, \quad (4.6)$$

$$\text{სადაც } I_{op} = E/X_o; I_{oa} = E/r_o$$

ოპტიმალური სრიალი  $S_{opt}$ , რომელსაც შეესაბამება მინიმალური დანაკარგები განისაზღვრება გამოსახულებიდან

$$\frac{dP_{\Sigma}}{dS} = M\omega_o \left(1 + \frac{r_1}{r'_2}\right) - \frac{M\omega_o}{S^2} \left(\frac{r_1 r'_2}{X_o^2} + \frac{r'_2}{r_o}\right) = 0, \\ S_{opt} = \frac{r'_2}{X_o} \sqrt{\frac{X_o^2/r_o + r_1}{r'_2 + r_1}}. \quad (4.7)$$

ჩატარებული ანალიზი იძლევა საშუალებას გავაკეთოდ მნიშვნელოვანი დასკვნა: ძრავაში მინიმალური დანაკარგების უზრუნველყოფისთვის აუცილებელია ნებისმიერი დატვირთვის დროს შევინარჩუნოთ მუდმივი ოპტიმალური სრიალი, განსაზღვრული (4.7) გამოსახულებით. ეს თვისება ასინქრონული ძრავასი იძლევა საშუალებას უზრუნველყოთ მინიმალური დანაკარგები რეგულირების სისტემაში სრიალის ან სიჩქარის უკუ კავშირით. სიჩქარის სტაბილიზაციის ხარჯზე ძრავას სტატორის ძაბვა ავტომატურად იცვლება ლილვზე მომენტის ფუნქციით შემდეგი კანონით.

$$U_{opt} \approx E_{opt} = \sqrt{M\omega_o r'_2/(3S_{opt})},$$

რომელიც უზრუნველყოფს მინიმალურ დანაკარგებს

$$\Delta P_{\Sigma min} = 2M\omega_o \sqrt{(r_1 + r'_2)(r_1/X_o^2 + 1/r_o)}$$

მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ენერგეტიკული მახასიათებლების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ პრინციპულად გვაქვს ორი გზა ენერგომომარების შემცირებისთვის:

დანაკარგების შემცირება მართვადი ნახევრადგამტარულ კომპუტატორში და მუშა მანქანების ტექნოლოგიური მაჩვენებლების რეგულირება ელექტროამძრავის სიჩქარის ცვლილების დროს. ფაქტიურად მეორე გზა აგრეთვე იწვევს დანაკარგების შემცირებას მუშა მანქანაში, რომელიც სიჩქარის რეგულირების გზით თანხმობაში მოდის ტექნოლოგიური პროცესების მოთხოვნებთან.

ელექტროამძრავის ძალოვან არხში ჩვეულებრივ გვაქვს სამი ტიპი ენერგიის გარდაქმნის: ელექტრული, ელექტრომექანიკური და მექანიკური. როგორც წესი გარდამქმნელები აირჩევა ელექტროამძრავების დატვირთვის ხანგრძლივი მაქსიმალური პირობიდან. ხშირად ელექტროამძრავები მუშაობენ არასრული დატვირთვით (დამყარებულ რეჟიმში) ან გადატვირთვით (მოკლე დროით); ამ შემთხვევაში ენერგეტიკული მაჩვენებელი ელექტროამძრავის უარესდება შედარებით მისი ნომინალური მნიშვნელობებთან.

ეს გაუარესება აიხსნება შემდეგნაირად, თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ენერგიის დანაკარგები პირობითად შეიძლება დავყოთ ორ ნაწილად: დამოკიდებული დატვირთვაზე და არაა დამოკიდებული მასზე (უქმი სვლის დანაკარგები). მაქსიმალური მ.ქ.კ შეესაბამება ელექტროამძრავის მუშაობის რეჟიმს, რომლის დროსაც ეს მდგენელები ტოლია. ნებისმიერი სხვა დატვირთვის დროს მ.ქ.კ. მცირდება. ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესებისათვის არა “ოპტიმალური” დატვირთვის დროს ელექტროამძრავის ელემენტებზე ზემოქმედებენ იმგვარად, რომ შეიცვალოს უკეთესობისაკენ დანაკარგების თანაფარდობა. როგორც წესი მანქანების წარმადობა, როცა მუშაობს ხანგრძლივ რეჟიმში, განისაზღვრება საშუალო მნიშვნელობებით ამძრავის გამოსავალი სიმძლავრის. თუმცა მთელი რიგი მექანიზმებისათვის გარდაუვალია რეჟიმები, დაკავშირებული სიჩქარის და

ელექტრომაგნიტური მომენტის რხევებთან საშუალო მნიშვნელობასთან ახლოს. აღნიშნული გარემოება ზემოქმედებს როგორც ენერჯის დანაკარგებზე ელექტროამძრავის ძალოვან არხებში, ისე ელექტრომომხმარებელზე. ასეთი გავლენის ხარისხი დამოკიდებულია შემფოთების ფაქტორების ინტენსივობაზე (მათი ამპლიტუდა და სიხშირე) და ელექტროამძრავის პარამეტრებისაგან (ინერჯის ჯამური მომენტი და მექანიკური მახასიათებლების სიხისტე).

ელექტროამძრავების ენერგეტიკული მაჩვენებლების შეფასების ამდლებისათვის, როცა მუშაობს გარდამავალ რეჟიმებში, როგორც წესი, გაზრდილ ინტერესს წარმოადგენს ენერჯის დანაკარგები გარდამავალ პროცესში. კლასიკურ მდგომარეობას წარმოადგენს, ენერჯის ცვლადი დანაკარგების განსაზღვრა (ასინქრონული ძრავას როტორში) უქმი სვლაზე გარდამავალი პროცესის დროს, დატვირთვის გარეშე.

გარდამავალ პროცესში ენერჯის დანაკარგების შემცირების შესაძლებლობა დაკავშირებულია ოპტიმიზაციასთან როგორც ელექტროამძრავის პარამეტრების (მაგალითად, ჯამური ინერჯის მომენტის  $J_{\Sigma}$  შემცირება), ისე გარდამავალი პროცესების მართვის რეჟიმები.

### **4.3. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის დაბრკოლება- მდგრადობა**

როგორც აღნიშნული იყო მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ელექტრული სქემის ძალოვანი ნაწილი შედგება მოკლე შერთული როტორიანი ასინქრონული ძრავასაგან და მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორისაგან. ასინქრონული ძრავა – კომუტატორის სისტემაში ყველა დაბრკოლება შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი სახით. პირველი სახის დაბრკოლება დაკავშირებულია მისი მუშაობის პრინციპთან: დენებისა და ძაბვების გარდაქმნასთან, კომუტაციის ენერჯის უეცარი მოკლე



შერთვასთან და ა.შ. აღნიშნულ დაბრკოლებას ადგილი აქვს სისტემის ნორმალური მუშაობის დროს.

მეორე სახის დაბრკოლებას მივყავართ ვენტილების მართვის მოცემული ალგორითმის დარღვევასთან. შედეგად შეიმჩნევა გამოტოვება, ვენტილების ზედმეტი ჩართვა ან სხვა არანორმალური სიტუაციები.

დაბრკოლებები სისტემაში ფორმულირდება უწყვეტად ცვალებად პირობებში, როცა ზემოქმედებს სხვადასხვა შემფოთება, რომელიც შეიძლება გამოვყოს სამ ჯგუფად:

კომპუტატორის შესასვლელზე ელექტროენერგიის პარამეტრების შემთხვევითი ცვლილება;

სისტემის დატვირთვის შემთხვევითი ცვალებადობა;

სხვადასხვა სისტემებისათვის ეს ცვლილება ატარებს სხვადასხვა ხასიათს. ჯამში მათი მოქმედება სისტემაში ასინქრონული ძრავა-კომპუტატორი შესავალი და გამოსავალი ცვლადები წარმოადგენენ დროის შემთხვევით ფუნქციას, ე.ი. სასარგებლო სიგნალთან ერთად მოქმედებს შემთხვევითი დაბრკოლება.

ფიზიკური პროცესების განხილვის დროს სისტემაში ყოველთვის შეიძლება გამოიყოს ერთი ან ორი შემთხვევითი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს პროცესს, ხოლო დანარჩენი მივიღოთ დეტერმინირებული ფუნქცია დროის.

დეტერმინირებული პროცესების გამოკვლევის დროს წარმატებით გამოიყენება ფურიეს მწკრივები და ფურიეს ინტეგრალი შესაბამისად პერიოდული და არაპერიოდული პროცესებისათვის. შემთხვევითი პროცესების გამოკვლევის დროს სასურველია გამოვიყენოთ მარტივი და ეფექტური მათემატიკური აპარატი.

თუ შემთხვევითი ფუნქცია აღწერს ძაბვას ან დენს, მაშინ მისი საშუალო კვადრატი აღწერს საშუალო სიმძლავრეს, გამოყოფილი 1 ომი წინააღობით. ამიტომ შემთხვევითი პროცესების სპექტრული

მახასიათებლებს წარმოადგენს საშუალო სიმძლავრის სპექტრულ სიმკვრივეს  $F(\omega)$  რომელსაც ეწოდება ენერგეტიკული სპექტრი.

აღნიშნული სპექტრი იძლევა გასაშუალებული სურათს ენერჯის განაწილების ელემენტარული ჰარმონიული მდგენელების სიხშირის მიხედვით, მაგრამ არ ითვალისწინებს მის ფაზურ სტრუქტურას. ენერგეტიკული სპექტრის განსაზღვრის ზოგადი სქემა შემდეგია. პირველ ეტაპზე ფორმულირდება დიაგრამა რეალიზაციის სისტემის ელექტრომაგნიტური პროცესების, შემფოთების დროს.

შემდეგ სისტემაში პროცესების ფიზიკის ანალიზის შედეგად გამოვლინდება ერთი ან რამოდენიმე ფაქტორები, რომელიც განსაზღვრავს შემდეგ პროცესს. აღნიშნული ფაქტორების ცვალებადობა დროში მიიღება შემთხვევითი პროცესების გარკვეული საანგარიშო მოდელი. მართვადი ნახევრადგამტარული კომპუტატორის განხილვის დროს, როგორც ელემენტი სისტემის ავტომატური რეგულირების მიზანშეწონილია მისი წარმოდგენა, როგორც იმპულსური სისტემის [19]. ბუნებრივია, ხშირად შემთხვევითი პროცესი ატარებს აგრეთვე იმპულსურ ხასიათს, და მისი ენერგეტიკული სპექტრი განისაზღვრება ფორმულით [20]

$$F(\omega) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2/T}{2N+1} m_1 \left\{ \left| Z_N^{(K)}(\omega) \right|^2 \right\}, \quad (4.8)$$

სადაც  $T$  - იმპულსების სვლის პერიოდის მათემატიკური მოლოდინი;

$m_1\{ \}$  - ფიგურულ ფრჩხილებში, ფუნქციის მათემატიკური მოლოდინი;

$Z_N^{(K)}(\omega)$  - სპექტრული სიმკვრივე  $K$  წაკვეთილი პროცესის რეალიზაციის, შემდგარი  $(2N + 1)$  იმპულსებისაგან.

(4.8)-დან ჩანს ენერგეტიკული სპექტრის განსაზღვრის ეტაპები: განისაზღვრება სპექტრული სიმკვრივე  $Z_N^{(K)}(\omega)$   $r$  იმპულსის  $K$  პროცესის რეალიზაციის და შემდეგ ყველა  $K$  წაკვეთილი რეალიზაციის  $Z_N^{(K)}(\omega)$  შემდგარი  $(2N + 1)$  იმპულსისგან; განისაზღვრება სპექტრული სიმკვრივის  $Z_N^{(K)}(\omega)$  აბსოლუტური სიდიდის კვადრატი

$$\left| Z_N^{(K)}(\omega) \right|^2 = Z_N^{(K)}(\omega) Z_N^{(K)*}(\omega), \quad (4.9)$$

სადაც ვარსკვლავით ზედა ინდექსში აღნიშნულია შეუღლებული სიდიდე.

მათემატიკური მოლოდინის  $|Z_N^{(K)}(\omega)|^2$  განსაზღვრისათვის აუცილებელია ცოდნა ფაქტორების ალბათობითი მახასიათებლების, რომლებიც განსაზღვრავს შემთხვევით პროცესებს. აქ მეტად ეფექტური აღმოჩნდება ექსპერიმენტული კვლევის მონაცემების დამუშავება კომპიუტერულ ტექნიკაზე.

$F(\omega)$  განსაზღვრის ყველა ეტაპზე სრულდება საკმაოდ მაშტაბური მათემატიკური გარდაქმნა. თუმცა საბოლოო ფორმულები, როგორც წესი, მიიღება უფრო კომპაქტური და თვალსაჩინო, ვიდრე დეტერმინისტური მიდგომის დროს.

სისტემის ანგარიშის დროს შეიძლება გამოვიყენოთ უშუალოდ  $F(\omega)$  უნქცია, როგორც მიღებული ენერგეტიკული ეკვივალენტური წრფივი სპექტრიდან. ეკვივალენტური სპექტრის განსაზღვრისათვის სიხშირის ღერძი  $F(\omega)$  მრუდის ქვეშ იყოფა რამოდენიმე  $\Delta\omega_\ell$  მონაკვეთის რიცხვით, სადაც  $\ell$  - მონაკვეთის ნომერი (ნახ.4.3, ა). შემდეგ  $F(\omega)$  დამოკიდებულების საშუალებით გამოითვლება საშუალო სიმძლავრე, გამოყოფილი თითოეული უბნებიდან,

$$P_{\sim\ell} = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_{\ell-1}}^{\omega_\ell} F(\omega) d\omega; \ell = 1, 2, 3, \dots, \quad (4.10)$$

და ეკვივალენტური ამპლიტუდა, რომელიც გამოყოფს იგივე სიმძლავრეს, შეიცავს

$$A_\ell = \sqrt{2P_\ell}$$

ეკვივალენტური მდგენელები, განლაგებული შესაბამის  $\Delta\omega_\ell$  უბნების შიგნით, წარმოქმნიან ეკვივალენტურ სპექტრს (ნახ. 4.3, ბ). უბნების რიცხვი და თითოეული მათგანის სიდიდე განისაზღვრება ენერგეტიკული სპექტრის ფორმით და ანგარიშის მოთხოვნილი სიზუსტით.

ენერგეტიკული ან ეკვივალენტური სპექტრის საშუალებით შეიძლება მივიღოთ ცვლადების მახასიათებლები, როგორცაა

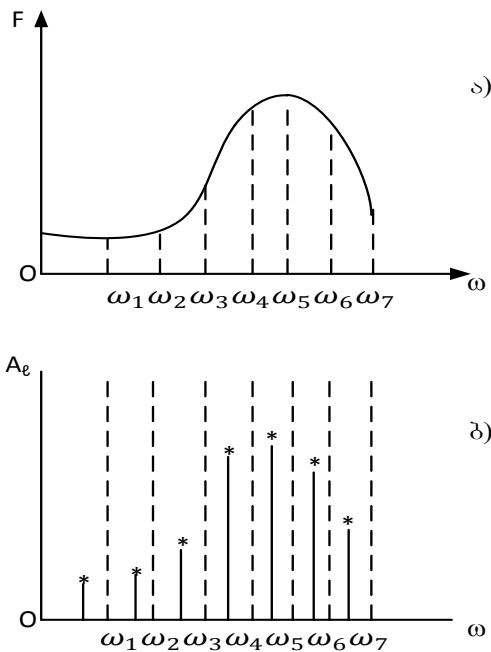
ეფექტური მნიშვნელობა  $\sqrt{\Sigma A_f^2/2}$ ;

არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტი  $\sqrt{\Sigma_{e \neq H} A_f^2/A_H}$ , სადაც “H” ინდექსს გააჩნია “სასარგებლო ჰარმონიკა”.

თუ ცნობილია ენერგეტიკული სპექტრი  $F_{ეს.}(\omega)$  შემთხვევითი პროცესის წრფივი სისტემის შესასვლელში გადამცემი ფუნქციით  $G(\omega)$ , მაშინ ენერგეტიკული სპექტრი სისტემის გამოსასვლელზე განისაზღვრება ფორმულით

$$F_{გამ.}(\omega) = F_{ეს.}(\omega)/G(\omega)^2. \quad (4.11)$$

გაცილებით რთულია განისაზღვროს ენერგეტიკული სპექტრი გამოსასვლელზე არაწრფივი სისტემის.



ნახ. 4.3. ენერგეტიკული (ა) და ეკვივალენტური წრფივი (ბ) სპექტრი

ზემოთ ჩვენ შევხებით საკითხებს ანალიტიკური განსაზღვრას შემთხვევითი პროცესების სპექტრული მახასიათებლების. ეხლა შევჩერდეთ

მათი ექპერიმენტული განსაზღვრაზე. ყველა მეთოდები პირობითად შეიძლება დაიყოს პირდაპირი და ირიბი.

პირდაპირი მეთოდით შეფასება ენერგეტიკული სპექტრის ხორციელდება მრავალჯერადი შესრულებით შემდეგი ოპერაციის [21]:

სიხშირის მიხედვით სიგნალის გაფილტვრა ვიწროზოლიანი ფილტრით; გაფილტვრული სიგნალის მყისი მნიშვნელობის დაყენება კვადრატში. გასაშუალება სიგნალის მყისი მნიშვნელობის დროის ინტერვალის გარკვეულ ზღვრებში;

კვადრატის საშუალო მნიშვნელობის დაყოფა ზოლების გატარების სიგანეზე.

მითითებული ოპერაცია ხორციელდება სხვადასხვა მიმდევრობით ცვალებადი მნიშვნელობებით ვიწროზოლიანი ფილტრის ცენტრალური სიხშირით.

ირიბი მეთოდის დროს სპექტრული სიმკვრივე გამოისახება ფურიეს გადაქმნით ავტოკორელიციური ფუნქციით.

#### **4.4. მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამპრავის დასაშვები დატვირთვა და გახურება**

მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამპრავი იძლევა საშუალებას უზრუნველვყოთ ოპტიმალური რეჟიმი გახურების მიხედვით და მივიღოთ დიდი დასაშვები მომენტი.

გახურების მიხედვით დასაშვები მომენტის ანგარიში მიმდინარეობს ეკვივალენტური გახურების დანაკარგების მეთოდით [22,23]. ცნობილია, რომ ასინქრონული მოკლე ჩართული ძრავას ლიმიტირებული ნაწილი გახურების მიხედვით წარმოადგენს სტატორის გრაგნილის იზოლაციას. სტატორის გრაგნილის საშუალო დამყარებული ტემპერატურის მომატება შეიძლება განისაზღვროს ეკვივალენტური გახურების დანაკარგების

მეთოდით, რომლის თანახმად თბური ბალანსის განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\tau_{\infty} B(\alpha) = \Delta P_{\exists 1} + k_p(\alpha) \Delta P_{\exists 2} + k_c(\alpha) \Delta P_c + k_M \Delta P_M, \quad (4.12)$$

სადაც  $\Delta P_{\exists 1}, \Delta P_{\exists 2}, \Delta P_c, \Delta P_M$ - დანაკარგები სტატორის გრაგნილებში, როტორის გრაგნილებში, ფოლადში და მექანიკური დანაკარგები;  $\tau_{\infty}$ - სტატორის გრაგნილში ტემპერატურის დამყარებული მომატება;  $B(\alpha)$ --თბოგადაცემა, რომელიც დამოკიდებულია კუთხური სიჩქარეზე;  $k_p(\alpha), k_c(\alpha), k_M$  - კოეფიციენტები გარე გახურებით, გათვალისწინებული სხვადასხვა გარე დანაკარგების წილით, რომელიც მონაწილეობს სტატორის გრაგნილის გახურებაში, ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულია სიჩქარეზე.

[24]-ის თანახმად ტემპერატურის გაზრდა, შექმნილი მექანიკური დანაკარგებით, ძალიან მცირეა და ის შეიძლება არ გავითვალისწინოთ ( $k_M \approx 0$ ).

დანაკარგების გამოსახულების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\tau_{\infty} B(\alpha) = \Delta P_H [t^2 \rho_{\tau}(\alpha) + \varphi^2 \sigma_{\tau}(\alpha) + a_{\exists,0} \psi(\varphi)], \quad (4.13)$$

სადაც  $\rho_{\tau}(\alpha) = a_{\exists 1} + a'_{\exists 2} k_p(\alpha)$ - გახურების დანაკარგების ცვლადი კოეფიციენტი;  $\sigma_{\tau}(\alpha) = (a'_{c,r} \alpha + a'_{c,B} \alpha^2) k_c(\alpha)$ - ფოლადში გახურების დანაკარგების კოეფიციენტი; დანარჩენი აღნიშვნა და კოეფიციენტების საორიენტაციო მნიშვნელობა მოცემულია [25]-ში.

დამოკიდებულება გარე გახურების კოეფიციენტების სიჩქარისგან და მათი მნიშვნელობა ნომინალური სიჩქარის დროს მოცემულია [26]-ში. 0,6-დან 100 კვტ-მდე სიმძლავრის ასინქრონული ძრავებისათვის გარე გახურების კოეფიციენტები გამოისახება შემდეგნაირად:

$$k_c(\alpha) = \frac{k_{c,H}}{k_{c,H} + (1 - k_{c,H}) \alpha^{0,6}}; \quad (4.14)$$

$$k_p(\alpha) = 1 - \frac{(1 - k_{p,H}) \alpha^{0,6}}{k_{c,H} + (1 - k_{c,H}) \alpha^{0,6}}; \quad (4.15)$$

სადაც  $k_{c,H}, k_{p,H}$ -გარე გახურების კოეფიციენტები ასინქრონული ძრავას ნომინალური სიჩქარის დროს  $k_{c,H} = 0,59 \div 0,79, k_{p,H} = 0,34 \div 0,6$ ,

კოეფიციენტების მცირე მნიშვნელობები შეესაბამება დიდი ბრუნთა რიცხვის ძრავებს.

ნომინალური რეჟიმისთვის (4.13) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\tau_{\infty} B_H = \Sigma \Delta P_{\tau H} = \Delta P_H h_{\tau}, \quad (4.16)$$

$$\text{სადაც } h_{\tau} = \frac{\Sigma \Delta P_{\tau H}}{\Delta P_H} = \rho_{\tau}(1) + \sigma_{\tau}(1) + a_{\exists,0} \quad (4.17)$$

ნომინალური რეჟიმის დროს გახურების ეკვივალენტური წილი.

გავყოთ წევრების მიხედვით (4.13), (4.16)-ზე, მივიღებთ თბური ბალანსის განტოლებას ფარდობით ერთეულებში.

$$h_{\tau} \mathcal{X}(\alpha) = \frac{\tau_{\infty}}{\tau_{\infty H}} = t^2 \rho_{\tau}(\alpha) + \sigma_{\tau}(\alpha) \varphi^2 + a_{\exists,0} \psi(\varphi), \quad (4.18)$$

ან მცირე გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ

$$h_{\tau} \mathcal{X}(\alpha) \frac{\tau_{\infty}}{\tau_{\infty H}} = \frac{\mu^2}{\varphi^2} \rho_{\tau}(\alpha) + \sigma_{\tau}(\alpha) \varphi^2 + a_{\exists,0} \psi(\varphi), \quad (4.19)$$

სადაც  $\chi(\alpha) = B(\alpha)/B_H$  -თბოგადაცემის ცვლილების კოეფიციენტი სიჩქარისგან დამოკიდებულებაში.

კოეფიციენტების  $k_{c,H}, k_{P,H}, \alpha_i$  მნიშვნელობებში,  $h_{\tau}$  მნიშვნელობა იცვლება ზღვრებში 0,58-0,75. მცირე მნიშვნელობა  $h_{\tau}$  შეესაბამება დიდი სიმძლავრის მაღალი სიჩქარის ძრავებს, ხოლო  $h_{\tau}$  დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება მცირე სიმძლავრის დაბალი სიჩქარის ძრავებს.

$\chi(\alpha)$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიჩქარისგან დაცული ძრავებისათვის განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით [26];

$$\chi(\alpha) = \chi_0 + (1 - \chi_0) \alpha^{0,6} \quad (4.20)$$

დახურული ძრავებისთვის

$$\chi(\alpha) = \frac{\chi_0 k_{c,H} + [1 - \chi_0 k_c(\alpha)] \alpha^{0,6}}{k_{c,H} + [1 - k_c(\alpha)] \alpha^{0,6}}, \quad (4.21)$$

სადაც  $\chi_0$  -თბოგადაცემის ცვლილების კოეფიციენტი, დაცული ძრავისათვის, როცა ძრავა უძრავია  $\chi_0 = 0,13 \div 0,56$ , დახურული ძრავისათვის  $\chi_0 = 0,27 \div 0,49$ , მცირე მნიშვნელობა  $\chi_0$  -შეესაბამება დიდი სიმძლავრის ძრავებს.

## თავი V. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას გამოცდის თავისებურებანი

როგორც სამუშაოს 1.2 პარაგრაფში აღნიშნული იყო თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის დამუშავებული იყო მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავა. ელექტრული სქემა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ამძრავის ნაჩვენებია ნახ.1.2. სქემის ძალოვანი ნაწილი შედგება მოკლე შერთული როტორიანი ასინქრონული ძრავასაგან ტიპით 4AMX90L4Y3 და მართვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორისაგან (მნკ). კომუტატორი აწყობილია სამფაზა ბოგირული სქემით, შესრულებული ტრანზისტორულ გასადებებზე ტიპით KT834A. ე.ი. გამოცდის ობიექტს წარმოადგენს რეგულირებადი ასინქრონული ძრავა მოკლე შერთული როტორით.

### 5.1. რეგულირებადი ასინქრონული ძრავა როგორც გამოცდის ობიექტი [27]

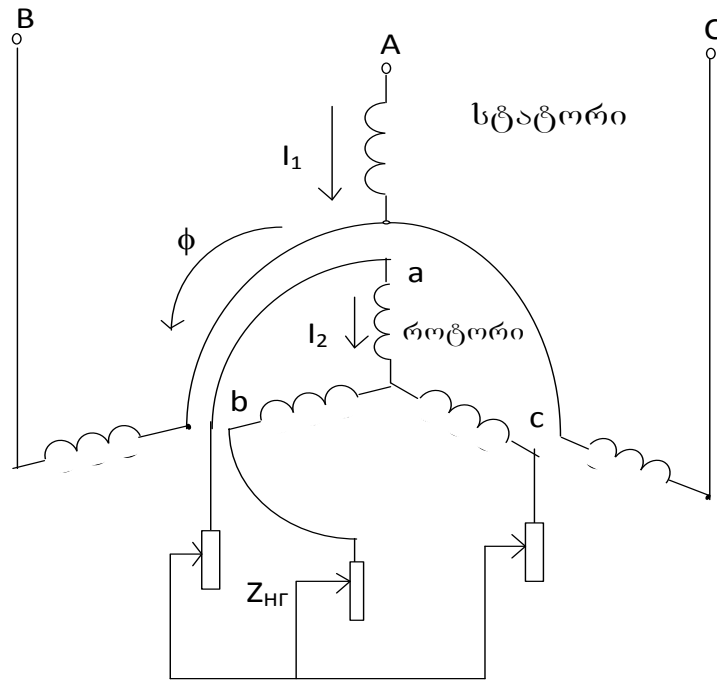
განვიხილოთ მრავალფაზა ასინქრონული მანქანა დამუხრუჭებული როტორით, კერძოდ სამფაზა გრაგნილით სტატორსა და როტორზე (ნახ.5.1). დავუშვათ, რომ პირველადი გრაგნილი ჩართულია სამფაზა ქსელში ფაზურ ძაბვაზე  $U_1$ , ხოლო მეორადი გრაგნილი ჩართულია დატვირთვის  $Z_{HF}$  წინაღობასთან. აღნიშნულ პირობებში ასინქრონული მანქანა მუშაობს როგორც ტრანსფორმატორი. სიმეტრიული პირველადი ფაზური დენი  $I_1$  ქმნის დამამაგნიტებელი ძალის ძირითად ჰარმონიკას ამპლიტუდით პოლუსზე

$$F_1 = \frac{m_1 \sqrt{2} \cdot W_1 k_0 \delta_1}{\pi \rho} I_1, \quad (5.1)$$

და პირველადი მბრუნავი მაგნიტური ნაკადი ერთ პოლუსზე



$$\phi_1 = \frac{\mu_0}{k_\delta k_\mu \delta} \cdot \frac{2}{\pi} F_1 \tau t_\delta \quad (5.2)$$



ნახ. 5.1. ასინქრონული მანქანა დამუხრუჭებული როტორით სტატორისა და როტორის ფაზების გრაგნილების ღერძების დამთხვევის შემთხვევაში

მეორად გრაგნილში დაინდუქცირებული  $I_2$  დენები ემნის დამამაგნიტებელი ძალის ძირითად ჰარმონიკას ამპლიტუდით

$$F_2 = \frac{m_{2\sqrt{2}} \cdot W_2 K_{o\delta 2}}{\pi \rho} I_2, \quad (5.3)$$

მეორადი მბრუნავი მაგნიტური ნაკადი პოლუსზე

$$\phi_2 = \frac{\mu_0}{k_\delta k_\mu \delta} \cdot \frac{2}{\pi} F_2 \tau t_\delta \quad (5.4)$$

$\phi_1$  და  $\phi_2$  ნაკადები ბრუნავს ერთნაირი  $n_1$  სიჩქარით და წარმოქმნის საერთო მბრუნავ ნაკადს  $\phi$ .

როგორც ტრანსფორმატორებში, ჯამური ნაკადი აინდუქცირებს პირველად და მეორედ გრაგნილებში  $E_1$  და  $E_2$  ე.მ.ძ, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ტოლობით

$$E = \pi \sqrt{2} f W k_{o\delta} k_c \phi = 4,44 f W k_{o\delta} k_c \phi \quad (5.5)$$

უძრავი როტორის გრაგნილში აღძრული ე.მ.ძ.

$$E_2 = \pi\sqrt{2}f_1W_2k_{0\delta 2}K_c\phi, \quad (5.6)$$

როტორის გრაგნილში ე.მ.ძ მიყვანილი სტატორის გრაგნილთან

$$E_2^1 = E_1 = \pi\sqrt{2}f_1W_1k_{0\delta}\phi \quad (5.7)$$

ფარდობას

$$k_u = \frac{E_2^1 - E_1}{E_2 - E_2} \quad (5.8)$$

ეწოდება ასინქრონული მანქანის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (5.6) და (5.7) გამოსახულების თანახმად

$$k_u = \frac{W_1k_{0\delta 1}}{W_2k_{0\delta 2}} \cdot \frac{1}{K} \quad (5.9)$$

შევადგინოთ ძაბვის განტოლებები მბრუნავი როტორიანი ასინქრონული ძრავას პირველადი და მეორადი გრაგნილების ერთ-ერთი ფაზისათვის.

დავუშვათ, რომ მეორადი გრაგნილის წრედი მოკლედ ჩართულია და გრაგნილების ფაზების ღერძები ერთმანეთს ემთხვევა. ამიტომ მეორადი წრედის ძაბვა ნულის ტოლია. დავუშვათ აგრეთვე, რომ მაგნიტური დანაკარგები სტატორისა და როტორის გულარაში ნულის ტოლია. ჯერ ჩავწეროთ განტოლებები, როცა მეორადი გრაგნილი არაა მიყვანილი პირველად გრაგნილთან. ძაბვის განტოლებებს აქვს შემდეგი სახე:

$$\dot{U}_1 = r_1\dot{I}_1 + jX_{\sigma 1}\dot{I}_1 + jX_{\Gamma 1}\dot{I}_1 + jX_{\Gamma 21}\dot{I}_2; \quad (5.10)$$

$$0 = r_2\dot{I}_2 + jSX_{\sigma 2}\dot{I}_2 + jSX_{\Gamma 2}\dot{I}_2 + jSX_{\Gamma 12}\dot{I}_1; \quad (5.11)$$

სადაც  $\dot{U}_1$  არის პირველადი გრაგნილის ფაზური ძაბვა;

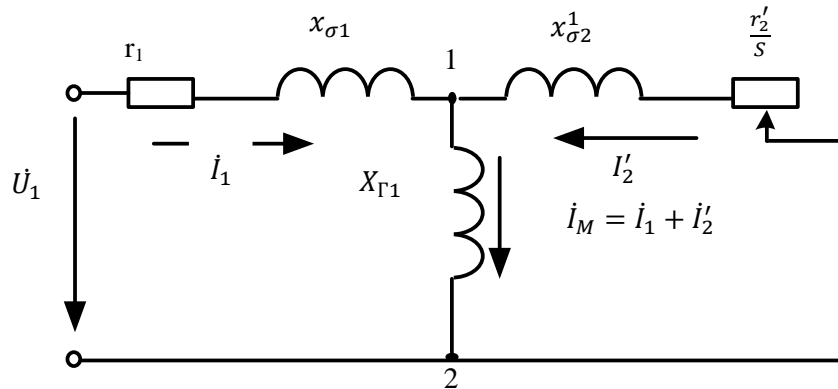
$\dot{I}_1$  და  $\dot{I}_2$  – პირველადი და მეორადი გრაგნილების ფაზური დენი;  $r_1$ ,  $r_2$  პირველადი და მეორადი გრაგნილების აქტიური წინაღობა;  $X_{\sigma 1}, X_{\sigma 2}$  – პირველადი და მეორადი გრაგნილების განზნევის ინდუქციური წინაღობა;  $X_{\Gamma 1}, X_{\Gamma 2}$  – პირველადი და მეორადი გრაგნილების მთავარი საკუთარი ინდუქციური წინაღობა, სადაც გათვალისწინებულია საჰაერო ღრეჩოში მაგნიტური ველის ძირითადი ჰარმონიკა;  $X_{\Gamma 21}, X_{\Gamma 12}$  – პირველადი და მეორადი გრაგნილების ურთიერთინდუქციური წინაღობა, სადაც გათვალისწინებულია საჰაერო ღრეჩოში მაგნიტური ველის ძირითადი ჰარმონიკა.

(5.10) და (5.11) განტოლებები შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვიდგინოთ:

$$\dot{U}_1 = r_1 \dot{I}_1 + jX_{\sigma 1} \dot{I}_1 + jX_{\Gamma 1} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2);$$

$$0 = \frac{r'_2}{s} \dot{I}'_2 + jX'_{\sigma 2} \dot{I}'_2 + jX_{\Gamma 1} (\dot{I}_1 + \dot{I}'_2) \quad (5.12)$$

(5.12) განტოლებას შეესაბამება ასინქრონული მანქანის T - ს მაგვარი ჩანაცვლების სქემა.



ნახ.5. 2 ასინქრონული მანქანის T-ს მაგვარი ჩანაცვლების სქემა მაგნიტური დანაკარგების გათვალისწინების გარეშე

დამამაგნიტებელი წრედის წინაღობა წარმოადგენს მთავარ ინდუქციურ წინაღობას პირველადი გრაგნილის და ამ წრედში გადის დამამაგნიტებელი დენი

$$\dot{I}_M = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 \quad (5.13)$$

1 და 2 მომჭერებზე დამამაგნიტებელი წრედის ძაბვა

$$U_{12} = E_1 = E'_2$$

ნახ. 5.2 ჩანაცვლების სქემა არ ითვალისწინებს მანქანის გულარაში მაგნიტურ დანაკარგებს.

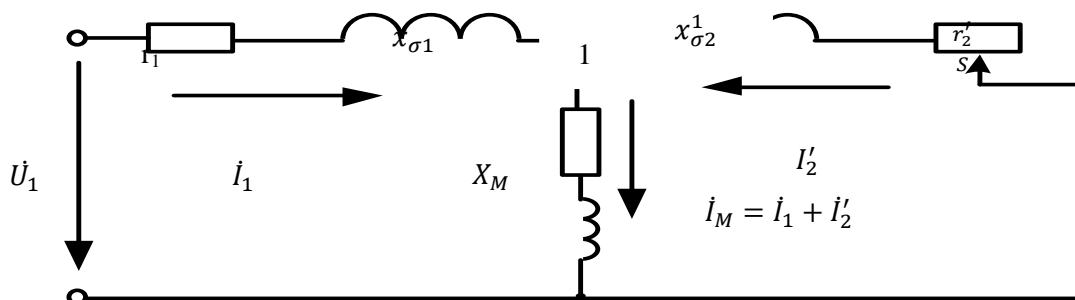
პირველადი წრედის სტატორის გულარაში დანაკარგები შეიძლება გათვალისწინებული იქნეს ნახ. 5.2-ის 1 და 2 მომჭერებზე  $X_{\Gamma 1}$ -ის წინაღობის პარალელურად აქტიური  $r_{M\Gamma}$  წინაღობის ჩართვით.  $r_{M\Gamma}$  და  $X_{\Gamma 1}$  ჯამური წინაღობა

$$Z_M = \frac{r_{M\Gamma} jX_{\Gamma 1}}{r_{M\Gamma} + jX_{\Gamma 1}} = \frac{r_{M\Gamma} X_{\Gamma 1}^2}{r_{M\Gamma}^2 + X_{\Gamma 1}^2} + j \frac{r_{M\Gamma}^2 X_{\Gamma 1}}{r_{M\Gamma}^2 + X_{\Gamma 1}^2} \quad \text{ს6}$$

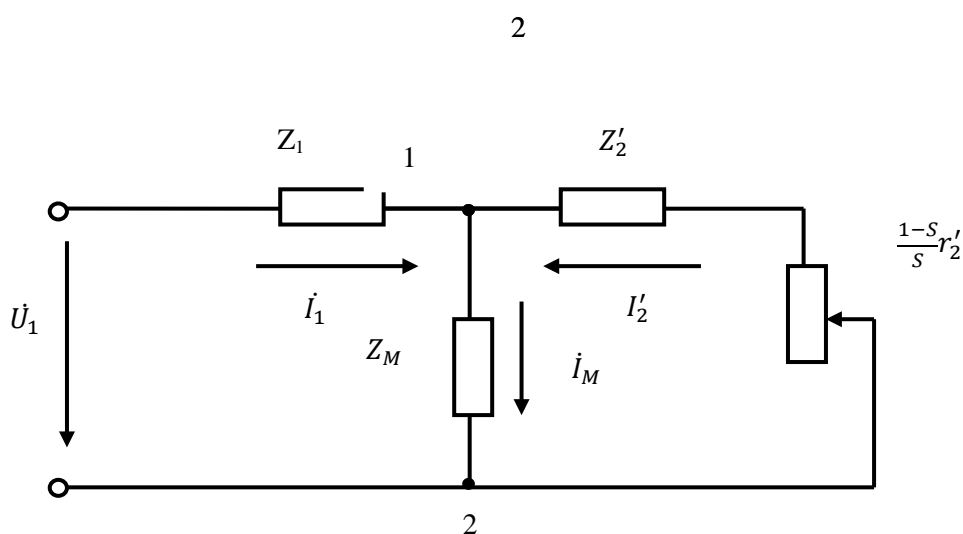
$$Z_M = r_M + jX_M \quad (5.14)$$

$r_M \ll X_M$  ე.ი. ნახ.5.2-ის ნაცვლად მივიღებთ სქემას (ნახ. 5.3)

ა)



ბ)



ნახ.5.3. ასინქრონული მანქანის T - ს მაგვარი ჩანაცვლების სქემა, მაგნიტური დანაკარგების გათვალისწინებით

$$Z_1 = r + jX_{\sigma 1}; \quad Z'_2 = r'_2 + jX'_{\sigma 2} \quad (5.15)$$

დამატებითი წინაღობა

$$r'_d = \frac{1-s}{s} r'_2 \quad (5.16)$$

რომელიც შეესაბამება მექანიკურ სიმძლავრეს, რომელსაც აწვითარებს მანქანა როტორზე.

ნახ. 5.3 დამამაგნიტებელ დენი, შეიცავს აქტიურ  $I_{Ma}$ -ს და რეაქტიულ მდგენელს  $I_{Mr}$ -ს, რომელიც შეესაბამება მაგნიტურ დანაკარგებს სტატორში

$$I_M = I_1 + I'_2 = I_{Ma} + I_{Mr} \quad (5.17)$$

ძრავული რეჟიმი ( $0 < S < 1$ ). ასინქრონული მანქანის ჩანაცვლების სქემა გამოსახავს ყველა ძირითად პროცესს, რომელიც მიმდინარეობს მასში და წარმოადგენს მოხერხებულ საფუძველს მანქანის მუშაობის რეჟიმის შესასწავლად. ჩანაცვლების სქემის (ნახ.5.3) გათვალისწინებით, განვიხილოთ აქტიური ენერჯისა და სიმძლავრის გარდაქმნის პროცესი ასინქრონული მანქანის ძრავულ რეჟიმში მუშაობის დროს. აღნიშნულ რეჟიმში ენერჯის გადაცემა სქემაში (ნახ.5.3) სრულდება მარცხნიდან მარჯვნივ.

ასინქრონული ძრავა მოითხოვს ქსელიდან აქტიურ სიმძლავრეს

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \alpha \quad (5.18)$$

აღნიშნული სიმძლავრის ნაწილი იკარგება ელექტრულ დანაკარგებზე  $P_{\text{эл1}}$  პირველადი გრაგნილის აქტიურ წინაღობაში

$$P_{\text{эл1}} = m_1 I_1^2 r_1 \quad (5.19)$$

ხოლო მეორე ნაწილი – მაგნიტური დანაკარგების სახით  $P_{\text{МГ1}}$  გამოიყოფა სტატორის გულარაში:

$$P_{\text{МГ1}} = m_1 I_M^2 r_M = \frac{m_1 E_1^2}{r_{\text{МГ}}} = \frac{m_1 U_{12}^2}{r_{\text{МГ}}} \quad (5.20)$$

სიმძლავრის დარჩენილი ნაწილი

$$P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{эл1}} - P_{\text{МГ1}}, \quad (5.21)$$

წარმოადგენს ელექტრომაგნიტურ სიმძლავრეს, რომელიც მაგნიტური ველის საშუალებით გადაეცემა სტატორიდან როტორს. ჩანაცვლების სქემაზე აღნიშნული სიმძლავრე შეესაბამება სიმძლავრეს აქტიურ წინაღობაში მეორად წრედში  $r'_2/s$ . ამიტომ

$$P_{\text{эм}} = m_1 I_2'^2 \frac{r'_2}{s} = m_2 I_2'^2 \frac{r_2}{s} \quad (5.22)$$

ნაწილი აღნიშნული სიმძლავრის იკარგება ელექტრული დანაკარგების სახით  $P_{\text{эл2}}$  აქტიურ წინაღობაში მეორადი გრაგნილის  $r'_2$

$$P_{\text{эл2}} = m_1 I_2'^2 r'_2 = m_2 I_2'^2 r_2 \quad (5.23)$$

სიმძლავრის დანარჩენი ნაწილი  $P_{\text{МХ}}$  გარდაიქმნება მექანიკურ სიმძლავრედ  $P_{\text{МХ}}$ , განვითარებულ როტორზე:

$$P_{\text{МХ}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{эл2}}, \quad (5.24)$$

(5.22) და (5.23) გამოსახულების გათვალისწინებით

$$P_{MX} = m_1 I_2'^2 r_2'^{\frac{1-s}{s}} = m_2 I_2^2 r_2^{\frac{1-s}{s}} \quad (5.25)$$

მექანიკური სიმძლავრის  $P_{MX}$  ნაწილი იკარგება მანქანის შიგნით მექანიკური დანაკარგების  $P_{MX}$  სახით (ვენტილაციაზე, საკისრების ხახუნზე და მუსებზე ფაზურ როტორიანი ძრავასათვის), მაგნიტური დანაკარგები როტორის გულარაში  $P_{MΓ2}$  და დამატებით დანაკარგები  $P_d$ . დამატებითი დანაკარგები ძირითადად გამოწვეულია მაგნიტური ველის მაღალი რიგის ჰარმონიკებით, რომლებიც წარმოიშვება გრაგნილების დამამაგნიტებელი ძალის მაღალი რიგის ჰარმონიკებით.

სასარგებლო მექანიკური სიმძლავრე ლილვზე, ან მეორადი სიმძლავრე,

$$P_2 = P_{MX} - P_{MX} - P_d \quad (5.26)$$

ასინქრონული ძრავას დანაკარგების ჯამი ტოლია

$$P_{\Sigma} = P_{\text{эл1}} + P_{MΓ} + P_{\text{эл2}} + P_{MX} + P_d$$

$$P_2 = P_1 - P_{\Sigma} \quad (5.27)$$

ძრავას მ.ქ.კ.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{P_{\Sigma}}{P_1} \quad (5.28)$$

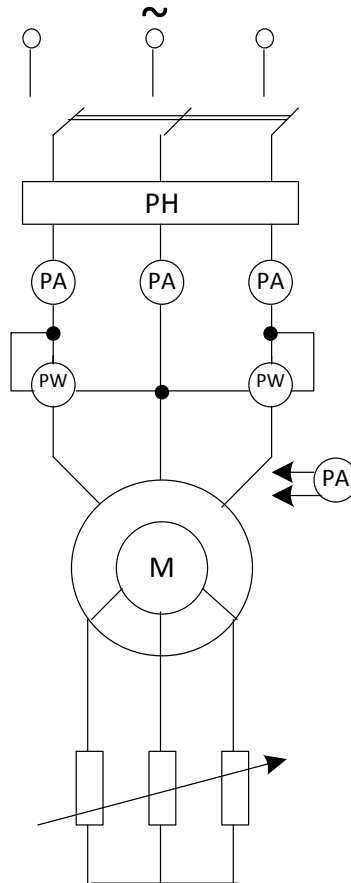
ძრავას მ.ქ.კ. სიმძლავრით  $P_H = 1 \div 1000$  კვტ ნომინალურ დატვირთვაზე იცვლება ფარგლებში  $\eta_H = 0,72 \div 0,95$ .

## 5.2. რეგულირებადი ასინქრონული ძრავას უქმი სვლის რეჟიმი

ასინქრონული ძრავასთვის უქმი სვლის რეჟიმი ეწოდება ისეთ რეჟიმს, როცა ლილვზე დატვირთვა არ გააჩნია ე.ი, ( $M_c = 0$  და  $P_2 = 0$ ) უქმი სვლის რეჟიმის სქემა ნაჩვენებია ნახ.5.4-ზე.

უქმი სვლის რეჟიმში სტატორის გრაგნილზე ძაბვა იცვლება  $(0,6 - 1,15)U_{1H}$  გამოცდის დროს ზომავენ უქმი სვლის აქტიურ სიმძლავრეს  $P_0$ , უქმი სვლის დენს  $I_0$  და  $U_1$  ძაბვას. გაზომილი სიდიდეებით პოულობენ  $\cos \varphi_0$ :

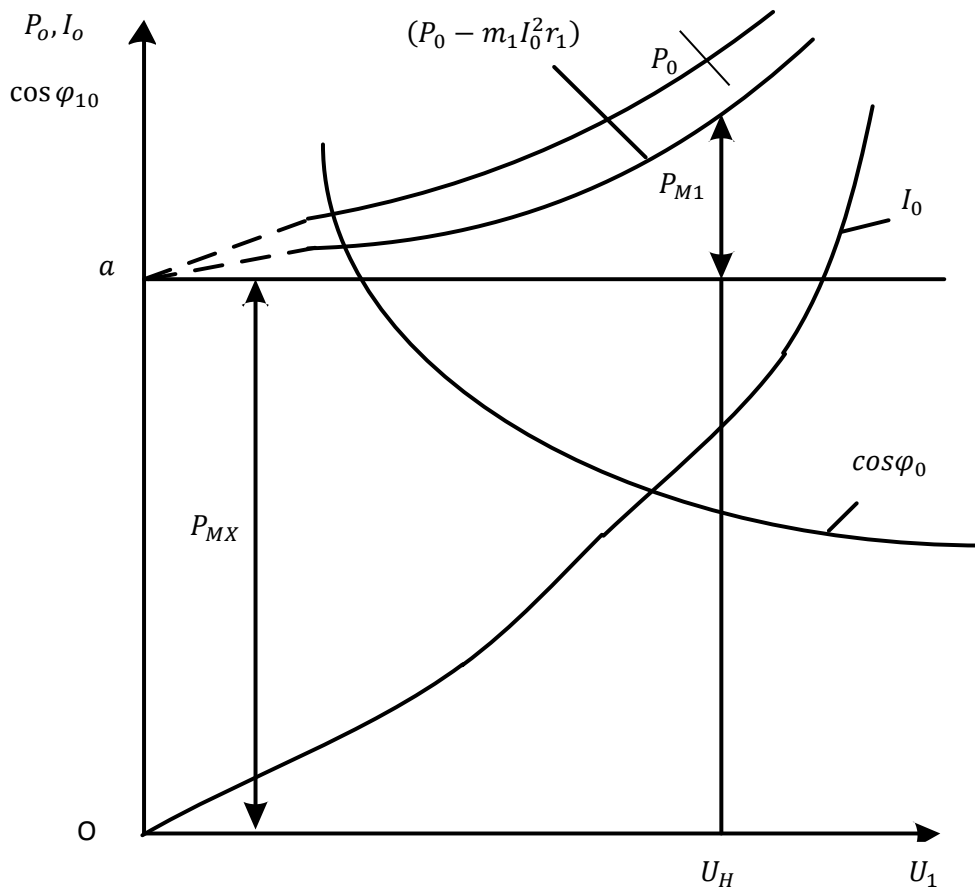
$$\cos \varphi_0 = P_0 / (m_1 U_1 I_0)$$



ნახ. 5.4. უქმი სვლის გამოცდის სქემა

დამოკიდებულებებს  $I_0, P_0, \cos \alpha_0 = f(U_1)$  ეწოდება უქმი სვლის მახასიათებლები. ისინი ნაჩვენებია ნახ.5.5.

ვინაიდან მანქანის ძირითადი მაგნიტური ნაკადი  $\Phi$  პროპორციულია  $U_1$ , მაშინ დამოკიდებულება  $I_0 = f(U_1)$  თავისი არსით წარმოადგენს მანქანის მაგნიტურ მახასიათებელს. მახასიათებლის არახაზოვნება გამოწვეულია მაგნიტური წრედის გაჟღენთვით, როცა  $U_1 = U_{1H}$  უქმი სვლის დენი  $I_0 \approx 0,25 \div 0,5I_1$  და  $\cos \varphi_0 = 0,05 \div 0,2$  (ფარდობითი მნიშვნელობა  $I_0$  მით მეტია, რაც მეტია მანქანის პოლუსების რიცხვი და მით ნაკლებია მისი სიმძლავრე).



ნახ. 5.5. უქმი სვლის მახასიათებლები

ძრავას მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე ქსელიდან  $P_0$  იხარჯება სტატორში მაგნიტურ დანაკარგებზე  $P_{M1}$ , მექანიკურ დანაკარგებზე  $P_{MX}$  და ელექტრულ დანაკარგებზე სტატორის გრაგნილებში  $m_1 I_0^2 r_1$ . თუ  $P_0$ -ს გამოვაკლებთ  $m_1 I_0^2 r_1$ , მაშინ მივიღებთ

$$P_0 - m_1 I_0^2 r_1 = P_{MX} + P_{M1}.$$

მექანიკური დანაკარგები დამოკიდებულია კუთხურ სიჩქარეზე. ვინაიდან უქმი სვლის რეჟიმის დროს შეიძლება მივიღოთ  $\omega = const$ , მაშინ  $P_{MX} = const$ .

მაგნიტური დანაკარგები პროპორციულია ნაკადის კვადრატის, შესაბამისად  $U_1$  ძაბვის კვადრატის. როცა  $U_1 = 0$ ,  $P_{M1} = 0$ . ეს იძლევა შესაძლებლობას ცალკე განვსაზღვროთ დანაკარგები  $P_{MX}$  და  $P_{M1}$ . ამ მიზნით მრუდს  $P_{MX} + P_{M1}$  აგრძელებენ ორდინატის ღერძის გადაკვეთამდე



და ღებულობენ  $O_a$  მონაკვეთს, რომელიც ტოლია მექანიკური დანაკარგების  $P_{MX}$  (ნახ.5.5). როცა  $U_1 \neq 0$ , მრუდიდან შეიძლება მივიღოთ მექანიკური  $P_{M1}$  დანაკარგები.

### 5.3. ასინქრონული ძრავას მოკლე შერთვის რეჟიმი

მოკლედ შერთვის რეჟიმის საშუალებით განისაზღვრება  $X_1$  და  $r_1$  წინაღობები. მოკლედ შერთვის რეჟიმი ეწოდება ისეთი რეჟიმს, როცა მანქანის როტორი დამუხრუჭებულია ( $\omega = 0$ ) ხოლო მეორადი გრაგნილი დამოკლებულია მოკლედ. იმისათვის, რომ თავიდან ავიცილოთ გრაგნილის დაუშვებელი გახურება, დიდი სიდიდის დენისაგან მოკლედ შერთვის რეჟიმის შედეგად, გამოცდას აწარმოებენ დაბალ ძაბვაზე, ისე რომ  $I_{1K} \leq (1 \div 1,2)I_{1H}$ . გამოცდის სქემა ანალოგიურია უქმი სვლის გამოცდის სქემისა (ნახ.5.4) სტატორის გრაგნილზე მოდებული  $U_{1K}$  ძაბვის ცვლილებით, ზომავენ მიწოდებულ სიმძლავრეს  $P_{1K, I_{1K}} \cos \varphi_{1K} = P_{1K}/m_1 U_{K1} I_{1K}$  დამოკიდებულებებს  $P_{1K}$ , და სტატორის  $I_{1K}$  დენს აღნიშნული სიდიდეებით განსაზღვრავენ  $\cos \varphi_{1K} = f(U_{1K})$  ეწოდება მოკლედ შერთვის მახასიათებლები, ისინი მოცემულია ნახ.5.6.

მოკლე შერთვის რეჟიმის შედეგად შეიძლება განისაზღვროს ჩანაცვლების სქემის  $Z_K, r_K, X_K$  წინაღობები.

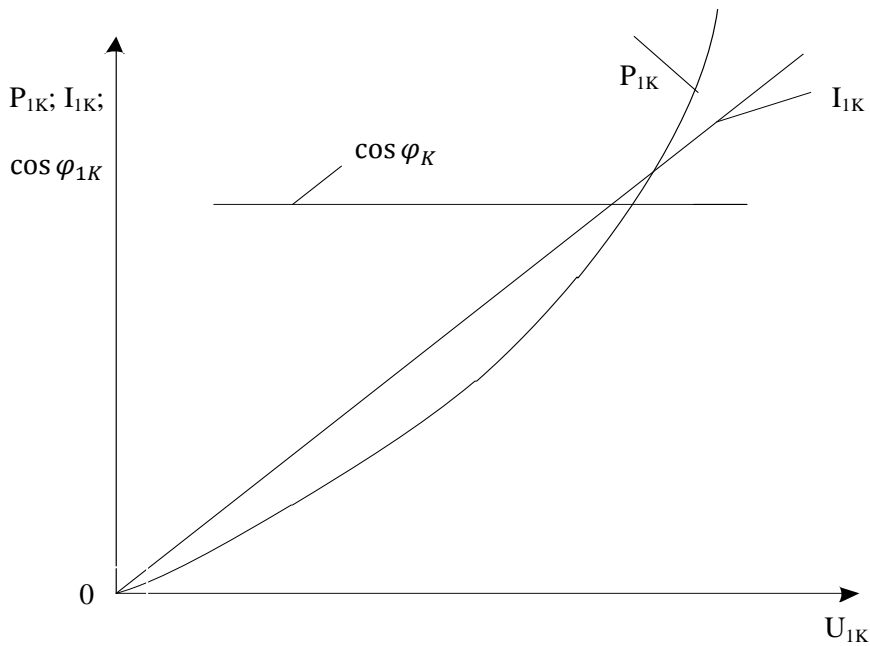
$$Z_K = U_{1K}/I_{1K}; r_K \approx P_K/(m_1 I_{1K}^2); X_K \approx \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$$

შეიძლება მივიღოთ, რომ

$$Z_1 \approx Z_2^1 \approx Z_K/2; r_1 \approx r_2^1 \approx r_K/2; X_1 \approx X_2^1 \approx X_K/2;$$

საერთო დანიშნულების სერიული ძრავებისათვის

$$I_{1K,H} \approx 4 \div 7 I_{1H}, \text{ ხოლო } \cos \varphi_{1K} = 0,08 \div 0,25$$



ნახ. 5.6. მოკლე შერთვის მახასიათებლები

#### 5.4. გამოცდის პროგრამა [28,29]

ასინქრონული ძრავებისათვის სახელმწიფო სტანდარტის ГОСТ7217-87 (მიღებულია საქართველოს მიერ 2001 წ.) მიხედვით გამოცდის პროგრამა ითვალისწინებს შემდეგ საკითხებს: გრაგნილების იზოლაციის განსაზღვრა (გამოცდა) მანქანის კორპუსის მიმართ და გრაგნილებს შორის; ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა (ფაზურ როტორიანი ძრავა); გრაგნილის იზოლაციის გამოცდა ელექტრულ სიმტკიცეზე მანქანის კორპუსის მიმართ და გრაგნილებს შორის; უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა; მოკლედ შერთვის დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა; მანქანის გამოცდა ამალღებულ ბრუნთა სიხშირეზე და გახურებაზე; მ.ე.კ. განსაზღვრა, სიმძლავრის კოეფიციენტის და სრიალის განსაზღვრა; დენის მიხედვით მოკლე დროით გადატვირთვაზე გამოცდა; მოკლედ ჩართული როტორიანი ძრავას საწყისი გამშვი დენის, საწყისი

მაბრუნე მომენტის, გამშვი მინიმალური მაბრუნე მომენტის, მაქსიმალური მაბრუნე მომენტის განსაზღვრა, ხმაურის დონისა და ვიბრაციის გაზომვა.

ასინქრონული ძრავების გამოცდის პროგრამა მიღება-ჩაბარების დროს განისაზღვრება პირველი შვიდი ჩამოთვლილი ოპერაციით.

### 5.5. ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის გამოიყენება სტატორის გრაგნილზე მოდებული გაზომილი ხაზური ძაბვა და უძრავი როტორის გახსნილი გრაგნილების რგოლებზე აღძრული ხაზური ძაბვა. დაბალი ძაბვის ელექტრული ძრავებისათვის (ნომინალური ძაბვით 660 ვ-ის ჩათვლით) სტატორის გრაგნილზე აწოდებენ ნომინალურ ხაზურ ძაბვას, ხოლო ელექტრულ ძრავებისათვის მაღალ ნომინალურ ძაბვაზე, დასაშვებია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა დადაბლებულ ძაბვაზე. ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის გამოთვლა ხორციელდება, როგორც სტატორის  $U_{\phi 1}$  და როტორის  $U_{\phi 2}$  ფაზური ძაბვების ფარდობა.

$$K_T = U_{\phi 1} / U_{\phi 2}$$

### 5.6. უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა

გამოცდა ხორციელდება უქმი სვლის რეჟიმში ელექტრული ძრავების ნაწილების დამყარებული თბური მდგომარეობის დროს. თუ შეუძლებელია დადგინდეს დამყარებული თბური მდგომარეობა საკისრების ტემპერატურის უშუალო გაზომვით, მაშინ ამის მიღწევა ხორციელდება ელექტრული ძრავას ბრუნვის გზით, დატვირთვის გარეშე ნომინალური ბრუნვის სიხშირის დროს, დროის შუალედში, რომელიც ნაჩვენებია 5.1 ცხრილში

ცხრილი 5.1.

მანქანის სიმძლავრე კვტ.(კვა.ა)	მანქანის ბრუნვის ხანგრძლივობა, წთ.	
	პერიოდული გამოცდის დროს გორვის საკისრები ან მიღება- ჩაბარების გამოცდის დროს სრიალის საკისრებით	მიღება-ჩაბარების გამოცდის დროს გორვის საკისრებით
1	10	5
1 . . . 10	30	15
10 . . . 100	60	30
100 . . . 1000	120	60
1000-ზე მეტი	240	120

უქმი სვლის გამოცდის დროს ზომავენ ხაზურ ძაბვას  $U_{0n}$  ფაზებს შორის, ქსელის სიხშირეს, სტატორის ხაზურ დენს თითოეულ ფაზაში და მოთხოვნილ სიმძლავრეს.

უქმი სვლის გამოცდა იწყება ძაბვით, რომელიც ტოლია ნომინალურის 130%. თუ ძრავა შესრულებულია გაქდენთილი მაგნიტური წრედით, მაშინ მოცემულ ძაბვაზე მკვეთრად იზრდება უქმი სვლის დენი. ამ შემთხვევაში დასაშვებია გამოცდა დაიწყოს ძაბვის მნიშვნელობიდან, რომელიც ტოლია ნომინალური 110%-ის. გამოცდის პროცესში, ჩვეულებრივ, აწარმოებენ 9-11 გაზომვას, ხაზური ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. უქმი სვლის დროს სტატორის გრაგნილში დანაკარგების სწორი განსაზღვრისათვის აუცილებელია უშუალოდ გამოცდის შემდეგ გაიზომოს სტატორის გრაგნილის წინაღობა.

უქმი სვლის სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_{0n} I_{0n})$$

უქმი სვლის გამოცდების შედეგად გამოსახვენ გრაფიკულ დამოკიდებულებას დანაკარგების  $P_0$ , ფაზური დენის  $I_0$  და სიმძლავრის კოეფიციენტის  $\cos \varphi_0$  ძაბვის მნიშვნელობასთან.

უქმი სვლის გამოცდის დროს დასაშვებია არა უმეტეს  $\pm 2\%$  გადახრა ქსელის სიხშირის ნომინალურისაგან, ხოლო გაზომვის შედეგები უნდა გადაანგარიშდეს ნომინალურ სიხშირეზე, ამისათვის გაზომილი ძაბვა გადაანგარიშდება სიხშირის ერთი ხარისხის პროპორციულად, ფოლადში დანაკარგები სიხშირის 1,5 ხარისხის პროპორციულად და მექანიკური დანაკარგები სიხშირის კვადრატის პროპორციულად.

მიღება-ჩაბარების გამოცდის დროს უქმი სვლის რეჟიმის შემთხვევაში დენსა და დანაკარგებს ზომავენ ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობის პირობებში.

### 5.7. მოკლე შერთვის რეჟიმში დენისა და დანაკარგების განსაზღვრა

მოკლე შერთვის რეჟიმში სტატორის გრაგნილებზე მოდებენ ძაბვას, როტორს ამუხრუჭებენ, ხოლო ფაზური როტორის შემთხვევაში გრაგნილებს ამოკლებენ რგოლებზე მოკლედ. სტატორის გრაგნილებზე მოდებული ძაბვა უნდა იყოს პრაქტიკულად სიმეტრიული და ნომინალური სიხშირის.

გამოცდის პროცესში ერთდროულად ზომავენ მოდებულ ძაბვას, სტატორის დენს (მოკლედ შერთვის ხაზურ დენს  $I_K$ ), მოთხოვნილი სიმძლავრეს  $P_K$  (კვტ), საწყის გამშვი მომენტს (მცირე და საშუალო სიმძლავრის ელექტროძრავებისათვის), ხოლო უშუალოდ გამოცდის შემდეგ განსაზღვრავენ წინაღობას  $r_{1K}$  სტატორის გრაგნილის გამომყვანებს შორის. საწყის გამშვი მომენტს  $M_{II} = M_K(\text{ნ.მ})$  ზომავენ გამოცდის დროს დინამომეტრით. დიდი სიმძლავრის ელექტროძრავებისათვის კი მას განსაზღვრავენ ანგარიშით გაზომილი მოკლე შერთვის დანაკარგების  $P_K$  მიხედვით (რიცხოვრივად ტოლია სიმძლავრის, მოთხოვნილი გამოცდის დროს):

$$M_K = 0,9 \cdot 9550 P_{KM2} / n_c,$$

სადაც  $P_{KM2}$  არის როტორის გრაგნილში დანაკარგები მოკლედ შერთვის გამოცდის დროს, კვტ; 0,9 - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მაღალ ჰარმონიკებს.

მოკლე შერთვის გამოცდის დროს როტორის გრაგნილში დანაკარგები (კვტ).

$$P_{KM2} = P_K - P_{KM1} - P_c,$$

სადაც

$P_{KM1}$  არის მოკლე შერთვის გამოცდის დროს სტატორის გრაგნილში დანაკარგები, (კვტ);  $P_c$  - ფოლადში დანაკარგები, განსაზღვრული უქმი სვლის რეჟიმიდან, კვტ.

მოკლედ შერთვის რეჟიმის დროს სტატორის გრაგნილში დანაკარგები

$$P_{KM1} = I_K^2 r_{1K} / 1000$$

დამოკიდებულებების მიღებისათვის, როგორცაა მოთხოვნილი სიმძლავრის  $P_K$ , დენის  $I_K$ , სიმძლავრის კოეფიციენტის  $\cos \varphi_K$  და საწყისი გამშვი მომენტის  $M_K$  ძრავაზე მოდებული  $U_K$  ძაბვისგან მოკლედ შერთვის რეჟიმში, ატარებენ 5 .. 7 ანათვლებს სხვადასხვა ძაბვის მნიშვნელობებზე.

მიღება-ჩაბარების გამოცდების პროცესში დენის და დანაკარგების მოკლედ შერთვის რეჟიმში ზომავენ მოკლედ შერთვის ძაბვის ერთ მნიშვნელობაზე.

$$U_K \approx U_H / 3,8$$

სადაც  $U_H$  ძრავას ნომინალური ძაბვა.

მოკლე შერთვის რეჟიმის ჩატარების დროს პირველი ანათვალი რეკომენდირებულია ჩავატაროთ შემდეგი შერთვის ძაბვის მნიშვნელობის დამოკიდებულებით  $U_H$  -ისაგან:

$U_H$	3	127	220	380	440	500	660	3000	6000	10000
$U_K$	3	33	58	100	115	130	173	800	1600	2640

მეორე ანათვალი  $(1 \pm 0,1)U_H$  ძაბვის დროს (მცირე და საშუალო სიმძლავრის ელექტროძრავებისათვის);

დიდი სიმძლავრის ელექტრული ძრავების გამოცდის დროს ნომინალური ძაბვის მიწოდება შეუძლებელია, დიდი გამშვი დენის გამო,

ამიტომ ძაბვა უნდა იყოს დაბალი, მაგრამ არანაკლები  $0,4U_H$  - ის. საჭირო ძაბვას  $U_K$  აწოდებენ დაწყებული მინიმალური მნიშვნელობიდან. თავიდან რომ ავიცილოთ გრაგნილის გახურება მოკლე შერთვის დენით, ძაბვის მიწოდებას ახორციელებენ არა უმეტეს 10წმ-ის განმავლობაში, ხოლო ათვლის შემდეგ ძრავას სწრაფად გამორთავენ.

ფაზურ როტორიანი ძრავებისათვის მოკლე შერთვის დენი უნდა იყოს არანაკლები 2,5-ჯერადი ნომინალურის, რათა სწორად შევაფასოდ გაჟღენთვა განბნევის ნაკადების გზის, ძრავების გამოცდის დროს, როცა სიმძლავრე 1000 კვტ-ზე მეტია, მოკლედ შერთვის დენი უნდა იყოს არანაკლები ნომინალურის ორჯერადი.

მოკლე შერთვის გამოცდის მონაცემების მიხედვით განსაზღვრავენ სიმძლავრის კოეფიციენტს

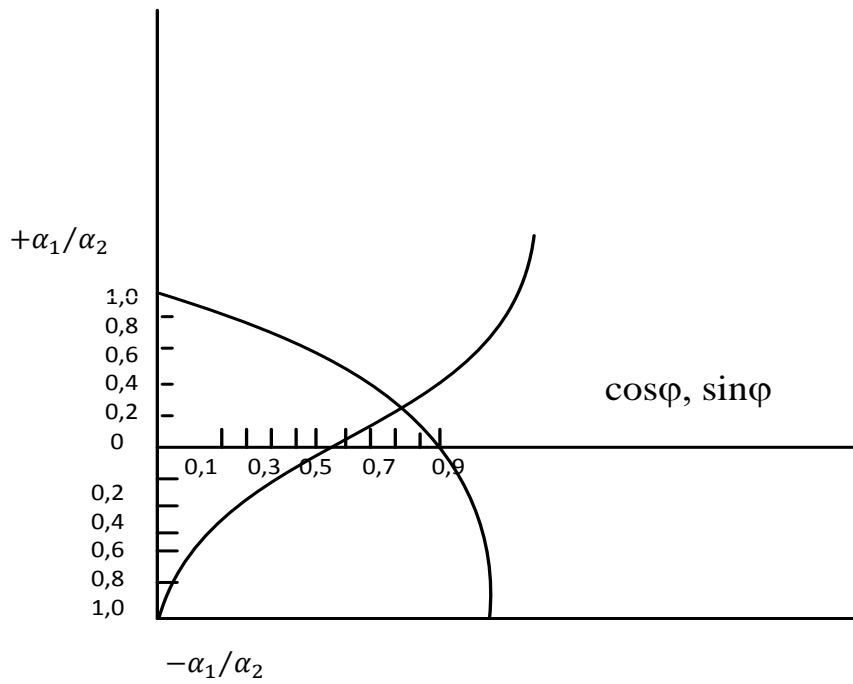
$$\cos \varphi_K = P_K / (\sqrt{3} U_K I_K)$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი შეიძლება ვიპოვოთ ორი ვატმეტრის ჩვენების ფარდობით ( $\alpha_1/\alpha_2$ ), ნახ.5.7-ის გამოყენებით. ამისათვის ორდინატის ღერძზე გადაზომავენ მიღებულ მნიშვნელობას ორი ვატმეტრის ჩვენების ფარდობას ( $\alpha_1$  და  $\alpha_2$  -ვატმეტრის სკალის ჩვენება) ნიშნის გათვალისწინებით, ამისათვის ატარებენ აღნიშნული მნიშვნელობისათვის ჰორიზონტალურ სწორ ხაზს  $\cos \alpha$  ( $\sin \alpha$ ) ხაზის გადაკვეთამდე. აბსცისის ღერძის სკალის მიხედვით განსაზღვრავენ საძიებელ  $\cos \alpha$  – ს (ან  $\sin \alpha$  –ს).

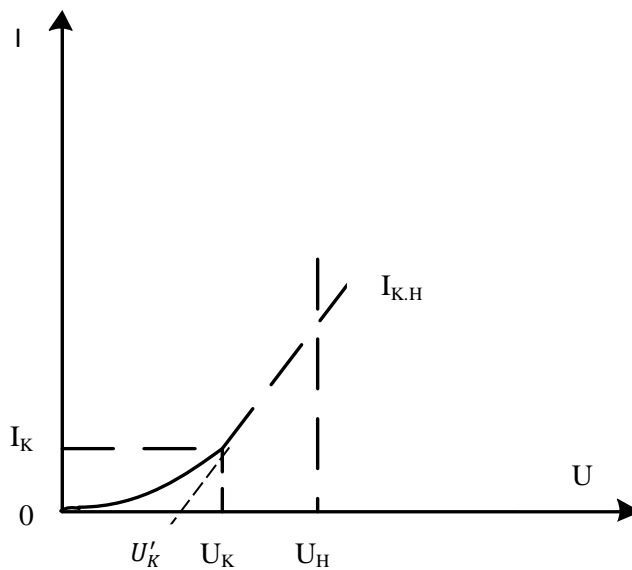
გრაფიკული გამოსახულებისათვის, მოკლედ შერთვის გამოცდის შედეგებს გადაზომავენ ძაბვის ფუნქციისაგან შემდეგ სიდიდეებს:

მოკლე შერთვის დენი  $I_K$ , მოკლე შერთვის დანაკარგები  $P_K$ , სიმძლავრის კოეფიციენტი  $\cos \varphi_K$  და მაბრუნე მომენტი მოკლედ შერთვისა  $M_K$ .

თუ მოკლე შერთვის გამოცდა ჩატარდა დადაბლებულ ძაბვაზე, მაშინ დენისა და მაბრუნე მომენტის განსაზღვრისას, შესაბამის ნომინალურ ძაბვაზე, შემოაქვთ შესწორება გაჟღენთვაზე განბნევის ნაკადების გზის, აგებული დამოკიდებულებით მოკლედ შერთვის დენის ძაბვისაგან (ნახ. 5.8).



ნახ. 5.7. სიმპლავრის კოეფიციენტის განსაზღვრა ორი ვატმეტრის ჩვენების ფარდობით



ნახ.5.8. მოკლე შერთვის გამოცდის დროს გაჟღენთვის გათვალისწინება

დენის ზრდას ძაბვისაგან მიიღებენ მხების გავლის მიხედვით; განსაზღვრავენ მხების გადაკვეთის წერტილს აბსცისის ღერძთან  $U'_K$ . მაშინ



მოკლედ შერთვის დენს ნომინალური ძაბვის დროს  $I_{K.H}$ , რომელსაც ეწოდება საწყისი გამშვი დენი, პოულობენ შემდეგი გამოსახულებით

$$I_{K.H} = (U_K - U'_K)I_K / (U_K - U'_K),$$

სადაც  $I_K, U_K$  არის შესაბამისად გაზრდილი დენი, ა და ძაბვა, ვ, გაზომილი გამოცდის პროცესში;  $U_H$  - ნომინალური ძაბვა, ვ.

მაბრუნე მომენტის მოკლედ შერთვის დროს, ნომინალური ძაბვის შემთხვევაში, ეწოდება საწყისი გამშვი მაბრუნე მომენტი  $M_{K.H}$ , რომელიც განისაზღვრება გამოსახულებით

$$M_{K.H} = (I_{K.H} / I_K)^2 M_K,$$

სადაც  $M_K$  არის მაბრუნე მომენტი, მომატებულ ძაბვაზე მოკლედ შერთვის გამოცდის დროს გაზომილი.

### 5.8. მუშა მახასიათებლებით მ.ქ.კ.-ის, სიმძლავრის კოეფიციენტისა და სრიალის განსაზღვრა

მუშა მახასიათებლები, ე.ი. დამოკიდებულება მოთხოვნილ სიმძლავრესა, დენის, სრიალის, მ.ქ.კ. და სიმძლავრის კოეფიციენტის სასარგებლო სიმძლავრისაგან აიგება უცვლელი და ნომინალური მოდებული ძაბვისა და სიხშირის დროს, ცვალებად დატვირთვაზე.

გამოცდის პროცესში ზომავენ ხაზურ ძაბვას  $U_H$  და დენს  $I$ . მოთხოვნილი სიმძლავრე  $P_1$  და სრიალი  $S$  ძრავასი განისაზღვრება გაზომვით. გაზომვის შედეგების მიხედვით განისაზღვრება სიმძლავრის კოეფიციენტები.

ელექტრული ძრავას მ.ქ.კ. განისაზღვრება ცნობილი მეთოდის მიხედვით, ასინქრონული ძრავას ჯამური დანაკარგებით

$$P_{\Sigma} = P_{M1} + P_{M2} + P_c + P_{Mex.} + P_d,$$

სადაც  $P_{M1}, P_{M2}, P_c, P_{Mex.}, P_d$ , არის დანაკარგები შესაბამისად სტატორისა და როტორის გრაგნილსა და ფოლადში მექანიკური და დამატებითი დანაკარგები.

თუ მუშა მახასიათებლების აგება არაა შესაძლებელი ნომინალურ დაბვაზე, მაშინ მას განსაზღვრავენ დაბვის დროს

$$0,5U_H \leq U_r \leq 1,15U_H$$

მიღებული გამოცდის შედეგები ამ შემთხვევაში შეიძლება მივიყვანოთ ნომინალურ დაბვაზე შემდეგი ფორმულით:

$$S = S_r; P_1 = P_{1r}(U_H/U_r)^2 ;$$

$$I = I_r(U_H/U_r) + \Delta I_0;$$

$$\Delta I_0 = I_0 \sin \varphi_0 - I_{or}(U_H/U_r) \sin \varphi_{or},$$

სადაც  $S_r$ ,  $P_{1r}$ ,  $I_{or}$ ,  $\varphi_{or}$  არის შესაბამისად სრიალი, მოთხოვნილი სიმძლავრე, უქმი სვლის დენი და კუთხე დაბვისა და დენის ვექტორებს შორის, გაზომილი უქმ სვლასა და  $U_r$  დაბვაზე;

$S_1$ ,  $P_1$ ,  $I$ ,  $I_0$ ,  $\sin \varphi_0$  – ანალოგიური სიდიდეები ნომინალურ დაბვაზე. დენის მნიშვნელობა ნომინალურ დაბვაზე

$$I = \sqrt{I_r^2(U_H/U_r)^2 + 2I_r(U_H/U_r)\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_r} \Delta I_0 + \Delta I_0^2}$$

## 5.9. მინიმალური და მაქსიმალური მაბრუნე მომენტების განსაზღვრა

### • მაქსიმალური მაბრუნე მომენტის განსაზღვრა

მაქსიმალური მაბრუნე მომენტი – ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელია ასინქრონული მანქანის, რადგან მაქსიმალური მაბრუნე მომენტის ჯერადობა და ელექტროძრავების ნაწილების ტემპერატურის გადაჭარბება ზღუდავს ძრავას სიმძლავრის ამალღების შესაძლებლობას მოცემულ ზომებში. ამიტომ მაქსიმალური მაბრუნე მომენტის სიდიდის განსაზღვრა მიზანშეწონილია მაღალი სიზუსტით.

მაქსიმალურ მაბრუნე მომენტს განსაზღვრავენ შემდეგი ხერხებით: მაბრუნე მომენტის მრუდის განსაზღვრით გაშვების დროს; უშუალო გაზომვით მაბრუნე მომენტის ელექტროძრავას დატვირთვაზე; მაბრუნე

მომენტის გამოთვლა ლილვზე სიმძლავრისა და ბრუნთა სიხშირის მიხედვით.

- **მაბრუნე მომენტის მრუდის განსაზღვრა გაშვების დროს.**

აღნიშნული ხერხი გამოიყენება დიდი სიმძლავრის ელექტროძრავებისათვის, როდესაც გამოსაცდელი ძრავას დატვირთვა დამტვირთი მანქანით შეუძლებელია. მაბრუნე მომენტის მრუდის განსაზღვრისათვის გამოსაცდელ ძრავას უშვებენ უქმ სვლაზე, ხოლო გაშვების პროცესი ჩაიწერება ოსცილოგრამის დახმარებით ან სხვა თვითჩამწერით. აღნიშნული გამოცდის ჩატარების ძირითადი სირთულე, მდგომარეობს ელექტროძრავას გაშვების პერიოდში მოკლე დროით. გამშვი პერიოდის გაზრდისათვის ზრდიან გამოსაცდელი ძრავას ინერციის მომენტს, მასთან სხვა ელექტრული ძრავას შეერთებით ან ძრავაზე მოდებული ძაბვის შემცირებით, მხოლოდ არანაკლები ნომინალურის 0,5-ისა.

- **მინიმალური მაბრუნე მომენტის განსაზღვრა**

მინიმალური მაბრუნე მომენტის განსაზღვრას ასინქრონული ძრავასათვის აქვს დიდი მნიშვნელობა, რადგან დასაშვებზე ქვემოთ მისი შემცირება გამოიწვევს ძრავას გაჩერებას და მოკლედ შერთვის რეჟიმის წარმოქმნას.

მინიმალურ მაბრუნე მომენტს განსაზღვრავენ შემდეგი მეთოდით: გაშვების პროცესში (იღებენ მარეგისტრირებელი ხელსაწყოთი) მაბრუნე მომენტის მრუდს;

**5.10. ძრავების მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით, ნომინალური მაჩვენებლების შესაბამისობის განსაზღვრა სტანდარტულ მოთხოვნებთან**

- **საწყისი მონაცემები:**

ასინქრონული ძრავების ნომინალური მაჩვენებლები, რომლის მნიშვნელობები დადგენილია სახელმწიფო სტანდარტის ან ტექნიკური

პირობებით, შემდეგია: მ.ქ.კ.  $\eta$ , სიმძლავრის კოეფიციენტი  $\cos \varphi$ , მაქსიმალური მომენტი  $M_M$ , ხოლო მოკლე ჩართული როტორიანი ასინქრონული ძრავასათვის, გარდა ამისა საწყისი ამუშავების მომენტისა  $M_{II}$  და საწყისი ამუშავების დენის  $I_{II}$ . აღნიშნულ მაჩვენებლებს განსაზღვრავენ მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით. აღნიშნოთ პარამეტრები მიღება-ჩაბარების გამოცდების მიხედვით: უქმი სვლის დენი და დანაკარგები ნომინალური ძაბვის დროს არის  $I_o, P_o$  მოკლედ შერთვის დენი და დანაკარგები მოკლედ შერთვის ძაბვის დროს -  $U_K - I_K, P_K$ . უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის გამოცდების მონაცემებს იყენებენ წრიული დიაგრამის ასაგებად, რომლის მიხედვით განისაზღვრება ნომინალური მაჩვენებლები.

ფუნქციონალური კავშირი ნომინალურ მაჩვენებლებთან და მიღება-ჩაბარების გამოცდის შედეგებთან შეიძლება გამოისახოს მიახლოებით (იმ სიზუსტით, რა სიზუსტითაც იგება წრიული დიაგრამა). ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ წრიულ დიაგრამას ამახინჯებს შემდეგი ფაქტორები: ამუშავების დროს როტორის გრაგნილებიდან დენის გამოდევნა; ელექტროძრავას ამუშავების დროს მბრუნე მომენტის შესაბამისი დენის განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვა; ფერომაგნიტური გულარას დამაგნიტების არახაზოვანი მახასიათებლები.

განსახილველი თანაფარდობის მიახლოებითი განსაზღვრა სავსებით მისაღებია, თუ აუცილებელია განისაზღვროს დასაშვები სიდიდეების არე, მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებისათვის ნომინალური მაჩვენებლების მნიშვნელობის დროს. განვიხილოთ რა კავშირში იმყოფება ნომინალური მაჩვენებლები მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებთან.

საწყისი გამშვი დენი  $I_{II}$  შეიძლება მიღებული იქნეს გაზომილი მოკლედ შერთვის  $I_K$  დენისაგან.

საწყისი გამშვი მომენტი  $M_{II}$  განისაზღვრება ძირითადად დანაკარგებით  $P_K$  და  $I_K$  დენით.

ელექტროძრავა მ.ე.კ. წარმოადგენს დანაკარგების ფუნქციას, რომელიც განისაზღვრება ძირითადად უქმი სვლისა  $P_0$  და მოკლედ შერთვის  $P_K$  დანაკარგებით.

სიმძლავრის კოეფიციენტი  $\cos \varphi$  და მაქსიმალური მომენტი არის ფუნქცია მიღება-ჩაბარების გამოცდების ყველა პარამეტრების  $I_0, I_K, P_0, P_K$ . ამოცანის გადაწყვეტისათვის შეიძლება მივიღოთ  $\cos \varphi_K = \text{const}$ , როცა  $P_K$  იცვლება  $I_K$ -ს პროპორციულად. ასეთი დაშვება, როგორც ექსპერიმენტი აჩვენებს, ახლოსაა რეალობასთან და მცირე გავლენას ახდენს მიღებული შედეგების სიზუსტეზე.

ამგვარად, ნომინალურ მაჩვენებლებსა და მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებს შორის დამოკიდებულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ

$$I_{\Pi} = f(I_K); M_{\Pi} = \varphi(I_K, P_K); \eta = F(P_0, P_K);$$

$$\cos \varphi \text{ და } M_M \approx \phi(I_0, I_K)$$

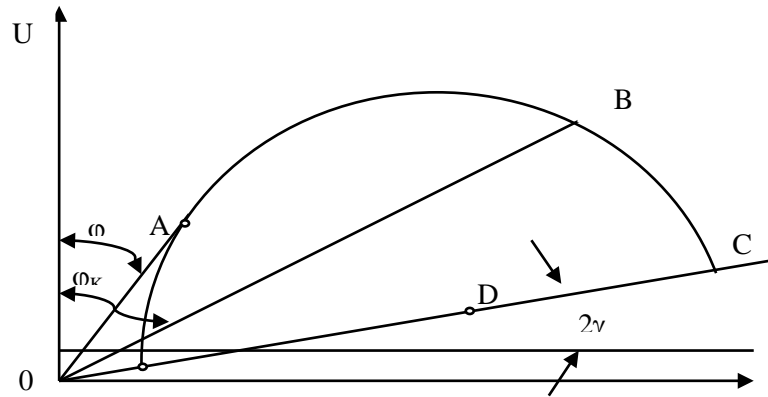
კოორდინატებში  $I_0 - I_K; P_0 - P_K; I_K - P_K$  ავსაგოთ დასაშვები სიდიდეების არეში, ელექტროძრავას ნომინალური მაჩვენებლები.

### 5.11. მოკლე შერთვისა და უქმი სვლის დენისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა

$I_0 - I_K$  ზონის საზღვრები განისაზღვრება მინიმალური დასაშვები მნიშვნელობებით  $\cos \varphi$ ,  $M_M$  და მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობით  $I_{\Pi}$ .

ფუნქციონალური კავშირის დამყარებისათვის  $\cos \varphi = \phi(I_0, I_K)$ ,  $M_M = \phi(I_0, I_K)$  განვიხილოთ წრიული დიაგრამა (ნახ.5.9) ძრავას მუშა რეჟიმისათვის. მოხერხებულობისათვის კოორდინატთა სისტემა მოვაბრუნოთ  $2\gamma$  კუთხით, საათის ისრის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ. მაშინ

წრიული დიაგრამას ახალ კოორდინატა სისტემაში ექნება შემდეგი სახე (ნახ.5.10).



ნახ. 5.9. ასინქრონული ძრავას წრიული დიაგრამა დენის გამოდევნისა და გაჟღენთვის მოვლენის გათვალისწინების გარეშე

წრიულ დიაგრამაზე უქმი სვლის დენს  $I_0$  შეესაბამება მონაკვეთი, მოკლედ შერთვის დენს  $I_{II} - OB$ , ნომინალურ დენს  $I - OA$ , მანძილი კოორდინატა სისტემის საწყისიდან წრიული დიაგრამის ცენტრამდე  $C-OC$  წრიული დიაგრამის რადიუსი  $R-FD$ . ყველა ჩამოთვლილი სიდიდეები გამოსახულია დენის მასშტაბში, ამიტომ მოხერხებულია თანაფარდობის განსაზღვრისათვის მაქსიმალური მომენტის სიდიდესა და წრიული დიაგრამის რადიუსს შორის პირობითად გამოვსახოთ მაქსიმალური მომენტი  $M_M$ , რომელსაც შეესაბამება  $KF$  მონაკვეთი.  $\alpha$  -მომენტის ხაზის დახრის კუთხე.



თუ მხედველობაში არ მივიღებთ  $P_0$  სიდიდეს  $I_A$  და  $I_{IIA}$  სიდიდეებთან შედარებით, მაშინ შეიძლება დავამყაროთ მიახლოებითი კავშირი  $I_{II} = f(R, C)$ ;

$$I_{II} = c \sin \varphi'_K + \sqrt{R^2 - C^2 \cos^2 \varphi'_K} \quad (5.35)$$

$$I_{II} = c \sin \varphi'_K + \sqrt{R^2 - C^2 \cos^2 \varphi'_K} \quad (5.35)$$

A და B წერტილებიდან თანაბრად დაშორებულ წერტილისათვის შევადგინოთ განტოლება:

$$\sqrt{(X - I_R)^2 + (Y - I_A)^2} = \sqrt{(X - I_{II R})^2 + (Y - I_{II A})^2}$$

გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ

$$I_{II}^2 - I_1^2 - 2(I_{II R} - I_R)X - 2(I_{II A} - I_A)Y = 0 \quad (5.36)$$

როცა, ვიპოვით წრიული დიაგრამის აბსცისის ცენტრს  $X_c = C$

$$C = 0,5(I_{II}^2 - I_1^2)/(I_{II R} - I_R) \quad (5.37)$$

განვსაზღვროთ:

$$R = f(I_1, C); \quad (5.38)$$

$$AC^2 = (O'C - O'G)^2 + AG^2 \quad (5.39)$$

მივიღოთ, რომ  $AG \approx AH = I_A$ , მივიღებთ

$$R^2 = (C - I_R)^2 + I_A^2 \quad (5.40)$$

მიღებული დამოკიდებულებები საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ზონის საზღვრები  $I_0 - I_K$  დასაშვები მნიშვნელობებისათვის  $I_{II}$ ,  $\cos \varphi$ ,  $M_M$ .

პირველ რიგში განვსაზღვროთ ეს საზღვრები გამარტივებული წრიული დიაგრამის მიხედვით.

მაქსიმალური დასაშვები გამშვი დენის  $I_{II d}$  ზღვარი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

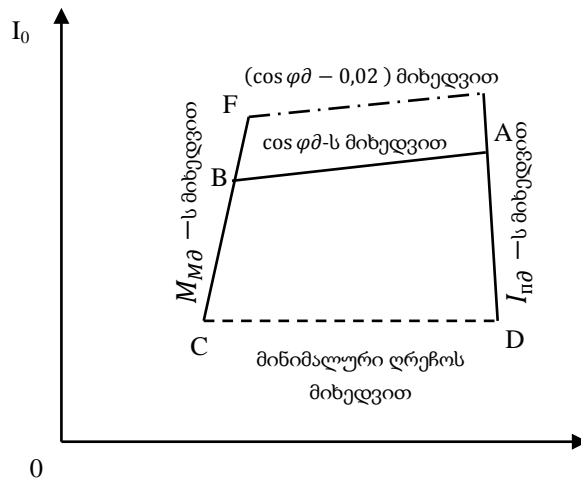
$$I_{K d} = I_{II d} U_K / U_{II} \quad (5.41)$$

სადაც  $I_{K d}$  არის მოკლედ შერთვის დენის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა;

$U_{II}$ -ძრავას ნომინალური ხაზური ძაბვა;  $U_K$  - მოკლედ შერთვის ძაბვა, რომლის მნიშვნელობის დროს იზომება  $I_K$  დენი.



მიღებული მოკლედ შერთვის დენის მნიშვნელობის მიხედვით  $I_{K,დ}$  კოორდინატებში  $I_0 - I_K$  შეიძლება გავატაროთ ზღვარი  $I_0 - I_K$  ზონის მაქსიმალური დასაშვები გამშვი დენის მიხედვით (ხაზი ED ნახ.5.11) შემდეგში ნაჩვენები იქნება, როგორ გავითვალისწინოთ გაქლენთვა  $I_{K,დ}$  სიდიდეზე.



ნახ. 5.11.  $I_0 - I_K$  ცვლილებების დასაშვები ზონა

განვსაზღვროთ ზონის საზღვარი სიმძლავრის კოეფიციენტის  $\cos \varphi_{დ}$  მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობისათვის. ეს მნიშვნელობა განისაზღვრება ГОСТ183-74-ის მიხედვით სიმძლავრის კოეფიციენტის შესახებ. განვსაზღვროთ მაქსიმალური დასაშვები მუშა დენი  $I_{1M}$ ,  $\cos \varphi_{დ}$  და მინიმალური მ.ქ.კ. მნიშვნელობის დროს.

$$I_{1M} = P / (3U\eta_H \cos \varphi_{დ}) \quad (5.42)$$

საზღვარი  $I_0 - I_K$  ზონაში,  $\cos \varphi_{დ}$ -ს მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს, თუ ვიპოვით თანაფადრობას  $I_0$  და  $I_K$  შორის, როცა  $I_1 = I_{1M}$  და  $\cos \varphi = \cos \varphi_{დ}$ . ამისათვის უნდა მიეწოდოს  $I_K$  დენის რიგი მნიშვნელობები და ვიპოვოთ შესაბამისი მნიშვნელობები  $I_0$  გამოვიყენოთ ფორმულები (5.34), (5.37) და (5.40).

დავუშვათ  $I_K = I_{K,დ}$ . მანძილი  $C_1$ -დან წრიული დიაგრამის ცენტრამდე, გავლილი  $I_{п,დ}$  და  $I_{1M}$  ვექტორების ბოლოების გავლით, განისაზღვრება (5.37) როცა  $I_{п} = I_{п,დ}$ ;  $I_1 = I_{1M}$ ;  $\varphi' = \varphi_{დ}$

$$C_1 = 0,5(I_{\pi, \Delta}^2 - I_{1M}^2)/(I_{\pi, \Delta} \sin \varphi' - I_{1M} \sin \varphi') \quad (5.43)$$

(5.40) ფორმულის მიხედვით – წრის რადიუსი  $R_1$

$$R_1 = \sqrt{(C_1 - I_{1M} \sin \varphi')^2 + I_{1M}^2 \cos^2 \varphi'} \quad (5.44)$$

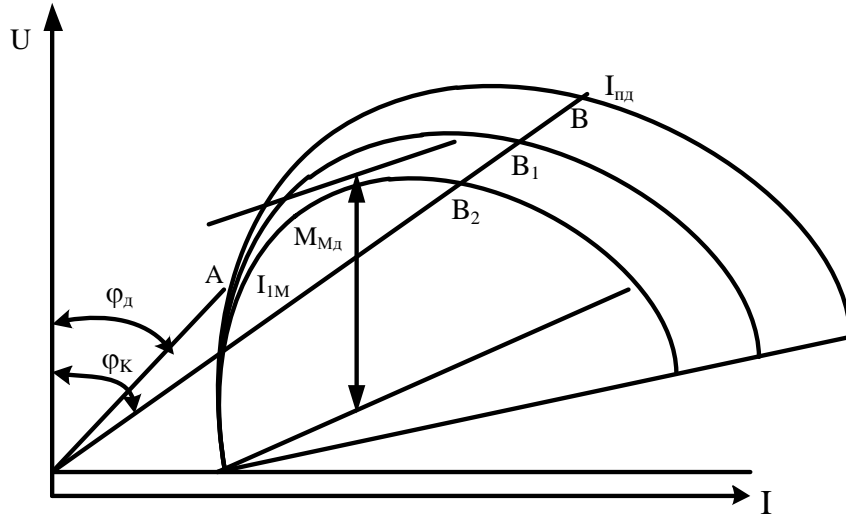
(5.34)-ის მიხედვით გამოითვლება უქმი სვლის დენი  $I_{01}$ , რომელსაც შეესაბამება  $I_{K, \Delta}$ :

$$I_{01} = C_1 - R_1 \quad (5.45)$$

მოძებნილი წერტილი კოორდინატებით  $(I_{K, \Delta}, I_{01})$  წარმოადგენს სიდიდეების არეს საზღვრების გადაკვეთის წერტილს (წერტილი A ნახ.5.11). ( $I_o - I_K$  არე  $I_{\pi, \Delta}$ -ს და  $\cos \varphi_{\Delta}$ -ს მიხედვით).

$\cos \varphi_{\Delta}$ -ს მიხედვით არეს სხვა წერტილების მიღებისათვის შეიძლება მიეწოდოს რიგი  $I_K$  მნიშვნელობა (ნაკლები  $I_{K, \Delta}$ ) და განისაზღვროს შესაბამისი  $I_o$  მნიშვნელობა წრიული დიაგრამისათვის, გავლილი  $I_{1M}$  დენის ვექტორის ბოლოში (ნახ.4.12), მეორე მხრივ, შევამციროთ  $I_K$  დენის მნიშვნელობა წრისათვის, გამავალი A წერტილში, განსაზღვრულ ზღვრამდე, რომელიც ადგენს მაქსიმალური მომენტის მინიმალურ დასაშვებ სიდიდეს.

განვსაზღვროთ ეს ბოლო წერტილი  $\cos \varphi_{\Delta}$ -ს არეს მიხედვით, რომელიც წარმოადგენს, აგრეთვე, წერტილს არეს გადაკვეთისა  $\cos \varphi_{\Delta}$  და  $M_{M, \Delta}$ -ს მიხედვით. ვინაიდან საძიებელი წერტილი იმყოფება ზღვარზე  $M_{M, \Delta}$ -ს მიხედვით, მაშინ (5.31)-ის მიხედვით პოულობენ მოცემული ელექტროძრავისათვის წრიული დიაგრამის მინიმალურ დასაშვებ  $R_{M, \Delta}$  რადიუსს, როცა მაქსიმალური მომენტის  $M_{M, \Delta}^A$  უმცირესი დასაშვები სიდიდე, პირობითად გამოსახულია დენის მასშტაბში.



ნახ. 5.12.  $I_o$  და  $I_K$  შორის თანაფარდობის განსაზღვრა, გამომდინარე  $\cos \varphi_d$  დან

მანძილი  $C_2$  წრიული დიაგრამის ცენტრამდე,  $R_{\text{მინ}}$  რადიუსით და გამავალი A და B<sub>2</sub> წერტილებში (ნახ.5.12), განისაზღვრება (5.40)

(5.34), (5.35) გამოყენებით შესაბამის  $I_{o2}$  და  $I_{K2}$  მნიშვნელობებით, რომლის კოორდინატები განისაზღვრება წერტილით ზღვარის გადაკვეთით  $\cos \varphi_d$  და  $M_{M,д}$ -ს მიხედვით  $I_o - I_K$  არეში (წერტილი B) ნახ.5.11).

ამგვარად, განსაზღვრულია საძიებო ზღვარის ორი წერტილი  $\cos \varphi_d$  მიხედვით.

(5.34, (5.35), (5.37 და (5.40) ფორმულებიდან ჩანს, რომ ზღვარი  $\cos \varphi_d$  -ს მიხედვით არახაზოვანია, ამიტომ აუცილებელია კიდევ ერთი წერტილის საძიებო ზღვარის პოვნა. ამისათვის უნდა მიეწოდოს მნიშვნელობა  $I_{K3} (I_{K2} < I_{K3} < I_{K,д})$  და ფორმულების (5.43), (5.44) და (5.45) გამოყენებით, “1” ინდექსის შეცვლით “3”-ით, C R და  $I_o$  შემთხვევაში ვიპოვოთ  $I_{o3}$ .

სამი ნაპოვნი წერტილით, პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით, კოორდინატებში  $I_o - I_K$  შეიძლება აიგოს ზღვარი  $\cos \varphi_d$  -ს მიხედვით (ხაზი AB ნახ.5.11).

სტანდარტი ГОСТ183-74 იძლევა საშუალებას გვექონდეს  $\cos \varphi$  მნიშვნელობა 0,02-ზე ქვემოთ დასაშვები  $\cos \varphi_d$ , თუ

$$(\cos \varphi_d - 0,02)\eta \geq \cos \varphi_d \eta_d \quad (5.46)$$

(5.46)-ის გათვალისწინებით, ვადგენთ დამატებით ზღვარს ზონაში  $I_o - I_K$  მიხედვით  $(\cos \varphi_d - 0,02) = \cos \varphi'_{d,d}$

განვსაზღვროთ მაქსიმალური დასაშვები მუშა დენი, როცა გვაქვს მინიმალური დასაშვები  $\cos \varphi$  და მ.ქ.კ.

$$I'_{1M} = P / (3U \cos \varphi_d \eta_d) \quad (5.47)$$

ახლა მარტივად შეიძლება ვიპოვოთ თანაფარდობა  $I_o$  და  $I_K$  შორის, რომლის დროსაც  $I_1 = I'_{1M}$  და  $\cos \varphi = (\cos \varphi_d - 0,02)$  ამისათვის მიღებულია მივაწოდოთ რიგი მნიშვნელობები  $I_K$  დენის და ვიპოვოთ შესაბამისი  $I_o$  მნიშვნელობა, გამოვიყენოთ ფორმულები (5.43). . (5.45) როცა  $I_1 = I'_{1M}$ ,  $\cos \varphi' = \cos \varphi'_{d,d}$  დასაშვები არეს ანგარიშებმა გვიჩვენეს, რომ ზღვრები  $(\cos \varphi_d - 0,02)$  და  $\cos \varphi_d$ -ს მიხედვით პრაქტიკულად ეკვივალენტურია. ამიტომ არეს საზღვრების ანგარიშის  $(\cos \varphi - 0,02)$  მიხედვით, შეიძლება გავამარტივოთ, ვიანგარიშოთ მხოლოდ ერთი წერტილი საძიებელი ზღვარის, რომლის შემდეგ გავატაროთ მრუდი, ეკვივალენტური ზღვრის  $\cos \varphi_d$ -ის მიხედვით. ანგარიში მოსახერხებელია ჩავატაროთ მნიშვნელობისათვის  $I_K = I_{K,d}$ , საძიებელ მნიშვნელობას შესაბამის უქმი სვლის დენის  $I'_{01}$  განსაზღვრავენ იმის ანალოგიურად, როგორც ეს განხორციელებული იყო  $I_{01}$ -ის პოვნის დროს.

განვსაზღვროთ ზღვარი  $M_{M,d}$ -ს მიხედვით. რადგანაც ელექტროძრავას, მინიმალური დასაშვები მაქსიმალური მომენტი შეესაბამება განსაზღვრულ დიამეტრს ( $R_{\text{мин}}$  რადიუსი) წრიული დიაგრამის, მაშინ შეიძლება განისაზღვროს თანაფარდობა  $I_o$  და  $I_K$ -ს შორის, რომლის დროსაც წრიული დიაგრამის რადიუსი იქნება  $R_{\text{мин}}$ . ერთი წერტილი ზღვარის  $M_{M,d}$ ) მიხედვით განსაზღვრულია (გადაკვეთის წერტილი ზღვარის  $\cos \varphi_d$  და  $M_{M,d}$  მიხედვით  $I_{02}, I_{K2}$  კოორდინატებთან).

მეორე წერტილის განსაზღვრისათვის ვაწოდებთ მნიშვნელობას  $I_o = I_{o\text{мин}}$  (5.34)-ის გამოყენებით, ვიპოვით

$$C_{\text{мин}} = R_{\text{мин}} + I_{o\text{мин}}, \quad (5.48)$$

ხოლო (5.35)-ის მიხედვით შესაბამისი მნიშვნელობა  $I_{K.\text{мин}}$

$$I_{\text{კ.მინ}} U_{\text{ლ}}/U_{\text{კ}} = C_{\text{მინ}} \sin \varphi'_K + \sqrt{R_{\text{მინ}}^2 - C_{\text{მინ}}^2 \cos^2 \varphi'_K} \quad (5.49)$$

ანგარიშები გვიჩვენებს, რომ ჩვენთვის საინტერესო მონაკვეთზე ზღვარის  $M_{\text{მ.დ}}$ -ს მიხედვით პრაქტიკულად არ განსხვავდება ხაზოვანისაგან. ამიტომ ანგარიშის გამარტივების მიზნით, შეიძლება არ განვსაზღვროთ ზღვარის მესამე წერტილი  $M_{\text{მ.დ}}$ -ს მიხედვით, მხოლოდ გავატაროთ ზღვარი  $M_{\text{მ.დ}}$ -ს მიხედვით ორი წერტილით კორდინატები  $I_{02}$ ,  $I_{K2}$ ,  $I_{\text{ომინ}}$ ,  $I_{\text{კ.მინ}}$

ამგვარად, კოორდინატთა სისტემაში ( $I_0$ - $I$ ) შეიძლება აიგოს დასაშვები ზონა (ნახ.5.11), შემოფარგლული სამი მხრიდან: მოკლედ შერთვის დენების მინიმალური და მაქსიმალური, უქმი სვლის დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა. უქმი სვლის დენის მინიმალური დასაშვები მნიშვნელობა განისაზღვრება ორი პარამეტრით: საჰაერო ღრეჩოსა და მაგნიტომამოძრავებელი ძალის სიდიდის დასაშვები მინიმალური მნიშვნელობით, გამავალი მაგნიტური წრედის ფერომაგნიტურ მონაკვეთზე. საჰაერო ღრეჩოს საშუალო მნიშვნელობის ნორმის სტანდარტით არ ადგენენ, მას განსაზღვრავენ კონსტრუქციული და ტექნოლოგიური დაშვებით. ჩვეულებრივად ის შეადგენს -10%. მაგნიტომამოძრავებელი ძალის (მ.მ.ძ) მინიმალური სიდიდე, მოსული ფერომაგნიტური უბანზე, ბუნებრივად, არაა შეზღუდული. ამიტომ არეს  $I_0$ - $I$  მეოთხე გვერდი ( $I_{\text{ომინ}}$  სიდიდის მიხედვით) შეიძლება შეზღუდული იქნას პირობითად.

მივიღოთ, რომ მ.მ.ძ ფერომაგნიტურ უბანზე შეიძლება იყოს ანგარიშთან შედარებით 30%-ით ნაკლები. მაშინ დასაშვები მინიმალური სიდიდის უქმი სვლის დენი შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სახით. უქმი სვლის დენი დავშალოთ ორ მდგენელად:

მმძ-ისგან მოსული საჰაერო ღრეჩოზე,  $I_o/K_{\mu}$  (სადაც  $K_{\mu}$  არის გაჟღენთვის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია ფარდობისა ჯამური მმძ-ის საჰაერო ღრეჩოსთან მმძ-თან) და მმძ-ისგან მოსული ფერომაგნიტურ უბანზე,  $I_o(1 - 1/K_{\mu})$  როცა

$$I_{\text{ომინ}} = 0,9 I_o/K_{\mu} + 0,7 I_o(1 - 1/K_{\mu}) = I_o(0,7 + 0,2/K_{\mu}) \quad (5.50)$$

სიდიდეები  $I_o$  და  $K_{\mu}$  5.5)-ში შეიძლება აღებული იქნას ელექტროძრავას ანგარიშიდან.

ასე განისაზღვრება არეს  $I_o - I_K$  ზღვარი უქმი სვლის მინიმალური დენის მიხედვით. მეორე მხრივ, მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ მითითებული ზღვარი არ არის გარანტია მინიმალური საჰაერო ღრეჩოსი, რადგან ზღვარის მდგომარეობა დამოკიდებულია არა მარტო საჰაერო ღრეჩოს სიდიდეზე. ამიტომ უქმი სვლის დენის ზღვარი, მინიმალური მნიშვნელობის მიხედვით (ხაზი  $CD$  ნახ.5.11) განვიხილოთ როგორც პირობითი.

### 5.12. დენებისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა გაჟღენთვისა და დენის გამოდევნის გათვალისწინებით

მოცემული ფორმულები  $I_o - I_K$  დასაშვები ზონის ზღვარის ანგარიშისათვის გამოყვანილია წრიული დიაგრამის დამახინჯების მოვლენის გათვალისწინების გარეშე. როტორის უჯრედში დენის გამოდევნის მოვლენის გათვალისწინება, ელექტროძრავების გაშვების დროს განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვა და მთავარი მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღენთვა წრიული დიაგრამის ცვლილებაზე თითოეული გამოცდილი ელექტროძრავასათვის არ წარმოადგენს შესაძლებლობას, განისაზღვროს შესაბამისი კოეფიციენტი თითოეული ძრავას ტიპური ზომებისათვის. არსებითი ცდომილების გარეშე შეიძლება მივიღოთ აღნიშნული კოეფიციენტები მოცემული ტიპური ზომების ძრავასათვის.

როტორის უჯრედში დენის გამოდევნის გამო, როტორის უჯრედში იცვლება მოკლედ შერთვის დენის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება. მოკლედ შერთვის დენის ვექტორის სიდიდის და მიმართულების ცვლილების შეფასება ხორციელდება შესაბამისად შემდეგი მაჩვენებლებით:

$$K_B = Z_{K.B}/Z_K \quad (5.51)$$

$$\cos \varphi_{K1} = \cos \varphi_K r_{K.B} Z_K / r_K Z_{K.B} \quad (5.52)$$

სადაც  $r_K, Z_K$  არის შესაბამისად მოკლედ შერთვის აქტიური და სრული წინაღობა, როტორის უჯრედში დენის გამოდევნის და აგრეთვე გაშვების დროს განზნევის ნაკადების გზის განჟღენთვის მოვლენის გათვალისწინების

გარეშე;  $r_{K,B}, Z_{K,B}$  – შესაბამისად მოკლედ შერთვის აქტიური და სრული წინაღობა, როტორის უჯრედში დენის გამოდევნის გათვალისწინებით, ხოლო გაჟღენთვის გათვალისწინების გარეშე;  $K_B$  – მოკლედ შერთვის დენის სიდიდის ცვლილების კოეფიციენტი, როტორის უჯრედში დენის გამოდევნის გამო;  $\cos \varphi_{K1}$  - მოკლედ შერთვის სიმძლავრის კოეფიციენტი, როტორის უჯრედში დენის გამოდევნის გათვალისწინებით და გაჟღენთვის გათვალისწინების გარეშე (ანგარიშის მონაცემების მიხედვით).

ვინაიდან როტორის უჯრედში დენის გამოდევნა გაშვების დრო (ქსელში სიხშირის უცვლელობის დროს) დამოკიდებულია ძირითადად როტორის კილოების ზომებსა და როტორის უჯრედის მასალის ხვედრითი წინაღობისაზე, რომლებიც წარმოებაში აწყობის შემთხვევაში იცვლება უმნიშვნელოდ, გამორიცხულია შესაძლებლობა გათვალისწინებული იქნას დენის გამოდევნის ხარისხი თითოეული გამოსაცდელი ძრავასათვის, ღებულობენ  $K_B$  და  $\cos \varphi_{1}$  კოეფიციენტებს მუდმივს მოცემული ტიპური ზომების ელექტროძრავებისათვის.

### 5.13. ელექტროძრავას ამუშავების დროს განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვა

თითოეული ელექტროძრავასათვის ავიღოთ მოკლედ შერთვის რეჟიმისგან  $I_{n.n}$  დენის მნიშვნელობა ნომინალური ძაბვის დროს და  $I_{K.n}$  დენის მნიშვნელობა  $U_K$  მოკლედ შერთვის ძაბვის დროს; გამოვთვალოთ მოკლედ შერთვის დენის  $U_n$  ნომინალური ძაბვის დროს განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვის გათვალისწინების გარეშე ამუშავების მომენტში

$$I'_{n.n} = I_{K.n} U_n / U_K \quad (5.53)$$

მოკლედ შერთვის დენის ცვლილება გაჟღენთვის გამო განისაზღვრება გაჟღენთვის კოეფიციენტით, რომელიც თითოეული ელექტროძრავასათვის

$$K_T = I_{n.n} / I'_{n.n} \quad (5.54)$$

გაჟღენთვის კოეფიციენტს ელექტროძრავებისათვის მოცემული ტიპური ზომებით განვსაზღვრავთ, როგორც საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას. გამოცდა აჩვენებს, რომ სიდიდე  $K_T$  მცირედ იცვლება შემთხვევითი საწარმოო გადახრებისგან. ამიტომ  $K_T$  სიდიდე, განსაზღვრული რამდენიმე ელექტროძრავის გამოცდების შედეგად, შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივი მოცემული ტიპური ზომებისათვის. დენისათვის, რომელიც შეესაბამება მაქსიმალური მაბრუნ მომენტს, განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვა იქნება სხვაგვარი, ვიდრე ამუშავების დენის დროს. განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვის გავლენის გათვალისწინება მაქსიმალური მომენტის  $M_M$  სიდიდეზე შეიძლება შემდეგი სახით. მოცემული ტიპური ზომების რამდენიმე ელექტროძრავისათვის მოკლედ შერთვის გამოცდებიდან უნდა ავიღოთ  $I_{K2}$  დენის მნიშვნელობა და  $\cos \varphi_2$  მოკლედ შერთვის  $U_{K2}$  ძაბვის დროს ( $U_{K2}$  ძაბვა აიღება ისეთნაირად, რომ მოკლედ შერთვის დენი იყოს დაახლოებით 2,5..4-ჯერ მეტი ნომინალურის; ასეთი დენი შეესაბამება მაქსიმალურ მომენტს). მაქსიმალური მომენტების ფარდობა პროპორციულია მოკლედ შერთვის ინდუქციური წინაღობის ფარდობისა, ამიტომ შესწორების კოეფიციენტი გაჟღენთვის გავლენის გათვალისწინებით  $M_M$  სიდიდეზე ტოლია

$$K_M = X_K / X_{K2} = U_K I_{K2} \sin \varphi_K / (I_{K.n} U_{K2} \sin \varphi_{K2}) \quad (5.55)$$

$K_M$  კოეფიციენტს მოცემული ტიპური ზომების ელექტროძრავებისათვის განვსაზღვრავთ როგორც საშუალო-არითმეტიკული ნაპოვნი კოეფიციენტებით.  $K_M$  კოეფიციენტი, განსაზღვრული რამდენიმე ძრავის გამოცდის მიხედვით, შეიძლება მივიღოთ, როგორც  $K_T$  კოეფიციენტის შემთხვევაში, მუდმივი მოცემული ტიპური ზომების ელექტროძრავებისათვის.

მთავარი მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღენთვა ელექტროძრავებისათვის უქმი სვლის დენის მთავარი მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღენთვით, განსაზღვრული წრიული დიაგრამის მიხედვით, უქმი სვლის დენი იქნება ნაკლები, ვიდრე მიღებული გამოცდების გზით.



ყველაზე მარტივად აღნიშნული მოვლენა შეიძლება  $K$  კოეფიციენტის შემოყვანით, რომელიც ითვალისწინებს ძირითადი მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღერებას.

$$K = I_{0n}/I'_{0n}, \quad (5.56)$$

სადაც  $I_{0n}$  – უქმი სვლის დენი ნომინალური ძაბვის დროს (მოცემული ძრავასათვის უქმი სვლის გამოცდიდან);  $I'_{0n}$  არის იგივე ძრავას უქმი სვლის დენი, მხოლოდ მიღებული წრიული დიაგრამიდან, აგებული მუშა დენისა და მოკლედ შერთვის დენის მიხედვით, დენის გამოდენის და განზნევის ნაკადების გზის გაჟღერების გათვალისწინების გარეშე.

$I'_{0n}$  დენის განსაზღვრისათვის გრაფიკული აგების გარეშე შეიძლება გამოვიყენოთ ფორმულები (5.37), (5.40) და (5.34), როცა  $I_{II} = I'_{II}K_B$  და  $I_1 = I_{1II}$ , სადაც  $I_{1II}$ -გამოცდილი ელექტროძრავას ნომინალური მუშა დენი;  $\cos \varphi_1$  - გამოცდილი ელექტრული ძრავას სიმძლავრის კოეფიციენტი ნომინალური დატვირთვის დროს

$$\angle \varphi'_1 = \angle \varphi_1 + \angle 2\gamma \quad (5.57)$$

$K$  კოეფიციენტი თითოეული ტიპური ზომების ელექტროძრავებისათვის შეიძლება მივიღოთ მუდმივი.

ამგვარად, შეიძლება განსაზღვრული იქნას შესწორების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს წრიული დიაგრამის დამახინჯების მოვლენას. შემოვიყვანოთ აღნიშნული კოეფიციენტები ადრე მიღებული (გამარტივებული დიაგრამის მიხედვით) ფორმულებში  $I_o - I_K$  დასაშვები ზონის საზღვრებისათვის. (5.41) ფორმულას, რომლის მიხედვით განისაზღვრება გამშვი დენის დასაშვები მნიშვნელობის ზღვარი, შემოყვანილი უნდა იქნას კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გაშვების დროს განზნევის ნაკადების გზის გაჟღერების მოვლენას. ამ შემთხვევაში მოკლედ შერთვის დენის დასაშვები მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$I_{K,დ} = I_{II,დ} U_K / K_T U_{II} \quad (5.58)$$

$C_1$  დაშორების სიდიდე წრიული დიაგრამის ცენტრამდე, რომელიც გაივლის  $I_{K,დ}$  და  $I_{1M}$  ვექტორების ბოლოებს, განისაზღვრება (5.37) გამოსახულებიდან, როცა  $I_{\Pi} = I_{\Pi,დ} K_B / K_T$ ;  $I_1 = I_{1M}$ ;  $\varphi'_K = \varphi_{K1} + 2\gamma$ , ე.ი. მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღენთვის და დენის გამოდევნის გავლენის გათვალისწინებით.

უქმი სვლის დენის სიდიდე ამ შემთხვევაში.

$$I_{01} = K(C_1 - R_1) \quad (5.59)$$

წრიული დიაგრამის მინიმალური დასაშვები რადიუსი განისაზღვრება მუშა წრისათვის, ე.ი. ელექტრული ძრავას მუშაობის რეჟიმისათვის, რომლის დროსაც არ ხდება ფანტვის ნაკადების გზის გაჟღენთვა, ამიტომ სიდიდე  $M_M = M_{M,დ}^A$  შემავალი (5.31) განტოლებაში, უნდა განისაზღვროს გაჟღენთვის გათვალისწინების გარეშე

$$M_{M,დ}^A = M_{M,დ} n_c / (0,955 K_M 3U) \quad (5.60)$$

ზღვარის მეორე წერტილის გამოთვლისათვის უნდა გავითვალისწინოთ მთავარი მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღენთვის გავლენა

$$I_{02} = K(C_2 - R_{\text{მინ}}) \quad (5.61)$$

$I_{K2}$ -ის გასაგებად უნდა გავითვალისწინოთ დენის გამოდევნის ზეგავლენა:

$$I_{K2} K_B U_L / U_K = C_2 \sin \varphi'_K + \sqrt{R_{\text{მინ}}^2 - C_2^2 (\cos \varphi'_K)^2} \quad (4.62)$$

ზღვარის მესამე წერტილის ანგარიშისთვის  $\cos \varphi_d$ -ს მიხედვით დაშორება  $C_3$  წრიული დიაგრამის ცენტრამდე განისაზღვრება (5.37)-დან როცა  $I_{\Pi} = I_{\Pi 3} K_B$ ;  $I_1 = I_{1M}$ ;  $\varphi'_K = \varphi_K + 2\gamma$  შემდეგ ვპოულობთ  $R_3$  და  $I_{03}$ . ანალოგიურად გარდაიქმნება ფორმულები წერტილების განსაზღვრისათვის  $I_{K,დ}$  და  $I'_{01}$  კოორდინატებით, მაგნიტური ნაკადის გზის გაჟღენთვისა და დენის გამოდევნის გავლენის გათვალისწინებით, როცა  $I_{\Pi} = I_{\Pi,დ} K_B / K_T$ ;  $I_1 = I'_{1M}$

(5.48) და (5.49) ფორმულები გარდაიქმნება შემდეგი სახით

$$C_{\text{მინ}} = R_{\text{მინ}} + I_{0\text{მინ}} / K; \quad (5.63)$$

$$I_{K,მინ} U_L K_B / U_K = C_{\text{მინ}} \sin \varphi'_K + \sqrt{R_{\text{მინ}}^2 - C_{\text{მინ}}^2 \cos \varphi_K} \quad (5.64)$$

#### 5.14. მოკლე შერთვისა და უქმი სვლის დანაკარგებისათვის დასაშვები სიდიდეების არეს განსაზღვრა

განვსაზღვროთ დამოკიდებულება ძრავას მ.ქ.კ-სა და  $P_o$  და  $P_K$  პარამეტრებს შორის.

ასინქრონული ძრავას კარგვები შედგება შემდეგი მდგენელებისაგან:

$$P_{\Sigma} = P_{Mex} + P_c + P_{M1} + P_{M2} + P_d, \quad (5.65)$$

სადაც  $P_{\Sigma}$  არის ჯამური დანაკარგები;  $P_{Mex}$  -მექანიკური დანაკარგები;  $P_c$  -დანაკარგები ფოლადში;  $P_{M1}$  დანაკარგები სტატორის გრაგნილში;  $P_{M2}$  დანაკარგები როტორის გრაგნილში;  $P_d$  - დამატებითი დანაკარგები დატვირთვის დროს.

დანაკარგები უქმი სვლის დროს.

$$P_o = P_{მქ.კ} + P_c + P_{M.o} \quad (5.66)$$

სადაც  $P_{M.o}$  არის დანაკარგები სტატორის გრაგნილში გამოწვეული უქმი სვლის დენისგან ნომინალური ძაბვის დროს.

მოკლედ შერთვის დანაკარგები  $P_K$  მოკლედ შერთვის ძაბვის  $U_K$  დროს

$$P_K = P_{K.M1} + P_{K.M2} \quad (5.67)$$

სადაც  $P_{K.M1}$  არის დანაკარგები სტატორის გრაგნილში მოკლედ შერთვის გამოცდის დროს  $U_K$  ძაბვისათვის;  $P_{K.M2}$ -დანაკარგები როტორის გრაგნილში მოკლედ შერთვის გამოცდის  $U_K$  ძაბვისათვის.

სტატორის გრაგნილში დანაკარგები მოკლედ შერთვის გამოცდის დროს

$$P_{K.M1} = 3I_K^2 r_{1K}, \quad (5.68)$$

სადაც  $I_K$  მოკლედ შერთვის დენია  $U_K$  ძაბვის დროს;  $r_{1K}$ -სტატორის გრაგნილის ფაზის წინაღობა მოკლედ შერთვის გამოცდის ტემპერატურის დროს.

როტორის გრაგნილში დანაკარგები მოკლედ შერთვის გამოცდის დროს

$$P_{K.M2} = 3I_{2K}'' r_2'' K_p, \quad (5.69)$$

სადაც  $I_{2K}''$  არის როტორში მოკლედ შერთვის დენი დაყვანილი სტატორზე  $U_K$  ძაბვისათვის;  $r_2''$  - როტორის წინაღობა დაყვანილი მოკლედ შერთვის რეჟიმში;  $K_p$  - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს როტორში დენის გამოდენის მოვლენას.

ნომინალური სიმძლავრის დროს ელექტროძრავას ჯამური დანაკარგები დავყოთ ორ ნაწილად:

$$P_{\Sigma} = P_a + P_B, \quad (5.70)$$

$$\text{სადაც } P_a = P_{\text{მკ}} + P_c \quad (5.71)$$

$$P_B = P_{M1} + P_{M2} + P_d \quad (5.72)$$

$P_o - P_K$  ზონა უნდა აიგოს მ.ქ.კ-ის მინიმალური დასაშვების საფუძველზე, ე.ი. მიღება-ჩაბარების გამოცდების საფუძველზე მიღებული  $P_o$  და  $P_K$  პარამეტრებით, აუცილებელია ვიმსჯელოთ ძრავას სრულ დანაკარგებზე ნომინალური სიმძლავრის შემთხვევაში. ამისათვის განვსაზღვროთ  $P_o = f(P_a)$  და  $P_K = \varphi(P_B)$ :

$$P_a = P_o - P_{Mo} \quad (5.73)$$

$P_K = \varphi(P_B)$  დამოკიდებულების გასაგებად გავანალიზოთ ფორმულები  $P_K$  და  $P_B$  გამოსახულებების.  $P_K$  და  $P_B$  დანაკარგები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ფუნქცია  $r_1, r_2''$  და  $X_K$  პარამეტრების.

$r_1, r_2''$  და  $X_K$  მნიშვნელობების ანალიზმა აჩვენა, რომ  $r_2''$  იცვლება მნიშვნელოვნად, ვიდრე  $r_1$  და  $X_K$  პარამეტრები. ამიტომ მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს  $r_2''$  სიდიდე  $P_K$  და  $P_B$  ცვლილებაზე. ეს მოგვიწოდებს მივიღოთ შემდეგი დაშვება  $P_K = \varphi(P_B)$  დამოკიდებულების განსაზღვრისათვის:

$$r_2'' = \text{Var}; \quad r_1 = \text{const}; \quad X_K = \text{const};$$

ჩავწეროთ გამოსახულება  $P_K$  და  $P_B$  -სათვის მიღებული დაშვების გათვალისწინებით:

$$P_K = P_{K.M1} + P_{K.M2} K_{r2}; \quad (5.74)$$

$$P_B = P_{M1} + P_{M2} k_{r2} + P_d, \quad (5.75)$$

სადაც  $K_{r2}$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს როტორის წინაღობის ცვლილებას, დამოკიდებულია მასალის და ტექნოლოგიის

ხარისხზე. (5.74)-დან ვიპოვოთ  $K_{r2}$  და ჩავსვათ (5.75)-ში, შედეგად მივიღებთ საძიებელ დამოკიდებულებას  $P_B = (P_K)$

$$P_B = P_{M1} + P_d + P_{M2}(P_K - P_{K.M1})/P_{K.M2} \quad (5.76)$$

განვსაზღვროთ ჯამური დანაკარგები მინიმალური დასაშვები მ.ქ.კ-ის დროს

$$P_{\Sigma d} = P(1/\eta_d - 1) \quad (5.77)$$

იმისათვის, რომ ძრავას მ.ქ.კ იმყოფებოდეს დასაშვებ ზღვრებში, აუცილებელია

$$P_a + P_B \leq P_{\Sigma d} \quad (5.78)$$

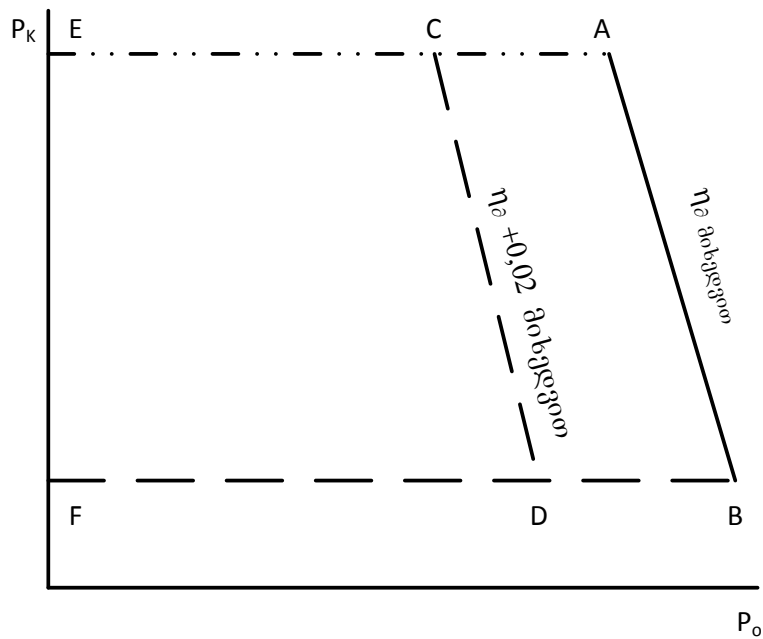
(5.73), (5.76) და (5.78) ფორმულების მიხედვით არაა ძნელი, განვსაზღვროთ თანაფარდობა  $P_o$  და  $P_K$ -ს შორის, რომლის დროსაც ძრავას მ.ქ.კ. არ გამოდის დასაშვები ზღვრებიდან: ამ თანაფარდობას განვსაზღვრავთ ფორმულის მიხედვით

$$P_o = P_{\Sigma d} + P_{Mo} - P_{M1} - P_d - P_{M2}(P_K - P_{K.M1})/P_{K.M2} \quad (5.79)$$

სიდიდეები  $P_{Mo}, P_{M1}, P_{M2}, P_d, P_{K.M1}, P_{K.M2}$  (5.79) ფორმულაში შეიძლება აღებული იქნას რომელიმე მოცემული ტიპოზომების ელექტროძრავას პერიოდული გამოცდების შედეგებიდან.  $P_{\Sigma d}$  სიდიდე გამოითვლება მ.ქ.კ-ის მინიმალური დასაშვები მნიშვნელობისათვის.

$P_o - P_K$  ზონის ზღვარის განსაზღვრისათვის მინიმალური დასაშვები მ.ქ.კ-ის მიხედვით (ხაზი AB ნახ.5.13) ვაძლევთ ორი ნებისმიერი  $P_K$  მნიშვნელობას და (5.79) ფორმულის მიხედვით ვიპოვოთ შესაბამის  $P_o$  მნიშვნელობას.

$I_o - I_K$  ზონის ანგარიშის დროს იყო განსაზღვრული ზღვრები (ხაზი FE ნახ.5.13) სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობისათვის დასაშვებზე 0,02-ით ნაკლები; ამ შემთხვევაში მ.ქ.კ-ის ნამრავლი სიმძლავრის კოეფიციენტზე უნდა იყოს მეტი ან ტოლი დასაშვები მ.ქ.კ-ის ნამრავლისა სიმძლავრის კოეფიციენტზე.



ნახ. 5.13.  $P_o - P_K$  ზონის დასაშვები ცვლილება

ამიტომ  $P_o - P_K$  კოორდინატა სისტემაში აუცილებელია ავსებოთ დამატებითი ზღვარი მ.ქ.კ-ის მნიშვნელობისათვის, რომელიც ტოლია  $(\eta_D + 0,02)$  რათა ვაკონტროლოთ ელექტრული ძრავები, რომელთა წერტილებიც  $I_o - I_K$  ზონაში იმყოფება AB და EF ხაზებს შორის (ნახ. 5.13) აღნიშნული ზღვარის განსაზღვრა შეიძლება შემდეგი სახით. დანაკარგების ჯამს, როცა მ.ქ.კ., ტოლია  $(\eta_D + 0,02)$  განვსაზღვრავთ ფორმულის მიხედვით

$$P'_{\Sigma D} = P \{ [1/(\eta_D + 0,02)] - 1 \} \quad (5.80)$$

$P_o - P_K$  ზონის ზღვრებს  $(\eta_D + 0,02)$ -ის მიხედვით განვსაზღვრავთ ფორმულით ანალოგიურად (5.79):

$$P_o = P'_{\Sigma D} + P_{M0} - P_{M1} - P_D - P_{M2}(P_K - P_{K.M1})/P_{K.M2} \quad (5.81)$$

$P_K$ -ს ორი მნიშვნელობის მიწოდების შემთხვევაში, (5.81) განტოლების მიხედვით ვპოულობთ შესაბამის  $P_o$  მნიშვნელობას. აღნიშნული თანაფარდობის მიხედვით  $P_o$  და  $P_K$  კოორდინატებში ვაგებთ მ.ქ.კ-ის მიხედვით ზონის ზღვრებს, რომელიც ტოლია  $(\eta_D + 0,02)$  (ხაზი CD ნახ.5.13). გამოვიყენებთ რა,  $I_o - I_K$  და  $P_o - P_K$  ზონებს, შეიძლება ვაკონტროლოდ

ნამრავლი  $\cos\varphi_{\Delta} \cdot \eta_{\Delta}$ . იმისათვის, რომ გამოცდილმა ელექტრულმა ძრავამ დააკმაყოფილოს  $\cos\varphi_{\Delta}\eta_{\Delta}$  ნამრავლი, აუცილებელია შესრულდეს შემდეგი პირობები:

-იმ შემთხვევაში, როცა წერტილი  $I_o - I_K$  ზონაში იმყოფება  $\cos\varphi_{\Delta}$ -მ მიხედვით ზღვრის ქვემოთ ( $I_o - I_K$  ზონაში AB ხაზის ქვემოთ),  $P_o - P_K$  ზონაში წერტილი არ უნდა გამოვიდეს  $\eta_{\Delta}$ -ს მიხედვით ზღვრის გარეთ (AB ხაზის გარეთ  $P_o - P_K$  ზონაში);

იმ შემთხვევაში, როცა წერტილი  $I_o - I_K$  ზონაში იმყოფება  $\cos\varphi_{\Delta}$  და ( $\cos\varphi_{\Delta} - 0,02$ ) ზღვრებს შორის (AB და EF ხაზებს შორის  $I_o - I_K$  ზონაში), წერტილი ზონაში  $P_o - P_K$  უნდა იმყოფებოდეს AB და CD ხაზებს შორის AB ხაზიდან დაშორებით ( $P_o - P_K$  ზონაში), პროპორციული დაშორებით AB ხაზიდან ( $I_o - I_K$  ზონაში)..  $P_K$  ზონა მაქსიმალური და მინიმალური მხრიდან შეზღუდულია პირობითად (ხაზი EA და FB ნახ.5.13),  $P_K$  მნიშვნელობა შეზღუდულია დასაშვები მ.ქ.კ-ის მიხედვით,  $P_o$ -ის ცვლილებასთან დაკავშირებით; გარდა ამისა,  $P_K$ -ს მინიმალური სიდიდე კონტროლდება  $I_K - P_K$  ზონაში საწყისი გამშვი მომენტის დასაშვები სიდიდის მიხედვით.

### 5.15. მოკლე შერთვის დენისა და დანაკარგებისათვის დასაშვები

#### სიდიდეების არეს განსაზღვრა

$I_K - P_K$  ზონის საზღვრების გასაგებად საწყისი გამშვი მომენტის მიხედვით ვიყენებთ ცნობილ თანაფარდობას

$$M_{\Pi} = (P_{\Pi} - 3I_{\Pi}^2 r_{1K} - P_c)9550/n_c, \quad (5.82)$$

სადაც  $M_{\Pi}$  არის ელექტროძრავას საწყისი გამშვი მომენტი, ნ.მ;  $I_{\Pi}$  და  $P_{\Pi}$  -დენი, ა, და მოკლედ შერთვის დანაკარგები, კვტ, ნომინალური ძაბვის დროს;  $r_{1K}$  -წინააღობა, ომი, სტატორის გრაგნილის ფაზის მოკლედ შერთვის

გამოცდის ტემპერატურის დროს;  $P_c$ -დანაკარგები ფოლადში უქმ სვლაზე ნომინალური ძაბვის დროს, კვტ.

უნდა აღინიშნოს, რომ რეალურად ძრავას გაშვების დროს დანაკარგები ფოლადში მცირეა, ვიდრე უქმ სვლაზე, სტატორის გრაგნილში ძაბვის ვარდნის დიდი მნიშვნელობის გამო.

მეორე მხრივ, გაშვების დროს, დამატებით გამოჩნდება დანაკარგები როტორის ფოლადში და ზოგიერთი სხვა დამატებითი დანაკარგები; ამიტომ, პირობითად შეიძლება მივიღოთ ტოლი დანაკარგები ფოლადში გაშვების დროს უქმ სვლაზე, ფოლადში დანაკარგების ფორმულაში (5.82).  $P_c$  დანაკარგები შეადგენს ძალიან მცირე ნაწილს  $P_{II}$  დანაკარგებისაგან, ამიტომ ასეთი დაშვება ნაკლებად მოქმედებს  $M_{II}$  სიდიდეზე.

თუ (5.82) ფორმულას მივიღებთ  $M_{II}$  სიდიდის ტოლად მინიმალური დასაშვები საწყისი ამუშავების  $M_{II,II}$  მომენტისა, მაშინ შეიძლება ვიპოვოთ თანაფარდობა  $I_K$  და  $P_K$  შორის, რომლის დროსაც საწყისი ამუშავების მომენტი ტოლია მინიმალური დასაშვების.

რომ გამოვიყენოთ (5.82) ფორმულა მინიმალური დასაშვები ამუშავების მომენტის საზღვრების ანგარიშისთვის,  $I_{II}$  და  $P_{II}$  მნიშვნელობები უნდა შეიცვალოს ჩვენთვის საინტერესო  $I_K$  და  $P_K$  პარამეტრებით. მეორე მხრივ ამ შემთხვევაში აუცილებელია მხედველობაში მივიღოთ სხვაობა ელექტრული ძრავას განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვის  $U_K$  ძაბვისა და ნომინალური ძაბვის დროს. სხვაობა გაჟღენთვაში შეიძლება გათვალისწინებული იყოს მოცემული ტიპოზომების რამდენიმე ელექტრული ძრავის გამოცდის შედეგის მიხედვით, როგორც ეს იყო გაკეთებული  $I_o - I_K$  ზონის ანგარიშის შემთხვევაში, ე.ი. გაჟღენთვის შესაბამისი კოეფიციენტების დახმარებით. გაჟღენთვის კოეფიციენტს მოკლედ შერთვის დენისათვის  $K_T$  განვსაზღვრავთ (5.54) მიხედვით. გაჟღენთვის კოეფიციენტი, ითვალისწინებს სხვაობას გაჟღენთვაში მოკლედ შერთვის დანაკარგების  $U_K$  ძაბვით ნომინალურ ძაბვაზე გადაანგარიშებით, რომელსაც აღვნიშნავთ  $K_{II}$  - თი, შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი სახით.



ელექტრულ ძრავას მოკლედ შერთვის მახასიათებლიდან ვიღებთ მოკლედ შერთვის დანაკარგებს  $P_{\text{II}}$ ) ნომინალური ძაბვის დროს და მოკლედ შერთვის ძაბვის დროს  $P_{K, \text{II}}$  ვპოულობთ მოკლედ შერთვის დანაკარგებს ნომინალური ძაბვის დროს გაჟღენთვის გათვალისწინების გარეშე  $P'_{\text{II}}$  :

$$P'_{\text{II}} = P_{K, \text{II}} U_{\text{II}}^2 / U_K^2 \quad (5.83)$$

გაჟღენთვის კოეფიციენტს დანაკარგებისათვის განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$K_{\text{II}} = P_{\text{II}} / P'_{\text{II}} \quad (5.84)$$

შეიძლება გამოვიყენოთ საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა  $K_{\text{II}}$  კოეფიციენტის, განსაზღვრული მოცემული ტიპოზომების რამდენიმე ელექტროძრავისათვის. პრაქტიკა აჩვენებს, რომ  $K_{\text{II}}$  კოეფიციენტის სიდიდე უმნიშვნელოდ იცვლება შემთხვევითი საწარმოო ცდომილებისგან.

გამოვსახოთ საწყისი გამშვი მომენტის დასაშვები მინიმალური სიდიდე

$$M_{\text{II}, \text{d}} = M_{\text{II}, \text{H}} 0,85 \quad (5.85)$$

სადაც  $M_{\text{II}, \text{H}}$  არის საწყისი ამუშავების მომენტის ნომინალური სიდიდე; 0,85 – კოეფიციენტი, ითვალისწინებს დაშვებას მინუს 15% ამუშავების მომენტზე.

ჩვენთვის საინტერესო ამოცანის ამოსახსნელად (5.82) ფორმულა შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$M_{\text{II}, \text{d}} = [P_K U_{\text{II}}^2 K_{\text{II}} / U_K^2 - 3I_K^2 r_{1K} K_T^2 U_{\text{II}}^2 / U_K^2 - P_c] 9550 / n_c \quad (5.86)$$

გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ

$$P_K K_{\text{II}} = (M_{\text{II}, \text{d}} n_c / 9550) U_K^2 / U_{\text{II}}^2 + 3I_K^2 r_{1K} K_T^2 + P_c U_K^2 / U_{\text{II}}^2 \quad (5.87)$$

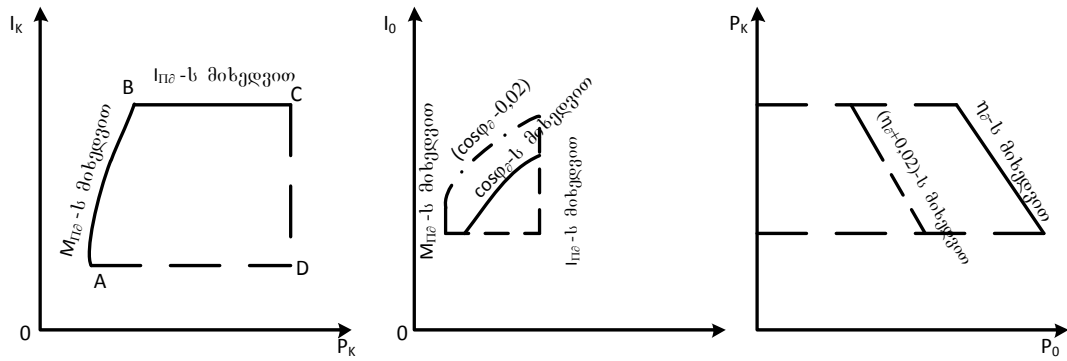
(5.87) ფორმულის მიხედვით, მივაწოდებთ რა სამ ნებისმიერი  $I_K$  მნიშვნელობას, შეიძლება ვიპოვოთ შესაბამისი  $P_K$ -ს მნიშვნელობა; ფოლადში დანაკარგები შეიძლება ვიპოვოთ მოცემული ტიპოზომების ელექტროძრავებისთვის გამოცდების შედეგების მიხედვით.  $I_K$  და  $P_K$  შორის თანაფარდობის მიხედვით შეიძლება  $I_K - P_K$  კოორდინატთა სისტემაში ავაგოთ მრუდი (AB ხაზი ნახ.5.14) , რომელიც წარმოადგენს  $I_K - P_K$  ზონის მინიმალურ დასაშვებს საწყისი ამუშავების მომენტის ზღვარს. მაქსიმალური

დასაშვები  $I_K$ -ს მხრიდან  $I_K - P_K$  ზონა შეიძლება იყოს შეზღუდული, როგორც  $I_o - I_K$  ზონა მაქსიმალური დასაშვები საწყისი ამუშავების დენის  $I_{K,დ}$  მიხედვით, რომელსაც განვსაზღვრავთ (5.58). დენის ამ მნიშვნელობისათვის  $I_K - P_K$  ზონაში ვავლებთ ზღვარს მაქსიმალური დასაშვები დენის მიხედვით (ხაზი BC ნახ.5.14).

მინიმალური  $I_K$  დენის მხარეს ზონა საკმარისია შევზღუდოთ პირობითად ( $I_K$  დენის მნიშვნელობის მიხედვით, რომელსაც შეესაბამება C წერტილი ზონაში  $I_o - I_K$ ), რადგანაც  $I_K$  მინიმალური სიდიდე მოწმდება  $I_o - I_K$  ზონაში მაქსიმალური მარბრუნი მომენტის ზღვარის მიხედვით.

მაქსიმალური  $P_K$ -ს მხარეს ზონა საკმარისია შევზღუდოთ პირობითად ფაქტობრივი შესაძლო  $P_K$  სიდიდით, რადგან  $P_K$  სიდიდე მოწმდება  $P_o - P_K$  ზონაში.

ფაზურ როტორიან ასინქრონულ ძრავაში სახელმწიფო სტანდარტი და ტექნიკური პირობა არ უყენებს მოთხოვნას საწყის ამუშავების დენს და საწყის ამუშავების მომენტს, ვინაიდან აღნიშნული ძრავების გაშვება ხორციელდება გამშვი რეოსტატების საშუალებით. ამასთან დაკავშირებით, გამორიცხულია აუცილებლობა  $I_K - P_K$  ზონის ანგარიში, აგრეთვე ზღვრები  $I_K$ -ს მიხედვით  $I_o - I_K$  ზონაში ფაზურ როტორიანი ასინქრონული ძრავასათვის. როტორის გრაგნილში დენის გამოდენის ეფექტის გამორიცხვა (არ არსებობა) გაშვების დროს მიიღებენ  $K_B = 1$  და შემოაქვთ რამდენიმე სხვა გამარტივება ადრე მოცემულ დამოკიდებულებაში, დაკავშირებული დენის გამოძევების მოვლენის და გაშვების დროს განზნევის ნაკადების გზის გაჟღენთვის გათვალისწინებით. დასაშვები ზონები  $I_o - I_K$  და  $P_o - P_K$  ალექტროძრავებისთვის ფაზური როტორით მოცემულია ნახ.5.15



ნახ.5.14.  $I_K$ - $P_K$  ცვლილებების დასაშვები ზონა

ნახ.5.15. ფაზური როტორიანი ელექტროძრავისათვის  $I_0$ - $I$  და  $P_K$ - $P_0$  ცვლილებების დასაშვები ზონა

### 5.16. მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით ელექტროძრავების ნომინალური მაჩვენებლების შემოწმების მეთოდი

მიღება-ჩაბარების გამოცდების ( $I_0, I_K, P_0$  და  $P_K$ ) პარამეტრებზე ზონები გათვლილია ელექტროძრავების ნომინალურ მაჩვენებლებზე აღნიშნული დაშვებების გათვალისწინებით, რომლებიც მოგვიწოდებენ განვახორციელოთ შემოწმება ელექტროძრავების ნომინალურ მაჩვენებლებზე მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით.

ამ მიზნით, მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით, უნდა დავიტანოთ  $I_0 - I_K$ ;  $P_0 - P_K$  და  $I_K - P_K$  კოორდინატებში წერტილები, რომლებიც შეესაბამება მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრების მნიშვნელობებს. წერტილების მოხვედრა ყველა დასაშვები ზონის შიგნით მეტყველებს შესაბამისობაზე გამოცდილი ძრავების ნომინალური მაჩვენებლების სახელმწიფო სტანდარტის მიხედვით, ტექნიკური პირობების მოთხოვნებთან. თუ თუნდაც ერთი წერტილი გამოდის ნებისმიერი ზონის ზღვრიდან, ეს მოწმობს იმაზე, რომ ელექტროძრავას ერთი ნომინალური მაჩვენებელი ვერ აკმაყოფილებს სახელმწიფო სტანდარტის მოთხოვნებს.

წერტილების მდებარეობის მიხედვით, ზონებში (იმ შემთხვევაში, თუ ყველა ისინი აღმოჩნდა ზონის შიგნით) შეიძლება წარმოდგენა მივიღოთ გამოცდილი ძრავას ნომინალური პარამეტრების სიდიდეზე. ამისათვის უნდა გვექონდეს ზონაში შერჩეული მასშტაბი ნომინალური მაჩვენებლების გასაზომად. სიმძლავრის კოეფიციენტისათვის ასეთ მასშტაბს ემსახურება მანძილი AB და FE ხაზებს შორის (ნახ.5.11), ხოლო მ.ქ.კ.-ისათვის მანძილი AB და AB ხაზებს შორის (ნახ.5.13) ორივე შემთხვევაში ისინი ტოლია 0,02\_ის.

მასშტაბის განსაზღვრის მაქსიმალური მომენტისათვის  $M_M$ , საწყისი ამუშავების დენისთვის  $I_{II}$  და  $M_{II}$  მომენტისათვის მოხერხებულია გამოვთვალოთ და ავაგოთ ზონაში დამატებითი ხაზი აღნიშნული მაჩვენებლების ნომინალური მნიშვნელობისათვის. როცა დაშორება საზღვრებს შორის მაჩვენებლების  $M_M$ ,  $I_{II}$ ,  $M_{II}$  დასაშვები მნიშვნელობების მიხედვით და მათი ნომინალური მნიშვნელობებით მოგვიწოდებს განვსაზღვროთ მასშტაბი ასეთი მაჩვენებლებისათვის. ხაზებს შორის დაშორება ტოლი იქნება დასაშვები სიდიდისა.

ამგვარად, აღწერილი დასაშვები ზონის საშუალებით, შეიძლება შემოწმდეს და განისაზღვროს ელექტრული ძრავების ნომინალური მაჩვენებლები, მხოლოდ მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით.

### **5.17. მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის დიაგნოსტიკა**

ასინქრონული ძრავების გამოცდამ არა მხოლოდ უნდა გამოავლინოს ელექტროძრავების მაჩვენებლების შესაბამისობა ტექნიკურ მოთხოვნებთან, არამედ უნდა შექმნას საფუძველი დამზადების ხარისხის მართვაში. რადგან მიღება-ჩაბარების გამოცდის შედეგები ფასდება ამ გამოცდების სამი წყვილი

პარამეტრის შერწყმით, ამიტომ უნდა ჩავატაროთ ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის საორიენტაციო დიაგნოსტიკა. თუ არჩეულ კოორდინატებში  $I_o - I_K$ ;  $P_o - P_K$  და  $I_K - P_K$  შემოწმებისათვის შევიტანთ წერტილებს მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით, მაშინ მდგრადი ტექნოლოგიური პროცესების დროს ისინი ზონის შიგნით გამოსახავს ელიფსს. მეორე მხრივ, ტექნოლოგიური პროცესების აღდგენის დროს, წერტილები დაიწყებს გადაადგილებას გარკვეული მიმართულებით. ამ დროს მიმართულება განისაზღვრება ტექნოლოგიური გადახრების ხასიათით. როცა წერტილები გადაადგილდება დასაშვები ზონის შიგნით, მაშინ შეიძლება აღმოფხვრათ დარღვევა, რომელიც მიმდინარეობს ტექნოლოგიურ პროცესში. ამისათვის საჭიროა წინასწარ განვსაზღვროთ და მოვნიშნოთ  $I_o - I_K$ ;  $P_o - P_K$  და  $I_K - P_K$  კოორდინატებში მიმართულება, რომელშიც შეიძლება შეერიოს წერტილები საწარმოო პროცესის ამა თუ იმ დარღვევაზე.

ასე მაგალითად, საჰაერო ღრეჩოს საშუალო სიდიდის ცვლილების დროს, შეიძლება ჩავწეროთ ანალიზური გამოსახულება, რომელიც აკავშირებს მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრების ფარდობით ცვლილებას, საჰაერო ღრეჩოს საშუალო სიდიდის ფარდობითი ცვლილებისაგან ( $\Delta\delta/\delta$ ):

$$\Delta I_o / I_o = K_{I_o} \Delta \delta / \delta; \quad (5.88)$$

$$\Delta P_o / P_o = K_{P_o} \Delta \delta / \delta \quad (5.89)$$

$$\Delta I_K / I_K = K_{I_K} \Delta \delta / \delta; \quad (5.90)$$

$$\Delta P_K / P_K = K_{P_K} \Delta \delta / \delta \quad (5.91)$$

$$K_{I_o} = I_{oR} C_\delta (1 - \tau_1) / I_o K; \quad (5.92)$$

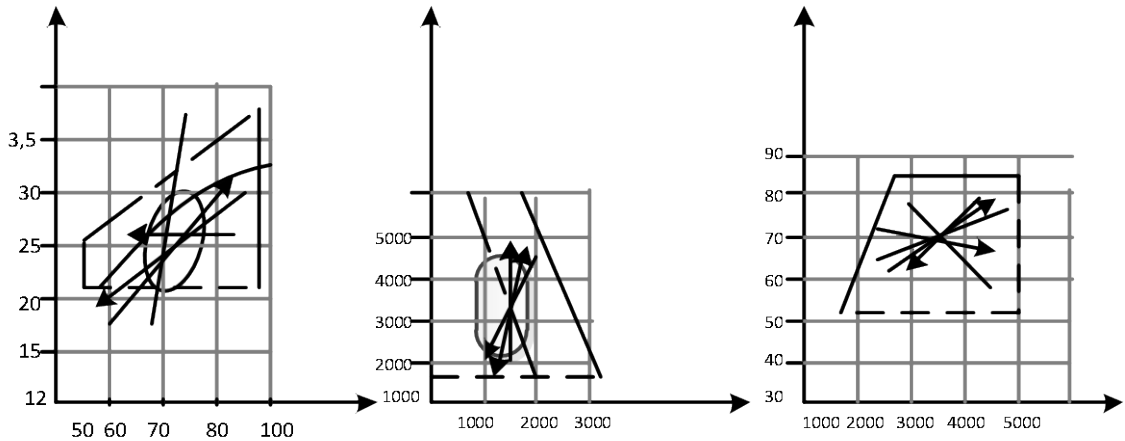
$$C_\delta = 1 - 5\delta [t_1 (K_{c1} - 1)^2 / b_{m1}^2 + t_2 (K_{c2} - 1)^2 / b_{m2}^2]; \quad (5.93)$$

$$K_{p_o} = 2P_{\mu_o} C_\delta (1 - \tau_1) / P_o K_\mu \quad (5.94)$$

$$K_{I_K} = I'_{2K} X_K C_\delta / I_K Z_K'^2 [X'_1 \lambda_{\partial 1} / \lambda_1 + X''_2 \lambda_{\partial 2} / \lambda_2 (1 + \beta_{CK}^2 / K_\mu)] \quad (5.95)$$

$$K_{P_K} = 2X'_K C_\delta / Z_K'^2 [X'_1 \lambda_{\partial 1} / \lambda + X''_2 \lambda_{\partial 2} (1 + \beta_{CK}^2 / K_\mu / \lambda_2)] \quad (5.96)$$

განვსაზღვრავთ მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრების ფარდობით ცვლილებას, საჭაერო ღრეჩოს საშუალო სიდიდის ფარდობითი ცვლილებისგან, შეიძლება აიგოს ზონაში ხაზები, რომლებიც გვიჩვენებს მიმართულებას, რომელშიც იქნება წერტილების გადაადგილება ზონაში  $\delta$  - ს ცვლილების გავლენის ქვეშ (ისარი 1 ნახ.5.16).



ნახ. 5.16. ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის დიაგნოსტიკა

საჭაერო ღრეჩოს ცვლილება შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა მიზეზის გამო, მეორე მხრივ, როცა გვაქვს სიგნალი საჭაერო ღრეჩოს ცვლილების შესახებ, მაშინ სირთულეს არ წარმოადგენს გამომწვევი მიზეზის დადგენა.

ანალოგიურად შეიძლება ჩავატაროთ ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის დიაგნოსტიკა, რომელიც დაკავშირებულია როტორის გრაგნილის აქტიური წინაღობის გაზრდასთან ( $\Delta r_2''/r_2''$ ). დენისა და უქმი სვლის დანაკარგების ცვლილება ამ შემთხვევაში არ განხორციელდება ( $\Delta I_o = 0; \Delta P_o = 0$ ), ხოლო დენი და მოკლედ შერთვის დანაკარგები იცვლება შემდეგი სახით:

$$\Delta I_K / I_K = K_{IK} \Delta r_2'' / r_2''; \quad (5.97)$$

$$\Delta P_K / P_K = K'_{PK} \Delta r_2'' / r_2''; \quad (5.98)$$

$$K_{IK} = I_K'' r_2'' r_K'' / I_K Z_K'^2; \quad (5.99)$$

$$K'_{PK} = r_2'' / r_K' - 2 r_2'' r_K' / Z_K'^2; \quad (5.100)$$

მოცემული ფორმულების მიხედვით განვსაზღვრავთ ფარდობით ცვლილებას  $\Delta I_K / I_K$  და  $\Delta P_K / P_K$ , შეიძლება ავაგოთ ხაზები, რომლებიც

აჩვენებს წერტილების გადაადგილების მიმართულებას ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის დროს, რომელიც დაკავშირებულია როტორის გრაგნილის აქტიური წინაღობის გაზრდასთან (ისარი 2 ნახ.5.16) ისარი 3 ნახ. 5.16 აჩვენებს წერტილების გადაადგილების მიმართულებას სტატორის გრაგნილში ხვიათა რიცხვების გაზრდის გავლენით ე.ი., კილოებში დიდი რაოდენობის ხვიების შეცდომით ჩაწყობის გამო.

### **5.18. სერიული წარმოების პროცესში ერთი და იგივე ტიპის ელექტროძრავების ნომინალური მაჩვენებლების ცვლილების განსაზღვრა**

#### **5.18.1. ნომინალური მაჩვენებლების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების განსაზღვრა**

მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგად, ერთი და იგივე ტიპის ელექტროძრავებისათვის პარამეტრების განსაზღვრა საშუალებას იძლევა ვიმსჯელოთ ნომინალური მაჩვენებლების ცვლილებაზე. ამისათვის ცნობილი უნდა იყოს ფორმულები, რომლებიც საშუალებას იძლევა საშუალო არითმეტიკული და საშუალო კვადრატული პარამეტრების გადახრების მიხედვით, მიღებული მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგად ( $I_o, P_o, I_K$  და  $P_K$ ), განვსაზღვროთ ნომინალური მაჩვენებლების საშუალო არითმეტიკული და საშუალო კვადრატული გადახრები.

მათემატიკის სტატისტიკის თეორიიდან ცნობილია, რომ თუ სიდიდეები იმყოფება ფუნქციონალურ კავშირში, მაშინ არგუმენტების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება ვიპოვოთ ფუნქციის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა. ამისათვის ფორმულაში უნდა ჩავსვათ არგუმენტის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

ამოცანის გადასაწყვეტად ფორმულის სახით უნდა გამოვსახოთ არსებული ფუნქციონალური კავშირი ნომინალურ მაჩვენებლებსა და

მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებს შორის. ეს კავშირი შეიძლება გამოვსახოთ მიახლოებით, ვინაიდან ასინქრონული ძრავას წრიული დიაგრამა, რომლისგანაც შეიძლება დადგინდეს აღნიშნული კავშირი, ამახინჯებს მთელ რიგ ფაქტორებს. ისინი წინა პარაგრაფში გათვალისწინებული იყო კოეფიციენტებით:  $K, K_B, K_T, K_M, K_{II}$ . ეს კოეფიციენტები მიიღება მუდმივი მოცემული ტიპური ზომების ყველა ელექტროძრავისათვის.

მოცემული ამოცანის გადასაწყვეტად, სავსებით მისაღებია მიახლოებითი ფუნქციონალური კავშირი, რადგან მის მიხედვით განსაზღვრავენ არა ნომინალურ მაჩვენებლებს თითოეული ძრავისათვის მისი მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით, არამედ ნომინალური მაჩვენებლების საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას. შესაბამისად, სავსებით დასაშვებია გათვალისწინებული იქნას ყველა ფაქტორი საშუალოდ, რომელიც ამახინჯებს წრიულ დიაგრამას.

ფუნქციონალური კავშირები  $I_{II} = f(I_K), M_{II} = \varphi(I_K, P_K)$  და  $\eta = \psi(P_o, P_K)$  გამოსახული იყო წინა საკითხებში. ისინი შეიძლება გამოვიყენოთ  $I_{II}, M_{II}$  და  $\eta$  სიდიდეების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის გასაგებად:

$$\bar{I}_{II} = U_{II} K_T \bar{I}_K / U_K \quad (5.101)$$

$$\bar{M}_{II} = U_{II}^2 9,55 \left( \bar{P}_K K_{II} - 3 \bar{I}_K^2 r_{1K} K_T^2 - P_c U_K^2 / U_{II}^2 \right) / (U_K^2 n_c), \quad (5.102)$$

სადაც  $\bar{M}_{II}$  არის გამშვი მომენტის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, ნ.მ;

$$\bar{\eta} = P / (P + A + \bar{P}_o + B \bar{P}_K), \quad (5.103)$$

სადაც A და B არის მუდმივები მოცემული ტიპური ზომების ელექტროძრავებისათვის

$$A = P_{M1} + P_d + P_{Mo} + P_{M2} P_{K.M1} / P_{K.M2} \quad (5.104)$$

$$B = P_{M2} / P_{K.M2} \quad (5.105)$$

მაქსიმალური მაბრუნე მომენტი და სიმძლავრის კოეფიციენტი შეიძლება გამოვსახოთ, როგორც ფუნქცია საკონტროლო გამოცდების სამი



პარამეტრის  $(I_o, I_K, P_K)$ . მეორე მხრივ  $I_o - I_K$  ზონის შესაბამისი ზღვარის განსაზღვრის დროს  $\cos \varphi_K$  პარამეტრიც მიღებული იყო მუდმივი; გარდა ამისა, დამოკიდებულებაში  $\cos \varphi = f(I_o, I_K)$  შედიოდა არა სასარგებლო სიმძლავრე, არამედ მაქსიმალური დასაშვები დენი  $I_{1M}$ . ამიტომ ადრე დადგენილი ფუნქციონალური კავშირი მაქსიმალური მომენტისა და სიმძლავრის კოეფიციენტისათვის მოცემული ამოცანისათვის გამოუყენებელია. ვიპოვოთ საჭირო დამოკიდებულება მაქსიმალური მომენტისა და სიმძლავრის კოეფიციენტისა მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებისა ასინქრონული ძრავას წრიული დიაგრამისგან სიძნელეს არ წარმოადგენს.

ამისათვის განვიხილავთ ასინქრონული ძრავას მუშა რეჟიმებისათვის წრიულ დიაგრამას (ნახ.5.17). კავშირი წრიული დიაგრამიდან  $I'_o, I'_n$  და  $P_n$  სიდიდეებსა და  $I_o, I_K$  და  $P_K$  პარამეტრებს შორის შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სახით, ადრე მითითებული ყველა ფაქტორის გათვალისწინებით, რომელიც ამახინჯებს წრიულ დიაგრამას:

$$I'_n = U_n K_T I_K / U_K; \quad (5.106)$$

$$P_n = U_n^2 K_r^2 K_T P_K / U_K^2; \quad (5.107)$$

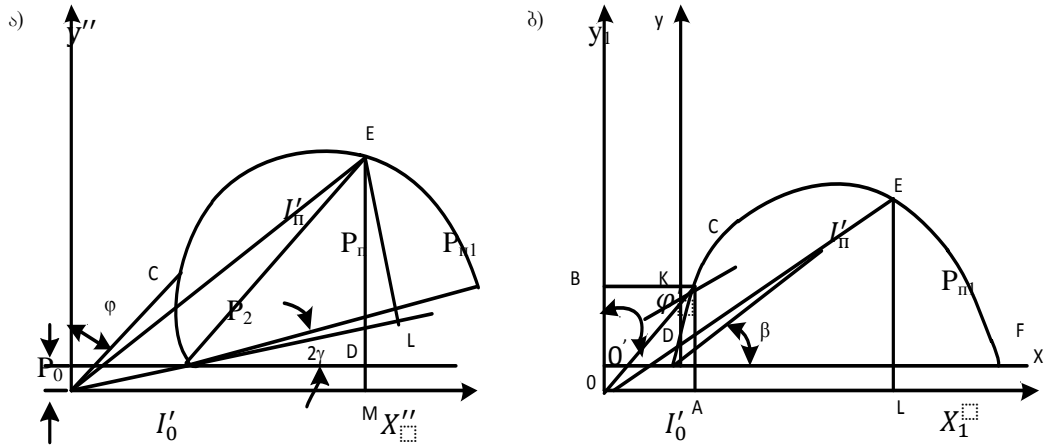
$$I'_o = I_o / K, \quad (5.108)$$

სადაც  $K_r$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მოკლედ შერთვის დანაკარგების შემცირებას, მოკლედ შერთვის ძაბვასა და დენს შორის კუთხის გაზრდასთან დამოკიდებულებით, როტორის უჯრედისაგან დენის გამოდენის გათვალისწინებით.

$K_r$  -კოეფიციენტს განვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულის მიხედვით

$$K_r = r'_K / r'_{K.B}. \quad (5.109)$$

სადაც  $r'_K$  არის მოკლედ შერთვის საანგარიშო აქტიური წინაღობა როტორში დენის გამოდენის გათვალისწინების გარეშე;  $r'_{K.B}$  - მოკლედ შერთვის საანგარიშო აქტიური წინაღობა როტორში დენის გამოდენის გათვალისწინებით.



ნახ. 5.17. წრიული დიაგრამის გამოყენებით დამოკიდებულებების  $\cos \varphi = (I_0, I_K, P_K)$  და  $M_M = \varphi(I_0, I_K, P_K)$  განსაზღვრა, აგებული გაულენტვისა და დენის გამოდენის გათვალისწინების გარეშე (ა) და კოორდინატა სისტემაში შემობრუნებული  $2\gamma$  კუთხით (ბ)

სამიგბელი კავშირების დადგენის მოხერხებულობისათვის შემოვებრუნოთ კოორდინატა სისტემა  $2\gamma$  კუთხით, საათის ისრის მიმართულების საწინააღმდეგოდ. წრიული დიაგრამა შემობრუნებული  $2\gamma$  კუთხით კოორდინატა სისტემაში გამოსახულია ნახ. 5.17, ბ, სადაც  $\angle \varphi' = \angle \varphi + 2\gamma$  სასარგებლო სიმძლავრე დენის მასშტაბში- CD მონაკვეთი.

$$P_2 = P/3U \quad (5.110)$$

DE - ხაზი სასარგებლო სიმძლავრის,  $KC // DE$

$$OO' = P_{01} = P_2 - I'_0 \sin 2\gamma \quad (5.111)$$

$$EL = P_{\pi 1} = [P_{\pi}/3U - \sqrt{I_{\pi}^2 - (P_{\pi}/3U)^2 \operatorname{tg} 2\gamma}] \cos 2\gamma \quad (5.112)$$

ვიპოვოთ  $C(x_c, y_c)$  წერტილის კოორდინატები  $(x, y)$  კოორდინატა სისტემაში. KC სწორი ხაზის განტოლება კოორდინატა სისტემაში:

$$y = P_2 + \operatorname{tg} \beta x \quad (5.113)$$

წრის განტოლება:

$$(X-R)^2 + y^2 = R^2 \quad (4.114)$$

ამოვხსნათ ერთობლივად (5.113) და (5.114) განტოლება, ვიპოვოთ მათი გადაკვეთის წერტილების კოორდინატებს. KC ხაზს გააჩნია ორი

გადაკვეთის წერტილი წრიულ დიაგრამასთან. ჩვენ გვინტერესებს წერტილი მცირე აბსცისით, ამიტომ ვირჩევთ ფესვის მცირე მნიშვნელობას

$$x_c = [(R - P_2 tg\beta)/(1 + tg^2\beta)][1 - \sqrt{1 - (1 + tg^2\beta)P_2^2/(R - P_2 tg\beta)^2}] \quad (5.115)$$

$$Y_c = P_2 + tg\beta x_c \quad (5.116)$$

ვიპოვოთ წრიული დიაგრამის რადიუსი. ნახ.417, ბ-დან გამომდინარეობს

$$R = 0,5 \left[ \sqrt{I_n'^2 - P_{n1}^2} - I'_{oa} + P_{01}^2 / \left( \sqrt{I_n'^2 - P_{n1}^2} - I'_{oa} \right) \right], \quad (5.117)$$

$$\text{სადაც } I'_{oa} = I'_o \sin \varphi_o \quad (5.118)$$

ვიპოვოთ  $tg\beta$

ნახ.5.17, ბ-დან გამომდინარეობს

$$tg\beta = P_{n1} / \left( \sqrt{I_n'^2 - P_{n1}^2} - I'_{oa} \right) \quad (5.119)$$

ეხლა შეიძლება ვიპოვოთ კავშირი სიმძლავრის კოეფიციენტსა და მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებს შორის.

$X'', y''$  კოორდინატა სისტემაში

$$\cos \varphi = Y_c'' / \sqrt{x_c''^2 + y_c''^2}, \quad (5.120)$$

სადაც  $X_c''$  და  $Y_c''$  C წერტილის კოორდინატებია

გავითვალისწინოთ კოორდინატა გარდაქმნის ფორმულები

$$X'' = X_1 \cos 2\gamma - y_1 \sin 2\gamma; \quad y'' = x_1 \sin 2\gamma - y_1 \cos 2\gamma$$

$$x_1 = x + I'_{oa}; \quad y_1 = y + P_{01}$$

მივიღებთ

$$\cos \varphi = [(x_c + I'_{oa}) \sin 2\gamma + (y_c + P_{01}) \cos 2\gamma] / \sqrt{(X_c + I'_{oa})^2 + (y_c + P_{01})^2} \quad (5.121)$$

მიღებული ფორმულები გამოსახავს კავშირს სიმძლავრის კოეფიციენტსა და მიღება-ჩაბარების გამოცდებს პარამეტრებს შორის.

ელექტროძრავებისათვის მცირე  $2\gamma$  კუთხით ფორმულები (5.111), (5.112) და (5.121) შეიძლება გამარტივდეს:

$$P_{01} = P_0 / 3U \quad (5.122)$$

$$P_{n1} = P_n = U_n^2 K_B^2 K_r P_K / U_K^2 3U; \quad (5.123)$$

$$\cos \varphi = (y_c + P_{01}) / \sqrt{(X_c + I'_{oa})^2 + (y_c + P_{01})^2} \quad (5.124)$$

სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის გასაგებად, ფორმულებში, რომლებიც გამოხატავენ კავშირს  $\cos \varphi =$

$f(I_o, I_k, P_K)$ , უნდა ჩაისვას შესაბამისი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრების. შეიძლება მივიღოთ ფორმულები, რომლებიც გამოსახავს ფუნქციონალურ კავშირს მაქსიმალურ მომენტსა და მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებს შორის.

(5.31) გარდაქმნით, შეიძლება მივიღოთ დამოკიდებულება:

$$M_M = 1 / \left( c \sqrt{1 + 1 / (CR)^2} + 1 \right) \quad (5.125)$$

$$\text{სადაც } C = 2 r_1 / U$$

იმისათვის, რომ მივიღოთ  $M_M$  სიდიდე (ნ.მ) განზნუნვის ნაკადების გზის გაჟღენთვის გათვალისწინებით, (5.125)-ში უნდა შევიყვანოთ  $A$  კოეფიციენტი:

$$A = 9,55 K_M 3U / n_c \quad (5.126)$$

მაშინ მაქსიმალური მომენტი (ნ.მ)

$$M_M = A / C \left( \sqrt{1 + 1 / C^2 R^2} + 1 \right) \quad (5.127)$$

კავშირი წრიული დიაგრამის  $R$  რადიუსსა და მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრებს შორის გამოისახება (5.117) ფორმულით.

ამგვარად, ფორმულები (5.117) და (5.127) გამოსახავს საძიებო დამოკიდებულებებს  $M_M = \varphi(I_o, I_k, P_K)$ .

მაქსიმალური მომენტების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის გასაგებად მოცემულ ფორმულებში უნდა შევიტანოთ მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრების საშუალო არითმეტიკული შესაბამისი მნიშვნელობები.

### 5.18.2. ნომინალური მაჩვენებლების საშუალო კვადრატული გადახრის განსაზღვრა

ჩვენთვის საინტერესო ამოცანა შეიძლება ჩამოვყალიბოთ შემდეგი სახით: განვსაზღვროთ საშუალო კვადრატული გადახრა (ან ვარიაციის

კოეფიციენტი) ფუნქციის ცნობილი საშუალოკვადრატული გადახრის (ან ვარიაციის კოეფიციენტი) არგუმენტების იმ შემთხვევაში, როცა არგუმენტები სტატისტიკურად დაკავშირებულია. მოცემული ამოცანის ზუსტი ამოხსნა, მარტივ შემთხვევაშიც, როცა არგუმენტები სტატისტიკურად დამოკიდებულია, რთულია და მათ პრაქტიკულად არ იყენებენ. მათემატიკურ სტატისტიკაში იყენებენ მიახლოებით მეთოდს, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში.

დავუშვათ  $Z = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , თანაც  $Z$ -ფუნქცია, მცირედ იცვლება არეში, განსაზღვრული უტოლობით  $(x_i - \bar{x}_i) < \sigma_i$  სადაც  $\sigma_i$  საშუალო კვადრატული გადახრა. როცა  $Z$  შეიძლება მიახლოებით გამოისახოს ტოლობით.

$$Z = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \dots, \bar{X}_n) + \frac{\partial f}{\partial X_1}(X_1 - \bar{X}_1) + \dots + \frac{\partial f}{\partial X_n}(X_n - \bar{X}_n), \quad (5.128)$$

სადაც  $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_n$  - არგუმენტების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა. (5.128) ფორმულის ფუნქციის მიახლოებით წარმოდგენა შესაძლებელია ფუნქციის გახაზოვნებით. ფუნქციის დისპერსია სტატისტიკურად დაკავშირებული არგუმენტებისათვის  $\sigma^2(Z)$

$$\sigma^2(Z) = \left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_{X_1}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)^2 \sigma_{X_n}^2 + 2 \frac{\partial f}{\partial X_1} \frac{\partial f}{\partial X_2} r_{1/2} \sigma_{X_1} \sigma_{X_2} + \dots + 2 \frac{\partial f}{\partial X_1} \frac{\partial f}{\partial X_n} r_{1/n} \sigma_{X_1} \sigma_{X_n} + \dots$$

(5.129)

სადაც  $r_{1/2}, r_{1/n}$  არის კორელაციის კოეფიციენტი.

(5.129) ფორმულას კერძო წარმოებულის გამოსახულებაში უნდა იყოს ჩასმული არგუმენტების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

(5.129) გამოყენებით შეიძლება მივიღოთ ფორმულა მიღება-ჩაბარების გამოცდების პარამეტრების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების.

არაა ძნელი ვაჩვენოთ, რომ საწყისი გამშვი დენის ვარიაციის კოეფიციენტი  $\sigma_{I_n}$  როცა  $K_T = const$  შეიძლება მივიღოთ ტოლი მოკლედ შერთვის დენის ვარიაციის კოეფიციენტის  $\sigma_{I_K}$

$$\sigma_{I_n} = \sigma_{I_K} \quad (5.130)$$

განვსაზღვროთ გამშვი მომენტის ვარიაციის კოეფიციენტი. ამისათვის (5.102) ფორმულა წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$M_{\Pi} = NP_K - LI_K^2 - KP_c \quad (5.131)$$

სადაც  $N = 9,55U_{\Pi}^2 K_{\Pi} / (U_K^2 n_c)$ ;  $L = 9,55U_{\Pi}^2 3r_{1k} K_T^2 / (U_K^2 n_c)$ ;  $K = 9,55/n_c$  (5.132)

(5.131) ფორმულა გამოსახავს  $M_{\Pi} = (P_K, I_K)$  ფუნქციას, თანაც  $I_K$  და  $P_K$  არგუმენტები, როგორც წესი, კორელირებულია.

თუ ახლა ავიღებთ  $\partial M_{\Pi} / \partial P_K$  და  $\partial M_{\Pi} / \partial I_K$  კერძო წარმოებულებს, გამოვიყენებთ (5.129) ფორმულას,  $\sigma_{M_{\Pi}}$  მიღებისათვის და აგრეთვე, ვარიაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის, გვექნება

$$v_{M_{\Pi}} = \sqrt{v_{P_K}^2 + 4\ell^2 v_{I_K}^2 - 4\ell r_{I_K/P_K} v_{I_K} v_{P_K}} / (1 - \ell) \quad (5.133)$$

$$\text{სადაც } \ell = LI_K^2 / (NP_K)$$

განვსაზღვროთ მ.ქ.კ-ის ვარიაციის კოეფიციენტი. ფუნქციონალური კავშირი  $\eta = \varphi(P_0, P_K)$  გამოისახება (5.103) ფორმულით.

ვიპოვოთ  $\partial \eta / \partial P_0$  და  $\partial \eta / \partial P_K$  და კერძო წარმოებულებს, გამოვიყენებთ (5.129) ფორმულას, გავითვალისწინებთ, რომ  $r_{P_0/P_K} = 0$ , მივიღებთ,  $\sigma_{\eta}^2$ -ს გაყოფით  $\bar{\eta}$ -ზე, მივიღებთ მ.ქ.კ-ის ვარიაციის კოეფიციენტს:

$$v_{\eta} = \bar{\eta} \sqrt{\bar{P}_0^2 v_{P_0}^2 + B^2 \bar{P}_K^2 v_{P_K}^2} / P \quad (5.135)$$

განვსაზღვროთ სიმძლავრის კოეფიციენტის ვარიაციის კოეფიციენტი; ამისათვის ვიპოვოთ კერძო წარმოებულებები  $\cos \varphi$ -ის,  $I_0$ -ის,  $I_K$ -ს,  $P_0$  და  $P_K$ -ს მიხედვით. ჩავსვათ მიღებულ მნიშვნელობას (5.129) ფორმულაში. რამდენიმე გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ ვარიაციის კოეფიციენტს  $v_{\cos \varphi}$ ;

$$v_{\cos \varphi} = \left\{ \left[ \bar{I}_0 (\bar{x}_c + I'_{0a}) / \left[ (\bar{y}_c + P_{01})^2 + (\bar{X}_c + I'_{0a})^2 \right] \right] - I'_0 \sin 2\gamma \left[ \cos \varphi \sqrt{(\bar{y}_c + P_{01})^2 + (\bar{x}_c + I'_{0a})^2} \right] \right\} v_{I_0} \quad (5.136)$$

ელექტროძრავებისათვის მცირე  $2\gamma$  კუთხით ფორმულა შეიძლება გამარტივდეს

$$v_{\cos \varphi} = \left\{ \bar{I}_0 (\bar{X}_c + I'_{0a}) / \left[ (\bar{X}_c + P_{01})^2 + (\bar{X}_c + I'_{0a})^2 \right] \right\} v_{I_0} \quad (5.137)$$

განვსაზღვროთ მაზრუნი მაქსიმალური მომენტისათვის ვარიაციის კოეფიციენტი. ვიპოვოთ კერძო წარმოებული  $M_M$ -ის  $I_K, P_K$  და  $I_0$ -ს მიხედვით. მიღებული მნიშვნელობა ჩავსვათ (5.129) ფორმულაში.

გარკვეული გამარტივების შემდეგ მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას  $\sigma_{MM}$ -ისთვის

$$\sigma_{MM} = \left( 0,5\overline{M}_M I'_n \left( 1 - \overline{tg}^2 \beta \right) I'_n \right) \sigma_{IK} / \left( \overline{AR}^2 \sqrt{I_n'^2 - P_{n1}^2} \sqrt{1 + C^2 R^2} \right) \quad (5.138)$$

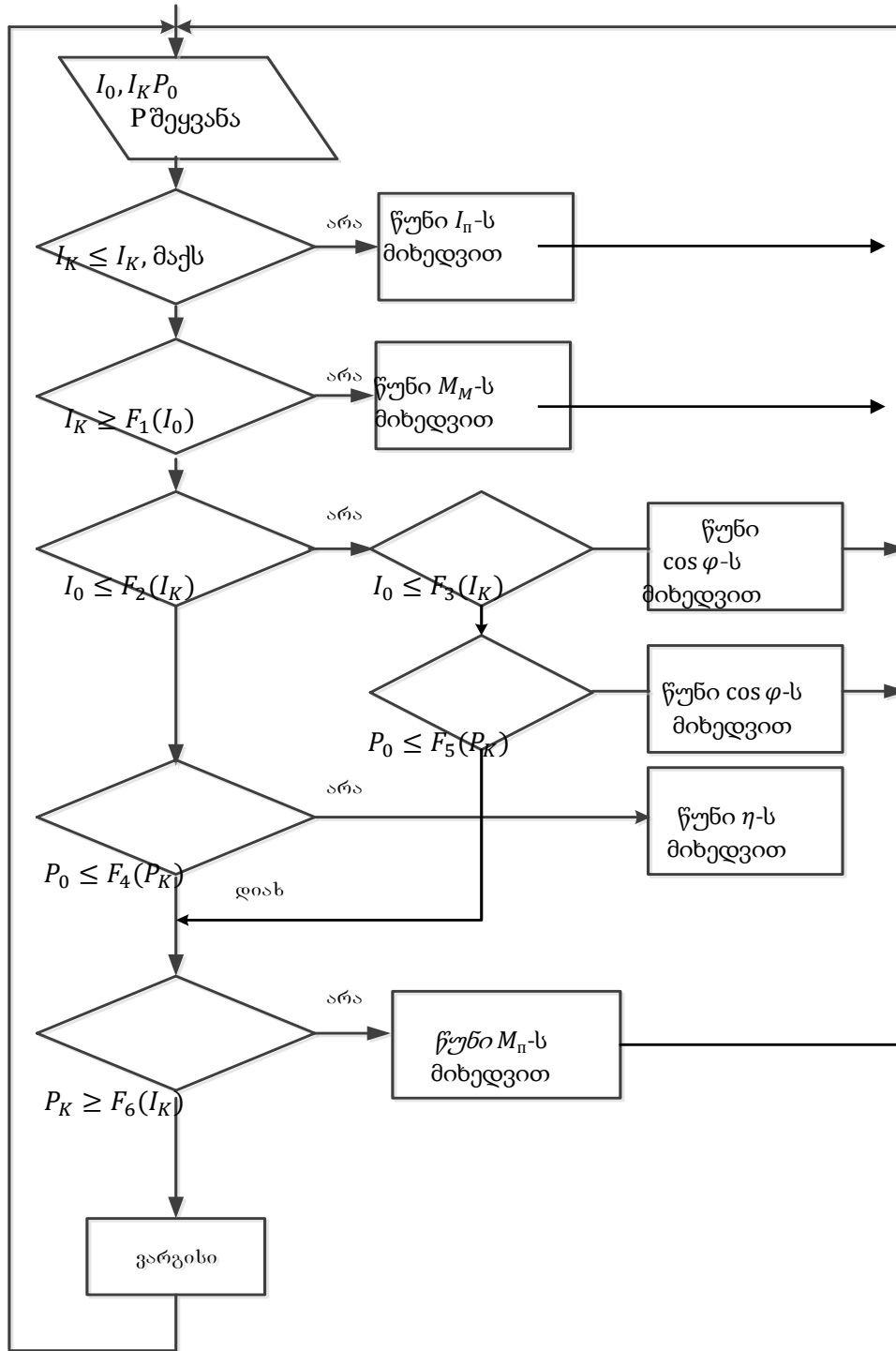
მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ ანალიზი ერთი და იგივე ტიპის ელექტროძრავების ნომინალური მაჩვენებლების დროში ცვალებადობის, მიღება-ჩაბარების გამოცდების შედეგების მიხედვით. ამისათვის საჭიროა ვიანგარიშოთ, ხოლო შემდეგ შევადაროთ საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას და საშუალო კვადრატულ გადახრებს ელექტროძრავების ნომინალურ მაჩვენებლებს მოცემული ელექტროძრავებისათვის დროის სხვადასხვა ინტერვალში – დეკადა, თვე, კვარტალი, წელი.

### 5.19. ელექტროძრავების კონტროლისა და მართვის ხარისხისათვის ავტომატიზებული გამოსაცდელ-დიაგნოსტიკების სისტემები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით

ასინქრონული ძრავების ნომინალური მაჩვენებლების ცვლილების ანალიზი, დიაგნოსტიკა და კონტროლის რეალიზაციის მეთოდები განხილული იყო წინა პარაგრაფებში. მთელ რიგ ელექტრომანქანათმშენებლობის ქარხნებში ხორციელდება ავტომატიზებული გამოსაცდელ-დიაგნოსტიკების სისტემები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით.

ნახ.5.18 მოცემულია მოკლე ჩართული როტორიანი ასინქრონული ძრავების ნომინალური მაჩვენებლების კონტროლის ალგორითმის ბლოკ-სქემა ( $I_o, P_o, I_k, P_k$ ) უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების, მოკლედ შერთვის დენისა და დანაკარგების მნიშვნელობების მიხედვით. ასინქრონული ძრავების წარმოების პროცესში უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების,

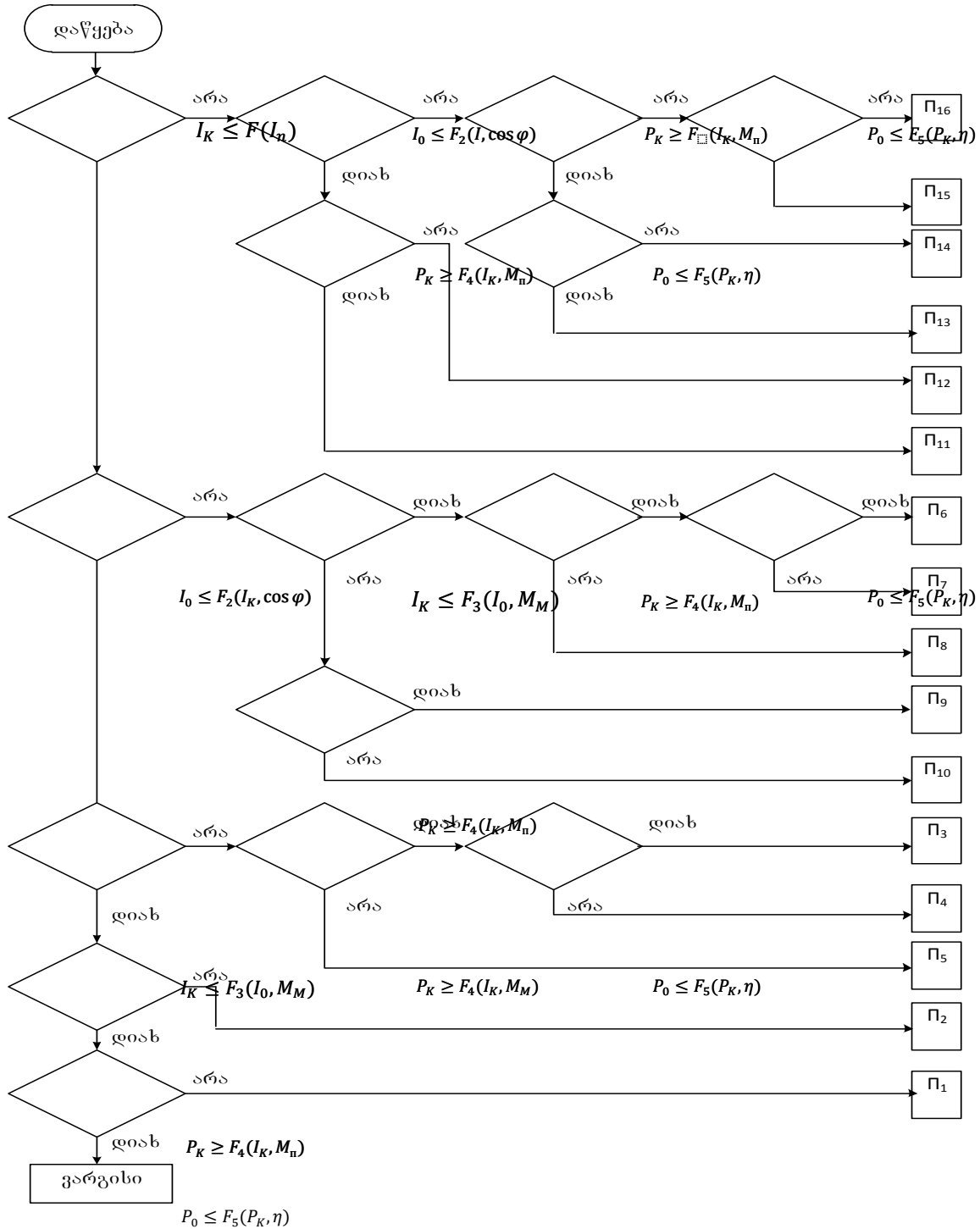
მოკლედ შერთვის დენისა და დანაკარგების გადახრების მიზეზების დიაგნოსტიკის მეთოდიკა დადის დასაშვებ ზონაში წერტილების გადაადგილების მიმართულების განსაზღვრაზე. ეს მიმართულებები უჩვენებს 16 წუნის ნიშნებს (Π1 – Π16).



ნახ.5.18. მოკლედ ჩართული როტორიანი ასინქრონული ძრავას უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების, მოკლედ შერთვის დენისა და დანაკარგების მნიშვნელობების მიხედვით ნომინალური მაჩვენებლების კონტროლის ალგორითმის ბლოკ-სქემა.



ნახ. 5.19-ზე მოცემულია ასინქრონული ძრავას დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევის მიზეზების დიაგნოსტიკის ალგორითმის ბლოკ-სქემა



ნახ.5.19. ასინქრონული ძრავების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევის მიზეზების დიაგნოსტიკის ალგორითმის ბლოკ-სქემა.

ლოგიკური ანალიზის საფუძველზე, გამოყოფილი აღნიშნული ალგორითმის მიხედვით, წუნის ნიშნები ედარება წუნის ტექნოლოგიურ მიზეზებს.

ავტომატიზებული გამოსაცდელი-დიაგნოსტიკის სისტემა “ტესტ-2” ეფუძნება კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებას. ციფრული გაზომვა გამზომ სისტემებში უქმი სვლის დენისა და დანაკარგების, მოკლედ შერთვის დენისა და დანაკარგების ხორციელდება განსაკუთრებული ალგორითმით. შესაბამისი არხები გამზომი სისტემების გარდამქმნელების აწყობილია ანალოგიურ მაინტეგრირებელ გარდამქმნელებზე ცვლადი დენის (E 824 ტიპის) და სამფაზა წრედის სიმძლავრეზე (E 848 ტიპის) უნიფიცირებული გამოსავალი მუდმივი დენის სიგნალებით (0-5 მ.ა).

E 824 და E 848 ანალოგიურ-ციფრული გარდამქმნელები (აცგ) გამოსავალი სიგნალების სახით გამოიყენება აცგ 7077/1 ტიპის, გარდამქმნელის არხების სივრცული დაყოფის გამოყენებით.

გარდა ამისა, გამზომი სისტემა “ტესტ-2” შეიცავს გარდამქმნის არხებს და ბინარულ (ორობითი) სიგნალებს, რომლებიც შეესაბამება სახელმწიფო სტანდარტის მიხედვით შესაბამის დაშვებას, რომელიც შეესაბამება ასინქრონული ძრავების გამოცდის შედეგებს.

სისტემა “ტესტ-2” ფუნქციონირებს გამოსაცდელ კონვეიერთან ერთად, რომელსაც აქვს ასინქრონული ძრავების გამოცდის შვიდი ძირითადი პოზიცია. გამოსაცდელი კონვეიერის პირველ პოზიციაზე მოწმდება ფაზის გაწყვეტა, მეორე პოზიციაზე მოწმდება გრაგნილის იზოლაციის წინაღობა ძრავას კორპუსის მიმართ და გრაგნილებს შორის. მესამე და მეოთხე პოზიციაზე ხორციელდება გრაგნილის ხვიათაშორისი იზოლაციის გამოცდა ელექტრულ მედეგობაზე. მეხუთე პოზიციაზე ელექტრული ძრავები გადის გამოცდებს მოკლედ შერთვისა და უქმი სვლის რეჟიმში. მეექვსე პოზიციაზე ხორციელდება გრაგნილის იზოლაციის გამოცდა კორპუსის მიმართ და გრაგნილებს შორის ელექტრულ მედეგობაზე, ხოლო მეშვიდე პოზიციაზე ელექტრული ძრავები გადის ვიბრაციულ გამოცდას.

გამოცდების დროს 1-4, 6 და 7 პოზიციებიდან, გამზომი სისტემის გავლით, წინაღობის ბლოკის შესასვლელზე მიეწოდება ბინარული სიგნალები. თუ შესაბამის პოზიციაზე ელექტროძრავა ვერ უძლებს გამოცდას, მაშინ გამოიმუშავებს “0” (დაბალ პოტენციალს), თუ სუძლებს გამოცდას, მაშინ გამოიმუშავებს “1” (მაღალ პოტენციალს).

ასინქრონული ძრავას მეხუთე პოზიციაზე გამოცდის დროს, ე.ი. უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის რეჟიმში, გამზომი სისტემის დახმარებით ზომავენ დენს და დანაკარგებს.

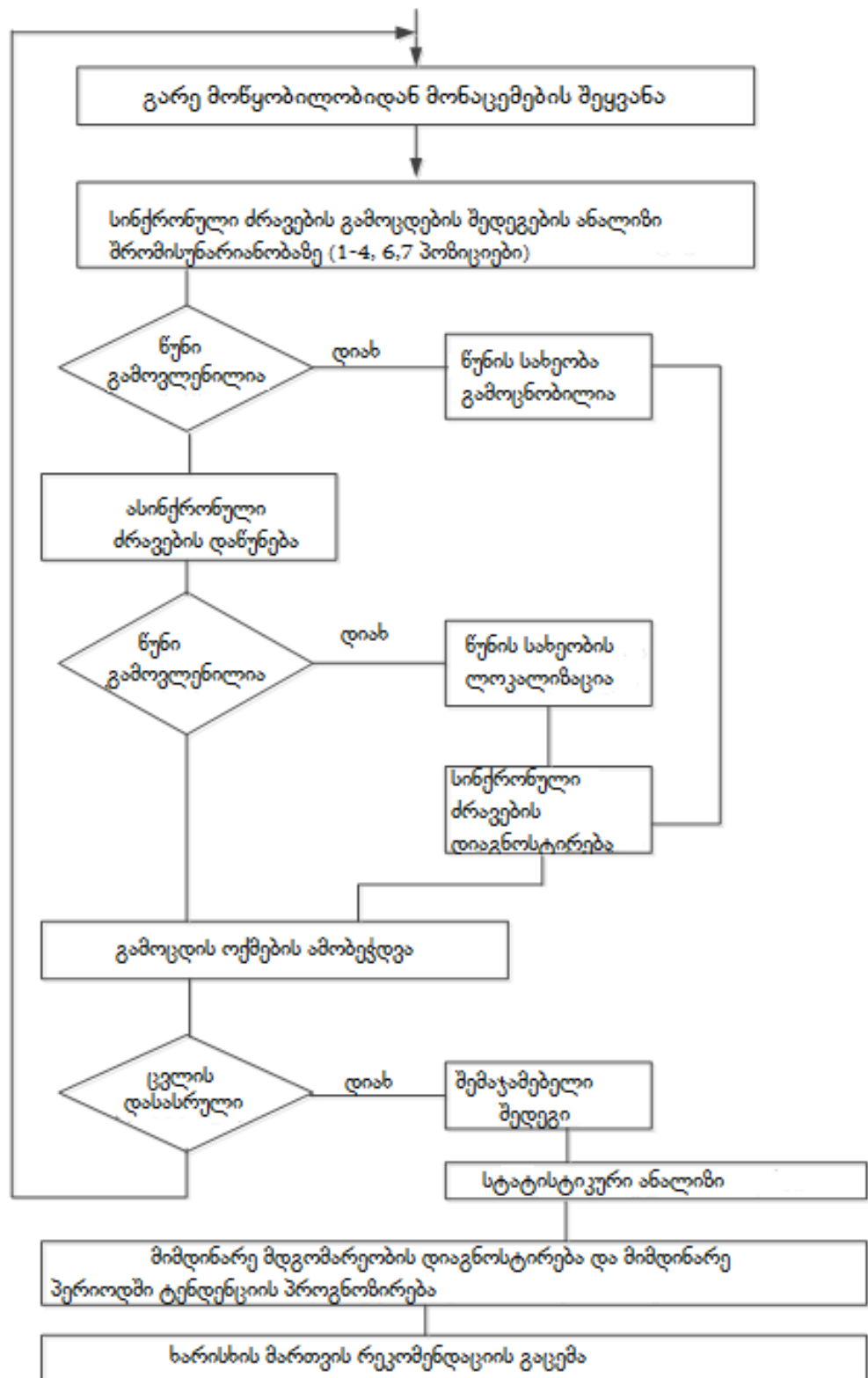
ასინქრონული ძრავების პარამეტრების ციფრულ ეკვივალენტებს ანიჭებენ “BPO” ნიშნებს და ისინი მიეწოდება წინაღობის ბლოკის შესასვლელზე. მოკლედ შერთვის რეჟიმში სიგნალ “BPO”-ს გააჩნია მაღალი პოტენციალი (“1”), ხოლო უქმი სვლის რეჟიმში – დაბალი პოტენციალი (“0”).

“ტესტ-2” სისტემის შეუღლების ბლოკი ახორციელებს გაცვლას გამზომი და მართვადი ინფორმაციების მართვადი გამომთვლელი მოწყობილობისა და გარე მოწყობილობებს შორის არხების დროს დაყოფის გზით. ასინქრონული ძრავების წუნდება და დიაგნოსტიკება ხორციელდება 5.18 და 5.19 ნახაზებზე გამოსახული ალგორითმების მიხედვით, გამოსაცდელი ელექტროძრავებისათვის უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის რეჟიმების გაზომვის პარამეტრების გაზომვის შედეგების დამუშავების გზით.

შემდეგ უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის პარამეტრების გაზომვის შედეგების დამუშავების გზით ( $I_o, P_o, I_K, P_K, i = \overline{1, N}$  ვარგის ასინქრონულ ძრავებისათვის ახორციელებენ მათ სტატისტიკურ ანალიზს და საწარმოო პროცესის მოშლის პროგნოზირებას.

აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტა ხორციელდება უქმი სვლისა და მოკლედ შერთვის პარამეტრების გაზომვის შედეგების შედარებით – საკონტროლო ზონებთან (ნახ.5.11, 5.13 და 5.14), გამოთვლილი მოცემული ტიპური ზომების ელექტროძრავებისათვის.

თითოეული ვარგისი ასინქრონული ძრავისათვის აფორმებენ გამოცდების ოქმს ძრავას რეკვიზიტებსა და პარამეტრების მნიშვნელობების ჩვენებით.



ნახ. 5.20 "ტესტ-2" სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ასევე, ფიქსირდება გამოცდების სპეციალურ ოქმში დაწუნებული ასინქრონული ელექტროძრავების მონაცემები.

მიღება-ჩაბარების გამოცდების მასალების მიხედვით, დაგროვილი გარკვეული დროის ინტერვალში (ცვლა, დღე, კვირა, თვე და ა.შ), გამოიმუშავენ რეკომენდაციებს გამოშვებული ელექტროძრავების ხარისხის მართვის მიხედვით.

“ტესტ-2” სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმის ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია ნახ.5.20. აღნიშნული მიმართულებით დიდი ყურადღება ენიჭება სტრუქტურულ-ალგორითმული მეთოდების გამოყენებას გამზომი სისტემების სიზუსტის ამაღლებისათვის.

## 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, დაბრკოლება მდგრადობა, 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 მახრუნი მომენტების განსაზღვრა;
- ელექტროძრავების კონტროლისა და მართვის ხარისხისათვის ავტომატიზებული გამოსაცდელ-დიაგნოსტირების სისტემები კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Плетнев Г. П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1986, 344 с.
2. Усов. С. В., Кантан В. В., Кизеветтер Е. Н. и др. Электрическая часть электростанций. Л.: Энергия, 1977, 556 с.
3. Головков Ю. П. Дробление твердого топлива на тепловых электростанциях. М.: Энергоатомиздат, 1985, 144 с.
4. Курбангалиев У. К. Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций. М.: Энергоиздат, 1982, 56 с.
5. Денисов А. И., Саурин А. А., Гордиенко В. В. и др. Проблемы развития научных исследований в области преобразовательной техники. Киев. АНУССР, 1987, 39 с.
6. Лутидзе Ш. И., Основы теории электрических машин с управляемым полупроводниковым коммутатором. М., Наука, 1968, 303 с.
7. Лутидзе Ш. И., Кохреидзе Т. К., и др. Бесконтактные электрические двигатели постоянного тока. Сабчота Сакартвело, т., 1986, 203 с.
8. Кривицкий С. О., Энштейн И. И. Динамика частотно-регулируемых электроприводов с автономными инверторами. М.: Энергия, 1970, 152 с.
9. Глазенко Т. А., Гончаренко Р. Б. Полупроводниковые преобразователи частоты в электроприводах. Л.: Энергия, 1969, 184 с.
10. Хасаев О. И. Транзисторные преобразователи напряжения и частоты. М.: Наука, 1966, 176 с.
11. Шубенко В. А., Брасловский И. Я., Шрейнер Р.Т. Асинхронный электропривод с тиристорным управлением. М.: Энергия, 1967, 96 с.
12. Чебовский О. Г., Моисеев Г. Л., Сахаров Ю. В. Силовые полупроводниковые приборы/Справочник. М.: Энергия, 1975, 512 с.
13. კობრეიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოელექტროსადგურებში თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს ამძრავისათვის მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრული ძრავას დამუშავება. "ენერჯია", 2016, №4(80), გვ. 59-63.
14. კობრეიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში დამყარებული რეჟიმები. "ენერჯია", 2016, №4(80), გვ. 64-69.



15. კობრიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში გარდამავალი პროცესები. "ინტელექტუალი", 2017, №34, გვ.
16. კობრიძე თ., ჩაჩხიანი გ. თბოტურბინის და თბოგენერატორის ზეთის ტუმბოს მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ამძრავში დამყარებული რეჟიმები. "ინტელექტუალი", 2017, №33, გვ. 221-227.
17. ჩაჩხიანი გ. თბოელექტროსადგურების საკუთარი მოხმარების მექანიზმების ელექტროამძრავების რეგულირების აქტუალური საკითხები. III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია-"ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები". მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, საქართველო, 2015, გვ. 57-60.
18. Кохреидзе Т. Инновационные управляемые электромеханические системы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Тбилиси: «Технический университет», 2016, 237 с.
19. Электромагнитное совмещение силовых полупроводниковых преобразователей. Сборник статей. Таллин: АН ЭССР, 1981, 123с.
20. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов.радио, 1969, 759 с.
21. Бендат Д. С., Пирсол А. Дж. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974, 463 с.
22. Суйский П. А. Исследование нагрева асинхронных короткозамкнутых двигателей серий А и АО мощностью от 6 до 100 кВт при продолжительном режиме работы. «Электричество», 1958, №9.
23. Петров И. И., Мейстель А. М. Специальные режимы работы асинхронного электропривода. М.: «Энергия», 1968.
24. Некрасов О. А., Шевченко В. В. Нагревание асинхронных машин при стационарном тепловом режиме. труды МЭИ, 1956, вып. XXII.
25. Сандлер А. С. и Сарбатов Р. С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М., «Энергия», 1974, 328 с.
26. Суйский П. А. к расчету нагрева асинхронных машин по методу эквивалентных греющих потерь. «Вестник электропромышленности», 1963, №7.
27. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Учебник для студентов высш.тех.учебн.заведений. Изд. Питер, 2010, 352 с.
28. Гольдберг О. Д. Испытания электрических машин. Учебн. для вузов по спец. «Электромеханика». М.: Высш.шк., 2000, 255 с.
29. Котеленец Н. Ф., Акимова Н. А., Антонов М. В. Испытания эксплуатация и ремонт электрических машин. М.: Академия, 2003, 384 с.