



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

რევაზ გურგენაძე

შუასაყრდენიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესების გამოკვლევა, სტრუქტურაცვლადი მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის სრულყოფა და ელექტროამძრავის მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0160, საქართველო

2022 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი: ენერგეტიკის

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით რევაზ გურგენაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „შუასაყრდენიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესების გამოკვლევა, სტრუქტურაცვლადი მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის სრულყოფა და ელექტროამძრავის მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი ბ. ჭუნაშვილი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: რევაზ გურგენაძე

დასახელება: „შუასაყრდენიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესების გამოკვლევა, სტრუქტურაცვლადი მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის სრულყოფა და ელექტროამძრავის მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია“

სადოქტორო პროგრამა: ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: ენერგეტიკის და ელექტროინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი 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 დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ფონზე შრომის ეფექტურობისა და მაქსიმალური მწარმოებლურობის მიღწევა მნიშვნელოვან გამოწვევას. მათ შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს სატრანსპორტო ინდუსტრიას, კერძოდ ადამიანებისა ან ტვირთის წინასწარ განსაზღვრულ მანძილზე გადაყვანას საბაგირო გზების გამოყენებით. მთის კურორტების განვითარება, სამთო-მომპოვებელი სამუშაოების გაზრდა, დღის წესრიგში აყენებს ისეთი სატრანსპორტო მექანიზმების განვითარებას, როგორცაა ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზები (ქკბ).

ქკბ-ის ენერგეტიკული მაჩვენებლების დაბალი დონე ძირითადად განპირობებულია მუშა ციკლის გაჭიანურებითა და მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესებით. აღნიშნული ფაქტორები უშუალო კავშირშია ელექტროამძრავის მართვის სისტემის დინამიკურ თვისებებთან, რომლებშიც გადამწყვეტი როლი ენიჭება ქკბ-ის მოძრავი მექანიკური ნაწილის თავისებურებებს.

ქკბ-ის მოძრავი მექანიკური ნაწილი განსაკუთრებულად რთულია და წარმოადგენს კიდული კაბინების გადაადგილებისას დრეკადი კავშირების, მოძრაობის ფუნქციაში, დიდ დიაპაზონში ცვალებად მრავალმასიან სისტემას. ამასთან ერთად, კიდული კაბინის გადაადგილებისას, მზიდი ბაგირის ჩაღუნვის შედეგად, იცვლება აწევის კუთხე და შესაბამისად კიდული კაბინის მიერ წევის ბაგირზე გამოწვეული დაჭიმულობა. ამის გამო ძრავას ლილვზე იცვლება დატვირთვის მომენტი. გარდა ამისა, შუალედრუსაყრდენიან ქკბ-ში, კიდული კაბინების საყრდენებზე გადასვლისას, იცვლება დატვირთვის მომენტის ნიშანი და ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის (მმსმ) სტრუქტურა, რის შედეგადაც, მუშაობის ერთი ციკლის განმავლობაში, მმსმ სტრუქტურა, რიგრიგობით გადადის სამმასიანიდან ორმასიანში გახლეჩილი მასებით და პირიქით. ამის გამო, ელექტროამძრავის ელექტრომექანიკურ ნაწილში წარმოიქმნება, მექანიკურ ნაწილზე დამანგრეველად მოქმედი, ჩაუქრობადი ელექტრომექანიკური რხევები. ისინი იწვევენ, ერთის მხრივ, იწვევენ მოძრავ მექანიკური ნაწილის ელემენტების ინტენსიურ ცვეთას და საექსპლუატაციო ვადაზე ადრე მწუობრიდან გამოსვლას და მეორეს მხრივ ართულებენ კიდული კაბინის პოზიციურ მართვას, ელექტროამძრავის ავტომატური მართვის სისტემაში დინამიკური მაჩვენებლების თავისებურებების გაუთვალისწინებლობის გამო. შედეგად, მცირდება კაბინის გადაადგილების მართვის სიზუსტე მთელი ტრანექტორიის და განსაკუთრებით გაშვენა გაცერების ზონაში. ამავდროულად, იზრდება ელექტრო ენერჯის დანაკარგები ელექტროამძრავის ძალური ნაწილის ელემენტებსა და მკვებავი ქსელში.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომში დაისახა მიზანი: დამუშავდეს ქკბ-ების ელექტროამძრავის პოზიციური მართვის სისტემა, რომელიც დაეფუძნება სრულყოფილ მოძრავ მექანიკური ნაწილის

საანგარიშო მოდელს, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება არსებული მმსმ-ების ჩამოთვლილი ნაკლოვანებები.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად დაგეგმილ იქნა დასამუშავებელი ამოცანები: შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების (შქკბ) ელექტროამძრავების პოზიციონირების რეჟიმების შესწავლა და მისი იმგვარად დამუშავება, რომ მიღწეულ იქნეს კიდული კაბინების გადაადგილების მაქსიმალური სიჩქარე და მართვის სიზუსტე; დამუშავდეს შქკბ-ის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის ოპტიმალური საანგარიშო მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ბლანტი ხახუნის გავლენა მექანიზმში მიმდინარე ელექტრომექანიკურ პროცესებზე; შქკბ-ის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის დამუშავება, რომელიც გაზრდის მექანიზმის მწარმოებლუნარიანობას და მართვის სისტემის სიზუსტეს; დამუშავდეს ელექტროამძრავის გადაადგილების ოპტიმალური დიაგრამა, რაშიც გათვალისწინებული იქნება კიდული კაბინების ტრაექტორიისა და მოძრავ-მექანიკური ნაწილის სტრუქტურის ცვლილებები; შეიქმნას შქკბ-ის ელექტროამძრავის პოზიციური მართვის სისტემა, რომელიც შემუშავებული მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის საფუძველზე უზრუნველყოს მექანიზმის სწრაფმოქმედებას მწარმოებლურობის გაზრდას და მართვის მაღალ სიზუსტეს.

აღნიშნული ამოცანების გადაწყვეტის შედეგად მიღწეულ იქნა შემდეგი შედეგები: დამუშავდა შუალედურსაყრდენიანი კკბ-ის ელექტროამძრავის მმსმ, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირში ბორბალსა და წევის ბაგირს შორის ხახუნის კოეფიციენტის გავლენას; კიდული კაბინების მოძრაობის ტრაექტორიის გათვალისწინებით დამუშავდა შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამის გამოთვლის მეთოდიკა; შედგენილია შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელ.ამძრავების მოძრავ-მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს როგორც კინემატიკური სქემის მასებსა და მასათაშორის დრეკად კავშირებს, ასევე ბორბალსა და ბაგირს შორის არსებულ ბლანტი ხახუნის გავლენას; დამუშავებულ იქნა შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მაღალი დინამიკური მახასიათებლების მქონე მოძრაობის ტაქოგრამა; მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამისა და გადაადგილების ოპტიმალური დიაგრამის მიხედვით შედგენილ იქნა ელექტროამძრავის ავტომატური მართვის ფუნქციონალური სქემა, სტრუქტურული სქემები.

დამუშავებულ ნაშრომს გააჩნია პრაქტიკული ღირებულებები, რომელთაგან შეიძლება გამოვყოთ: ნაშრომში დამუშავებული ელექტროამძრავის მართვის სისტემა, მოძრავ მექანიკურ ნაწილში წარმოქმნილი მექანიკური დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაციის შედეგად, უზრუნველყოფს კინემატიკური სქემის ელემენტების ინტენსიური ცვეთის შემცირებას და გამორიცხავს მათ დინამიკური დარტყმებით განპირობებულ დაზიანებებს და მწყობრიდან გამოსვლას.

ასევე, ელექტრომექანიკური დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაციის საფუძველზე, მცირდება ელექტროენერგიის დანაკარგები, როგორც ელექტროამძრავის, ასევე მკვებავი ქსელის ძალოვან ელემენტებში, რაც თავის მხრივ უზრუნველყოფს საბაგირო გზის ენერგოეფექტურობის ამაღლებას.

შემოთავაზებული ელექტროამძრავის მართვის პოზიციური მართვის სისტემის გამოყენება შესაძლებელია, როგორც ახალი შქკბ-ის ელექტროამძრავების მართვის სისტემების დაპროექტების, ასევე მოქმედის საბაგირო გრების მოდერნიზაციისათვის;

შქკბ-ის ელექტროამძრავის მართვის დამუშავებული სისტემა ხასიათდება მუშაობის მაღალი საიმედოობით, შესრულებისა და შემდგომი ექსპლუატაციის სიმარტივით და იგი, საექსპლუატაციო მომსახურეობისას, არ მოითხოვს მაღალკვალიფიციურ ელექტროტექნიკურ პერსონალს, რაც საკმაოდ მნიშვნელოვანია ისეთი მაღალმთიანი ადგილებისთვის, სადაც გამოიყენება აღნიშნული მექანიზმები.

Resume

Achieving labor efficiency and maximum productivity in the context of scientific and technological progress is a major challenge. A special place among them is occupied by the transport industry, in particular the transportation of people or cargo to a predetermined distance using ropeways. The development of mountain resorts, increase of mining activities, put on the agenda the development of such mechanisms as nonsupported pendulum suspended ropeways (MNPSR).

MNPSR-s low levels of energy performance are mainly due to work cycle delays and electrodynamic processes in the moving mechanical part. These factors are directly related to the dynamic properties of the electric motor control system, in which the characteristics of the moving mechanical part of the MNPSR play a crucial role.

The moving mechanical part of the PSR-s is particularly complex and is a multivariate system with flexible connections, movement function, and wide range movement when moving end cabins. In addition, when moving the end cab, the lift angle changes due to the bending of the load-bearing rope, and consequently the tension caused by the end cab on the traction rope. Because of this the load torque on the engine shaft changes. In addition, in the mid-axle PSR-s, the load moment and the structure of the model of the moving mechanical part (SMMP) of the electric motor change as it shifts to the support of the end cabs, resulting in an SMMP-s structure shifting from one to three parts in one cycle of operation. Because of this, electromechanical oscillations generating destructive effects on the mechanical part are generated in the electromechanical part of the electric motor. They cause, on the one hand, intensive wear and tear of the components of the moving mechanical part and premature decommissioning, and on the other hand, complicate the positional control of the end cab due to the lack of dynamic performance characteristics in the automatic steering system.

Based on the above, the aim of the dissertation was to develop a positional control system for electric motors of CCBs, which will be based on the calculation model of a fully moving mechanical part, which will take into account the listed shortcomings of the existing SMMP-s.

To achieve this goal, the following tasks were planned: study of the positioning modes of the electric motors of nonsupported pendulum suspended ropeways and its processing in such a way as to achieve the maximum speed of movement of the end cabins and accuracy of control; Development of an optimal tachogram of the traffic of the MNPSR, which will increase the productivity of the mechanism and the accuracy of the control system; Develop an optimal movement diagram of the electric motor, which will take into account changes in the trajectory of the end cabins and the structure of the moving-mechanical part; Establish a position control system for the electric motor of the MNPSR, based on the optimal tachogram of the developed movement to ensure the rapid operation of the mechanism to increase productivity and high accuracy of management.

The following results were achieved as a result of solving these tasks: the SMMP of the mid-axle MNPSR electric motor was developed, which takes into account the effect of the coefficient of friction between the tow truck and the traction cable; The method of calculating the load diagram of the electric motor of the intermediate rocking end ropes was developed taking into account the movement trajectory of the end cabins; Compiled by an intermediate-stranded limb ropeway of the moving-mechanical part of the ropeway, which includes both the masses of the kinematical scheme and the interconnection between the masses of the wheel and the rope;

The processed paper has practical values, from which we can distinguish: the electric motor control system processed in the paper, optimizing the mechanical dynamic processes generated in the moving mechanical part, reduces the intense wear of the kinematic circuit elements and eliminates their damage due to dynamic shocks. Also, based on the optimization of electromechanical dynamic processes, electricity losses are reduced in the power elements of both the electric motor and the power grid, which in turn ensures an increase in the energy efficiency of the nonsupported pendulum suspended ropeways.

The proposed positional control system of the electric motor can be used both for the design of the electric motor control systems of the new MNPSR, as well as for the modernization of the existing MNPSR.

The developed electric drive control system of the MNPSR is characterized by high reliability, ease of execution and further operation, and it does not require highly qualified electrical personnel in the service, which is quite important for such mountainous places where these mechanisms are used.

შინაარსი

შესავალი	83-15
თავი 1. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების მექანიკური ნაწილის თავისებურებები	20
1.1. სამრეწველო დანიშნულების ციკლური მუშაობის რეჟიმის ელექტროამძრავების მიმართ წაყენებული მოთხოვნების ანალიზი და მათი მუშაობის რეჟიმის ოპტიმიზაცია	20
1.2. ბლანტი ხახუნი და ფრიქციული ავტორხევები ელექტრომექანიკურ სისტემაში	35
1.3. შუალედურსაყრდენიანი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის თავისებურებები	40
თავი 2. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა, ოპტიმალური ტაქტოგრამისა და სიჩქარის დიაგრამის დამუშავება	47
2.1. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა	47
2.2. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მაღალი დინამიკური მახასიათებლების მქონე მოძრაობის ტაქტოგრამის დამუშავება	59
2.3. სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამის განსაზღვრა და შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი ბაგირგზების პოზიციური ელექტროამძრავის დამუშავება	72
2.4. შქკბ-ის სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამის განსაზღვრა	75
თავი 3. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მართვის სისტემის დამუშავება	83
დასკვნები	94
გამოყენებული ლიტერატურა	97

ცხრილების ნუსხა

გვ.

ცხრილი 1. შქკბ-ის კონსტრუქციული და კინემატიკური მახასიათებლები	21
ცხრილი 2. ფაქტორების ვარირების კოეფიციენტები	74
ცხრილი 3. ექსპერიმენტის გეგმა	74

ნახაზები ნუსხა

88.

ნახ. 1. ფიქსირებული ტრანექტორიის მქონე ციკლური მოქმედების მექანიზმის ტიპიური ტაქოგრამა.....	23
ნახ. 2. ასმ-ის მინიმალურ დროში შენელების ოპტიმალური დიაგრამა.....	24
ნახ. 3. სამკუთხა ტაქოგრამის დროს ოპტიმალური სიჩქარის დამოკიდებულება გადაადგილებაზე	28
ნახ. 4. აჩქარების დავალების დიაგრამა	30
ნახ. 5. ორმასიანი საანაგარიშო მოდელი.....	31
ნახ. 6. შენელების გარდამავალი პროცესის გრაფიკი აჩქარების სიგნალის სწორკუთხა (ა) და სამკუთხა (ბ) ფორმებისას	32
ნახ. 7. გადაადგილების დროითი ოპტიმალური დიაგრამა.....	33
ნახ. 8. ა) აჩქარების დამოკიდებულება სიჩქარეზე, ბ) სიჩქარის დამოკიდებულება მობრუნების კუთხეზე	34
ნახ. 9. ხახუნის მახასიათებელი	36
ნახ. 10. ხახუნის მახასიათებელი - ბლანტი ხახუნის მდგენელი	37
ნახ. 11. შქკბ-ის ამძრავი ბორბალი	39
ნახ. 12. შქკბ-ის ტიპიური კინემატიკური სქემა.....	43
ნახ. 13. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის პირველადი საანაგარიშო მოდელი.....	43
ნახ. 14. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის გამარტივებული საანაგარიშო მოდელი	44
ნახ. 15. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანაგარიშო მოდელი მოძრაობის საწყისი მომენტისთვის.....	46
ნახ. 16. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანაგარიშო მოდელი პირველი კაბინის საყრდენზე გადასვლის მომენტში	46
ნახ. 17. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანაგარიშო მოდელი მოძრაობის დასასრულს.....	46
ნახ. 18. შქკბ-ის ზის პროფილიმ როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 1 (კ1).....	51
ნახ. 19. შქკბ-ის ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია კაბინა 1 (კ1).....	52
ნახ. 20. შქკბ-ის გზის პროფილიმ როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 1 (კ1).....	53
ნახ. 21. შქკბ-ის ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 1 (კ1).....	54

ნახ. 22. შქკბ-ის გზის პროფილი, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2).....	55
ნახ. 23. შქკბ-ის ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2)	56
ნახ. 24. შქკბ-ის გზის პროფილი როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2).....	57
ნახ. 25. შქკბ-ის ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2)	58
ნახ. 26. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა	63
ნახ. 27. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების კაბინის სიჩქარის გაადადგილების ფუნქციაში ცვლადი ოპტიმალური დიაგრამა	82
ნახ. 28. ელექტროამძრავის მართვის ზოგადი სტრუქტურული სქემა.....	84
ნახ. 29. შქკბ-ის პოზიციური მართვის ელექტროამძრავის ფუნქციონალური სქემა. 1 -მართვის მიკროპროცესორული მოწყობილობა; 2- ელ.ამძრავის დაქვემდებარებული რეგულირების მართვის სისტემა; 3- ასინოქრონული ელექტროამძრავი ვექტორული მართვით; 4 - ადგილმდებარეობის გადამწოდი	89
ნახ. 30. შქკბ-ის ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა (პირველი კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე) ნაწილი 1.....	90
ნახ. 30. შქკბ-ის ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა (მეორე კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე) ნაწილი 2.....	91
ნახ. 31. შქკბ-ის ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა (პირველი კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის შემდეგ)	92
ნახ. 32. შქკბ-ის ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა (მეორე კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის შემდეგ)	93

გამოყენებული აბრევიატურები

- ქკბ - ქანქარისბერი კიდული ბაგირგზები;
- ასმ - ამწე-სატრანსპორტო მანქანები;
- შქკბ - შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისბერი კიდული ბაგირგზები;
- კმკმგ - კაბინის მდებარეობის კონტროლის მაგნიტური გადამწოდი;
- მმნსმ - მოძრავ-მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი;
- შო - შემსრულებელი ორგანო;
- ამ - ასინქრონული ძრავა;
- სგ - სიხშირული გარდამქმნელი;
- მქკ - მარგი ქმედების კოეფიციენტი;
- მშრამ - მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავა;
- ეტდ - ელექტროტექნოლოგიური დანადგარები;
- სრაე - სიხშირულ-რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავები.

მადლიერება

დიდ მადლობას ვუხდით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა ფაკულტეტის „ელექტრომობილარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის ყველა აკადემიურ და დამხმარე პერსონალს სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობისას გაწეული დახმარებისათვის. განსაკუთრებით დეპარტამენტის პროფესორ გივი შაველაშვილსა და პროფესორ გურამ ცხომელიძეს სასწავლო ცენტრ „შნიდერ ელექტრის“ ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მართვის ლაბორატორის მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავის სიხშირული მართვის სტენდზე (Altivar 71) ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარებისას დახმარებისათვის.

შესავალი

თემის აქტუალობა. თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს შორის ერთ-ერთ უმთავრესს, ელექტროენერჯის ეფექტური მოხმარება წარმოადგენს. ეს მოთხოვნები განსაკუთრებით მწვავედ დგას საშუალო და დიდი სიმძლავრის ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა (ეტდ) და კომპლექსების მიმართ რომელთაც, გარკვეული მიზეზების გამო, დაბალი ენერგეტიკული მაჩვენებლები გააჩნიათ, რომელთა შორის მექანიზმების ავტომატიზირებულ ელექტროამძრავებს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავიათ. მნიშვნელოვანია, რომ როგორც პრაქტიკული გამოყენების, ასევე სამეცნიერო კვლევის თვალსაზრისით, განსაკუთრებული ადგილი ამწე სატრანსპორტო მექანიზმებს (ასმ) უჭირავს, რომელთა შორისაა სატვირთო და სამგზავრო ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზები (ქკბ). მნიშვნელოვანია, რომ, კინემატიკური სქემისა და მოძრაონის არასწორხაზოვანი ტრექტორიის შედეგად, ქკბ-ის ელექტრომექანიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესები განსაკუთრებული სირთულით გამოირჩევიან. შედეგად, მნიშვნელოვნად დაბალია ქკბ-ის ელექტროამძრავების ენერგეტიკული მაჩვენებლები და აქედან გამომდინარე ენერგოეფექტურობა.

ქკბ გარე სატრანსპორტო მოწყობილობას წარმოადგენს, რომელიც გადაადგილებს ადამიანებს ან ტვირთებს წინასწარ განსაზღვრულ მანძილზე მიწის ზედაპირიდან გარკვეულ სიმაღლეზე (რამდენიმე ათეული მეტრი). მამასადამე, ქკბ გაზრიდილი უსაფრთხოების სატრანსპორტო დანადგარს წარმოადგენს. შესამამისად, მათ და განსაკუთრებით სამგზავრო საბაგრო მაღალი მოთხოვნები წაყენებათ.

ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზებიდან, მათი მუშაობის რეჟიმების და კინემატიკური სქემის თავისებურებებიდან გამომდინარე შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ები გამოირჩევიან, რადგან ამ მექანიზმების ელექტროამძრავებს, მუშაობის ერთი ციკლის განმავლობაში, მუშაობა

უწევთ, როგორც ძრავულ, ასევე გენერატორულ რაჟიმში. ამავდროულად, კვბ-ების ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკური ნაწილის ელემენტების პარამეტრები (მასებშორის დრეკადობები და მასათა შორის გადანაწილება) კაბინის გადაადგილების ფუნქციაში იცვლება. ასევე იცვლება, მოძრავ მექანიკური ნაწილის სტრუქტურაც (ორმასიანი და სამმასიანი). შედეგად, ელექტროამძრავის ელექტრომექანიკურ ნაწილი წარმოიქმნება ელექტრომექანიკური ელექტროამძრავების მართვის თვალსაზრისით კვბ-ები დინამიკური (რიგ შემთხვევაში ჩაუქრობელი) პროცესები, რომლებიც ართლებენ ელექტროამძრავის მართვას და აუარესებენ ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შუალედურ საყრდენიანი ქანქარასებრი კვბ-ის ელექტროამძრავების ოპტიმალური მართვის სისტემის დამუშავება, როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით, ერთერთ მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ორმასიანი შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების კინემატიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესების გამოკვლევა, ამძრავ ბორბალსა და წევის ბაგირს შორის არსებული ბლანტი ხახუნის გათვალისწინებით, ელექტროამძრავის მოძრავმექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის სრულყოფა და ელექტროამძრავის მაღალი დინამიკური მაჩვენებლების მქონე პოზიციური მართვის სისტემის დამუშავება.

ძირითადი ამოცანები.

1. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების (შქკბ) ელექტროამძრავების პოზიციონირების რეჟიმების შესწავლა და მისი იმგვარად დამუშავება, რომ მიღწეულ იქნეს კიდული კაბინების გადაადგილების მაქსიმალური სიჩქარე და მართვის სიზუსტე;

2. დამუშავდეს შქკბ-ის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის ოპტიმალური საანგარიშო მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ბლანტი ხახუნის გავლენა მექანიზმში მიმდინარე ელექტრომექანიკურ პროცესებზე;
3. შქკბ-ის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის დამუშავება, რომელიც გაზრდის მექანიზმის მწარმოებლუნარიანობას და მართვის სისტემის სიზუსტეს;
4. დამუშავდეს ელექტროამძრავის გადაადგილების ოპტიმალური დიაგრამა, რაშიც გათვალისწინებული იქნება კიდული კაბინების ტრაექტორიისა და მოძრავ-მექანიკური ნაწილის სტრუქტურის ცვლილებები;
5. შეიქმნას შქკბ-ის ელექტროამძრავის პოზიციური მართვის სისტემა, რომელიც შემუშავებული მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის საფუძველზე უზრუნველყოს მექანიზმის მაქსიმალურ მწარმოებლუნარიანობას და მართვის სიზუსტეს.

კვლევის მეთოდები:

შუალედურ საყრდენიანი ქანქარასებსი კიდული ბაგირგზების კაბინის გადაადგილების მექანიზმის ელექტროამძრავის ოპტიმალური ტაქოგრამის ძირითადი პარამეტრის (ბიძგის) განსაზღვრის მათემატიკური გამოსახულება დამუშავებულია „ექსპერიმენტის დაგეგმის მეთოდის“ გამოყენებით.

სამეცნიერო სიახლე.

სადისერტაციო ნაშრომი შეიცავს შემდეგ სამეცნიერო სიახლეებს:

1. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკური ნაწილის დამუშავებული საანგარიშო მოდელი ითვალისწინებს, როგორც წვევის ბაგირით განპირობებული მასათა შორის, მოძრაობის ფუნქციაში ცვლადი დრეკადი კავშირებს, ასევე წამყვან ბორბალსა და წვევის ბაგირს შორის ფრიქციული გადაცემის ბლანტ ხახუნს;

2. შქკბ-ის კაბინის მოძრაობის სიჩქარის გზის ფუნქციაში ცვალებადობის ოპტიმალური დიაგრამა დამუშავებულია დამუშავებოლია ელექტროამძრავის ბიძგის პირველი რიგის წარმოებულის საფუძველზე შდგენილი ელექტროამძრავის მოძრაობის ოპტიმელური ტაქოგრამის მიხედვით;
3. შქკბ-ისათვის დამუშავდა ელექტროამძრავის პოზიციური მართვის სისტემის ფუნქციონალური სქემა, რომელიც დაფუძნებულია მოკლედშერთული როტორიანი ასინქრონულ ელექტრილ ამძრავზე ვექტორული მართვით, ძრავას დატვირთვის დენის, სიჩქარის, სიხშირული გარდამსახის და კაბინის გადაადგილების უკუკავშირებზე.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.

შქკბ-ის მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონილი ელექტროამძრავის შიხშირული მართვით შაფუძველზე დამუშავებული პოზიციური მართვის სისტემის პრაქტიკული რეალიზაცია უზრუნველყოფს: ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მექანიკური დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაციას, კაბინის მოძრაობის საშუალო სიჩქარის გაზრდას, საბაგრო გზის მწარმოებლურობის ამაღლებას, ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესებას და ენეროეფექტურობის ამაღლებას.

ნაშრომში დამუშავებული ელექტროამძრავის მართვის სისტემა, მოძრავ მექანიკურ ნაწილში წარმოქმნილი მექანიკური დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაციის შედეგად, უზრუნველყოფს კინემატიკური სქემის ელემენტების ინტენსიური ცვეთის შემცირებას და გამორიცხავს მათ დინამიკური დარტყმებით განპირობებულ დაზიანებებს და მწყობრიდან გამოსვლას;

ნაშრომში დამუშავებული მაღალი დინამიკური მახასიათებლის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამისა და კიდული კაბინების სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამის საფუძველზე დამუშავებული ელექტროამძრავის

მართვის პოზიციური მართვის სისტემის სისტემის გამოყენება შესაძლებელია, როგორც ახალი შქკბ-ის ელექტროამბრავების მართვის სისტემების დაპროექტებისას, ასევე მოქმედის საბაგირო გრების მოდერნიზაციისას;

შქკბ-ის ელექტროამბრავის მართვის დამუშავებული სისტემა მაღალი საიმედოობით, შესრულებისა და შემდგომი ექსპლუატაციის სიმარტივით გამოირჩევა, შესაბამისად იგი არ მოითხოვს მაღალკვალიფიციურ ელექტრო-ტექნიკურ პერსონალს, რაც საკმაოდ მნიშვნელოვანია ისეთი მაღალმთიანი ადგილებისთვის, სადაც გამოიყენება აღნიშნული მექანიზმები.

თავი 1. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების მექანიკური ნაწილის თავისებურებანი

1.1. სამრეწველო დანიშნულების ციკლური მუშაობის რეჟიმის ელექტროამძრავების მიმართ წაყენებული მოთხოვნების ანალიზი და მათი მუშაობის რეჟიმის ოპტიმიზაცია

ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზები(ქკბ) შედის სამრეწველო ციკლური მუშაობის რეჟიმის მქონე დანადგარების მრავალრიცხოვან სიაში, იგი ერთიანდება ამწევ-სატრანსპორტო მანქანების (ასმ) საერთო ჯგუფში. ასმ-სა და ქკბ-ის საერთო მახასიათებლებს წარმოადგენს მათი მოძრაობის ხასიათი, ფუნქციონალური დანიშნულება, ამწევი ჯალამბარების საერთო კონსტრუქციული ნაწილი, შემაერთებელი ელემენტები. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია, თავდაპირველად განვიხილოთ ასმ-ისა და ციკლური მუშაობის სხვა მექანიზმების ელექტროამძრავების განვითარებისა და ოპტიმიზაციის თანამედროვე გზები, რათა გამოვიკვლიოთ რამდენად შესაძლებელია ამძრავის იდენტური ავტომატიზაციის გამოყენება ქკბ-ის ელექტროამძრავების შემთხვევაში.

ცხრილ 1 -ში წარმოდგენილია შქკბ-ის კონსტრუქციული და კინემატიკური მახასიათებლები. ცხრილი შედგენილია პრაქტიკაში დღესდღეობით გამოყენებული მექანიზმების მაგალითზე. აღნიშნული პარამეტრების საფუძველზე შესაძლებელია რაოდენობრივად შეფასდეს შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის ელექტროამძრავის მართვის სისტემის ავტომატიზაციის თავისებურებები.

შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის მუშა პროცესისას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს კიდული კაბინების სიჩქარის შემცირებასა და გაზრდას მათი შუალედურსაყრდენზე მიახლოვების და შუალედური საყრდენის გადასვლის მომენტებში.

ცხრ. 1. შქკბ-ის კონსტრუქციული და კინემატიკური მახასიათებლები

#	მახასიათებელი	მინიმალური მნიშვნელობა	მაქსიმალური მნიშვნელობა
1	ტრასის სიგრძე, მ.	400	2500
2	დონეებს შორის სხვაობა, მ.	100	1500
3	მალის სიგრძე, მ.	100	2000
4	საყრდენების რაოდენობა, ც.	0	4
5	დახრის კუთხე, გრად.	5	45
6	კიდული კაბინის წონა, კგ	360	3500
7	კიდული კაბინის ტვირთამწეობა, ტ.	0.6	5.6
8	მოდრავი მექანიკური ნაწილის წონა, ტ.	2.5	18.0
9	გადაადგილების სიჩქარე, მ/წმ.	1.0	12.5
10	საყრდენზე გადასვლის მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარე, მ/წმ.	4.0	8.0
11	სიჩქარის ცვლილების დიაპაზონი, %	20	30
12	დამუხრუჭების დრო, წმ.	6	20
13	კიდული კაბინის საკიდის რეზონანსული სიხშირე, ჰც	1.5	2.0

შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ცხრილში წარმოდგენილი კონსტრუქციული პარამეტრების გარდა, მნიშვნელოვანია მისი საექსპლუატაციო მაჩვენებლების შეფასებაც.

იგი ამწე-სატრამსპორტო დანადგარია, რომელიც გამოიყენება ტვირთის ან ადამიანთა ჯგუფის წინასწარ ცნობილი ტრანექტორიით გადასადგილებლად, მიწის დონიდან გარკვეულ სიმაღლეზე. შესაბამისად, საკმაოდ მკაცრია უსაფრთხოების ის მოთხოვნები, რაც შქკბ-ს წაეყენებათ, რაზეც დეტალურად შემდეგ თავებში ვისაუბრებთ.

განვიხილოთ ასმ-ის ელექტროამძრავის ავტომატიზაციის თანამდროვე დონეები და მიზნები. პირველ ეტაპზე მნიშვნელოვანია ელექტროამძრავის გაშვებისა და დამუხრუჭების ავტომატიზაციის საკითხების გადაჭრა, რომელიც თავის მხრივ უზრუნველყოფს აჩქარების შეზღუდვას და მის მუდმივობას, ასევე მაქსიმალური დენისა და მომენტის მექანიკური მახასიათებლების შეზღუდვას [1,2]. ამასთან, ავტომატიზაცია თავის თავში მოიაზრებს დამუხრუჭებისა და აჩქარების პროცესების სრულყოფას და ეფექტურად რეალიზდება ელექტროამძრავის მართვის სისტემის შექმნით, რომელიც დამყარებულია კოორდნატების დაქვემდებარებული რეგულირების პრინციპზე, რომელშიც გამოიყენება ინტენსივობის რეგულირებაზე პასუხისმგებელი გადამწოდები, ასევე დენის, ძაბვისა და სიჩქარის გადამწოდი [3,4,5]. გარდა მოძრაობის დინამიკისა ავტომატიზაცია უზრუნველყოფს დამყარებული მოძრაობის სტაბილიზაციის საკითხების გადაჭრას სიჩქარის დონის რეგულირების გზით. იგი ხორციელდება სიჩქარის რეგულირების სისტემით, რომელიც უზრუნველყოფს მისთვის მოთხოვნილ დონესა და მექანიკური მახასიათებლის აუცილებელ სიხისტეს.

შემცირებული სიჩქარისას მექანიკური მახასიათებლის დიდი სიხისტის დროს, შესაძლებელია მექანიკური მუხრუჭის გამოყენებით საკმაოდ დიდი სიზუსტით დამუხრუჭება. მიუხედავად ამისა, ასმ-ის თანამდროვე სისტემებში დამუხრუჭების ასეთმა გზამ შესაძლოა მაინც არ მოგვცეს სასურველი შედეგი, რაც განპირობებულია დამუხრუჭების მაქსიმალური სიზუსტის მოთხოვნებით, ასეთ მექანიზმებს წარმოადგენს სწრაფლმავალი ლიფტები, გალისებრი შახტური ამწეები [6,7,8]. ასეთ შემთხვევებში დონეების ავტომატური გათანაბრება ხდება ელექტროამძრავის ან სპეციალური მექანიკური საშუალებების გამოყენებით.

შედარებით სრულყოფილი ავტომატიზაციის დონით გამოირჩევა ციკლური მუშაობის რეჟიმის ფიქსირებული ტრაექტორიის მექანიზმები, როგორებიცაა: ლიფტები, შახტური ამწეები და ა.შ. ამ მექანიზმები ტიპური

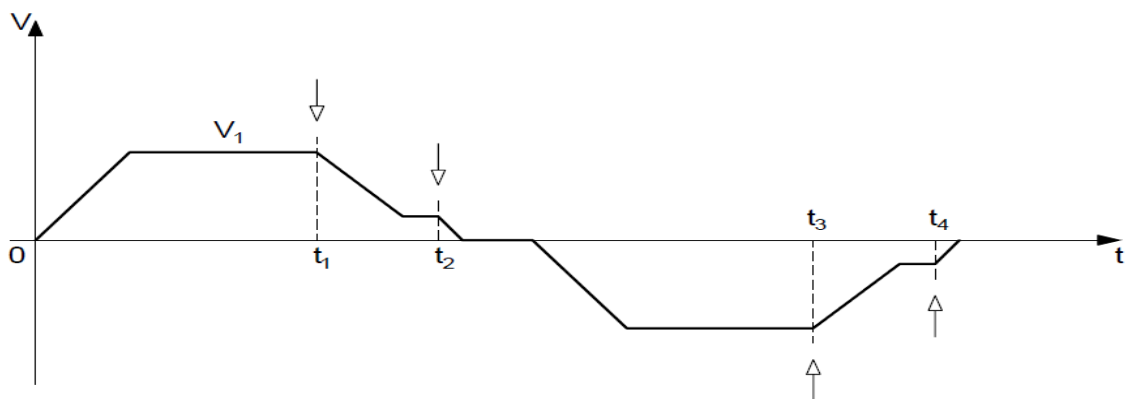
ტაქოგრამა ნაჩვენებია ნახ.1-ზე. როგორც წესი, ზუსტი გაჩერება მიიღწევა გაჩერების ზონაში „გაჭიმვის“ რეჟიმით, შემცირებულ სიჩქარეზე (a_0). დროის t_1 და t_3 მომენტებში შენელებისა და t_2 და t_4 მომენტში მექანიზმის მექანიკური მუხრუჭის გამოყენების სიგნალები გაიცემა ავტომატურად, ლიმიტის გადამრთველების გამოყენებით. ასეთ სრულად ავტომატიზირებულ ციკლში დროის დანაკარგები, რომელიც დანადგარის მწარმოებლობას ამცირებს, გამოწვეულია ე.წ. „გაჭიმვის“ რეჟიმით, რომელსაც ადგილი აქვს მექანიზმის გაჩერებამდე.

შევაფასოთ დროის დანაკარგის სიდიდე, რაც გამოწვეულია „გაჭიმვის“ რეჟიმით. იგი აკომპენსირებს ფარდობით არათანაბრობას $\delta_a = \pm \frac{\Delta a}{a_0}$, რომელიც, უზრუნველყოფს აჩქარების მუდმივობას დამუხრუჭების პროცესში. შეცდომა აჩქარებისას ($\pm \Delta a$) იწვევს შეცდომას დამუხრუჭებისას:

$$\Delta S_n = \frac{v_p^2}{2a_p(1 - \delta_a)} - \frac{v_p^2}{2a_p(1 + \delta_a)} \approx \delta_a \frac{v_p^2}{a_p}, \quad (1)$$

„გაჭიმვის“ რეჟიმისა დროის დანაკარგის სიდიდე შეადგენს:

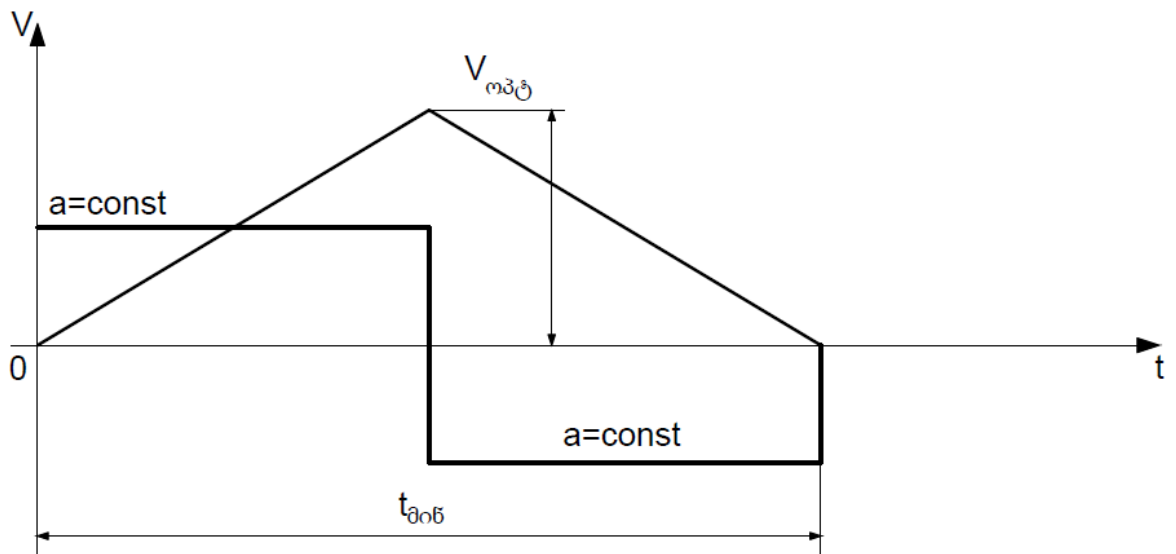
$$\Delta T_1 = \delta_a \frac{v_p^2}{v_1 a_p} = \delta_a D \cdot t_p \quad (2)$$



ნახ. 1. ფიქსირებული ტრაექტორიის მქონე ციკლური მოქმედების მექანიზმის ტიპიური ტაქოგრამა

$$\frac{\Delta t_1}{t_p} = \delta_a \cdot D \quad (3)$$

სადაც V_{θ} , V_{φ} - შესაბამისად მაქსიმალური მუშა და შემცირებული სიჩქარეებია „გაჭიმვის“ რეჟიმის დროს, მ/წმ; a_{θ} - საშუალო მუშა აჩქარება, მ/წმ²; $t_{\varphi} = \frac{V_{\theta}}{a_{\theta}}$ - დამუხრუჭების დრო „გაჭიმვის“ რეჟიმის გარეშე, წმ.



ნახ. 2. ასმ-ის მინიმალურ დროში შენელების ოპტიმალური დიაგრამა

ასმ-ების მწარმოებლობის ფარდობითი შემცირება, ერთი ციკლის პერიოდში, გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta P = \frac{\Delta t_{\theta}}{2t_{\varphi} + t_{\theta} + t_0} \quad (4)$$

სადაც $t_{\theta} = \frac{s-2s_{\varphi}}{V_{\theta}}$ - მოძრაობის მაქსიმალური მუშა სიჩქარეა, წმ; t_0 - პაუზის დროა, წმ.

Δt_{θ} , t_{φ} , t_{θ} - ის მნიშვნელობების გათვალისწინებთ, ვიღებთ:

$$\Delta P = \frac{\delta_a D}{1 + \frac{S}{2S_{\text{ფ}}} + \frac{V_{\theta}}{2S_{\text{ფ}}} t_0} \quad (5)$$

სადაც S - გადაადგილების სრული გზაა, ხოლო $S_{\text{ფ}}$ - მექანიზმის დამუხრუჭების გზა, მ.

(1), (2) და (5) განტოლებები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ დროისა და მწარმოებლურობის დანაკარგები „გაჭიმვის“ რეჟიმის დროს, ამასთან, ქმნის საშუალებას შენელების დროს პოზიციონირების რეჟიმი გამოყენებულ იქნეს ეფექტურად და მიზანმიმართულად.

ასმ-ების მაღალი სამუშაო სიჩქარისას განსაკუთრებული მოთხოვნები წაყენება შენელების გადამწოდის საიმედოობასა და მისგან მომავალი სიგნალის სისწორეს (10მ/წმ ლიფტებისა და ქვბ-ის შემთხვევაში, 20მ/წმ-მდე შახტური ამწეებისას). ის უნდა აკონტროლებდეს მუშა ორგანოს მდებარეობას და უზრუნველყოს საიმედო სიგნალი უკონტაქტო გზით. გადამწოდების არასწორი მოქმედება ან მწყობრიდან გამოსვლამ, შეიძლება გამოიწვიოს ტვირთით ან ხალხით შევსებული მუშა ორგანოს დასაშვები გაჩერების ზონიდან გასვლა ან გაცილებით მძიმე ავარიები. საჭირო გადამწოდების არ არსებობის ან მათი საიმედოობის არასაკმარისი დონის დროს ბევრ თანამედროვე დანადგარში შენელების სიგნალი მიეწოდება ოპერატორის დახმარებით (შახტური ამწე მექანიზმები, ექსკალატორები, საბაგრო გზები). იზრდება დროის დანაკარგები, რაც გამოწვეული დამუხრუჭების რეჟიმის ადრეული დასაწყისით, რომელსაც ოპერატორი იღებს გარკვეული რეზერვის გათვალისწინებით.

ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე, სამუშაო ციკლის დროს დროის მინიმალური დანაკარგების მიღწევა შესაძლებელია ციკლის სრული ავტომატიზაციით, კერძოდ, ელექტროამძრავის შენელების ყველა ინტერვალში პოზიციონირების დანერგვით. ასმ-ში ცნობილია ისეთი მექანიზმები, სადაც მიღწეულია მუშა პროცესის სრული ავტომატიზაცია და პოზიციონირება, მაგალითად, მაღალსართულიანი შენობების

სწრაფლმავალი ლიფტები, რომელშიც გამოიყენება მდებარეობის განმსაზღვრელი ციფრული გადამწოდები და მათი კონტროლის პროგრამური უზრუნველყოფა. ციკლური მუშაობის რეჟიმის მქონე სხვა სახის ელექტროამძრავებიდან, რომელშიც მსგავსი პოზიციონირების სისტემა გვხვდება, რითაც შესაძლებელია ზუსტი გაჩერება წინასწარ სიჩქარის შემცირების გარეშე, აღსანიშნავია მძლავრი საანტენო და რადიოტელესკოპების ელექტროამძრავები. მიუხედავად იმისა, რომ ზემოთ ჩამოთვლილი დანადგარების ერთმანეთისგან განსხვავებულია როგორც ტექნიკური, ასევე კინემატიკური და კონსტრუქციული კუთხით, მათი ელექტროამძრავები იდენტური მოთხოვნებით და დავალებებით ხასიათდება, მაგალითად: მოძრავი ნაწილის მრავალმასიანობით, აჩქარების შეზღუდვის აუცილებლობით, შენელების შემდეგ ზუსტი გაჩერებით და ა.შ. ასმ-ისა და ქკბ-ის პრაქტიკაში მიღებული მექანიზმების ციფრული მართვის სისტემები საკმაოდ რთულია, და დამყარებულია სპეციალური მოძრაობის გადამწოდების ადგილმდებარეობაზე, რომლებიც კონსტრუქციულად არ მიესადაგება ასმ-ისა და ქკბ-ის სისტემების ელექტროამძრავებს.

სამრეწველო ციკლური მუშაობის რეჟიმის მქონე დანადგარების სრულყოფილი ავტომატიზაცია ხორციელდება მუდმივი დენის მრავალკონტურიანი ელექტროამძრავის ბაზაზე, რომელიც ხასიათდება კოორდინატების დაქვემდებარებული რეგულირების სისტემით, აჩქარების აუცილებელი შეზღუდვის, ფართო დიაპაზონში სიჩქარის რეგულირებისა და სიჩქარის შემცირების შედეგად ზუსტი გაჩერების შესაძლებლობებით. ქკბ-ში გამოყენებულ ელექტროამძრავებში უშუალოდ ადგილმდებარეობის საიმედო სენსორის არ არსებობს გამო, შეუძლებელი ხდება პოზიციონირების მიღწევა სიჩქარის წინასწარი შეზღუდვის გარეშე. ამავდროულად, სწორედ პოზიციონირება ამცირებს ციკლის დროის დანაკარგებს. აქედან გამომდინარე, მოცემული სამუშაო ეთმობა შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების(შქკბ)

ელექტრომაძრავებში პოზიციონირების რეალიზაციას მოძრავი კაბინის გადაადგილების მთელს სიგრძეზე.

მრავალკონტურიანი ავტომატიზირებული ელექტრომაძრავი კოორდინატების დაქვემდებარებული რეგულირების სისტემით ახდენს გარდამავალი პროცესების ოპტიმიზაციას. თუმცა დასმული ამოცანის ფარგლებში, ოპტიმიზაცია განიხილება უფრო ფართო ჭრილში და მიმართულია ელექტრომაძრავის მაქსიმალური მწარმოებლუნარიანობის მიღწევისკენ (ნახ. 1).

ამწე-სატრამსპორტო მექანიზმებისთვის ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად იზღუდება აჩქარების დასაშვები მნიშვნელობის სიდიდე - $a_{დას}$. ცხადია, S_0 მანძილზე მუშა ორგანოს მაქსიმალურად მოკლე დროში გადაადგილების დიაგრამას აქვს სამკუთხა ფორმა (ნახ. 2). ამასთან:

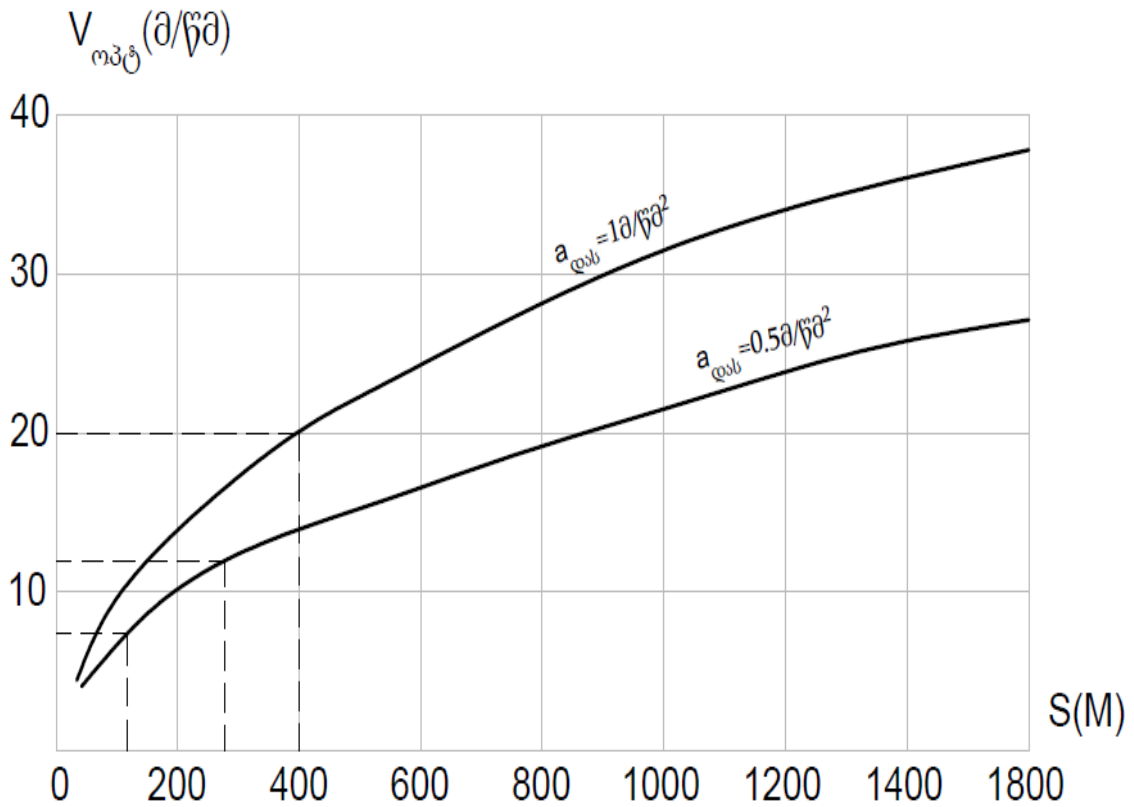
$$V_{მაქს} = V_{ოპტ} = \sqrt{a_{დას} S_0} \quad (6)$$

და

$$t_{მინ} = 2 \sqrt{\frac{S_0}{a_{დას}}} \quad (7)$$

ნახ. 3 -ზე ნაჩვენებია $V_{ოპტ}$ სიჩქარისა და დასაშვები აჩქარების ორი მნიშვნელობისას S_0 გადაადგილების დამოკიდებულება. კონსტრუქციული თავისებურებები და ტექნოლოგიური გარემოებები ზღუდავენ გადაადგილების მაქსიმალური სიჩქარის მნიშვნელობებს. თანამედროვე შახტური დანადგარებისთვის $V_{მაქს} = 20$; სწრაფლმავალი ლიფტებისა და საბაგრო გზებისთვის - 12.5 მ/წმ. დასაშვები სიჩქარის გათვალისწინებით, სიჩქარის ოპტიმალური სამკუთხა დიაგრამის რეალიზება შესაძლებელია ლიფტებისა და შახტური ამწე დანადგარებისთვის. იშვიათ შემთხვევებში იგი ასევე შეიძლება რეალიზდეს საკმაოდ მცირე სიგრძის საბაგრო გზებისთვისაც (300 მ-მდე). ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების უმრავლესობისთვის სიჩქარის შეზღუდვისა და საკმაოდ გრძელი ტრასის

(როგორც წესი მეტი 300მ-ზე) არსებობის პირობებში სიჩქარის სამკუთხა დიაგრამის მიღება ვერ ხერხდება, იგი გარდაიქმნება ტრაპეციულ ფორმაში, რაც ოპტიმალურია გადაადგილებისთვის საჭირო მინიმალური დროის მიღების პირობებში, შესაბამისად მიიღწევა მაქსიმალური მწარმოებლუნარიანობა სიჩქარისა და აჩქარების დასაშვები შეზღუდვების დროს. თუმცა, პრაქტიკულად სიჩქარის ტრაპეციული დიაგრამის მიღება, ისე რომ დაცული იყოს პირობა, რითაც დაუშვებელია შემსრულებელი ორგანოს აჩქარების მუდმივობის დარღვევა, ვერ ხერხდება დენის კონტურის ელექტრომაგნიტური ინერციისა და ელექტროამძრავის მრავალმასიანი მოძრავი მექანიკური ნაწილის გამო.



ნახ. 3. სამკუთხა ტაქოგრამის დროს ოპტიმალური სიჩქარის დამოკიდებულება გადაადგილებაზე

განვიხილოთ მოძრავი მექანიკური ორმასიანი სისტემის რეაქცია ელექტროამძრავზე მოდებული ორი მომენტის პირობებში: სწორკუთხა -

პირველ მასამდე აჩქარება რჩება მუდმივი ($\varepsilon' = const$) და სამკუთხა - აჩქარება წრფივად იზრდება მაქსიმუმამდე და წრფივად მცირდება ნულამდე ($\varepsilon'' = \rho t$ როცა $0 \leq t \leq t_M$, $\varepsilon' = \rho(t_M - t)$ როცა $0 \geq t \geq t_M$).

ამასთან, აჩქარების ტემპი ρ შერჩეულია ისე, რომ „სამკუთხა“ აჩქარების საშუალო მნიშვნელობა ტოლი იყოს „სწორკუთხა“ აჩქარების ელექტროამძრავის ორმასიან მოდელს შეესაბამება დიფერენციალური განტოლება, რომელიც აღწერს მეორე მასის აჩქარებას:

$$\varepsilon_3(t) = (T_{12}^2 p^2 + 2T_{12} \vartheta p + 1)\varepsilon \quad (8)$$

სადაც, $T_{12} = \frac{1}{\omega_{12}} = \sqrt{\frac{J_1 J_2}{(J_1 + J_2) c_{12}}}$ - ორმასიანი სისტემის დროის მუდმივია,

წმ; ϑ - ორმასიანი სისტემის მექანიკური დემფირების კოეფიციენტი.

განტოლების ამონახსნს შემდეგი სახე აქვს:

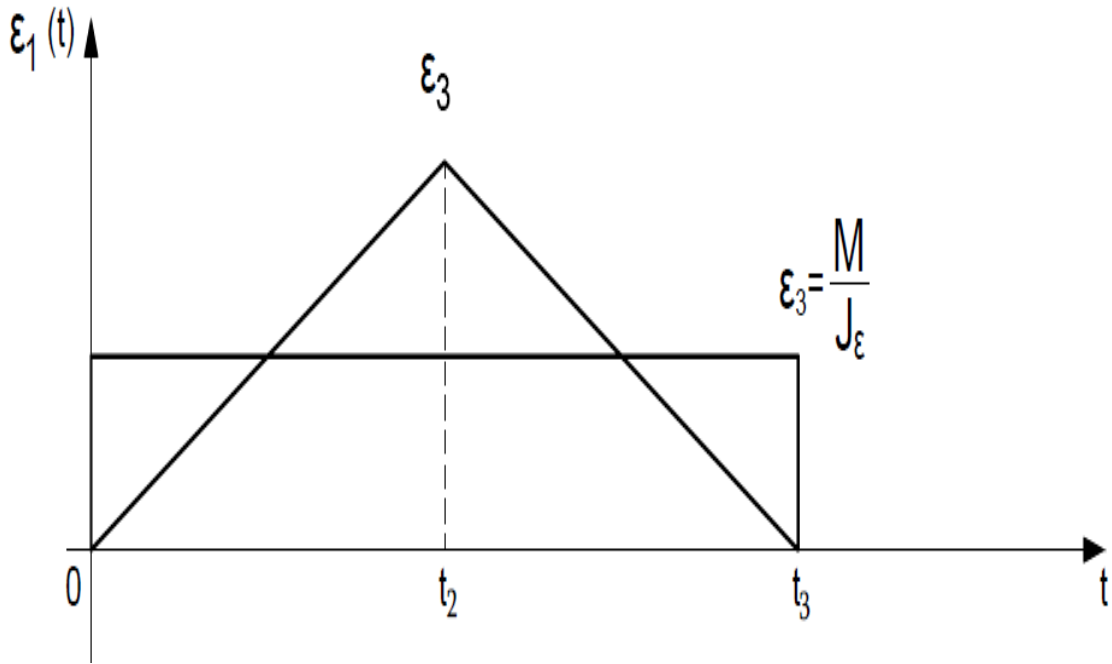
$$\varepsilon' = \varepsilon_{30} - \varepsilon_{30} \cdot e^{-\frac{\vartheta t}{T_{12}}} \left(\cos \omega_{12} \sqrt{1 - \vartheta^2} t - \frac{\vartheta}{\sqrt{1 - \vartheta^2}} \sin \omega_{12} \sqrt{1 - \vartheta^2} t \right) \quad (9)$$

$$\varepsilon_3' = const = \varepsilon_{30}$$

$$\varepsilon'' = \rho t - e^{-\frac{\vartheta t}{T_{12}}} \frac{\rho}{\omega_{12} \sqrt{1 - \vartheta^2}} \sin \omega_{12} \sqrt{1 - \vartheta^2} t \quad (10)$$

$$\varepsilon_3' = \rho t$$

(10) განტოლებით შესაძლებელია $\varepsilon''(t)$ გრაფიკის აგება.



ნახ. 4. აჩქარების დავალების დიაგრამა

(9) და (10) ფორმულების შედეგად მიღებული აჩქარების გრაფიკები ნაჩვენებია ნახ.6 ა და ბ -ზე. იქედან გამომდინარე, რომ მექანიკური დემფირება როგორც წესი მცირე სიდიდისაა ($\vartheta \approx 0.03 - 0.10$), დავალების სწორკუთხა ფორმისას გადარეგულირების აჩქარება ახლოს არის 100% -თან, ამასთან $\Delta \varepsilon'_{მკვ} \approx \varepsilon_{30}$ და $\varepsilon_{მკვ} \approx 2\varepsilon_{30}$. ამავდროულად, აჩქარების პერიოდული მდგენელის ამპლიტუდა აჩქარების სამკუთხა ფორმის დავალებისას, როცა $\vartheta = 0$ (5) ფორმულის მიხედვით გამოითვლება:

$$\Delta \varepsilon_M = \frac{\rho}{\omega_{12}} = \frac{t_{12}}{t_M} \cdot \frac{\varepsilon_0}{\pi} \quad (11)$$

სადაც t_{12} - ელექტროამძრავის მექანიკურ ნაწილში რეზონანსული რხევების პერიოდია,წმ.

(11) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ როცა $t_M \gg t_{12}$ რხევის ამპლიტუდა $\Delta \varepsilon_M$ აჩქარების სამკუთხა დავალებისას, საწყისი აჩქარების შეზღუდვის პირობებში საგრძნობლად მცირეა იმ ამპლიტუდაზე, რომელსაც ვიღებთ შენელების სწორკუთხა დავალების დროს. შესაბამისად,

ბიძგის აჩქარების შეზღუდვისას გარდამავალი პროცესის დროც მცირდება. აქედან გამომდინარე, იმ ელექტროამძრავებში, სადაც ადგილი აქვს რხევადი მექანიკური რგოლის არსებობას, ბიძგის პირველი რიგის წარმოებულის დავალების ყველაზე ოპტიმალურ ფორმას წარმოადგენს სწორკუთხა ფორმა, ამ დროს მცირდება რხევების სიდიდეც და გარდამავალი პროცესის დროც, რაც შეეხება სამკუთხა ფორმას-იგი ოპტიმალურია ბიძგის შეზღუდვისთვის. თუ $\varepsilon_{მკუს}$ მნიშვნელობა გადააჭარბებს დასაშვებს (ნახ.6,ბ) აჩქარების ოპტიმალური სამკუთხა ფორმა გარდაიქმნება ტრაპეციულში.

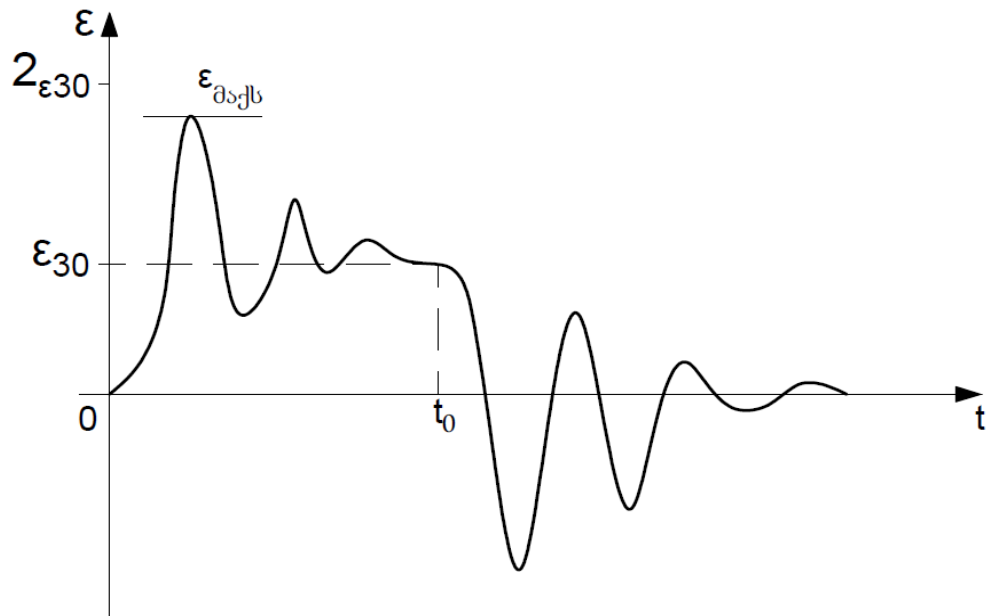


ნახ. 5. ორმასიანი საანაგარიშო მოდელი

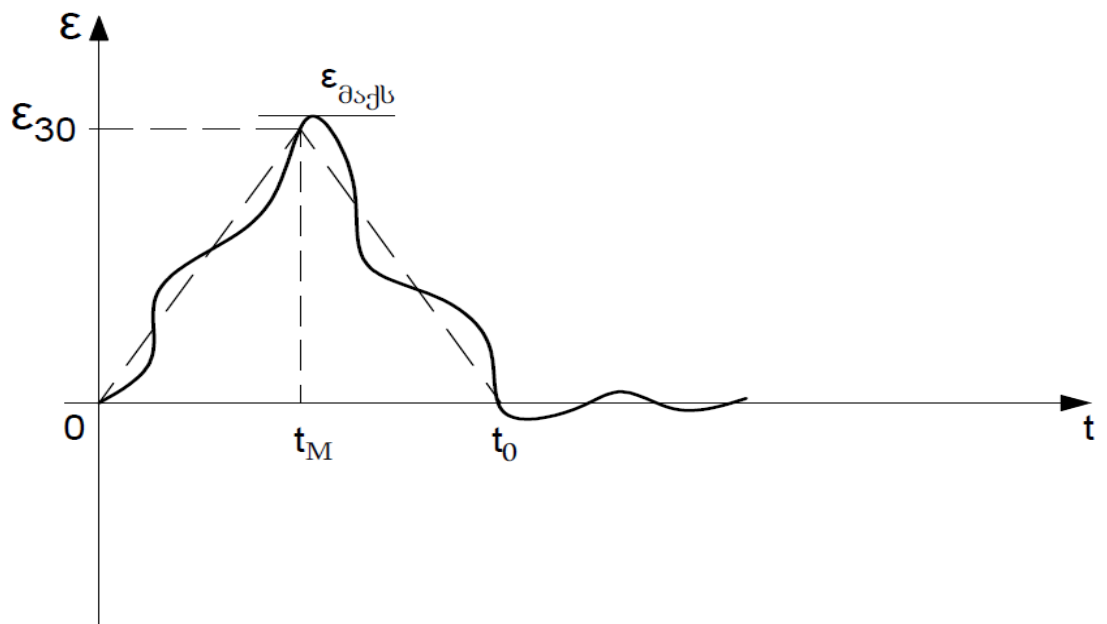
სიჩქარის ω_M , აჩქარების ε_M და ბიძგის ρ_M წინასწარ ცნობილი მაქსიმალურად დასაშვები მნიშვნელობების პირობებში შესაძლო მცირე დროისა და შესაბამისად მაქსიმალური მწარმოებლუნარიანობისას გადაადგილების დიაგრამა შესაძლოა დამუშავდეს პროგრამული გზით, დავალების არაწრფივი კონტროლირებადი კოორდინატებისა და შესაბამისი უკუ კავშირების (კუთხის, სიჩქარისა და აჩქარების) გამოყენებით. დროითი დიაგრამა ნაჩვენებია ნახ. 7-ზე. შესაბამისი დამოკიდებულება აჩქარებისა სიჩქარეზე და სიჩქარისა ბრუნვის კუთხეზე მოცემული გადაადგილების დამუშავების პროცესში მოყვანილია ნახ. 8-ზე. მისი რეალიზებისთვის აუცილებელია აჩქარებისა და სიჩქარის სენსორები არაწრფივი მახასიათებლებით:

$$\varepsilon = \sqrt{2\rho_M\Delta\omega} \quad (12)$$

სადაც $\Delta\omega$ - სიჩქარის ნამატია, რომელიც შეესაბამება წრფივი აჩქარების უბრანებს, რად/წმ.

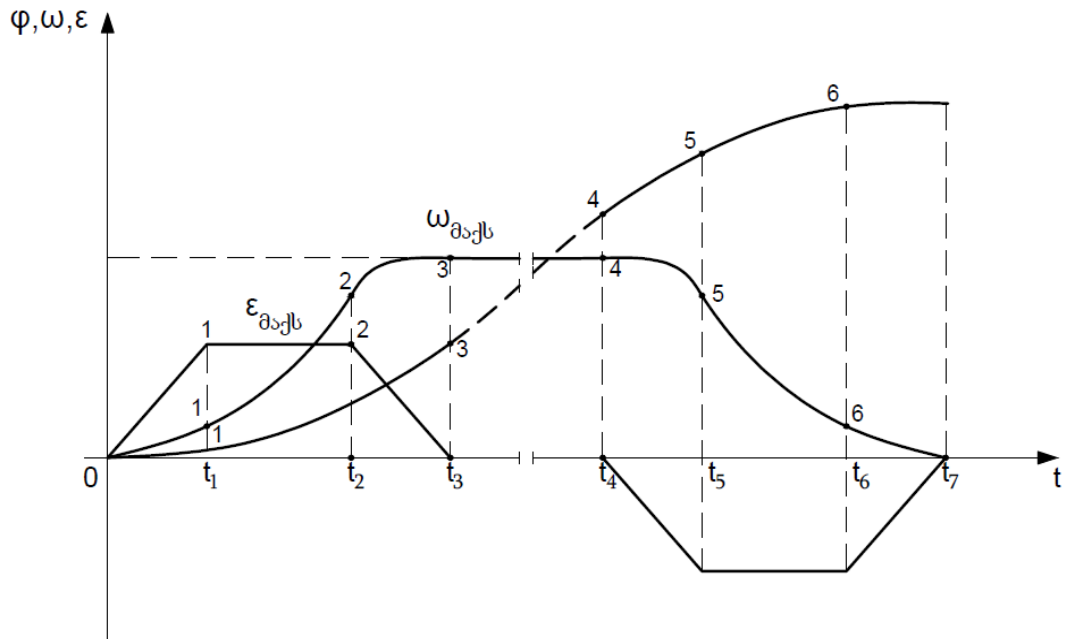


ა)



ბ)

ნახ. 6. შენელების გარდამავალი პროცესის გრაფიკი აჩქარების სიგნალის სწორკუთხა (ა) და სამკუთხა (ბ) ფორმებისას



ნახ. 7. გადაადგილების დროითი ოპტიმალური დიაგრამა

$$\omega = f(\Delta\varphi)$$

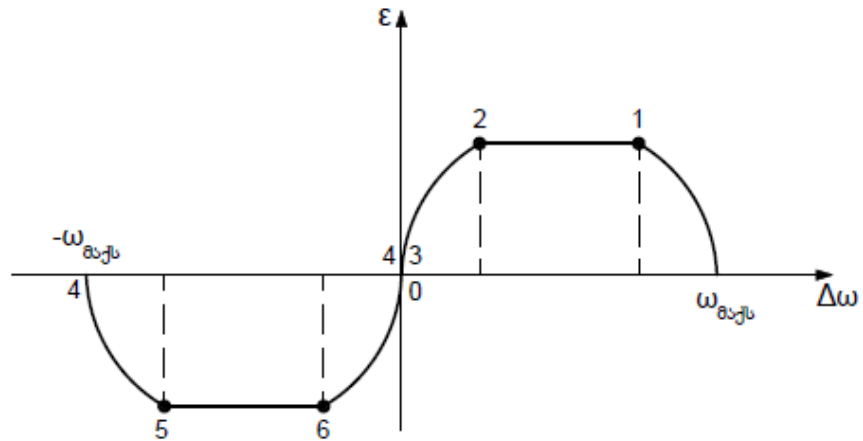
$$\nabla\varphi_1 = \left(\omega_{01} - \frac{\Delta\varphi_1}{3}\right) \sqrt{\frac{2}{\rho}\Delta\omega_1}$$

$$\Delta\varphi_2 = \frac{\Delta\omega_2}{\varepsilon_M} \left(\omega_{02} - \frac{\Delta\omega_2}{2}\right) \quad (13)$$

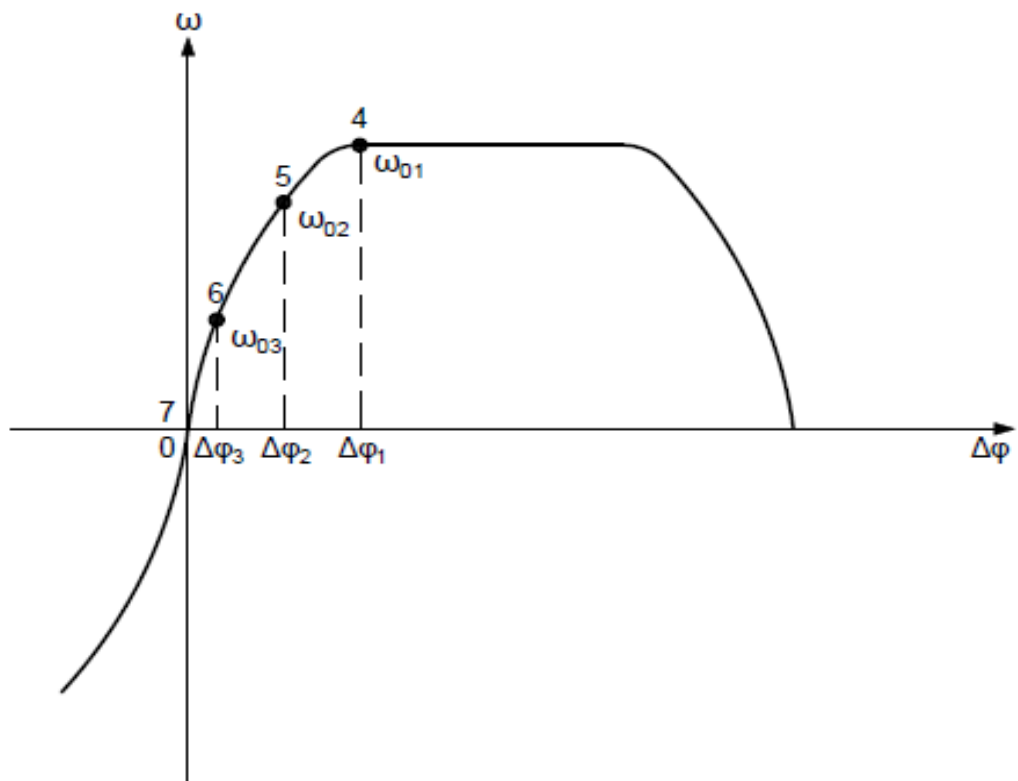
$$\Delta\varepsilon_3 = \frac{\omega_{03}}{3} \sqrt{\frac{2}{\rho}\omega_{03}} - \frac{\omega}{3} \sqrt{\frac{2}{\rho}\omega}$$

(12) და (13) ფორმულების მიხედვით ციფრული ტექნიკის გამოყენებით მობრუნების კუთხის, სიჩქარისა და აჩქარების დანაყენები შეიყვანება ელექტროამძრავის ელექტურილი კონტურის შესასვლელებზე - კუთხე, სიჩქარე და აჩქარება, შესაბამისი ჩაკეტილი უკუკავშირებით. მიღებულ პოზიციურ სისტემაში ელექტროამძრავის მართვა ხორციელდება, როგორც გამორთვაზე (შეცდომაზე) ასევე დამატებითი სიჩქარისა და აჩქარების სიგნალების მიხედვით. აქედან გამომდინარე, გადაადგილების ოპტიმალური დიაგრამა რეალიზდება კომბინირებული მართვის რთული სისტემის ბაზაზე. ასეთი სისტემის აგებისათვის საჭიროა, როგორც

კოორდინატების დავალების არაწრფივი მაფორმირებლები, ასევე გადამწოდები, რომლებიც ზომავენ უშუალოდ შემსრულებელი ორგანოს კოორდინატებს.



ა)



ბ)

ნახ. 8. ა) აჩქარების დამოკიდებულება სიჩქარეზე, ბ) სიჩქარის დამოკიდებულება მობრუნების კუთხეზე

1.2. ბლანტი ხახუნი და ფრიქციული ავტორხევები ელექტრომექანიკურ სისტემაში

მექანიკური დინამიკური პროცესების გადაჭრისას საჭიროა, მხედველობაში იყოს მიღებული ხახუნის ძალები. არსებობს უძრაობის ხახუნი, სრიალის ხახუნი და ბლანტი ხახუნი. უძრაობის ხახუნის ძალა ყოველთვის მიმართულია შესაძლებელი მოძრაობის საწინააღმდეგოდ, სრიალის ხახუნი ძალა მიმართულია მოხახუნე ზედაპირების მოძრაობის ფარდობითი სიჩქარის საწინააღმდეგოდ. უძრაობის ხახუნის მაქსიმალური ძალა, ისევე როგორც სრიალის ხახუნისა განისაზღვრება ფორმულით:

$$F_b = k \cdot P_f \quad (14)$$

სადაც k - ხახუნის კოეფიციენტი, თუ მოძრაობის სიჩქარე მცირეა, მაშინ მოძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი არ განსხვავდება სრიალის ხახუნის კოეფიციენტისაგან; P_f - ნომინალური წევის ძალაა, რომელიც მოხახუნე ზედაპირის პერპენდიკულარულია და სიდიდით ზედაპირის ნომინალური რეაქციის ძალის ტოლია.

ხახუნი არის სხეულების კონტაქტის შედეგად წარმოქმნილი ძალა, რომელიც ეწინააღმდეგება სრიალის მოვლენას ამ სხეულების შეხების ზედაპირზე. ხახუნის დროს ერთდროულად მიმდინარეობს მექანიკური, თბური, ელექტრული და ქიმიური პროცესები. ხახუნისას შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს ე.წ. „ფრიქციულ ავტორხევებს“, რომელიც მნიშვნელოვნად მოქმედებს ტექნოლოგიური პროცესების მახასიათებლებზე. ელექტროამძრავის მქონე მექანიზმებისა თუ მანქანების მოძრაობის მართვისას აუცილებელია, ხახუნის იმ მნიშვნელობების ცოდნა და გათავალისწინება, რომლებიც დამატებითი დატვირთვის სახით მოქმედებენ მოძრაობის მაჩვენებლებზე.

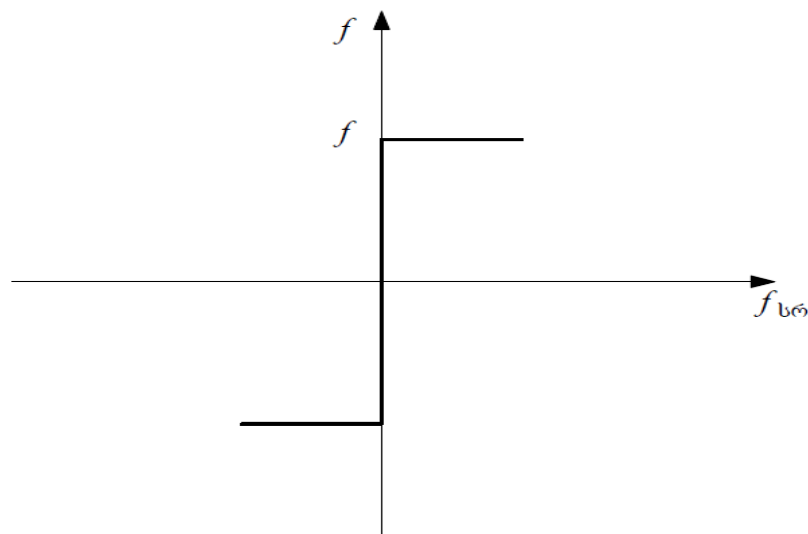
ხახუნის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს ხახუნის ძალის F_b ძალის დამოკიდებულება სრიალის სიჩქარეზე - $v_{სრ}$. ამ მახასიათებელს ხშირად ხახუნის კინემატიკურ მახასიათებელსაც უწოდებენ. ელექტროამძრავების შემთხვევაში, როგორც წესი, პროცესის ანალიზისთვის

გამოიყენება ხახუნის ძალის M_b სრიალის კუთხურ სიჩქარეზე $\omega_{სრ}$ დამოკიდებულება. ეს ორი მნიშვნელობა წარმოადგენს ძრავას ლილვზე F_b -სა და $v_{სრ}$ -ის დაყვანილ მნიშვნელობებს. ხახუნის ძალა დამოკიდებულია ხახუნის კოეფიციენტზე f და განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$F_{bk} = P \cdot f \quad (15)$$

სადაც P - ნორმალური წნევის ძალაა.

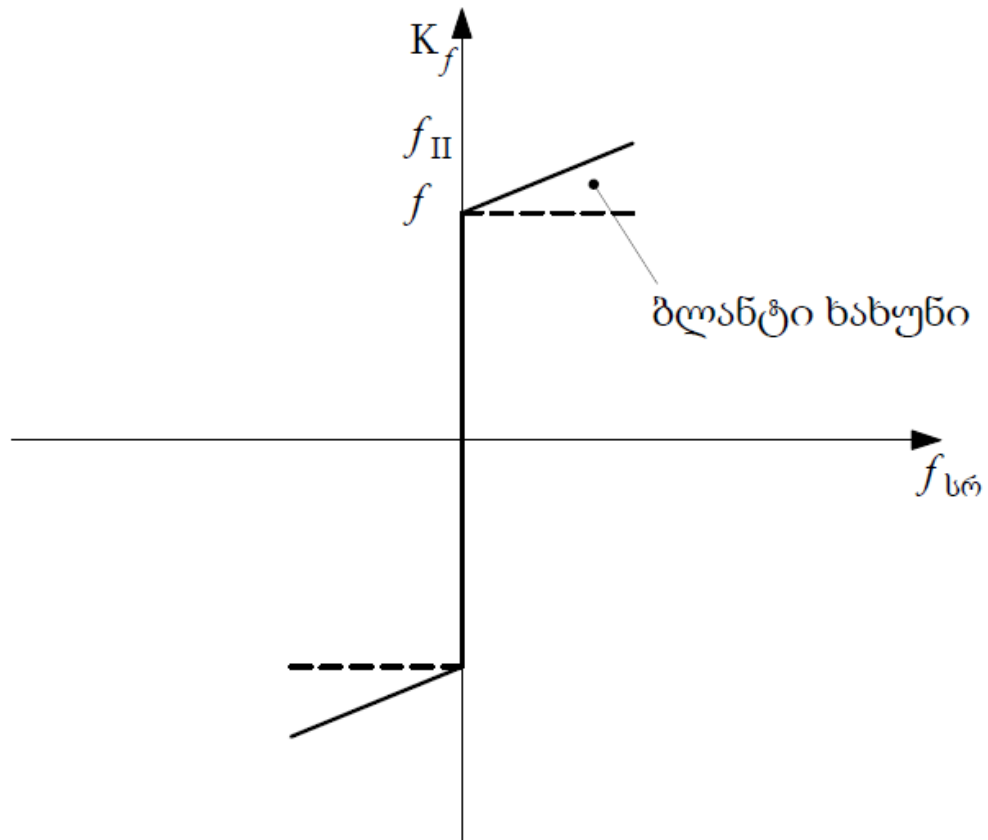
თუ P მუდმივია, $F_{bk} = f(v_b)$ დამოკიდებულების ცვლილების ხასიათია ისეთივეა, როგორც $f_{bk} = f(v_b)$ დროს, რომელსაც ხახუნის მახასიათებელი ეწოდება. ნახ. 9-ზე ნაჩვენებია მახასიათებელიდან ჩანს, რომ ხახუნის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული სრიალის სიჩქარეზე (სრიალის ერთი მიმართულებისას).



ნახ. 9. ხახუნის მახასიათებელი

ნახ. 10-ზე მოცემული მახასიათებელი ასახავს იმ მომენტს, როდესაც სტატუკური ხახუნის კოეფიციენტი $f_{სტ}$ მეტია f_3 -ზე რა დროსაც ადგილი აქვს სრიალის ეფექტს. ეს მახასიათებელი ასევე ითვალისწინებს ბლანტი ხახუნის მდგენელსაც $f_{ბ,ბ}$, რომელიც სრიალის სიჩქარის პროპორციულია:

$$f = f_3 + f_{\Delta b} = f_3 + f_{v_{br}} \quad (16)$$



ნახ. 10. ხახუნის მახასიათებელი - ბლანტი ხახუნის მდგენელი

ხახუნის სხვადასხვა მახასიათებლებში გვხვდება საერთო მონაკვეთი, რომელსაც „ჩავარდნის მონაკვეთსაც“ უწოდებენ, სადაც სრიალის სიჩქარის გაზრდას თან ახლავს ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება. კლასიკურ ლიტერატურაში ცნობილია ტერმინი „ბლანტი ხახუნი“, იგი ახასიათებს ხახუნის ძალის წრფივ ზრდას სიჩქარის ზრდის პარალელურად[9, 10, 11]:

$$\Delta F_b = \alpha_{\Delta b} \Delta v \quad (17)$$

სადაც $\alpha_{\Delta b}$ - ბლანტი ხახუნის კოეფიციენტია.

ზემოთ ნახსენებ მონაკვეთზე Δv სიჩქარის გაზრდისას მომატებულ ΔF_b ხახუნის ძალას აქვს უარყოფითი მნიშვნელობა, შესაბამისად:

$$\alpha_{\Delta b} = \left(\frac{\Delta F_b}{\Delta v} \right) < 0 \quad (18)$$

ელექტრული ქსელის განსაზღვრული პარამეტრების დროს უარყოფითი დინამიკური წინააღმდეგობა შესაძლოა ამ ქსელში წარმოქმნილი ავტორხევითი პროცესის წყარო გახდეს.

ელექტრული ძრავის ლილვის კუთხურ სიჩქარემდე ხახუნის დატვირთვის ძალის დაყვანისას ძრავას დატვირთვის მექანიკური მახასიათებელი განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$M = f(\omega_{sr}) \quad (19)$$

სადაც ω_{sr} -სრიალის წრფივი v_{sr} სიჩქარის კუთხური მიყვანილი სიჩქარეა. ამასთან, აღნიშნული მახასიათებლის სიხისტე „ჩავარდნის მონაკვეთისთვის“ განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega_{sr}} < 0 \quad (20)$$

მოცემული დამოკიდებულების გაწრფივებით სრიალის მახასიათებელს ექნება შემდეგი სახე:

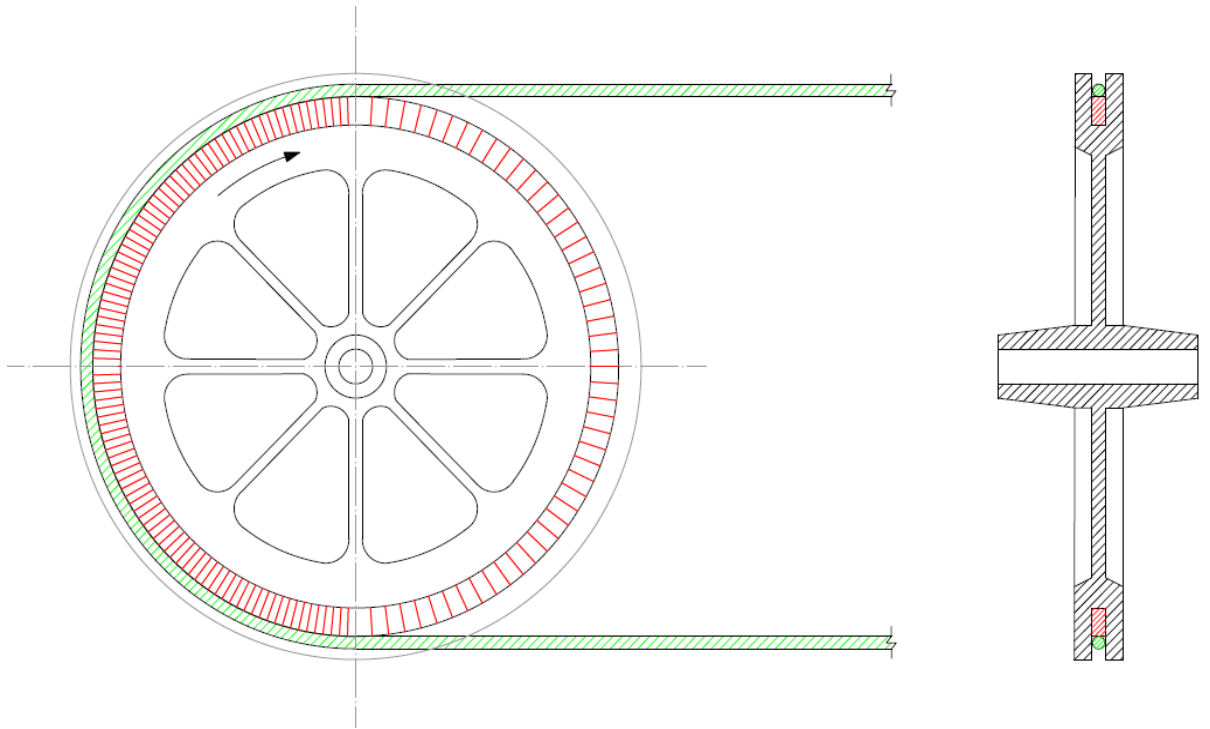
$$\Delta M = \beta \Delta \omega_{sr} \quad (21)$$

სადაც β უარყოფითი ბლანტი ხახუნის კოეფიციენტია.

ფრიქციული ავტორხევების ჩნდება ორი სხეულის ერთმანეთზე ზედდებით სრიალის დროს. ლიტერატურულ წყაროებში გვხვდება ფრიქციული ავტორხევების არა ერთი ფორმა, ასე მაგალითად: რელაქსაციური, არარელაქსაციური, ერთსიხშირული, მრავალსიხშირული, რხევები სრიალის სიჩქარის დაბალი მნიშვნელობისას და ა.შ

ფრიქციული ავტორხევები იწვევს შემდეგი სახის შემფოთებებს: პოზიციონირებისა და დამუშავების სიზუსტის დარღვევას, ენერჯის დანაკარგების გაზრდას, ვიბრაციას, ტექნოლოგიური პროცესის

მაჩვენებლების შემცირებას, იწვევს დინამიკური დატვირთვების გაზრდას განსაკუთრებულად პრობლემურია მექანიზმების კინემატიკურ რგოლში მკვრივი მომენტების გაზრდა, რამაც შესაძლოა მექანიზმის დაზიანება და ავარიაც გამოიწვიოს.



ნახ. 11. შქკბ-ის ამბრავი ბორბალი

ფრიქციული ავტორხევების აღმოსაფხვრელად აუცილებელია ელექტროამბრავის მუშაობის დინამიური რეჟიმების შესწავლა, რაც გულისხმობს სრული ელექტრომექანიკური სისტემის დინამიკური რეჟიმების ანალიზს, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება დატვირთვის ხასიათი და მუშა ორგანოს დინამიკური პარამეტრები. ელექტრომექანიკური სისტემის დინამიკის შესწავლისაგან განსხვავებით მხოლოდ მექანიკური სისტემის შესწავლა, თავისთავად გულისხმობს ელექტროამბრავის, როგორც მექანიკური ენერჯის წყაროს დინამიკური მდგენელების შეფასებასაც.

საკმაოდ მრავალრიცხოვანია იმ მექანიზმების სია, სადაც მუშაობის ნორმალურ ან არანორმალურ რეჟიმებში ადგილის აქვს ფრიქციული ავტორხევეების გაჩენას, ერთ-ერთ ასეთ მექანიზმს წარმოადგენს ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზები. ზემოთ ვისაუბრეთ, თუ რა უარყოფითი ეფექტი აქვს ამ მოვლენას მექანიზმის დინამიკურ მაჩვენებლებზე, შესაბამისად აუცილებელია ამ პრობლემების გამოკვლევა, შესწავლა და მათი გადაჭრის გზების პოვნა.

1.3. შუალედურსაყრდენიანი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის თავისებურებები

მოქნილკავშირებიანი ელექტროამძრავის თეორიებში [12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30] საკმაოდ ფართოდ არის განხილული მოქნილი მექანიკური კავშირების (მათ შორის ბოგირების) გავლენა ელექტროამძრავის დინამიკაზე. თუმცა, ზემოთ ჩამოთვლილ არც ერთ შრომაში არ არის განხილული მოძრავი მექანიკური ნაწილის სტრუქტურის მექანიზმი, რომელიც მოძრაობის ფუნქციაში იცვლება. სწორედ ამიტომ, საანგარიშო მოდელის შედგენისას აუცილებელია შუალედურსაყრდენიანი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის ელექტრომექანიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესების ანალიზი.

ქვბ-ს მოძრავი მექანიკური ნაწილი წარმოადგენს რთულ, მრავალმასიან სისტემას. შუალედური საყრდენებისა და დამჭიმავი სადგურების გავლით მოძრავი კაბინები ერთმანეთთან და ამძრავ ბორბალთან დაკავშირებულია შეკრული წევის ბაგირით, რომელიც წარმოადგენს მძიმე დრეკად ელემენტს. წევის ბაგირის სიგრძე მოძრავ ბორბალსა და მოძრავ კაბინას შორის იცვლება მოძრაობის პროცესში.

ქვბ-ის ელექტროამძრავის კინემატიკური სქემები საკმაოდ მრავალფეროვანია, რადგან ნებისმიერი კონკრეტული ქვბ-ს მოძრაობის

ტრასას აქვს თავისი პროფილი, რომელიც შერწყმულია მოცემული მთიანი რაიონის რელიეფს. ქანქარისები კიდული ბაგირების პროფილი შეიძლება იყოს სწორი, ჩაზნექილი ან ამოზნექილი. ქვბ-ს პროფილის მთავარი განმასხვავებელი ნიშანია შუალედური საყრდენების რაოდენობა, ტრასის ქორდის დახრის კუთხის სიდიდე და ნიშანი ამძრავი სადგურის მიმართ, საერთო სიგრძე დახრილობის მიხედვით, სადგურებს შორის დონეთა სხვაობა და სხვა. ერთ ტრასაზე მოძრაობის დროსაც კი ელექტროამძრავის მუშაობის რეჟიმები იცვლება კიდული კაბინების ადგილმდებარეობის მიხედვით. ამრიგად, ციკლური მოქმედების ამწე-სატრანსპორტო მექანიზმებს შორის ქვბ-ს მოძავი მექანიკური სისტემა განსაკუთრებულად რთული და სტრუქტურულად ცვალებადი ობიექტია.

ქანქარისებრი კიდული ბაგირები ტრასის საწყისი და საბოლოო მონაკვეთების დახრის კუთხის მიხედვით შეიძლება დავეყოს სამ ჯგუფად:

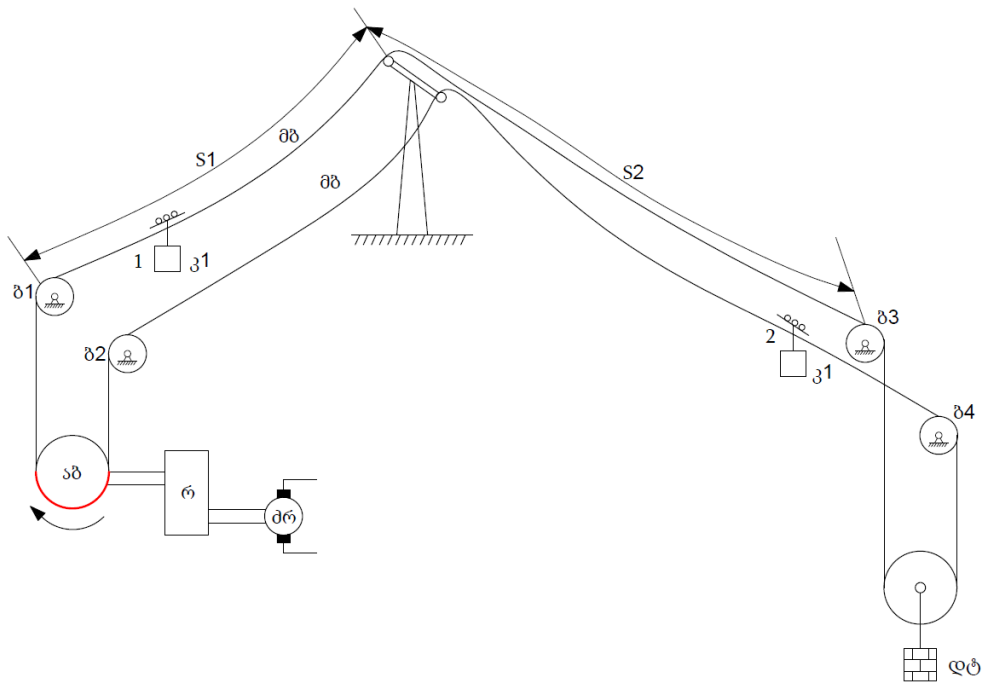
- პირვე ჯგუფს მიეკუთვნება ისეთი პროფილის ქვბ, რომელთა მოძრაობის ტრასა ერთ-ერთი სადგურიდან ქვემოთ ეშვება, მეორედან კი ზემოთ ადის. ასეთი გზებისთვის ტრასის დახრის კუთხეები ორივე სადგურის მიმართ ერთნაირია. ასეთი გზების მაგალითებად შეგვიძლია მივიღოთ, როგორც უსაყრდენო ქვბ, ასევე შუალედურსაყრდენიანი.
- მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ბაგირები, რომელთა მოძრაობის ტრასა ორივე მხრიდან სადგურის მიმართ ზემოთ ადის, ანუ ტრასის დახრის კუთხე ერთი სადგურის მიმართ დადებითია, მეორეს მიმართ კი უარყოფითი. ასეთი პროფილი აქვს მხოლოდ შუალედურსაყრდენიან ქვბ-ებს.
- მესამე ჯგუფში შედის ისეთი პროფილის ქვბ, რომლის მოძრაობის ტრასები ორივე სადგურიდან ქვემოთ ეშვება. ასეთი ტრასების დახრის კუთხე ერთი სადგურის მიმართ დადებითია, მეორეს მიმართ - უარყოფითი. ასეთი პროფილები ახასიათებს ქვბ-ს

შუალედური საყრდენებით და მათ გარეშე, სადგურებს შორის დონეთა ნულოვანი სხვაობით პირობებში.

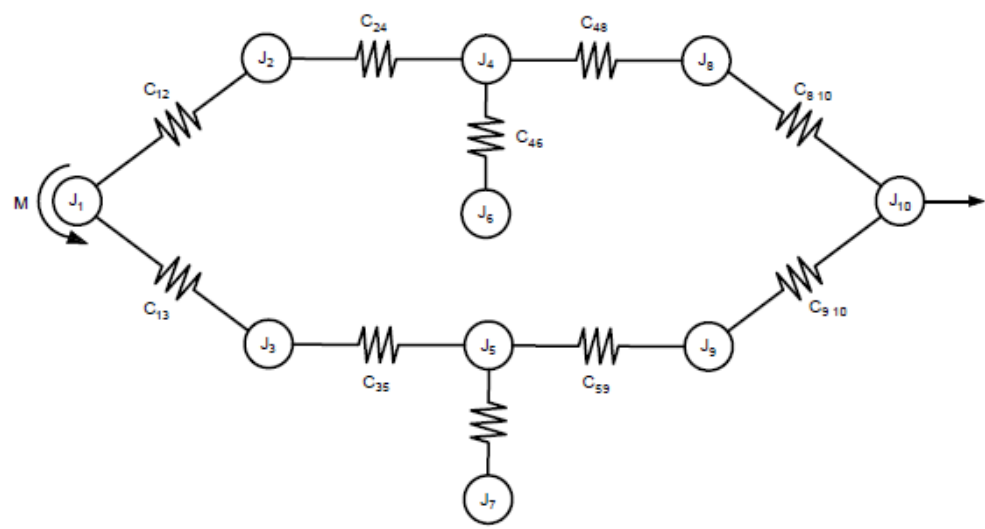
ნაშრომში მოქმედი ელექტროამძრავის მმსმ-ების გამოკვლევის საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ ამ მმსმ-ებს გაჩნიათ ნაკლოვანებები, რომლებიც მნიშვნელოვან აუარესებენ ელექტროამძრავის ელექტროდინამიკური მაჩვენებლებს. კერძოდ:

1. მასების გადანაწილებისას არ არის გათვალისწინებული წევის ბაგირის მასა, ეს პრობლემა გვხვდება როგორც შუალედურსაყრდენიან ის უსაყრდენო ბაგირგზების შემთხვევაში;
2. არ არის გათვალისწინებული ბლანტი ხახუნის გავლენა მექანიზმში მიმდინარე ელექტრომექანიკურ პროცესებზე;
3. არ არის გათვალისწინებული კიდული კაბინის ადგილმდებარეობა დროის კონკრეტულ მომენტში მასების გადანაწილებისას;
4. უსაყრდენო ქკბ-ის ელექტროამძრავის მმსმ-ის შედგენისას არაა გათვალისწინებული წევის ბაგირის პასიური ნაწილის დრეკადობის შედეგად წარმოქმნილი დინამიკური ძალების გავლენა;
5. არაა გათვალისწინებული კაბინის გადაადგილებით გამოწვეული დრეკადი კავშირების პარამეტრების ცვლილება მმსმ-ის პარამეტრებზე;
6. შუალედურ საყრდენიანი ქკბ-ის მმსმ-ის შედგენისას არაა გათვალისწინებული წევის ბაგირის პასიური დრეკადობის შედეგად წარმოქმნილი დინამიკური ძალების გავლენა.

შუალედურსაყრდენიანი კიდული ბაგირგზების ტიპური კინემატიკური სქემა ნაჩვენებია ნახ. 12-ზე, ხოლო რაც შეეხება ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანაგარიშო დამუშავებულ მოდელს, წარმოდგენილია ნახ. 13-ზე.



ნახ. 12. შქკბ-ის ტიპიური კინემატიკური სქემა

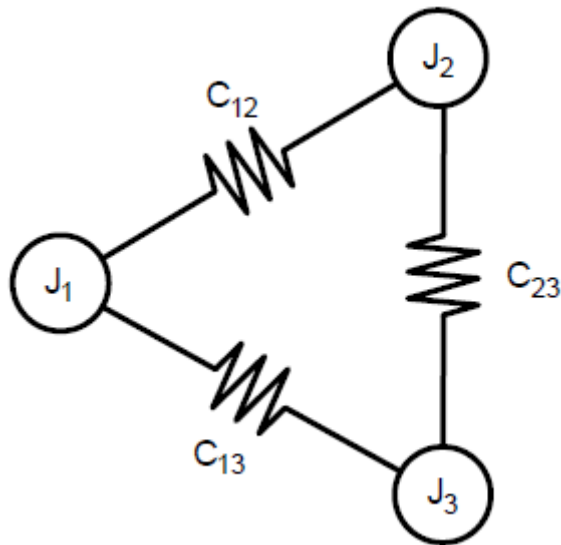


ნახ. 13. შქკბ-ის ელექტროამბრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის პირველადი საანაგარიშო მოდელი

საანაგარიშო მოდელი შესაძლებელია გამარტივდეს და მიიღოს შემდეგი სახე(ნახ. 14).

შუალედურსაყრდენიანი კვბ-ის მოძრავი მექანიკური ნაწილი განსაკუთრებულად რთულია და წარმოადგენს კიდული კაბინების

გადაადგილებისას დრეკადი კავშირების დიდ დიაპაზონში ცვალებად მრავალმასიან სისტემას. ამასთან ერთად კიდული კაბინის გადაადგილებისას მზიდი ბაგირის ჩალუნვის შედეგად იცვლება აწევის კუთხე და შესაბამისად წევის ბაგირის დაჭიმულობა. ამის გამო ძრავას ლილვზე იცვლება დატვირთვის მომენტი.



ნახ. 14. შქვბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის გამარტივებული საანგარიშო მოდელი

ამას გარდა, შუალედურსაყრდენიან ქვბ-ში კიდული კაბინების საყრდენებზე გადასვლისას იცვლება დატვირთვის ნიშანი და ელექტროამძრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის (მმნსმ) სტრუქტურა, რის შედეგადაც, ერთი მუშა ციკლის განმავლობაში მმნსმ სტრუქტურა რიგრიგობით გადადის სამმასიანიდან ორმასიანში გახლეჩილი მასებით და პირიქით.

გამარტივებული საანგარიშო მოდელი სამმასიანია, თუმცა მსგავს ჩაკეტილ სისტემაში ელექტროამძრავში მოქმედი დინამიკური პროცესები გაანალიზება საკმაოდ დიდ სირთულეს წარმოადგენს. საანგარიშო მოდელის შემდგომი გამარტივებისათვის ან მისი ორმასიანი სისტემით წარმოდგენისთვის განვიხილოთ გაჭიმვის ძალის გავრცელების

თანმიმდევრობა კაბინასა და ამძრავ ბორბალს შორის, ასევე განვიხილოთ დრო და მათი მიმართულების ცვლილების მიზეზები მოძრაობის მთელი პროცესის მანძილზე.

საწყის მომენტში (ნახ. 9) ჩამოკიდებული II კაბინით გამოწვეული დაჭიმვის ძალის გავლენა ამძრავ ბორბალზე ხორციელდება 0-2 უბნიდან, ხოლო I კაბინის შემთხვევაში 1-2 უბნიდან მეორე უბნამდე და 0-2 უბნიდან. თუ დავუშვებთ, რომ 0-1 უბნის დაჭიმულობა მუდმივია და გამოწვეულია ტვირთით, ჩაკეტილი სამმასიანი საანგარიშო მოდელი გარდაიქმნება სამმასიან სტანდარტულ სტრუქტურაში.

ნახ. 12-ზე წარმოდგენილი მოდელის ძრავას ლილვამდე მიყვანილი ინერციისა და სიხისტის კოეფიციენტი იქნება:

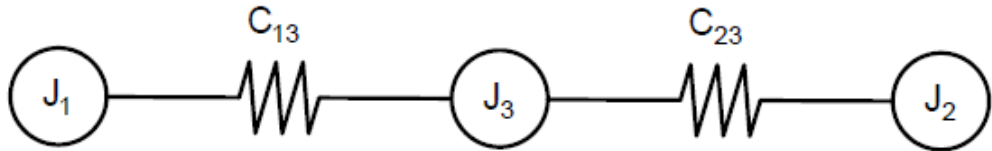
$$\begin{aligned}
 J_1 &= J_{ძრ} + J_{რ} + J_{ბორბ} \\
 J_2 &= J_{ბაგ1} + J_I + \Delta J_I + \frac{J_{ბ.ამძ}}{2} + \frac{J_{ბაგ(0-1)}}{2} + \frac{J_{ბაგ(1-2)}}{2} \\
 J_3 &= J_{ბაგ2} + J_{II} + \Delta J_{II} + \frac{J_{ბ.დაძჭ}}{2} + \frac{J_{ბაგ(0-2)}}{2} + \frac{J_{ბაგ(1-2)}}{2} \\
 C_{12} &= \frac{C_0 \rho}{L_{(0-2)}} \\
 C_{23} &= \frac{C_0 \rho}{L_{(1-2)}} \\
 C_{13} &= \frac{C_0 \rho}{L_{(0-1)}} \\
 f &= \varphi(Z_I, Z_{II})
 \end{aligned} \tag{22}$$

სადაც: $J_{ბაგ(0-1)}$, $J_{ბაგ(1-2)}$, $J_{ბაგ(0-2)}$, $J_{ბაგ(1-2)}$ - მზიდი ბაგირის ძრავას ლილვამდე მიყვანილი ინერციის ჯამური მომენტებია, კგ.მ²;

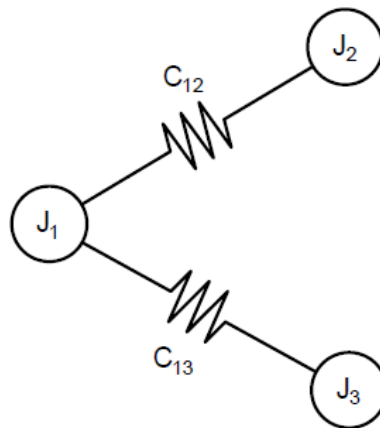
$J_{ბ.ამძ}$ $J_{ბ.დაძჭ}$ - ძრავას ლილვამდე მიყვანილი ამძრავი სადგურისა და გამჭიმავი სადგურის ბორბლების ჯამური ინერციის მომენტებია, კგ.მ²;

$L_{(0-1)}$, $L_{(0-2)}$ და $L_{(1-2)}$ - მზიდი ბაგირის მონაკვეთების სიგრძეებია 0-1, 0-2 და 1-2, მ; C_{12} , C_{23} და C_{13} - სიხისტის მიყვანილი კოეფიციენტებია, რომელიც

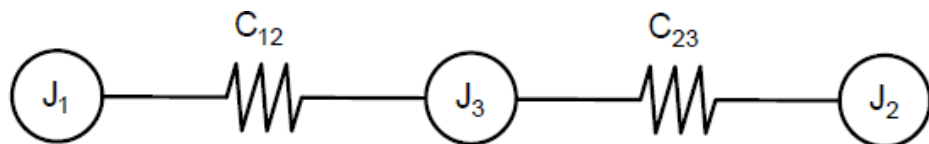
განსაზღვრულია მზიდი ზაგირის მონაკვეთების სიგრძეებით - 0-1, 1-2, 0-2, ნმ/რად; f - ხახუნის კოეფიციენტი.



ნახ. 15. შქვბ-ის ელექტროამბრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი მოძრაობის საწყისი მომენტისთვის



ნახ. 16. შქვბ-ის ელექტროამბრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი პირველი კაბინის საყრდენზე გადასვლის მომენტში



ნახ. 17. შქვბ-ის ელექტროამბრავის მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი მოძრაობის დასასრულს

**თავი 2. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული
ბაგირგზების ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა,
ოპტიმალური ტაქტოგრამისა და სიჩქარის დიაგრამის
დამუშავება**

**2.1. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების
ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა**

ქკბ -ის კაბინა მოძრავი ურიკის საშუალებით და გადაადგილდება მზიდ ბაგირზე, რომელიც საკუთარი წონის, კიდული კაბინისა და ტვირთის სიმძიმის გავლენით იზნიქება. ამის შედეგად, მოძრაობისას კაბინის აწევის კუთხე განვლილი მანძილის ფუნქციაში იცვლება. შესაბამისად იზრდება წევის ბაგირის დაჭიმულობის ძალა და მის მიერ განპირობებული დატვირთვის მომენტი ელექტროამძრავის ლილვზე. აქედან გამომდინარე, ქკბ-ს ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამის აღწერისას, მთავარ ამოცანას წარმოადგენს მოძრაობის ტრაექტორიის ზუსტი განსაზღვრა, რომელიც მთლიანად განპირობებულია ელექტროამძრავის მოძრავმექანიკური ნაწილის დინამიკური თვისებებით.

შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის კიდული კაბინების მოძრაობის ტრაექტორია განისაზღვრება შუალედურის საყრდენების რაოდენობით[31]. ერთი შუალედური საყრდენის შემთხვევაში მოძრაობის მრუდი წარმოადგენს ორ დამოუკიდებელ კვადრატულ პარაბოლას.

P_j წონის კიდული კაბინის ტრაექტორიის დახრის კუთხე, რომელიც ამძრავი სადგურიდან გამჭიმავი სადგურისკენ მიემართება, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$tg\gamma_I = \begin{cases} tg\beta_I + \frac{l_I - 2x}{2\sum H_I} \left(\frac{P_{jI}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) & \text{როცა } x = 0 \div l_I; \\ tg\beta_{II} + \frac{l_{II} - (2x - l_I)}{2\sum H_{II}} \left(\frac{P_{jII}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) & \text{როცა } x = l_I \div l_{II}. \end{cases} \quad (23)$$

პირველი კაბინის ზემოქმედებით დაჭიმვის ხარისხი:

$$Z_I = \begin{cases} \frac{P_{\beta I} \left[tg\beta_I + (l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_I + (l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = 0 \div l_I; \\ \frac{P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = l_I \div l_{II} \end{cases} \quad (24)$$

ელექტროამძრავის დატვირთვის მომენტი პირველი კიდული კაბინისთვის:

$$M_I = \begin{cases} \frac{\rho P_{\beta I} \left[tg\beta_I + (l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_I + (l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = 0 \div l_I; \\ \frac{\rho P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = l_I \div l_{II} \end{cases} \quad (25)$$

P_{β} წონის კიდული კაბინის ტრანექტორიის დახრის კუთხე, რომელიც გამჭიმავი სადგურიდან მიემართება, გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$tg\gamma_{II} = \begin{cases} tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_{II}} \right) & \text{როცა } x = 0 \div l_{II}; \\ tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_I} \right) & \text{როცა } x = l_{II} \div l_I + l_{II} \end{cases} \quad (26)$$

მეორე კაბინის ზემოქმედებით დაჭიმვის ხარისხი:

$$Z_{II} = \begin{cases} \frac{P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = 0 \div l_{II}; \\ \frac{P_{\beta I} \left[tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = l_{II} \div l_I + l_{II} \end{cases} \quad (27)$$

ელექტროამძრავის დატვირთვის მომენტი მეორე კიდული კაბინისთვის:

$$M_{II} = \begin{cases} \frac{P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = 0 \div l_{II}; \\ \frac{P_{\beta I} \left[tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_I}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]^2 - 1}} & \text{როცა } x = l_{II} \div (l_I + l_{II}) \end{cases} \quad (28)$$

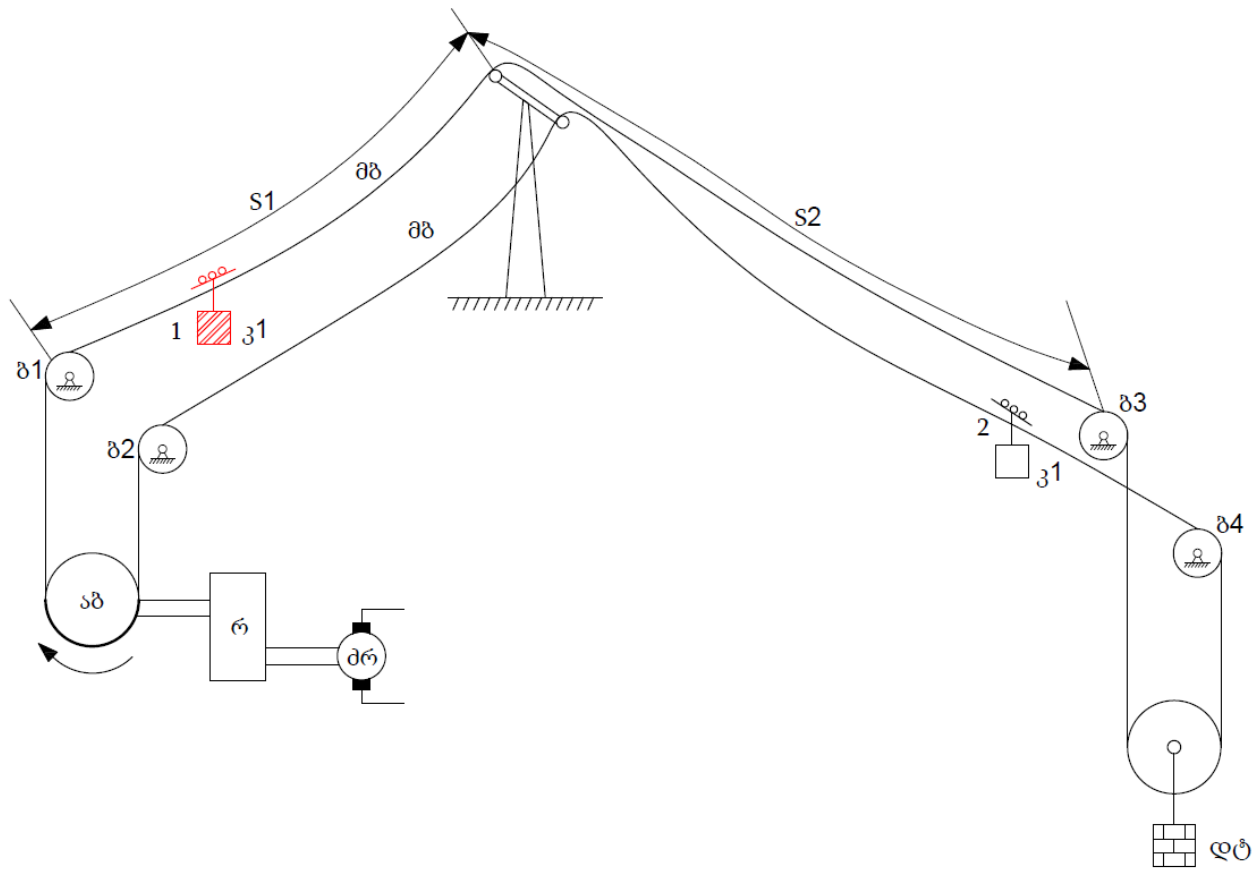
ელექტროამძრავის დატვირთვის ჯამური მომენტი ტოლია:

$$M = M_I + M_{II} \quad (29)$$

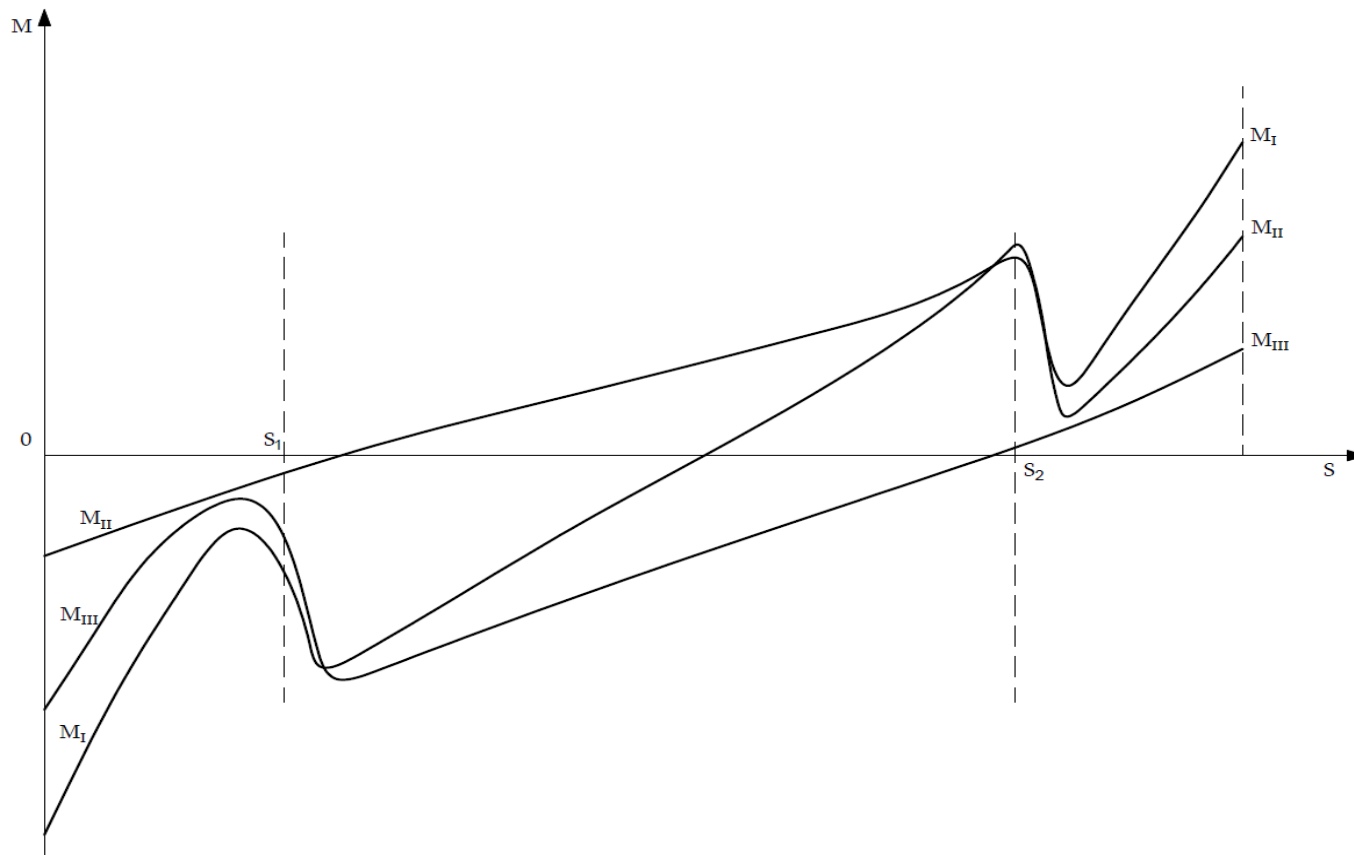
თუ (24) და (27) ფორმულებს ჩავსვამთ (28) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$M_I = \left\{ \begin{array}{l}
\frac{\rho P_{\beta I} \left[tg\beta_I + (l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_I + (l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta I}}{l_I} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]^2 - 1}} + \quad \text{როცა} \quad x = 0 \div l_I; \\
+ \frac{P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} - \quad \text{როცა} \quad x = 0 \div l_I; \\
- \frac{\rho P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} + \quad \text{როცა} \quad x = l_I \div l_{II}; \\
+ \frac{P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (2x - 2l_I - l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} - \quad \text{როცა} \quad x = l_I \div l_{II}; \\
- \frac{\rho P_{\beta II} \left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_{II} + (l_{II} + l_I - 2x) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_2}{\cos\beta_{II}} \right) / 2\Sigma H_{II} \right]^2 - 1}} + \quad \text{როცა} \quad x = l_I \div l_{II}; \\
+ \frac{P_{\beta II} \left[tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]}{\sqrt{\left[tg\beta_I + (2x - l_I - 2l_{II}) \left(\frac{P_{\beta II}}{l_{II}} + \frac{q + q_1}{\cos\beta_I} \right) / 2\Sigma H_I \right]^2 - 1}} \quad \text{როცა} \quad x = l_{II} \div (l_I + l_{II})
\end{array} \right. \quad (30)$$

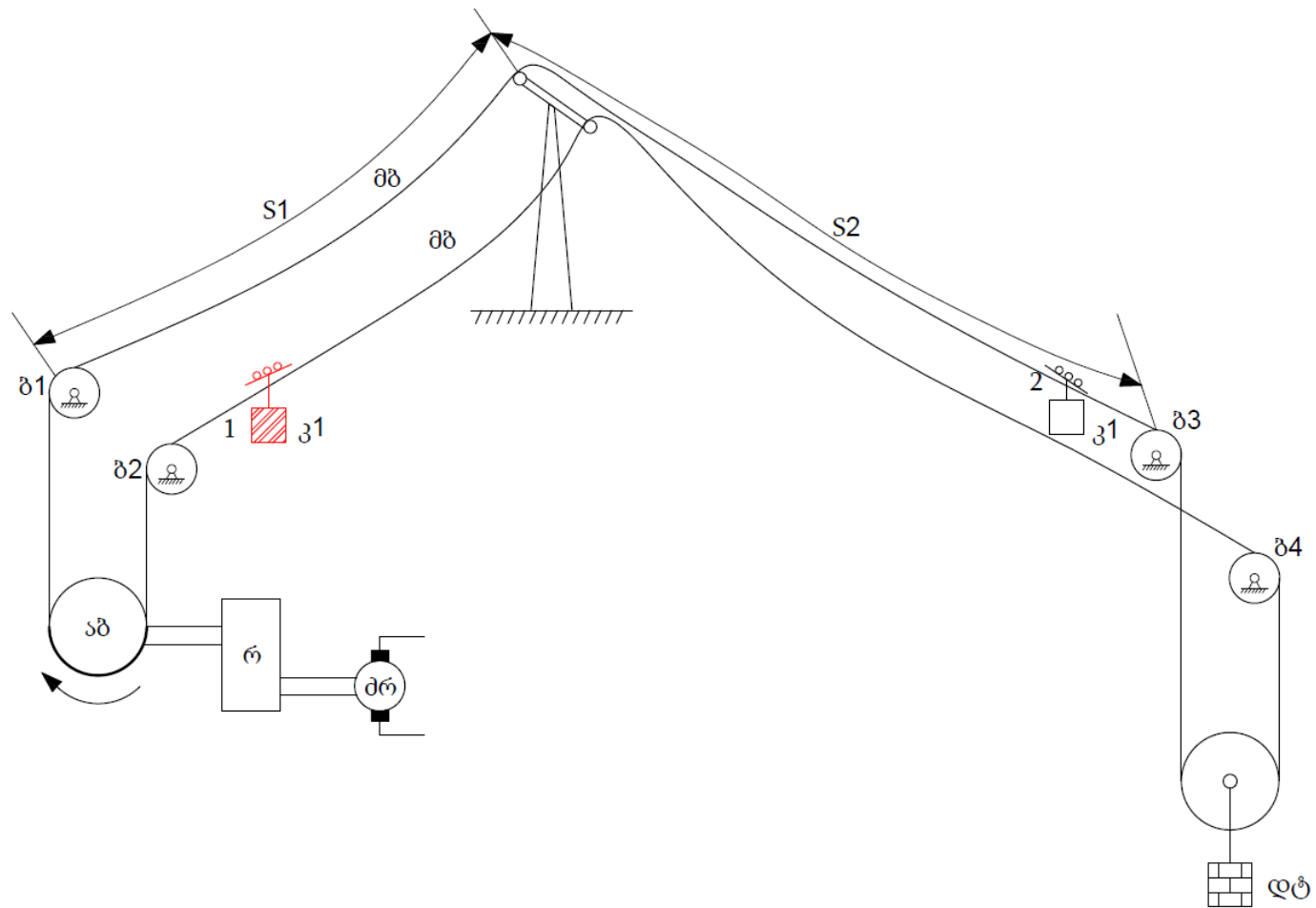
მოცემული სისტემა წარმოადგენს ერთ შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული კაბინის დატვირთვის დიაგრამას. ქვემოთ მოყვანილი დიაგრამებიდან (ნახ.19, ნახ.21, ნახ.23, ნახ.25) ჩანს, რომ შქვბ-ს აქვთ საკმაოდ რთული მახასიათებლები, რომლებიც განსხვავდება მსგავსი მექანიზმების მახასიათებლებისგან. მნიშვნელოვანია, აღინიშნოს, რომ შქვბ-ის ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამა უსაყრდენო მექანიზმებისგან განსხვავებით, ერთი მუშა ციკლის განმავლობაში მყისიერად იცვლის ნიშანსა და მიმართულებას. ეს არის მიზეზი ელექტროამძრავის ელექტრომექანიკურ ნაწილში მცირე სიხშირის ელექტრომექანიკური რხევების გაჩენისა, რომელიც ართულებს მართვას და აუარესებს ამძრავის დინამიკურ მახასიათებლებს.



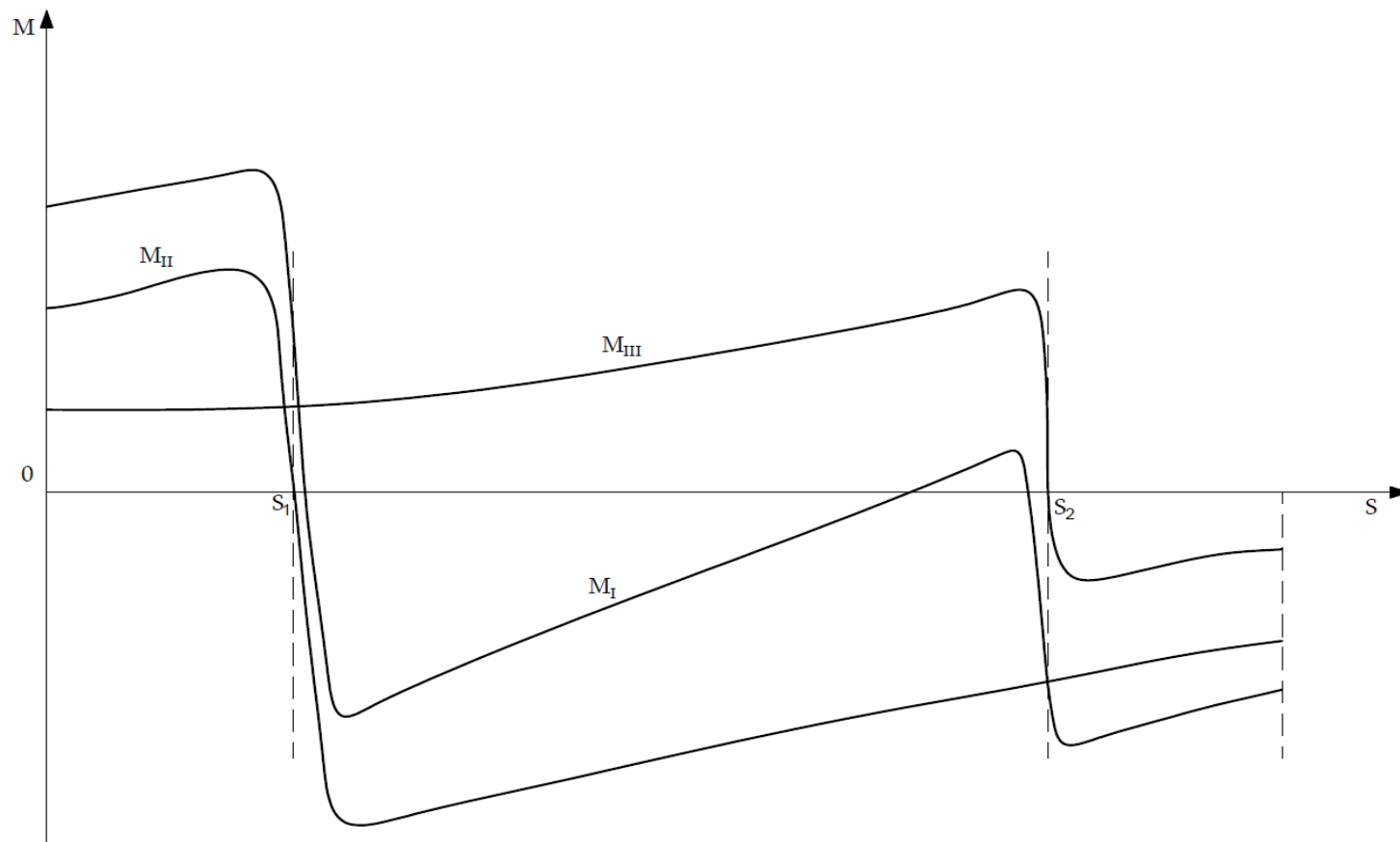
ნახ. 18. შქკბ-ის ზის პროფილიმ როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 1 (კ1)



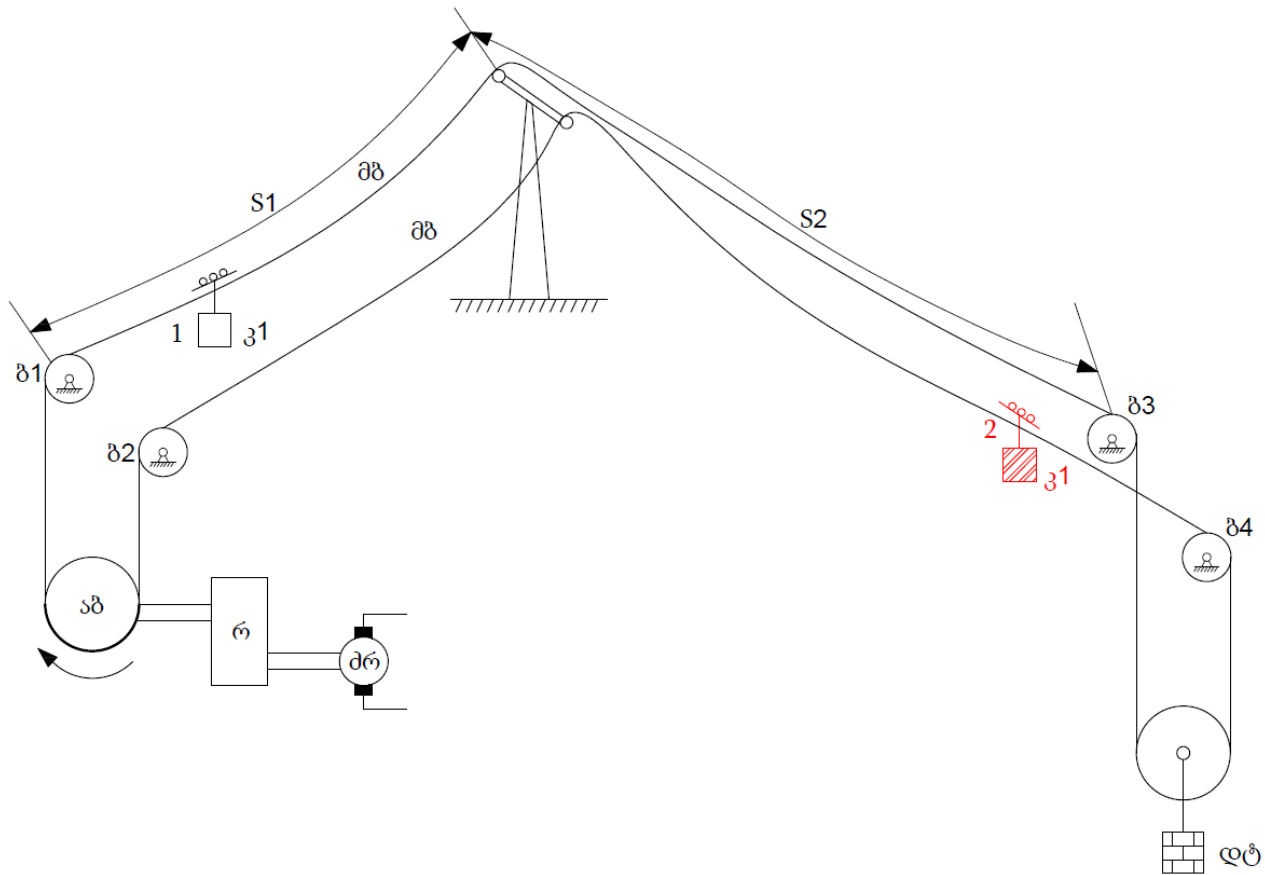
ნახ. 19. შქკბ-ის ელექტროამბრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია კაბინა 1 (კ1)



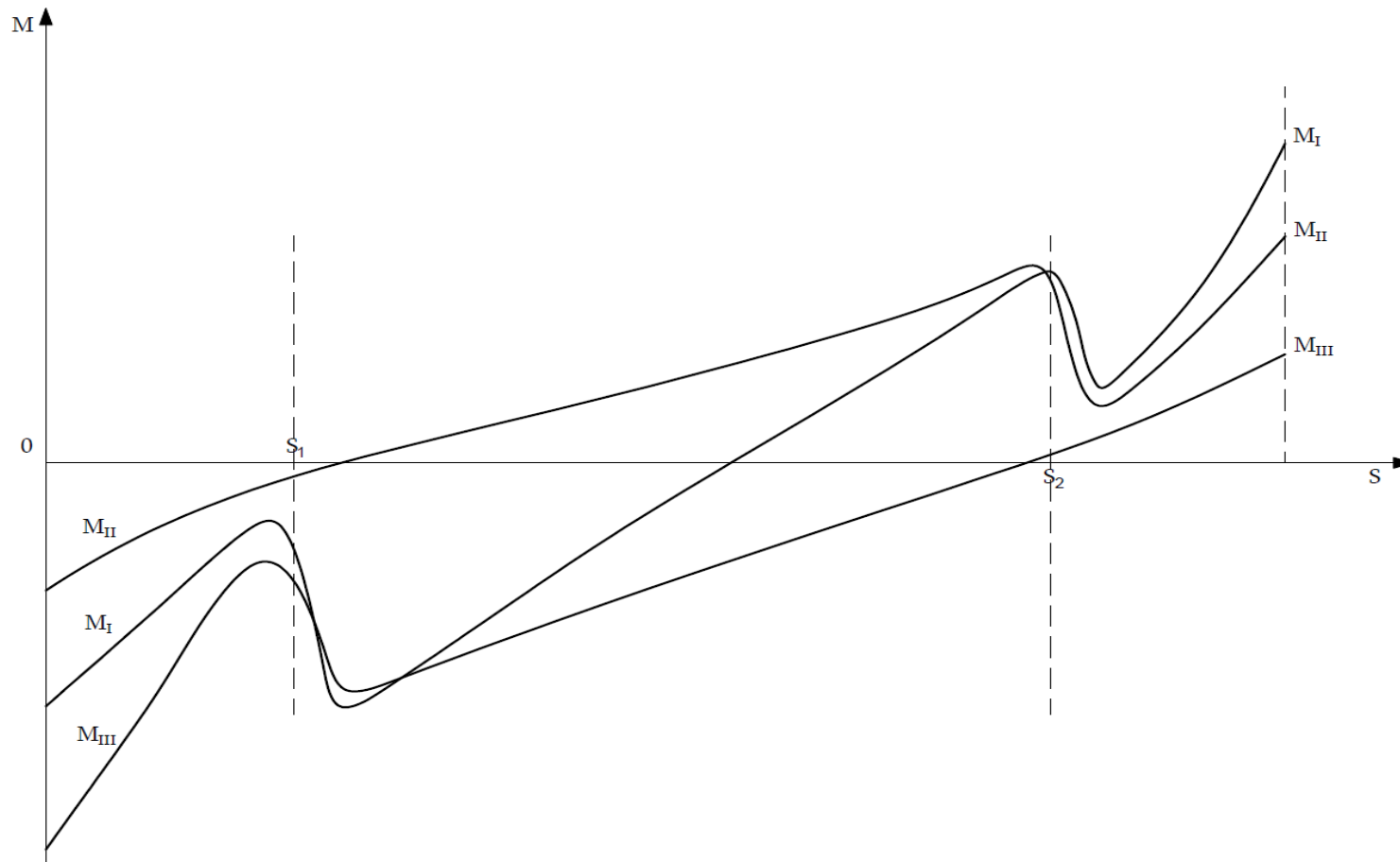
ნახ. 20. შეკბ-ის გზის პროფილიმ როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგორ 2-ზე მდებარე კაბინა 1 (კ1)



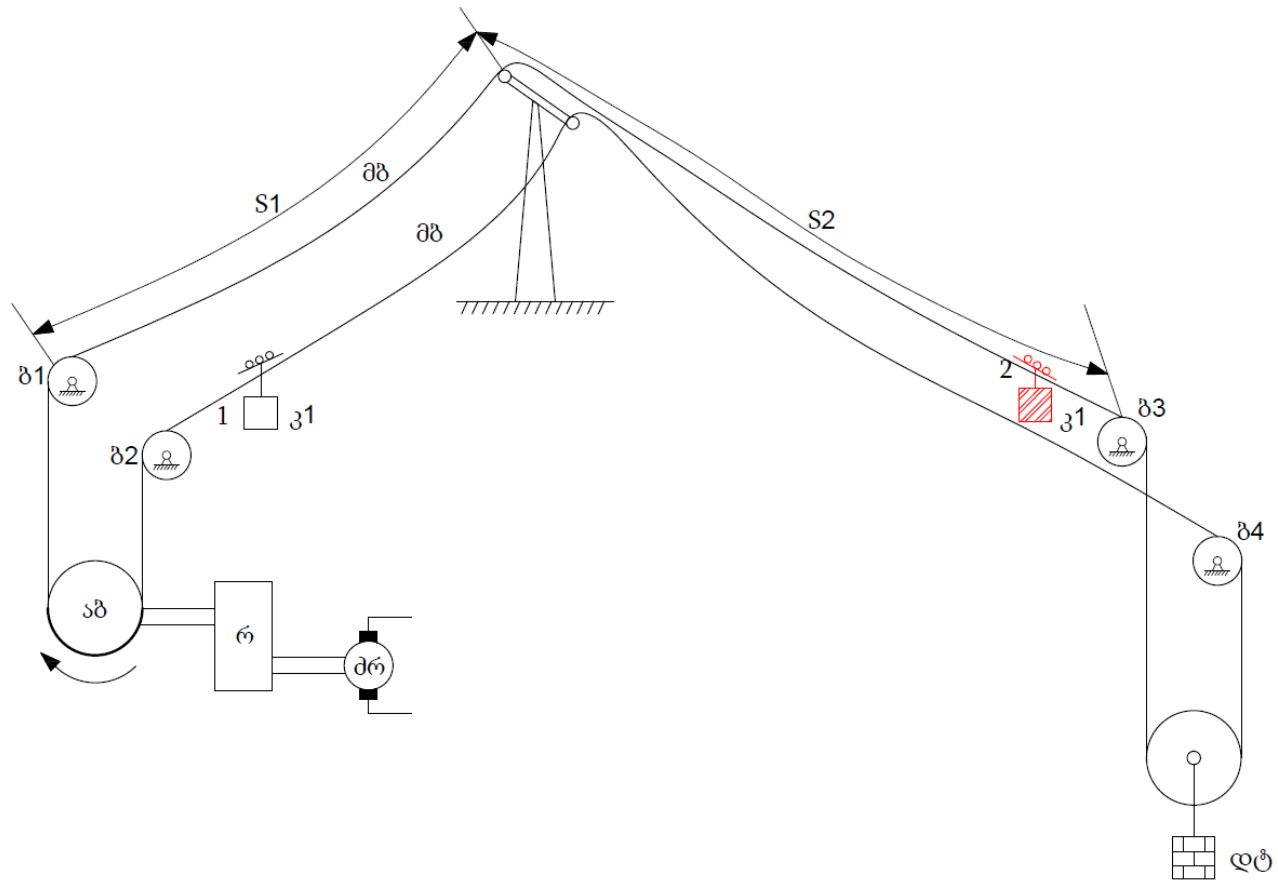
ნახ. 21. შქკბ-ის ელექტროამბრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 1 (კ1)



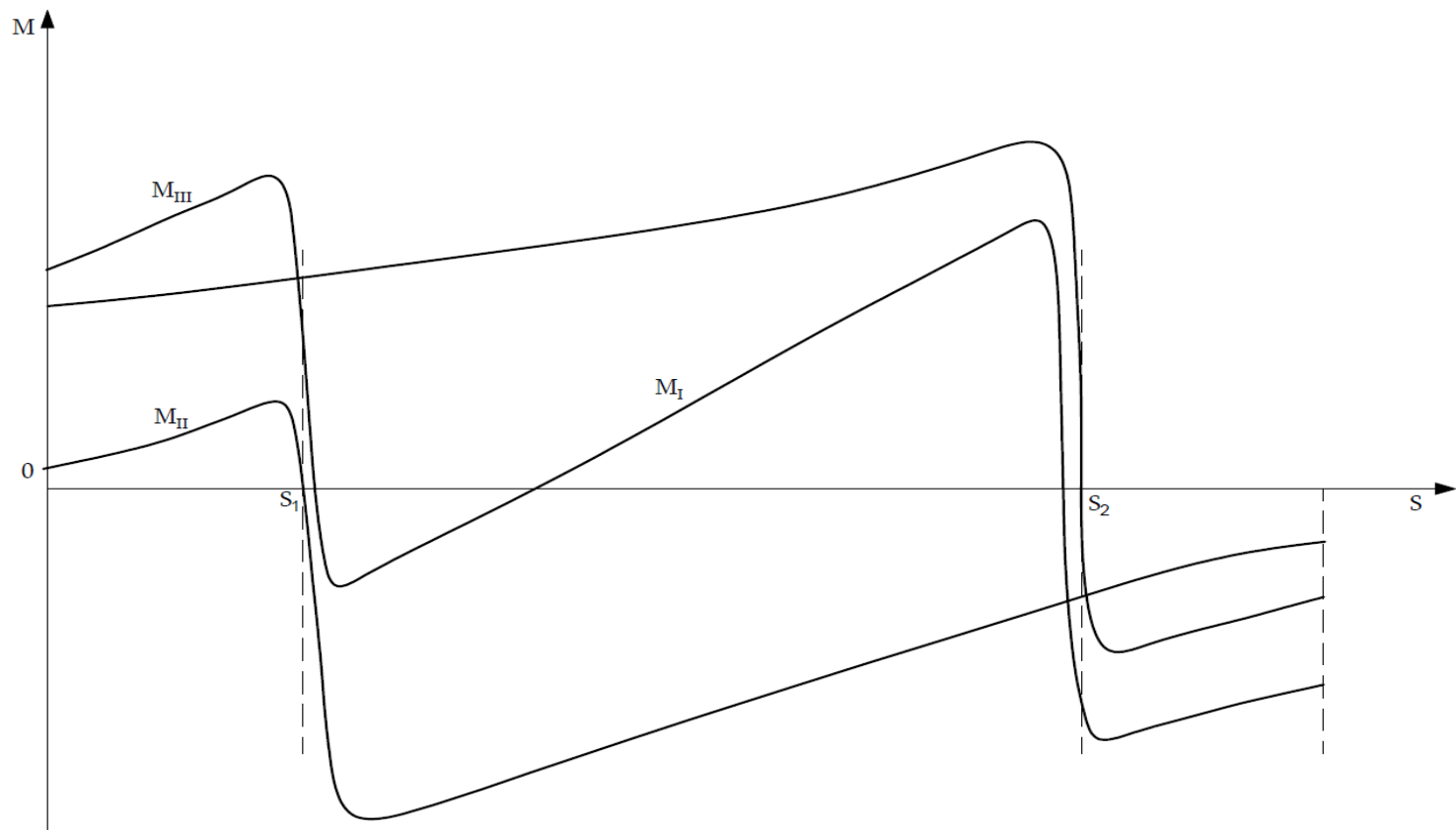
ნახ. 22. შქკბ-ის გზის პროფილი, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2)



ნახ. 23. შქკბ-ის ელექტროამბრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია შზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2)



ნახ. 24. შქკბ-ის გზის პროფილიმ როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2)



ნახ. 25. შქკბ-ის ელექტროამბრავის დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგიორ 1-ზე მდებარე კაბინა 2 (კ2)

2.2. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მაღალი დინამიკური მახასიათებლების მქონე მოძრაობის ტაქოგრამის დამუშავება

შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის ელექტროამძრავის კინემატიკური სქემა საკმაოდ რთულია. იგი მოიცავს მზიდ ბაგირზე მოძრავ ურიკაზე მოქნილად კიდულ კაბინებს. ურიკები მოძრაობაში მოჰყავს ელექტროამძრავთან რედუქტორის საშუალებით დაკავშირებულ წამყვან ბორბალზე შემოვლებულ წრიულ წვევის ბაგირს [32]. შესაბამისად, შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავმექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი საკმაოდ რთულია და იგი მრავალმასიან დიდი დრეკადობით დაკავშირებულ სისტემას წარმოადგენს [33]. ამასთან ერთად, როგორც საანგარიშო მოდელის პარამეტრები, ასევე სტრუქტურა კაბინების გადაადგილების ფუნქციაში იცვლება და მუშაობის ერთი ციკლის განმავლობაში რამოდენიმეჯერ სამმასიანი, ორმასიანი და შეცვლილი მასათა მიმდევრობის სამმასიანი სახით წარმოდგება [34]. საანგარიშო მოდელის სტრუქტურის ცვლილებას განაპირობებს ვაგონების შუალედურ საყრდენზე გადასვლა და ცვლილებათა რაოდენობა დამოკიდებულია საყრდენების რაოდენობაზე. მნიშვნელოვანია, რომ შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის ელექტროამძრავს კაბინები მოძრაობაში მოჰყავს წამყვან ბორბალსა და წვევის ბაგირს შორის არსებული ფრიქციული გადაცემის საშუალებით. აღსანიშნავია, რომ ბორბალი გარშემოკრულია მკვრივი რეზინით [35].

მიღებულია, რომ ელექტროამძრავის კინემატიკურ სქემებში არსებული ფრიქციული გადაცემის დროს, ბლანტი ხახუნი, მოძრავმექანიკურ ნაწილში ავტო რხევების კერას წარმოადგენს [36]. შესაბამისად, ქკბ-ის გაშვება დამუხრუჭებისა და კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის დროს, მოძრავმექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის სტრუქტურისა და პარამეტრების ცვლილების შედეგად, ელექტრომექანიკურ სისტემაში წარმოქმნილი აღმამფოთებელი

ფაქტორებისა და ლილვსა და ბაგირს შორის არსებული ბლანტი ხახუნის ზეგავლენით, ელექტროამძრავის ელექტრომექანიკურ ნაწილში წარმოიქმნება ჩაუქრობადი ელექტრომექანიკური დინამიკური პროცესები. ამიტომ, ელექტროამძრავის ელექტროდინამიკური თვისებების გაუმჯობესების ამოცანის გადაწყვეტისას აუცილებელია, რომ მართვა განხორციელდეს მოძრაობის დინამიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური ტაქოგრამის საშუალებით, რომელიც დაეფუძნება ელექტროამძრავის მოძრავმექანიკური ნაწილის სრულყოფილ საანგარიშო მოდელს [37].

მოკლედშერთულ როტორიანი სიხშირულ-რეგულირებადი ასინქრონულ ელექტროამძრავებს (სრაე), სხვა ელექტროამძრავების სისტემებთან განსხვავებით, მცირე ინერციის მომენტი გააჩნიათ და რეგულირების ნებისმიერ ზონაში მაღალი დინამიკური მაჩვენებლებით გამოირჩევიან [37]. აქედან გამომდინარე, შუალედურ საყრდენიანი ელექტროამძრავის უპირატესობა აღნიშნული ამძრავის სისტემას ენიჭება.

შუალედურსაყრდენიანი ელექტროამძრავის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის მასათა, დრეკადი კავშირებისა და წამყვან ბორბალსა და წევის ბაგირს შორის ფრიქციული გადაცემის ბლანტი ხახუნის მიერ ელექტრომექანიკურ ნაწილში წარმოქმნილი დინამიკური პროცესების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შეფასების საფუძველზე დასაბუთებულია, რომ ელექტროამძრავის დინამიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური მოძრაობა შესაძლებელია მხოლოდ კაბინის გადაადგილების სიჩქარის, აჩქარების, ბიძგისა და ბიძგის პირველი რიგის წარმოებულის შეზღუდვის საფუძველზე შედგენილი ტაქოგრამის უზრუნველყოფის შედეგად. ამავდროულად, ტაქოგრამის ფორმა და პარამეტრების ანგარიშისას, გათვალისწინებული უნდა იყოს საბაგრო გზის პროფილის მიხედვით შედგენილი გადაადგილების ტრაექტორია.

ქანქარისებრი საბაგრო გზების ელექტროდინამიკურ სისტემებში გარდამავალი პროცესები წარმოადგენს ლოკალური და გავრცობითი ხასიათის ურთიერთშეთანხმებული მოძრაობების ერთობლიობას.

გაცვლითი ურთიერთკავშირების ინტეგრალურ შედეგს განსაზღვრავს შემფოთებების გავრცელებისა და განაწილების პროცესი. აღნიშნულ პროცესს ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც მოძრაობა, რომელიც გამოწვეულია შემფოთების შედეგად, თანმიმდევრულად და ეტაპობრივად შუალედური რგოლის დახმარებით გადაიცემა ელექტრომომარაგების სისტემაში[28,39,40], რაც იწვევს გარდამავალი პროცესების წარმოქმნას შემფოთების წყაროდან შორს. შემფოთებების გადაცემა ხასიათდება შემცირებით ან გაზრდით მოძრაობის იმ მნიშვნელოვანი პარამეტრებისა, როგორცაა სიხშირული სპექტრი და რხევის ამპლიტუდა.

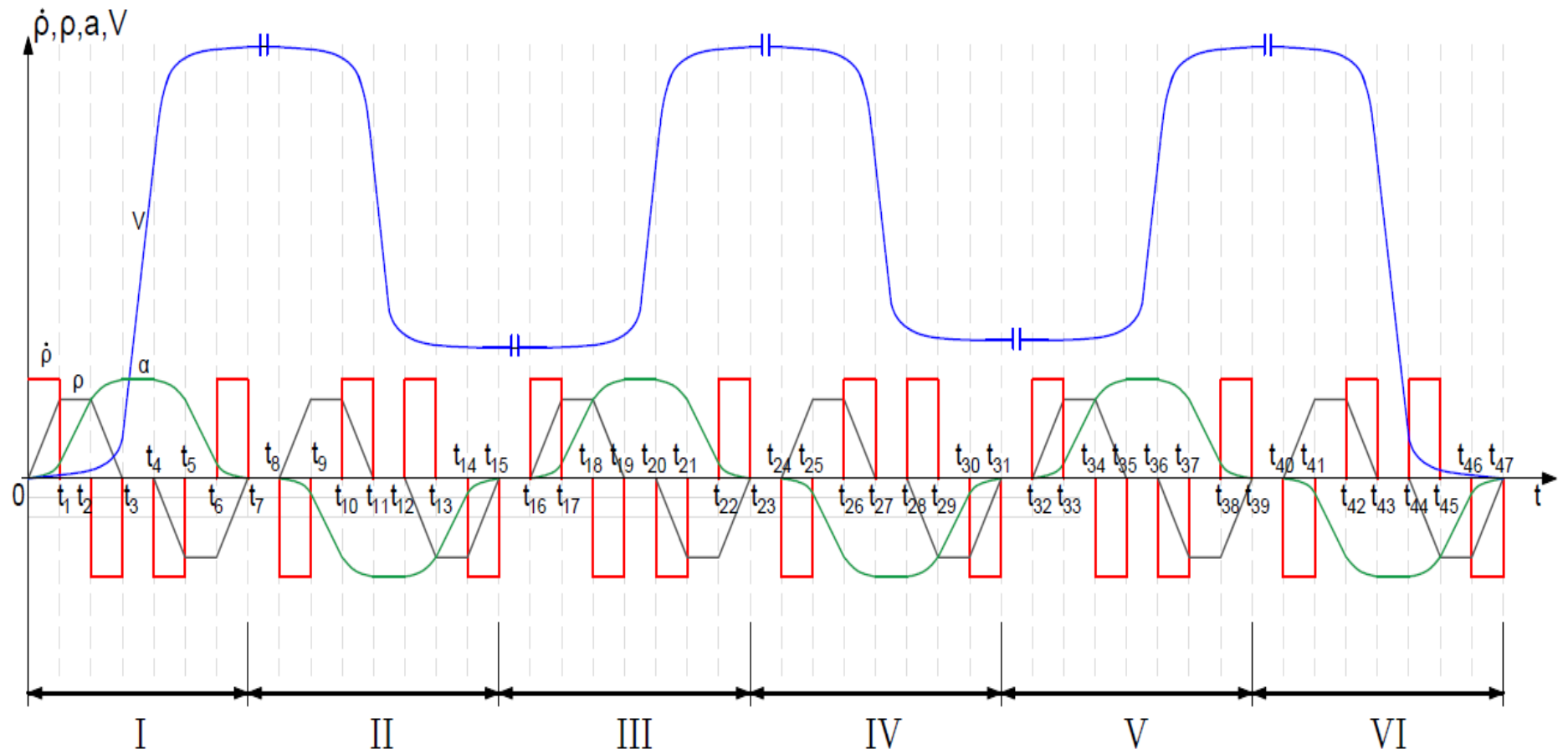
ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავებში არსებული გარდამავალი პროცესი განპირობებულია, როგორც მოძრავი მექანიკური ნაწილის საანაგარიშო მოდელის პარამეტრებისა და სტურქტურის ცვლილებით, ასევე მოძრაობის ტაქოგრამის ფორმით. ამასთან დაკავშირებით, ელექტროამძრავის მართვის სისტემის ოპტიმიზაციისას, დინამიკური მახასიათებლების ასამაღლებლად ერთ-ერთი ყველაზე ძირითად დავალებას წარმოადგენს ოპტიმალური მოძრაობის ტაქოგრამის შექმნა.

ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა საკმაოდ რთულია, რადგან საყრდენზე გადასვლისას მოითხოვება სიჩქარის შენელება, ხოლოს საყრდენიდან გადასვლისას - სიჩქარის გაზრდა.

დამუშავებული მოძრავ-მექანიკური ნაწილის სრულყოფილი საანაგარიშო მოდელის საფუძველზე, შემოთავაზებულია შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის პოზიციური ელექტროამძრავის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა. ქვემოთ მოცემულია შემოთავაზებული შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის მოძრაობის ტაქოგრამა და შესაბამისი მათემატიკური აღწერილობა.

ტექნოლოგიის მათემატიკური აღერილობა, პარამეტრების ანგარიშისა და ანალიზის გამარტივების მიზნით, შედგენილია კაბინის გადაადგილების ტრაექტორიის ცალკეული უბნებისათვის. შესაბამისად იგი დაყოფილია 6 სახასიათო უბნად:

1. ელექტროამძრავის გაქანება (დაძვრა) უძრავი მდგომარეობიდან მოძრაობის მაქსიმალურ სიჩქარებმდე (უბრანი 1);
2. სიჩქარის შემცირება პირველი ჩამოკიდებული კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე (უბანი 2);
3. პირველი ჩამოკიდებული კაბინის შუალედური საყრდენის გავლის შემდეგ სიჩქარის გაზრდა მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე (უბანი 3);
4. მეორე ჩამოკიდებული კაბინის სიჩქარის შემცირება შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე (უბანი 4);
5. მეორე ჩამოკიდებული კაბინის შუალედური საყრდენის გავლის შემდეგ სიჩქარის გაზრდა მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე (უბანი 5);
6. საბოლოო გაჩერება (უბანი 6).



ნახ. 26. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა

ქვემოთ მოცემულია ოპტიმალური ტაქოგრამისა და მისი პარამეტრების მათემატიკური აღწერა. განტოლებები დაყოფილია უბნების მიხედვით:

უბანი 1

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\dot{\rho}_{\theta} = \begin{cases} \dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ 0 & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ -\dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ 0 & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4; \\ -\dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ 0 & \text{როცა } t_5 \leq t \leq t_6; \\ \dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7. \end{cases} \quad (31)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\theta} & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ 0 & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4; \\ -\rho_{\theta} & \text{როცა } t_5 \leq t \leq t_6; \\ 0 & \text{როცა } t_7 \leq t \leq t_8. \end{cases} \quad (32)$$

სადაც ρ_{θ} - მაქსიმალურად დასაშვები აჩქარებაა

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} \rho_{\theta} \cdot t & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ a_{\theta} = \rho_{\theta} \cdot t_2 & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ a_{\theta} = \rho_{\theta}(t - t_4) & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ 0 & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7. \end{cases} \quad (33)$$

კიდული კაბინის გადაადგილების ხაზური სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} \frac{\rho_{\partial} \cdot t}{2} & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ v_{t_2} = a_{\partial}(t - t_2) & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ v_{t_4} = a_{\partial}(t - t_4) - \frac{\rho_{\partial}(t - t_4)^2}{2} & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ v_{t_6} = v_{\partial} = v_{t_6} + v_{\partial} + (t_7 - t_6) - \frac{\rho_{\partial}(t_7 - t_6)^2}{2} & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7; \end{cases} \quad (34)$$

სადაც v_{t_2} , v_{t_4} , v_{t_6} - ჩამოკიდებული კაბინის გადაადგილების ხაზური სიჩქარეა შესაბამის დროებში - t_2 , t_4 , t_6 .

განვლილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} \frac{\rho_{\partial} \cdot t^3}{6} & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ S_{t_1} + v_{t_1}(t - t_1) + \frac{a_{\partial}(t - t_1)^2}{2} & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ S_{t_2} + v_{t_2}(t - t_2) + \frac{a_{\partial}(t - t_2)^2}{2} - \frac{\rho_{\partial}(t - t_2)^3}{6} & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ S_{t_3} + v_{t_3}(t - t_3) & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4. \end{cases} \quad (35)$$

სადაც S_{t_1} , S_{t_2} , S_{t_3} - განვლილი მანძილია შესაბამის დროებში t_1 , t_2 , t_3

უბანი 2

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\dot{\rho}_{\partial} = \begin{cases} 0 & \text{როცა } t_7 \leq t \leq t_8; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_8 \leq t \leq t_9; \\ 0 & \text{როცა } t_9 \leq t \leq t_{10}; \\ \rho_{\partial} & \text{როცა } t_{10} \leq t \leq t_{11}; \\ 0 & \text{როცა } t_{11} \leq t \leq t_{12}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{12} \leq t \leq t_{13}; \\ 0 & \text{როცა } t_{13} \leq t \leq t_{14}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{14} \leq t \leq t_{15}. \end{cases} \quad (36)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\partial} & \text{როცა } t_8 \leq t \leq t_9; \\ 0 & \text{როცა } t_{10} \leq t \leq t_{11}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{12} \leq t \leq t_{13}; \\ 0 & \text{როცა } t_{14} \leq t \leq t_{15}. \end{cases} \quad (37)$$

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} -\rho_{\partial}(t - t_8) & \text{როცა } t_8 \leq t \leq t_9; \\ -a_{\partial} & \text{როცა } t_{10} \leq t \leq t_{11}; \\ -a_{\partial} + \rho_{\partial}(t - t_{12}) & \text{როცა } t_{12} \leq t \leq t_{13}; \\ 0 & \text{როცა } t_{14} \leq t \leq t_{15}. \end{cases} \quad (38)$$

გადაადგილების სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} v_{t_4} = \frac{\rho_{\partial}(t - t_8)^2}{2} & \text{როცა } t_8 \leq t \leq t_9; \\ v_{t_{10}} - a_{\partial}(t - t_{10}) & \text{როცა } t_{10} \leq t \leq t_{11}; \\ v_{t_{12}} - a_{\partial}(t - t_{12}) + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{12})^2}{2} & \text{როცა } t_{12} \leq t \leq t_{13}; \\ v_{t_{14}} = v_{\partial} = v_{t_{14}} + a_{\partial} + (t_{15} - t_{14}) + \frac{\rho_{\partial}(t_{15} - t_{14})^2}{2} & \text{როცა } t_{14} \leq t \leq t_{15}. \end{cases} \quad (39)$$

სადაც v_{t_8} , $v_{t_{10}}$, $v_{t_{12}}$, $v_{t_{14}}$ - ხაზური სიჩქარეა შესაბამის დროებში - t_8 , t_{10} , t_{12} , t_{14} .

განვლილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} S_{t_4} + v_{\partial}(t - t_4) - \frac{\rho_{\partial}(t - t_4)^2}{2} & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ S_{t_5} + v_{t_3}(t - t_5) - \frac{a_{\partial}(t - t_5)^2}{2} & \text{როცა } t_5 \leq t \leq t_6; \\ S_{t_6} + v_{t_6}(t - t_6) - \frac{a_{\partial}(t - t_6)^2}{2} + \frac{\rho_{\partial}(t - t_6)^3}{6} & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7; \\ S_{t_7} + v_{t_7}(t - t_7) & \text{როცა } t_7 \leq t \leq t_8. \end{cases} \quad (40)$$

უბანი 3

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\dot{\rho}_{\partial} = \begin{cases} 0 & \text{როცა } t_{15} \leq t \leq t_{16}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{16} \leq t \leq t_{17}; \\ 0 & \text{როცა } t_{17} \leq t \leq t_{18}; \\ \dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{18} \leq t \leq t_{19}; \\ 0 & \text{როცა } t_{19} \leq t \leq t_{20}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{20} \leq t \leq t_{21}; \\ 0 & \text{როცა } t_{21} \leq t \leq t_{22}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{22} \leq t \leq t_{23}/ \end{cases} \quad (41)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\partial} & \text{როცა } t_{16} \leq t \leq t_{17}; \\ 0 & \text{როცა } t_{18} \leq t \leq t_{19}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{20} \leq t \leq t_{21}; \\ 0 & \text{როცა } t_{22} \leq t \leq t_{23}. \end{cases} \quad (42)$$

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} \rho_{\partial}(t - t_8) & \text{როცა } t_{16} \leq t \leq t_{17}; \\ a_{\partial} & \text{როცა } t_{18} \leq t \leq t_{19}; \\ a_{\partial} + \rho_{\partial}(t - t_{10}) & \text{როცა } t_{20} \leq t \leq t_{21}; \\ 0 & \text{როცა } t_{22} \leq t \leq t_{23}. \end{cases} \quad (43)$$

გადაადგილების სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} v_{t_{16}} + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{16})^2}{2} & \text{როცა } t_{16} \leq t \leq t_{17}; \\ v_{t_{18}} + a_{\partial}(t - t_{18}) & \text{როცა } t_{18} \leq t \leq t_{19}; \\ v_{t_{20}} + a_{\partial}(t - t_{20}) - \frac{\rho_{\partial}(t - t_{20})^2}{2} & \text{როცა } t_{20} \leq t \leq t_{21}; \\ v_{t_{22}} = v_{\partial} & \text{როცა } t_{22} \leq t \leq t_{23}. \end{cases} \quad (44)$$

სადაც $v_{t_{16}}, v_{t_{18}}, v_{t_{20}}, v_{t_{22}}$ - ხაზური სიჩქარეა შესაბამის დროებში - $t_{16}, t_{18}, t_{19}, t_{20}$

განვილილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} S_{t_8} + v_{t_8}(t - t_8) + \frac{\rho_{\partial}(t - t_8)^2}{6} & \text{როცა } t_8 \leq t \leq t_9; \\ S_{t_9} + v_{t_9}(t - t_9) + \frac{a_{\partial}(t - t_9)^2}{2} & \text{როცა } t_9 \leq t \leq t_{10}; \\ S_{t_{10}} + v_{t_{10}}(t - t_{10}) + \frac{a_{\partial}(t - t_{10})^2}{2} - \frac{\rho_{\partial}(t - t_{10})^3}{6} & \text{როცა } t_{10} \leq t \leq t_{11}; \\ S_{t_{11}} + v_{\partial}(t - t_{11}) & \text{როცა } t_{11} \leq t \leq t_{12}. \end{cases} \quad (45)$$

სადაც $S_{t_8}, S_{t_9}, S_{t_{10}}, S_{t_{11}}$ - განვილილი მანძილია შესაბამის დროებში t_8, t_9, t_{10}, t_{11}

უბანი 4:

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\dot{\rho}_{\partial} = \begin{cases} 0 & \text{როცა } t_{23} \leq t \leq t_{24}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{24} \leq t \leq t_{25}; \\ 0 & \text{როცა } t_{25} \leq t \leq t_{26}; \\ \dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{26} \leq t \leq t_{27}; \\ 0 & \text{როცა } t_{27} \leq t \leq t_{28}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{29} \leq t \leq t_{30}; \\ 0 & \text{როცა } t_{30} \leq t \leq t_{31}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{31} \leq t \leq t_{32}. \end{cases} \quad (46)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\partial} & \text{როცა } t_{26} \leq t \leq t_{27}; \\ 0 & \text{როცა } t_{28} \leq t \leq t_{29}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{30} \leq t \leq t_{31}; \\ 0 & \text{როცა } t_{32} \leq t \leq t_{33}; \end{cases} \quad (47)$$

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} -\rho_{\partial}(t - t_{26}) & \text{როცა } t_{26} \leq t \leq t_{27}; \\ -a_{\partial} & \text{როცა } t_{28} \leq t \leq t_{29}; \\ -a_{\partial} + \rho_{\partial}(t - t_{30}) & \text{როცა } t_{30} \leq t \leq t_{31}; \\ 0 & \text{როცა } t_{32} \leq t \leq t_{33}. \end{cases} \quad (48)$$

გადაადგილების სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} v_{t_{26}} - \frac{\rho_{\theta}(t - t_{26})^2}{2} & \text{როცა } t_{26} \leq t \leq t_{27}; \\ v_{t_{28}} - a_{\theta}(t - t_{28}) & \text{როცა } t_{28} \leq t \leq t_{29}; \\ v_{t_{30}} - a_{\theta}(t - t_{30}) + \frac{\rho_{\theta}(t - t_{30})^2}{2} & \text{როცა } t_{30} \leq t \leq t_{31}; \\ v_{t_{32}} = v_{\theta} = v_{t_{32}} - a_{\theta}(t_{33} - t_{32}) + \frac{\rho_{\theta}(t_{33} - t_{32})^2}{2} & \text{როცა } t_{32} \leq t \leq t_{33}. \end{cases} \quad (49)$$

სადაც $v_{t_{26}}, v_{t_{28}}, v_{t_{30}}, v_{t_{32}}$ - ხაზური სიჩქარეა შესაბამის დროებში - $t_{26}, t_{28}, t_{30}, t_{32}$

განვლილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} S_{t_{26}} + v_{\theta}(t - t_{26}) - \frac{\rho_{\theta}(t - t_{26})^2}{6} & \text{როცა } t_{26} \leq t \leq t_{27}; \\ S_{t_{28}} + v_{t_{28}}(t - t_{28}) - \frac{a_{\theta}(t - t_{28})^2}{2} & \text{როცა } t_{28} \leq t \leq t_{29}; \\ S_{t_{30}} + v_{t_{30}}(t - t_{30}) - \frac{a_{\theta}(t - t_{30})^2}{2} + \frac{\rho_{\theta}(t - t_{30})^3}{6} & \text{როცა } t_{30} \leq t \leq t_{31}; \\ S_{t_{32}} + v_{32}(t - t_{32}) & \text{როცა } t_{32} \leq t \leq t_{33}. \end{cases} \quad (50)$$

სადაც $S_{t_{26}}, S_{t_{28}}, S_{t_{30}}, S_{t_{32}}$ - განვლილი მანძილია შესაბამის დროებში $t_{26}, t_{28}, t_{30}, t_{32}$

უბანი 5:

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\dot{\rho}_{\theta} = \begin{cases} 0 & \text{როცა } t_{31} \leq t \leq t_{32}; \\ -\dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_{32} \leq t \leq t_{33}; \\ 0 & \text{როცა } t_{33} \leq t \leq t_{34}; \\ \dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_{34} \leq t \leq t_{35}; \\ 0 & \text{როცა } t_{35} \leq t \leq t_{36}; \\ -\dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_{36} \leq t \leq t_{37}; \\ 0 & \text{როცა } t_{37} \leq t \leq t_{38}; \\ -\dot{\rho}_{\theta} & \text{როცა } t_{38} \leq t \leq t_{39}; \end{cases} \quad (51)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\partial} & \text{როცა } t_{34} \leq t \leq t_{35}; \\ 0 & \text{როცა } t_{36} \leq t \leq t_{37}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{38} \leq t \leq t_{39}; \\ 0 & \text{როცა } t_{40} \leq t \leq t_{41}. \end{cases} \quad (52)$$

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} \rho_{\partial}(t - t_{34}) & \text{როცა } t_{34} \leq t \leq t_{35}; \\ a_{\partial} & \text{როცა } t_{36} \leq t \leq t_{37}; \\ a_{\partial} + \rho_{\partial}(t - t_{48}) & \text{როცა } t_{38} \leq t \leq t_{39}; \\ 0 & \text{როცა } t_{40} \leq t \leq t_{41}. \end{cases} \quad (53)$$

გადაადგილების სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} v_{t_{34}} + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{34})^2}{2} & \text{როცა } t_{34} \leq t \leq t_{35}; \\ v_{t_{36}} + a_{\partial}(t - t_{36}) & \text{როცა } t_{36} \leq t \leq t_{37}; \\ v_{t_{38}} + a_{\partial}(t - t_{38}) - \frac{\rho_{\partial}(t - t_{38})^2}{2} & \text{როცა } t_{38} \leq t \leq t_{39}; \\ v_{t_{40}} = v_{\partial} & \text{როცა } t_{40} \leq t \leq t_{41}. \end{cases} \quad (54)$$

სადაც $v_{t_{34}}, v_{t_{36}}, v_{t_{38}}, v_{t_{40}}$ - ხაზური სიჩქარეა შესაბამის დროებში - $t_{34}, t_{36}, t_{38}, t_{40}$

განვლილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} S_{t_{16}} + v_{t_{16}}(t - t_{16}) + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{16})^2}{6} & \text{როცა } t_{16} \leq t \leq t_{17}; \\ S_{t_{17}} + v_{t_{17}}(t - t_{17}) + \frac{a_{\partial}(t - t_{17})^2}{2} & \text{როცა } t_{17} \leq t \leq t_{18}; \\ S_{t_{18}} + v_{t_{18}}(t - t_{18}) + \frac{a_{\partial}(t - t_{18})^2}{2} + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{18})^3}{6} & \text{როცა } t_{18} \leq t \leq t_{19}; \\ S_{t_{19}} + v_{\partial}(t - t_{19}) & \text{როცა } t_{19} \leq t \leq t_{20}; \end{cases} \quad (55)$$

სადაც $S_{t_{16}}, S_{t_{17}}, S_{t_{18}}, S_{t_{19}}$ - განვლილი მანძილია შესაბამის დროებში $t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{19}$

უბანი 6:

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\dot{\rho}_{\partial} = \begin{cases} 0 & \text{როცა } t_{39} \leq t \leq t_{40}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{40} \leq t \leq t_{41}; \\ 0 & \text{როცა } t_{41} \leq t \leq t_{42}; \\ \dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{42} \leq t \leq t_{43}; \\ 0 & \text{როცა } t_{43} \leq t \leq t_{44}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{44} \leq t \leq t_{45}; \\ 0 & \text{როცა } t_{45} \leq t \leq t_{46}; \\ -\dot{\rho}_{\partial} & \text{როცა } t_{46} \leq t \leq t. \end{cases} \quad (56)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\partial} & \text{როცა } t_{42} \leq t \leq t_{43}; \\ 0 & \text{როცა } t_{44} \leq t \leq t_{45}; \\ -\rho_{\partial} & \text{როცა } t_{46} \leq t \leq t_{47}; \\ 0 & \text{როცა } t \geq t_{48}. \end{cases} \quad (57)$$

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} \rho_{\partial}(t - t_{20}) & \text{როცა } t_{42} \leq t \leq t_{43}; \\ -a_{\partial} & \text{როცა } t_{44} \leq t \leq t_{45}; \\ -a_{\partial} + \rho_{\partial}(t - t_{12}) & \text{როცა } t_{46} \leq t \leq t_{47}; \\ 0 & \text{როცა } t_{47} \leq t. \end{cases} \quad (58)$$

გადაადგილების სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} v_{t_{42}} - \frac{\rho_{\partial}(t - t_{42})^2}{2} & \text{როცა } t_{42} \leq t \leq t_{43}; \\ v_{t_{44}} - a_{\partial}(t - t_{44}) & \text{როცა } t_{44} \leq t \leq t_{45}; \\ v_{t_{46}} - a_{\partial}(t - t_{46}) + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{46})^2}{2} & \text{როცა } t_{46} \leq t \leq t_{47}; \\ 0 & \text{როცა } t_{47} \leq t. \end{cases} \quad (59)$$

სადაც $v_{t_{42}}$, $v_{t_{44}}$, $v_{t_{46}}$ - ხაზური სიჩქარე შესაბამის დროებში - t_{42} , t_{44} ,

t_{46}

განვლილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} S_{t_{42}} + v_{t_{42}}(t - t_{42}) - \frac{\rho_{\partial}(t - t_{42})^2}{6} & \text{როცა } t_{42} \leq t \leq t_{43}; \\ S_{t_{44}} + v_{t_{44}}(t - t_{44}) - \frac{a_{\partial}(t - t_{44})^2}{2} & \text{როცა } t_{44} \leq t \leq t_{45}; \\ S_{t_{46}} + v_{t_{46}}(t - t_{46}) - \frac{a_{\partial}(t - t_{46})^2}{2} + \frac{\rho_{\partial}(t - t_{46})^3}{6} & \text{როცა } t_{46} \leq t \leq t_{47}; \\ 0 & \text{როცა } t_{47} \leq t. \end{cases} \quad (60)$$

სადაც $S_{t_{42}}, S_{t_{44}}, S_{t_{46}}$ - განვილი მანძილია შესაბამის დროებში t_{42}, t_{44}, t_{46}

2.3. შქვბ-ის ელექტროამძრავის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის

ბიძგის განსაზღვრა

- 1) ტრასის სიგრძე: $l = 500 \div 1500$ მ;
- 2) ტრასის დახრის კუთხე: $a = 0 \div 45^\circ$;
- 3) კიდული კაბინის ტევადობა: 8 – 60 ადამიანი;
- 4) მზიდი ბაგირის დიამეტრი: $d = 21 - 45$ მმ;
- 5) მაქსიმალური სიჩქარე: $v_0 = 6 - 12$ მ/წმ;
- 6) მზიდი ბაგირი კვეთი: $q = 175 - 317$ მმ²;
- 7) მზიდი ბაგირის მასა: $m = 1.6 - 3.2$ კგ/მ;
- 8) დაყვანის რადიუსი: $r = 0.026 - 0.064$ მ/რად;
- 9) კაბინის საკუთარი წონა: $G_j = 1050 - 2550$ კგ.

განვსაზღვრეთ სამი ფაქტორი:

$$X_1 = J'_{\partial \text{ოგ}};$$

$$X_2 = J''_{\partial \text{ოგ}};$$

$$X_3 = C''_{12 \partial \text{ოგ}}$$

მოცემული ფაქტორების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები გამოვითვალეთ შემდეგი გამოსახულებებიდან:

I და II ფაქტორები:

$$J'_{\partial \text{ოგ, მინ}} = m'_{\Sigma \partial \text{ინ}} \cdot \rho_{\partial \text{ინ}}^3$$

$$\begin{aligned}
 J'_{\text{მოც.მაქს}} &= m'_{\Sigma\text{მაქს}} \cdot \dot{\rho}_{\text{მაქს}}^3 \\
 J''_{\text{მოც.მინ}} &= m''_{\Sigma\text{მინ}} \cdot \dot{\rho}_{\text{მინ}}^3 \\
 J''_{\text{მოც.მაქს}} &= m''_{\Sigma\text{მაქს}} \cdot \dot{\rho}_{\text{მაქს}}^3
 \end{aligned} \tag{61}$$

$$\begin{aligned}
 m'_{\Sigma\text{მინ}} &= m''_{\Sigma\text{მინ}} = G_{0\text{წბ.მინ}} + G_{\text{კაბ.მინ}} + G_{\text{ტვ.მინ}} \\
 m''_{\Sigma\text{მაქს}} &= m''_{\Sigma\text{მაქს}} = G_{0\text{წბ.მაქს}} + G_{\text{კაბ.მაქს}} + G_{\text{ტვ.მაქს}} \\
 G_{\text{ბ.მინ}} &= G_{\text{მინ}} \cdot l_{\text{ბ.მინ}} \\
 G_{\text{ბ.მაქს}} &= G_{\text{მაქს}} \cdot l_{\text{ბ.მაქს}}
 \end{aligned}$$

სადაც m'_{Σ} , m''_{Σ} - ჯამური საანგარიშო მასებია, რომელიც შესაბამისად ახლოს და შორს მდებარე კაბინებს შეესაბამება, კგ; $G_{\text{ბ}}$ - $l_{\text{ბ}}$ სიგრძის ბაგირის ჯამური წონაა, კგ; $G_{\text{კ}}$ - კიდული კაბინის წონაა, კგ; $G_{\text{ტვ}}$ - კაბინის ტვირთის წონაა, კგ; $l_{\text{ბ}}$ - ბაგირის სრული სიგრძეა, მ.

III ფაქტორი:

$$\begin{aligned}
 C_{\Sigma\text{მინ}} &= \frac{C_{0\text{წბ}} \cdot l_{\text{წბ.მინ}} + C_{\text{ბ}}}{C_{0\text{წბ}} l_{\text{წბ.მინ}} \cdot C_{\text{ბ}}} \\
 C_{\Sigma\text{მაქს}} &= \frac{C_{0\text{წბ}} \cdot l_{\text{წბ.მაქს}} + C_{\text{ბ}}}{C_{0\text{წბ}} l_{\text{წბ.მაქს}} \cdot C_{\text{ბ}}} \\
 C_{\Sigma 12} &= \frac{C_{0\text{წბ}} \cdot l_{\text{წბ}} + C_{\text{ბ}}}{C_{0\text{წბ}} \cdot l_{\text{წბ}} \cdot C_{\text{ბ}}}
 \end{aligned} \tag{62}$$

სადაც $C''_{12\text{დაყ}}$ - ძრავას ლილვამდე დაყვანილი მზიდი ბაგირის სიხისტეა, ნმ/რად; $E_{\text{ბ}}$ - მზიდი ბაგირის ელასტიურობის მოდულია, კგ/მმ²; $q_{\text{ბ}}$ - მზიდი ბაგირის კვეთია, მმ²; $l_{\text{ბ}}$ - ამძრავ ბორბალსა და უკიდურესად დაშორებულ კაბინას შორის მანძილია, მ.

ფორმულების (51 და 52) ანალიზიდან ჩანს, რომ შერჩეული ფაქტორები სრულად ითვალისწინებს კიდული ბაგირგზების მახასიათებლებს და მათი ზრდის დიაპაზონს.

ბიძგის საშუალო მნიშვნელობის ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე: $\rho = F(X_1, X_2, X_3)$, აღნიშნული გამოსახულება მივიღეთ ექსპერიმენტის საშუალებით. ფაქტორების ვარირების კოეფიციენტი

მიღებულია ყველაზე გავრცელებული კიდული კაბინების პარამეტრების მიხედვით, რაც ნაჩვენებია ცხრ.1-ში.

ცხრ. 2. ფაქტორების ვარიანტების კოეფიციენტები

X_i	$X_{i\text{მინ}}$ $X_i = -1$	$X_{i\text{საშ}}$ $X_i = 0$	$X_{i\text{მაქს}}$ $X_i = +1$
$X_1(J', \text{კგძ}^2)$	2.0	25.0	48
$X_2(J'', \text{კგძ}^2)$	2.0	25.0	48
$X_3(C', \text{ნმ/რად})$	12.8	149.7	286.5

ექსპერიმენტის გეგმა წარმოდგენილია ცხრ. 2 -ში:

ცხრ. 3. ექსპერიმენტის გეგმა

ექსპ. რაოდ.	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	ρ	$\hat{\rho}$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0.0409	0.0414
2	+	+	-	-	-	-	+	+	0.0318	0.0317
3	+	-	+	-	-	+	-	+	0.0167	0.0166
4	+	+	+	-	+	-	-	-	0.0159	0.0159
5	+	-	-	+	+	-	-	+	0.0379	0.0379
6	+	+	-	+	-	+	-	+	0.0303	0.0304
7	+	-	+	+	-	-	+	-	0.0390	0.0394
8	+	+	+	+	+	+	+	+	0.0328	0.0327
9	+	0	0	0	0	0	0	0	0.0303	0.0307

მრავალცვლადიან გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\rho = 0.037 - 0.03X_1 - 0.046X_2 + 0.005X_3 + 0.0012X_1X_2 - 0.005X_1X_3 + 0.05X_2X_3 - 0.009X_1X_2X_3 \quad (63)$$

(53) გამოსახულების მიხედვით, ისევე როგორც დასაპროექტებელი ან უკვე არსებული შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზებისთვის, შესაძლებელია ბიძგის დავალების საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრა, რომლის სწორკუთხა ფორმაც უზრუნველყოფს კაბინის მოძრაობის სიჩქარის ისეთ მნიშვნელობამდე გაზრდაც, რითაც მიიღწევა მექანიზმის მაქსიმალური მწარმოებლუნარიანობა [41,42].

2.4. შქვბ-ის სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამის განსაზღვრა

შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ოპტიმალური დინამიკური მახასიათებლების მქონე ტაქოგრამის (ნახ. 26) რეალიზაცია შესაძლებელია ორი მეთოდით.

პირველი მეთოდი გულისხმობს ელექტროამძრავის მართვას ერთდოულად როგორც გადაადგილების ისე დროის ფუნქციით. ამასთან, გადაადგილების თითოეული ადგილისთვის მართვის სიგნალი, (რომელიც შეესაბამება ელექტროამძრავის ერთი დამყარებული მუშაობის რეჟიმიდან მეორეში ($t_0, t_7, t_{15}, t_{23}, t_{31}, t_{39}$) გადასვლას) ფორმირდება შესაბამისი უბრნის სიჩქარის დროში ცვლილების მიხედვით. მოძრაობის პროცესის დაწყების სიგნალი მოეწოდება კიდული კაბინის მდებარეობის კონტროლის მაგნიტური სენსორიდან (კკმკმს). გადაადგილდება კონტროლდება მხოლოდ გადასვლის პროცესის დასაწყისში, უშუალოდ პროცესისას გადაადგილების ფუნქციაში მართვის სისტემა ფაქტიურად გახსნილია და სწორედ ეს წარმოადგენს აღნიშნული მეთოდის ნაკლოვანებას.

მეორე მეთოდი წარმოადგენს პოზიციონირებას კიდული კაბინის გადაადგილების მთელს სიგრძეზე. კიდული კაბინის მოძრაობის სიჩქარე გზის თითოეულ უბანზე კონტროლდება მართვის სისტემის მიერ, რის საფუძველზეც მოძრაობის ოპტიმალურ ტაქოგრამაზე დაყრდნობით მუშავდება სიჩქარით მართვის სიგნალი. აქედან გამომდინარე,

შუალედურსაყრდენიანი ქვბ-ის ელექტროამპრავის პოზიციური მართვის სისტემის განხორციელება შესაძლებელია ოპტიმალური ტაქოგრამის შემუშავებით, რომელიც ნაჩვენებია ნახ.26-ზე.

ფორმულებიდან, რომლებითაც განსაზღვრულია განვლილი მანძილი, განვსაზღვრეთ დრო და ჩავსვათ ეს მნიშვნელობები სიჩქარის შესაბამის ფორმულებში, მივიღებთ შუალედურსაყრდენიანი ქვბ-ის გადაადგილების ფუნქციაში სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამის მათემატიკურ ფორმულირებას. დროის მნიშვნელობის განსაზღვრელად მესამე თანრიგის ფორმულების ანალიზი მოვახდინეთ კარდანოს მეთოდით მიხედვით. ამ ფორმულებში, განვლილი მანძილის ზღვრები და ნომრები ემთხვევა დროის შესაბამის ზღვრებსა და ნომრებს.

განტოლებები დაჯგუფებულია იგივე პრინციპის მიხედვით, რაც გამოყენებულია ქვეთავ 2.2-ში.

უბანი 1:

$$V = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\rho_{\partial}^3}{2} \sqrt{\left(\frac{6S}{\rho_{\partial}}\right)^2} \quad \text{როცა } 0 \leq S \leq S_{t1}; \\ \sqrt{V_{t1}^2 + 2a_{\partial}(S - S_{t2})} \quad \text{როცა } S_{t1} \leq S \leq S_{t2}; \\ \left[\frac{a_{\partial}}{\rho_{\partial}} + \sqrt[3]{q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}} + \sqrt{\left(P_{t2} + \left(q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2\right)}} + \right. \\ \left. + \sqrt[3]{q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}} - \sqrt{\left(P_{t2} + \left(q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2\right)}} \right] + \\ \left[\frac{a_{\partial}}{\rho_{\partial}} + \sqrt[3]{q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}} + \sqrt{\left(P_{t2} + \left(q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2\right)}} + \right. \\ \left. + \frac{\rho_{\partial}}{2} \sqrt[3]{q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}} - \sqrt{\left(q_{t2} + \left(q_{t2} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2\right)}} \right] \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t2} \leq S \leq S_{t3}; \\ V_{t3} \quad \text{როცა } S_{t3} \leq S \leq S_{t4}. \end{array} \right. \quad (64)$$

$$q_{t2} = \frac{a_{\partial}^3}{\rho_{\partial}^3} + \frac{3a_{\partial}V_{t2}}{\rho_{\partial}^2} + \frac{3S_{t2}}{\rho_{\partial}} \quad (65)$$

და

$$P_{t2} = -\frac{6V_{t2}}{\rho_{\partial}} - \frac{3a_{\partial}^2}{\rho_{\partial}^2}$$

უბანი 2:

$$V = \left\{ \begin{array}{l} \left[V_{t4} - \frac{\rho_{\partial}}{2} \left[\begin{array}{l} \sqrt[3]{-\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t4}) + \sqrt{\left(-\frac{6V_{\partial}}{3\rho_{\partial}}\right)^3 + \left(\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t4})\right)^2}} + \\ \sqrt[3]{-\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t4}) + \sqrt{\left(-\frac{6V_{\partial}}{3\rho_{\partial}}\right)^3 + \left(\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t4})\right)^2}} \end{array} \right] \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t4} \leq S \leq S_{t5}; \\ \\ 2V_{t5} - \sqrt{V_{t5}^2 + 2a_{\partial}(S - S_{t5})} \quad \text{როცა } S_{t5} \leq S \leq S_{t6}; \\ \\ \left[V_{t6} - a_{\partial} \left[\begin{array}{l} \frac{a_{\partial}}{\rho_{\partial}} + \sqrt[3]{q_{t6} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} + \sqrt{\left(P_{t6} + \left(q_{t6} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} + \\ \sqrt[3]{q_{t6} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} - \sqrt{\left(P_{t6} + \left(q_{t6} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} \end{array} \right] \right]^2 + \\ \\ \left[\begin{array}{l} \frac{a_{\partial}}{\rho_{\partial}} + \sqrt[3]{q_{t6} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} + \sqrt{\left(P_{t6} + \left(q_{t6} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} + \\ \sqrt[3]{q_{t6} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} - \sqrt{\left(P_{t6} + \left(q_{t6} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} \end{array} \right]^2 + \frac{\rho_{\partial}}{2} \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t6} \leq S \leq S_{t7}; \\ \\ V_{t7} \quad \text{როცა } S_{t7} \leq S \leq S_{t8}. \end{array} \right. \quad (66)$$

$$q_{t6} = \frac{a_{\partial}^3}{\rho_{\partial}^3} + \frac{3a_{\partial}V_{t6}}{\rho_{\partial}^2} - \frac{3S_{t6}}{\rho_{\partial}} \quad (67)$$

და

$$P_{t2} = \left(\frac{6V_{t6}}{\rho_{\partial}} - \frac{3a_{\partial}^2}{\rho_{\partial}^2} \right)^3$$

ფიგურა 3:

$$V = \left\{ \begin{array}{l}
 \left[V_{t8} + \frac{\rho_\partial}{2} \left[\begin{array}{l}
 \sqrt[3]{\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t8}) + \sqrt{\left(\frac{2V_{t\partial}}{\rho_\partial}\right)^3 + \left(\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t8})\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t8}) - \sqrt{\left(\frac{2V_{t\partial}}{\rho_\partial}\right)^3 + \left(\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t8})\right)^2}}
 \end{array} \right] \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t8} \leq S \leq S_{t9}; \\
 \\
 \sqrt{V_{t9}^2 + 2a_\partial(S - S_{t9})} \quad \text{როცა } S_{t9} \leq S \leq S_{t10}; \\
 \\
 \left[V_{t10} + a_\partial \left[\begin{array}{l}
 \frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t10} + \left(q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t10} + \left(q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}}
 \end{array} \right] \right]^2 + \\
 \\
 \left[\begin{array}{l}
 \frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t10} + \left(q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t10} + \left(q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}}
 \end{array} \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t10} \leq S \leq S_{t11}; \\
 \\
 \left[\begin{array}{l}
 \frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t10} + \left(q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t10} + \left(q_{t10} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}}
 \end{array} \right]^2 + \frac{\rho_\partial}{2} \quad \text{როცა } S_{t10} \leq S \leq S_{t12}. \\
 \\
 V_{t11}
 \end{array} \right. \quad (68)$$

$$q_{t10} = \frac{a_\partial^3}{\rho_\partial^3} + \frac{3a_\partial V_{t10}}{\rho_\partial^2} + \frac{3S_{t10}}{\rho_\partial} \quad (69)$$

და

$$P_{t10} = \left(-\frac{6V_{t10}}{\rho_\partial} - \frac{3a_\partial^2}{\rho_\partial^2} \right)^3$$

უბანი 4:

V

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 & V_{t12} - \frac{\rho_\partial}{2} \left[\begin{aligned}
 & \sqrt[3]{-\frac{6}{2\rho_\partial}(S - S_{t12}) + \sqrt{\left(-\frac{6V_\partial}{3\rho_\partial}\right)^3 + \left(\frac{6}{2\rho_\partial}(S - S_{t12})\right)^2}} + \\
 & \sqrt[3]{-\frac{6}{2\rho_\partial}(S - S_{t12}) - \sqrt{\left(-\frac{6V_\partial}{3\rho_\partial}\right)^3 + \left(\frac{6}{2\rho_\partial}(S - S_{t12})\right)^2}} \right] \\
 & \qquad \qquad \qquad 2V_{t13} - \sqrt{V_{t13}^2 + 2a_\partial(S - S_{t13})} \\
 & V_{t14} - a_\partial \left[\begin{aligned}
 & \frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t14} + \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t14} + \left(q_{t14} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \right. \\
 & \left. + \sqrt[3]{q_{t14} + \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t14} + \left(q_{t14} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} \right) + \\
 & \left. + \frac{\rho_\partial}{2} \sqrt[3]{\frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t14} + \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t14} + \left(q_{t14} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \right.} \right. \\
 & \left. \left. + \sqrt[3]{q_{t14} + \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t14} + \left(q_{t14} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} \right)} \right] \\
 & \qquad \qquad \qquad V_{t15}
 \end{aligned} \right] \\
 & \text{როცა } S_{t12} \leq S \leq S_{t13}; \\
 & \text{როცა } S_{t13} \leq S \leq S_{t14}; \\
 & \text{როცა } S_{t14} \leq S \leq S_{t15}; \\
 & \text{როცა } S_{t15} \leq S \leq S_{t16}.
 \end{aligned} \right\} =
 \end{aligned}
 \tag{70}$$

$$q_{t14} = \frac{a_\partial^3}{\rho_\partial^3} - \frac{3a_\partial V_{t14}}{2\rho_\partial^2} - \frac{3S_{t14}}{\rho_\partial}
 \tag{71}$$

და

$$P_{t14} = \left(\frac{6V_{t14}}{\rho_\partial} - \frac{3a_\partial^2}{\rho_\partial^2} \right)^3$$

უბანი 5:

$$V = \left\{ \begin{array}{l}
 V_{t16} + \frac{\rho_\partial}{2} \left[\begin{array}{l}
 \sqrt[3]{\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t16}) + \sqrt{\left(\frac{2V_{t16}}{\rho_\partial}\right)^3 + \left(\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t16})\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t18}) - \sqrt{\left(\frac{2V_{t16}}{\rho_\partial}\right)^3 + \left(\frac{3}{\rho_\partial}(S - S_{t16})\right)^2}}
 \end{array} \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t16} \leq S \leq S_{t17}; \\
 \\
 \sqrt{V_{t17}^2 + 2a_\partial(S - S_{t17})} \quad \text{როცა } S_{t17} \leq S \leq S_{t18}; \\
 \\
 V_{t18} + a_\partial \left[\begin{array}{l}
 \frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t18} + \left(q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t18} + \left(q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}}
 \end{array} \right] + \\
 \\
 + \frac{\rho_\partial}{2} \left[\begin{array}{l}
 \frac{a_\partial}{\rho_\partial} + \sqrt[3]{q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial} + \sqrt{\left(P_{t18} + \left(q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}} + \\
 \sqrt[3]{q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial} - \sqrt{\left(P_{t18} + \left(q_{t18} - \frac{3S}{\rho_\partial}\right)^2}}
 \end{array} \right]^2 \quad \text{როცა } S_{t18} \leq S \leq S_{t19}; \\
 \\
 V_{t19} \quad \text{როცა } S_{t19} \leq S \leq S_{t20}.
 \end{array} \right. \quad (72)$$

$$q_{t18} = \frac{a_\partial^3}{\rho_\partial^3} + \frac{3a_\partial V_{t18}}{\rho_\partial^2} + \frac{3S_{t18}}{\rho_\partial} \quad (73)$$

და

$$P_{t18} = \left(-\frac{6V_{t18}}{\rho_\partial} - \frac{3a_\partial^2}{\rho_\partial^2} \right)^3$$

უბანი 6:

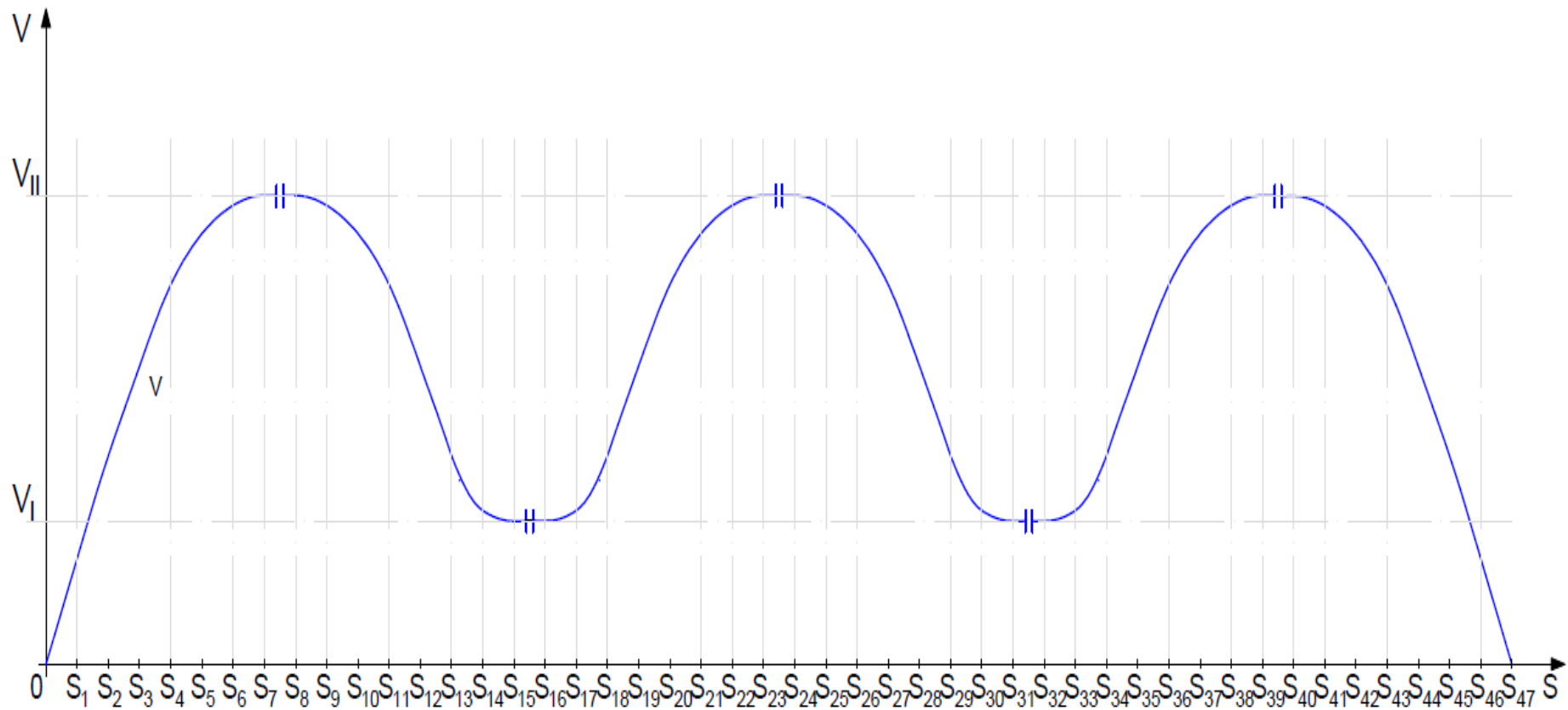
$$\begin{aligned}
 & V \\
 & \left\{ \begin{aligned}
 & V_{t20} - \frac{\rho_{\partial}}{2} \left[\begin{aligned}
 & \sqrt[3]{-\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t20}) + \sqrt{\left(-\frac{6V_{\partial}}{3\rho_{\partial}}\right)^3 + \left(\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t20})\right)^2}} + \\
 & \sqrt[3]{-\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t20}) - \sqrt{\left(-\frac{6V_{\partial}}{3\rho_{\partial}}\right)^3 + \left(\frac{6}{2\rho_{\partial}}(S - S_{t20})\right)^2}} \right] \quad \text{როცა } S_{t20} \leq S \leq S_{t21}; \\
 & 2V_{t21} - \sqrt{V_{t21}^2 + 2a_{\partial}(S - S_{t21})} \quad \text{როცა } S_{t21} \leq S \leq S_{t22}; \\
 & V_{t22} - a_{\partial} \left[\begin{aligned}
 & \frac{a_{\partial}}{\rho_{\partial}} + \sqrt[3]{q_{t22} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} + \sqrt{\left(P_{t22} + \left(q_{t22} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} + \right. \\
 & \left. + \sqrt[3]{q_{t22} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} - \sqrt{\left(P_{t22} + \left(q_{t22} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} \right] + \quad \text{როცა } S_{t22} \leq S \leq S_{t23}; \\
 & + \frac{\rho_{\partial}}{2} \left[\begin{aligned}
 & \frac{a_{\partial}}{\rho_{\partial}} + \sqrt[3]{q_{t22} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} + \sqrt{\left(P_{t22} + \left(q_{t22} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} + \right. \\
 & \left. + \sqrt[3]{q_{t22} + \frac{3S}{\rho_{\partial}} - \sqrt{\left(P_{t22} + \left(q_{t22} - \frac{3S}{\rho_{\partial}}\right)^2}} \right] \quad \text{როცა } S_{t23} \leq S.
 \end{aligned} \right. \\
 & \left. \right\} V_{t23}
 \end{aligned} \right. \tag{74}
 \end{aligned}$$

$$q_{t14} = \frac{a_{\partial}^3}{\rho_{\partial}^3} - \frac{3a_{\partial}V_{t22}}{2\rho_{\partial}^2} - \frac{3S_{t22}}{\rho_{\partial}} \tag{75}$$

და

$$P_{t14} = \left(\frac{6V_{t22}}{\rho_{\partial}} - \frac{3a_{\partial}^2}{\rho_{\partial}^2} \right)^3$$

შუალედურსაყრდენიანი ქვბ-ის კიდული კაბინის სიჩქარის გადაადგილების ფუნქციაში ცვლადი ოპტიმალური დიაგრამა წარმოდგენილია ნახაზზე:



ნახ. 27. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების კაბინის სიჩქარის გაადადგილების ფუნქციაში ცვლადი ოპტიმალური დიაგრამა

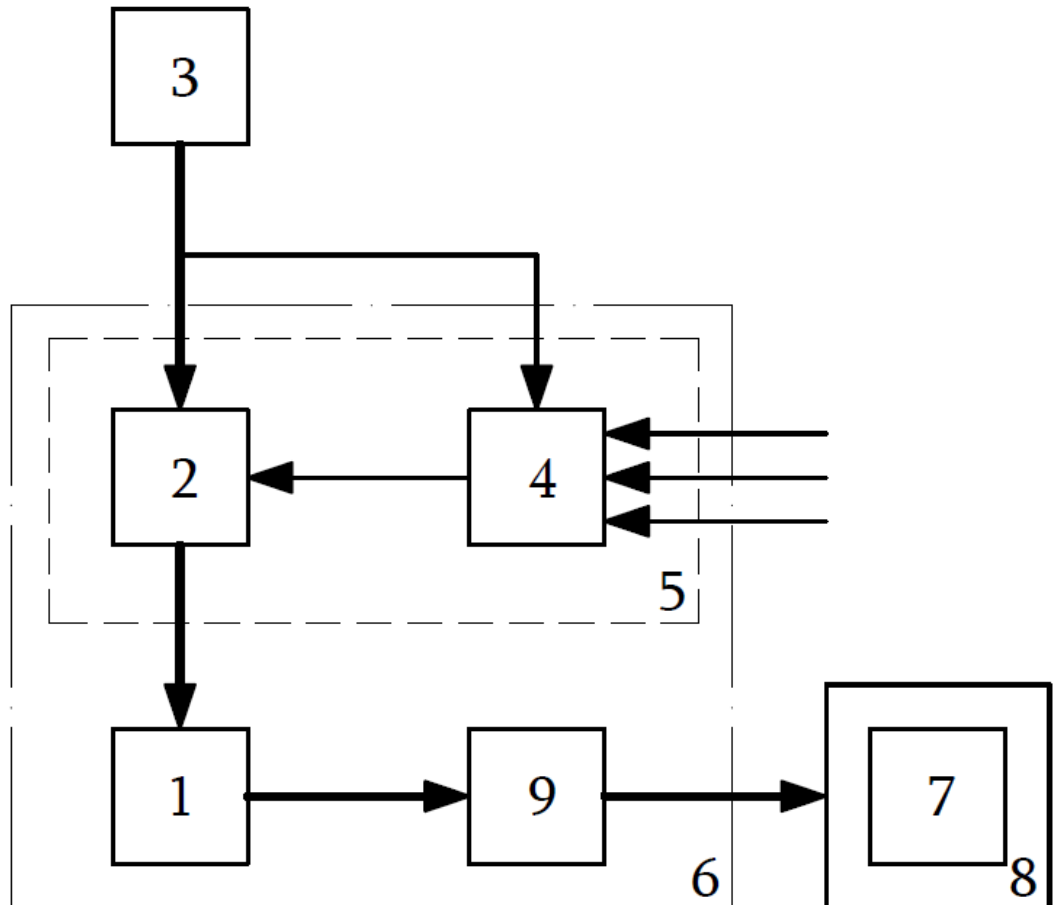
თავი 3. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მართვის სისტემის დამუშავება

საწარმოო მექანიზმები შედგება მრავალი ერთმანეთთან დაკავშირებული კვანძებისა და დეტალებისგან, რომელთაგან ერთ-ერთი უშუალოდ ასრულებს მექანიზმის ძირითადი დანიშნულების სამუშაოს, სწორედ, მექანიზმში ამ რგოლს მუშა შემსრულებელ ორგანოს (შო) უწოდებენ. ასევე აღსანიშნავია, რომ ტექნოლოგიური პროცესები ყველა ამ მექანიზმებში წარმართება უშუალოდ შემსრულებელი ორგანოს მექანიკური მოძრაობის შედეგად შესრულებული სამუშაოს ხარჯზე.

მრავალი საწარმოო დანიშნულების მექანიზმებისთვის დამახასიათებელია არა ერთი, არამედ რამოდენიმე შემსრულებელი ორგანოს ურთიერთშეთანხმებული მუშაობა. ტექნოლოგიური პროცესების უმრავლესობაში მოითხოვება შემსრულებელი ორგანოს მოძრაობის სიჩქარისა და მიმართულების რეგულირება, მისი ზუსტი გაჩერება წინასწარ განსაზღვრულ ადგილას, აჩქარების შეზღუდვა და ა.შ. სწორედ ასეთი მექანიზმებს მიეკუთვნება შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზებიც.

ელექტროამძრავის მთავარ ფუნქციას წარმოადგენს მუშა მანქანებისა და მექანიზმების შემსრულებელი ორგანოების მოძრაობაში მოყვანა და მათი მოძრაობის მართვა. ამ ყველაფერისთვის ელექტროამძრავში ერთიანდება ერთმანეთთან დაკავშირებული ელექტროტექნიკური, ელექტრომექანიკური და მექანიკური ელემენტები.

ელექტროამძრავის ზოგადი სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია ნახ.28-ზე. ნახაზზე სქელი ხაზებით ნაჩვენებია ენერჯის გადაცემის ძალური ნაწილი, ხოლო შედარებით წვრილი ხაზებით დაბალი სიმძლავრის (ინფორმაციის გადამწოდი) ქსელები.



ნახ. 28. ელექტროამბრავის მართვის ზოგადი სტრუქტურული სქემა

ელექტროამბრავის ძირითად რგოლს ელექტრული ძრავი 1 წარმოადგენს, მისი დანიშნულებაა მექანიკური ენერგიის გამომუშავება მოხმარებული ელექტრული ენერგიის ხარჯზე, შესაბამისად ის წარმოადგენს ენერგიის ერთგვარ ელექტრომექანიკურ გარდამქმნელს. ელექტროამბრავის მუშაობის ზოგიერთ რეჟიმში ელექტრული ძრავი ასრულებს საპირისპირო მოქმედებასაც - მექანიკურ ენერგიას იღებს შემსრულებელი ორგანოსგან.

ელექტრული ძრავიდან მექანიკური ენერგია შუალედური გადამცემი რგოლის 9 (იქნება ეს მექანიკური, ჰიდრავლიკური თუ ელექტრომაგნიტური) გავლით გადაეცემა მექანიზმის 8 შემსრულებელ ორგანოს 7, რომლის დახმარებითაც ის ასრულებს მისთვის დამახასიათებელ მექანიკურ მოძრაობას. გადამცემი რგოლის

დანიშნულებაა ელექტრული ძრავის მოძრაობის პარამეტრების შესაბამისობა შემსრულებელ ორგანოსთან[38].

დღესდღეობით ასინქრონული ძრავი (აძ) არის ყველაზე გავრცელებული და მექანიზმებში ფართოდ გამოყენებული ელექტრული ძრავი. ეს განპირობებულია მისი დამზადებისა და კონსტრუქციული ნაწილის სიმარტივით, საიმედოობით, მცირე ღირებულებითა და ექსპლუატაციის დაბალი ხარჯით. სამრეწველო დანიშნულების მექანიზმებზე ეტაპობრივად დაიწყო არსებული მუდმივი დენის მანქანების ჩანაცვლება ასინქრონული ძრავებით, რომლებსაც სიხშირული მართვის მოდული გააჩნიათ. იქედან გამომდინარე, რომ საგრძნობლად განვითარდა ნახევრადგამტარული ელექტრონიკა, გაჩნდა შესაძლებლობა, რომ ფართო დიაპაზონში ვმართოთ აძ-ის სიჩქარე არც თუ ისე ძვირი მიკროპროცესორული სიხშირული გარდამქმნელების (ინვერტორების) დახმარებით. რის შედეგადაც, აძ-ის ბრუნვის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მკვებავი ქსელის სიხშირეზე, რამაც შექმნა შესაძლებლობა, რომ ვმართოთ აძ როგორც მისი ნომინალური სიჩქარესთან შედარებით დაბალ, ისე მაღალ სიჩქარეებზე.

მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავების სიხშირული გადამქმნელებში (სგ) ძირითადად გამოიყენება სკალარული და ვექტორული სიხშირული მართვა. სკალარული მართვისას გარკვეული კანონით იცვლება ძრავასთან მიწოდებული ძაბვის აპლიტუდა და სიხშირე. საყურადღებოა, რომ არ შეიძლება მხოლოდ ძაბვის სიხშირის ცვლილება, რადგან ეს მიგვიყვანს ელექტრული ძრავის წინასწარ განსაზღვრული მაქსიმალური, გამშვები მომენტის მნიშვნელობებთან შეუსაბამო მდგომარეობამდე, შეიცვლება მისი მარგი ქმედებისა (მქკ) და სიმძლავრის კოეფიციენტი. სწორედ ამიტომ, ძრავის პარამეტრების საჭირო დონეზე შენარჩუნებისთვის აუცილებელია, სიხშირესთან ერთად ვცვალოთ ძაბვის ამპლიტუდაც. არსებულ სგ-ში სკალარული მართვის გამოყენებისას ძაბვის სიხშირის ზრდისას ამპლიტუდა იცვლება ისეთი

ლოგიკით, რომ ძრავის მაქსიმალური მომენტისა და დატვირთვის მყისი მომენტის დამოკიდებულება რჩება უცვლელი. ამ დამოკიდებულებას ძრავას გადატვირთვის უნარიანობა ეწოდება. ძრავას გადატვირთვის უნარიანობის უცვლელობის პირობებში მისი ნომინალური დატვირთვის კოეფიციენტი და მქვ რეგულირების მთელს დიაპაზონში რჩება უცვლელი.

ასინქრონული ძრავის ვექტორული მართვისას ძრავას დენი იყოფა ორ ვექტორად, რომელთანგან ერთი ქმნის დამაგნიტების ნაკადს, ხოლო მეორე ქმნის მბრუნავ მომენტს. ამ ვექტორების მართვა ხორციელდება ინდივიდუალურად. ძრავას მბრუნავი მომენტი დამოკიდებულია სტატორის დენზე, რომელიც აღძრავს ამგზნებ მაგნიტურ ველს. მომენტის რეგულირებისას აუცილებელია, დენის როგორც ამპლიტუდის ისე ვექტორის ცვლილებაც. დენის ვექტორის მართვისა და მბრუნავი როტორის მიმართ სტატორის მაგნიტური ნაკადის მდებარეობის განსაზღვრისთვის, აუცილებელია როტორის მოძრაობის კუთხის ცოდნა დროის ნებისმიერ მომენტში. აღნიშნულის რეალიზება შესაძლებელია ორი გზით: როტორის მდებარეობის გადამწოდის გამოყენებით, ან სტატორის გრაგნილების დენისა და ძაბვის გამოყენებით შესაბამისი გამოთვლების ჩატარების გზით.

ვექტორული მართვა საშუალებას გვაძლევს ვმართოთ ელექტრული ძრავის სიჩქარე და მბრუნავი მომენტი მაქსიმალურად სწრაფად და ზუსტად. ის საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ მართვის დიაპაზონი, რეგულირების სიზუსტე და ელექტროამძრავის სწრაფლმოქმედება.

თანამედროვე სიხშირული გარდამქმნელების ფუნქციონალი საკმაოდ მრავალფეროვანია, მათ გააჩნიათ, როგორც ავტომატური ისე ხელით მართვის რეჟიმი, მართვის პანელში ჩაშენებული პოტენციომეტრი, შეუძლიათ გამომავალი ძაბვის სიხშირის რეგულირება 0-დან 800 ჰერცამდე დიაპაზონში.

სიხშირის გარდამქმნელებს შეუძლია ასინქრონული ძრავების ავტომატური მართვა მდგომარეობის კონტროლის სხვადასხვა

გადამწოდებისაგან მიღებული სიგნალის მიხედვით, რითაც დროის მოცემული ალგორითმის შესაბამისად მოძრაობაში მოდის ელექტრული ძრავი. სამუშაო რეჟიმის შეწყვეტისას შესაძლებელია, მისი მუშაობის აღდგენა ავტომატურად, გარდამავალი პროცესების მართვა-მონიტორინგი შესაძლებელია სამართავი პულტის გამოყენებით, ძრავი დაცულია გადატვირთვებისგანაც.

ძრავას ბრუნვის კუთხურ სიჩქარესა და მკვებავი ძაბვის სიხშირეს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{P} \quad (76)$$

მკვებავი ქსელის ძაბვის სიდიდის მუდმივობის პირობებში მისი სიხშირის ცვლილებისას იცვლება ასინქორნული ძრავას მაგნიტური ნაკადი. ამასთან, მაგნიტური სისტემის უფრო ეფექტურად გამოყენებისთვის მკვებავი ქსელის სიხშირის შემცირებასთან ერთად აუცილებელია ძაბვის სიდიდის შემცირებაც, წინააღმდეგ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად გაიზრდება დამამაგნიტებელი ნაკადი და შესაბამისად გაიზრდება დანაკარგებიც.

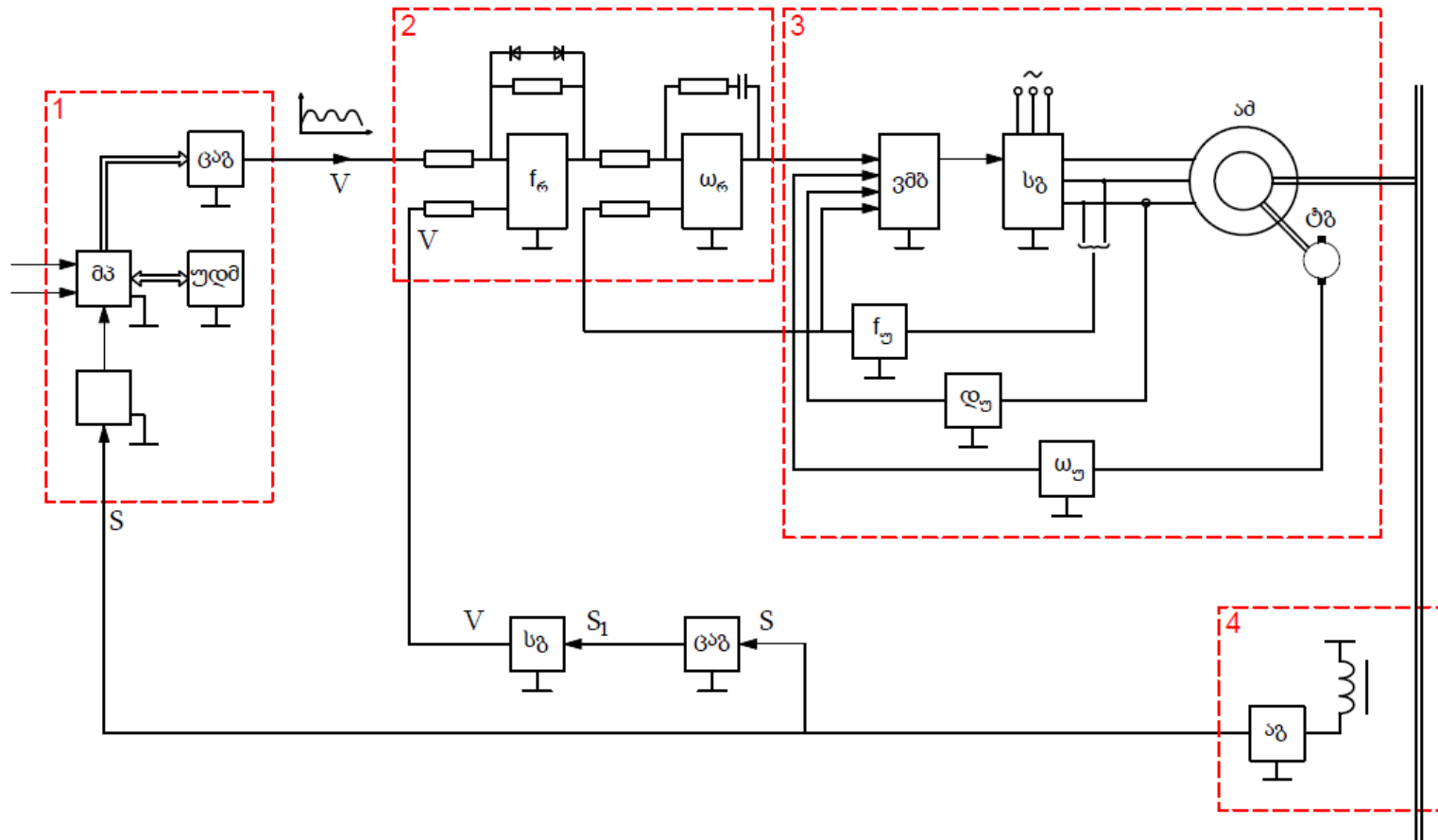
შესაბამისად, მკვებავი ქსელის ძაბვის სიხშირის გაზრდისას აუცილებელია ძაბვის ამპლიტუდის გაზრდაც, რათა შევინარჩუნოთ მაგნიტური ნაკადის მუდმივობა, თუ ეს პირობა არ შესრულდა, იზრდება როტორის დენი, რითაც დამათებით იტვირთება მისი გრაგნილები და მცირდება ძრავას მაქსიმალური მომენტის სიდიდე.

ძაბვის რეგულირების რაციონალური პრინციპი დაფუძნებულია შემდეგ ლოგიკაზე: სტატუკური მომენტის მუდმივობის პირობებში ($M_b = const$) ძაბვა უნდა ვარეგულიროთ მისი სიხშირის პროპორციულად $\frac{U_1}{f_1} = const$. დატვირთვის ვენტილატორული მახასიათებლის დროს სიხშირე-ძაბვა დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე: $\frac{U_1}{f_1^2} = const$, ხოლო როდესაც დატვირთვის მომენტი სიჩქარის არაპროპორციულია ვიღებთ $\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const$ დამოკიდებულებას.

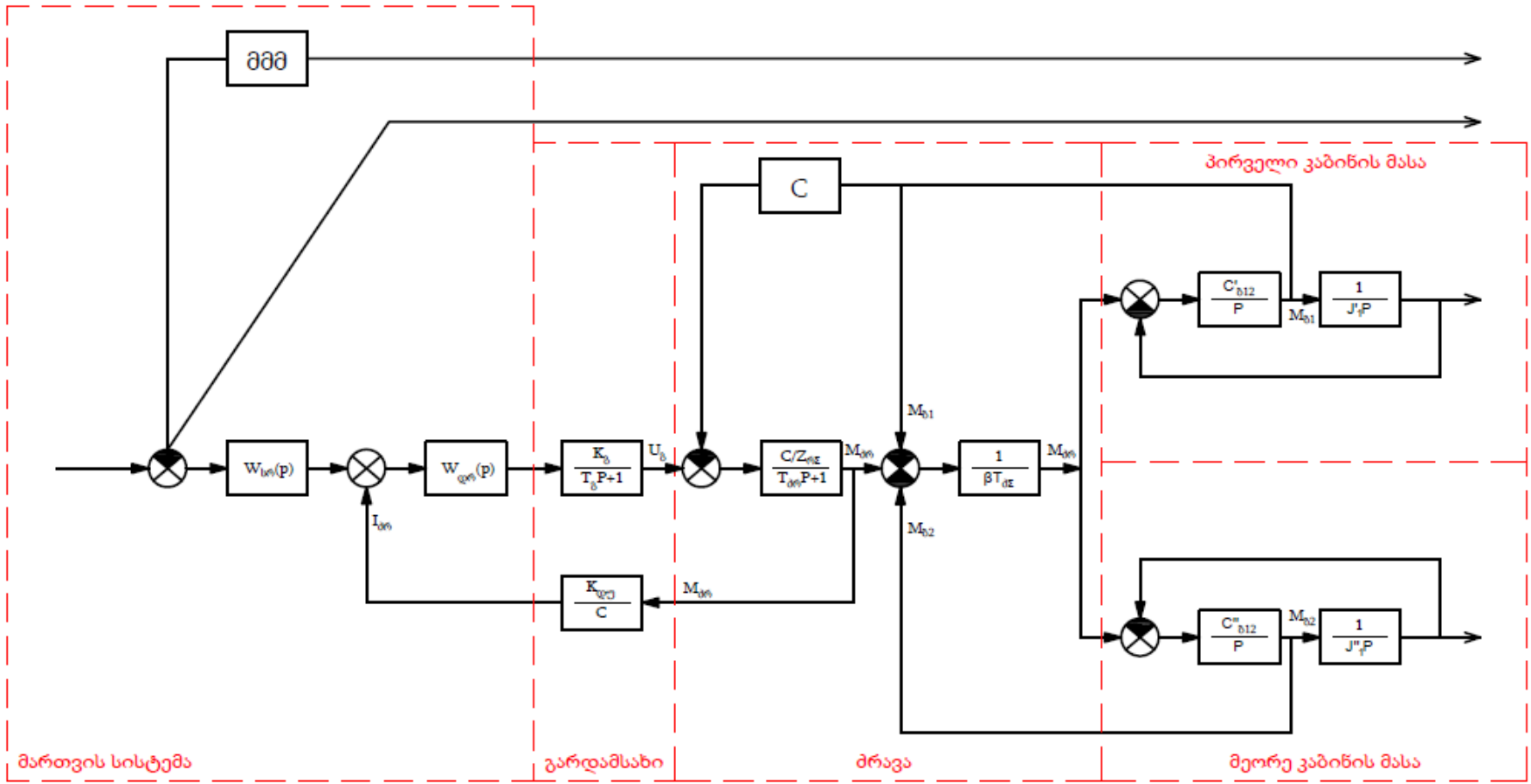
ასინქრონული ძრავას სიჩქარის სიხშირული მართვა საშუალებას იძლევა ბრუნვის კუთხური სიჩქარე ვცვალოთ $20 - 30 \div 1$ დიაპაზონში.

ვექტორული მართვისას ასინქრონული ძრავი შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც მუდმივი დენის ძრავი, რომელშიც ინდივიდუალურად იმართება ძრავას მომენტი და ნაკადი.

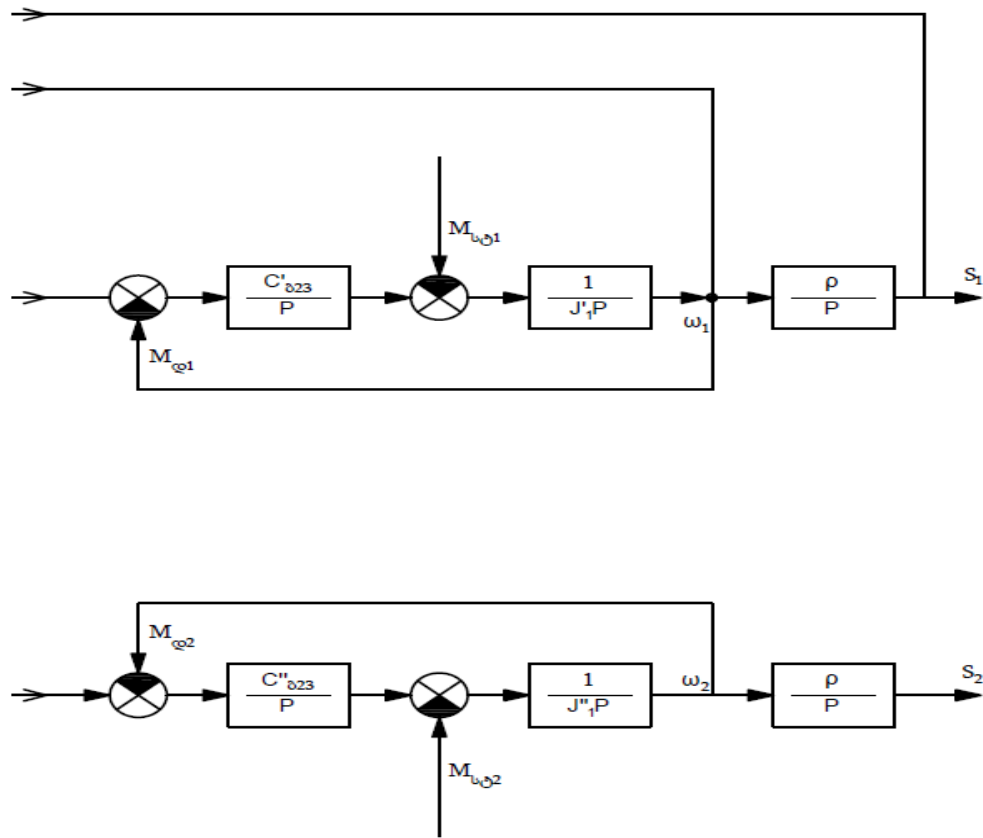
ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შუალედურ საყრდენიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის (შსკვბ) მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამისა, „კაბინის გადაადგილების სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამისა“ და არსებული ელექტროამძრავების ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე შესკვბ-ისათვის შევირჩიე „მოკლედშერთულროტორიანი ასინქრონული ელექტროამძრავი სიხშირული მართვით“. მნიშვნელოვანია, რომ მშრამ-ს მუდმივი დენის ელექტროამძრავებთან შედარებით, მცირე მქნევარა მასის გამო, მაღალი მართვის დინამიკური მახასიათებლები (სწრაფმოქმედება) გააჩნია. ფაქტიურად, ვექტორული მართვის პირობებში მათ, სტატიკურ და დინამიკურ რეჟიმებში, მუდმივი დენის მანქანებზე უკეთესი მართვის მახასიათებლები გააჩნია. ამავდროულად, იგი გამოირჩევა მუშაობის მაღალი საიმედოობით, ენერგოეფექტურობით. მარტივი და მოხერხებულია მათი საექსპლუატაციო მომსახურება.



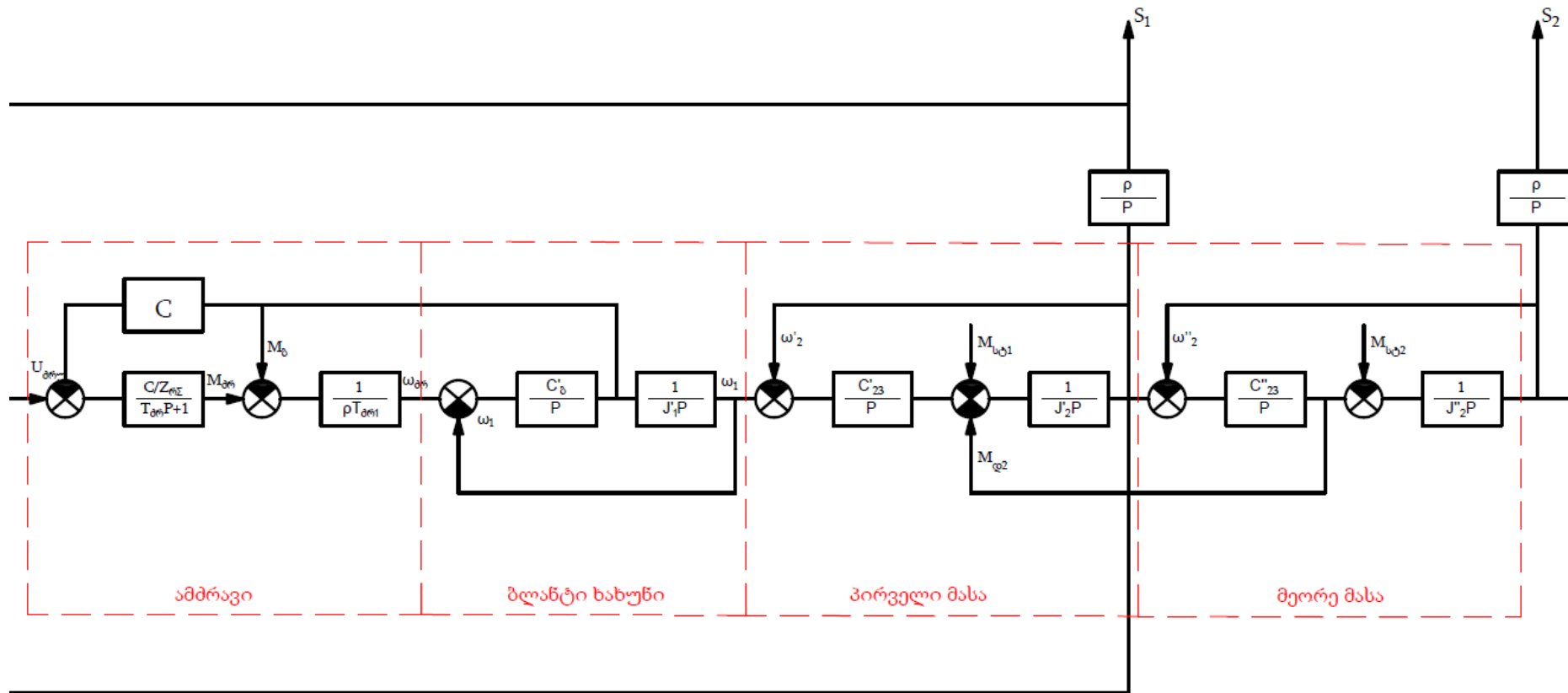
ნახ. 29. შქკბ-ის პოზიციური მართვის ელექტროამბრავის ფუნქციონალური სქემა. 1 -მართვის მიკროპროცესორული მოწყობილობა; 2- ელ.ამბრავის დაქვემდებარებული რეგულირების მართვის სისტემა; 3- ასინოქრონული ელექტროამბრავი ვექტორული მართვით; 4 - ადგილმდებარეობის გადამწოდი



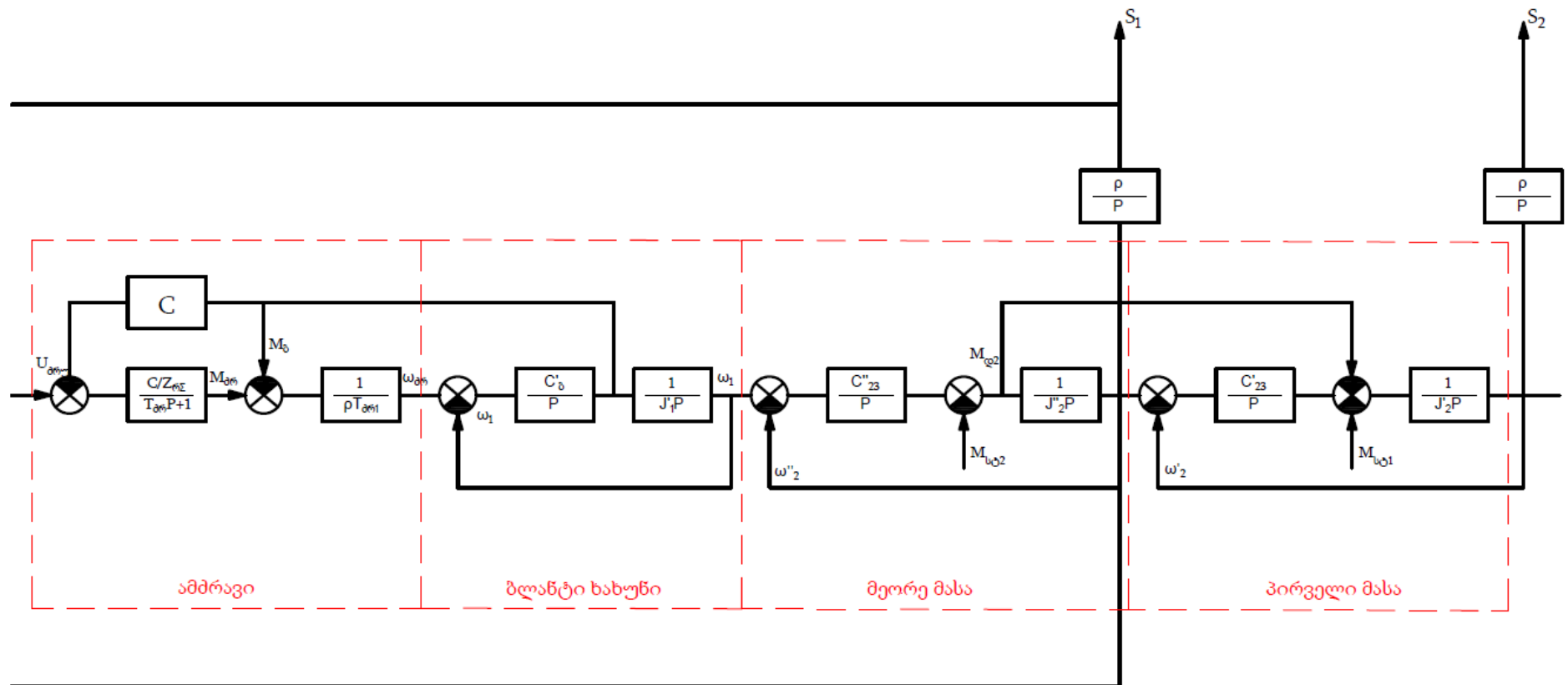
ნახ. 30. შქკბ-ის ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა (პირველი კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე) ნაწილი 1



ნახ. 30. შქკბ-ის ელექტროამბრავის სტრუქტურული სქემა (მეორე კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე) ნაწილი 2



ნახ. 31. შქვბ-ის ელექტროამბრავის სტრუქტურული სქემა (პირველი კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის შემდეგ)



ნახ. 32. შქკბ-ის ელექტროამბრავის სტრუქტურული სქემა (მეორე კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის შემდეგ)

დასკვნები

1. დადენილია, რომ ქვბ-ის ელექტროამძრავის ელექტრო-მექანიკური დინამიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებისა და ვაგონის მოძრაობის მართვის სიზუსტის ამაღლების პრობლემა შეიძლება ეფექტურად გადაწყდეს მართვის სისტემის ოპტიმიზაციის გზით, კინემატიკური სქემის ყველა ელემენტის თავისებურებების გათვალისწინებით შედგენილი ელექტროამძრავის მმსმ-ის საფუძველზე.
2. დადგენილია, რომ ბაგირმზიდ ბორბალსა და წვევის ბაგირს შორის ბლანტი ხახუნის კოეფიციენტი იცვლება წვევის ბაგირის დაჭიმულობის ფუნქციაში. შედეგად, მექანიკურ ნაწილში წარმოიქმნება ფრიქციული ავტორხევები, რაც მნიშვნელოვნად აუარესებს დინამიკურ მაჩვენებლებს და მართვის მახასიათებლებს.
3. გამოკვლევებით მიღებული შედეგების საფუძველზე დამუშავდა შუალედურსაყრდენიან ქვბ-ის ელექტროამძრავის მმსმ, რომელიც ითვალისწინებს ბაგირმზიდ ბორბალსა და წვევის ბაგირს შორის ხახუნის კოეფიციენტის გავლენას.
4. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის პოზიციონირების პრაქტიკული რეალიზაცია შესაძლებელია საიმედო და მაღალი სიზუსტის სენსორების გამოყენებით, რომლებიც უშუალოდ აკონტროლებს ჩამოკიდებული კაბინების ადგილმდებარეობასა და სიჩქარეს;
5. დამტკიცებულია, რომ შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის საანგარიშო მოდელის სტრუქტურა მუშაობის ერთი ციკლის განმავლობაში შუალედურ საყრდენზე გადასვლისას რამდენჯერმე იცვლება. იგი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც სამმასიანი, ორმასიანი გახლეჩილი

წამყვანი მასით და სამმასიანი მასების განსხვავებული თანმიმდევრობით;

6. ჩამოკიდებული კაბინების მოძრაობის ტრაექტორიის გათვალისწინებით დამუშავდა შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის დატვირთვის დიაგრამის გამოთვლის მეთოდიკა;
7. დასაბუთებულია, რომ შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელ.ამძრავების მოძრავ-მექანიკურ ნაწილებში არ არის გათვალისწინებული ბლანტი ხახუნის გავლენა დინამიკურ პროცესებზე;
8. შსქპ-ის კინემატიკური სქემის გამოკვლევების საფუძველზე დასაბუთებულია, რომ შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელ.ამძრავების მოძრავ-მექანიკურ ნაწილებში დინამიკური პროცესების გაუმჯობესებისა და მწარმოებლუნარიანობის გაზრდისთვის აუცილებელია, ბლანტი ხახუნის გავლენის გათვალისწინება;
9. შედგენილია შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელ.ამძრავების მოძრავ-მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს როგორც კინემატიკური სქემის მასებსა და მასათაშორის დრეკად კავშირებს, ასევე ბორბალსა და ბაგირს შორის არსებულ ბლანტი ხახუნის გავლენას;
10. შედგენილი მოძრავ-მექანიკური მოდელის შესაბამისად დავამუშავე შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელ. ამძრავის მაღალი დინამიკური მახასიათებლების მქონე მოძრაობის ტაქოგრამა;
11. დასაბუთებულია, რომ კიდული კაბინების მართვა მოძრაობის ტრაექტორიის ფუნქციაში უნდა განხორციელდეს, სწორედ

ამიტომ ავსებთ მოძრაობის სიჩქარის გადაადგილების მიხედვით
ოპტიმალური დიაგრამა;

12. მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამისა და გადაადგილების
ოპტიმალური დიაგრამის მიხედვით დამუშავდა ელ. ამძრავის
ავტომატური მართვის ფუნქციონალური სქემა.
13. დამუშავდა ელ. ამძრავის ავტომატური მართვის სტრუქტურული
სქემა და ოპერატიულ ფორმაში ჩაწერილი მათემატიკური
აღწერილობა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. М.: Энергия, 1971, 320с.
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М.: Энергия, 1960, 360с.
3. Лебедев Е.Д. Неймарк В.И., Пистрак М.Я., Слежановский О.В. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. М.: Энергия, 1970, 200с.
4. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1979, 616с.
5. Чунашвили Б.М. Анализ существующих систем электропривода маятниковых подвесных канатных дорог / Тезисы докладов XXII. Республиканской научно-технич. конфер. профессорско-препод. Составы ГПИ и работников производства. Тбилиси, 1981, 5-6с.
6. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. Ч. I, II. М.: Высшая школа, 1988.
7. Чунашвили Б.М., Чунашвили М. Б., Чунашвили Л. Б., Канделаки Т.В. Электромагнитная система подвеса вагона подвесных канатных дорог. Патентная грамота на изобретение N167 Груз. Республики. Кл. G01P 3/48// БИ, 1995, N2
8. Flotter W., Ripperger H. Die Transvektor-Regelung fur feldorientierten Betrieb einer Asynchronmaschine. – Siemens-Z., Bd 45. N10. P.761-764.
9. Клепиков В.Б. Особенности динамики электромеханических систем с отрицательным вязким трением // Технічна електродинаміка. – тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». К. 2000. Ч.1 1971, 40–45с.
10. Асмолова Л.В., Полилов Е.В. Синтез релейного регулятора с интегральной связью для устранения срывных фрикционных автоколебаний в электромеханических системах с проскальзыванием // Известия вузов. Электромеханика. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова. 2014, № 2, 63–67с.

11. Барышников В.Д., Шестаков В.М., Шабарова А.В. Автоколебательные режимы работы систем подчиненного регулирования электроприводов/Изв. ВУЗов. Электромеханика. N11, 1973, 34-37с.
12. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г., Тиристорные системы электропривода с упругими связями. М.:Энергия, 1979.
13. Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. М.:Наука. 1977, 320с.
14. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М.:Энергия, 1980, 360с.
15. Tchunashvili B. Kobalia M, Tugushi M. "Optimization of control systems for positional electric drives of pendulum suspended ropeways" in scientific and technical journal "Elektroinform", Lviv:ЕКОinform, 2009, 481-482р.
16. Emadi A. Energy-efficient electric motors. Third edition, Revised and expanded. A series of reference books and textbooks. Department of electrical engineering. The Ohio State University. 2005.
17. Ключев В.И., Яковлев В.И., Теличко Л.Я., Усманов А.М.У., Барцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Динамика автоматизированного электропривода с упругой механической связью. Электричество. N3, 1973, 60-66с.
18. Бушуев В.В., Лизалек Н.Н., Новиков Н.Л. Динамические свойства энергообъединения. М.: Энергоатомиздат, 1995, 320с.
19. Блейз Е.С., Семенов Ю.Н., Якименко Н.М. Динамика электромашиных следящих систем. М.:Энергия, 1967, 354с.
20. Новиков Е.Е., Смирнов В.К. Введение в теорию динамики горнотранспортных машин. Киев: Наукова думка, 1978, 171с.
21. Wenin, M. Windisch, A. Ladurner, S. Bertotti, M.L. Modanese, G. Optimal velocity profile for a cable car passing over a support. Eur. J. Mech. A/Solids 73, 2019, 366–372р.
22. Островский А.С. Электроприводы подъемно-транспортных машин. М.:Энергия, 1967, 184с.

23. Yi, Z. Wang, Z. Zhou, Y. Stanciulescu, I. Modeling and vibratory characteristics of a mass-carrying cable system with multiple pulley supports in span range. Appl. Math. Model. 49, 2017, 59–68p.
24. Татаринов А.П. Нестационарный процесс передачи окружного усилия подъемным канатом/Динамика и прочность машин. Вып.39. Харьков:Высшая школа, 1984, 116-121с.
25. Тейтельбаум И.М., Шлыков Ф.М. Электрическое моделирование динамики электропривода механизмов. М.:Энергия, 1970, 519с.
26. Чунашвили Б.М., Метревели В.Ш., Чунашвили М. Б., Тугуши М.А. Система экспериментального исследования электропривода подвесных канатных дорог. Материалы УШ международ. научно-технич. конференции “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”. Вестник Харьковского государственного политехн. университета. Вып. 113. 2000, 235-236с.
27. Чунашвили Б. Гамрекелашвили Т. Бежанишвили Дж. Гургенадзе Р. Исследование электродинамических процессов электропривода маятниковых подвесных канатных дорог и составление расчетных моделей подвижной механической системы. „ენერგია“, #3(91), 2019, გვ. 64-68.
28. Клепиков В.Б., Полянская И.С. Квазинейрорегулирование двух-массовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением // Электротехника. №3, 2003, 29–33с.
29. Энтин Г .Я. О предельных возможностях канатоведущего шкива с боковым поджатием. ВНИИПТмаш. Вып.2(97). 1970. с. 125-130.
30. Чунашвили Б., Петросян А., Булбулашвили Г., Гургенадзе Р. Исследование особенностей электромеханической части маятниковых подвесных канатных дорог и усовершенствование расчетной модели подвижной механической части электропривода. „ენერგია“, 2020, #4(96), გვ. 51-55.
31. Подвесные канатные дороги.
<https://studfile.net/preview/3569829/page:33/> ბოლოს გადამოწმდა 05.04.2022
32. ჭუნაშვილი ბ. მ., ტულუში მ. ა. ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების მაღალდინამიკურმაჩვენებლიანი ელექტროამძრავი. “ენერგია”, 2000, #4 (16), გვ. 37-42.

33. Чунашвили Б.М., Кобалия М.И., Петросян А.М., Церетели К.О. Результаты исследований динамических процессов системы управления асинхронного частотного электропривода маятниковых подвесных канатных дорог с промежуточными опорами. Электротехнические и электросберегающие системы. – Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», №3/2012(19), Кременчук 2012, 452-453с.
34. Клепиков В. Б. Динамика электромеханических систем с нелинейным трением: монография / В. Б. Клепиков. – Х. : Изд-во «Підручник НТУ «ХПІ». 2014. 408с.
35. გურგენაძე რ. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამბრავის მაღალი დინამიკური მახასიათებლების მქონე მოძრაობის ტაქოგრამის დამუშავება. „ენერჯია“, #1(101), 2022, გვ. 57-62.
36. Чунашвили Б. Петросян А, Булбулашвили Г. Гургенадзе Р. Исследование особенностей электромеханической части маятниковых подвесных канатных дорог и усовершенствование расчетной модели подвижной механической части электропривода. „ენერჯია“, #4(96), 2020, გვ. 51-55.
37. Tchunashvili B., Kobalia M., Pertosyan A., Bulbulashvili G., Gurgenadze R. Optimization of the Positional Control System for Electrical Drives of Non-Supported Pendulum Suspended Ropeways. IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) 2021.
38. Маскаленко В.В. Электрический привод: учебник для студентов. М.: Издательский центр “Академия”, 2014, 368с.
39. Лаошвили Д.П., Чунашвили Б.М., Чунашвили М.Б. Оптимизация электродинамических процессов системы “Электропривод подвесных дорог - линия-гидроэлектростанция”. Электроснабжение, электроснабжение и электроремонт. Тезисы докл. Под. общ. ред. Б.И. Кудрина, Жилина Б.В. РХТУ им Д.И. Менделеева, Новомосковский ин-т. Новомосковск, 2000, 67-69с.
40. Лаошвили Д.П., Чунашвили Б.М., Чунашвили М.Б., Тугуши М.А. Системы автоматического управления асинхронным электроприводом маятниковых подвесных канатных дорог. Труды III международной научно-технической конференции по

автоматизированному электроприводу “АЭП-2001”. Под ред. С.Ф. Хватова. Нижний новгород: Вектор –Тис, 2001, 158-159с.

41. Кноплер Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. Пер. англ. под ред. В.И. Самсоновой. М.: Мир, 1972, 392с.
42. Коновалов В.С. Новые виды транспорта: области эффективного применения. М.: Промышленный транспорт. N2, 1980, 5-7с.