

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

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

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

თბილისი

2022

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტრომომხმარებლის ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ბ. ჭუნაშვილი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

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 აქვს სატრანსპორტო მექანიზმებს (ასმ) უჭირავს, რომელთა შორისაა სატვირთო და სამგზავრო ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზები (ქკბ). მნიშვნელოვანია, რომ, კინემატიკური სქემისა და მოძრაონის არასწორხაზოვანი ტრაექტორიის 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). მაშასადამე, ქკბ გაზრიდილი უსაფრთხოების სატრანსპორტო დანადგარს წარმოადგენს. შესამამისად, მათ და განსაკუთრებით სამგზავრო საბაგრო მაღალი მოთხოვნები წაეყენებათ.

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

ელექტროამძრავებს, მუშაობის ერთი ციკლის განმავლობაში, მუშაობა უწყვეტ, როგორც ძრავულ, ასევე გენერატორულ რეჟიმში. ამავდროულად, ქვბ-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 ქვბ-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 წვევის ბაგირს შორის არსებული ბლანტი ხახუნის გათვალისწინებით, ელექტროამძრავის მოძრავმექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის სრულყოფა და ელექტროამძრავის მაღალი დინამიკური მაჩვენებლების მქონე პოზიციური მართვის სისტემის დამუშავება.

ძირითადი ამოცანები:

სადისერტაციო ნაშრომის მიზნის მისაღწევად დაისახა შემდეგი ამოცანები:

1. გამოკვლევულ იქნეს შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების (შქკბ) ელექტროამძრავების კინემატიკური სქემის ელემენტების დინამიკური თავისებურებები და დადგინდეს მათი ელექტრომექანიკურ სისტემაში წარმოქმნილ დინამიკურ პროცესებზე გავლენა;
2. დამუშავდეს შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის სრულყოფილი საანგარიშო მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება კინემატიკური სქემის ძირითად მასებს შორის არსებული დრეკადი კავშირების კიდული კაბინის გადაადგილების ფუნქციაში ცვლილებით და ამძრავ ბორბალსა და წვეის ბაგირს შორის არსებული ბლანტი ხახუნით განპირობებული დინამიკურ პროცესები;
3. ელექტროამძრავის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის სრულყოფილი საანგარიშო მოდელის საფუძველზე დამუშავებულ იქნეს შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრაობის დინამიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური ტაქოგრამა, რომელიც უზრუნველყოფს კაბინის გადაადგილების სიჩქარის, მექანიზმის მწარმოებლურობისა და ელექტროამძრავის პოზიციონირების სიზუსტის გაზრდას;
4. ელექტროამძრავის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის საფუძველზე, დამუშავდეს კაბინის გადაადგილების ტრანექტორიის ფუნქციაში ცვალებადი სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამა;
5. მოკლედშერთული როტორიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის სიხშირული მართვის სისტემის საფუძველზე, დამუშავდეს მაღალი დინამიკური მაჩვენებლების მქონე შქკბ-ის ელექტროამძრავის პოზიციური მართვის სისტემა.

კვლევის მეთოდები:

შუალედურსაყრდენიანი ქანქარასების 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 წვეის ბაგირით განპირობებული მასათა შორის, მოძრაობის ფუნქციაში ცვლადი დრეკადი კავშირებს, ასევე ამძრავ ბორბალსა და წვეის ბაგირს შორის ფრიქციული გადაცემის ბლანტ ხახუნს;
2. შქკბ-ის ელექტროამძრავის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა და კაბინის გადაადგილების სიჩქარის გზის ფუნქციაში ცვილების ოპტიმალური დიაგრამა შედგენილია ელექტროამძრავის ბიძგის პირველი რიგის წარმოებულის შეზღუდვის გათვალისწინებით;
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 ღირებულებანი:

შქკბ-ის მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონილი ელექტროამძრავის სიხშირული მართვით შაფუძველზე დამუშავებული პოზიციური მართვის სისტემის პრაქტიკული რეალიზაცია

უზრუნველყოფს: ელექტროაძრავის მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მექანიკური დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაციას, კაბინის მოძრაობის საშუალო სიჩქარის გაზრდას, საბაგირო გზის მწარმოებლურობის ამაღლებას, ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესებას და ენეროეფექტურობის ამაღლებას.

ნაშრომში დამუშავებული ელექტროაძრავის 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 საფუძვალზე დამუშავებული ელექტროაძრავის მართვის პოზიციური მართვის სისტემის სისტემის გამოყენება შესაძლებელია, როგორც ახალი შქვბ-ის ელექტროაძრავების მართვის სისტემების დაპროექტებისას, ასევე მოქმედის საბაგირო გრების მოდერნიზაციისას;

შქვბ-ის ელექტროაძრავის 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.

ნაშრომის აპრობაცია:

სადისერტაციო ნაშრომის ცალკეული შედეგები მოხსენებულ იქნა:

1. I საერთაშორისო კონფერენზიაზე - „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების სექციაზე 08.10.2019წ;
2. სტუ-ს ენერგეტიკისა და ტექნოლოგიების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს თავმჯდომარის ბრძანებით შექმნილი „ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი 1-ის კომისიის სხდომაზე 24.02.2021 წ.;
3. სტუ-ს ენერგეტიკისა და ტექნოლოგიების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს თავმჯდომარის ბრძანებით შექმნილი „ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის თეორიული/ექსპერიმენტული კვლევა/კოლოქვიუმი 3-ის კომისიის სხდომაზე 26.02.2022 წ.;
4. 2022 წლის 25 ივნისს ჩატარებული სტუ-ს „ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების“ დეპარტამენტის სადისერტაციო ნაშრომის წინასწარი დაცვისათვის მიძღვნილ №15 გაფართოებულ სხდომაზე.

სადისერტაციო ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა:

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნების, გამოყენებული ლიტერატურისა და დანართებისგან. იგი მოიცავს 101 კომპიუტერზე აკრეფილ გვერდს, 3 ცხრილსა და 32 ნახაზს.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში განხილულია თანამედროვე ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები. როგორც პრაქტიკული გამოყენების, ასევე სამეცნიერო კვლევის თვალსაზრისით ამწე სატრანსპორტო მექანიზმებს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავთ, მათ შორის არის სატვირთო და სამგზავრო ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზები (ქკბ). ნათქვამია, რომ ქკბ-ის ელექტრომექანიკურ ნაწილში კინემატიკური სქემისა და მოძრაობის არასწორხაზოვანი ტრექტორიის შედეგად მიმდინარე დინამიკური პროცესები განსაკუთრებული სირთულით გამოირჩევიან. ამის შედეგია ის, რომ საკმაოდ დაბალია ქკბ-ის ელექტროამძრავების ენერგეტიკული მაჩვენებლები და მისი ენერგოეფექტურობაც.

შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის ელექტროამძრავის ოპტიმალური მართვის სისტემის დამუშავება, როგორც პრაქტიკული, ასევე სამეცნიერო თვალსაზრისით საკმაოდ მნიშვნელოვანია, სწორედ ამიტომ ნაშრომის შესავალში დაისახა მიზანი, რომ გამოკვლევულ იქნეს ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების კინემატიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესები, დამუშავდეს ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკური ნაწილის ისეთი საანგარიშო მოდელი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ამძრავ ბორბალსა და წვეის ბაგირს შორის არსებული ბლანტი ხახუნის გავლენა მექანიზმის ელექტროდინამიკურ მახასიათებლებზე, ზემოთ თქმულის გათვალისწინებით დამუშავდეს მაღალი დინამიკური მაჩვენებლების მქონე პოზიციური მართვის სისტემა.

ნაშრომის პირველ თავში განხილულია შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების მექანიკური ნაწილის თავისებურებები. წარმოდგენილია, ტიპური შუალედურსაყრდენიანი ქკბ-ის კონსტრუქციული და კინემატიკური მახასიათებლები:

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 ქკბ-ის მოძრავ მექანიკური სისტემა განსაკუთრებულად რთული და სტრუქტურულად ცვალებადი ობიექტია. ქკბ-ი ტრასის საწყისი და საბოლოო მონაკვეთების დახრის კუთხის მიხედვით დაყოფილია სამ ჯგუფად:

1. პირვე ჯგუფს მიეკუთვნება ისეთი პროფილის ქკბ, 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 ქკბ, ასევე შუალედურსაყრდენიანი.
2. მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ბაგირგზები, 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 შუალედურსაყრდენებიან ქვბ-ებს.

3. მესამე ჯგუფში შედის ისეთი პროფილის ქვბ, რომლის მოძრაობის ტრასები ორივე სადგურიდან ქვემოთ ეშვება. ასეთი ტრასების დახრის კუთხე ერთი სადგურის მიმართ დადებითა, მეორეს მიმართ - უარყოფითი. ასეთი პროფილები ახასიათებს ქვბ-ს შუალედური საყრდენებით და მათ გარეშე, სადგურებს შორის დონეთა ნულოვანი სხვაობით პირობებში.

დადგინდა, რომ დღეისათვის საერთაშორისო ლიტერატურაში შუალედურსაყრდენიან ქვბ-ის ელექტროამძრავების მექანიკურ ნაწილში მიმდინარე დინამიკური პროცესების კვლევისათვის შედგენილ ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელებში გათვალისწინებულია მხოლოდ კინემატიკური სქემის მასები და მასათა შორის წევის ბაგირით განპირობებული მოქნილი (დრეკადი) კავშირები. კვლევები საფუძველზე დადგინდა, რომ ქვბ-ის ელექტროამძრავების მოძრავ მექანიკური ნაწილის აქამდე არსებულ საანგარიშო მოდელებს გააჩნიათ მთელი რიგი ნაკლოვანებები, რომლებიც აუარესებენ ელექტროამძრავის ელექტროდინამიკურ მაჩვენებლებს, ესენია:

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 ქვბ-ის ელექტროამძრავის მმნსმ-ის შედგენისას არაა გათვალისწინებული წვევის ბაგირის პასიური ნაწილის დრეკადობის შედეგად წარმოქმნილი დინამიკური ძალების გავლენა;
5. არაა გათვალისწინებული კაბინის გადაადგილებით გამოწვეული დრეკადი კავშირების პარამეტრების ცვლილება მმნსმ-ის პარამეტრებზე;
6. შუალედურ საყრდენიანი ქვბ-ის მმნსმ-ის შედგენისას არაა გათვალისწინებული წვევის ბაგირის პასიური დრეკადობის შედეგად წარმოქმნილი დინამიკური ძალების გავლენა.

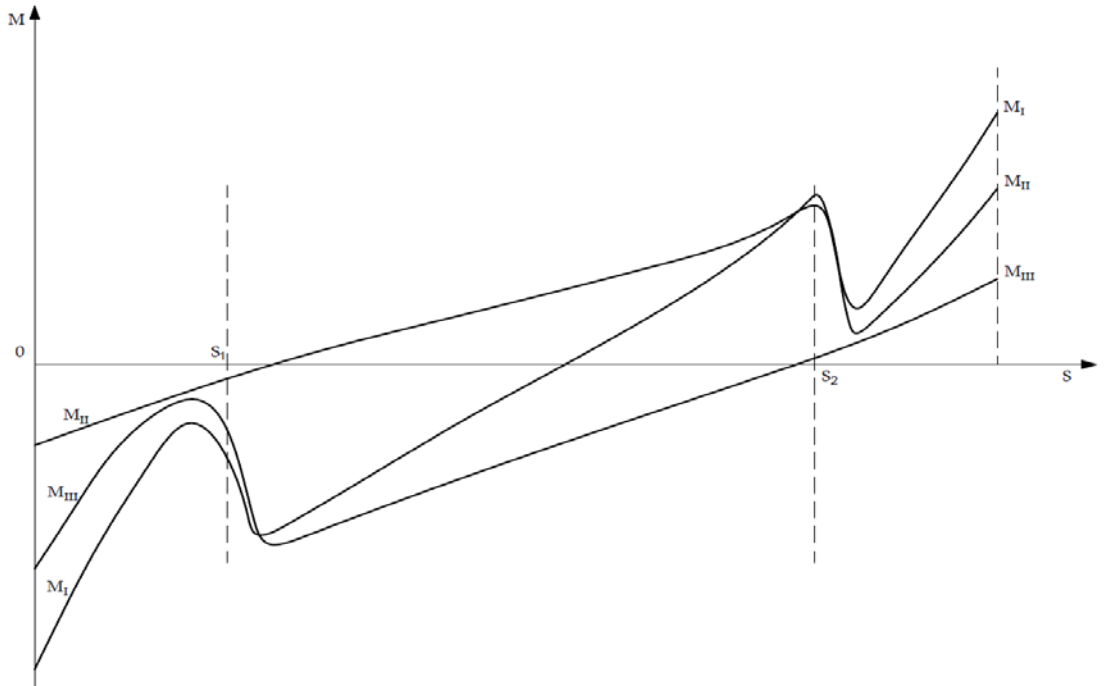
ნაშრომის პირველ თავში დამუშავდა ქვბ-ის ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკური ნაწილის ოპტიმალური საანგარიშო მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს ყველა იმ ნაკლოვანებას, რომელზედაც ზემოთ ვისაუბრეთ.

ნაშრომის მეორე თავში დამუშავდა შუალედურსაყრდენიანი ქვბ-ის დატვირთვის დიაგრამა, მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმისთვის. დატვირთვის დიაგრამის აგებისთვის მთავარ ამოცანას წარმოადგენს კაბინების მოძრაობის ტრაექტორიის ზუსტად განსაზღვრა. მათემატიკური ფორმულების საშუალებით განისაზღვრა ელექტროამძრავის დატვირთვის მომენტები, როგორც ერთი კიდული კაბინისთვის, ისე მეორესათვის და აიგო შესაბამისი დატვირთვის დიაგრამები (ნახ. 1-4).

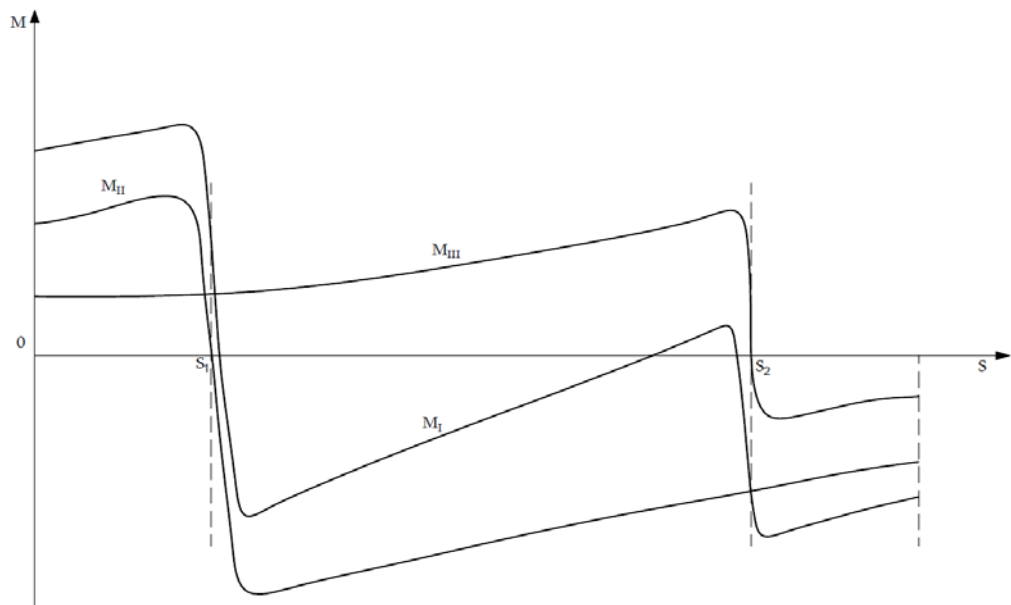
შქვბ-ის ელექტროამძრავის ენერგოეფექტურობის ამაღლების ძირითად ამოცანას, მოძრავ-მექანიკურ ნაწილში, მიმდინარე დინამიკური პროცესების შესწავლა და მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამის დამუშავება წარმოადგენს.

პირველ თავში დამუშავებული ელექტროამძრავის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელის მიხედვით შევადგინეთ დინამიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური ტაქოგრამა, რომელსაც წაეყენება ორი ძირითადი მოთხოვნა, კერძოდ: არ წარმოქმნას მექანიკური რხევები

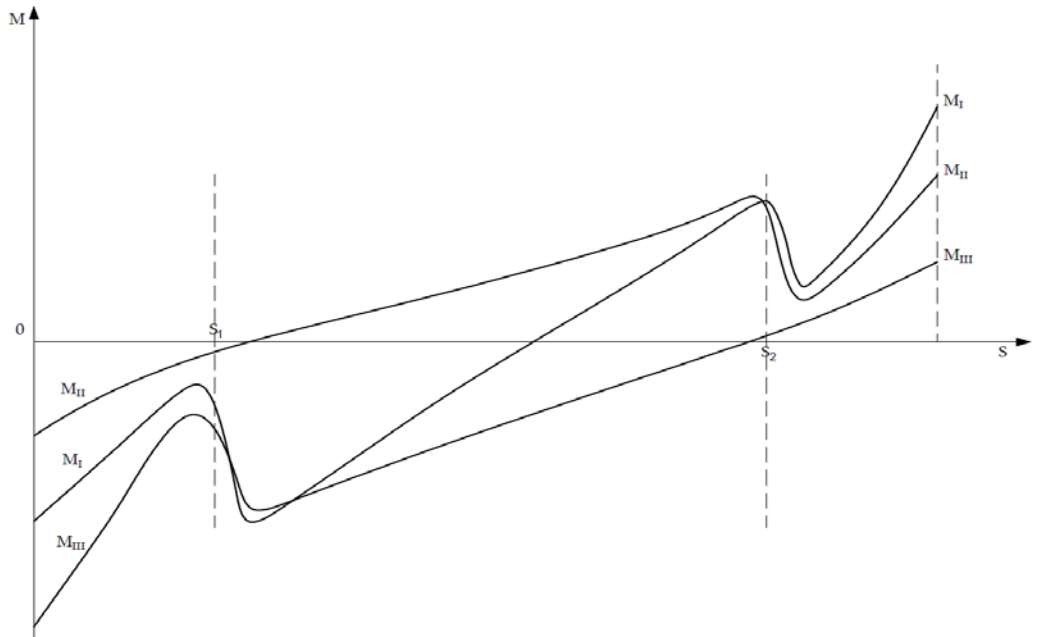
მექანიკურ ნაწილში და ელექტრომექანიკური რხევები მთლიანად სისტემაში და გაიზარდოს კიდული კაბინების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე.



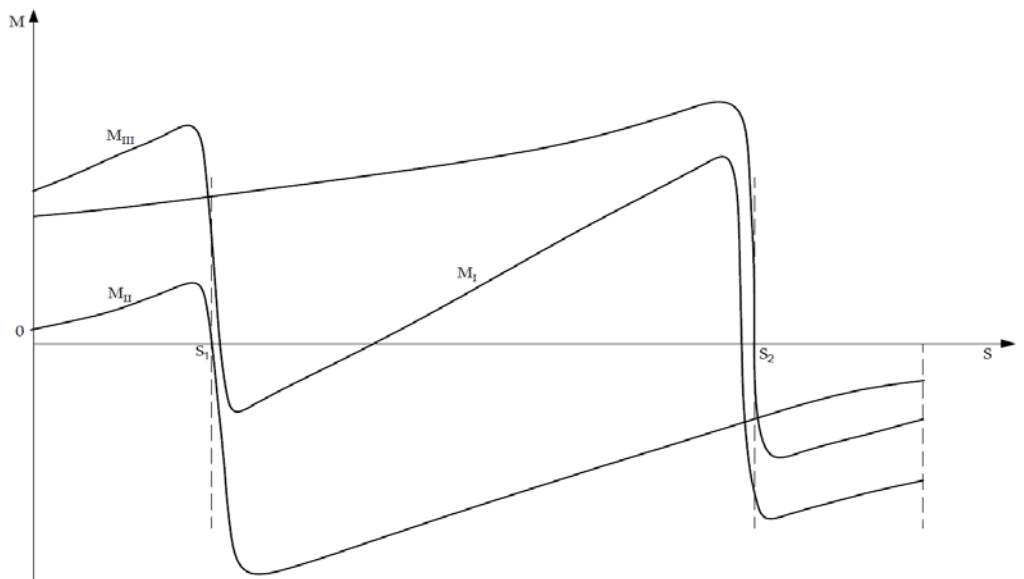
ნახ. 1. დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ზაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 1



ნახ. 2. დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ზაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 1



ნახ. 3. დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 2-ზე მდებარე კაბინა 2



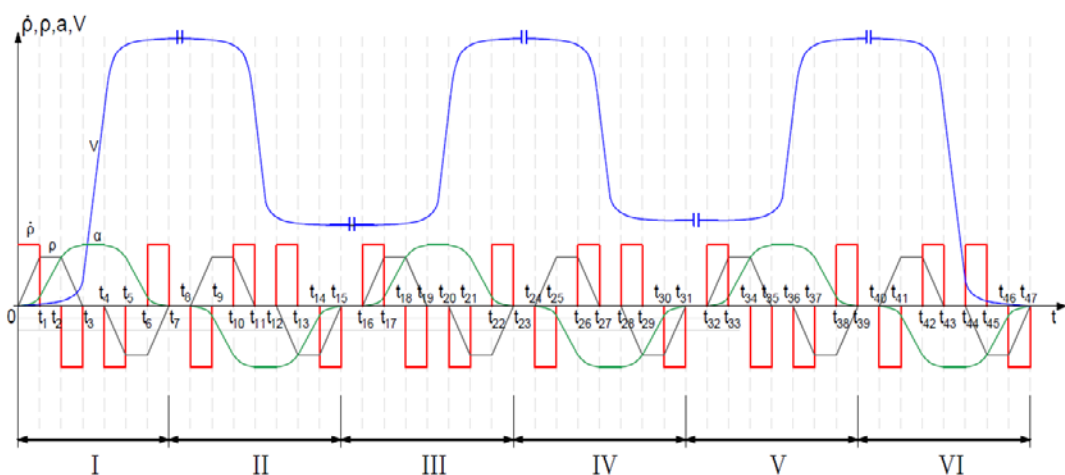
ნახ. 4. დატვირთვის დიაგრამა, როდესაც დატვირთულია მზიდ ბაგირ 1-ზე მდებარე კაბინა 2

დამუშავებული მოძრავ-მექანიკური ნაწილის სრულყოფილი საანგარიშო მოდელის საფუძველზე, ნაშრომის მეორე თავში დამუშავდა შუალედურსაყრდენიანი ქვბ-ის პოზიციური ელექტროამბრავის მოძრაობის

ოპტიმალური ტაქოგრამა. ქვემოთ მოცემულია შემოთავაზებული შუალედურსაყრდენიანი კვბ-ის მოძრაობის ტაქოგრამა და შესაბამისი მათემატიკური აღწერილობა.

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

1. ელექტროამძრავის გაქანება (დამკვრა) უძრავი მდგომარეობიდან მოძრაობის მაქსიმალურ სიჩქარეებმდე (უბანი 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. 5. შკვბ-ის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა

ქვემოთ მოცემულია ოპტიმალური ტაქოგრამისა და მისი პარამეტრების მათემატიკური აღწერა I უბნისთვის (ტაქოგრამის სხვა უბრანები ჩაიწერება ანალოგიურად):

უბანი 1

ბიძგის I რიგის წარმოებული:

$$\rho_{\theta} = \begin{cases} \rho_{\theta} & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ 0 & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ -\rho_{\theta} & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ 0 & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4; \\ -\rho_{\theta} & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ 0 & \text{როცა } t_5 \leq t \leq t_6; \\ \rho_{\theta} & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7. \end{cases} \quad (1)$$

ბიძგი:

$$\rho = \begin{cases} \rho_{\theta} & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ 0 & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4; \\ -\rho_{\theta} & \text{როცა } t_5 \leq t \leq t_6; \\ 0 & \text{როცა } t_7 \leq t \leq t_8. \end{cases} \quad (2)$$

სადაც ρ_{θ} - მაქსიმალურად დასაშვები აჩქარებაა

აჩქარება:

$$a = \begin{cases} \rho_{\theta} \cdot t & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ a_{\theta} = \rho_{\theta} \cdot t_2 & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ a_{\theta} = \rho_{\theta}(t - t_4) & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ 0 & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7. \end{cases} \quad (3)$$

კიდული კაბინის გადაადგილების ხაზური სიჩქარე:

$$V = \begin{cases} \frac{\rho_{\partial} \cdot t}{2} & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ v_{t_2} = a_{\partial}(t - t_2) & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ v_{t_4} = a_{\partial}(t - t_4) - \frac{\rho_{\partial}(t - t_4)^2}{2} & \text{როცა } t_4 \leq t \leq t_5; \\ v_{t_6} = v_{\partial} = v_{t_6} + v_{\partial} + (t_7 - t_6) - \frac{\rho_{\partial}(t_7 - t_6)^2}{2} & \text{როცა } t_6 \leq t \leq t_7; \end{cases} \quad (4)$$

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

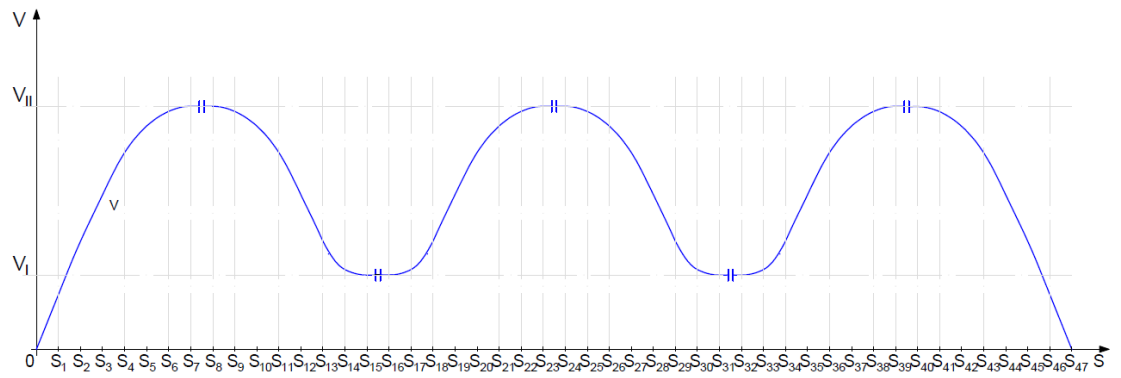
განვლილი მანძილი:

$$S = \begin{cases} \frac{\rho_{\partial} \cdot t^3}{6} & \text{როცა } 0 \leq t \leq t_1; \\ S_{t_1} + v_{t_1}(t - t_1) + \frac{a_{\partial}(t - t_1)^2}{2} & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ S_{t_2} + v_{t_2}(t - t_2) + \frac{a_{\partial}(t - t_2)^2}{2} - \frac{\rho_{\partial}(t - t_2)^3}{6} & \text{როცა } t_2 \leq t \leq t_3; \\ S_{t_3} + v_{t_3}(t - t_3) & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4. \end{cases} \quad (5)$$

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

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

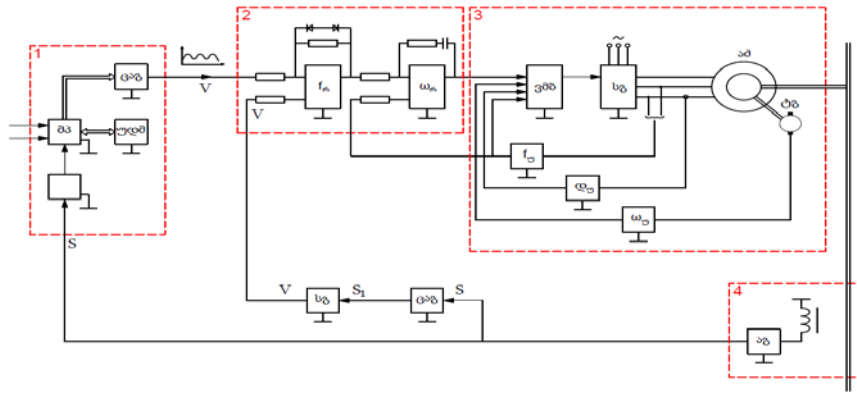
მიღებული ოპტიმალური ტაქოგრამის მიხედვით დამუშავდა შქკბ-ის კაბინის სიჩქარის გადაადგილების ფუნქციაში ცვლადი ოპტიმალური დიაგრამა:



ნახ. 5. შქკბ-ის მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამა

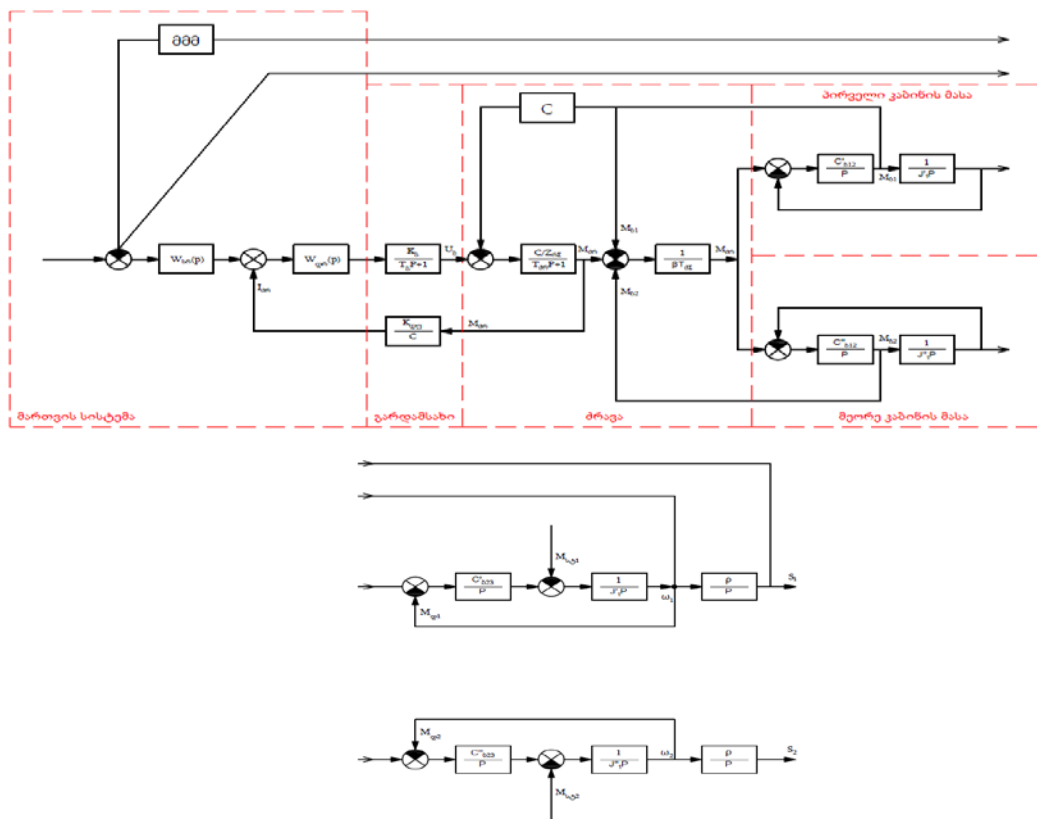
ნაშრომის მესამე თავში საუბარია შუალედურსაყრდენიანი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავისა და მისი მართვის სისტემის შერჩევაზე. შუალედურ საყრდენიანი ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის (შსქკბ) მოძრაობის ოპტიმალური ტაქოგრამისა, კაბინის გადაადგილების სიჩქარის ოპტიმალური დიაგრამისა და არსებული ელექტროამძრავების ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე შესკბ-ისათვის შეირჩა მოკლედშერთულროტორიანი ასინქრონული ელექტროამძრავი ვექტორული მართვით. მნიშვნელოვანია, რომ მოკლედშეთულ როტორიან ასინქრონულ ძრავებს მუდმივი დენის ელექტროამძრავებთან შედარებით, მცირე მქნევარა მასის გამო, მაღალი მართვის დინამიკური მახასიათებლები (სწრაფმოქმედება) გააჩნია. ვექტორული მართვის პირობებში მათ, სტატიკურ და დინამიკურ რეჟიმებში, მუდმივი დენის მანქანებზე უკეთესი მართვის მახასიათებლები აქვს. ამავდროულად, იგი გამოირჩევა მუშაობის მაღალი საიმედოობით, ენერგოეფექტურობით, მარტივი და მოხერხებულია მათი საექსპლუატაციო მომსახურება.

შერჩეული ელექტროამძრავისა და მექანიზმის მართვისადმი წაყენებული მოთხოვნების საფუძველზე შედგენილია ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების პოზიციური ელექტროამძრავების მართვის ფუნქციონალური სქემა (ნახ. 6.)

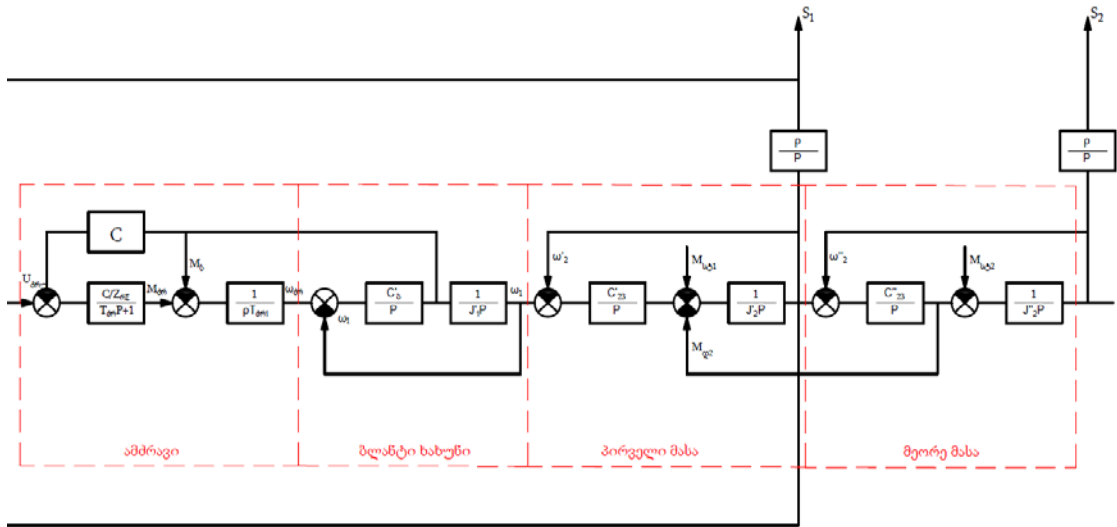


ნახ. 6. შუალედურსაყრდენიან ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების პოზიციური ელექტროამძრავების მართვის ფუნქციონალური სქემა

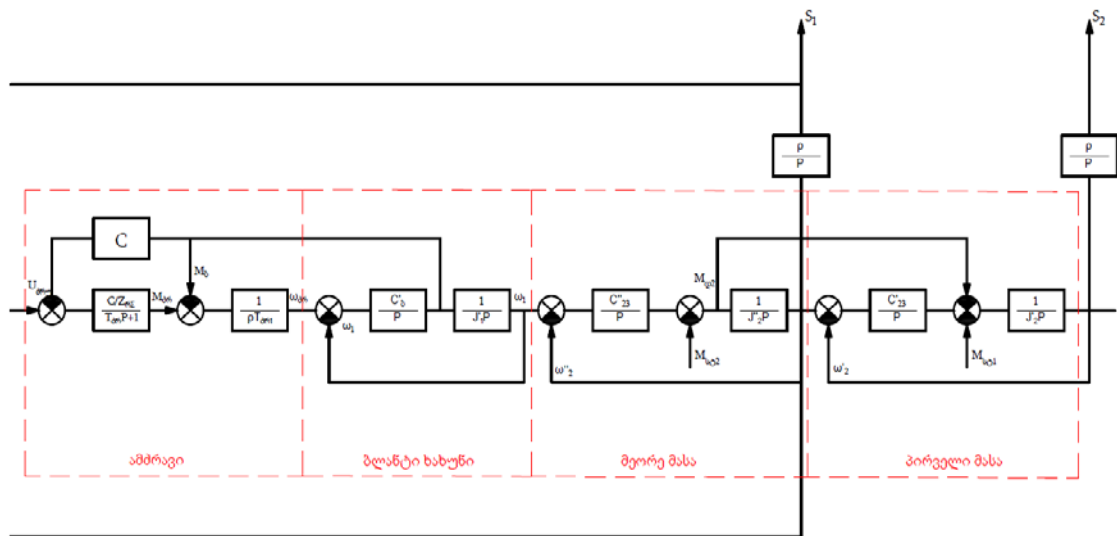
შერჩეული ელექტროამძრავისა და მექანიზმის მართვისადმი წაყენებული მოთხოვნების საფუძველზე შედგენილია ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზების პოზიციური ელექტროამძრავების მართვის სტრუქტურული სქემები:



ნახ. 7. შქვბ-ის სტრუქტურული სქემა (პირველი კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლამდე)



ნახ. 8. შქვბ-ის სტრუქტურული სქემა (პირველი კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის შემდეგ)



ნახ. 9. შქვბ-ის სტრუქტურული სქემა (მეორე კაბინის შუალედურ საყრდენზე გადასვლის შემდეგ)

დასკვნები

1. დადენილია, რომ ეკვ-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 ეკვ-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. შსკვბ-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

ავაგეთ 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.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები

1. გურგენაძე რ. შუალედურსაყრდენიანი ქანქარისებრი კიდული ბაგირგზების ელექტროამძრავის მაღალი დინამიკური მახასიათებლების მქონე მოძრაობის ტაქოგრამის დამუშავება. „ენერჯია“, #1(101), 2022, გვ. 57-62.
2. Tchunashvili B., Kobalia M., Pertosyan A., Bulbulashvili G., Gurgенadze 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.
3. 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.
4. Чунашвили Б. Гамрекелашвили Т. Бежанишвили Дж. Гургенадзе Р. Исследование электродинамических процессов электропривода маятниковых подвесных канатных дорог и составление расчетных моделей подвижной механической системы. „ენერჯია“, #3(91), 2019, გვ. 64-68.

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.