

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის
რ. ღვალის სახ. მანძანათა მექანიკის ინსტიტუტი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რ. აღამია, ჯ. ღოჭვირი

მრავალკრავიანი ავტომატიზებული
ელექტროამკრავების დინამიკა

თბილისი
„მეცნიერება“
2004

განხილულია მძლავრი ტექნოლოგიური მანქანების მრავალძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავების მართვის სისტემები, მათი დინამიკის მათემატიკური მოდელები დრეკადი მექანიკური კავშირების გათვალისწინებით, სწრაფქმედი გარდამავალი პროცესების ოპტიმიზაციის მეთოდები და ელექტროამძრავებს შორის დატვირთვების რაციონალური განაწილების საკითხები.

წიგნი დიდ სარგებლობას მოუტანს ყველა იმ მეცნიერსა და ინჟინერს, რომლებიც დაინტერესებული არიან ავტომატიზებული ელექტრომექანიკური ამძრავების თანამედროვე მართვის სისტემების შექმნით და შესწავლით მძლავრი ტექნოლოგიური მანქანებისა და მექანიზმებისათვის. წიგნი აგრეთვე დახმარებას გაუწევს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის, ავტომატიკისა და მექანიკა-მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტების სტუდენტებსა და ასპირანტებს.

В книге рассмотрены системы управления многодвигательными тиристорными электроприводами мощных технологических машин, математические модели их динамики с учетом упругостей механических передач, методы оптимизации быстродействующих переходных процессов и вопросы рационального распределения нагрузок между электродвигателями.

Книга полезна для всех ученых и инженеров, которые заинтересованы созданием и изучением современных систем управления автоматизированных электроприводов. Книга также полезна для студентов и аспирантов факультетов энергетики, автоматик и механико-машиностроительного технических университетов.

რედაქტორი: ტ.მ.დ., პროფ. თ. მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: 1. ტ.მ.დ., პროფ. თ. ნამინეიშვილი
2. ტ.მ.დ., პროფ. ვ. ზვიადაური

შინაარსი

წინასიტყვაობა	5
შესავალი	6
თავი I. თანამედროვე ავტომატიზებული	
ელექტროამძრავების მართვის სისტემები	10
§ 1.1. ინდივიდუალური და მრავალძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავები	10
§ 1.2. სუპერკალანდრის, გრძივად-დამჭრელი ჩარხის და გოფროაგრეგატის ელექტროამძრავები	16
§ 1.3. საგლინი დგანების ავტომატიზებული ელექტროამძრავები	20
§ 1.4. ავტომატიზებული ელექტროამძრავების რეგულატორები, ფილტრები და გამსომ-გადამწოდი მოწყობილობები	26
თავი II მრავალძრავიანი ღრეკაპკავშირებიანი	
ელექტროამძრავების დინამიკის მათემატიკური მოდელები	29
§ 2.1. ელექტროამძრავების მექანიკური სისტემების მოძრაობის განტოლებები	29
§ 2.2. ელექტროამძრავების ელექტრული წონასწორობის განტოლებები სხვადასხვა მართვის სისტემისათვის	34
§ 2.3. მრავალძრავიანი ავტომატიზებული ტირისტორული ელექტროამძრავების მათემატიკური მოდელები	38
§ 2.4. მრავალძრავიანი ამძრავების სტრუქტურული სქემების ეკვივალენტობა გრაფების და მატრიცული გარდაქმნების მეთოდებით	45
§ 2.5. მექანიკური და ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკური დატვირთვების მინიმიზაციისა და რაციონალური სტრუქტურული სქემების გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდები	57
თავი III აღზნებით რეგულირებადი ელექტრო-ამძრავების მართვის სისტემების ბაზოკვლევა მდგომარეობის სივრცის მეთოდებით	68

§3.1. აღვზნებით რეგულირებადი ხისტი ელექტროამპრავის...68	68
სისტემა მოდალური მართვით	68
§3.2. აღვზნებით რეგულირებადი დრეკადი	
ელექტროამპრავის სისტემა მოდალური მართვით.....	71
თავი IV. ავტომატიზებული ელექტროამპრავების	
გამოკვლევა სიხშირული მახასიათებლების მეთოდებით.....	78
§ 4.1. ტირისტორული ელექტროამპრავების მართვის	
სისტემების კონტურების ოპტიმიზაცია	78
§ 4.2. ავტორხევითი პროცესები არაწრფივ ელემენტებიან	
ელექტროამპრავებში	85
§ 4.3. აღვზნებით რეგულირებადი ელექტროამპრავის	
ერთკონტურიანი მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია.....	89
თავი V ავტომატიზებული ელექტროამპრავების დინამიკის	
გამოკვლევა კომპიუტერზე და რეალურ დანადგარებზე.....	94
§ 5.1. ინდივიდუალური დრეკადრგოლებიანი	
ელექტროამპრავის დინამიკის გამოკვლევა კომპიუტერის	
გამოყენებით	94
§ 5.2. მრავალპრავიანი ელექტროამპრავების	
კომპიუტერული კვლევის შედეგები.....	97
§ 5.3. რეალური ელექტროამპრავების ექსპერიმენტული	
კვლევის შედეგები	103
ლიტერატურა.....	107

წინასიტყვაობა

უკანასკნელი წლების მანძილზე მსოფლიოს მოწინავე მანქანათმშენებლობის და ელექტროტექნიკური ფირმები მძლავრი ტექნოლოგიური მანქანებისათვის ფართოდ იყენებენ მრავალძრავიან ელექტრომექანიკურ ამძრავებს. ასეთი ამძრავებისადმი ინტერესი ბევრ მეცნიერსა და სპეციალისტს გააჩნია როგორც ჩვენში, ისე საზღვარგარეთ. ავტომატიზებული მრავალძრავიანი ელექტროამძრავებისათვის დამუშავებულია სხვადასხვა პრინციპით აგებული მართვის სისტემები, რომელთაც ერთმანეთის მიმართ გააჩნიათ გარკვეული ღირსებები და ნაკლოვანებები. დინამიკური სწრაფქმედების გაზრდის ტენდენციამ აუცილებელი გახადა ამძრავთა სისტემების გარდამავალი პროცესების ოპტიმიზაციის შესრულებისას გათვალისწინებულ იქნას შემაერთებელი ლილვების დრეკადი თვისებები. შესაძლებელი სიხისტის მქონე ლილვების შემთხვევაში ამძრავთა ინერციული მასები ძლიერ გრეხვით რხევებში მოდიან, რაც იწვევს ხშირად ცალკეული ნაწილების დაზიანებას ან დამსხვრევას. ასეთი რხევები განსაკუთრებით საშიშია მრავალძრავიანი ამძრავებისათვის, რომლებშიც ე.წ. შინაგანი რესონანსის გამო მოსალოდნელია ქაოსის და ავტორხევითი პროცესების წარმოქმნა.

უფრო ხშირად მრავალძრავიან ელექტროამძრავებს აგებენ დაქვემდებარებული კონტურებითა და რეგულირების პრინციპებით. რეგულატორების ოპტიმიზაცია დრეკადი რგოლების არსებობისას მოითხოვს არასტანდარტულ მიდგომას და სპეციალური კორექტორების შემუშავებას. სრულყოფილი მართვის სისტემების შექმნა უსრუნველყოფს ტექნოლოგიური მანქანის მაღალ მწარმოებლობას და გამოშვებული პროდუქციის უკეთეს ხარისხს.

მეცნიერთა შრომები წარმოდგენილი მონოგრაფიებისა და წიგნების სახით, რომლებიც მიძღვნილია მრავალძრავიან ავტომატიზებულ ელექტრომექანიკურ ამძრავებს ძალზედ მწირია, რის გამოც ავტორთა ეს ნაშრომი ერთ-ერთი წინადადგმული ნაბიჯია ამ მიმართულებით.

წიგნში ასახული არის ავტორთა მიერ წლების მანძილზე შესრულებული სამეცნიეროკვლევითი სამუშაოების შედეგები, კერძოდ დრეკადრგოლებიანი მექანიზმებისათვის შემუშავებული მრავალძრავიანი ელექტრომექანიკური ამძრავების მათემატიკური მოდელები, მათი სიხშირული მახასიათებლები, კომპიუტერზე და რეალურ დანადგარებზე მიღებული გარდამავალი პროცესები და სხვ.

შესავალი

განვითარებული ქვეყნების ეკონომიკას მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს დიდი სიმძლავრის სამრეწველო საწარმოები, სადაც მოქმედებენ უწყვეტი ტექნოლოგიური მანქანური აგრეგატები ავტომატიზებული ელექტროამპრავებით. თანამედროვე პრაქტიკაში უმთავრესად გამოიყენება რეგულირებადი ელექტროამპრავების უწყვეტი და დისკრეტული მართვის სისტემები. მძლავრი ტექნოლოგიური მანქანებისათვის ვხვდებით ხისტ და დრეკად მექანიკურ ლილეებიან ელექტროამპრავებს. კონსტრუქციული თვალსაზრისით არსებობს ინდივიდუალური და მრავალპრავიანი ელექტროამპრავები, მათ შორის საერთო მართვის სისტემით. ამ უკანასკნელს ახასიათებს მაღალი მ.ქ. და მუშაობის საიმედოობა. დიდი სიჩქარეების და მაქსიმალური დინამიკური სწრაფქმედების უზრუნველსაყოფად განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ელექტროამპრავთა ტრანსმისიებში დინამიკაში აღძრული გრეხვითი რხევების ფექტური ჩაქრობის საკითხები. სრულყოფილი ელექტროამპრავების სისტემების შექმნით ერთდროულად მიიღწევა მანქანური აგრეგატების ხანგამძლეობის გაზრდა, ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირება და გამომშვებული პროდუქციის ხარისხის ამაღლება [2-6].

ტექნოლოგიურ მანქანებს, როგორც წესი, ესაჭიროებათ სიჩქარეების მდორე რეგულირება, რის გამოც მათ ელექტროამპრავებად უპირატესად იყენებენ მუდმივი დენის ტირისტორულ გარდამსახებიან ელექტროამპრავებს [2; 4; 5; 12; 20; 41; 49; 55]. ასეთ ამპრავებს ახასიათებთ მაღალი ენერგეტიკული მანევრებლბები და ფართო ტექნიკური შესაძლებლობები. რიგი მანქანური აგრეგატებისათვის, მაგ., ქაღალდის დამამზადებელი მანქანებისა და საგლინი დგანების ტექნოლოგიური პროცესებისა და რთული კონსტრუქციების გამო ხშირად ამპრავთა არსებული მართვის ელექტრომექანიკური სისტემებით ვერ აღწევენ შესაძლებლობათა მაქსიმუმს. ამის მიზეზია, სახელდობრ ამპრავებსა და მექანიზმებს შორის შემავრთბელი გრძელი ლილეების დრეკადი თვისებების, აგრეთვე რედუქტორებსა და ქურობებში ღრწოების (ღუფტების) არსებობა. მაღალი დინამიკური სწრაფქმედების მიღწევის მცდელობისას აღნიშნული დრეკადი რხევები, არა თუ უბრალოდ ხელისშემშლელად მოქმედებენ, არამედ იწვევენ მანქანათა კონსტრუქციების (შემავრთბელი ლილეების და სხვა კინემატიკური წყვილების) დაზიანებას და მსხვრევას.

თანამედროვე რეგულირებად ელექტროამპრავებს წაეყენებათ შემდეგი ძირითადი მოთხოვნების დაკმაყოფილება: ა) მუშა სიჩქარეების მუდმივად შენარჩუნება მაღალი სიზუსტით (თანამედროვე მართვის

ტექნიკური საშუალებებით შესაძლებელია 0,1-0,3%-ანი სიზუსტის მიღ-
წევა); ბ) სინქარის რეგულირების გარდამავალი პროცესის ხანგრძლი-
ვობა არ უნდა აღემატებოდეს 1-2 წამს [14; 21]. ამ მოთხოვნათა უსრუ-
ნელსაყოფად აუცილებელია ამძრავთა სისტემებში შემავალი ძალოვა-
ნი ელექტრული და მექანიკური ნაწილების ურთიერთგაველების დეტა-
ლური გათვალისწინება.

დრეკადკაეშირებიანი მანქანების და მექანიზმების დინამიკის თეო-
რიულ კვლევებს მიძღვნილი აქვს მეცნიერთა მრავალი კუბლიკაცია და
მონოგრაფია. მანქანების და მექანიზმების ელექტროამძრავთა სისტემე-
ბის შესწავლის თვალსაზრისით განსაკუთრებით საყურადღებოა მ.
ხვინგაის, ი. პანოვკოს, ს. მასლოვის და სხვ. მონოგრაფიები [40; 56;
62]. მათში გადმოცემულია მანქანური აგრეგატების კონსტრუქციათა
(ტრანსმისიათა) საინჟინრო გაანგარიშებების თეორიული საფუძვლები.

აეტომატიზებული ტირისტორული ელექტროამძრავების მართვის
სისტემების განვითარებას ეძღვნება გ. კესლერის, ვ. ლეონარდის, ე.
ბარიშნიკოვის, ი. ბარცოვის, პ. ბოლტონის, ე. რაატცის, გ. სოკოლოვ-
სკის და სხვთა შრომები [9; 12; 14; 18; 20; 21; 68; 73; 80]. გ. კესლერის
ოპტიმუმები ("მოდულის" და "სიმეტრიული") არ ითვალისწინებს შემა-
ერთებელი ლილვების დრეკად მახასიათებლებს. ვ. ლეონარდმა და ე.
ბარიშნიკომ უწყვეტი ტექნოლოგიური მანქანებისათვის შექმნა მუდ-
მივი დენის ტირისტორული ამძრავების დინამიკის კვლევის თეორიული
საფუძვლები. ი. ბარცოვის და გ. სოკოლოვსკის შრომები ეძღვნება ამ-
ძრავთა სისტემების შედგენას და კვლევის სტრუქტურულ-ტოპოლოგი-
ურ, აგრეთვე ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლების მეთოდებს.
დრეკადი რხევების ჩასაქრობად ისინი უპირატესად იყენებენ კორექცი-
ებს - ძრავისა და მექანიზმის სინქარეთა სხვაობის პროპორციული
სიგნალის შეყვანით და მადიფერენცირებელი (R-C წრედით) უკუკავში-
რის დახმარებით. სინქარეთა სხვაობით განხორციელებული კორექცია
ძრავის და მექანიზმის ინერციულ მასათა, მხოლოდ გარკვეული თანა-
ფარდობისას იძლევა სასურველ შედეგს. R-C წრედის კორექციას კი
ახასიათებს ხელშემშლელი სიგნალებისადმი მძალადი მგრძობიარობა
(როცა $C > 0,1$ მკფ-ზე, მაშინ ტირისტორული გარდამსახის და შესაბამი-
სად ამძრავის მუშაობა შეუძლებელია), რაც ამისი ნაკლოვანი მხარეა.
პ. ბოლტონის მონოგრაფიაში განხილულია ამძრავთა სისტემების მ.ქ.კ-
ის ამაღლების და დრეკადკაეშირებიან გადამცემებში დინამიკური
დატვირთვების შეზღუდვის საკითხები. ე. რაატცის შრომები ეძღვნება
თანამედროვე ელექტროამძრავთა სისტემების დინამიკის შესწავლას.
დრეკადი რხევების ჩაქრობის მიზნით მის მიერ შემოთავაზებულია მიმ-
დერობითი კორექციები R-L-C ელემენტების გამოყენებით. ე. რაატცის
კორექციაში სარგებლობენ დიდი მაგნიტური შეღწევადობის სპეციფი-
კური შემადგენლობის ნივთიერებებისაგან დამზადებული ტოროიდებით
(კოჭებით). ზემოთ აღნიშნულ მეცნიერთა შრომები ძირითადად მიძ-
ღვნილია ერთპირიან (ინდივიდუალურ) ამძრავთა სისტემებისადმი.

მიუხედავად იმისა, რომ აეტომატიზებული ტირისტორული ელექ-
ტროამძრავების კვლევებს მიძღვნილი აქვს მრავალრიცხოვანი შრომე-

ბი, მიღწეული თეორიული შედეგების პრაქტიკაში რეალიზაცია გვიჩვენებს, რომ მთელი რიგი პრობლემები სრულყოფილად გადაჭრილი არ არის. ამასთან ცნობილი გახდა რ. კალმანის თანამედროვე თეორიული და ტექნიკური საშუალებებით შეიქმნას ახალი სრულყოფილი მართვის სისტემები. წიგნში წარმოსენილია ტირისტორული ელექტროამპრაგებისათვის შემაერთებელი ლილვების გრეხვითი რხევების ჩაქრობის, ოპტიმიზებული გარდამავალი პროცესების (მაქსიმალური სწრაფქმედებით) მიღების, მოდალური მართვის მქონე სისტემებისათვის ოპტიმალური რეგულატორების და კორექტორების განსაზღვრის პრობლემები და მათი გადაწყვეტის ხერხები.

უკანასკნელ პერიოდში მრავალგანსომილებიანი ავტომატური მართვის სისტემებისათვის შეიქმნა, რა რ. კალმანის და სხვათა მიერ, დინამიკის კვლევის მთელი რიგი ახალი თეორიული მეთოდები [10; 11; 15; 45; 46] დღის წესრიგში დადგა სწრაფქმედი მრავალძრავიანი ავტომატიზებული ელექტროამპრაგების სისტემების შექმნის ამოცანები. ამ მიმართულებით საყურადღებოა ვ. ტერეხოვის და ვ. კრუჩკოვის ნაშრომი [76].

წიგნში ამძრავთა ძალურ ელექტრომექანიკურ სისტემებში აღძრული გრეხვითი რხევების ეფექტური ჩაქრობის მიზნით შემუშავებულია ახალი ტექნიკური საშუალებები: ა) ოპერაციული მაძლიერებლების ბაზაზე შედგენილი მიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობა (ორი ინტეგრატორითა და სამი სუმატორით) [33] და ბ) კალმან-ბიუსის ფილტრის პრინციპით აგებული დამკვირვებელი მოწყობილობა და მისი საშუალებით რბილი (მოქნილი) უკუკავშირის რეალიზაცია. შემოთავაზებული კორექციები ხასიათდებიან ხელშემშლელი სიგნალებისადმი მგრძობიარობის ნულოვანი მანევრებით და ობიექტის პარამეტრების დრეიფის პირობებში სტაბილური მოქმედებით [31].

ანალიზურად კონსტრუირებული დამკვირვებელი და მაკორექტირებელი მოწყობილობების საფუძველზე წიგნში შემოთავაზებულია ავტომატიზებული ელექტროამპრაგების გარდამავალი პროცესების ოპტიმიზაციის ახალი მეთოდები. მოდალური მართვის პრინციპებით შედგენილ ამძრავთა სისტემებისათვის კი განსაზღვრულია უკუკავშირებისა და მაკორექტირებელი მოწყობილობების არასტანდარტული ოპტიმალური გადაძვები ფუნქციები და პარამეტრები [35; 36]. მიღწეულია სინქარის რეგულირების მაქსიმალური სწრაფქმედება (უწყვეტი სისტემებისათვის 1-1,5 წმ). მრავალლილვიანი მექანიზმებისათვის შემუშავებულია მრავალძრავიანი ავტომატიზებული ელექტროამპრაგების სრულყოფილი სისტემები და მათი სტრუქტურულ-მატრიცული მათემატიკური მოდელები შემაერთებული ლილვების დრეკადი მახასიათებლების გათვალისწინებით [3; 6; 30-36]. შემოთავაზებულია ამძრავთა სისტემების რეგულირების კონტურების ოპტიმიზაციის მეთოდები.

მრავალძრავიან (მრავალკავშირებიანი) ამძრავთა მართვის სისტემებში შემავალი ინდივიდუალური ამძრავების კონტურების ოპტიმიზაციის მეთოდები წიგნში განხილულია ავტომატური მართვის თეორიაში ცნობილი ლოგარითმულ-სიხშირულ მახასიათებლების გამოყენებით

და რიკატის არაწრფივ მატრიცულ განტოლებებზე დაყრდნობით [16; 36; 74].

მრავალკავშირებიანი (მრავალგანსომილებიანი) დინამიკური ობიექტების კელევის თეორიული მეთოდების ინტენსიური განვითარების გამო წინამდებარე ნაშრომი იძენს მეტად საჭირო მნიშვნელობას თანამედროვე მძლავრი ტექნოლოგიური მანქანების ელექტროამპრავთა ახალი მართვის სისტემების შექმნის და შემდგომი სრულყოფის მიზნით.

წიგნში განხილული საკითხები აქტუალურია იმის გათვალისწინებითაც, რომ ჩვენი ქვეყნის უმსხვილეს საწარმოებში – რუსთაის მეტალურგიულ და ენგურის ცელულოზა-ქაღალდის კომბინატებში მოქმედებენ უწყვეტი ციკლით მომუშავე მძლავრი ტექნოლოგიური მანქანები. აღნიშნულ საწარმოთა მუშაობის დიდი ტრადიციები საფუძველს ქმნის იქ არსებული დანადგარების სრულყოფილად და რაციონალურად ამოქმედების პირობებში მიღებულ იქნას მნიშვნელოვანი ეკონომიკური შემოსავლები.

თავი I. თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამძრავების მართვის სისტემები

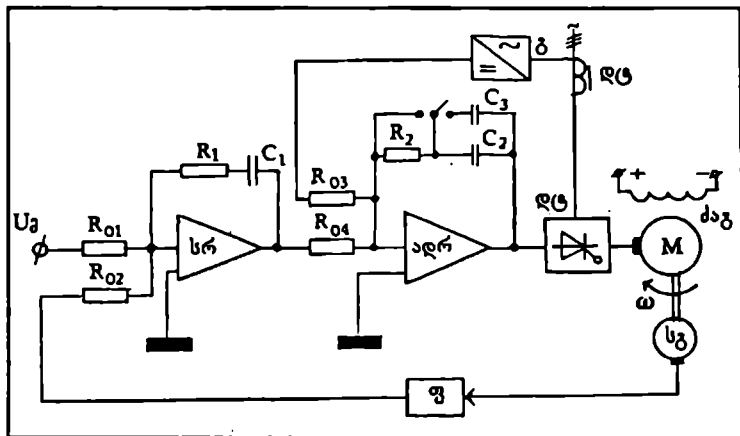
§ 1.1. ინდივიდუალური და მრავალძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავები

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ამძრავთა მართვის სისტემების განვითარებაში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს მსოფლიოს მოწინავე ფირმების „Siemens“ და „AEG Telefunken“-ის (გერმანია), „Harland“-ის (ინგლისი), „ОАО Электроривод“-ის (რუსეთი) და სხვ. მეცნიერებმა და სპეციალისტებმა [14; 18; 49; 55; 57; 71; 72].

ბოლო წლებში გერმანულმა ფირმამ „AEG“-მ ფირმა „Siemens“-ის სქემის ბაზაზე შექმნა დენის ადაპტურ-რეგულატორიანი ელექტროამძრავის სისტემა, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 1.1-ს. ამძრავის მცირე დატვირთვების შემთხვევაში დენის ადაპტური რეგულატორი (აღრ.) ძრავის ღუსის წყვეტილი ხასიათის დენების მავნე მოქმედებათა შესასუსტებლად (რაც აუარესებს გამმართველის ენტილების კომუტაციის პირობებს) სისტემის ლოგიკური მოწყობილობის დახმარებით გადადის ინტეგრირების რეჟიმში სამუშაოდ. ამძრავის შედარებით ნორმალური დატვირთვების პირობებში ($I = 0,3 \pm 1,2 \cdot I_{\text{н}}$) დენის რეგულატორი სამუშაოდ გადაირთვება პროპორციულ-მაინტეგრირებელ რეჟიმში. სქემაზე (ნახ. 1.1) გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: სრ-არის სინქარის რეგულატორი; სგ-სინქარის გადამწოდი; ტგ-ტირისტორული გარდამსახია, რომლიდანაც იკვებება M - ძრავის ღუსა; გ-გამმართველი (დენის); ფ-ფილტრი ტაქოგენერატორის გამოსასვლელზე; ძაგ-ძრავის აღზენების გრაგნილი; ω - ძრავის კუთხური სინქარე; U - ამძრავის მართვის სიგნალი.

ტექნოლოგიურ მანქანებს, რომელთა ცალკეულ მექანიზმებს გააჩნიათ ორი ან მეტი მუშა ლილევი (ასეთებია ქაღალდის მკეთებელი მანქანების წნეხები, კალანდრები, სუპერკალანდრები, აგრეთვე მეტალურგიულ საწარმოებში საგლინი დგანების ცალკეული გალები და სხვ.) ტექნოლოგიური პროცესის გასაუმჯობესებლად და დანადგარის ენერგეტიკული მაჩვენებლების ამაღლების მიზნით პერსპექტიულია მრავალძრავიანი ელექტროამძრავების გამოყენება. 1.2-ე ნახ.-ზე წარმოდგენილია მრავალძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავების მართვის სისტემები. 1.2,ა ნახ.-ზე ნაჩვენებია სინქარის ერთი რეგულატორით და საერთო ტირისტორული გარდამსახით შედგენილი მრავალძრავიანი ამ-

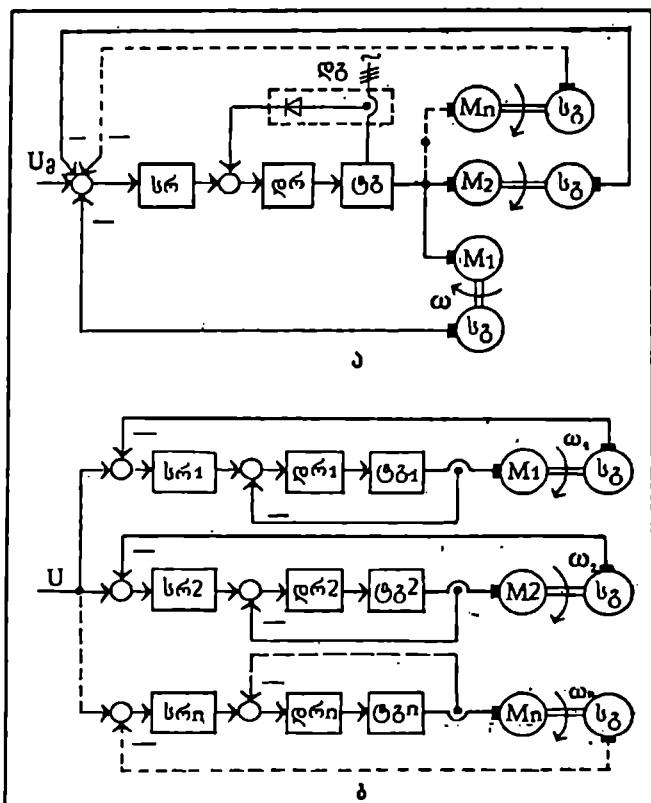
ძრავის სისტემა, ხოლო 1,2,ბ ნახ.-ზე კი ცალკეული ძრავისათვის სინქარის ინდივიდუალური რეგულატორიანი და ტირისტორულ გარდამსახიანი ამძრავის სისტემა. რაციონალურია მრავალძრავიანი ამძრავის სისტემა აგებულ იქნას აგრეთვე სინქარის ერთი რეგულატორით და ცალკეული ძრავისათვის ინდივიდუალური ტირისტორული გარდამსახებით და სინქარის გადამწოდებით.



ნახ. 1.1

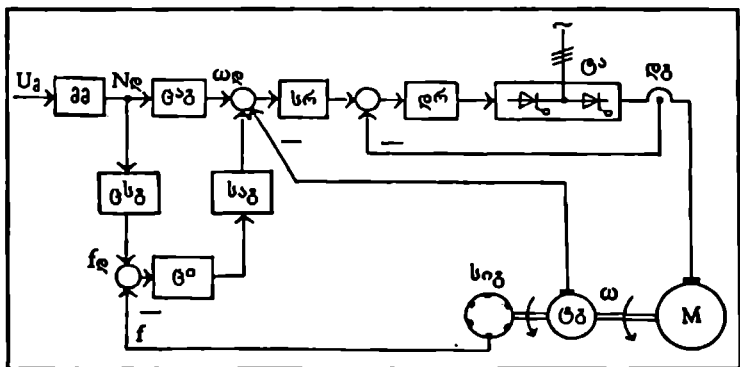
შემაერთებელი ლილეების დრეკადობის არსებობისას ინდივიდუალურ რეგულატორებიანი ამძრავის სისტემის (ნახ. 1,2, ბ) უპირატესობად ითვლება ცალკეული ძრავის კუთხური სინქარის კონტროლის შესაძლებლობა. ზემოთ მოყვანილი მუდმივი დენის ტირისტორული ამძრავების სისტემები შესაძლებელია განვიხილოთ, როგორც უწყვეტი (ანალოგური) მოქმედების. მიუხედავად იმისა, რომ ტირისტორული გარდამსახის მართვის სიგნალები იმპულსური სახისაა, ამძრავთა ძალეობანი სიგნალები მუშაობის ნორმალურ რეჟიმებში უწყვეტია (სარეგულირო პარამეტრების დიდ ინერციულობათა გამო).

სხვადასხვა ფირმების მიერ, აგრეთვე დამუშავებულია ელექტროამძრავები ციფრულ-ანალოგური მართვის მოწყობილობებით. "Siemens"-ის ფირმის ამძრავის ციფრულ-ანალოგური მართვის სისტემა წარმოდგენილია 1.3-ე ნახ.-ზე. ამ სქემაზე: მმ-არის მართვის მოწყობილობა; ცაგ, ცსგ და საგ-შესაბამისად ციფრულ-ანალოგური, ციფრულ-სიხშირული და სიხშირულ-ანალოგური გარდამსახებია; ცი და სიგ-ციფრული ინტეგრატორი და სინქარის იმპულსური გადამწოდია. სიგ-თავის მხრივ შედგება ტაქოგენერატორის ლერძზე დამაგრებული (მბრუნავი) მაგნიტური დისკისაგან და მასთან ახლოს უძრავად განლაგებული მთვლელისაგან. მიღებული იმპულსები გამაძლიერებელში გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება ცი-ში, რომელიც ხშირი გადართვის რეჟიმში მუშაობს ლოგიკური სქემით [70; 80].



ნახ. 1.2

ელექტროამპრავის სინქარის საკურო მნიშვნელობის მისაღებად მართვის სიგნალს შეიყვანენ მართვის მოწყობილობის (მმ) ბლოკში, რომელიც გამოიშუშავებს დავალების N_r - სიგნალს (რიცხვების სახით). ამ სიგნალს ცაგ გარდაქმნის უწყვეტ (ანალოგურ) ω_r სიგნალად, რომელიც მიეწოდება სინქარის რეგულატორს. N_r - სიგნალი აგრეთვე შედის ცსგ-ში, რომელიც იძლევა f_r სიხშირის იმპულსებს. ციფრულ ინტეგრატორში (ცი) ძრავის სინქარის პროპორციული f სიხშირე შედარდება დავალების f_r სიხშირეს, საგ-ით კი $(f_r - f)$ სიხშირის იმპულსური სიგნალები გარდაიქმნება უწყვეტ (ძაბვის) სიგნალად, რომელიც აგრეთვე მიეწოდება სინქარის რეგულატორს.



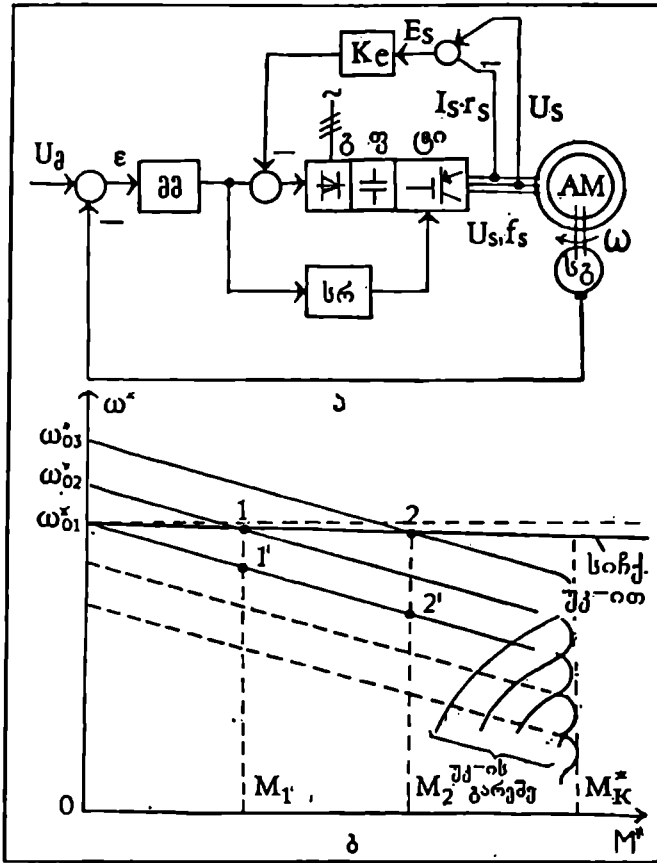
ნახ. 1.3

გერმანული ფირმის „Möller“-ის მიერ დამუშავებულია ამძრავთა სისტემები ცვლადი დენის სამუშაო ასინქრონული ძრავებისათვის ძაბვის სიხშირის გარდამქმნელებით [57]. ასეთი ელექტროამძრავები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქადაღდის დამამზადებელი მანქანების სექციებისათვის. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ სიხშირულ გარდამსახიანი ასინქრონული ელექტროამძრავებისათვის დამახასიათებელია სარეგულირო პარამეტრების დიდი რაოდენობა და შესაბამისად მართვის სისტემის სირთულე [38; 67].

ცვლადი დენის ელექტროამძრავის სიხშირული მართვის ერთ-ერთი მთავარი საკითხია სარეგულირო მ.წ. როტორიანი ასინქრონული ძრავის სტატორთან მიყვანილი ძაბვის ამპლიტუდისა (U_s) და სიხშირის (f_s) რაციონალური თანაფარდობის შერჩევა მექანიზმის მექანიკური მახასიათებლის გათვალისწინებით [42]. ხშირ შემთხვევაში, განსაკუთრებით მუდმივი მომენტი ($M_{\omega} = const$) მომუშავე ამძრავებისათვის სიხშირულ, მართვას ახორციელებენ მუდმივი მაგნიტური ნაკადის ($\Phi = const$) შენარჩუნების პირობებში. დადგენილია, რომ ძრავის მკეუბაეი ძაბვის სიდიდისა და სიხშირის პროპორციული ცვლილების თანაფარდობა უზრუნველყოფს $\Phi = const$, განსაკუთრებით მაღალ სიხშირეთა დიაპაზონში [47; 67]. დაბალი სიხშირეებისათვის მაგნიტური ნაკადის მუდმივობის მისაღწევად აუცილებელია ამძრავის სისტემის უკუკავშირებით შემოფარგელა ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 1.4, ა ნახ.ზე. სქემაზე უკუკავშირის სიგნალი ფორმირდება ძრავის სტატორის გრავნილებში აღძრული ემძის პროპორციული სიდიდით. აქვე მოყვანილია სიხშირული ელექტროამძრავის მექანიკური მახასიათებლებიც (ნახ. 1.4, ბ)

სქემაზე (ნახ. 1.4, ა) გვაქვს: მმ-მართვის მოწყობილობა; გ-ნახევარგამტარული გამმართველი; ტ-ტრანზისტორული (ან ტირისტორული) ავტონომიური ინვერტორი, რომელიც გამოიმუშაებს ცვლადი დენის

რეგულირებად ძაბვას და სიხშირეს; სრ-სიხშირის რეგულატორი; AM-მ.ნ. როტორიანი ასინქრონული (სამფაზა) ძრავი.



ნახ. 1.4

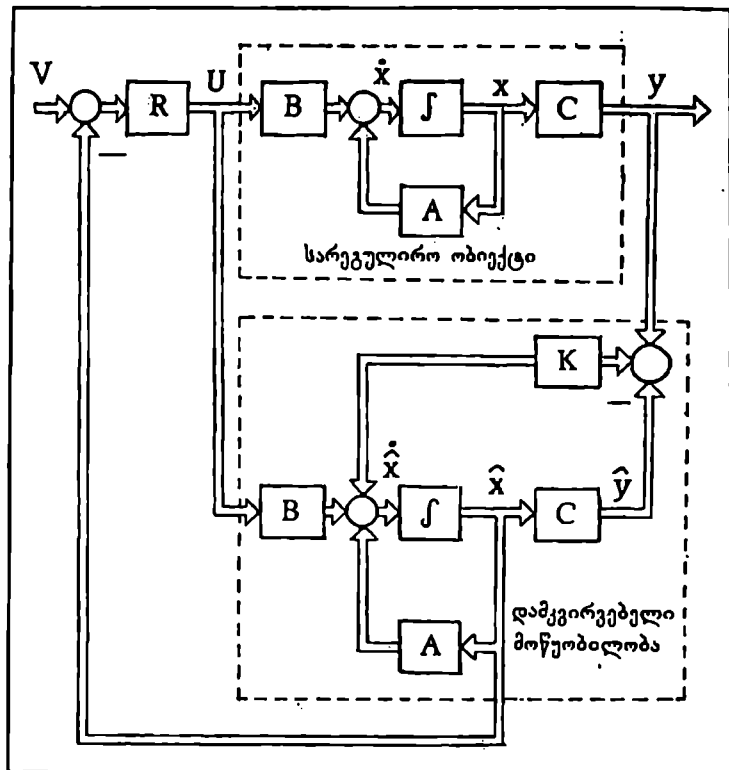
განხილული სისტემის სიჩქარის უარყოფითი უკუკავშირით ადკურ-ვა უზრუნველყოფს ძრავის სიჩქარის სტაბილიზაციას მაღალი სისუსტით (ნახ. 1.4, ბ). თუ მოხდა ძრავის M_1 - ის ტოლი წინაღობის მომენტით დატვირთვა, მაშინ სისტემას რომ არ ჰქონდეს უკუკავშირი (სიჩქარის) ძრავის სიჩქარე დაეცემოდა $1'$ წერტილის შესაბამის სიდიდემდე. მაგრამ იმის გამო, რომ ამძრავის სისტემას აქვს სიჩქარის უარყოფითი უკუკავშირი, ამიტომ ძრავის სიჩქარის შემცირება იწვევს მმ-ის შესასვლელზე ცდომილების ($\epsilon = U_s - U_{\Sigma}$) სიგნალის გაზრდას. შესაბამისად მოიმატებს გ-გამმართველის გამოსასვლელზე ძაბვა და საბოლოოდ, მოიმატებს ამძრავის U_s და f_s სიდიდები. ძრავის სიჩქარე აიწვეს

1 წერტილის შესაბამის სიდიდემდე. თუ დატვირთვა კიდევ მოიმატებს M_1 - მდე, მაშინ მისი სინქარე შენარსუნდება (ანალოგიურად წინა მსჯელობისა) 2-წერტილის შესაბამის სიდიდემდე, ნაცვლად 2' წერტილისა—თუ სისტემა იქნებოდა უკუკავშირის გარეშე. ω_1 - სასურველი სინქარის და 1-2 წერტილების შეერთებით მიიღება ამძრავის შეკრული სისტემის მექანიკური მახასიათებელი. მისი სიხისტე $(1+K)$ -ჯერ მეტია გახსნილი სისტემის შესაბამისი მახასიათებლის სიხისტეზე. K -სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი. მიუხედავად სიხშირული მართვის მქონე ასინქრონული ამძრავის მაღალი მასშტაბებისა, მისი გაცილებით რთული მართვის სისტემის გამო მსოფლიოს მოწინავე ფირმები ("Siemens", "AEG-Telefunken", "Harland", "Foit" და სხვ.) უპირატესობას ანიჭებენ მუდმივი დენის ავტომატიზებულ ტირისტორულ ელექტროამძრავებს. ასეთი ამძრავები ხასიათდებიან მუშაობაში მაღალი საიმედოობით.

ელექტროამძრავები ხშირად ტექნოლოგიური დანადგარის მუშაო ლიწვებთან დაკავშირებულია „გრძელი“ შემაერთებელი მექანიკური ლიწვებით. აღნიშნულის გამო ამძრავების მუშაობისას დინამიკაში თავს იჩენს ძლიერი დრეკადი (გრეხვითი) რხევები. აღნიშნული რხევების შესასუსტებლად ისე, რომ შენარსუნებილ იქნას ამძრავის დინამიკური სწრაფმოქმედება იყენებენ სხვადასხვა მაკორექტირებელ მოწყობილობებს, რომლებსაც აგებენ R , L და C ელემენტებისაგან. დადგენილია, რომ აღნიშნული ფილტრები, განსაკუთრებით მადიფერენცირებული ტიპის, ხასიათდება ხელშემშლელი სიგნალებისადმი მაღალი მგრძობიარობით. რაც შეეხება $R-L-C$ ოთხპოლუსას იგი სარეგულირო ობიექტის პარამეტრების საწყისი მნიშვნელობებიდან მცირე დრევის შემთხვევაშიც კი კარგავს ეფექტური სემოქმედების უნარს და საჭირო ხდება მისი პარამეტრების ხელახალი შერწყვა. ექსპლოატაციის პირობებში ამის განხორციელება ძალზე მოუხერხებელია.

პრობლემის უკეთეს გადაწყვეტად გვესახება ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემის აგება ე.წ. მოდალური მართვით [26; 32; 64], რომელშიც დამკვირვებელი მოწყობილობა შედგენილი იქნება ამძრავის მექანიკური ნაწილის ეტალონური მოდელის სახით კალმან-ბიუსის ფილტრის ანალოგიურად. ასეთი სისტემის ზოგადი სტრუქტურული სქემა მატრიცულ სახეში წარმოდგენილია 1.5-ე ნახ.-ზე. სქემაზე V -მართვის სიგნალია; A, B -სისტემის პარამეტრები (გამოსახება მატრიცებით); x -სარეგულირო ცვლადების ვექტორი (სევეტმატრიცა); y -გამომავალი სიდიდეების ვექტორი; C -სტრიქონ მატრიცაა, რომლებიც განისაზღვრება y -თა რაოდენობით; \dot{x} და \dot{y} -შესაბამისად x და y სიდიდეების შეფასებითი ვექტორებია, რომლებიც გამომუშავდება დამკვირვებელი ფილტრის მიერ; \dot{x} და \dot{y} -შესაბამისი (x და y) სიდიდეების წარმოებულები; R -მოდალური რეგულატორის კოეფიციენტი (სვეულბრიე მატრიცა); K -კალმანის ფილტრის უკუკავშირების კოეფიცი-

ენტი (მატრიცა); J - ინტეგრატორია. წვეულებრივ ობიექტი იმდენი ინტეგრატორით იქნება წარმოდგენილი რამდენი მდგომარეობის ცვლადსაც შეიცავს მართვის სისტემა (დაწვრილებით განხილულ იქნება III თავში).



ნახ.1.5

§ 12. სუპერკალანდრის, გრძივად-დამჭრელი ჩარხის და გოფროაგრეგატის ელექტროამძრავები

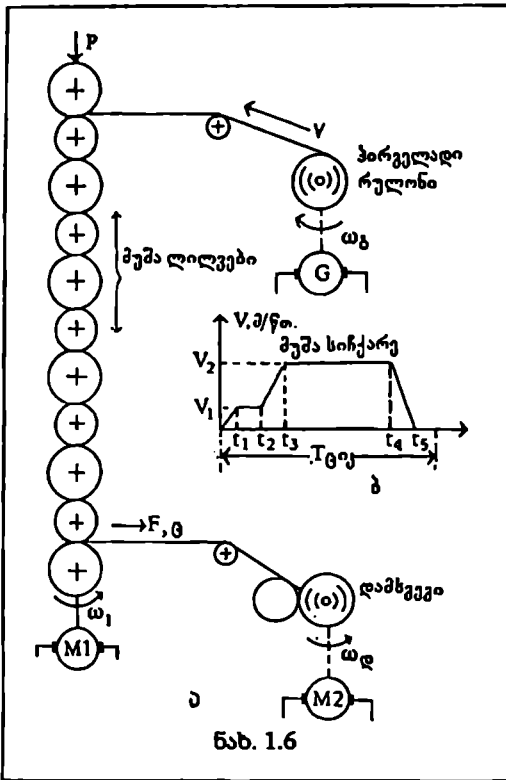
ქაღალდის მრეწველობაში ქაღალდის დამამზადებელ მანქანებზე გამომუშავებული პროდუქცია შემდგომი დამუშავებისათვის გადააქვთ სუპერკალანდრზე, რომელიც წარმოადგენს ერთმანეთზე მონაცვლეობით განლაგებული ხისტი და რბილი ლილვებისაგან (9+11 ცალი) შედგენილ წნეხით რეჟიმში მომუშავე დიდი სიმძლავრის მანქანას. ხისტი ლილვები მზადდება ფოლადისაგან, ხოლო რბილი ქაღალდის, ბამბის ან შალის დაწნეხილი მასალისაგან და გარედან აკრავს რეზინის გარსაცმი. სუპერკალანდრის დანიშნულებაა შესძინოს ქაღალდს მეტი სიგლუვე, სიპრიალე და სიმკვრივე, რაც ხელს უწყობს ტენისა და სიმ-

შრალის პირობებში ქალაღდის სტანდარტით დადგენილი პარამეტრების მნიშვნელობების შენარსუნებას [60].

თანამედროვე სუპერკალანდრი დიდი სიმძლავრისა და მსხვილი კონსტრუქციის აგრეგატია. მისი გამარტივებული კინემატიკური სქემა ნაწიენება 1.6-ე ნახ.-სე. მთავარ ამძრავად ითელება მუშა ლილეების ქვედა ლილეის ამძრავი (M1-ძრავით). M2-ძრავი ემსახურება დამხვევ მექანიზმს. G - სამუხრუტო გენერატორია, რომელიც დაეენებულია პირველადი რულონის ღერძზე. ამძრავის მუშაობა ხასიათდება ხუთპერიოდიანი ტაქოგრამით (ნახ. 1.6, ბ). ციკლის დასაწყისში ძრავები გამორთულია და ოპერატორი ასრულებს მოსამზადებელ სამუშაოს-წინა რულონის ტამბურის მოხსნას და ახალი-პირველადი რულონის დამაგრებას. ამის შემდეგ t_1 დროში წარმოებს ძრავების ამუშაება დამხმარე სინქარემდე ($V_1 = 15 \div 20$ მ/წთ). t_1 - დან t_2 - მდე დროის შუალედში ოპერატორი ახორციელებს მანქანის საწნეხ (მუშა) ლილეებში ქალაღდის ტილოს გატარებას და დასახვევ ტამბურზე შემოხვევას. $t_1 - t_2$ დროის შუალედში ძრავებს აანქარებენ V_2 - მუშა სინქარემდე, რომელზედაც წარმოებს ქალაღდის კალანდრიება. ციკლის დასასრულს ($t_4 - t_5$ შუალედში) ამძრავებს ამუხრუტებენ. სუპერკალანდრის ამძრავებს მოეთხოვებათ მუშა სინქარის მუდმივად შენარსუნება მაღალი სისუსტით (ტაქოგრამის პორიზონტალურ უბანზე). ქალაღდის გადახვევის პროცესი უნდა წარმოებდეს ტილოს მუდმივი F დაჭიმულობის ქვეშ, რასაც უსრუნველყოფს სამუხრუტო G-გენერატორი. ამძრავის მართვის სისტემა უნდა ითვალისწინებდეს მექანიზმის უეცარ განერებას ის მუდმივებისათვის, როცა ადგილი აქვს რაიმე მიუსუსთ ტილოს გახვევას. სუპერკალანდრის ერთძრავიანი ამძრავის სიმძლავრე შეადგენს 300÷400 ეტტ-ს. სუპერკალანდრის სინქარე, როგორც წესი 1.5-2-ჯერ აღემატება ქალაღდის დამამზადებელი მანქანის მუშა სინქარეს.

სუპერკალანდრიდან ქალაღდის რულონი გადააქვთ ქალაღდის გრძივად-დამტრელ დაზგაზე, რომლის კინემატიკური სქემა ამძრავის ელექტრომექანიკური სისტემით წარმოდგენილია ნახ. 1.7-სე. სქემაზე ნანს, რომ პირველადი რულონიდან გაშლილი ქალაღდის ტილო უწყვეტად მიეწოდება დისკოსმაგვარ დანებს, რომლებიც ახორციელებენ ქალაღდის ტილოს საჭირო სიგანეზე დაჭრას. დაზგის დამხვევზე კი წარმოებს ქალაღდის ხელახლა დახვევა მზა პროდუქციად (სასაქონლო რულონებად). ისე როგორც სუპერკალანდრზე აქაც გამშლევი მექანიზმის ღერძზე დამაგრებულია სამუხრუტო გენერატორი, რომლის დახმარებით აგრეთვე ხორციელდება ქალაღდის ტილოს დაჭიმულობის მუდმივად შენარსუნება [20].

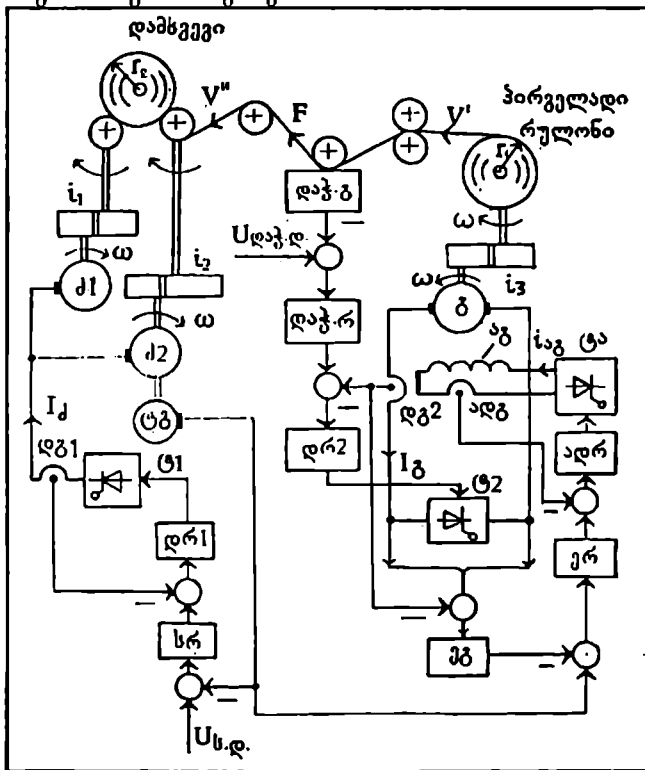
ქალაღდის გრძივად-დამტრელი დაზგის მთავარ ამძრავად ითელება მისი დამხვევი მექანიზმის ორძრავიანი ელექტროამძრავი, რომლის რეგულირების სისტემა ჩვეულებრივი ორკონტურიანი სქემით არის შესრულებული. ქალაღდის ტრის და გადახვევის ტექნოლოგიური პროცესი



მიმდინარეობს მსგავსად სუპერკალანდრისა ხუთპერიოდული ტაქოგრამით. სქემა, რომელიც წარმოდგენილია 1.7-ე ნახ.-ზე ეკუთვნის გერმანულ ფირმას "AEG-telefunken"-ს. იგი გამოყენებულია ენგურის ცელულოზა-ქაღალდის კომბინატში ჩაის ცალობითი შეფუთვის ქაღალდისმკეთებელ მანქანაზე. ამპრაის სისტემა უზრუნველყოფს შემდეგ მოთხოვნათა შესრულებას: 1) სიჩქარის მდორე რეგულირებას დიდ დიაპაზონში $D = 70 : 1$; 2) სტატიზმს არა უმეტეს 0,3%-სა; 3) დამხმარე სიჩქარე შეადგენს $V = 15 \div 20$ მ/წთ; 4) ქაღალდის გადახვევას მუდმივი დაჭიმულობის შენარჩუნებით სტატიკაში 1-3%, ხოლო დინამიკაში 10%-მდე სიზუსტით; 5) ძრავების უეცარ გაჩერებას ტილოს გახვევის შემთხვევაში. სქემაზე გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: $U_{სე}$ და $U_{ჰაღ}$ - შესაბამისად არის სიჩქარის და დაჭიმულობის დავალების სიგნალები; i_1 , i_2 - რედუქტორების გადაცემის რიცხვებია; დგ1 და დგ2 - ძრავების და გენერატორის ღუზების დენების გადამწოდებია; ტ1, ტ2 - ტირისტორული გარდამქმნელები; ადგ - გენერატორის ალგზნების დენის გადამწოდია; ტა - ტირისტორული ალგზნებია; დაჭ.გ. და დაჭ.რ. - მაგნიტურ-ელექტრული ტიპის დაჭიმულობის გადამწოდელი და რეგულატორია; ეგ და ერ - შესაბამისად გენერატორის ემპის გადამწოდელი და რეგულატორია.

განსახილველი ელექტროამპრაის მართვის სისტემა შეიცავს ამპრაის სიჩქარის და ქაღალდის ტილოს დაჭიმულობის ავტომატური რეგულირების ქვესისტემებს. სამუხრუჭო გ-გენერატორი, რომლის სიჩქარე განისაზღვრება არა მარტო ძ1, ძ2 ძრავების სიჩქარით, არამედ გადასახვევი რულონის r რადიუსის მიმდინარე მნიშვნელობით, ქმნის სამუხრუჭო მომენტს ქაღალდის ტილოს დაჭიმულობის უზრუნველსაყოფად. დაჭიმულობის რეგულირების სისტემა შედგება: ა) დაჭიმულობის მუდმივად შენარჩუნების ირიბი სისტემისაგან სამუხრუჭო გენერა-

ტორის დენის მუდმივად შენარჩუნების კონტურით (აღზნების დენის პროპორციული შეცვლისას რელონის რადიუსის შესაბამისად) და ბ) დაქიშვლობის პირდაპირი რეგულირების გარე კონტურისაგან, რომელიც შეი-ვაგის საკუთარ რეგულატორს და გადამწოდს. გენერატორის ემძ-ის რეგულირების კონტური შედგება ევ-გადამწოდისაგან და ერ-რე-გულატორისაგან, აგრეთვე აღზნების დენის დაქიშვლობარეგული კონტურისაგან. გენერატორის ემძ-ის კონტურის დაველები სიგნალია ამძრავის სისქარის პროპორციული სიგნალი, რომელიც მიეწოდება ტრ-ტაქოგენერატორისაგან. დამხვევი მექანიზმის ამძრავის სიმძლავრე შე-აღგენს 150-200 კვტ-ს, ხოლო სამუხრუჭო გენერატორის 80-100 კვტ-ს. დაზვის მუშა სისქარე 2-ჯერ უნდა აღემატებოდეს ქადალდის დამამწა-ღებელი მანქანის მუშა სისქარეს.



ნახ. 1.7

ქადალდის მრეწველობაში მბლავრ აგრევატორა რიცხვს, აგრეთვე მიეკუთვნება გოფრირებული (დატალღული) მუყაოს დამამწაღებელი მანქანა. ენგურის ცვლადლსა-ქადალდის კომბინატში მუშაობს ორი თანამედროვე კონსტრუქციის გოფროაგრევატი, რომელიც მიეკუთვნება ფრანგულ ფირმა „Marius Martin“-ს. გოფროაგრევატზე გამოქუშავებუ-

ლი გოფირიებული მუყაო შედგება სამი ან ხუთფენა მუყაოსაგან და კაბელის ქაღალდისაგან. გოფირიებული მუყაოსგან ამზადებენ ყუთებს ადვილად მსხვერველი ხელსაწყოების და შუშის ნაწარმის შესაფუთავად და ტრანსპორტირებისათვის. გოფროაგრეგატის სიგრძე შეადგენს 50 მ-ს; წონა - 300 ტ; მწარმოებლურობა - 10 ტ/სთ; მუშა სიჩქარე $V=200$ მ/წთ; მანქანის სიგანე - $b=2,1$ მ.

გოფროაგრეგატზე მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესი შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვსახოთ. რულონიდან გაშლილი ქაღალდის ტილო, გამაცხელებელი და დამტენიანებელი მოწყობილობის გაკლით, მიეწოდება ორთქლით გაცხელებულ დაღარულ საწნებს ლილვებს. დაღარული ლილვებიდან ქაღალდის ტილო გამოდის უკვე გოფირიებული, რომელზედაც წებოს მიმწოდებელი ლილვით უწყვეტად ეცხება წებო. როგორც კი ტილო წებოვნდება მის ზედაპირზე გამაცხელებელი ცილინდრის შემოვლით მიეწოდება მუყაოს ფენა (ბრტყელი შრისათვის). შეერთების შემდეგ ბრტყელი და გოფირიებული შრეები გატარდება ქვედა დაღარულ და გახურებულ, გლუვ მიმკერ ლილვებს შორის, სადაც ისინი ეწებებიან ერთმანეთს და ქმნიან ორფენა გოფირიებულ მუყაოს. გამაცხელებლის ერთ-ერთი ცილინდრის გაკლით ორფენა გოფირიებული მუყაო ისევ მიეწოდება წებოს წამცხებ მოწყობილობას. გოფირების მხრიდან კი ორფენა მუყაოს ტილოს უერთდება, მეორე ქვედა ბრტყელი მუყაოს ფენა და ასე იქმნება სამფენა გოფირიებული მუყაო.

გადამტანი მაუდის დახმარებით მუყაო გადის მიმკერ ლილვებიდან საშრობ ფილებზე. შემდეგ ორ მაუდს შორის-აგრეგატის გამაცივებელ ნაწილზე და ბოლოს მიეწოდება გრძივად დამკრულ მანქანას, სადაც ხორციელდება მუყაოს დაჭრა გრძივი სოლების გასწვრივ. ამის შემდეგ წარმოებს გრძივი სოლების მონიშვნა და განივად დამკრულ მანქანაზე საჭირო სომის ფორმატებად დაჭრა (ყუთების დასამზადებლად). გოფროაგრეგატზე დასამუშავებელი ქაღალდის რულონის დიამეტრი შეადგენს 1,5 მ-ს, წონა 2,5 ტ., სიგრძე 4750 მ., რაც მანქანის 150 მ/წთ სიჩქარით მუშაობისას უზრუნველყოფს აგრეგატის 30 წუთიან უწყვეტ ტექნოლოგიურ პროცესს. დამუშავებული სამფენა მუყაოს წონა შეადგენს 700 გ/მ².

გოფროაგრეგატის ძირითად - საწნებს, საშრობ და დამკრულ სექციებზე აგრეთვე უპირატესად იყენებენ მუდმივი დენის რეგულირებად ტირისტორულ ელექტროამპრავებს მართვის თანამედროვე ელემენტებით [48; 51; 55].

§ 1.3. საგლინი დგანების ავტომატიზებული ელექტროამპრავები

საგლინი დგანებს შორის ერთ-ერთი მძლავრი დანადგარია ბლუმინგი (დგან-1000), რომელიც ასრულებს გახურებული ლითონის სხმულის გლინვას დაწნეხვით რეჟიმში (ხშირი რევერსიული გატარებით) [23]. სხმულის ყოველი გატარების წინ ოპერატორი დამწოლი მექანიზ-

მის დახმარებით აფიქსირებს ზედა მუშა გლინის მდებარეობას დაწვევის მიმართულებით. ზედა მუშა გლინის დაყენების შემდეგ ოპერატორი ჩართავს დგანის მთავარ და წინა როლგანგის ამძრავებს. პირველი გატარებისას სხმულის მიწოდების სინქარე არ უნდა იყოს ძალიან დიდი, წინააღმდეგ შემთხვევაში სხმულსა და გლინებს შორის ხახუნის კოეფიციენტი მცირდება, რაც იწვევს სხმულის ასხლეტას გლინებისაგან და შეტაცების პროცესის გაჭიანურებას. ჩვეულებრივ შეტაცების სინქარე სხვადასხვა გატარებისას შეადგენს 10-45 ბრ/წთ. დაბალი სინქარეები გამოიყენება პირველი გატარებებისას, ხოლო უფრო დიდი სინქარეები მომდევნო გატარებების დროს. დაბალი სინქარეებით სხმულის შეტაცება ცხადია იწვევს გლინის პროცესის გახანგრძლივებას და ძრავის გადატვირთვას, ამიტომ შეტაცების შემდეგ სწრაფად ზრდიან ძრავის სინქარეს. ამის გამო და სხმულის თავდაპირველი სიგრძის სიმცირის გამო საჭიროა ძრავის სწრაფი დამუხრუჭება, ე.ი. პირველ გატარებებზე ძრავის ტაქოგრამა სამკუთხა სახისაა. შემდგომი გატარებების დროს სხმული წაგრძელებულია, გლინის პროცესი გახანგრძლივებულია და ამძრავის ტაქოგრამა იღებს ტრაპეციის სახეს. სხმულის ყოველი გატარების ბოლოს ოპერატორი დგანის რევერსირებისათვის სემოქმედებს ამძრავის მართვის სისტემაზე. გლინისას სხმულის გლინებიდან გამოვდება არ უნდა მოხდეს მაღალი სინქარით, რათა არ განხორციელდეს მისი დიდ მანძილზე გამოტყორცნა. წინააღმდეგ შემთხვევაში ეს გამოიწვევს სხმულის გლინებისაკენ ხელახლა მოსაბრუნებლად დროის გახანგრძლივებას. სხმულის მეორე და ყოველი შემდგომი გატარება შეიძლება დაწყებული იქნას მხოლოდ მას შემდეგ, რაც დამწოლი მექანიზმი საჭირო სიდიდით დაბლა დასწევს ზედა მუშა გლინს და უკანა როლგანგი სხმულს დააბრუნებს გლინებთან. მეორე გატარების შემდეგ სხმული მოხვდება რა წინა მუშა როლგანგზე აქ იგი გადაძვირებულით 90°-ით გადაბრუნდება. კვლავ დასწევს ზედა გლინს, ხოლო სხმულს დგანის წინა როლგანგით მიმართავენ მუშა გლინებისაკენ მესამე გატარებისთვის და პროცესი ასე განმეორდება. აღსანიშნავია, რომ სხმულის გატარებებს შორის პაუზების შესაძირებლად მიზანშეწონილად ითვლება დამწოლი მექანიზმის მუშა როლგანგის და მთავარი ამძრავის რევერსირება განხორციელდეს ერთდროულად. გლინის პროცესში სხმულის სიგრძე თანდათანობით იზრდება. ამ პროცესის დანქარების მიზნით ბოლო გატარებების დროს სინქარეს უმატებენ $\omega_{\text{კ}}$ - მდუ. უკანასკნელი გატარების ბოლოს სხმულის გამოვდებას გლინებიდან ოპერატორი ახორციელებს დიდი სინქარით და მას მიმართავს მაკრატლებისაკენ, სადაც წარმოებს ნაგლინის ბოლოების ჩამოჭრა.

აღწერილი ტექნოლოგიური პროცესის პირობებიდან გამომდინარე დგან-1000-ის მთავარმა ელექტროამძრავმა უნდა უზრუნველყოს შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები:

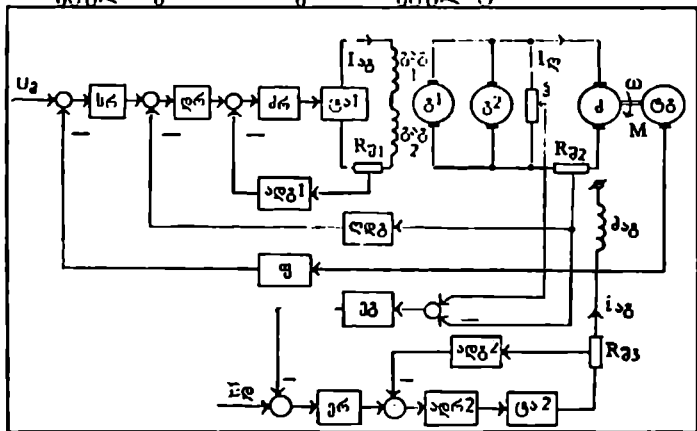
- 1) სინქარის რეგულირების დიდი დიაპაზონი $D=(20-30):1$;
- 2) ძრავის ჩართვათა დიდი სიხშირე (≈ 1000 , 1/სთ);

3) გარდამავალი პროცესის მინიმალური ხანგრძლივობა;

4) მაღალი გაღატეობის უნარიანობა (სხმულის შეტაცებისას გლინებში ძრავს ერთდროულად უხდება როგორც სტატიკური, ისე დინამიკური წინაღობის ძალების დაძლევა).

ნახ. 1.8-ზე წარმოდგენილია ბლუმინგის მთავარი ელექტროამძრავის ფუნქციონალური ბლოკ-სქემა, რომლის მართვის სისტემა ითვალისწინებს ძრავის სინქარის რეგულირებას ორი სონით. I სონაში სინქარის რეგულირება წარმოებს ძრავის ღუზასუ ძაბვის რეგულირებით (მკევაბი გენერატორების ავტოსუნების ნაკადის ცვლილებით). რეგულირების II სონაში ძრავის ნომინალურზე მაღალი სინქარეების მისაღებად შემოქმედებენ ძრავის ავტოსუნების დენსე (მის შესამცირებლად). შესაბამისად ამძრავს გაანინა რეგულირების ორი დამოუკიდებელი სისტემა - ძრავის ღუზის ძაბვის ($\omega < \omega_{\text{სინქ}} -$ მღე საჩუშაოდ) და ძრავის ავტოსუნების რეგულირების ($\omega > \omega_{\text{სინქ}} -$ სინქარეებისათვის). ძრავის დამუხრეკებისას $\omega_{\text{სინქ}}$ - დან ჯერ გაზრდიან მის ავტოსუნებას ნომინალურამდე, ხოლო შემდეგ შეამცირებენ ღუზის ძაბვას ჩუღამდე.

ელექტროამძრავის (ნახ. 1.8) ღუზის ძაბვის რეგულირების სისტემა შეიცავს სამ კონტურს. შიგა კონტური ექსახურება გენერატორების ძაბვის (ავტოსუნების დენის) რეგულირებას და შეიცავს ძრ-ძაბვის რეგულატორს. შუა კონტური ახორციელებს ძრავის ღუზის დენის რეგულირებას დრ-დენის რეგულატორით. გარე კონტური კი ახრელებს ძრავის სინქარის რეგულირებას სრ-სინქარის რეგულატორით.



ნახ. 1.8

ძრავის სინქარის ნომინალურზე სეუით ($\omega > \omega_{\text{სინქ}}$) რეგულირება ხორციელდება მისი ავტოსუნების დენის ცვლილებით, ამასთან ექმ უხდა შენარჩუნდეს $E_{\text{სინქ}}$ - ის ტოლი. ამ მისნით რეგულირების სისტემა შეიცავს ურ-ძრავის ურ-ის რეგულატორს შენარჩუნის ეგ-გადამწოდით. გადამწოდის შესახველულსე, ექმ-ის პროპორციული სიგნალის მისაწო-

დებლად. მას ღუზის წრედიდან აწვდიან ძაბვის და დენის პროპორციულ სიგნალებს და თანახმად ტოლობისა $E_s = U_c - I_c \cdot R_{\Sigma}$ ხორციელდება მათი შედარება.

ემპ-ის რეგულატორის შესასვლელზე კი ერთმანეთს შედარდება ძრავის ემპ-ის დავალების და რეალური მნიშვნელობების სიგნალები. ერ-რეგულატორის გამომავალი სიგნალი არის ძრავის ალგ'ზნების დენის დავალება, რომელიც მიეწოდება ადრ-ალგ'ზნების დენის რეგულატორს. ამ რეგულატორის შესასვლელზე აგრეთვე მიეწოდება ალგ'ზნების დენის პროპორციული ძაბვა ალგ2-გადამწოდის დახმარებით. როგორც წესი, ერ-რეგულატორს (აგრეთვე სრ, დრ რეგულატორებს) აქვს გამომავალი ძაბვის შეზღუდვის საშუალება, რათა ძრავის ალგ'ზნებამ არ გადააჭარბოს ნომინალურს. ძრავის ემპ-ის დავალების სიგნალის მნიშვნელობა აიღება ნომინალურის ტოლი, რის გამოც ძრავის მუშაობისას დაბალ სინქარეებზე ($\omega < \omega_{\Sigma}$) მისი ალგ'ზნება და შესაბამისად ემპ-ის რეგულატორის გამომავალი სიგნალი არ უნდა იცვლებოდეს. ძირითად სინქარეზე მეტი სინქარის დროს მოქმედებაში შედის ემპ-ის რეგულატორი, რომელიც ძრავის ალგ'ზნების დენს გარდამავალ რეჟიმში არეგულირებს სინქარის ცვლილების დავალებით განსაზღვრული ტემპის შესაბამისად. ძრავის სინქარის ცვლილებით გამოწვეული ემპ-ის ცვლილებას არ ითვალისწინებენ, მისი შედარებით ნელა შეცვლის გამო. ემპ შედარებით სწრაფად იცვლება ალგ'ზნების სიდიდის ცვლილებით.

ნახ. 1.8-ზე $R_{\Sigma 1}, R_{\Sigma 2}, R_{\Sigma 3}$ - შერტებია, საიდანაც უკუკავშირებისათვის მოიხსნება მათში გამავალი დენების პროპორციული ძაბვები. გაგ1, გაგ2 და ძაგ-გენერატორების (გ1 და გ2) და ძრავის ალგ'ზნების გრაფნილებია; ω - ძრავის კუთხური სინქარეა; ტგ-სინქარის გადამწოდია (ტაქოგენერატორია); ტა1 და ტა2-ტირისტორული ალგ'ზნებებია, $I_{\Sigma 2}$

და I_c - ძრავის ალგ'ზნების და ღუზის დენებია; კ-ძაბვის გადამწოდი (პოტენციომეტრია); ღდგ-ღუზის დენის გადამწოდი; ფ-ფილტრი ტგ-ის გამოსასვლელზე. სქემის აღწერიდან გამომდინარეობს, რომ ელექტროამრავის დინამიკური პროცესები სინქარის რეგულირების ცალკეული ზონისათვის შესაძლებელია განხილულ იქნას ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

ისე როგორც სხვა დანადგარებზე, საგლინ დგანებზეც, როცა საჭიროა სინქარის დიდ დიაპაზონში რეგულირება, პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება ტირისტორული ელექტროამრავები (განხილულ სქემაში კი ძრავის კეება ხორციელდება გენერატორებიდან, ნაცვლად ტირისტორული გარდამსახიდან), რაც განპირობებულია განსაკუთრებით დიდი დენებით $I_c \approx 10 \div 25$, კა).

1.9-ე ნახ.-ზე მაგალითისათვის წარმოდგენილია რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის სორტულ-საგლინი დგანის ტირისტორული ელექტ

ყოფს რულონის ნორმალურად დახვევას. დამხვევი მექანიზმის ამპრავი-სათვის დამახასიათებელია მუშაობა მუდმივი სიმძლავრით ($P=const$).

გასაგლინი ლითონის ფურცლის დაჭიმულობის ძალის რეგულირე-ბისათვის პრაქტიკაში არსებობს როგორც პირდაპირი, ისე ირიბი სა-შუალებები (§ 1.2). პირდაპირი რეგულირების სისტემებში დაჭიმულო-ბის ძალის გაზომვა წარმოებს უშუალოდ გასაგლინი ლითონის ზო-ლის ზედაპირზე დაყენებული გადამწოდების დახმარებით. ხშირად უფ-რო მოხერხებულად თელიან დაჭიმულობის გაზომვის ირიბ ხერხს, რა-საც საფუძვლად უდევს შემდეგი მოსაზრება.

ამპრავის მიერ განითარებული ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე (P_e) ფოლადის ზოლის დაჭიმულობის ძალას (F_e) უკავშირდება შემ-დეგი გამოსახულებით:

$$P_e = F_e \cdot \frac{V}{1000\eta} \cdot \text{კვტ} \quad (1-1)$$

სადაც V - არის ფოლადის ფურცლის დახვევის სინქარე, მ/წმ; η - ამ-პრავის მ.კ.კ.

მეორეს მხრივ:

$$P_e = U \cdot I, \quad (1-2)$$

სადაც U - არის ძრავის ღუზის ძაბვა, რომელიც თავის მხრივ ტოლია

$$U = E + I \cdot R_e, \quad (1-3)$$

ხოლო I - ძრავის ღუზის დენია; E - ძრავის ემპ; R_e - ძრავის ღუზის გრანგილის აქტიური წინაღობა.

(1-2) და (1-3)-ის გათვალისწინებით (1-1)-დან გვექნება

$$F_e = K \cdot (E + I \cdot R_e) \cdot I, \quad (1-4)$$

სადაც $K = \frac{1000 \cdot \eta}{V} = const$, თუ $V = const$.

(1-4)-ის საფუძველზე ჩანს, რომ დამხვევი მექანიზმის დაჭიმულო-ბის ძალის მუდმივად შესაჩარხუნებლად საჭიროა ელექტროამპრავის რეგულირების სისტემა აგებულ იქნას ღუზის დენის (I) და ემპ-ის (E) რეგულირებით, რაც შეიძლება განხორციელდეს ამპრავის 1.7-ე ნახ.-ზე წარმოდგენილი სქემის ანალოგიური მართვის სისტემით.

§ 14. ავტომატიზებული ელექტროამპრავების რეგულატორები, ფილტრები და გამზომ-გადამწოდი მოწყობილობები

თანამედროვე ელექტროამპრავების პრაქტიკაში ფართოდ ინერგება უნიფიცირებული ბლოკური რეგულირების სისტემები, რომლებიც აწყობილია ნახევარგამტარული ტექნიკის და ელექტრონული სქემების ბაზაზე. ტირისტორულ ელექტროამპრავებში მეტწილად გამოიყენება პროპორციული (პ), ინტეგრალური (ი) და პროპორციულ-მაინტეგრირებული (პი) ტიპის რეგულატორები, რომლებსაც აქვთ დიდი სტატიკური გაძლიერების კოეფიციენტი (რამდენიმე ათეული ათასი) და მუშაობენ დაბალი სიძლიერის სიგნალებით (± 24 , ვ-მდე და 10, მა-მდე). რეგულატორები მზადდება ორკასკადა მუდმივი დენის ოპერაციული გამაძლიერების ბაზაზე [55; 70; 71].

თანამედროვე რეგულატორების საკუთარი უკუკავშირის წრედი იკვებება გამომავალი სიგნალის მხოლოდ ნაწილით, რომელიც მოიხსნება გამოსასვლელზე დაყენებული ძაბვის გამოყოფიდან. ამით შესაძლებელი ხდება შედარებით მარტივად ეცვალოთ რეგულატორის დინამიკური გაძლიერების კოეფიციენტი უკუკავშირის წრედის დროის მუდმივას ცვლილების გარეშე.

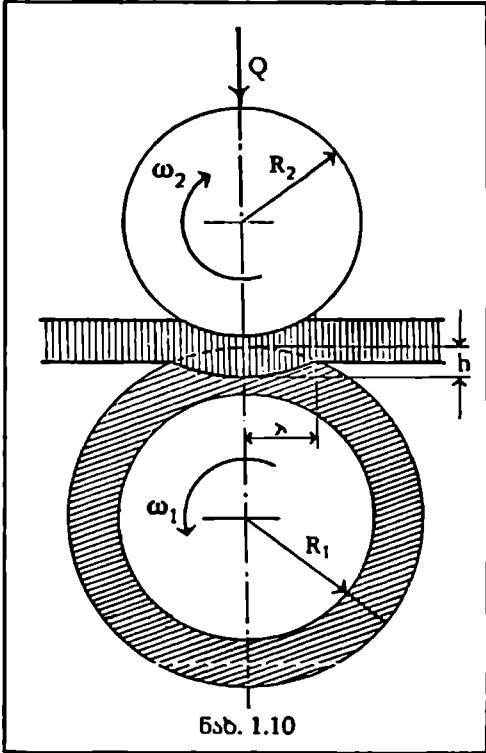
ამპრავის ღუსის დენის „მოკეეთის“ მიზნით მართვის სისტემაში შეიქმნა სინქარის რეგულატორს გააჩნია გაჯერების ტიპის გამომავალი სიგნალი, რაც ხორციელდება რეგულატორის უკუკავშირის წრედში სტაბილიტრონების ჩართვით.

ტირისტორულ ელექტროამპრავებში სინქარის და დენის გადამწოდების გამოსასვლელზე, როგორც წესი, ჩართავენ ფილტრს, რომლის პარამეტრები-დროის მუდმივები შეირჩევა ისეთი სიდიდის, რაც უზრუნველყოფს ტირისტორული გარდამსახის შესასვლელზე შედარებით სუფთა სიგნალების მიწოდებას. სისტემის ძირითად სიგნალებზე უედლებული ხელშემშლელი სიგნალები საშინაო ტირისტორული გარდამსახის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის. სინქარის გადამწოდის (ტაქოგენერატორის) გამოსასვლელზე დაყენებული ფილტრის დროის მუდმივა დადგენილია არ უნდა აღემატებოდეს 0,02, წმ-ს, ხოლო დენის და ძაბვის გადამწოდების გამოსასვლელზე ფილტრის საჭირო დროის მუდმივა საკმარისია შეადგენდეს 0,002 წმ-ს.

ფილტრების დროის მუდმივების გაზრდას მიმართავენ მაშინ, როცა ამპრავის მუშაობაზე გავლენას ახდენს გადამცემი ლილვების დრეკადი მახასიათებლები.

ელექტროამპრავების მართვის თანამედროვე სქემებში რეგულატორებთან ერთად ფართოდ გამოიყენება ძაბვის და დენის უნიფიცირებული ბლოკური ტიპის გადამწოდები. ძაბვის გადამწოდის სქემა, როგორც წესი, სრულდება ნახევარგამტარული (ტრანზისტორული) ელემენტებით და მუშაობს მოდულაცია-დემოდულაციის პრინციპით, მისი

შემაჯავლი სიგნალი ჯერ გარდაიქმნება (ველადად (ტრანსფორმირებისათვის), ხოლო შემდეგ ისევ მექანიკური დენის სიგნალად. ძაბვის გადამწოდი უზრუნველყოფს გამომავალი და შემავალი წრეების პოტენციალურ (გალვანურ) განცალკევებას. წრეების განცალკევება აუცილებელია, ვინაიდან უკუკავშირის სიგნალს იღებენ მაღალი პოტენციალის მქონე ძრავის დუქის წრედიდან. რაც შეეხება დენის გადამწოდს, იგი გამოიყენება მექანიკური დენის ამძრავის წრეებში ჩართული შენტრებიდან აღებული სიგნალების (უკუკავშირებისათვის) გადასაცემად. გასაძლიერებლად ± 24 , ე-მდე და შემაჯავლი და გამომავალი წრეების გალვანური განცალკევებისათვის. დენის გადამწოდიც შეიცავს მოდულაციის და დემოდულაციის კვანძებს და მეწობს ამ ბლოკებისათვის განკუთვნილი სტანდარტული კვების წყაროს ძაბვით.



პრაქტიკაში ქაღალდის დამზადებელი საწეხი დანადგარების მეშა ლილეებს შორის შეხების ადგილზე მოხალოდნელი მათი სუდაპირების ურთიერთგასრიალება. მეშა ლილეების სუდაპირებს შორის სრიალი შეიძლება გამოწვეული იყოს, როგორც პისტრეუზის მოვლენით, ისე ლილეებს შორის ბეჭახობით. პისტრეუზის მოვლენა დაკავშირებულია საკონტაქტო მეშა ლილეების ვაკუუმისა და შეკუმშვის ციკლურ ცვლილებასთან. ამ მოვლენას თან ახლავს მექანიკურ სისტემაში ენერჯის კარგეები. ნახ. 1.10-ზე მოყვანილია წეხის მეშაობის ეპიურა სუდა სისტემა-მარმარისლის ქვის ან ფოლადის მასალისაგან დამზადებული და ქველარბილი (რეზინის გარსაცმიანი) ლილეების შემთხვევისათვის. აღნიშნულთან დაკავშირებით ტექნოლოგიური

მანქანის ექსპლოატაციაში გაშვების წინ აუცილებელია შემოწმდეს წეხის ლილეებს შორის სრიალის არსებობა.

მეშა ლილეებს შორის სრიალის სუგზად გასახომად შეიძლება გამოიყენოს ელექტროიმპულსური მეთოდი, რომელიც მოყვანილია [38]-ში. ცნობილია, რომ სრიალის მნიშვნელობა წეხის ლილეებს შორის არ უნდა აღემატებოდეს 0.1%-ს. სრიალის შესამკირებლად ქაღალდის დამამზადებელი მანქანების წეხებზე, კალანდრებზე და სუ-

პერკალანდრებზე დამატებითი დამწნეხი ძალის შესაქმნელად იყენებენ დამწოლ მექანიკოსს.

სრიალის შემცირების და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების, აგრეთვე ძვირადღირებული მაულის, რომლითაც ტექნოლოგიურ მანქანასზე ტრანსპორტირდება დასამუშავებელი ქაღალდის ტილო, მუშაობის გახანგრძლივების მიზნით თანამედროვე მაღალსიჩქარიანი ქაღალდის დამამზადებელი მანქანების წნეხებზე, უნიწნეხებზე, კალანდრებზე და სუპერკალანდრებზე წვენს მიერ რეკომენდებულია მრავალპრავიანი ამპრავების სისტემები [34; 41]. წნეხის ცალკეული მუშა ლილვის ინდივიდუალური პრავით მუშაობა იმავდროულად გამორიცხავს სიმძლავრის გადაცემის აუცილებლობას ერთი ლილვიდან მეორეზე მეტად ფაქიზი – დასამუშავებელი ქაღალდის ტილოს გავლით. მრავალპრავიანი ამპრავები მისანშეწონილია გამოყენებულ იქნას, აგრეთვე წნეხით რეჟიმში მომუშავე სხვა დანადგარებზეც. კერძოდ საგლინ დგანებზე (ბლუმინგზე, სორტულ-მგლინაე და სხვა უწყვეტი გლინვის დგანების ცალკეულ გალებზე).



თავი II

მრავალპრავიანი ღრეკადკავშირებიანი ელექტრო- ამპრაჰების დინამიკის მათემატიკური მოდელები

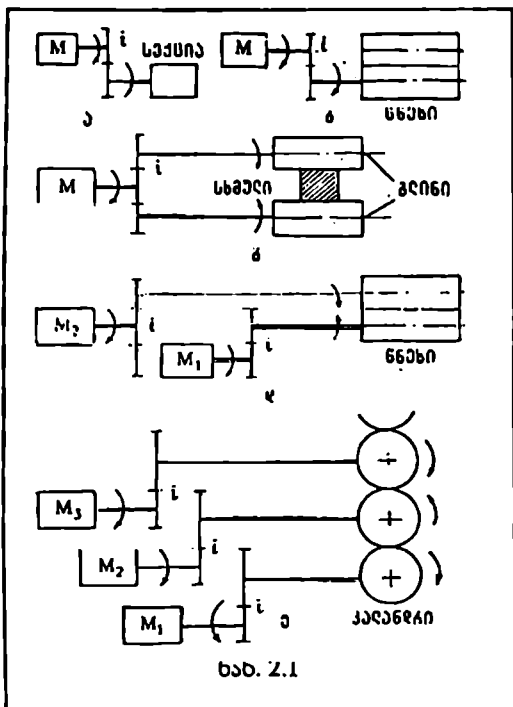
§ 2.1. ელექტროამპრაჰების მექანიკური სისტემების მოძრაობის განტოლებები

კვლევებით დადგენილია, რომ სწრაფქმედი ტექნოლოგიური მანქანების და მექანიზმების მუშაობისას გარდამავალ რეჟიმებში ხშირად ამპრაჰეთა სისტემებში აღიძვრის ძლიერი პარამონიული ხასიათის რხევები, რომლებიც გამოწვეულია მექანიკური გადაძვებით ლილვების დრეკადი თვისებებით [1; 5; 16; 48; 49; 72]. ნატარებული კვლევების საფუძველზე მრავალლილვებიანი საწნეხი მექანიზმების ელექტროამპრაჰების დინამიკის მათემატიკური აღწერისას შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი დაშვებებით [38; 54; 64; 74]:

1. ძრავებისა და მექანიზმების მუშა ორგანოების შემაერთებული ლილვების სიხისტის კოეფიციენტები მუდმივია;
2. ლილვების დრეკადი დეფორმაცია ემორჩილება ჰუკის კანონს;
3. გრეხვითი რხევების ნაქრობა განპირობებულია ბლანტი-ხახუნის ძალებით, რომლებიც წარმოიქმნება დეფორმირებულ ლილვებში;
4. საწნეხი მექანიზმების მუშა ლილვებს შორის სრიალი არ არსებობს.

ზოგიერთი ტექნოლოგიური მანქანის ამპრაჰეთა მექანიკური სისტემების კინემატიკური სქემები გამარტივებული სახით წარმოდგენილია ნახ. 2.1-ზე. კერძოდ, 2.1,ა ნახ.-ზე მოცემულია ერთპრავიანი ამპრაჰის კინემატიკური სქემა ერთი მუშა ლილვიანი მექანიზმებისათვის, ხოლო 2.1,ბ ნახ.-ზე ნაჩვენებია ერთპრავიანი ამპრაჰის, სქემა რომელიც ემსახურება ერთი მექანიზმის ორ მუშა ლილვს (მაგ., ქალაღის მანქანების საწნეხი სექციებისათვის). 2.1,გ ნახ.-ზე წარმოდგენილია ბლუმინგის ამპრაჰის კინემატიკური სქემა. ამ შემთხვევაში ცალკეული გლინი მოძრაობს ინდივიდუალური მოძრაობის გადაძვებით მოწყობილობით. 2.1,დ ნახ.-ზე მოყვანილია წნეხის ამპრაჰის კინემატიკური სქემა ცალკეული ლილვისათვის ინდივიდუალური ძრავებით. 2.1,ე ნახ.-ზე ნაჩვენებია სამპრავიანი აგრეგატის (უნიწნეხის და კალანდრის) კინემატიკური სქემა. „გრძელი“ ლილვები რედუქტორებსა და მექანიზმის მოძრავ ნაწილებს შორის განპირობებულია ტექნოლოგიური პროცესების თავისებურებებით.

კინემატიკურ სქემებში (ნახ. 2.1) ცალკეული მასების (რელექტორების, კბილანების, ქეროების და აეთი შემაერთებული ღი-ღეების) გადაწვლილეთ ძრავსუ და მექანიზმის მბრუნავ მასაზე შეგვიძლია შევადგინოთ ამძრავების მექანიკური ხაწილების საახგარიშო გამარტივეზული მოდელეები. ისინი წარმოდგენილია 2.2-ე ნახ.ზე. ერთძრავიანი ამძრავებისათვის გადამცეში ღერძების დრეკადობის გათვალისწინებით მივიღებთ ორმასიახ მოდელს (ნახ. 2.2, ა), ორძრავიანისათვის სამასიანის (ნახ. 2.2, ბ), ხოლო n -ძრავიანისათვის $(n+1)$ -მასიან მოდელს (ნახ. 2.2, გ).

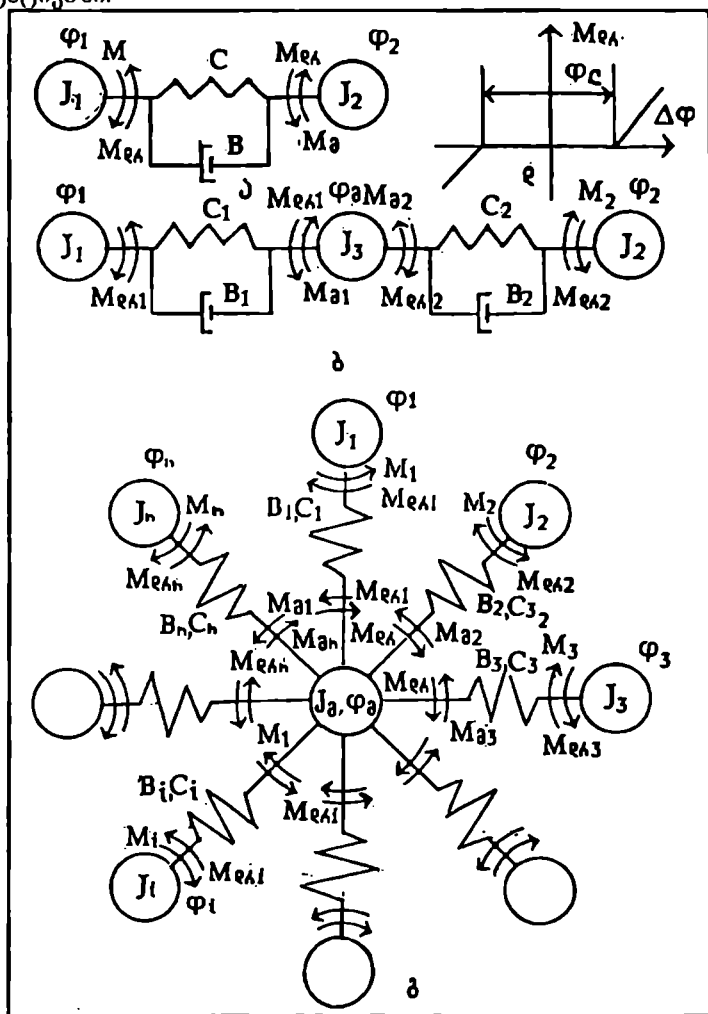


ნახ. 2.1

დგან-1000-ის (ბლუმინგის) ამძრავის შემთხვევაში მუშა გლინები სხმულთან ერთად შეიძლება განვიხილოთ ერთ მასად, ხოლო სხმულის გარეშე ამძრავი მუშა გლინებთან ერთად წარმოდგინდება სამასიან სისტემად. ნახ. 2.2,ა-ზე წარმოდგენილ საახგარიშო სქემაზე გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: J_1 - ძრავის, რელექტორის კბილანების და მათი შემაერთებული ქეროს ჯამური ინერციის მომენტია; J_2 - მექანიზმის მბრუნავი ნაწილის და მასთან ახლოს მყოფი ქეროს ჯამური დაყვანილი ინერციის მომენტი; φ_1 და φ_2 - მასების მობრუნების კუთხეები; M_1 , M_2 და M_3 - ძრავის ბრუნვის,

გრძელი შემაერთებული ღიღის დრეკადი და მექანიზმის წიხალობის დაყვანილი მომენტები; C - გრძელი ღიღის სიხისტის კოეფიციენტი დაყვანილი ძრავის ღერძზე; b - დრეკადი რხეუების ნაქრობის კოეფიციენტი; φ_2 - რელექტორის კბილანებს შორის დრენოს კუთხე. აღსანიშნავია, რომ კბილანებში (ან ქეროებში) დრენოს გავლისას ადგილი აქვს კიხემატიკურ წყვილებში დატვირთვის ნახტომისებურად შეცვლას, რაც იწვევს სისტემაში არსებული რხეუების ამპლიტუდების გაზრდას. იგი ასიხებს კინემატიკური წყვილების შემაერთებულ ებნებსა და

თვით ლილვებს. $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ - შემაერთებული ლილვის გრეხის კუთხე სტატიკაში.



ნახ. 2.2.

ინდივიდუალური (ორმასიანი დრეკადკავშირებიანი) ელექტროამპრავის (ნახ. 2.2, ა) მოძრაობის განტოლება შედგენილი დალამბერის პრინციპით [36; 48] კოშის (ნორმალურ) ფორმაში ასე ჩაიწერება:

$$\begin{cases} \frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{J_1} \cdot (M - M_{\text{გრ}}); \\ \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{J_2} \cdot (M_{\text{გრ}} - M_3); \\ \frac{dM_{\text{გრ}}}{dt} = c \cdot (\omega_1 - \omega_2) - \frac{b(J_1 + J_2)}{J_1 J_2} \cdot M_{\text{გრ}} + \frac{b}{J_1} M - \frac{b}{J_2} M_3, \end{cases} \quad (2-1)$$

სადაც ω_1 და ω_2 - არის ძრავის და მექანიზმის კუთხური სიჩქარეები.

ვინაიდან თანამედროვე მართვის თეორიაში ტექნიკური სისტემების ანალიზისათვის ფართოდ გამოიყენება განტოლებების ჩაწერის მდგომარეობის სივრცის მეთოდი [51; 73]. ამიტომ (2-1) განტოლებათა სისტემა ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში მატრიცულ სახეში შეიძლება შემდეგნაირად ჩაწეროს:

$$\frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot u + D \cdot f, \quad (2-2)$$

სადაც:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_{33}} & 0 \\ -\frac{1}{T_c} & -\frac{T_d}{T_c} \left(\frac{1}{T_{31}} + \frac{1}{T_{33}} \right) & \frac{1}{T_c} \\ 0 & -\frac{1}{T_{31}} & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{T_d}{T_c T_{31}} \\ \frac{1}{T_{31}} \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{33}} \\ \frac{T_d}{T_c T_{33}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$x^T = [x_1 \ x_2 \ x_3]$; $u = M$; $f = M_3$; x_1 , x_2 და x_3 - შესაბამისად არის მექანიზმის სიჩქარის (ω_2), ამძრავის დრეკადი მომენტის ($M_{\text{გრ}}$) და ძრავის სიჩქარის (ω_1) ფარდობითი ნაზრდები; $T_{31} = J_1 \omega_1 / M_{33}$ და $T_{33} = J_2 \omega_2 / M_{33}$ - ძრავის და მექანიზმის მექანიკური დროის მუდმივები; ω_1 და M_{33} - ამძრავის სიჩქარე და მექანიზმის წინაღობის დაყვანილი მომენტია დამკარებულ (ბაზისურ) რეჟიმში; $T_c = M_{33} / c \omega_1$ - დრეკადი ლილვის დროის მუდმივა, რომელიც ახასიათებს გრეხვით დეფორმაციას; $T_d = b/c$ - დროის მუდმივაა, რომელიც ახასიათებს ლილვის გრეხვითი რხევების მიღევას შინაგანი ბლანტი-ხახუნის ძალებით.

მრავალძრავიანი დრეკადრგოლებიანი ელექტროამძრავის მოძრაობის აღსაწერად შეიძლება ვისარგებლოთ იგივე (2-2) განტოლებით, იღონდ ამ შემთხვევაში განტოლებაში შემავალი A , B და D პარამეტრე

ბი შეიძლება ჩაეწეროს ე.წ. ეორდანის მატრიცების ანალოგიურ სახეში [10]:

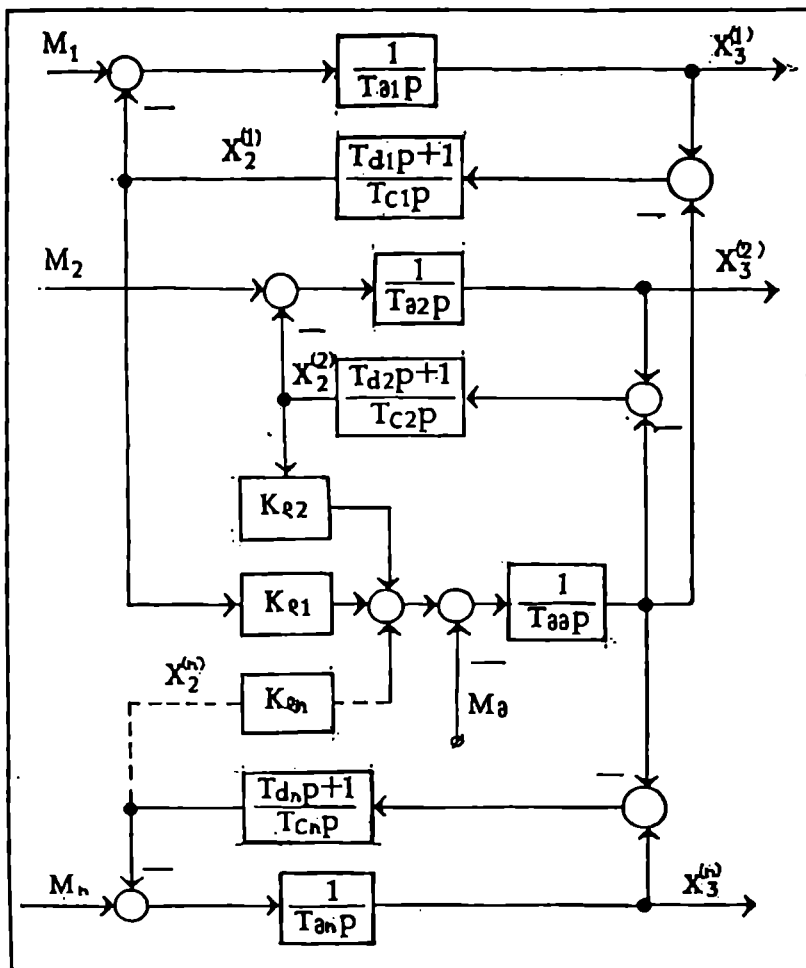
$$A = \begin{bmatrix} (A_1) & & 0 \\ & (A) & \\ 0 & & (A) \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} (B_1) & & 0 \\ & (B) & \\ 0 & & (B) \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} (D_1) & & 0 \\ & (D) & \\ 0 & & (D) \end{bmatrix}$$

A_i, B_i და $D_i, i = \overline{1; n}$ - ეორდანის უჯრედებია, რომლებიც შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_{\text{მმ}}} & 0 \\ -\frac{1}{T_{ci}} & -\frac{T_{di}}{T_{ci}} \left(\frac{1}{T_{\text{მი}}} + \frac{1}{T_{\text{მმ}}} \right) & \frac{1}{T_{ci}} \\ 0 & -\frac{1}{T_{\text{მი}}} & 0 \end{bmatrix}; \quad B_i = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_{ci}} \\ \frac{1}{T_a} \end{bmatrix}; \quad D_i = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{\text{მმ}}} \\ \frac{T_a}{T_{ci} T_a} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$x^T = [x_1^T \dots x_n^T]$; $x_i^T = [x_i, x_i^{(1)}, x_i^{(2)}]$, $i = \overline{1; n}$; $x_1 = \omega$ - მექანიზმის კუთხური სინქარეა; $x_i^{(1)} = M_{\text{აი}}$ - ამძრავის i -ური მექანიკური ლილვის დრეკადი მომენტი; $x_i^{(2)} = \omega$ - ამძრავის i -ური ძრავის კუთხური სინქარე; T_a, T_a და T_{ci} - შესაბამისად წარმოადგენენ i -ური ძრავის და გადამცემი ლილვის დროის მუდმივებს; $T_{\text{მმ}}$ - მექანიზმის მექანიკური დროის მუდმივა; $U^T = [M_1 \dots M_n]$; $f^T = [M_{a1} \dots M_{an}]$; $M_a = \sum_{i=1}^n M_{ai}$; ამძრავის ცალკეულ ძრავზე მოსული დატვირთვის შესაბამისი კოეფიციენტი $K_{\text{აი}} = M_{ai} / M_a$.

სემოთ მოყვანილი განტოლებების მიხედვით ნახ. 2.3-ზე შედგენილია მრავალძრავიანი ამძრავის მექანიკური სისტემის სტრუქტურული სქემა. სამრეწველო წნეხებისათვის (კალანდრებისა და სუპერკალანდრებისათვის) დამახასიათებელია თანაფარდობა $J_a \gg J_i, i = \overline{1; n}$; ეი. $T_{\text{მმ}} \gg T_a$, რის გამოც ცალკეული ძრავის საკუთარი რხევის სიხშირე ტოლია: $\omega_i = 1 / \sqrt{T_a \cdot T_{ci}}$ სქემაზე p - ლაპლასის ოპერატორია ($p = d / dt$).



ნახ. 2.3

§ 2.2. ელექტროძრავების ელექტრული წონასწორობის განტოლებები სხვადასხვა მართვის სისტემისათვის

მრავალძრავიანი ამძრავისათვის ელექტროძრავების ღუზების ერთი საერთო ტირისტორული გარდამსახიდან კვებისას, თუ მივიღებთ რომ ძრავების აღზნების ნაკადები მუდმივია, მაშინ ღუზის წრედების ელექტრული წონასწორობის განტოლებები მატრიცულ სახეში შეიძლება შემდეგნაირად ჩაეწეროს:

$$\varepsilon = K \cdot v + A \cdot i + T \cdot l, \quad (2-3)$$

სადაც $\varepsilon^T = [\varepsilon_{\alpha\alpha} \dots \varepsilon_{\beta\beta}]$ - არის ტირისტორული გამმართველის ემძის ფარდობითი მნიშვნელობის ვექტორი, $n \times 1$ ზომის მატრიცა; $v^T = [v_1 \dots v_n]$ - ძრავების სინქარეთა ფარდობითი ვექტორი; $i^T = [i_1 \dots i_n]$ - ძრავების ღუზის დენების ფარდობითი ვექტორი; $l^T = [l_1 \dots l_n]$ - ტირისტორული გამმართველის ჯამური ფარდობითი დენის ვექტორია,

$$\text{ზომით } n \times 1; \quad K = \text{diag}[k_{e1} \dots k_{en}], \quad A = \text{diag} \left[\frac{T_{e1} P + 1}{k_{e1}} \dots \frac{T_{en} P + 1}{K_{en}} \right];$$

$T = K_{\delta} (T_{\delta} P + 1) \cdot E$; E - ერთეულოვანი მატრიცაა ზომით $n \times n$;

$$k_{en} = 1 / 1 + \delta_{\alpha} \quad \text{და} \quad k_{ei} = \frac{1 + \delta_{\alpha}}{\delta_{\alpha}} - \text{შესაბამისად ცალკეული ძრავის გადაცე-$$

მის კოეფიციენტებია ძრავის შიგა უკუკავშირის და ღუზის პირდაპირი არხის გასწვრივ, $i = \overline{1; n}$; $\delta_{\alpha} = \Delta \omega_{\alpha} / \omega_{\alpha}$ - ძრავის ფარდობითი სინქარის ვარდნაა უქმი სელიდან დატვირთვის შესაბამის სიდიდემდე; $T_{ei} = L_{ei} / R_{ei}$ - ღუზის გრაგნილის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა i - ური ძრავისათვის; $T_{\delta} = L_{\delta} / R_{\delta}$ - ტირისტორული გამმართველის ძა-

ლოვანი ნაწილის დროის მუდმივა; $K_{\delta} = \frac{R_{\delta} I_{\Sigma}}{E_{\delta\delta\delta}}$ - გამმართველის ძრავ-

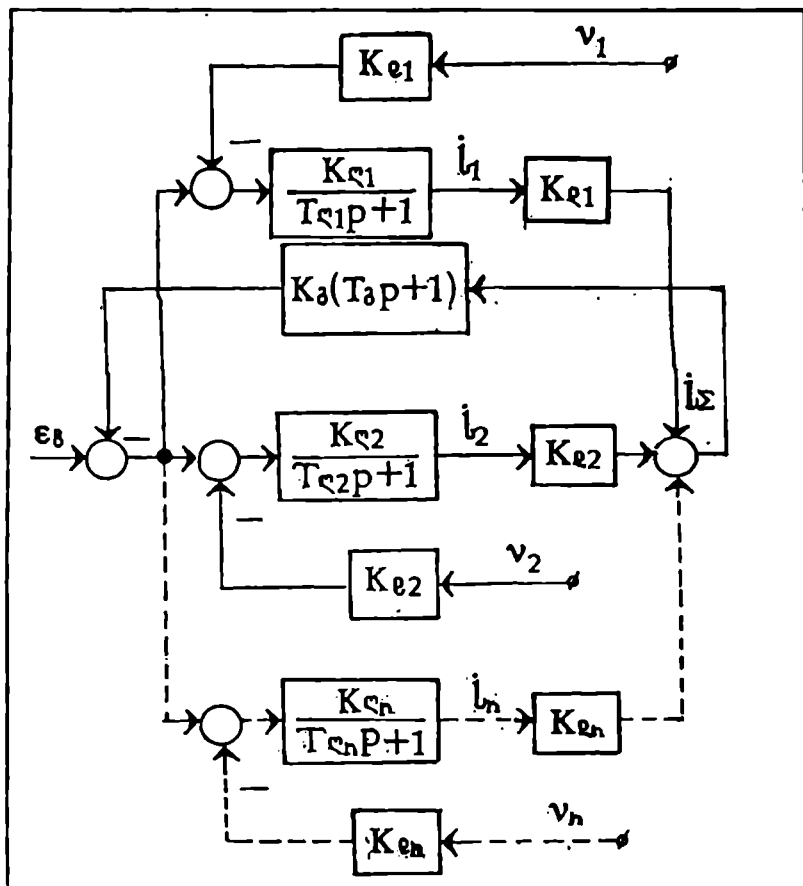
ებთან კავშირის კოეფიციენტია; L_{ei} და L_{δ} , R_{ei} და R_{δ} - ცალკეული ძრავის ღუზის გრაგნილის და გამმართველის ძალოვანი ნაწილის ინდუქტიუობები და აქტიური წინაღობები.

(2-3) განტოლებათა სისტემით 2.4-ე ნახ. -ზე აგებულია ერთ ტირისტორულ გამმართველთან პარალელურად მომუშავე რამდენიმე ძრავის ელექტრონული ნაწილის სტრუქტურული სქემა.

ბლუმინგის ელექტროამძრავის ფუნქციონალური სქემის (ნახ. 1.10) მიხედვით, როცა ძრავი იკვებება ორი პარალელურად ჩართული მუდმივი დენის გენერატორიდან-მათი ეკვივალენტობის შედეგად ძრავის ღუზის წრედისათვის ძაბვების წონასწორობის განტოლება შეიძლება შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$\varepsilon_{\delta} = K_{e} (v_{\delta} + \varphi_{\delta}) + \frac{1}{K_{e}} \cdot (T_{e} P + 1) i_{e}; \quad (2-4)$$

სადაც φ_{δ} - არის ძრავის აღზნების ნაკადის ფარდობითი ნაზრდის მნიშვნელობა დამყარებული (ბაზისური) რეჟიმის მიმართ.



ნახ. 2.4

თავის მხრივ გენერატორის ძაბვა ტოლია:

$$\varepsilon_b = \frac{K_b}{T_b p + 1} \cdot U_{\Sigma} \quad (2-5)$$

სადაც U_{Σ} - არის გენერატორის აღზნების გრაგნილზე მოდებული ძაბვის ფარდობითი ნაზრდი; T_b - აღზნების წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა; K_b - გენერატორის გადაცემის კოეფიციენტი, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს დამაგნიტების მრუდით და მანქანის საპასპორტო მონაცემებით.

ზოგჯერ მოხერხებულია ძრავის ძაბვების განტოლებაში ნაცვლად დენისა (I_{Σ}) გამოვიყენოთ ბრუნვის მომენტი (M) და გამოვსახოთ იგი ასე:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{T_{\Sigma}} \left[\beta_0 \cdot \left(\frac{1}{c_s} E_s - \omega_s \right) - M \right], \quad (2-6)$$

სადაც E_s - არის ძრავის მკეებავე გარდამსახის ემი; c_s - ძრავის პროპორციულობის კოეფიციენტი ($M = c_s \cdot I_{\Sigma}$); β_0 - ძრავის მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის მოდული, იგი ტოლია $\beta_0 = C_s^2 / R_{\Sigma}$; $T_{\Sigma} = L_{\Sigma} / R_{\Sigma}$ - ღუზის წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა; $L_{\Sigma} = L_s + L_{\Sigma}$, $R_{\Sigma} = R_s + R_{\Sigma}$ - ძრავის ღუზის წრედის სრული ინდუქტივობა და აქტიური წინაღობა; L_s და R_s - გარდამსახის ძალოვანი ნაწილის ინდუქტივობა და აქტიური წინაღობა.

იმისათვის, რომ ვისარგებლოთ (2-6)-ის ანალოგიური განტოლებით მრავალძრავიანი ამძრავისათვის აუცილებელია მივიღოთ დაშვება $R_s = 0$, მაშინ

$$\frac{dM_i}{dt} = \frac{1}{T_{\Sigma}} \left[\beta_i \left(\frac{U}{C_s} - \omega_i \right) - M_i \right], \quad i = \overline{1; n}. \quad (2-7)$$

ელექტროამძრავთა სიჩქარის რეგულირება შესაძლებელია გარდა ღუზაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლილებისა, აგრეთვე ძრავის ალგუნების ნაკადის ცვლილებით (ნახ. 1.10 და 1.11). ძრავის ალგუნების ნაკადისა (Φ_s) და დენის (I_s) ძაბვასთან დამოკიდებულების აღმწერ განტოლებებს აქვს შემდეგი სახე [37; 72]:

$$\begin{cases} U_{\Sigma} = R_{\Sigma} I_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI_{\Sigma}}{dt} + W_{\Sigma} \frac{d\Phi_s}{dt}; \\ I_{\mu} = I_{\Sigma} - \frac{W_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \cdot \frac{d\Phi_s}{dt}; \\ \Phi_s = f(I_{\mu}) \end{cases} \quad (2-8)$$

სადაც: W_{Σ} , R_{Σ} - არის ალგუნების გრაგნილის ხეიათა რიცხვი და აქტიური წინაღობა; L_{Σ} - ინდუქტივობაა, რომელიც ითვალისწინებს ფანტის ნაკადს; I_{μ} - მანქანის დამაგნიტების შტოს დენი; W_{Σ} , R_{Σ} - მანქანის გრიგალური კონტურის ხეიათა რიცხვი და აქტიური წინაღობა.

(2-8) განტოლებათა სისტემიდან მარტივი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ შემდეგ გადამცემ ფუნქციებს:

$$\left. \begin{aligned} i_{\text{ა}} &= \frac{T'_{\text{ა}} P + 1}{T_{\text{ა}} P + 1} \cdot U_{\text{ა}}; \\ \varphi_{\text{ა}} &= \frac{K_{\text{ა}}}{T'_{\text{ა}} P + 1} \cdot i_{\text{ა}}; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \quad (2-9)$$

$$\Rightarrow \varphi_{\text{ა}} = \frac{K_{\text{ა}}}{T_{\text{ა}} P + 1} \cdot U_{\text{ა}}, \quad (2-10)$$

სადაც $i_{\text{ა}}$, $U_{\text{ა}}$ და $\varphi_{\text{ა}}$ - არის ალგუნების დენის, ძაბვის და ნაკადის ფარდობითი ნაზრდები; $T'_{\text{ა}} = K_{\text{ა}} \cdot T_{\text{ა}}$; $T_{\text{ა}} = \frac{W_{\text{ა}} \cdot \Phi_{\text{ა}}}{R_{\text{ა}} \cdot I_{\text{ა}}}$ - გრიგალური დენების კონტურის დროის მუდმივა; $T_s = \frac{L_s}{R_{\text{ა}}} = \frac{W_{\text{ა}} \cdot \Phi_s}{R_{\text{ა}} \cdot I_{\text{ა}}}$ - ფანტეის ნაკადის შესაბამისი დროის მუდმივა; $\Phi_s = 0,7 \cdot \Phi_{\text{ა}}$; $T_{\text{ა}} = K_{\text{ა}} \cdot T_{\text{ა}} + T_{\text{ა}} + T_s$ - ალგუნების გრაგნილის ეკვივალენტური დროის მუდმივა; $K_{\text{ა}} = \alpha_1 \cdot I_{\text{ა}} / \Phi_{\text{ა}}$; $T_{\text{ა}} = 0,3 \cdot T_{\text{ა}}$; $T_{\text{ა}} = W_{\text{ა}} \cdot \Phi_{\text{ა}} / R_{\text{ა}} \cdot I_{\text{ა}}$ - ალგუნების გრაგნილის დროის მუდმივა.

§ 2.3. მრავალძრავიანი ავტომატიზებული ტირისტორული ელექტროამპრავების მათემატიკური მოდელები

მრავალძრავიანი ელექტროამპრავების მართვის სისტემებში, რომლებიც წარმოდგენილია 1.4, ა და ბ ნახ.-ზე ძრავების კვება წარმოებს ტირისტორული გარდამსახებიდან. რეალური ტირისტორული გარდამსახი წარმოადგენს წყვეტილი (იმპულსური) მოქმედების დანადგარს. უწყვეტი ტექნოლოგიური დანადგარების ამპრავებთან მომუშავე ტირისტორული გარდამსახები კი შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც უწყვეტი მოქმედების [20; 21; 67]. ასეთი დაშვება მისაღებია ვინაიდან განსახილველი ამპრავები უმეტესად მუშაობენ მუდმივი დატვირთვით, რაც უზრუნველყოფს გამართვების მუშაობას უწყვეტი დენების რეჟიმში. აქედან გამომდინარე გარდამსახისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი გადამცემი ფუნქციით:

$$\varepsilon_{\text{ბ}} = \frac{K_{\text{ბ}} \cdot e^{-\sigma}}{T_{\text{ბ}} \cdot P + 1} \cdot U_{\text{ბ}} - U_{\text{გ}} \approx \frac{K_{\text{ბ}}}{T_{\text{ბ}} \cdot P + 1} \cdot U_{\text{ბ}} - U_{\text{გ}}, \quad (2-11)$$

სადაც: ε_0 - არის ტირისტორული გამმართველის გამოშავალი ძაბვის ფარდობითი ნაზრდი; ρ_g - გამმართველის შესასვლელზე მიწოდებული მართვის სიგნალის ფარდობითი ნაზრდი; ρ_{Σ} - ქსელის ძაბვის რყევით მოქმედი შეშფოთების სიგნალი; $K_g = K_{\Sigma} \cdot U_{\Sigma} / E_{\Sigma}$ - გამმართველის გადაცემის კოეფიციენტი ბაზისური სიდიდეების გათვალისწინებით [37]; $T_0 = T_{\Sigma} + \tau$ - გამმართველის ეკვივალენტური დროის მუდმივა, რომელიც შეიცავს შესასვლელზე დაყენებული ფილტრის და საკუთრივ გარდამსახის ამოქმედების დაგვიანების დროის მუდმივებს.

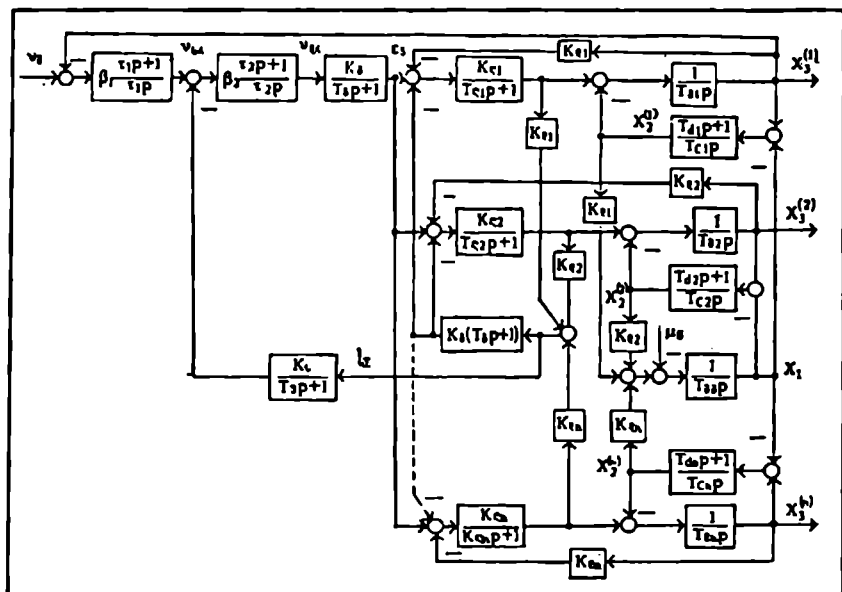
მრავალძრავიანი ამძრავის მართვის სისტემა, რომელიც წარმოადგენილია 1,4 ა ნახ. -ზე შეიცავს სინქარის და დენის რეგულატორებს. ტექნოლოგიური მანქანების ამძრავებისათვის აღნიშნული რეგულატორები, როგორც წესი, პროპორციულ-მინტეგრებელი ტიპისაა [10; 15]. სინქარის და დენის უკუკავშირების წრედებში ჩართული გადამწოდების გამოსასვლელებზე ხელშეშლელი სიგნალების გასაფილტრად დაყენებულია R-C ფილტრები, სინქარის გადამწოდის გადაცემის კოეფიციენტი აღებულია 1-ის ტოლად (ცვლადების ფარდობით ნაზრდებში ჩაწერის გამო), ხოლო დენის გადამწოდის გადაცემის კოეფიციენტი ტოლია $K_r = K_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma} / U_{\Sigma}$, სადაც I_{Σ} და U_{Σ} - შესაბამისად არის ძრავის დუზის დენის და მართვის სისტემის მოკარნახე (დავალეების) ძაბვის ბაზისური სიდიდეები (სტატიკაში).

(2-2), (2-3) და (2-11) განტოლებებითა და გადამცემი ფუნქციით 2.5-ე ნახ.-ზე აგებულია სინქარის ერთრეგულატორიანი და ერთი (საერთო) ტირისტორული გამმართველიანი მრავალძრავიანი ელექტროამძრავის სტრუქტურული მოდელი მექანიკური ლილვების დრეკადობათა გათვალისწინებით.

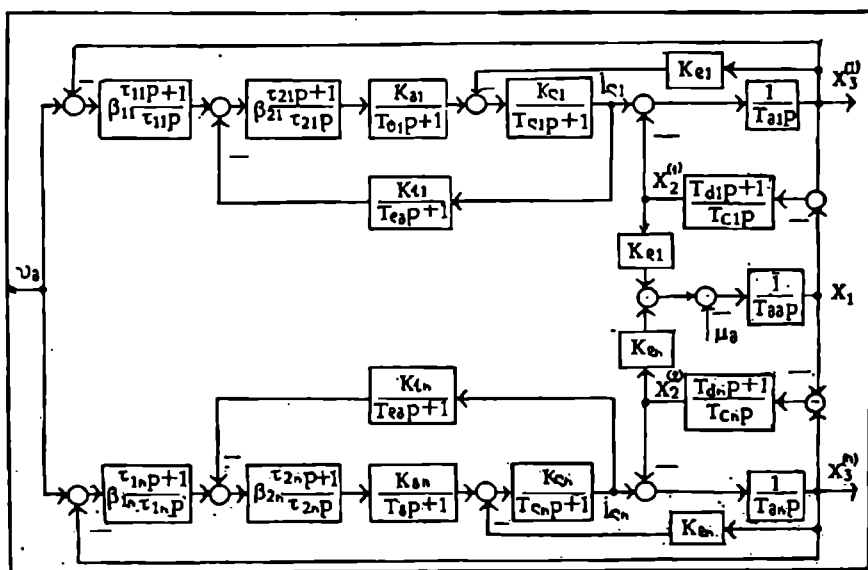
(2-2), (2-4) და (2-11) გამოსახულებებით 2.6-ე ნახ.-ზე აგებულია ინდივიდუალურრეგულატორებიანი და ტირისტორულ გამმართველებიანი მრავალძრავიანი ამძრავის სტრუქტურული სქემა დრეკადი ლილვების გათვალისწინებით. 2.7-ე ნახ.-ზე აგებულია სინქარის ერთრეგულატორიანი და ინდივიდუალურ ტირისტორულ გარდამსახებიანი მრავალძრავიანი ამძრავის სტრუქტურული სქემა. სქემაზე დენის კონტურები წარმოდგენილია გამარტივებული (ოპტიმისებული "მოდულის ოპტიმიზით") სახით [27].

როგორც ვიცით გრძივად-დამჭრელი ჩარხისათვის მთავარი ამძრავია რულონის დამხვევი მექანიზმის ელექტროამძრავი (ნახ. 1.7). მანამ სანამ განვიხილავთ უშუალოდ ამძრავის სტრუქტურული სქემის აგების თავისებურებებს განვსაზღვროთ დამხვევი მექანიზმის ინერციის მომენტის დროში ცვლილების კანონი.

დამხვევი მექანიზმებისათვის ამძრავის მოძრაობის განტოლება შეიძლება ჩაეწეროს შემდეგნაირად [57]:



Фиг. 2.5.



Фиг. 2.6

რულონის R_{κ} - რადიუსის ცვლილების კანონის მისაღებად დაეწყოთ რულონის მოცულობის გამოსახულებები. ერთის მხრივ იგი ტოლია

$$V = l \cdot h \cdot b', \quad (2-15)$$

სადაც $l = \nu \cdot t$ - ქაღალდის ტილოს გარბენის სიგრძეა დაზღის მუშაობისას, ν - ტილოს სინქარე; h - ქაღალდის სისქე.

რულონის მოცულობა სხვანაირად ასეც განისაზღვრება:

$$V = \pi(R_{\kappa}^2 - r^2) \cdot b' \quad (2-16)$$

(2-15) და (2-16)-დან მივიღებთ:

$$R_{\kappa}^2 = r^2 + \frac{\nu h}{\pi} \cdot t. \quad (2-17)$$

(2-17)-ის შეტანით (2-14)-ში მივიღებთ:

$$J_2 = (a + b)t / (c + d \cdot t) \quad (2-18)$$

სადაც: $a = qr^2$; $b = q/2\pi$; $q = \gamma R_{\kappa}^2 b \nu h / i_1^2$; $xc = r^2$; $d = \nu h / \pi$.

(2-18)-ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ (2-12)-ში ბოლო წევრი შეიძლება უგულებელვყოთ. ეს აიხსენება J_2 - ის მცირე ცვლილებით იმ დროის განმავლობაში, რა დროის ხანგრძლივობაც ესაჭიროება ამძრავის გარდამავალ პროცესს (სინქარის დარეგულირების დრო არ უნდა აღემატოს 1,2 წმ).

(2-18)-ის გათვალისწინებით (2-12) ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში იღებს შემდეგ სახეს:

$$\mu - \varphi = T_2(t) P \cdot \nu, \quad (2-19)$$

სადაც

$$T_2(t) = \frac{J_1 c p^2 + (a + d J_1) p + b}{P(c p + d)} \cdot \frac{\omega_2}{M_{\omega_2}}, \quad (2-20)$$

გამოსახულება მიღებულია J_2 -ის გაწრფივებით (ტილორის მწკრივის გამოყენებით); ω_2 - არის ძრავის სინქარე დამყარებულ (ბაზისურ) რეჟიმში; M_{ω_2} - დამხვევი მექანიზმის წინაღობის სტატიკური მომენტი დამყარებულ რეჟიმში; $\varphi = M_{\omega_2} / M_{\omega_2} = F_{\kappa} / F_{\kappa}$ - ქაღალდის ტილოს დაჭიმულობის ფარდობითი ნაზრდია; F_{κ} - დაჭიმულობის სტატიკური (ბაზისური) მნიშვნელობა.

ქაღალდის დამჭრელი დაზღის ამძრავის სტრუქტურული სქემის აგებისას ვისარგებლებთ 2.5-ე ნახ.-ზე მიღებული სქემით ($n = 2$ - სას). დამხვევის ამძრავი (ნახ. 1.7) აგრეთვე შეიცავს დასამუშავებელი ქაღალდის ტილოს დაჭიმულობის რეგულირების ორკონტურულ სქემას. მასში შემავალი ელემენტების გადამცემი ფუნქციები შემდგენიარად

განისაზღვრება. სამუხრუჭო გენერატორისათვის გადამცემი ფუნქცია ტოლია:

$$W_2(P) = \frac{i_{\infty}(P)}{\varepsilon_0(P) - \varepsilon_1(P)} = \frac{K_2}{T_{\infty}(P) + 1}, \quad (2-21)$$

სადაც i_{∞} , ε_0 და ε_1 - შესაბამისად არის გენერატორის ღუზის დენის, ტირისტორული გარდამსახის და გენერატორის ემპების ფარდობითი ნაწრდები; $K_2 = C_2 \omega_0 / (R_{\infty} \cdot I_{\infty})$ - გენერატორის გადამცემის კოეფიციენტი; $T_{\infty} = L_{\infty} / R_{\infty}$ - გენერატორის ღუზის გრაგნილის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა.

გენერატორის მოძრაობის ამსახველი გადამცემი ფუნქცია ტოლია:

$$W_3(P) = \frac{v_3(P)}{i_{\infty}(P)} = \frac{1}{T_3 P}, \quad (2-22)$$

სადაც $T_3 = \frac{J_3 \cdot \omega_3}{M_3}$ - არის სამუხრუჭო გენერატორის მექანიკური დრო-

ის მუდმივა; J_3 - გენერატორის ღუზის და მის ღერძთან დაკავშირებული რულონის გამშლელი მექანიზმის ჯამური ინერციის მომენტი; ω_3 - გენერატორის სინქარე ბაზისური რეჟიმის შესაბამისად; M_3 - გენერატორის სამუხრუჭო მომენტი დამყარებულ რეჟიმში.

ქაღალდის დაჭიმულობის ამსახველი რგოლის გადამცემი ფუნქცია შემდეგნაირად გამოისახება [30]:

$$W_{\infty}(P) = \frac{\varphi(P)}{v_1(P) - v_2(P)} = \frac{K_r}{T_r \cdot P + 1}, \quad (2-23)$$

სადაც φ , v_1 და v_2 - შესაბამისად არის ტილოს დაჭიმულობის, დამხევის ამპრავის და გამშლელთან დაკავშირებული სამუხრუჭო გენე-

რატორის სინქარეების ფარდობითი ნაწრდები; $K_r = \frac{F_{\infty} \cdot R_r}{M_3}$ - გადამცემის კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება გენერატორის სამუხრუჭო

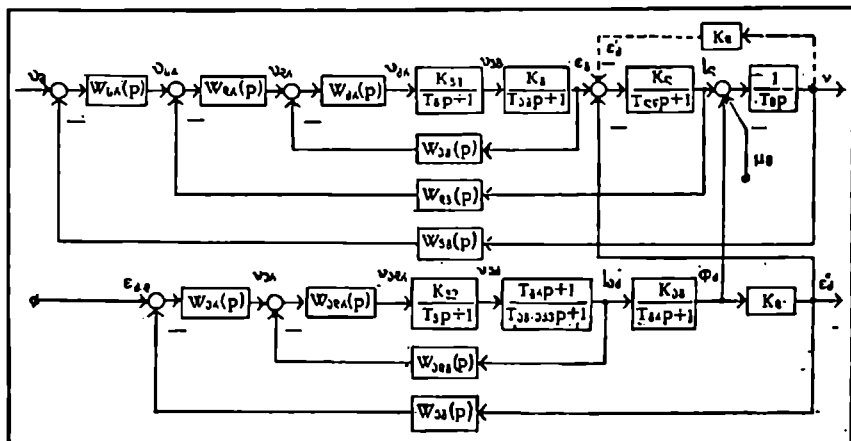
მომენტის (დაჭიმულობის) სიდიდით; $T_r = \frac{L}{v_1}$ - ქაღალდის დეფორმაციის

(დაჭიმვის) დროის მუდმივა; L - მანძილი, რომელსაც ქაღალდი გაირბენს გამშლელ და დამხევე მექანიზმებს შორის.

გარდა აღნიშნული კვანძებისა დამხევე მექანიზმის ელექტროამპრავის მართვის სისტემა შეიცავს გენერატორის ემპის და მისი ადგუნების დენის რეგულირების კონტურებს, რომელთა გადამცემი ფუნქციები (2-9) სისტემის ანალოგიურია. ამპრავის რეგულატორები ყველა

ვის აგრეთვე გამოიყენებთ სხვა ცნობილ ფუნქციებს [27]. 2.9-ე ნახ.-ზე აგებულია ბლუმინგის მთავარი ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა ეკვივალენტური ერთი გენერატორით. სქემა ითვალისწინებს ძრავის სინქარის რეგულირების კონტურებს როგორც ღუსაზე მიწოდებული ძაბვის, ისე ალგუნების ნაკადის ცვლილებით. სინქარის რეგულირების I ზონას ემსახურება სამი კონტური-გენერატორის ძაბვის, ღუსის დენის და ძრავის სინქარის, მათგან შიგა კონტურების რეგულატორები პი-ტიპისაა, ხოლო გარე-სინქარის კონტურისათვის გამოიყენება პ-ტიპის. სინქარის რეგულირების II ზონას ემსახურება ძრავის ალგუნების დენის და მისი ღუსის ემპ-ის კონტურები. ალგუნების კონტურის რეგულატორს როგორც წესი აქვს პი-ტიპის გადაძვევი ფუნქცია, ხოლო ემპ-ის რეგულატორი მაინტეგრებელია.

სორტული დგანის (დგან-320) ავტომატიზებული ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა (ნახ. 2.10) აიგება ბლუმინგის ამძრავის სქემის ანალოგიურად, განსხვავებას წარმოადგენს ის, რომ ძრავის ეკება ამ შემთხვევაში ნაცვლად გენერატორისა ხორციელდება ტირისტორული გარდამსახიდან (თანახმად ნახ. 1.9-სა). ამასთან დაკავშირებით ძრავის სინქარის რეგულირების I ზონაში გამოყენებულია მხოლოდ დენის და სინქარის რეგულირების კონტურები, II-ე ზონას კი ემსახურება ბლუმინგის ამძრავში გამოყენებული ალგუნების კონტურების ანალოგიური სქემა.

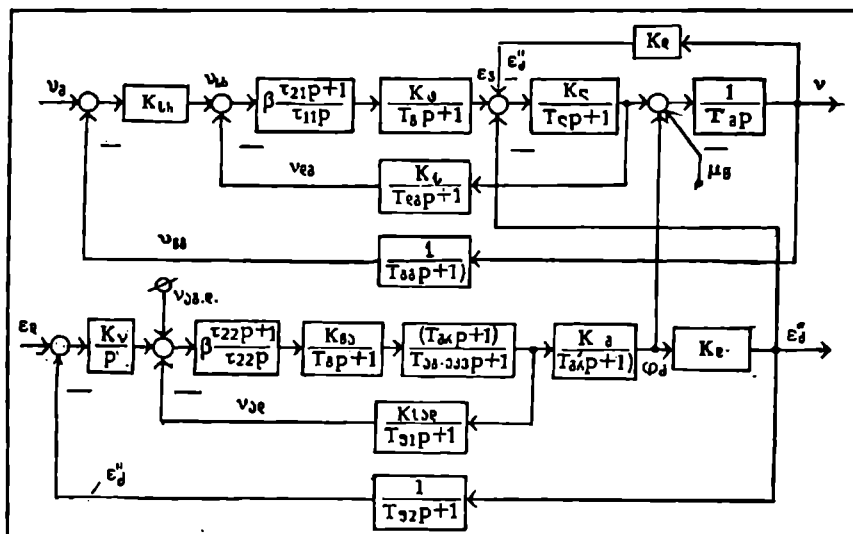


ნახ. 2.9

§ 2.4. მრავალძრავიანი ამძრავების სტრუქტურული სქემების ეკვივალენტობა გრაფების და მატრიცული გარდაქმნების მეთოდებით

წინა პარაგრაფში აგებული მრავალძრავიანი ელექტროამძრავების მართვის სისტემები რთულია და მათი ანალიზისათვის საჭიროა საწ-

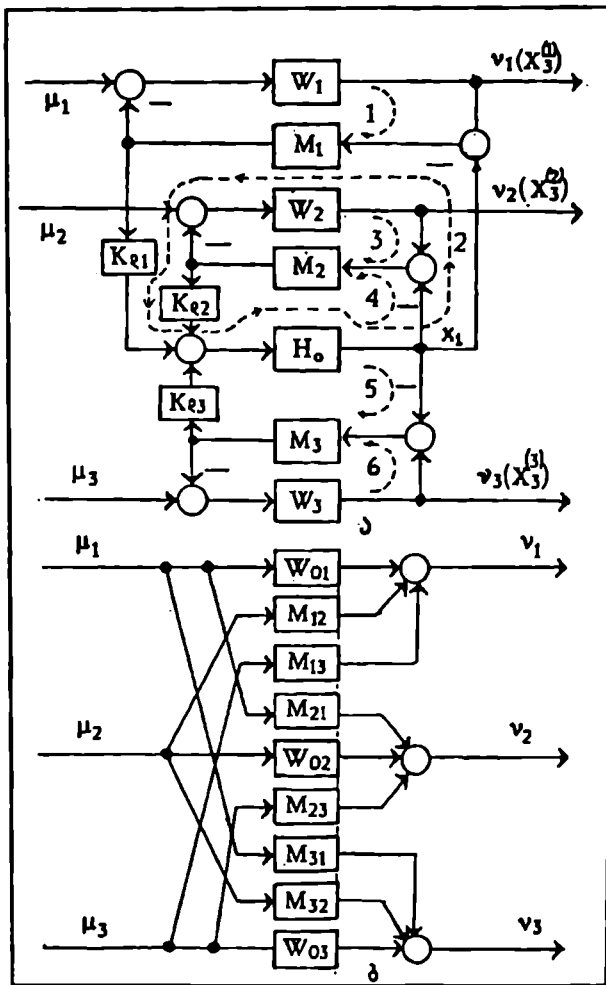
ყისი სტრუქტურული სქემების (ნახ. 2.5 და 2.6) გარდაქმნა ისე, რომ შესაძლებელი გახდეს ცალკეული რეგულარების კონტურის ან მთლიანად სისტემის საერთო გადამცემი ფუნქციის გამოყენება (ეკვივალენტირება). ეკვივალენტირების ნატარებისას ვისარგებლებთ მხოლოდ სისტემაზე მართვის უემოქმედების არსებობით, შეშფოთების უემოქმედებებს ნაეთელით ნულის ტოლად. ასეთი მიდგომა სქემების გარდაქმნისას მართვის თეორიაში ფართოდ გამოიყენება [20; 74].



ნახ. 2.10

განვიხილოთ ჯერ სინქარის ერთრეგულატორიანი და საერთო ტირისტორულ გარდამსახიანი ამძრავის (ნახ. 2.5) სტრუქტურული სქემის გარდაქმნა. აღნიშნული სქემა არ მიეკუთვნება სიმეტრიულ სისტემათა რიცხვს, რის გამოც მისი ეკვივალენტრებისათვის ვისარგებლებთ მეისონის გრაფების მეთოდით [62]. იმის გამო, რომ განსახილველი სქემა შეიცავს მრავალ კონტურსა და რგოლს, ამიტომ გარდაქმნებს განვახორციელებთ მისი ცალკეული ნაწილებისათვის ცალ-ცალკე. გარდაქმნები განვიხილოთ სამძრავიანი ამძრავის სქემის მაგალითზე.

თავდაპირველად განვიხილოთ სამძრავიანი ამძრავის მექანიკური სისტემის სტრუქტურული სქემის გარდაქმნა ნახ. 2.11, ა-ს მიხედვით (იგი შედგენილია 2.3-ე ნახ.-ზე აგებული სქემის საფუძველზე). სქემა შედგება ექვსი კონტურისაგან (იხ. წყვეტილი წირებით). მეისონის გრაფების წესის შესაბამისად სისტემის საერთო გადამცემი ფუნქციის მისაღებად μ_1 - სიგნალიდან v_1 - სიგნალისაკენ უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით:



ნახ. 2.11

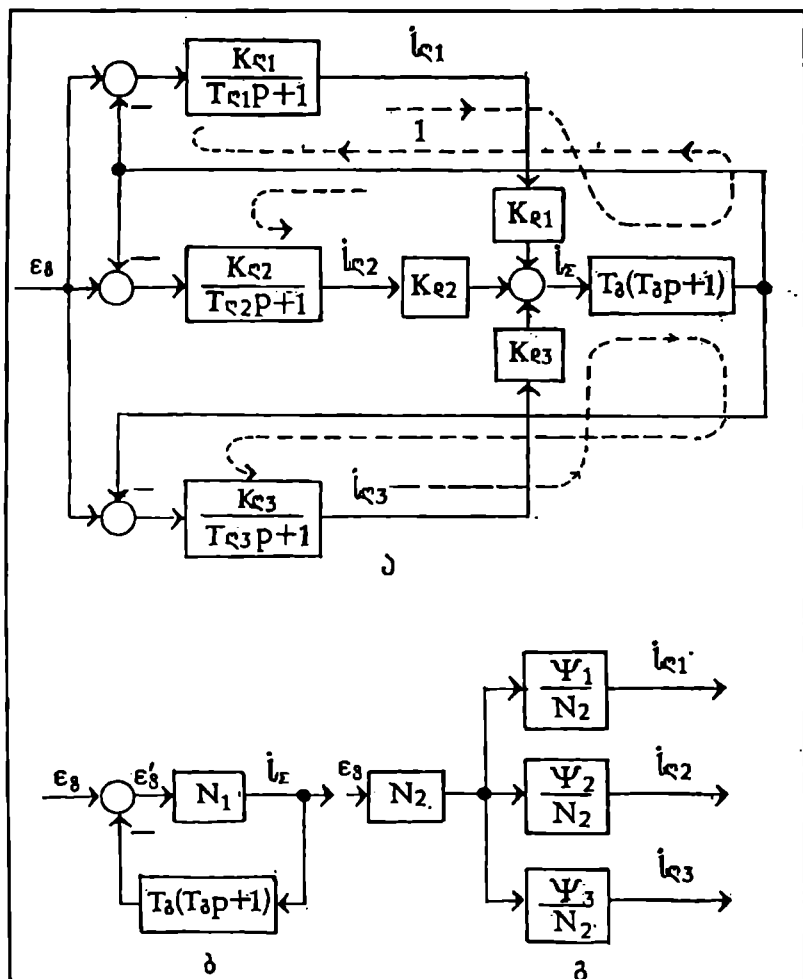
$$W_{0i}(P) = \frac{v_i(P)}{\mu_i(P)} = W_i \left[1 - \sum_{j=2}^6 Q_j + Q_2(Q_3 + Q_6) + Q_3(Q_3 + Q_6) - Q_3 Q_6 - Q_3 Q_6 Q_6 \right] / Q(P), \quad (2-24)$$

სადაც $W_i = 1/T_{0i}P$ არის μ_i - სიგნალიდან v_i - კენ პირდაპირი გზის გადამცემი ფუნქცია; Q_j - ცალკეული კონტურების საერთო გადამცემი ფუნქციებია (ჩაწერილი გახსნილწრედიანი პრინციპით).

$$Q_1 = -W_1 M_1 = -\frac{T_{a1} P + 1}{T_{a1} T_{c1} P^2}; \quad Q_2 = -K_{\varepsilon 1} H_0 M_1 = -\frac{K_1 (T_{\varepsilon 1} P + 1)}{T_{a1} T_{c1} P^2};$$

$$Q_3 = -W_2 M_2 = -\frac{T_{a2} P + 1}{T_{a2} T_{c2} P^2}; \quad Q_4 = -K_{\varepsilon 2} H_0 M_2 = -\frac{K_{\varepsilon 2} (T_{\varepsilon 2} P + 1)}{T_{a2} T_{c2} P^2};$$

$$Q_5 = -K_{\varepsilon 3} H_0 M_3 = -\frac{K_{\varepsilon 3} (T_{\varepsilon 3} P + 1)}{T_{a3} T_{c3} P^2}; \quad Q_6 = -W_3 M_3 = -\frac{T_{a3} P + 1}{T_{a3} T_{c3} P^2}.$$



Бод. 2.12

$$Q(P) = 1 - \sum_{i=1}^6 Q_i + Q_1 \sum_{i=2}^6 Q_i + Q_1(Q_2 + Q_6) - Q_1(Q_2 Q_3 + Q_1 Q_6) + Q_2(Q_3 + Q_6) + Q_1 Q_6.$$

(2-24)-ის ანალოგიურად შეიძლება მივიღოთ გადამცემი ფუნქციები:

$$W_{02}(P) = \frac{\nu_2(P)}{\mu_2(P)} = W_2 \left[1 - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 2,3}}^6 Q_i + Q_1 Q_3 + Q_1 \sum_{i=4}^6 Q_i + Q_6(Q_2 + Q_1) - Q_1 Q_2 Q_6 \right]; \quad (2-25)$$

$$= \frac{\quad}{Q(P)}$$

$$W_{03}(P) = \frac{\nu_3(P)}{\mu_3(P)} = W_3 \left[1 - \sum_{i=1}^3 Q_i + Q_2(Q_1 + Q_3) + Q_1(Q_3 + Q_1) - Q_1 Q_2 Q_3 \right] \quad (2-26)$$

$$= \frac{\quad}{Q(P)}$$

2.11,ბ ნახ.-ზე აგებულია გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემა. სქემაზე ჯვარედინი კავშირების რგოლების გადამცემი ფუნქციები განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებებით:

$$M_{12}(P) = \frac{\nu_1(P)}{\mu_2(P)} = \frac{W_2 M_2 K_{\rho_2} H_0 W_1 M_1 (1 - Q_6)}{Q(P)} \quad (2-27)$$

$$M_{13}(P) = \frac{\nu_1(P)}{\mu_3(P)} = \frac{W_3 M_3 K_{\rho_3} H_0 W_1 M_1 (1 - Q_3)}{Q(P)}; \quad (2-28)$$

$$M_{21}(P) = \frac{\nu_2(P)}{\mu_1(P)} = \frac{W_1 M_1 K_{\rho_1} H_0 W_2 M_2 (1 - Q_6)}{Q(P)}; \quad (2-29)$$

$$M_{23}(P) = \frac{\nu_2(P)}{\mu_3(P)} = \frac{W_3 M_3 K_{\rho_3} H_0 W_2 M_2 (1 - Q_1)}{Q(P)}; \quad (2-30)$$

$$M_{31}(P) = \frac{\nu_3(P)}{\mu_1(P)} = \frac{W_1 M_1 K_{\rho_1} H_0 W_3 M_3 (1 - Q_3)}{Q(P)}; \quad (2-31)$$

$$M_{32}(P) = \frac{\nu_3(P)}{\mu_2(P)} = \frac{W_2 M_2 K_{\rho_2} H_0 W_3 M_3 (1 - Q_1)}{Q(P)}. \quad (2-32)$$

განსახილველი ამძრავის სრული მათემატიკური მოდელის გარდაქმნის მიზნით საჭიროა ამ ეტაპზე გამოვიყენოთ ძალოვანი ელექტრული ნაწილის შესაბამისი საერთო გადამცემა ფუნქციები. ვისარგებლოთ 2.4-ე ნახ.-ზე აგებული სქემის შესაბამისი 2.12, ა ნახ.-ზე მოყვანილი სქემით ($n=3$ - თვის). სქემა შეიცავს სამ კონტურს, რომელთა გამოყენებით მივიღებთ გარდაქმნილ სქემებს (ნახ. 2.12, ბ და 2.12, გ). მიღებულ სქემებზე გვაქვს რგოლები შემდეგი ფუნქციებით:

$$N_1(P) = \frac{i_z(P)}{\varepsilon_0(P)} = \sum_{i=1}^3 \frac{K_{\kappa} K_{\kappa'}}{T_{\kappa} P + 1}. \quad (2-33)$$

$$N_2(P) = \frac{i_z(P)}{\varepsilon_0(P)} = \frac{N_1(P)}{1 + k_{\delta} (T_{\delta} P + 1) N_1(P)} = \frac{A(P)}{B(P)}, \quad (2-34)$$

სადაც

$$A(P) = \sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} \cdot \frac{\prod_{i=1}^3 (T_{\kappa} P + 1)}{T_{\kappa} P + 1}; \quad (2-35)$$

$$B(P) = \prod_{i=1}^3 (T_{\kappa} P + 1) + K_{\delta} (T_{\delta} P + 1) \cdot \sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} \frac{\prod_{i=1}^3 (T_{\kappa} P + 1)}{T_{\kappa} P + 1}.$$

გამოთვლების ნატარებისას (2-34) უმჯობესია წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად:

$$N_2(P) = \frac{K_0 (a_0 P^2 + a_1 P + a_2)}{b_0 P^3 + b_1 P^2 + b_2 P + b_3}, \quad (2-37)$$

სადაც:

$$K_0 = 1 / \left(1 + K_{\delta} \sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} \right); \quad a_0 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{K_{\kappa} K_{\kappa'}}{T_{\kappa}} \prod_{i=1}^3 T_{\kappa'} \right);$$

$$a_1 = \sum_{i=1}^3 \sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} (T_{\kappa} - T_{\kappa'}); \quad a_2 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{K_{\kappa} K_{\kappa'}}{T_{\kappa}} \prod_{i=1}^3 T_{\kappa'} \right);$$

$$b_0 = K_0 \left(K_{\delta} T_{\delta} \sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} \frac{\prod_{i=1}^3 T_{\kappa}}{T_{\kappa}} + \prod_{i=1}^3 T_{\kappa} \right);$$

$$b_1 = K_0 \left\{ K_{\delta} T_{\delta} \left[\sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} \left(\sum_{i=1}^3 T_{\kappa} - T_{\kappa} \right) \right] + K_{\delta} \sum_{i=1}^3 K_{\kappa} K_{\kappa'} \frac{\prod_{i=1}^3 T_{\kappa}}{T_{\kappa}} + \prod_{i=1}^3 T_{\kappa} + \right.$$

$$+ \sum_{i=1}^3 T_{\sigma} \left(\sum_{i=1}^3 T_{\sigma} - T_{\sigma} \right) \};$$

$$b_1 = K_0 \left\{ K_0 \left[T_0 \sum_{i=1}^3 K_{\sigma} K_{\sigma} + \sum_{i=1}^3 K_{\sigma} K_{\sigma} \left(\sum_{i=1}^3 T_{\sigma} - T_{\sigma} \right) \right] + \sum_{i=1}^3 T_{\sigma} \right\}.$$

ცალკეული ძრავის ღუნის დენის (i_1 , i_2 და i_3) მიმართ გადამცემაში ფუნქციები ტოლი იქნება:

$$\Psi_i(P) = \frac{i_i(P)}{\varepsilon_0(P)} = \frac{K_{\sigma} \prod_{i=1}^3 (T_{\sigma} P + 1)}{(T_{\sigma} P + 1) B(P)}, \quad i = \overline{1;3} \quad (2-38)$$

თუ დავუშვებთ, რომ ძრავების სინქარის რეგულირება წარმოებს მხოლოდ მათ ღუნაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლით, მაშინ სამართლიანია დაეწეროთ $\mu_i = i_i$, რაც საფუძველს გვაძლევს 2.11,ბ ნახ. და 2.12,გ ნახ.-ზე მოყვანილი სქემები გაეაერთიანოთ. შესაბამისად მივიღებთ მრავალძრავიანი ($n=3$) ამძრავის ძალოვანი ელექტრომექანიკური სისტემის გარდაქმნილ სტრუქტურულ სქემას (ნახ. 2.13, ა).

ვინაიდან მიღებული სქემა წარმოადგენს მრავალკავშირიანს, ამიტომ მისი გარდაქმნისათვის ვისარგებლებთ მსგავსი სისტემებისათვის ცნობილი ხერხებით [60]. ცალკეული არხების ლოკალიზებისათვის საკმარისია გაითვალისწინოთ მხოლოდ ის ჯვარედინი კავშირები, რომლებიც განსახილველ არხში შემოდის უშუალოდ მესობელი არხებიდან. მესობელი არხებიდან გამომავალი ჯვარედინი კავშირების განშტოების წერტილთა გადატანით განსახილველ i -ურ არხში (ნახ. 2.13, ბ) ადვილად მივიღებთ ამძრავის საბოლოო გარდაქმნილ სქემას (ნახ. 2.13, გ). მიღებული სქემაზე გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები:

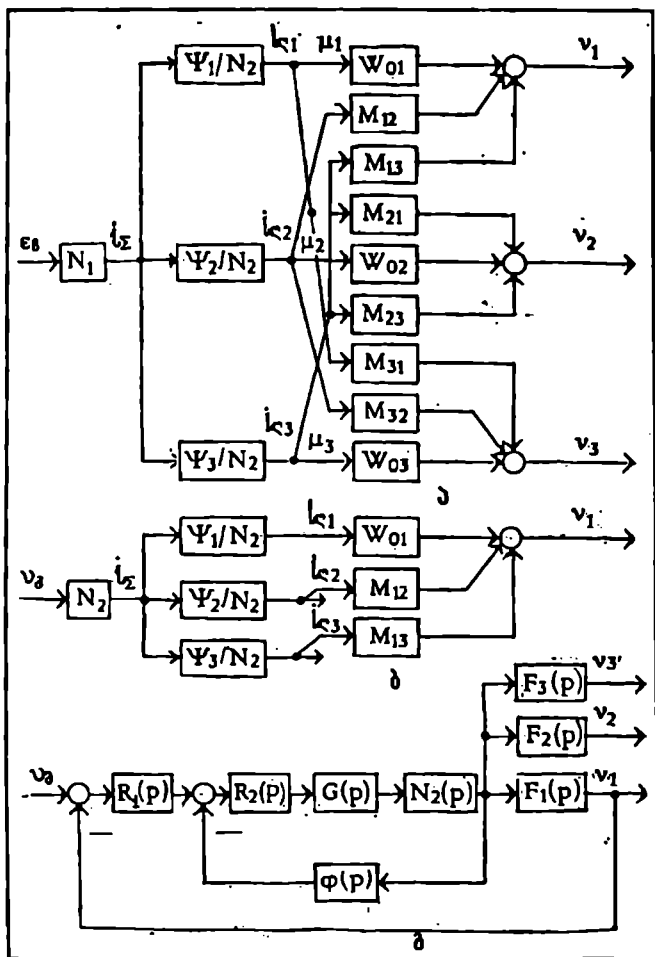
$$F_1(P) = \frac{\Psi_1 W_{01} + \Psi_2 M_{12} + \Psi_3 M_{13}}{N_1}; \quad (2-39)$$

$$F_2(P) = \frac{\Psi_2 W_{02} + \Psi_1 M_{21} + \Psi_3 M_{23}}{N_2}; \quad (2-40)$$

$$F_3(P) = \frac{\Psi_3 W_{03} + \Psi_2 M_{32} + \Psi_1 M_{31}}{N_3}. \quad (2-41)$$

განვიხილოთ ინდივიდუალურ რეგულატორებიანი და ტირისტორულ გარდამსახებიანი მრავალძრავიანი ამძრავის (ნახ. 2.6) სქემის გარდაქმნა, ვინაიდან განსახილველი სისტემაც მრავალკავშირიანია, ამიტომ სქემის გარდაქმნის ეტაპებს და საერთო გადამცემაში ფუნქციების ჩაწერას კომპაქტურობის მიზნით ვაწარმოებთ მატრიცული ფორმებით [23; 34].

განსახილველი ამძრავის დენის კონტურები მივიღოთ ოპტიმიზებული ფუნქციის სახით [36], მათ გადამცემ ფუნქციას მატრიცულ სახეში ასე ჩაეწეროს:



ნახ. 2.13

$$S = \frac{1}{2T_{\Sigma 2}P + 1} \cdot K_0, \quad (2-42)$$

სადაც K_0 - არის n რიგის დიაგონალური მატრიცა, იგი ტოლია:

$$K_0 = \text{diag} \left[\frac{1}{K_{11}}, \dots, \frac{1}{K_{nn}} \right]; \quad T_{\Sigma 2} - \text{დენის კონტურის გაუკომპენსირებელი}$$

დროის მუდმივა; K_{11}, \dots, K_{nn} - დენის კონტურების უკუკაეშირების გადაცემის კოეფიციენტები (ფარდობითი ჩაწერის შესაბამისად).

სინქარის რეგულატორებისათვის ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$R = \text{diag}[W_{11}(P) \cdots W_{nn}(P)], \quad (2-43)$$

სადაც $W_{ii}(P) = \beta_{ii} \frac{\tau_{ii} P + 1}{\tau_{ii} P}$, $i = \overline{1, n}$ - არის სინქარის რეგულატორის გამცემი ფუნქცია.

(2-1) განტოლებათა სისტემა მრავალძრავიანი ამპრავისათვის მატრიცულ სახეში შემდეგნაირად შეიძლება წარმოვადგინოთ:

$$\begin{cases} \mu - \mu_{\text{გ}} = T_3 \cdot P \cdot v; \\ K_{\text{გ}} \mu_{\text{გ}} - \mu_3 = T_{33} P v_3; \\ \mu_{\text{გ}} = L(v - \Lambda \cdot v_3) \end{cases} \quad (2-44)$$

სადაც: μ , $\mu_{\text{გ}}$, v და v_3 - შესაბამისი ცვლადების სვეტ-მატრიცებია;

$$T_3 = \text{diag}[T_{31}, T_{32}, \dots, T_{3n}];$$

$$L = \text{diag} \left[\frac{T_{31} P + 1}{T_{c1} P} \cdots \frac{T_{3n} P + 1}{T_{cn} P} \right];$$

$$K_{\text{გ}} = [K_{\text{გ}1} \cdots K_{\text{გ}n}]; \quad \Lambda - \text{ერთეულოვანი სვეტ-მატრიცაა.}$$

(2-44)-ით და 2.13, ა ნახ.-ის მიხედვით შეიძლება ჩაეწეროს:

$$v = (W_0 + M) \mu, \quad (2-45)$$

სადაც $W_0 = \text{diag}[W_{01} \cdots W_{0n}] - n \times n$ 'სომის დიაგონალური მატრიცაა;

$$M = \begin{bmatrix} 0 & M_{12} & M_{13} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & 0 & M_{23} & \cdots & M_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ M_{n1} & M_{n2} & M_{n3} & \cdots & 0 \end{bmatrix};$$

(2-42), (2-43) და (2-45) გამოსახულებების მიხედვით ნახ. 2.14-ზე აგებულია ინდივიდუალურ რეგულატორებიანი მრავალძრავიანი ამპრავის მატრიცულ-სტრუქტურული სქემა (μ შეცვლილია $i_{\text{გ}}$ ით).

(2-45)-ში შემავალი $(W_0 + M)$ -მატრიცა განისაზღვრება (2-44) განტოლებათა სისტემის ოპერატორებით შემდეგნაირად:

$$W_0 + M = \left\{ \left[(T_{33} \cdot P)^{-1} \cdot L \cdot \Lambda \cdot K_{\text{გ}} + E \right]^{-1} \cdot L + T_3 P \right\}^{-1} \quad (2-46)$$

იმავდროულად:

$$W_0 + M = \begin{bmatrix} W_{01} & M_{12} & M_{13} & M_{1n} \\ M_{21} & W_{02} & M_{23} & M_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{n1} & M_{n2} & M_{n3} & W_{0n} \end{bmatrix}. \quad (2-47)$$

(2-46)-ის გამოსათვლელად საჭიროა განვსაზღვროთ შემდეგი მატრიცა:

$$V = \frac{1}{T_m P} \cdot L \Delta K_{\Sigma} + E = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & v_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2-48)$$

სადაც

$$v_{iq} = \begin{cases} \frac{1}{T_m} \cdot K_{\Sigma} \cdot \frac{T_m P + 1}{T_m P} + 1, & (i = q); \\ \frac{1}{T_m P} \cdot K_{\Sigma} \cdot \frac{T_m P + 1}{T_m P}, & (i \neq q). \end{cases} \quad (2-49)$$

(2-48)-ის შებრუნებული შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$V^{-1} = \frac{1}{\det V} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{21} & V_{n1} \\ V_{12} & V_{22} & V_{n2} \\ \dots & \dots & \dots \\ V_{1n} & V_{2n} & V_{nn} \end{bmatrix}. \quad (2-50)$$

(2-50)-ში ყოველი V_{iq} - ელემენტი წარმოადგენს (2-48)-ში შემავალი V_{iq} - ელემენტის ალგებრულ დამატებას, რომელიც თავის მხრივ ტოლია:

$$V_{iq} = (-1)^{i+q} \cdot \det \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1,q-1} & v_{1,q+1} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2,q-1} & v_{2,q+1} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i-1,1} & v_{i-1,2} & \dots & v_{i-1,q-1} & v_{i-1,q+1} & \dots & v_{i-1,n} \\ v_{i+1,1} & v_{i+1,2} & \dots & v_{i+1,q-1} & v_{i+1,q+1} & \dots & v_{i+1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{n,q-1} & v_{n,q+1} & \dots & v_{nn} \end{bmatrix} \quad (2-51)$$

(2-47)-ის შებრუნებული მატრიცა აღნიშნოთ შემდეგნაირად:

$$F = V^{-1} \cdot L + T_0 p = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & f_{n1} \\ f_{12} & f_{22} & f_{2n} \\ f_{1n} & f_{2n} & f_{nn} \end{bmatrix} \quad (2-52)$$

სადაც

$$f_{iq} = \begin{cases} \frac{1}{\det V} \cdot \frac{T_u p + 1}{T_u p} \cdot V_u + T_0 p, & (i = q); \\ \frac{1}{\det V} \cdot \frac{T_u p + 1}{T_u p} \cdot V_{q'}, & (i \neq q). \end{cases} \quad (2-53)$$

საბოლოოდ, (2-46) მატრიცა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$W_0 + M = F^{-1} = \frac{1}{\det F} \cdot \begin{bmatrix} F_{11} & F_{21} & F_{n1} \\ F_{12} & F_{22} & F_{2n} \\ F_{1n} & F_{2n} & F_{nn} \end{bmatrix} \quad (2-54)$$

(2-54)-ის ყოველი F_{iq} ელემენტი წარმოადგენს (2-52)-მატრიცის f_{iq} ელემენტის შესაბამის ალგებრულ დამატებას.

(2-47) და (2-54) მატრიცების გატოლებით აღვიღად მივიღებთ 2.14-ე ნახაზზე ნაჩვენები W_0 და M რგოლების გადამცემ ფუნქციებს:

$$W_{0i} = \frac{1}{\det F} \cdot F_{ii} = \frac{1}{\det F} \cdot \det \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{1,1-1} & f_{1,1+1} & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{2,1-1} & f_{2,1+1} & f_{2n} \\ f_{i-1,1} & f_{i-1,2} & f_{i-1,1-1} & f_{i-1,1+1} & f_{i-1,n} \\ f_{i+1,1} & f_{i+1,2} & f_{i+1,1-1} & f_{i+1,1+1} & f_{i+1,n} \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n,1-1} & f_{n,1+1} & f_{nn} \end{bmatrix}; \quad (2-55)$$

$$M_{\eta} = \frac{1}{\det F} \cdot F_{\eta} =$$

$$= \frac{(-1)^{i+q}}{\det F} \cdot \det \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{1,i-1} & f_{1,i+1} & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{2,i-1} & f_{2,i+1} & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{q-1,1} & f_{q-1,2} & f_{q-1,i-1} & f_{q-1,i+1} & f_{q-1,n} \\ f_{q+1,1} & f_{q+1,2} & f_{q+1,i-1} & f_{q+1,i+1} & f_{q+1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n,i-1} & f_{n,i+1} & f_{nn} \end{bmatrix}. \quad (2-56)$$

(2-55) და (2-56)-ის საფუძველზე ორძრავიანი ამძრავისათვის სა-
მართლიანია:

$$\left. \begin{aligned} W_{01}(P) &= \frac{\nu_1(p)}{\mu_1(p)} = \frac{B_1(p)}{A(p)}; \\ W_{02}(P) &= \frac{\nu_2(p)}{\mu_2(p)} = \frac{B_2(p)}{A(p)}; \\ M_{12}(P) &= \frac{\nu_1(p)}{\mu_2(p)} = \frac{C_1(p)}{A(p)}; \\ M_{21}(P) &= \frac{\nu_2(p)}{\mu_1(p)} = \frac{C_2(p)}{A(p)}. \end{aligned} \right\} \quad (2-57)$$

სადაც:

$$A(P) = P \sum_{i=0}^1 a_{i-1} P^i; \quad (2-58)$$

$$B_1(P) = \sum_{i=0}^1 b_{1-i} P^i \quad (2-59)$$

$$B_2(P) = \sum_{i=0}^1 b'_{1-i} P^i \quad (2-60)$$

$$C_1(p) = K_{\kappa 2} [T_{d1} T_{d2} P^2 + (T_{d1} + T_{d2})p + 1] \quad (2-61)$$

$$C_2(p) = K_{\kappa 1} [T_{d1} T_{d2} P^2 + (T_{d1} + T_{d2})p + 1] \quad (2-62)$$

$$\left\{ \begin{aligned} a_0 &= T_{a1} T_{a2} T_{a3} T_{c1} T_{c2}; \\ a_1 &= T_{a3} (T_{a1} T_{c1} T_{a2} + T_{a2} T_{c1} T_{a1}) + T_{a1} T_{a2} (K_{e1} T_{a1} T_{c1} + K_{e2} T_{a2} T_{c1}); \\ a_2 &= T_{a3} (T_{a1} T_{c1} + T_{a2} T_{c2}) + T_{a1} T_{a2} (K_{e1} T_{c1} + K_{e2} T_{c1}) + T_{a2} T_{a1} T_{a1}; \\ a_3 &= T_{a3} (T_{a1} + T_{a2}); \\ a_4 &= T_{a3}; \end{aligned} \right. \quad (2-63)$$

$$\left\{ \begin{aligned} b_0 &= T_{a2} T_{a3} T_{c1} T_{c2}; \\ b_1 &= T_{a2} K_{e1} T_{a1} T_{c2} + K_{e2} (T_{a3} + T_{a2}) T_{a1} T_{c1}; \\ b_2 &= (K_{e2} T_{a2} + T_{a3}) T_{c1} + K_{e1} (T_{a2} T_{c1} + T_{a1} T_{a2}); \\ b_3 &= K_{e1} (T_{a2} + T_{a1}); \\ b_4 &= K_{e1}; \end{aligned} \right. \quad (2-64)$$

$$\left\{ \begin{aligned} b'_0 &= T_{a1} T_{a2} T_{c1} T_{c2}; \\ b'_1 &= T_{a1} K_{e2} T_{a2} T_{c1} + K_{e1} (T_{a3} + T_{a1}) T_{a1} T_{c2}; \\ b'_2 &= (K_{e1} T_{a1} + T_{a3}) T_{c2} + K_{e2} (T_{a1} T_{c1} + T_{a1} T_{a2}); \\ b'_3 &= K_{e2} (T_{a2} + T_{a1}); \\ b'_4 &= K_{e2}; \end{aligned} \right. \quad (2-65)$$

§ 2.5. მექანიკური და ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკური დატვირთვების მინიმუმაციისა და რაციონალური სტრუქტურული სქემების გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდები

მაღალმწარმოებლური, მცირე ლითონშემცველობისა და ხანგამძლე მანქანებისა და მექანიზმების შექმნა თანამედროვე მეცნიერების უაღრესად მნიშვნელოვანი პრობლემაა.

თანამედროვე მანქანებისა და მექანიზმების მწარმოებლობა დიდადაა დამოკიდებული მათი მუშა კვანძების მოძრაობის სინქარზე, გარდამავალი რეჟიმების ხანგრძლივობაზე, მინიმალურ ტექნოლოგიურ ციკლზე, ტრანსმისიის ელემენტების სიხისტესა და სიმტკიცეზე და სხვა მსგავს მახასიათებლებზე.

სავალალოდ დღეისათვის სამანქანო აგრეგატების ძირითადი კვანძების, კერძოდ ტრანსმისიის ელემენტების პარამეტრების გაანგარიშება სწარმოებს უმთავრესად ენერგოქალური პარამეტრებისა და მარაგის კოეფიციენტის მნიშვნელობათა გათვალისწინებით მანქანების დინამი-

კური მახასიათებლების, განსაკუთრებით გარდამავალი (რხევეითი) რეჟიმების მხედველობაში მიუღებლად [1-2].

გადაჭარბებული მნიშვნელობის მარაგის კოეფიციენტის შერჩევა იწვევს მძიმე და მასიური მანქანების დაგეგმარებას და შესაბამისად ლითონის გაუმართლებელ გადახარჯვას. თუ ეს კოეფიციენტი დასაშვებზე ნაკლები აღმოჩნდება, მაშინ მანქანების ავარიული რეჟიმები გარდაუვალი იქნება [7-8].

თანამედროვე წარმოება, განსაკუთრებით მძიმე მანქანების ინდუსტრია დღეისათვის განიცდის უდიდეს მატერიალურ ზარალს მანქანებისა და მექანიზმების საპასუხისმგებლო ნაწილების დაღლილობითი ხასიათის მსხვერველთა გამო. ძირითადი მიზეზები ასეთი ავარიებისა მდგომარეობს იმ შეცდომებში, რასაც უშვებენ კონსტრუქტორ-ინჟინრები მანქანა-აგრეგატების დაგეგმარების საწყის სტადიაზე და განპირობებულია მათი კონსტრუქციული და დინამიკური პარამეტრების (კერძოდ სიხისტეებისა და ინერციის მასების) მნიშვნელობათა არამეცნიერული შერჩევით, რაც თავის მხრივ ეფუძნება მექანიკურ სისტემებში რეალური დინამიკური (უმეტესად რხევეითი) პროცესების გაუთვალისწინებლობას [40, 58].

ჩვენს ხელთ არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დასტურდება, რომ მეტალურგიული მანქანების ავარიული რეჟიმების 70%-ზე მეტი გამოწვეულია მათ მექანიკურ და ელექტრომექანიკურ სისტემებში აღძრული შიგარე-სონანსული რეჟიმებით, რაც ღრეკადი რხევების ცემითა ხასიათს ატარებს და ტრანსმისიის ელემენტების დაღლილობით მსხვერველებს იწვევს [2; 7; 8].

ცნობილია, რომ რხევათა ცემა მექანიკურ სისტემებში უმთავრესად აღიძვრება სისტემის უმდაბლესი საკუთარი სიხშირეების მნიშვნელობათა ერთმანეთთან მიახლოებისას და რაც უფრო ახლოა ეს სიხშირეები, მით უფრო მწვავეა რხევათა ცემის უარყოფითი ეფექტი. სისტემის უმდაბლეს სიხშირეთა მაქსიმალური თანმთხვევა კონსტრუქციის უსწრაფეს მსხვერველს იწვევს.

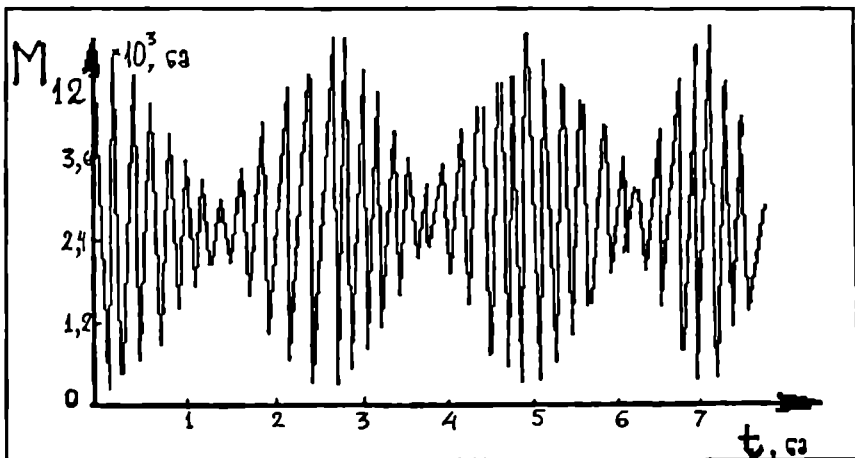
ორი თავისუფლების ხარისხის მქონე გრეხით მექანიკურ სისტემაში რხევათა ცემის (შიგა რეზონანსის) სურათი საკუთარ რხევათა სიხშირეების ტოლობისას ($\beta_1 = \beta_2$) ნაჩვენებია 2.14 ნახაზზე.

საეღალლოდ რხევათა ცემის აღნიშნული ნეგატიური ეფექტი მრავალი ინჟინერ-კონსტრუქტორისათვის უცნობია და ისინი უგულებელყოფენ ამ მოვლენის უარყოფით ზეგავლენას დაგეგმარების სტადიაზე.

აღნიშნული პრობლემის ინჟინრული მეთოდით გადაწყვეტის მიზნით უნდა განვიხილოთ მაღალი რიგის დიფერენციალური განტოლება, რომლითაც აღიწერება მრავალი თავისუფლების მქონე მექანიკური სისტემის დინამიკური პროცესები [1].

$$X^{(2n)} + a_n X^{(2n-1)} + \dots + a_{n-1} X = 0; \quad (2-66)$$

სადაც a_0, a_1, \dots, a_{n-1} კოეფიციენტები განისაზღვრება განსახილველი სისტემის პარამეტრებით.



ნახ. 2.14

თუ არგუმენტ t -ს შეეცვლით $t = \frac{\tau}{a_0}$ მნიშვნელობით მივიღებთ

განტოლების შემდეგ ფორმას:

$$X^{(2n)} + X^{(2(n-1))} + C_1 X^{(2(n-2))} + \dots + C_{n-1} X = 0; \quad (2-67)$$

სადაც C_k ($k=1, 2, \dots, n-1$) სისტემის განსოვადოებული უგანსომილებო პარამეტრებია:

$$C_1 = \frac{a_1}{a_0}; \quad C_2 = \frac{a_1}{a_0}; \quad \dots C_{n-1} = \frac{a_1}{a_0}; \quad (2-68)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, \frac{k-2}{2}.$$

დადგენილია, რომ C_k პარამეტრები იცვლებიან შემდეგ დიაპაზონში:

$$0 \leq C_k \leq \frac{n-1}{2n}, \quad (k=1, 2, \dots, n-1) \quad (2-69)$$

მექანიკური სისტემების ოპტიმიზაციური სინთეზის ამოცანების გასამარტივებლად (2-66) განტოლების ნაცვლად (2-67) განტოლების გამოყენებას უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

(2-66) განტოლებაში a_1, a_2, \dots, a_n კოეფიციენტების ცვლილების დიაპაზონი უაღრესად ფართე და უსასრულოა. მათი გამოყენებით ამოცანების გადაწყვეტა კონსტრუქტორისაგან მოითხოვს უსასრულო რაოდენობის ვარიანტების გათვლას, რაც გაუმართლებელია.

უგანზომილებო C_k პარამეტრის გამოყენება მნიშვნელოვნად ავიწროებს (2-67) განტოლების კოეფიციენტთა ცვლილების დიაპაზონს და ამცირებს გათვლების მოცულობას, რაც ინჟინრისათვის სასურველია.

ასე მაგ., ორი თავისუფლების მქონე მექანიკური სისტემებისათვის, რომლებიც აღიწერება მე-4 რიგის დიფერენციალური განტოლებით $C_1 = 0 \div 0,25$, სამი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის $C_1 = 0 \div 0,33$, ოთხი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის $C_1 = 0 \div 3/8$.

$a_i (i=1,2,\dots,n)$ კოეფიციენტების მნიშვნელობა განისაზღვრება სისტემის სიხისტის და ინერციული პარამეტრების მნიშვნელობებით [2].

მაგ., ორი თავისუფლების მქონე სამასიანი გრუხითი სისტემისათვის a_0 და a_1 კოეფიციენტები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= C_{11} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{22} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3}; \\ a_1 &= C_{11} C_{22} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3}; \end{aligned} \right\} \quad (2-70)$$

სადაც C_{11} და C_{22} - შემაერთებული ლილვების სიხისტის კოეფიციენტებია, J_1 და J_2, J_3 - სათანადო მასების ინერციის მომენტებია.

(2-70)-ის მნიშვნელობათა ჩასმით (2-68)-ში განისაზღვრება განზოგადოებული პარამეტრის C_1 -ის მნიშვნელობა, რაც თავის მხრივ განსაზღვრავს სისტემის საკუთარი რხევების სიხშირეთა β_1 და β_2 -ის სიახლოვეს და მაშასადამე რხევათა ცემის წარმოქმნის შესაძლებლობას.

(2-69) განტოლების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უგანზომილებო განზოგადოებული პარამეტრის მაქსიმალური მნიშვნელობა ნებისმიერი თავისუფლების ხარისხის მქონე სისტემისათვის არ აღემატება 0,5-ს. თუ სისტემის თავისუფლების ხარისხი ძალიან მაღალია, მაგ., $n=100$, ე.ი. ვიხილავთ მე-200 რიგის დიფერენციალურ განტოლებას, მაშინ:

$$\max C_1 = \frac{n-1}{2n} = \frac{100-1}{200} \approx 0,5.$$

(2-69)-დან დგინდება, რომ მე-4 რიგის განტოლების შემთხვევაში ($n=2$) პარამეტრი C_1 იცვლება დიაპაზონში

$$0 \leq C_1 \leq 0,25. \quad (2-71)$$

მე-6 რიგის დიფერენციალური განტოლების შემთხვევაში ($n=3$)

$$0 \leq C_1 \leq 0,33, \quad 0 \leq C_2 \leq 1/27 \quad (2-72)$$

მე-8 რიგის დიფერენციალური განტოლების შემთხვევაში ($n=4$)

$$0 \leq C_1 \leq 3/8; 0 \leq C_2 \leq 1/16; 0 \leq C_3 \leq 1/256 \quad (2-73)$$

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტებითა და შემოთავაზებული თეორიული გაანგარიშებებით დადგენილია, რომ რაც უფრო მაღალია განზოგადოებული პარამეტრების C_i -ს მნიშვნელობა, ე.ი. რაც უფრო უახლოვდება იგი თავის მაქსიმალურ ზღვარს მით უფრო მეტად უახლოვდებიან ერთმანეთს სისტემის უმდაბლესი სიხშირეები და ამის გამო მით უფრო მკვეთრად გამოხატული რხევათა ცემა (შიგა რეზონანსული მოვლენა), რაც კონსტრუქციის ავარიული რეჟიმის საწინდარია.

(2-69)-გამოსახულების თანახმად ორი თავისუფლების მქონე მექანიკური სისტემისათვის განზოგადოებული პარამეტრის მაქსიმალური მნიშვნელობა $C_{1max} = 0,25$, სამი თავისუფლების მქონე სისტემისათვის $C_{1max} = 1/3$, ოთხი თავისუფლების მქონე სისტემისათვის $C_{1max} = 3/8$ და ა.შ.

ამ პარამეტრების მაქსიმალური მნიშვნელობისას სისტემის უმდაბლესი საკუთარი სიხშირეები უტოლდებიან ერთმანეთს ($\beta_1 = \beta_2$), რომლის დროს სუფთა რხევათა ცემის მოვლენას აქვს ადგილი მაქსიმალური მნიშვნელობის დრეკადი ძალების წარმოშობით, რაც კონსტრუქციის კვანძების დაღლილობითი ხასიათის უსწრაფეს მსხვერველს იწვევს.

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ C_1 -ის არაოპტიმალური ცვლილების დიაპაზონი, რომლის დროს მოსალოდნელია რხევათა ცემის წარმოქმნა ორი თავისუფლების მქონე სისტემისათვის ($n=2$) განისაზღვრება ინტერვალით

$$C_1 = 0,18 \div 0,25 \quad (2-73)$$

სამი თავისუფლების მქონე სისტემისათვის ($n=3$)

$$C_1 = 0,25 \div 1/3 \quad (2-74)$$

ოთხი თავისუფლების მქონე სისტემისათვის ($n=4$)

$$C_1 = 0,33 \div 0,375. \quad (2-75)$$

მიზანშეწონილია რომ განზოგადოებული C_1 პარამეტრის მნიშვნელობა 20%-ით ნაკლები იყოს, ვიდრე მისი მაქსიმალური სიდიდე, განსაზღვრული (2-68) გამოსახულებიდან.

გამოკვლევებით დადგენილია, რომ არსებობს აგრეთვე განზოგადოებულ პარამეტრთა მნიშვნელობების მეორე არაოპტიმალური ინტერვალი, რომელიც ორი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის განისაზღვრება დიაპაზონით

$$0 \leq C_1 \leq 0,04. \quad (2-76)$$

სამი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის ($n=3$)

$$0 \leq C_1 \leq 0,07 \quad (2-77)$$

ოთხი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის ($n=4$)

$$0 \leq C_1 \leq 0,09. \quad (2-78)$$

დადგენილია, რომ მექანიკური სისტემები, რომელთა პარამეტრების თანაფარდობანი განაპირობებს (2-76) - (2-78) გამოსახულებებში ნაჩვენებ C_1 პარამეტრთა უმდაბლეს მნიშვნელობებს, მეტად მგრძობიარენი არიან ძალების, განსაკუთრებით დარტყმითი ძალების მიმართ იმ შემთხვევაში, როცა სისტემაში არსებობენ ღრეიოები. გამოთვლებით დასტურდება, რომ პარამეტრების (2-76) - (2-78) მნიშვნელობები, როცა სისტემაში არსებობენ ღრეიოები. გამოთვლებით დასტურდება, რომ პარამეტრთა (2-76) - (2-78) მნიშვნელობები ხასიათდებიან შემაერთებული კვანძების (ლილეების) მაღალი სიხისტეებით. ასეთ სისტემებში დარტყმითი ხასიათის ძალური ურთიერთქმედება ღრეიოების თანაარსებობისას განაპირობებს დრეკადი ძალების მაქსიმალურ მნიშვნელობებს, რაც შეიძლება კვანძების მსხვერვის მი'სე'ი გახდეს. ასეთი მოვლენები განსაკუთრებით საშიშია რევერსულ რეჟიმში მომუშავე მძიმე სამანქანო ობიექტებისათვას, რომლებიც ხასიათდებიან ღრეიოების პერიოდული გახსნითა და ჩაკეტვით.

ზემოთ მოცემული ანალიზიდან ნათლად მოსიანს, რომ არსებობს განზოგადოებული C_1 პარამეტრის ცვლილების დიაპაზონი (ინტერვალი), რომლის პრაქტიკული რეალიზაცია უზრუნველყოფს სისტემის შიგა რეზონანსული რეჟიმის (რხევათა ცემის) წარმოშობის შესაძლებლობათა აღმოფხვრას და გარეგანი ძალების ზემოქმედებაზე მინიმალურ რეაქციას.

ორი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის ოპტიმალური დიაპაზონი განისაზღვრება გამოსახულებით

$$0,05 \leq C_1 \leq 0,18. \quad (2-79)$$

სამი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის

$$0,08 \leq C_1 \leq 0,25. \quad (2-80)$$

ოთხი თავისუფლების მქონე სისტემებისათვის

$$0,12 \leq C_1 \leq 0,3 \quad (2-81)$$

ამრიგად, მექანიკური სისტემების დინამიკური პროცესების ოპტიმალური სინთეზის გადაწყვეტის უმარტივესი საინჟინრო მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს აგრეგატების მინიმალურ დინამიკურ დატვირთვებს, ხანგამძლეობის სრდასა და ლითონშემცველობის შემცირებას.

ქვემოთ განხილულია სამმასიანი მგრეხავი მექანიკური სისტემის პარამეტრების თანაფარდობის 5 სხვადასხვა შემთხვევა:

$$1. \quad J_1 = J_2 = J_3 = 100; C_{12} = C_{23} = 10^4;$$

$$2. \quad J_1 = J_3 = 100; J_2 = 1000; C_{12} = C_{23} = 10^4;$$

$$3. \quad J_1 = J_3 = 100; J_2 = 10^4; C_{12} = C_{23} = 10^4$$

$$4. \quad J_1 = J_3 = 100; J_2 = 1000; C_{12} = 5 \cdot 10^4; C_{23} = 10^4;$$

$$5. \quad J_1 = 10; J_2 = J_3 = 100; C_{12} = C_{23} = 10^4$$

ცნობილია, რომ სამშასიანი სისტემა აღიწერება მე-4 რიგის ($n=2$) დიფერენციალური განტოლებით:

$$x^4 + a_0 x^2 + a_1 x = 0, \quad (2-83)$$

მაშინ პირველი შემთხვევისათვის გვექნება

$$a_0 = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} = 400;$$

$$a_1 = C_{12} C_{23} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3} = 30000;$$

$$C_1 = \frac{a_1}{a_0^2} = \frac{30000}{160000} = 0,188.$$

რიცხობრივი სახით I შემთხვევისათვის მახასიათებელ განტოლებას ექნება სახე

$$\lambda^4 - 400\lambda^2 + 30000 = 0;$$

$$\lambda^2 = 200 \pm \sqrt{10000} = 200 \pm 100;$$

$$\lambda_1^2 = \beta_1 = 100; \quad \lambda_2^2 = \beta_2 = 300;$$

მე-2 შემთხვევისათვის გვაქვს

$$a_0 = 220; \quad a_1 = 12000; \quad C_1 = 0,248.$$

მახასიათებელი განტოლება

$$\lambda^4 - 220\lambda^2 + 12000 = 0;$$

$$\lambda^2 = 110 \pm \sqrt{100};$$

$$\lambda_1^2 = \beta_1 = 100; \quad \lambda_2^2 = \beta_2 = 120;$$

ამ შემთხვევაში, როცა შუა მასა 10-ჯერ აღემატება განაპირა მასებს, განზოგადოებული პარამეტრის მნიშვნელობა (0,248) უახლოვდება მის მაქსიმალურ ზღვარს $C_1 = 0,25$ -ს.

აღნიშნული შემთხვევისათვის სისტემაში აღიძვრება თითქმის სუფთა რხევათა ცემა, რომლის სურათი ნაჩვენებია ნახ. 2.14

როგორც ჩანს მე-2 შემთხვევისათვის $\beta_1 = 100$ და $\beta_2 = 120$. ამიტომ განხილული სტრუქტურა უვარგისია.

მე-3 შემთხვევისათვის გვაქვს

$$a_0 = 202; \quad a_1 = 10200; \quad C_1 = 0,24998.$$

$$\lambda^4 - 202\lambda^2 + 10200 = 0;$$

$$\lambda^2 = 101 \pm \sqrt{1};$$

$$\lambda_1^2 = \beta_1 = 100; \quad \lambda_2^2 = \beta_2 = 102;$$

ასეთი სტრუქტურაც უვარგისია და კონსტრუქცია მომენტალურად დაიმსხვრევა.

მე-4 შემთხვევისათვის გვაქვს

$$a_0 = 660; a_1 = 60000; C_1 = 0,137;$$

$$\lambda^1 - 660\lambda^2 + 60000 = 0;$$

$$\lambda^2 = 300 \pm \sqrt{48900};$$

$$\lambda_1^2 = \beta_1 = 109; \lambda_2^2 = \beta_2 = 551.$$

ამ მაგალითში სიხისტეთა და მასათა თანაფარდობის ზრდა ($C_{12}/C_{22} = 5; J_1/J_1 = J_2/J_2 = 1$) უზრუნველყოფს განზოგადებული პარამეტრის ოპტიმალური (2-79) პირობის დაცვას ($C_1 = 0,137$), რომლის დროსაც უმდაბლესი რხევის საკუთარი სიხშირეები $\beta_1 = 109, \beta_2 = 551$ მნიშვნელოვნად დაშორებული არიან ერთმანეთისაგან, მე-4 შემთხვევა შეიძლება იდეალურად ჩაითვალოს, რომლის დროსაც უზრუნველყოფილია სისტემაში მინიმალური სიდიდის დინამიკური დატვირთვები.

მე-5 შემთხვევისათვის, როცა უზრუნველყოფილია ინერციულ მასათა თანაფარდობის ზრდა ($J_2/J_1 = J_3/J_1 = 10$) ჩვენ გვაქვს

$$a_0 = 310; a_1 = 12000; C_1 = 0,124;$$

$$\lambda^1 - 310\lambda^2 + 12000 = 0;$$

$$\lambda^2 = 155 \pm \sqrt{11025};$$

$$\lambda_1^2 = \beta_1 = 50; \lambda_2^2 = \beta_2 = 260.$$

ამ შემთხვევაში $C_1 = 0,124$ აკმაყოფილებს ოპტიმალობის (2-79) პირობას, რომლის დროსაც სისტემის უმდაბლესი საკუთარი რხევის სიხშირეები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან ($\beta_1 = 50; \beta_2 = 260$).

პრაქტიკული თავალსაზრისით მიზანშეწონილია ღილეების სიხისტეთა თანაფარდობის ზრდა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ სიხისტე დიამეტრის მე-4 ხარისხის, ხოლო ინერციის მასათა თანაფარდობის სიდიდე მე-2 ხარისხის პროპორციული.

გაანგარიშებათა მრავალრიცხოვანი მაგალითები მიგვანიშნებს იმაზე, რომ აღნიშნული ოპტიმალობის (2-79) პირობის უზრუნველსაყოფად საკმარისია ორი მომიჯნავე რგოლის სიხისტის თანაფარდობა 2-მდე გავზარდოთ. ამისათვის საკმარისია შესაბამისი ღილეების დიამეტრთა შეფარდება 20%-მდე გავზარდოთ.

სამმასიანი მექანიკური სიტემების უგანზომილებო პარამეტრთა C_1 -ის მნიშვნელობანი, რაც განსაზღვრავს ასეთ სისტემაში დინამიკური დატვირთვების მნიშვნელობებსა და მათი ცვალებადობის ხასიათს, მოცემული 1-ლ ცხრილში.

ცხრ. 1

ვარი- ანტი	უგანსომილებო პარამეტრები					განსოგადუ- ბული პარა- მეტრი C_1
	J_1	J_2	J_3	C_{12}	C_{23}	
1	1	1	1	1	1	0,1875
2	1	2	1	1	1	0,22
3	1	5	1	1	1	0,243
4	1	10	1	1	1	0,248
5	5	1	1	1	1	0,135
6	2	1	1	1	1	0,164
7	3	1	1	1	1	0,150
8	10	1	1	1	1	0,125
9	2	1	2	1	1	0,140
10	3	1	3	1	1	0,110
11	5	1	5	1	1	0,076
12	10	1	10	1	1	0,043
13	1	1	1	2	1	0,090
14	1	1	1	3	1	0,062
15	1	1	1	2	2	0,187
16	1	1	1	5	5	0,187
17	2	1	1	2	1	0,040
18	2	1	1	2	2	0,163
19	1	10	2	2	1	0,220
20	1	10	1	5	1	0,135

1-ცხრილიდან ჩანს, რომ 1-4 და 19 ვარიანტები მიუღებელია მანქანათა (სამმასიანი სისტემების) დასაგეგმარებლად, დანარჩენი ვარიანტები კი უსრუნველყოფენ ოპტიმალობის პირობებს.

ოთხმასიანი გრეხითი მექანიკური სისტემებისათვის დრეკადი მომენტების (ძალების) მნიშვნელობები და ცვლილებების ხასიათი განისაზღვრება მე-6 რიგის დიფერენციალებით

$$M_{i,i+1}^{17} + a_0 M_{i,i+1}'' + a_1 M_{i,i+1}'' + a_2 M_{i,i+1} = 0, \quad (i=1,2,3) \quad (2-84)$$

უგანსომილებო განსოგადოებულ პარამეტრებში (2-67) განტოლების თანახმად (2-84) გამოსახულება ღებულობს სახეს

$$M_{i,i+1}^{17} + M_{i,i+1}'' + C_1 M_{i,i+1}'' + C_2 M_{i,i+1} = 0, \quad (i=1,2,3) \quad (2-85)$$

ამ გამოსახულებაში $a_i (i=1,2,3)$ და $C_i (i=1,2,3)$ განისაზღვრებიან გამოსახულებებით

$$\begin{aligned}
 a_0 &= C_{11} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{22} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} + C_{33} \frac{J_3 + J_4}{J_3 J_4}; \\
 a_1 &= C_{12} C_{21} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3} + C_{23} C_{32} \frac{J_2 + J_3 + J_4}{J_2 J_3 J_4} + \\
 &+ C_{12} C_{31} \frac{J_1 J_4 + J_2 J_3 + J_1 J_3 + J_2 J_4}{J_1 J_2 J_3 J_4}; \\
 a_2 &= C_{12} C_{21} C_{31} \frac{J_1 + J_2 + J_3 + J_4}{J_1 J_2 J_3 J_4}
 \end{aligned} \tag{2-86}$$

$$C_1 = \frac{a_1}{a_0}; \quad C_2 = \frac{a_2}{a_0}.$$

მე-2 ცხრილში მოცემულია უგანზომილებო განზოგადოებული C_1 და C_2 პარამეტრთა მნიშვნელობები, რომლებიც განსაზღვრავენ ოთხმასიან გრეხითი მექანიკური სისტემების დრეკადი მომენტების ხასიათს.

მე-2 ცხრილის გამოყენებით ინჟინერს შეუძლია დაადგინოს ინერციული მასებისა და სიხისტეთა თანაფარდობის რომელი ვარიანტი უზრუნველყოფს ოთხმასიან სისტემაში ოპტიმალობის (2-80) პირობის დაცვას, რაც უზრუნველყოფს სისტემის მინიმალურ დინამიკურ დატვირთვებს და შიგა რეზონანსული მოვლენების სრულ ლიკვიდაციას.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ მრავალი თავისუფლების მქონე მექანიკურ სისტემაში საკმარისია დაცულ იქნას მხოლოდ პირველი განზოგადოებული პარამეტრის ოპტიმალური მნიშვნელობის პირობა. დანარჩენი განზოგადოებული პარამეტრების (C_2, C_3, \dots, C_n) ოპტიმალურობა ავტომატურად სრულდება C_1 -ის ოპტიმალობის უზრუნველყოფით.

საჭიროების შემთხვევაში ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდები წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას გაცილებით მაღალი რიგის თავისუფლების მქონე მექანიკურ სისტემებზე.

მაგ., განვიხილოთ 8 თავისუფლების მქონე გრეხითი მექანიკური სისტემა, რომელიც აღიწერება მე-16 რიგის დიფერენციალური განტოლებით. ასეთი სისტემისათვის უგანზომილებო პარამეტრის მნიშვნელობა განისაზღვრება (2-69) გამოსახულებით

$$C_{1\max} = \frac{n-1}{2n} = \frac{8-1}{16} = 0,4375$$

ომისათვის რომ ასეთ სისტემაში შიგა რეზონანსის საშიშროება არ შეიქმნას, საჭიროა C_1 -ის სიდიდე შეირჩეს მინიმუმ 20%-ით მაინც ნაკლები $C_{1\max}$ -თან შედარებით, ე.ი.

$$C_1 = 0,4375 - 0,2 \cdot 0,4375 = 0,35.$$

ცხრ. 2

ვარი- ანტი	უგანსომილებო პარამეტრები							განსოგადებული პარამეტრი	
	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	C ₁₂	C ₂₃	C ₃₄	C ₁	C ₂
1	1	1	1	1	1	1	1	0.277	0.018
2	10	1	1	1	1	1	1	0.250	0.010
3	1	10	1	1	1	1	1	0.260	0.015
4	10	10	1	1	1	1	1	0.240	0.006
5	1	10	10	1	1	1	1	0.280	0.016
6	10	1	1	10	1	1	1	0.150	0.003
7	5	1	1	5	1	1	1	0.180	0.0056
8	1	1	1	1	3	1	1	0.240	0.0120
9	1	1	1	1	5	1	1	0.190	0.0073
10	1	1	1	1	10	1	1	0.120	0.003
11	1	1	1	1	1	3	1	0.220	0.0120
12	1	1	1	1	1	5	1	0.170	0.0036
13	1	1	1	1	1	10	1	0.110	0.003
14	1	10	10	1	1	1	1	0.260	0.010
15	1	10	10	1	1	1	1	0.145	0.0035
16	1	10	10	1	1	1	2	0.275	0.0090
17	1	10	10	1	1	1	5	0.268	0.0071

ყოველივე ზემოთქმული ადასტურებს ჩვენს მიერ შემუშავებული მრავალი თავისუფლების ხარისხის მქონე მექანიკური სისტემების დინამიკური პროცესების ოპტიმიზაციის საინჟინრო მეთოდის უნივერსალურობას და გაანგარიშების მნიშვნელოვან სიმარტივეს. ადვილი წარმოსადგენია, რაოდენ დიდ გამოთვლით სირთულეებთან ექნება საქმე მკვლევარს, რომ იგი შეეჭიდოს მე-16 რიგის დიფერენციალური განტოლების საკუთარ სიხშირეთა გამოთვლას და მათ საფუძველზე სისტემის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენას.

აღზნებით რეგულირებადი ელექტრო-ამპრაჰების მართვის სისტემების ბამოკვლევა მდგომარეობის სივრცის მეთოდებით

§3.1. აღზნებით რეგულირებადი ხისტი ელექტროამპრაჰის სისტემა მოდალური მართვით

თანამედროვე ელექტროამპრაჰთა სისტემებს მიმდევრობითი კორექციის პრინციპის გარდა შეადგენენ ე.წ. მოდალური მართვით [64]. ასეთ შემთხვევაში ამპრაჰის სისტემას აგებენ მდგომარეობის ყველა ცვლადის უარყოფითი უკუკავშირით. მართვის სქემებში უკუკავშირების გადაცემის კოეფიციენტები აღვნიშნოთ $-R_i, i = \overline{1;3}$. კალმან-ფროფენიუსის თეორიების საფუძველზე განვსაზღვროთ R_i - კოეფიციენტების ოპტიმალური მნიშვნელობები როგორც ხისტი, ისე დრეკადი ელექტროამპრაჰებისათვის. ამპრაჰის სისტემის დიფერენციალური განტოლებები T_{ϕ} - ს უგულებელყოფის პირობებში კოშის ფორმაში შემდეგნაირად წარმოდგინდება [37]:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = \frac{1}{T_3} \phi_{\phi}^{\cdot} + \frac{1}{T_3} i_{\phi}^{\cdot}; \\ \frac{di_{\phi}^{\cdot}}{dt} = \frac{K_{\phi} K_{\phi}}{T_{\phi}} \phi_{\phi}^{\cdot} - \frac{K_{\phi} K_{\phi}}{T_{\phi}} v^{\cdot} - \frac{1}{T_{\phi}} i_{\phi}^{\cdot}; \\ \frac{d\phi_{\phi}^{\cdot}}{dt} = \frac{K_{\phi} K_{\phi}}{T_{\phi}} v_0^{\cdot} - \frac{1}{T_{\phi}} \phi_{\phi}^{\cdot}. \end{cases} \quad (3-1)$$

უნდა შევნიშნოთ, რომ (3-1)-ის მეორე განტოლებაში კოეფიციენტის „-“ ნიშანი უგულებელყოფილია, ვინაიდან ტა-ს შესაყალზე ძაბვის მატება რეალურად იწვევს გამომავალი ძაბვის შემცირებას.

მატრიცულ სახეში (3-1) შემდეგნაირად შეიძლება ჩაიწეროს

$$\frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot u, \quad (3-2)$$

სადაც $x^T = [x_1 \ x_2 \ x_3]$; $u = v_0^{\cdot}$; $x_1 = v^{\cdot}$; $x_2 = i_{\phi}^{\cdot}$, $x_3 = \phi_{\phi}^{\cdot}$.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_2} & \frac{1}{T_2} \\ -\frac{K_r K_c}{T_c} & -\frac{1}{T_c} & \frac{K_r K_c}{T_c} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{\text{об}}} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_{\text{об}} K_{\text{об}}}{T_{\text{об}}} \end{bmatrix}. \quad (3-3)$$

თავდაპირველად აუცილებელია A და B მატრიცებით შევადგინოთ შემდეგი სვეტ-მატრიცები:

$$\begin{cases} \theta_1 = A\theta_2 + \alpha_1 \cdot B; \\ \theta_2 = A\theta_3 + \alpha_1 B; \\ \theta_3 = B, \end{cases} \quad (3-4)$$

სადაც α_1, α_2 არის A -მატრიცის შესაბამისი $\chi(P) = \det(pE - A)$ მახასიათებელი პოლინომის კოეფიციენტები ($\alpha(P) = P^3 + \alpha_2 P^2 + \alpha_1 P + \alpha_0$):

$$\alpha_0 = \frac{K_r K_c}{T_{\text{об}} T_c T_2}; \quad \alpha_1 = \frac{1}{T_c} \left(\frac{1}{T_{\text{об}}} + \frac{K_r K_c}{T_2} \right); \quad \alpha_2 = \frac{T_c + T_{\text{об}}}{T_{\text{об}} \cdot T_c} \quad (3-5)$$

თუ ამჟამის სისტემი მახასიათებელ განტოლებას შევირჩევთ რაიმე ოპტიმუმის, მაგ., ბატერეორტის ან ბინომიალური კანონის შესაბამისად [51], ე.ი. გვეცოდინება სისტემის მახასიათებელი განტოლების α , კოეფიციენტები, მაშინ მეორე ეტაპზე საჭიროა ვიპოვოთ

$$\begin{cases} r_1 = \tilde{\alpha}_0 - \alpha_0 = \omega_0^3 - \frac{K_r K_c}{T_{\text{об}} T_c T_2}; \\ r_2 = \tilde{\alpha}_1 - \alpha_1 = 2\omega_0^2 - \frac{T_2 + K_r K_c T_{\text{об}}}{T_{\text{об}} T_c T_2}; \\ r_3 = \tilde{\alpha}_2 - \alpha_2 = \omega_0 - \frac{T_c + T_{\text{об}}}{T_{\text{об}} T_c}, \end{cases} \quad (3-6)$$

სადაც ω_0 - სისტემის სწრაფქმედების განმსაზღვრელი სიხშირეა.

$\theta = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \quad \theta_4]$ -მატრიცის დახმარებით, რომლის ელემენტები (3-4)-ით განსაზღვრული სვეტ-მატრიცებია, ე.ი.

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ \theta_{21} & \theta_{22} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \end{bmatrix}. \quad (3-7)$$

ადვილად ვიპოვით მის შებრუნებულ მატრიცას

$$\theta^{-1} = \frac{1}{\det \theta} \begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{11} & \tilde{\theta}_{21} & 0 \\ \tilde{\theta}_{12} & \tilde{\theta}_{22} & 0 \\ \tilde{\theta}_{13} & \tilde{\theta}_{23} & \tilde{\theta}_{33} \end{bmatrix}, \quad (3-8)$$

სადაც

$$\det \theta = (\theta_{11}\theta_{22} - \theta_{12}\theta_{21})\theta_{33} = \left(\frac{K_{\alpha} K_{\beta}}{T_{\alpha}} \right)^2 \cdot \frac{K_{\epsilon} K_{\zeta} [(K_{\epsilon} K_{\zeta} + 1)T_3 + T_{\epsilon}]}{(T_3 T_{\epsilon})^2} \quad (3-9)$$

$$\tilde{\theta}_{11} = \theta_{22}\theta_{33}; \quad \tilde{\theta}_{21} = -\theta_{12}\theta_{33}; \quad \tilde{\theta}_{12} = -\theta_{21}\theta_{33}; \quad \tilde{\theta}_{22} = \theta_{11}\theta_{33};$$

$$\tilde{\theta}_{13} = (\theta_{11}\theta_{22} - \theta_{12}\theta_{21}); \quad \tilde{\theta}_{23} = (\theta_{11}\theta_{12} - \theta_{11}\theta_{22}); \quad \tilde{\theta}_{33} = (\theta_{11}\theta_{22} - \theta_{12}\theta_{21}).$$

(3-7)-ში შემავალი სვეტ-მატრიცები განსახილველი ამპრავისათვის ტოლია:

$$\theta_i = \begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \theta_{21} \\ \theta_{31} \end{bmatrix} = \frac{K_{\alpha} K_{\beta}}{T_{\alpha}} \begin{bmatrix} \frac{K_{\epsilon} K_{\zeta} + 1}{T_{\epsilon} T_3} \\ -\frac{K_{\epsilon} K_{\zeta}}{T_{\epsilon} T_3} \\ \frac{K_{\epsilon} K_{\zeta}}{T_3 T_{\epsilon}} \end{bmatrix}; \quad \theta_j = \begin{bmatrix} \theta_{12} \\ \theta_{22} \\ \theta_{32} \end{bmatrix} = \frac{K_{\alpha} K_{\beta}}{T_{\alpha}} \begin{bmatrix} \frac{1}{T_3} \\ \frac{K_{\epsilon} K_{\zeta}}{T_{\epsilon}} \\ \frac{1}{T_{\epsilon}} \end{bmatrix}; \quad (3-10)$$

$$\theta_3^r = [\theta_{13} \quad \theta_{23} \quad \theta_{33}] = \frac{K_{\alpha} K_{\beta}}{T_{\alpha}} [0 \quad 0 \quad 1].$$

(3-10)-ის დახმარებით შევადგენთ $\tilde{R} = [r_1 \quad r_2 \quad r_3]$ -სტრიქონ-მატრიცას, ხოლო გამოსახულება

$$R = \tilde{R} \cdot \theta^{-1} \quad (3-11)$$

საშუალებას გვაძლევს გამოვსახოთ საძიებელი მოდალური რეგულატორის (უკუკავშირების) R_i , $i = \overline{1,3}$ კოეფიციენტები, კერძოდ შემდეგნაირად:

$$\begin{cases} R_1 = (r_1 \tilde{\theta}_{11} + r_2 \tilde{\theta}_{12} + r_3 \tilde{\theta}_{13}) \frac{1}{\det \theta}; \\ R_2 = (r_1 \tilde{\theta}_{21} + r_2 \tilde{\theta}_{22} + r_3 \tilde{\theta}_{23}) \frac{1}{\det \theta}; \\ R_3 = r_3 \tilde{\theta}_{33} \cdot \frac{1}{\det \theta}. \end{cases} \quad (3-12)$$

(3-8)-(3-9) გამოსახულებების შესაბამისი ელემენტების გათვალისწინებით (3-11)-დან მივიღებთ აგზნებით რეგულირებადი ტირისტორული

ელექტროამპრავის უკუკავშირების (ე.წ. მოდალური რეგულატორის) ოპტიმალური კოეფიციენტების საანგარიშო ფორმულებს:

$$R_1 = \frac{1}{\det \theta} \cdot \left(\frac{K_{\delta} T_{\alpha}}{T_{\alpha}} \right)^2 \left[\left(\omega_0^2 - \frac{K_r K_{\varepsilon}}{T_{\alpha} T_{\varepsilon} T_{\beta}} \right) \frac{K_r K_{\varepsilon}}{T_{\varepsilon}} - \frac{K_r K_{\varepsilon}}{T_{\varepsilon} T_{\beta}} \left(2\omega_0^2 - \frac{T_{\beta} + K_r K_{\varepsilon} T_{\alpha}}{T_{\alpha} T_{\varepsilon} T_{\beta}} \right) - \left(\omega_0 - \frac{T_{\varepsilon} + T_{\alpha}}{T_{\alpha} T_{\varepsilon}} \right) \cdot \frac{K_r K_{\varepsilon} \cdot (K_r K_{\varepsilon} + 1)}{T_{\varepsilon}^2 T_{\beta}} \right] \quad (3-13)$$

$$R_2 = \frac{1}{\det \theta} \cdot \left(\frac{K_{\delta} K_{\alpha}}{T_{\alpha}} \right)^2 \cdot \left[\left(\omega_0^2 - \frac{K_r K_{\varepsilon}}{T_{\alpha} T_{\varepsilon} T_{\beta}} \right) \left(\frac{1}{T_{\beta}} \right) + \left(2\omega_0^2 - \frac{T_{\beta} + K_r K_{\varepsilon} T_{\alpha}}{T_{\alpha} T_{\varepsilon} T_{\beta}} \right) \cdot \frac{K_r K_{\varepsilon} + 1}{T_{\varepsilon} T_{\beta}} + \left(\omega_0 - \frac{T_{\varepsilon} + T_{\alpha}}{T_{\alpha} T_{\varepsilon}} \right) \cdot \frac{K_r K_{\varepsilon} \cdot (T_{\varepsilon} - T_{\beta})}{(T_{\varepsilon} T_{\beta})} \right]; \quad (3-14)$$

$$R_3 = \frac{T_{\alpha} T_{\varepsilon} \cdot \omega_0 - (T_{\varepsilon} + T_{\alpha})}{K_{\delta} K_{\alpha} T_{\varepsilon}}. \quad (3-15)$$

თუ ვისარგებლებთ ელექტროამპრავის კონკრეტული ობიექტის რიცხვითი მნიშვნელობებით: $K_{\delta} = 4,7$; $K_{\alpha} = 0,3$; $K_r = 0,95$; $K_{\varepsilon} = 22,7$; $T_{\alpha} = 0,01$ წმ; $T_{\varepsilon} = 0,44$ წმ; $T_{\beta} = 11,5$ წმ, მაშინ (238)-(240) ფორმულების მიხედვით მივიღებთ უკუკავშირების კოეფიციენტების შემდეგ ოპტიმალურ მნიშვნელობებს: $R_1 = 1003$; $R_2 = 4,3$; $R_3 = 9,8$.

§3.2. აღვზნებით რეგულირებადი დრეკადი ელექტროამპრავის სისტემა მოდალური მართვით

განვსაზღვროთ ესლა ელექტროამპრავის უკუკავშირების კოეფიციენტების ოპტიმალური გამოსახულებები დრეკადრგოლებიანი სისტემისათვის (ნახ. 2.5). ამ შემთხვევაში უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი დიფერენციალური განტოლებებით, რომლებიც ნაწერილია კოშის ფორმაში:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dv_2^\circ}{dt} &= \frac{1}{T_2} \cdot \mu_{\text{ღრ}}^\circ; \\ \frac{d\mu_{\text{ღრ}}^\circ}{dt} &= -\frac{1}{T_c} v_2^\circ + \frac{1}{T_c} v_1^\circ; \\ \frac{dv_1^\circ}{dt} &= -\frac{1}{T_1} \mu_{\text{ღრ}}^\circ + \frac{1}{T_1} \varphi_{\text{აბ}}^\circ + \frac{1}{T_1} i_{\text{ღ}}^\circ; \\ \frac{di_{\text{ღ}}^\circ}{dt} &= \frac{K_c K_{\text{ღ}}}{T_{\text{ღ}}} \varphi_{\text{აბ}}^\circ - \frac{K_c K_{\text{ღ}}}{T_{\text{ღ}}} v_1^\circ - \frac{1}{T_{\text{ღ}}} i_{\text{ღ}}^\circ; \\ \frac{d\varphi_{\text{აბ}}^\circ}{dt} &= \frac{K_{\text{ბა}} K_{\text{აბ}}}{T_{\text{აბ}}} v_0^\circ - \frac{1}{T_{\text{აბ}}} \varphi_{\text{აბ}}^\circ. \end{aligned} \right. \quad (3-16)$$

(3-16)-ში უგულებელყოფილია $T_{\text{ბა}}$ - დროის მუდმივა სიმცირობის გამო. მატრიცულ სახეში (3-16) შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, \quad (3-17)$$

სადაც $x^T = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]$, $u = v_0^\circ$; $x_1 = v_2^\circ$; $x_2 = \mu_{\text{ღრ}}^\circ$;
 $x_3 = v_1^\circ$; $x_4 = i_{\text{ღ}}^\circ$; $x_5 = \varphi_{\text{აბ}}^\circ$.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_2} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{T_c} & 0 & \frac{1}{T_c} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_1} & 0 & \frac{1}{T_1} & \frac{1}{T_1} \\ 0 & 0 & -\frac{K_c K_{\text{ღ}}}{T_{\text{ღ}}} & -\frac{1}{T_{\text{ღ}}} & \frac{K_c K_{\text{ღ}}}{T_{\text{ღ}}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{\text{აბ}}} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_{\text{ბა}} K_{\text{აბ}}}{T_{\text{აბ}}} \end{bmatrix}. \quad (3-18)$$

პირველ ეტაპზე §3.1-ის ანალოგიურად საჭიროა A და B მატრიცებით შევადგინოთ შემდეგი სეპტ-მატრიცები:

$$\begin{cases} \theta_1 = A\theta_2 + \alpha_1 B; \\ \theta_2 = A\theta_3 + \alpha_2 B; \\ \theta_3 = A\theta_4 + \alpha_3 B; \\ \theta_4 = A\theta_5 + \alpha_4 B; \\ \theta_5 = B, \end{cases} \quad (3-19)$$

სადაც $\alpha_1 + \alpha_4$ - არის A -მატრიცის შესაბამისი მახასიათებელი პოლინომის კოეფიციენტები, ისინი ტოლია:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_1 T_2 T_c T_{\Sigma} T_{\Delta}}; \quad \alpha_1 = \frac{1}{T_1 T_2 T_c} \left(\frac{T_{\Sigma}}{T_1 T_{\Delta}} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right); \\ \alpha_2 &= \frac{1}{T_1 T_2} \left(\frac{T_{\Sigma}}{T_1 T_c} + \frac{T_{\Sigma}}{T_c T_{\Delta}} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right); \\ \alpha_3 &= \frac{1}{T_1} \left(\frac{T_{\Sigma}}{T_2 T_c} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} + \frac{1}{T_{\Delta}} \right); \quad \alpha_4 = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_{\Delta}}. \end{aligned} \quad (3-20)$$

ამ შემთხვევაშიც ამპრაჟის სისტემის მახასიათებელი განტოლება მიეასწრათოტ ბატერეორტის კანონისაკენ, რის გამოც საჭიროა ემოვოტ

$$\begin{aligned} r_1 &= \tilde{\alpha}_0 - \alpha_0 = \omega_0^5 - \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_1 T_2 T_c T_{\Sigma} T_{\Delta}}; \\ r_2 &= \tilde{\alpha}_1 - \alpha_1 = 3\omega_0^4 - \frac{1}{T_1 T_2 T_c} \left(\frac{T_{\Sigma}}{T_1 T_{\Delta}} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right); \\ r_3 &= \tilde{\alpha}_2 - \alpha_2 = 3\omega_0^3 - \frac{1}{T_1 T_2} \left(\frac{T_{\Sigma}}{T_1 T_c} + \frac{T_{\Sigma}}{T_c T_{\Delta}} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right); \\ r_4 &= \tilde{\alpha}_3 - \alpha_3 = 4\omega_0^2 - \frac{1}{T_1} \left(\frac{T_{\Sigma}}{T_2 T_c} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} + \frac{1}{T_{\Delta}} \right); \\ r_5 &= \tilde{\alpha}_4 - \alpha_4 = \omega_0 - \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_{\Delta}} \right). \end{aligned} \quad (3-21)$$

$\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5]$ -მატრიცის დახმარებით, რომლის ელემენტები (3-19)-ით განსაზღვრული სვეტ-მატრიცებია, ეი.

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \theta_{22} & \theta_{23} & 0 & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} & 0 \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} & 0 \\ \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} & \theta_{55} \end{bmatrix} \quad (3-22)$$

ადვილად ვიპოვიით მის შებრუნებულ მატრიცას

$$\theta^{-1} = \frac{1}{\det \theta} \begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{11} & \tilde{\theta}_{21} & \tilde{\theta}_{31} & \tilde{\theta}_{41} & 0 \\ \tilde{\theta}_{12} & \tilde{\theta}_{22} & \tilde{\theta}_{32} & \tilde{\theta}_{42} & 0 \\ \tilde{\theta}_{13} & \tilde{\theta}_{23} & \tilde{\theta}_{33} & \tilde{\theta}_{43} & 0 \\ \tilde{\theta}_{14} & \tilde{\theta}_{24} & \tilde{\theta}_{34} & \tilde{\theta}_{44} & 0 \\ \tilde{\theta}_{15} & \tilde{\theta}_{25} & \tilde{\theta}_{35} & \tilde{\theta}_{45} & \tilde{\theta}_{55} \end{bmatrix}, \quad (3-23)$$

სადაც $\det \theta = \theta_{55} [\theta_{44} (\theta_{11} \theta_{22} \theta_{33} + \theta_{12} \theta_{23} \theta_{31} - \theta_{11} \theta_{23} \theta_{32}) -$
 $- \theta_{34} (\theta_{11} \theta_{55} \theta_{34} + \theta_{12} \theta_{23} \theta_{41} - \theta_{11} \theta_{23} \theta_{42})];$

$$\tilde{\theta}_{21} = -\theta_{12} \theta_{55} (\theta_{33} \theta_{34} - \theta_{34} \theta_{43}); \quad \tilde{\theta}_{31} = \theta_{12} \theta_{23} \theta_{44} \theta_{55};$$

$$\tilde{\theta}_{41} = -\theta_{12} \theta_{23} \theta_{34} \theta_{55}; \quad \tilde{\theta}_{51} = 0; \quad \tilde{\theta}_{52} = 0; \quad \tilde{\theta}_{53} = 0;$$

$$\tilde{\theta}_{54} = 0; \quad \tilde{\theta}_{22} = \theta_{11} \theta_{55} (\theta_{33} \theta_{44} - \theta_{34} \theta_{43});$$

$$\tilde{\theta}_{23} = -\theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} \end{vmatrix}; \quad \tilde{\theta}_{23} = -\theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{44} \end{vmatrix};$$

$$\tilde{\theta}_{24} = \theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} \end{vmatrix};$$

$$\tilde{\theta}_{25} = \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 & 0 \\ \theta_{111} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{34} \\ \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} \end{vmatrix} = -\theta_{11} \begin{vmatrix} \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} \\ \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} \end{vmatrix} +$$

$$+ \theta_{12} \begin{vmatrix} \theta_{31} & \theta_{33} & \tilde{\theta}_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{43} & \theta_{44} \\ \theta_{51} & \theta_{53} & \theta_{54} \end{vmatrix}; \quad \tilde{\theta}_{23} = -\theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{44} \end{vmatrix};$$

$$\tilde{\theta}_{33} = \theta_{55} \theta_{44} \theta_{11} \theta_{22}; \quad \tilde{\theta}_{43} = -\theta_{55} \theta_{34} \theta_{11} \theta_{22};$$

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{24} &= \theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} \end{vmatrix}; & \tilde{\theta}_{34} &= -\theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ 0 & \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} \end{vmatrix}; \\ \tilde{\theta}_{41} &= \theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 \\ 0 & \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \end{vmatrix}; & \tilde{\theta}_{45} &= -\theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 & 0 \\ 0 & \theta_{22} & \theta_{23} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} \end{vmatrix}. \end{aligned} \quad (3-24)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{11} &= \theta_{55} \begin{vmatrix} \theta_{22} & \theta_{23} & 0 \\ \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} \end{vmatrix} = \\ &= \theta_{55} [\theta_{22}(\theta_{33}\theta_{44} - \theta_{43}\theta_{34}) - \theta_{23}(\theta_{32}\theta_{44} - \theta_{34}\theta_{42})] \end{aligned}$$

$$\tilde{\theta}_{12} = -\theta_{55} \begin{vmatrix} 0 & \theta_{23} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{43} & \theta_{44} \end{vmatrix} = \theta_{55}\theta_{23}(\theta_{31}\theta_{44} - \theta_{34}\theta_{41})$$

$$\tilde{\theta}_{13} = \theta_{55} \begin{vmatrix} 0 & \theta_{22} & 0 \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} \end{vmatrix} = -\theta_{55}\theta_{22}(\theta_{31}\theta_{44} - \theta_{34}\theta_{41})$$

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}_{14} &= -\theta_{55} \begin{vmatrix} 0 & \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} \end{vmatrix} = \\ &= -\theta_{55} [-\theta_{22}(\theta_{31}\theta_{43} - \theta_{33}\theta_{41}) + \theta_{23}(\theta_{31}\theta_{42} - \theta_{32}\theta_{41})] \end{aligned}$$

$$\tilde{\theta}_{15} = -\theta_{22} \begin{vmatrix} \theta_{31} & \theta_{33} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{43} & \theta_{44} \\ \theta_{51} & \theta_{53} & \theta_{54} \end{vmatrix} + \theta_{23} \begin{vmatrix} \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{34} \\ \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{44} \\ \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{54} \end{vmatrix}$$

$$\theta_1 = \begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \theta_{21} \\ \theta_{31} \\ \theta_{41} \\ \theta_{51} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1 T_2 T_c} \left(\frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} + \frac{1}{T_1} \right) \\ K_c K_{\Sigma} (T_1 T_{\Sigma} + T_c T_{\Sigma} - T_2 T_c) + T_{\Sigma} T_{\Sigma} \\ T_1^2 T_{\Sigma} T_2 T_c T_{\Sigma} \\ \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_1 T_{\Sigma} T_2} \left(\frac{K_c K_{\Sigma} (T_{\Sigma} - T_2)}{T_{\Sigma}} - \frac{1}{T_c} \right) \\ \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_1 T_{\Sigma}} \left(\frac{1}{T_2 T_c} - \frac{1}{T_2 T_{\Sigma}} + \frac{1}{T_{\Sigma}^2} \right) \end{bmatrix} \cdot \left(\frac{K_{\Sigma} K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right);$$

$$\theta_2 = \begin{bmatrix} \theta_{12} \\ \theta_{22} \\ \theta_{32} \\ \theta_{42} \\ \theta_{52} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{T_1 T_2 T_c} \\ \frac{1}{T_1 T_c} \left(\frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} + \frac{1}{T_1} \right) \\ \frac{1}{T_1 T_2 T_c} \\ \frac{K_c K_{\Sigma} T_{\Sigma}}{T_1 T_2 T_{\Sigma} T_c} \\ \frac{T_{\Sigma}}{T_1^2 T_2 T_c} + \frac{K_c K_{\Sigma} (T_{\Sigma} - T_2)}{T_1 T_{\Sigma} T_2 T_{\Sigma}} \end{bmatrix} \cdot \left(\frac{K_{\Sigma} K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right); \quad (3-25)$$

$$\theta_3 = \begin{bmatrix} \theta_{13} \\ \theta_{23} \\ \theta_{33} \\ \theta_{43} \\ \theta_{53} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{T_1 T_c} \\ \frac{K_c K_{\Sigma} T_1 + T_{\Sigma}}{T_1^2 T_{\Sigma}} \\ \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_1 T_{\Sigma}} \\ \frac{T_{\Sigma} T_{\Sigma} + K_c K_{\Sigma} K_2 T_c}{T_1 T_2 T_c T_{\Sigma}} \end{bmatrix} \cdot \left(\frac{K_{\Sigma} T_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} \right);$$

$$\theta_4 = \begin{bmatrix} \theta_{14} \\ \theta_{24} \\ \theta_{34} \\ \theta_{44} \\ \theta_{54} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{T_1} \\ \frac{K_c K_g}{T_g} \\ \frac{1}{T_1} \end{bmatrix} \cdot \left(\frac{K_{\alpha} K_{\beta}}{T_{\beta}} \right);$$

$$\theta_5^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \cdot \left(\frac{K_{\alpha} K_{\beta}}{T_{\beta}} \right).$$

(3-23) და (3-25)-ის საფუძველზე და (3-11)-ის ანალოგიურად ადვილად შეიძლება განისაზღვროს დრეკადლილებიანი ელექტროამპრავის სისტემის უკუკავშირების ოპტიმალური გადაცემის კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები.

თავი IV.

ავტომატიზებული ელექტროამპრაჟების გამოკვლევა სისხშირული მახასიათებლების მეთოდებით

§ 4.1. ტირისტორული ელექტროამპრაჟების მართვის სისტემების კონტურების ოპტიმიზაცია

ელექტროამპრაჟების მართვის სისტემათა მდგრადი მუშაობა და კონტურების ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტა გულისხმობს რეგულატორების და მაკორექტირებელი რგოლების გადამცემი ფუნქციებისა და მათი ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრას. მათი გადაწყვეტა ყველაზე უფრო მოხერხებულია ლოგარითმულ-სისხშირული მახასიათებლების მეთოდით [20; 74].

წნეხების ლილვებისათვის რეკომენდებულია ელექტროამპრაჟების სიმძლავრეთა თანაფარდობა (2-3):1. ტოლი სიმძლავრის ძრავების შემთხვევაში ამპრაჟის მრავალმასიან სისტემაში მოსალოდნელია რეზონანსული პროცესების წარმოქმნა. ეს მით უფრო, რომ ტექნოლოგიური მანქანების მოძრაობაში მომყვან ლილვებს ახასიათებთ მკვეთრად გამოხატული დრეკადი თვისებები [33; 34].

სამპრაჟიანი ელექტროამპრაჟის ერთ-ერთი რეკომენდებული ვარიანტის (ნახ. 1.4, ბ) ლოგარითმულ სისხშირული მახასიათებლები წარმოდგენილია 4.1-ე ნახ.-ზე. მახასიათებლები განსაზღვრულია ცალკეული სარეგულირო ობიექტის გამომავალი სიგნალის (ცალკეული ძრავის სინქარის) შესაბამისი გადამცემი ფუნქციით, კერძოდ:

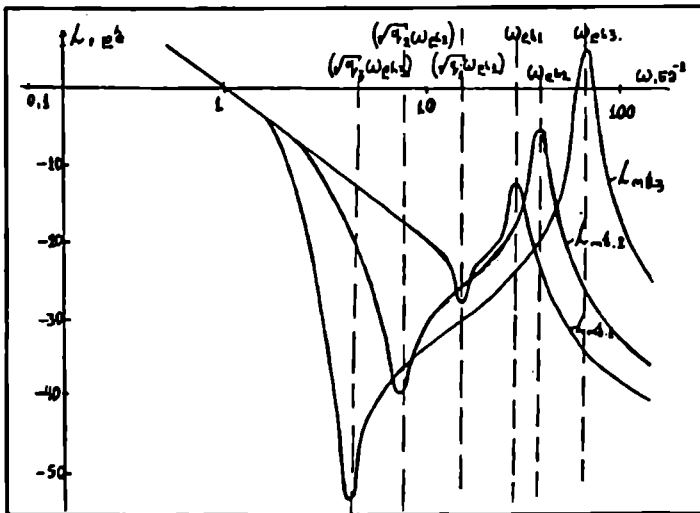
$$W_{მი}(P) = W_{დ.ყ.}(P) \cdot \frac{T_1^2 P^2 + 2\xi_1 T_1 P + 1}{T_{ა\sum i} P \cdot (T_2^2 \cdot P^2 + 2 \cdot \xi_2 T_2 P + 1)}, \quad i = \overline{1;3} \quad (4-1)$$

სადაც $T_1 = (T_{აა} T_{ci})^{\frac{1}{2}}$; $\xi_1 = T_{di} / 2 \cdot T_1$; $T_2 = (T_{აი} T_{აა} T_{ci} T_{ა\sum i}^{-1})^{\frac{1}{2}}$; $T_{ა\sum i} = T_{აი} + T_{აა}$; $\xi_2 = T_{di} / 2 \cdot T_2$; $T_{აი}$ და $T_{აა}$ - არის შესაბამისად ძრავის და მექანიზმის მექანიკური დროის მუდმივები; $W_{დ.ყ.}(P)$ - დენის კონტურის გადამცემი ფუნქციაა. ცნობილი „მოდულის ოპტიმიზის“ გამოყენების შემთხვევაში იგი ტოლია [14]:

$$W_{დ.ყ.}(P) = [K_i \cdot (2T_{\sum 2} P + 1)]^{-1}, \quad (4-2)$$

სადაც $T_{\sum 2}$ - არის დენის კონტურის გაუკომპენსირებელი (მცირე) დროის მუდმივა.

ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ მახასიათებლებზე (ლაშ) "რეზონანსული პიკები" ასახავს ცალკეულ ძრავსა და შექანიზმის შემადგენელი ლილვების დრეკადობათა გავლენას (ნახ. 4.1). რეზონანსული პიკების სიხშირე დაახლოებით ტოლია ძრავების საკუთარი რხევის სიხშირისა, კერძოდ $\omega_{დრი} \approx 1/\sqrt{T_{ა} \cdot T_{ci}}$. ნახაზზე ნაჩვენებია სიხშირული მახასიათებლები აგებულია პარამეტრებისათვის: $K_1=0,1$; $T_{ა} = 10$ წმ; $T_{\Sigma 2} = 0,01$ წმ; $T_{di} = 0,002$ წმ და $T_{ci} = (3 \div 4) 10^{-4}$ წმ; $T_{ა} = 1 \div 2$ წმ.



ნახ. 4.1

ლაშ-ზე რეზონანსული "პიკი" არის მთავარი ხელშემშლელი მიზეზი ამძრავთა სისტემაში მდგრადი და ოპტიმალური მახასიათებლების მიღებისას (ანალიზისა და სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტისას). პიკის შესამცირებლად ეფექტურია გამოიყენოთ რეკომენდაციები, რომლებიც შემუშავებულია ავტორის მიერ [4; 15; 37; 53]. ზოგჯერ ამ მიზნით საკმარისია სინქარის გადამწოდის (ტაქოგენერატორის) გამოსასელებელზე წართული ფილტრის დროის მუდმივა შეირჩეს შებდეგი გამოსახულების მიხედვით:

$$T_{ფი} = \left(2 \cdot q_i \xi_{2i} \omega_{დრი}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad i = \overline{1,3}, \quad (4-3)$$

სადაც $q_{ფი} = T_{ა} / T_{\Sigma i}$.

ამ შემთხვევაში სინქარის რეგულატორის პარამეტრები რეკომენდებულია შეირჩეს ცნობილი „სიმეტრიული ოპტიმუმის“ პირობებით [27].

(4-3)-ით შერჩეული ფილტრი ყოველთვის ვერ უზრუნველყოფს სი-სტემის მაქსიმალურ სწრაფმოქმედებას. ამ მიზნით აგრეთვე შეიძლება გამოვიყენოთ პარალელური (რბილი უკუკავშირით) და მიმდევრობითი კორექციები.

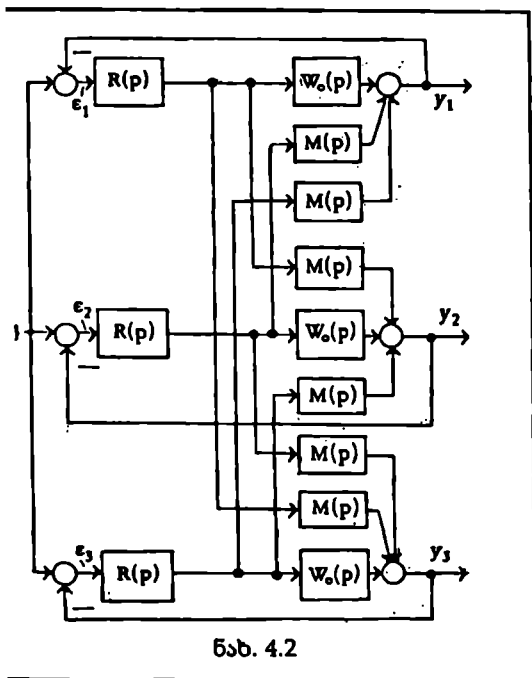
იმ შემთხვევაში, როცა წნეხის ლილვები შედარებით დიდ მასებს არ წარმოადგენენ ლამ-ის აგება უნდა შესრულდეს (2-24)-(2-32) ან (2-57) გამოსახულებების საფუძველზე, ნაცვლად ცალკეული ამძრავი-სათვის მიღებული (4-1) გამოსახულებისა. აღნიშნული გამოსახულებების ნორმირებულ სახეში წარმოდგენა შესაძლებელია თუ გამოვიყენებთ MATLAB-ის კომპიუტერულ პროგრამას, კერძოდ გამოსახულებათა მაღალი რიგის პოლინომებს ზუსტი ფესვების პოვნით დაეშლით ტიპიურ პოლინომთა თანამამრავლებად [74]. მაგ., (2-24) გამოსახულება, როცა $T_{\beta 1} = 1,5$, $T_{\beta 2} = 1,1$, $T_{\beta 3} = 0,85$, $T_{di} = 0,002$, $T_{ci} = 4 \cdot 10^{-4}$, $i = \overline{1,3}$, $K_{\beta 2} = 0,5$, $K_{\beta 3} = 0,2$ და $T_{\beta \beta} = 10$, კომპიუტერით ფესვთა პოვნის შედეგად (მრიცხველის ფესვებია $P_{1,2} = -5,9188 \pm 76,273i$; $P_{3,4} = -1,0787 \pm 32,9334i$; $P_{5,6} = -0,1331 \pm 11,5632i$ და მნიშვნელის $P_{1,2}^* = -5,3707 \pm 72,3398i$; $P_{3,4}^* = -1,6988 \pm 41,5719i$; $P_{5,6}^* = -0,061 \pm 7,82i$). იგი შეიძლება შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$W_{01}^{(3)}(P) = \frac{\prod_{i=1}^6 (P - P_i)}{T_{\beta 1} P \cdot \prod_{i=1}^6 (P - P_i^*)} = \frac{0,94(0,11^2 P^2 + 2 \cdot 0,05 \cdot 0,11 P + 1)}{P(0,13^2 P^2 + 2 \cdot 0,01 P + 1)} \times$$

$$\times \frac{(0,087^2 P^2 + 2 \cdot 0,001 \cdot 0,087 P + 1)(0,03^2 \cdot P^2 + 2 \cdot 0,03 \cdot 0,03 P + 1)}{(0,024^2 P^2 + 2 \cdot 0,04 \cdot 0,024 P + 1)(0,013^2 P^2 + 2 \cdot 0,08 \cdot 0,013 P + 1)}$$

ამრიგად, სასურველია კომპიუტერით განვახორციელოთ რთულ გადამცემი ფუნქციითა შემადგენელი თანამამრავლების ნორმირებული სახით წარმოდგენა. ამით თავიდან ავიცილებთ რთული ფუნქციების ლამ-ის აგებისას დიდი ცდომილების შემცველი "ჩაკეტილი" ნომოგრამების გამოყენების აუცილებლობას. სინქარის ერთრეგულატორიანი მრავალპრავიანი ამძრავის კონტურების ოპტიმიზაციის ჩატარებისას უნდა ვისარგებლოთ $W_{01}(P)$ გადამცემი ფუნქციებით და მათ საფუძველზე აგებული ლამ-ებით.

სინქარის ინდივიდუალურ რეგულატორებიანი მრავალპრავიანი ამძრავის ოპტიმიზაციის შესრულებისას წნეხის მუშა ლილვების დიდი მასების შემთხვევაში ცალკეული ლილვის ამძრავი შეიძლება განვიხილოთ ლოკალურად და ამ შემთხვევაში ვისარგებლოთ (4-1) გადამცემი ფუნქციით, ხოლო მცირე მასის შემთხვევაში წნეხის დეკომპოზიცია



ნახ. 4.2

(დანაწევრება) მიუღებელია და ლამების აგებისას უნდა ვისარგებლოთ (2-57)-ის ანალოგიური გამოსახულებებით.

მრავალძრავიანი ავტომატიზებული ამპრავებისათვის დასაშვებია ძრავების ერთნაირი სიმძლავრეები, რის გამოც სისტემა შეიძლება განვიხილოთ n -იდენტური კონტურით და ჯგერდინი სიმეტრიული კავშირებით ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 4.2-ე ნახ.ზე ($n=3$ - თვის). სამძრავიანი ამპრავის გამომავალ სიგნალთა y სვეტ-მატრიცის კავშირი სისტემის ცდომილების სიგნალთა ε სვეტ-მატრიცასთან შემდეგნაირად შეიძლება გამოსახოს:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 & MR & MR \\ MR & W_1 & MR \\ MR & MR & W_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{bmatrix} = W(P) \cdot \varepsilon, \quad (4-4)$$

სადაც W_1 - არის ცალკეული კონტურის პირდაპირი არხის საერთო გადამცემი ფუნქცია, იგი ტოლია $W_1 = R \cdot W_0$; M და W_0 ფუნქციები შეიცავენ მართვის სისტემის დენის კონტურის საერთო გადამცემ ფუნქციასაც.

(4-4)-ის შესაბამისი შეკრული სისტემის მახასიათებელი განტოლება ტოლი იქნება:

$$D(P) = \det[E + W(P)] = \begin{vmatrix} 1 + W_1 & MR & MR \\ MR & 1 + W_1 & MR \\ MR & MR & 1 + W_1 \end{vmatrix} =$$

$$= (1 + W_1)^3 + 2(MR)^3 - 3(MR)^2(1 + W_1) = 0, \quad (4-5)$$

სადაც E - არის 3×3 ზომის ერთეულოვანი მატრიცა.

ორძრავიანი ამპრავისათვის (4-5)-ის ანალოგიურად გვექნება

$$(1 + W_1)^2 - (MR)^2 = 0, \quad (4-6)$$

გარდაქმნების შედეგად (4-6) მიიყვანება შემდეგ სახემდე:

$$R^2(W_0^2 - M^2) + 2W_0R + 1 = 0. \quad (4-7)$$

(2-55)-(2-56)-ის ანალიზი პარამეტრების რეალური მნიშვნელობების გათვალისწინების შემთხვევაში დასაშვებია, რომ $W_{01}(P) = W_{02}(P) = W_0(P) \approx M_1(P) = M_2(P) = M(P)$, ხოლო (2-59)-(2-62)-ის მრიცხველებში P -ზე მაღალი რიგის წევრები შესაძლებელია უგულებელყოთ (კოეფიციენტების სიმცირის გამო). P -ს 1-ლი და 0-ანი რიგის წევრები აღნიშნულ გამოსახულებებში შესაბამისად ერთმანეთის ტოლია. $W_0(P) \approx M(P)$ -ს გათვალისწინებით (4-7)-დან მივიღებთ:

$$2W_0(P)R + 1 = 0, \text{ ანუ } W_1^{(2)}(P) = -\frac{1}{2}. \quad (4-8)$$

(4-8) გვიჩვენებს, რომ შეკრული სისტემა იმუშავებს მდგრადად, თუ გახსნილი კონტურის $W_1(P)$ -ს შესაბამისი ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი კომპლექსურ სიბრტყეზე არ შემოფარგლავს წერტილს $\left(-\frac{1}{2}; 0\right)$ (ნაიკვისტის კრიტერიუმის თანახმად).

ჩატარებული მსჯელობის საფუძველზე სამპრავიანი ამპრავისათვის (4-5)-დან ვღებულობთ:

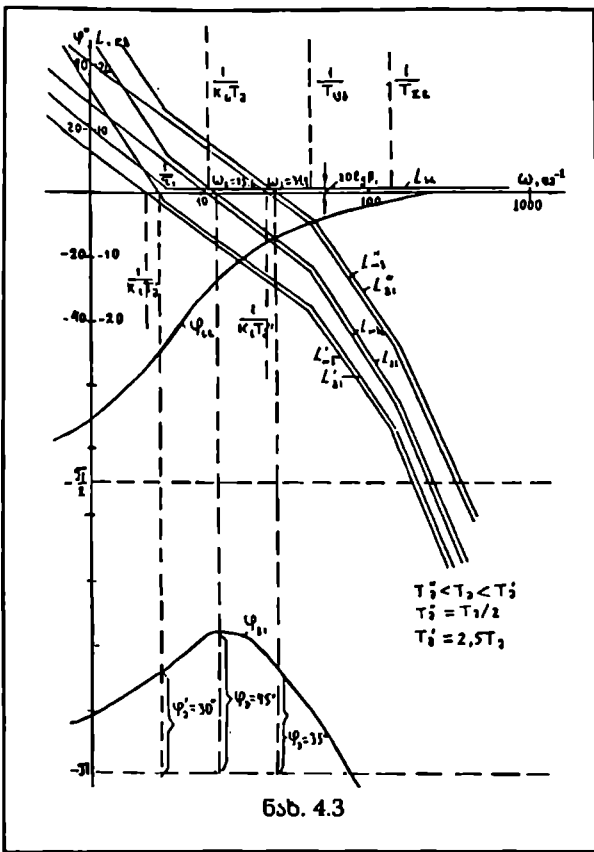
$$W_1^{(3)}(P) = -\frac{1}{3}. \quad (4-9)$$

ზოგადად მრავალძრავიანი ამპრავისათვის სამართლიანია:

$$W_1^{(n)}(P) = -\frac{1}{n}. \quad (4-10)$$

დენის ადაპტურ-რეგულატორიანი ტირისტორული ელექტროამპრავის სქემის მიხედვით (ნახ. 1.1) დენის რეგულატორის სტრუქტურა და პარამეტრები იცვლება (ადაპტირდება) ამპრავის უწყვეტი და წყვეტილი დენების რეჟიმების შესაბამისად. დამხვევის ამპრავის ინერციის მომენტი იცვლება (2-19) გამოსახულების შესაბამისად. სინქარის რეგულატორის პარამეტრების შერჩევის მიზნით ნახ. 4.3-ზე აგებულია გარე გახსნილი კონტურის ლოგარითმულ სიხშირული მახასიათებლები (ამპლიტუდური- $L_{\beta 1}$ და ფაზური $-\varphi_{\beta 1}$) ამპრავის T_{β} მექანიკური დროის მუდმივის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. ოპტიმიზებულია $L_{\beta 1}$ - ლოგარითმულ-ამპლიტუდური მახასიათებელი, რომლის მიმართ ფაზური მარაგი შეადგენს $\varphi_{\beta} = 45^\circ$ - ს. T_{β} - ის გაზრდისას 2,5-ჯერ სინქარის

რეგულატორის უცვლელი პარამეტრები უზრუნველყოფს ფაზურ მარაგს $\varphi_0 = 30^\circ$ - ს, ხოლო კვეთის სიხშირე შემცირდა დაახლოებით 2-ჯერ. ეს მიუთითებს რხევის გაძლიერებაზე და გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობის გაზრდაზე. T_3 - ის ორჯერ შემცირებისას კი გახ-



ნახ. 4.3

სნილი კონტურის ლამ-ის კვეთის სიხშირე იზრდება 2-ჯერ, ხოლო ფაზური მარაგი კლებულობს $\varphi_0 = 34^\circ$ -მდე. ეს მიუთითებს გარდამავალი პროცესების რხევების მომატებას. სიხშირული მახასიათებლებით ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე ჩანს, რომ სინქარის რეგულატორის პარამეტრები უნდა შეირჩეს ამპრავის ინერციის მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობის შესაბამისად (ან უკეთესია ოპტიმიზაცია შესრულდეს დინამიკაში ობიექტის პარამეტრების ცვლილების გათვალისწინებით).

გრძობად-დამკრე-ლი ჩარხის დამხვევი მექანიზმის ორ-

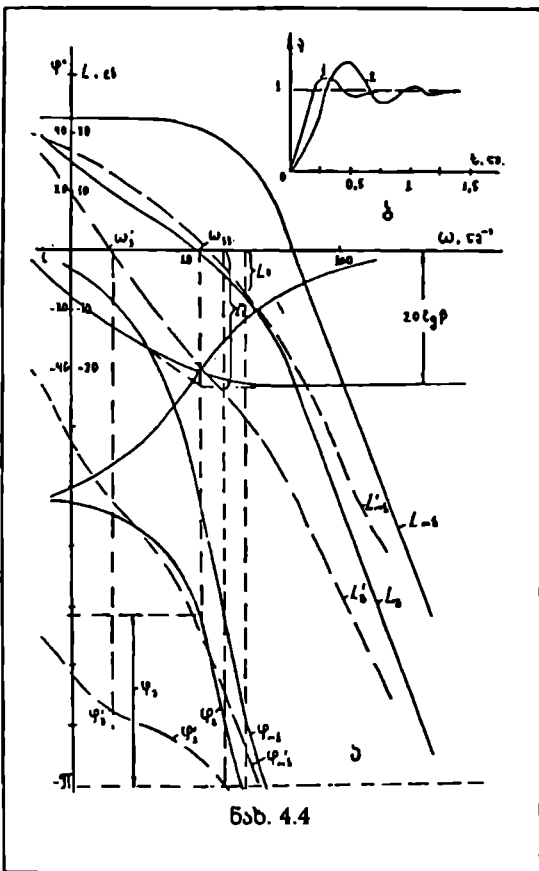
ძრავიანი ელექტროამძრავის ლოგარითმულ სიხშირული მახასიათებლები წარმოდგენილია 4.4-ე ნახ.-ზე. სისტემა აღჭურვილია სინქარის რეგულატორით და რბილი უკუკავშირით [64]. სარეგულირო ობიექტის ამპლიტუდური და ფაზური მახასიათებლები აგებულია J_2 - ინერციის მომენტის (ქალაღის რულონის როგორც მინიმალური, ისე მაქსიმალური მნიშვნელობებისათვის) ($L_{ობ}$, $\varphi_{ობ}$ და $L'_{ობ}$, $\varphi'_{ობ}$). იქვე აგებულია სინქარის რეგულატორის სიხშირული მახასიათებლები ($L_{სრ}$, $\varphi_{სრ}$). L_0 , φ_0 და L'_0 , φ'_0 მახასიათებლები ასახავენ ამპრავის გახ-

სნილწრედიანი სისტემის სიხშირულ მახასიათებლებს J_2 - ის უკიდურესი მნიშვნელობების შესაბამისად.

სიხშირული ანალიზით დადგინილია, რომ სინქარის რეგულატორის პარამეტრები უმჯობესია შეირჩეს შემდეგი გამოსახულებების მიხედვით:

$$\beta = \frac{0,2 \cdot T_{\text{მინ}}}{T_{\Sigma 1}}; \tau = 3 \cdot T_{\Sigma 1}, \quad (4-11)$$

სადაც $T_{\Sigma 1}$ - არის სინქარის კონტურის მცირე დროის მუდმივა. (იგი



ტოლია ძრავის მკვებავი გარდამსახის ეკვივალენტური და ტაქოგენერატორის ფილტრის დროის მუდმივების ჯამის, $T_{\Sigma 1} = 0,03$ წმ).

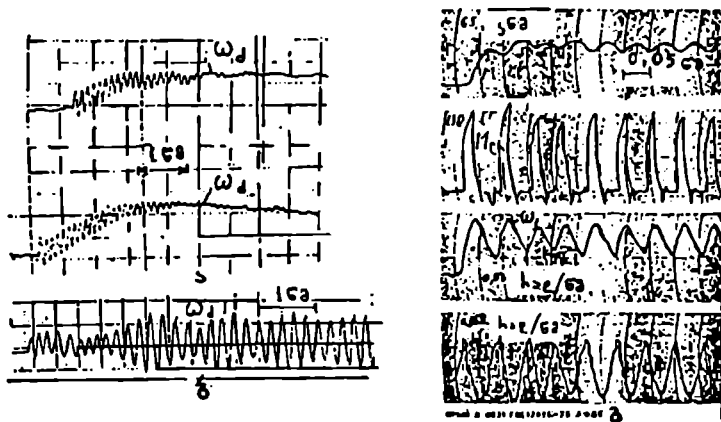
სიხშირული მახასიათებლები (ნახ. 4.4) აგებულია პარამეტრებით: ძრავების საბაზისო სინქარე $\omega_g = 83$ რად/წმ (ტაქოგრამის პორიზონტალურ უბანზე, როცა $V = 1000$, მ/წთ), ტირისტორული გარდამსახის გამართული ძაბვა $E_{გგ} = 400$ ვ. ძრავების სტატიკური დატვირთვის დენი შესაბამისად ტოლია $I_{ღ1} = 50$ ა და $I_{ღ2} = 47,5$ ა., ძრავების ღუზის გრაგნილის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა $T_{ღ1} = T_{ღ2} = 0,05$ წმ, გამმართველის $T_{გ} = 0,01$ წმ. ამ-

ძრავის მექანიკური დროის მუდმივა $T_{მინ} = 0,6$ წმ, ამძრავის სისტემის მართვის სიგნალი $U_{გ} = 70$ ვ. (მაქსიმალურ სინქარეზე). ქალაღლის კუთრი წონა $\gamma = 0,007$ კგ/მ², ქალაღლის სისქე $h = 0,1$ მმ; რულონის დიამეტ-

რი დახვევის პორიზონტალური უბნის დასაწყისში შეადგენს $D=35$ სმ-ს, დამხვევი მექანიზმის დამწოლი ლილვის დიამეტრი $D_{\text{ღლ}}=25$ სმ-ს. ინერციის მომენტის 10-ჯერ ცვლილების ფარგლებში სისტემის ფაზური მარაგის ცვლილება შეადგენს 60° -დან 25° -მდე, რაც მიუთითებს დინამიკაში რხევების მომატებაზე.

§ 4.2. ავტორხევითი პროცესები არაწრფივ ელემენტებიან ელექტროამპრავებში

თანამედროვე რეგულირებადი ელექტროამპრავების სწრაფქმედების გაზრდის მცდელობისას ხშირად მიმართავენ სინქარის რეგულატორის დინამიკური გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდის ხერხს. იგი ზოგჯერ იწვევს უკუეფექტს, კერძოდ ამპრავის სისტემაში თავს იჩენს ძლიერი რხევითი (ან ავტორხევითი) პროცესები. ქაღალდისმკეთებელი მანქანის მოქმედი ამპრავეთა სისტემების შესაბამისი პროცესები ილუსტრირებულია 4.5, ა, ბ ნახ.-ზე, ხოლო ბლუმინგის გლინებთან ნაშხადის ბუქსაობას ასახავს 4.5, გ ნახ.-ზე ნაჩვენები ოსცილოგრამები.



ნახ. 4.5

დადგენილია, რომ ავტორხევითი პროცესები ამპრავის სისტემაში შეიძლება, გამოიწვიოს არაწრფივი მახასიათებლების მქონე ელემენტებმა. ასეთებია სინქარის რეგულატორის „გაჯერების“ ტიპის სტატიკური მახასიათებელი და კბილანა რელექტორში არსებული ლუფტები (განსახილველ ამპრავებში იგი შეადგენს 5° - 10°). აღნიშნული რხევითი

პროცესები მით უფრო ადვილად ვითარდებიან, რაც უფრო მაღალია მექანიკური ლილვების დრეკადი თვისებები.

ავტორხევითი პროცესების ანალიზისათვის მართვის თეორიაში ცნობილია ე.წ. პარმონიული ბალანსის მეთოდი [74]. მართვის სისტემას ამ შემთხვევაში წარმოადგენენ წრფივი ($W(j\omega)$) და არაწრფივი ნაწილებების ეკვივალენტური რგოლების სახით, ისე როგორც ეს ნაჩვენებია 4.12.ბ ნახ.-ზე. არაწრფივი ელემენტის გამოშვალვი სიგნალი, რომელიც არაპერიოდული ხასიათისაა მიეწოდება სისტემის წრფივი ნაწილს, საინანაც იგი გამოყოფს და გაატარებს მხოლოდ ძირითად პარმონიულ სიგნალს (მაღალი რივის პარმონიკებს იგი ფილტრავს—არ ატარებს). პარმონიული ბალანსის მეთოდი ითვალისწინებს კონტურში გამავალი სიგნალის მხოლოდ ძირითად პარმონიკას (ამის გამო ეს მეთოდი ითვლება მიახლოებით მეთოდად).

პარმონიული ბალანსის პირობის გამოსაყვანად ვისარგებლოთ სისტემის რხევით ზღვარზე ყოფნის შესაბამისი გამოსახულებით:

$$1 + W(j\omega)J(A) = 0, \quad (4-12)$$

სადაც $W(j\omega)$ —არის წრფივი ნაწილის გადამცემი ფუნქცია; $J(A)$ —არაწრფივი ელემენტის ეკვივალენტური გადამცემი ფუნქცია.

(4-12)-ში შემავალი სიდიდეები სხვაგვარად შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$\begin{cases} W(j\omega) = H(\omega) \exp[j\varphi(\omega)]; \\ J(A) = q(A) \exp[j\mu(A)]. \end{cases} \quad (4-13)$$

სადაც $H(\omega)$ და $\varphi(\omega)$ —არის შესაბამისად სისტემის წრფივი ნაწილის ამპლიტუდის და ფაზის ამსახველი სიდიდეები; $q(A)$ და $\mu(A)$ —არაწრფივი ელემენტის ეკვივალენტური ამპლიტუდა და ფაზა.

(4-13)-ის შეტანით (4-12)-ში მივიღებთ:

$$H(\omega)q(A) \exp[j\varphi(\omega) + \mu(A)] = \exp(j\pi). \quad (4-14)$$

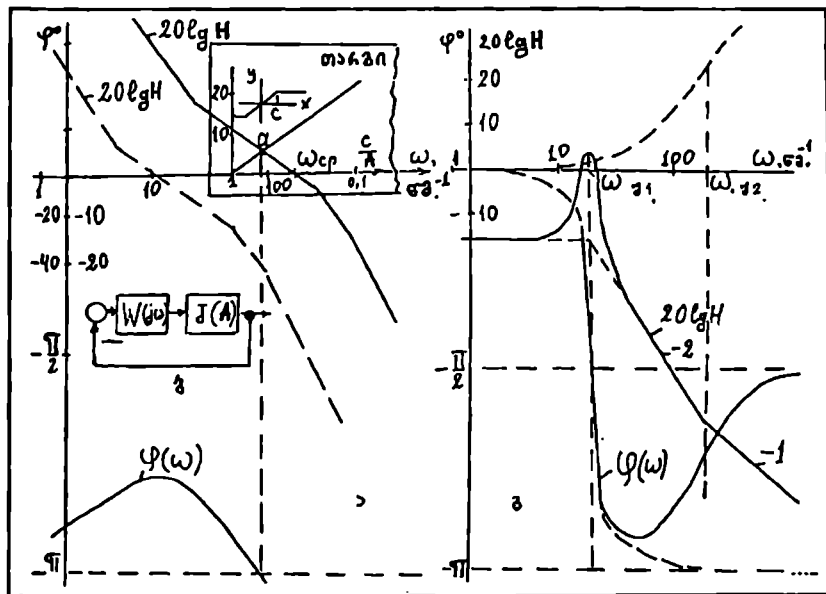
(4-14)-დან გვექნება:

$$\left. \begin{aligned} H(\omega)q(A) &= 1; \\ \varphi(\omega) + \mu(A) &= \pi; \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} 20 \lg H(\omega) = 20 \lg q^{-1}(A) \\ \varphi(\omega) = -\pi. \end{cases} \quad (4-15)$$

(4-15)-ში ცალსახა არაწრფივი მახასიათებლების შემთხვევაში, $\mu(A) = 0$, როგორსაც მიეკუთვნება ამჟამათა „გაჯერების“ და ლუფტის (ღრწოს) ტიპის არაწრფივი ელემენტები.

არაწრფივი ამჟამათის სისტემაში აღძრული რხევების ავტორხევით ხასიათს ადასტურებს ავტომატური მართვის თეორიიდან ცნობილი განმარტება, კერძოდ, ლოგარითმულ სიხშირულ მახასიათებლებზე რხევის ამპლიტუდის ΔA სიდიდით გაზრდისას პარმონიული ბალანსის შესაბამისი წერტილი (a წერტილი ნახ. 4.6, ა-ზე) თუ არ გამოდის $20 \lg H(\omega)$ —მახასიათებლით და ω ღერძით შემოფარგლული არედან,

მაშინ სისტემაში აღძრული რხევები იქნება მდგრადი. ასეთს მიეკუთვნება, აგრეთვე დრეკადკაეშირებიანი ამპრაეიც, რომლის სიხშირული მახასიათებლები წარმოდგენილია 4.7-ე ნახ.-ზე.



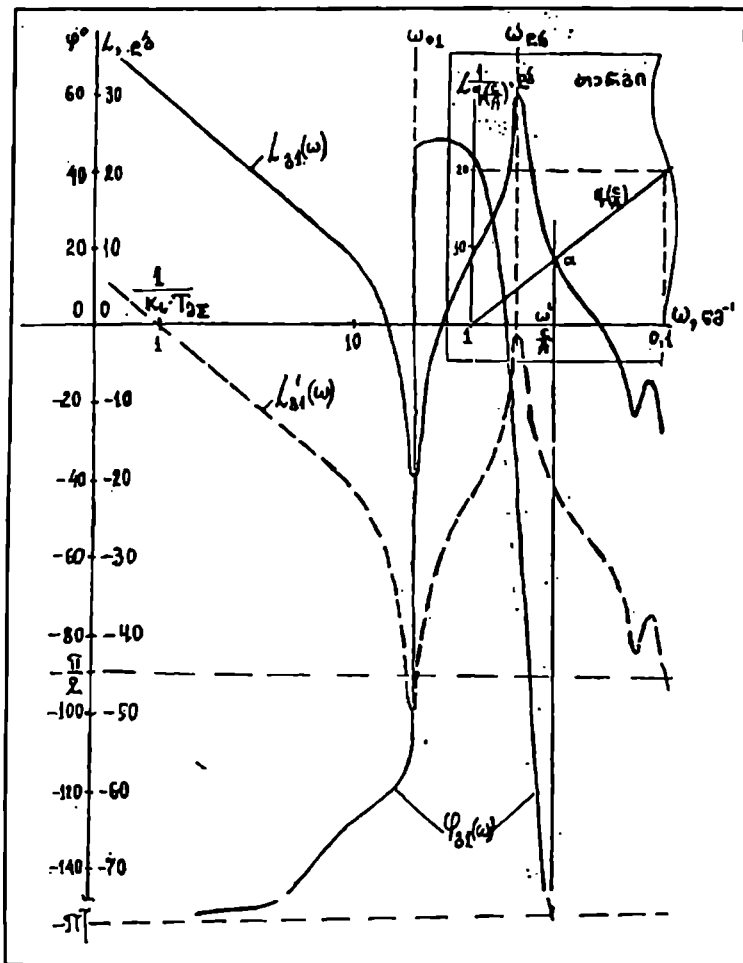
ნახ. 4.6

ამპრაეისათვის კბილანებში „ლუფტის“ გათვალისწინებისას სისტემაში მდგრადი რხევითი პროცესების არსებობის შესწავლის მიზნით ვისარგებლოთ ამპრაეის მექანიკური ნაწილის შესაბამისი სტრუქტურული სქემით (ნახ. 4. 8,ა).

არაწრფივ ელემენტებიანი სისტემებისათვის სტრუქტურული სქემების გარდაქმნები განსხვავდება წრფივი სისტემების გარდაქმნებისაგან იმით, რომ რგოლების გადატანა არაწრფივ სისტემაში არაწრფივი ელემენტის უკანა მხარეს დაუშვებელია. ამ მოთხოვნის გათვალისწინებით 4.8,ბ,გ,დ ნახაზებზე ნაჩვენებია სტრუქტურული სქემის გარდაქმნის ეტაპები. საბოლოო სქემის (ნახ. 4.8, დ) მიხედვით სისტემის წრფივი ნაწილის გადამცემი ფუნქცია ტოლია:

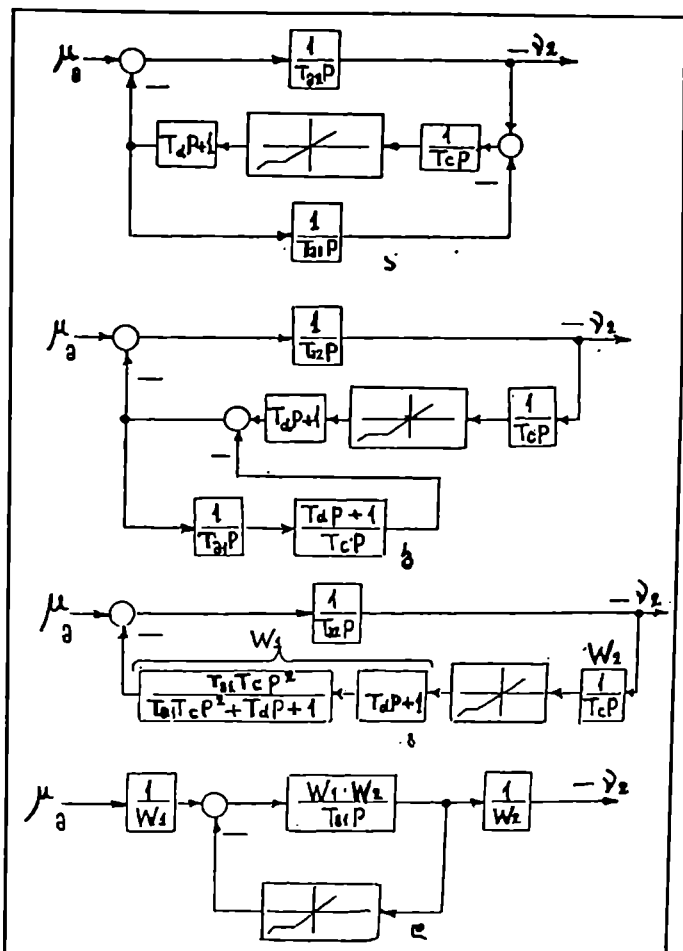
$$W_{\text{წ}}(P) = \frac{T_{a1}(T_d P + 1)}{T_{a3} P (T_{a1} T_c P^2 + T_d P + 1)} \quad (4-16)$$

(4-16)-ის შესაბამისი სიხშირული მახასიათებლები ნაჩვენებია ნახ. 4.6-ზე, რომლის ანალიზი გეიჩვენებს, რომ „პარმონიული ბალანსის“ (4-15) პირობების შესრულება პარამეტრების ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის მოსალოდნელი არ არის (ვინაიდან ფაზური მახასიათებელს $-\pi$ - თან კვეთა საერთოდ არ გააჩნია).



ნახ. 4.7

ამრიგად, ავტორხვეითი პროცესების ერთ-ერთი გამომწვევი მიზეზი თანამედროვე ამპრაფთა სისტემაში შეიძლება იყოს სინქარის რეგულატორის "გაჯერების" ტიპის არაწრფივი მახასიათებელი. დადგენილია, რომ ავტორხვეითი პროცესები უკიდურესად მანვე ზემოქმედებას ახდენენ ტექნოლოგიური მანქანების და მექანიზმების ამპრაფების მოძრავ (კონსტრუქციულ) ნაწილებზე, ვადაზე ადრე იწვევს მათ მწყობრიდან გამოყვანას. მუშა რეჟიმებში რხევების თანმიმდევრული განმეორების შემთხვევაში შესაძლებელია კინემატიკური წყვილების უეცარი დაზიანება (გატეხვა).

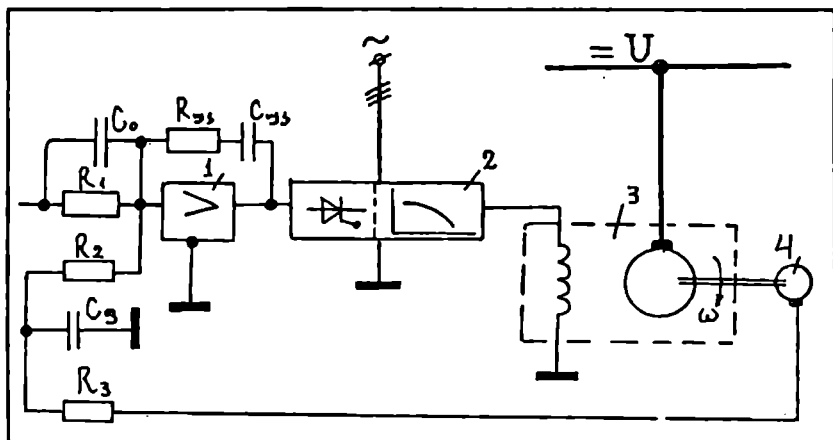


ნახ. 4.8

§ 4.3. აღზნებით რეგულირებადი ელექტროამპრაჟის ერთკონტურიანი მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია

თანამედროვე რეგულირებადი ელექტროამპრაჟების მართვის სისტემებს შორის, გარდა წინა პარაგრაფებში განხილული მართვის სისტემებისა ცნობილი არის აგრეთვე ელექტროამპრაჟის მაგნიტური ნაკადის აღზნებით რეგულირებადი სისტემები. 4.9-ე ნახ.-ზე წარმოდგენი-

ლია აღზნებით რეგულირებადი ელექტროამძრავის ერთკონტურიანი მართვის სისტემა, რომელსედაც გვაქვს: 1-სინქარის რეგულატორი; 2-ტირისტორული აღმზნები, საიდანაც იკვებება ძრავის აღზნების გრაგნილი; 3-მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღმზნებიანი ძრავი; 4-სინქარის გადამწოდია (ტაქოგენერატორი), რომლითაც განხორციელებულია სინქარის უარყოფითი უკუკავშირი; ω -ძრავის კუთხური სინქარე; U -ღუსაზე ძაბვა; u_0 -მართვის სიგნალია.



ნახ. 4.9

ელექტროამძრავის ავტომატური მართვის სიტემის დინამიკური რეჟიმების აღმწერი მათემატიკური მოდელის შესადგენად თავდაპირველად დავწეროთ ძაბვების და დენების განტოლებები ძრავის აღზნების გრაგნილის წრედისათვის ფანტეის ნაკადისა და გრიგალური დენების გათვალისწინებით

$$U_1 = R_1 I_1 + L_s \frac{dI_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad (4-17)$$

$$I_1 = I_\mu + \frac{w_2}{R_2} \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4-18)$$

სადაც R_1 და w_1 -აღზნების გრაგნილის აქტიური წინაღობა და ხვიათა რიცხვია; I_1 და Φ -აღზნების დენი და ნაკადია; I_μ დამაგნიტების დენია; L_s ფანტეის ინდუქტიუობა; R_2 და w_2 გრიგალური დენების კონტურის აქტიური წინაღობა და ხვიათა რიცხვია.

ამძრავის მღორე რეგულირებისას დასაშვებია ტოლობა

$$\Phi = K_\Phi \cdot I_\mu, \quad (4-19)$$

სადაც K_{Φ} - პროპორციულობის კოეფიციენტი (აილება დამაგნიტების მრუდიდან).

ამძრავის ძალოვანი ელექტრომექანიკური სისტემისათვის ვისარგებლოთ ძაბვების და მოძრაობის სემდეგი განტოლებებით

$$U = K_K \Phi \omega + R_{\Sigma} I + L_{\Sigma} \frac{dI}{dt}; \quad (4-20)$$

$$M - M_{\Sigma} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (4-21)$$

სადაც K_{Φ} - ძრავის მუდმივი კოეფიციენტი; M - ძრავის ბრუნვის მომენტი; M_{Σ} და J - წინააღობის და ინერციის მომენტებია.

თავის მხრივ ძრავის ბრუნვის მომენტი

$$M = K_K \Phi I \quad (4-22)$$

ფარდობითი ნაზრდების და ცვლადების მდგომარეობის სიერცის მეთოდის გამოყენებით ზემოთ მოყვანილი განტოლებები შემდეგნაირად ნაიწერება (კოშის ფორმაში):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu + Df; \\ y = Cx, \end{cases} \quad (4-23)$$

სადაც $x^T = [\bar{x}_1 \quad \bar{x}_2 \quad \bar{x}_3 \quad \bar{x}_4]$; $\bar{x}_1 = \omega$, $\bar{x}_2 = I$ და $\bar{x}_3 = \Phi$ - ძრავის კუთხური სინქარის, ღუზის დენის და მაგნიტური ნაკადის ფარდობითი ნაზრდებია; $\bar{x}_4 = I_1$ - ალგუნების დენის ფარდობითი ნაზრდი; $\bar{\Phi} = K_B \cdot I_{\mu}$; $u = u_1$ - ალგუნების გრაგნილის ძაბვის ფარდობითი ნაზრდი; $f = \bar{M}_{st}$ - დატვირთვის მომენტის ფარდობითი ნაზრდი.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_a} & \frac{1}{T_a} & 0 \\ -\frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} & -\frac{1}{T_{\Sigma}} & -\frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma}} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{K_B T_2} & \frac{1}{T_2} \\ 0 & 0 & \frac{T_1}{T_2 T_S K_B} & -\frac{T_1 + T_2}{T_2 T_S} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{T_S} \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_a} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (4-24)$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0]; \quad T_S = \frac{L_S}{R_1}; \quad T_1 = \frac{w_1 \Phi_B}{U_{1B}};$$

$$T_2 = \frac{w_2 \Phi_B}{R_2 I_{1B}}; K_c = \frac{1}{1 + \delta_B}; K_{\Sigma} = \frac{1 + \delta_B}{\delta_B};$$

$$T_{\Sigma} = \frac{L_a}{R_a}; T_0 = \frac{J \omega_B}{M_{\text{სტბ}}}; \delta_B = \frac{\Delta \omega_B}{\omega_B} = \frac{R_{\Sigma} I_B}{K_K \Phi_B \omega_B};$$

განსახილველი ამპრავის სიტემა სრულად მართვადი და დაკვირვებადია, ვინაიდან

$$S = [B \ AB \ A^2 B \ A^3 B] \quad (4-25)$$

და

$$Q = [C^T \ A^T C^T \ (A^T)^2 C^T \ (A^T)^3 C^T] \quad (4-26)$$

მატრიცებისათვის $\text{rank} S = \text{rank} Q = 4$.

(4-23)-დან განვსაზღვრავთ გამომავალი სიგნალის გამოსახულებას

$$Y(p) = C(pE - A)^{-1} B U(p). \quad (4-27)$$

(4-24)-ის შეტანით (4-27)-ში მივიღებთ ამპრავის გადამცემ ფუნქციას

$$W_1(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{\bar{\omega}(p)}{u_1(p)} = \frac{K_0(T_0 p + 1)}{p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4}, \quad (4-28)$$

$$\text{სადაც } K_0 = \frac{1 - K_c K_{\Sigma}}{T_S T_2 T_{\Sigma} T_0}; T_0 = \frac{T_{\Sigma}}{1 - K_c K_{\Sigma}}; a_1 = \frac{1}{K_B T_2} + \frac{T_1 + T_2}{T_S T_2};$$

$$a_2 = \frac{1}{K_B T_S T_2} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma} T_0} + \frac{1}{T_{\Sigma}} \left(\frac{1}{K_B T_2} + \frac{T_1 + T_2}{T_S T_2} \right);$$

$$a_3 = \frac{1}{K_B T_S T_2 T_{\Sigma}} + \frac{K_c K_{\Sigma}}{T_{\Sigma} T_0} \left(\frac{1}{K_B T_2} + \frac{T_1 + T_2}{T_S T_2} \right); a_4 = \frac{K_c K_{\Sigma}}{K_B T_S T_2 T_{\Sigma} T_0}.$$

ელექტროამპრავის შემდეგი პარამეტრებისათვის: $K_c = 0,95$; $K_{\Sigma} = 22,74$; $K_B = 0,3$; $T_{\Sigma} = 0,01$ წმ; $T_S = 10$ წმ; $T_1 = 0,44$ წმ; $T_2 = 0,074$ წმ; $T_S = 0,044$ წმ; $a_1 = 301,5$; $a_2 = 2,1 \cdot 10^4$; $a_3 = 1,4 \cdot 10^5$; $a_4 = 2,1 \cdot 10^5$ (4-28) ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$W_0(p) = \frac{0,3(0,0005p + 1)}{(0,2p + 1)(0,45p + 1)(0,01p + 1)(0,005p + 1)}. \quad (4-29)$$

ტირისტორული აღგზნებისათვის ვისარგებლოთ შემდეგი გადამცემი ფუნქციით:

$$W_1(p) = \frac{K_0}{T_0 p + 1} = \frac{4,3}{0,01p + 1}. \quad (4-30)$$

(4-29) და (4-30)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ ამპრავის მართვის ობიექტის სრულ ფუნქციას:

$$W(p) = W_0(p) \cdot W_1(p) = \frac{1,3(0,0005p + 1)}{(0,2p + 1)(0,45p + 1)(0,01p + 1)^2(0,005p + 1)} \quad (4-31)$$

(4-31)-ით განვსაზღვრავთ სიხშირული მახასიათებლების მოდულის და არგუმენტის გამოსახულებებს:

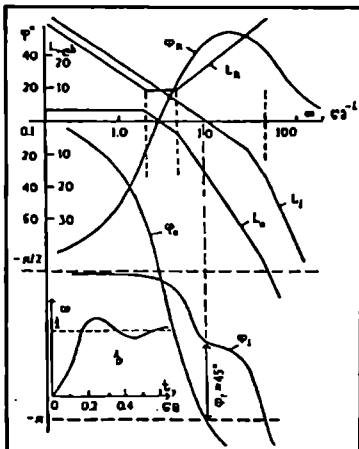
$$L(\omega) = 20 \lg \sqrt{(0,0005\omega)^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{(0,2\omega)^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{(0,45\omega)^2 + 1} - 20 \lg [(0,01\omega)^2 + 1] - 20 \lg \sqrt{(0,005\omega)^2 + 1}; \quad (4-32)$$

$$\varphi(\omega) = \arctg 0,0005\omega - \arctg 0,2\omega - \arctg 0,45\omega - 2\arctg 0,01\omega - \arctg 0,005\omega \quad (4-33)$$

(4-32) და (4-33)-ის მიხედვით 4.10-ე ნახ-ზე აგებულია ამპრავის ობიექტის ამპლიტუდური (L_0) და ფაზური (φ_0) სიხშირული მახასიათებლები. მათი ანალიზის და სინთეზის საფუძველზე განსაზღვრულია პროპორციულ-მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი ტიპის რეგულატორის გადამცემა ფუნქცია

$$W_R(p) = \beta \frac{(\tau p + 1)(T_{\tau} p + 1)}{\tau p} \quad (4-34)$$

რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრებია: $\beta = 3,15$; $\tau = 0,45$ წმ; $T_{\tau} = 0,2$ წმ. 4.10,ა ნახ-ზე L_1 , φ_1 და L_R , φ_R შესაბამისად ამპრავის გახსნილი სისტემის და რეგულატორის სიხშირული მახასიათებლებია. მათ საფუძველზე განხილული სისტემის გარდამავალი პროცესის მრუდს აქვს 4-10,ბ ნახ-ზე ნაჩვენები სახე. მიღებული მრუდით დავასკვნით, რომ სისტემის დინამიკური ხარისხის მანვენებლები დამაკმაყოფილებელია.



ნახ. 4.10

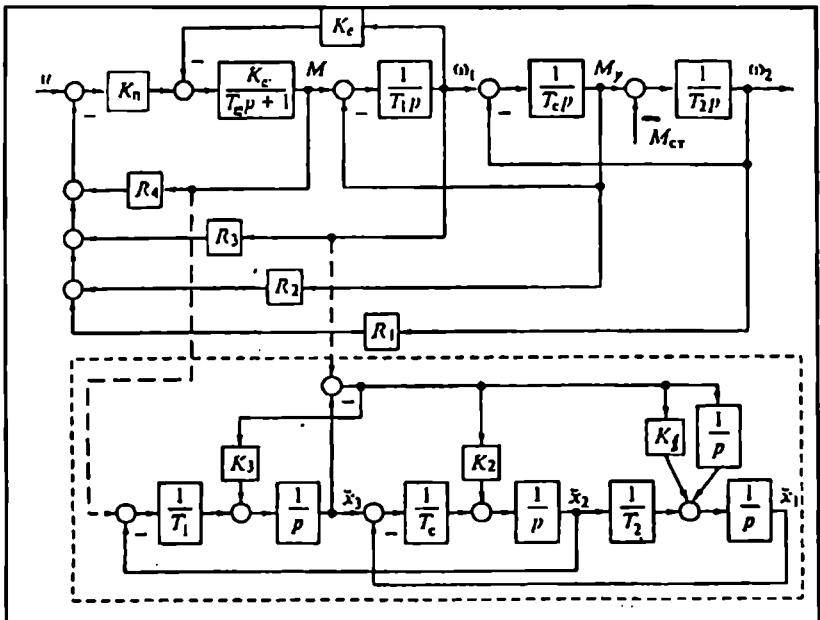
თავი V

ავტომატიზებული ელექტროამბრავების დინამიკის გამოკვლევა კომპიუტერზე და რეალურ დანადგარებზე

§ 5.1. ინდივიდუალური დრეკადრგოლებიანი ელექტროამბრავის დინამიკის გამოკვლევა კომპიუტერის გამოყენებით

თანამედროვე ავტომატური მართვის თეორიის ფუძემდებლის რ. კალმანის მიერ შემუშავებული დამკვირვებელი მოწყობილობების პრინციპით აგებული სტაციონარული ფილტრი ამბრავთა სისტემებში შეიძლება გამოიყენოს ზოგიერთი ცვლადის უკუკავშირის რეალიზების მიზნით, ისე როგორც, ეს ნახევებია 5.1-ე ნახ.-ზე. სქემაზე დამკვირვებელი მოწყობილობა შედგენილია ამბრავის მექანიკური ნაწილის ეტალონური მოდელით (იხ. წყვეტილით შემოფარგლული ნაწილი). დამკვირვებლის უკუკავშირების ოპტიმალური კოეფიციენტების განსაზღვრა წარმოებს შემდეგი განტოლებების საფუძველზე [22; 54; 65]:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}} = A\bar{x} + K(y - \bar{y}) + Bu; \\ \bar{y} = C\bar{x}, \end{cases} \quad (5-1)$$



ნახ. 5.1

სადაც \bar{x} და \bar{y} - შესაბამისად არის x და y ცვლადების შეფასებითი სიდიდეები, რომლებსაც გამოიმუშავენს დამკვირვებელი; K - დამკვირვებლის უკუკავშირების კოეფიციენტები მატრიცაა, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით [65]:

$$K = S * C^T R^{-1}, \quad (5-2)$$

სადაც S^* - არის ქვემოთ მოყვანილი რიკატის განტოლების ამონახსნის დადებითად განსაზღვრული მატრიცა. რიკატის განტოლებას აქვს სახე:

$$A^T S + SA - SAR^{-1}S + Q = 0. \quad (5-3)$$

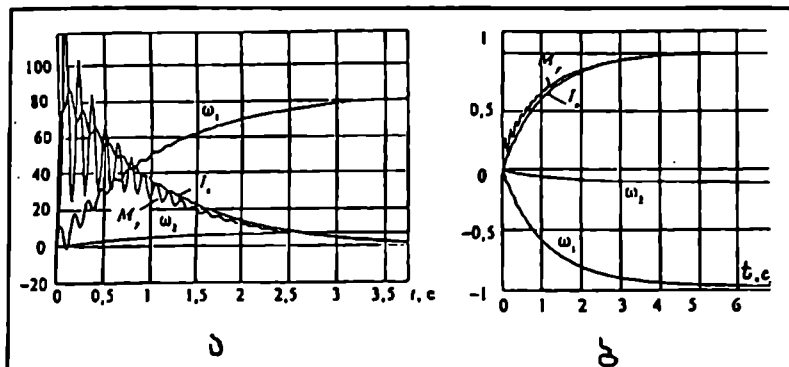
(5-3)-ის ამონახსნის მოძებნის მეთოდი მოცემულია [31; 32; 69]-ში.

ნახ. 5.1-ზე ნაჩვენებია მთავარი უკუკავშირების პარამეტრების R_i , $i = 1, 4$ მოძებნის მეთოდი განსაზღვრულია მოდალური მართვის პრინციპების შესაბამისად კალმან-ფრობენიუსის კრიტერიუმებით. თანახმად [32; 39] აღნიშნული უკუკავშირების კოეფიციენტები ტოლია:

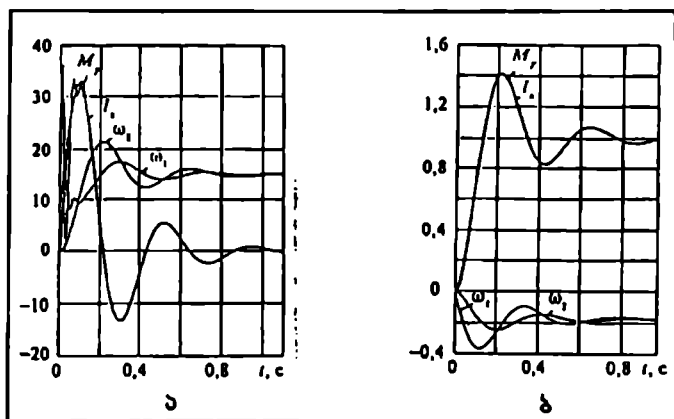
$$\left\{ \begin{aligned} R_1 &= \frac{T_1 T_2 T_c T_\Sigma \omega_0^4 - K_c K_\Sigma}{K_\delta K_\Sigma}; \\ R_2 &= \frac{\omega_0}{K_\delta K_\Sigma} \cdot \left(2T_1 T_\Sigma T_c \omega_0^2 - \frac{T_\Sigma T_\Sigma}{T_2} \right); \\ R_3 &= \frac{T_1 T_\Sigma}{K_\delta K_\Sigma} \cdot \left(3\omega_0^2 - \frac{K_c K_\Sigma}{T_1 T_\Sigma} - \frac{T_\Sigma}{T_1 T_2 T_c} \right); \\ R_4 &= \frac{T_\Sigma \omega_0 - 1}{K_\delta K_\Sigma}, \quad T_\Sigma = T_1 + T_2. \end{aligned} \right. \quad (5-4)$$

თუ ვისარგებლებთ პარამეტრების შემდეგი რიცხვითი მნიშვნელობებით: $T_1 = 1,5$ წმ; $T_2 = 10$ წმ; $T_c = 4 \cdot 10^{-4}$ წმ; $T_\Sigma = 0,1$ წმ; $K_c = 0,92$; $K_\Sigma = 50$; $K_\delta = 50$ და ბაზისური სიხშირით $\omega_0 = 66$ წმ⁻¹, მაშინ (5-4)-გამოსახულებებით განხილული ამპრავისათვის (ნახ. 4.1) უკუკავშირების კოეფიციენტები ტოლი იქნება: $R_1 = 16,24$; $R_2 = 0,04$; $R_3 = 3,3$; $R_4 = 0,008$.

მოდალური სისტემის (ნახ. 5.1) გარდამავალი პროცესები, როგორც მართვის, ისე დატვირთვის მოდების შემთხვევებისათვის ნაჩვენებია 5.2, ა და ბ ნახაზებზე. დამკვირვებელ მოწყობილობიანი ამპრავის სისტემის გარდამავალი პროცესები კი ნაჩვენებია 5.3, ა და ბ ნახაზებზე.



ნახ. 5.2

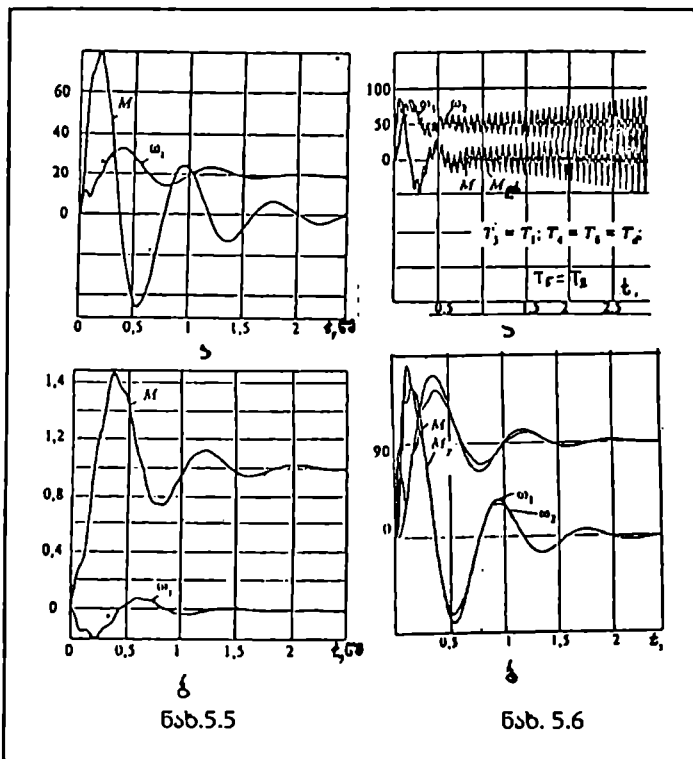


ნახ. 5.3

დრეკადკაეშირიანი ელექტროამპრავის გრეხვითი რხევების ნაქრობის და რეგულირების მაქსიმალური სწრაფქმედების მისაღწევად ეფექტური მაკორექტირებელ მოწყობილობიანი სქემა წარმოდგენილია 5.4-ე ნახ.-ზე (კორექტორი ნახევნებია წყვეტილით).

კორექტორის აგება და ოპტიმიზაცია განხორციელებულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$\begin{aligned}
 U_2(P) = & \frac{1}{T_5 \cdot P} \left[\frac{U_1(P) - U_2(P)}{T_5 \cdot P} + \frac{T_4}{T_5} \cdot U_1(P) - \frac{T_6}{T_5} \cdot U_2(P) \right] + \\
 & + \left(\frac{T_3}{T_5} \right)^2 U_1(P)
 \end{aligned}
 \tag{5-5}$$



ნახ.5.5

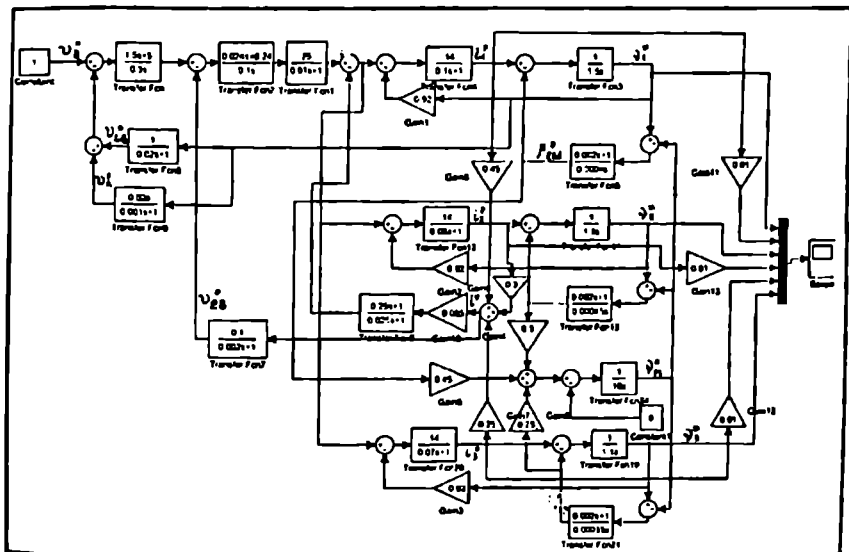
ნახ. 5.6

5.8,ა და ბ ნახაზებზე წარმოდგენილია ამპრავის ელექტროძრავების სიჩქარეებისა და ღუზების დენების გარდამავალი პროცესების მრუდები, როგორც მართვის, ისე დატვირთვის სიგნალების ნახტომისებრი შეცვლისას. 5.9,ა ნახ.-ზე მოყვანილია დინამიკური მახასიათებლები, როცა სისტემაში გამოყენებულია სიჩქარის უკუკავშირები ყველა ძრავებისაგან. ამ შემთხვევაში პროცესები ორჯერ სწრაფი და “წინარია” რხევადობის თვალსაზრისით, ამასთან სისტემის გადამტრეგულირებაც მცირეა (შედარებისათვის იხ. ნახ. 5.8, ა). 5.9,დ ნახ.-ზე მოცემულია სისტემის გარდამავალი პროცესების მრუდები, როდესაც მაკორექტირებელი რბილი უკუკავშირი არ არის ჩართული. ანხილული სისტემა ძრავებს შორის დატვირთვის პროპორციულად განაწილებას უზრუნველყოფს მაშინ, როცა დაცული იქნება შემდეგი პირობა:

$$k_{01} = k_{02} = k_{03}, \quad (5-6)$$

განხილულ შემთხვევაში $k_{01} = k_{02} = k_{03} = 14$.

5.10-ე ნახ.-ზე წარმოდგენილია ინდივიდუალურ რეგულატორებიანი სამძრავიანი ელექტროამპრავის კომპიუტერული სქემა. 5.11,ა და ბ ნახაზებზე მოყვანილია აღნიშნული ამპრავის გარდამავალი პროცესის



ნახ. 5.7

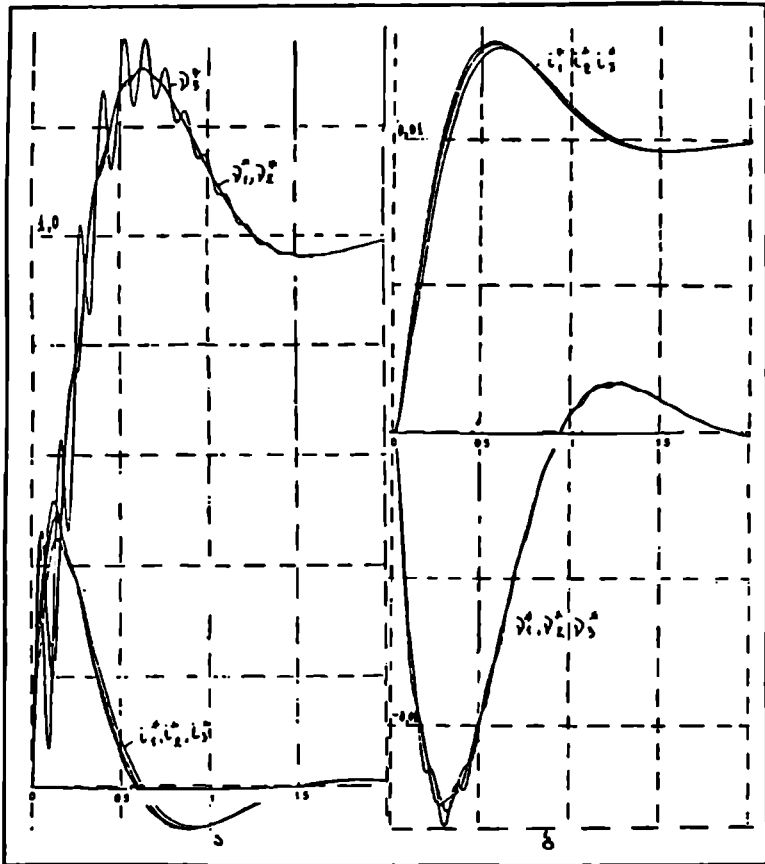
მრუდები მართვის სიგნალის შეცვლისას და დატვირთვის ნახტომისებრი მოდებისას. ამ სისტემის პროცესები წინა სისტემასთან შედარებით დროში უფრო გაჭიანურებულია. ძრავებს შორის დატვირთვათა სწორი განაწილება შესაძლებელია სისტემაში დამატებითი ჯვარედინი კავშირების ნართვის ხარჯზე. შესაბამისი სიგნალები მიეწოდება მეორე და მესამე არხების სინქარის რეგულატორებს (გაძლიერების კოეფიციენტებით 0,07 და 0,05).

უკეთესი დინამიკური მახასიათებლები გააჩნია ერთი სინქარის რეგულატორიან და ინდივიდუალურ ტირისტორულ გარადამსახებიან ელექტროამპრავის სისტემას, ამასთან როცა სქემაში გამოყენებულია ცალკეული ძრავების სინქარის უკუკავშირები. ასეთი სისტემის კომპიუტერული მოდელი წარმოდგენილია 5.12-ე ნახ.-ზე. 5.13,ა და ბ ნახაზეზე მოყვანილია განხილული სისტემის გარდამავალი პროცესების მრუდები. ძრავებს შორის დატვირთვათა პროპორციული განაწილება უზრუნველყოფილია, თუ ძრავების დენების უკუკავშირების გადაცემის კოეფიციენტებს შევირჩევთ ერთმანეთის ტოლს:

$$k_{11} = k_{12} = k_{13}, \quad (5-7)$$

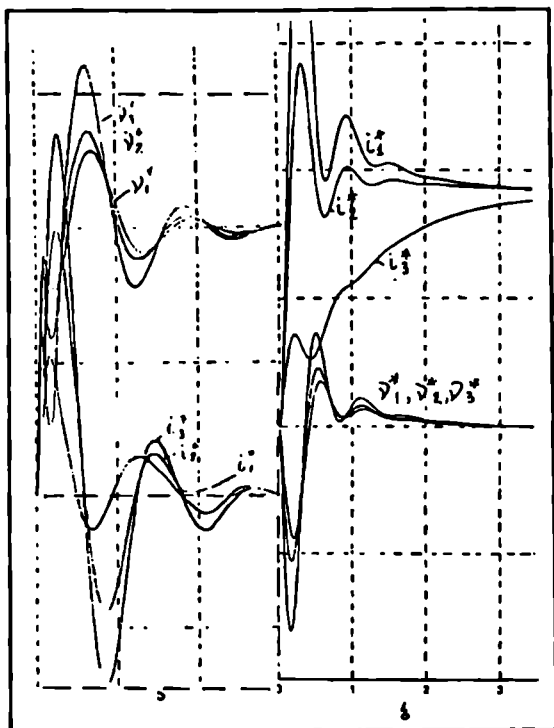
ანუ

$$\frac{K_{დგ1}}{K_{დგ2}} = \frac{I_{ა2სტ.}}{I_{ა1სტ.}}; \quad \frac{K_{დგ2}}{K_{დგ3}} = \frac{I_{ა3სტ.}}{I_{ა2სტ.}}, \quad (5-8)$$

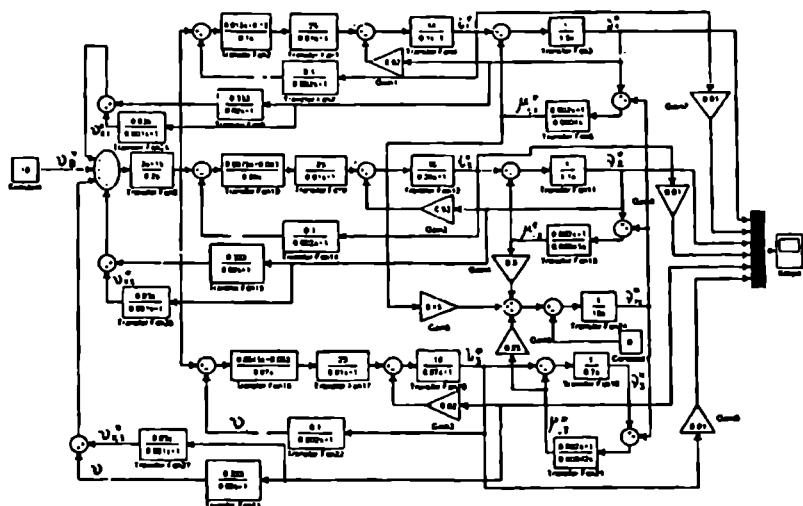


ნახ. 5.8

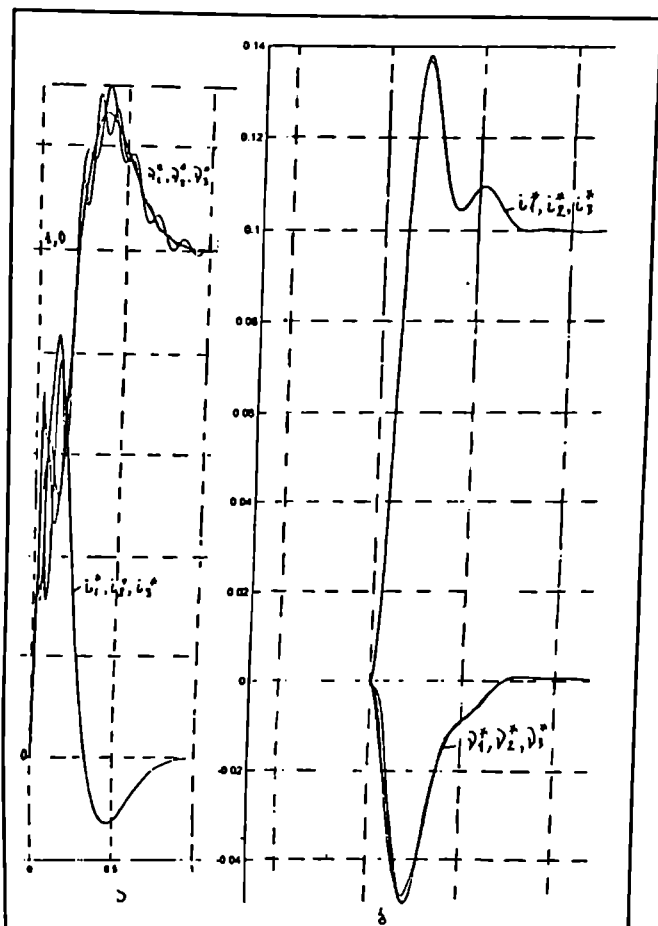
სადაც $K_{\text{დუ}}$ ძრავების დენების გადამწოდების გადაცემის კოეფიციენტებია; $I_{\text{სტ.}}$ ძრავების ღუზების დენებია დამყარებულ რეჟიმში (სტატიკაში).



бод. 5.11



бод. 5.12



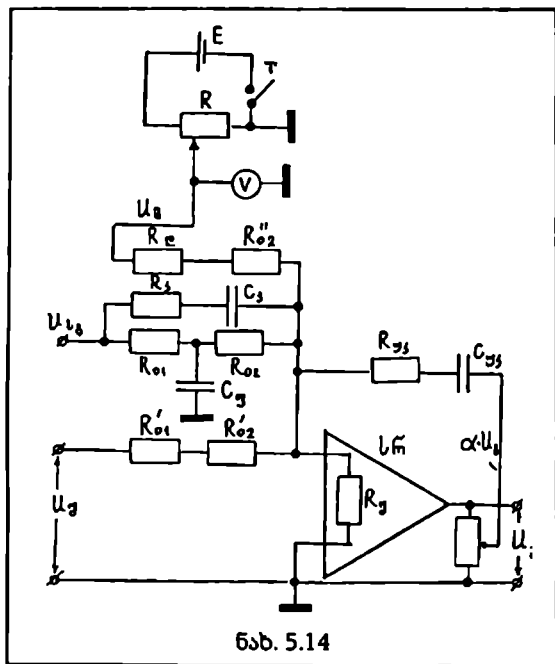
ნახ. 5.13

§ 5.3. რეალური ელექტროამძრავების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს თანამედროვე ქალაქის დამამზადებელი მანქანა, რომლის ტექნიკური პარამეტრებია: მანქანის ტექნოლოგიური სიგანე 4,95 მ., დასამუშავებელი ქალაქის სისქე 0,12 მმ., მუშა სინქარების დიაპაზონი 100-450 მწთ და მართვის მაქსიმალური ძაბვა 10 ვ. ტექნოლოგიური მანქანა ავსტრიული "Feut" ფირმისაა, ხო-

ლო ამპრაეთა სისტემა გერმანული "Siemens" ფირმისაა. ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარებულ იქნა ერთი და სამარხიანი სწრაფქმედი თეთინამწერი M07300-A74 და M02014 ტიპების ხელსაწყოების დახმარებით. პროცესების ჩაწერის სიჩქარე შეადგენდა 10-250 მმ/წმ, მგრძობიარობა 0,01-50 ვ/სმ, ხოლო გასაზომი სიგნალების სიხშირე შეადგენს 0-1250 ჰც.

ელექტროამპრაეთა გარდამავალი პროცესების ოსცილოგრამები სწრაფქმედ თეთინამწერ ხელსაწყოზე ფიქსირდებოდა თერმომგრძობიარე ქაღალდზე, ჩაწერა ხორციელდებოდა გაზომვის კომპენსაციური მეთოდის გამოყენებით. ვინაიდან ხელსაწყო აუღენდა მგრძობიარობას ხელშემშლელი სიგნალების მიმართაც, ხელსაწყოს შემავალ მომჭერებთან ხშირად გამოყენებულ იქნა კონდენსატორული ფილტრები.

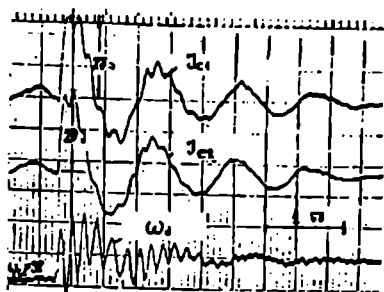


ნახ. 5.14

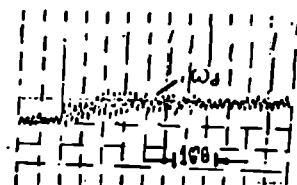
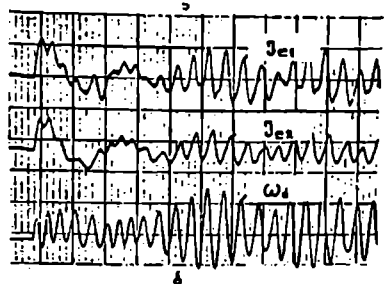
5.14-ე ნახ.-ზე წარმოდგენილი არის ავტომატიზებული ტირისტორული ელექტროამპრაის სიჩქარის რეგულატორზე სიგნალის მიწოდების სქემა, რომელზეც E-სტაბილიზებული კვების ძაბვაა, T-გადამრთველი, V-ვოლტმეტრია. სქემაზე სიჩქარის რეგულატორს გამოსავალი ძაბვა უკუკავშირში მიეწოდება სპეციალურად დაყენებული ძაბვის გამყოფისაგან, რაც ზრდის რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტის მდორე ვარიანტების შესაძლებლობას.

5.15,ა და ბ ნახაზებზე წარმოდგენილია ქაღალდის მანქანის წნეხის სექციის ორძრავიანი ტირისტორული ელექტროამპრაის გარდამავალი პროცესების ოსცილოგრამები მართვის სიგნალის ნახტომისებრი და დატვირთვის მოდების შემთხვევებისათვის. მრუდებზე ნათლად ჩანს მექანიკური ლილვების დრეკადი თვისებების გავლენა ამპრაეთა მუშაობაზე. გრეხვითი რხევების სიხშირე შეადგენს 6-7 ჰც.

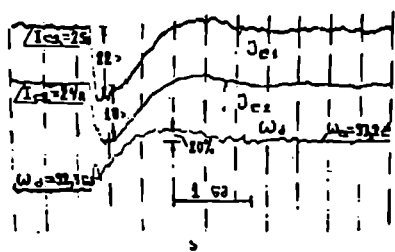
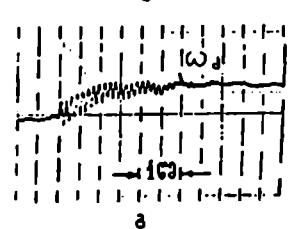
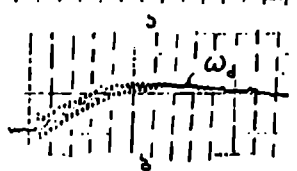
5.16-ე ნახ.-ზე წარმოდგენილია ქაღალდის მანქანის საშრობი სექციების ამპრაეების სიჩქარეთა გარდამავალი პროცესების მრუდები. აქაც გრეხვითი რხევების თვისებების გავლენა საგრძობლად და ფიქსირებული.



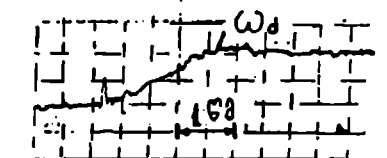
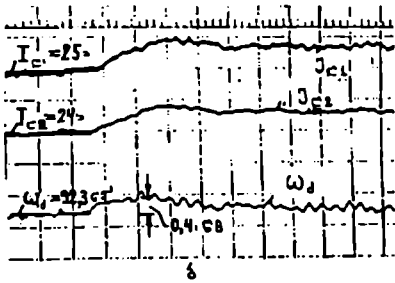
5.15.



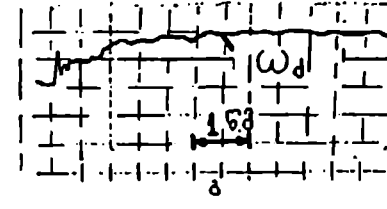
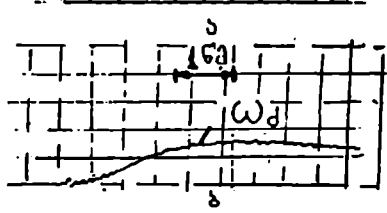
5.16



5.17.



5.18



მას შემდეგ, რაც ამჟამად ზემოთგანხილულ მართვის სისტემებში დამატებით წართულ იქნა რბილი მაკორექტირებელი (მადიფერენცირებული) მოწყობილობები, ამჟამად გარდამავალი პროცესები საგრძნობლად იქნა გაუმჯობესებული. ნათქვამის საილუსტრაციოდ 5.17 და 5.18 ნახა'სებზე მოყვანილი არის შესაბამისი გარდამავალი პროცესების მრუდები მართვის ნახტომისებრი სიგნალების მიწოდების შემთხვევებისათვის.

განხილული ელექტროამპრავების, როგორც კომპიუტერული, ისე რეალურ დანადგარებზე ნატარებული კვლევები, მათი თვისობრივი მანქანების საფუძველზე ადასტურებენ, რომ წიგნში შემუშავებული მართვის სისტემები სინქარის რეგულირებისას უსრუნველყოფენ ოპტიმალურ გარდამავალ პროცესებს.

ლიტერატურა

- [1] Адамия Р.Ш. Оптимизация динамических нагрузок прокатных станков // М., Металлургия, 1978
- [2] Адамия Р.Ш. Динамика машин // Тбилиси, Мещинереба, 1999
- [3] Adamia R., Dochviri J. Optimal Control of Electric Drive of Windable Mechanisms with Dynamic Programming // Bull. Georg. Acad. Sci., 2002, v. 166, N2, pp.292-295
- [4] Адамия Р.Ш., Дочвири Д.Н. Оптимальное управление электромеханической системы многодвигательного привода // Тб., ж., Проблемы прикладной механики, 2001, N4(5), с.4-10
- [5] ადამია რ., დოჭვირი ჯ., დოჭვირი ი. სწრაფქმედი ტირისტორული ელ-ექტროამბრავები მოდალური მართვით და დამკვირვებელი მოწყობილობებით // თბ., გამომც. "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2004
- [6] Adamia R., Dochviri J. Optimization of Transient Processes in Electromechanical Systems of Winding Mechanisms // Bull. Georg. Acad. Sci., 2004, v. 169, N1
- [7] Adamia R., Drogovoz A. Optimization of Damping in Linear Vibrators System Applied to the Dynamics of a Rolling Mill // N.Y. (USA), Mechanisms. 1970, N5
- [8] Адамия Р.Ш., Мебония С.А., Читорелидзе Г.М. Исследование динамических явлений блюминга вызванных последствием ударного захвата // Тр. ГПИ, 1985, N14(296)
- [9] Акимов Л.В. и др. Синтез полиномиальным методом с использованием цепных дробей регулятора скорости для исходно-неустойчивого ДЭМО с электро-приводом ТРН-АД // М., ж. Электротехника, 2003, N3, с.17-20
- [10] Александров А.Г. Синтез регуляторов многомерных систем // М., Машинно-строение, 1986
- [11] Altunin V.J. Modelling of transformer thiristor and transformer-diode structures of convertor devices // 4-th Int. Conf. on unconventional electromechanical and electrical systems, Saint-Petersburg, June 1999, pp. 511-516
- [12] Барышников В.Д., Дочвири Д.Н., Шестаков В.М. Динамика двухдвигательного секционного электропривода бумагоделательной машины с упругими механическими передачами // М., ж. Электропривод, 1976, N7(51), с. 6-10
- [13] Барышников В.Д., Дочвири Д.Н. и др. Исследование динамики взаимосвязанных электроприводов буммашин при учете упругостей механических передач // Межвузовский сб. научных трудов, г. Иваново, 1977, с. 3-13
- [14] Барышников В.Д., Дочвири Д.Н. и др. Современные автоматизированные тиристорные электроприводы бумагоделательных машин с вязко-

упругими связями // Л., "Знание", серия-Механизация и автоматизация производстве-нных процессов, 1979

- [15] Bass R.W. Machine solution of high order matrix Riccati equations // Tech. Rep. Douglas Aircraft, Santa Monica, 1967
- [16] Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования // М., Наука, 1980
- [17] Бицадзе А.В. Основы теории аналитических функций комплексного переменного // М., Наука 1969
- [18] Bolton H.R. Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives // Berlin, Springer, 1997
- [19] Боревич Э.И. Определители и матрицы // М., Наука, 1988
- [20] Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями // С-Пб, Энергоатомиздат, 1992
- [21] Борцов Ю.А., Поляхов Н.Д., Путов В.В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением // Л., ЭАИ, 1984
- [22] Браммер К., Зифлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси // М., Наука, 1982
- [23] Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства // М., Высшая школа, 1977
- [24] Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами // М., Наука, 1986
- [25] Wolovich W.A. Linear Multivariable Systems // New-York, Springer-Verlag, 1974
- [26] Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость // М., Наука, 1979
- [27] Gellert W., Kасner H. Lexikon der Mathematik // Veb. Bibliographisches Inst. Leipzig, 1981
- [28] Гогава А.Л., Дочвири Д.Н. Динамика регулируемого двухдвигательного электропривода с упругими связями при разомкнутом управлении // Труды Груз. Техн. ун-та, 2002, N2(441), с. 101-107
- [29] Griffel D. Linear Algebra // New-York, Academic Press, 1989
- [30] Дочвири Д.Н., Бежанишвили Д.Г., Хачапуридзе О.С. Динамика многодвигательных тиристорных электроприводов прессов буммашин // Труды III межд. конф. по АЭП, Н.Новгород, 2001, с. 194
- [31] Дочвири Д.Н. Оптимальное управление упругого электромеханического привода с фильтром Калмана-Бьюси // Извест. ЛЭТИ, сер. Электротехнология, Элек-тротехника и Электромеханика, С-Пб, 2001, N1, с. 33-40
- [32] Dochviri J. Optimization of Dynamics of Electromechanical Drive with Modal Control // Bull. Georg. Acad. Sci., 2002, v. 165, N3, pp. 537-539
- [33] Dochviri J. A Corrector of Elastic Electromechanical Drive on the Basis Operational Amplifiers // Bull. Georg. Acad. Sci., 2002, v. 166, N2, pp. 82-85
- [34] Дочвири Д.Н. Многодвигательный автоматизированный электропривод с упругими связями // ж. „Радиоэлектроника, Информатика, Управление“, Запо-рожский Государственный Техн. ун-т, 2002, N1(7), с. 114-119

- [35] Дочвири Д.Н. Динамика тиристорного электропривода при дискретном управлении // ж. Электротехника, М. 2002, N11, с. 10-14, Reprinted in Allerton Press, N.Y. (USA)
- [36] დოჭვირი ჯ. ავტომატიზებული ელექტროამპრაჟების გარდამავალი პროცესების გაანგარიშება ცვლადების მდგომარეობის სივრცის და სიხშირული მახასიათებლების მეთოდებით // თბ., გამოც. "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2003
- [37] Dochviri J., Mchedlishvili T. Quickacting Thyristor Electric Drive System of Direct Current with Regulation of Engine Flow Excitation // Bull. Georg. Acad. Sci., 2004, v. 169, N2, pp. 334-337
- [38] Dochviri J., Dochviri I. Mathematical Models and Optimization of Dynamics of Three Phase AC Asynchronous Drive by Regulation of the Voltage and Frequency // Bull. Georg. Acad. Sci., 2004, v. 169, N3, pp. 546-549
- [39] Дочвири Д.Н. Оптимизация динамики тиристорного электропривода с упругим звеном по критериям Калмана-Фробеньюса // ж. Электротехника, М. 2004, N5, с. 6-13, Reprinted in Allerton Press, N.Y. (USA)
- [40] Звиадаური В.С. Динамика вибрационных транспортно-технологических машин // Тб., "Мецნიერება", 2001
- [41] Иванов Г.М. и др. Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока // М., Энергия, 1978
- [42] Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин // М., Машиностроение, 1983
- [43] Ильинский Н.Ф. Энергосберегающие технические решения в электроприводе // М., МЭИ, 1985
- [44] Kahn P.V. Mathematical Methods for Scientists and Engineers. Linear and Nonlinear Systems // Wiley Int. Sci. Publ., 1996
- [45] Kailath T. Linear systems // New York, Prentice Hall, 1980
- [46] Kalman R. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Trans. AMSE ser. D, J. Basic Eng., 1968, v. 82, pp. 35-45
- [47] Кервалишвили О.Г., Дочвири Д.Н. Динамика тиристорного двухдвигательного привода продольно-резательного станка бумаги // Изв. Вуз-ов „Электромеханика“, 1982, N3, с. 366-371
- [48] Kimura H. Pole Assignment by Output Feedback a Long Standing Problem // Proc. of the 33-rd Conf. on Decision and Control, Lake Buena Vista, El-December, 1994, pp. 134-142
- [49] Клепиков В.Б. Квазинейрорегулирование двухмассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением // М., ж. Электротехника, 2003, N3, с. 25-29
- [50] Ковчия С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода // С-Пб, ЭАИ, 1994
- [51] Крейнин Г.В. (редактор) Динамика машин и управление машинами // М., Машиностроение, 1988
- [52] Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства // М., Машиностроение, 1976
- [53] Куо Б.С. Теория и проектирование цифровых систем // М., Машиностроение, 1986

- [54] Кухаренко Н.В. Модальное управление электроприводами постоянного тока // М., ж. Электричество, 1990, N3, с. 48-52
- [55] Kucera V.A. Review of the Matrix Riccati Equations // Kybernetika, 1973, v.9, N1, pp. 240-248
- [56] Leonhard W. Control of Electrical Drives // Springer-Verlag, 1985
- [57] Маслов С.Г. Расчеты колебаний валов (справ.) // М., Машиностроение, 1980
- [58] Moller K. Frequenzumrichter (Katalogerganzung) // Zum K.82, Juli, 1997
- [59] Мебония С.А., Деметрадзе Д.Г., Гогова А.Л., Маглакелидзе А.Л. Методика расчета параметров привода радиально-обжимных машин // Тр. Кутаисского науч. центра Ан Грузии, 2003, т.VII, с.33-36
- [60] Морозовский В.Т. Многовязанные автоматические системы регулирования // М. Энергия, 1970
- [61] Новиков Н.Е. Прессование бумажного полотна // М., Лесная промышленность, 1975
- [62] Ore O. Теория графов // М., Наука, 1980
- [63] Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний // М., Наука, 1991
- [64] Перельмутер В.М. Комплектные тиристорные электроприводы // М., ЭАИ, 1988
- [65] Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления // М., Наука, 1986
- [66] Потемкин В.Г. MATLAB (справ.) // М., МИФИ, 1997
- [67] Присмотров Н.И. и др. Энергетический метод синтеза параметров электропривода с упругой механической связью // Изв. Вуз-ов „Электромеханика“, 1983, N4, с. 71-77
- [68] Поздеев А.Д. Теория вентильного и цифрового электропривода // М., ЭАИ, 1994
- [69] Raatz E. Regelung von antrieben mit elastischer verbindung zur arbeitsmaschinen // ETZ, 1981, A.92, N4, s. 211-216
- [70] Rosenbrock Н.Н. State-Space Theory and Multivariable Theory // Melbourne, Nelson, 1980
- [71] Слежановский О.В. Устройство УБСР дискретного типа // М., Энергия, 1975
- [72] Слежановский О.В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока // М., ЭАИ, 1983
- [73] Соболев О.С. Методы исследования линейных многовязных систем // М., ЭАИ, 1985
- [74] Colebiowski C., Shilston P. Modern Sectional Electrical Drives for Paper Machines // Harland Eng. Comp. Limited Drives Division, 1980, pp. 20-28
- [75] Солодовников В.В. (Ред.) Теория автоматического регулирования (техн. кибернетика) // М., Машиностроение, 1967.
- [76] Сю Д., Мейер А. Современная теория автоматического управления и ее применение // М., Машиностроение, 1979
- [77] Терехов В.М., Крючков В.В. Оптимизация по динамическим и надежностным показателям многодвигательных электроприводов // М., ж. Электричество, 1991, N12, с.67-70

- [78] Ту Ю.Т. Дискретные системы управления // М., Машиностроение, 1964
- [79] Хвингия М. В., Багдоева А. М. и др. Колебания и устойчивость машин и приборов // Тбилиси, Мецниერსბა, 1974
- [80] Хвингия М. В., Багдоева А. М., Цулая Г.Г. Колебания мышцы и динамика системы "человек-машина" // Тбилиси, Мецниერსბა, 1984
- [81] წულაია ჰ. რხევების თეორია //თბ., გამომც. "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2003
- [82] Цулая Г. Г. Атомный электропривод // Тб., ж., Проблемы прикладной механики, 2002, N1(6), с.95-97

ადამია რობერტი
დოქვირი ჯუმბერი

მრავალძრავიანი ავტომატიზებული
ელექტროამძრავების დინამიკა
2004

Адамия Роберт Шалвович
Дочвири Джумбер Николаевич
Динамика многоприводных автоматизированных
электроприводов

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17/11/2004
ფორმატი 6080 1/16, ქალაქი № 1
პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 7,00, შეკვეთა 254

ტირაჟი 200

აკრებილია და დაკაზადონებულია ქუთაისის სამეცნიერო ცენტრში.
ქუთაისი, ირ. აბაშიძის გამზ., 22, ტ. (231) 7-77-77.
ელ. ფოსტა: k_center@rambler.ru

შპს „მერანის“ სტამბა, ქუთაისი, წმინდა ნინოს ქ. 4.