

რ. ღვალის მანქანათა მექანიკის სამეცნიერო-  
კვლევითი ინსტიტუტი  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რ. ადამია, ჯ. დოჭვირი

# ელექტროამპრავების უკუკავშირებიანი სისტემების მართვა

დამტკიცებულია საქართველოს მეცნიერებათა  
ეროვნული აკადემიის სარედაქციო-  
საგამომცემლო საბჭოს მიერ

თბილისი  
„მეცნიერება“  
2008

წიგნში განხილულია როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის თანამედროვე ტირისტორული ელექტროამპრავების სისტემები ინვარიანტული მართვის შესაბამისი დამატებითი უკუკავშირების გათვალისწინებით. შედგენილია ელექტროამპრავების დინამიკის აღმწერი მათემატიკური მოდელები. განსაზღვრულია ამპრავთა შემუშოების მაკომპენსირებელი -დამატებით უკუკავშირებაში ჩართული რგოლების გადამცემი ფუნქციები. ამპრავის დატვირთვის ცვლილების ინვარიანტობის უზრუნველყოფელი მოწყობილობა შემუშავებულია კალმან-ბიუსის ფილტრის ბაზაზე. სისტემების სიხშირული ანალიზის საფუძველზე მოცემულია რეგულატორების ოპტიმალური პარამეტრების გამოსათვლელი ფორმულები როგორც ხისტი, ისე დრეკადი მექანიკური ლილვიანი ამპრავისათვის. დრეკადი რხევების საკომპენსაციოდ რეკომენდებულია  $R-L-C$  ელემენტებისაგან შედგენილი ფილტრი. განსაზღვრულია ამპრავთა ციფრული კორექტორების ოპტიმალური გადამცემი ფუნქციები. მოყვანილია ავტორთა მიერ შემუშავებული დაბალი მგრძობიარობის მქონე ელექტროამპრავების დინამიკური პროცესების კომპიუტერული კვლევის შედეგები.

წიგნი განკუთვნილია ტექნოლოგიური მანქანების ავტომატიზებული ელექტროამპრავების დარგში მოღვაწე სპეციალისტებისათვის და მეცნიერებისათვის.

В книге рассмотрены современные системы тиристорных электроприводов как постоянного, так и переменного тока с учетом дополнительных обратных связей, соответствующие инвариантному управлению. Составлены математические модели, описывающие динамику электроприводов. Определены передаточные функции звеньев, включенных в дополнительные обратные связи, компенсирующие возмущения привода. На базе фильтра Калмана-Биуси разработано устройство, звено компенсирующего изменения нагрузки привода. На основе частотного анализа систем даны формулы для расчета оптимальных параметров регуляторов как при жестком, так и при упругом механическом вале электропривода. Для компенсации упругих колебаний рекомендован фильтр, составленный из  $R-L-C$  элементов. Определены оптимальные передаточные функции цифровых корректоров привода. Приведены результаты компьютерных исследований динамических процессов электроприводов с высокой чувствительностью, разработанные авторами.

Книга предназначена для специалистов и ученых, занимающихся в области автоматизированных электроприводов технологических машин.

რედაქტორი: ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი ე. გოგილაშვილი

რეცენზენტი: ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი თ. მჭედლიშვილი

**შესავალი.....6**

**თავი I. მუდმივი და ცვლადი დენის ავტომატი-  
ზებული ელექტროამპრავები..... 9**

§1.1. მუდმივი დენის ელექტროამპრავების უკუკავში-  
რიანი მართვის სისტემების სტატიკა .....9

§1.2. ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტროამპრა-  
ვების უკუკავშირიანი მართვის სისტემები .....21

§1.3. ინვარიანტული მართვის პრინციპები .....24

**თავი II. ავტომატიზებული ელექტროამპრა-  
ვის კირითადი ელემენტების და შეუფოთე-  
ბათა მაკომპენსირებელი მოწყობილობების  
გადამცემი ფუნქციების განსაზღვრა.....28**

§2.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამ-  
პრავის დინამიკის აღმწერი დიფერენციალური განტ-  
ოლებები და გადამცემი ფუნქციები.....28

§2.2. ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტროამპ-  
რავის დიფერენციალური განტოლებები და გადამ-  
ცემი ფუნქციები.....42

§2.3. შეშფოთებათა მაკომპენსირებელი რგოლების გადამცემი ფუნქციების განსაზღვრა .....51

თავი III. ელექტროამკრავების უწყვეტი მართვის სისტემების რეგულატორების ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევა .....58

§3.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამკრავების ოპტიმიზება .....58

§3.2. ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტროამკრავების ოპტიმიზება 69

თავი IV ელექტროამკრავების სისტემების სინქარის ციფრული რეგულატორების ოპტიმიზება..... 76

§4.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამკრავის ციფრული რეგულატორის ოპტიმიზება.....76

§4.2.სიხშირით (და ძაბვით) რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამკრავის ციფრული რეგულატორის ოპტიმიზება..... 84

თავი V. ელექტროამკრავების მართვის სისტემების გარდამავალი პროცესების მოდელირება კომპიუტერზე 91

§5.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამპრავების გარდამავალი პროცესები 91

§5.2. ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტროამპრავების გარდამავალი პროცესები.....101

**დ ა ნ ა რ თ ი** (ელექტროამპრავების თეორიული საფუძვლების ძირითადი საკითხები) 112

**ლიტერატურა**.....141

**სტატიები** .....142

## შესავალი

თანამედროვე ელექტრომექანიკური ამპრავეების უმთავრეს პრობლემად მეცნიერები განიხილავენ მათი მართვის სისტემების სრულყოფას სიზუსტისა და სწრაფქმედების გაზრდის თვალსაზრისით. თუმცა, მუდმივი დენის ავტომატიზებული ტირისტორული ელექტროამპრავეები მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლების გამო ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში, ბოლო წლებში ზოგიერთი ფირმები უპირატესობას მაინც ანიჭებენ ცველადი დენის 3-ფაზა ასინქრონულძრავებიან ავტომატიზებულ ელექტროამპრავეებს (ნახევარგამტარული სიხშირული გარდამსახებით). ეს განპირობებულია იმით, რომ მუდმივი დენის ძრავს ექსპლოატაციაში ესაჭიროება ხშირი რემონტი კოლექტორისა და მუსების გამო, ხოლო ასინქრონულ ძრავებს საექსპლოატაციო ხარჯებითიქმის არ გააჩნიათ. არ შეიძლება აქვე რომ არ შევნიშნოთ ასინქრონული ელექტროამპრავეების ნაკლოვანებაც, კერძოდ -ძრავას მკვებავი სიხშირული გარდამსახის სქემის სირთულე და ამპრავის მართვის სისტემის ელემენტების სიმრავლე, რაც პირდა-

პირ კავშირშია დანადგარის მუშაობის საიმედოობის შემცირებასთან.

როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის თანამედროვე რეგულირებად ელექტროამძრავთა მართვის სისტემების მუშაობის სიზუსტის და სწრაფქმედების გაზრდის ერთ-ერთ მთავარ ხელშემშლელ ფაქტორად ითვლება შემშფოთი სიგნალების ცვლილების მაკომპენსირებელი მოწყობილობების რეალიზების სირთულე და ამძრავთა ტრანსმისიებში არსებული დრეკადი ელემენტები (გრძელი შემაერთებელი მექანიკური ლილვები). ხშირად ეს გამოწვეულია მანქანის ტექნოლოგიური ან კონსტრუქციული თავისებურებებით, რითაც განპირობებულია ძრავასა და მექანიზმს შორის შემაერთებელი ლილვი იყოს წაგრძელებული ფორმის. ასეთ შემთხვევაში ამძრავის დრეკადი ელემენტის ბოლოებში განთავსებული ინერციული მასები დინამიკაში მოდიან ძლიერ რხევით (გრეხით) მოძრაობაში, რასაც შეუძლია გამოიწვიოს დანადგარის მწყობრიდან გამოსვლა ვადაზე ადრე. მისი მიზეზითაა აგრეთვე შეზღუდული ხშირად ელექტროამძრავის დინამიკური სწრაფქმედების გაზრდის შესაძლებლობაც. ზემოთ აღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტა

აქტუალურია როგორც უწყვეტი (ანალოგური), ისე დისკრეტული (ციფრული) მართვის მქონე ელექტროამძრავებისათვის.

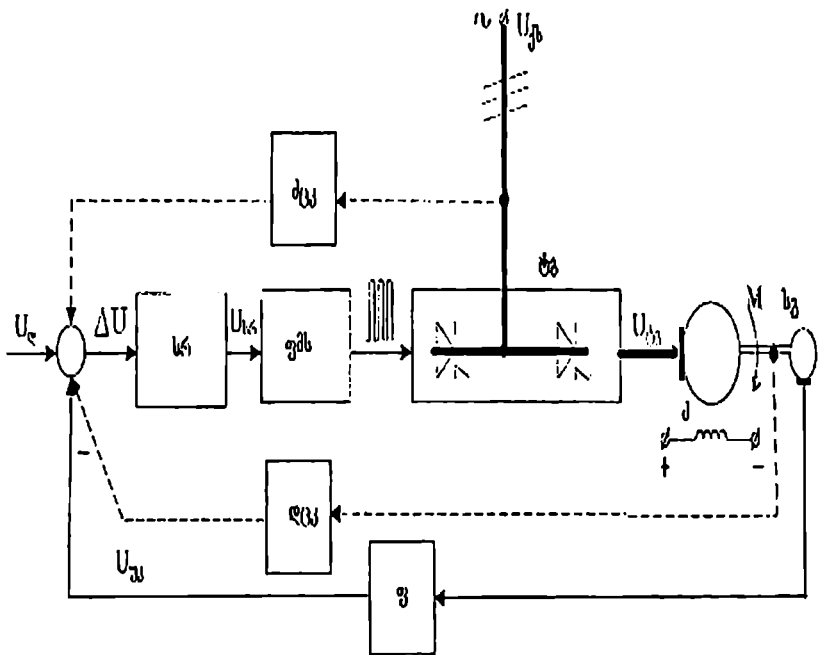
ელექტროამძრავების მართვის სისტემების სრულყოფის მიზნით წიგნში შემუშავებულია შემფოთებათა მაკომპენსირებელი რეალიზებადი რგოლები კალმან-ბიუსის ფილტრის ანალოგიური დამკვირვებელი მოწყობილობის ბაზაზე, ხოლო დინამიკაში წარმოქმნილი გრეხითი რხევების ჩასაქრობად რეკომენდებულია  $R-L-C$  ელემენტებისაგან შედგენილი ელექტრული ფილტრები.



# თავი I. მუდმივი და ცვლადი დენის ავტომატიზებული ელექტროამპრავები

## §1.1. მუდმივი დენის ელექტროამპრავების უკუკავში- რიანი მართვის სისტემების სტატიკა

1.1-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია მუდმივი დენის სინ-  
ქარის უარყოფით უკუკავშირიანი ტირისტორული  
ელექტროამპრავის სისტემა, რომელიც შედგება შემ-  
დეგი ელემენტებისაგან: *ძ* -მუდმივი დენის დამოუკი-  
დებელ აგზნებიანი ძრავასაგან; *ტგ* -ტირისტორული  
გამმართველისაგან (იგი კვებავს ძრავას ღუზის  
გრავნილს რეგულირებადი ძაბვით); *სრ*-სინქარის  
რეგულატორისაგან; *სგ*-სინქარის გადამწოდისაგან  
(ტაქოგენერატორი); *ფ* -ფილტრისაგან, რომელიც ჩა-  
რთულია ტაქოგენერატორის გამოსავალზე და უზრ-  
უნველყოფს *სგ*-დან მიღებული ძაბვის ( $U_{უკ}$ ) გაუ-  
თობას. გარდა ძირითადი (სინქარული) უკუკავშირი-  
სა, განსახილველი სისტემა აღჭურვილია შემფო-  
თებათა (ქს-ელის ძაბვის და ძრავის ღერძზე დატ-  
ვირთვის ცვლილების) მაკომპენსირებელი უკუკავში-  
რებით შესაბამისად *ძცკ* და *ღცკ* ინვარიანტობის



ნახ.1.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამბრავის უწყვეტი მართვის ერთკონტურიანი სისტემა შეშფოთებათა (ქსელის ძაბვის რყევის და ამბრავის დატვირთვის ცვლილების) მაკომპენსირებელი დამატებითი უკუკავშირებით

უზრუნველმყოფელი რგოლებით (იხ. ნახ.1.1-ზე წყვეტილით ნაჩვენები უკუკავშირები).

მანამ, სანამ განვიხილავთ უშუალოდ სინქარის უკუკავშირიანი მუდმივი დენის (მ.დ.) ელექტროამპრავის სისტემას, მოკლედ ავხსნათ მ.დ. დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას ქსელთან ჩართვის პროცესი. ძრავას აგზნების გრაგნილს წინასწარ ან ღუზის გრაგნილთან ერთად უნდა მივაწოდოთ ძაბვა. აგზნების გრაგნილში დენის გავლით მანქანაში შეიქმნება უძრავი მაგნიტური ველი. ხოლო მას შემდეგ, ღუზის გრაგნილში გაივლის დენი, მისი ურთიერთქმედებით ძრავაში არსებულ მაგნიტურ ველთან ღერძზე წარმოიქმნება ბრუნვის მომენტი. ძრავა დაიწყებს მუშაობას აჩქარებულად და მისი სინქარე დამყარდება იქ, სადაც მისი ბრუნვის მომენტი გაუტოლდება ღერძზე მოდებულ დატვირთვის მომენტს. ასეთნაირად წარმოებს მცირე სიმძლავრის ძრავების ქსელთან ჩართვა. რაც შეეხება საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავებს, მათი ქსელთან მიერთება, როგორც წესი, ხორციელდება ღუზის გრაგნილთან მიმდევრობით ჩართული დამატებითი წინაღობებით. ის გარეშე ძრავაში (ღუზაში) მოსალოდნელია გაიაროს 10-ჯერ და უფრო მეტი სიდიდის გამშვება (მო-

კლე ჩართვის) დენმა, ლუზის გრაგნილის მცირე აქტიური წინაღობის გამო. მას შეუძლია გამოიწვიოს ძრავას დაზიანება (დაწვა).

ეხლა განვიხილოთ ერთკონტურიანი (მხოლოდ სიჩქარის უკუკავშირიანი) ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემის მუშაობის პრინციპი. ამ შემთხვევაში ამძრავის გაშვების დასაწყისში აუცილებელია სქემის მომზადება, რაც გულისხმობს ძრავას აგზნების გრაგნილის და ტირისტორული გარდამსახის მიერთებას ქსელთან. მას შემდეგ, რაც მართვის სისტემას მივაწვდით დავალების სიგნალს ამძრავი დაიწყებს აჩქარებას და მისი სიჩქარე დამყარდება დავალების სიგნალის შესაბამის სიდიდეზე. ძრავას გაშვების პროცესი ამჯერად ხორციელდება ფორსირებულად სისტემის უკუკავშირის დახმარებით. ფორსირებას იწვევს ის, რომ თავიდან მანამ სანამ ძრავა ჯერ კიდევ უძრავია (ელექტრულ და მექანიკურ ინერციულობათა გამო) და არ არსებობს უკუკავშირის ძაბვა, დავალების სიგნალი (ძაბვა) მთლიანად მოედება სიჩქარის რეგულატორს. ძაბვის ეს სიდიდე გაცილებით ჭარბობს ნორმალურს, ამიტომ პროცესი წარიმართება ფორსირებულად, ხოლო მი-

სი მოხსნა მოხდება უმაღლეს, როგორც კი ძრავა დაიწყებს დაბრუნებას.

სინქარის უკუკავშირიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემის (ნახ.1.1) ჩქარული მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად საჭიროა ჩაეწეროს მისი ცალკეული ელემენტის სტატიკური რეჟიმის შესაბამისი განტოლებები:

$$\begin{cases} \Delta U = U_{\text{ღ}} - U_{\text{უკ}}; \\ U_{\text{უკ}} = K_{\text{სგ}} \omega; \\ U_{\text{სრ}} = K_{\text{სრ}} \Delta U; \\ E_{\text{ტგ}} = K_{\text{ტგ}} U_{\text{სრ}}; \\ U_{\text{ტგ}} = E_{\text{ტგ}} - I_{\text{ღ}} R_{\text{ტგ}}; \\ U_{\text{ა}} = E_{\text{ა}} - I_{\text{ღ}} R_{\text{ღა}}; \\ E_{\text{ა}} = c_{\text{ა}} \omega, \end{cases} \quad (1-1)$$

სადაც  $K_{\text{სრ}}$ ,  $K_{\text{ტგ}}$  და  $K_{\text{სგ}}$  - შესაბამისად არის სინქარის რეგულატორის, ტირისტორული გარდამსახის და სინქარის გადამწოდის გადაცემის კოეფიციენტები;  $E_{\text{ა}}$ ,  $E_{\text{ტგ}}$ ,  $I_{\text{ღ}}$ ,  $R_{\text{ღა}}$  და  $R_{\text{ტგ}}$  - ძრავას ღუზის და ტგ-ის ე.მ. ძალებია, აგრეთვე ღუზის დენი, ღუზის გრაგნილის და ტგ-ის აქტიური წინააღობებია;  $c_{\text{ა}}$  - ძრავის ე.მ.-ძალის პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომე-

ლიც განისაზღვრება მისი საქასპორტო მონაცემებით და შემდეგი ფორმულით:

$$c_d = \frac{U_{\text{ნომ}} - I_{\text{ნომ}} \cdot R_{\text{ლმ}}}{\omega_{\text{ნომ}}}; \quad (1-2)$$

$E_{\text{ტბ}}, R_{\text{ტბ}}$  - ტირისტორული გარდამსახის ე.მ. - ძალა და აქტიური წინაღობაა;  $K_{\text{ტბ}}$  - ტირისტორული გარდამსახის გადაცემის კოეფიციენტი, მისი განსაზღვრა წარმოებს გარე მახასიათებლის მუშა წერტილში გაფლებული მხების დახრის კუთხის ტანგენსით ანუ

$$K_{\text{ტბ}} = \frac{\Delta E_{\text{ტბ}}}{\Delta U_{\text{სრ}}}; \quad (1-3)$$

(1-1)-ის ერთობლივი ამონახსნი გეაძლევს უკუკავშირიანი ამძრავის სიჩქარული მახასიათებლის ფორმულას:

$$\omega = \frac{K_{\text{სრ}} K_{\text{ტბ}} K_d}{1 + K_{\text{სრ}} K_{\text{ტბ}} K_d K_{\text{უკ}}} \cdot U_{\text{დ}} - \frac{I_{\text{დ}} R_{\text{ლწ}}}{c_d (1 + K_{\text{სრ}} K_{\text{ტბ}} K_d K_{\text{უკ}})}; \quad (1-4)$$

სადაც  $K_d = \frac{1}{c_d}$  არის ელექტროძრავას გადაცემის

კოეფიციენტი;  $R_{\text{ლწ}} = R_{\text{ლმ}} + R_{\text{ტბ}}$  - ძრავის ღუზის წრედის სრული აქტიური წინაღობა.

თუ, (1-4)-ში  $I_{\text{დ}}$ -ს შევცვლით ძრავის ბრუნვის მომენტის ( $M$ ) სიდიდით შემდეგი გამოსახულებიდან

$$M = c_{\text{კ}} \cdot I_{\text{დ}}, \quad (1-5)$$

მაშინ ადვილად მივიღებთ ამძრავის მექანიკური მახასიათებლის ფორმულასაც:

$$\omega = \frac{K/K_{\text{უკ}}}{1+K} U_{\text{დ}} - \frac{MR_{\text{დ}} \nabla}{c_{\text{კ}}^2 (1+K)}, \quad (1-6)$$

სადაც  $K = K_{\text{სრ}} \cdot K_{\text{ტგ}} \cdot K_{\text{კ}} \cdot K_{\text{უკ}}$  -სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი.

(1-6)-ში პირველი მდგენელი წარმოადგენს ამძრავის უკში სვლის სიჩქარეს ( $\omega_0$ ), ხოლო მეორე მდგენელი არის ამძრავის სიჩქარის ვარდნა უკუკავშირიან (შეკრულ) სისტემაში ( $\Delta\omega$ ). ვინაიდან სისტემის საერთო  $K=200$ -დან  $1000$ -მდე, ამიტომ უკუკავშირით მომუშავე ამძრავს სიჩქარის ვარდნა

თითქმის არ გააჩნია ანუ  $\Delta\omega \ll \Delta\omega_{\text{გახსნ}} = \frac{M \cdot R_{\text{დ}}}{c_{\text{კ}}^2}$ .

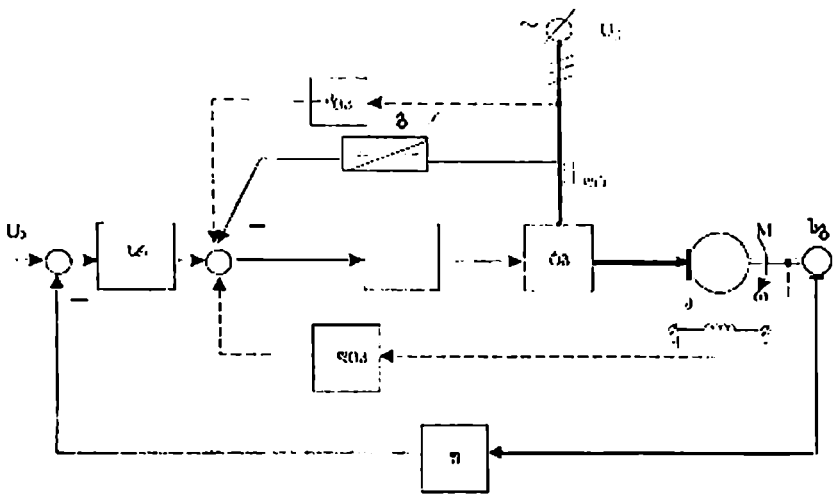
სიჩქარის უარყოფითი უკუკავშირი იწვევს რა სისტემის სტატიკური სიზუსტის გაზრდას, იმავედროულად უზრუნველყოფს ამძრავის დინამიკური პროცესების ფორსირებას. ეს ადვილად აიხსნება გაშვების პროცესის დასაწყისში რეგულატორის შესასვლელზე გაზრდილი ძაბვის მიწოდებით. აღნიშნული გაზრდილი ძაბვის თანდათანობითი მოხსნა სწ-

რაფად ხორციელდება სისტემაში შემავალი ელემენტების ინერციულობათა გათვალისწინებით.

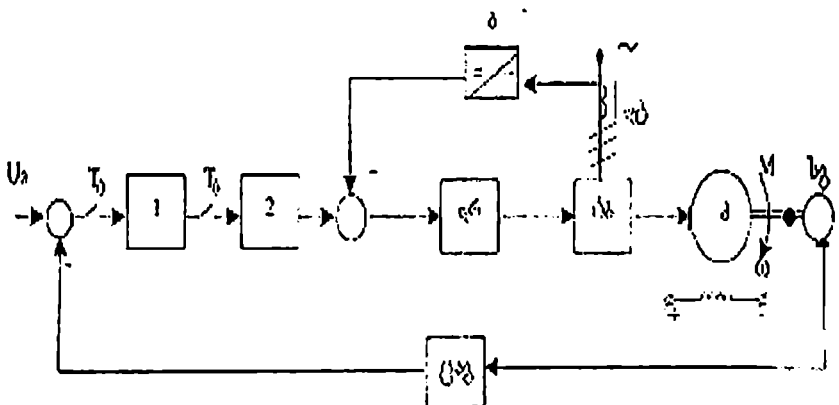
სიჩქარის და დენის უკუკავშირებიანი (ორკონტურიანი) ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემის ფუნქციონალური სქემა წარმოდგენილია 1.2-ე ნახ.ზე, რომელზედაც სიჩქარის და დენის რეგულატორებია სრ და დრ. იგი ისე, როგორც წინა განხილული სისტემა, უზრუნველყოფს ამძრავის სიჩქარის სტაბილიზაციას მაღალი სიზუსტით, ხოლო დინამიკაში საშუალებას იძლევა გაკომპენსირებულ იქნას ამძრავის ძირითადი (დიდი) ინერციულობები, რაც საბოლოოდ საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ სიჩქარის რეგულირების სწრაფქმედება.

ინვარიანტული ელექტროამძრავის სისტემის შესაქმნელად ორივე შემთხვევაში (ნახ.1.1 და ნახ.1.2) ქსელის ძაბვის ცვლილების მაკომპენსირებელი რგოლის რეალიზება შედარებით ადვილია, ხოლო ძრავის დერძზე სტატიკური დატვირთვის ცვლილების კომპენსაციის რგოლის კონსტრუირება უფრო ძნელია. ამ მიზნით მოხერხებულ საშუალებად მიგვაჩნია მართვის სისტემებში კალმან-ბიუსის ფილტრის ანალოგიური დამკვირვებელი მოწყობილობის გამოყე-





ნახ.12. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამბრავის უწყვეტი მართვის ორკონტურიანი სისტემა შეშფოთებათა მაკომპენსირებელი დამატებითი უკუკავშირებით

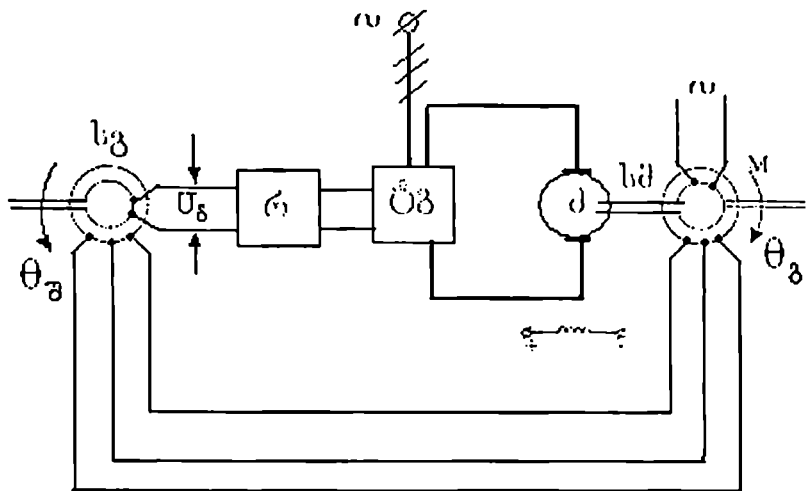


ნახ.13. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამბრავის ციფრული მართვის სისტემა

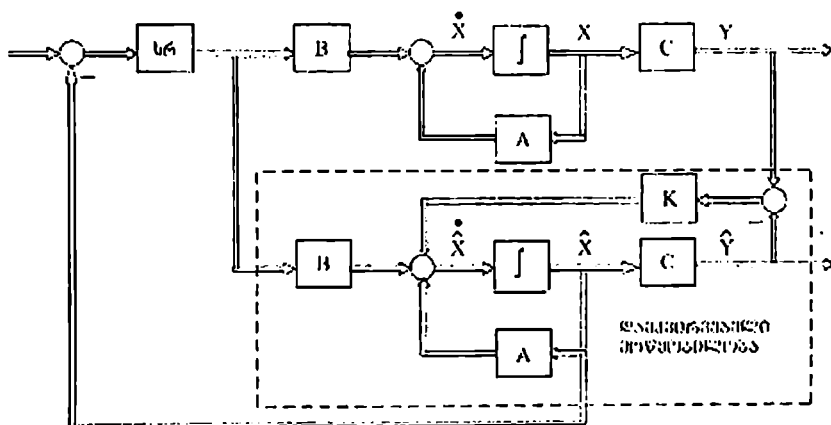
ნება და მისი დახმარებით ამძრავის დინამიკური მომენტის (დენის) შესაბამისი მდგენელის მიღება.

მუდმივი დენის ციფრულ-რეგულატორიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემა (ნახ.1.3) გარდა ციფრული რეგულატორისა (1) შეიცავს ნულოვანი დონის ექსტრაპოლიატორს (2), რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის იმპულსური და უწყვეტი (ანალოგური) მოქმედების ნაწილების ურთიერთკავშირს. სისტემაში სიჩქარის უკუკავშირის სგ-გადა-მწოდი, როგორც წესი, იმპულსური მოქმედებისაა და მის წრედში ჩართულია სპეციალური ციფრულ-ანალოგური გარდამსახი (ცაგ).

რადიოლოკაციურ ანტენებზე და რადიოტელესკოპებზე გამოიყენება მუდმივი დენის ელექტროამძრავის ე.წ. „მიმყოლი“ მართვის სისტემა (ნახ.1.4). ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს შესავალზე მიწოდებული გარეშე ფაქტორებით განსაზღვრული სიგნალის გამეორებას სისტემის გამოსავალზე არსებული სიგნალის სახით. სისტემის შემავალი და გამომავალი ღერძების მობრუნების კუთხეთა ( $\Theta_1$  და  $\Theta_2$ ) უთანხმოების გაზომვა ხორციელდება სგ და სმ გადამწოდი (მოკარნახე) და მიმღები სელსინების



ნახ.14. მიმყოლი ელექტროამძრავის ერთკონტურიანი მართვის სისტემა



ნახ.15. მოდალური მართვის მქონე ელექტროამძრავის მატრიცული სტრუქტურული სქემა დამკვირვებელი მოწყობილობით

გამოყენებით. როცა  $sz$ -ის ღერძი შემობრუნდება რაიმე კუთხით, მაშინვე  $sz$ -ს ერთფაზა გამოსასვლელზე გაჩნდება სელსინების ღერძების უთანხმოების (ცდომილების) პროპორციული  $\mu$  ძაბვა. სისტემის პირდაპირ არხში  $r$  -რეგულატორიდან გაივლის სიგნალი, რომელიც აამუშავებს  $sz$ -ის ღერძზე დამაგრებულ შემსრულებელ ძრავას. იგი იმუშავებს მანამ, სანამ არ მოისპობა უთანხმოება  $sz$ -ის და  $sz$ -ს ღერძების მობრუნების კუთხეებს შორის.

1.5-ე ნახ-ზე წარმოდგენილია მოდალური მართვის მქონე ელექტროამძრავის მატრიცული ბლოკ-სქემა დამკვირვებელი მოწყობილობით, რომელზედაც გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები:  $x$ -სისტემის მდგომარეობის ცვლადებია;  $y$ -გამომავალი სიგნალია;  $A$ ,  $B$ -მდგომარეობის ცვლადების შესაბამისი დიფგანტოლებების პარამეტრებით განსაზღვრული მატრიცებია;  $C$ -მატრიცა განსაზღვრავს ცვლადებიდან რომელი იქნება გამომავალი;  $K$ - დამკვირვებელი მოწყობილობის უკუკავშირების კოეფიციენტებია.

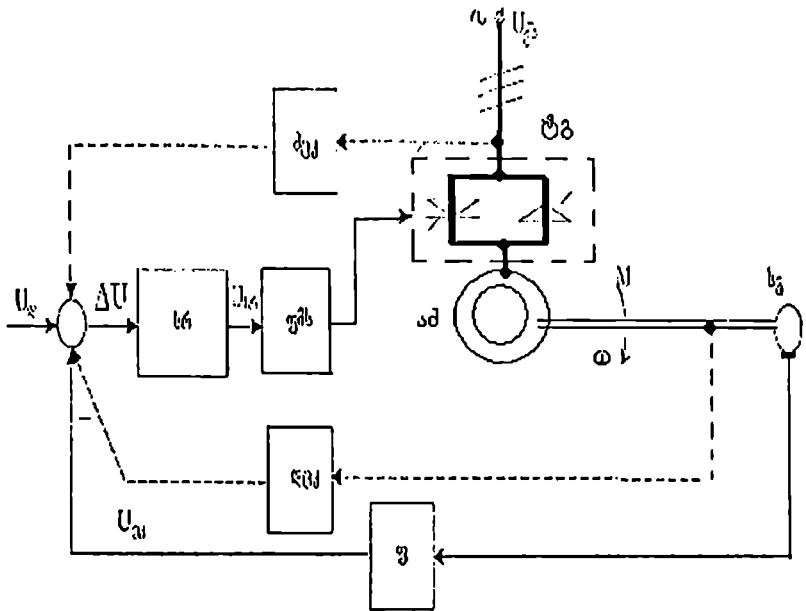
## §1.2. ცველადი დენის ასინქრონული ელექტროამძრავების უკუკავშირიანი მართვის სისტემები

პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ცველადი დენის სამფაზა ასინქრონული ელექტროამძრავის უწყვეტი მართვის სისტემას ძაბვის ტირისტორული გარდამქმნელით, რომელიც უზრუნველყოფს ძრავას სიჩქარის სტაბილიზაციას რეგულირების  $D=3:1$  დიაპაზონით (ნახ.1.6).

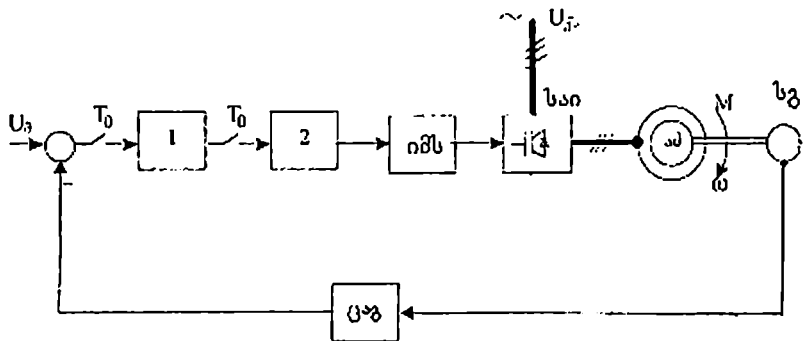
მანამ სანამ შევხებით ც.დ.-ის ასინქრონული ელექტროამძრავის უკუკავშირიან სისტემებს მოკლედ აღვწეროთ ასინქრონული ძრავას ქსელთან ჩართვის და გაშვების პროცესი. მიაერთებენ რა ქსელთან ძრავას სტატორის 3-ფაზა გრაგნილებს (შერთებულს ეარსკვლავად ან სამკუთხედად) მათში გაივლის დენი, რაც გამოიწვევს მანქანის საძაერო ღრეჩოში მბრუნავი მაგნიტური ველის წარმოქმნას. ეს ველი ძრავას უძრავი როტორის გრაგნილებში დააინდუქცირებს ე.მ.-ძალებს, რომლებსაც მოჰყვება აგრეთვე მათში დენების გავლა. ამ დენებისა და მაგნიტური ველის ურთიერთქმედება გამოიწვევს როტორის დაბრუნებას. აქაც ისევე, როგორც მუდმივი დენის ძრავაში, საშუალო და დიდი სიმძლავრეების

შემთხვევაში როტორის გრაგნილების მიმდევრობით გაშვების დასაწყისშივე აუცილებელია ე.წ. გამშვი (დამატებითი) წინაღობების ჩართვა. ეს გამორიცხავს მანქანაში ამუშავების დასაწყისში დიდი (მ.ჩ-ის) დენის გაელას და მის დაზიანებას (დაწვას). ტირისტორულ გარდამქმნელიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის რეგულირების შეზღუდული დიაპაზონი განპირობებულია ძრავას კრიტიკული (მაქსიმალური) ბრუნვის მომენტის კვადრატული დამოკიდებულებით სტატორის გრაგნილებზე მიწოდებული ძაბვისაგან. ელექტროამძრავის ასეთი სისტემისათვის ისე, როგორც ზემოთ განხილული სისტემებისათვის, აქტუალურია ინვარიანტობის პრობლემების გადაწყვეტა.

სიჩქარის რეგულირების დიდ დიაპაზონს იძლევა ძაბვით და მისი სიხშირით მართვადი სამფაზა ასინქრონული ელექტროამძრავის უკუკავშირიანი სისტემა, რომლის ფუნქციონალური სქემა ციფრული რეგულატორით მოცემულია 1.7-ე ნახ-ზე. გარდა ზემოთ აღნიშნული ელემენტებისა იგი შეიცავს ე.წ. სიხშირის ავტონომიურ ინვერტორს, რომელიც ქსელის ძაბვას და მის სიხშირეს გარდა-



ნახ.1.6. ძაბვით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამპრავის მართვის სისტემა შემუშოვებათა მაკომპენსირებელი რგოლებით



ნახ.1.7. სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამპრავის ციფრული მართვის სისტემა

ად. ამძრავის ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს თითქმის ისეთივე სტატიკურ და დინამიკურ მახასიათებლებს, როგორც გააჩნია მუდმივი დენის ტირისტორულ ელექტროამძრავს.

### §1.3. ინვარიანტული მართვის პრინციპები

ისე, როგორც ნებისმიერი სახის ავტომატური მართვის სისტემისათვის, ავტომატიზებული ელექტროამძრავებისათვისაც სიზუსტის გასაზრდელად ძირითადად გამოიყენება: სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტის ან ასტატიზმის რიგის გაზრდის ხერხები. გარდა ამისა, სიზუსტის ასამაღლებლად, აგრეთვე შეიძლება გამოვიყენოთ სისტემის შემშფოთი სიგნალების კომპენსაციის მეთოდები, ე.წ. ინვარიანტობის პრინციპები. თუმცა, ამ მეთოდებით სარგებლობისას მაკომპენსირებელი მოწყობილობების პრაქტიკული რეალიზება ყოველთვის ადვილი როდია, ზოგჯერ კი საერთოდ შეუძლებელია.

სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდით შესაძლებელია მხოლოდ სტატიკური სიზუსტის ამაღლება. დინამიკური რეჟიმებისათვის სიზ-



უსტის გაზრდის ეს მეთოდი მიუღებელია (პ-ტიპის რეგულატორების გამოყენებისას), ვინაიდან იგი იმავდროულად აუარესებს სისტემის მდგრადობის მარაგს. აქედან გამომდინარე სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდასთან ერთად აუცილებელია ვიზრუნოთ დინამიკური მდგრადობის მარაგის შენარჩუნებაზე სპეციალური მაკორექტირებელი მოწყობილობების დახმარებით.

სისტემის დამყარებულ რეჟიმში (სტატიკაში) ცდომილების შესამცირებლად პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება რეგულატორები მაინტეგრებელი ტიპის მდგენელებით. ასეთი რეგულატორი იძლევა პირველი რიგის ასტატიკურ სისტემას, რომელსაც ახასიათებს გახსნილი კონტურისათვის შემდეგი სახის გადამცემი ფუნქცია

$$W(s) = \frac{k_0(b_0s^m + \dots + b_m)}{s(a_0s^n + \dots + a_n)}, \quad m \leq n. \quad (1-7)$$

სადაც  $s = d/dt$  -ლაპლასის ოპერატორია;  $k_0$  -სისტემის საერთო გადამცემის კოეფიციენტი;  $\{a_i\}_{i=0;\overline{n}}$  და  $\{b_i\}_{i=0;\overline{m}}$  სისტემის პარამეტრებით განსაზღვრული კოეფიციენტებია.

მეორე რიგის ასტატიკური სისტემის გახსნილი კონტურისათვის გადამცემ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$W(s) = \frac{k_0(b_0s^m + \dots + b_m)}{s^2(a_0s^n + \dots + a_n)}, \quad m \leq n. \quad (1-8)$$

იმის გამო, რომ მაინტეგრებელი ტიპის რეგულატორები აუარესებენ დინამიკური სისტემების მდგრადობას, ელექტროამძრავების შემთხვევაში ამ ტიპის რეგულატორებით სისტემის მუშაობა საერთოდ შეუძლებელი ხდება (როგორც სტრუქტურულად არამდგრადი სისტემისა). ამიტომ მდგრადობის მარაგის შესანარჩუნებლად დამატებითი მაკორექტირებელი მოწყობილობების გარეშე თანამედროვე ავტომატიზებულ ელექტროამძრავებში რეგულატორებად იყენებენ იზოდრომული ტიპის ოპერაციულ მაძლიერებლებს, რომლის გადამცემი ფუნქციაა:

$$W(s) = \beta \cdot \frac{s+1}{s}. \quad (1-9)$$

იზოდრომულ რეგულატორთან შედარებით სისტემის ცდომილების შემცირების უფრო ეფექტური საშუალებაა პროპორციულ-მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი (პიდ)-ტიპის რეგულატორის გამოყენება. მაგრამ აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ პიდ - რეგუ-

ლატორში მადიფერენცირებელი წრედები არასასურველი ელემენტებია ამძრავთა სისტემებისათვის, როგორც ხელშემშლელი სიგნალებისადმი მაღალმგრძნობიარენი.

ავტომატური მართვის სისტემებში მაღალი სიზუსტის მიღების ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა, აგრეთვე ე.წ. ინვარიანტობის პრინციპების გამოყენება. მართვის სისტემა ინვარიანტულია შემშფოთებელი ზემოქმედებების მიმართ, თუ გარდამავალი პროცესის დამთავრების შემდეგ სისტემის ცდომილება და სარეგულირო ცვლადის სიდიდე დამოკიდებული არ არიან აღნიშნული ზემოქმედებებისაგან. რაც შეეხება ინვარიანტობას მართვის სიგნალის მიმართ იგი შესრულებულ იქნება, თუ სარეგულირო ცვლადის სიდიდე დამოკიდებული არ იქნება ამ ზემოქმედებისაგან (ნულოვანი საწყისი პირობების გათვალისწინებით).

პრაქტიკული რეალიზების გათვალისწინებით სრული ინვარიანტობის შესრულება რთულია, ამიტომ თანამედროვე ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით შეიძლება ნაწილობრივი ინვარიანტობის პრინციპების რეალიზება.

თავი II. ავტომატიზებული ელექტროამპრავების ძირითადი ელემენტების და შეფუთვითა და მათი მართვის მოწყობილობების გადასვლა ფუნქციების განსაზღვრა

§2.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამპრავის დინამიკის აღმწერი დიფერენციალური განტოლებები და გადამცემი ფუნქციები

ტირისტორული გარდამსახიდან (ტგ) მკვებავი მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავასათვის დინამიკური რეჟიმების გასაანალიზებლად საჭიროა განვსაზღვროთ მისი გადამცემი ფუნქციები. ამ მიზნით თავდაპირველად ვწერთ ამპრავის შემდეგ დიფერენციალურ განტოლებებს: ა) ღუზის ელექტრული წრედისათვის (თუ ჩავთვლით, რომ ძრავის მაგნიტური ნაკადი  $\Phi_d = \text{const}$ ) ძაბვების წონასწორობის დიფერენციალურ განტოლებას

$$E_{ტგ} = E_d + I_{ღ} R_{ღ} \cdot \nabla + L_{ღ} \nabla \frac{dI_{ღ}}{dt} \quad (2-1)$$

და ამპრავის მოძრაობის ძირითად განტოლებას (შედგენილს დალამბერის პრინციპით)

$$M - M_{სტ} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (2-2)$$

სადაც გარდა ზემოთ გამოყენებული აღნიშვნებისა გვაქვს:  $L_{ლწ} = L_{ლძ} + L_{ტბ}$  -ძრავას ღუზის წრედის სრული ინდუქტივობა, რომელიც შედგება საკუთრივ ღუზის გრაგნილის და ტბ-ის მიკვებავი ძალური ტრანსფორმატორის გრაგნილების ინდუქტივობებისაგან;  $L_{ტბ} = L_{ღრ} + 2L_{ტრ}$ ;  $L_{ღრ}$  -გარდამსახის გამოსასვლელზე ჩართული დროსელის ინდუქტივობაა;  $L_{ტრ}$  -ტრანსფორმატორის ერთი ფაზის გრაგნილის ინდუქტივობაა, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით  $L_{ტრ} = x_{ტრ} / 2\pi f$  -ქსელის ძაბვის სიხშირეა;

$$x_{ტრ} = \frac{U_{260მ} \cdot e_{გ.წ. \%}}{I_{260მ} \cdot 100}; \quad U_{260მ} \text{ და } I_{260მ} \text{ -ტრანსფორმა-}$$

ტორის მეორადი ძაბვის და დენის ნომინალური მნიშვნელობებია;  $e_{გ.წ.}$  -ტრანსფორმატორის მ.წ.-ის ძაბვა; ძრავას ღუზის გრაგნილის ინდუქტივობას განსაზღვრავენ ე.წ. უმანსკ-ლინვილის ფორმულით:

$$L_{ლძ} = \gamma \cdot U_{ნომ} / I_{ნომ} p \omega_{ნომ}, \quad \text{ჰნ};$$

სადაც  $\gamma = 0,15 - 0,25$  გაკომპენსირებული ძრავებისათვის,  $\gamma = 0,6$  გაუკომპენსირებელი ძრავებისათვის;  $p$  -ძრავას წყვილ-პოლუსთა რიცხვია;

$R_{\text{ლწ}} = R_{\text{ლძ}} + R_{\text{ტბ}}$  -ლუხის წრედის სრული აქტიური წინაღობაა;  $R_{\text{ტბ}} = R_{\text{ლრ}} + R_{\text{ჟ}} + 2R_{\text{ტრ}} + R_{\text{x}}$ ;  $R_{\text{ლრ}}$  და  $R_{\text{ჟ}}$ -დროსელის და ვენტილის (გახსნილ მდგომარეობაში) აქტიური წინაღობებია;  $R_{\text{ტრ}}$ -ტრანსფორმატორის მეორადი ერთი ფაზის წინაღობაა, იგი გამოითვლება ფორმულით:  $R_{\text{ტრ}} = \Delta p_{\text{ს}} / 3I_{2\text{ფ}}^2$ ,  $\Delta p_{\text{ს}}$ -ტრანსფორმატორის სპილენძში დანაკარგების სიმძლავრეა;  $R_{\text{x}}$ -გარდამსახის წინაღობაა ვენტილების კომპუტაციის პროცესში (ანოდური დენების გადართვისას), იგი გამოითვლება ფორმულით:  $R_{\text{x}} = m \cdot x_{\text{ტრ}} / 2\pi$ ;  $m$ -გამმართველის ფეთქადობის რიცხვია ( $m=6$ -სამფაზა ორტაქტა გამმართველებისათვის,  $m=3$ -ერთტაქტა გამმართველებისათვის);  $M_{\text{სტ}}$ -ძრავის ღერძზე დაყვანილი წინაღობის სტატიკური მომენტი;  $J$ -ძრავას ღერძზე დაყვანილი ამძრავის ჯამური ინერციის მომენტი.

ვინაიდან თანამედროვე ელექტროამძრავთა მართვის სისტემები (მასში გამოყენებული რეგულირების ტექნიკა) საშუალებას იძლევა ამძრავის სიჩქარის რეგულირება განვახორციელოთ მდოვრედ,

ამიტომ მიზანშეწონილია განტოლებები შევადგინოთ ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში. ამ შემთხვევაში ამჟღავნის ცალკეული ელემენტის მუშაობა უნდა განვიხილოთ მისი სტატიკური მახასიათებლის, რომელიმე ბაზისური დამყარებული რეჟიმის შესაბამისი (ისინი ქვემოთ აღნიშნული იქნება „ბ“ ინდექსიანი სიდიდეებით) წერტილიდან მცირე გადახრის ფარგლებში.

თუ, თავდაპირველად (2-1)-(2-2)-ში ცვლადებს გამოვსახავთ ბაზისურიდან მცირე გადახრის შესაბამისი აბსოლუტური ნაზრდებით, მაშინ გვექნება

$$E_{ტბ} + \Delta E_{ტბ} = E_{ტბ} + \Delta E_{ტ} + R_{ლ} \cdot \nabla (I_{ლბ} + \Delta I_{ლ}) + L_{ლ} \nabla \frac{d(I_{ლბ} + \Delta I_{ლ})}{dt}; \quad (2-3)$$

$$c_{ტ} (I_{ლბ} + \Delta I_{ლ}) - M_{სტბ} - \Delta M_{სტ} = J \frac{d(\omega_{ტ} + \Delta \omega)}{dt}, \quad (2-4)$$

სადაც „ბ“ ინდექსებიანი სიდიდეები ბაზისური რეჟიმისაა.

(2-3) და (2-4)-ში გამოვრიცხოთ ბაზისური სიდიდეები, მივიღებთ განტოლებებს აბსოლუტურ ნაზრდებში:

$$\Delta E_{ტბ} = \Delta E_{ტ} + R_{ლ} \cdot \nabla \Delta I_{ლ} + L_{ლ} \nabla \frac{d\Delta I_{ლ}}{dt}; \quad (2-5)$$

$$c_p \Delta I_{\text{ღ}} - \Delta M_{\text{სტ}} = J \frac{d\Delta\omega}{dt}. \quad (2-6)$$

ცვლადების ფარდობით ნაზრდებში გამოსახვის მიზნით (2-5) გავეყოთ  $E_{\text{ტბ}}$ -ზე, ხოლო (2-6) კი  $M_{\text{სტ}}$ -ზე. თუ, იმავდროულად ვისარგებლებთ დიფერენცირების ოპერატორით ( $s = \frac{d}{dt}$ ), მაშინ ადვილად მივიღებთ (2-5) და (2-6) განტოლებების ოპერატორულ გამოსახულებებს ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში:

$$\Delta E_{\text{ტბ}} = K_e \Delta v + \frac{1}{K_{\text{ღ}}} \Delta I_{\text{ღ}} (T_{\text{ღ}} s + 1); \quad (2-7)$$

$$\Delta I_{\text{ღ}} - \Delta \mu_{\text{სტ}} = T_{\text{გ}} s \cdot \Delta v, \quad (2-8)$$

სადაც  $\Delta E_{\text{ტბ}} = \frac{\Delta E_{\text{ტბ.}}}{E_{\text{ტბ.ბ.}}}$ ,  $\Delta v = \frac{\Delta \omega}{\omega}$ ,  $\Delta I_{\text{ღ}} = \frac{\Delta I_{\text{ღ}}}{I_{\text{ღ.ბ.}}}$ ,

$\Delta \mu_{\text{სტ}} = \frac{\Delta M_{\text{სტ.}}}{M_{\text{ბ.}}}$ -არის შესაბამისად ტირისტორული გარდამსახის ემბ-ის, ძრავას კუთხური სიჩქარის, ღუზის დენის და სტატიკური მომენტის ფარდობითი ნაზრდებია;  $K_e = \frac{1}{1 + \delta_{\text{ბ}}}$  და  $K_{\text{ღ}} = \frac{1 + \delta_{\text{ბ}}}{\delta_{\text{ბ}}}$ -ძრავის ემბ-ის და ღუზის ელექტრული წრედის გადაცემის კოეფიციენ-



ტებია;  $\delta_{\Sigma} = \frac{\Delta \omega_{\Sigma}}{\omega_{\Sigma}}$  - ძრავის სიჩქარის ფარდობითი ვარ-

დნაა უქმი სვლიდან ნომინალური დატვირთვის შე-  
საბამის სიჩქარემდე (გახსნილწრედიან სისტემაში);

$T_{\Sigma} = \frac{L_{\Sigma} \dot{\omega}_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \dot{\omega}_{\Sigma}}$  - ძრავის ღუზის წრედის ელექტრომაგნი-

ტური დროის მუდმივაა;  $T_{\Sigma} = \frac{J \omega_{\Sigma}}{M_{\Sigma} \dot{\omega}_{\Sigma}}$  - ელექტროამძრა-

ვის მექანიკური დროის მუდმივაა, ( $T_{\Sigma}$  ამძრავის თე-  
ორიაში ცნობილ ელექტრომექანიკურ დროის მუდმი-  
ვას უკავშირდება შემდეგი ფორმულით  $T_{\Sigma} = T_{\Sigma} / \delta_{\Sigma}$  ).

(2-8)-დან თუ, ჩავსვამთ  $\Delta L_{\Sigma}$  -დენის სიდიდეს (2-7)-

ში და დავუშვებთ, რომ  $\Delta \mu_{\Sigma} = 0$  (ამძრავი მუშაობს  
უქმ სვლაზე), მაშინ ადვილად მივიღებთ ძრავის  
საერთო გა-დამცემ ფუნქციას

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{\Delta v(s)}{\Delta \varepsilon_{\Sigma}(s)} = \frac{K_{\Sigma}}{T_{\Sigma} \cdot T_{\Sigma} \cdot s^2 + T_{\Sigma} \cdot s + 1} \quad (2-9)$$

სადაც  $K_{\Sigma} = \frac{1}{K_e}$  ძრავას გადაცემის კოეფიციენტია.

ნორმირებულ სახეში (2-9) შემდეგნაირად ჩაიწე-  
რება:

$$W_d(s) = \frac{K_d}{T_d^2 s^2 + 2\xi T_d \cdot s + 1}, \quad (2-10)$$

სადაც  $T_d = \sqrt{T_L \cdot T_{\text{გ}}}$ ;  $\xi = T_{\text{გ}} / 2T_d$  - რხევის დემპფერირების კოეფიციენტი.

თუ  $\xi < 1$ , მაშინ ძრავა რხევითი თვისებების მატარებელია (რაც უფრო მცირეა  $\xi$ , მით მეტია დინამიკური რხევის ამპლიტუდა). თუ  $\xi \geq 1$ , მაშინ (2-10) მეორე რიგის აპერიოდულ რგოლად წარმოდგინდება:

$$W_d(s) = \frac{K_d}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad (2-11)$$

სადაც  $T_{1,2} = T_d (\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1})$ .

იმ შემთხვევაში, როცა ძრავა მექანიზმთან დაკავშირებულია „გრძელი“ შემაერთებელი ლილვით (რასაც ადგილი აქვს მთელი რიგი მეტალურგიული საგლინი დგანების და ქაღალდის დამამზადებელი მანქანების სექციების ამძრავებზე) ელექტროამძრავის მოძრაობის დინამიკას აღწერენ, როგორც ორმასიან დრეკად სისტემას (ჰუკის კანონის გათვალისწინებით) შემდეგი განტოლებებით:

$$M - M_{\text{დრ}} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \quad (2-12)$$

$$M_{დრ} - M_{სტ} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \quad (2-13)$$

$$M_{დრ} = c_{12} \int (\omega_1 - \omega_2) dt, \quad (2-14)$$

სადაც  $J_1$ -ძრავას და მის ღერძზე მყოფი მასების ინერციის მომენტია;  $\omega_1$ - ძრავის ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა;  $J_2$ -მექანიზმის და მის ღერძზე მყოფი დანარჩენი მასების ინერციის მომენტებია დაყვანილი ძრავას ღერძზე ( $J_2 = \frac{1}{i^2}(J_{მექ} + J_{დან})$ );  $M_{დრ}$ -

მექანიკური ლილვის დრეკადი მომენტია;  $c_{12}$ - „გრძელი“ ლილვის სიხისტის კოეფიციენტი დაყვანილი

ძრავის ღერძზე ( $c_{12} = c_{გრძ.ღ} / i^2$ ,  $i$ - ძრავის ღერძსა

და მუშა ლილვის შორის რედუქტორის გადაცემის რიცხვია); სიხისტის კოეფიციენტი ცილინდრული ფორმის ლილვებისათვის განისაზღვრება ფორმუ-

ლით-  $c = \frac{\pi \delta D^4}{32 \cdot l}$ ,  $\delta$ -იუნგის მოდულია (დამოკიდებულია

მასალის გვარობაზე და მოცემულია ცნობარებში);

$D$ - ლილვის დიამეტრი;  $l$ -ლილვის სიგრძე.

(2-12)-(2-14)-ე ოპერატორულ სახეში და ცვლადების ფარდობით ნაზრდებში ჩაწერით მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\Delta\mu - \Delta\mu_{\text{დრ}} = T_1 s \Delta v_1; \quad (2-15)$$

$$\Delta\mu_{\text{დრ}} - \Delta\mu_{\text{სტ}} = T_2 s \Delta v_2; \quad (2-16)$$

$$\Delta\mu_{\text{დრ}} = \frac{1}{T_c s} \cdot (\Delta v_1 - \Delta v_2), \quad (2-17)$$

სადაც  $\Delta\mu_{\text{დრ}} = \frac{\Delta M_{\text{დრ.}}}{M_{\text{სტ.ბ.}}}$  -დრეკადი მომენტის ფარდობითი ნაზრდია;

$\Delta v_1 = \frac{\Delta\omega_1}{\omega_0}$  და  $\Delta v_2 = \frac{\Delta\omega_2}{\omega_0}$  -ინერციული მასების (ძრავის და მექანიზმის კუთხური სიჩქარეების ფარდობითი ნაზრდებია;

$T_1 = \frac{J_1 \omega_0}{M_0}$  და  $T_2 = \frac{J_2 \omega_0}{M_0}$  -ინერციული მასების მექანიკური დროის მუდმივებია;

$T_c = \frac{M_0}{C_{12} \omega_0}$  -დრეკადი რგოლის დროის მუდმივაა, რომელიც ახასიათებს მისი დრეკადობის თვისებას;

ძრავას ღუზის მკვებავი ტირისტორული გარდამსახისათვის უნდა ვისარგებლოთ გადამცემი ფუნქციით:

$$W_{\text{ტბ}}(s) = \frac{\Delta\varepsilon_{\text{ტბ.}}(s)}{\Delta v_{\text{სრ.}}(s)} = \frac{K_{\text{ტ}}}{T_{\text{ტბ.}} s + 1}, \quad (2-18)$$

სადაც  $\Delta U_{სრ} = \frac{\Delta U_{სრ}}{\Delta U_{დ.ბ}}$  - არის ტბ-ს შესასვლელზე სრ-

დან მიწოდებული ძაბვა;  $K_{ტ} = K_{ტბ} \cdot \alpha_{ტბ}$  - ტბ-ს

გადაცემის კოეფიციენტია შეთანხმების კოეფიციენ-  
ტის გათვალისწინებით (ფარდობითი ნაზრდების

გამო);  $K_{ტბ} = \frac{\Delta E_{ტბ}}{\Delta U_{სრ}}$  - ტირისტორული გარდამსახის გა-

დაცემის კოეფიციენტია ძაბვის მიხედვით, რომელიც  
განისაზღვრება მისი სტატიკური მახასიათებლით

( $K_{ტბ} = 70 \div 100$ );  $\alpha_{ტბ} = \frac{U_{დ.ბ.}}{E_{ტბ.ბ.}}$ ;  $U_{დ.ბ.}$  - მართვის სისტემის

დავალების სიგნალის ბაზისური სიდიდეა;

$T_{ტბ} = \tau_{ტბ} + T_{ფ.ტბ}$  - ტბ-ის ექვივალენტური დროის მუდ-  
მივანა, რომელიც შედგება გარდამსახის დაგვიანების  
დროისა და მის შესასვლელზე ჩართული ფილტრის  
დროის მუდმივებისაგან ( $T_{ტბ} = 0,002 + 0,003 = 0,005$ წმ).

სიჩქარის უკუკავშირის რგოლის (ტაქოგენერატო-  
რის) გადამცემი ფუნქცია მის გამოსავალზე ჩართუ-  
ლი ფილტრის გათვალისწინებით ტოლია:

$$W_{სგ}(s) = \frac{\Delta v_{უკ.1}(s)}{\Delta v(s)} = \frac{1}{T_{ფ.1}s + 1}, \quad (2-19)$$

სადაც  $T_{ფ.1} = 0,02$ წმ - ფილტრის დროის მუდმივანა.

დენის უკუკავშირში ჩართული გადამწოდის გადა-  
ამცემი ფუნქციაა

$$W_{\text{დგ}}(s) = \frac{\Delta U_{\text{უკ2}}(s)}{\Delta I(s)} = \frac{K_I}{T_{\text{ფ2}}s + 1}, \quad (2-20)$$

სადაც  $K_I = K_{\text{დგ}} \cdot \alpha_{\text{დგ}}$  -დენის გადამწოდის გადაცემის  
კოეფიციენტია შეთანხმების კოეფიციენტის გათვალ-

ისწინებით;  $K_{\text{დგ}} = \frac{U_{\text{დგ.}}}{I_{\text{დ.}}}$ ;  $\alpha_{\text{დგ}} = \frac{I_{\text{დ.}}}{U_{\text{დ.}}}$ ;  $T_{\text{ფ2}} = 0,002\text{წმ}$ .

ამძრავის კუთხური სიჩქარის ნომინალურზე ზე-  
ვით რეგულირების პროცესი პრაქტიკაში ხორციე-  
ლდება ძრავას აგზნების ნაკადის შესუსტებით (და-  
საშვებია აგზნების შესუსტება ნომინალურის 30%-  
მდე) იმ მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ  
მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით.

განესაზღვროთ ეხლა მუდმივი დენის დამოუკი-  
დებელ აგზნებიანი ძრავას გადამცემი ფუნქციები  
აგზნებიდან მართვის შემთხვევაში. ასეთ მართვას  
როგორც წესი ახორციელებენ აგზნების გრაგნილის  
მკვებავი ტირისტორული გარდამქნელიდან (აგზნე-  
ბიდან). თუ დავუშვებთ, რომ: ა) ძრავას ღუზაზე  
მიწოდებული ძაბვა უცვლელია (ნომინალურია); ბ)  
ღუზის წრედის პარამეტრები (ინდუქტივობა და

აქტიური წინაღობა) მუდმივია; და გ) მანქანაში გრ-  
იგალური დენები უმნიშვნელოა, მაშინ სამართლი-  
ანია შემდეგი განტოლებების ჩაწერა:

ძრავას აგზნების წრედისათვის

$$U_{აგ} = R_{აგ} I_{აგ} + L_{აგ} \frac{dI_{აგ}}{dt}; \quad (2-21)$$

სადაც  $R_{აგ}$  და  $L_{აგ}$  - აგზნების გრაგნილის აქტიური  
წინაღობა და ინდუქტივობაა;  $I_{აგ}$  - აგზნების დენია.

ძრავას დამაგნიტების მრუდის მუშა წერტილში  
ჩავთვალოთ, რომ აგზნების ნაკადი და დენი პირდა-  
პირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია:

$$\phi_{აგ} = \alpha \cdot I_{აგ}, \quad (2-22)$$

სადაც  $\alpha$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი.

ღუზის წრედისათვის უნდა ვისარგებლოთ ძაბე-  
ვის შემდეგი განტოლებით:

$$U_{ღ} = E_{ღ} + R_{ღ} \cdot \nabla I_{ღ} + L_{ღ} \nabla \frac{dI_{ღ}}{dt} \quad (2-23)$$

სადაც  $E_{ღ} = K_{კ} \phi_{აგ} \omega$ ;  $K_{კ}$  ძრავას კონსტრუქციულობის  
კოეფიციენტი.

ამძრავის მოძრაობის განტოლება

$$K_{კ} \phi_{აგ} I_{ღ} - M_{სტ} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (2-24)$$

(2-21) და (2-23) განტოლებები არაწრფივია, ვინაიდან მისი პირველი მდგენელები შეიცავენ ორი ცვლადის ნამრავლებს. ამ განტოლებათა გადაყვანა ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებზე ავტომატურად გამოიწვევს მათ გაწრფივებას (მეორე რიგის მცირე ნაზრდების უგულებელყოფის შემდეგ).

(2-21), (2-23) და (2-24)-ე განტოლებები აბსოლუტურ ნაზრდებში და ოპერატორულ ფორმაში შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\Delta U_{აგ} = R_{აგ} \Delta I_{აგ} + L_{აგ} \frac{d\Delta I_{აგ}}{dt} \quad (2-25)$$

$$\Delta \phi_{აგ} = \alpha \Delta I_{აგ}; \quad (2-26)$$

$$0 = K_{j}(\omega_{ბ} \Delta \phi_{აგ} + \phi_{ბ} \Delta \omega) + R_{ლ.წ} \Delta I_{ლ} (1 + T_{ლ} s); \quad (2-27)$$

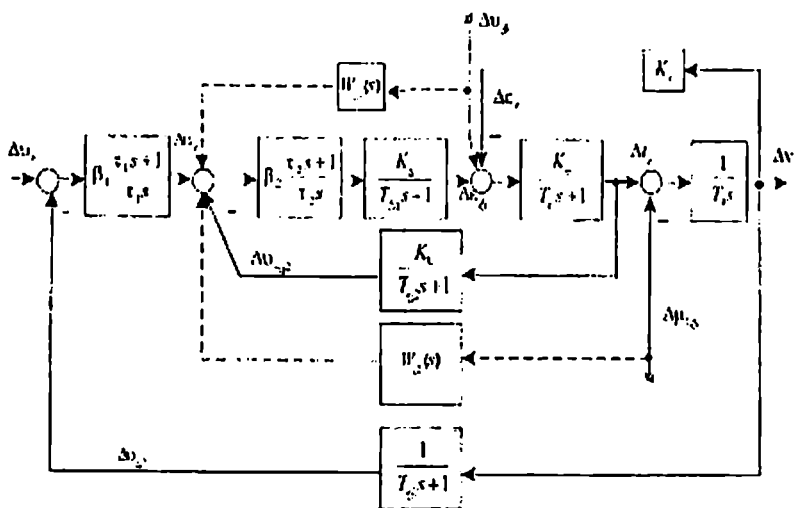
$$K_{j}(I_{ლბ} \Delta \phi_{აგ} + \phi_{ბ} \Delta I_{ლ}) - \Delta M_{სტ} = J s \Delta \omega \quad (2-28)$$

(2-25)-(2-28)-ე განტოლებების ფარდობით ნაზრდებში ჩასაწერად საჭიროა. მათგან პირველი განტოლება გავყოთ  $U_{აგ.ბ}$ -ზე, მეორე განტოლება  $\phi_{აგ}$ -ზე, მესამე  $U_{ლ.ბ}$ -ზე, ხოლო მეოთხე  $-M_{სტ.ბ}$ -ზე. საბოლოოდ გვექნება:

$$\Delta U_{აგ} = (T_{აგ} s + 1) \Delta I_{აგ} \quad (2-29)$$

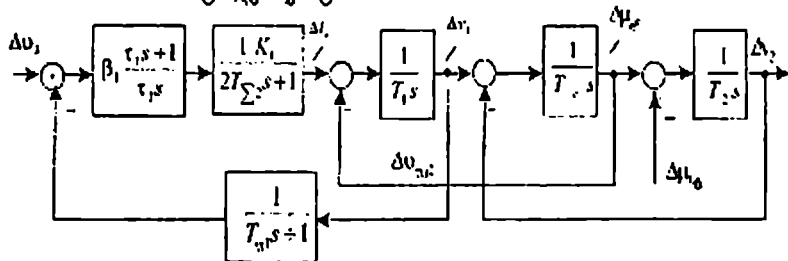
$$\Delta \phi_{აგ} = K_{აგ} \Delta I_{აგ}; \quad (2-30)$$





ა)

ობტ. დენ. გარბ.



ბ)

ნახ.2.1. მუდმივი დენის ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემები: ა) „ხისტი“ და ბ) „დრეკადი“ მექანიკური ლილვით

$$0 = K_e(\Delta\varphi_{აგ} + \Delta\nu) + \frac{1}{K_{\mathcal{L}}} (T_{\mathcal{L}}s + 1)\Delta I_{\mathcal{L}}; \quad (2-31)$$

$$\Delta\varphi_{აგ} + \Delta I_{\mathcal{L}} - \Delta\mu_{სტ} = T_{გს} \cdot \Delta\nu, \quad (2-32)$$

სადაც  $T_{აგ} = L_{აგ} / R_{აგ}$  - ძრავას აგზნების გრაგნილის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივაა;  $K_{აგ} = \alpha \cdot \beta$ ;  $\beta = I_{აგბ} / \varphi_{აგბ}$  - დაყვანის კოეფიციენტი (ფარდობითი ნაზრდების გამო).

(1-9), (2-7), (2-8), (2-15)-(2-17) და (2-18)-(2-20)-ე განტოლებებით ადვილად შეიძლება შევადგინოთ მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამძრავის დეტალიზებული სტრუქტურული სქემები როგორც ხისტლილვიანი, ისე დრეკადლილვიანი ამძრავებისათვის (ნახ.2.1,ა,ბ).

## §2.2. ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტროამძრავის ძალური ნაწილების დიფერენციალური განტოლებები და გადამცემი ფუნქციები

ძაბვით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის მათემატიკური მოდელის შესადგენად ვი-

სარგებლოთ ძრავას მექანიკური მახასიათებლის გამარტივებული ფორმულით

$$M = 2M_k s/s_k, \text{ როცა } s < s_k \quad (2-33)$$

სადაც  $M$  და  $M_k$  შესაბამისად არის ძრავას ბრუნვის და კრიტიკული (მაქსიმალური) მომენტებია;  $s$  და  $s_k$ -ძრავას სრიალი და კრიტიკული სრიალია, რომლებიც შესაბამისად ტოლია:

$$s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0; \quad s_k = r'_2/x_{ა.ჩ.}, \quad (2-34)$$

სადაც  $\omega_0$  და  $\omega$  ძრავის სინქრონული და როტორის ბრუნვის კუთხური სიხარეებია;  $r'_2$ -როტორის ერთი ფაზის გრაგნილის აქტიური წინაღობაა დაყვანილი სტატორზე;  $x_{ა.ჩ.}$ -ასინქრონული ძრავის მ.ჩ.-ის ინდუქციური წინაღობაა;  $\omega_0 = 2\pi f / p$ ;  $f$  და  $p$ -მკვებავი ძაბვის სიხშირე და მანქანის წყვილ-პოლუსთა რიცხვია:

ძრავის კრიტიკული (მაქსიმალური) მომენტი თავის მხრივ ტოლია:

$$M_k = 3U_{ფ}^2 / 2\omega_0 x_{ა.ჩ.}, \quad (2-35)$$

სადაც  $U_{ფ}$  - სტატორის ფაზური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა.

(2-35)-ის გათვალისწინებით ძრავის ბრუნვის მომენტი მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$M = \frac{3U_{\text{ფ.}}^2}{\omega_0^2 \cdot r^2} \cdot (\omega_0 - \omega). \quad (2-36)$$

(2-36)-ის გათვალისწინებით ასინქრონული ელექტროამძრავის მოძრაობის განტოლებას ცვლადებით აბსოლუტურ ნაზრდებში ექნება სახე:

$$\frac{3 \cdot 2U_{\text{ფ.ბ.}}(\omega_0 - \omega_{\text{ბ.}})\Delta U_{\text{ფ.}}}{\omega_0^2 \cdot r^2} - \frac{3U_{\text{ფ.ბ.}}^2 \Delta \omega}{\omega_0^2 \cdot r^2} - \Delta M_{\text{სტ}} = J \frac{d\Delta \omega}{dt}. \quad (2-37)$$

(2-37)-ის გაყოფით  $M_{\text{სტ.ბ.}} = \frac{3 \cdot U_{\text{ფ.ბ.}}^2 (\omega_0 - \omega_{\text{ბ.}})}{\omega_0^2 \cdot r^2}$  -ზე მივი-

ღებთ მოძრაობის განტოლებას ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში:

$$2\Delta v_{\text{ფ}} - \frac{1}{\delta_{\text{ფ}}} \cdot \Delta v - \Delta \mu_{\text{სტ}} = T_{\text{ფ}} \frac{d\Delta v}{dt}, \quad (2-38)$$

სადაც გარდა ცნობილი აღნიშვნებისა გვაქვს:  $\Delta v_{\text{ფ}}$  - ძრავის ფაზური ძაბვის ფარდობითი ნაზრდი;  $\delta_{\text{ფ}} = \Delta \omega_{\text{ფ}} / \omega_{\text{ფ}}$ ;  $\Delta \omega_{\text{ფ}} = M_{\text{სტ.ბ.}} r^2 / c_{\text{ფ}}$ ;  $c_{\text{ფ}} = U_{\text{ფ.ბ.}} / \omega_{\text{ფ}}$

თუ, ასინქრონული ძრავის ელექტრომაგნიტურ პროცესებს გავითვალისწინებთ საერთო ექვივალენტური ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივას

( $T_{\partial} = 1/\omega_0 s_k$ ) სახით, მაშინ განსახილველი ელექტროამპრავის ძალური ელექტრული და მექანიკური ნაწილების დიფერენციალური განტოლებები შემდეგნაირად წარმოდგინდება:

$$\begin{cases} T_{\partial} \frac{d\Delta\mu'}{dt} + \Delta\mu' = 2 \cdot \Delta v_{\text{ფ}}; \\ \Delta\mu' - \frac{1}{\delta_3} \cdot \Delta v - \Delta\mu_{\text{სტ}} = T_{\partial} \frac{d\Delta v}{dt}, \end{cases} \quad (2-39)$$

(2-39)-ის მიხედვით ადვილად შეიძლება შევადგინოთ ხისტლილვიანი ასინქრონული ელექტროამპრავის მათემატიკური მოდელი (სტრუქტურული სქემა). ამასთან სიჩქარის უკუკავშირიანი სისტემის სტრუქტურული სქემის შედგენისას საკმარისია ვისარგებლოთ სიჩქარის რეგულატორის (1-9) და სიჩქარის გადამწოდის (2-19) გადამცემი ფუნქციებით.

დრეკადლილვიანი ასინქრონული ელექტროამპრავის სტრუქტურული სქემის შედგენისას (2-39)-ის მეორე განტოლების ნაცვლად, უნდა ვისარგებლოთ (2-15)-(2-17)-ის ანალოგიურად, შემდეგი განტოლებებით:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_0 \frac{d\Delta\mu'}{dt} + \Delta\mu' = 2 \cdot \Delta U_{\text{ფ}}; \\ \Delta\mu' - \frac{1}{\delta_0} \cdot \Delta v_1 - \Delta\mu_{\text{ღრ}} = T_1 \frac{d\Delta v_1}{dt}; \\ \Delta\mu_{\text{ღრ}} - \Delta\mu_{\text{სტ}} = T_2 \frac{d\Delta v_2}{dt}; \\ \Delta\mu_{\text{ღრ}} = \frac{1}{T_c} \int (\Delta v_1 - \Delta v_2) dt. \end{array} \right. \quad (2-40)$$

(2-40)-ის გამოყენებით ნახ. 2.2 -ზე მოცემულია ძაბვით რეგულირებადი დრეკადლილვიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა.

იმ შემთხვევაში, როცა ასინქრონული ამძრავის სიჩქარის რეგულირებას ვახორციელებთ სტატორის გრაგნილებზე მიწოდებული ძაბვით და მისი სიხშირის ცვლით, მაშინ გადამცემი ფუნქციების მისაღებად უნდა ვისარგებლოთ ძრავას ბრუნვის მომენტის შემდეგი გამოსახულებით:

$$M = \frac{3U_{\text{ფ}}^2}{4\pi^2 r_2^2 f^2} \cdot (2\pi f - \omega). \quad (2-41)$$

თუ, ასინქრონული ძრავას მართვა ხორციელდება  $\frac{U}{f} = \text{const}$  -პრინციპით (ამძრავი განკუთვნილია მუდმივმომენტიან მექანიზმებზე სამუშაოდ), მაშინ (2-41)-ე კიდევ უფრო გამარტივდება და მიიღებს სახეს

$$M = K_0(2\pi f - \omega), \quad (2-42)$$

სადაც  $K_0 = 3c^2/4\pi^2 r_2'$ ;  $c = U_{\text{ფ.ნომ}} / f_{\text{ნომ}}$

(2-42)-ის გათვალისწინებით ამძრავის მოძრაობის განტოლება ხისტი მექანიკური ლილვის შემთხვევაში ცვლადებით აბსოლუტურ ნაზრდებში ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$K_0[2\pi(f_s + \Delta f) - (\omega_s + \Delta\omega)] - (M_{\text{სტ.ბ}} + \Delta M_{\text{სტ.ბ}}) = J \frac{d(\omega_0 + \Delta\omega)}{dt}, \quad (2-43)$$

თუ, (2-43)-ს გამოვაკლებთ ბაზისური რეჟიმის შესაბამის მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$K_0(2\pi\Delta f - \Delta\omega) - \Delta M_{\text{სტ.ბ}} = J \frac{d\Delta\omega}{dt}. \quad (2-44)$$

გაეყოს (2-44)  $M_{\text{სტ.ბ}} = K_0(2\pi f_0 - \omega_0)$ , გვქვია

$$\frac{2\pi\Delta f}{2\pi f_0 - \omega_0} - \frac{\Delta\omega}{2\pi f_0 - \omega_0} - \frac{\Delta M_{\text{სტ.ბ}}}{M_{\text{სტ.ბ}}} = \frac{J}{M_{\text{სტ.ბ}}} \cdot \frac{d\Delta\omega}{dt} \quad (2-45)$$

ანუ

$$K_d \Delta f^* - \frac{1}{\delta_b} \cdot \Delta v - \Delta \mu_{\text{სტ.ბ}} = T_{\theta} \frac{d\Delta v}{dt}, \quad (2-46)$$

სადაც გარდა ზემოთ მიღებული აღნიშვნებისა გვაქვს:  $K_d = (1 + \delta_b)/\delta_s$  - არის ასინქრონული ძრავის ელექტრული ნაწილის გადაცემის კოეფიციენტი;

$\delta_\omega = \Delta\omega/\omega$ ;  $\Delta f^*$  - ძრავის კვების ძაბვის სიხშირის ფარდობითი ნაზრდია.

$U_{\text{ფ}}/f = \text{const}$  პირობის შემთხვევაში  $\Delta f^* = \Delta U_{\text{ფ}}$ ,

მაშინ (2-46)-ე ასე შეიძლება ჩაეწეროს:

$$K_{\text{ფ}} \Delta U_{\text{ფ}} - \frac{1}{\delta_\omega} \cdot \Delta \nu - \Delta \mu_{\text{სტ}} = T_{\text{ფ}} \frac{d\Delta \nu}{dt} \quad (2-47)$$

თუ, გავითვალისწინებთ ასინქრონული ძრავის ექვივალენტურ ელექტრომაგნიტურ დროის მუდმივას ( $T_{\text{ფ}}$ ), მაშინ გვექნება:

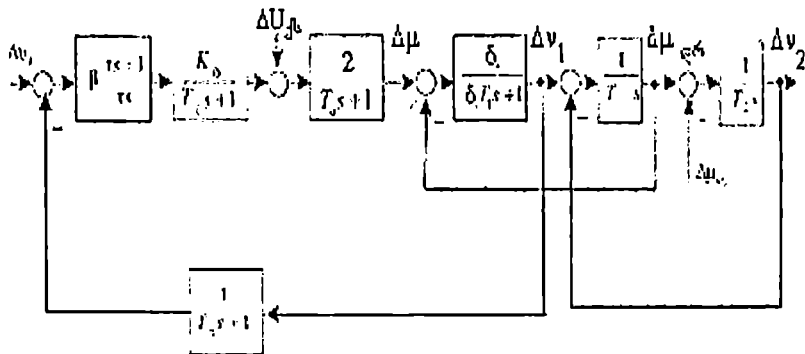
$$T_{\text{ფ}} \frac{d\Delta \mu'}{dt} + \Delta \mu' = K_{\text{ფ}} \cdot \Delta U_{\text{ფ}}; \quad (2-48)$$

$$\Delta \mu' - \frac{1}{\delta_\omega} \cdot \Delta \nu - \Delta \mu_{\text{სტ}} = T_{\text{ფ}} \frac{d\Delta \nu}{dt}. \quad (2-49)$$

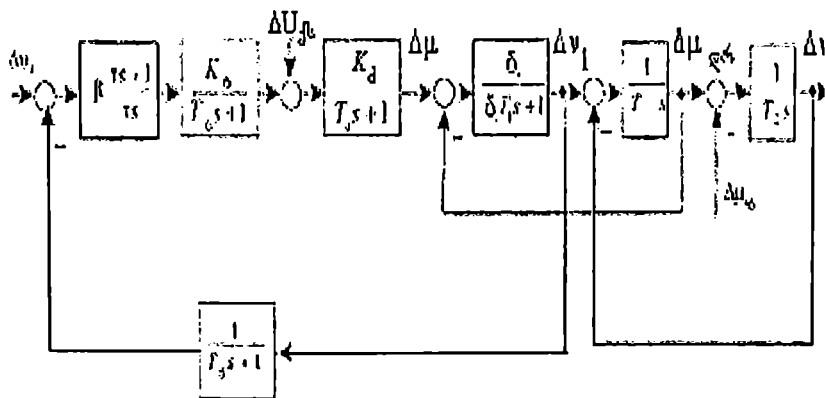
(2-49)-ის მიხედვით ადვილად შეიძლება ავაგოთ სიხშირით (და ძაბვით) რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა ხისტ მიქანიკური ლილვის არსებობისას. (2-38) და (2-40)-ის გათვალისწინებით შესაძლებელია შედგენილი იქნას დრეკადლილვიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის სტრუქტურული სქემა( ნახ. 2.3).

იმ მიზნით, რომ განვსაზღვროთ განსახილველი ელექტროამძრავის ობიექტის საერთო გადამცემი





ნახ. 2.2. ძაბვით რეგულირებადი ასინქრონული „დრეკადი“ ელექტროამპრავის სტრუქტურული სქემა



ნახ. 2.3. სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული „დრეკადი“ ელექტროამპრავის სტრუქტურული სქემა

ფუნქცია, როცა ვითვალისწინებთ ძრავის მკვეთბავი სიხშირული გარდამსახის (ინვერტორის) პარამეტრებს ( $K_o, T_o$ ), (2-38) და (2-39)-ე განტოლებები უმჯობესია წარმოვადგინოთ ცვლადების მდგომარეობის სივრცის მეთოდის შესაბამისად მატრიცულ ფორმაში შემდეგნაირად:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu; \\ y = C \cdot x, \end{cases} \quad (2-50)$$

სადაც  $x^T = [x_1, x_2, x_3]$ ;  $x_1, x_2, x_3$ -შესაბამისად არის ძრავას კუთხური სიჩქარის, ბრუნვის მომენტის და სტატორის ძაბვის ფარდობითი ნაზრდები;  $u$ -ობიექტის შემავალი სიგნალი;  $y$ -სისტემის გამოშვებული სიგნალი;

$$A = \begin{bmatrix} -(\delta_o T_o)^{-1} & T_o & 0 \\ 0 & -T_o^{-1} & K_o T_o^{-1} \\ 0 & 0 & T_o \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ K_o T_o^{-1} \end{bmatrix};$$

$$C = [1 \ 0 \ 0] \quad (2-51)$$

$K_o$  და  $T_o$ -სიხშირის ავტონომიური ინვერტორის გადაცემის კოეფიციენტი და დროის მუდმივაა.

(2-38)-დან ადვილად მიიღება გადამცემი ფუნქციის განმსაზღვრელი ზოგადი ფორმულა:

$$W(s) = C(s \cdot E_r - A)^{-1} B, \quad (2-52)$$

$E$ -ერთეულოვანი მატრიცაა, ზომით  $3 \times 3$ .

(2-51)-ის ჩასმით (2-52)-ში მივიღებთ ხისტლილ-ვიანი სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის ობიექტის საერთო გადამცემ ფუნქციას:

$$W_0(s) = \frac{\Delta v(s)}{\Delta u(s)} = \frac{K_o}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + 1} \quad (2-53)$$

სადაც  $K_o = K_n K_d \delta_b$ ;  $a_0 = \delta_b T_n \cdot T_d \cdot T_g$ ;

$a_1 = T_n T_d + \delta_b T_g (T_n + T_d)$ ;  $a_2 = T_n + T_d + \delta_b T_g$ .

(2-53)-ს გამოვიყენებთ ქვემოთ ელექტროამძრავის მართვის სისტემის დინამიკური მახასიათებლების კვლევისას (§ 4.2-ში).

### §2.3. შეშფოთებათა მაკომპენსირებელი მოწყობილობების გადამცემი ფუნქციების განსაზღვრა

თავდაპირველად განვიხილოთ მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამძრავის სისტემის შეშფოთ-

ების სიგნალების ( $\Delta U_{კს}$ -ქსელის ძაბვის და ძრავს დატვირთვის სტატიკური  $\Delta \mu_{კტ}$ -მომენტის) ცვლილების მაკომპენსირებელი უკუკავშირებისა და შესაბამისი  $W_{კ1}(s)$  და  $W_{კ2}(s)$  გადამცემი ფუნქციების ანალიზური კონსტრუირება.

ინვარიანტობის პრინციპის საფუძველზე და §13-ში ჩატარებული მსჯელობის თანახმად განსახილველი ამძრავისათვის  $\Delta U_{კს}$ -ქსელის ძაბვის ცვლილების მაკომპენსირებელი უკუკავშირის რგოლის გადამცემი ფუნქცია (როცა უკუკავშირი ჩართული იქნება დენის რეგულატორის შესასვლელზე) შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$W_{კ1}(s) = \frac{\tau_2 \cdot s \cdot (T_{ტგ} s + 1)}{\beta_2 K_{ტ} \cdot (\tau_2 \cdot s + 1)}. \quad (2-54)$$

ვინაიდან (2-54)-ის მრიცხველის  $s$ -ოპერატორის რიგი აღემატება მნიშვნელისას, რის გამოც  $W_{კ1}(s)$ -ფუნქცია არარეალიზებადია პრაქტიკულად, ამიტომ იგი რომ გახდეს რეალიზებადი შეიძლება მივმართოთ ორ ხერხს:

ა)  $T_{\text{ტ}}$ -ს სიმცირის გამო მისი უზულებელყოფით გექნება

$$W_{\text{ა1}}(s) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\tau_2 \cdot s}{\beta_2 K_{\text{ტ}} \cdot (\tau_2 \cdot s + 1)}; \quad (2-55)$$

ბ) (2-54)-ის მნიშვნელში პირველი რიგის შენელებითი პოლინომის დამატებით

$$W_{\text{ა1}}(s) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\tau_2 \cdot s \cdot (T_{\text{ტ}} s + 1)}{\beta_2 K_{\text{ტ}} \cdot (\tau_2 \cdot s + 1)(0,1 T_{\text{ტ}} s + 1)}, \quad (2-56)$$

სადაც  $U_1$  და  $U_2$ -მაკომპენსირებელი რგოლების შემავალი და გამომავალი სიგნალებია.

(2-55)-ის მრიცხველის და მნიშვნელის  $s$ -ზე, ხოლო (2-56)-ის  $s^2$ -ზე გაყოფით მივიღებთ გამოსახულებებს, რომლებსაც გამოვიყენებთ ელექტრული სქემების შედგენისას:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\tau_2}{a_0 + a_1 s^{-1}}; \quad (2-57)$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{b_0 s^{-1} + b_1 s^{-2}}{a_0 + a_1 s^{-1} + a_2 s^{-2}}, \quad (2-58)$$

სადაც:

$$a_0 = \beta_2 K_{\text{ტ}} \tau_2; \quad a_1 = \beta_2 K_{\text{ტ}}; \quad b_0 = \tau_2 T_{\text{ტ}}; \quad b_1 = \tau_2;$$

$$a_0' = 0,1 \cdot \tau_2 T_{\text{ტგ}} \cdot \beta_2 K_{\text{ტ}}; \quad a_1' = (\tau_2 + 0,1 T_{\text{ტგ}}) \beta_2 K_{\text{ტ}};$$

$$a_2' = a_1.$$

$W_{\text{კ}}(s)$  ფუნქციის მქონე მაკომპენსირებელი რგოლის ელექტრული სქემების შესადგენად ინტეგრატორებისა და ოპერაციული მაძლიერებლების ბაზაზე უნდა ვისარგებლოთ (2-57) და (2-58)-დან განსაზღვრული შემდეგი განტოლებებით:

$$(a_0 + a_1 s^{-1}) U_2 = \tau_2 U_1; \quad \Rightarrow \quad U_2 = a_0^{-1} (\tau_2 U_1 - a_1 s^{-1}); \quad (2-59)$$

$$(a_0' + a_1' s^{-1} + a_2' s^{-2}) \cdot U_2 = (b_0 s^{-1} + b_1 s^{-2}) \cdot U_1$$

$$\Rightarrow U_2 = a_0'^{-1} \left[ (b_0 U_1 - a_1 U_2) + (b_1 U_1 - a_2 U_2) s^{-1} \right] \cdot s^{-1} / a_0 \quad (2-60)$$

(2-54)-ში, აგრეთვე (2-59) და (2-60)-ში დენის რეგულატორის პარამეტრები ( $\beta_2, \tau_2$ ) განსაზღვრული იქნება ცნობილი „მოდულის ოპტიმუმის“ ფორმულებით:

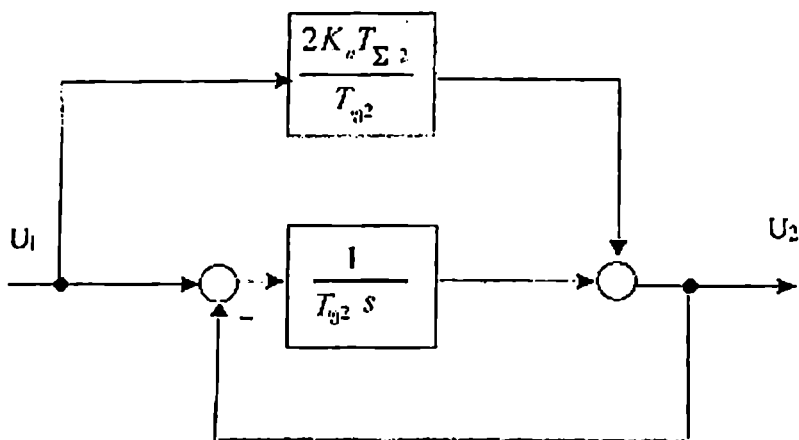
$$\beta_2 = \frac{T_{\text{ლ}}}{2 K_{\text{დკ}} T_{\Sigma 2}}; \quad \tau_2 = T_{\text{ლ}}, \quad (2-61)$$

სადაც  $K_{\text{დკ}} = K_{\beta} K_{\text{ლ}} K_{\text{I}}$  -დენის კონტურის საერთო გადაცემის კოეფიციენტი;  $T_{\Sigma 2} = T_{\text{ტგ}} + T_{\text{ფ2}}$  -დენის კონტურის მცირე (გაუკომპენსირებელი) დროის მუდმივაა.

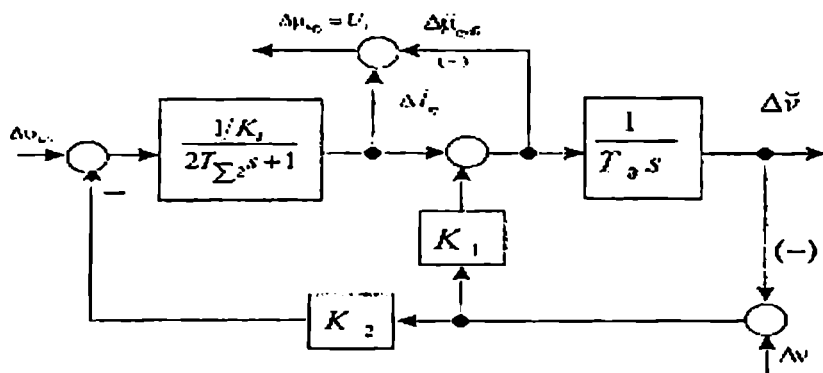
განსახილველი ამძრავისათვის  $\Delta\mu_{\Sigma}$ -დატვირთვის სტატიკური მომენტის ცვლილების მაკომპენსირებელი უკუკავშირის რგოლის (იგი ჩართული იქნება დენის რეგულატორის შესასვლელზე) გადამცემი ფუნქცია იმის გათვალისწინებით, რომ სისტემის დენის კონტური ოპტიმიზებულია (2-61)-ით, განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{K_I(2T \sum 2^s + 1)}{T_{\Sigma} \cdot s + 1} \quad (2-62)$$

(2-62)-ის შესაბამისი ელექტრული სქემის (ნახ.2.4) შესავალზე მიწოდებული სიგნალი ( $U_1$ ), რომელიც უნდა გამოსახავდეს  $\Delta\mu_{\Sigma}$ -ს რეკომენდებულია მივიღოთ სისტემის ღუზის დენის ( $\Delta i$ ) და ამძრავის დინამიკური მომენტის ( $\Delta\mu_{\text{დინ}} = T_{\Sigma} \frac{d\Delta v}{dt}$ ) სხვაობის შესაბამისი სიგნალით. ვინაიდან  $\Delta\mu_{\text{დინ}}$ -სიგნალის რეალიზება დაკავშირებულია ძრავის სინქარის წარმოების სიდიდის მიღებასთან, რაც თავის მხრივ, თუ გამოვიყენებთ მადიფერენცირებელ ორპოლუსა წრედებს ზრდის სისტემის ხელშემშლელი სიგნალებისადმი მგრძნობიარობას. ამიტომ უმჯობესია ამ შემთხვევაში ვისარგებლოთ კალმან-ბიუსის ფილტ-



ნახ. 2.4. ამპრავის დატვირთვის სტატიკური მომენტის მაკომპენსირებელი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა



ნახ. 2.5. ამპრავის დატვირთვის სტატიკური მომენტის უფუასებითი სიგნალის მისაღები დამკვირვებელი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა



რის ანალოგიური დამკვირვებელი მოწყობილობით (ნახ. 2.5).

რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამპრაჟებისათვის ინვარიანტობის უზრუნველსაყოფად შეშფოთებათა მაკომპენსირებელი მოწყობილობების შერჩევა (გადამცემ ფუნქციათა განსაზღვრა და რეალიზება) ადვილად არის შესაძლებელი ზემოთ მუდმივი დენის ამპრაჟისათვის ჩატარებული ანალიზის ანალოგიურად.

თავი III. ელექტროამპრაჰების უწყვეტი მართვის სისტემების რეგულატორების ოპტიმალური პარამეტრების შერჩევა

§3.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამპრაჰების ოპტიმიზება

მუდმივი დენის ერთკონტურიანი ელექტროამპრაჰის შესაბამისი სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრების დასადგენად, უნდა ვისარგებლოთ კონტურის გახსნილი წრედიდან აღებული მართვის ობიექტის საერთო გადამცემი ფუნქციით:

$$W_{\text{ობ}}(s) = \frac{K_{\text{ტ}}}{T_{\text{ტბ}} \cdot s + 1} \cdot \frac{K_{\text{კ}}}{T_{\text{ლ}} T_{\text{კგ}} s^2 + T_{\text{კგ}} s + 1} \cdot \frac{1}{T_{\text{ფ}} s + 1} \quad (3-1)$$

ვისარგებლოთ ელექტროამპრაჰის ობიექტის პარამეტრების შემდეგი რიცხვითი მნიშვნელობებით:

$$K_{\text{ტ}} = 10; \quad T_{\text{ტბ}} = 0,01\text{წმ}; \quad K_{\text{კ}} = 1/0,92 = 1,08; \quad T_{\text{ლ}} = 0,12\text{წმ};$$

$$T_{\text{კგ}} = 0,87\text{წმ}; \quad T_{\text{ფ}} = 0,02\text{წმ}; \quad \delta_{\text{ბ}} = 0,087. \quad \text{მათი გათვალისწინებით (3-1) მიიღებს სახეს:}$$

$$W_{\text{ობ}}(s) = \frac{10,8}{(0,01s + 1)(0,02s + 1)(0,32^2 s^2 + 2 \cdot 1,36 \cdot 0,32s + 1)} = \quad (3-2)$$

$$= \frac{10,8}{(0,01s + 1)(0,02s + 1)(0,73s + 1)(0,14s + 1)}$$

რომლის შეუღლებების სიხშირეებია:

$$\omega_{\text{ა1}} = \frac{1}{0,73} = 1,4\text{წმ}^{-1}; \quad \omega_{\text{ა2}} = \frac{1}{0,02} = 50\text{წმ}^{-1};$$

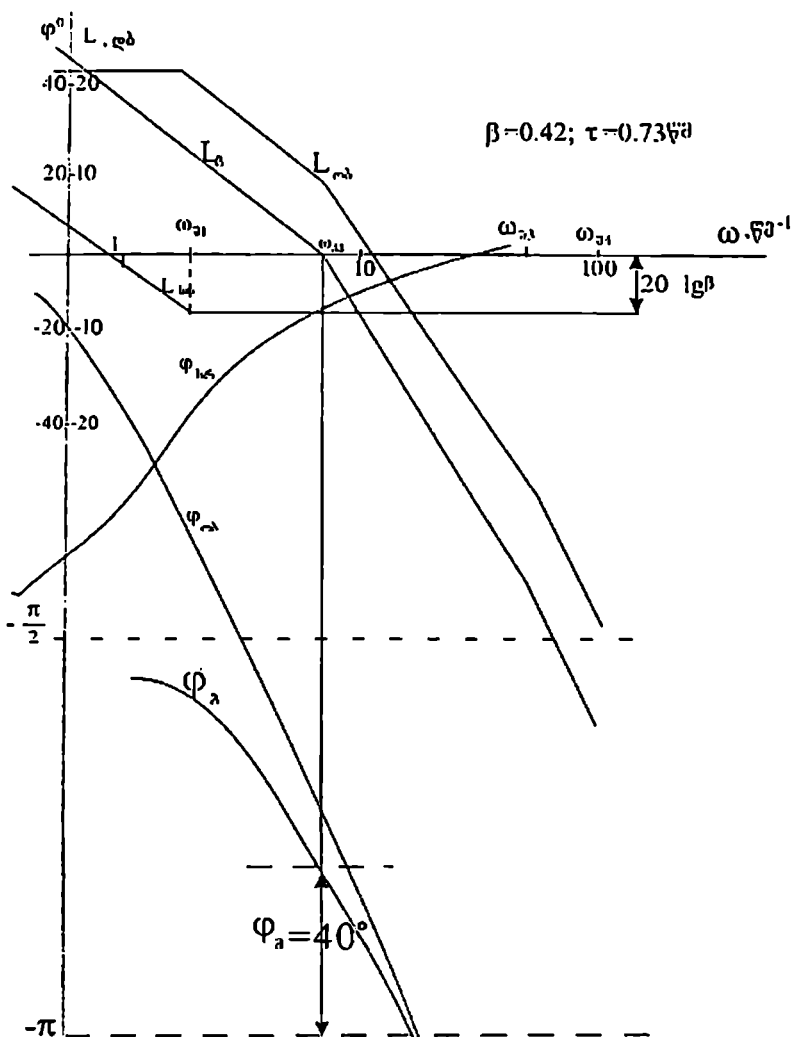
$$\omega_{\text{ა3}} = \frac{1}{0,14} = 7,14\text{წმ}^{-1}; \quad \omega_{\text{ა4}} = \frac{1}{0,01} = 100\text{წმ}^{-1}; \quad (3-3)$$

(3-3)-ის მიხედვით ვწერთ ობიექტის მოდულის და არ-გუმენტის სიხშირული მახასიათებლების გამოსახულებებს ლოგარითმულ სახეში:

$$L_{\text{ობ}}(\omega) = 20 \lg 10,8 - 20 \lg \sqrt{(0,73\omega)^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{(0,14\omega)^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{(0,02\omega)^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{(0,01\omega)^2 + 1}; \quad (3-4)$$

$$\varphi_{\text{ობ}}(\omega) = -\text{arctg } 0,73\omega - \text{arctg } 0,14\omega - \text{arctg } 0,02\omega - \text{arctg } 0,01\omega. \quad (3-5)$$

(3-4) და (3-5)-ის მიხედვით ნახ.3.1-ზე აგებულია ობიექტის ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები ( $L_{\text{ობ}}, \varphi_{\text{ობ}}$ ). იქვე სიხშირული ანალიზი საფუძველზე აგებულია პიტის სიჩქარის რეგულატორის სიხშირული მახასიათებლები ( $L_{\text{სრ}}, \varphi_{\text{სრ}}$ ) და გახსნილი სისტემის ( $L_{\text{ფ}}, \varphi_{\text{ფ}}$ ) ოპტიმიზებული სიხშირული მახასიათებლებიც. სინთეზირებული რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრებია:  $\beta = 0,42$  და  $\tau = 0,73\text{წმ}$ , რომლებიც უზრუნველყოფენ კვეთის სიხშირეზე ( $\omega_{\text{კვ}} = 9, \text{წმ}^{-1}$ )  $\varphi_{\text{ა}} = 40^\circ$ -იან



ნახ.3.1. მ.დ. ერთკონტურიანი ტირისტორული ელექტროამპრაჟის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებელი „ხისტი“ მექანიკური ლილვის შემთხვევაში

ფაზურ მარაგს. სისტემის სწრაფქმედება შეადგენს  
 $t_g \approx (2 \div 3) \pi / \omega_{კვ} = (6 \div 10) / 9 \approx \div 1 \text{წმ} - \text{ს}.$

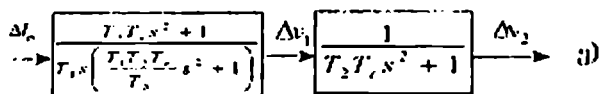
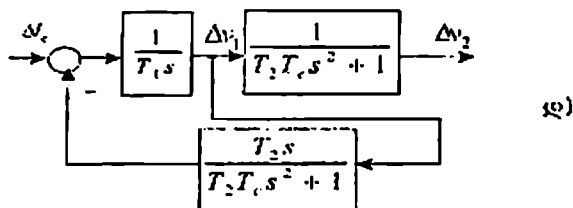
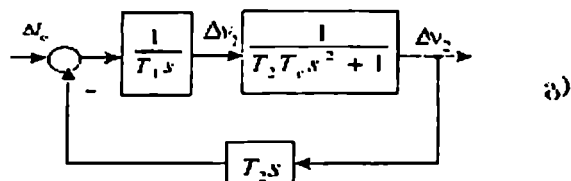
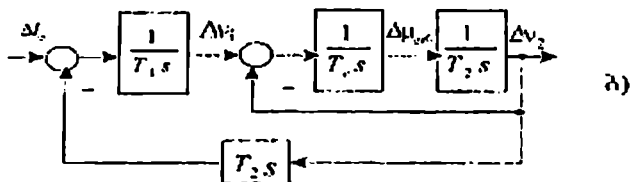
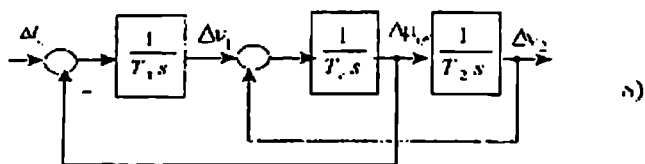
იმავე მართვის სისტემის დრეკადლილვიანი ელექტროამძრავის სინქარის რეგულატორის ოპტიმიზებისას ობიექტის საერთო გადამცემი ფუნქციის მისაღებად (2-9)-ის ნაცვლად უნდა გამოვიყენოთ (2-7), (2-15)-(2-17) დიფერენციალური განტოლებების შესაბამისი გადამცემი ფუნქციები.

პარამეტრების ზემოთ გამოყენებული რიცხვითი მნიშვნელობებისათვის და აგრეთვე  $T_1 = 1,5$ , წმ ;  
 $T_2 = 10$ , წმ ;  $T_c = 0,0004$  წმ. დრეკადი ელექტროამძრავის გადამცემი ფუნქციის, შემავალი  $\Delta \varepsilon_{ტგ}$  და გამომავალი  $\Delta v_1$  სიგნალების მიმართ, მიღების მიზნით ეისარგებლოთ ნახ.3.2 და 3.3-ზე ჩატარებული სტრუქტურული გარდაქმნებით, რის შემდეგაც გვექნება:

$$W_d(s) = \frac{\Delta v_1(s)}{\Delta \varepsilon_{ტგ}(s)} = \frac{(T_2 T_c s^2 + 1) / k_e}{a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + 1} \quad (3-6)$$

სადაც:

$$a_0 = T_1 T_2 T_c \cdot T_{ღ} / k_e k_{ღ}; \quad a_1 = T_1 T_2 T_c / k_e k_{ღ}; \quad a_2 = (T_{ღ} T_{ფ} + T_2 T_c k_e k_{ღ}) / k_e k_{ღ}; \quad a_3 = T_{ფ} / k_e k_{ღ}.$$



ნახ.32. მ.დ. ღრეკადი ამპრავის მექანიკური სისტემის სტრუქტურული სქემის გარდაქმნები

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით (3-6)-ე მიიღებს სახეს:

$$W_{\partial}(s) = \frac{\Delta \nu_1(s)}{\Delta \varepsilon_{\text{ტბ.}}(s)} = \frac{1,087(0,063^2 s^2 + 1)}{(6,36 \cdot 10^{-5} s^4 + 5,3 \cdot 10^{-4} s^3 + 0,124 s^2 + 1)} \approx \frac{1,1(0,063^2 s^2 + 1)}{0,35^2 s^2 + 1}.$$

ზემოთ მიღებული გამოსახულების გათვალისწინებით დრეკადრგოლიანი ელექტროამძრავის მართვის ობიექტის გადამცემი ფუნქცია ტოლი იქნება:

$$W_{\text{ობ}}(s) = \frac{11(0,063^2 s^2 + 1)}{(0,01s + 1)(0,35^2 s^2 + 1)(0,02s + 1)} \quad (3-7)$$

სისტემის მაქსიმალური სწრაფქმედების მიღების მიზნით მექანიკური ლილვის დრეკადი თვისების დინამიკურ პროცესებზე გავლენის საკომპენსაციოდ უნდა გამოვიყენოთ პასიური  $R-L-C$  ელემენტებისაგან შედგენილი ფილტრი (ნახ.3.4), რომლის გადამცემი ფუნქციაა:

$$W_{\text{ფ}}(s) = \frac{T_1^* T_2^* s^2 + T_2^* s + 1}{T_1^* T_2^* s^2 + T_3^* s + 1}, \quad (3-8)$$

$$\text{სადაც } T_{1*} = L_{\text{ფ}}/R_{\text{ფ}}; \quad T_2^* = R_{\text{ფ}} \cdot C_{\text{ფ}}; \quad T_3^* = (1 + \alpha) \cdot T_2;$$

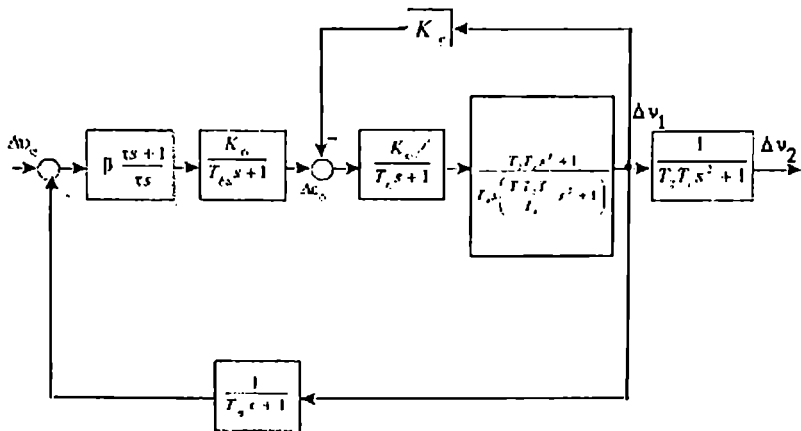
$$\alpha = \frac{R_{01}R_{02}}{R_{\text{ფ}}(R_{01} + R_{02})}. \quad (3-9)$$

(3-7)-ის შესაბამისი დრეკადი ელექტროამპრავის ობიექტის ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები ( $L_{\text{ობ}}, \varphi_{\text{ობ}}$ ) აგებულია ნახ.3.5-ზე. იმავე ნახაზზე აგებულია  $R-L-C$  ფილტრის სიხშირული მახასიათებლები ( $L_{\text{ფ}}, \varphi_{\text{ფ}}$ ), რომელიც აკომპენსირებს დრეკადი რგოლით წარმოქმნილ რეზონანსულ პიკს.

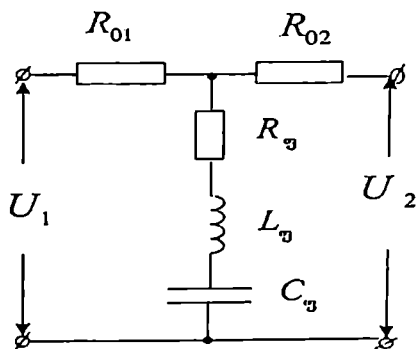
სიხშირული ანალიზის საფუძველზე დგინდება, რომ სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრებია-  $\beta = 1$ ;  $\tau = 1\sqrt{2}$ -ს, რომლებიც უზრუნველყოფენ გახსნილი სისტემის ამპლიტუდური მახასიათებლის კვეთის სიხშირეს  $\omega = 8\sqrt{2}^{-1}$ -ს ფაზური მარაგით  $\varphi_{\text{მარაგ}} = 40^\circ$ -ით. ამ შემთხვევაშიც სისტემის დინამიკური სწრაფქმედება შეადგენს  $t_{\text{გ}} \approx 1\sqrt{2}$ -ს.

$R-L-C$  ფილტრი უნდა ჩაირთოს მართვის სისტემის პირდაპირ არხში, სიჩქარის რეგულატორის მიმდევრობით. მისი ოპტიმალური პარამეტრები უნდა შეირჩეს შემდეგნაირად:

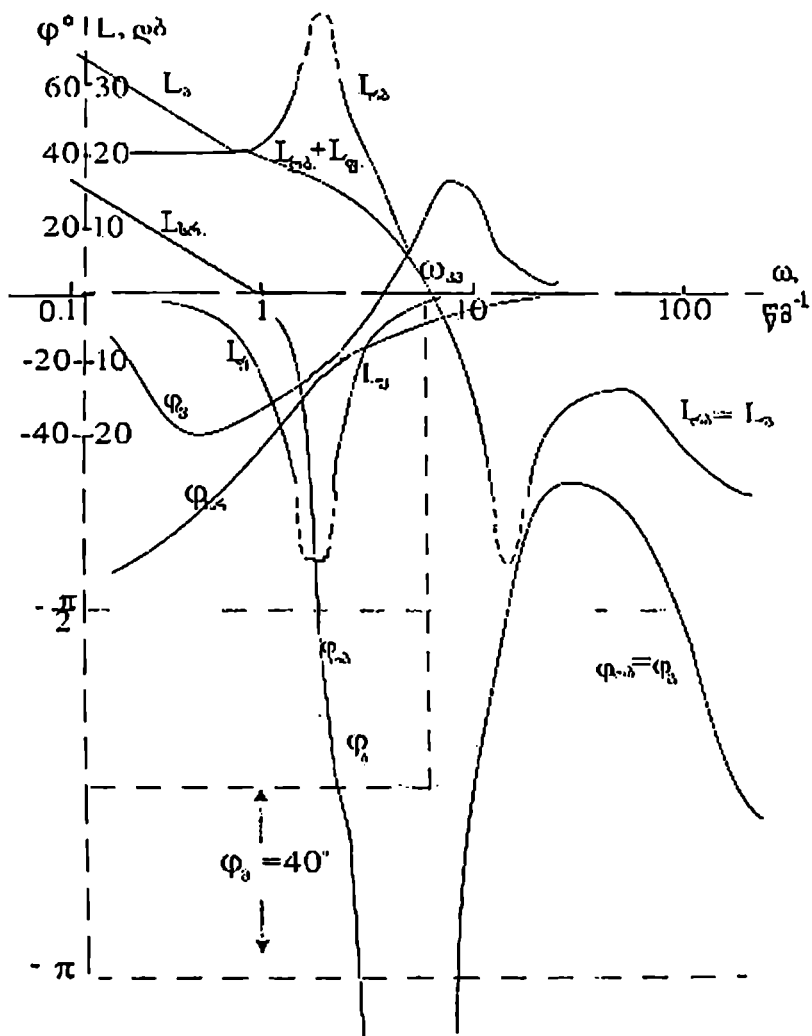




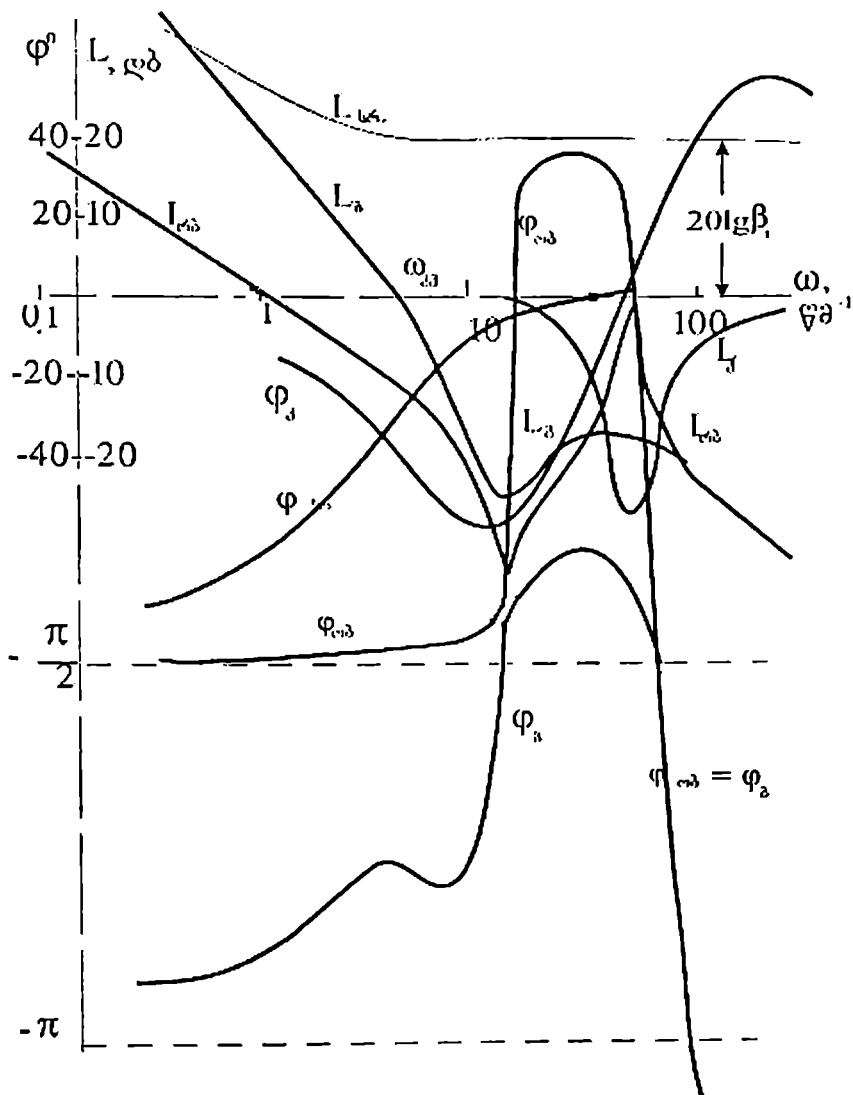
ნახ. 3.3. მ.დ. ერთკონტურიანი დრეკადლილვიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა



ნახ. 3.4. დრეკადლილვიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის გრეხითი რხევების მაკომპენსირებული ოთხპოლუსას ელექტრული სქემა



ნახ.3.5. მდ. ერთკონტურიანი დრეკადი ამძრავის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებელი



ნახ.3.6. მ.დ. ორკონტურიანი დრეკადი ამპრაეის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებელი

$$\omega_{დრ.} = 1/\sqrt{T_1^* \cdot T_2^*} = 1/\sqrt{T_1 \cdot T_c}; \quad T_3^* = T_d; \quad T_2^* = 17,5T_d. \quad (3-10)$$

განვიხილოთ ახლა ორკონტურიანი დრეკადლილ-ვიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის სიჩქარის რეგულატორის პარამეტრების ოპტიმიზაცია. შევასრულოთ იგი დენის კონტურის ე.წ. „მოდულის“ ოპტიმიზაციის მიხედვით ოპტიმიზებული გადამცემი ფუნქციის გათვალისწინებით. ამ შემთხვევაში სიჩქარის კონტურის ობიექტის გადამცემ ფუნქციას ექნება შემდეგი სახე:

$$W_{ობ}(s) = \frac{1/k_1(T_2T_c s^2 + 1)}{(2T_{\Sigma} s + 1)T_{\Phi} s \left( \frac{T_1 T_2 T_c}{T_{\Phi}} s^2 + 1 \right) (T_{\Phi} s + 1)}, \quad (3-11)$$

სადაც  $T_{\Phi} = T_1 + T_2$ -ამძრავის ჯამური მექანიკური დროის მუდმივაა, მივიღოთ იგი:  $T_{\Phi} = 11,5$  წმ.

(3-11)-ის სიხშირული ანალიზის საფუძველზე (ნახ. 3.6) დადგენილ იქნა, რომ სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრებია:  $\beta_1 = 10$ ;  $\tau_1 = 0,2$  წმ. ამ შემთხვევაში სისტემის სწრაფქმედება 1,0 წამის ფარგლებშია.

### § 3.2 ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტრო- ამპრავის მართვის სისტემების ოპტიმიზება

ძაბვით რეგულირებადი დრეკადრგოლიანი ასინქრონული ელექტროამპრავის სისტემის ოპტიმიზების მიზნით უფრო მოხერხებულია მართვის ობიექტის საერთო გადამცემა ფუნქცია ჩაეწეროს გამოშვავალი-ძრავის სიჩქარის სიგნალის და შემავალი-დავალების სიგნალის მიხედვით. განვსაზღვროთ იგი ცვლადების მდგომარეობის სივრცის მეთოდით, ამასთან ვისარგებლოთ (2-40)-ე განტოლებათა სისტემის კოშის ფორმაში ჩაწერით:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu; \\ y = C \cdot x, \end{cases} \quad (3-12)$$

სადაც  $x^T = [x_1, x_2, x_3, x_4]$ ;  $x_1, x_2, x_3, x_4$  - შესაბამისად მექანიზმის კუთხური სიჩქარის, დრეკადი მომენტის, ძრავის კუთხური სიჩქარის და ბრუნვის მომენტის ფარდობითი ნაზრდებია;  $u$  - შემავალი (დავალების) სიგნალია;  $y$  - სისტემის გამოშვავალი სიგნალი;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & T_2^{-1} & 0 & 0 \\ -T_C^{-1} & 0 & T_C^{-1} & 0 \\ 0 & -T_1^{-1} & -\delta \delta T_1^{-1} & T_1^{-1} \\ 0 & 0 & 0 & -T_\delta^{-1} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2T_\delta^{-1} \end{bmatrix}; C^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix};$$

(3-13)

(2-52)-ის თანახმად (3-13)-ით მივიღებთ დრეკად-ლილვიანი ძაბვით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის საერთო გადამცემ ფუნქციას ძრავის სიჩქარის მიმართ:

$$W_\delta(s) = \frac{\Delta v_1(s)}{\Delta u_{ფ}(s)} = \frac{K_o(T_2 T_c s^2 + 1)}{(T_\delta s + 1)(T_1 T_2 T_c \delta \delta s^3 + T_2 T_c s^2 + \delta \delta T_\delta s + 1)}$$

(3-14)

თუ ვისარგებლებთ პარამეტრების შემდეგი რიცხვითი მნიშვნელობებით:  $T_\delta = 0,075$  წმ;  $T_1 = 2$  წმ;  $T_2 = 10$  წმ;  $K_o = 0,22$ ;  $T_c = 0,0004$  წმ;  $K_\delta = 0,45$ ;  $T_\delta = 0,01$  წმ, მაშინ ამძრავის ობიექტის გადაცემის ფუნქცია ტოლი იქნება:

$$W_0(s) = \frac{\Delta v_1(s)}{\Delta u_{ფ}(s)} = \frac{0,1(0,063^2 s^2 + 1)}{(0,01s + 1)(0,075s + 1)(1,3s + 1)} \times \frac{1}{0,028^2 s^2 + 2 \cdot 0,41 \cdot 0,028s + 1}$$

(3-15)

სიხშირული ანალიზის საფუძველზე (ნახ.3.7) ძაბვით რეგულირებადი დრეკადრგოლიანი ასინქრონუ-

ლი ელექტროამძრავის სინთეზირებული პოტიპის სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრებია:  $\beta = 100, \tau = 1,3$  წმ-ს.

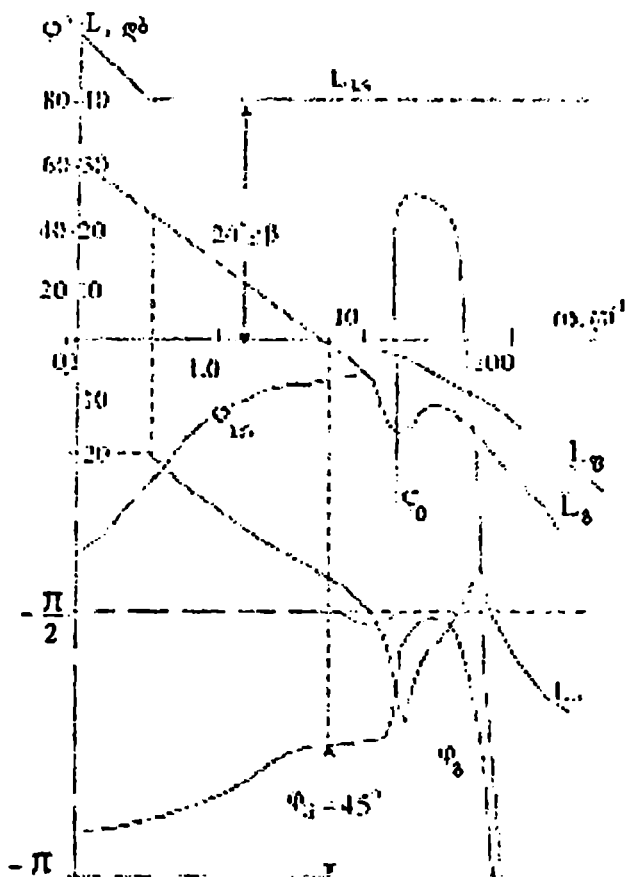
სიხშირით რეგულირებადი ხისტლილვიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმიზების მიზნით ვისარგებლოთ (2-53)-ე გადამცემი ფუნქციით. პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობებისათვის  $K_0 = 5; T_0 = 0,01$  წმ;  $K_1 = 10,1; \delta_1 = 0,11; T_{12} = 1,265$  წმ;  $T_1 = 0,12$  წმ;  $T_{13} = 0,02$  წმ, იგი ტოლი იქნება

$$W_0(s) = \frac{\Delta v(s)}{\Delta u(s)} = \frac{5,55}{0,001518s^3 + 0,1657s^2 + 1,4s + 1}, \quad (3-16)$$

რომლითაც ნახ.3.8-ზე ჩატარებულია სისტემის სიხშირული ანალიზი და განესაზღვრულია სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრები.

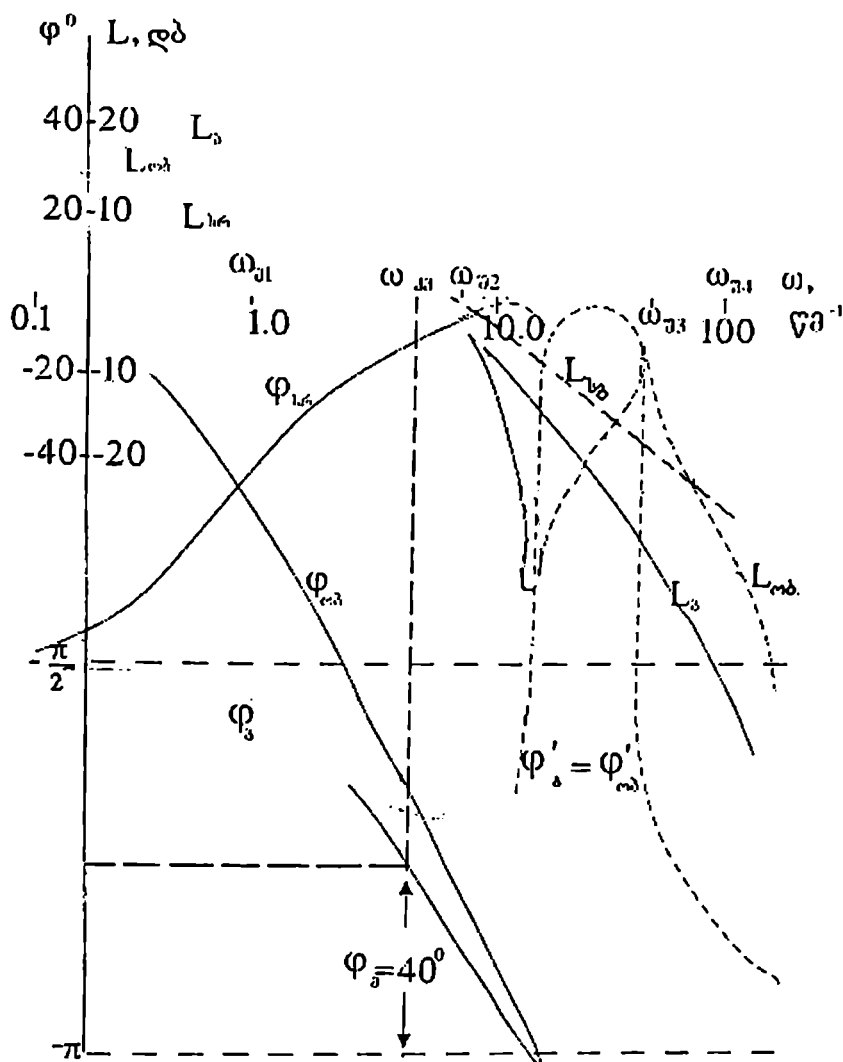
დრეკადლილვიანი სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლებით კვლევისას უნდა ვისარგებლოთ ცვლადების ჩაწერის მდგომარეობის სივრცის მეთოდით, (3-12)-ის ანალოგიურად, სადაც:

$$x^T = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]; \quad x_1 = \Delta v_2; \quad x_2 = \Delta \mu_{\text{ღრ}}; \quad x_3 = \Delta v_1;$$



ნახ.3.7. ძაბვით რეგულირებადი დრეკადი ასინქრონული ელექტროამძრავის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლები





ნახ. 3.8. სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტრო-  
ამპრავის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლები  
ხისტი და დრეკადი (იხ. წყვეტილი წირებით) მექა-  
ნიკური ლილვისას

$$x_4 = \Delta\mu; x_5 = \Delta\nu_{\text{ფ}};$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_2} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{T_c} & -\frac{T_d}{T_c} \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) & \frac{1}{T_c} \left( 1 - \frac{T_d}{\delta_b T_1} \right) & \frac{T_d}{T_1 T_c} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_1} & -\frac{1}{\delta_b T_1} & \frac{1}{T_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_D} & \frac{K_d}{T_D} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_0} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_0}{T_0} \end{bmatrix};$$

$$C = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]. \quad (3-17)$$

ამ შემთხვევაშიც უნდა ვისარგებლოთ (2-52)-ით, რომელშიც (3-17)-ის შესაბამისი გამოსახულებების ჩასმით მივიღებთ სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის ობიექტის საერთო გადამცემ ფუნქციას დრეკადი მექანიკური ლილვის შემთხვევისთვის:

$$W_o(s) = \frac{\Delta v_1(s)}{\Delta v(s)} = \frac{K_{\beta} K_d \delta_{\beta} (T_2 T_c s^2 + T_d s + 1)}{(T_{\beta} s + 1)(T_d s + 1) [T_1 T_2 T_c \delta_{\beta} s^3 + (T_2 T_c + \delta_{\beta} T_{\beta} T_d) s^2 + (\delta_{\beta} T_{\beta} + T_d) s + 1]} =$$

$$= \frac{K_o (b_0 s^2 + b_1 s + 1)}{a_0 s^5 + a_1 s^4 + a_2 s^3 + a_3 s^2 + a_4 s + 1}, \quad (3-18)$$

სადაც:  $T_1 = 1,5$ ;  $T_2 = 10c$ ;  $T_c = 4 \cdot 10^{-4} c$ ;  $T_d = 0,002c$ ;  
 $K_{\beta} = 10,1$ ;  $T_{\beta} = 0,12$  წმ.

$$K_o = 3,5 \quad b_0 = 0,004 \quad b_1 = 0,002 \quad a_0 = T_1 T_2 T_c \delta_{\beta} T_{\beta} T_d = 3,9 \cdot 10^{-7};$$

$$a_1 = (T_{\beta} + T_d) T_1 T_2 T_c \delta_{\beta} + T_{\beta} T_d (T_2 T_c + \delta_{\beta} T_{\beta} T_d) = 4,9 \cdot 10^{-5};$$

$$a_2 = T_1 T_2 T_c \delta_{\beta} + (T_{\beta} + T_d) (T_2 T_c + \delta_{\beta} T_{\beta} T_d) = 0,00178;$$

$$a_3 = T_2 T_c + \delta_{\beta} T_{\beta} T_d + (T_{\beta} + T_d) (\delta_{\beta} T_{\beta} + T_d) = 0,092;$$

$$a_4 = T_{\beta} + T_d + \delta_{\beta} T_{\beta} + T_d = 1,1.$$

(3-18)-ის შესაბამისად დრეკადლილევიანი სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავისათვის (იხ. წყვეტილით ნაჩვენები მახასიათებლები ნახ. 3.8-ზე) დადგენილ იქნა სიჩქარის რეგულატორის შემდეგი ოპტიმალური პარამეტრები:

$$\beta = 1,1; \tau = 1,2 \text{ წმ}.$$

თავი IV. ელექტროამპრაჰების სისტემების  
 სიჩქარის ციფრული რეგულატორების  
 ოპტიმიზება

§ 4.1. მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტრო-  
 ამპრაჰის ციფრული რეგულატორის ოპტიმიზება

განვიხილოთ ახლა ციფრული მართვის მქონე ორ-  
 კონტურიანი ტირისტორული ელექტროამპრაჰის სიჩ-  
 ქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრების  
 შერჩევის თანმიმდევრობა. ვისარგებლოთ ამპრაჰის  
 გარე კონტურის მართვის ობიექტის (დენის ოპტი-  
 მიზებული კონტურის გათვალისწინებით) უწყვეტ-  
 ოპერატორიანი საერთო გადამცემი ფუნქციის შემ-  
 დეგი გამოსახულებით:

$$W_0^*(s) = \frac{1}{K_i \cdot T_{\beta} \cdot s(2T \sum_2 \cdot s + 1)} \quad (4-1)$$

(4-1)-დან Z-ოპერატორიან დისკრეტულ ფუნქცია-  
 ზე გადასასვლელად საჭიროა დავშალოთ იგი მარ-  
 ტივ რაციონალურ წილადებად:

$$W'_0(s) = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i}{s + \alpha_i} \quad (4-2)$$

მართვის ობიექტის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია ნულოვანი დონის ექსტრაპოლიატორის გათვალისწინებით ტოლი იქნება

$$W'_0(z) = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i(1-d_i)}{z-d_i} \quad (4-3)$$

სადაც  $d_i = e^{-\alpha_i T_0}$ ,  $i = \overline{1;3}$ ,  $T_0$  - დისკრეტისაციის პერიოდია.

თუ,  $K_i = 0,1$ ;  $T_0 = 11,5$ წმ;  $T_{\Sigma 2} = 0,01$ წმ და  $T_0 = 0,05$ წმ ( $T_0$ -დისკრეტულობის პერიოდია) (4-1)-ე ფუნქცია  $z$ -დისკრეტული ოპერატორებით შემდეგნაირად გამოისახება:

$$W_0^*(z) = \frac{0,0275z + 0,0124}{z^2 - 1,08z + 0,082} \quad (4-4)$$

რომლის შესაბამისი სიხშირული მახასიათებლები აგებულია ნახ. 4.1-ზე, იგი მიღებულია კომპიუტერზე Matlab-ის პროგრამით ე.წ. ბოდეს დიაგრამების სახით შემდეგი სიმბოლური ჩანაწერების გამოყენებით:

```
sysd=tf([0.0275 0.0124],[1 -1.08 0.082], 0.05)
```

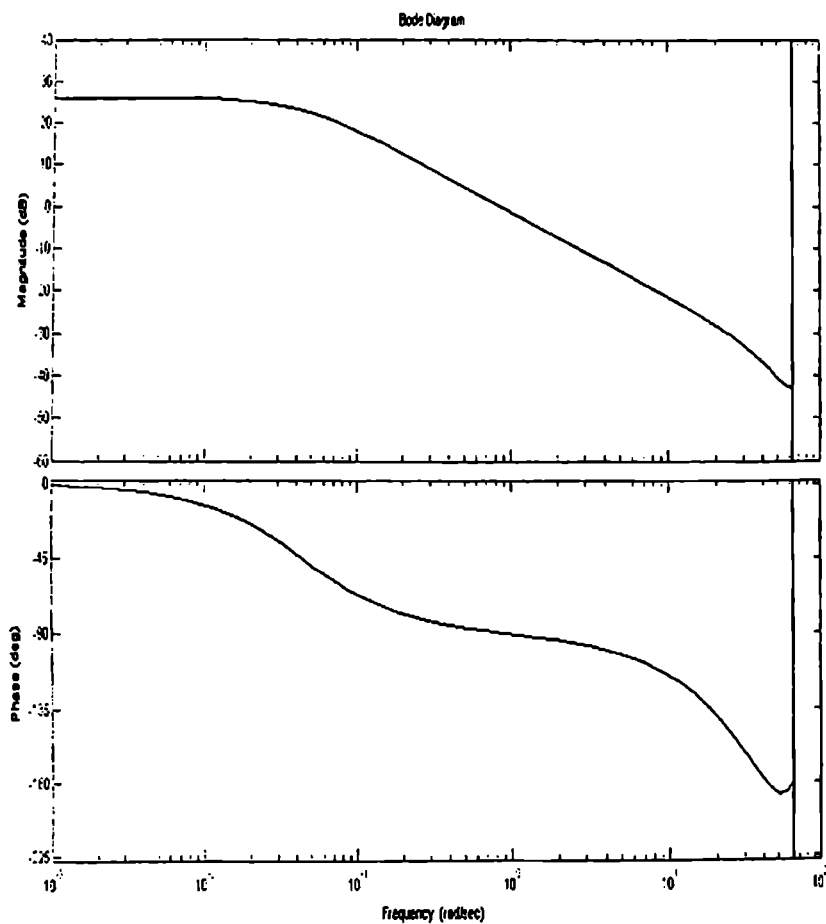
```
bode(sysd)
```

Transfer function:

0.0275 z + 0.0124

$$z^2 - 1.08z + 0.082$$

Sampling time: 0.05



65b.4.1

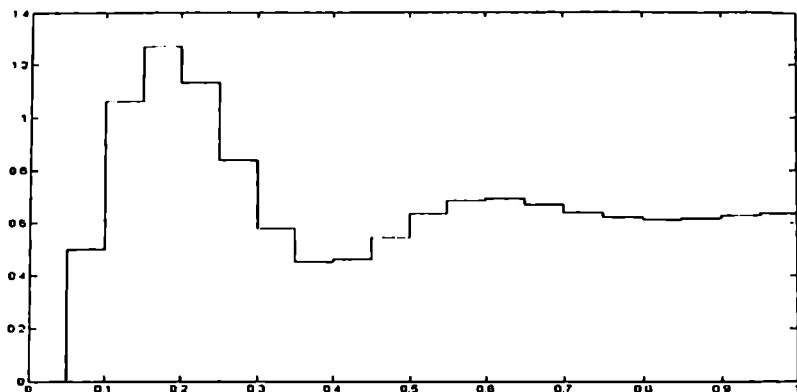
(4-4)-ის ანალიზის საფუძველზე განსაზღვრულ იქნა მუდმივი დენის ხისტლიღვიანი ელექტრო-ამპრავის სინქარის რეგულატორის ოპტიმალური დისკრეტულ-ოპერატორიანი გადამცემი ფუნქცია პარამეტრებით

$$D_0^*(z) = \frac{16,9z - 10,7}{z - 1} \quad (4-5)$$

(4-4) და (4-5)-ის მიხედვით ადვილად მივიღებთ ციფრული მართვის მქონე ტირისტორული ელექტროამპრავის შეკრული სისტემის შემდეგ საერთო გადამცემ ფუნქციას:

$$W_{\text{შ}}^*(z) = \frac{0,5z^2 - 0,19z - 0,13}{z^3 - 1,5z^2 + z - 0,215}. \quad (4-6)$$

(4-6)-ის შესაბამისი მახასიათებელი განტოლების ფესვებია:  $z_1 = 0,36$ ;  $z_{2,3} = 0,57 \pm j0,51$ . ვინაიდან მიღებულ ფესვთა მოდულები  $|z_i| < 1, i = \overline{1,3}$ , ამიტომ განხილული სისტემა დინამიკურად მდგრადია. (4-6)-ის შესაბამისი გარდამავალი პროცესის მრუდი, რომელიც მიღებულია კომპიუტერზე ნაჩვენებია ნახ. 4.2.-ზე.



ნახ. 4.2

ვინაიდან მისი ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები (სწრაფქმედება და რხევათა რიცხვი) დამაკმაყოფილებელია (ოპტიმიზებულია), ამიტომ ამძრავის მუშაობა დინამიკაში იქნება რაციონალური.

მუდმივი დენის ორკონტურიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის ობიექტის საერთო გადამცემი ფუნქცია ამძრავის მექანიკური ლილვის დრეკადი თვისების გათვალისწინების შემთხვევაში და დენის ოპტიმიზებული კონტურისას ტოლი იქნება:

$$W_0^{**}(s) = \frac{k_0(b_0s^2 + b_1s + 1)}{s(a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + 1)}, \quad (4-7)$$

$$\text{სადაც } K_0 = \frac{1}{K_i T_a}; b_0 = T_2 T_c; b_1 = T_d; a_0 = \frac{2T \sum_2 T_1 T_2 T_c}{T_a};$$



$$a_1 = \frac{T_1 T_2 T_c}{T_a} + 2T \sum 2T_d;$$

$$a_2 = 2T \sum 2 + T_d; T_a = T_1 + T_2; T_1 = 1,5 \text{ წა}; T_2 = 10 \text{ წა}; T_d = 0,002 \text{ წა};$$

$$T_c = 0,0004 \text{ წა}.$$

(4-7)-ში პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ:

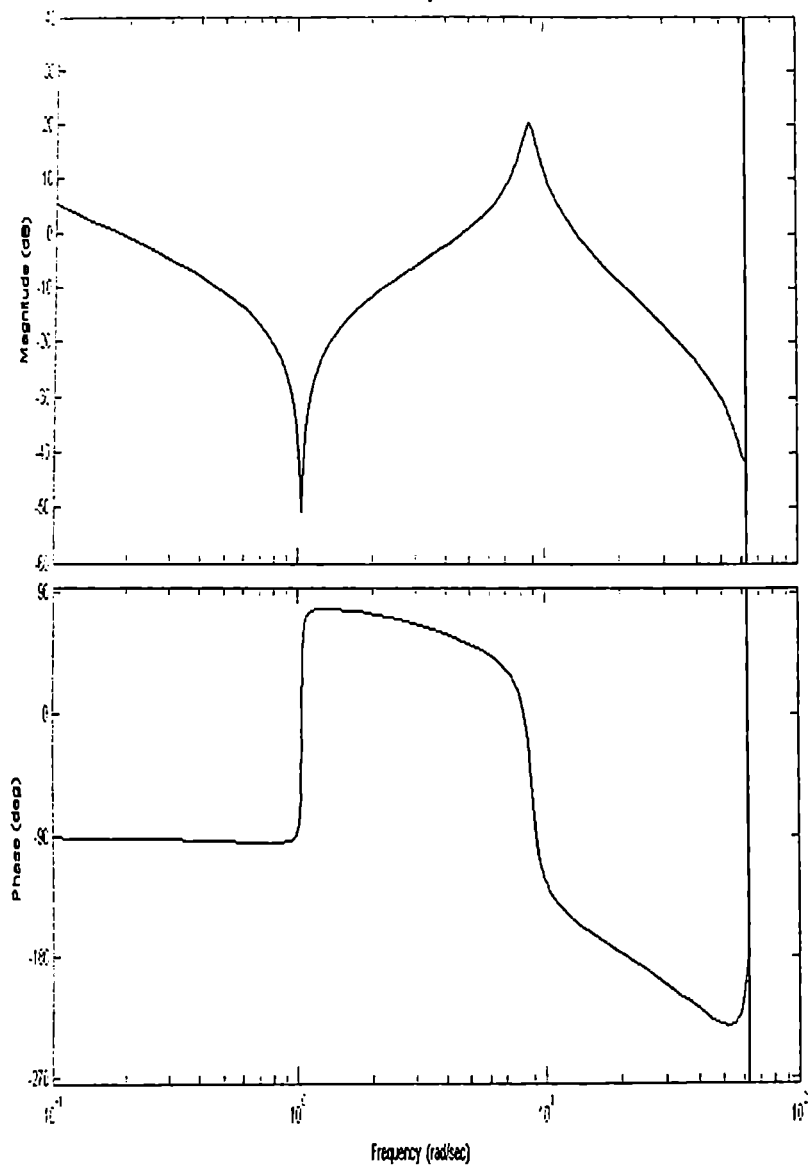
$$W_0^{**}(s) = \frac{0,87(0,004s^2 + 0,002s + 1)}{s(0,00001s^3 + 0,000562s^2 + 0,022s + 1)}. \quad (4-8)$$

(4-8)-ის შესაბამისი დისკრეტული მართვის მქონე ელექტროამძრავის ობიექტის გადამცემი ფუნქცია Z-დისკრეტულ ოპერატორიან ფორმაში ტოლი იქნება:

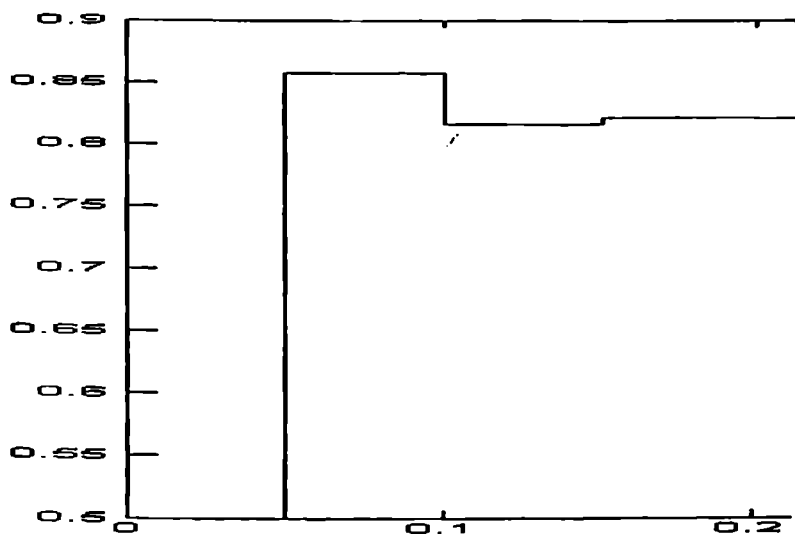
$$W_0^{**}(z) = \frac{0,1428z^3 - 0,1664z^2 - 0,0943z + 0,1186}{z^4 - 3,364z^3 + 4,373z^2 - 2,579z + 0,57}, \quad (4-9)$$

რომლის შესაბამისი სიხშირული მახასიათებლები აგებულია ნახ. 4.3-ზე.

Bode Diagram



6sb. 4.3.



ნახ. 4.4.

(4-9)-ის სიხშირული ანალიზის შედეგად ადვილად განესაზღვრავთ დრეკადრგოლიანი ამპრავის დისკრეტული სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალურ გადამცემ ფუნქციას

$$D^{**}(z) = \frac{(z-1)[(z-0,88)^2 + 0,4^2]}{(z-0,998)^2 + 0,05^2}. \quad (4-10)$$

(4-9) და (4-10)-ის მიხედვით ადვილად მივიღებთ „დრეკადი“ ტირისტორული ელექტროამპრავის შეკრული სისტემის დისკრეტულ-ოპერატორიან საერთო გადამცემ ფუნქციას:

$$W_{\text{ფ}}^{**}(z) = \frac{z + 0,83}{2z + 0,23}. \quad (4-11)$$

(4-11)-ის შესაბამისი მახასიათებელი განტოლების ფესვია:  $z = -0,115 \ll 1$ , რაც უზრუნველყოფს სისტემის მუშაობას მდგრადობის საკმარისი მარაგით. მ.დ. „დრეკადი“ ამძრავის შესაბამისი გარდამავალი პროცესის მრუდი (კომპიუტერზე მიღებული) ნაჩვენებია ნახ. 4.4-ზე, პროცესი თვისობრივი მაჩვენებლებით დამაკმაყოფილებელია.

#### §4.2. სიხშირით (და ძაბვით) რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის ციფრული რეგულატორის ოპტიმიზება

ე.წ. სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამძრავის ციფრული მართვის სისტემის ოპტიმიზებისას „ხისტი“ მექანიკური ღილვის შემთხვევაში უნდა ვისარგებლოთ (2-53)-ე ფუნქციით. მისგან  $Z$ -ოპერატორიან დისკრეტულ ფუნქციაზე გადასასვლელად საჭიროა დაეშალოთ იგი მარტივ რაციონალურ წილადებად:

$$W'_0(s) = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i}{s + \alpha_i} \quad (4-12)$$

სადაც  $A_1 = 0,54$ ;  $A_2 = -4,35$ ;  $A_3 = 3,81$ ;  $\alpha_1 = 100$ ;  
 $\alpha_2 = 13,3$ ;  $\alpha_3 = 0,995$ .

მართვის ობიექტის დისკრეტული გადამცემი ფუნქცია ნულოვანი დონის ექსტრაპოლიატორის გათვალისწინებით ტოლი იქნება

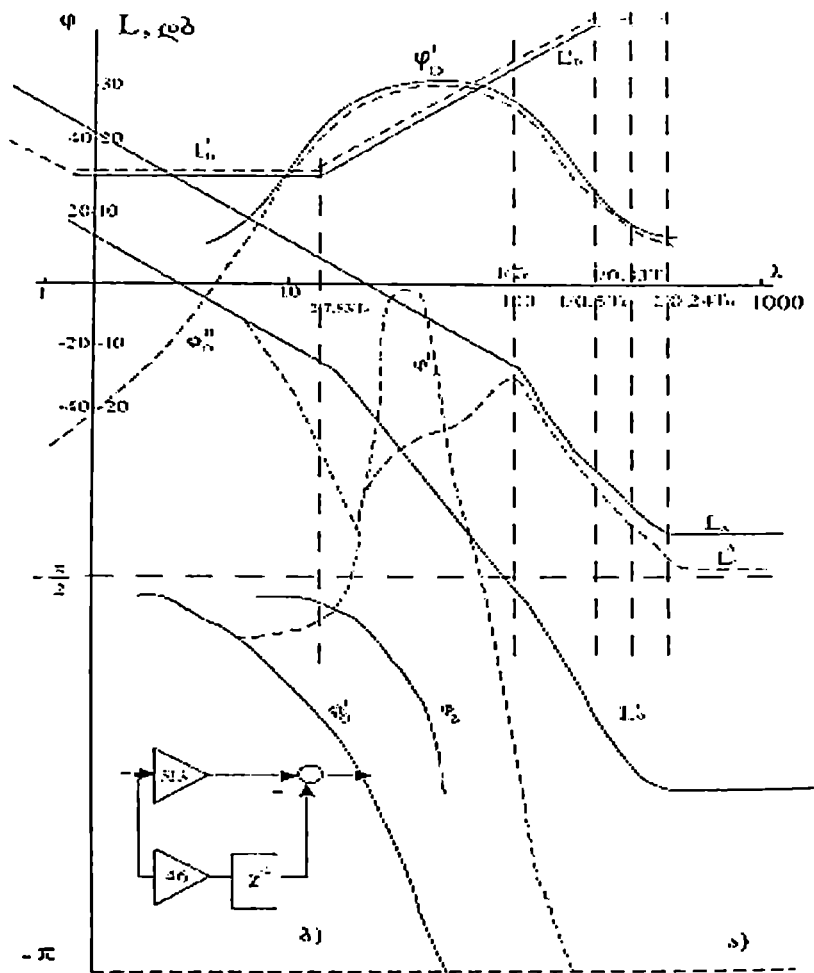
$$W'_0(z) = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i(1-d_i)}{z-d_i} \quad (4-13)$$

სადაც  $d_i = e^{-\alpha_i T_0}$ ,  $i = \overline{1;3}$ ,  $T_0$ - დისკრეტისაციის პერიოდია,  $T_0 = 0,017$ მ.  $d_1 = 0,37$ ;  $d_2 = 0,87$ ;  
 $d_3 = 0,99$ .

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით (4-13) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$W_0(z) = 0,0006(z+2,86)(z+0,2)/(z-0,37)(z-0,87)(z-0,99). \quad (4-14)$$

(4-14)-ის საფუძველზე ნახ. 4.5-ზე აგებულია განსახილველი სისტემის ფსევდო-სიხშირული მახასიათებლები, რომელთა გაანალიზებით განსაზღვრულ იქნა დისკრეტული სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური გადამცემი ფუნქცია:



ნახ. 4.5. ციფრული მართვის მქონე სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამპრავის ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლები ხისტი და დრეკადი (იხ. წყვეტილი წირები) მექანიკური ლილვისას (ა) და კორექტორის ელექტრული სქემა (ბ)

$$D'(z) = \frac{52,3(z - 0,88)}{z} = 52,3 - 46 \cdot z^{-1}. \quad (4-15)$$

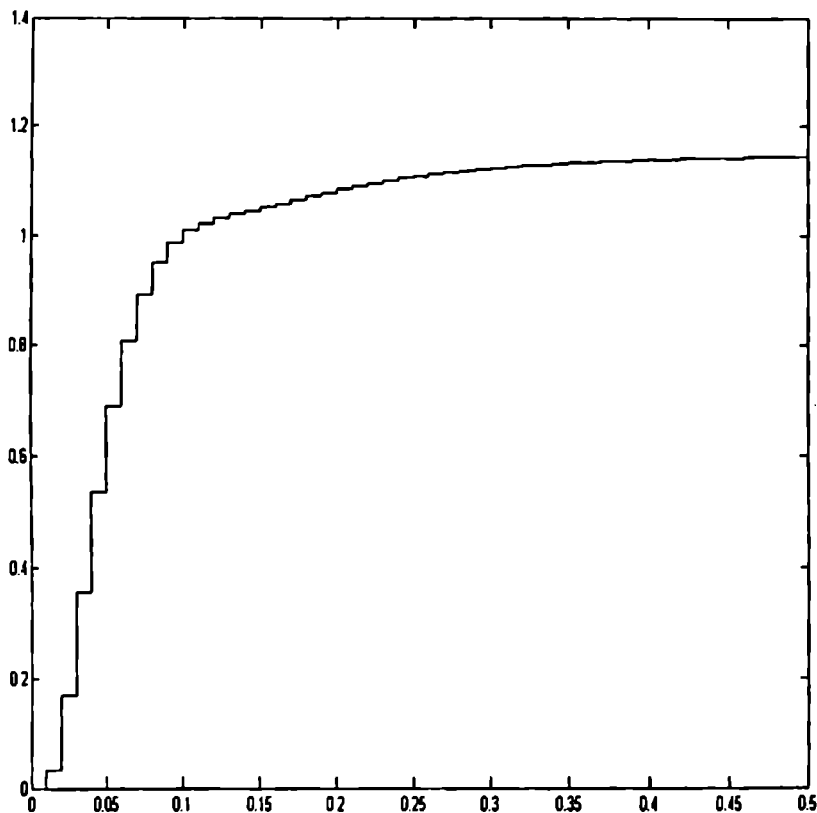
მიღებული ფუნქცია მადიფერენცირებელი ტიპისაა და მისი რეალიზებისათვის სქემა საჭიროებს ერთ დისკრეტულ ინტეგრატორს ( $z^{-1}$ ) და ორ ოპერაციულ მაძლიერებელს.

(4-14) და (4-15)-ე გადამცემი ფუნქციებით ადვილად მივიღებთ ხისტლილვიანი ამძრავის შეკრულწრედიანი მართვის სისტემის საერთო დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$W_{\text{შ}}'(z) = \frac{D'(z) \cdot W_0'(z)}{1 + D'(z) \cdot W_0'(z)} = \frac{0,03138z^3 + 0,0684z^2 - 0,0665z - 0,0157}{z^4 - 2,2z^3 + 1,616z^2 - 0,385z - 0,0157} \quad (4-16)$$

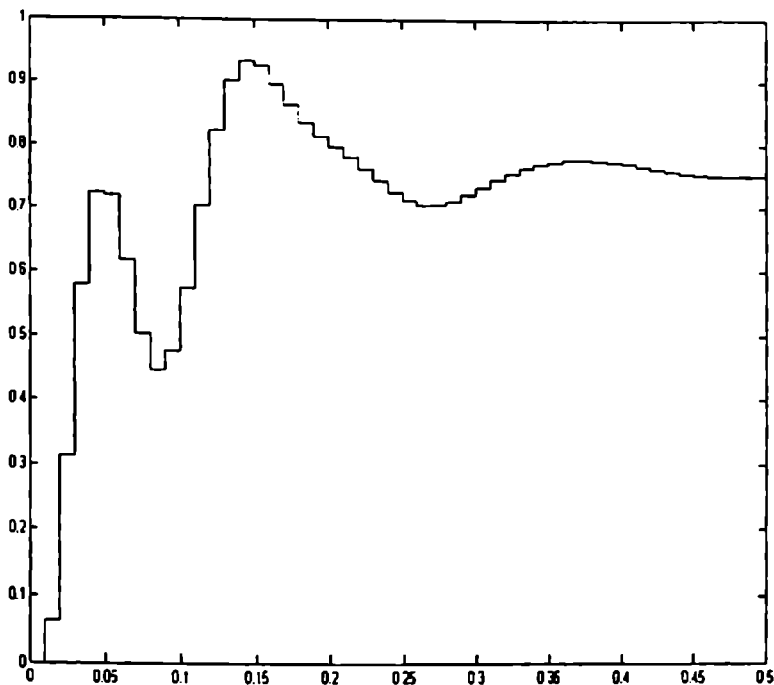
(4-16)-ის შესაბამისი მახასიათებელი განტოლების ფესვებია:  $z_1 = -0,0353$ ;  $z_2 = 0,91$ ;  $z_{3,4} = 0,663 \pm 0,22i$ ; ვინაიდან ფესვების მოდულები ( $|z_1| < 1$ ,  $|z_2| < 1$ ,  $|z_{3,4}| = 0,673 < 1$ ) საკმარისი მარაგით თავსდებიან ერთეულოვანი რადიუსის მქონე წრის შიგნით, ეს მიუთითებს განხილული დისკრეტული სისტემის მდგრადობაზე.

ციფრული მართვის მქონე ასინქრონული ელექტროამპრაჟის სინქარის გარდამავალი პროცესის მრუდი, რომელიც მიღებულია (4-16)-ის მიხედვით წარმოდგენილია ნახ. 4.6-ზე. გარდამავალი პროცესის ხანგრძლიეობა შეადგენს 0,5 წმ-ს, გადამეტრეგულირების გარეშე.



ნახ. 4.6.





ნახ. 4.7.

განვიხილოთ ახლა სიხშირით რეგულირებადი ასინქრონული ელექტროამპრავის დისკრეტული რეგულატორის ოპტიმიზაციური სინთეზი მექანიკური ღილევის დრეკადი თვისების გათვალისწინებისას. ზემოთ მოყვანილი მეთოდის გამოყენებით (3-29)-დან მივიღებთ დრეკადი ამპრავის ობოექტის დისკრეტულ გადამცემ ფუნქციას  $z$ -ოპერატორებით

$$W_0''(z) = \frac{0,0044(z+2,76)(z+0,2)(z^2 - 1,96z + 0,985)}{(z-0,36)(z-0,89)(z-0,9756)(z^2 - 1,72z + 0,9)}. \quad (4-17)$$

სისშირული მახასიათებლების (იხ. წყვეტილით ნაჩვენები მახასიათებლები ნახ.4.5-ზე) ანალიზის საფუძველზე დრეკადი ასინქრონული ამძრავისათვის რეგულატორს შევირჩიეთ კიდ-ტიპის შემდეგი ფუნქციითა და პარამეტრებით:

$$D''(z) = \frac{14,3(z-0,89)(z-0,99)}{z(z-1)} = \frac{14,3 - 27z^{-1} + 12,6z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (4-18)$$

რაც უზრუნველყოფს სისტემის I-რიგის ასტატიზმს. მისი სქემის აგება საჭიროებს 3-დისკრეტულ ინტეგრატორს და 3- მაძლიერებელს.

(4-17) და (4-18)-ის მიხედვით ადვილად განესაზღვრავთ შეკრული სისტემის საერთო გადამცემ ფუნქციას დრეკად რგოლიანი ასინქრონული ამძრავისათვის:

$$W_{\text{შ}}''(z) = \frac{0,0625z^4 + 0,065z^3 - 0,25z^2 + 0,117z + 0,0338}{z^5 - 2,9575z^4 + 3,551z^3 - 2,022z^2 + 0,432z + 0,0338}. \quad (4-19)$$

(4-19)-ის შესაბამისი გარდამავალი პროცესის მრუდი ნაჩვენებია 4.7-ე ნახ-ზე. სისტემის თვისობრივი მაჩვენებლები  $t_g = 0,5$  წმ და  $\sigma = 18\%$  დამაკმაყოფილებელია და დინამიკური პროცესები ჩაითვლება ოპტიმიზებულად.

თავი V. ელექტროამპრაჟების უკუკავშირიანი  
სისტემების დინამიკური პროცესების  
გამოკვლევა კომპიუტერზე

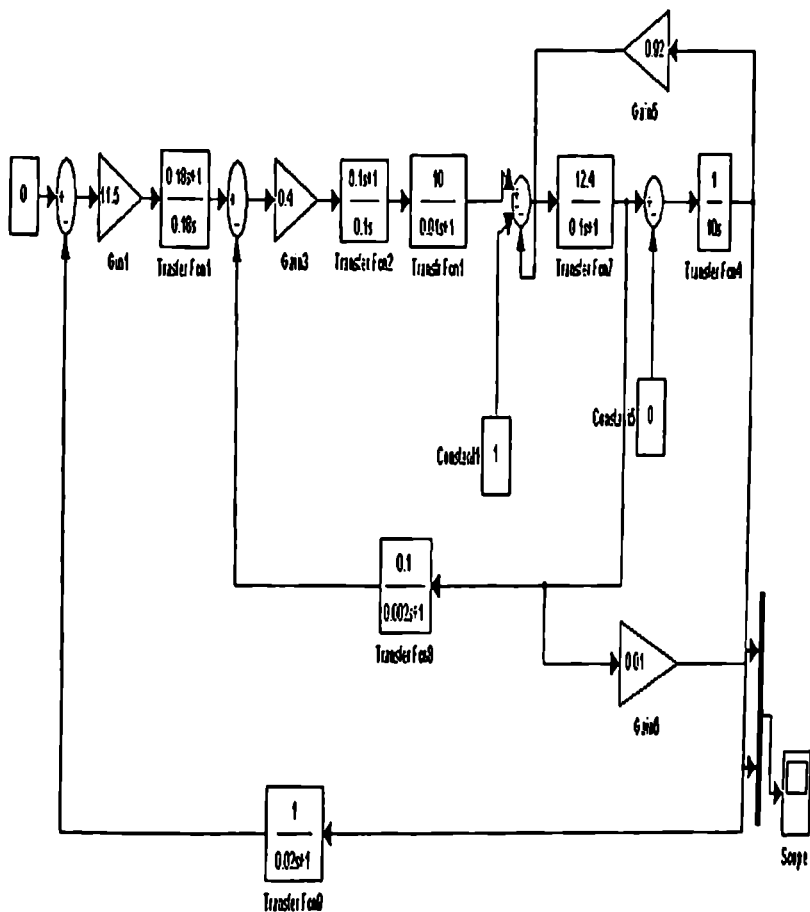
§ 5.1. მუდმივი დენის ტირისტორული  
ელექტროამპრაჟების გარდამავალი პროცესები

ნახ. 5.1,ა-ზე წარმოდგენილია დენის დაქვემდებარებულ-კონტურიანი ტირისტორული ელექტროამპრაჟის დეტალისებული სტრუქტურული სქემა, რომელიც შედგენილია კომპიუტერზე Matlab-ის პროგრამით. საკვლევი ობიექტის პარამეტრები აღებულია ელექტროამპრაჟისათვის სიმძლავრით  $P_{\text{ნომ}} = 300$  კვტ.,  $U_{\text{ნომ}} = 400$  ვ.,  $I_{\text{ნომ}} = 620$  ა.,  $n_{\text{ნომ}} = 1500$  ბრ/წთ. შესაბამისად:  $k_{\text{ლ}} = 12,4$ -ძრავას გადაცემის კოეფიციენტი;  $T_{\text{ლ}} = 0,1$ -წმ-ს;  $k_{\text{ე}} = 0,92$ -ძრავას შიგა ე.მ. ძალის უკუკავშირის გადაცემის კოეფიციენტი;  $T_{\text{გ}} = 10$ -წმ;  $k_{\text{გ}} = 10$ -ტირისტორული გარდამსახის გაძლიერების კოეფიციენტი;  $T_{\text{ტ}} = 0,01$ წმ;  $k_{\text{I}} = 0,1$ -დენის უკუკავშირის გადაცემის კოეფიციენტი;  $T_{\text{ფ2}} = 0,002$ წმ-

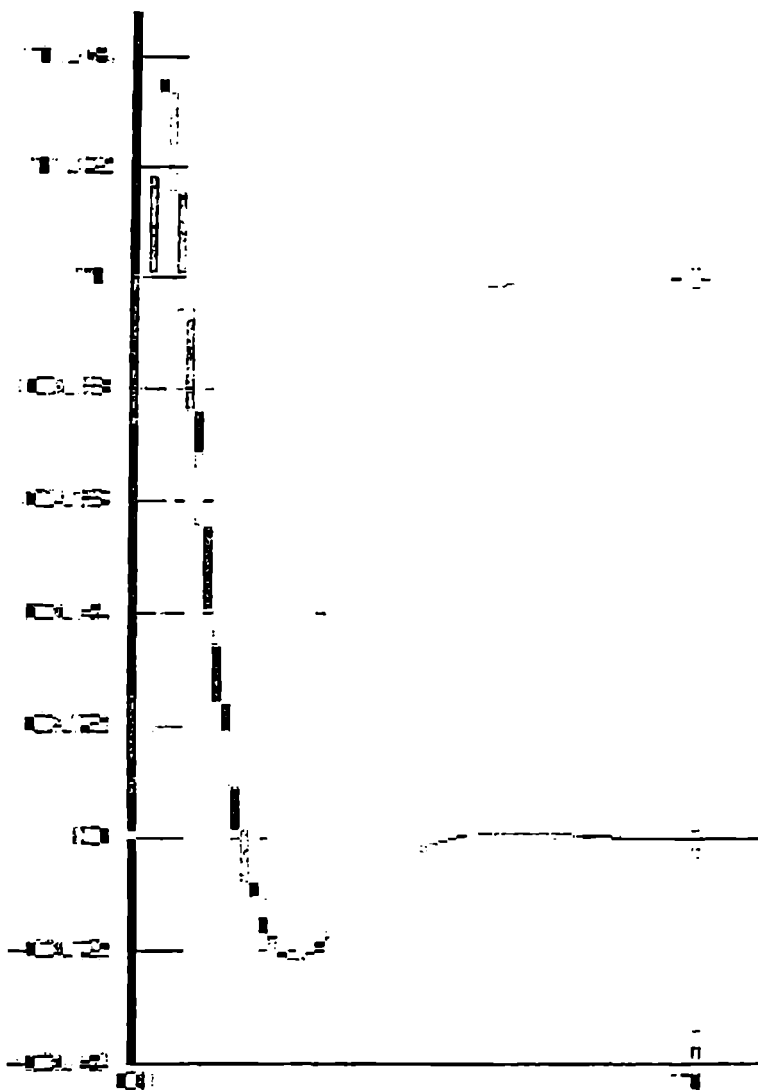
უკუკავშირში ჩართული ფილტრის დროის მუდმივაა. დენის რეგულატორის პარამეტრები შერჩეულია დენის კონტურის ობიექტის პარამეტრების საფუძველზე ე.წ. „მოდულის ოპტიუმის“ (2-61)-ის მიხედვით:  $\beta_2 = 0,4$  და  $\tau_2 = 0,1$  წმ-ს. სიჩქარის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრები კი შერჩეულია გარე კონტურის მართვის ობიექტის პარამეტრებით და ე.წ. „სიმეტრიული ოპტიუმის“ (3-16)-ის მიხედვით:  $\beta_1 = 11,5$  და  $\tau_1 = 0,18$  წმ-ს. ნახ.5.1, ბ, გ, და დ-ზე წარმოდგენილია ამძრავის სიჩქარის ( $\Delta v$ ) და ღუზის დენის ( $\Delta i$ ) გარდამავალი პროცესების მრუდები შესაბამისად: მართვის (დავალების) სიგნალის, ძრავას ღერძზე დატვირთვის და ქსელის ძაბვის ერთეულოვანი ნახტომისებრი ცვლილებისას.

სისტემის რეგულირების ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები შეადგენს: გადამეტრეგულირება  $\sigma = 40\%$ -ს; სიჩქარის დინამიკური ვარდნა ძრავას ღერძზე დატვირთვის მოდებისას  $\Delta v_{\text{დინ}} = 0,008$ , ხოლო ქსელის ძაბვის ცვლილებისას  $\Delta v_{\text{დინ}} = 0,012$ ; გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა  $t_g = 0,6$  წმ. ხარისხის მიღებული მნიშვნელობებით განხილული

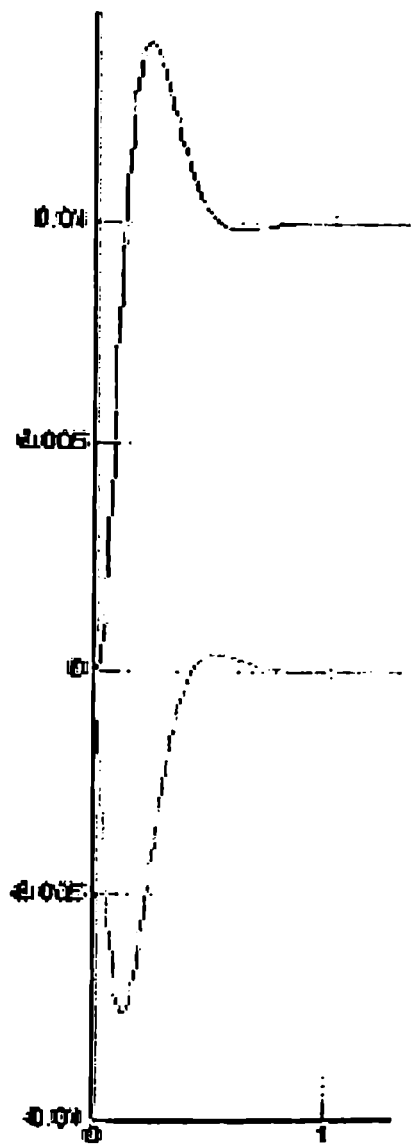
ელექტროამპრავის დინამიკური მახასიათებლები იქნება უფრო უკეთ ოპტიმიზებული, თუ სისტემას შესავალზე ჩაუერთავთ ინტენსივობის მოკარნახე მოწყობილობას.



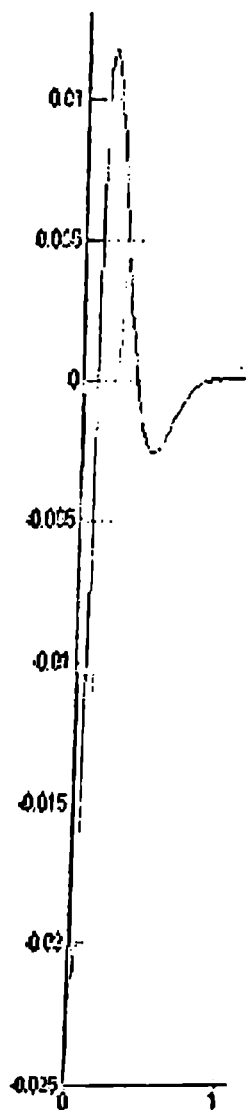
ნახ. 5.1, ა)



Бсб.5.1 б)

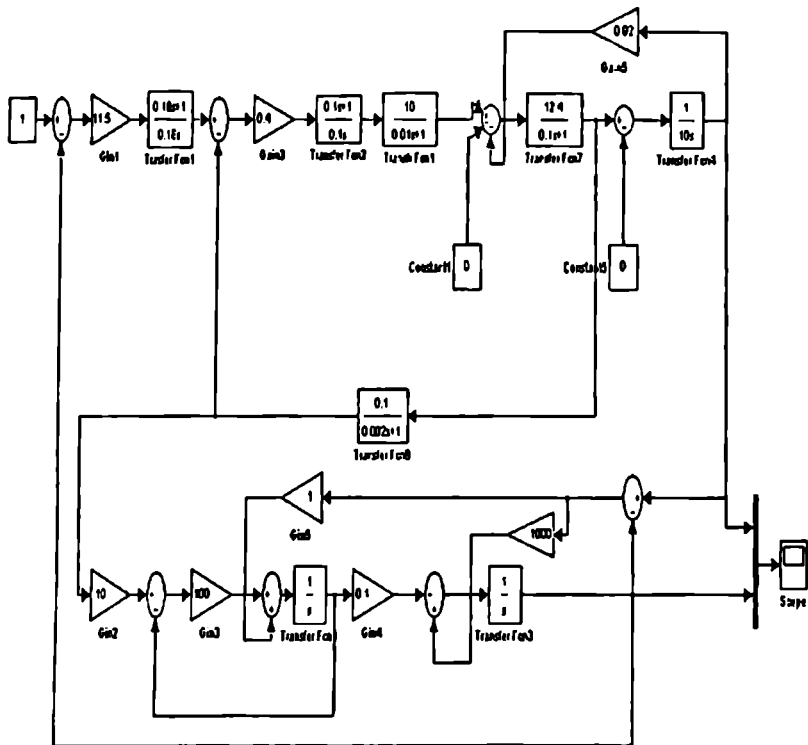


б) 5.1.66



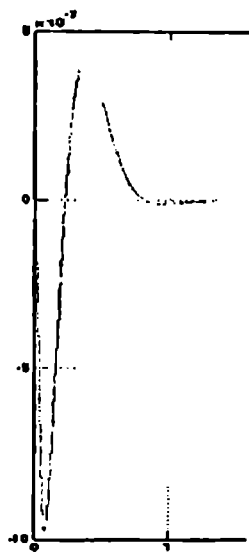
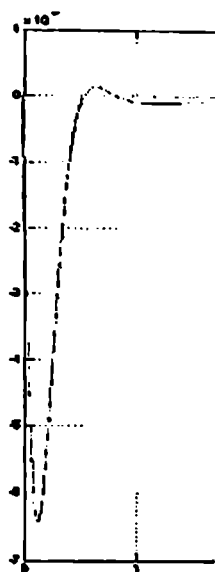
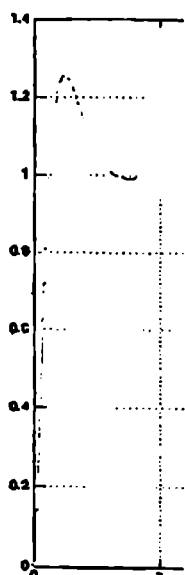
в)

ნახ.5.2,ა-ზე წარმოდგენილია ხისტლიღვიანი ტირისტორული ელექტროამპრავის მართვის სისტემა დამკვირვებელი მოწყობილობით, რომლის ეტალონური მოდელი შედგენილია დენის ოპტიმიზებული



ნახ.5.2., ა)





ნახ.5.2., ბ)

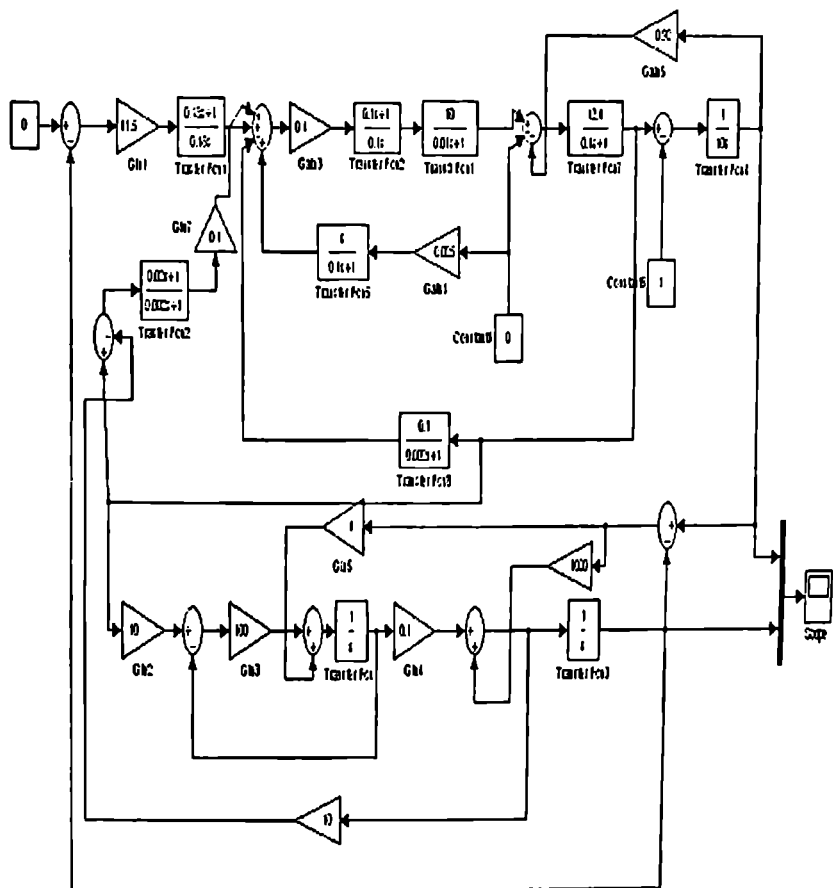
გ)

დ)

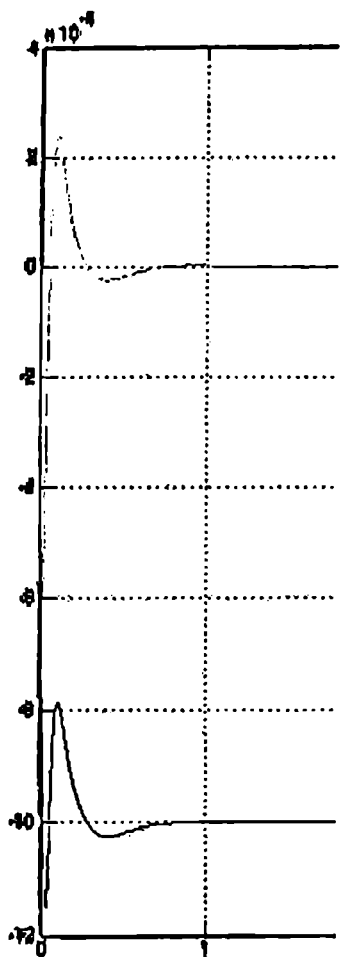
კონტურისა და ამძრავის მექანიკური ნაწილის შესაბამისი სტრუქტურული სქემით. დამკვირვებელი მოწყობილობის საკუთარი უკუკავშირების გადაცემის კოეფიციენტების ოპტიმალური მნიშვნელობებია:  $k_1 = 1000$  და  $k_2 = 1$ . ეტალონური დამკვირვებლის დანიშნულება ამ შემთხვევაში არის სისტემის მთავარი უკუკავშირის სიგნალის რეალიზება ძრავას სიჩქარის შეფასებითი სიდიდის მიხედვით. დამკვირვებელ - მოწყობილობიანი ელექტროამძრავის გარდამავალი პროცესები მოყვანილია ნახ.5.2, ბ, გ, დ-ზე. გადაღებულია ამძრავის სიჩქარის ( $\Delta v$ ) და

ეტალონური მოდელიდან მიღებული ძრავას სიჩქარის შეფასებითი ( $\Delta v$ ) სიდიდეების გარდამავალი პროცესების მრუდები: მართვის სიგნალის ცვლილებისას (ნახ.5.2.,ბ), დატვირთვის მოდებისას (ნახ.5.2,გ) და ქსელის ძაბვის რყევისას (ნახ.5.2.,დ). აღნიშნულ პროცესებზე  $\Delta v$  და  $\Delta v$  მრუდების თანხედენა ადასტურებს დამკვირვებელი მოწყობილობის ოპტიმალურ გაწყობას.

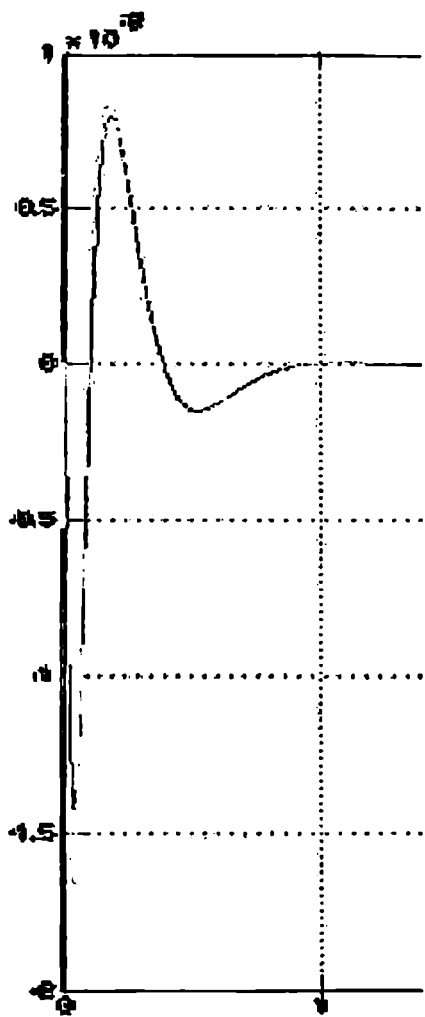
ნახ.5.3, ა-ზე წარმოდგენილია დამკვირვებლიანი სისტემის კომპიუტერული სქემა, როცა დენის რეგულატორის შესავალზე დამატებით ჩართულია ქსელის ძაბვის ცვლილების მაკომპენსირებელი (ინვარიანტობის მიზნით) დადებითი რბილი უკუკავშირი პარამეტრებით  $k_0=0,025$  და  $T_0 = 0,1$  წმ.



Баб.5.3, а)



ნახ. 5.3., ბ)



ბ)

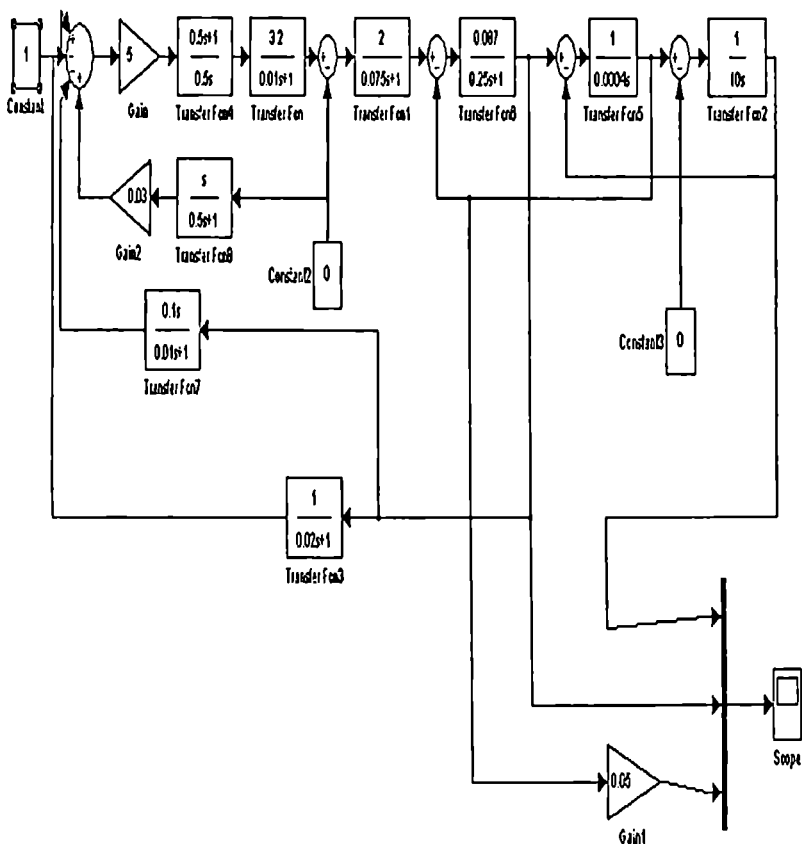
ნახ.5.3, ბ-ზე წარმოდგენილია ამძრავის სიჩქარის ( $\Delta v$ ) და ძრავის სიჩქარის შეფასებითი ( $\Delta \check{v}$ ) სიდიდეების გარდამავალი პროცესები ძრავის ღერძზე

დატვირთვის შეცვლისას. დამკვირვებელი მოწყობილობის დახმარებით დენის რეგულატორის შესავალზე ჩართულია ძრავის ღერძზე დატვირთვის ცვლილების მაკომპენსირებელი დადებითი უკუკავშირი ფორსირების ტიპის გადამცემი ფუნქციით ( $k_0 = 0,1$ ,  $T_0 = 0,002$  წმ და  $T_1 = 0,02$  წმ-ს. სიჩქარის დინამიკური ვარდნა ამ შემთხვევაში შეადგენს  $\Delta v_{\text{დინ}} = 0,0012$  ( $\Delta v'_{\text{დინ}} = 0,0006$ ), რაც 5,5-ჯერ ნაკლებია სიჩქარის ვარდნაზე ანალოგიურ რეჟიმში ამძრავის მუშაობისას ინვარიანტული უკუკავშირის გარეშე. ნახ.5.3, გ-ზე ნაჩვენებია იმავე სიდიდეების პროცესები ქსელის ძაბვის უეცარი ვარდნისას. ინვარიანტობით ძრავის სიჩქარის ვარდნა შემცირებულია 6,6-ჯერ შესაბამის სიდიდესთან შედარებით სისტემაში ინვარიანტობის გარეშე.

## §5.2. ცვლადი დენის ასინქრონული ელექტრო-ამძრავების გარდამავალი პროცესები

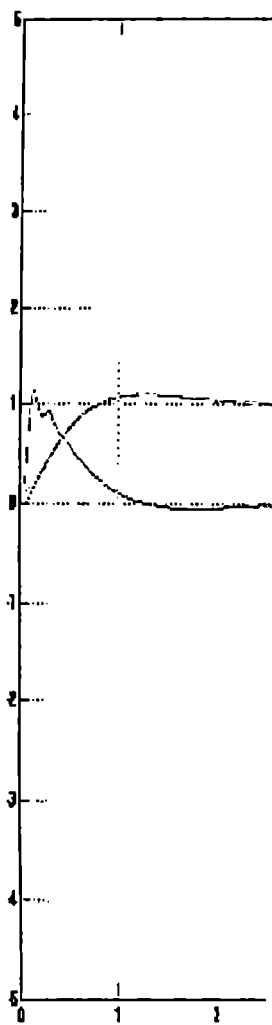
ნახ.5.4,ა-ზე წარმოდგენილია ძაბვით რეგულირებადი დრეკადი ასინქრონული ელექტროამძრავის კომპიუტერული სტრუქტურული სქემა, რომელშიც

გამოყენებულია პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები  $P_{\text{ნომ}} = 50$  კვტ,  $U_{\text{ნომ}} = 380$  ვ.,  $I_{\text{ნომ}} = 67$  ა.,  $n_{\text{ნომ}} = 1450$  ბრ/წთ–ნომინალური მონაცემების მქონე ძრავის შესაბამისად.

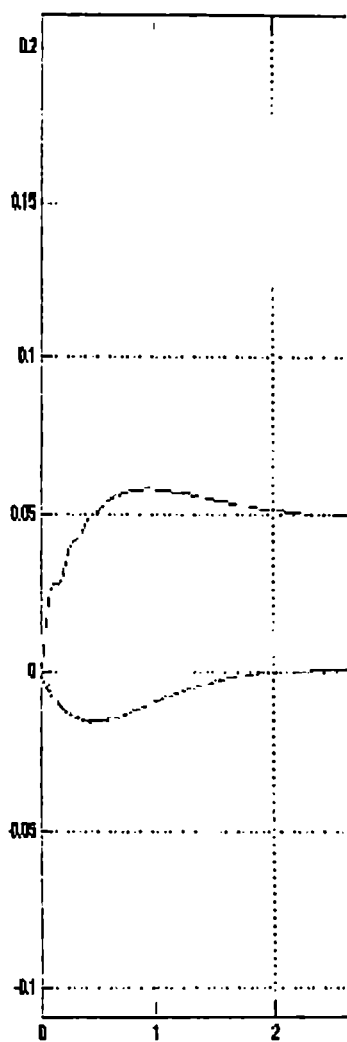


ნახ. 5.4, ა)

ნახ.5.4,ბ,გ,დ-ზე წარმოდგენილია საკვლევი ამძრავის გარდამავალი პროცესების მრუდები მართვის სიგნალის ზემოქმედებისას და ძრავას ღერძზე დატვირთვის ნახტომისებრი შეცვლისას. სისტემის ხარისხის მაჩვენებლები დამაკმაყოფილებელია, მაშინ როცა სქემაში ჩართულია მაკორექტირებელი რბილი უკუკავშირი. ნახ.5.4,დ,ე-ზე წარმოდგენილია სისტემის გარდამავალი პროცესები ქსელის ძაბვის უეცარი ვარდნისას: ა) როცა სქემაში ქსელის ძაბვის ცვლილების მაკომპენსირებელი უკუკავშირი ჩართული არა გვაქვს (ნახ.5.4,დ); ბ) როცა სისტემაში გამოყენებულია შეშფოთების მაკომპენსირებელი უკუკავშირი (ნახ.5.4,ე). ეფექტი თვალსაჩინოა, ძრავას სიჩქარის დინამიკური ვარდნა მაკომპენსირებელი რგოლის გამოყენებისას შემცირებულია 10-ჯერ და უფრო მეტად. უნდა შევნიშნოთ, რომ აქ განხილულ სისტემას ახასიათებს 2 წამიანი გარდამავალი პროცესები.

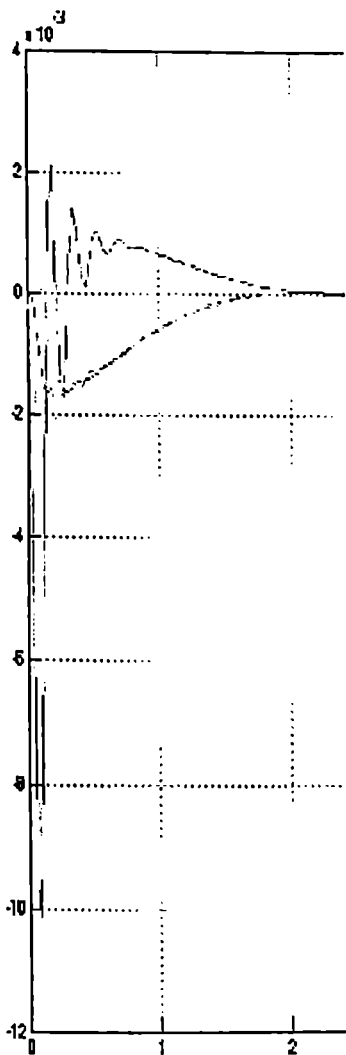


б) 5.4, б)

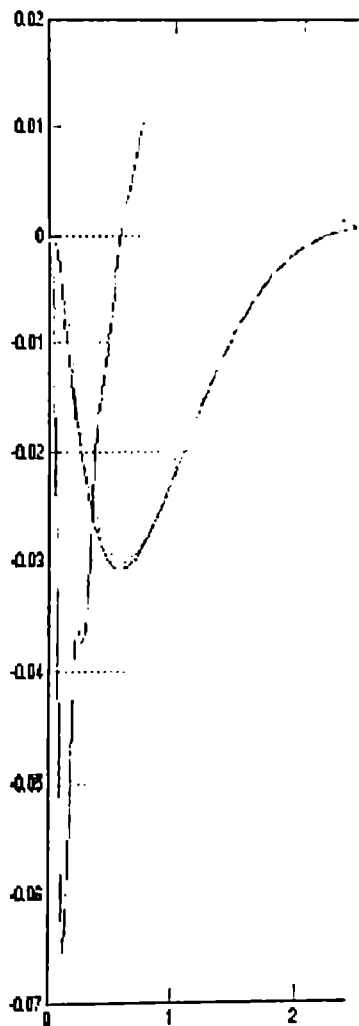


в)





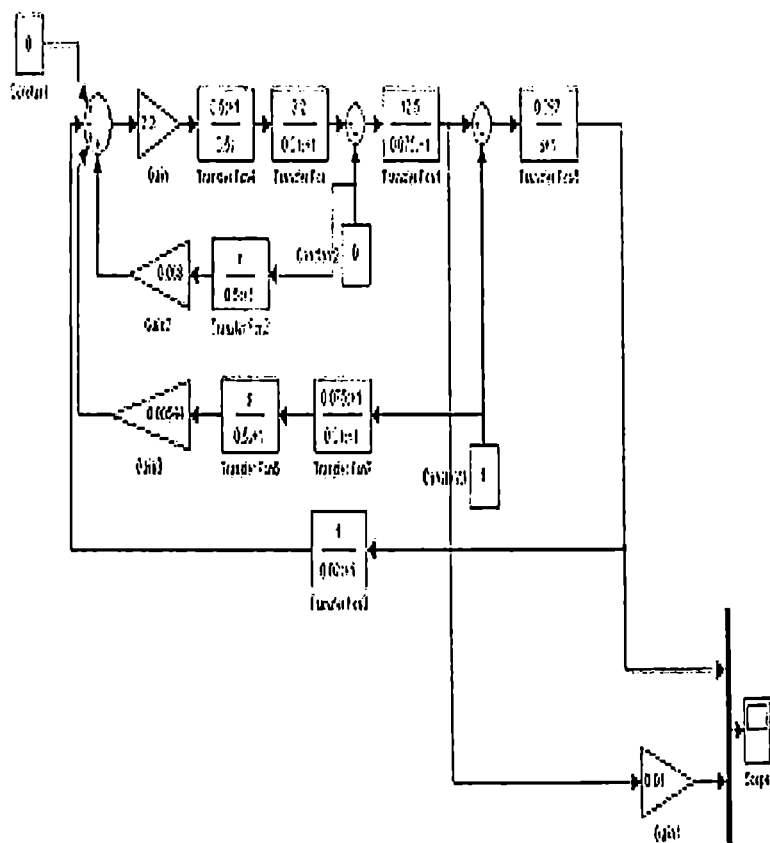
ნახ.5.4, დ)



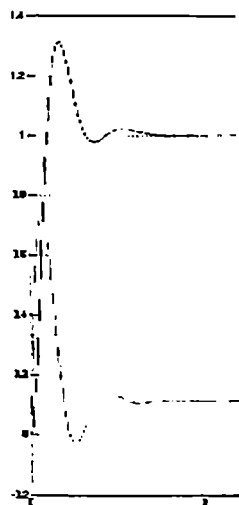
ე)

ნახ.5.5,ა-ზე წარმოდგენილია დაბოთ რეგულირებადი ხისტლილვიანი ასინქრონული ელექტროამბ-

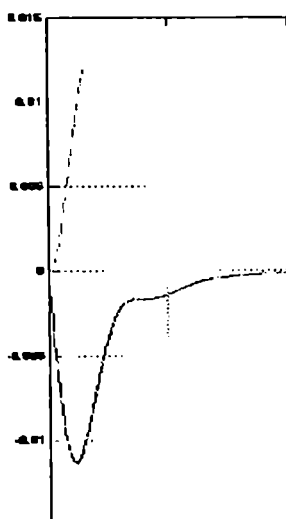
რავის კომპიუტერული სქემა, ხოლო ნახ.5.5,ბ,გ,დ-ზე ნაჩვენებია მისი გარდამავალი პროცესები ინვარიან-



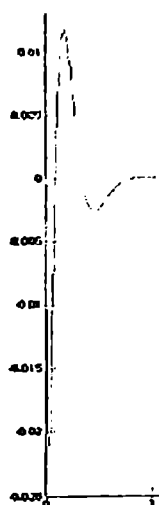
ნახ. 5.5., ა)



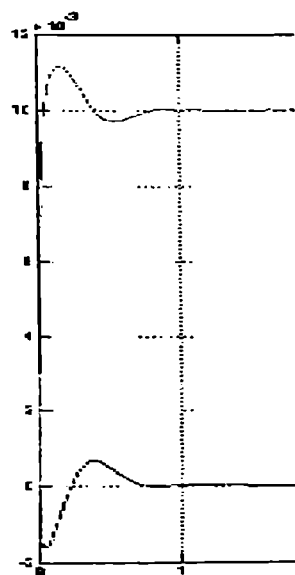
б)



г)

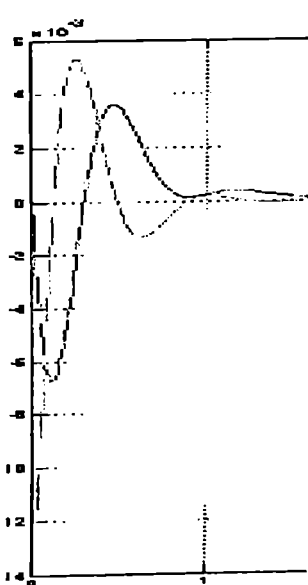


д)



бсб.5.5,

а)



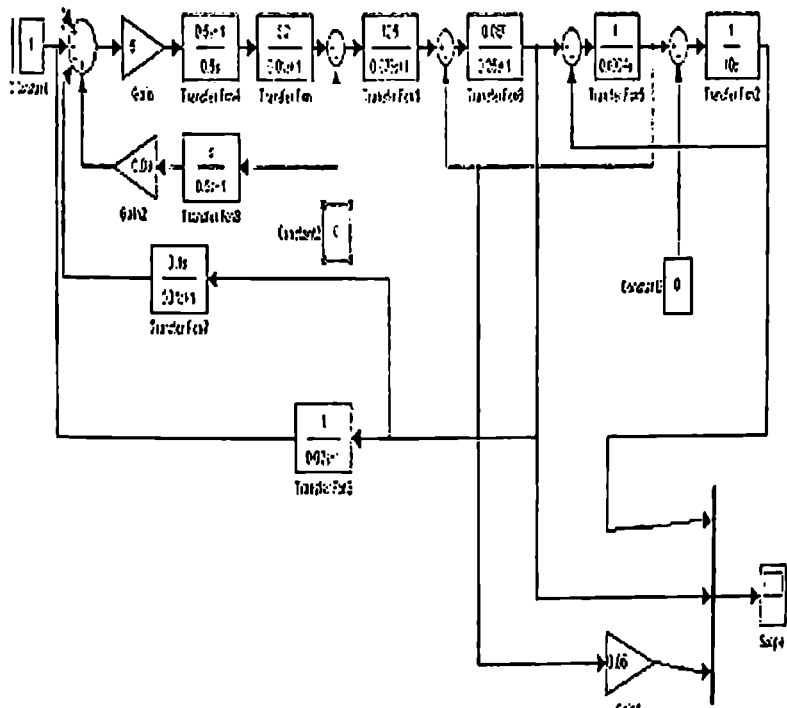
б)

ტობათა უკუკავშირების გარეშე. აღნიშნული უკუკავშირების ჩართვის ეფექტიანობა დასტურდება ნახ. 5.5, ე, ვ-ზე მოყვანილი გარდამავალი პროცესების მრუდებით როგორც დატვირთვის, ისე ქსელის ძაბვის ცვლილების შემთხვევაში.

ნახ.5.6-ზე წარმოდგენილია სიხშირით რეგულირებადი დრეკადლილვიანი ასინქრონული ელექტროამპრავის კომპიუტერული სტრუქტურული სქემა, რომელშიც დრეკადი რხევების ჩასაქრობად აგრეთვე გამოყენებულია ძრავის სიჩქარის მიხედვით რბილი უკუკავშირი. სქემაზე ძრავის ელექტრული ნაწილის პარამეტრებია:  $k_p = 12,5$  და  $T_p = 0,075$  წმ. ხოლო ძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივა  $T_{em} = 0,25$  წმ და  $\delta_g = 0,087$ , დრეკადი ლილვის სიხისტის გამომსახველი დროის მუდმივა  $T_c = 0,0004$  წმ და მექანიზმის მექანიკური დროის მუდმივა  $T_2 = 10$  წმ. სიჩქარის რეგულატორი კ-ტიპისაა.

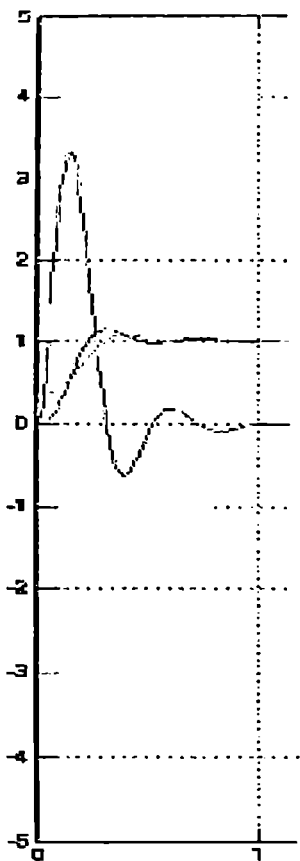
ნახ.5.6, ბ, გ, დ-ზე წარმოდგენილია სიხშირული ამპრავის გარდამავალი პროცესების მრუდები (ძრავას და მექანიზმის სიჩქარეების და დრეკადი მომენტის) მართვის სიგნალის, ძრავის ღერძზე დატვირთვის და ქსელის ძაბვის ნახტომისებრი ცვლილებისას. მათ

საფუძველზე შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ სისტემა ოპტიმიზებულია: სწრაფქმედება არ აღემატება 1,5 წმ-ს, რხევათა რიცხვი მინიმალურია, გადამეტრე-გულირება 10%, სიჩქარის დინამიკური ვარდნა შე-ადგენს 0,008-ს.

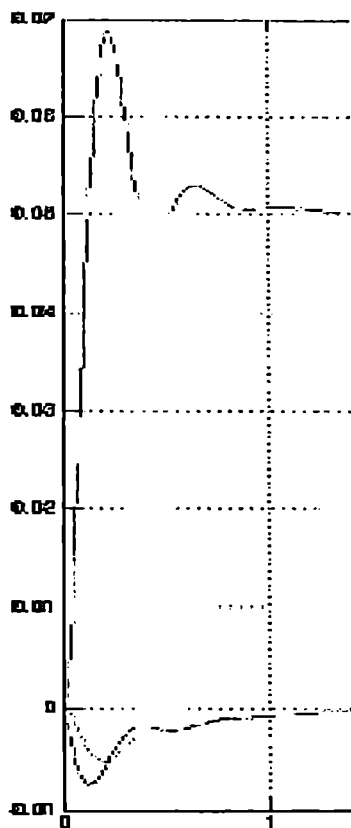


ნახ.5.6, ა)

ნახ.5.6,ე-ზე ნაჩვენებია სიხშირული ასინქრონული ელექტროამძრავის გარდამავალი პროცესების მრუ-დები ქსელის ძაბვის ნახტომისებრი ვარდნისას, რო-

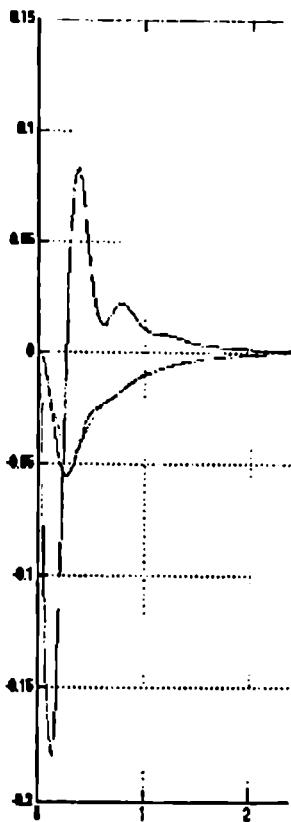


ნახ.5.6, ბ)

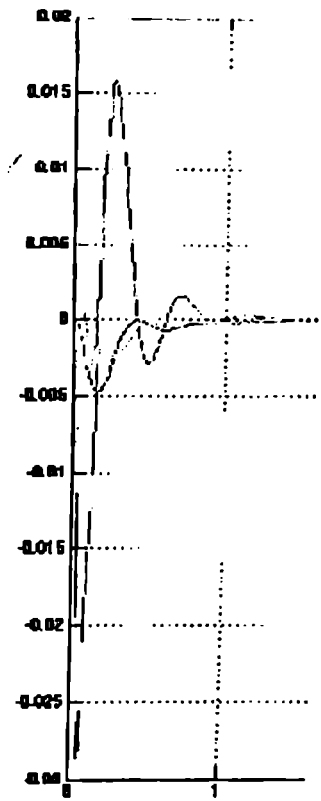


გ)

ცა სისტემაში დამატებულია ამ ცვლილების მაკომპენსირებელი უკუკავშირი. სიჩქარის დინამიკური ვარდნა მაკომპენსირებელი უკუკავშირის დამატებით თითქმის 10-ჯერ არის შემცირებული ადრინდელთან



ნახ.5.6, დ)



ე)

შედარებით. რაც შეეხება გარდამავალი პროცესების ხანგრძლივობას იგი თითქმის ისეთივეა, როგორც აქვს მუდმივი დენის ტირისტორულ ელექტროამპრავეებს და შეადგენს დაახლოებით 1 წამს.

დ.1. ელექტროამპრაჰების მუშაობის  
ა) წინააღობის და ინერციის მომენტების დაყვანა  
ძრავას ღერძზე

მუშა მანქანის ამპრაჰის მექანიკური სისტემა შედგება ელექტრული ძრავა-საგან, მოძრაობის გადამცემი მოწყობილობისაგან და მექანიზმის მოძრავი ნაწილისაგან. ძრავას ბრუნვითი მოძრაობიდან შესაძლებელია, მოძრაობის შედარებით მარტივი გადამცემი მოწყობილობების მაგ., კბილანა რედუქტორების ან ლეულური გადამცემების გამოყენებით, მივიღოთ სხვა სიდიდის ბრუნვითი მოძრაობა ან დოლზე დახვეული ბაგირით გადატანითი (წრფივი) მოძრაობა. უფრო რთული ტიპის მექანიკური გადამცემებიც არსებობს მაგ., ჭია-ხრახნული, მრუდ-მხარა-ბარბაცა და სხვ.

მოძრაობის გადამცემ მექანიკურ მოწყობილობებს ახასიათებთ შემდეგი სიდიდეები: გადამცემის რიცხვი (რედუქტორებსა და ლეულურში) -  $i$ ; ინერციის მომენტი -  $J$  ან მასა -  $m$ ; შემავრთებელი ლილეების სიხისტის კოეფიციენტები -  $C_f$ ; მქ. ხახუნზე დანაკარგების გამო; ლუფტები (საპაერო ღრუტოები) კინემატიკურ წყილეებში მაგ, რედუქტორის კბილანებში, ლილეების შემავრთებელ ქურობებში და სხვ.

როგორც მუშა მანქანებს, ისე მათ ამპრაჰებს (ძრავას -მექანიკურ გადამცემ მოწყობილობას -მექანიზმის მუშა ლილეს) საერთოდ მუშაობა უხდებათ ორ ძირითად რეჟიმში სტატიკაში (დამყარებულ რეჟიმში) და დინამიკაში (გარდამავალ რეჟიმში). სტატიკაში ამპრაჰს უწევს მექანიზმის წინააღობის სტატიკური მომენტის დაძლევა, ხოლო დინამიკაში ამპრაჰმა უნდა დასძლიოს როგორც სტატიკური წინააღობის ძალები, ასევე დინამიკური ანუ ინერციის ძალები.

მექანიზმის წინააღობის ე.წ. სტატიკური მომენტის ღერძზე დასაყვანად უნდა ვისარგებლოთ სიმძლავრეთა ბალანსის შემდეგი ფორმულით:

$$P_{სტ} = P_{მქ} / \eta, \quad (დ-1)$$

სადაც  $P_{სტ}$  - არის ძრავას ღერძზე წინააღობის სიმძლავრე;  $P_{მქ}$  -მექანიზმის სიმძლავრე, რომელსაც იგი აწვითარებს მუშა ოპერაციის შესრულებისას;  $\eta$  - მოძრაობის გადამცემი მოწყობილობის მქ.

ბრუნვითი მექანიზმებისათვის ცნობილია, რომ სიმძლავრე

$$P = M \cdot \omega, \quad (დ-2)$$

სადაც  $M$ -ბრუნვის მომენტი;  $\omega$  -ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.

(დ-2)-ის თანამახზად მექანიზმის სიმძლავრე  $P_{მქ} = M_{მქ} \cdot \omega_{მქ}$  და მისი მნიშვნელობა ძრავას ღერძზე  $P_{სტ} = M_{სტ} \cdot \omega_{სტ}$ . ამიტომ (დ-1)-ე შემდეგნაირად ჩაიწერება

$$M_{სტ} \omega_{სტ} = M_{მქ} \cdot \omega_{მქ} / \eta \quad (დ-3)$$

(დ-3)-დან ადვილად განისაზღვრება ძრავას ღერძზე დაყვანილი წინააღობის სტატიკური მომენტი

$$M_{სტ} = M_{მქ} / i \cdot \eta, \quad (დ-4)$$



სადაც  $i$  - რელექტორის გადაცემის რიცხვია  $\left( i = \frac{\omega_d}{\omega_{\text{ჰქ}}} \right)$ .

ორსაფეხურიანი რელექტორის შემთხვევაში

$$M_{\text{სტ}} = M_{\text{ჰქ}} / i_1 \cdot i_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2. \quad (\text{დ-5})$$

თუ, მექანიზმი ასრულებს გადატანით (წრფივ) მოძრაობას, მაშინ

$$M_{\text{სტ}} = F_{\text{ჰქ}} \cdot V_{\text{ჰქ}} / \omega_f \cdot \eta, \quad (\text{დ-6})$$

სადაც  $F_{\text{ჰქ}}$  - მექანიზმის ძალაა, რომელიც საჭიროა მუშა ოპერაციის შესასრულებლად;  $V_{\text{ჰქ}}$  - მექანიზმის წრფივი სიჩქარეა.

მანქანისა და ამძრავის მოძრავი ნაწილების ინერციული მასებისა და ინერციის მომენტების ძრავას ღერძზე დაყენა წარმოებს კინეტიკურ ენერჯიათა ბალანსით:

$$J_{\text{ეკვ}} \cdot \frac{\omega_d^2}{2} = J_d \frac{\omega_d^2}{2} + \sum_{q=1}^n J_q \frac{\omega_q^2}{2} + \sum_{l=1}^v m_l \frac{v_l^2}{2}, \quad (\text{დ-7})$$

სადაც  $J_{\text{ეკვ}}$  - არის ამძრავის მთელი მექანიკური სისტემის ექვივალენტური (ჯამური) დაყენილი ინერციის მომენტი;  $J_d$  - ძრავს მოძრავი ნაწილის (ღუზის ან როტორის) ინერციის მომენტი, კგმ<sup>2</sup>;  $J_q$  - სისტემის  $q$ -ური რგოლის ინერციის

მომენტი,  $\omega_q$  - ცალკეული  $q$ -ური რგოლის კუთხური სიჩქარე;  $m_l$  - წრფივად მოძრავი  $l$  - ური რგოლის მასა,  $v_l$  - შესაბამისი რგოლის წრფივი სიჩქარე.

(დ-7)-დან აღვიღად ვიპოვით ამძრავის ღერძზე დაყენილ ჯამურ ინერციის მომენტს:

$$J_{\text{ეკვ}} = J_d + \sum J_q / i^2 q + \sum_{l=1}^v m_l \frac{v_l^2}{\omega_d^2}. \quad (\text{დ-8})$$

ელექტროძრავების კატალოგებში სოფჯერ  $J$  ინერციის მომენტის ნაცვლად მოცემულია  $GD^2$  მქნევარა მომენტის მნიშვნელობა. მათ შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება

$$J = GD^2 / 4 \quad [\text{კგ} \cdot \text{მ}^2] \quad (\text{დ-9})$$

მქნევარა მომენტის განსომილებაა კგ.მ<sup>2</sup> (ანუ კგ.მ<sup>2</sup>).

სვეულბერივ ამძრავის მბრუნაე დეტალებს აქეს ცილინდრული ფორმა გამოშვერილების დიდი რაოდენობით. ჯამური ინერციის მომენტის ( $J$ ) საანგარიშოდ ასეთ დეტალს პირობითად დაყოფენ მუდმივი დიამეტრის მქონე ნაწილებად. დეტალის ცალკეული ნაწილის  $J$ -ს განსაზღვრავენ შემდეგი ფორმულით:

$$J = \frac{\Pi \gamma \cdot l \cdot d^4}{32g}, \quad [\text{კგ} \cdot \text{სმ} \cdot \text{წმ}^2] \quad (\text{დ-10})$$

სადაც  $\gamma$  - დეტალის მასალის კუთრი წონაა, კგ/სმ<sup>3</sup> (ფოლადისათვის

$$\gamma = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ კგ/სმ}^3; \text{ თუჯისათვის } \gamma = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ კგ/სმ}^3);$$

$l$  და  $d$  - მბრუნავი სხეულის სიგრძე და დიამეტრია, სმ;  $g$  - სიმძიმის ძალით გამოწვეული აჩქარებაა, სმ/წმ<sup>2</sup>.

ინერციის მომენტის ზემოთ მოყვანილი განსოშილებიდან უფრო ხშირად გამოყენებულ განსოშილებაზე გადასასვლელად უნდა გავითვალისწინოთ, რომ 1 კგ (ეს იგულისხმება ზედა განსოშილებაში) არის ის ძალა, რომელიც 1 კგ მასის მქონე სხეულს მიანიჭებს 9,8 მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებას.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების გარდა სოგჯერ გამოთვლებში გამოიყენება შემდეგი ფორმულებიც:

$$J = m\rho^2, \quad (\text{დ-11})$$

სადაც  $\rho$  - არის დაყვანილი ინერციის რადიუსი.

ცილინდრული სხეულებისათვის ცნობილია, რომ

$$\rho^2 = R^2/2 \quad (\text{დ-12})$$

ხოლო დრუ ცილინდრული სხეულებისათვის

$$\rho^2 = \frac{R^2 + r^2}{2}. \quad (\text{დ-13})$$

შესაბამისად ინერციის მომენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$J = \frac{\Pi l \cdot R^4 \cdot \gamma}{2g} \quad (\text{დ-14})$$

$$J = \frac{\Pi l (R^4 - r^4) \gamma}{2g}. \quad (\text{დ-15})$$

ისე როგორც ინერციული მასები, ასევე შემართებული ლილვების სიხისტის კოეფიციენტებიც საჭიროა დაყვანილ იქნას ძრავას ღერძზე. დაყვანა ხორციელდება პოტენციალურ ენერჯიათა ბალანსის საფუძველზე.

ცილინდრული ლილვის სიხისტის კოეფიციენტი იანგარიშე-ბა ფორმულით

$$c = \frac{\pi \sigma D^4}{32l}, \quad (\text{დ-16})$$

სადაც  $\sigma$  დრეკადობის მოდულია, რომელიც დამოკიდებულია ლილვის მასალაზე;  $D$  - ლილვის დიამეტრი;  $l$  - სიგრძეა.

დრუ - ცილინდრული ლილვისათვის სიხისტის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$c = \frac{\pi \sigma D^4}{32l} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]. \quad (\text{დ-17})$$

სადაც  $d$  - ლილეის შიგა დიამეტრია;  $D$  - გარე დიამეტრი.

ზოგჯერ მანქანას აქვს ლილეები მიმდევრობით, პარალელურად ან მათი კომბინაციით შეერთებული. ამ შემთხვევაში სიხისტის კოეფიციენტებს განსახლურავენ შემდეგი ფორმულებით:

მიმდევრობითი შეერთებისას

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (დ-18)$$

პარალელური შეერთებისას

$$C = C_1 + C_2 \quad (დ-19)$$

სიხისტის კოეფიციენტის დაყვანა ძრავს ღერძზე წარმოებს ფორმულით

$$C_{დაყ} = C_{12} / i^2, \quad (დ-20)$$

სადაც  $i$  - რედუქტორის გადაცემის რიცხვია.

დრეკადრგოლებიანი სწრაფქმედი მექანიკური სისტემის ბრუნვითი ნაწილები დინამიკაში განიცდიან ძლიერ გრეხით რხევებს. ისინი მიღვევადი ხასითისაა, ენაიდან სისტემაში ადგილი აქვს ენერგიათა ფანტვას. ფანტვა წარმოებს მექანიკური ლილეების შინაგანი ბლანტი ხახუნის ძალებით (თუშკა ისინი შეღარებით მცირვა) და აგრეთვე ელექტრული ძრავას მადემოფერირებელი მოქმედებით.

გრეხითი რხევების ჩაქრობის კოეფიციენტის განსახლურა თეორიულად შეუძლებელია, ამიტომ სარგებლობენ შემდეგი ემპირიული ფორმულით

$$b = \frac{\psi}{\pi} \sqrt{C_{12} \cdot \frac{J_1 \cdot J_2}{J_1 + J_2}}, \quad (დ-21)$$

სადაც  $\psi = 0,1 \div 0,5$  კოეფიციენტს ადგენენ ექსპერიმენტით.

მას შემდეგ რაც გვეცოდინება ამძრავის მექანიკური სისტემის საანგარიშო სქემის ძირითადი პარამეტრები ინერციის მასები, სიხისტის კოეფიციენტები და ა.შ. შევადგენთ მექანიკური სისტემის შენაცვლების სქემას.

### ბ) ამძრავის მოძრაობის განტოლებების შედგენა

ამძრავის მოძრაობის განტოლების შედგენის ორი მეთოდია გაერცელებული - დალამბერის და ლაგრანჟეს.

დალამბერის მეთოდი (პრინციპი) დაფუძნებულია შემდეგ ძირითად პირობაზე, კერძოდ დროის ნებისმიერ მომენტში სისტემის მოძრაობისას მასების ინერციის ძალების, გარედან შემოქმედი ძალების და კინემატიკურ წყვილებში წარმოქმნილი რეაქციის ძალების ჯამი უნდა იყოს ნულის ტოლი. სხვაგვარად, რომ ეთქვას მთელი სისტემა უნდა იყოს დინამიკურ წონასწორობაში.

თუ, ამძრავი ხისტლილეიანია (არ აქვს გრძელი შემაერთებელი ლილეი) მოძრაობის განტოლება შემდეგნაირად გამოისახება:

$$M - M_{სტ} = M_{ღონ}, \quad (დ-22)$$

სადაც  $M$  - არის ძრავას მიერ განუითარებული ბრუნვის მომენტი;  $M_{სტ}$  - წინალობის (სტატიკური) დაყვანილი მომენტია მექანიზმის მხრიდან;  $M_{ღონ}$  -

ამპრაეის დინამიკური მომენტი, რომელიც ახასიათებს სისტემის კინეტიკური ენერჯიის ცვლილებას.

$M_{\text{ლინ}}$ -ის განსაზღვრის მიხედვით (დ-22)-ის ანალოგიურად დაეწეროს სიმძლავრეთა ბალანსის ფორმულა.

$$P - P_{\text{სტ}} = P_{\text{ლინ}}, \quad (\text{დ-23})$$

თეორიული მექანიკის კურსიდან ვიცით, რომ

$$P_{\text{ლინ}} = \frac{dJ \frac{\omega^2}{2}}{dt} = J \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt}. \quad (\text{დ-24})$$

(დ-24)ის გაყოფით  $\omega$  -ზე მივიღებთ დალაშქრის პრინციპით ჩაწერილ ამპრაეის მოძრაობის განტოლებას

$$M - M_{\text{სტ}} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}. \quad (\text{დ-25})$$

თუ, ამპრაეის ინერჯიის მომენტი  $J = \text{const}$ , მაშინ (დ-25)-ე ფორმულა გამარტივდება და გვექნება

$$M - M_{\text{სტ}} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (\text{დ-26})$$

(დ-26)-ის თანახმად, თუ  $M > M_{\text{სტ}}$ , ე.ი.  $M_{\text{ლინ}} > 0$ , მაშინ ადგილი ექნება ამპრაეის აჩქარებას. თუ  $M_{\text{ლინ}} < 0$ , მაშინ ადგილი ექნება ამპრაეის შენელებას.

თუ  $M = M_{\text{სტ}}$  (ე.ი.  $M_{\text{ლინ}} = 0$ ), მაშინ ამპრაეი მუშაობს  $\omega = \text{const}$  მუდმივი სიჩქარით (ანდა ამპრაეი განუერებულა), ასეთ რეჟიმს უწოდებენ დამყარებულს.

დრეკადრგოლიანი ერთძრაეიანი ამპრაეის მოძრაობის განტოლებები შემდეგნაირად წარმოდგინდება:

$$\begin{cases} M - M_{\text{ლრ}} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_{\text{ლრ}} - M_{\text{სტ}} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{\text{ლრ}} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + b(\omega_1 - \omega_2). \end{cases} \quad (\text{დ-27})$$

სადაც  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  შესაბამისად ინერჯიული მასების მობრუნების კუთხეებია

$$\left( \omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}; \omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} \right).$$

საერთო მექანიზმზე მომუშავე ორძრაეიანი დრეკადრგოლებიანი ამპრაეისათვის დალაშქრის პრინციპით შედგენილ მოძრაობის განტოლებებს აქვს შემდეგი სახე:

$$\left\{ \begin{aligned} M_1 - M_{\text{ღრი}} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_2 - M_{\text{ღრ2}} &= J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{\text{ღრი}} + M_{\text{ღრ2}} - M_{\text{სტ}} &= J_3 \frac{d\omega_3}{dt}; \\ M_{\text{ღრი}} &= C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + b_1(\omega_1 - \omega_2); \\ M_{\text{ღრ2}} &= C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) + b_2(\omega_2 - \omega_3). \end{aligned} \right. \quad (\text{დ-28})$$

(დ-27)- და (დ-28)- განტოლებები სამართლიანია პუკის კანონის მოქმედების ფარგლებში, ე.ი. შედარებით მცირე დეფორმაციის ფარგლებში (დიდი დეფორმაციის პირობებში მოსალოდნელია ლილვის პლასტიკური - ნარჩენი დეფორმაცია, ამ დროს პუკის კანონი პროცესის გასაანალიზებლად საკმარისი არ არის).

ლაგრანჟეს მეთოდი. ეს მეთოდი ითვლება ენერგეტიკულ მეთოდად და ეფუძნება მექანიკური სისტემის განსოგადებულ კოორდინატების და ძალების ცნებებს. ამ მეთოდით სარგებლობისას კოორდინატების რიცხვი ტოლია სისტემის თავისუფლების ხარისხის. განსოგადებულ პარამეტრებად შეიძლება მივიღოთ მობრუნების კუთხეები, მათი სხვაობები და ა.შ.

ამპრავის მოძრაობის განტოლების შედგენა ლაგრანჟეს მეთოდით წარმოებს ლაგრანჟეს II გვარის განტოლების საფუძველზე

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \sum_{i=1}^N \frac{\partial T}{\partial q_i} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (\text{დ-29})$$

სადაც  $T$  და  $\Pi$  სისტემის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიებია;  $\Phi$  ფანტეის ფუნქციაა,  $Q_i$  - განსოგადებული ძალაა, რომელიც იწვევს  $i$ -ური განსოგადებული კოორდინატის ( $q_i$ ) ცვლილებას. უნდა აღინიშნოს, რომ  $T$  და  $\Phi$  ფუნქციები განსოგადებული სიჩქარეების კვადრატული ფუნქციებია, ხოლო  $\Pi$ -განსოგადებული კოორდინატების კვადრატული ფუნქციებია;  $N$  - თავისუფლების ხარისხის რიცხვია.

მაგალითისათვის, კინეტიკური ენერგია შეიძლება ასე გამოისახოს

$$T = (J_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + J_3 \dot{\varphi}_3^2) / 2, \quad (\text{დ-30})$$

პოტენციალური ენერგია კი ასე:

$$\Pi = [C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)^2] / 2 \quad (\text{დ-31})$$

ენერგიის ფანტეის ფუნქცია:

$$\Phi = [b_1(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2 + b_2(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3)^2] / 2 \quad (\text{დ-32})$$

ამპრავის შემთხვევაში, (დ-29)-ში:  $Q_1 = M$ ;  $Q = M_{\text{სტ}}$

ამის შემდეგ ეიპოვიტ კერძო წარმოებულებს და ჩაეწერთ მოძრაობის განტოლებებს. მოძრაობის განტოლებები გამოიყენება ამძრავთა სისტემების გარდასაყალი რევიმების (დინამიკური პროცესების) შესწავლისას.

გ) საწარმოო შექანიზმების შექანიკური მახასიათებლების სახეები

ამბრავის რაციონალური მუშაობისათვის აუცილებელია შექანიზმის  $\omega = f(M)$  შექანიკური მახასიათებლის გათვალისწინება. სხედასხეა შექანიზმს გაანჩია სხედასხეა შექანიკური მახასიათებელი. მათი კლასიფიცირებისათვის სარგებლობენ შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$M_{სტ} = M_{სტ0} - (M_{სტნო} - M_{სტ0}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{ნო}} \right)^x, \quad (დ-33)$$

სადაც  $M_{სტ0}$  - არის შექანიზმის წინაღობის მომენტი უქმი სეილისას;  $M_{სტნო}$  - ნომინალური დატვირთვის მომენტი;  $x$  - კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს დამოკიდებულებას  $M_{სტ}$ -სა და  $\omega$  -ს შორის.

შექანიზმების კლასიფიკაციას აწარმოებენ  $x$ -ის მიხედვით, კერძოდ შემდეგნაირად:

1) თუ  $x=0$ , მაშინ  $M_{სტ} = M_{სტნო} = \text{const.}$  ასეთი დატვირთვის მქონე შექანიზმებს უწოდებენ მუდმივ სტატიკურ მომენტისანს. მაგ., ამწეები, კონვეიერები, წარხსე მიწოდების შექანიზმები, ქალაღის მანქანები და საგლინი დგანები და სხე.

2) თუ  $x=1$ , მაშინ  $M_{სტ}$ -სა და  $\omega$  -ს შორის არის წრფივი (პირდაპირპროპორციული) დამოკიდებულება. ასეთი მახასიათებელი აქვს ამბრავს, რომელიც ამუშავებს გენერატორს (ლაბორატორიაში).

3) თუ  $x=-1$ , მაშინ  $M_{სტ}$ -სა და  $\omega$  -ს შორის არის პიპერბოლური (უკუპროპორციული) დამოკიდებულება. ასეთი მახასიათებლის მქონე შექანიზმები მუშაობენ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით,  $P_{სტ} = \text{const.}$  იგი გაანჩიათ ლითონმტვრელ წარხეზე შინდელის შექანიზმებს, აგრეთვე ქალაღის ან ძაფის დამხევე შექანიზმებს და სხე.

4) თუ  $x=2$ , მაშინ  $M_{სტ} = f(\omega^2)$ . ასეთი მახასიათებელი გაანჩიათ ენტილიატორებს, ტუმბოებს და კომპრესორებს. შექანიზმებს ამ ტიპის მახასიათებლით უწოდებენ ენტილიატორულს.

შენიშნა: როცა  $P_{სტ} = \text{const}$  აქ განიხილება ორი შემთხვევა: 1) შექანიზმები აქტიური წინაღობის მომენტით (გამოწვეულია სიმძიმის ძალით). მომენტის ( $M_{სტ}$ ) ნიშანი დამოკიდებული არ არის მოძრაობის მიმართულებაზე. 2) შექანიზმები რეაქტიული წინაღობის მომენტით (გამოწვეულია ხახუნის ძალით).  $M_{სტ}$ -ის ნიშანი იცვლება მოძრაობის მიმართულების შეცვლასთან ერთად. როცა მოძრაობა შენერებულია  $M_{სტ0}$ .

დ2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) აგზნებანი ძრავას შექანიკური მახასიათებლები

განსახილველი ძრავას  $\omega = f(M)$  შექანიკური მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად თაუდაპირველად საჭიროა ჩაეწეროთ ძაბვების წონასწორობის განტოლება ძრავის ღუსის წრედისათვის

$$U = E + (R_{\text{ლ}} + R_{\text{დამ}})I_{\text{ლ}} \quad (\text{დ-34})$$

სადაც  $I_{\text{ლ}}$  -ძრავას ღუსის ღენია;  $R_{\text{ლ}}$  და  $R_{\text{დამ}}$  ღუსის გრაგნილის და მის წრედში ჩართული დამატებითი აქტიური წინაღობებია;  $E$  - არის ღუსაში დაინდუქციურებული ემპ, იგი თავის მხრივ ტოლია

$$E = K_{\text{კ}} \cdot \Phi \cdot \omega. \quad (\text{დ-35})$$

თუ, ძრავას მაგნიტური ნაკადი  $\Phi = \text{const}$ , მაშინ  $E = c\omega$ , სადაც:  $c = K_{\text{კ}} \cdot \Phi$ . (დ-36)

$K_{\text{კ}} = \frac{PN}{2\pi a}$  - ძრავას კონსტრუქციული მუდმივაა;  $P$  - წვეილ-პოლუსთა რიცხვია;  $N$  - ღუსის გრაგნილის აქტიურ გამტართა რიცხვია;  $a$  - ღუსის გრაგნილის პარალელურ შტოთა რიცხვია. თუ შევიტანთ (დ-35)-ს (დ-34)-ში და ამოვხსნით  $\omega$  -ს მიმართ მივიღებთ ძრავის ჩქარული მახასიათებლის  $\omega = f(I_{\text{ლ}})$  ფორმულას

$$\omega = \frac{U}{K_{\text{კ}} \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{ლ}} \cdot \nabla}{K_{\text{კ}} \cdot \Phi} \cdot I_{\text{ლ}} \quad (\text{დ-37})$$

სადაც  $\omega_{0} = \frac{U}{K_{\text{კ}} \cdot \Phi}$  - არის ძრავის იდეალური უქში სელის სინქარე;

$R_{\text{ლ}} \cdot \nabla = R_{\text{ლ}} + R_{\text{დამ}}$  - ძრავის ღუსის წრედის სრული წინაღობაა. (დ-37)-ში მეორე მდგენელი წარმოადგენს ძრავის სინქარის ვარდნას დატვირთვის შესაბამის სიდიდემდე.

ცნობილია, რომ ძრავის ბრუნვის მომენტი

$$M = K_{\text{კ}} \Phi I_{\text{ლ}} = c_{\text{კ}} \cdot I_{\text{ლ}} \quad (\text{დ-38})$$

მისი შეტანით (37)-ში მივიღებთ ძრავის მექანიკური მახასიათებლის ფორმულას

$$\omega = \frac{U}{c_{\text{კ}}} - \frac{R_{\text{ლ}} \nabla \cdot M}{c_{\text{კ}}^2} \quad (\text{დ-39})$$

(დ-39)-ის თანახმად ძრავას მექანიკური მახასიათებელი წარმოადგენს წრფეს, რომლის დახრილობას განსაზღვრავს მისი ღუსის გრაგნილის  $R_{\text{ლ}} \nabla$ -ის სიდიდე.

მექანიკური მახასიათებელი, რომელიც მიიღება ძრავას წრედში დამატებითი წინაღობის ჩართვის გარეშე, ცნობილია ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის სახელწოდებით. როცა  $R_{\text{დამ}} \neq 0$ , მაშინ მივიღებთ ეწ ხელოვნურ მახასიათებლებს.

ძრავას ბუნებრივი ჩქარული მახასიათებლის აგება ხდება მისი საპას-პორტო მონაცემების მიხედვით. ამ მიზნით საკმარისია მახასიათებლის ორი წერტილის პოვნა (გამოთვლა). ერთ წერტილად იღებენ იდეალური უქში სელის სინქარეს ( როცა  $I_{\text{ლ}} = 0$  ):

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ნომ}}}{c_0} \quad (\text{დ-40})$$

$C_0$  - ძრავას ემისის პროპორციულობის კოეფიციენტს განსასაზღვრავენ მისი საპასპორტო მონაცემებით, შემდეგი ფორმულით

$$c_0 = \frac{U_{\text{ნომ}} - I_{\text{ლ-ნომ}} R_{\text{ლ}}}{\omega_{\text{ნომ}}} \quad (\text{დ-41})$$

მახასიათებლის მეორე წერტილად იღებენ ძრავას ნომინალური მუშაობის რეჟიმის შესაბამის წერტილს:  $I_{\text{ლ}} = I_{\text{ლ-ნომ}}$ ,  $\omega = \omega_{\text{ნომ}}$ .

### დ3. ძრავას გამშვით წინაღობების გამოთვლა

ძრავას გამშვით წინაღობის საანგარიშოდ უნდა ვისარგებლოთ მისი ბუნებრივი ჩქარული მახასიათებლით. შევირჩევთ  $I_1$  - გაშვების და  $I_2$  - გადართვის დენის მნიშვნელობებს. როგორც წესი,  $I_1 = (2 + 2,5) I_{\text{ნომ}}$  და  $I_2 = 1,2 \cdot I_{\text{ნომ}}$ .

ძრავას ქსელთან მიერთების პირველივე მომენტში მის ღუსაში გაივლის  $I$ -ის ტოლი დენი, დაიწყება მისი აჩქარება (ამ დროს ღუსის მიმდევრობით ჩართულია  $R_{\text{გ1}}$  და  $R_{\text{გ2}}$  გამშვით წინაღობის ორივე საფეხურის შესაბამისი წინაღობა). როდესაც ძრავას სინქარე მიაღწევს  $b$  წერტილის შესაბამის მნიშვნელობას, ე.ი. დენი გახდება  $I$ -ის ტოლი მოხდება გაშვების  $I$  საფეხურის წინაღობის დაშუნტება  $I_a$  - აჩქარების კონტაქტის ჩაქრებით. ეს გამოიწვევს ღუსის დენის  $I$  სიდიდემდე გაზრდას და ძრავი კვლავ დაიწყებს აჩქარებას. როცა მისი სინქარე მიაღწევს  $d$ -წერტილის შესაბამის სიდიდეს, მოხდება გამშვები წინაღობის II-საფეხურის დაშუნტება  $2a$ -აჩქარების კონტაქტის ჩაქრებით. კვლავ გაიზრდება უეცრად ღუსის დენი  $I$ -დან  $I$ -მდე და ძრავი კვლავ განაგრძობს აჩქარებას ჯერ  $f$ -წერტილამდე, ხოლო შემდეგ  $g$  წერტილამდე, სადაც ძრავას გაშვება დასრულდება და მისი მუშაობა იქნება დამყარებული რეჟიმის შესაბამისი.

გამშვით წინაღობების ანგარიშს ახორციელებენ გრაფიკულად, ფარდობით ერთეულებში გამოსახული მექანიკური მახასიათებლების შემდეგი ფორმულით:

$$V = 1 - \mu \cdot r \quad (\text{დ-42})$$

სადაც  $V = \frac{\omega}{\omega_0}$  - ძრავას სინქარის ფარდობითი სიდიდე;  $\mu = \frac{M}{M_{\text{ნომ}}}$  - ფარდობითი მომენტი;

$r = \frac{R_{\text{ლწ}}}{R_{\text{ნომ}}}$  - ძრავას ფარდობითი წინაღობა;  $R_{\text{ნომ}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{I_{\text{ნომ}}}$ .

ძრავის ნომინალური (ფიქტიური) წინაღობაა.

თუ  $\mu = 1$ , (როცა  $M = M_{\text{ნომ}}$ ), მაშინ  $\Delta V = r$

$ab = r$ . ad, ac, ab - შესაბამისად ძრავის ღუსის წრედის სრული წინაღობებია ფარდობით ერთეულებში საფეხურების შესაბამისად. bc -  $R_{\text{გ2}}$ -ის შესაბამისი, ხოლო cd -  $R_{\text{გ1}}$ -ის შესაბამისი წინაღობებია ფარდობით სიდიდეში. ამრიგად



$$bc = r_{32} = \frac{R_{32}}{R_{\text{ნოზ}}} \Rightarrow R_{32} = bc \cdot R_{\text{ნოზ}};$$

$$cd = r_{31} = \frac{R_{31}}{R_{\text{ნოზ}}} \Rightarrow R_{31} = cd \cdot R_{\text{ნოზ}}.$$

ძრავის სრული გამშვითი წინააღობა ტოლი იქნება

$$R_{31} + R_{32} = (bc + cd)R_{\text{ნოზ}} = bd \cdot R_{\text{ნოზ}}. \quad (დ-43)$$

**დ4. დამოუკიდებელ ავსრებიანი ძრავას შექანიკური მახასიათებლები  
სამუხრუჭო რეჟიმებში**

ძალიან ხშირად საჭიროა შექანიზმების სწრაფი და სუსტი გაჩერება, რაც ზოგჯერ განმსაზღვრელია შექანიზმის მწარმოებლობისა და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხიანობისა. გაჩერებისას ან მოძრაობის მიმართულების შეცვლისას ძრავი შეშაობს სამუხრუჭო რეჟიმში.

პრაქტიკაში გამოიყენება სამი სახის დამუხრუჭება: ა) გენერატორული ქსელში ელექტროენერჯის გაზგაენით; ბ) უკუნართის და გ) დინამიკური.

სამივე სამუხრუჭო რეჟიმში ძრავს მუშაობა უხდება გენერატორულ რეჟიმში. განსხვავება იმაშია თუ, როგორ არის ღუსის ემ-ძალა ორიენტირებული ქსელის ძაბვის მიმართ. რეკუპერატიული (გენერატორული) დამუხრუჭებისას  $E$  და  $U_{\text{კ}}$ -სა შემხედრადაა მიმართული, მაგრამ  $E > U_{\text{კ}}$ , რის გამოც  $I_{\text{ღ}}$  დენი იცვლის მიმართულებას, ე.ი. დენი ძრავიდან მიეწოდება ქსელში. უკუნართის რეჟიმში  $E$  და  $U$  თანხედებიან მიმართულებით და დენი განისაზღვრება მათი ჯამით. დინამიკური დამუხრუჭებისას  $U = 0$  და  $I = -E / (R_{\text{ღ}} + R_{\text{დენ}})$ . განვიხილოთ ეს რეჟიმები ცალ-ცალკე უფრო დაწერილებით.

**ა) გენერატორული დამუხრუჭება**

გენერატორულ რეჟიმში გადასვლას ადგილი აქვს მაშინ, როცა დატვირთვის გაელენით ძრავის სინქარე გადააჭარბებს  $\Omega_0$ -უკმის სელის სინქარეს. ამ დროს  $E > U$  და ღუსის დენი  $I = \frac{U - E}{R_{\text{ღ}}} < 0$ , ე.ი. იცვლის მიმართულებას.

პრაქტიკაში ასეთი დამუხრუჭება გამოიყენება მძიმე ტვირთების ჩამოშვებისას  $\Omega_0$ -ზე მეტი სინქარით. დაშვებისას ძრავს ჩართავენ ქვედა მიმართულუბით სამუშაოდ. ამ დროს ამძრავის სინქარე გადააჭარბებს  $\Omega_0$ -ს, ეინიდან ღერძზე მოქმედებს ძრავისა და ტვირთის თანხედენილი მომენტები. მას შემდეგ რაც ძრავა გადავა სამუშაოდ გენერატორულ რეჟიმში, იგი განათარებს სამუხრუჭო მომენტს, ე.ი. უკვე მომენტი გახდება საპირისპირო დატვირთვის მომენტის მიმართ.

**ბ) უკუნართით დამუხრუჭება**

1) უკუნართით დამუხრუჭების რეჟიმს ადგილი აქვს მაშინ, როდესაც ტვირთის აწევაზე მომუშავე ძრავას ღუსის წრედში ჩავრთავთ დიდი სიდიდის ე.წ. უკუნართის წინააღობას ( $R_{\text{კ}}$ ). წინააღობის ჩართვის შემდეგ ძრავა  $A$  წერტილიდან სამუშაოდ გადავა უფრო დიდი დახრის მქონე მახასიათებელზე  $B$

წერტილში. იგი დაიწყებს შენელებას (ვინაიდან შემცირდება დენი ღუსის წრედში) და პროცესი დამთავრდება  $C$  წერტილში. ამ წერტილში ძრავის ბრუნვის უკუმიმართულებით და მისი დენი განისაზღვრება ფორმულით:

$$I_c = (U + E_c) / (R_{\Sigma} + R_{\Sigma c}), \quad (დ-44)$$

სადაც  $I_c = \frac{M_{\Sigma c}}{c_d}$ .

2) ხშირად უკუწართვის რეჟიმს ახორციელებენ ძრავას ბრუნვისას მის ღუსაზე მიყვანილი ძაბვის პოლარობის შეცვლით.

„წ“ („წინ“ ბრუნვის) კონტაქტების გახსნისას და „უ“ („უკან“ ბრუნვის) კონტაქტების ჩართვისას, რომ არ მოხდეს ძრავაში დიდი სიდიდის უკუდენის გავლა ღუსაზე, ძაბვის პოლარობის შეცვლასთან ერთად მის წრედში უნდა ჩართოს დიდი სიდიდის  $R_{\Sigma c}$ -ის წინაღობა. ძრავა სამუშაოდ გადავა  $A$  წერტილიდან  $B$  წერტილში. დაიწყება ამძრავის შენელება,  $C$  წერტილში ძრავი განერდება. თუ საჭირო არ არის ძრავის გაშვება უკუ მიმართულებით  $C$  წერტილის შესაბამის მომენტში ძრავს გამორთავენ ქსელიდან და მის ღერძზე დაადებენ მექანიკურ მუხრუჭს.

გენერატორული დამუხრუჭებისაგან განსხვავებით, უკუწართვის რეჟიმში ძრავი ენერჯიას იღებს ქსელიდანაც და მექანიზმის მხრიდანაც. მათ ორივეს ხარჯავენ ღუსის წრედის წინაღობაზე:

$$P = U \cdot E + E \cdot I = I^2 (R_{\Sigma} + R_{\Sigma c}) \quad (დ-45)$$

უკუწართით დამუხრუჭება უსრუენელებოფს მექანიზმის ყველაზე ინტენსიურ განერებას. მისი ნაკლია ძრავში და მისი ღუსის წრედში დიდი დანაკარგები. უკუწართვის წინაღობა განისაზღვრება წერტილის შესაბამისი სიდიდეებით:

$$R_{\Sigma c} = \frac{U + c_d \cdot \omega_B}{I_B} - R_{\Sigma}. \quad (დ-46)$$

$I$  - არის დამუხრუჭების დასაწყისში ძრავის დასაშვები დენის მნიშვნელობა.

### გ) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება.

ელექტროდინამიკური დამუხრუჭების შემთხვევაში ღუსას გამორთავენ ქსელიდან და მიაერთებენ წინაღობაზე, ხოლო აგზნების გრაგნილს დატოვებენ ქსელში ჩართულს. ამ შემთხვევაში ძრავა მასში დაგროვილი კინეტიკური ენერჯიის ხარჯს. განერებადღე იმუშავენს როგორც გენერატორი. აღნიშნული ენერჯია დაიცლება ღუსის წრედის წინაღობაზე. ღუსის დენი ტოლი იქნება

$$I = - \frac{E_{\Sigma c}}{R_{\Sigma} + R_{\Sigma c}}. \quad (დ-47)$$

დინამიკური დამუხრუჭება შეიძლება გამოყენებულ იქნას ტვირთის ჩამოშვების შემთხვევაშიც. პროცესი ამ დროს დაიქარდება  $C$  წერტილში.  $R_{\Sigma c}$ -ის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_{\Sigma c} = \frac{C \omega_B}{I_B} - R_{\Sigma}. \quad (დ-48)$$

დამუხრუჭების ეს სახე ხასიათდება ეკონომიურობით, თუმცა სინქარის შემცირებასთან ერთად მცირდება სამუხრუჭო ეფექტიც ( $I$ -დენის შემცირების

გამო). პრაქტიკაში დასუხრუქების ამ სერის იყენებენ *აბრევიატურა*  $\omega$  ში. სქემა მარტივია, ხაიმედო და ზუსტი.

**დ.5. მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლების**

ამ შემთხვევაში ძრავას აგზნების გრავინდი (აგ) *ხარველია* დას- გრავინდის მიმდევრობით, ასეთი ტიპის ძრავებისათვის სიტყვასა და დენს დენს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება ფორმულით

$$\omega = \frac{U}{K_j \Phi} - \frac{IR_{L\Phi}}{K_j \Phi} \quad (დ-49)$$

თუ ჩათვლით, რომ მანქანის დამაგნიტების მრუდი ვრფივია, ეი.  $\Phi = \alpha \cdot I$ , მაშინ ძრავას ბრუნვის მომენტი  $M = K_j \cdot \Phi \cdot I = K_j \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \Phi^2$ .

აქედან  $\Phi = K_0 \sqrt{M}$

სადაც  $K_0 = \sqrt{\frac{\alpha}{K_j}}$

შევიტანოთ (დ-49)-ში  $\Phi$  და  $M$ -ის მნიშვნელობები. მივიღებთ მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავის მექანიკური მახასიათებლის ფორმულას:

$$\omega = \frac{A}{\sqrt{M}} - B, \quad (დ-50)$$

სადაც:  $A = U/K_j K_0$ ;  $B = R_{L\Phi}/K_j^2 K_0^2$ .

ამ ტიპის ძრავებისათვის მექანიკური (ან სინქარული) მახასიათებლები პიკერბოლური სახისაა.

მექანიკური მახასიათებლების საანგარიშოდ პრაქტიკაში იყენებენ ე.წ. უნი-ვერსალურ მახასიათებლებს, რომლებიც წარმოდგენილია ცვლადებით ფარ-

დობით ერთეულებში  $\nu = f_1(i)$  და  $\mu = f_2(i)$ , სადაც  $\nu = \frac{\omega}{\omega_{ნომ}}$ ,  $i = \frac{I}{I_{ნომ}}$ ,

$$\mu = \frac{M}{M_{ნომ}}$$

უნივერსალური მახასიათებლები როგორც წესი, ერთი და იმავე სერიის მქონე მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავებისათვის საერთოა.

**დ.6. მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას გამშვი წინააღობების ანგარიში**

თავდაპირველად აგებენ ძრავას ბუნებრივ ჩქარულ მახასიათებელს -  $\omega = f(M)$ , რაც ხორციელდება უნივერსალური მახასიათებლების და მოცემული კონკრეტული ძრავას საპასპორტო მონაცემების გამოყენებით.

შევირჩევთ გაშუების  $I_1$  და გადართვის  $I_2$  დენების მნიშვნელობებს. აბსცისთა ღერძზე მარცხნივ გადავლებთ  $R_1 = \frac{U}{I_1}$  და  $R_2 = \frac{U}{I_2}$  სიდიდეებს.

ენიდან პრავის გაშუება იწყება  $R_1$  - სრული წინაღობით და  $I_1$  დენით, მას შემდეგ რაც პრავს დენი გახდება  $I_2$ -ის ტოლი გამოირთება გამშვი წინაღობის  $I$ -საფეხურის შესაბამისი  $cd$ -წინაღობა. დენი მყისურად გაიზრდება  $I_2$  ის ტოლ სიდიდემდე, ძრავი კვლავ განაგრძობს ანქარებას. როდესაც დენი მიღწევს  $I_2$  მდე დაშუნტდება  $I$ -საფეხურის შესაბამისი წინაღობა ( $ef$  - წინაღობა). ძრავა სამუშაოდ გადაეა ბუნებრივ მახზე და გააგრძელებს ანქარებას დატვირთვის შესაბამის სინქარემდე.  $cd$  და  $ef$  - მონაკეუთების მიხედვით ( $R$ -ღერძზე მიღებული მასშტაბის გათვალისწინებით) ეიპოვით ძრავას გამშ წინაღობათა მნიშვნელობებს.

### დ.7. მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მახასიათებლები სამუხრუჭო რეჟიმებში

ასეთი ძრავასათვის გენერატორული სამუხრუჭო რეჟიმი არ განიხილება, ენიდან არ გაანია უქმი სელის სინქარე. მისთვის განიხილავენ მხოლოდ უკუნართის და დინამიკურ დამუხრუჭებებს.

ა) უკუნართით დამუხრუჭება.

ამ შემთხვევაში, ისე როგორც დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავასათვის, უკუნართით დამუხრუჭება შესაძლებელია: 1) ძრავულ რეჟიმში მუშაობისას ღუსის მიმდევრობით დიდი დამატებითი წინაღობის ჩართვით; 2) ღუსაზე მიყვანილი ძაბვის პოლარობის შეცვლით და აგზნების გრაგნილში დენის უცვლელი პოლარობის შეცვლით და აგზნების გრაგნილში დენის უცვლელი მიმართულების შენარჩუნებით.

ბ) დინამიკური დამუხრუჭება.

ამ შემთხვევაში ღუსას გამორთავენ ქსელადან და მიაერთებენ სამუხრუჭო წინაღობასთან, ხოლო აგზნების გრაგნილს დატვირთვებს ქსელთან ჩართულს დამატებითი წინაღობით.

სემოთ აღნიშნული დინამიკური დამუხრუჭების გარდა, რომელშიც აგზნების გრაგნილს აქვს დამოუკიდებელი კვება, შესაძლებელია დამუხრუჭება განუხორციელოთ თვითაგზნებითაც. სამუხრუჭო მომენტის მისაღებად ძრავას გამორთავენ ქსელიდან და ღუსის მომჭერებს შეცვლილი პოლარობით ჩართავენ აგზნების გრაგნილთან (დენის მიმართულება უნდა დარჩეს უცვლელი) დამატებითი წინაღობით.

### დ.8. შერეულ აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ასეთი ტიპის ძრავებში გვაქვს ორი აგზნების გრაგნილი მიმდევრობითი (მაგ) და პარალელური (მაგ). მანქანის მანეტიური ნაკადის 70% იქმნება პაგით, ხოლო 30% მაგით. ისევე როგორც მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავასათვის, შერეულ აგზნებიანი ძრავას ბუნებრივი მექანიკური და სინქარული მახასიათებლები აგება უნივერსალური მახასიათებლების  $v = f(\mu)$  და  $l = f(\mu)$  დახმარებით.

ამ ტიპის ძრავებს გაანიათ საივე სამუხრუჭო რეჟიმი.

ა) გენერატორული დამუხრუჭება.

ასეთი დამუხრუჭების ღრის ძრავის მიმდევრობითი აგების გრაგნილს (მაგ) - დააშუქებენ და გენერატორულ რეჟიმში მანქანა მუშაობს მხოლოდ პარალელური აგებით (საგ).

ბ) უკუნართით დამუხრუჭება. ეს რეჟიმი ხორციელდება სხვა შედგილი დენის ძრავების ანალოგიურად.

გ) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება. ასეთი ძრავის დინამიკურ დამუხრუჭებას იხილავენ მხოლოდ პაგ-ით, მაგ-ს აშუქებენ. თვითაღსნებით დამუხრუჭება ნაკლებფექტურია და არ იყენებენ.

**დ.9. ცელადი დენის 3-ფაზა ასინქრონული ძრავების მექანიკური მახასიათებლები**

ასინქრული ძრავები შედგილი დენის ძრავებთან შედარებით კონსტრუქციულად მარტივია, მსუბუქია და იაფი, მუშაობაში საიმედო. მისი პარამეტრებია:  $U_{ფ}$  - ფაზური ძაბვა;  $I_{μ}$ ,  $I_1$  და  $I_2$  დამაგნიტების წრედის, სტატორის და როტორის დენები;  $X_{μ}$  და  $R_{μ}$  დამაგნიტების კონტურის ინდუქციური და აქტიური წინაღობები;  $X'_2$  და  $R'_2$  - როტორის დაყვანილი (სტატორზე) რეაქტიული და აქტიური წინაღობებია;  $S$  - მანქანის სრიალია

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (დ-51)$$

სადაც  $\omega_0$  - არის მანქანის ასინქრონული სინქარე, იგი ტოლია

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / P, \quad (დ-52)$$

$f_1$  - ქსელის ძაბვის სიხშირეა;  $P$  - წყვილ-პოლუსთა რიცხვია.

ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად უნდა ვისარგებლოთ მანქანის ელექტრომაგნიტური და მექანიკური სიმძლავრეების ბალანსის გამოსახულებით

$$P_{გ} = P_{მკ} + \Delta P_{კლ} \quad (დ-53)$$

სადაც  $\Delta P_{კლ}$  - არის როტორის ელექტრული კარგეები.

(დ-53)-ასეც შეიძლება ჩაიწეროს

$$M\omega_0 = M\omega + \Delta P_{კლ} \quad (დ-54)$$

აქედან  $\Delta P_{კლ} = M(\omega_0 - \omega)$ . თავის მხრივ  $\Delta P_{კლ} = 3I_2'^2 R_2'$ . მაშინ

$$3I_2'^2 R_2' = M(\omega_0 - \omega). \text{ აქედან}$$

$$M = \frac{3I_2'^2 R_2'}{\omega_0 S} \quad (დ-55)$$

ძრავას  $\Gamma$ -მაგვარი ელექტრული შენაცვლების სქემის მიხედვით როტორის დენი ტოლია

$$i_2' = \frac{U_{\text{ფ}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2}} \quad (\text{დ-56})$$

სადაც  $X_K = X_1 + X_2'$  არის მანქანის მ.ჩ. რეაქტიული წინააღობა. შევიტანოთ (დ-56)-ე გამოსახცულება (55)-ში, მივიღებთ

$$M = \frac{3U_{\text{ფ}}^2 R_2'}{\omega_s \left[ \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2 \right]} \quad (\text{დ-57})$$

(დ-57)-ის ანალიზი ცხადყოფს, რომ ასინქრონული ძრავის მექანიკურ მახასიათებელს  $M = f(s)$  გააჩნია მაქსიმუმი, რის გამოც უნდა ვიპოვოთ  $\frac{dM}{ds} = 0$  განტოლებიდან სრიალი (ე.წ. კრიტიკული სრიალი), იგი ტოლია

$$s_j = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_2'^2 + X_K^2}} \quad (\text{დ-58})$$

(დ-58)-ს შეტანით (დ-57)-ში ვიპოვიტ ძრავის კრიტიკულ ბრუნვის მომენტს:

$$M_j = \frac{3U_{\text{ფ}}^2}{2\omega_s \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right)} \quad (\text{დ-59})$$

ნიშანი "+" ძრავული რეჟიმისაა, "-" გენერატორულის. (დ-57)-ის გაყოფით (დ-59)-ზე და  $R_1$ -ის უგულებელყოფით მივიღებთ ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის გამარტივებულ ფორმულას

$$M = \frac{2M_j}{\frac{s}{s_j} + \frac{s_j}{s}} \quad (\text{დ-60})$$

$s_j$ -სიდიდე ძრავას საპასპორტო მონაცემებში მოცემული არ არის. მას ვიპოვიტ შემდეგნაირად: თავიდან ვიპოვიტ  $M_{\text{ნომ}} = P_{\text{ნომ}}/\omega_{\text{ნომ}}$  და  $S_{\text{ნომ}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ნომ}})/\omega_0$ . შემდეგ (დ-60)-ის გამოყენებით ვიპოვიტ

$$s_j = S_{\text{ნომ}} \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) \quad (\text{დ-61})$$

სადაც  $\lambda = \frac{M_j}{M_{\text{ნომ}}}$ .  $S < S_j$  (ძრავა მუშაობს მექანიკური მახასიათებლის

წრფივ უბანზე), მაშინ (60)-დან  $\Rightarrow M = 2M_j \frac{S}{S_j}$ . თუ  $S > S_j$  (ძრავა მუშაობს

მექანიკური მახასიათებლის არაწრფივ უბანზე), მაშინ  $M = 2M_j \frac{S_j}{S}$ .

### დ.10. სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას გამშვები წინაღობების ანგარიში

3-ფაზა ასინქრონული ძრავას გამშვები წინაღობების ანგარიში დასაშვებია მიახლოებით წარმოებს მუდმივი დენის პარალელურ აგზნებიანი ძრავას ანალოგიურად, თუ მის მექანიკურ მახასიათებელს ჩაეთვლით წრფივად.

ასინქრონული ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის მისაღებად უნდა ვისარგებლოთ საპასპორტო მონაცემებით ( $P_{ნომ}, U_{ნომ}, I_h, n_{ნომ}, E_n$  და  $I_c$ ). ძრავას ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$K = \frac{E_1}{E_2 K} \approx \frac{0,95 \cdot U_{ფ}}{E_2 K}; \quad R_2' = K \cdot R_2; \quad R_2 = \frac{s_{ნომ} E_2 K}{\sqrt{3} I_{2ნომ}} \quad X_2' = X_2 \cdot K^2;$$

$$M_K = \lambda M_{ნომ}; \quad s_K = s_{ნომ} \left( \lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1} \right). \quad \text{გვეცოდინება რა } M_K \text{ და } s_K$$

(დ-60)-ე ფორმულით ავაგებთ ძრავას  $M = f(s)$  მექანიკურ მახასიათებელს. იმ შემთხვევაში თუ ვანგარიშობთ ძრავას საფეხურებიან გაიშვ მახასიათებლებს უნდა ვისარგებლოთ ძრავას გამშვები მოიქცევის სიდიდით  $M_1 = 0,7 M_j$  და

გადართვის მომენტით  $M_2 = 1,2 M_{სტ}$ .

### დ.11. სამფაზა ასინქრონული ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები

ა) გენერატორული დამუხრუჭება.

ასინქრონული ძრავას როტორში გამაყალი დენი ტოლია:

$$I_2' = \frac{E_2'}{R_2' + jX_2'} = \frac{E_2' s}{R_2' + jX_2' s} = \frac{E_2' R_2' s}{R_2'^2 + (X_2' s)^2} - j \frac{E_2' X_2' s^2}{R_2'^2 + (X_2' s)^2}. \quad (\text{დ-62})$$

გენერატორულ რეჟიმში  $s < 0$ , ამიტომ  $I_2'$  დენის მხოლოდ

აქტიური (პირველი) მდგენელი იცვლის ნიშანს, ე.ი. მიმართულებას. რაც შეეხება მეორე (რეაქტიულ) მდგენელს მისი მიმართულება რჩება უცვლელი. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ გენერატორულ რეჟიმში მანქანა ქსელიდან კვლავ ითხოვს მაგნიტური ველის შესაქმნელად დენის ნაწილს. გენერატორული რეჟიმი გამოიყენება ამწე-კრანებში მძიმე ტვირთის ჩამოშვებისას აგრეთვე მას ადგილი აქვს ორსინქარიან მ.შ. როტორიან ასინქრონულ ძრავებში, როცა სინქარის შესაცვლელად გამოიყენება მანქანის წვეილ-პოლუსთა რიცხვის შეცვლა. ბ) უკუჩართვით დამუხრუჭება. ასეთი დამუხრუჭება მიიღება ძრავას როტორის წრედში დიდი სიდიდის ე.წ.  $R_{კ}$ -ის წინაღობის ჩართვით ანდა სტატორის ორი ფაზის გადანაცვლებით და როტორში  $R_{კ}$ -ის დამატებით.

### 3) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება.

ასეთი დამუხრუჭების მისაღებად ძრავის სტატორს გამოერთავენ ცვლადი დენის ქსელიდან და ჩართავენ მუდმივი დენის ქსელში, როტორში შეიძლება ჩაერთოს დამატებითი წინაღობები (ღლი).

დინამიკური დამუხრუჭების კონტაქტების (კ) ჩართული მდგომარეობისას (კ-გახსნილია) სტატორში გადის მუდმივი დენი, რომელიც ქმნის უძრავ მაგნიტურ ველს. როტორი ინერციით აგრძელებს რა ბრუნვას მის გრაგნილებში ინდუქცირდება ემპ-ები და გადის დენი. როტორის დენისა და უძრავი მაგნიტური ველის ურთიერთქმედებით მანქანის ღერძზე მოქმედებს სამუხრუჭო მომენტი. მანქანაში დარგოვილი კინეტიკური ენერჯია სითბოს სახით გამოიყოფა როტორის გრაგნილებში და  $R_{\text{გონ}}$ -წინააღობებში.

ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება 3-ფაზა ძრავისათვის შეიძლება განხორციელდეს ე.წ. თვითაგზნებითაც,

## დ.12. სინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებელი

სინქრონულ ძრავას ქსელის ძაბვის მუდმივი სიხშირისას გააჩნია მუდმივი კუთხური სიჩქარე, მაშინაც კი როცა მის ღერძზე დატვირთვა არ აღემატება ნომინალურის ორმაგ მნიშვნელობას. თუ  $M_{\text{სტ}} > M_{\text{გონ}}$  მაშინ ძრავი ამოვარდება სინქრონიზმიდან. ასეთი ძრავები გამოიყენება იმ მექანიზმებისათვის, რომლებსაც არ ესაჭიროებათ სიჩქარის რეგულირება. ასეთი მექანიზმებია კომპრესორები და ტუმბოები. სინქრონული ძრავის დადებითი თვისებაა ის, რომ შეუძლია იმუშაოს მაღალი სიმძლავრის კოეფიციენტით ( $\cos \varphi$ ).

ცნობილია, რომ 2000 კეტ. სიმძლავრის სევიტ სინქრონული ძრავა უფრო იაფია ვიდრე ასინქრონული.

სინქრონულ ძრავს როტორში, გარდა მუშა გრაგნილისა (რომელიც იკეუბება მუდმივი დენით) გააჩნია მ.შ. 3-ფაზა გამშვი გრაგნილი. ამ გრაგნილის საშუალებით ხორციელდება ძრავის გაშვება ასინქრონული მექანიკური მახასიათებლით ქვესინქრონულ 0,95-სიჩქარემდე. როტორის აგზნების გრაგნილში როგორც წესი აწვდიან მუდმივ დენს, რომელიც მანქანაში შექმნის მაგნიტურ ველს. ამის შემდეგ განხორციელდება მანქანის სინქრონიზმში შეტაცება.

სინქრონული ძრავას გამშვი გრაგნილები (ცაყვის ბორბალი) გათვლილია ხანმოკლე დროით (20-30წმ) მუშაობაზე. თუ სინქრონიზმში შეტაცვა გაჭიანურდა შეიძლება გამშვი გრაგნილი გადახურდეს და დაიწვას. ამიტომ სინქრონული ძრავის მართვის სქემაში გათვალისწინებულ უნდა იქნას შესაბამისი დაცვა. სინქრონული ძრავის მბრუნავი მომენტი ტოლია

$$M = \frac{3UE}{\omega_0 X_C} \cdot \sin \theta, \quad (\text{დ-63})$$

სადაც  $U$ -არის ქსელის ძაბვა;  $E$ - სტატორის გრაგნილში დაინდუქცირებული ემპ;  $X_C$  -სტატორის რეაქტიული წინააღობა;  $\theta$  -კუთხეა სტატორის ემპ-სა და ქსელის ძაბვას შორის.

სინქრონული ძრავა ქსელის ძაბვის რევეის მიმართ ნაკლებ მგრძობიარეა ასინქრონულ ძრავთან შედარებით, ეს ადვილად ჩანს (დ-63)-ე ფორმულიდან.

სინქრონული ძრავას სამუხრუჭოდ გამოიყენება დინამიკური დამუხრუჭება. ამ დროს სტატორს გამოერთავენ ქსელიდან და მიაერთებენ წინააღობებთან, ხოლო აგზნების გრაგნილში აწვდიან დენს. მისი მექანიკური მახასიათებლები



ანალოგიურია ასინქრონული ძრავის დინამიკური დამუხრუჭების მახასიათებლების.

### დ.13. ელექტროძრავების სინქარის რეგულირება

მთელი რიგი მექანიზმებისა და ტექნოლოგიური მანქანების ელექტროაძრავებს მოეთხოვება სინქარის რეგულირება საწარმოო (ტექნოლოგიური) პროცესების რაციონალურად წარმართვისათვის. მაგ. სახარატი ჩარხზე დასამუშავებელი დეტალის დიამეტრის შემცირებასთან ერთად ჭრის სინქარის მუდმივად შენარჩუნებისათვის შინდელის ამძრავის კუთხური სინქარეს არეგულირებენ. კერძოდ ზრდიან დეტალის დიამეტრის შემცირებასთან ერთად. ასეთი ბევრი მაგალითის მოყვანა შეიძლება. რეგულირებადი ელექტროაძრავები გამოიყენება მეტალურგიულ და სხვა მრეწველობაში (საგლინ დგანებზე, ქაღალდის დამამუშავებელ მანქანებისათვის, ამწე-სატრანსპორტო მექანიზმებზე და ა.შ.).

მანქანების მუშა ლილვების ბრუნვის სინქარის (მოძრაობის) რეგულირება პრინციპში შესაძლებელია ორი გზით: ძრავის კუთხური სინქარის შეცვლით ანდა მექანიკური გადაამცემების პარამეტრის (გადაცემის რიცხვის) შეცვლით. მეორე ვარიანტი დიდი ხანია ცნობილია. მისი ტექნიკური გადაწყვეტა დაკავშირებულია კონსტრუქციულ გართულებებთან (გამოიყენება სინქარეთა კოლოფი, მექანიკური ვარიანტი და ა.შ.). გარდა ამისა, ამ შემთხვევაში, როგორც წესი, არ ხერხდება სინქარის მდორე რეგულირება. ამ მიზნების გამო თანამედროვე ელექტროაძრავებში სინქარის რეგულირება ძირითადად ხორციელდება თვით ელექტროაძრავების სინქარის რეგულირებით.

სხვადასხვა ელექტრული ძრავების მექანიკური მახასიათებლების ანალიზმა დაგვანახა, რომ მათი სინქარის ცვლა შეიძლება მისი ელექტრული წრედების პარამეტრების (წინალობების) ანდა მექანიკური ძაბვის ან სიხშირის ცვლილებით. ძრავის სინქარის სარეგულიროდ საჭიროა ოპერატორმა ზემოქმედება მოახდინოს ამძრავის სისტემის პარამეტრებზე (შიაწოდოს მართვის სიგნალი, შეცვალოს წინალობის სიდიდე, ეს შეცვლა ავტომატიზებულ სისტემაში შეიძლება მოხდეს ავტომატურად). მაშინ როცა ძრავის სინქარე იცვლება რაიმე შემოფოთების ზემოქმედებით (მაგ., ძრავის დერაზე წინალობის მოშენის შეცვლით), სინქარის ასეთი ცვლილება არ შეიძლება ჩაეთვალოს სასურველ მოვლენად (კერძოდ, სინქარის რეგულირებად). პირიქით, ამ დროს ძრავის სინქარე გადაიხრება წინასწარ მოცემული (საჭირო) სიდიდიდან და მართვის სისტემაში უნდა უსრუნველყოს მისი თავდაპირველ მნიშვნელობაზე დაბრუნება.

ელექტროაძრავის სინქარის რეგულირების ძირითადი მანიევრებელია რეგულირების დიაპაზონი, რომლის ქვეშაც იგულისხმება ამძრავის შესაძლო მაქსიმალური სარეგულირო სინქარის ფარდობა მინიმალურთან  $D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$ .

ხშირად საჭირო ხდება რეგულირების ზონის (შესაბამისად დიაპაზონის) გაზრდა. მაგრამ ეს გაზრდა არ შეიძლება იყოს უსაზღვრო. მისი შესრულება შეუიდან ძირითადად ხდება ლუზის ან როტორის მექანიკური სიმტკიცით. უდმივი დენის ძრავებისათვის სინქარის სედა ზღვარი ( $\omega_{\max}$ ) სოვჯერ შეიზღუდება კოლექტორის საკომუტაციო უნარიანობით, რადგანაც კუთხური სინქარის ზრდისას იზრდება ლუზის გრანგილის საკომუტაციო სექციაში რეაქტიული ემპ. კუთხური სინქარის ქვედა ზღვარი, როგორც წესი, შეიზღუდება მოცემული სინქარის საჭირო სისუსტით მუდმივად შენარჩუნების

$M_{სტ}$ -ის შესაძლო ფარგლებში ცვლისას) პირობით. სისტემის სისუსტის

შეფასება როგორც წესი წარმოებს ე.წ. სტატიზმით, რომელიც შემდეგნაირად განისაზღვრება

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ლაყ}}}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega_{\text{ლაყ}}}{\omega_0} \cdot 100\%, \quad (\text{დ-64})$$

სადაც  $\omega_0$  და  $\omega_{\text{ლაყ}}$  - არის ამპრავის სასურველი (დავალების შესაბამისი) და რეალური (დატვირთვის შესაბამისი) სიჩქარეების დამყარებული მნიშვნელობები.

თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამპრავების სტატიზმი 1%-ს არ აღემატება, ხოლო ამპრავებისათვის უკუკავშირების გარეშე იგი შეადგენს რამდენიმე ათეულ პროცენტს.

რეგულირების ერთ-ერთი მთავარი მანქანებელია აგრეთვე რეგულირების სიმდორე, რომელიც წარმოადგენს ორ მესობელ სიჩქარეთა თანაფარდობას

$$\varphi = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}, \quad \text{სადაც } \omega_i > \omega_{i-1}. \quad \text{რეგულირების სიმდორე მით უკეთესია, როცა}$$

$$\varphi \rightarrow 1.$$

რეგულირების ერთი საფეხურიდან მეორეზე მდორე გადასვლა სოფჯერ განსაზღვრავს გამოშუქებული პროდუქციის ხარისხს. ელექტროამპრავების პრაქტიკაში სიჩქარის რეგულირების ყველაზე მცირე სიმდორე გაანიათ ორსიჩქარიან მოკლედშერთულ როტორიან ასინქრონულ ძრავებს. მნიშვნელოვანი სიმდორე შეიძლება მივიღოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნების ძრავების შემთხვევაში, როცა მათი მართვა ხდება ღუზაზე მიყვანილი ძაბვის ანდა აგზნების დენის ცვლით.

რეგულირებადი ამპრავის ერთ-ერთი მანქანებელია აგრეთვე რეგულირების ეკონომიურობა, რომელიც ხასიათდება ამპრავის დანადგარის და ექსპლუატაციის დანახარჯებით. ეკონომიურად გამართლებულია ისეთი ელექტროამპრავი, რომელიც უზრუნველყოფს მუშა მექანიზმის მწარმოებლობის მაქსიმუმს პროდუქციის მაღალი ხარისხით და შედარებით მაღლე გამოისყიდის საწვის კაპიტალურ დანახარჯებს. რეგულირებადი ელექტროამპრავის ეკონომიურობის შეფასებისას უურადლება ექცევა აგრეთვე ექსპლოატაციაში მის საიმედო მუშაობას.

ეკონომიურობის შეფასებისას მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე რეგულირების პროცესში ენერჯის დანაკარგების სიდიდე. სიმძლავრის კარგეები განსაზღვრავს დანადგარის მქც-ს,

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}, \quad \text{სადაც } \Delta P \text{ - ამპრავში დანაკარგებია; } P_2 \text{ - ძრავას}$$

დერძე მექანიკური სიმძლავრეა.

რეგულირებადი ელექტროამპრავის რაციონალური მუშაობისათვის საჭიროა ეიცოდეთ დატვირთვის მომენტის დამოკიდებულება კუთხური სიჩქარისაგან. მთელი რიგი საწარმოო მექანიზმები მოითხოვენ სიჩქარის რეგულირებას, როცა  $M_{\text{სტ}} = \text{const}$  ასეთი მექანიზმებია: ამწე-კრანების აწევის მექანიზმები, სოჯერთი საგლინი დგანების ცალკეული გალები (უჯრედები), ქალღლისმკეთებელი მანქანების სექციები და ა.შ. მეორეს მხრივ, არსებობენ ისეთი მექანიზმებიც, რომელთაც სიჩქარის რეგულირება მოეთხოვებათ მუდმივი

სიმძლავრის პირობებში -  $P_{\text{სტ}} = \text{const}$  ასეთ მექანიზმს მიეკუთვნება სახა-

რატო წარხი. წარხსე დეტალის დამუშავებისას საჭიროა შევინარჩუნოთ კრის (წრფივი) მუდმივი სიჩქარე ( $P = F \cdot V = const$ ).

განვიხილოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ელექტრული ძრავის ბაზაზე, თუ როგორ ხდება  $M_{სტ} = const$  ანდა  $P_{სტ} = const$

შესაბამისად სიჩქარის რეგულირება. ასეთ ძრავას გააჩნია სიჩქარის რეგულირების ორი ზონა. I ზონა შეესაბამება რეგულირებას მუდმივი მომენტით, ხოლო II ზონა - მუდმივი სიმძლავრით.

მართლაც, თუ ძრავას სიჩქარის რეგულირება წარმოებს ღუსის წრედში წინააღმდეგობის წართვით ან ღუსაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლით, როცა  $\Phi = const$ , მაშინ ძრავს დატვირთვა იქნება მუდმივი მომენტით

$$M = K_{\Phi} \Phi I_{სტ} = const. \quad (დ-65)$$

ძრავის ღერძზე სიმძლავრე I-ზონაში იცვლება წრფივად, რადგანაც

$$P_I = M \cdot \omega. \quad (დ-66)$$

II-ზონა შეესაბამება რეგულირებას მუდმივი სიმძლავრით, როცა იგი ხორციელდება ძრავის მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით (შემცირებით).

$$\Phi = \frac{A}{\omega}; \quad M = K_{\Phi} \Phi I_{სტ} \equiv \frac{A'}{\omega}; \quad (დ-67)$$

$$P_{II} = M \cdot \omega = \frac{A'}{\omega} \cdot \omega = A' = const. \quad (დ-68)$$

#### დ.14. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას სიჩქარის რეგულირების ხერხები

##### 1) ღუსის წრედში დამატებითი წინააღმდეგობის ცვლილებით.

ეს მეთოდი უსრუნველყოფს ელექტროამრავის მუშაობას მუდმივი სტატიკური მომენტით. ძრავის ღუსის წრედში დამატებითი წინააღმდეგობის წართვით და მისი სიდიდის რეგულირებით შესაძლებელია ვარეგულიროთ სიჩქარე.

$R_{დგ}$ -ის გაზრდით რბილდება ძრავის მექანიკური მახასიათებელი. სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონი ამ შემთხვევაში ტოლია  $D = 3:1..$

ეს მეთოდი არ ითვლება სიჩქარის რეგულირების ეკონომიურ საშუალებად. სიჩქარის სარეგულირო წინააღმდეგობები გაშუქი წინააღმდეგობისაგან განსხვავდება იმით, რომ ისინი ძრავის წრედში გათვალისწინებულია ჩაირთოს ხანგრძლივ დროით, რის გამოც დიდია დანაკარგები (ელექტრული).

##### 2) აგზნების ნაკადის ცვლილებით.

სიჩქარის რეგულირების ეს ხერხი ხასიათდება სიმარტივით და ეკონომიურობით, იმასთან დაკავშირებით, რომ რეგულირება წარმოებს მცირე დენების (აგზნების) წრფივად. ამ მეთოდს იყენებენ ძრავის სიჩქარის გასაზრდელად ნომინალურზე მაღლა. ეს მეთოდი გამოიყენება მექანიკური ბისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით

( $P_{სტ} = const$ ). აგზნების შემცირებისას გაიზრდება, ხოლო ძრავის მ.შ.-ის

დენი რჩება უცვლელი  $I_{ა.ა.} = U/R_{ღ}$ .

$$M_{ა.ა.} = K_{\Phi} \Phi I_{სტ} > M_{ა.ა.} = K_{\Phi} \Phi' I_{სტ} > M_{ა.ა.} = K_{\Phi} \Phi'' I_{სტ}.$$

Φ შემცირებასთან ერთად უნდა შევამციროთ დატვირთვის მომენტი ( $M_{სტ}$ ) პიპერბოლოურად. ასეთი ხერხით რეგულირების დიაპაზონი შეადგენს  $D = 2 + 1$ . აგსნების ნაკადის შემცირებით სინქარის რეგულირება შემოდან შესლედულია ძრავის საკომუტაციო პირობის გაუარესებით კერძოდ, სინქარის გაზრდას მოჰყვება კოლექტორზე ნაპერწკლიანობის მომატება. გარდა ამისა, ძრავის სინქარის მატება შესლედულია მექანიკური სიმტკიცის თვალსაზრისითაც.

3) ლუსაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლით, სინქარის რეგულირების ეს მეთოდი ძველთაგან ცნობილია ე.წ. გ-მ სისტემით (ლეონარდის სისტემით), სადაც გ- გარდამსახია ცვლადი დენის ელექტროენერგიისა მუდმივ დენად. იგი შეიძლება იყოს: ა) მუდმივი დენის გენერატორი, რომელიც ბრუნვით მოძრაობას ასრულებს ცვლადი დენის ქსელთან ჩართული ასინქრონული ელექტროძრავით; ბ) ტირისტორული გამმართველი. სინქარის რეგულირების ასეთი ხერხი უსრუნველყოფს სინქარის რეგულირების დიაპაზონს  $D=10 : 1$ .

გ-მ სისტემით მომუშავე ძრავასწარული მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად ეწვეთ შემდეგ საწყის განტოლებებს:

$$U_g = E_g - I_L R_{Lg}; \quad (დ-69)$$

$$U_d = E_d + I_L R_{Ld}, \quad (დ-70)$$

სადაც  $E_g = K_{კგ} \Phi_g \omega_g$  - გენერატორის ემ ძალაა;

$$E_d = K_{კდ} \Phi_d \omega_d - \text{ძრავის ემ ძალაა};$$

(დ-69) და (დ-70) განტოლებებით მივიღებთ

$$E_g - I_L R_{Lg} = E_d + I_L R_{Ld}, \quad (დ-71)$$

საიდანაც:  $E_d = E_g - I_L R_{Lg}$ , (დ-72)

სადაც  $R_{Ld} = R_{Lg} + R_{Ld}$  - ძრავის ლუსის წრედის სრული წინაღობაა.

(დ-72)-დან ადვილად მივიღებთ მუდმივი დენის ძრავის სინქარული მახასიათებლების ფორმულას გ-მ-ის სისტემაში

$$\omega_g = \frac{E_g}{K_{კგ} \Phi_g} - \frac{I_L R_{Lg}}{K_{კდ} \Phi_d}. \quad (დ-73)$$

გ-მ-ის სისტემა რაციონალურია გამოიყენოთ I-ზონაში მექანიზმებისათვის  $M_{სტ} = const$ , და II-ზონაში მექანიზმებისათვის  $P_{სტ} = const$ . გ-მ-ის სისტემის მქ შეადგენს 0,65-ს.

ძრავის სინქარის რეგულირების დიაპაზონის გაზრდის მიზნით პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ელექტროამძრავის ავტომატური მართვის სისტემები ერთი ან რამდენიმე უკუკავშირით, რომლებიც უსრუნველყოფენ სინქარის მუდმივად შენარჩუნებას მაღალი სიზუსტით.

ბოლო ათეული წლების პერიოდში მექანიზმებისათვის, რომელთაც ესაჭიროებათ სინქარის დიდ დიაპაზონში ცვლა, ამასთან მდორედ იყენებენ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ავზნებიან ძრავს, რომლის ლუსა იკვებება ცვლადი დენის ტირისტორული გამმართველიდან. ტირისტორული ამძრავის დადებითი თვისებებია: მაღალი სწრაფქმედება, მუშაობაში საიმედოა და მქ შეადგენს 0,93-ს.

გამმართველის გამოსავალზე მიღებული ძაბვის მნიშვნელობა ტოლია:

$$U_d = U_{გკს} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha, \quad (დ-74)$$

სადაც  $U_{აკ}$  - არის გამმართველის მკეებაეი ქსელის ხაზური ძაბვის მაქსიმუმი;  $m$  - გამართვის სქემის კოეფიციენტი, სამყასა ორტაქტა სქემისათვის  $m=6$ , ხოლო სამყასა ერთტაქტა სქემისათვის  $m=3$ ;  $\alpha$  - ტირისტორის მართვის ელექტროდზე მიწოდებული იმპულსების ფაზური ძვრის კუთხეა, იგი იცვლება  $\alpha = 15^\circ \div 90^\circ$  და ახსიათებს ტირისტორების გახსნილი მდგომარეობის ხანგრძლიობას.

გ-მ სისტემის ანალოგიურად ტირისტორიული ამძრავის სქარული მახსიათებლის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\omega = \frac{E_{ტბ}}{C_{\beta}} - \frac{I_{L} R_{L\Phi}}{C_{\beta}} \quad (დ-75)$$

სადაც  $E_{ტბ}$  - არის ტირისტორული გამმართველის ემძ;  $R_{L\Phi}$  - ძრავის ღუსის წრდის წინაღობაა, რომელიც შეიცავს საკუთრივ ძრავის ღუსის გრაგნილის წინაღობას და ტირისტორული გარდამსახის ძალური ნაწილის წინაღობას. ტირისტორული ელექტროამძრავის სქარული და მექანიკური მახსიათებლები გ-მ სისტემის ანალოგიურია

#### დ.14. სამყასა ასინქრონული ძრავას სინქარის რეგულირების ხერხები

ცნობილია ასინქრონული ელექტროამძრავის სინქარის რეგულირების სამი ძირითადი ხერხი :

1) როტორში წინაღობების დამატებით, ეს მეთოდი გამოიყენება მექანიზმებისათვის მუდმივი სტატკური მომენტით  $M_{სტ} = const$  რეგულირების დიაპაზონი  $D=3$  ს; რეგულირება ხორციელდება ნომინალური სინქარის ქვემოთ.

##### 2) წყვილ-პოლუსთა რიცხვის შეცვლით,

ნობილია, რომ 3-ფაზა ასინქრონული ძრავას სინქრონული სინქარე

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / P, \quad (დ-76)$$

სადაც  $f_1$  - მკეებაეი ქსელის სიხშირეა;  $P$  - მანქანის წყვილ-პოლუსთა რიცხეია.

ორსინქარიან ასინქრონულ ძრავებში წყვილ-პოლუსთა რიცხვის გადართვით ცალკეული ფაზების გრაგნილები შედგება ორი ერთნარი ნაწილისაგან, რომელთაგან ერთში ცვლის დენის მიმართულებას, ამასთან მათ მიმდევრობითი შეერთებიდან გადაიყვანენ პარალელურზე. ეს იწვევს წყვილ-პოლუსთა რიცხვის 2-ჯერ შემცირებას და სინქრონული სინქარის 2-ჯერ გასრდას. სტატორის გრაგნილების გადართვის სქემები ნაჩვენებია ქვემოთ: 1) გრაგნილების ერთმავე ვარსკლავა შეერთებიდან ორმავე ვარსკლავზე და 2) სამკუთხა შეერთებიდან ორმავე ვარსკლავზე. პირველი სახის გადართეა გამოიყენება

მექანიზმებისათვის  $M_{სტ} = const$ .

მეორე სახის გადართეა მიზანშეწონილია მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ  $P_{სტ} = const$ .

პრაქტიკაში ორსინქარიანი ძრავების გარდა გამოიყენება სამი და 4-სინქარიანი ასინქრონული ძრავებიც. ყველა ისინი შესრულებულია მ.შ. როტორით (საჭირო რომ არ გახდეს გადართეები როტორშიც). ეს მეთოდი ითვლება ეკონომიურად, რეგულირების დიაპაზონი აღწევს  $D=6:1$ .

##### 3) სინქარის რეგულირება ძაბვის ცვლით,

თანამედროვე ასინქრონულ ელექტროამძრავებში იყენებენ ძაბვის ტირის-ტორულ გარდამქმნელს. სინქარის უკუეკავშირის დამატებით ამძრავი უსრუნველყოფს სინქარის სტაბილიზაციას მაღალი სიუსტით.

#### 4) სისშირული რეგულირება.

თანამედროვე ასინქრონული ამძრავებისათვის პრაქტიკაში ფართოდ ნერგავენ სისტემებს ე.წ. სისშირული გარდამსახებით ნახევარგამტარული ტექნიკის გამოყენებით. ასეთ გარდამსახს გააჩნია გამმართველი და შემდგომ სასურველი სიდიდის ცვლადი ძაბვისა და სისშირის მისაღებად ინვერტორიც.

ენიდიან მანქანის სინქრონული სინქარე  $\omega_0 = 2\pi f / P$ , ამიტომ ძრავას სინქარის ცვლილება შესაძლებელია  $f$  სისშირის ცვლით. მაგრამ  $f$ -სისშირესთან ერთად აუცილებელია ძაბვის ცვლილებაც ( $U/f = const$ ), რათა უსრუნველყოს ძრავას მაგნიტური ნაკადის მუდმივად შენარჩუნება. ძრავას სტატორის ვმმ  $E_1 = c_1 \Phi f$ ,  $U \approx E_1$ , ამიტომ  $U = c_2 \Phi f$

ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ: მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ მუდმივი სტატიკური მომენტით ( $M_{სტ} = const$ ), რეკომენდებულია ასინქრონული ელექტროამძრავის მართვა შესრულდეს კანონით

$$\frac{U}{f} = const; \quad (დ-77)$$

მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით ( $P_{სტ} = const$ ), რეკომენდებულია ასინქრონული ელექტროამძრავის მართვა შესრულდეს კანონით

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = const; \quad (დ-78)$$

ენტიატორული მექანიზმებისათვის ცნობილია, რომ  $M_{სტ} \equiv f^2$  რის გამოც რეკომენდებულია ასინქრონული ელექტროამძრავის მართვა შესრულდეს კანონით

$$\frac{U}{f^2} = const. \quad (დ-79)$$

#### დ.15.გარდამავალი პროცესები მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავაში

ელექტროამძრავის გარდამავალი პროცესი მიმდინარეობს მისი მუშაობის ერთი დამყარებული რეჟიმიდან მეორე დამყარებულ რეჟიმში გადასვლის პერიოდში. ამ დროს იცვლება ძრავის კუთხური სინქარე, ღუსის დენი, ბრუნვის მომენტი და მათთან დაკავშირებული სხვა ცვლადები. გარდამავალი რეჟიმების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს ამძრავის ელემენტების მექანიკური და ელექტრული გადატვირთვების თვალსაზრისით. გარდამავალ პროცესს ადგილი აქვს ამძრავის გაშვების, დამუხრუჭების და სინქარეთა რეგულირებისას, მექანიზმის მხრიდან ძრავის ღერძზე დატვირთვის შეცვლისას (მოღებისას). იმ შემთხვევაში, როცა ითვალისწინებენ ძრავის ღუსის

წრედის გრანულიების ინდუქტიუობას (შესაბამისი ელექტრომაგნიტური მოვლენით) ამპრავის მექანიკურ ინერციულობასთან ერთად, გარდამავალ პროცესს განიხილავენ როგორც ელექტრომექანიკურს. იმ შემთხვევაში, როცა ძრავის ღუსის ინდუქტიუობას უგულებელყოფენ, მაშინ ამპრავის გარდამავალ პროცესს განიხილავენ როგორც მექანიკურს.

თავდაპირველად განვიხილოთ ძრავში მიმდინარე გარდამავალი რეეიმები მხოლოდ მექანიკური ინერციულობის გათვალისწინებით.

მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებითანი ძრავის საწყის განტოლებებზე ითვლება ამპრავის მოძრაობის ძირითადი განტოლება

$$M - M_{სტ} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (დ-80)$$

და ძაბვების განტოლება ღუსის წრედისათვის

$$U = E + IR_{ღწ.} \quad (დ-81)$$

დაეუშვათ, რომ ძრავის აგზნების ნაკადი უცვლელია ( $\Phi = const$ ), მაშინ  $c_j = K_K \Phi = const$  და  $M = c_j I$  და  $E = c_j \omega$ ,  $M_{სტ} = c_d I_{სტ}$ .

(80)-დან ადვილად ვწერთ, რომ ძრავის ღუსის დენი

$$I = \frac{J}{c_j} \frac{d\omega}{dt} + I_{სტ}. \quad (დ-82)$$

შევიტანოთ (დ-82)-ე გამოსახულება (დ-81)-ში, მივიღებთ

$$U = c_j \omega + \frac{JR_{ღწ.}}{c_j} \cdot \frac{d\omega}{dt} + I_{სტ} R_{ღწ.} \quad (დ-83)$$

გაეყოთ (დ-83)-ე განტოლება  $C_j$ -ზე და შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$$T_{გ} = \frac{JR_{ღწ.}}{c_j^2} - \text{ძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივია;}$$

$$\Delta\omega_{სტ} = \frac{I_{სტ} R_{ღწ.}}{c_j} - \text{ძრავას სინქარის სტატიკური ქარდნა.}$$

ამრიგად (დ-83)-დან გვექნება:

$$T_{გ} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 - \Delta\omega_{სტ} = \omega_{სტ}. \quad (დ-84)$$

ძრავას ღუსის დენის დიფერენციალური განტოლების მისაღებად მოვახდინოთ (დ-81)-ის გაწარმოება და მასში (დ-82)-დან  $\frac{d\omega}{dt}$ -ს მნიშვნელობის შეტანა, მივიღებთ

$$\frac{c_j^2 (I - I_{სტ})}{J} + R_{ღწ.} \frac{dI}{dt} = 0. \quad (დ-85)$$

საიდანაც გამარტივებით გვექნება

$$T_{გ} \frac{dI}{dt} + I = I_{სტ}. \quad (დ-86)$$

(დ-84)-ე და (დ-86)-ე დიფერენციალური განტოლებების მახასიათებელი განტოლებაა

$$T_{\text{გ}} P + I = 0, \quad (\text{დ-87})$$

რომლის ფესვია: 
$$P_1 = -\frac{I}{T_{\text{გ}}}. \quad (\text{დ-88})$$

დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნის წესის თანახმად (დ-84) და (დ-86)-ის სრული ამონახსნები ტოლი იქნება:

$$\omega = \omega_{\text{სტ}} + A \cdot e^{-I/T_{\text{გ}}}; \quad (\text{დ-89})$$

$$I = I_{\text{სტ}} + B \cdot e^{-I/T_{\text{გ}}} \quad (\text{დ-90})$$

ინტეგრების მუდმივების საკონენლად დაეუშვათ, რომ  $I=0$  მომენტში  $\omega = \omega_{\text{საწყ}}$  და  $I = I_{\text{საწყ}}$  (დ-89) და (დ-90)-ის მიხედვით ეწერთ:

$$A = \omega_{\text{საწყ}} - \omega_{\text{სტ}}; \quad (\text{დ-91})$$

$$B = I_{\text{საწყ}} - I_{\text{სტ}}. \quad (\text{დ-92})$$

შევიტანოთ (დ-91) და (დ-92) შესაბამისად (დ-89)-ში და (დ-90)-ში, გვექნება

$$\omega = \omega_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-I/T_{\text{გ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-I/T_{\text{გ}}}; \quad (\text{დ-93})$$

$$I = I_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-I/T_{\text{გ}}}\right) + I_{\text{საწყ}} e^{-I/T_{\text{გ}}}. \quad (\text{დ-94})$$

(დ-93) და (დ-94)-ით აიგება ძრავას გარდამავალი რეჟიმის სინქარის და დენის მრუდები ამძრავის გაქანებისას, როცა  $\omega_{\text{საწყ}}=0$  და  $I_{\text{საწყ}}=0$  ძრავას გარდამავალი რეჟიმის ხანგრძლივობა თეორიულად  $\infty$ -ის ტოლია, პრაქტიკულად კი იგი შეგვიძლია დამთავრებულად წაეთვალოთ  $I_{\text{გარდ.}} \approx 3 \cdot T_{\text{გ}}$  დროში.

#### დ.16. მუდმივი დენის ძრავს საფეხურებრივი გაშვების გარდამავალი პროცესები

განვიხილოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავის მექანიკური გარდამავალი პროცესი ორსაფეხურიანი გაშვების შესაბამისი მახასიათებლების მიხედვით.

ვისარგებლოთ წინა პარაგრაფში მიღებული (დ-93)-(დ-94) გამოსახულებებით

$$\omega_i = \omega_{\text{დამვი}} \left(1 - e^{-I/T_{\text{გ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}_i} e^{-I/T_{\text{გ}}}; \quad (\text{დ-95})$$

$$I_i = I_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-I/T_{\text{გ}}}\right) + I_{\text{საწყ}_i} e^{-I/T_{\text{გ}}}, \quad (\text{დ-96})$$

სადაც  $T_{\text{გ}_i} = \frac{J R_{\text{ლწ}_i}}{C^2}$  - არის ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივა

მისი მუშაობისას მექანიკური მახასიათებლის  $i$ -ური საფეხურის შესაბამისად;  $I_i$  - ძრავას მაქსიმალური დენია გაშვებისას;  $R_{\text{ლწ}_i}$  - არის ლუწის წრედის წინაღობა  $i$ -ური მექანიკური მახასიათებლის შესაბამისად. იმისათვის რომ ვიპოოთ ძრავის რეოსტატული გაშვებისას ცალკეულ საფეხურზე გაქანების



პროცესის ხანგრძლივობა დენის ცვლილებებისას  $I_1$  დან  $I_2$ -მდე უნდა ამოეხსნათ (დ-96)-ე განტოლება, საიდანაც გვექნება:

$$\frac{I_1 - I_{სტ}}{I_1 - I_{სტ}} = e^{-t/T_{მ}},$$

აქედან

$$t_i = T_{მ} \ln \frac{I_1 - I_{სტ}}{I_2 - I_{სტ}}. \quad (დ-97)$$

(დ-97)-ში  $I$  შეცვლილია  $I_2$ -ით, რადგან გადართვის დენი ყველა საფეხურზე ერთი და იგივეა. ამპრაჟის გაშვების შესაბამისი სინქარის და დენის გარდამავალი პროცესის მრუდები აიგება (დ-95) და (დ-96) გამოსახვლებებით.

(დ-95) და (დ-96)ის ანალიზი გვიჩვენებს ჩანს, რომ  $I$  საფეხურის გაშვების ხანგრძლივობა მეტია  $\Pi$  საფეხურზე და ა.შ. ე.ი.  $t_1 > t_2 > t_3$ , რაც აიხსნება ელექტრომექანიკური დროის მუდმივების შემდეგი თანაფარდობით:

$$T_{მ1} > T_{მ2} > T_{მ3} \text{უნ.} \quad (დ-98)$$

სადაც  $T_{მ3} \text{უნ.}$  - არის ამპრაჟის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივა ბუნებრივ მახასიათებელზე მუშაობისას.

#### დ-17. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებრივ ძრავას გარდამავალი პროცესები სამუხრუჭო რეჟიმებში

როგორც ვიცით ძრავების სწრაფად გაჩერებისათვის ხშირად იყენებენ ელექტრულ დამუხრუჭებას, კერძოდ უკუჩართვის დამუხრუჭებას. ამ დროს ძრავის ღუსაზე ძაბვის პოლარობას შეცვლიან, ხოლო ღუსის მიმდევრობით წართავენ უკუჩართვის დამატებით წინაღობას. გაშვებისაგან განსხვავებით დამუხრუჭება უმრავლეს შემთხვევაში წარმოებს ერთსაფეხურად.

ვინაიდან  $E = c_{\omega} \cdot \omega$  (როცა  $\Phi = \text{const}$ ) სამუხრუჭო რეჟიმზე გადართვის მომენტში ემპ არ იცვლება, ამიტომ დამუხრუჭების დასაწყისში ძრავას ემპ ტოლია:

$$E_{საწყ} = U - I_{სტ} R_{\text{ლ}} = c_{\omega} \omega_{საწყ}. \quad (დ-99)$$

ძრავას სინქარის და ბრუნვის მომენტის გარდამავალი პროცესის მრუდები ინტეგრირდება ფორმულებით

$$\omega = -\omega_{\text{ლაყ}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{ფ}}} \right) + \omega_{საწყ} e^{-t/T_{\text{ფ}}}; \quad (დ-100)$$

$$M = M_{სტ} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{ფ}}} \right) - M_{საწყ} e^{-t/T_{\text{ფ}}}. \quad (დ-101)$$

სადაც  $\omega_{\text{ლაყ}}$  - არის ძრავის სინქარე მისი უკუჩართვის რეჟიმთან შექანიკური მახასიათებლის გადაკეთარმდე  $M_{სტ}$ -სთან.

დამუხრუჭების სრული ხანგრძლივობა ამ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით:

$$I_{\text{მუხვ}} = T_{\text{კ}} \ln \frac{M_1 + M_{\text{სტ}}}{M_2 + M_{\text{სტ}}}, \quad (\text{დ-102})$$

რომელშიც ნანს, რომ ძრავას და მის ღერძზე წინააღობის სტატიკური მომენტების მიმართულებები თანხვედნილია არიან. როცა ძრავს სინქარე გახდება ნულის ტოლი იგი უნდა გამოირთოს ქსელიდან, წინააღმდეგ შემთხვევაში მოხდება ძრავის რევერსი.

განვიხილოთ ესლა დინამიკური დამუხრუჭების გარდამავალი პროცესი. ამ შემთხვევაში საანგარიშო ფორმულებია:

$$\omega = -\omega_{\text{ლაყ}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{კ}}} \right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{კ}}}; \quad (\text{დ-103})$$

$$M = M_{\text{სტ}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{კ}}} \right) - M_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{კ}}}, \quad (\text{დ-104})$$

სადაც  $\omega$  ლაყ - არის ძრავას სინქარე მექანიკური მახასიათებლის იმ წერტილში, სადაც ადგილი აქვს დატიტთეის მომენტის  $M_{\text{სტ}}$ -ის გადაკვეთას დინამიკურ სამუხრუჭო მახასიათებელთან (IV კუადრატში).

#### დ.18. მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავის გარდამავალი პროცესები საფეხურებრივი გაშვებისას

ენაიდან განსახილველი ძრავის მექანიკური მახასიათებლები არაწრფივია გარდამავალი პროცესის საანგარიშოდ სარგებლობენ გრაფიკული ნაწარმი მეთოდით.

ამძრავის მოძრაობის განტილებას წარმოადგენენ სასრულ ნაზრდებში, საიდანაც უიპოვით დროს

$$\Delta t = \frac{J}{M_{\text{ღინ}}} \cdot \Delta \omega \quad (\text{დ-105})$$

თუ, ამ ფორმულაში შეეიტანოთ  $\Delta \omega$ -სა და  $M_{\text{ღინ}} = (M_{\text{ძ}} - M_{\text{სტ}})$ -ის მნიშვნელობებს თანმიმდევრობით ადვილად ვიპოვით დროის შუალედებს სინქარეთა ნაზრდების შესაბამისად და ბოლოს სრული გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობას.

ნაყატაროთ ანგარიში I-ლი სინქარის ნაზრდისათვის

$$\Delta \omega_1 = \omega_1 - 0.$$

დრო, რომელიც საჭიროა ძრავას გასაქანებლად  $\omega_1$  სინქარემდე ტოლი იქნება

$$\Delta t_1 = \frac{J}{M_{\text{ძსაშ}} - M_{\text{სტ}}} \cdot \Delta \omega_1,$$

სადაც  $M_{\text{ძსაშ}} = \frac{M_{\text{გაქს}} + M_{\text{ძ}_1}}{2}$ . შემდეგ გადავიყაროთ მეორე უბანზე, რომლის-

თვისაც საშუალო მომენტი ტოლია:  $M_{\text{ძსაშ}} = \frac{M_{\text{ძ}_1} + M_{\text{ძ}_2}}{2}$

$$\text{დრო მეორე უბანზე } \Delta t_2 = \frac{l}{M_{\text{საპმ}} - M_{\text{სტ}}} \cdot \Delta \omega_2,$$

სადაც  $\Delta \omega_2 = \omega_2 - \omega_1$ . ანალოგიური ანგარიშები უნდა შესრულდეს ყველა დანარჩენ უბანზე და საბოლოოდ ავაგებთ გარდამავალი პროცესის მრუდებს ძრავის სინქარისა და ბრუნვის მომენტისათვის.

**დ.19. მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას გარდამავალი პროცესები უკუჩართვით დამუხრუჭების რეჟიმში**

მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას უკუჩართვის შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლის  $a$  და  $b$  წერტილებზე გაქატარებთ წრფეს და გარდამავალი რეჟიმის მრუდებს ეიანგარიშებთ ამ წრფის მიხედვით მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავის უჩ-ის გარდამავალი რეჟიმის ანალოგიურად.

**დ.20. სამუზა ასინქრონული ძრავას გარდამავალი რეჟიმები**

ასინქრონული ძრავას გაშვების და უკუჩართვის დამუხრუჭების რეჟიმების გარდამავალი პროცესების მრუდები იანგარიშება მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავს ანალოგიურად.

რაც შეეხება ასინქრონული ძრავას დინამიკური დამუხრუჭების გარდამავალი რეჟიმის მრუდები იანგარიშება შემდეგნაირად:

მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით სამუხრუჭო რეჟიმში მაქსიმალური მომენტი შეირჩევა პირობით

$$M_{\text{გაქს}} < M_K, \quad (\text{დ-106})$$

ხოლო მაქსიმალური სრიალი

$$s_{\text{გაქს}} \ll s_K \quad (\text{დ-107})$$

მაქსიმალურ სრიალს განესაზღვრავთ ფორმულით

$$s_{\text{გაქს}} = \frac{R_2'}{X_{\mu} + X_2'} \quad (\text{დ-108})$$

სადაც  $X_{\mu} = E_{20}' / I_{\mu}$ ;  $E_{20}' = 0,95U$  ფ.ნ.მ.

მაქსიმალურ მომენტს განესაზღვრავთ ფორმულით

$$M_{\text{გაქს}} = \frac{3I_{\text{მმ}}^2 X_{\mu}^2}{2\omega_0 (X_{\mu} + X_2')}, \quad (\text{დ-109})$$

სადაც  $I_{\text{მმ}} = (2 + 4) I_{\mu}$ . დინამიკური დამუხრუჭებისას მუდმივი დენის საანგარიშო სიდიდე ტოლია

$$I_{\text{მუდმ}} = \sqrt{\frac{3}{2}} I_{\text{მმ}}. \quad (\text{დ-110})$$

დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის საანგარიშო ფორმულა შემდეგნაირად გამოიხატება

$$M = \frac{2M_{\text{მაქს}}}{\frac{s}{s_{\text{მაქს}}} + \frac{s_{\text{მაქს}}}{s}} \quad (\text{დ-111})$$

დინამიკური დამუხრუჭების გარდამავალი პროცესის მრუდები (სინქარის და ბრუნვის მომენტის) იანგარიშება შემდეგი ფორმულებით:

$$\omega = -\omega_{\text{ლაქ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{პ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{პ}}}; \quad (\text{დ-112})$$

$$M = M_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{პ}}}\right) - M_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{პ}}}, \quad (\text{დ-113})$$

სადაც  $T_{\text{პ}} = J \frac{\omega_{\text{საწყ}}}{M_{\text{საწყ}}}$ .

როტორის ფაზებში დამატებითი აქტიური წინაღობის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$R_{\text{ლაქ}} = \left( \frac{s_{\text{საწყ}}}{s_{\text{ბ1}}} - 1 \right) R_2. \quad (\text{დ-114})$$

- [1] რ. ადამია, ჯ. დოჭვირი -სწრაფქმედი ტირისტორული ელექტროამძრავები მოდალური მართვით და დამკვირვებელი მოწყობილობებით //თბ., „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2003
- [2] რ. ადამია, ჯ. დოჭვირი -მრავალძრავიანი ავტომატიზებული ელექტროამძრავების დინამიკა // თბ., „მეცნიერება“, 2004
- [3] Барышников В.Д., Дочвирн Дж. Н.- Современные автоматизированные тиристорные электроприводы бумагоделательных машин // Л., ЛДНТП., 1979
- [4] Бесекерский В.А., Попов Е.П. -Теория систем автоматического регулирования // М., Наука, 1975.
- [5] Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. -Автоматизированный электропривод с упругими связями // С-Пб, Энергоатомиздат, 1992.
- [6] ჯ. დოჭვირი - ავტომატიზებული ელექტროამძრავების გარდამავალი პროცესების გაანგარიშება ცვლადების მდგომარეობის სივრცის და სიხშირული მახასიათებლების მეთოდებით // თბ., „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2003.
- [7] ჯ. დოჭვირი, ი. დოჭვირი -ელექტროენერგეტიკული მანქანების კიბერნეტიკული მართვის საფუძვლები // თბ., „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008
- [8] ო. კერვალიშვილი, ჯ. დოჭვირი -ელექტროამძრავების ავტომატური მართვა // თბ., სპი, 1983
- [9] Leonhard W. -Control of electric drive // Springer, Berlin, 2002.
- [10] Слежановский О.В. -Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока // М., Энергоатомиздат, 1983.

- [1] Адамия Р.Ш., Дочвири Дж. Н.-Оптимальные переходные процессы многодвигательного автоматизированного упругого электропривода //Сб. докл. междунауч. конф. „Проблемы Управления и Энергетики”, ин-т Систем управления АН Грузии, Тбилиси, 2004, с. 555-559
- [2] Adamia R., Dochviri J.-Optimization of Transient Processes in Electromechanical Systems of Winding Mechanisms // Bull. Georg. Acad. Sci., 2004, v. 169, N1, pp. 104-107
- [3] Барышников В.Д., Дочвири Дж. Н., Шестаков В.М. Динамика двухдвигательного электропривода буммашины с упругими механическими передачами // М., ж. «ЭЛЕКТРОПРИВОД», 1976, 7(51) с. 6-10
- [4] Dochviri J. -Dynamics of thyristor electric drive with digital control // J. „Russian Electrical Engineering”, ISSN 1068-3712, Allerton Press, New-York., USA, 2002, v. 73(11), pp. 13-21
- [5] Dochviri J. -Kalman-Frobenius dynamic optimization of a thyristor drive withan elastic component // J. „Russian Electrical Engineering”, ISSN 1068-3712, Allerton Press, New-York., USA, 2004, v. 75(5), pp. 7-17
- [6] Дочвири Дж.Н. -Оптимизация динамики тиристорного электропривода с упругим звеном по критериям Калмана-Фробениуса // ж. „Электричество” РАН, М., 2005, №1, с. 26-31
- [7] Дочвири Дж. Н., Дочвири И. Д., Берадзе Н. Дж. -Динамика системы управления тиристорного электропривода с регулированием возбуждения электродвигателя // ж. «Технічна Електродинаміка» Нац. АНУ, Кнев 2005, №6, с.30-35

- [8] Дочвири Дж.Н. -Оптимизация переходных процессов многодвигательных тиристорных электроприводов с упругими связями прессовых механизмов непрерывных технологических машин //ж. „Электричество” РАН, М., 2006, №2, с. 34-42
- [9] Дочвири Дж. Н., Дочвири И. Дж., Шинджикашвили И.А. Динамика частотно-регулируемого асинхронного электропривода при дискретном управлении //ж. „Технічна Електродинаміка”, Нац. АНУ, Киев, 2007, №1, с. 40-47
- [10] Дочвири Дж.Н.-Динамика упругого электромеханического привода с фильтром Калмана-Бьюси // СП-Б, ж., „Изв. ЛЭТИ”, 2001, № 1, с. 33-40
- [11] Кервалишвили О. Г., Дочвири Дж. Н. -Динамика двухдвигательного тиристорного электропривода с одним РС и двумя ТП // Сообщения АН Грузии, 1978, №2 ,т.91, с. 57-61
- [12] Кервалишвили О. Г., Дочвири Дж. Н. -Динамика тиристорного электропривода продольно-резательного станка бумаги // ж., „Изв. Вузов Электромеханика”,1982, №3, с.367-371

**Robert Adamia, Jumber Dochviri - Control of the Systems of Electrical Drives with feedbacks, Tbilisi, „Metsniereba”, 2008**

**Адамия Роберт Шалвович, Дочвири Джумбер Николаевич Управление систем электроприводов с обратными связями, Тбилиси , „Мецниереба”, 2008**

პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 8.

ტირაჟი 100 ეგზ.