

ჯუმბერ დოჭვირი

**ავტომატიზებული
ელექტროამძრავების
საფუძვლები
II ნაწილი**

დამტკიცებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ სახელმძღვანელოდ
09.03.2012, ოქმი №1

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“
თბილისი-2012

სახელმძღვანელოში განხილულია როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის ელექტროძრავების სტატიკური და დინამიკური რეჟიმები, აგრეთვე სიჩქარის რეგულირების ხერხები. განსაზღვრულია ამძრავთა ცალკეული ელემენტების გადამცემი ფუნქციები. განხილულია საკითხები ელექტროამძრავების უკუკავშირის სისტემების დინამიკური რეჟიმების ოპტიმიზების შესახებ.

წიგნი განკუთვნილია ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის იმ სტუდენტებისათვის, რომლებიც სწავლობენ ელექტრული ამძრავების დისციპლინებს.

რეცენზენტები: პროფესორი ვ. გოგილაშვილი;
პროფესორი ა. ვაშაკიძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2012

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი	6
I თავი. ელექტროამძრავის მექანიკა	8
§1.1. წინაღობის და ინერციის მომენტების დაყვანა ძრავას ღერძზე.....	8
§1.2. ამძრავის მოძრაობის განტოლებების შედგენა	11
§1.3. საწარმოო მექანიზმების კლასიფიკაცია	14
II თავი. ელექტროძრავების მექანიკური მახასიათებლები	17
§2.1. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) ადგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები.....	17
§2.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ადგზნებიანი ძრავას ამუშავების წინაღობების გაანგარიშება.....	22
§2.3. დამოუკიდებელ ადგზნებიანი ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები.....	25
§2.4. ცვლადი დენის სამფაზა ასინქრონული ძრავების მექანიკური მახასიათებლები.....	31
§2.5. სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას ამუშავების წინაღობების გაანგარიშება.....	36
§2.6. სამფაზა ასინქრონული ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები.....	37
III თავი. ელექტროძრავების სინქარის რეგულირება	42
§3.1. ზოგადი განმარტებები ელექტროძრავების სინქარის რეგულირების შესახებ	42
§3.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ადგზნებიანი ძრავას სინქარის რეგულირების ხერხები.....	47
§3.3. სამფაზა ასინქრონული ძრავას სინქარის რეგულირების ხერხები.....	52
IV თავი. გარდამავალი პროცესები ელექტროძრავებში	58

§4.1. ზოგადი მიმოხილვა.....58

§4.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ალგზნებიანი ძრავას გარ-
დამავალი პროცესი ამუშავებისას.....58

§4.3. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი ალგზნებიანი ძრავას გარ-
დამავალი პროცესები საფეხურებრივი ამუშავებისას.....61

§4.4. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ალგზნებიანი ძრავას გარდ-
ამავალი პროცესები სამუხსრუჭო რეჟიმებში.....64

**V თავი. მუდმივი დენის გენერატორისა და ელექტროამძრავის
უკუკავშირიანი მართვის სისტემები. ძირითადი ელემენტების
გადამცემი ფუნქციები და სტრუქტურული სქემები.....67**

§5.1. მუდმივი დენის გენერატორის ძაბვის რეგულირების უკუ-
კავშირიანი სისტემა.....67

§5.2. მუდმივი დენის ელექტროამძრავის უკუკავშირიანი მართ-
ვის სისტემის სტატიკა.....72

§5.3. მუდმივი დენის გენერატორის გადამცემი ფუნქცია 80

§5.4. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ალგზნებიანი ძრავას გა-
დამცემი ფუნქციები 82

§5.5. ტირისტორული გარდამსახის, რეგულატორების, გადამწო-
დებისა და ოთხპოლუსების გადამცემი ფუნქციები 89

**VI თავი. ელექტროამძრავების უკუკავშირიანი სისტემების
დინამიკური ოპტიმიზების სისშირული მეთოდები.....96**

§6.1. ელექტროამძრავების ძირითადი ელემენტების სისშირული
მახასიათებლები..... 96

§6.2. წრფივ სისტემათა მდგრადობის კრიტერიუმები..... 110

§6.3. წრფივ სისტემათა დინამიკური ოპტიმიზების უნივერსალუ-
რი მეთოდი119

§6.4. რეგულირების ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები.....124

§6.5. რეგულირების სარისხის გაუმჯობესება მაკორექტირებელი
მოწეობილობებით..... 127
ლიტერატურა.....136

შესავალი

თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამძრავი წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ დანადგარს, რომელიც ახორციელებს რთული ტექნოლოგიური მანქანების ცალკეული მექანიზმების მოძრაობას. იმისდა მიხედვით, თუ როგორი მოთხოვნები აქვს წაყენებული ელექტროამძრავს მუშაობის სიზუსტის, სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონისა და დინამიკური სწრაფქმედების თვალსაზრისით მისი მართვის სისტემა შეიძლება შესრულებულ იქნას გახსნილწრედიანი (რელე-კონტაქტორებიანი) ან შეკრულწრედიანი (უკუკავშირებიანი) პრინციპით. პრაქტიკაში ისეთი ტექნოლოგიური მანქანების ამძრავებად, რომელთაც ესაჭიროებათ დიდ დიაპაზონში სიჩქარის მდოვრე რეგულირება უმთავრესად გამოიყენება ტირისტორული გამმართველიანი მუდმივი დენის ელექტროამძრავები. უნდა აღვნიშნოთ ისიც, რომ ბოლო წლებში, ზოგიერთი ელექტროტექნიკური ფორმა ინტენსიურად მუშაობს ცვლადი დენის სამფაზიან ასინქრონულძრავიან და სისშირულგარდამსახიანი ელექტროამძრავების შექმნაზე. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ასინქრონულ ძრავას სარემონტო ხარჯები თითქმის არ გააჩნია, მაშინ როცა მუდმივი დენის ძრავებს ექსპლუატაციის პერიოდში ესაჭიროებათ ხშირი რემონტი კოლექტორისა და მუსების დაზიანების გამო. აქვე არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ სისშირისგარდამქმნელიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის ნაკლოვანებაც, კერძოდ, ასინქრონული ძრავას მკვებავი სისშირის გარდამქმნელის სქემა გაცილებით რთულია და მართვის სისტემის ელემენტებიც მასში უფრო მრავლადა

გამოყენებული, რაც პირდაპირ კავშირშია დანადგარის მუშაობის საიმედოობის შემცირებასთან.

რეგულირებადი ელექტროამძრავის მართვის სისტემის შემდგომი განვითარების ტენდენცია ითხოვს მუშაობის სიზუსტის და სწრაფქმედების განუწყვეტელ ზრდას. ამ მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად მთავარ ხელშემშლელ ფაქტორებად ითვლება შემშფოთი სიგნალების ცვლილების მაკომპენსირებელი მოწყობილობების რეალიზების სირთულე და ამძრავთა ტრანსმისიებში არსებული დრეკადი ელემენტები (გრძელი ლილვები), რაც ხშირად გამოწვეულია მანქანის ტექნოლოგიური ან კონსტრუქციული თავისებურებებით. ელექტროამძრავთა დრეკადი ელემენტების ბოლოებში განთავსებული ინერციული მასები დინამიკურ რეჟიმში მოდიან ძლიერ რხევით (გრეხით) მოძრაობაში, რასაც რეალობათა გაუთვალისწინებლობის შემთხვევაში შეუძლია გამოიწვიოს დანადგარის მწყობრიდან გამოსვლა ვადაზე ადრე. ხშირად ამავე მიზეზითაა შეზღუდული ელექტროამძრავის დინამიკური სწრაფმოქმედების გაზრდის შესაძლებლობაც.

ზემოთ აღნიშნულ პრობლემებთან დაკავშირებით წიგნში ძირითადად განხილულია ყველა ის მთავარი საკითხი, რომლებიც აუცილებელია თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამძრავების შესასწავლად.

I თავი. ელექტროამძრავების მექანიკა
§1.1. წინაღობის და ინერციის მომენტების დაყვანა
ძრავას ღერძზე

ელექტროამძრავი წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ სისტემას, რომელიც შედგება ელექტრული ძრავასაგან, მოძრაობის გადამცემი მოწყობილობისაგან და მექანიზმის მოძრავი ნაწილისაგან. იმისდა მიხედვით, თუ როგორ მიეწოდება მექანიკური ენერგია ძრავადან მექანიზმის მუშა ლილვს, არსებობს სამი ძირითადი ტიპის ამძრავი— ჯგუფური, ინდივიდუალური და მრავალძრავიანი. ჯგუფურ ამძრავში ერთი ძრავათი მოძრაობაში მოდის რამდენიმე მუშა ლილვი. ინდივიდუალურ ამძრავში მანქანის ყოველ მუშა ლილვს ემსახურება დამოუკიდებელი ელექტროძრავა. მრავალძრავიანი ამძრავის შემთხვევაში კი ერთ მუშა ლილვს ერთდროულად ამუშავებს ორი ან მეტი ძრავა. მრავალძრავიან ამძრავად განიხილება აგრეთვე მსხვილი ტექნოლოგიური მანქანის მაგ., ქალაქის დამამზადებელი მანქანის, ელექტროამძრავიც, როცა მის ცალკეულ სექციებს აქვს ინდივიდუალური ამძრავები, მაგრამ მართვის სისტემა აქვთ საერთო.

ელექტროძრავას ბრუნვითი მოძრაობისაგან შესაძლებელია, მოძრაობის შედარებით მარტივი გადამცემი მოწყობილობების (მაგ., კბილანა რედუქტორების ან ღვედური გადაცემების) გამოყენებით, მივიღოთ სხვა სიდიდის ბრუნვითი მოძრაობა ან დოლზე დახვეული ბაგირით გადატანითი (წრფივი) მოძრაობა. არსებობს უფრო რთული ტიპის მექანიკური გადაცემებიც მაგ., ჭიახრახნული, მრუდმხარა-ბარბაცა და სხვ.

მოძრაობის გადამცემ მექანიკურ მოწყობილობას ახასიათებს შემდეგი სიდიდეები: გადაცემის რიცხვი (რედუქტორებსა

და ღვედურ გადაცემებში) – i ; ინერციის მომენტი $-J$ ან მასა $-m$; შემაერთებელი ლილვების სიხისტის კოეფიციენტები $-C_j$; მ κ კოეფიციენტი ხახუნით გამოწვეული დანაკარგების გამო; ლუფტები (საპაერო ღრეჭოები) კინემატიკურ წყვილებში, მაგ., რედუქტორის კბილანებში, ლილვების შემაერთებელ ქუროებში და სხვ.

როგორც მუშა მანქანებს, ისე მათ ამძრავებს (ძრავას, მექანიკურ გადაცემ მოწყობილობას და მექანიზმის მუშა ლილვს) საერთოდ მუშაობა უხდებათ ორ ძირითად რეჟიმში სტატიკურსა (დამყარებულ რეჟიმში) და დინამიკურში (გარდამავალ რეჟიმში). სტატიკურ რეჟიმში ამძრავს უწევს მექანიზმის წინაღობის სტატიკური მომენტის დაძლევა, ხოლო დინამიკურში ამძრავმა უნდა დასძლიოს როგორც სტატიკური წინაღობის ძალები, ისე დინამიკური ანუ ინერციის ძალები.

მექანიზმის წინაღობის, ე.წ. სტატიკური მომენტის ძრავას ღერძზე დასაყვანად უნდა გამოვიყენოთ სიმძლავრეთა ბალანსის შემდეგი ფორმულა:

$$P_{სტ} = P_{მექ} / \eta, \tag{1.1}$$

სადაც $P_{სტ}$ არის ძრავას ღერძზე წინაღობის სიმძლავრე; $P_{მექ}$ – მექანიზმის სიმძლავრე, რომელსაც იგი განავითარებს მუშა ოპერაციის შესრულებისას; η – მოძრაობის გადაცემი მოწყობილობის მ κ კოეფიციენტი.

ბრუნვითი მექანიზმებისათვის ცნობილია, რომ სიმძლავრე

$$P = M \cdot \omega, \tag{1.2}$$

სადაც M არის ბრუნვის მომენტი; ω – ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.

(1.2)-ის თანამახსმად მექანიზმის სიმძლავრე $P_{მეძ} = M_{მეძ} \cdot \omega_{მეძ}$
 და მისი მნიშვნელობა ძრავას ღერძზე $P_{სტ} = M_{სტ} \cdot \omega_{ა}$, ამიტომ
 (1.1)-ე შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$M_{სტ} \omega_{ა} = M_{მეძ} \cdot \omega_{მეძ} / \eta. \quad (1.3)$$

(1.3)-დან ადვილად განისაზღვრება ძრავას ღერძზე დაყვანილი წინაღობის სტატიკური მომენტი

$$M_{სტ} = M_{მეძ} / i \cdot \eta, \quad (1.4)$$

სადაც i რედუქტორის გადაცემის რიცხვია $\left(i = \frac{\omega_{ა}}{\omega_{მეძ}} \right)$.

ორსაფეხურიანი რედუქტორის შემთხვევაში

$$M_{სტ} = M_{მეძ} / i_1 \cdot i_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2. \quad (1.5)$$

თუ მექანიზმი ასრულებს გადატანით (წრფივ) მოძრაობას, მაშინ

$$M_{სტ} = F_{მეძ} \cdot V_{მეძ} / \omega_j \cdot \eta, \quad (1.6)$$

სადაც $F_{მეძ}$ მექანიზმის ძალაა, რომელიც საჭიროა მუშა ოპერაციის შესასრულებლად; $V_{მეძ}$ – მექანიზმის წრფივი სიჩქარე.

მანქანისა და ამძრავის მოძრავი ნაწილების ინერციული მასებისა და ინერციის მომენტები ძრავას ღერძზე დაიყვანება კინეტიკურ ენერგიათა ბალანსით:

$$J_{მძ} \cdot \frac{\omega_{ა}^2}{2} = J_{ა} \frac{\omega_{ა}^2}{2} + \sum_{q=1}^n J_q \frac{\omega_q^2}{2} + \sum_{l=1}^v m_l \frac{v_l^2}{2}, \quad (1.7)$$

სადაც $J_{\text{ექვ}}$ არის ამძრავის მთელი მექანიკური სისტემის ექვივალენტური (ჯამური) დაყვანილი ინერციის მომენტი; $J_{\text{ძ}}$ – ძრავს მოძრავი ნაწილის (ღუზის ან როტორის) ინერციის მომენტი, კგმ²; J_q – სისტემის q -ური რგოლის ინერციის მომენტი, ω_q – ცალკეული q -ური რგოლის კუთხური სიხქარე; m_l – წრფივად მოძრავი l –ური რგოლის მასა, V_l – შესაბამისი რგოლის წრფივი სიხქარე.

(1.7)-დან ადვილად ვიპოვით ამძრავის ღერძზე დაყვანილ ჯამურ ინერციის მომენტს:

$$J_{\text{ექვ}} = J_{\text{ძ}} + \sum J_q / i^2 q + \sum_{l=1}^v m_l \frac{v_l^2}{\omega_q^2}. \quad (1.8)$$

ელექტროძრავების კატალოგებში ზოგჯერ ინერციის მომენტის (J) ნაცვლად მოცემულია მქნევარა მომენტის (GD^2) მნიშვნელობა. მათ შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება

$$J = GD^2/4, \quad [\text{კგ.მ}^2] \quad (1.9)$$

მქნევარა მომენტის განზომილებაა კგ.მ^2 (ანუ კგძ.მ^2).

§12. ამძრავის მოძრაობის განტოლებების

შედგენა

თეორიული მექანიკიდან ცნობილია მოძრაობის განტოლებათა შედგენის ორი მეთოდი – დალამბერის და ლაგრანჟის.

ამძრავებში ძირითადად იყენებენ დალამბერის მეთოდს, რომელიც დაფუძნებულია შემდეგ პირობაზე: სისტემის მოძრაობისას დროის ნებისმიერ მომენტში მასების ინერციის ძალების, გარე

ძაღებისა და კინემატიკურ წყვილებში წარმოქმნილი რეაქციის ძაღების ჯამი უნდა იყოს ნულის ტოლი. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, მთელი სისტემა უნდა იყოს დინამიკურად გაწონასწორებული.

თუ ამძრავი ხისტლიღვიანია (არ აქვს გრძელი შემაერთებული ღიღვი), მოძრაობის განტოლება შემდეგნაირად გამოისახება:

$$M - M_{სტ} = M_{ღინ}, \quad (1.22)$$

სადაც M არის ძრავას მიერ განვითარებული ბრუნვის მომენტი; $M_{სტ}$ -წინაღობის (სტატიკური) დაყვანილი მომენტი მექანიზმის მხრიდან; $M_{ღინ}$ -ამძრავის დინამიკური მომენტი, რომელიც ახასიათებს სისტემის კინეტიკური ენერჯის ცვლილებას.

$M_{ღინ}$ -ის განსაზღვრის მიზნით (1.22)-ის ანალოგიურად ჩაწეროთ სიმძღაერეთა ბალანსის ფორმულა

$$P - P_{სტ} = P_{ღინ}, \quad (1.23)$$

თეორიული მექანიკის კურსიდან ვიცით, რომ

$$P_{ღინ} = \frac{dJ}{dt} \frac{\omega^2}{2} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt}. \quad (1.24)$$

(1.24)-ის გაყოფით ω -ზე მივიღებთ დაღამბერის პრინციპით ჩაწერიღ ამძრავის მოძრაობის განტოლებას

$$M - M_{სტ} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}. \quad (1.25)$$

თუ ამძრავის ინერციის მომენტი $J = const$, მაშინ (1.25)-ე ფორმულა გამარტივდება და გვექნება

$$M - M_{სტ} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.26)$$

(1.26)-ის თანახმად, თუ $M > M_{სტ}$, ე.ი. $M_{ღინ} > 0$, მაშინ ადგილი ექნება ამძრავის აჩქარებას. თუ $M_{ღინ} < 0$, მაშინ ადგილი ექნება ამძრავის შენელებას. თუ $M = M_{სტ}$ (ე.ი. $M_{ღინ} = 0$), მაშინ ამძრავი მუშაობს $\omega = const$ მუდმივი სიჩქარით (ან ამძრავი გაჩერებულია), ასეთ რეჟიმს უწოდებენ დამყარებულს (სტატიკურს).

დრეკადი მექანიკური ლილევიანი ერთძრავიანი ამძრავის მოძრაობის განტოლებებია:

$$\begin{cases} M - M_{ღრ} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_{ღრ} - M_{სტ} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{ღრ} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + b(\omega_1 - \omega_2). \end{cases} \quad (1.27)$$

სადაც φ_1 და φ_2 არის შესაბამისად ინერციული მასების მობრუნების კუთხეები $\left(\omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}; \omega_2 = \frac{d\varphi_2}{dt} \right)$.

საერთო მექანიზმზე მომუშავე ორძრავიანი დრეკადრგოლებიანი ამძრავისათვის დალამბერის პრინციპით შედგენილი მოძრაობის განტოლებები შემდეგი სახისაა:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 - M_{\text{ღ}61} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \\ M_2 - M_{\text{ღ}62} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \\ M_{\text{ღ}61} + M_{\text{ღ}62} - M_{\text{სტ}} = J_a \frac{d\omega_a}{dt}; \\ M_{\text{ღ}61} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_a) + b_1(\omega_1 - \omega_a); \\ M_{\text{ღ}62} = C_{23}(\varphi_2 - \varphi_a) + b_2(\omega_2 - \omega_a). \end{array} \right. \quad (1.28)$$

(1.27)- და (1.28)- განტოლებები მართებულია ჰუკის კანონის მოქმედების ფარგლებში, ე.ი. შედარებით მცირე დეფორმაციის ფარგლებში (დიდი დეფორმაციის პირობებში მოსალოდნელია ლილვის პლასტიკური-ნარჩენი დეფორმაცია, ამ დროს ჰუკის კანონი პროცესის გასაანალიზებლად საკმარისი არ არის).

§13. საწარმოო მექანიზმების კლასიფიკაცია

ამძრავის რაციონალური მუშაობისათვის აუცილებელია მექანიზმის $\omega = f(M)$ მექანიკური მახასიათებლის გათვალისწინება. სხვადასხვა მექანიზმს სხვადასხვა მექანიკური მახასიათებელი აქვს. მათი კლასიფიკაციისათვის იყენებენ შემდეგ ემპირიულ ფორმულას:

$$M_{\text{სტ}} = M_{\text{სტ}0} - \left(M_{\text{სტ.ნომ}} - M_{\text{სტ}0} \right) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ნომ}}} \right)^x, \quad (1.33)$$

სადაც $M_{\text{სტ}0}$ არის მექანიზმის წინაღობის მომენტი უქმი სველისას; $M_{\text{სტ.ნომ}}$ - ნომინალური დატვირთვის მომენტი; x -

კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს დამოკიდებულებას $M_{\text{სტ}}$ -სა და ω -ს შორის.

მექანიზმების კლასიფიკაცია ხდება x -ის მიხედვით, შემდეგნაირად:

1) თუ $x=0$, მაშინ $M_{\text{სტ}}=M_{\text{სტ,ნომ}}=\text{const}$. ასეთი დატვირთვის მქონე მექანიზმებს უწოდებენ მუდმივ სტატიკურ მომენტიანს. მათ რიცხვში შედის მაგ., ამწეები, კონვეიერები, ლითონმჭრელ ჩარხზე მიწოდების მექანიზმები, ქალაღდის დამამზადებელი მანქანების საშრობი და საწნეხი სექციები, აგრეთვე მეტალურგიული საგლინი დგანები და სხვ.

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

3) თუ $x=-1$, მაშინ $M_{\text{სტ}}$ -სა და ω -ს შორის არის პიპერბოლური (უკუპროპორციული) დამოკიდებულება. ასეთი მახასიათებლის მქონე მექანიზმები მუშაობენ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით, $P_{\text{სტ}}=\text{const}$. ასეთი მახასიათებელი აქვს ლითონმჭრელ ჩარხებზე შპინდელის მექანიზმებს, ქალაღდის ან ძაფის დამხვევ მექანიზმებს და სხვ.

4) თუ $x=2$, მაშინ $M_{\text{სტ}} = f(\omega^2)$. ასეთი მახასიათებელი აქვთ ვენტილატორებს, ტუმბოებს და კომპრესორებს. ამ ტიპის მახასიათებლის მქონე მექანიზმებს უწოდებენ ვენტილატორულს.

შენიშვნა: როცა $P_{\text{სტ}}=\text{const}$, განიხილება ორი შემთხვევა:

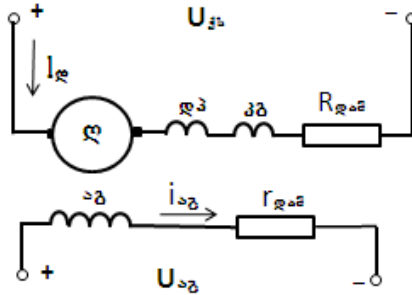
1) მექანიზმები, რომელთაც აქვთ სიმძიმის ძალით გამოწვეული აქტიური წინაღობის მომენტი. მისი ნიშანი დამოკიდებული არ არის მოძრაობის მიმართულებაზე; 2) მექანიზმები, რომელთაც აქვთ ხახუნის ძალით გამოწვეული რეაქტიული წინაღობის მომენტი და მისი ნიშანი იცვლება მოძრაობის მიმართულების შეცვლასთან ერთად. ხოლო, როცა მოძრაობა შეჩერებულია $M_{სტ}=0$.

II თავი. ელექტროძრავების მექანიკური მახასიათებლები

მაღალი სიზუსტით მომუშავე ტექნოლოგიური მანქანებისა და მექანიზმების ავტომატიზებულ ელექტროამძრავებში ძირითადად გამოიყენება მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) აღგზნებიანი ძრავები, ზოგჯერ ვხვდებით ცვლადი დენის სამფაზიან ასინქრონული ძრავასაც. ამიტომ ქვემოთ ჩვენ მხოლოდ ამ ტიპის ძრავებს და მათი მუშაობის რეჟიმებს შევისწავლით დეტალურად.

§2.1. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) აღგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ამ ტიპის ძრავას ელექტრული ჩართვის სქემა წარმოდგენილია 1-ლ სურათზე, რომელზედაც: $U_{ქს}$ და $U_{აგ}$ - არის შესაბამისად დუზის და აღგზნების გრაგნილებისძაბვები $ა$ - ძრავას დუზაა; $აგ$ - ძრავას აღგზნების გრაგნილი ; $აა$ და $აგ$ - დამატებითი პოლუსების და დუზის რეაქციის საკომპენსაციო გრაგნილებია; $I_{დ}$ და $i_{აგ}$ - შესაბამისად დუზის და აღგზნების წრედების დენებია; $R_{დამ}$ და $r_{დამ}$ - დუზის და აღგზნების წრედებში ჩართული დამატებითი წინაღობებია.



სურ. 1

მანამ სანამ განვიხილავთ უშუალოდ ძრავას მექანიკურ მახასიათებლებს მოკლედ ავხსნათ მისი ქსელთან მიერთების და ამუშავების პროცესი. ძრავას აგზნების გრაგნილს წინასწარ ან ღუზის გრაგნილთან ერთად უნდა მივაწოდოთ ძაბვა. აღზნების გრაგნილში დენის გაველით მანქანაში შეიქმნება უძრავი მაგნიტური ველი. ხოლო მას შემდეგ, რაც ღუზის გრაგნილში გაივლის დენი, მისი ურთიერთქმედებით ძრავაში არსებულ მაგნიტურ ველთან, მის დერძზე შეიქმნება ბრუნვის მომენტი. ძრავა დაიწყებს მუშაობას აჩქარებულად და მისი სინქარე დამყარდება იქ, სადაც ძრავას ბრუნვის მომენტი გაუტოლდება დერძზე მოდებულ დატვირთვის მომენტს. ქსელთან ჩართვის ეს პროცედურა საკმარისია მცირე სიმძლავრის ძრავებისათვის. რაც შეეხება საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავებს, მათი ქსელთან მიერთება, როგორც წესი, ხორციელდება ღუზის გრაგნილთან მიმდევრობით ჩართული დამატებითი წინაღობით. მის გარეშე ძრავაში (ღუზაში) მოსალოდნელია გაიაროს ნომინალურზე 10-ჯერ და უფრო მეტი სიდიდის ამუშავების (ე.წ. მოკლე ჩართვის) დენმა ღუზის გრაგნილის აქტიური წინაღობის სიმცირის გამო. დამატებითი

წინააღმდეგობის გარეშე ამუშავების დიდ დენს შეუძლია გამოიწვიოს ძრავას სერიოზული დაზიანება (დაწვა).

განსახილველი ძრავას მექანიკური მახასიათებლის $\omega = f(M)$ ფორმულის მისაღებად საჭიროა ჩავწეროთ ძაბვების წონასწორობის განტოლება ღუზის წრედისათვის

$$U = E + (R_{\text{ლ}} + R_{\text{დაბ}})I_{\text{ლ}}, \quad (2.1)$$

სადაც $I_{\text{ლ}}$ არის ძრავას ღუზის დენი; $R_{\text{ლ}}$ და $R_{\text{დაბ}}$ – ღუზის გრაგნილის და მის წრედში ჩართული დამატებითი აქტიური წინააღმდეგობები ; E – ღუზაში ინდუქციონებული ე მ ძალაა, რომელიც თავის მხრივ, ტოლია

$$E = K_{\text{ვ}} \cdot \phi \cdot \omega. \quad (2.2)$$

თუ ძრავას მაგნიტური ნაკადი $\phi = \text{const}$, მაშინ

$$E = c \omega, \quad (2.3)$$

სადაც: $c = K_{\text{ვ}} \cdot \phi$.

$K_{\text{ვ}} = \frac{PN}{2\pi a}$ არის ძრავას კონსტრუქციული მუდმივა; P – წვეილ პოლუსთა რიცხვი; N – ღუზის გრაგნილის აქტიურ გამტართა რიცხვი; a – ღუზის გრაგნილის პარალელურ შტოთა რიცხვი. თუ (2.2)-ს შევითანთ (2.1)-ში და ამოვხსნით ω -ს მიმართ მივიღებთ ძრავას სიჩქარული მახასიათებლის $\omega = f(I_{\text{ლ}})$ ფორმულას :

$$\omega = \frac{U}{K_{\text{ვ}} \cdot \phi} - \frac{R_{\text{ლ}}}{K_{\text{ვ}} \cdot \phi} \cdot I_{\text{ლ}}, \quad (2.4)$$

სადაც $\omega_0 = \frac{U}{K_d \cdot \phi}$ არის ძრავას უქმი სვლის იდეალური სინ-

ქარე; $R_{ლწ} = R_{ლ} + R_{ლმ}$ -ძრავას ღუზის წრედის სრული წინა-
 ღობა. (2.4)-ში მეორე მდგენელი წარმოადგენს ძრავას სინქარის
 ვარდნას დატვირთვის შესაბამის სიდიდემდე.

ცნობილია, რომ ძრავას ბრუნვის მომენტი

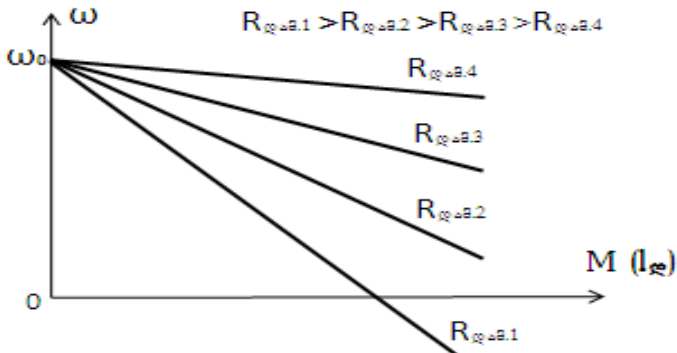
$$M = K_d \Phi I_{ლ} = c_d \cdot I_{ლ}. \quad (2.5)$$

სადაც c_d -არის ძრავას პროპორციულობის კოეფიციენტი.

მისი შეტანით (2.4)-ში მივიღებთ ძრავას მექანიკური მახასია-
 თებლის ფორმულას

$$\omega = \frac{U}{c_d} - \frac{R_{ლწ} \cdot M}{c_d^2}. \quad (2.6)$$

(2.6)-ის თანახმად ძრავას მექანიკური მახასიათებელი
 $\omega = f(M)$ წარმოადგენს წრფეს, რომლის დახრილობას განსაზ-
 ზვრავს მისი ღუზის გრავნილის $R_{ლწ}$ -ის სიდიდე. (2.6)-ის შე-
 საბამისი მახასიათებლები მოცემულია მე-2 სურათზე.



სურ. 2

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

ძრავას ბუნებრივი სიჩქარული მახასიათებლის აგება ხდება მისი საპასპორტო მონაცემების ($U_{\text{ნომ}}, I_{\text{ნომ}}, n_{\text{ნომ}}, R_{\text{დ.ძრ}} \text{ და } \eta$) მიხედვით. ამ მიზნით საკმარისია მახასიათებლის ორი წერტილის პოვნა (გამოთვლა). პირველ წერტილად იღებენ იდეალური უქმი სვლის სიჩქარეს (როცა $I_{\text{ღ}} = 0$):

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ნომ}}}{c_d}, \quad (2.7)$$

c_d – ძრავას ემ ძალის პროპორციულობის კოეფიციენტს განსაზღვრავენ მისი საპასპორტო მონაცემებით, შემდეგი ფორმულით

$$c_d = \frac{U_{\text{ნომ}} - I_{\text{ღ-ნომ}} R_{\text{ღ}}}{\omega_{\text{ნომ}}}. \quad (2.8)$$

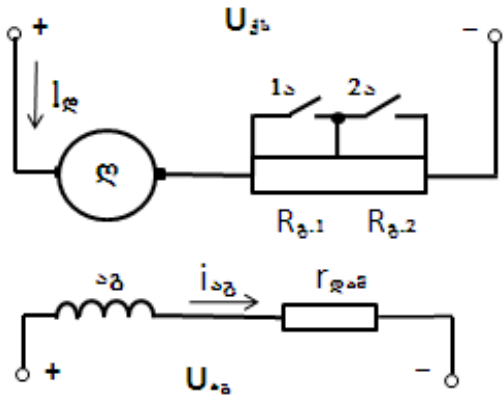
მახასიათებლის მეორე წერტილად იღებენ ძრავას ნომინალური მუშაობის რეჟიმის შესაბამის წერტილს: $I_{\text{ღ}} = I_{\text{ნომ}}$,

$$\omega = \omega_{\text{ნომ}}, \quad \omega_{\text{ნომ}} = \pi n_{\text{ნომ}} / 30.$$

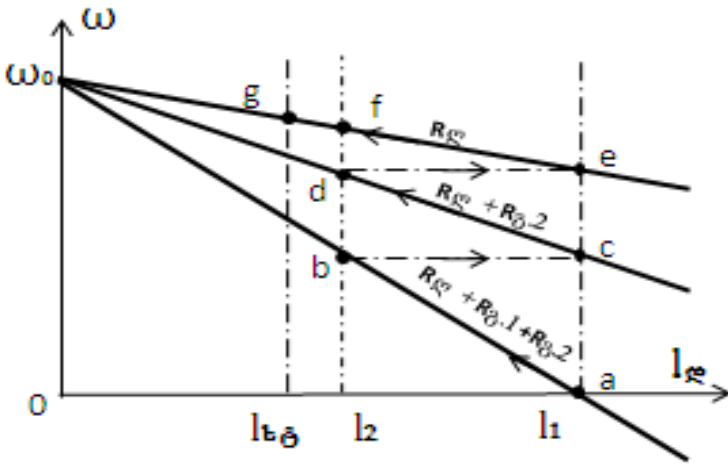
თუ (2.8)-ში $R_{\text{ღ}}$ მოცემული არ არის, მაშინ უნდა ვისარგებლოთ ფორმულით: $R_{\text{ღ}} = 0.5 R_{\text{ნომ}} (1 - \eta)$, სადაც $R_{\text{ნომ}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{I_{\text{ნომ}}}$ და η -ძრავას მ.ქ. კოეფიციენტი.

§2.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავას ამუშავების წინააღობების გაანგარიშება

საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავას ქსელთან მიერთებისას აუცილებელია მისი დუხის მიმდევრობით დამატებითი წინააღობის ჩართვა ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-3 სურათზე. წინააღმდეგ შემთხვევაში ძრავაში გაივლის დასაშვებზე მეტი სიდიდის დენი, რაც გამოიწვევს მის დაზიანებას. ძრავას ამუშავების პროცესში ამუშავების წინააღობის გამორთვა შესაძლებელია განხორციელდეს საფეხურებად, შესაბამისი $\omega = f(I)$ სინქარული მახასიათებლები ნაჩვენებია მე-4 სურათზე (მე-3 სურათის შესაბამისი კონტაქტების ჩართვით).



სურ.3



სურ.4

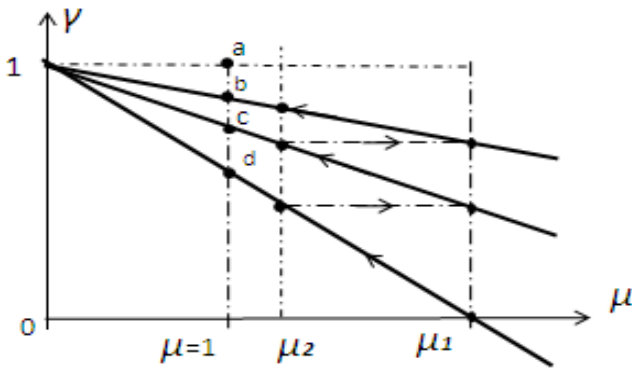
ძრავას ამუშავების წინააღობის საანგარიშოდ უნდა გამოვიყენოთ მისი ბუნებრივი სიჩქარული მახასიათებელი. თავიდან უნდა შევარჩიოთ I_1 ამუშავების და I_2 – გადართვის დენის მნიშვნელობები (სურ. 4). როგორც წესი: $I_1 = (2 \div 2,5) I_{ნობ}$ და

$$I_2 = 1,2 \cdot I_{ნობ}$$

ძრავას ქსელთან მიერთებისთანავე მის ღუზაში გაივლის I_1 -ის ტოლი დენი (სურ.4), დაიწყება მისი აჩქარება (ამ დროს ღუზის მიმდევრობით ჩართულია $R_{ა1}$ და $R_{ა2}$ ამუშავების წინააღობის ორივე საფეხურის შესაბამისი წინააღობა). როდესაც ძრავას სიჩქარე მიაღწევს b წერტილის შესაბამის მნიშვნელობას, ე.ი. დენი გახდება I_2 -ის ტოლი მოხდება ამუშავების პირველი საფეხურის წინააღობის დაშენება $I_ა$ – აჩქარების კონტაქტის ჩაკეცივით. ეს გამოიწვევს ღუზის დენის I_1 სიდიდემდე გაზრდას და ძრავა კვლავ დაიწყებს აჩქარებას. როცა მისი სიჩქარე მიაღწევს a წერტილის შესაბამის სიდიდეს,

მოსდება ამუშავების წინააღობის მეორე საფეხურის დაშუნტვა ზაანქარების კონტაქტის ჩაკეტივით. კვლავ გაიზრდება უეცრად ღუხის დენი I_2 დან I_1 მდე და ძრავა კვლავ განაგრძობს ანქარებას ჯერ f -წერტილამდე, ხოლო შემდეგ g წერტილამდე, სადაც ძრავას ამუშავება დასრულდება და მისი მუშაობა იქნება დამყარებული რეჟიმის შესაბამისი.

ამუშავების წინააღობა გამოითვლება გრაფიკულად, ფარდობით ერთეულებში გამოსახული მექანიკური მახასიათებლების დახმარებით (სურ.5) .



სურ.5

ეს მახასიათებლები ანალიზურად შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\nu = 1 - \mu \cdot r, \quad (2.9)$$

სადაც $\nu = \frac{\omega}{\omega_0}$ არის ძრავას სიჩქარის ფარდობითი სიდიდე;

$\mu = \frac{M}{M_{\text{ნომ}}}$ – ფარდობითი მომენტი; $r = \frac{R_{\text{ლწ}}}{R_{\text{ნომ}}}$ –ძრავას ფარდო-

ბითი წინაღობა; $R_{\text{ნომ}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{I_{\text{ნომ}}}$ - ძრავას ნომინალური (ფიქტიური) წინაღობა.

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

$al = r_{\text{ფ}} = 1$. ad , ac , ab შესაბამისად ძრავას ღუზის წრედის სრული წინაღობებია ფარდობითი ერთეულებით საფეხურების შესაბამისად. bc - $R_{\text{ა2}}$ -ის შესაბამისი, ხოლო cd - $R_{\text{ა1}}$ -ის შესაბამისი წინაღობებია ფარდობითი ერთეულებით. ამრიგად,

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

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

ძრავას სრული ამუშავების წინაღობა ტოლი იქნება

$$R_{\text{ა1}} + R_{\text{ა2}} = (bc + cd)R_{\text{ნომ}} = bd \cdot R_{\text{ნომ}}. \quad (2.10)$$

§2.3. დამოუკიდებელ ადგზნებიანი ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები

ძალიან ხშირად საჭიროა მექანიზმების სწრაფად და ზუსტად გაჩერება, რაც ზოგჯერ მექანიზმის მწარმოებლურობისა და გამოშვებული პროდუქციის ხარისხის განმსაზღვრელია. გაჩერებისას ან მოძრაობის მიმართულების შეცვლისას ძრავა მუშაობს სამუხრუჭო რეჟიმში.

პრაქტიკაში გამოიყენება ძრავას სამი სახის დამუხრუჭება:

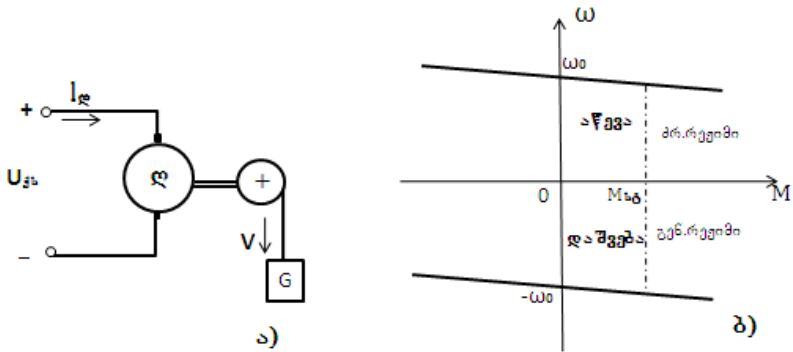
- ა) გენერატორული - ქსელში ელექტროენერჯის გაგზავნით; ბ) უკუჩართვის და გ) დინამიკური.

სამივე შემთხვევაში ძრავას მუშაობა უხდება გენერატორულ რეჟიმში. განსხვავებულია მხოლოდ ღუზის ემ ძალის ორიენტაცია ქსელის ძაბვის მიმართ. რეკუპერატიული (გენერატორული) დამუხრუჭებისას E -სა და $U_{\text{ქს}}$ -ს შემხვედრი მიმართულება აქვთ, მაგრამ ვინაიდან $E > U_{\text{ქს}}$, ამიტომ $I_{\text{ღ}}$ დენი იცვლის მიმართულებას, ე.ი. დენი ძრავადან მიეწოდება ქსელში. უკუჩართვის რეჟიმში E და U თანხვედებიან მიმართულებით და დენი განისაზღვრება მათი ჯამით. დინამიკური დამუხრუჭებისას $U = 0$ და $I = -E / (R_{\text{ღ}} + R_{\text{ლინ}})$. განვიხილოთ ეს რეჟიმები ცალ-ცალკე და უფრო დაწვრილებით.

ა) გენერატორული დამუხრუჭება

ძრავა გენერატორულ რეჟიმში გადადის მაშინ, როცა დატვირთვის გავლენით ძრავას სიჩქარე გადააჭარბებს ω_0 უქმის სვლის სიჩქარეს. ამ დროს $E > U$ და ღუზის დენი $I = \frac{U - E}{R_{\text{ღ}}} < 0$, ე.ი. დენი იცვლის მიმართულებას.

პრაქტიკაში ასეთი დამუხრუჭება გამოიყენება მძიმე ტვირთის ω_0 -ზე მეტი სიჩქარით დაშვებისას (სურ.6).



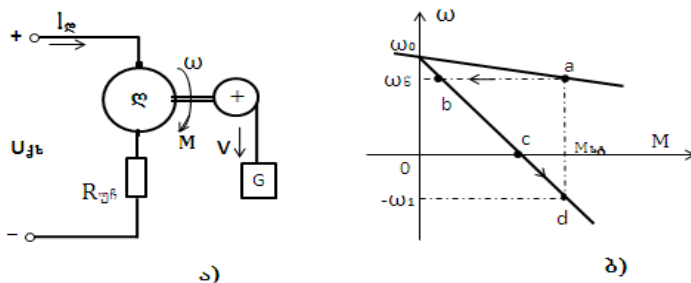
სურ.6

ამ შემთხვევაში ძრავას ჩართავენ დამშვები მიმართულებით სამუშაოდ. ამ დროს ამძრავის სინქარე გადააჭარბებს ω_0 -ს, ვინაიდან ღერძზე მოქმედებს ძრავასა და ტვირთის თანხვედნილი მომენტები. მას შემდეგ რაც ძრავა გადავა სამუშაოდ გენერატორულ რეჟიმში, იგი განავითარებს სამუხრუჭო მომენტს, ე.ი. უკვე ძრავას ბრუნვის მომენტი საპირისპირო გახდება დატვირთვის მომენტის მიმართ.

ბ) უკუჩართვით დამუხრუჭება

ასეთ დამუხრუჭებას ადგილი აქვს ორ შემთხვევაში:

1) როდესაც ტვირთის აწვევაზე მომუშავე ძრავას ღუზის წრედში ჩავრთავთ ე.წ. უკუჩართვის დიდ $R_{უჩ}$ წინააღობას (იხ. მე-7 სურათი).



სურ.7

წინააღმდეგობის ჩართვის შემდეგ ძრავა a წერტილიდან სამუშაოდ გადავა უფრო დიდი დახრის მქონე მახასიათებელზე b წერტილში. იგი დაიწყებს შენელებას (ვინაიდან შემცირდება დენი ღუზის წრედში) და პროცესი დამთავრდება c წერტილში. ამ წერტილში ძრავა ბრუნავს უკუმიმართულებით და მისი დენი განისაზღვრება ფორმულით:

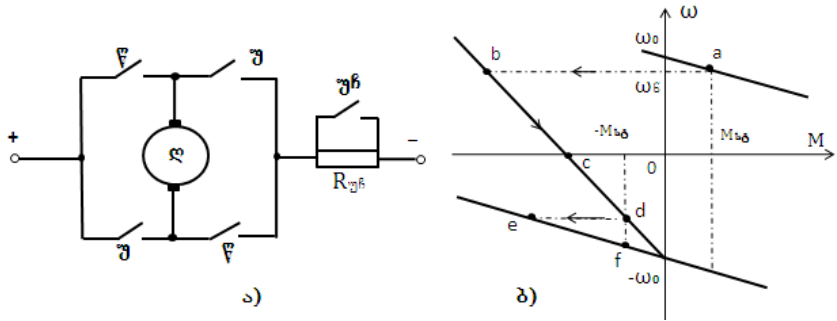
$$I_c = (U + E_c) / (R_{\text{კვ}} + R_{\text{გ}}), \quad (2.11)$$

სადაც $I_c = \frac{M_{\text{სტ}}}{c_d}$.

2) როდესაც ძრავას ბრუნვისას მის ღუზაზე მიყვანილი ძაბვის პოლარობას შევცვლით (სურ.8,ა).

წინ ბრუნვის („წ“) შესაბამისი კონტაქტების გახსნისას და „უ“ („უკან“ ბრუნვის) კონტაქტების ჩაკეცვისას, რომ არ მოხდეს ძრავას ღუზაში დიდი უკუდენის გავლა, ღუზაზე ძაბვის პოლარობის შეცვლასთან ერთად მის წრედში უნდა ჩართოს

დიდი $R_{\text{კვ}}$ -ის წინააღმდეგობა. ძრავა სამუშაოდ გადავა a წერტილიდან b წერტილში. დაიწყება ამძრავის შენელება, c წერ-



სურ.8

ტილში ძრავა გაჩერდება. თუ საჭირო არ არის ძრავას ამუშავება უკუემიძართულებით, მაშინ c წერტილის შესაბამის მომენტში ძრავას გამორთავენ ქსელიდან და მის ღერძს დაადებენ მექანიკურ მუხრუჭს.

გენერატორული დამუხრუჭებისაგან განსხვავებით, უკუხართვის რეჟიმში ძრავა ენერგიას იღებს ქსელიდანაც და მექანიზმიდანაც. ორივეს ხარჯავს ღუზის წრედის წინააღობაზე გამოყოფილი სითბოს სახით:

$$P = U \cdot E + E \cdot I = I^2 (R_{\text{ღ}} + R_{\text{ფბ}}) \quad (2.12)$$

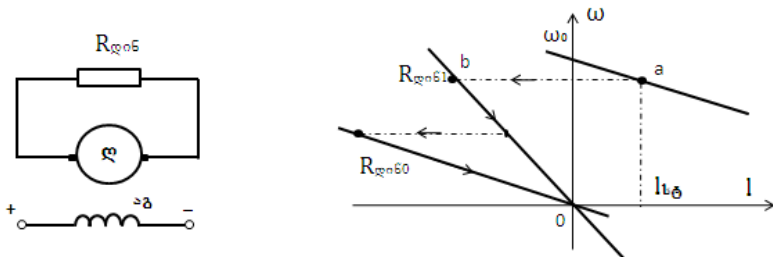
უკუხართვით დამუხრუჭება უზრუნველყოფს მექანიზმის ყველაზე მეესეულ გაჩერებას. მისი ნაკლია ძრავაში და მისი ღუზის წრედში დიდი დანაკარგები. უკუხართვის წინააღობა განისაზღვრება წერტილის შესაბამისი სიდიდეებით:

$$R_{\text{ფბ}} = \frac{U + c_d \cdot \omega_B}{I_B} - R_{\text{ღ}} \quad (2.13)$$

I_B - არის დამუხრუჭების დასაწყისში ძრავას დასაშვები დენის მნიშვნელობა.

კ) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება.

ელექტროდინამიკური დამუხრუჭების შემთხვევაში ღუზას გამორთავენ ქსელიდან და მიაერთებენ წინააღობაზე, ხოლო აღზნების გრაგნილს დატოვებენ ქსელში ჩართულს (სურ.9).



სურ.9

ამ შემთხვევაში ძრავა მასში დაგროვილი კინეტიკური ენერგიის ხარჯზე გახერებადვ იმუშავებს, როგორც გენერატორი. აღნიშნული ენერგია დაიხარჯება ღუზის წრედის წინააღობაზე გამოყოფილი სითბოს სახით.

დინამიკური დამუხრუჭებისას დენი ღუზაში

$$I = - \frac{E_{საწყ.}}{R_{ღ} + R_{დინ}}. \quad (2.14)$$

დინამიკური დამუხრუჭება შეიძლება გამოყენებულ იქნას ტვირთის დაშვების შემთხვევაშიც. პროცესი ამ დროს დამთავრდება c წერტილში. $R_{დინ}$ -ის სიდიდე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

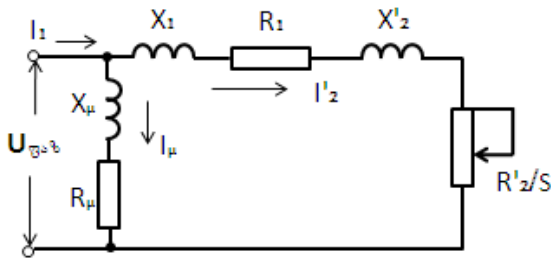
$$R_{დინ} = \frac{c \omega_B}{I_B} - R_{ღ}. \quad (2.15)$$

ამ სახის დამუხრუჭება ხასიათდება ეკონომიურობით, თუმცა სიჩქარის შემცირებასთან ერთად მცირდება სამუხრუჭო ეფექტიც (I -დენის შემცირების გამო). პრაქტიკაში დამუხრუ-

ჭების ამ ხერხს იყენებენ არარევერსულ ამძრავებში. სქემა მარტივია, საიმედო და ზუსტი.

§2.4. ცვლადი დენის სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ასინქრონული ძრავები მუდმივი დენის ძრავებთან შედარებით კონსტრუქციულად მარტივია, მსუბუქია და იაფი, მუშაობაში საიმედო. ასინქრონული ძრავას ელექტრული შენაცვლების სქემას აქვს მე-20 სურათზე წარმოდგენილი სახე. სქემაზე გვაქვს შემდეგი სიდიდეები: ფაზური ძაბვა ($U_{ფ}$); დამაგნიტების წრედის, სტატორისა და როტორის დენები (I_{μ} , I_1 და I_2); დამაგნიტების კონტურის ინდუქციური და აქტიური წინაღობები (X_{μ} და R_{μ}); R' და X'_2 -როტორის დაყვანილი აქტიური და რეაქტიული წინაღობებია.



სურ.10

სქემაზე (სურ.10) აგრეთვე ნახვენებია ე.წ. s -სრიალის სიდიდე, რომელიც ტოლია:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (2.16)$$

სადაც ω არის ძრავას ბრუნვის კუთხური სიჩქარე; ω_0 - მანქანის სინქრონული სიჩქარე, ის თავის მხრივ ტოლია:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / P, \quad (2.17)$$

შადაც f_1 არის ქსელის ძაბვის სიხშირე; P - მანქანის წყვილპოლუსთა რიცხვი.

მანამ სანამ შეეუდგებით ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ფორმულის გამოყენებას მოკლედ აღვწეროთ მისი ქსელთან ჩართვის და ამუშავების პროცესი. მიაწვდიან რა ძაბვას ძრავას სტატორის სამფაზა გრაგნილებს (შეერთებულს ვარსკლავად ან სამკუთხედად) მათში გაივლის დენი, რაც გამოიწვევს მანქანის საჰაერო ღრეჭოში მბრუნავი მაგნიტური ველის წარმოქმნას. ეს ველი ძრავას უძრავი როტორის გრაგნი-ლებში დააინდუქცირებს ე.მ. ძალებს, რომლებსაც მოჰყვება მათში დენების გავლა. მდენებისა და მანქანაში არსებული მაგნიტური ველის ურთიერთქმედება გამოიწვევს როტორის დაბრუნებას. აქაც ისევე, როგორც მუდმივი დენის ძრავას შემთხვევაში, საშუალო და დიდი სიმძლავრეების ძრავების როტორში მიმდევრობით აუცილებელია ე.წ. ამუშავების წინა-ლობების ჩართვა. ეს გამორიცხავს მანქანაში ამუშავების და-საწყისში დიდი სიდიდის (მ.ჩ.-ის) დენის გავლას და მის და-ზიანებას (დაწვას).

ახლა გამოვიყვანოთ ასინქრონული ძრავას მექანიკური მა-ხასიათებლის ფორმულა. ამისათვის გამოვიყენოთ მანქანის

ელექტრომაგნიტური და მექანიკური სიმძლავრეების ბალანსის გამოსახულება

$$P_{\text{მ}} = P_{\text{მე}} + \Delta P_{\text{ვლ}}, \quad (2.18)$$

სადაც $\Delta P_{\text{ვლ}}$ არის როტორში ელექტრული დანაკარგები.

(2.19)-ე ძრავას M -ბრუნვის მომენტის გათვალისწინებით შეიძლება ასეც ჩაიწეროს:

$$M\omega_0 = M\omega + \Delta P_{\text{ვლ}} \quad (2.19)$$

აქედან $\Delta P_{\text{ვლ}} = M(\omega_0 - \omega)$. თავის მხრივ $\Delta P_{\text{ვლ}} = 3I_2'^2 R_2'$, მასში $3I_2'^2 R_2' = M(\omega_0 - \omega)$. აქედან ძრავას ბრუნვის მომენტი

$$M = \frac{3I_2'^2 R_2'}{\omega_0 s}. \quad (2.21)$$

ძრავას ელექტრული შენაცვლების სქემის მიხედვით როტორის დენი

$$I_2' = \frac{U_{\text{ფ}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2}}, \quad (2.20)$$

სადაც $X_K = X_1 + X_2'$ არის მანქანის მ.ჩ.-ის რეაქტიული წინაღობა. შევიტანოთ (2.20)-ე გამოსახულება (2.19)-ში, მივიღებთ

$$M = \frac{3U_{\text{ფ}}^2 R_2'}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + R_2' / s \right)^2 + X_K^2 \right]}. \quad (2.21)$$

(2.21)-ის ანალიზი ცხადყოფს, რომ ასინქრონული ძრავას მექანიკურ მახასიათებელს $M = f(s)$ აქვს მაქსიმუმი, რის გა-

მოც $\frac{dM}{ds} = 0$ განტოლებიდან ვიპოვით მანქანის კრიტიკულ სრიალს:

$$s_{\text{კ}} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_2'^2 + X_K^2}}. \quad (2.22)$$

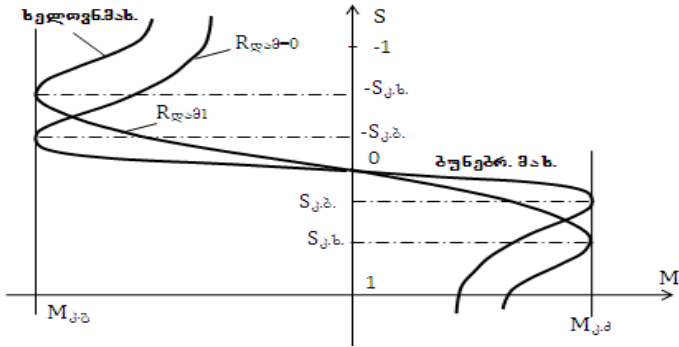
(2.22)-ის შეტანით (2.21)-ში ვიპოვით ძრავას კრიტიკულ ბრუნვის მომენტს:

$$M_{\text{კ}} = \frac{3U_{\text{ფ}}^2}{2\omega_0 \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right)}. \quad (2.23)$$

ნიშანი „+“ ძრავას რეჟიმისაა, „-“ გენერატორის. (2.21)-ის გაყოფით (2.23)-ზე და R_1 -ის უგულებელყოფით მივიღებთ ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის გამარტივებულ ფორმულას

$$M = \frac{2M_{\text{კ}}}{\frac{s}{s_{\text{კ}}} + \frac{s_{\text{კ}}}{s}}. \quad (2.24)$$

(2.24)-ის შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია 21-ე სურათზე როტორში ჩართული დამატებითი წინაღობების შესაბამისად და მის გარეშე.



სურ.21

s_j სიდიდე ძრავას საპასპორტო მონაცემებში მოცემული არ არის. მას ვიპოვით შემდეგნაირად: ჯერ ვიპოვოთ $M_{\text{ნომ}} = P_{\text{ნომ}} / \omega_{\text{ნომ}}$ და $s_{\text{ნომ}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ნომ}}) / \omega_0$, შემდეგ (2.24)-ის გამოყენებით ვიპოვით

$$s_j = s_{\text{ნომ}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right), \quad (2.25)$$

სადაც $\lambda = \frac{M_d}{M_{\text{ნომ}}}$ ძრავას გადატვირთვის კოეფიციენტია. როცა

$s < s_j$, ძრავა მუშაობს მექანიკური მახასიათებლის წრფივ ნა-

წილზე, რისთვისაც (2.24)-დან სამართლიანია $M = 2M_d \frac{s}{s_j}$.

როცა $s > s_j$, ძრავა მუშაობს მექანიკური მახასიათებლის არამდგრად (არაწრფივ) უბანზე, რომლისთვისაც სამართლიანია

$$M = 2M_d \frac{s_d}{s}$$

§2.5. სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას ამუშავების წინააღობების გაანგარიშება

სამფაზა ასინქრონული ძრავას ამუშავების წინააღობების გამოთვლა დასაშვებია მიახლოებით ხდება მუდმივი დენის პარალელური აღგზნების ძრავას ანალოგიურად, ვინაიდან ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის მუშა ნაწილიც მიახლოებით წრფივია.

საშუალო ან დიდი სიმძლავრის ასინქრონული ძრავას ქსელთან მიერთება, როგორც წესი, ხდება როტორში დამატებითი ე.წ. ამუშავების წინააღობის ჩართვით. მის საანგარიშოდ, ჯერ უნდა ავაგოთ ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი. ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ ძრავას საპასპორტო მონაცემები: $P_{\text{გომ}}, U_{\text{გომ}}, I_{\text{ბ}}, n_{\text{გომ}}, E_{2K}$ და I_{2} . ძრავას ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს განვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულით:

$$k = \frac{E_1}{E_{2K}} \approx \frac{0,95 \cdot U}{E_{2K}}.$$

მისი მეშვეობით ვიპოვოთ სიდიდეებს:

$$R_2' = k^2 \cdot R_2; \quad R_2 = \frac{s_{\text{გომ}} E_{2K}}{\sqrt{3} I_{2\text{გომ}}}; \quad X_2' = X_2 \cdot k^2; \quad M_K = \lambda M_{\text{გომ}};$$

$$s_K = s_{\text{გომ}} \left(\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1} \right).$$

გვეცოდინება რა M_K და s_K (2-24) ფორმულით ავაგებთ ძრავას $M = f(s)$ ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელს. იმ შემთხვევაში, თუ ვანგარიშობთ ძრავას საფეხურებიან ამუშავების მახასიათებლებს უნდა გამოვიყენოთ ძრავას ამუშავების მომენტის

სიდიდე $M_1 = (0,7 - 0,8)M_3$ და გადართვის მომენტი
 $M_2 = (1,1 - 1,2)M_{სტ}$. მომენტის ამ სიდიდეების ბუნებრივ მახასიათებელთან კვეთის წერტილებზე გავატარებთ წრფეს, რომლის გადაკვეთა $s = 0$ წრფესთან მოგვცემს რაიმე t წერტილს. ამ t წერტილთან აგებული M_1 -დან დაწყებული ამუშავების საფეხურებიანი ხელოვნური მახასიათებლების და

$$\frac{s_{კრ.ბ}}{s_{კრ.ბ}} = \frac{s_b}{s_b} = \frac{R_2}{r_2}$$

-თანაფარდობათა დახმარებით გამოვთვლით ამუშავების ცალკეული საფეხურის წინაღობის სიდიდეს.

§2.6. სამფაზა ასინქრონული ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები

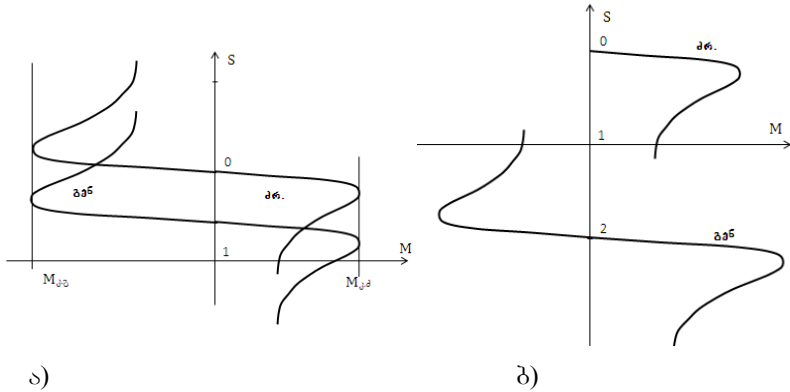
ა) გენერატორული დამუხრუჭება

კომპლექსურ სახეში ასინქრონული ძრავას როტორში გამავალი დენი:

$$I_2' = \frac{E_2'}{\frac{R_2'}{s} + jX_2'} = \frac{E_2's}{R_2' + jX_2's} = \frac{E_2'R_2's}{R_2'^2 + (X_2's)^2} - j \frac{E_2'X_2's^2}{R_2'^2 + (X_2's)^2}. \quad (2.26)$$

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 შესაქმნელი დენის ნაწილს.

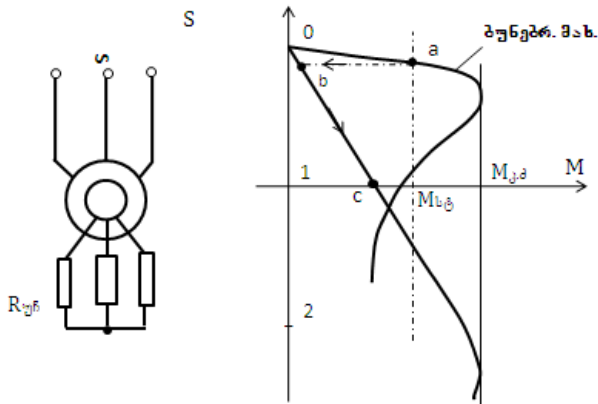
გენერატორული რეჟიმი გამოიყენება ამჟამად კრანებში მძიმე ტვირთის დაშვებისას, აგრეთვე ორსინქარიან ასინქრონულ ძრავებში, როცა სინქარის სარეგულირებლად გამოიყენება მანქანის წვეილ-პოლუსთა რიცხვის შეცვლა (სურ.11, ა,ბ).



სურ. 11

ბ) უკუჩართვით დამუხრუჭება

ასეთი დამუხრუჭება მიიღება ძრავას როტორის წრედში დიდი ე.წ. ჩუნგის წინაღობის ჩართვით (სურ.12)

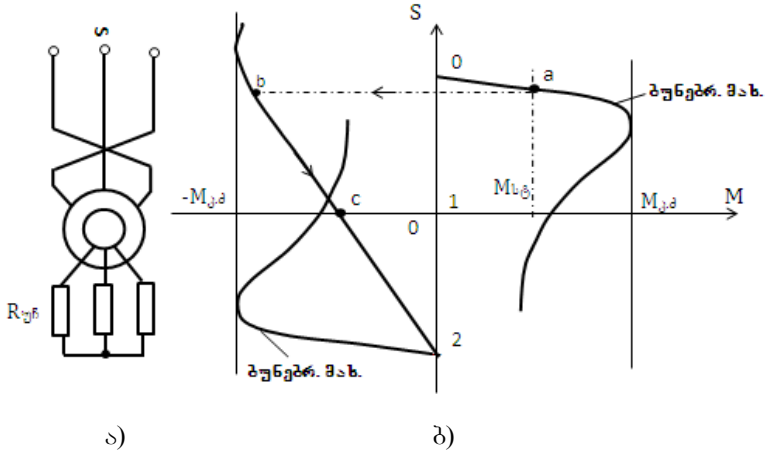


ა)

ბ)

სურ.12

ან სტატორის ორი ფაზის გადანაცვლებით და როტორში $R_{\text{უწ}}$ -ის დამატებით (სურ.13).



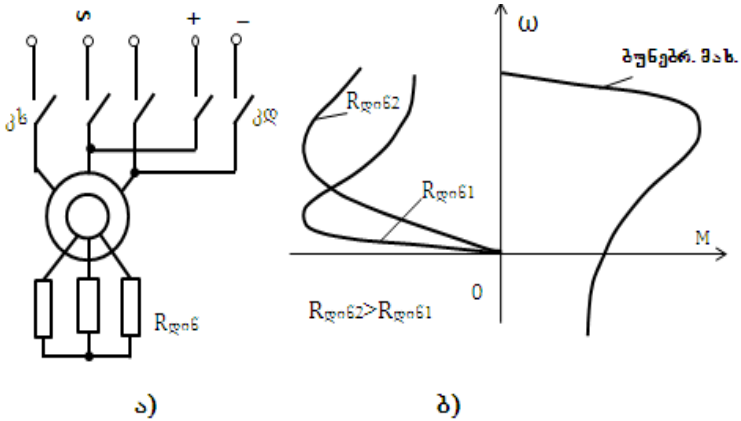
ა)

ბ)

სურ. 13

3) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება

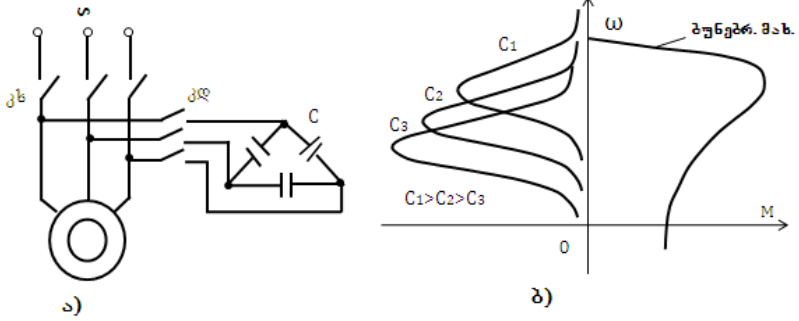
ასეთი დამუხრუჭების მისაღებად ძრავას სტატორს გამორთავენ ცვლადი დენის ქსელიდან და ჩართავენ მუდმივი დენის ქსელში, როტორში შეიძლება ჩაირთოს დამატებითი $R_{\text{დინ}}$ – წინაღობები (სურ.14,ა,ბ).



სურ.14

დინამიკური დამუხრუჭების კონტაქტების (კდ) ჩართული მდგომარეობისას (კმ-გახსნილია) სტატორში გადის მუდმივი დენი, რომელიც კმ-ის უძრავ მაგნიტურ ველს. როტორი ინერციით აგრძელებს რა ბრუნვას მის გრაგნილებში ინდუქცირდება ემ ძალები და გადის დენი. როტორის დენისა და უძრავი მაგნიტური ველის ურთიერთქმედებით მანქანის ღერძზე მოქმედებს სამუხრუჭო მომენტი. მანქანაში დაგროვილი კინეტიკური ენერგია სითბოს სახით გამოიყოფა როტორის გრაგნილებში და $R_{\alpha 3}$ წინაღობებში.

ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება სამფაზიანი ძრავასათვის შეიძლება განხორციელდეს თვითაგზნებითაც სტატორის გადართვით კონდენსატორულ ბატარეებზე (სურ.15, ა).



სურ.15

ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები თვითაგზნებით ელექტროდინამიკური დამუხრუჭებისას წარმოდგენილია 15, ბ სურათზე.

III თავი. ელექტროძრავების სინქარის რეგულირება

§3.1. ზოგადი განმარტებები ელექტროძრავების სინქარის რეგულირების შესახებ

ბევრი მექანიზმისა და ტექნოლოგიური მანქანის ელექტრო-ამძრავებს მოეთხოვება სინქარის რეგულირება საწარმოო (ტექნოლოგიური) პროცესების რაციონალურად წარმართვისათვის. მაგ., სახარატო ჩარხზე დასამუშავებელი დეტალის დიამეტრის შემცირებასთან ერთად ჭრის სინქარის მუდმივად შესანარჩუნებლად არეგულირებენ შპინდელის ამძრავის კუთხურ სინქარეს, კერძოდ, დეტალის დიამეტრის შემცირებასთან ერთად ზრდიან სინქარეს. ასეთი ბევრი მაგალითის მოყვანა შეიძლება. რეგულირებადი ელექტროამძრავები გამოიყენება მეტალურგიულ და სხვა სამრეწველო დანადგარებზე (საგლინ დგანებზე, ქაღალდის დამამზადებელ მანქანებზე, ამწე-სატრანსპორტო მექანიზმებზე და ა.შ.).

მანქანების მუშა ლილვების ბრუნვის სინქარის (მოძრაობის) რეგულირება ძირითადად შესაძლებელია ორი გზით: ძრავას კუთხური სინქარის ცვლით ან მექანიკური გადამცემების 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 მდოვრედ რეგულირება. ამის გამო თანამედროვე ელექტროამძრავებში სინქარის რეგულირება ძირითადად ხორციელდება თვით ელექტროძრავას სინქარის რეგულირებით.

სხვადასხვა ელექტრული ძრავას მექანიკური მახასიათებლების ანალიზმა დაგვანახა, რომ მათი სიჩქარის ცვლა შეიძლება მისი ელექტრული წრედების პარამეტრების (წინააღმდეგობის) ან მკვებავი ძაბვის (მუდმივი დენის ძრავებისათვის), ან ერთდროულად ძაბვისა და სიხშირის ცვლილებით (ცვლადი დენის ასინქრონული ძრავებისათვის). ძრავას სიჩქარის სარეგულირებლად საჭიროა ოპერატორმა ზემოქმედება მოახდინოს ამძრავის სისტემის პარამეტრებზე (მიაწოდოს მართვის სიგნალი, შეცვალოს წინააღმდეგობის სიდიდე, ეს შეცვლა ავტომატიზებულ სისტემაში შეიძლება მოხდეს ავტომატურად). მაშინ როცა ძრავას სიჩქარე იცვლება რაიმე შემფოთებით (მაგ., ძრავას ღერძზე წინააღმდეგობის მომენტის შეცვლით), სიჩქარის ასეთი ცვლილება არ შეიძლება ჩავთვალოთ სასურველ მოვლენად (კერძოდ, სიჩქარის რეგულირებად). პირიქით, ამ დროს ძრავას სიჩქარე გადაიხრება წინასწარ მოცემული (საჭირო) სიდიდიდან და მართვის სისტემამ უნდა უზრუნველყოს მისი თავდაპირველ მნიშვნელობაზე დაბრუნება.

ელექტროამძრავის სიჩქარის რეგულირების ძირითადი მანევრებელია რეგულირების დიაპაზონი. ეს არის ამძრავის სარეგულირებელი სიჩქარის შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობის ფარდობა მინიმალურთან $D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$.

ხშირად საჭირო ხდება რეგულირების ზონის (შესაბამისად დიაპაზონის) გაზრდა. მაგრამ ეს გაზრდა არ შეიძლება იყოს უსაზღვრო. მისი შეზღუდვა ზევიდან ძირითადად ხდება ღუზის ან როტორის მექანიკური სიმტკიცით. მუდმივი დენის ძრავებისათვის სიჩქარის ზედა ზღვარი (ω_{\max}) ზოგჯერ შეიზღუდება კოლექტორის საკომუტაციო უნარიანობით, რადგანაც კუთხური

სინქარის ზრდისას იზრდება ღუზის გრაგნილის საკომუტაციო სექციაში რეაქტიული ემ ძალა. კუთხური სინქარის ქვედა ზღვარი, როგორც წესი, შეიზღუდება მოცემული სინქარის საჭირო სიზუსტით მუდმივად შენარჩუნების $M_{სტ}$ -ის შესაძლო ფარგლებში ცვლისას) პირობით. სისტემის სიზუსტის შეფასება, როგორც წესი, ხდება ე.წ. სტატიზმით, რომელიც შემდეგნაირად განისაზღვრება

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{ღამყ}}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega_{ღამყ}}{\omega_0} 100\%., \quad (3.1)$$

სადაც ω_0 და $\omega_{ღამყ}$ არის ამძრავის სასურველი (დავალების შესაბამისი) და რეალური (დატვირთვის შესაბამისი) სინქარების დამყარებული მნიშვნელობები.

თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამძრავების სტატიზმში 1%-ს არ აღემატება, ხოლო ამძრავებისათვის უკუკავშირების გარეშე იგი შეადგენს რამდენიმე ათეულ პროცენტს.

რეგულირების ერთ-ერთი მთავარი მაჩვენებელია აგრეთვე რეგულირების სიმდოვრე, რომელიც წარმოადგენს ორ მეზობ-

ელ სინქარეთა თანაფარდობას $\varphi = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$, სადაც $\omega_i > \omega_{i-1}$.

რეგულირების სიმდოვრე მით უკეთესია, როცა $\varphi \rightarrow 1$.

რეგულირების ერთი საფეხურიდან მეორეზე მდოვრე გადასვლა ზოგჯერ განსაზღვრავს გამომუშავებული პროდუქციის ხარისხს. ელექტროამძრავების პრაქტიკაში სინქარის რეგულირების ყველაზე მცირე სიმდოვრე გააჩნიათ ორსინქარიან მოკლედშერთულროტორიან ასინქრონულ ძრავებს. მნიშვნელოვანი

სიმღვრე შეიძლება მივიღოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავების შემთხვევაში, როცა მათი მართვა ხდება დუზაზე მიყვანილი ძაბვის ანაზნების დენის ცვლით.

რეგულირებადი ამძრავის ერთერთი მაჩვენებელია, აგრეთვე რეგულირების ეკონომიურობა, რომელიც ხასიათდება ამძრავის დანადგარის და ექსპლუატაციის დანახარჯებით. ეკონომიურად გამართლებულია ისეთი ელექტროამძრავი, რომელიც უზრუნველყოფს მუშა მექანიზმის მწარმოებლობის მაქსიმუმს პროდუქციის მაღალი ხარისხით და შედარებით მაღე გამოსიყიდის საწყის კაპიტალურ დანახარჯებს. რეგულირებადი ელექტროამძრავის ეკონომიურობის შეფასებისას ყურადღება ექცევა აგრეთვე ექსპლუატაციისას მის საიმედო მუშაობას.

ეკონომიურობის შეფასებისას მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე რეგულირების პროცესში ენერგიის დანაკარგების სიდიდეს. სიმძლავრის კარგეები განსაზღვრავს დანადგარის მქ კოეფიციენტს

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}, \text{ სადაც } \Delta P \text{ - ამძრავის დანაკარგია; } P_2 \text{ -}$$

ძრავას დერძზე მექანიკური სიმძლავრე.

რეგულირებადი ელექტროამძრავის რაციონალური მუშაობისათვის საჭიროა ვიცოდეთ დატვირთვის მომენტის დამოკიდებულება კუთხურ სინქარეზე. მთელი რიგი საწარმოო მექანიზმი საჭიროებს სინქარის რეგულირებას, როცა $M_{\text{სტ}} = \text{const}$. ასეთი მექანიზმებია: ამწე-კრანების აწევის მექანიზმები, ზოგიერთი საგლინი დგანების ცალკეული გაღები (უჯრედები), ქაღალდისმკეთებელი მანქანების სექციები და ა.შ. მეორე მხრივ, არსებობენ ისეთი მექანიზმებიც, რომელთაც სინქარის რეგულირება მოეთხოვებათ მუდმივი სიმძლავრის პირობებში -

$P_{სტ} = const$. ასეთ მექანიზმებს მიეკუთვნება სახარატო ჩარხი. ჩარხზე დეტალის დამუშავებისას საჭიროა შევინარჩუნოთ ჭრის (წრფივი) მუდმივი სიჩქარე ($P = F \cdot V = const$).

განვიხილოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ელექტრული ძრავას ბაზაზე, თუ როგორ ხდება $M_{სტ} = const$ ან $P_{სტ} = const$ პირობების შესაბამისად სიჩქარის რეგულირება. ასეთ ძრავას აქვს სიჩქარის რეგულირების ორი ზონა. I ზონა შეესაბამება რეგულირებას მუდმივი მომენტით, ხოლო II ზონა – რეგულირებას მუდმივი სიმძლავრით.

მართლაც, თუ ძრავას სიჩქარის რეგულირება ხდება ღუზის წრედში წინაღობის ჩართვით ან ღუზაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლით, როცა $\Phi = const$, მაშინ ძრავას დატვირთვა იქნება მუდმივი მომენტით

$$M = K_j \Phi I_{სტ} = const. \quad (3.2)$$

ძრავას ღერძზე სიმძლავრე I-ზონაში იცვლება წრფივად, რადგანაც

$$P_I = M \cdot \omega. \quad (3.3)$$

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

$$\Phi = \frac{A}{\omega}; \quad M = K_j \Phi I_{სტ} \equiv \frac{A'}{\omega}; \quad (3.4)$$

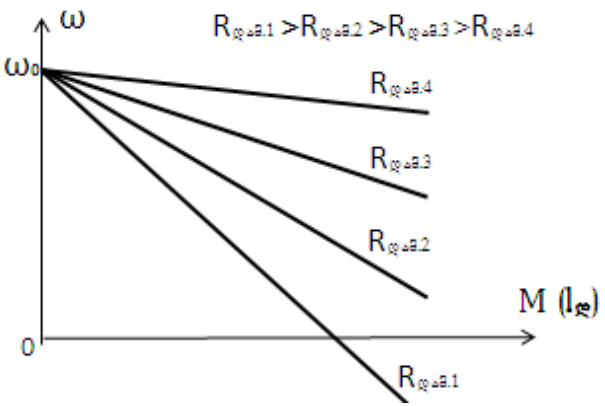
$$P_{II} = M \cdot \omega = \frac{A'}{\omega} \cdot \omega = A' = const. \quad (3.5)$$

§3.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავას სიჩქარის რეგულირების ხერხები

ა) ღუზის წრედში დამატებითი წინაღობის ცვლილება

ეს მეთოდი უზრუნველყოფს ელექტროამძრავის მუშაობას მუდმივი სტატიკური მომენტით. ძრავას ღუზის წრედში დამატებითი წინაღობების ჩართვით და მისი სიდიდის რეგულირებით შესაძლებელია ვარეგულიროთ სიჩქარე.

$R_{დამ}$ -ის გაზრდით უფრო მეტად დაიხრება ძრავას მექანიკური მახასიათებელი. სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონი ამ შემთხვევაში $D = 3:1$. შესაბამისი მახასიათებლები წარმოდგენილია 16-ე სურათზე.



სურ. 16,ა

ეს მეთოდი არ ითვლება სიჩქარის რეგულირების ეკონომიურ მეთოდად. სიჩქარის სარეგულირო წინაღობები ამუშავების წინაღობებისაგან განსხვავდება იმით, რომ ისინი ძრავას წრედში გათვალისწინებულია ხანგრძლივად ჩართვისათვის, რის გამოც დიდია დანაკარგები (ელექტრული).

ბ) ავზნების ნაკადის ცვლილება

ამ ხერხით ძრავას სინქარის რეგულირება ხდება მცირე დენების (ავზნების) წრედიდან, ამიტომ იგი მარტივია და ეკონომიური. ამ მეთოდს იყენებენ იმისათვის, რომ ძრავას სინქარე გახადონ ნომინალურზე მეტი. მექანიზმებში, რომელთაც მუშაობა უხდებათ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით ($P_{სტ} = const$). ავზნების შემცირებით ω იზრდება, ხოლო ძრავას მოკლე ჩართვის დენი უცვლელი რჩება $I_{ა.ა.} = U/R_{ლწ}$. ამ რეჟიმისათვის დამახასიათებელია:

$$M_{ა.ა.} = K_{\phi} \Phi_{სტ} I_{სტ} > M'_{ა.ა.} = K_{\phi} \Phi' I_{სტ} > M''_{ა.ა.} = K_{\phi} \Phi'' I_{სტ}$$

Φ -ს შემცირებასთან ერთად ჰიპერბოლურად უნდა შევამციროთ ძრავას დატვირთვის მომენტი ($M_{სტ}$). ასეთი ხერხით რეგულირების დიაპაზონი $D=2 \neq 1$. ავზნების ნაკადის შემცირებით სინქარის რეგულირება ზემოდან შეზღუდულია ძრავას საკომუტაციო პირობის გაუარესებით კერძოდ, სინქარის გაზრდას მოჰყვება კოლექტორზე ნაპერწკლიანობის მომატება. გარდა ამისა, ძრავას სინქარის მატება შეზღუდულია მექანიკური სიმტკიცის თვალსაზრისითაც.

ვ) ღუზაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლა

სინქარის რეგულირების ეს მეთოდი ყველაზე უფრო გავრცელებულია და ხორციელდება გენერატორ-ძრავას (გ-ძ) სისტემის სქემით. ასრულებს რა გენერატორი ბრუნვით მოძრაობას ცვლადი დენის ქსელთან ჩართული ასინქრონული ელექტროძრავით ის გამოიმუშავებს მუდმივი დენის ძაბვას, რომლითაც კვებას მიაწვდის სარეგულირო მუდმივი დენის ძრავას. თანამედროვე ელექტროამძრავებში გენერატორის ნაცვლად აღნიშ-

ნულ სისტემაში იყენებენ ტირისტორულ გამმართველს (სურ.29). სინქარის რეგულირების ასეთი ხერხი უზრუნველყოფს სინქარის რეგულირების დიდ დიაპაზონს $D_1 > 10 : 1$.

გ-ძ სისტემით მომუშავე ძრავას სინქარული მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად ვწერთ შემდეგ საწყის განტოლებებს:

$$U_{\delta} = E_{\delta} - I_{\ell} R_{\ell\delta}; \quad (3.6)$$

$$U_{\delta} = E_{\delta} + I_{\ell} R_{\ell\delta}, \quad (3.7)$$

სადაც $E_{\delta} = K_{\Phi} \Phi_{\delta} \omega_{\delta}$ არის გენერატორის ემ ძალა;

$E_{\delta} = K_{\Phi} \Phi_{\delta} \omega_{\delta}$ - ძრავას ემ ძალა;

(3.6) და (3.7) განტოლებებით მივიღებთ

$$E_{\delta} - I_{\ell} R_{\ell\delta} = E_{\delta} + I_{\ell} R_{\ell\delta}, \quad (3.8)$$

საიდანაც:

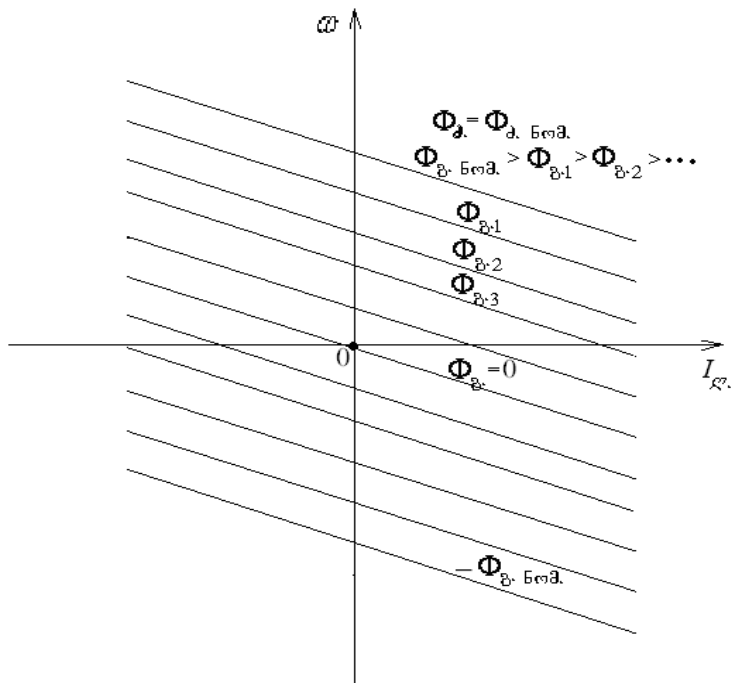
$$E_{\delta} = E_{\delta} - I_{\ell} R_{\ell\delta}, \quad (3.9)$$

სადაც $R_{\ell\delta} = R_{\ell\delta} + R_{\ell\delta}$ არის ძრავას ღუზის წრედის სრული აქტიური წინაღობა.

(3.9)-დან ადვილად მივიღებთ მუდმივი დენის ძრავას სინქარული მახასიათებლის ფორმულას გ-ძ-ის სისტემისათვის

$$\omega_{\delta} = \frac{E_{\delta}}{K_{\Phi} \Phi_{\delta}} - \frac{I_{\ell} R_{\ell\delta}}{K_{\Phi} \Phi_{\delta}}. \quad (3.10)$$

(3.10)-ის შესაბამისი მახასიათებლები მოცემულია სურ.17-ზე.



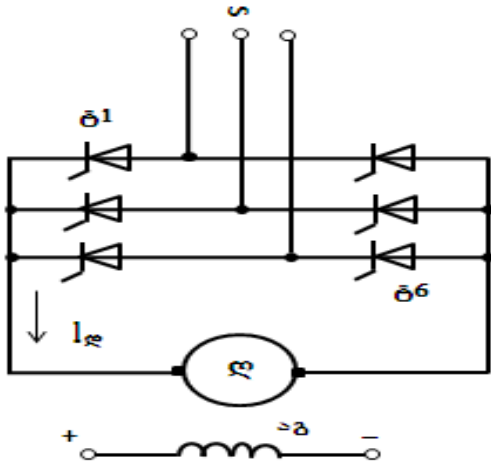
სურ.17

გ-ძის სისტემას ძირითადად იყენებენ მუდმივი სტატიკური მომენტის მქონე ($M_{სტ} = const$) მექანიზმების სინქარის რეგულირებისათვის I-ზონაში. II-ზონაში სინქარის რეგულირებისათვის იყენებენ ძრავას აგზნების ნაკადის შესუსტებას, ამასთან მექანიზმი უნდა მუშაობდეს $P_{სტ} = const$ რეჟიმში. გ-ძის სისტემის მქ კოეფიციენტი შეადგენს 0,65-ს.

ძრავას სინქარის რეგულირების დიაპაზონის გაზრდის მიზნით პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ელექტროამძრავის ავტომატური მართვის სისტემები ერთი ან რამდენიმე უკუკავ-

შირით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სიჩქარის მუდმივად შენარჩუნებას მაღალი სიზუსტით.

პრაქტიკაში იმ მექანიზმებისათვის, რომელთაც ესაჭიროებათ სიჩქარის დიდ დიაპაზონში ცვლა, იყენებენ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნების ძრავას, რომლის დუზა იკვებება ტირისტორული გამმართველიდან (სურ.18).



სურ. 18

ტირისტორული ელექტროძრავის დადებითი თვისებებია: მაღალი სწრაფქმედება, მუშაობაში საიმედოობა და მაღალი მქკოეფიციენტი, რომელიც შეადგენს 0,93-ს. ტირისტორული გამმართველის გამოსავალზე მიღებული ძაბვა

$$U_d = U_{აქს} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha, \quad (3.11)$$

სადაც $U_{აქს}$ არის გამმართველის მკვებავი ქსელის ხაზური ძაბვის მაქსიმუმი; m -გამართვის სქემის კოეფიციენტი, სამ-

ფაზიანი ორტაქტა სქემისათვის $m=6$, ხოლო სამფაზიანი ერთ-ტაქტა სქემისათვის $m=3$; α -ტირისტორის მართვის ელექტროდზე მიწოდებული იმპულსების ფაზური ძერის კუთხე, იგი იცვლება 15-დან 90 გრადუსამდე და ახასიათებს ტირისტორების გახსნილი მდგომარეობის ხანგრძლივობას.

გ-ძ სისტემის ანალოგიურად ტირისტორიული ამძრავის სინქარული მახასიათებლის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\omega = \frac{E_{\text{ბზ}}}{C_{\text{ა}}} - \frac{I_{\text{ღ}} R_{\text{ღწ}}}{C_{\text{ა}}}, \quad (3.12)$$

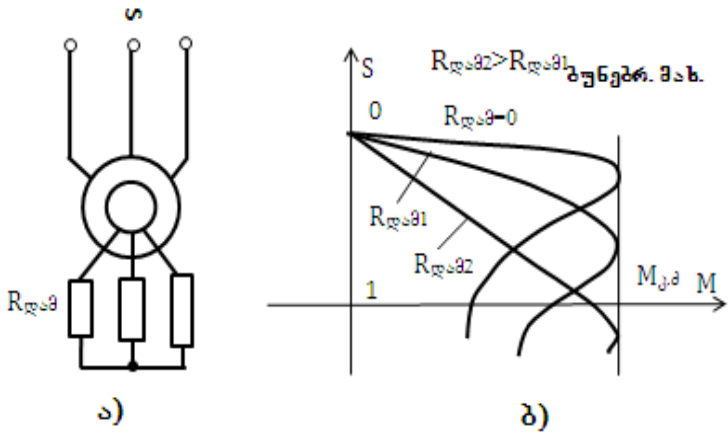
სადაც $E_{\text{ბზ}}$ არის ტირისტორული გამმართველის ემ ძალა; $R_{\text{ღწ}}$ – ძრავას ღუზის წრედის წინააღობაა, რომელიც შეიცავს საკუთრივ ძრავის ღუზის გრავნილის წინააღობას და ტირისტორული გარდამქმნელის ძალური ნაწილის წინააღობას. ტირისტორული ელექტროამძრავის სინქარული და მექანიკური მახასიათებლები გ-ძ სისტემის ანალოგიურია.

§3.3. სამფაზა ასინქრონული ძრავას სინქარის რეგულირების ხერხები

ცნობილია ასინქრონული ელექტროამძრავის სინქარის რეგულირების სამი ძირითადი ხერხი:

ა) როტორში აქტიური წინააღობების დამატება

ეს მეთოდი გამოიყენება მექანიზმებისათვის, რომელთა სტატიკური მომენტი $M_{\text{ბტ}} = \text{const}$. რეგულირების დიაპაზონი $D=3:1$; რეგულირება ხორციელდება ნომინალური სინქარის ქვემოთ. შესაბამისი სქემა და მახასიათებლები წარმოდგენილია 19-ე სურათზე.



სურ.19

ბ) პოლუსთა რიცხვის შეცვლა

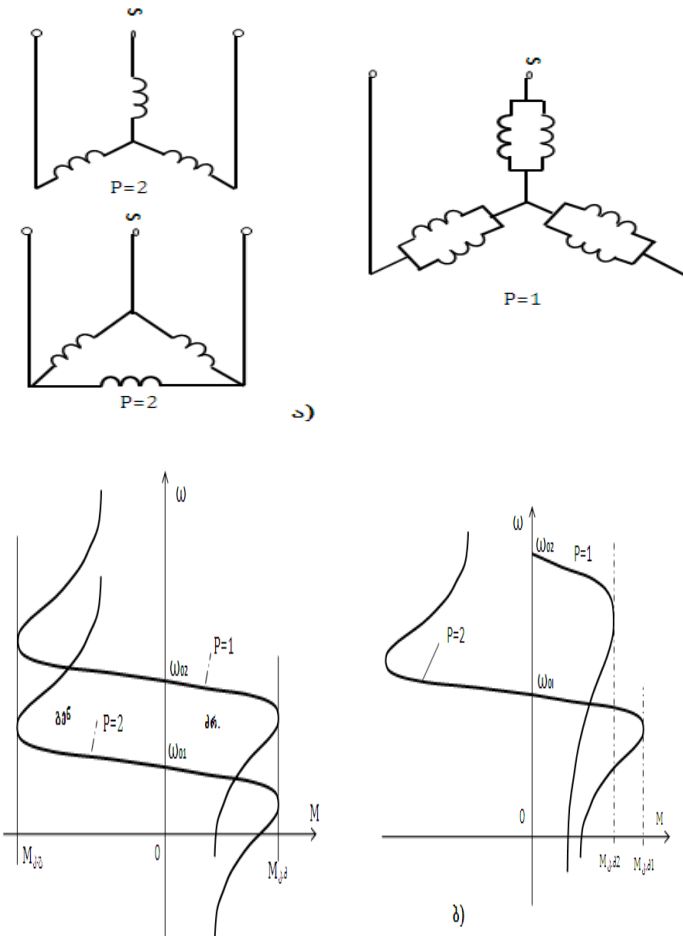
ცნობილია, რომ სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სინქრონული სიხქარე

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / P, \tag{3.13}$$

სადაც f_1 არის მკვებავი ქსელის სიხშირე; P – მანქანის წყვილ-პოლუსთა რიცხვი.

ორსიხქარიან ასინქრონულ ძრავაში ცალკეული ფაზების გრაგნილები შედგება ორი ერთნარი ნაწილისაგან, რომელთაგან ერთში ცვლიან დენის მიმართულებას აღნიშნული ნაწილების მიმდევრობითიდან პარალელურზე გადართვათა მეშვეობით. ასეთი გადართვა გამოიწვევს პოლუსთა რიცხვის შემცირებას ორჯერ და შესაბამისად მანქანის სინქრონული სიხქარის ორჯერ გაზრდას. სტატორის გრაგნილების გადართვის სქემები ნახვენებია ქვემოთ: 1)გრაგნილების ერთმაგი ვარსკლავური შეერთებიდან ორმაგ ვარსკლავურზე და 2)სამკუთხა

შეერთებიდან ორმაგ ვარსკლავურზე. შესაბამისი სქემები და მახასიათებლები წარმოდგენილია 20-ე სურათზე.



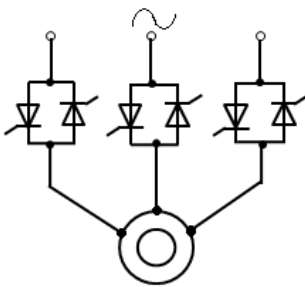
სურ. 20

პირველი სახის გადართვა გამოიყენება მექანიზმებისათვის $M_{სტ} = const$. მეორე სახის გადართვა მიზანშეწონილია მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ $P_{სტ} = const$ რეჟიმში.

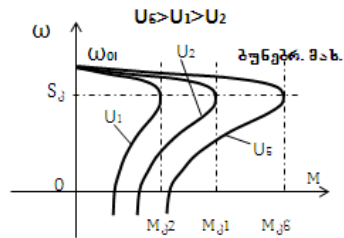
პრაქტიკაში ორსინქარიანი ძრავების გარდა გამოიყენება 3- და 4-სინქარიანი ასინქრონული ძრავებიც. ყველა შესრულებულია მოკლედ ჩართული როტორითიმისათვის რომ საჭირო არ გახდეს გადართვები როტორშიც. ითვლება, რომ ეს მეთოდი ეკონომიურია. რეგულირების დიაპაზონი აღწევს $D=6:1$.

ვ) ძაბვის ცვლა

თანამედროვე ასინქრონულ ელექტროამძრავში სინქარის რეგულირებისათვის ზოგჯერ იყენებენ ტირისტორულ გარდამქმნელიან სისტემას. შესაბამისი სქემა და მახასიათებლები მოყვანილია 21-ე სურათზე. იმის გამო, რომ ძაბვის შემცირება იწვევს ძრავას კრიტიკული მომენტის კვადრატული ფუნქციით შემცირებას ასეთი ამძრავის რეგულირების დიაპაზონი ძალზე შეზღუდულია $D < 3:1$.



ა)



ბ)

სურ.21

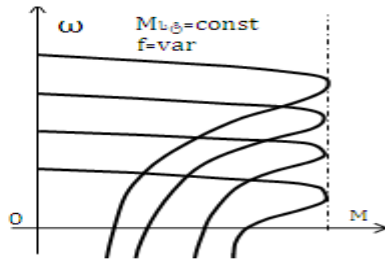
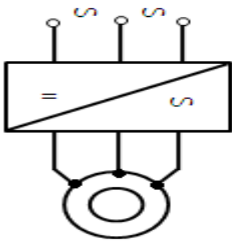
დ) სიხშირის ცვლა

ვინაიდან ასინქრონული ძრავას სინქრონული სიხქარის $\omega_0 = 2\pi f / P$ ცვლილება შესაძლებელია f სიხშირის ცვლით, ამიტომ თანამედროვე პრაქტიკაში ფართოდ ნერგავენ სიხშირისგარდამქმნელებიან ასინქრონულ ელექტროამძრავებს. სიხშირის გარდამქმნელი ძირითადად შედგება ორი უჯრედისაგან— ნახევარგამტარულელემენტებიანი გამმართველისაგან და შემდგომ სასურველი სიდიდის ცვლადი დენის ძაბვისა და სიხშირის მისაღებად ინვერტორისაგან.

მაგრამ f სიხშირესთან ერთად აუცილებელია ძაბვის ცვლილებაც ($U/f = const$), რათა უზრუნველყოფილ იქნას ძრავას მაგნიტური ნაკადის მუდმივად შენარჩუნება. ძრავას სტატორის ემძაღა $E_1 = c_p \Phi f$, $U \approx E_1$, ამიტომ $U = c_p \Phi f$.

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

$$\frac{U}{f} = const. \quad (3.14)$$



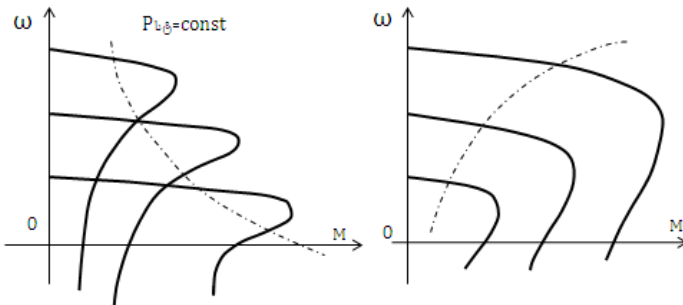
სურ.22

(3.14)-ის შესაბამისი მახასიათებლები მოცემულია 22-ე სურათზე.

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

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = const \quad . \quad (3.15)$$

(3.15)-ის შესაბამისი მახასიათებლები მოცემულია 23-ე სურათზე.



სურ.23

სურ.24

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

$$\frac{U}{f^2} = const \quad (3.16)$$

კანონით. შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია 24-ე სურათზე.

IV თავი. გარდამავალი პროცესები ელექტროძრავებში

§4.1. ზოგადი მიმოხილვა

ელექტროძრავაში გარდამავალი პროცესი მიმდინარეობს მისი მუშაობის ერთი დამყარებული რეჟიმიდან მეორე დამყარებულ რეჟიმში გადასვლის პერიოდში. ის შეიძლება გამოიწვიოს ძრავას ღერძზე დატვირთვის ან მკვებავი ძაბვის მომენტალურმა შეცვლამ. გარდამავალ პროცესში იცვლება ძრავას კუთხური სიჩქარე, ღუზის დენი, ბრუნვის მომენტი და მათთან დაკავშირებული სხვა ცვლადები. გარდამავალი პროცესების შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს ამძრავის ელემენტების მექანიკური და ელექტრული გადატვირთვების თვალსაზრისით. ამძრავის გარდამავალ პროცესს ადგილი აქვს აგრეთვე ამუშავების, დამუხრუჭების და სიჩქარეთა რეგულირებისას.

იმ შემთხვევაში, როცა ითვალისწინებენ ძრავას ღუზის წრედის გრაფიკების ინდუქციურობას (შესაბამისი ელექტრომაგნიტური მოვლენით) ამძრავის მექანიკურ ინერციულობასთან ერთად, გარდამავალ პროცესს განიხილავენ როგორც ელექტრომექანიკურს. იმ შემთხვევაში, როცა ძრავას ღუზის ინდუქციურობას უგულებელყოფენ, მაშინ ამძრავის გარდამავალ პროცესს განიხილავენ როგორც მექანიკურს.

§4.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას გარდამავალი პროცესი ამუშავებისას

მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას გარდამავალი რეჟიმების საწყის განტოლებებზე ითვლება ამძრავის

მოძრაობის ძირითადი განტოლება

$$M - M_{\text{სტ}} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4.1)$$

და ძაბვების წონასწორობის განტოლება ღუზის წრედისათვის

$$U = E + IR_{\text{ღ.წ.}} \quad (4.2)$$

დავუშვათ, რომ ძრავას აგზნების ნაკადი უცვლელია ($\Phi = \text{const}$), მაშინ $c_{\text{ა}} = K_K \Phi = \text{const}$ და $M = c_{\text{ა}} I$ და $E = c_{\text{ა}} \omega$, $M_{\text{სტ}} = c_{\text{ა}} I_{\text{სტ}}$.

(4.2)-დან ადვილად ვწერთ, რომ ძრავას ღუზის დენი

$$I = \frac{J}{c_{\text{ა}}} \frac{d\omega}{dt} + I_{\text{სტ}} \quad (4.3)$$

შევიტანოთ (4.3) გამოსახულება (4.2)-ში, მივიღებთ

$$U = c_{\text{ა}} \omega + \frac{JR_{\text{ღ.წ.}}}{c_{\text{ა}}} \cdot \frac{d\omega}{dt} + I_{\text{სტ}} R_{\text{ღ.წ.}} \quad (4.4)$$

გავეოთ (4.4)-ე განტოლება $c_{\text{ა}}$ -ზე და შემოვიტანოთ აღნი-

შენები: $T_{\text{გა}} = \frac{JR_{\text{ღ.წ.}}}{c_{\text{ა}}^2}$ - ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის

მუდმივა; $\Delta\omega_{\text{სტ}} = \frac{I_{\text{სტ}} R_{\text{ღ.წ.}}}{c_{\text{ა}}}$ - ძრავას სიჩქარის სტატიკური

ვარდნა. ამრიგად (4.4)-დან გვექნება:

$$T_{\text{გა}} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 - \Delta\omega_{\text{სტ}} = \omega_{\text{სტ}} \quad (4.5)$$

ძრავას ღუზის ღენის დიფერენციალური განტოლების მისა-
 ლებად გავაწარმოთ (4.2) და მასში (4.3)-დან შეტანოთ $\frac{d\omega}{dt}$ -ს
 მნიშვნელობა

$$\frac{c_d^2(I - I_{სტ})}{J} + R_{ღწ} \frac{dI}{dt} = 0, \quad (4.6)$$

საიდანაც გამარტივებით გვექნება

$$T_{გა} \frac{dI}{dt} + I = I_{სტ}. \quad (4.7)$$

(4.4)-ე და (4.5)-ე დიფერენციალური განტოლებების მახა-
 სიათებელი განტოლებაა

$$T_{გა} P + 1 = 0, \quad (4.8)$$

რომლის ფესვია

$$P_1 = -\frac{1}{T_{გა}}. \quad (4.9)$$

დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნის წესის თანახმად
 (4.5) და (4.7)-ის სრული ამონახსნები იქნება:

$$\omega = \omega_{სტ} + A \cdot e^{-t/T_{გა}}; \quad (4.10)$$

$$I = I_{სტ} + B \cdot e^{-t/T_{გა}}. \quad (4.11)$$

ინტეგრების მუდმივების საპოვნელად დაგუშვათ, რომ $t=0$
 მომენტში $\omega = \omega_{საწყ}$ და $I = I_{საწყ}$ (4.10) და (4.11)-ის მიხედ-
 ვით ვწერთ:

$$A = \omega_{საწყ} - \omega_{სტ}; \quad (4.12)$$

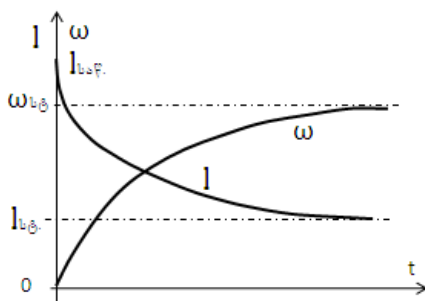
$$B = I_{\text{საწყ}} - I_{\text{სტ}}. \quad (4.13)$$

შევიტანოთ (4.12) და (4.13) შესაბამისად (4.10)-ში და (4.11)-ში, გვექნება

$$\omega = \omega_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{გ}}}; \quad (4.14)$$

$$I = I_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გ}}}\right) + I_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{გ}}}. \quad (4.15)$$

(4.14)-ითა და (4.15)-ით აიგება ძრავას გარდამავალი რეჟიმის სინქარის და დენის მრუდები ამძრავის გაქანებისას (სურ. 25), როცა $\omega_{\text{საწყ}} = 0$ და $I_{\text{საწყ}} = I_{\text{ამუშ}}$.



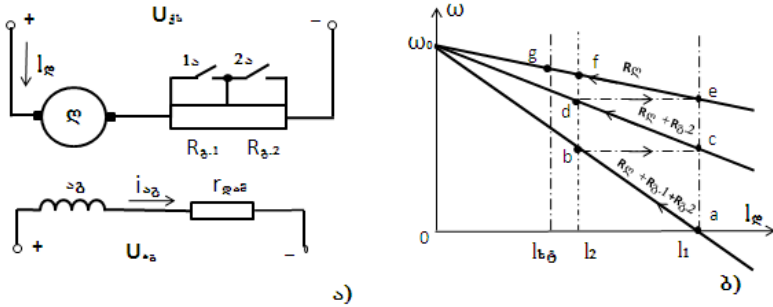
სურ.25

ძრავას გარდამავალი რეჟიმის ხანგრძლივობა თეორიულად ∞ -ის ტოლია, პრაქტიკულად კი იგი შეგვიძლია დამთავრებულად ჩავთვალოთ $t_{\text{გარდ.}} \approx 3 \cdot T_{\text{გ}}$ დროში.

§4.3. მუდმივი დენის ძრავას გარდამავალი პროცესები საფეხურებრივი ამუშავებისას

განვიხილოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავა-

ვას მექანიკური გარდამავალი პროცესი ორსაფეხურიანი ამუშავების შესაბამისი მახასიათებლების მიხედვით (სურ. 26).



სურ.26

გამოვიყენოთ წინა პარაგრაფში მიღებული (4.14) და (4.15) გამოსახულებები

$$\omega_i = \omega_{ლაბij} \left(1 - e^{-t/T_{ა.ი}}\right) + \omega_{საწყი} e^{-t/T_{ა.ი}}; \quad (4.16)$$

$$I_i = I_{სტ} \left(1 - e^{-t/T_{ა.ი}}\right) + I_1 e^{-t/T_{ა.ი}}, \quad (4.17)$$

სადაც $T_{ა.ი} = \frac{JR_{ა.წი}}{C_{ა}^2}$ არის ამძრავის ელექტრომექანიკური დრო-

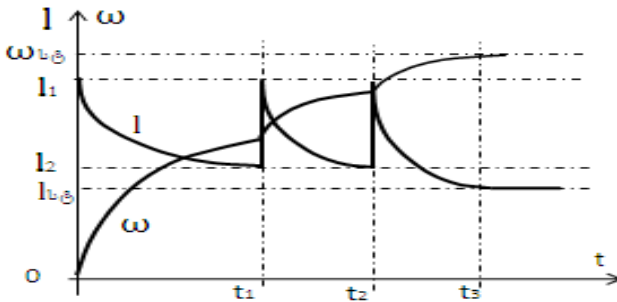
ის მუდმივა მისი მუშაობისას i -ური საფეხურის შესაბამის მექანიკურ მახასიათებელზე; I_1 -ძრავას მაქსიმალური დენია ამუშავებისას; $R_{ა.წი}$ -ღუზის წრედის წინაღობაა i -ური საფეხურის შესაბამისად. იმისათვის რომ ვიპოვოთ ძრავას რეოსტატული ამუშავებისას ცალკეულ საფეხურებზე გაქანების პროცესის ხანგრძლივობა დენის I_1 -დან I_2 -მდე ცვლილებისას უნდა ამოვხსნათ (4.16)-ე განტოლება, საიდანაც გვექნება:

$$\frac{I_i - I_{სტ}}{I_1 - I_{სტ}} = e^{-t/T_{\text{გაი}}}, \quad (4.18)$$

აქედან

$$t_i = T_{\text{გაი}} \ln \frac{I_1 - I_{სტ}}{I_2 - I_{სტ}}. \quad (4.19)$$

(4.19)-ში I_i შეცვლილია I_2 -ით, რადგან გადართვის დენი ყველა საფეხურზე ერთი და იგივეა. ამძრავის ამუშავების შესაბამისი სიჩქარის და დენის გარდამავალი პროცესის მრუდები აიგება (4.15) და (4.16) გამოსახულებებით (სურ.27).



სურ.27

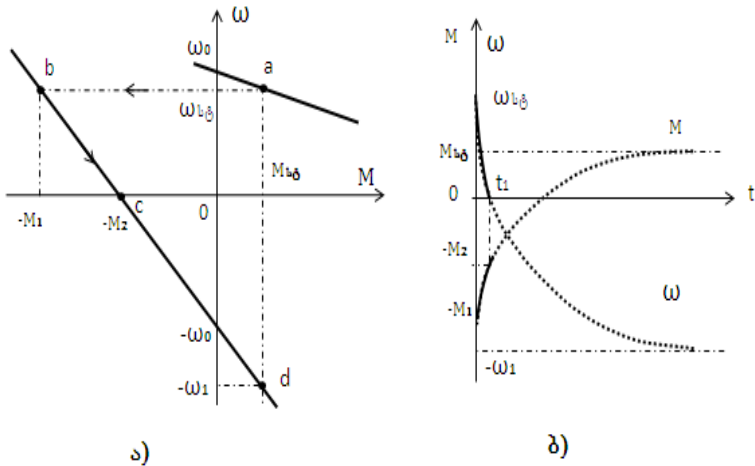
(4.15) და (4.16)-ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამუშავების პირველი საფეხურის ხანგრძლივობა მეტია მეორე საფეხურისაზე და ა.შ., ე.ი. $t_1 > t_2 > t_3$, რაც აიხსნება ელექტრომექანიკური დროის მუდმივების შემდეგი თანაფარდობით:

$$T_{\text{გა1}} > T_{\text{გა2}} > T_{\text{გაპუნ.}}, \quad (4.18)$$

სადაც $T_{ემპურ}$ არის ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივა ბუნებრივ მახასიათებელზე მუშაობისას.

§4.4. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ავზნებიანი ძრავას გარდამავალი პროცესები სამუხრუჭო რეჟიმებში

როგორც ვიცით, ძრავების სწრაფი გაჩერებისათვის იყენებენ უკუჩართვის დამუხრუჭებას. ამ დროს ცვლიან ძაბვის პოლარობას ძრავას ღუზაზე, ხოლო ღუზის მიმდევრობით ჩართავენ უკუჩართვის დამატებით წინაღობას. ამუშავებისგან განსხვავებით დამუხრუჭება უმრავლეს შემთხვევაში ხდება ერთსაფეხურად, სურ. 28,ა.



სურ.28

ვინაიდან $E = c_a \cdot \omega$ (როცა $\Phi_a = const$) სამუხრუჭო რეჟიმზე გადართვის მომენტში ძრავას ემ ძალა არ იცვლება. დამუხრუჭების დასაწყისში ძრავას ემ ძალა

$$E_{\text{საწყ}} = U - I_{\text{სტ}} R_{\text{ლ}} = c_d \omega_{\text{საწყ}}. \quad (4.19)$$

ძრავას სიჩქარის და ბრუნვის მომენტის გარდამავალი პროცესის მრუდები აიგება შემდეგი ფორმულებით:

$$\omega = -\omega_{\text{ლაძე}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{გ}}}; \quad (4.20)$$

$$M = M_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გ}}}\right) - M_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{გ}}}. \quad (4.21)$$

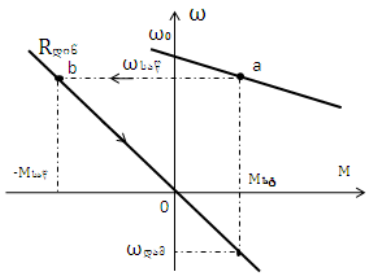
სადაც $\omega_{\text{ლაძე}}$ არის ძრავას სიჩქარე, რომელიც მას აქვს უკუჩართვის რეჟიმის მექანიკური მახასიათებლის დატვირთვის მომენტთან ($M_{\text{სტ}}$ -თან) გადაკვეთის წერტილში.

(4.20) და (4.21) ფორმულების შესაბამისი მრუდები მოყვანილია 39,ბ სურათზე. დამუხრუჭების სრული ხანგრძლივობა ამ შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით:

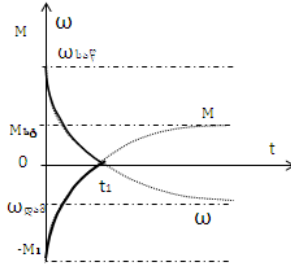
$$t_{\text{მუხჭ.}} = T_{\text{გ}} \ln \frac{M_1 + M_{\text{სტ}}}{M_2 + M_{\text{სტ}}}, \quad (4.22)$$

რომელშიც ჩანს, რომ ძრავას და მის ღერძზე წინაღობის სტატიკური მომენტების მიმართულებები თანხვედნილია. როცა ძრავას სიჩქარე გახდება ნულის ტოლი იგი უნდა გამოირთოს ქსელიდან, წინააღმდეგ შემთხვევაში მოხდება ძრავას რვეერსი.

ახლა განვიხილოთ **დინამიკური დამუხრუჭების** გარდამავალი პროცესი. შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლები მოყვანილია 29,ა სურათზე.



ა)



ბ)

სურ.29

ამ შემთხვევაში გარდამავალი პროცესის საანგარიშო ფორმულებია:

$$\omega = -\omega_{\text{ლაბყ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{ფ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{ფ}}}; \quad (4.22)$$

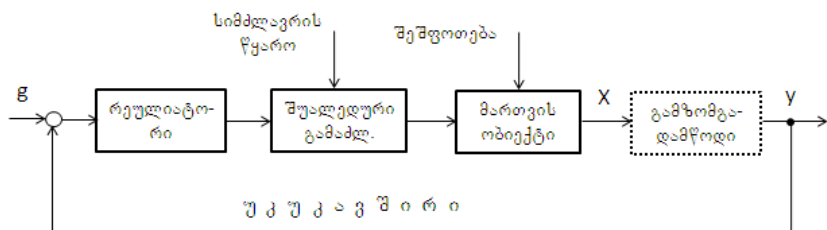
$$M = M_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{ფ}}}\right) - M_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{ფ}}}, \quad (4.23)$$

სადაც $\omega_{\text{ლაბყ}}$ არის ძრავას სიჩქარე მექანიკური მახასიათებლის იმ წერტილში, სადაც აღგილი აქვს დატვირთვის მომენტის $M_{\text{სტ}}$ -ის გადაკვეთას დინამიკურ სამუხრუჭო მახასიათებელთან (იხ. სურ. 29,ა –ზე IV კვადრატში).

V თავი. მუდმივი დენის გენერატორისა და ელექტროამბრავის უკუკავშირიანი მართვის სისტემები. ძირითადი ელემენტების გადამცემი ფუნქციები და სტრუქტურული სქემები

§5.1. მუდმივი დენის გენერატორის ძაბვის რეგულირების უკუკავშირიანი სისტემა

უკუკავშირიანი (შეკრულწრდიანი) მართვის პრინციპით მოქმედ სისტემებში სარეგულირო სიდიდე კონტროლდება სპეციალური გამზომ-გადამწოდი მოწყობილობით და მისი პროპორციული სიგნალი უკუკავშირის საშუალებით მიეწოდება მართვის სისტემის პირდაპირ არსში შესავალზე განთავსებულ რეგულატორზე ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 30-ე სურათზე.

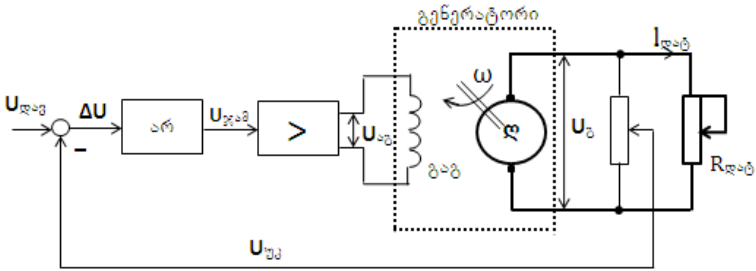


სურ. 30

სარეგულირო x სიდიდის ფაქტიური მნიშვნელობის შესაბამისი y სიგნალი, რომელიც გამომუშავდება უკუკავშირში ჩართული გადამწოდის მიერ, შედარდება g დავალების (მართვის) სიგნალს და მიღებული სხვაობა ე.წ. სისტემის ცდომილების სიგნალი (უფრო ზუსტად მისი პროპორციული სიდიდე) მიეწოდება რეგულატორს. რეალურად ეს სიგნალი ამუშავებს მთელ

სისტემას მაღალი სიზუსტითა და მაქსიმალური სწრაფქმედებით.

მე-31 სურათზე წარმოდგენილია მუდმივი დენის გენერატორის (გ) ძაბვის რეგულირების სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს სარეგულირო სიდიდის მუდმივად შენარჩუნებას (სტაბილიზაციას) მაღალი სიზუსტით.



სურ. 31

სქემაზე გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: u_d არის სისტემის დავალების (მართვის) ძაბვა, მისი სიდიდე 10 ვ-ს არ აღემატება; $რ$ - რეგულატორი, რომელიც თანამედროვე რეგულირებად ტექნიკაში წარმოადგენს ოპერაციულ გამაძლიერებელს დიდი სტატიკური გაძლიერების კოეფიციენტით; $მ$ - შუალედური მაძლიერებელი, რომელიც $რ$ რეგულატორიდან მიღებულ რამდენიმე ერთეულის ტოლ ძაბვას გააძლიერებს $გ$ გენერატორის აგზნების გრანგლისათვის საჭირო რამდენიმე 100 -ული ვოლტის ტოლ ძაბვამდე; $პ$ - პოტენციომეტრი, რომლიდანაც ვიღებთ $გ$ -ის გამოსავალ მომჭერებზე არსებული ძაბვის პროპორციულ სიგნალს. სწორედ ეს სიგნალი მიეწოდება სისტემის უკუკავშირის

წრედში $\mu_{\text{კ}}$ -ის დაბვის სახით; რღატ-გენერატორის ღუზის მომჭერებზე მიერთებული დატვირთვის წინაღობა, რომლის ცვლილება იწვევს გ-გენერატორის ღუზის დენის ($I_{\text{ღატ}}$) და დაბვის ცვლილებას.

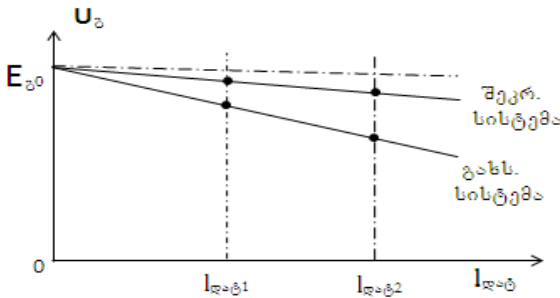
განსახილველი სქემა მუშაობს შემდეგნაირად: თავდაპირველად გ-გენერატორს გარე ზემოქმედებით მოვიყვანთ ბრუნვით მოძრაობაში. შემდგომ იმისათვის, რომ გ-გენერატორმა გამოიმუშაოს დაბვა საჭიროა სქემის შესავალზე მივაწოდოთ დავალების $\mu_{\text{ღ}}$ დაბვა. შესაბამისი დაბვები წარმოიქმნება რეგულატორის და შუალედური გამაძლიერებლის გამოსასვლელებზე ანუ გ-ის აგზნების გრაგნილს გუნდება დაბვა. ეს გ-ში შექმნის აგზნების მაგნიტურ ველს. ის მბრუნავი გ-ის ღუზის გრაგნილებში დააინდუქცირებს ე.მ.ძალას, რაც საბოლოოდ გენერატორის ღუზის მომჭერებზე წარმოქმნის დაბვას

$$U_{\text{ღ}} = E_{\text{ღ}} - I_{\text{ღატ}} \cdot R_{\text{ღ}} \quad (5.1)$$

სადაც $E_{\text{ღ}} = k_{\text{კ}} \cdot \omega_{\text{ღ}} \cdot \phi_{\text{სგ}}$ არის გენერატორის ღუზის გრაგნილებში დაინდუქცირებული ე.მ.ძალა ; $k_{\text{კ}}$ - მანქანის კონსტრუქციული კოეფიციენტი; $\phi_{\text{სგ}}$ - გენერატორის აგზნების მაგნიტური ველის ნაკადი ; $R_{\text{ღ}}$ -გენერატორის ღუზის გრაგნილის აქტიური წინაღობა.

თუ დავუშვებთ, რომ გენერატორი მუშაობს უქმ სვლაზე, ე.ი $I_{\text{ღატ}} = 0$ -ს, მაშინ $U_{\text{ღ}} = E_{\text{ღ}}$ -ს. ამ დროს უკუკავშირის დაბვა ($u_{\text{კკ}}$) მცირედ განსხვავდება დავალების დაბვის ($u_{\text{ღ}}$ -ს) სი-

დიდისაგან (განსხვავება სქემის ცდომილებაზეა დამოკიდებული). როცა გენერატორის ღუზის გრაგნილის მომჭერებთან ჩაერთავთ $R_{ღაბ}$ -ს, მაშინ (1)-ფორმულის თანახმად U_{δ} -ძაბვა შემცირდება $\Delta U_{\delta} = I_{ღაბ} R_{\delta}$ -სიდიდით, თუ სისტემას არ აქვს უკუკავშირი.



სურ. 32

32-ე სურათზე ნაჩვენებია გენერატორის გარე მახასიათებელი, რომლის I წერტილი გვიჩვენებს დატვირთვის შესაბამისი ძაბვის მნიშვნელობას სისტემის მუშაობისას უკუკავშირის გარეშე. როცა სისტემას გააჩნია ძაბვის უარყოფითი უკუკავშირი, მაშინ გენერატორის ძაბვა ეცემა მხოლოდ $1'$ წერტილის შესაბამის სიდიდემდე. ეს ხდება იმიტომ, რომ უკუკავშირიან სისტემაში გენერატორის დატვირთვისას, U_{δ} -ს შემცირება იწვევს $U_{\gamma\gamma}$ -ის ძაბვის შემცირებასაც, მას კი მოჰყვება სისტემის ცდომილების ΔU ძაბვის გაზრდა. ეს გამოიწვევს გაგ-ზე მიწოდებული ძაბვის და გ-ის მაგნიტური ველის ნაკადის ($\phi_{\gamma\delta}$) მომატებას. ამით საბოლოოდ გაზრდება გენერატორის მიერ

გამომუშავებული $U_{\text{გ}}$ ძაბვა. ამრიგად, (1)-ლ ფორმულაში მეორე მდგენელის (გენერატორის დატვირთვით გამოწვეული ძაბვის ვარდნის) კომპენსაცია, უკუკავშირის მოქმედების გამო, ხორციელდება აგზნების ნაკადის მომატებით და $E_{\text{გ}}$ -ს გაზრდით. იმავე სურ.104-ზე ნაჩვენებია გენერატორის გარე მახასიათებლები შეკრულწრედიანი (უკუკავშირიანი) სისტემისათვისაც.

უკუკავშირიანი მართვის სისტემის (სურ. 31) შემთხვევაში გენერატორის გარე მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად უნდა ვისარგებლოთ მისი ცალკეული ელემენტისათვის ჩაწერილი შემდეგი განტოლებებით:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{გ}} &= E_{\text{გ}} - I_{\text{დატ}} R_{\text{გ}}; \\
 E_{\text{გ}} &= k_{\text{გ}} \cdot U_{\text{აგ}}; \\
 U_{\text{აგ}} &= k_{\text{ა}} \cdot U_1; \\
 U_1 &= k_{\text{რ}} \cdot \Delta U; \\
 \Delta U &= U_{\text{დ}} - U_{\text{უკ}}; \\
 U_{\text{უკ}} &= k_{\text{უკ}} \cdot U_{\text{გ}},
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

სადაც $k_{\text{გ}}$ არის გენერატორის გაძლიერების (გადაცემის) კოეფიციენტი ზაბვის მიხედვით, იგი შეიძლება განვსაზღვროთ მისი ნომინალური სიდიდეებით, ასე $k_{\text{გ}} = E_{\text{გნომ}} / U_{\text{აგნომ}}$; $k_{\text{ა}}$, $k_{\text{რ}}$ და $k_{\text{უკ}}$ - შესაბამისად შეაღწეული გამაძლიერებლის, სისტემის რეგულატორის და უკუკავშირის გადაცემის კოეფიციენტები.

(5.2)-ის ერთობლივი გადაწყვეტით მივიღებთ გენერატორის გარე მახასიათებლის გამოსახულებას უკუკავშირიანი სისტემისათვის:

$$U_{\text{გ}} = \frac{k_{\text{ს}}/k_{\text{შკ}}}{1+k_{\text{ს}}} \cdot U_{\text{ლაგ}} - \frac{I_{\text{ლაგ}} \cdot R_{\text{გ}}}{1+k_{\text{ს}}}, \quad (5.3)$$

სადაც $k_{\text{ს}} = k_{\text{გ}}k_{\text{გ}}k_{\text{გ}}k_{\text{შკ}}$ - სისტემის საერთო გაძლიერების (გადაცემის) კოეფიციენტი.

(5.3)-ის პირველი მდგენელი ეკვივალენტურია გენერატორის ემ-ძალისა, ხოლო მეორე მდგენელი კი გენერატორში დაბვის ვარდნაა შეკრულწრედიანი მართვისას.

როგორც ჩანს, გენერატორში დაბვის ვარდნა უკუკავშირიან სისტემაში $(1+k)$ -ჯერ ნაკლებია გახსნილ სისტემაში დაბვის ვარდნასთან ($\Delta U_{\text{გ}} = I_{\text{ლაგ}} R_{\text{გ}}$) შედარებით. თანამედროვე სისტემებისათვის k -ს სიდიდე რამდენიმე ათეული ათასის ტოლია, რის გამოც $\Delta U_{\text{გ,შკ}}$ შეიძლება ჩავთვალოთ ნულის ტოლად.

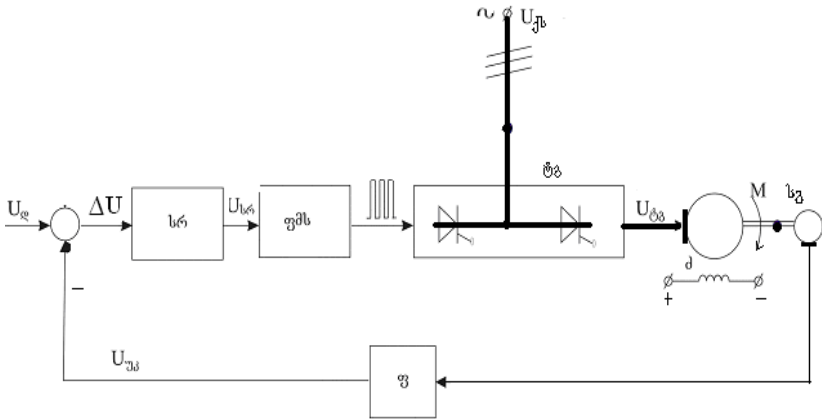
§5.2. მუდმივი დენის ელექტროამპრავის უკუკავშირიანი მართვის სისტემის სტატიკა

ელექტროამპრავის უკუკავშირიანი სისტემის დანიშნულებაა დავალებით განსაზღვრული მოძრაობის მუდმივად შენარჩუნება მაღალი სიზუსტით.

33-ე სურათზე წარმოდგენილია სინქარის უარყოფით უკუკავშირიანი ტირისტორული ელექტროამპრავის მართვის სისტემა, რომელიც შედგება შემდეგი ელემენტებისაგან: \mathcal{D} არის

მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ალგზნებიანი ძრავა; **ტბ** -ტირისტორული გამართველი (იგი კვებავს ძრავას ღუზის გრაგნილს რეგულირებადი ძაბვით); **სრ** და **სგ** –სინქარის რეგულატორი და გადამწოდი (ტაქოგენერატორი); **ფ** –ფილტრი, რომელიც ჩართულია ტაქოგენერატორის გამოსავალზე და უზრუნველყოფს **სგ**-დან მიღებული მფეთქავი ხასიათის მქონე ძაბვის ($U_{უკ}$) გაუთოებას.

ამძრავის ასამუშავებლად თავიდან აუცილებელია ალგზნების გრაგნილის და ტირისტორული გარდამქმნელის მიერთება შესაბამის დენის წყაროსთან. მას შემდეგ, რაც მართვის სისტემას მივაწვდით დავალების სიგნალს ამძრავი დაიწყებს აჩქარებას და მისი სინქარე დამყარდება დავალების სიგნალის



სურ. 33

შესაბამის სიდიდეზე. ძრავას გაშვების პროცესი ამჯერად ხორციელდება ფორსირებულად სისტემის უკუკავშირის დახმარებით. ფორსირებას იწვევს ის, რომ თავიდან სანამ ძრავა

ჯერ კიდევ უძრავია სისტემის დავალების ძაბვა მთლიანად მოედება სინქარის რეგულატორს. ძაბვის ეს სიდიდე გაცილებით ჭარბობს ნორმალურს, ამიტომ პროცესი წარიმართება ფორსირებულად, ხოლო მისი მოხსნა მოხდება უმაღვე, როგორც კი ძრავა დაიწყებს დაბრუნებას (ანუ როცა გაჩნდება ძაბვა უკუკავშირში).

სინქარის უკუკავშირიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის (სურ.33) სინქარული მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად საჭიროა ჩავწეროთ მისი ცალკეული ელემენტის სტატიკური რეჟიმის შესაბამისი განტოლებები:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U = U_{\text{ღ}} - U_{\text{უკ}}; \\ U_{\text{უკ}} = K_{\text{სგ}} \omega; \\ U_{\text{სრ}} = K_{\text{სრ}} \Delta U; \\ E_{\text{ტგ}} = K_{\text{ტგ}} U_{\text{სრ}}; \\ U_{\text{ტგ}} = E_{\text{ტგ}} - I_{\text{ღ}} R_{\text{ტგ}}; \\ U_{\text{ძ}} = E_{\text{ძ}} - I_{\text{ღ}} R_{\text{ღძ}}; \\ E_{\text{ძ}} = c_{\text{ძ}} \omega, \end{array} \right. \quad (5.4)$$

სადაც $K_{\text{სრ}}$, $K_{\text{ტგ}}$ და $K_{\text{სგ}}$ არის შესაბამისად სინქარის რეგულატორის, ტირისტორული გარდამქმნელის და სინქარის გამწოდის გადაცემის კოეფიციენტები; $E_{\text{ძ}}, E_{\text{ტგ}}, I_{\text{ღ}}, R_{\text{ღძ}}$ და $R_{\text{ტგ}}$ —ძრავას ღუზის და ტგ-ს ე.მ. ძალები, აგრეთვე ღუზის დენი, ღუზის გრავნილის და ტგ-ს აქტიური წინაღობები; $c_{\text{ძ}}$ —ძრავას ე.მ. ძალის პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც

განსაზღვრება მისი საპასპორტო მონაცემებით და შემდეგი ფორმულით:

$$c_d = \frac{U_{\text{ნომ}} - I_{\text{ნომ}} \cdot R_{\text{ლძ}}}{\omega_{\text{ნომ}}}; \quad (5.5)$$

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

$$K_{\text{ტბ}} = \frac{\Delta E_{\text{ტბ}}}{\Delta U_{\text{სრ}}}; \quad (5.6)$$

(5.4)-ის ერთობლივი ამონახსნი გვაძლევს ამძრავის უკუკავშირიანი სისტემის სინქარული მახასიათებლის ფორმულას:

$$\omega = \frac{K_{\text{სრ}} K_{\text{ტბ}} K_d}{1 + K_{\text{სრ}} K_{\text{ტბ}} K_d K_{\text{უკ}}} \cdot U_{\text{დ}} - \frac{I_{\text{დ}} R_{\text{ლწ}}}{c_d (1 + K_{\text{სრ}} K_{\text{ტბ}} K_d K_{\text{უკ}})}, \quad (5.7)$$

სადაც $K_d = \frac{1}{c_d}$ არის ელექტროძრავას გადაცემის კოეფიციენტი; $R_{\text{ლწ}} = R_{\text{ლძ}} + R_{\text{ტბ}}$ -ძრავას ღუზის წრედის სრული აქტიური წინაღობა.

თუ, (5.7)-ში შევცვლით $I_{\text{დ}}$ - ს ძრავას ბრუნვის მომენტით (M) შემდეგი გამოსახულების მიხედვით

$$M = c_d \cdot I_{\text{დ}}, \quad (5.8)$$

მაშინ ადვილად მივიღებთ უკუკავშირიანი ამძრავის მექანიკური მახასიათებლის ფორმულასაც:

$$\omega = \frac{K / K_{\text{უკ}}}{1 + K} U_{\text{დ}} - \frac{MR_{\text{დ}}}{c_j^2(1 + K)}, \quad (5.9)$$

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

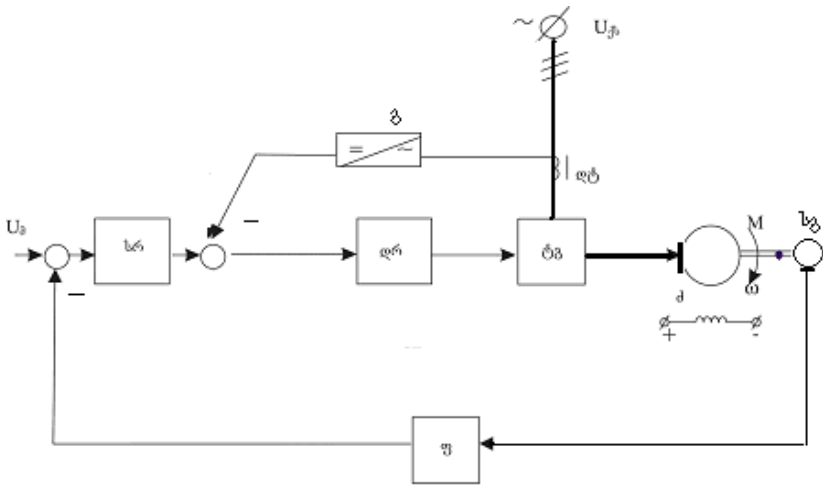
(7.9)-ში პირველი მდგენელი წარმოადგენს ამძრავის უკმი სვლის სიჩქარის შესაბამის სიდიდეს (ω_0), ხოლო მეორე მდგენელი არის ამძრავის დატვირთვისას სიჩქარის ვარდნა უკუკავშირიან (შეკრულ) სისტემაში ($\Delta\omega$). ვინაიდან უკუკავშირიანი სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი დიდია, ამიტომ ამძრავის შეკრული სისტემის სიჩქარის ვარდნა გაცილებით მცირეა გახსნილწვდიანი სისტემის შესაბამის სიჩქარის

$$\text{ვარდანასთან შედარებით, ე.ი. } \Delta\omega \ll \Delta\omega_{\text{გახსნ}} = \frac{M \cdot R_{\text{დ}}}{c_j^2}.$$

უზრუნველყოფს რა სიჩქარის უარყოფითი უკუკავშირი სისტემის სტატიკური სიზუსტის გაზრდას, ის იმავდროულად იწვევს ამძრავის დინამიკური პროცესების ფორსირებას, რასაც თავის მხრივ შეუძლია გამოიწვიოს გაუთვალისწინებელი შედეგები (სწორედ ამიტომ დინამიკური რეჟიმების ოპტიმიზება ცალკე პრობლემას წარმოადგენს, იხ. VI თავში).

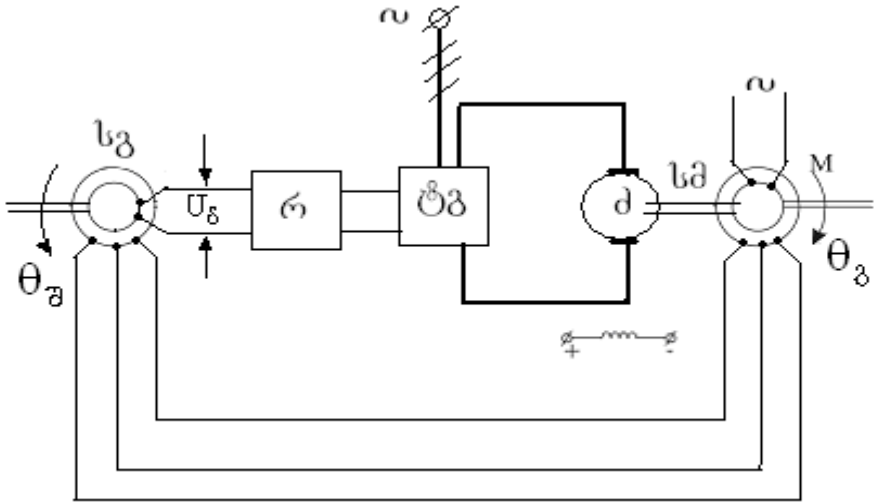
პრაქტიკაში ტირისტორული ელექტროამძრავების სქემებში სიჩქარის უკუკავშირთან ერთად გამოიყენება დენის უკუკავშირიც, ამიტომ ამძრავის სისტემა გამოდის ორკონტურიანი, შესაბამისი ფუნქციონალური სქემა წარმოდგენილია 33-ე სურათზე. სქემაზე **სრ** და **დრ** სიჩქარის და დენის რეგულატორებია. იგი ისე, როგორც წინა განხილული სისტემა, უზ-

რუნველყოფს ამძრავის სიჩქარის სტაბილიზაციას მაღალი სიზუსტით, ხოლო დინამიკაში საშუალებას იძლევა გააკომპენსირებულ იქნას ამძრავის ძირითადი (დიდი) ინერციულობები, რაც საბოლოოდ საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ სიჩქარის რეგულირების სწრაფქმედება.



სურ. 34

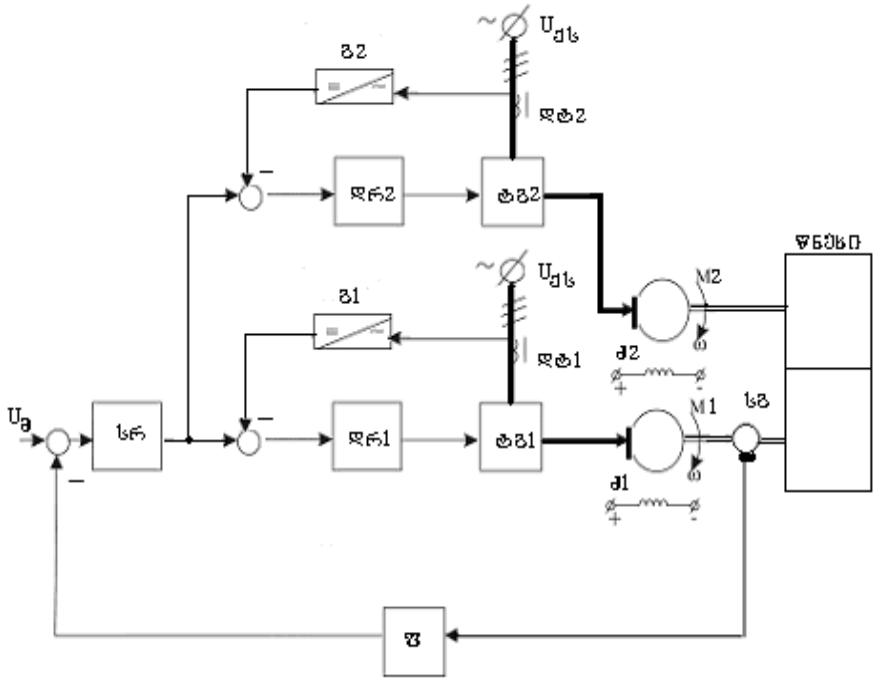
რადიოლოკაციურ ანტენებზე და რადიოტელესკოპებზე გამოიყენება მუდმივი დენის ელექტროამძრავის ე.წ. „მიმყოლი“ მართვის სისტემა (სურ.35). ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს შესავალზე მიწოდებული გარეშე ფაქტორებით განსაზღვრული სიგნალის გამეორებას სისტემის გამოსავალზე არსებული სიგნალის სახით. სისტემის შემავალი და გამომავალი დერძების მობრუნების კუთხეთა ($\Theta_{შ}$ და $\Theta_{გ}$) განსხვავების გაზომვა ხორციელდება სკ და სმ გადამწოდი (მოკარნახე) და მიმღები სელსინების გამოყენებით. როცა სმ-ის დერძი შემობ-



სურ.35.

რუნდება რაიმე კუთხით, მაშინვე სგ-ს ერთფაზა გამოსასვლელზე გაჩნდება სელსინების ღერძების უთანხმოების (ცლომილების) პროპორციული u_{δ} ძაბვა. სისტემის პირდაპირ არხში რ -რეგულატორიდან გაივლის სიგნალი, რომელიც აამუშავებს სმ-ის ღერძზე დამაგრებულ შემსრულებელ ძრავას. იგი იმუშავებს მანამ, სანამ არ მოისპობა უთანხმოება სმ-ის და სგ-ს ღერძების მობრუნების კუთხეებს შორის.

დიდი სიძლიერის საწარმოო მექანიზმებზე, კერძოდ საწნეს დანადგარებზე ბოლო წლებია საიმედოობის გაზრდისა და პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით პრაქტიკაში ფართოდ ნერგავენ ორძრავიან ელექტროამძრავებს. 36-ე სურათზე წარმოდგენილია მუდმივი დენის ორძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის მართვის სისტემის ფუნქციონალურ-სქემა, რომელიც შემუშავებულია ამ წიგნის ავტორის მიერ.



სურ.36.

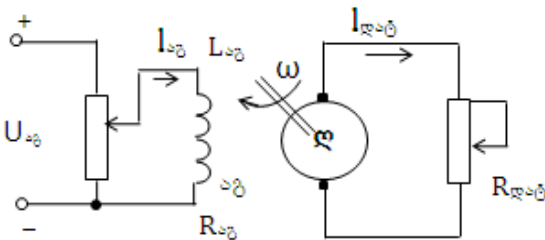
სქემა უნიკალურია მსოფლიოში არსებულ ორძრავიანი ამპრავების სქემათა შორის და ახორციელებს ძრავებს შორის დატვირთვის პროპორციულ განაწილებას მართვის სისტემაში ყოველგვარი დამატებითი ელემენტების გარეშე.

სინქარის რეგულირების დიდ დიაპაზონს იძლევა, აგრეთვე ცვლადი დენის სამფაზა ასინქრონული ძრავას ბაზაზე შედგენილი ძაბვით და მისი სიხშირით მართვადი უკუკავშირის სისტემა. ასეთი სისტემის ფართოდ დანერგვას ხელს უშლის სიხშირის გარდამსახის სირთულე.

§5.3. მუდმივი დენის გენერატორის გადამცემი ფუნქცია

დინამიკური სისტემების გარდამავალი პროცესების შესასწავლად, როგორც წესი, გამოიყენება დიფერენციალური განტოლებები. მათი საშუალებით შეიძლება შედგენილ იქნას, აგრეთვე უკუკავშირიანი მართვის სისტემების მათემატიკური მოდელები. შედარებით რთული სისტემების დინამიკური რეჟიმების შესწავლის დროს უფრო ხშირად სარგებლობენ ე.წ. გადამცემი ფუნქციებითა და მათი საშუალებით შედგენილი სტრუქტურული სქემებით. რომელიმე რგოლის (ან ელემენტის) გადამცემი ფუნქცია საზოგადოდ წარმოადგენს გამომავალი და შემავალი სიდიდეების ოპერატორულ მნიშვნელობათა შეფარდებას ნულოვანი საწყისი პირობების დროს. ოპერატორად, როგორც წესი, იღებენ წარმომადგენლის სიმბოლურ აღნიშვნას და ის ასე გამოიხატება $s = d/dt$.

მუდმივი დენის გენერატორის (სურ.37) გადამცემი ფუნქციის



სურ.37

მისაღებად უნდა დავეუშვათ ის გარემოება, რომ გენერატორი ბრუნავს მუდმივი სიჩქარით ($\omega = const$). ვინაიდან მისი

ძაბვის რეგულირების პროცესის ხანგრძლივობა ძირითადად განპირობებულია ადგზნების წრედის ელექტრომაგნიტური ინერციულობით, ამიტომ უნდა ვისარგებლოთ ამ წრედის ძაბვების წონასწორობის შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით

$$U_{აგ} = L_{აგ} \frac{dI_{აგ}}{dt} + R_{აგ} I_{აგ},$$

(5.10)

სადაც $L_{აგ}$, $R_{აგ}$ არის გენერატორის აგზნების გრანგის ინდუქტივობა და აქტიური წინაღობა.

თუ ჩავთვლით, რომ მდ. გენერატორი მუშაობს დამაგნიტების მრუდის წრფივ უბანზე, ე.ი. მისი ემ. ძალა $E_{აგ} \equiv I_{აგ}$, მაშინ (5.10)-ში თუ შემოვიტანთ წარმოებულის სიმბოლურ აღნიშვნას $s = d/dt$ ე.წ. ლაპლასის ოპერატორს და მოვახდენთ მარტივ გარდაქმნებს ადვილად მივიღებთ გენერატორის გადამცემ ფუნქციას

$$W(p) = \frac{E_{აგ}(p)}{U_{აგ}(p)} = \frac{K_{აგ}}{T_{აგ}p + 1}, \quad (5.11)$$

სადაც $K_{აგ} = \Delta E_{აგ} / \Delta U_{აგ}$ არის გენერატორის გაძლიერების კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით; $T_{აგ} = L_{აგ} / R_{აგ}$ - აგზნების გრანგის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა.

(5.11)-ე სამართლიანია, აგრეთვე ცვლადი დენის სამფაზა სინქრონული გენერატორისთვისაც.

§5.4. მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავას გადამცემი ფუნქციები

თუ ჩავთვლით, რომ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავას მაგნიტური ნაკადი, მისი ღუზის წრედის ინდუქტივობა ($L_{\text{ღ}}$) და აქტიური წინააღობა ($R_{\text{ღ}}$) არ იცვლება, მაშინ გადამცემი ფუნქციის მისაღებად უნდა ვისარგებლოთ ღუზის წრედის ძაბვების წონასწორობის და ამძრავის მოძრაობის შემდეგი დიფერენციალური განტოლებებით

$$U = c_d \cdot \omega + L_{\text{ღ}} \frac{dI_{\text{ღ}}}{dt} + R_{\text{ღ}} I_{\text{ღ}}; \quad (5.12)$$

$$M - M_{\text{სტ}} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (5.13)$$

სადაც: U არის ძრავას ღუზაზე მიწოდებული ძაბვა (შემავალი სიგნალი); c_d -ძრავას ემ-ძალის პროპორციულობის კოეფიციენტი; M -ძრავას ბრუნვის მომენტი; J -ამძრავის ჯამური ინერციის მომენტი; $M_{\text{სტ}}$ -ძრავას ღერძზე წინააღობის სტატიკური მომენტი.

თუ დავუშვებთ, რომ ძრავა მუშაობს უქმ სვლაზე ($M_{\text{სტ}} = 0$), მაშინ ზემოთ ჩაწერილი დიფერენციალური განტოლებების მართივი გარდაქმნებით მივიღებთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავას გადამცემ ფუნქციას

$$W_d(p) = \frac{\omega(p)}{U_d(p)} = \frac{K_d}{T_{\text{ლ}} T_{\text{ქმ}} p^2 + T_{\text{ქმ}} p + 1}, \quad (5.14)$$

სადაც $K_d = 1/c_d$ არის ძრავას გადაცემის კოეფიციენტი;

$T_{\text{ლ}} = L_{\text{ლწ}}/R_{\text{ლწ}}$ და $T_{\text{ქმ}} = JR_{\text{ლწ}}/c^2$ -შესაბამისად, ძრავას ღუზის წრედის ელექტრომაგნიტური და ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივები.

ვინაიდან ძრავას გააჩნია ენერჯიის ორი დამგროვებელი (მექანიკური-კინეტიკური და მაგნიტური ღუზის გრაგნილში), ამიტომ მასში მიმდინარე გარდამავალი პროცესი საზოგადოდ მერხვეი ხასიათის მატარებელია.

მიღებული გადამცემი ფუნქციის მნიშვნელის (მახასიათებელი პოლინომის) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თუ $T_{\text{ქმ}} \geq 4T_{\text{ლ}}$, მაშინ (5.14)-ე შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$W_d(p) = \frac{K_d}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (5.15)$$

სადაც:
$$T_{1,2} = \frac{T_{\text{ქმ}}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_{\text{ქმ}}}{2}\right)^2 - T_{\text{ლ}} T_{\text{ქმ}}}. \quad (5.16)$$

ამ შემთხვევაში ძრავას განიხილავენ როგორც II რიგის აპერიოდულ რგოლს.

თუ $T_{\text{ქმ}} < 4T_{\text{ლ}}$, მაშინ ძრავას განიხილავენ როგორც რხევით რგოლს შემდეგი ნორმირებული სახის ფუნქციით

$$W_d(p) = \frac{\omega(p)}{U_d(p)} = \frac{K_d}{T_d^2 p^2 + 2\xi T_d p + 1}, \quad (5.17)$$

სადაც ξ არის რხევითი რგოლის დემპფერირების (რხევის ჩაქრობის) კოეფიციენტი.

მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ალგზნიბიანი ძრავასათვის ზემოთ განსაზღვრული გადამცემი ფუნქციები მიღებულია ცვლადების აბსოლუტურ ერთეულებში გამოსახული სიდიდეების შემთხვევისათვის. შედარებითი ანალიზის ჩასატარებლად უფრო მოხერხებულია გადამცემი ფუნქციები, რომლებიც განსაზღვრულია ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში (იხ.ქვემოთ).

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 ამძრავის ცალკეული ელემენტის მუშაობა უნდა განვიხილოთ მისი სტატიკური მახასიათებლის, რომელიმე ბაზისური დამყარებული რეჟიმის შესაბამისი (ისინი ქვემოთ აღნიშნული იქნება „ბ“ ინდექსიანი სიდიდეებით) წერტილიდან მცირე გადახრის ფარგლებში.

გამოვიყვანოთ ეხლა მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ალგზნიბიანი ძრავას გადამცემი ფუნქციები ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა ძრავა იკვებება ტირისტორული გამმართველიდან (ტვ). ამ შემთხვევაში უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი დიფერენციალური განტოლებებით:

$$E_{\text{ტვ}} = E_d + I_d R_{\text{დ.წ}} + L_{\text{დ.წ}} \frac{dI_{\text{დ}}}{dt}; \quad (5.18)$$

$$M - M_{სტ} = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (5.19)$$

სადაც გარდა ზემოთ გამოყენებული აღნიშვნებისა, აგრეთვე გვაქვს: $L_{ლწ} = L_{ლძ} + L_{ტგ}$ -ძრავას ღუზის წრედის სრული ინდუქტივობა, რომელიც შედგება საკუთრივ ძრავას ღუზის გრაგნილის და ტგ-ის მკვებავი ძალური ტრანსფორმატორის გრაგნილების ინდუქციურობებისაგან; $L_{ტგ} = L_{დრ} + 2L_{ტრ}$; $L_{დრ}$ - გამმართველის გამოსასვლელზე ჩართული დროსელის ინდუქტივობა; $L_{ტრ}$ -ტრანსფორმატორის ერთი ფაზის გრაგნილის ინდუქტივობა; $R_{ლწ} = R_{ლძ} + R_{ტგ}$ -ღუზის წრედის სრული აქტიური წინაღობა; $M_{სტ}$ -ძრავას 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 ამძრავის 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 (5.18)-ში და (5.19)-ში ცვლადებს გამოვსახავთ ბაზისურიდან მცირე გადახრის შესაბამისი აბსოლუტური ნაზრდებით, მაშინ გვექნება

$$E_{\text{ტბ}} + \Delta E_{\text{ტბ}} = E_{\text{ძბ}} + \Delta E_{\text{ძ}} + R_{\text{ლ.წ}}(I_{\text{ლბ}} + \Delta I_{\text{ლ}}) + L_{\text{ლწ}} \frac{d(I_{\text{ლბ}} + \Delta I_{\text{ლ}})}{dt}; \quad (5.20)$$

$$c_{\text{ძ}}(I_{\text{ლბ}} + \Delta I_{\text{ლ}}) - M_{\text{სტბ}} - \Delta M_{\text{სტ}} = J \frac{d(\omega_{\text{ბ}} + \Delta \omega)}{dt}, \quad (5.21)$$

სადაც „ბ” ინდექსებიანი სიდიდეები ბაზისური რეჟიმისაა.

(5.20) და (5.21)-ში გამოვრიცხოთ ბაზისური სიდიდეები, მივიღებთ განტოლებებს აბსოლუტურ ნაზრდებში:

$$\Delta E_{\text{ტბ}} = \Delta E_{\text{ძ}} + R_{\text{ლ.წ}} \Delta I_{\text{ლ}} + L_{\text{ლწ}} \frac{d\Delta I_{\text{ლ}}}{dt}; \quad (5.22)$$

$$c_{\text{ძ}} \Delta I_{\text{ლ}} - \Delta M_{\text{სტ}} = J \frac{d\Delta \omega}{dt}. \quad (5.23)$$

ცვლადების ფარდობით ნაზრდებში გამოსახვის მიზნით (5.22) გავყოთ $E_{\text{ტბ}}$ -ზე, ხოლო (5.23) კი $M_{\text{სტბ}}$ -ზე. თუ, იმავდროულად ვისარგებლებთ დიფერენცირების ოპერატორით ($s = \frac{d}{dt}$), მაშინ ადვილად მივიღებთ განტოლებების ოპერატორულ გამოსახულებებს ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში:

$$\Delta \varepsilon_{\text{ტბ}} = K_e \Delta v + \frac{1}{K_{\text{ლ}}} \Delta I_{\text{ლ}} (T_{\text{ლ}}^s + 1); \quad (5.24)$$

$$\Delta I_{\text{ლ}} - \Delta \mu_{\text{სტ}} = T_{\text{გ}} s \cdot \Delta v, \quad (5.25)$$

სადაც $\Delta \varepsilon_{\text{ტბ}} = \frac{\Delta E_{\text{ტბ}}}{E_{\text{ტბ.ბ}}}$, $\Delta v = \frac{\Delta \omega}{\omega_{\text{ბ}}}$, $\Delta I_{\text{ლ}} = \frac{\Delta I_{\text{ლ}}}{I_{\text{ლ.ბ}}}$, $\Delta \mu_{\text{სტ}} = \frac{\Delta M_{\text{სტ}}}{M_{\text{ბ.}}}$

არის შესაბამისად ტირისტორული გარდამსახის ემპ-ის, ძრავას კუთხური სიქარის, ღუზის დენის და სტატიკური მომენტის

ფარდობითი ნაზრდებია; $K_e = \frac{1}{1 + \delta_{\text{ბ}}}$ და $K_{\text{ლ}} = \frac{1 + \delta_{\text{ბ}}}{\delta_{\text{ბ}}}$ -ძრავას

ემძის და ღუზის ელექტრული წრედის გადაცემის კოეფიციენტები; $\delta_{\text{გ}} = \frac{\Delta \omega_{\text{გ}}}{\omega_{\text{გ}}}$ - ძრავას სიხქარის ფარდობითი ვარდნა უქმს

სელიდან ნომინალური დატვირთვის შესაბამის სიხქარემდე (გახსნილწრედიან სისტემაში); $T_{\text{ლ}} = \frac{L_{\text{ლ}} \sqrt{\nu}}{R_{\text{ლ}} \sqrt{\nu}}$ - ძრავას ღუზის

წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა; $T_{\text{მ}} = \frac{J \omega_{\text{გ}}}{M_{\text{სტ.ბ.}}}$ -

ელექტროამძრავის მექანიკური დროის მუდმივა, ($T_{\text{მ}}$ ამძრავის თეორიაში ცნობილ ელექტრომექანიკურ დროის მუდმივას უკავშირდება შემდეგი ფორმულით $T_{\text{მ}} = T_{\text{მ}} / \delta_{\text{გ}}$).

(5.25)-დან თუ, ჩავსვამთ $\Delta \nu_{\text{ლ}}$ -დენის სიდიდეს (5.24)-ში და დავეუშვებთ, რომ $\Delta \mu_{\text{სტ.ბ.}} = 0$ (ამძრავი მუშაობს უქმ სვლაზე), მაშინ ადვილად მივიღებთ ძრავის საერთო გადამცემ ფუნქციას

$$W_{\text{მ}}(s) = \frac{\Delta \nu(s)}{\Delta \varepsilon_{\text{ტ.ბ.}}(s)} = \frac{K_{\text{მ}}}{T_{\text{ლ}} \cdot T_{\text{მ}} \cdot s^2 + T_{\text{მ}} \cdot s + 1}, \quad (5.26)$$

სადაც $K_{\text{მ}} = \frac{1}{K_e}$ - ძრავას გადაცემის კოეფიციენტი.

ნორმირებულ სახეში (7.26) შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$W_{\text{მ}}(s) = \frac{K_{\text{მ}}}{T_{\text{მ}}^2 s^2 + 2\xi T_{\text{მ}} \cdot s + 1}, \quad (5.27)$$

სადაც $T_{\text{მ}} = \sqrt{T_{\text{ლ}} \cdot T_{\text{მ}}}$; $\xi = T_{\text{მ}} / 2T_{\text{მ}}$ - რხევის დემპფერირების კოეფიციენტი.

თუ $\xi < 1$, მაშინ ძრავა რხევითი თვისებების მატარებელია (რაც უფრო მცირეა ξ , მით მეტია დინამიკური რხევის ამპლიტუდა). თუ $\xi \geq 1$, მაშინ (5.27) მეორე რიგის აპერიოდულ რგოლად წარმოდგინდება:

$$W_d(s) = \frac{K_d}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}, \quad (5.28)$$

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

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 ორმახიან დრეკად სისტემას (ჰუკის კანონის გათვალისწინებით) შემდეგი განტოლებებით:

$$M - M_{დრ} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \quad (5.29)$$

$$M_{დრ} - M_{სტ} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \quad (5.30)$$

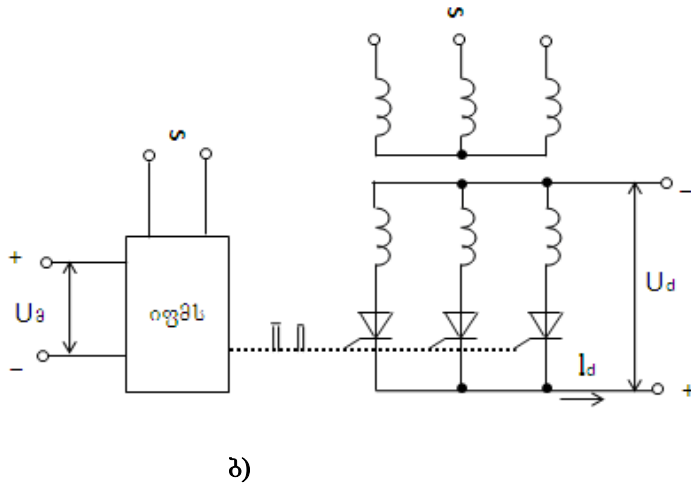
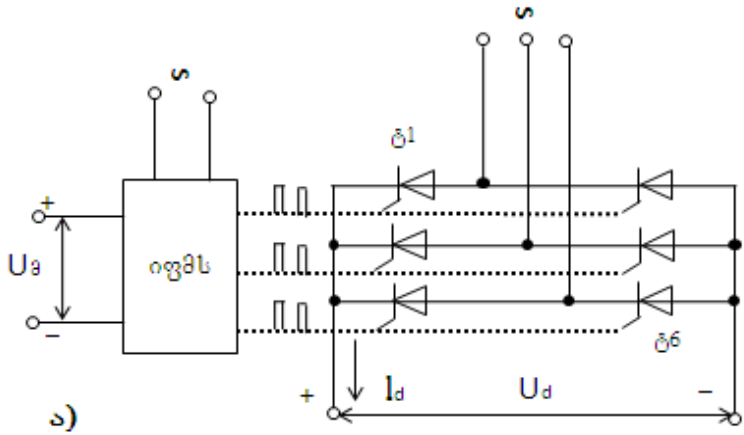
$$M_{დრ} = c_{12} \int (\omega_1 - \omega_2) dt, \quad (5.31)$$

სადაც J_1 არის ძრავას და მის ღერძზე მყოფი მასების ინერციის მომენტი; ω_1 - ძრავის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე; J_2 - მექანიზმის და მის ღერძზე მყოფი დანარჩენი მასების ინერციის მომენტები დაყვანილი ძრავას ღერძზე ($J_2 = \frac{1}{i^2} (J_{მექ} + J_{დან})$); $M_{დრ}$ - მექანიკური ლილვის დრეკადი

მომენტი; C_{12} - „გრძელი“ ლილვის სისხისტის კოეფიციენტი დაყვანილი ძრავის ღერძზე

§5.5. ტირისტორული გარდამსახის, რეგულატორების, გადამწოდებისა და ოთხპოლუსების გადამცემაში ფუნქციები

განვიხილოთ ახლა ტირისტორული გამმართველის ძალური ნაწილის ელექტრული სქემები, რომლებიც საშუალო და დიდი სიმძლავრის დანადგარების შემთხვევაში სამფაზა შესრულებისაა. მათი საშუალებით შესაძლებელია გამართული ძაბვის ცვლა 0-დან $U_{\text{ნომ}}$ – მდე, ამასთან ძაბვის რეგულირება ხდება ტირისტორების მართვის ელექტროდებზე მიწოდებული იმპულსების ფაზური ძვრის კუთხის ცვლილებით. მე-110, ა, ბ სურათზე მოყვანილია ტირისტორული გამმართველების სამფაზა ორტაქტა და ერთტაქტა შესრულების სქემები, რომლებზედაც *იფმს* -არის იმპულსების ფაზური მართვის სისტემა.



სურ. 38

მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებიანი ძრავას ღუზის გრანჯის მკვებავი ტირისტორული გამმართველის გადამცე-
 მი ფუნქცია ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში შემდეგნაი-
 რად გამოისახება:

$$W_{\text{ტბ}}(s) = \frac{\Delta \varepsilon_{\text{ტბ}}(s)}{\Delta \nu_{\text{სრ}}(s)} = \frac{K_{\text{ტ}}}{T_{\text{ტბ}} \cdot s + 1}, \quad (5.32)$$

სადაც $\Delta \nu_{\text{სრ}} = \frac{\Delta U_{\text{სრ}}}{\Delta U_{\text{დ.ბ.}}}$ არის ტბ-ს შესავალზე სრ-დან მიწოდებული ძაბვა;

$K_{\text{ტ}} = K_{\text{ტბ}} \cdot \alpha_{\text{ტბ}}$ -ტბ-ს გადაცემის კოეფიციენტი შეთანხმების კოეფიციენტის გათვალისწინებით (ფარდობითი ნაზრდების გამო);

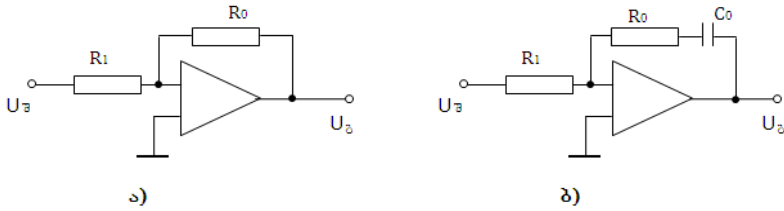
$K_{\text{ტბ}} = \frac{\Delta E_{\text{ტბ}}}{\Delta U_{\text{სრ}}}$ -ტირისტორული გარდამსახის გადაცემის კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება მისი სტატიკური (გარე) მახასიათებლის მიხედვით ($K_{\text{ტბ}} = 70 \div 100$);

$\alpha_{\text{ტბ}} = \frac{U_{\text{დ.ბ.}}}{E_{\text{ტბ.ბ.}}}$; $U_{\text{დ.ბ.}}$ -მართვის სისტემის დავალების სიგნალის ბაზისური სიდიდე;

$T_{\text{ტბ}} = \tau_{\text{ტბ}} + T_{\text{ფ.}}$ - გამმართველის ეკვივალენტური დროის მუდმივაა, რომელიც შედგება გარდამსახის დაგვიანების დროისა და მის შესასვლელზე ჩართული ფილტრის დროის მუდმივებისაგან

($T_{\text{ტბ}} = 0,002 + 0,003 = 0,005$ წმ).

რეგულატორებად ამჟღავთა მართვის სისტემებში, ისე როგორც ავტომატიკის ყველა სქემაში, იყენებენ მუდმივი დენის სამკასკადა გამაძლიერებელს ე.წ. პროპორციულ (პ) ან პროპორციულ-მიანტეგრირებელი (პი) ტიპისას. მათი გამარტივებული ელექტრული სქემები წარმოდგენილია მე-39, ა, ბ სურათზე.



სურ.39

პტიპის რეგულატორის გადამცემი ფუნქცია

$$W(p) = k_1 = R_0 / R_1, \quad (5.33)$$

სადაც R_0 და R_1 -რეგულატორის საკუთარი უკუკავშირის წრედში და შესავალზე ჩართული წინაღობების სიდიდეებია.

პტიპის რეგულატორის გადამცემი ფუნქციაა

$$W(p) = \beta(\tau + 1) / \tau, \quad (5.34)$$

სადაც $\beta = R_0 / R_1$ არის რეგულატორის დინამიკური გაძლიერების კოეფიციენტი; $\tau = R_0 C_0$ - რეგულატორის საკუთარი უკუკავშირის წრედის დროის მუდმივა.

სიჩქარის უკუკავშირის რგოლის (ტაქოგენერატორის) გადამცემი ფუნქცია მის გამოსავალზე ჩართული ფილტრის გათვალისწინებით ტოლია:

$$W_{სგ}(s) = \frac{\Delta v_{ტკ1}(s)}{\Delta v(s)} = \frac{1}{T_{ფ1}s + 1}, \quad (5.35)$$

სადაც $T_{ფ1} = 0,02$ წმ -ფილტრის დროის მუდმივაა.

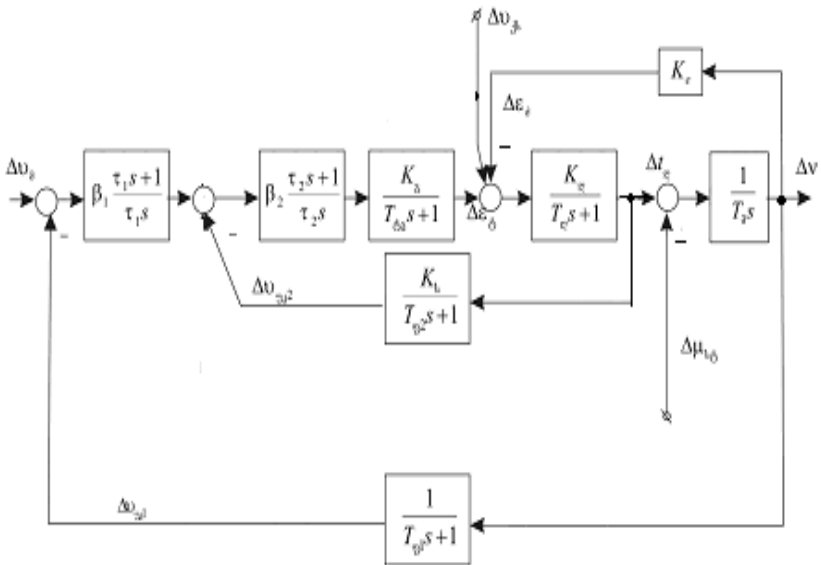
დენის უკუკავშირში ჩართული გადამწოდის გადამცემი ფუნქციაა

$$W_{დგ}(s) = \frac{\Delta U_{კკ2}(s)}{\Delta I(s)} = \frac{K_I}{T_{ფ2}s + 1}, \quad (5.36)$$

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

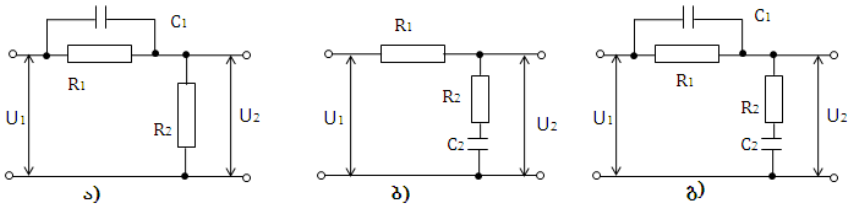
$$K_{დგ} = \frac{U_{დგ.}}{I_{დგ.}}; \alpha_{დგ} = \frac{I_{დგ.}}{U_{დგ.}}; T_{ფ2} = 0,002\text{წმ}.$$

ზემოთ მიღებული (5.24), (5.25) და (5.32)- (5.36) გადამცემი ფუნქციებით ადვილად შეიძლება შევადგინოთ მუდმივი დენის ტირისტორული ელექტროამპრავის დინამიკის აღმწერი მათემატიკური მოდელი ე.წ. დეტალიზებული სტრუქტურული სქემა (სურ. 40)



სურ. 40

იმ შემთხვევაში, როცა მართვის სისტემა ვერ იძლევა რეგულირების ხარისხის სასურველ მანევრებლებს საჭირო ხდება საწყის სქემაში დამატებითი მაკორექტირებელი რგოლის (ოთხპოლუსის) ჩართვა. პრაქტიკაში ანგარიშის გამარტივების მიზნით უფრო ხშირად იყენებენ მაკორექტირებელი ოთხპოლუსების ჩართვას პირდაპირ არხში რეგულატორის მიმდევრობით. აღნიშნული ოთხპოლუსები, როგორც წესი, შესრულებულია პასიური RC ელემენტების ბაზაზე, ისე როგორც ეს ნაჩვენებია მე-41,ა,ბ,გ სურათზე.



სურ.41

მე-41,ა სურათზე ნაჩვენებია მადიფერენცირებელი ტიპის მაკორექტირებელი ოთხპოლუსის ელექტრული სქემა. ის გამოიყენება სისტემის დინამიკური სწრაფქმედების გასაზრდელად. მისი გადამცემი ფუნქცია ადვილად შეიძლება განისაზღვროს. ის შემდეგი სახისაა:

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{k_0(T_1 p + 1)}{T_2 p + 1}, \quad (5.37)$$

სადაც: $k_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1$; $T_1 = R_1 \cdot c_1$; $T_2 = k_0 \cdot T_1$.

მე-41,ბ სურათზე ნაჩვენებია მაინტეგრირებელი ტიპის მაკორექტირებელი ოთხპოლუსის სქემა. ის გამოიყენება სისტემის

სტატიკური სიზუსტის გასაზრდელად. მისი გადამცემი ფუნქცია შემდეგი სახისაა:

$$W(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{T_2 p + 1}{T_1 p + 1}, \quad (5.38)$$

სადაც: $T_1 = (R_1 + R_2)c_2$; $T_2 = R_2 \cdot c_2$.

მე-41, გ სურათზე მოყვანილია მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი ტიპის მაკორექტირებელი ოთხპოლუსას სქემა. ის გამოიყენება ერთდროულად სისტემის სიზუსტისა და სწრაფქმედების გასაზრდელად. მისი გადამცემი ფუნქცია შემდეგი სახისაა:

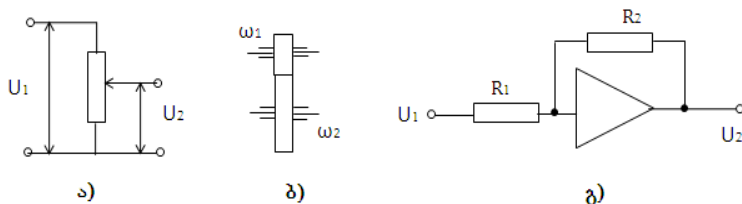
$$W(p) = \frac{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}, \quad (5.39)$$

სადაც: $T_1 = R_1 \cdot c_1$; $T_2 = R_2 \cdot c_2$; $a = \frac{R_1 + R_2}{R_2} > 1$;

$$T_{3,4} = \frac{T_1 + aT_2}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4T_1 T_2}{(T_1 + aT_2)^2}} \right). \quad (5.40)$$

$$W(p) = \frac{x(p)}{g(p)} = k_1 \quad (6.1)$$

მისი მაგალითებია: აქტიური წინაღობის მქონე პოტენციომეტრი, კბილანა რელექტორი და ოპერაციული გამაძლიერებელი (სურ. 42).



სურ. 42

ასეთი რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზური სიხშირული მახასიათებელია კომპლექსურ სიბრტყეში კოორდინატთა სათავიდან აბსცისთა ღერძზე k_1 -ის ტოლი მონაკვეთით დაშორებული წერტილი. მისი ღოგარითმულ-ამპლიტუდური მახასიათებელი (ლამ) პორიზონტალური წრფეა, ხოლო ფაზა ნულის ტოლია. გარდამავალი ფუნქცია ნახტომისებრი ხასიათისაა :

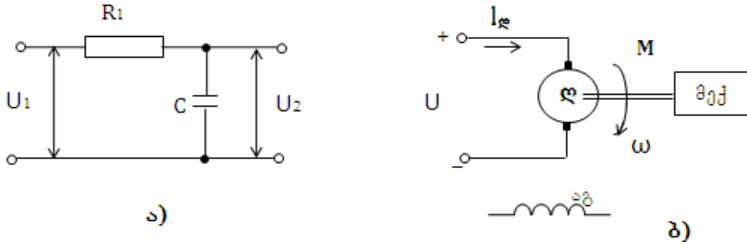
$$h(t) = k_1 \cdot 1(t). \quad (6.2)$$

I რივის აპერიოდული რგოლის გადამცემი ფუნქციაა:

$$W(p) = \frac{x(p)}{g(p)} = \frac{k_0}{T_0 p + 1}, \quad (6.3)$$

სადაც T_0 არის რგოლის დროის მუდმივა, რომელიც განსაზღვრავს მის ინერციულობას. ასეთი რგოლის მაგალითებია $r-c$ ელემენტებიანი ოთხპოლუსა (სურ. 43,ა) ან ელექტრული ძრავა, როცა ღუზის გრაგნილის ინდუქციურობა მცირეა

და ითვალისწინებენ მხოლოდ მექანიკურ ინერციულობას (სურ.113,ბ).

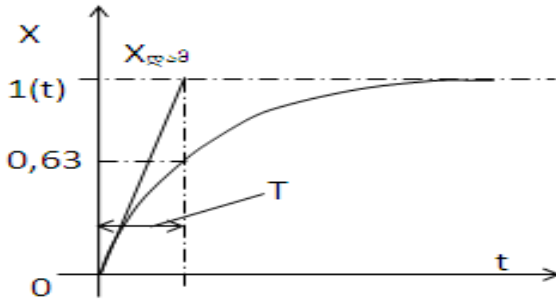


სურ.43

I რივის აპერიოდული რგოლის გარდამავალი ფუნქციაა

$$h(t) = K(1 - e^{-t/T}) \cdot 1(t), \quad (6.4)$$

რომელიც გრაფიკულად წარმოდგენილია 44-ე სურათზე.



სურ.44

თეორიულად ნებისმიერ ელემენტში გარდამავალი პროცესები მიმდინარეობს ∞ -დროში, პრაქტიკულად კი აღნიშნულ პროცესს დამყარებულად თვლიან $t = (3 \div 4) \cdot T_0$ - დროში.

I რივის აპერიოდული რგოლის სისშირული გადამცემი ფუნქცია ტოლია

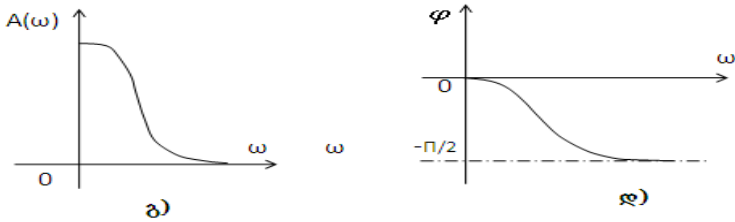
$$W(j\omega) = \frac{K}{jT\omega + 1} = \frac{K}{T^2\omega^2 + 1} - j \frac{KT\omega}{T^2\omega^2 + 1}. \quad (6.5)$$

მისი მოდულის გამოსახულებაა:

$$A(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{T_0^2\omega^2 + 1}}, \quad (6.6)$$

ხოლო არგუმენტის გამოსახულება

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg}T_0\omega. \quad (7)$$



სურ. 45

(6.5)-(6.7) გამოსახულებების შესაბამისი სიხშირული მახასიათებლები წარმოდგენილია 45,ა და 45,ბ სურათებზე.

I რივის აპერიოდული რგოლის ღამ-ის ასაგებად უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$L(\omega) = 20 \lg k_0 - \frac{1}{2} \cdot 20 \lg(1 + T_0^2\omega^2). \quad (6.8)$$

სიმარტივის მიზნით თავდაპირველად აგებენ ასიმპტოტურ ღამ-ს, რომელიც შეუღლების სიხშირემდე $\omega < \omega_{\text{ფ}} = \frac{1}{T_0}$ აიგე-

ბა $20 \lg k_0$ მდგენელით (მეორე მდგენელს სიმცირის გამო უგულებელყოფენ), ხოლო შეუღლების სიხშირის შემდეგ ე.ი. $\omega > \omega_{\text{ფ}}$ დიაპაზონში ღამ-ი ღებულობს 20 დბ/დკ დახრილო-

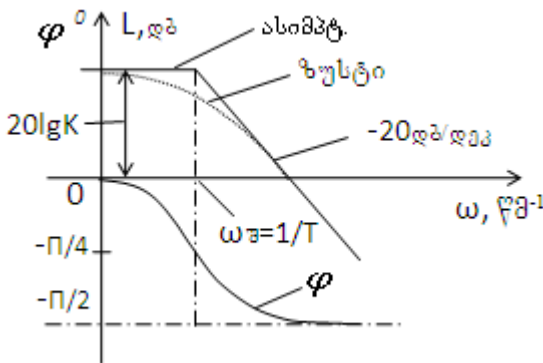
ბას (6.8)-ის მეორე მდგენელის გამო, ამასთან აქ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ $T_0^2 \omega^2 \gg 1$.

დადგენილია, რომ რგოლის ზუსტი ლამ-ი ასიმპტოტურისაგან ყველაზე მეტად განსხვავდება შეუღლების სიხშირეზე. ამ განსხვავების სიდიდე ასე განისაზღვრება:

$$\Delta L(\omega_{\text{ფ}}) = -20 \lg \sqrt{1 + T_0^2 \omega_{\text{ფ}}^2} = -20 \lg \sqrt{2} = -3 \text{ დბ.} \quad (6.9)$$

ასიმპტოტურ ლამ-ზე შესწორების დამატება ხდება შეუღლების სიხშირიდან ორივე მხარეზე ნახევარ-ნახევარი დეკადის მანძილზე, ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია წყვეტილი წირებით 46-ე სურათზე. საბოლოოდ მივიღებთ ზუსტ ლოგარითმულ ამპლიტუდურ სიხშირულ მახასიათებელს.

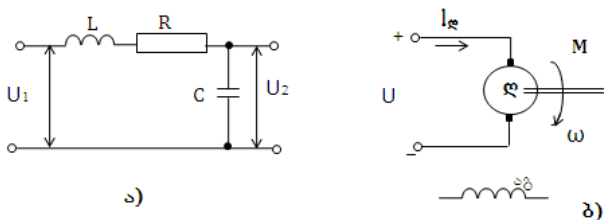
I რიგის აპერიოდული რგოლის ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი სიმარტივის გამო აიგება ლიტერატურაში ცნობილი თარგის მიხედვით ისე, რომ შეუღლების სიხშირეზე მოთავსდეს 45 გრადუსის შესაბამისი წერტილი (სურ. 46).



სურ. 46

რხევითი რგოლისათვის დამახასიათებელია ენერჯის ორი დამგროვებელი ელემენტი, რომელთა შორისაც ხდება ენერგი-

ათა გაცვლა, და მესამე ელემენტი, რომელიც ენერჯის გარკვეულ ნაწილს შთანთქავს. ასეთი რგოლის მაგალითებია RLC ელემენტებისგან შედგენილი ოთხპოლუსა და მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აღზნებისანი ძრავა (სურ.47, ა,ბ).



სურ. 47

რხევითი რგოლის დიფერენციალური განტოლება ნორმირებული სახით ასე გამოისახება:

$$T_0^2 \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\xi T_0 \frac{dx}{dt} + x = k_0 g, \quad (6.10)$$

სადაც: ξ - არის რხევითი რგოლის დემპფერირების (რხევების მიღების) კოეფიციენტი.

(6.10)-ის შესაბამისი გადამცემა ფუნქცია (5.17)-ის ანალოგიურია და შემდეგნაირად გამოისახება:

$$W(s) = \frac{k_0}{T_0^2 s^2 + 2\xi T_0 s + 1}, \quad (6.11)$$

რხევითი რგოლის მახასიათებელი განტოლებაა

$$T_0^2 s^2 + 2\xi T_0 s + 1 = 0, \quad (6.12)$$

რომლის ფესვები ტოლია

$$s_1, s_2 = (-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}) / T_0 \quad (6.13)$$

თუ $\xi < 1$, მაშინ (6.13)-დან მიიღება კომპლექსური ფესვები და რგოლი იქნება რხევითი ხასიათის. თუ $\xi \geq 1$, მაშინ ფესვები იქნება ნამდვილი და რგოლი წარმოადგება მე-2 რიგის აპერიოდული ფუნქციის სახით შემდეგნაირად:

$$W(p) = \frac{k_0}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad (6.14)$$

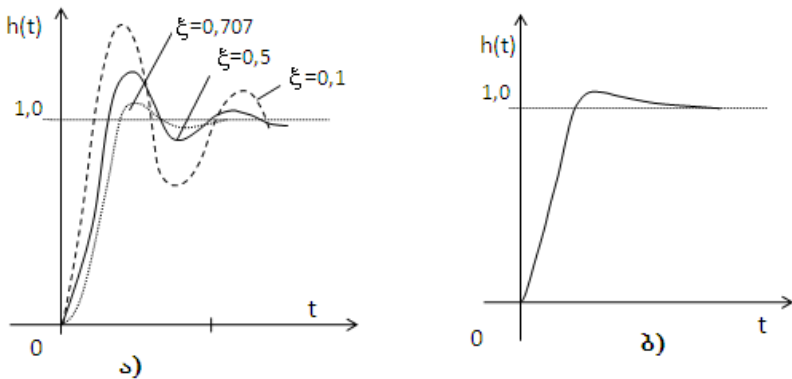
სადაც: $T_{1,2} = T_0(\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1})$. (6.15)

რხევითი რგოლის გარდამავალ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$h(t) = k_0 \left[1 - e^{-\gamma t} \left(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \sin \lambda t \right) \right] \cdot 1(t), \quad (6.16)$$

სადაც: $\gamma = \frac{\xi}{T_0}$; $\lambda = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T_0}$. (6.17)

(6.16)-ის შესაბამისი გარდამავალი ფუნქციები წარმოდგენილია 48,ა სურათზე, ხოლო II რიგის აპერიოდული რგოლის გარდამავალი ფუნქცია – 48,ბ სურათზე.



სურ. 48

რხევიითი რგოლის სიხშირულ გამოსახულებებს აქვს შემდეგი სახე:

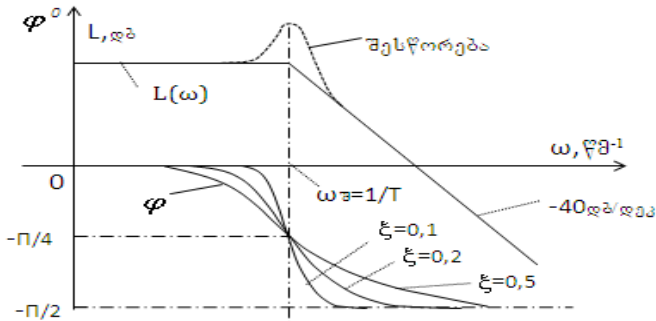
$$W(j\omega) = \frac{k_0}{(1 - T_0^2 \omega^2) + 2\xi T_0 j\omega} = \frac{k_0(1 - T_0^2 \omega^2)}{(1 - T_0^2 \omega^2) + (2\xi T_0 \omega)^2} -$$

$$-j \frac{2k_0 T_0 \xi \omega}{(1 - T_0^2 \omega^2) + (2\xi T_0 \omega)^2}; \quad (6.14)$$

$$A(\omega) = \frac{k_0}{\sqrt{(1 - T_0^2 \omega^2)^2 + (2\xi T_0 \omega)^2}}; \quad (6.15)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi T_0 \omega}{1 - T_0^2 \omega^2}. \quad (6.16)$$

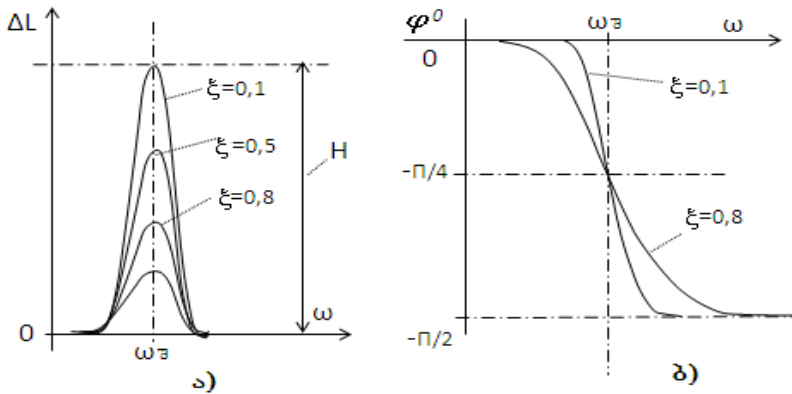
(6.15) და (6.16)-ის შესაბამისი სიხშირული მახასიათებლები გამოსახულია 49-ე სურათზე.



სურ. 49

რხევითი რგოლის ზუსტი ლამ-ის მისაღებად ასიმპტოტურს დაამატებენ ლიტერატურაში მოცემული ნომოგრამებიდან ξ კოეფიციენტის მიხედვით შერჩეულ შესწორებას. შესწორების პიკის სიმაღლე ტოლია:

$$H = 20 \lg \frac{1}{2\xi}. \quad (6.17)$$



სურ. 50

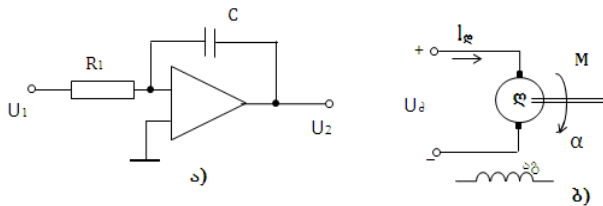
50,ა და 50,ბ სურათებზე მოცემულია რხევითი რგოლის ლამ-ის შესწორებათა და ფაზური მახასიათებლების თარგები.

მაინტეგრირებელი რგოლისათვის დამახასიათებელია შემდეგი გადაამცემი ფუნქცია

$$W(p) = \frac{x(p)}{g(p)} = \frac{k_0}{p}. \quad (6.18)$$

ასეთი რგოლის მაგალითებია მაინტეგრირებელი ტიპის ოპერაციული მაძლიერებელი (სურ.51,ა) და მცირე სიმძლავრის უინერციო ელექტროძრავა ($T_{\text{ღ}} = 0$ და $T_{\text{მექ}} = 0$), რომლის გა-

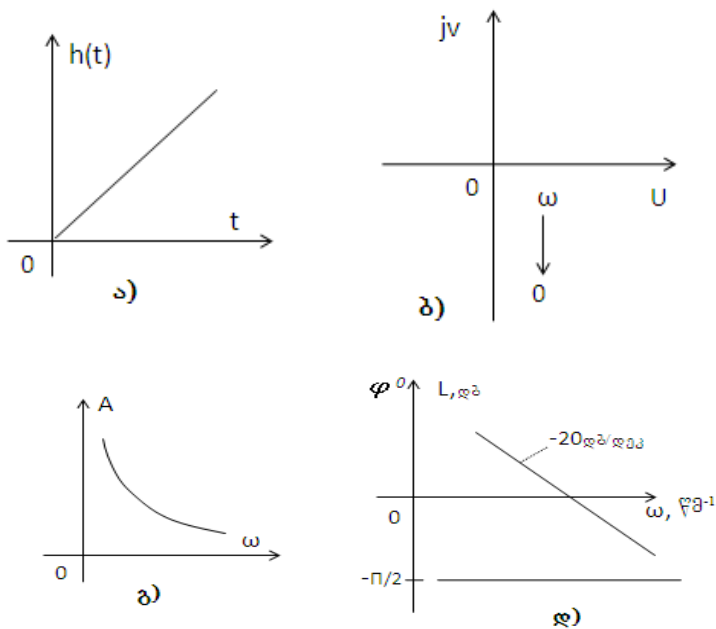
მომავალი სიგნალია ძრავას ღერძის მობრუნების კუთხე, ხოლო შემავალი –ღუზაზე მიწოდებული ძაბვა (სურ.51,ბ)



სურ.51

(6.18)-ის შესაბამის გარდამავალ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე (სურ.122,ა):

$$h(t) = k_0 \cdot t \cdot 1(t). \tag{6.19}$$



სურ.52

ასეთი რგოლის სიხშირული მახასიათებლების გამოსახულებებია:

$$W(j\omega) = \frac{k_0}{j\omega} = -j \frac{k_0}{\omega}; \quad (6.20)$$

$$A(\omega) = k_0 / \omega; \quad (6.21)$$

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2}; \quad (6.22)$$

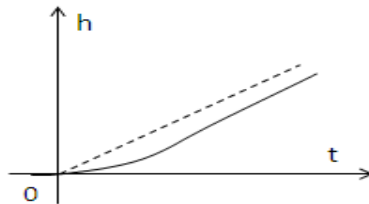
$$L(\omega) = 20 \lg k_0 - 20 \lg \omega. \quad (6.23)$$

შესაბამისი ლოგარითმული სიხშირული მახასიათებლები აგებულია 52-დ სურათზე.

შენელებით მოქმედი მაინტეგრირებელი რგოლი ხასიათდება შემდეგი გადამცემი ფუნქციით:

$$W(p) = \frac{k_0}{p(T_0 + 1)}. \quad (6.24)$$

ასეთი რგოლის მაგალითია ელექტროძრავა, როცა $T_{\text{ღ}} = 0$ და $T_{\text{მქ}} \neq 0$, რომლის გამომავალი სიგნალია ღერძის მობრუნების კუთხე.



სურ.53

ასეთი რგოლის გარდამავალი ფუნქცია ნაჩვენებია 53-ე სურათზე.

(6.24)-ის შესაბამისი სიხშირული გამოსახულებებია:

$$W(j\omega) = \frac{k_0}{j\omega(jT_0\omega + 1)} = \frac{-k_0T_0}{T_0^2\omega^2 + 1} - j \frac{k_0}{\omega(T_0^2\omega^2 + 1)}; \quad (6.25)$$

$$A(\omega) = \frac{k_0}{\omega\sqrt{T_0^2\omega^2 + 1}}; \quad (6.26)$$

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}T_0\omega. \quad (6.27)$$

შენელებით მოქმედი მაინტეგრირებელი რგოლის ლამ-ი აიგება შემდეგი ფორმულით:

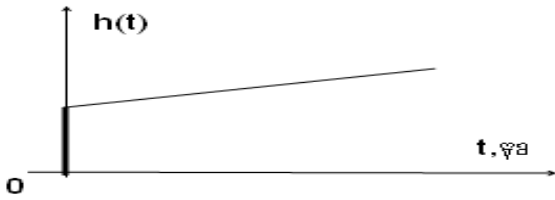
$$L(\omega) = 20 \lg k_0 - 20 \lg \omega - \frac{1}{2} 20 \lg(1 + T_0^2 \omega^2). \quad (6.28)$$

იზოდრომული, იგივე პროპორციულ-მაინტეგრირებელი (პი), ტიპის რგოლი, ფართოდ გამოიყენება ელექტროენერგეტიკული მანქანების უკუკავშირიან მართვის სისტემებში რეგულატორებად. მისი გადამცემი ფუნქციაა:

$$W(p) = \frac{x(s)}{g(s)} = \beta \frac{\tau s + 1}{\tau s}, \quad (6.29)$$

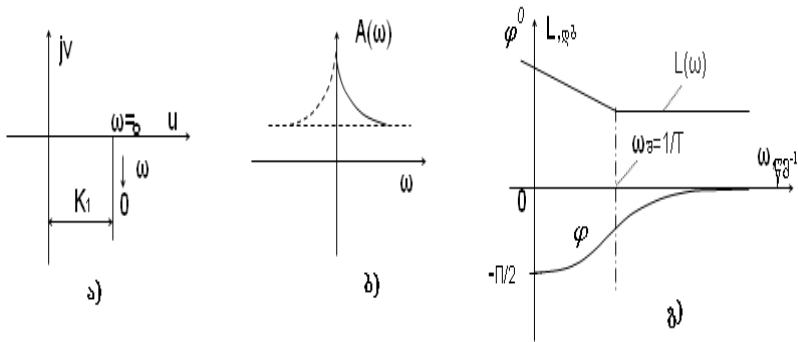
სადაც β არის რგოლის დინამიკური გაძლიერების კოეფიციენტი; τ - რგოლის საკუთარი უკუკავშირის დროის მუდმივა.

გარდამავალი ფუნქცია გრაფიკულად წარმოდგენილია მე-54-ე სურათზე.



სურ. 54

55-ე სურათზე წარმოდგენილია პიტიპის რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სისშირული (სურ.55,ა), ამპლიტუდურ-სისშირული (სურ.55,ბ) და ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სისშირული (სურ.55,გ) მახასიათებლები.



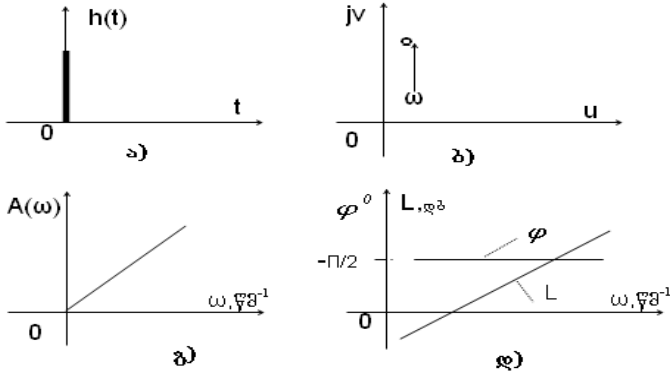
სურ.55

მადიფერენცირებელი ტიპის რგოლი ფართოდ გამოიყენება ელექტროამპრაგების მართვის სისტემებში რბილი უკუკავშირის რეალიზებისას. მისი გადამცემი ფუნქციაა:

$$W(p) = \frac{x(s)}{g(s)} = \tau_0 s. \quad (6.30)$$

გარდამავალი ფუნქცია გრაფიკულად წარმოდგენილია 15ა სურათზე. 56,ბ სურათზე წარმოდგენილია რგოლის ამპლიტუ-

დურ-ფაზურ-სისშირული მახასიათებელი, აგრეთვე ამპლიტუდურ-სისშირული (სურ.56,გ) და ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სისშირული (სურ.56,დ) მახასიათებლები.



სურ.56

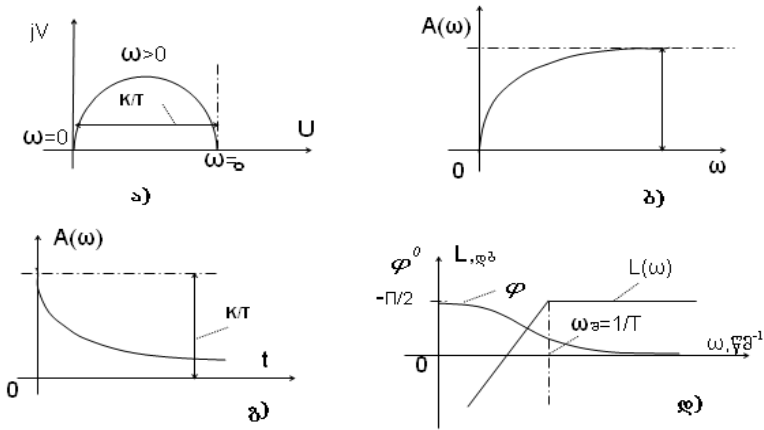
იდეალური მადიფერენცირებელი რგოლის გამოყენება პრაქტიკაში შეუძლებელია, ვინაიდან ის ხასიათდება ხელშემშლელი რადიოსიგნალებისადმი მაღალი მგრძობიარობით. ამიტომ პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება შენელებით მოქმედი მადიფერენცირებელი ტიპის რგოლი.

შენელებით მოქმედი მადიფერენცირებელი ტიპის რგოლი ფართოდ გამოიყენება ელექტროამძრავების მართვის სისტემებში რბილი უკუკუეშირის რეალიზებისას. მისი გადამცემი ფუნქციაა:

$$W(p) = \frac{x(s)}{g(s)} = \tau_0 s / (T_0 s + 1), \quad (6.31)$$

57-ე სურათზე ასახულია რგოლის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სისშირული (სურ.57,ა) და ამპლიტუდურ-სისშირული მახასია-

ათებლები (სურ.57,ბ). აქვე გრაფიკულადაა ნაჩვენები შენელებით მოქმედი იდეალური მადიფერენცირებელი რგოლის გარდამავალი ფუნქცია (სურ.57,გ) და ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სისშირული (სურ.57,დ) მახასიათებლები.



სურ.57

§6.2. წრფივ სისტემათა მდგრადობის კრიტერიუმები

დინამიკურ სისტემებზე მუშაობის პროცესზე, მართვის სიგნალის გარდა, ზემოქმედებს სხვადასხვა შეშფოთების სიგნალები, რომლებიც იწვევენ მოძრაობის მოცემული კანონიდან მათ გადახრას. თუ სისტემა შეშფოთების ზემოქმედების გამო გამოვიდა წონასწორობიდან და შეშფოთების მოხსნის შემდეგ კვლავ დაუბრუნდა საწყის მდგომარეობას, მაშინ სისტემის მუშაობას თვლიან მდგრადად. თუ შეშფოთების მოხსნის შემდეგ სისტემა არ უბრუნდება საწყის მდგომარეობას და დროთა

განმავლობაში ადგილი აქვს სისტემის მოძრაობის სულ უფრო დაშორებას საწყისი წერტილიდან, მაშინ სისტემის მუშაობას თვლიან არამდგრადად. ქვემოთ განსაზღვრულია სისტემის მდგრადი მუშაობის ზოგადი პირობები.

დავუშვათ, რომ წრფივი სისტემა აღიწერება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით:

$$a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x = k_0 \cdot g(t). \quad (6.32)$$

მათემატიკის კურსიდან ცნობილია, რომ (8.32)-ე განტოლების საერთო ამონახსნი ტოლია კერძო და თავისუფალი ამონახსნების ჯამისა:

$$x(t) = x_{\text{თ}}(t) + x_{\text{კ}}(t) \quad (6.33)$$

ამონახსნის თავისუფალი მდგენელი ახასიათებს სისტემის გარდამავალ პროცესს, ხოლო კერძო – სისტემის სტაციონარულ პროცესს (სტატიკას). ამიტომ მისი მდგრადი მუშაობის განმსაზღვრელია $x_{\text{თ}}(t)$ მდგენელი. როცა სისტემა მდგრადია დროთა განმავლობაში, $x_{\text{თ}}(t) \rightarrow 0$, ხოლო არამდგრადობის შემთხვევაში $x_{\text{თ}}(t) \rightarrow \infty$.

ცნობილია, რომ დიფერენციალური განტოლების ამონახსნის თავისუფალ მდგენელს ზოგადად აქვს შემდეგი სახე:

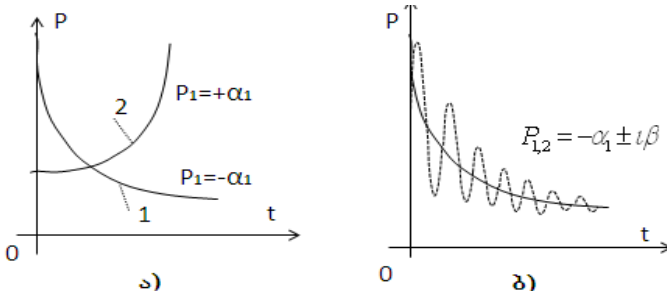
$$x_{\text{თ}}(t) = c_1 e^{p_1 t} + \dots + c_n e^{p_n t}, \quad (6.34)$$

სადაც p_1, \dots, p_n სისტემის მახასიათებელი განტოლების ფესვებია; c_1, \dots, c_n ინტეგრირების მუდმივებია, რომლებიც განისაზღვრებიან ამოცანის საწყისი პირობებით.

ვინაიდან სისტემის მდგრადი მუშაობის გაგება გულისხმობს მხოლოდ გარდამავალი პროცესის მიღების ფაქტის არსებობას, ამიტომ ეს საკითხი შეიძლება გადაწყდეს მხოლოდ მახასიათებელი განტოლების ფესვების ცოდნით. ამასთან, აუცილებელი არ არის, ვიპოვოთ თვით ფესვების მნიშვნელობები, საკმარისია ფესვთა იმ თვისების ცოდნა, რომლის შემთხვევაში სისტემა იქნება მდგრადი.

დავადგინოთ, რა თვისებებია საჭირო ფესვებისათვის, რომ სისტემამ უზრუნველყოს მდგრადი მუშაობა. ცნობილია, რომ მახასიათებელ განტოლებას შეიძლება ჰქონდეს სამგვარი ფესვები: ნამდვილი, კომპლექსური (ან წმინდა წარმოსახვითი) და ნულოვანი. განვიხილოთ ეს შემთხვევები ცალ-ცალკე.

თუ ფესვი ნამდვილია და უარყოფითი, $p_1 = -\alpha_1$, მაშინ მისი შესაბამისი ამონახსნის მდგენელი იქნება $c_1 e^{-\alpha_1 t}$. ამ გამოსახულების შესაბამისი გარდამავალი ფუნქცია დროთა განმავლობაში მიღევადი იქნება (იხ. 1-ლი მრუდი სურ.58,ა). თუ ფესვი დადებითია, ე.ი. $p_1 = +\alpha_1$, მაშინ გარდამავალი პროცესი იქნება განშლადი (იხ. მე-2 მრუდი 58,ა სურათზე).



სურ.58

თუ ფესვები კომპლექსურია, ე.ი. $p_{1,2} = -\alpha \pm j\beta$, მაშინ მათი შესაბამისი გარდამავალი ფუნქცია იქნება:

$$\begin{aligned} c_1 e^{(-\alpha + j\beta)t} + c_2 e^{(-\alpha - j\beta)t} &= e^{-\alpha t} (c_1 e^{j\beta t} + c_2 e^{-j\beta t}) = \\ &= A e^{-\alpha t} \cdot \sin(\beta t + \varphi), \end{aligned} \quad (8.35)$$

სადაც A და φ -არის ახალი ინტეგრების მუდმივები. ამ შემთხვევაში მიიღება მიღევადი რხევითი პროცესი რხევის β სიხშირითა და მიღევადობის α კოეფიციენტით (სურ.18ბ).

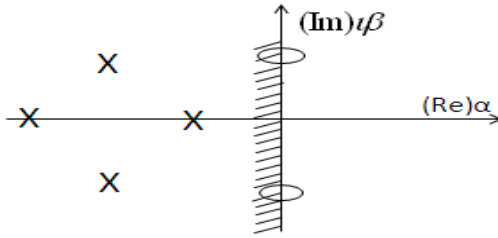
თუ ფესვები: $p_1 = \alpha + j\beta$ და $p_2 = \alpha - j\beta$, მაშინ მივიღებთ გარდამავალ ფუნქციას განშლადი პროცესით.

თუ ფესვები წმინდა წარმოსახვითია, $p_{1,2} = \pm j\beta$, მაშინ გარდამავალი პროცესი იქნება ავტორხევითი, რომელიც მათემატიკურად შემდგენაირად ჩაიწერება:

$$c_1 e^{j\beta t} + c_2 e^{-j\beta t} = A \sin(\beta t + \varphi) \quad (8.36)$$

ამრიგად, ავტომატური მართვის სისტემის მუშაობა იქნება მდგრადი (გარდამავალი პროცესი იქნება მიღევადი), თუ მახასიათებელ განტოლებას ფესვები ექნება უარყოფითი ნამდვილი ან კომპლექსური უარყოფითი ნამდვილი ნაწილით. თუ ფესვთაგან თუნდაც ერთი გამოერევა დადებითი ნამდვილი ნაწილით, მაშინ მთლიანობაში სისტემა მაინც არამდგრადი იქნება. მახასიათებელი განტოლების ფესვებს, როგორც წესი, ასახა-

ვენ ფესვთა კომპლექსურ სიბრტყეზე (სურ.59)



სურ.59

ჩატარებული ანალიზის თანახმად, სისტემის მდგრადი მუშაობის აუცილებელი და საკმარისი პირობაა ის, რომ სისტემის მახასიათებელი განტოლების ყველა ფესვი განლაგებული უნდა იყოს ფესვთა მარცხენა ნახევარსიბრტყეში. ამ სიბრტყის ორდინატთა ღერძი არის მდგრადი მუშაობის საზღვარი. თუ ერთ-ერთი ფესვი ნულოვანია, მაშინ სისტემას უწოდებენ ნეიტრალურად მდგრადს, ხოლო თუ ფესვები წმინდა წარმოსახვითია (ისინი თავსდებიან ორდინატთა ღერძზე), მაშინ სისტემა იმყოფება მდგრადობის ე.წ. რხევით ზღვარზე.

როგორც აღვნიშნეთ, მართვის ავტომატური სისტემის მდგრადობის დასადგენად აუცილებელი არ არის მახასიათებელი განტოლების ფესვების განსაზღვრა.

მათემატიკოსებმა დაამუშავეს მეთოდები, ე.წ. მდგრადობის კრიტერიუმები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მახასიათებელი განტოლების ამოხსნის გარეშე დავადგინოთ სისტემის დინამიკური მდგრადობა.

სანამ განვიხილავდეთ მდგრადობის კრიტერიუმებს, დავადგინოთ მდგრადობის აუცილებელი (და არასაკმარისი) პირობა.

დავუშვათ, რომ მახასიათებელი განტოლების ფესვები ნამდვილი და უარყოფითია. ასეთ შემთხვევაში მახასიათებელი განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ ასეც:

$$a_0(p + a_1)(p + a_2)...(p + a_n) = 0. \quad (6.37)$$

ადვილი გასაგებია, რომ მიღებულ გამოსახულებაში ფრჩხილების გახსნის შემდეგ p -ს ყველა რიგის კოეფიციენტი დადებითი იქნება. აქედან დავასკვნით, რომ მდგრადობის აუცილებელი პირობაა მახასიათებელი განტოლების ყველა წევრის კოეფიციენტების ერთნაირნიშნაობა. თუ აღნიშნული პირობა არ სრულდება, სისტემა აუცილებლად იქნება არამდგრადი, ხოლო თუ პირობა სრულდება, შესაძლოა, სისტემა იყოს მდგრადი ან არამდგრადი.

აღსანიშნავია, რომ მდგრადობის აუცილებელი პირობა I და II რიგის მახასიათებელი განტოლების მქონე სისტემებისათვის მდგრადობის საკმარისობის პირობაც არის.

მდგრადობის რაუს-ჰურვიცის კრიტერიუმი ითვლება ალგებრულ კრიტერიუმად, რამდენადაც იგი ემყარება შეკრული სისტემის მახასიათებელი განტოლების კოეფიციენტებითა და სპეციალური წესით შედგენილი დეტერმინანტის ამოხსნას. რაუს-ჰურვიცის დეტერმინანტის შედგენის წესი მდგომარეობს შემდეგში: დეტერმინანტის დიაგონალზე განალაგებენ მახასიათებელი განტოლების კოეფიციენტებს, დაწყებულს მეორე წევრის კოეფიციენტით. ცალკეული სვეტების შევსება დიაგონალის ქვემოდან ხდება კლებაინდექსიანი წევრების კოეფიციენტებით, ხოლო ზემოდან – ზრდაინდექსიანი წევრების კოეფიციენტებით. იქ, სადაც დეტერმინანტში წევრები არა გვაქვს,

ჩავწერთ ნულებს. სისტემის მდგრადობისათვის კი საკმარისია აღნიშნული დეტერმინანტის ამონახსნი იყოს დადებითი.

მაგ., განვიხილოთ მე-4 რიგის მახასიათებელი განტოლება

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0 \quad (6.38)$$

(6.38)-ე გამოსახულების შესაბამისი დეტერმინანტი

ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix}. \quad (6.39)$$

დადგენილია, რომ n -ური რიგის მახასიათებელი განტოლების მქონე სისტემის მდგრადობისათვის საკმარისია ამოვხსნათ $n-1$ რიგის დეტერმინანტი და შესრულდეს პირობა

$$\Delta_{n-1} > 0.$$

რაუს-ჰურვიცის კრიტერიუმით სისტემის მდგრადობის რხევით ზღვარზე არსებობის პირობა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\Delta_{n-1} = 0 \quad (6.40)$$

(6.40)-ე გამოსახულება საშუალებას იძლევა, განვსაზღვროთ სისტემის კრიტიკული გაძლიერების კოეფიციენტი და მის საფუძველზე შევასდგეს რეგულატორის ოპტიმალური გაძლიერების კოეფიციენტის მნიშვნელობა. შესაბამისად უზრუნველყოფილი იქნება სისტემის დინამიკური მახასიათებლები პრაქტიკისათვის მისაღები რეგულირების ხარისხის მაჩვენებლებით.

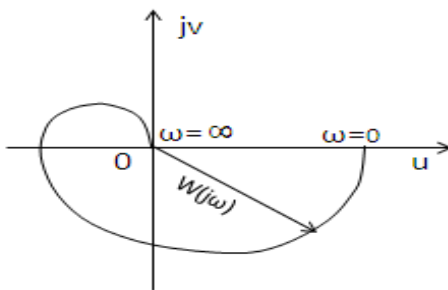
მდგრადობის ნაიკვისტის კრიტერიუმი მიეკუთვნება სისშირულ კრიტერიუმთა რიცხვს. იმისათვის, რომ ვისარგებლოთ ამ კრიტერიუმით, საჭიროა ავაგოთ გახსნილი სისტემის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სისშირული მახასიათებელი.

დავუშვათ, რომ უკუკავშირიანი სისტემის გახსნილი კონტურის სისშირული გადამცემი ფუნქციაა:

$$W(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{Q(j\omega)} = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega)e^{j\phi(\omega)}. \quad (6.41)$$

განვსაზღვროთ პირობები, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს სისტემის გახსნილი კონტურის შესაბამისი ამპლიტუდურ-ფაზურ-სისშირული მახასიათებელი იმისათვის, რომ შეკრული სისტემა იყოს მდგრადი.

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა გახსნილი სისტემა მდგრადია, ე.ი. $Q(j\omega)$ პოლინომის ყველა ფესვი მოთავსებულია ფესვთა სიბრტყის მარცხენა ნახევარსიბრტყეში. 60-ე სურათზე ნაჩვენებია გახსნილი სისტემის ამპლიტუდურ-ფაზურ სისშირული მახასიათებელი.

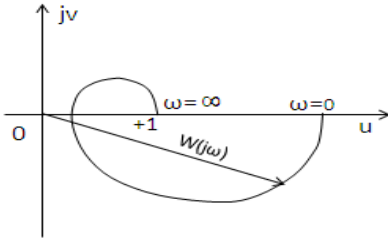


სურ. 60

განხილვაში შემოვიტანოთ შემდეგი დამხმარე გადამცემი ფუნქცია:

$$\psi(j\omega) = 1 + W(j\omega) = \frac{Q(j\omega) + R(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{D(j\omega)}{Q(j\omega)}, \quad (6.42)$$

სადაც $D(j\omega)$ არის შეკრული სისტემის მახასიათებელი პოლინომი. (6.42)-ის შესაბამისი სიხშირული მახასიათებელი აგებულია 61-ე სურათზე.

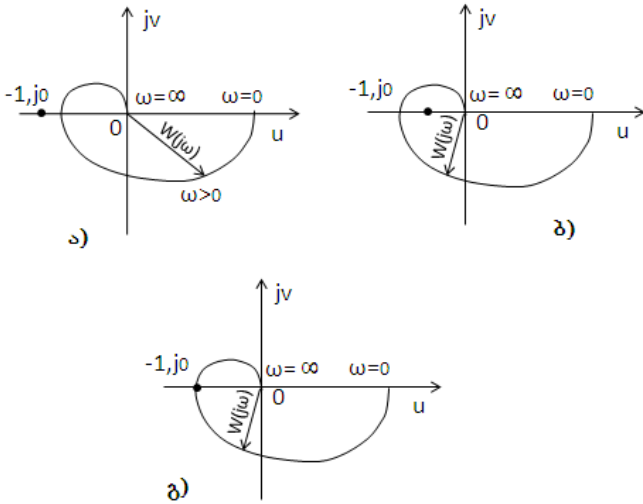


სურ. 61

ამ მახასიათებლიდან ჩანს, რომ ვექტორის რეზულტიური მობრუნების კუთხე სიხშირის სრულ დიაპაზონში ცვლილები-სას ნულის ტოლია. ეს სხვაგვარად იმითაც აიხსნება, რომ (6.42)-ის მრიცხველისა და მნიშვნელის პოლინომები ერთნაირი რიგისაა. ვინაიდან მდგრადი სისტემის შემთხვევაში ვექტორმა არ უნდა შემოფარგლოს კომპლექსური სიბრტყის კოორდინატა სათავე, აქედან ვასკენით, რომ მდგრადობისათვის საკმარისია $W(j\omega)$ -ს შესაბამისმა პოლოგრამმა არ შემოფარგლოს წერტილი, რომლის კოორდინატებია $(-1, j0)$.

62,ა სურათზე წარმოდგენილია სისტემის გახსნილი კონტურის ამპლიტუდურ-ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი მდგრადი შემთხვევისათვის; 62,ბ სურ-ზე ნაჩვენებია ამპლიტუდურ-ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი შემთხვევისათვის, როცა

სისტემა იმყოფება მდგრადობის რხევით ზღვარზე.

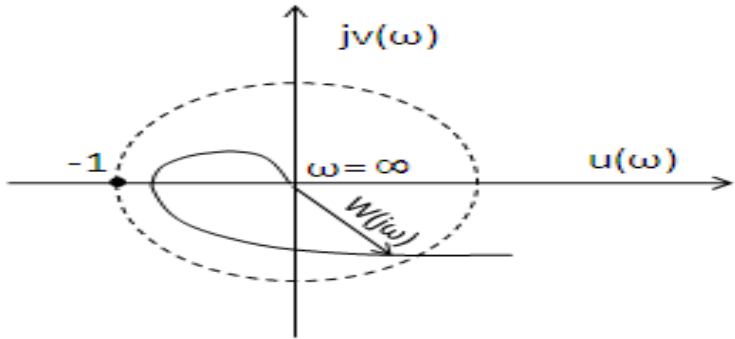


სურ. 62

§6.3. წრფივ სისტემათა დინამიკური ოპტიმიზების უნივერსალური მეთოდი

უკუკავშირიანი სისტემის რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენის (დინამიკური ოპტიმიზების) უნივერსალური მეთოდია სისტემის გახსნილი კონტურის ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სისწირული მახასიათებლების მეთოდი. ეს მახასიათებლები იმავდროულად საშუალებას იძლევა დავადგინოთ შეკრული სისტემის მდგრადობა. მდგრადი მუშაობის პირობების ჩამოსაყალიბებლად 63-ე სურათზე მოცემული ჰოდოგრაფით წინასწარ განვსაზღვროთ ამპლიტუდურ-ფაზურ სისწირული მახასიათებლის ზოგიერთი თავისებურება. შემოვავლოთ სიბრ-

ტყეზე ერთეული- რადიუსის მქონე წრეწირი, რომლის ცენტრი იქნება კოორდინატა სათავეში. მახასიათებლის ყველა იმ წერტილისთვის, რომლებიც განლაგებულია ერთეული წრეწირის გარეთ, ვექტორის მოდული $|W(j\omega)| > 1$,



სურ. 63

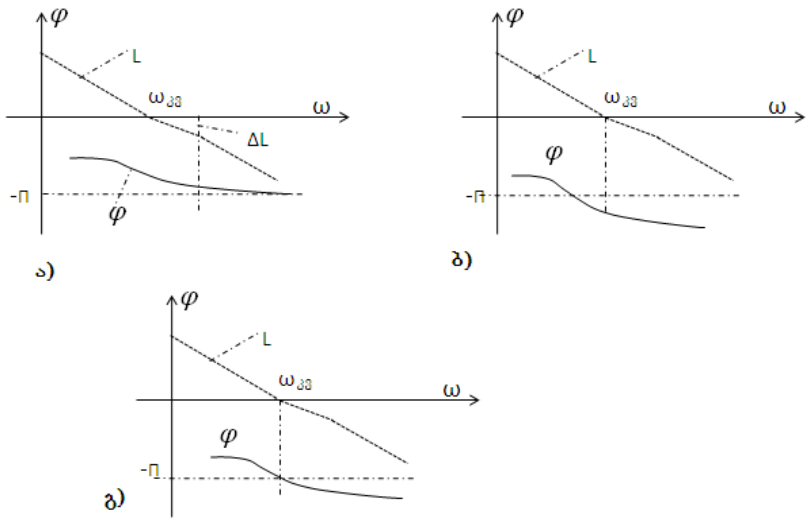
ე.ი. $L(\omega) > 0$. მახასიათებლის ის წერტილები კი, რომლებიც წრის შიგნით მდებარეობენ, შეესაბამებიან პირობას

$$|W(j\omega)| < 1, \text{ ე.ი. } L(\omega) < 0.$$

წრეწირთან პოლოგრავის კვეთის წერტილში $|W(j\omega)| = 1$,

ე.ი. $L(\omega) = 0$. აღნიშნული კვეთის წერტილის შესაბამის **სიხშირეს კვეთის სიხშირეს უწოდებენ.**

64-ე სურათზე მოყვანილია (62-ე სურათის შესაბამისად) სისტემის მდგრადი, არამდგრადი და მდგრადობის რხევით ზღვარზე ყოფნის შემთხვევების შესაბამისი ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები.



სურ. 64

მართვის ავტომატური სისტემის ექსპლუატაციის პირობებში შეიძლება მოხდეს სისტემის ზოგიერთი ელემენტის k ან T პარამეტრის მნიშვნელობის შეცვლა, ამიტომ მდგრადობის შესანარჩუნებლად საჭიროა სისტემას ჰქონდეს გარკვეული მარაგი (მდგრადობის საზღვრიდან დაშორება), რომელიც აღნიშნული პარამეტრების ცვლილების შემთხვევაში უზრუნველყოფს სისტემის მდგრად მუშაობას. კარგად მომუშავე სისტემებისათვის მარაგი ამპლიტუდის მიხედვით უნდა შეადგენდეს $\Delta L = 10 \div 15$ დბ-ს, ხოლო ფაზის მიხედვით – $\Delta\varphi = 30^\circ \div 40^\circ$.

ზემოთ აღწერილი უნივერსალური მეთოდით დინამიკური ოპტიმიზების განვიხილოთ ახლა მუდმივი დენის ერთკონტურიანი (სინქარის უკუკავშირიანი) ელექტროამძრავის შესაბამისი რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა. უნდა ვისარგებლოთ სისტემის მართვის ობიექტის (ტირისტორული

გარდამსახის, ძრავას და სიხქარის გადამწოდის) შემდეგი საერთო გადამცემი ფუნქციით:

$$W_{\text{ობ}}(s) = \frac{K_{\delta}}{T_{\delta}s+1} \cdot \frac{K_{\text{დ}}}{T_{\text{ღ}}T_{\text{ქ}}s^2 + T_{\text{ქ}}s+1} \cdot \frac{1}{T_{\text{ფ}}s+1}.$$

დავუშვათ ელექტროამძრავის ობიექტის პარამეტრებია: $K_{\delta} = 10$; $T_{\delta} = 0,01\text{წმ}$; $K_{\text{დ}} = 1/0,92 = 1,08$; $T_{\text{ღ}} = 0,12\text{წმ}$; $T_{\text{ქ}} = 0,87\text{წმ}$; $T_{\text{ფ}} = 0,02\text{წმ}$; $\delta = 0,087$. მაშინ ობიექტის გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} W_{\text{ობ}}(s) &= \frac{10,8}{(0,01s+1)(0,02s+1)(0,32^2s^2 + 2 \cdot 1,36 \cdot 0,32s+1)} = \\ &= \frac{10,8}{(0,01s+1)(0,02s+1)(0,73s+1)(0,14s+1)}. \end{aligned}$$

შესაბამისი შეუღლეების სიხშირეებია:

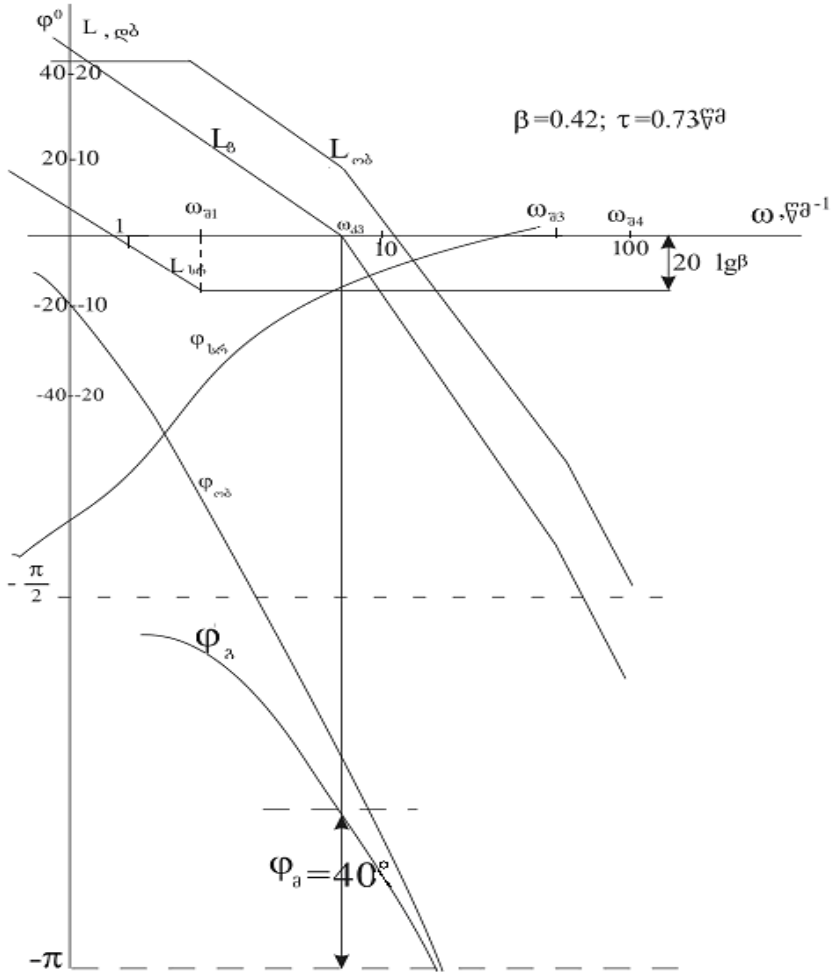
$$\begin{aligned} \omega_{\text{ფ1}} &= \frac{1}{0,73} = 1,4\text{წმ}^{-1}; & \omega_{\text{ფ2}} &= \frac{1}{0,02} = 50\text{წმ}^{-1}; \\ \omega_{\text{ფ3}} &= \frac{1}{0,14} = 7,14\text{წმ}^{-1}; & \omega_{\text{ფ4}} &= \frac{1}{0,01} = 100\text{წმ}^{-1}; \end{aligned}$$

ობიექტის მოდულის და არგუმენტის სიხშირული მახასიათებლების გამოსახულებებია:

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

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ობ}}(\omega) &= -\arctg 0,73\omega - \arctg 0,14\omega - \arctg 0,02\omega - \\ &\arctg 0,01\omega. \end{aligned}$$

აქ მოყვანილი გამოსახულებებით 65-ე სურათზე აგებულია ამპრავის ობიექტის ლოგარითმულ-ამპლიტუდური და ფაზურ-სისწორული მახასიათებლები ($L_{\text{ობ}}, \varphi_{\text{ობ}}$).



სურ. 65.

იქვე სისშირული ანალიზის საფუძველზე აგებულია პი-ტიპის სინქარის რეგულატორის სისშირული მახასიათებლები ($L_{სრ}, \rho_{სრ}$) და გახსნილი სისტემის ($L_{გ}, \rho_{გ}$) ოპტიმიზებული სისშირული მახასიათებლებიც. სინთეზირებული რეგულატორის ოპტიმალური პარამეტრებია: $\beta = 0,42$ და $\tau = 0,73\text{წმ}$, რომლებიც უზრუნველყოფენ კვეთის სისშირეზე ($\omega_{კვ} = 9, \text{წმ}^{-1}$) $\phi_{გ} = 40^\circ$ -იან ფაზურ მარაგს.

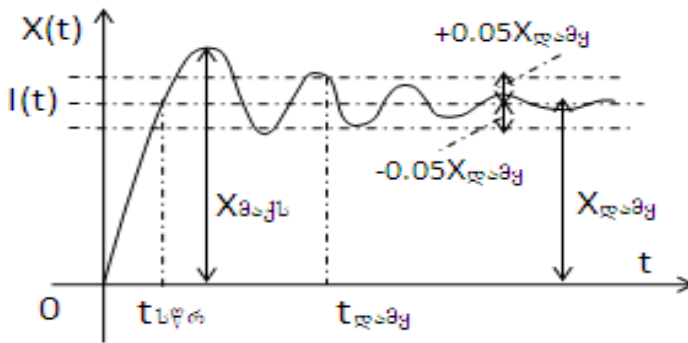
§6.4. რეგულირების ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები

ავტომატური მართვის სისტემების რეგულატორებს დავალების სიგნალი, როგორც წესი, მიეწოდება გარედან წინასწარ შერჩეული სიდიდის ძაბვის სახით. შეშფოთების ზემოქმედებათა სიგნალები კი იწვევენ სისტემის სარეგულირებელი ცვლადის სასურველი სიდიდიდან გადახრას.

დინამიკური რეჟიმების კვლევისას სისტემაზე როგორც მართვის, ისე შეშფოთების ზემოქმედების სიგნალად უმთავრესად იყენებენ ნახტომისებრი ფორმის სიგნალს.

სისტემის შესავალზე ასეთი სიგნალის მიწოდების შედეგად აკვირდებიან სისტემის რეაქციას—სარეგულირებელი ცვლადის გარდამავალ პროცესს. 66-ე სურათზე წარმოდგენილია სისტემის სარეგულირებელი ცვლადის გარდამავალი პროცესის მრუდი (განზოგადების მიზნით პროცესი პირობითად რხევითი ხასიათისაა), რომელიც გამოწვეულია შესავალზე მიწოდებუ-

ლი ნახტომისებრი სიგნალით. ამ მრუდის მიხედვით აკეთებენ სისტემის დინამიკაში მუშაობის ხარისხობრივ შეფასებას.



სურ. 66

პრაქტიკაში იყენებენ რეგულირების ხარისხის შეფასების შემდეგ ძირითად მაჩვენებლებს: მდგრადობის მარაგს, გადამეტრეგულირებას, სწრაფქმედებას, გარდამავალი პროცესის ხანგძლივობას და რხევათა რიცხვს. მდგრადობის მარაგზე უკვე ვისაუბრეთ, ამიტომ მასზე აქ არ ვიმსჯელებთ. თუმც, მასთან დაკავშირებით აღსანიშნავია ერთი თვისება, კერძოდ, რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტის შერჩევას არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ მისი გაზრდა (აუმჯობესებს სტატიკურ სიზუსტეს) ამავედროულად საწინააღმდეგო გავლენას ახდენს (ამცირებს) სისტემის მდგრადობის მარაგზე.

განვიხილოთ ეხლა რეგულირების ხარისხის სხვა მაჩვენებლების განსაზღვრის წესები:

ა) **გადამეტრეგულირება** არის სარეგულირებელი ცვლადის დამყარებული სიდიდისაგან მაქსიმალური ფარდობითი გადახრა გარდამავალ პროცესში.

66-ე სურათის მიხედვით გადამეტრეგულირება

$$\sigma = \frac{x_{\text{მაქს}} - x_{\text{დამყ}}}{x_{\text{დამყ}}} 100\% . \quad (6.43)$$

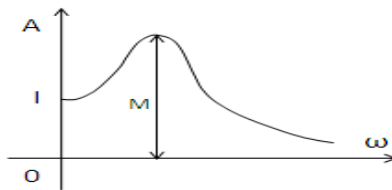
პრაქტიკაში დასაშვებია $\sigma < 20\%$.

ბ) **სწრაფქმედება** ($t_{\text{სწ}}$) დროა, რა დროშიც სარეგულირებელი ცვლადი გარდამავალ პროცესში პირველად აღწევს დამყარებულ მნიშვნელობას (სურ.66).

გ) **გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა** (t_g) დროა, რომლის განმავლობაშიც სარეგულირებელი ცვლადი შეაღწევს დამყარებული სიდიდის 5%-იან ზონაში (სურ.66), რის შემდეგაც პროცესი აღნიშნული ზონიდან გარეთ არ გამოდის.

დ) **გარდამავალი პროცესის რხევათა რიცხვი**. რხევათა რიცხვი არ უნდა აღემატებოდეს 1,5-2-ს.

სისტემაზე კარმონიული სიგნალით ზემოქმედებისას რეგულირების ხარისხის შეფასება შესაძლებელია ე.წ. რხევის მაჩვენებლის მიხედვით (სურ.67). ის განისაზღვრება სისტემის



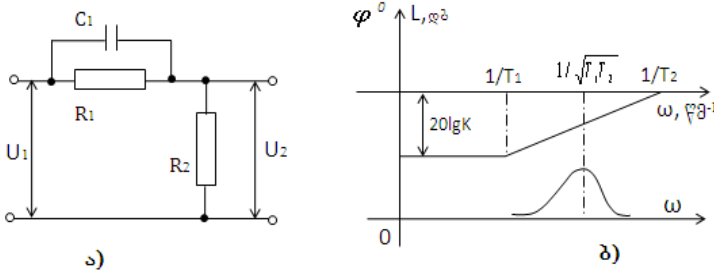
სურ.67

შეკრული კონტურის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლის მაქსიმალური მნიშვნელობით. სისტემებისათვის, რომლებიც მუშაობენ დამაკმაყოფილებელი დინამიკური მაჩვენებლებით, $M=1,1$ - დან $1,2$ -მდე .

§6.5. რეგულირების ხარისხის გაუმჯობესება მაკორექტირებელი მოწყობილობებით

კორექციის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სისტემის დინამიკური თვისებები (ხარისხის მაჩვენებლები) არ გვაკმაყოფილებს და საჭიროა შევცვალოთ დამატებითი მოწყობილობების ჩართვით (სპეციალური ოთხპოლუსებით) ისე, რომ უნდა მივიღოთ სასურველი გარდამავალი პროცესები. ამ მიზნით ქვემოთ განვიხილავთ სამი სახის მიმდევრობით მაკორექტირებელ მოწყობილობას, კერძოდ, მადიფერენცირებელს, მაინტეგრირებელსა და მადიფერენცირებელ-მაინტეგრირებელს.

პასიური ოთხპოლუსის ბაზაზე შედგენილი **მადიფერენცირებელი** (სურ.68,ა) მაკორექტირებელი მოწყობილობის ჩართვით სისტემის პირდაპირ არხში შეიძლება მივალწიოთ რხევების შემცირებას გარდამავალ პროცესში. ეს ნიშნავს ლამ-ზე კვეთის სისშირის გაზრდას ფაზური მარაგის შემცირების გარეშე.



სურ.68

მადიფერენცირებელი რგოლის გადამცემა ფუნქციაა:

$$W(p) = \frac{K(T_1 s + 1)}{T_2 s + 1}, \quad (6.44)$$

სადაც:
$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}; \quad T_1 = R_1 c_1; \quad T_2 = K T_1.$$

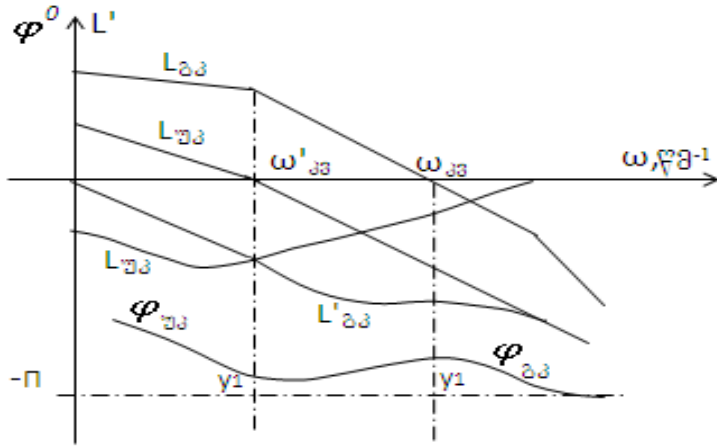
68,ბ სურათზე ნაჩვენებია განსილული რგოლის ლამ-ი და ფაზურ-სისშირული მახასიათებლები. მასზე ჩანს, რომ ამ ტიპის კორექცია ხასიათდება წინსწრებული ფაზით, რომელიც მაქსიმუმს აღწევს სისშირეზე:

$$\omega = 1/\sqrt{T_1 \cdot T_2} \quad (5.45)$$

აღსანიშნავია ისიც, რომ მაღიფერენცირებელი კორექციის ჩართვა პირდაპირ არსში იწვევს სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტის შემცირებას, და თუ მოვახდენთ ამ შემცირების კომპენსაციას დამატებითი მაძლიერებლის ჩართვით, მაშინ შესაძლებელია, გავზარდოთ სისტემის კვეთის სისშირე, ე.ი. გავზარდოთ მისი დინამიკური სწრაფქმედება.

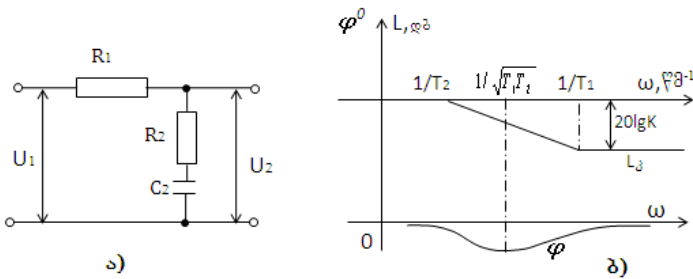
69-ე სურათზე ასახულია გაუკორექტირებელი სისტემის ლამ-ი ($L_{\text{გა}}$) და ფმ ($\varphi_{\text{გა}}$). იქვეა ნაჩვენები მაღიფერენცირებელი კორექციის ლამ-ი ($L_{\text{კ}}$), რომლის პარამეტრების ზუსტი შერჩევით ადვილად არის მიღწეული სისტემის კვეთის სისშირის გაზრდა. $L'_{\text{გა}}$ -არის გაკორექტირებული სისტემის ლამ-ი (შემდგომი გაძლიერების გარეშე). დამატებითი გაძლიერების შედეგად მიღებული საბოლოოდ გაკორექტირებული სისტემის ლოგარითმულ-ამპლიტუდური ($L_{\text{გა}}$) და ფაზურ ($\varphi_{\text{გა}}$) სისში-

რული მახასიათებლები მოცემულია იმავე 69-ე სურათზე. ჩანს, რომ სისტემის ფაზური მარაგი შენარჩუნებულია.



სურ.69

მინტეგრირებელი მაკორექტირებელი მოწყობილობის-ოთხ-პოლუსის (ნახ.70,ა) პირდაპირ არხში ჩართვით შესაძლებელი ხდება გავზარდოთ სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი



სურ. 70

ენტი, რაც თავის მხრივ საშუალებას იძლევა გავზარდოთ სისტემის ასტატიზმის რიგი (დაბალი სიხშირეების ზონაში) მდგრადობის მარაგისა და კვეთის სიხშირის შენარჩუნებით.

მაინტეგრირებადი მაკორექტირებადი რგოლის გადამცემ ფუნქციას აქვს სახე:

$$W(p) = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}, \quad (6.46)$$

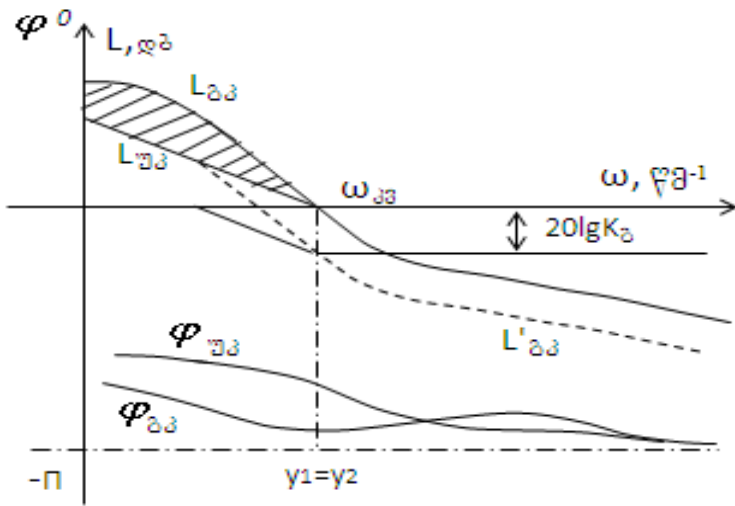
სადაც $T_1 = R_2 c_2$; $T_2 = (R_1 + R_2) c_2$.

მაინტეგრირებადი კორექციის თავისებურებაა ის, რომ იგი იძლევა ფაზურ ჩამორჩენას, რომელიც მაქსიმუმს აღწევს სიხშირეზე:

$$\omega = 1/\sqrt{T_1 \cdot T_2} \quad (6.47)$$

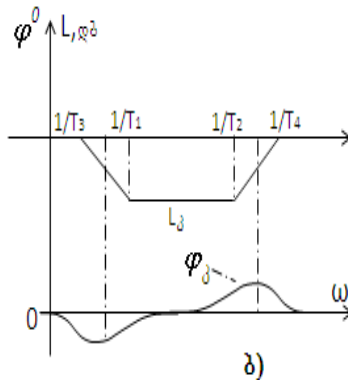
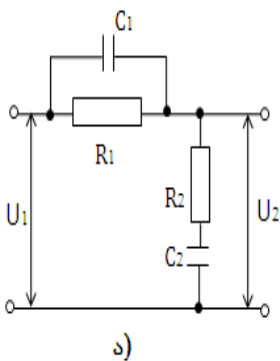
70,ბ სურათზე აგებულია მაინტეგრირებადი კორექციის ლამ-ი (L_j) და ფმ (φ_j) მახასიათებლები.

71-ე სურათზე კი ნაჩვენებია თანმიმდევრობა, როგორ ხდება სისტემის დინამიკური მახვენებლების გაუმჯობესება აღნიშნული მაკორექტირებადი მოწყობილობით და მისი ლოგარითმული მახასიათებლების გამოყენებით.



სურ.71

მადიფერენცირებელ-მაინტეგრირებელი მაკორექტირებელი მოწყობილობის –ოთხპოლუსას (სურ. 72,ა) სისტემის პირდაპირ არხში ჩართვით შესაძლებელია ერთდროულად მიღწეულ იქნეს როგორც სისტემის დინამიკური სწრაფქმედების, ასევე სტატიკური სიზუსტის გაზრდა.



სურ. 72

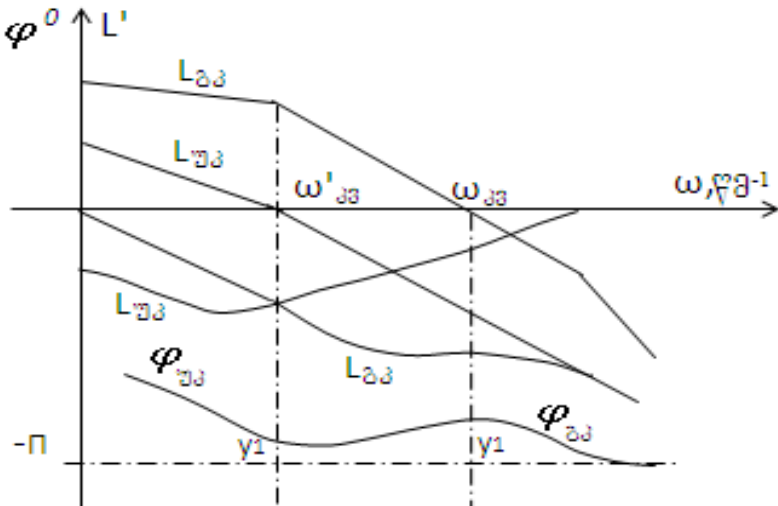
მაღიფერენცირებულ-მაინტეგრებელი რგოლის გადამცემა ფუნქცია შემდეგნაირად გამოისახება:

$$W(p) = \frac{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{(T_3s + 1)(T_4s + 1)}, \quad (6.48)$$

სადაც: $T_1 = R_1c_1; \quad T_2 = R_2c_2; \quad (6.47)$

$$T_{3,4} = \frac{T_1 + aT_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_1 + aT_2}{2}\right)^2 - T_1T_2}; \quad a = \frac{R_1 + R_2}{R_2}.$$

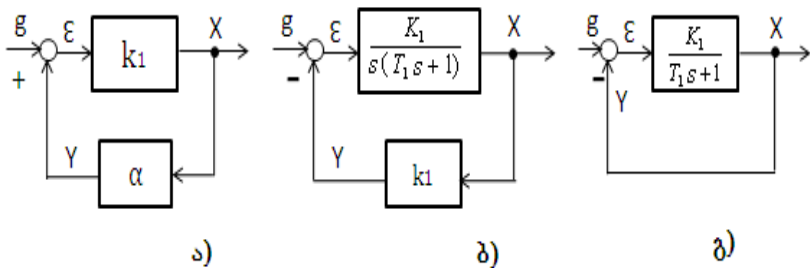
72,ბ სურათზე ნაჩვენებია განსახილველი კორექციის ლოგარითმულ-ამპლიტუდური (L_{ω}) და ფაზური (φ_{ω}) სისწორული მახასიათებლები. მათი აგებისას გათვალისწინებულია პირობები: $T_1 \gg T_2$ და $T_3 \gg T_4$.



სურ.73

73-ე სურათზე მოცემულია თანმიმდევრობა, როგორ ხდება სისტემის დინამიკური მახვენებლების გაუმჯობესება აღნიშნული მადიფერენცირებელ-მაინტეგრირებელი მაკორექტირებელი მოწყობილობით და მისი ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლების გამოყენებით.

კორექციები უკუკავშირის დახმარებით. ამს-ის რეგულირების პროცესის გაუმჯობესება შეიძლება არამართო მიმდევრობითი კორექციის გამოყენებით, არამედ პარალელური -დამატებით უკუკავშირებში ჩართული მაკორექტირებელი მოწყობილობებით. უკუკავშირები შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი მოქმედებისა. გარდა ამისა, განასხვავებენ ხისტ და რბილ უკუკავშირებს. ხისტ უკუკავშირს უწოდებენ ისეთს, რომელიც მოქმედებს როგორც დამყარებულ, ისე გარდამავალ რეჟიმში, ხოლო რბილი უკუკავშირი მოქმედებს მხოლოდ გარდამავალ რეჟიმში.



სურ.74

74,ა სურათზე ნაჩვენებია, რომ უინერციო რგოლის დადებითი უკუკავშირით შემოფარგვლა საშუალებას იძლევა, გავზარდოთ რგოლის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი, მართლაც:

$$k = \frac{k_1}{1 - k_1 \alpha}. \quad (6.49)$$

74,ბ სურათზე ნახვენებია, რომ ასტატიკური რგოლის უარყოფითი ხისტი უკუკავშირით შემოფარგვლა იწვევს სტატიკურ რგოლად გარდაქმნას. მართლაც, სქემის მიხედვით საერთო გადამცემი ფუნქცია ტოლი იქნება:

$$W(p) = \frac{k_1}{s(T_1 s + 1) + k_1 k_2} \quad (6.50)$$

თუ ასტატიკურ რგოლს შემოფარგვლავთ რბილი უკუკავშირით, მაშინ ადვილი საჩვენებელია, რომ აღნიშნული რგოლი არ დაკარგავს ასტატიზმის თვისებას.

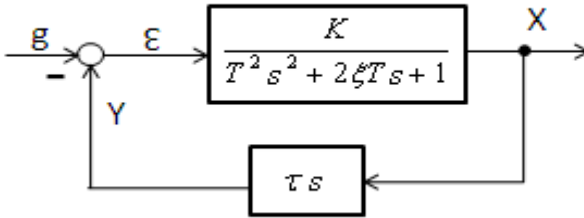
ხისტი უარყოფითი უკუკავშირის დამატებით შეიძლება მივადწიოთ დინამიკური რგოლის დროის მუდმივას შემცირებას. მართლაც, 74,გ სურათზე მოცემული სქემის შესაბამისი საბოლოო გადამცემი ფუნქცია ტოლი იქნება:

$$W(p) = \frac{k}{(Ts + 1)}, \quad (6.51)$$

სადაც $k = \frac{k_1}{1 + k_1}$; $T = \frac{T_1}{1 + k_1}$ ანუ $T < T_1$. (6.52)

ადვილი საჩვენებელია აგრეთვე ისიც, რომ დადებითი უკუკავშირი ზრდის რგოლის დროის მუდმივას და გაძლიერების კოეფიციენტს.

ქვემოთ, 75-ე სურათზე, ნახვენებია სქემა, რომლითაც შეიძლება გავზარდოთ რხევითი რგოლის დემპფირების კოეფიციენტი.



სურ.75

მართლაც, 145-ე სურათის მიხედვით სქემის საბოლოო გადამცემ ფუნქციას ექნება სახე:

$$W(p) = \frac{k_0}{T_0^2 s^2 + 2\xi' T_0 s + 1}, \quad (6.53)$$

სადაც $\xi' = \xi + \frac{\tau k}{2T_0}$, ე.ი. $\xi < \xi'$. (68.54)

ლიტერატურა

- [1] **Андреев В.П., Сабинин Ю.А.** –Основы электропривода // Л. –М. , Госэнергоиздат, 1963, 772с.
- [2] **Бесекерский В.А., Попов Е.П.** -Теория систем автоматического регулирования // Москва, Изд. „Наука“, 1975, 750 с.
- [3] **Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г.** -Автоматизированный электропривод с упругими связями //С-Пб, Энергоатомиздат, 1992,300с.
- [4] **ჯ. დოჭვირი** -ელექტროამძრავების ანალოგური და ციფრული მართვა // თბ., „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2007
- [5] **ჯ. დოჭვირი-ელექტროენერგეტიკული მანქანების კიბერნეტიკული მართვის საფუძვლები** // თბილისი, გამომც. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008
- [6] **ჯ. დოჭვირი, თ. საჭაპურიძე** -ავტომატიზებული ელექტროამძრავების საფუძვლები, I ნაწილი // თბ., „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2011, 2012
- [7] **J. Dochviri** -Dynamics of thyristor electric drive with digital control // J. „ **Electrical Engineering**”, ISSN 1068-3712, Allerton Press, New-York., USA, 2002, v. 73(11), pp. 13-21
- [8] **J. Dochviri** -Kalman-Frobenius dynamic optimization of a thyristor drive withan elastic component // J. „ **Electrical Engineering**”, ISSN 1068-3712, Allerton Press, New-York., USA, 2004, v. 75(5), pp. 7-17
- [9] **Дочвири Дж. Н.** -Оптимизация переходных процессов многодвигательных тиристорных электроприводов с упругими связями прессовых механизмов непрерывных технологических машин ж. „**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**” Рос. АН, Москва., 2006, №2, с.34-42
- [10] **Дочвири Дж. Н. и др.** -Динамика систем управления тиристор- ных электроприводов с регулированием возбуждения

электродвигателя //ж. „ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА” нац. АН України, Киев, 2005, №6, с. 30-35

[11] **Дочвири Дж. Н. и др.** -Динамика частотно-регулируемого асинхронного электропривода при дискретном управлении //ж. „ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА”, Нац. АН України, Киев, 2007, №1, с. 40-47

[12] **Дочвири Дж. Н.** -Оптимальное управление упругого электромеханического привода с фильтром Калмана-Бьюси // «Иzv. ЛЭТИ», сер. «Электротехника и Электромеханика», Санкт-Петербург, гос. Электротехн. ун-т (ЛЭТИ), 2001, N 1, с. 33-40

[13] **J. Dochviri** - Optimization of Control Processes of Digital Electrical Drive Systems // „Latvian Journal Physics and Technical Sciences” , 2010, N2, pp. 16-25

[14] **J. Dochviri** - Digital Regulator of Excitement for the Power Synchronous Generator // **J. „Electronics and Information Technologies”, 2011, N1, p p. 182 - 188** (Львовский национальный университет им. Ивана Фганко)

[15] **Чиликин М. Г. и др.** – Основы автоматизированного электропривода // Москва, „Энергия”, 1974, 560 с.

[16] **Зимин Е. Н. , Яковлев В. И.** – Автоматическое управление электроприводами // Москва, „Высшая школа”, 1979, 320 с.

[17] **Leonhard W.** -Control of electric drive // **Springer-Verlag**, Berlin, 2002 , pp.460