

**ჯ. დოჭვირი, ო. ხაჭავურიძე**

**ავტომატიზებული  
ელექტროამერავების  
საფუძვლები**

I ნაწილი

**„ტექნიკური უნივერსიტეტი“**

განხილულია როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის ელექტროამპრავების სტატიკური და დინამიკური რეჟიმები, მოყვანილია შესაბამისი მახასიათებლები. განსაზღვრულია ძირითადი ელემენტების გადამცემა ფუნქციები, გათვალისწინებულია შემერთებელი ლილვების დრეკადი თვისებებიც.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტრული ამპრავების სპეციალობის სტუდენტებისათვის.

#### რეცენზენტები:

ტექნ. მეცნ. დოქტორი, სრული პროფესორი თ. მჭედლიშვილი;

ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, სრული პროფესორი ე. ღონიაშვილი

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2011

**ს ა რ ჩ მ ვ ი**

<b>შესავალი</b> .....	6
<b>I თავი. ელექტროამრავლის მმქანიკა</b> .....	8
§1.1. წინაღობის და ინერციის მომენტების დაყვანა ძრავას დერძზე .....	8
§1.2. ამრავლის მოძრაობის განტოლებების შედგენა .....	14
§1.3. საწარმოო მექანიზმების კლასიფიკაცია .....	18
<b>II თავი. ელექტროძრავების მმქანიკური მახასიათებლები</b> .....	21
§2.1. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი (პარალელური) აგზნების ძრავას მექანიკური მახასიათებლები .....	21
§2.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი (პარალელური) აგზნების ძრავას ამუშავების წინააღობების გამონაგარიშება .....	25
§2.3. დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები..	28
§2.4. მუდმივი დენის მიმდევრობითი აგზნების ძრავას მექანი- კური მახასიათებლები .....	34
§2.5. მიმდევრობითი აგზნების ძრავას ამუშავების წინააღობების გამონაგარიშება .....	36
§2.6. მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მახასიათებლები სამუ- ხრუჭო რეჟიმებში .....	37
§2.7. შერეული აგზნების ძრავას მექანიკური მახასიათებლები..	40
§2.8. ცვლადი დენის სამფაზიანი ასინქრონული ძრავების მექა- ნიკური მახასიათებლები .....	41
§2.9. სამფაზა ასინქრონული ელექტროძრავას ამუშავების წინა- აღობების გამონაგარიშება .....	46

§2.10. სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სამუხრუჭო რეჟიმები .....	47
§2.11. სინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები .....	50
<b>III თავი. ელექტროძრავების სიჩქარის რეგულირება...</b>	<b>53</b>
§3.1. ზოგადი განმარტებები ელექტროძრავების სიჩქარის რეგულირების შესახებ .....	53
§3.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას სიჩქარის რეგულირების ხერხები .....	58
§3.3. სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სიჩქარის რეგულირების ხერხები .....	63
<b>IV თავი. გარდამავალი პროცესები ელექტროძრავაში</b>	<b>70</b>
§4.1. ზოგადი მიმოხილვა .....	70
§4.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას ამუშავების გარდამავალი პროცესი .....	71
§4.3. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას საფეხურებრივი ამუშავების გარდამავალი პროცესები .....	74
§4.4. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას გარდამავალი პროცესები სამუხრუჭო რეჟიმებში .....	76
§4.5. მუდმივი დენის მიმდევრობითი აგზნების ძრავას გარდამავალი პროცესები საფეხურებრივი ამუშავებისას .....	78
§4.6. მიმდევრობითი აგზნების ძრავას გარდამავალი პროცესები უკუწართვით დამუხრუჭების რეჟიმში .....	81
§4.7 სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას გარდამავალი რეჟიმები .....	81
<b>ლიტერატურა</b> .....	<b>85</b>

## შესავალი

თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამძრავებით ხორციელდება რთული ტექნოლოგიური მანქანებისა და ცალკეული მექანიზმების მართვა. იმისდა მიხედვით, თუ როგორი მოთხოვნები აქვთ წაყენებული სიზუსტის, სარეგულირო დიაპაზონისა და დინამიკური სწრაფქმედების თვალსაზრისით ელექტროამძრავის მართვის სისტემა შეიძლება შესრულებულ იქნას გახსნილწრედიანი (რელე-კონტაქტორებიანი) ან შეკრულწრედიანი (უკუკავშირებიანი) პრინციპით. პრაქტიკაში ისეთი ტექნოლოგიური მანქანების ამძრავებად, რომელთაც ესაჭიროებათ დიდ დიაპაზონში სიქარის მდოვრე რეგულირება, უმთავრესად გამოიყენება ტირისტორული გამმართველიანი მუდმივი დენის ელექტროამძრავები. უნდა აღვნიშნოთ ისიც, რომ ბოლო წლებში, ზოგიერთი ელექტროტექნიკური ფირმა ამ მხრივ უპირატესობას ანიჭებს ცვლადი დენის სამფაზიან ასინქრონულძრავიან ელექტროამძრავს, რომელიც კვებას იღებს ნახევარგამტარული სიხშირული გარდამქმნელიდან. ეს გამართლებულია იმით, რომ ასინქრონულ ძრავას სარემონტო ხარჯები თითქმის არ გააჩნიათ, მაშინ როცა მუდმივი დენის ძრავებს ექსპლואატაციის პერიოდში ესაჭიროებათ ხშირი რემონტი კოლექტორისა და მუსების დაზიანების გამო, თუმცა არ შეიძლება აქვე არ აღვნიშნოთ სიხშირისგარდამქმნელიანი ასინქრონული ელექტროამძრავის ნაკლოვანებაც, კერძოდ, ასინქრონული ძრავას მკვებავი სიხშირის გარდამქმნელის სქემა გაცილებით რთულია და მართვის სისტემის ელემენტებიც მას-

ში უფრო მრავლად 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. ელექტროამპრაჟების მიქანიკა

### §1.1. წინაღობის და ინერციის მომენტების დაყვანა ძრავას ღერძზე

ელექტროამპრაჟი წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ სისტემას, რომელიც შედგება ელექტრული ძრავასაგან, მოძრაობის გადამცემი მოწყობილობისაგან და მექანიზმის მოძრავი ნაწილისაგან. იმისდა მიხედვით, თუ როგორ მიეწოდება მექანიკური ენერჯია ძრავადან მექანიზმის მუშა ღილვს, არსებობს სამი ძირითადი ტიპის ამპრაჟი— ჯგუფური, ინდივიდუალური და მრავალძრავიანი. ჯგუფურ ამპრაჟში ერთი ძრავათი მოძრაობაში მოდის რამდენიმე მუშა ღილვი. ინდივიდუალურ ამპრაჟში მუშა მანქანის ყოველ ღილვს ემსახურება დამოუკიდებელი ელექტროძრავა. მრავალძრავიან ამპრაჟში ერთ მუშა ღილვს ემსახურება ორი ან მეტი ძრავა. მრავალძრავიან ელექტროამპრაჟად განიხილება მსხვილი ტექნოლოგიური მანქანის ელექტროამპრაჟიც, როცა მის ცალკეულ სექციებს აქვს ინდივიდუალური ამპრაჟები, მაგრამ მართვის სისტემა საერთო აქვთ.

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 ღვედურში) –  $i$ ; ინერციის მომენტი –  $J$  ან მასა –  $m$ ; შემაერთებელი ლილვების სიხისტის კოეფიციენტები –  $C_{\beta}$ ; მ ქ კოეფიციენტი ხახუნით გამოწვეული დანაკარგების გამო; ლუფტები (საპაერო ღრეჭობები) კინემატიკურ წყვილებში, მაგ., რედუქტორის კბილანებში, ლილვების შემაერთებელ ქურობებში და სხვ.

როგორც მუშა მანქანებს, ისე მათ ამძრავებს (ძრავას, მექანიკურ გადამცემ 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:

$$P_{სტ} = P_{მქ} / \eta, \quad (1.1)$$

სადაც  $P_{სტ}$  არის ძრავას ღერძზე წინაღობის სიმძლავრე;  $P_{მქ}$  – მექანიზმის სიმძლავრე, რომელსაც იგი განავითარებს მუშა ოპერაციის შესრულებისას;  $\eta$  – მოძრაობის გადამცემი მოწყობილობის მ ქ კოეფიციენტი.

ბრუნვითი მექანიზმებისათვის ცნობილია, რომ სიმძლავრე

$$P = M \cdot \omega, \quad (1.2)$$

სადაც  $M$  ბრუნვის მომენტია;  $\omega$  – ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.



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

$$M_{სჭ} \omega_d = M_{მქ} \cdot \omega_{მქ} / \eta. \quad (1.3)$$

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

$$M_{სჭ} = M_{მქ} / i \cdot \eta, \quad (1.4)$$

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

ორსაფეხურიანი რედუქტორის შემთხვევაში

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

თუ მექანიზმი ასრულებს გადატანით (წრფივ) მოძრაობას, მაშინ

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

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

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

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

სადაც  $J_{\text{ექვ}}$  არის ამძრავის მთელი მექანიკური სისტემის ექვივალენტური (ჯამური) დაყვანილი ინერციის მომენტი;  $J_{\text{კ-ძრავს}}$  მოძრავი ნაწილის (ღუზის ან როტორის) ინერციის მომენტი, კგმ<sup>2</sup>;  $J_q$  - სისტემის  $q$ -ური რგოლის ინერციის მომენტი,  $\omega_q$  - ცალკეული  $q$ -ური რგოლის კუთხური 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:

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

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

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

მქნევარა მომენტის განზომილებაა  $\text{კგ}\cdot\text{მ}^2$  (ანუ  $\text{კგ}\cdot\text{ძ}\cdot\text{მ}^2$ ).

ჩვეულებრივ, ამძრავის მბრუნავ დეტალებს აქვს დიდი რაოდენობის შვერელის მქონე ცილინდრის ფორმა. ჯამური ინერციის მომენტის ( $J$ ) საანგარიშოდ ასეთ დეტალს პირობითად დაყოფენ მუდმივი დიამეტრის მქონე ნაწილებად. დეტალის ცალკეული ნაწილის  $J$ -ს განსაზღვრავენ შემდეგი ფორმულით:

$$J = \frac{\Pi \gamma \cdot l \cdot d^4}{32g}, \quad [\text{კგ}\cdot\text{სმ}\cdot\text{წმ}^2] \quad (1.10)$$

სადაც  $\gamma$  დეტალის მასალის კუთრი წონაა, კგ/სმ<sup>3</sup> (ფოლადისათვის  $\gamma = 7,8 \cdot 10^{-3}$  კგ/სმ<sup>3</sup>; თუჯისათვის  $\gamma = 7,1 \cdot 10^{-3}$  კგ/სმ<sup>3</sup>);  $l$  და  $d$  – მბრუნავი სხეულის სიგრძე და დიამეტრი, სმ;  $g$  – სიმძიმის ძალით გამოწვეული აჩქარება, სმ/წმ<sup>2</sup>.

ინერციის მომენტის ზემოთ მოყვანილი განზომილებიდან უფრო ხშირად გამოყენებულ განზომილებაზე გადასასვლელად უნდა გავითვალისწინოთ, რომ 1კგმ არის ის ძალა, რომელიც 1 კგ მასის მქონე სხეულს მიანიჭებს 9,8 მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებას.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების გარდა ზოგჯერ გამოთვლებში გამოიყენება შემდეგი ფორმულებიც:

$$J = m\rho^2, \quad (1.11)$$

სადაც  $\rho$  არის დაყვანილი ინერციის რადიუსი.

ცნობილია, რომ ცილინდრული სხეულისათვის

$$\rho^2 = R^2/2, \quad (1.12)$$

ხოლო დრუ ცილინდრული სხეულისათვის

$$\rho^2 = \frac{R^2 + r^2}{2}. \quad (1.13)$$

შესაბამისად ინერციის მომენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$J = \frac{\Pi l \cdot R^4 \cdot \gamma}{2g}; \quad (1.14)$$

$$J = \frac{\Pi l (R^4 - r^4) \gamma}{2g}. \quad (1.15)$$

ისე, როგორც ინერციული მასები, შემაერთებელი ლილვების სიხისტის კოეფიციენტებიც საჭიროა დაყვანილ იქნას ძრავას ღერძზე. დაყვანა ხორციელდება პოტენციურ ენერჯიათა ბალანსის საფუძველზე.

ცილინდრული ლილვის სიხისტის კოეფიციენტი იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$c = \frac{\pi \sigma D^4}{32l}, \quad (1.16)$$

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

ღრუ ცილინდრული ლილვისათვის სიხისტის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$c = \frac{\pi \sigma D^4}{32l} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right], \quad (1.17)$$

სადაც  $d$  ლილვის შიგა დიამეტრია;  $D$  – გარე დიამეტრი.

ზოგჯერ მანქანის ლილვები შეერთებულია მიმდევრობით, პარალელურად ან მათი კომბინაციით. ამ შემთხვევაში სიხისტის კოეფიციენტებს განსაზღვრავენ შემდეგი ფორმულებით: მიმდევრობითი შეერთებისას

$$c = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}. \quad (1.18)$$

პარალელური შეერთებისას

$$c = c_1 + c_2. \quad (1.19)$$

სიხისტის კოეფიციენტი ძრავას ღერძზე დაიყვანება შემდეგი ფორმულით:

$$c_{\text{ლაყ}} = c_{12} / i^2, \quad (1.20)$$

სადაც  $i$  რელექტორის გადაცემის რიცხვია.

დრეკადრგოლებიანი სწრაფმოქმედი მექანიკური სისტემის მბრუნავი ნაწილები დინამიკურ რეჟიმში განიცდიან ძლიერ გრესით რხევებს, რომლებიც მიღევადა, ვინაიდან სისტემაში ადგილი აქვს ენერჯიის გაფანტვას. ენერჯია იხარჯება მექანიკური ღილეების შინაგანი ბლანტი ხახუნის ძალების (თუმცა ისინი შედარებით მცირეა) და ელექტრული ძრავას მადემპერირებელი მოქმედების დაძლევაზე.

გრესითი რხევების ჩაქრობის კოეფიციენტის განსაზღვრა თეორიულად შეუძლებელია, ამიტომ იყენებენ შემდეგ ემპირიულ ფორმულას:

$$b = \frac{\psi}{\pi} \sqrt{c_{12} \cdot \frac{J_1 \cdot J_2}{J_1 + J_2}}, \quad (1.21)$$

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

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

## §1.2. ამძრავის მოძრაობის განტოლებების შედგენა

ცნობილია ამძრავის მოძრაობის განტოლების შედგენის ორი მეთოდი – დალამბერის და ლაგრანჟეს.

**დალამბერის მეთოდი** დაფუძნებულია შემდეგ ძირითად პირობაზე: სისტემის მოძრაობისას დროის ნებისმიერ მომენტში

მასების ინერციის ძალების, გარე ძალებისა და კინემატიკურ წყვილებში წარმოქმნილი რეაქციის ძალების ჯამი უნდა იყოს ნულის ტოლი. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, მთელი სისტემა უნდა იყოს დინამიკურად გაწონასწორებული.

თუ ამძრავი ხისტლიდვიანია (არ აქვს გრძელი შემაერთებული ლილვი), 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 ენერჯიის ცვლილებას.

$M_{ღინ}$ -ის განსაზღვრის მიზნით (1.22)-ის ანალოგიურად ჩავეწეროთ სიმძლავრეთა 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  $\omega$ -ზე მივიღებთ დაღამბერის პრინციპით ჩაწერილ 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.

დრეკადრგოლიანი 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  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  შესაბამისად ინერციული მასების მობრუნების კუთხეებია

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

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

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

(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).

**ლაგრანჟეს მეთოდი.** ეს მეთოდი ითვლება ენერგეტიკულ მეთოდად და ეფუძნება მექანიკური სისტემის განზოგადებული კოორდინატების და ძალების ცნებებს. ამ მეთოდის გამოყენებისას კოორდინატების რიცხვი ტოლია სისტემის თავისუფლების ხარისხის. განზოგადებულ პარამეტრებად შეიძლება მივიღოთ მობრუნების კუთხეები, მათი სხვაობები და ა.შ.

ამძრავის მოძრაობის განტოლების შედგენა ლაგრანჟეს მეთოდით ხდება ლაგრანჟეს II გვარის განტოლების საფუძველზე

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \sum_{i=1}^N \frac{\partial T}{\partial q_i} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (1.29)$$



სადაც  $T$  და  $\Pi$  სისტემის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიებია,  $\Phi$  – გაფანტვის ფუნქცია,  $Q_i$  – განზოგადებული ძალა, რომელიც იწვევს  $i$ -ური განზოგადებული კოორდინატის ( $q_i$ ) ცვლილებას. უნდა აღინიშნოს, რომ  $T$  და  $\Phi$  ფუნქციები განზოგადებული სინქარების კვადრატული ფუნქციებია, ხოლო  $\Pi$ –განზოგადებული კოორდინატების კვადრატული ფუნქციები;  $N$  – თავისუფლების ხარისხი.

მაგალითად, კინეტიკური ენერგია შეიძლება ასე გამოისახოს

$$T = (J_1 \dot{\phi}_1^2 + J_2 \dot{\phi}_2^2 + J_3 \dot{\phi}_3^2) / 2, \quad (1.30)$$

პოტენციური ენერგია კი – ასე:

$$\Pi = [C_{12}(\phi_1 - \phi_2)^2 + C_{23}(\phi_2 - \phi_3)^2] / 2. \quad (1.31)$$

ენერგიის გაფანტვის ფუნქცია

$$\Phi = [b_1(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2)^2 + b_2(\dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_3)^2] / 2. \quad (1.32)$$

ამძრავის შემთხვევაში, (1.29)-ში:  $Q_1 = M$ ;  $Q_2 = M_{\text{სფ}}$ .

ამის შემდეგ ვიპოვით კერძო წარმოებულებს და ჩავწერთ მოძრაობის განტოლებებს. მოძრაობის განტოლებები გამოიყენება ამძრავთა სისტემების გარდამავალი რეჟიმების (დინამიკური პროცესების) შესწავლისას.

### §1.3. 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 წინააღობის მომენტი უქმი სველისას;  $M_{\text{სტ,ნომ}}$  – ნომინალური დატვირთვის მომენტი;  $x$  – კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს დამოკიდებულებას  $M_{\text{სტ}}$ -სა და  $\omega$ -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 მუდმივსტატიკურმომენტიანს. მათ რიცხვში შედის მაგ., ამწეები, კონვეიერები, ლითონმჭრელ ჩარხზე მიწოდების მექანიზმები, ქაღალდის დამამზადებელი მანქანების საშრობი და საწნეხი სექციები, აგრეთვე მეტალურგიული საგლინი დგანები და სხვ.

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

3) თუ  $x=-1$ , მაშინ  $M_{\text{სტ}}$ -სა და  $\omega$ -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, ქაღალდის ან ძაფის დამხვევ მექანიზმებს და სხვ.

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

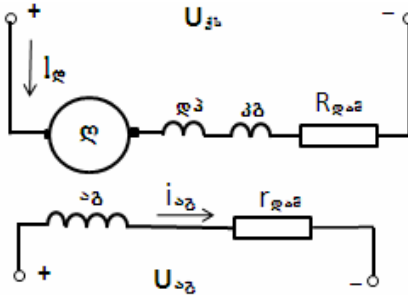
შენიშვნა: როცა  $P_{სტ}=const$ , განიხილება ორი შემთხვევა:

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. ელემტროკრაფების მემანიკური მასხასიათებლები

### §2.1. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი (პარალელური) აგზნების ძრავას მექანიკური მასხასიათებლები

ამ ტიპის ძრავას ელექტრული ჩართვის სქემა წარმოდგენილია პირველ სურათზე, რომელზედაც *დკ* და *კბ* ძრავას დამატებითი პოლუსების და ღუზის რეაქციის საკომპენსაციო გრაგნილებია გამოსახული.



სურ.1

მანამ, სანამ განვიხილავთ უშუალოდ ძრავას მექანიკურ მასხასიათებლებს სიჩქარის მოკლედ ავხსნათ მისი ქსელთან მიერთების პროცესი. ძრავას აგზნების გრაგნილს წინასწარ ან ღუზის გრაგნილთან ერთად უნდა მივაწოდოთ ძაბვა. აგზნების გრაგნილში დენის გავლით მანქანაში შეიქმნება უძრავი მაგნიტური ველი. ხოლო მას შემდეგ, რაც ღუზის გრაგნილში გაივლის დენი, მისი ურთიერთქმედებით ძრავაში არსებულ მაგნიტურ ველთან ღერძზე შეიქმნება ბრუნვის მომენტი. ძრავა დაიწყებს მუშაობას აჩქარებულად და მისი სიჩქარე დამ-

ყარდება იქ, სადაც ძრავას ბრუნვის მომენტი გაუტოლდება ღერძზე 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 წინააღობის სიმცირის გამო. მას შეუძლია გამოიწვიოს ძრავას სერიოზული დაზიანება (დაწვა).

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

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

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

$$E = K_{\text{ფ}} \cdot \Phi \cdot \omega. \quad (2.2)$$

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

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

სადაც:  $c = K_{\text{ფ}} \cdot \Phi$ .

$K_3 = \frac{PN}{2\pi a}$  არის ძრავას კონსტრუქციული მუდმივა;  $P$  – წვეილ პო-  
 ლუსთა რიცხვი;  $N$  – ღუხის გრავნილის აქტიურ გამტართა  
 რიცხვი;  $a$  – ღუხის გრავნილის პარალელურ შტოთა რიცხვი.  
 თუ (2.2)-ს შევიტანთ (2.1)-ში და ამოვხსნით  $\omega$ -ს მიმართ მი-  
 ვიღებთ ძრავას სინქარული მახასიათებლის  $\omega = f(I_{\text{ღ}})$  ფორ-  
 მულას

$$\omega = \frac{U}{K_3 \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{ღწ}}}{K_3 \cdot \Phi} \cdot I_{\text{ღ}}, \quad (2.4)$$

სადაც  $\omega_0 = \frac{U}{K_3 \cdot \Phi}$  არის ძრავას უქმი სვლის იდეალური სინ-  
 ქარე;  $R_{\text{ღწ}} = R_{\text{ღ}} + R_{\text{ღა}}$  – ძრავას ღუხის წრედის სრული წინა-  
 დობა. (2.4)-ში მეორე მდგენელი წარმოადგენს ძრავას სინქარის  
 ვარდნას დატვირთვის შესაბამის სიდიდემდე.

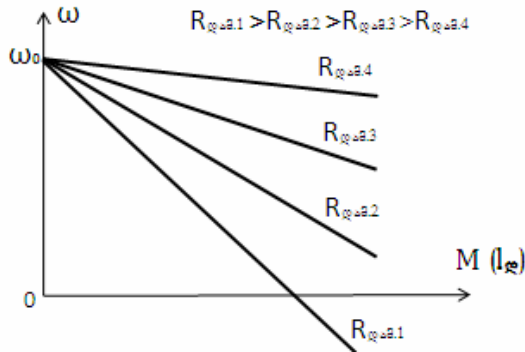
ცნობილია, რომ ძრავას ბრუნვის მომენტი

$$M = K_3 \Phi I_{\text{ღ}} = c_d \cdot I_{\text{ღ}}. \quad (2.5)$$

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

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

(2.6)-ის თანახმად ძრავას მექანიკური მახასიათებელი  
 $\omega = f(M)$  წარმოადგენს წრფეს, რომლის დახრილობას განსაზ-  
 ღვრავს მისი ღუხის გრავნილის  $R_{\text{ღწ}}$ -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  $R_{გ.ა} \neq 0$ , მაშინ მივიღებთ ე.წ. ხელოვნურ მახასიათებელს.

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

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

$c_d$  – 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:  $I_{\text{ღ}} = I_{\text{ნომ}}$ ,

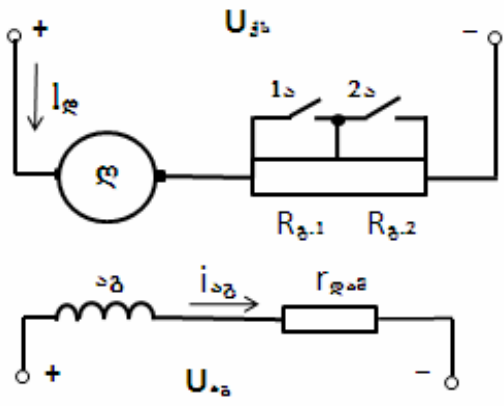
$$\omega = \omega_{\text{ნომ}}, \quad \omega_{\text{ნომ}} = \pi n_{\text{ნომ}} / 30.$$

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  $\eta$  -ძრავას მ.ქ. კოეფიციენტი.

## §2.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი (პარალელური) აგზნების ძრავას ამუშავების წინააღობების გამონაგარიშება

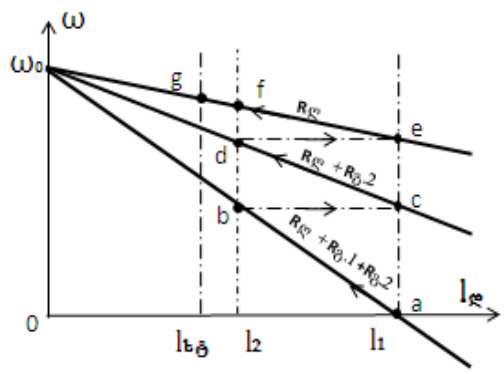
საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავას ქსელთან მიერთებისას აუცილებელია მისი ღუზის მიმდევრობით დამატებითი წინააღობის ჩართვა ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-3 სურათზე.





სურ.3

წინააღმდეგ შემთხვევაში ძრავაში გაივლის დასაშვებზე მეტი სიდიდის დენი, რაც გამოიწვევს მის დაზიანებას. ძრავას ამუშავების პროცესში ამუშავების წინააღმდეგ გამოტოვა შესაძლებელია განხორციელდეს საფეხურებად, შესაბამისი სიჩქარული მახასიათებლები ნაჩვენებია მე-4 სურათზე (შესაბამისი კონტაქტების ჩართვით, იხ. სურ.3-ზე).

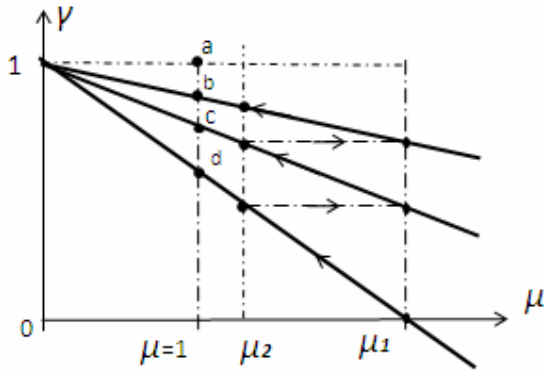


სურ.4

ძრავას ამუშავების წინააღობის საანგარიშოდ უნდა გამოვიყენოთ მისი ბუნებრივი სინქარული მახასიათებელი. თავიდან უნდა შევარჩიოთ  $I_1$  ამუშავების და  $I_2$  – გადართვის დენის მნიშვნელობები (სურ.4). როგორც ვეხი,  $I_1 = (2 \div 2,5)I_{\text{ნომ}}$  და  $I_2 = 1,2 \cdot I_{\text{ნომ}}$ .

ძრავას ქსელთან მიერთებისთანავე მის ღუზაში გაივლის  $I_I$ -ის ტოლი დენი (სურ.4), დაიწყება მისი აჩქარება (ამ დროს ღუზის მიმდევრობით ჩართულია  $R_{a1}$  და  $R_{a2}$  ამუშავების წინააღობის ორივე საფეხურის შესაბამისი წინააღობა). როდესაც ძრავას სინქარე მიაღწევს  $b$  წერტილის შესაბამის მნიშვნელობას, ე.ი. დენი გახდება  $I_2$ -ის ტოლი მოხდება ამუშავების პირველი საფეხურის წინააღობის დაშუქება  $I_a$  – აჩქარების კონტაქტის ჩაკეტვით. ეს გამოიწვევს ღუზის დენის  $I_I$  სიდიდემდე გაზრდას და ძრავა კვლავ დაიწყებს აჩქარებას. როცა მისი სინქარე მიაღწევს  $\alpha$  წერტილის შესაბამის სიდიდეს, მოხდება ამუშავების წინააღობის მეორე საფეხურის დაშუქება  $2a$ -აჩქარების კონტაქტის ჩაკეტვით. კვლავ გაიზრდება უეცრად ღუზის დენი  $I_2$ -დან  $I_I$ -მდე და ძრავა კვლავ განაგრძობს აჩქარებას ჯერ  $f$ -წერტილამდე, ხოლო შემდეგ  $g$  წერტილამდე, სადაც ძრავას ამუშავება დასრულდება და მისი მუშაობა იქნება დამყარებული რეჟიმის შესაბამისი.

ამუშავების წინააღობა იანგარიშება გრაფიკულად, ფარდობითი ერთეულებით გამოსახული მექანიკური მახასიათებლების მეშვეობით (სურ.5)



სურ.5

ეს მახასიათებლები ანალიზურად შემდეგნაირად გამოისახება:

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

სადაც  $v = \frac{\omega}{\omega_0}$  არის ძრავას სიხქარის ფარდობითი სიდიდე;

$\mu = \frac{M}{M_{\text{ნომ}}}$  – ფარდობითი მომენტი;  $r = \frac{R_{\text{დწ}}}{R_{\text{ნომ}}}$  – ძრავას ფარდობითი წინაღობა;

$R_{\text{ნომ}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{I_{\text{ნომ}}}$  – ძრავას ნომინალური (ფიქტობრივი) წინაღობა.

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

$al = r_{\text{წ}} = 1$ .  $ad$ ,  $ac$ ,  $ab$  შესაბამისად ძრავას ღუზის წრედის სრული წინაღობებია ფარდობითი ერთეულებით საფეხურების

შესაბამისად.  $bc$  –  $R_{ა2}$ -ის შესაბამისი, ხოლო  $cd$  –  $R_{ა1}$ -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

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

### §2.3. დამოუკიდებელი აგზნების 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.

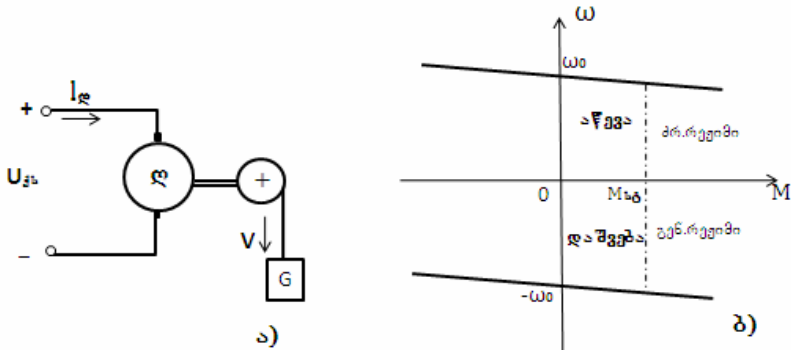
სამივე შემთხვევაში ძრავას მუშაობა უხდება გენერატორულ რეჟიმში. განსხვავებულია მხოლოდ ღუზის ემ ძალის ორიენტაცია ქსელის ძაბვის მიმართ. რეკუპერატიული (გენერატორული) დამუხრუჭებისას  $E$ -სა და  $U_{\text{ქ}}$ -ს შემხვედრი მიმართულება აქვთ, მაგრამ ვინაიდან  $E > U_{\text{ქ}}$ , ამიტომ  $I_{\text{ლ}}$  დენი იცვლის მიმართულებას, ე.ი. დენი ძრავადან მიეწოდება ქსელში. უკუჩართვის რეჟიმში  $E$  და  $U$  თანხვდებიან მიმართულებით

და დენი განისაზღვრება მათი ჯამით. დინამიკური დამუხრუჭებისას  $U=0$  და  $I=-E/(R_{\text{დ}} + R_{\text{ლინ}})$ . განვიხილოთ ეს რეჟიმები ცალ-ცალკე და უფრო დაწვრილებით.

ა) გენერატორული დამუხრუჭება

ძრავა გენერატორულ რეჟიმში გადადის მაშინ, როცა დატვირთვის გავლენით ძრავას სიჩქარე გადააჭარბებს  $\omega_0$  უქმის სვლის სიჩქარეს. ამ დროს  $E > U$  და დენის დენი  $I = \frac{U - E}{R_{\text{დწ}}} < 0$ , ე.ი. დენი იცვლის მიმართულებას.

პრაქტიკაში ასეთი დამუხრუჭება გამოიყენება მძიმე ტვირთის  $\omega_0$ -ზე მეტი სიჩქარით დაშვებისას (სურ.6).



სურ.6

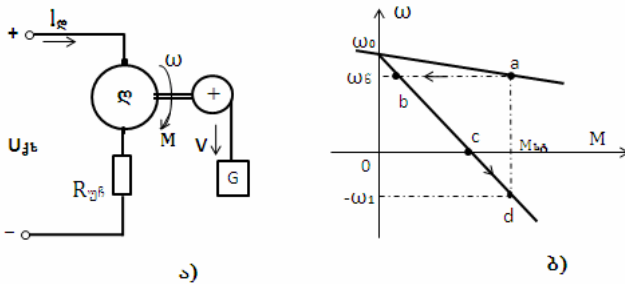
ამ შემთხვევაში ძრავას ჩართავენ დამუხრუჭებით სამუშაოდ. ამ დროს ამძრავის სიჩქარე გადააჭარბებს  $\omega_0$ -ს, ვინაიდან ღერძზე მოქმედებს ძრავასა და ტვირთის თანხვედრილი მომენტები. მას შემდეგ რაც ძრავა გადავა სამუშაოდ გენერა-

ტორულ 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 აწევაზე მომუშავე ძრავას ღუზის წრედში ჩავრთავთ ე.წ. უკუჩართვის დიდ  $R_{უჩ}$  წინაღობას (იხ. მე-7 სურათი).



სურ.7

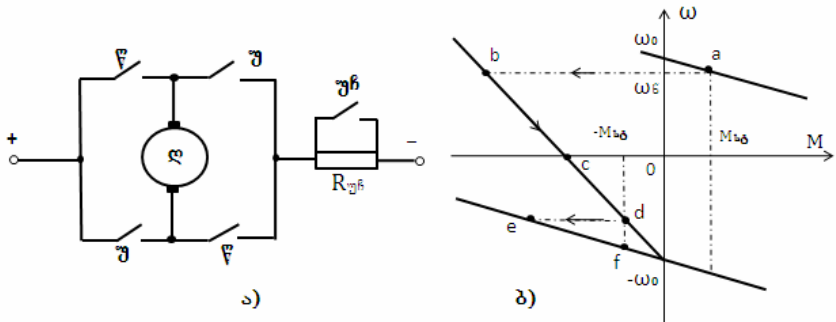
წინააღობის ჩართვის შემდეგ ძრავა  $a$  წერტილიდან სა-  
მუშაოდ გადავა უფრო დიდი დახრის მქონე მახასიათებელზე  $b$   
წერტილში. იგი დაიწყებს შენელებას (ვინაიდან შემცირდება  
დენი ღუზის წრედში) და პროცესი დამთავრდება  $c$  წერტილში.  
ამ წერტილში ძრავა ბრუნავს უკუმიმართულებით და მისი  
დენი განისაზღვრება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

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

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

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

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



სურ.8

დიდი  $R_{\text{უწ}}$ -ის წინაღობა. ძრავა სამუშაოდ გადავა  $a$  წერტილიდან  $b$  წერტილში. დაიწყება ამძრავის შენელება,  $c$  წერტილში ძრავა გაჩერდება. თუ საჭირო არ არის ძრავას ამუშავება უკუმიმართულებით, მაშინ  $c$  წერტილის შესაბამის მომენტში ძრავას გამორთავენ ქსელიდან და მის ღერძს დაადებენ მექანიკურ მუხრუჭს.

გენერატორული დამუხრუჭებისაგან განსხვავებით, უკუჩართვის რეჟიმში ძრავა ენერგიას იღებს ქსელიდანაც და მე-

ქანიზმიდანაც, ორივეს ხარჯავს ღუზის წრედის წინააღობაზე გამოყოფილი სიბოლს სახით:

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

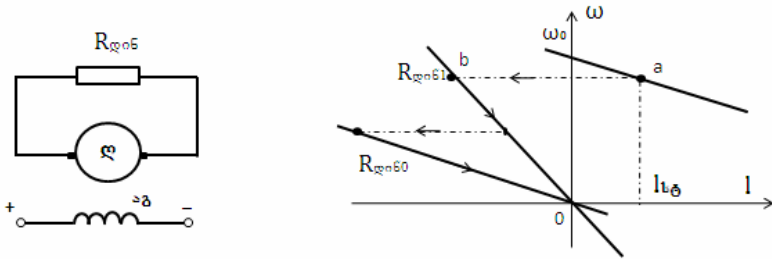
უკუხართვით დამუხრუჭება უზრუნველყოფს მექანიზმის ყველაზე მეესეულ განერებას. მისი ნაკლია ძრავაში და მისი ღუზის წრედში დიდი დანაკარგები. უკუხართვის წინააღობა განისაზღვრება წერტილის შესაბამისი სიდიდეებით:

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

$I_B$  - არის დამუხრუჭების დასაწყისში ძრავას დასაშვები დენის მნიშვნელობა.

ვ) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება.

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



სურ.9

ამ შემთხვევაში ძრავა მასში დაგროვილი კინეტიკური ენერგიის ხარჯზე განერებადღე იმუშავებს როგორც გენერა-



ტორი. აღნიშნული ენერგია დაიხარჯება ღუზის წრედის წინა-  
 ღობაზე გამოყოფილი სითბოს სახით.

დინამიკური დამუხრუჭებისას დენი ღუზაში

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

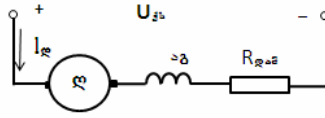
დინამიკური დამუხრუჭება შეიძლება გამოყენებულ იქნას  
 ტვირთის დაშვების შემთხვევაშიც. პროცესი ამ დროს დამ-  
 თავრდება  $C$  წერტილში.  $R_{\text{ღონ}}$ -ის სიდიდე განისაზღვრება შემ-  
 დეგი ფორმულით:

$$R_{\text{ღონ}} = \frac{C \omega_B}{I_B} - R_{\text{ღძ}} . \quad (1.48)$$

ამ სახის დამუხრუჭება ხასიათდება ეკონომიურობით,  
 თუმცა სინქარის შემცირებასთან ერთად მცირდება სამუხრუჭო  
 ეფექტიც ( $I$ -დენის შემცირების გამო). პრაქტიკაში დამუხრუ-  
 ჭების ამ ხერხს იყენებენ არარევერსულ ამძრავებში. სქემა მარ-  
 ტივია, საიმედო და ზუსტი.

#### §2.4. მუდმივი დენის მიმდევრობითი აგზნების ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ამ ტიპის ძრავას აგზნების გრაგნილი (აგ) ჩართულია ღუ-  
 ზის გრაგნილთან მიმდევრობით (სურ.10).



სურ.10

ასეთი ძრავას სიჩქარული მახასიათებლის ფორმულა ასე გამოისახება:

$$\omega = \frac{U}{K_j \Phi} - \frac{I R_{გვ}}{K_j \Phi}. \quad (2.15)$$

თუ ჩავთვლით, რომ მანქანის დამაგნიტების მრუდი წრფივია, ე.ი.  $\Phi = \alpha \cdot I$ , მაშინ ძრავას ბრუნვის მომენტი

$$M = K_j \cdot \Phi \cdot I = K_j \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \Phi^2,$$

საიდანაც  $\Phi = K_0 \sqrt{M}$ , სადაც  $K_0 = \sqrt{\frac{\alpha}{K_j}}$ .

შევიტანოთ  $\Phi$ -ისა და  $M$ -ის მნიშვნელობები (2.15)-ში მივიღებთ მუდმივი დენის მიმდევრობითი აგზნების ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ფორმულას:

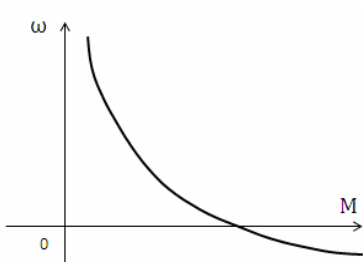
$$\omega = \frac{A}{\sqrt{M}} - B, \quad (2.16)$$

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

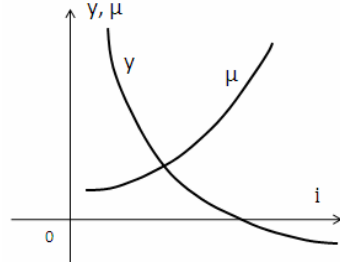
ამ ტიპის ძრავებისათვის მექანიკური (ან სიჩქარული) მახასიათებლები ჰიპერბოლური სახისაა (სურ.11).

მექანიკური მახასიათებლების საანგარიშოდ პრაქტიკაში იყენებენ ე.წ. უნივერსალურ მახასიათებლებს, რომლებიც წარმოდგენილია მე-12 სურათზე, ცვლადები მოცემულია ფარდობითი ერთეულებით  $\nu = f_1(t)$  და  $\mu = f_2(t)$ , სადაც  $\nu = \frac{\omega}{\omega_{\text{ნომ}}}$ ,

$$t = \frac{I}{I_{\text{ნომ}}}, \quad \mu = \frac{M}{M_{\text{ნომ}}}.$$



სურ.11



სურ.12

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

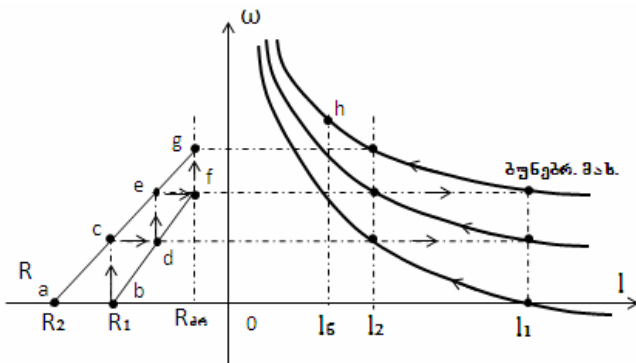
## §2.5. მიმდევრობითი აგზნების ძრავას ამუშავების წინააღობების გამოანგარიშება

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

შევარჩევთ ამუშავების  $I_1$  და გადართვის  $I_2$  დენების მნიშვნელობებს (იხ. სურ.13). აბსცისთა ღერძზე მარცხნივ გადავ-

ზომავთ  $R_1 = \frac{U}{I_1}$  და  $R_2 = \frac{U}{I_2}$  სიდიდეებს. ვინაიდან ძრავას

ამუშავება იწყება  $R_I$  – სრული წინაღობით და  $I_1$  დენით, მას შემდეგ რაც ძრავას დენი გახდება  $I_2$ -ის ტოლი გამოირთვება ამუშავების წინააღობის პირველი საფეხურის შესაბამისი  $cd$ -წინააღობა.



სურ.13

ძრავას დენი მყის გაიზრდება  $I_1$  –ის ტოლ სიდიდემდე, ძრავა კვლავ განაგრძობს აჩქარებას. როდესაც დენი მიადწევს  $I_2$  –მდე, დაშუნტდება მეორე საფეხურის შესაბამისი წინააღობა ( $ef$ ). ძრავა სამუშაოდ გადავა ბუნებრივ მასისიათებელზე და გააგრძელებს აჩქარებას დატვირთვის შესაბამის სიჩქარემდე.  $cd$  და  $ef$  – მონაკვეთების მიხედვით ( $R$ -ღერძზე მიღებული მას-

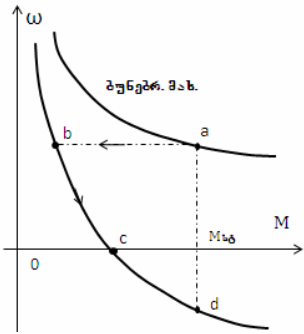
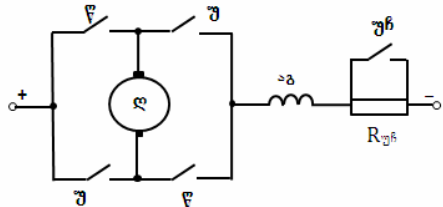
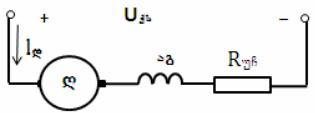
შტაბის გათვალისწინებით) ვიპოვით ძრავას ამუშავების წინა-  
დობათა მნიშვნელობებს.

## **§2.6. მიმდევრობითი აგზნების ძრავას მახასიათებლები სამუსრუტო რეჟიმებში**

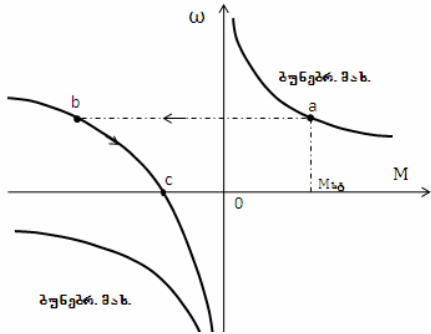
ასეთი ძრავასათვის გენერატორული სამუსრუტო რეჟიმი არ  
განიხილება (ვინაიდან არ გააჩნია უქმი სვლის სინქარე). მის-  
თვის განიხილავენ მხოლოდ უკუჩართვის და დინამიკურ და-  
მუსრუტებებს.

### **ა) უკუჩართვით დამუსრუტება.**

ამ შემთხვევაში, ისე როგორც დამოუკიდებელი აგზნების  
ძრავასათვის, უკუჩართვით დამუსრუტება შესაძლებელია ორ-  
გვარად: 1)ძრავულ რეჟიმში მუშაობისას ღუზის მიმდევრობით  
დიდი დამატებითი წინაღობის ჩართვით (სურ.14); 2) ღუზაზე  
მიყვანილი ძაბვის პოლარობის შეცვლით და აგზნების გრაგ-  
ნილში დენის უცვლელი მიმართულების შენარჩუნებით  
(სურ.15).



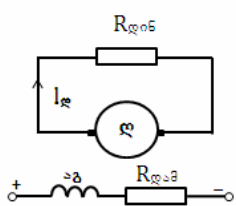
სურ.14



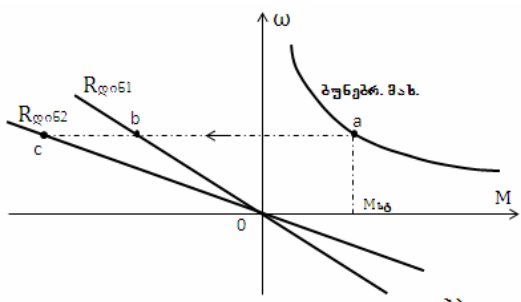
სურ.15

**ბ) დინამიკური დამუხრუჭება**

ამ შემთხვევაში ღუზას გამორთავენ ქსელიდან და მიაერთებენ სამუხრუჭო წინაღობასთან, ხოლო აგზნების გრავნილს დატოვებენ ქსელთან ჩართულს დამატებითი წინააღობით (სურ.16).



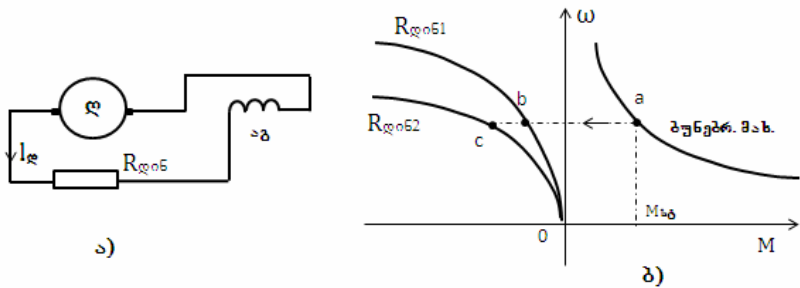
ა)



ბ)

სურ.16

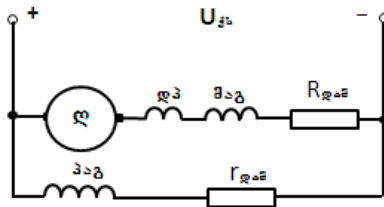
ზემოთ აღნიშნული დინამიკური დამუხრუჭების გარდა, რომელშიც აღზნების გრაგნილს აქვს დამოუკიდებელი კვება, შესაძლებელია დამუხრუჭება განვახორციელოთ თვითაღზნებითაც. სამუხრუჭო მომენტის მისაღებად ძრავას გამორთავენ ქსელიდან და ღუზის მომჭერებს შეცვლილი პოლარობით ჩართავენ აღზნების გრაგნილთან (დენის მიმართულება უნდა დარჩეს უცვლელი) დამატებითი წინაღობით (სურ.17).



სურ.17

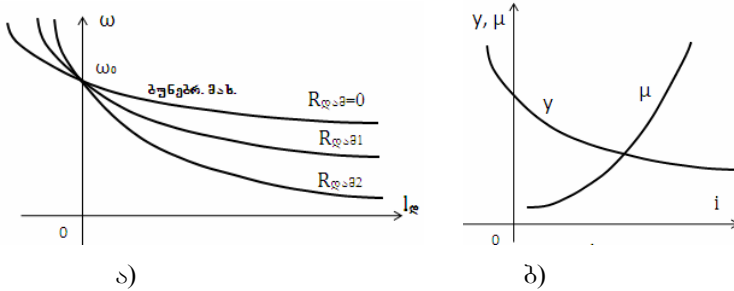
## §2.7. შერეული აგზნების ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ასეთი ტიპის ძრავებში გვაქვს ორი აღზნების გრაგნილი მიმდევრობითი (მაგ) და პარალელური (პაგ), სურ.18.



ნახ.18

მანქანის მაგნიტური ნაკადის 70% იქმნება პაგ-ით, ხოლო 30% მაგ-ით. ისევე როგორც მიმდევრობითი აგზნების ძრავასათვის, შერეული აგზნების ძრავას ბუნებრივი მექანიკური ან სინქარული მახასიათებლები (სურ.19,ა) აიგება უნივერსალური მახასიათებლების  $\nu = f(\mu)$  და  $t = f(\mu)$  მეშვეობით (სურ. 19,ბ).



სურ.19

ამ ტიპის ძრავებს აქვთ სამივე სამუხრუჭო რეჟიმი, როგორც სხვა დანარჩენ ძრავებს.

ა) გენერატორული დამუხრუჭება

ასეთი დამუხრუჭების დროს ძრავას მიმდევრობითი აგზნების გრაგნილი (მაგ) – დაიშუნტება და გენერატორულ რეჟიმში მანქანა მუშაობს მხოლოდ პარალელური აგზნებით (პაგ).

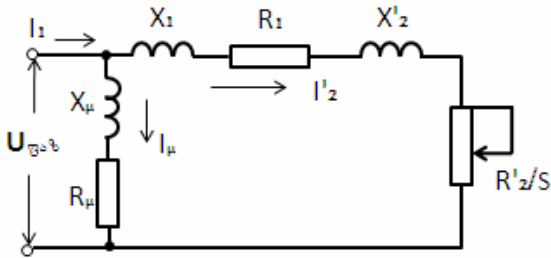
ბ) უკუხართვით დამუხრუჭება. ეს რეჟიმი ხორციელდება სხვა მუდმივი დენის ძრავების ანალოგიურად.

გ) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება. ასეთი ძრავას დინამიკურ დამუხრუჭებას იხილავენ მხოლოდ პაგ-ით, მაგ-ს აშუნტებენ. თვითაღზნებით დამუხრუჭება ნაკლებეფექტურია და არ იყენებენ.



§2.8. 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. მას ახასიათებენ 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  $R_{μ}$ ); როტორის სტატორზე დაყვანილი რეაქტიული და აქტიური წინაღობები ( $X'_2$  და  $R'_2/s$ );



სურ.20

სქემაზე აგრეთვე ნაჩვენებია ე.წ. სრიალის სიდიდე, რომელიც ტოლია:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (2.17)$$

სადაც  $\omega_0$  არის მანქანის სინქრონული სიხარე. ის თავის მხრივ ტოლია:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / P, \quad (2.18)$$

სადაც  $f_1$  არის ქსელის ძაბვის სიხშირე;  $P$  – მანქანის წყვილპოლუსთა რიცხვი.

მანამ სანამ შეუდგებით ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ფორმულის გამოყენებას მოკლედ აღვწერთ მისი ქსელთან ჩართვის და ამუშავების პროცესი. მიაწვდიან რა ძაბვას ძრავას სტატორის სამფაზა გრავნილებს (შეერთებულს ვარსკლავად ან სამკუთხედად) მათში გაივლის დენი, რაც გამოიწვევს მანქანის საჰაერო ღრეჭოში მბრუნავი მაგნიტური ველის წარმოქმნას. ეს ველი ძრავას უძრავი როტორის გრავნი-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-ღობების 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

$$P_{\text{გ}} = P_{\text{მკ}} + \Delta P_{\text{ვლ}}, \quad (2.19)$$

სადაც  $\Delta P_{\text{ვლ}}$  არის როტორის ელექტრული დანაკარგი.

(2.19) ასეც შეიძლება ჩაიწეროს:

$$M\omega_0 = M\omega + \Delta P_{\text{ჯლ}} \quad (2.20)$$

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

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

ძრავას  $F$ -ს მაგვარი ელექტრული შენაცვლების სქემის მიხედვით როტორის დენი

$$I_2' = \frac{U_{\text{ფ}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2}}, \quad (2.22)$$

სადაც  $X_K = X_1 + X_2'$  არის მანქანის მოკლე ჩართვის რეაქტიული წინაღობა. შევიტანოთ (2.22)-ე გამოსახულება (2.21)-ში, მივიღებთ

$$M = \frac{3U_{\text{ფ}}^2 R_2'}{\omega_0 s \left[ \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_K^2 \right]}. \quad (2.23)$$

(2.23)-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

$$s_{\text{კ}} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_2'^2 + X_K^2}}. \quad (2.24)$$

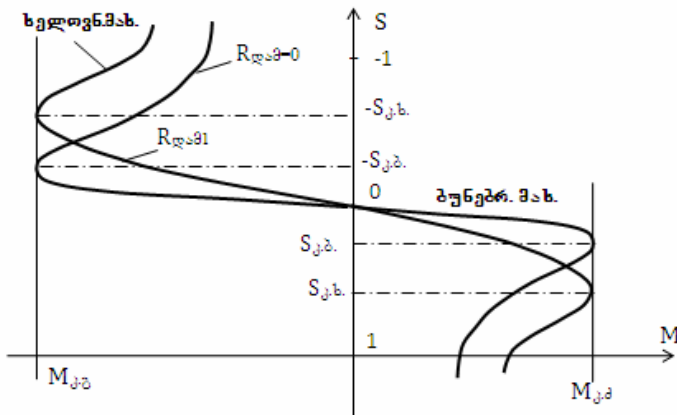
(2.24)-ის შეტანით (2.23)-ში ვიპოვით ძრავას კრიტიკულ ბრუნვის მომენტს:

$$M_{\text{კ}} = \frac{3U_{\text{ფ}}^2}{2\omega_0 \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right)}. \quad (2.25)$$

ნიშანი „+“ ძრავას რეჟიმისაა, „-“ გენერატორის. (2.23)-ის გაყოფით (2.25)-ზე და  $R_1$ -ის უგულებელყოფით მივიღებთ ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის გამარტივებულ ფორმულას

$$M = \frac{2M_{\text{კ}}}{\frac{s}{s_{\text{კ}}} + \frac{s_{\text{კ}}}{s}}. \quad (2.26)$$

(2.26)-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 (2.26)-ის გამოყენებით ვიპოვით

$$s_j = s_{\text{ნომ}} \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right), \quad (2.27)$$

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

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

წილზე, რისთვისაც (2.26)-დან სამართლიანია  $M = 2M_j \frac{s}{s_j}$ .

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

$$M = 2M_j \frac{s_j}{s}.$$

## §2.9. სამფაზიანი ასინქრონული ელექტროძრავას ამუშავების წინააღობების გამოანგარიშება

სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას ამუშავების წინააღობების ანგარიში დასაშვებია მიახლოებით ხდება მუდმივი დენის პარალელური აგზნების ძრავას ანალოგიურად, ვინაიდან ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის მუშა ნაწილიც წრფივია.

საშუალო ან დიდი სიმძლავრის ასინქრონული ძრავას ქსელთან მიერთება, როგორც წესი, ხდება როტორში დამატებითი ე.წ. ამუშავების წინაღობის ჩართვით. მის საანგარიშოდ, ჯერ უნდა ავაგოთ ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი. ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ ძრავას საპასპორტო მონაცემები:

$P_{\text{სომ}}$ ,  $U_{\text{სომ}}$ ,  $I_{\text{სომ}}$ ,  $n_{\text{სომ}}$ ,  $E_{2K}$  და  $I_2$  ძრავას ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს განვსაზღვრავთ შემდეგი ფორმულით:

$$k = \frac{E_1}{E_{2K}} \approx \frac{0,95 \cdot U_{\text{ფ}}}{E_{2K}}$$

მისი მეშვეობით ვიპოვიოთ სიდიდეებს:

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

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

გვეცოდინება რა  $M_K$  და  $s_K$  (2-26) ფორმულით ავაგებთ ძრავას  $M = f(s)$  ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელს. იმ შემთხვევაში, თუ ვანგარიშობთ ძრავას საფეხურებიან ამუშავების მახასიათებლებს უნდა გამოვიყენოთ ძრავას ამუშავების მომენტის სიდიდე  $M_1 = 0,7M_{\text{კ}}$  და გადართვის მომენტით  $M_2 = 1,2M_{\text{სტ}}$ .

## §2.10. სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას

### სამუხრუჭო რეჟიმები

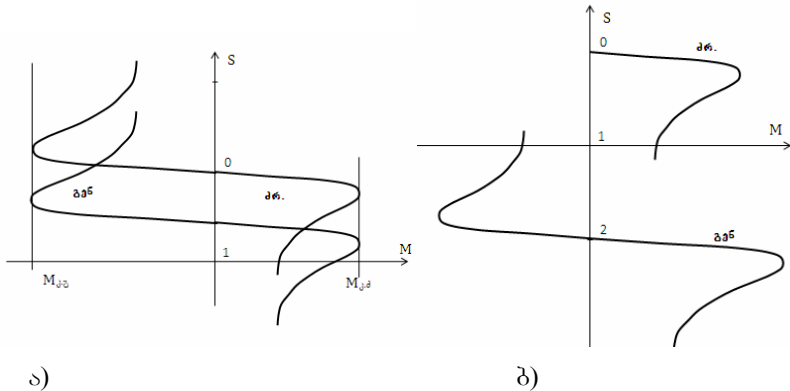
#### ა) გენერატორული დამუხრუჭება

კომპლექსურ სახეში ასინქრონული ძრავას როტორში გამავალი დენი:

$$I'_2 = \frac{E'_2}{\frac{R'_2}{s} + jX'_2} = \frac{E'_2 s}{R'_2 + jX'_2 s} = \frac{E'_2 R'_2 s}{R'^2_2 + (X'_2 s)^2} - j \frac{E'_2 X'_2 s^2}{R'^2_2 + (X'_2 s)^2}. \quad (2.28)$$

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.

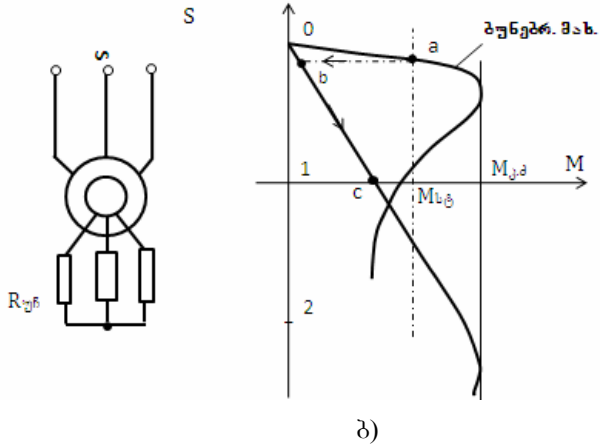
გენერატორული რეჟიმი გამოიყენება ამჟამად კრანებში მძიმე ტვირთის დაშვებისას, აგრეთვე ორსიჩქარიან ასინქრონულ ძრავებში, როცა სიჩქარის სარეგულირებლად გამოიყენება მანქანის წყვილ-პოლუსთა რიცხვის შეცვლა (სურ.22, ა,ბ).



სურ. 22

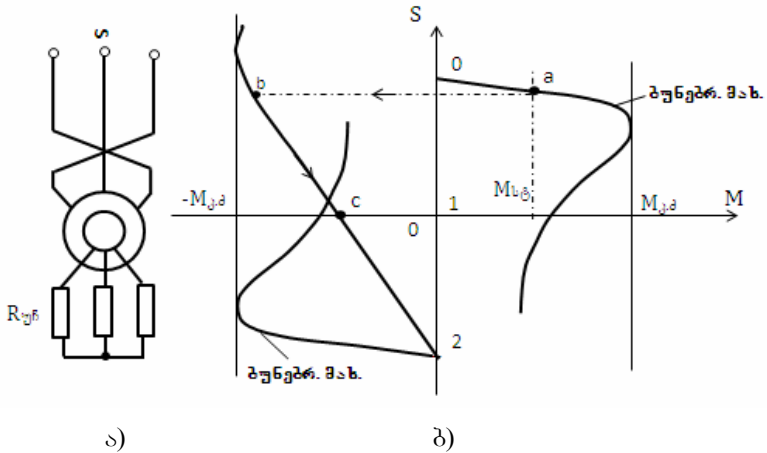
### ბ) უკუჩართვით დამუხრუჭება

ასეთი დამუხრუჭება მიიღება ძრავას როტორის წრედში დიდი ე.წ. რუნის წინაღობის ჩართვით (სურ.23)



სურ.23

ან სტატორის ორი ფაზის გადანაცვლებით და როტორში  $R_{უწ}$ -ის დამატებით (სურ.24).



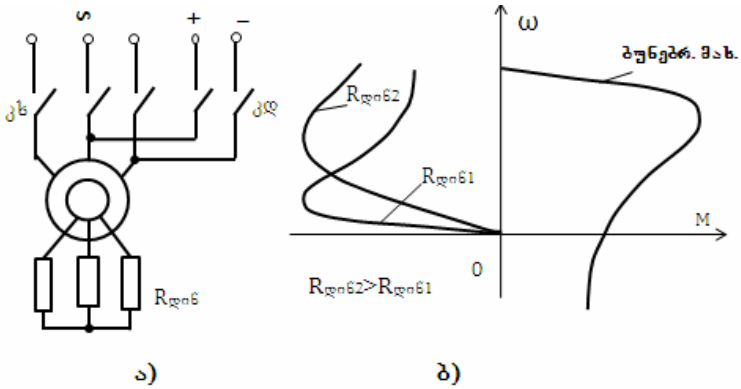
სურ.24

### 3) ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება

ასეთი დამუხრუჭების მისაღებად ძრავას სტატორს გამორთავენ ცვლადი დენის ქსელიდან და ჩართავენ მუდმივი დენის



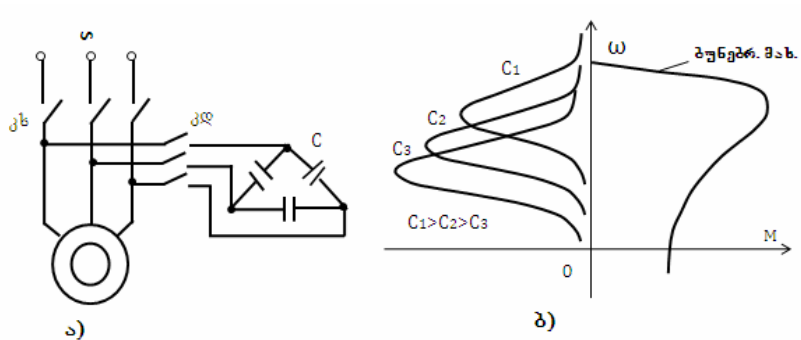
ქსელში, როტორში შეიძლება ჩაირთოს დამატებითი  $R_{დინ}$  – წინაღობები (სურ.25,ა,ბ).



სურ.25

დინამიკური დამუხრუჭების კონტაქტების (კდ) ჩართული მდგომარეობისას (კბ-გახსნილია) სტატორში გადის მუდმივი დენი, რომელიც კმნის 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  $R_{დინ}$  წინააღობებში.

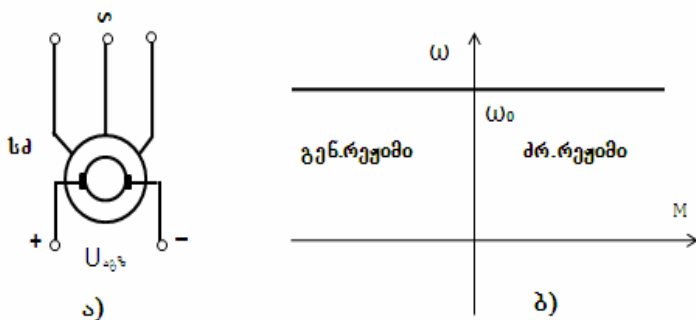
ელექტროდინამიკური დამუხრუჭება სამფაზიანი ძრავასათვის შეიძლება განხორციელდეს ე.წ. თვითაგზნებითაც სტატორის გადართვით კონდენსატორებზე (სურ.26, ა,ბ).



სურ.26

### §2.11. სინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

სინქრონული ძრავას ელექტრული ჩართვის სქემა მოცემულია 27,ა სურათზე. მის სტატორს, როგორც წესი, ჩართავენ ცვლად დენის სამფაზა ქსელში, ხოლო აგზნების გრაგნილს, რომელიც განთავსებულია როტორზე, მიაერთებენ მუდმივი დენის ძაბვასთან.



სურ.27

სინქრონულ ძრავას ქსელის ძაბვის მუდმივი სიხშირისას აქვს მუდმივი კუთხური სიჩქარე, მაშინაც კი როცა მის ღერძზე დატვირთვა არ აღემატება ნომინალურის ორმაგ მნიშვნელობას. თუ  $M_{სტ} > M_{დას}$ , მაშინ ძრავა ამოვარდება სინქრონიზმიდან. ასეთი ძრავები გამოიყენება დიდი სიმძლავრის მექანიზმებისათვის (კომპრესორები და ტუმბოები), რომლებსაც არ ესაჭიროებათ სიჩქარის რეგულირება (სურ. 27,ბ). სინქრონული ძრავას დადებითი თვისებაა ის, რომ შეუძლია იმუშაოს სიმძლავრის მაღალი კოეფიციენტით ( $\cos \varphi$ ) და დაეხმაროს ქსელს რეაქტიული სიმძლავრით.

სინქრონულ ძრავას როტორში გარდა აგზნების (ე.წ.მუშა) გრაგნილისა (რომელიც იკვებება მუდმივი დენით) აქვს მეორე – ე.წ. ამუშავების გრაგნილი (ციყვის ბორბალი). ის სამფაზიანია და მოკლედანა ჩართული. ამ გრაგნილის საშუალებით ხორციელდება ძრავას ამუშავება ასინქრონული წესით ქვესინქრონულ  $0,95 \omega_0$  სიჩქარემდე. მანქანის სინქრონიზმში შეტაცვა ხდება მას შემდეგ, რაც ძრავა მუშაობს ქვესინქრონული სიჩქარით და როტორის მუშა (აგზნების) გრაგნილში მიაწვდიან მუდმივ დენს.

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

$$M = \frac{3UE}{\omega_0 X_c} \cdot \sin \theta, \quad (2.28)$$

სადაც  $U$  არის ქსელის ძაბვა;  $E$ - სტატორის გრაგნილში ინდუქცირებული ემ ძალა;  $X_c$  -სტატორის რეაქტიული წინაღობა;  $\theta$  -კუთხე სტატორის ემ ძალასა და ქსელის ძაბვას შორის.

ასინქრონულ ძრავთან შედარებით სინქრონული ძრავა ქსელის ძაბვის რყევის მიმართ ნაკლებად მგრძობიარეა. ეს კარგად ჩანს (2.28) ფორმულიდან.

სინქრონული ძრავას დასამუხრუჭებლად პრაქტიკაში გამოიყენება დინამიკური დამუხრუჭება. ამ დროს სტატორს გამორთავენ ქსელიდან და მიაერთებენ წინაღობებთან, ხოლო აღგზნების გრაგნილს მიაწვდიან მუდმივ დენს.

### III თავი. ელექტროძრავების სიჩქარის რეგულირება

#### §3.1. ზოგადი განმარტებები ელექტროძრავების სიჩქარის რეგულირების შესახებ

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

მანქანების მუშა ლილვების ბრუნვის სიჩქარის (მოძრაობის) რეგულირება ძირითადად შესაძლებელია ორი გზით: ძრავას კუთხური სიჩქარის ცვლით ან მექანიკური გადაცემების პარამეტრის (გადაცემის რიცხვის) შეცვლით. მეორე ვარიანტი დიდი ხანია ცნობილია. მისი ტექნიკური გადაწყვეტა დაკავშირებულია კონსტრუქციულ გართულებებთან (გამოიყენება სიჩქარეთა კოლოფი, მექანიკური ვარიანტი და ა.შ.). გარდა ამისა, ამ შემთხვევაში, როგორც წესი, არ ხერხდება სიჩქარის მდოვრედ რეგულირება. ამის გამო თანამედროვე ელექტროამძრა-

ვებში სიჩქარის რეგულირება ძირითადად ხორციელდება თვით ელექტროძრავას სიჩქარის 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 შემოთავაზებით (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 დუხის ან როტორის მექანიკური სიმტკიცით. მუდმივი დენის ძრავები-

სათვის სინქარის ზედა ზღვარი ( $\omega_{აჟს}$ ) 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

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

სადაც  $\omega_0$  და  $\omega_{დამყ}$  არის ამძრავის სასურველი (დავალების შესაბამისი) და რეალური (დატვირთვის შესაბამისი) სინქარეების დამყარებული მნიშვნელობები.

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

რეგულირების ერთ-ერთი მთავარი მანევრებელია აგრეთვე რეგულირების სიმლოგრე, რომელიც წარმოადგენს ორ მეზობელ სინქარეთა თანაფარდობას  $\varphi = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$ , სადაც  $\omega_i > \omega_{i-1}$ .

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

რეგულირების ერთი საფეხურიდან მეორეზე მდოვრე გადასვლა ზოგჯერ განსაზღვრავს გამომუშავებული პროდუქციის ხარისხს. ელექტროამძრავების პრაქტიკაში სინქარის რეგული-

რების ყველაზე მცირე სიმდოვრე გააჩნიათ ორსინქარიან მოკლედშერთულროტორიან ასინქრონულ ძრავებს. მნიშვნელოვანი სიმდოვრე შეიძლება მივიღოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავების შემთხვევაში, როცა მათი მართვა ხდება დუზაზე მიყვანილი ძაბვის ანაზნების დენის ცვლით.

რეგულირებადი ამძრავის ერთ-ერთი მანვენებლია 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 გამოსისყიდის საწყის კაპიტალურ დანახარჯებს. რეგულირებადი ელექტროამძრავის ეკონომიურობის შეფასებისას ყურადღება ექცევა აგრეთვე ექსპლოატაციისას 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), ქალაღდისმკეთებელი მანქანების სექციები და ა.შ. მეორე



მხრივ, არსებობენ ისეთი მექანიზმებიც, რომელთაც სიჩქარის 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

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

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

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

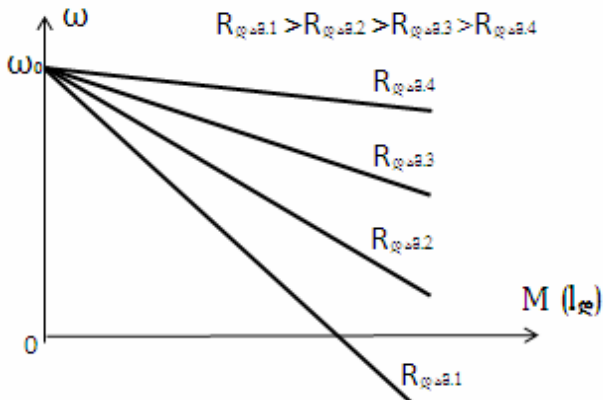
$$P_{II} = M \cdot \omega = \frac{A'}{\omega} \cdot \omega = A' = const. \quad (3.5)$$

§3.2. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების 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 28-ე სურათზე.



სურ. 28,ა

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

**ბ) აგზნების ნაკადის ცვლილება**

ამ ხერხით ძრავას სინქარის რეგულირება ხდება მცირე დენების (აგზნების) წრედიდან, ამიტომ იგი მარტივია და ეკონომიური. ამ მეთოდს იყენებენ იმისათვის, რომ ძრავას სინქარე გახადონ ნომინალურზე მეტი. მექანიზმებში, რომელთაც მუშაობა უხდებათ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით ( $P_{სტ} = const$ ). აგზნების შემცირებით  $\omega_0$  იზრდება, ხოლო ძრავას მოკლე ჩართვის დენი უცვლელი რჩება  $I_{ა.გ.} = U/R_{ლწ}$ . ამ რეჟიმისათვის დამახასიათებელია:

$$M_{ა.გ.} = K_{\phi} \Phi_{6} I_{6\text{ნომ}} > M'_{ა.გ.} = K_{\phi} \Phi' I_{6\text{ნომ}} > M''_{ა.გ.} = K_{\phi} \Phi'' I_{6\text{ნომ}}$$

$\Phi$ -ს შემცირებასთან ერთად ჰიპერბოლურად უნდა შევამციროთ ძრავას დატვირთვის მომენტი ( $M_{სტ}$ ). ასეთი ხერხით რეგულირების დიაპაზონი  $D=2 \div 1$ . აგზნების 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.

**გ) ღუზაზე მიყვანილი ძაბვის ცვლა**

სინქარის რეგულირების ეს მეთოდი ყველაზე უფრო გავრცელებულია და ხორციელდება გ-ძ სისტემის (ე.წ. ლეონარდის)

სქემით, სადაც  $g$  არის გარდამქმნელი (ცვლადი დენისა მუდმივ დენად). ის შეიძლება იყოს ან მუდმივი დენის გენერატორი, რომელიც ბრუნვით მოძრაობას ასრულებს ცვლადი დენის ქსელთან ჩართული ასინქრონული ელექტროძრავით, ან თანამედროვე ელექტროამძრავებში ტირისტორული გამმართველით (სურ.29). სიჩქარის რეგულირების ასეთი ხერხი უზრუნველყოფს სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონს  $D_1=10 : 1$ .

$g$ -მ სისტემით მომუშავე ძრავას სიჩქარული მახასიათებლის ფორმულის მისაღებად ვწერთ შემდეგ საწყის განტოლებებს:

$$U_g = E_g - I_g R_{\text{ღგ}}; \quad (3.6)$$

$$U_d = E_d + I_d R_{\text{ღდ}}, \quad (3.7)$$

სადაც  $E_g = K_{\text{გგ}} \Phi_g \omega_g$  არის გენერატორის ემ ძალა;

$$E_d = K_{\text{გდ}} \Phi_d \omega_d - \text{ძრავას ემ ძალა};$$

(3.6) და (3.7) განტოლებებით მივიღებთ

$$E_g - I_g R_{\text{ღგ}} = E_d + I_d R_{\text{ღდ}}, \quad (3.8)$$

საიდანაც:

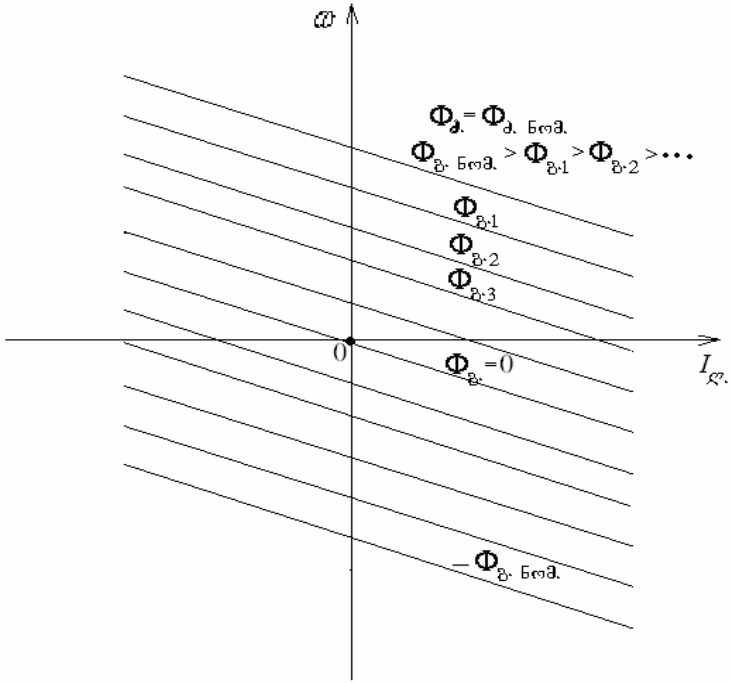
$$E_d = E_g - I_d R_{\text{ღწ}}, \quad (3.9)$$

სადაც  $R_{\text{ღწ}} = R_{\text{ღგ}} + R_{\text{ღდ}}$  არის ძრავას ღუზის წრედის სრული აქტიური წინაღობა.

(3.9)-დან ადვილად მივიღებთ მუდმივი დენის ძრავას სიჩქარული მახასიათებლის ფორმულას  $g$ -მის სისტემისათვის

$$\omega_d = \frac{E_g}{K_{\text{გდ}} \Phi_d} - \frac{I_d R_{\text{ღწ}}}{K_{\text{გდ}} \Phi_d}. \quad (3.10)$$

(3.10)-ის შესაბამისი მახასიათებლები მოცემულია სურ.28,ბ-ზე.



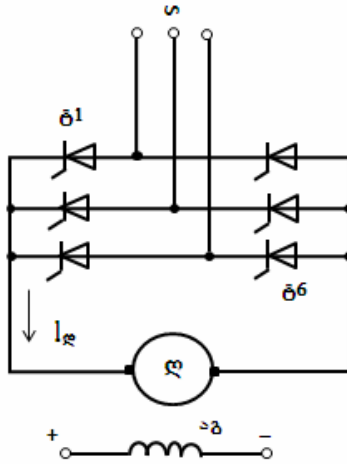
სურ.28,ბ

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 სინქარის მუდმივად შენარჩუნებას მაღალი სიზუსტით.

ბოლო ათეული წლების პერიოდში მექანიზმებისათვის, რომელთაც ესაჭიროებათ სინქარის დიდ დიაპაზონში ცვლა, იყენებენ მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას, რომლის ღირებულება ტირისტორული გამმართველიდან (სურ.29).



სურ.29

ტირისტორული ელექტროამძრავის დადებითი თვისებებია: მაღალი სწრაფქმედება, მუშაობაში საიმედოობა და მაღალი მქკოეფიციენტი 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  $m=3$ ;  $\alpha$ -ტირისტორის მართვის ელექტროდზე მიწოდებული იმპულსების ფაზური ძერის კუთხე, იგი იცვლება 15-დან 90 გრადუსამდე და ახასიათებს ტირისტორების გახსნილი მდგომარეობის ხანგრძლივობას.

გ-ძ სისტემის ანალოგიურად ტირისტორული 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.

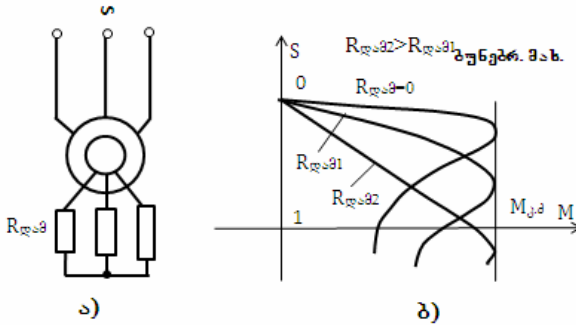
### §3.3. სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სინქარის რეგულირების ხერხები

ცნობილია ასინქრონული ელექტროამძრავის სინქარის რეგულირების სამი ძირითადი ხერხი:

#### ა) როტორში აქტიური წინააღობების დამატება

ეს მეთოდი გამოიყენება მექანიზმებისათვის, რომელთა სტატიკური მომენტი  $M_{\text{სტ}} = \text{const}$ . რეგულირების დიაპაზონი  $D=3:1$ ; რეგულირება ხორციელდება ნომინალური სინქარის ქვემოთ.

შესაბამისი სქემა და მახასიათებლები წარმოდგენილია 30-ე სურათზე.



სურ.30

**ბ) პოლუსთა რიცხვის შეცვლა**

ცნობილია, რომ სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სინქრონული სიხქარე

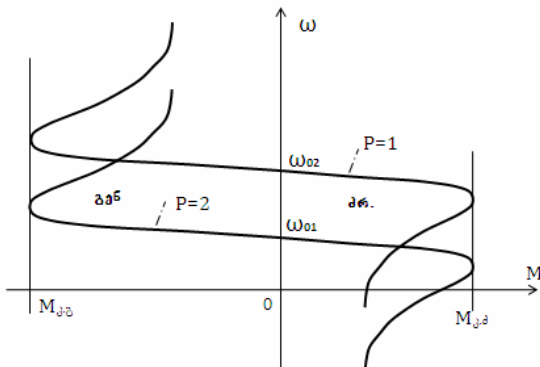
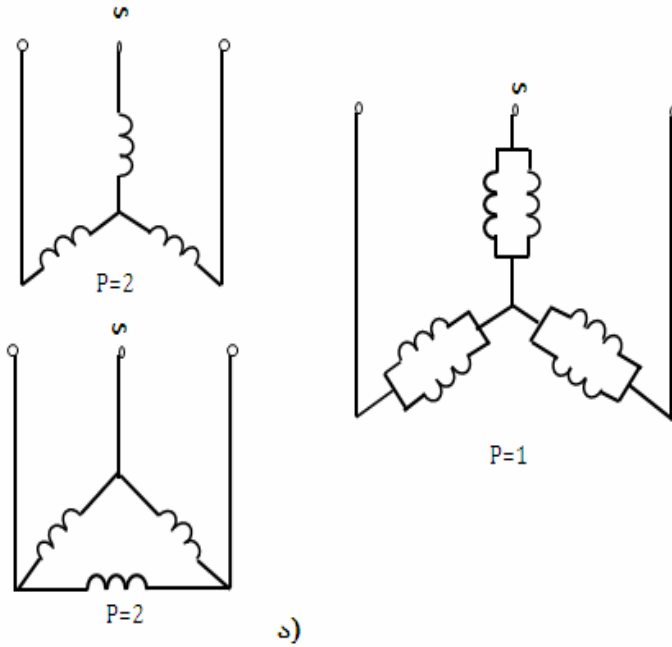
$$\omega_0 = 2\pi f_1 / P, \tag{3.13}$$

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

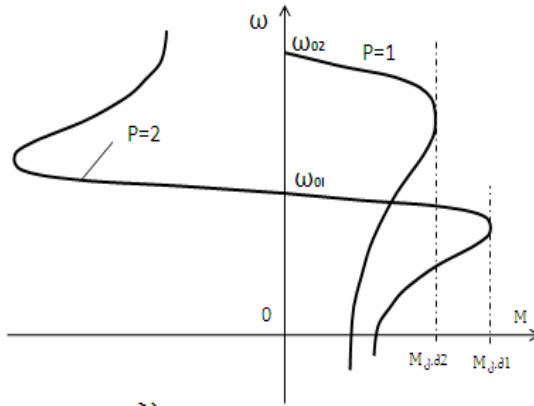
ორსიხქარიან ასინქრონულ ძრავაში ცალკეული ფაზების გრაგნილები შედგება ორი ერთნარი ნაწილისაგან, რომელთაგან ერთში ცვლიან დენის მიმართულებას აღნიშნული ნაწილების მიმდევრობითიდან პარალელურზე გადართვათა მეშვეობით. ასეთი გადართვა გამოიწვევს პოლუსთა რიცხვის შემცირებას ორჯერ და შესაბამისად მანქანის სინქრონული სიხქარის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



შეერთებიდან ორმაგ ვარსკლავურზე. შესაბამისი სქემები და მახასიათებლები წარმოდგენილია 31-ე სურათზე.



ბ)



ბ)

სურ. 31

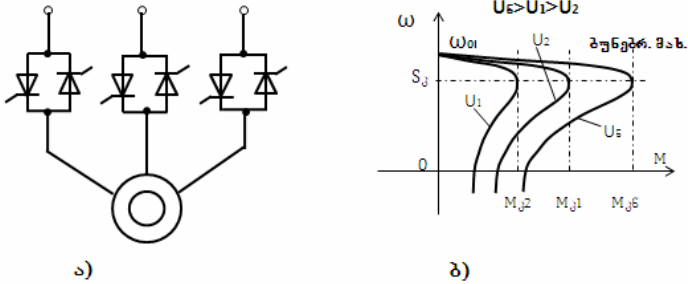
პირველი სახის გადართვა გამოიყენება მექანიზმებისათვის  $M_{სტ} = const$ . მეორე სახის გადართვა მიზანშეწონილია მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ  $P_{სტ} = const$  რეჟიმში.

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

გ) ძაბვის ცვლა

თანამედროვე ასინქრონულ ელექტროამძრავში სიჩქარის რეგულირებისათვის ზოგჯერ იყენებენ ტირისტორულ გარდამქმნელიან სისტემას. შესაბამისი სქემა და მახასიათებლები მოყვანილია 32-ე სურათზე. იმის გამო, რომ ძაბვის შემცირება იწვევს ძრავას კრიტიკული მომენტის კვადრატული ფუნქციით

შემცირებას ასეთი ამძრავის რეგულირების დიაპაზონი ძალზე შეზღუდულია  $D < 3:1$ .



სურ.32

დ) სისშირის ცვლა

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

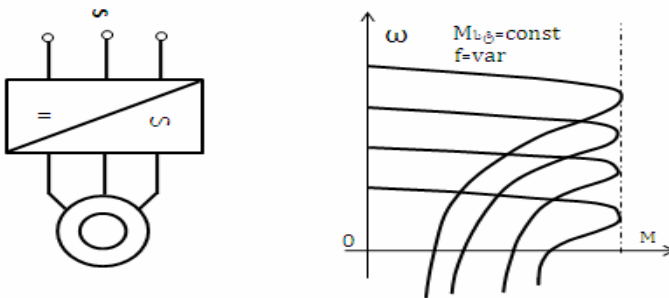
მაგრამ  $f$  სისშირესთან ერთად აუცილებელია ძაბვის ცვლილებაც ( $U/f = const$ ), რათა უზრუნველყოფილ იქნას ძრავას მაგნიტური ნაკადის მუდმივად შენარჩუნება. ძრავას სტატორის ემ ძალა  $E_1 = c_\Phi \Phi f$ ,  $U \approx E_1$ , ამიტომ  $U = c_\Phi \Phi f$ .

ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ: მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ მუდმივი სტატიკური მომენტით

( $M_{\text{სტ}} = \text{const}$ ), რეკომენდებულია ასინქრონული ელექტროამძრავის მართვა შემდეგი კანონით

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

(3.14)-ის შესაბამისი მახასიათებლები მოცემულია 33-ე სურათზე.

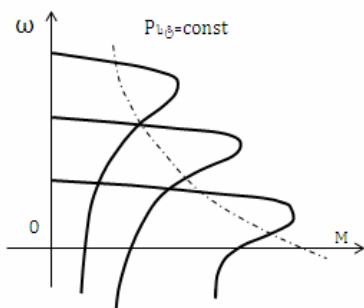


სურ.33

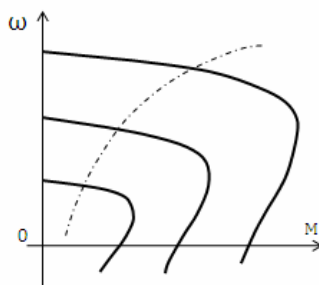
მექანიზმებისათვის, რომლებიც მუშაობენ მუდმივი სტატიკური სიმძლავრით ( $P_{\text{სტ}} = \text{const}$ ), რეკომენდებულია ასინქრონული ელექტროამძრავის მართვა შემდეგი კანონით

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

(3.15)-ის შესაბამისი მახასიათებლები მოცემულია 34-ე სურათზე.



სურ.34



სურ.35

ცნობილია, რომ ვენტლატორული მექანიზმებისათვის  $M_{\text{სტ}} \equiv f^2$ , რის გამოც რეკომენდებულია ასინქრონული ელექტროამპრაჟის მართვა

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

კანონით. შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლები მოცემულია 35-ე სურათზე.

## IV თავი. ბარდამავალი 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 გრაგნილების 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 დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას  
ამუშავების გარდამავალი პროცესი

მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას გარდამავალი რეჟიმების სავსის განტოლებებად ითვლება ამძრავის მოძრაობის ძირითადი განტოლება

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

და ძაბვების წონასწორობის განტოლება ღუზის წრედისათვის

$$U = E + IR_{ღ.წ.} \quad (4.2)$$

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

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

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

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

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

გაყვით (4.4)-ე განტოლება  $C_d$ -ზე და შემოვიტანოთ აღნი-

შენები:  $T_{გ} = \frac{JR_{ღ.წ.}}{c_d^2}$  - ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის

მუდმივა;  $\Delta\omega_{\text{სტ}} = \frac{I_{\text{სტ}} R_{\text{ლწ.}}}{c_d}$  – ძრავას სინქარის სტატიკური

ვარდნა. ამრიგად (4.4)-დან გვექნება:

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

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

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

საიდანაც გამარტივებით გვექნება

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

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

$$T_{\text{გ}} P + 1 = 0, \quad (4.8)$$

რომლის ფესვია

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

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

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

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



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

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

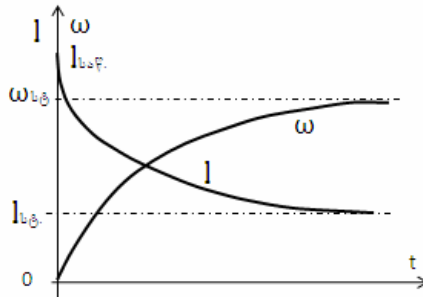
$$B = I_{საწყ} - I_{სტ}. \quad (4.13)$$

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

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

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

(4.14)-ითა და (4.15)-ით აიგება ძრავას გარდამავალი რეჟიმის სინქარის და დენის მრუდები ამძრავის გაქანებისას (სურ.36), როცა  $\omega_{საწყ}=0$  და  $I_{საწყ}=0$ .

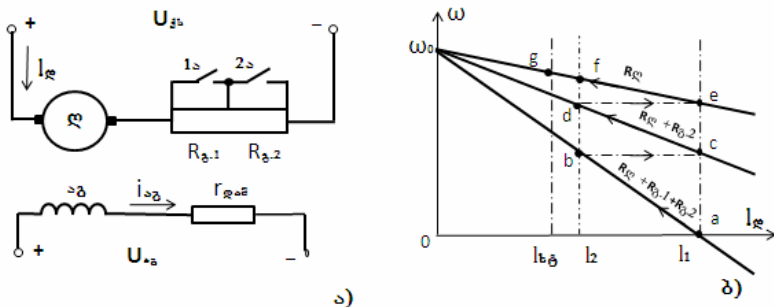


სურ.36

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

### §4.3. მუდმივი დენის ძრავას საფეხურებრივი ამუშავების გარდამავალი პროცესები

განვიხილოთ მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას მექანიკური გარდამავალი პროცესი ორსაფეხურიანი ამუშავების შესაბამისი მახასიათებლების მიხედვით (სურ. 37).



სურ.37

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

$$\omega_i = \omega_{\text{დამყი}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გმი}}}\right) + \omega_{\text{საწყი}} e^{-t/T_{\text{გმი}}}; \quad (4.16)$$

$$I_i = I_{\text{სჭ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გმი}}}\right) + I_1 e^{-t/T_{\text{გმი}}}, \quad (4.17)$$

სადაც  $T_{\text{გმი}} = \frac{JR_{\text{დწი}}}{C_d^2}$  არის ამძრავის ელექტრომექანიკური

დროის მუდმივა მისი მუშაობისას მექანიკური მახასიათებლის  $i$ -ური საფეხურის შესაბამისად;  $I_1$  -ძრავას მაქსიმალური დენი ამუშავებისას;  $R_{\text{დწი}}$  - ღუზის წრედის წინაღობა  $i$ -ური მექანიკური მახასიათებლის შესაბამისი. იმისათვის რომ ვიპოვოთ ძრავას რეოსტატული ამუშავებისას ცალკეულ საფეხურებზე

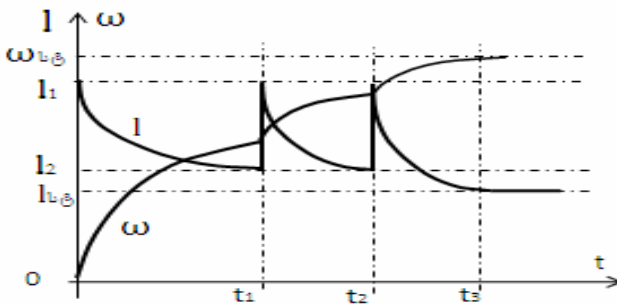
გაქანების პროცესის ხანგრძლივობა დენის ცვლილებისას  $I_1$  დან  $I_2$ -მდე უნდა ამოვსხნათ (4.16)-ე განტოლება, საიდანაც გვექნება:

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

აქედან

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

(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.38).



სურ.38

(4.15) და (4.16)-ის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამუშავების პირველი საფეხურის ხანგრძლივობა მეტია მეორე საფეხური-საზე და ა.შ., ე.ი.  $t_1 > t_2 > t_3$ , რაც აიხსნება ელექტრომექა-

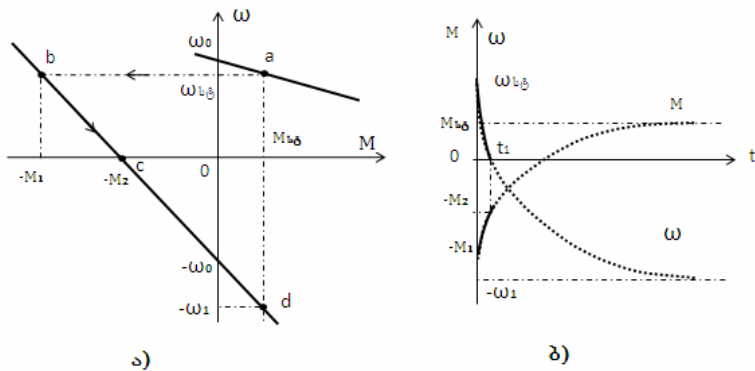
ნიკური დროის მუდმივების შემდეგი თანაფარდობით:

$$T_{\text{გმ1}} > T_{\text{გმ2}} > T_{\text{გმბუნ.}} \quad (4.18)$$

სადაც  $T_{\text{გმბუნ.}}$  არის ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივა ბუნებრივ მახასიათებელზე მუშაობისას.

#### §4.4. მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების 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.39,ა.



სურ.39

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

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

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

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

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

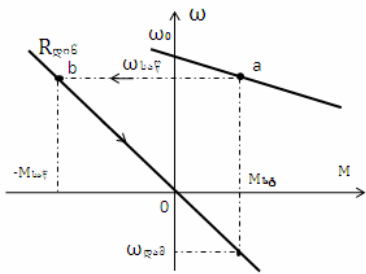
სადაც  $\omega_{დაბყ}$  არის ძრავას სინქარე, რომელიც მას აქვს უკუჩართვის რეჟიმის მექანიკური მახასიათებლის დატვირთვის მომენტთან ( $M_{სტ}$ -თან) გადაკვეთის წერტილში.

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

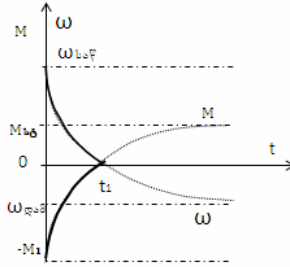
$$t_{მუხგ.} = T_{გა} \ln \frac{M_1 + M_{სტ}}{M_2 + M_{სტ}}, \quad (4.22)$$

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

ახლა განვიხილოთ **დინამიკური დამუხრუჭების** გარდამავალი პროცესი. შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლები მოყვანილია 40,ა სურათზე.



ა)



ბ)

სურ.40

ამ შემთხვევაში გარდამავალი პროცესის საანგარიშო ფორმულებია:

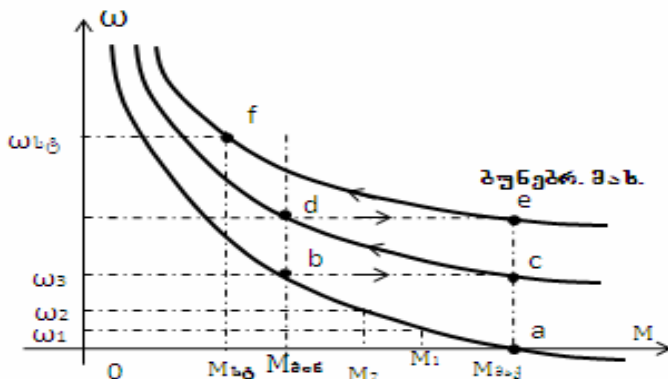
$$\omega = -\omega_{\text{ლაბყ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{პ}}}\right) + \omega_{\text{საწყ}} e^{-t/T_{\text{პ}}}; \quad (4.22)$$

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

სადაც  $\omega_{\text{ლაბყ}}$  არის ძრავას სიჩქარე მექანიკური მახასიათებლის იმ წერტილში, სადაც ადგილი აქვს დატვირთვის მომენტის  $M_{\text{სტ}}$ -ის გადაკვეთას დინამიკურ სამუხრუჭო მახასიათებელთან (იხ. სურ.40,ბ –ზე IV კვადრატში).

#### §4.5. მუდმივი დენის მიმდევრობითი აგზნების ძრავას გარდამავალი პროცესები საფეხურებრივი ამუშავებისას

ვინაიდან განსახილველი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები არაწრფივია (სურ.41) გარდამავალი პროცესის საანგარიშოდ იყენებენ გრაფონანალიზურ მეთოდს.



სურ.41

ამძრავის მოძრაობის განტოლებას წარმოადგენენ სასრული ნაზრდებით, საიდანაც ვიპოვით ხანგრძლივობას

$$\Delta t = \frac{J}{M_{\text{ღიბ}}} \cdot \Delta \omega \quad (4.24)$$

თუ, ამ ფორმულაში თანმიმდევრობით შევიტანთ  $\Delta \omega$ -სა და  $M_{\text{ღიბ}} = (M_d - M_{\text{სტ}})$ -ს მნიშვნელობებს ადვილად ვიპოვით სიჩქარეთა ნაზრდების შესაბამის დროის შუალედებს და ბოლოს, სრული გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობას.

გამოვიანგარიშოთ პირველი სიჩქარის ნაზრდი

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

დრო, რომელიც საჭიროა ძრავას გასაქანებლად  $\omega_1$  სიჩქარემდე

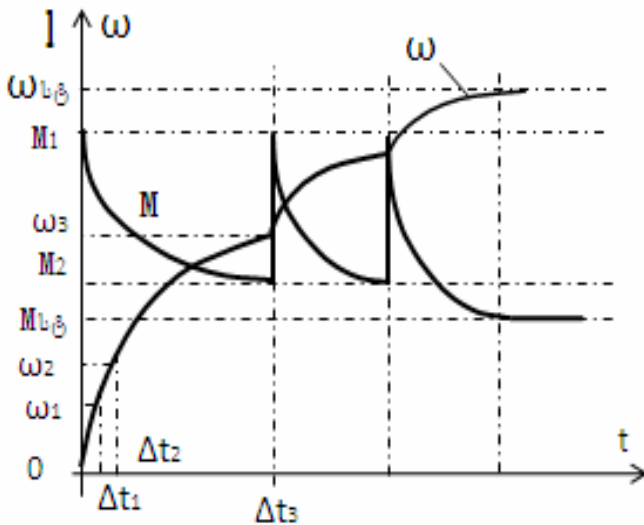
$$\Delta t_1 = \frac{J}{M_{\text{დაჲ1}} - M_{\text{სტ}}} \cdot \Delta \omega_1, \quad \text{სადაც } M_{\text{დაჲ1}} = \frac{M_{\text{აჲჲ}} + M_{\text{ძ1}}}{2}.$$

შემდეგ გადავდივართ მეორე უბანზე, სადაც სიჩქარის ნაზ-  
რდი  $\Delta\omega_2 = \omega_2 - \omega_1$ .

დრო, რომელიც საჭიროა ძრავას გასაქანებლად  $\omega_1$  სიჩქა-  
რიდან  $\omega_2$  სიჩქარემდე

$$\Delta t_2 = \frac{I}{M_{\text{ძსაშ2}} - M_{\text{სტ}}} \cdot \Delta\omega_2, \text{ სადაც } M_{\text{ძსაშ2}} = \frac{M_{\text{ძ1}} + M_{\text{ძ2}}}{2}.$$

ანალოგიური გამოანგარიშება უნდა ჩატარდეს ყველა და-  
ნარჩენ უბანზე და საბოლოოდ ავაგებთ გარდამავალი პროცესის  
მრუდებს ძრავას სიჩქარისა და ბრუნვის მომენტისათვის  
(სურ.42).

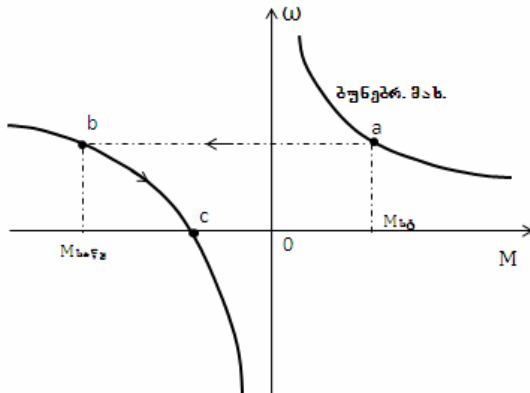


სურ.42



**§4.6. მიმღევრობითი აგზნების ძრავას გარდამავალი პროცესები უკუნართვით დამუხრუჭების რეჟიმში**

მიმღევრობითი აგზნების ძრავას გარდამავალი რეჟიმის მრუდებს ვიანგარიშებთ უკუნართვის შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლის  $a$  და  $b$  წერტილების (სურ.43) მიხედვით,



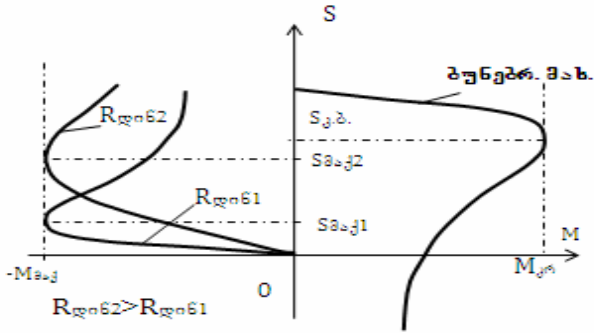
სურ. 43

მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას უკუნართვის გარდამავალი რეჟიმის ანალოგიურად.

**§4.7. სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას გარდამავალი რეჟიმები**

ასინქრონული ძრავას ამუშავების და უკუნართვის დამუხრუჭების რეჟიმების მექანიკური გარდამავალი პროცესების მრუდები იანგარიშება მუდმივი დენის დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას ანალოგიურად.

რაც შეეხება ასინქრონული ძრავას დინამიკური დამუხრუჭების გარდამავალი რეჟიმის შესაბამის მრუდებს ისინი იანგარიშება შემდეგნაირად:



სურ.44

მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით სამუხრუჭო რეჟიმში (სურ.44) მაქსიმალური მომენტი შეირჩევა პირობით

$$M_{\text{მაქს}} < M_K, \quad (4.25)$$

ხოლო მაქსიმალური სრიალი

$$S_{\text{მაქს}} \ll S_K. \quad (4.26)$$

მაქსიმალურ სრიალს განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$S_{\text{მაქს}} = \frac{R'_2}{X'_\mu + X'_2}, \quad (4.27)$$

სადაც  $X'_\mu = E'_{20}/I_\mu$ ;  $E'_{20} = 0,95U_{\text{ფნომ}}$ .

მაქსიმალურ მომენტს განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$M_{\text{მაქს}} = \frac{3I_{\text{მძ}}^2 X_\mu^2}{2\omega_0 (X'_\mu + X'_2)}, \quad (4.28)$$

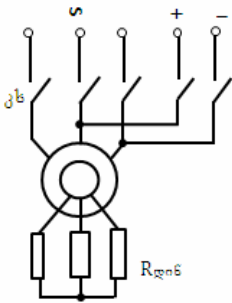
სადაც  $I_{\text{მძ}} = (2 \div 4)I_{\mu}$ . დინამიკური დამუხრუჭებისას მუდმივი დენის საანგარიშო სიდიდე ტოლია

$$I_{\text{მუღმ}} = \sqrt{\frac{3}{2}} I_{\text{მძ}} \quad (4.29)$$

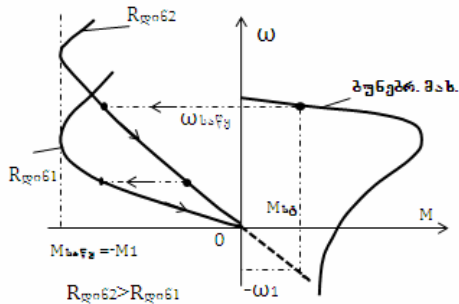
დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლის საანგარიშო ფორმულა შემდეგნაირად გამოისახება:

$$M = \frac{2M_{\text{მაქს}}}{\frac{S}{S_{\text{მაქს}}} + \frac{S_{\text{მაქს}}}{S}} \quad (4.30)$$

ასინქრონული ძრავას დინამიკური დამუხრუჭების გარდამავალი პროცესის მრუდების (სიჩქარისა და ბრუნვის მომენტის) ასაგებად უნდა გამოვიყენოთ შესაბამისი მექანიკური მახასიათებლების მონაცემები (სურ.45).



ა)



ბ)

ნახ.45

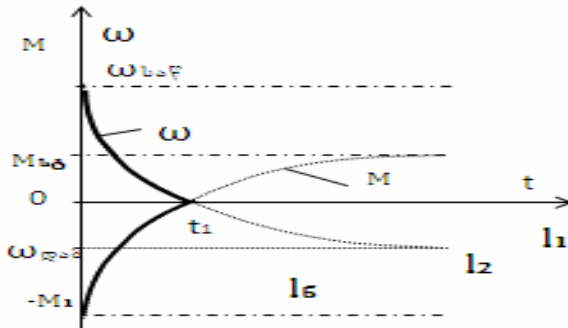
საკუთრივ გარდამავალი პროცესის მრუდების გასაანგარიშებლად უნდა გამოვიყენოთ შემდეგი ფორმულები:

$$\omega = -\omega_{\text{ლაშვ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გ}}}\right) + \omega_{\text{საწვ}} e^{-t/T_{\text{გ}}} ; \quad (4.31)$$

$$M = M_{\text{სტ}} \left(1 - e^{-t/T_{\text{გ}}}\right) - M_{\text{საწვ}} e^{-t/T_{\text{გ}}} , \quad (4.32)$$

სადაც 
$$T_{\text{გ}} = J \frac{\omega_{\text{საწვ}}}{M_{\text{საწვ}}} .$$

ასინქრონული ძრავას სინქარისა და დენის გარდამავალი პროცესის მრუდები დინამიკური დამუხრუჭებისას წარმოდგენილია 46-ე სურათზე.



სურ.46

ამ რეჟიმისათვის როტორის ფაზებში დამატებითი აქტიური წინაღობის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$R_{\text{დინ}} = \left( \frac{S_{\text{საწვ}}}{S_{\text{დ1}}} - 1 \right) R_2 . \quad (4.33)$$

- [1] **Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г.** –Автоматизированный электропривод с упругими связями // С-Пб, Энергоатомиздат, 1992.
- [2] **Leonhard W.** -Control of electric drive // Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- [3] **Дочвири Дж. Н.** -Динамика упругого электромеханического привода с фильтром Калмана-Бьюси // СП-Б, ж., „Изв. ЛЭТИ”, 2001, №1, с.с33-40
- [4] **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
- [5] **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
- [6] **Дочвири Дж. Н.** -Оптимизация динамики тиристорного электропривода с упругим звеном по критериям Калмана-Фробениуса // ж. „Электричество” РАН, М., 2005, №1, с. 26-31
- [7] **Дочвири Дж. Н. и др.** -Динамика системы управления тиристорного электропривода с регулированием возбуждения электродвигателя // ж. «Технічна Електродинаміка» Нац. АНУ, Киев 2005, №6, с.30-35
- [8] **Дочвири Дж. Н.** -Оптимизация переходных процессов многодвигательных тиристорных электроприводов с упругими связями прессовых механизмов непрерывных технологических машин //ж. „Электричество” РАН, М., 2006, №2, с. 34-42

- [9] **Дочвири Дж. Н. и др.** -Динамика частотно-регулируемого асинхронного электропривода при дискретном управлении //ж. „Технічна Електродинаміка”, Нац. АНУ, Киев, 2007, №1, с. 40-47
- [10] **ჯ. დოჭვირი**-ელექტროამბრავების ანალოგური და ციფრული მართვა // თბ., „ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2007
- [11] J. Dochviri - Optimization of Control Processes of Digital Electrical Drive Systems // „Latvian Journal Physics and Technical Sciences” , 2010, N2, pp. 16-25
- [12] **Чиликин М. Г.** – Общий курс электропривода // Москва, „Энергия”, 1971
- [13] **Чиликин М. Г. и др.** - Основы автоматизированного электропривода // Москва, „Энергия”, 1974
- [14] **Дочвири Дж. Н., Бжанишвили Дж. Г., Хачапуридзе О.С.** -Динамика двухдвигательных тиристорных электроприводов прессов бумагоделательных машин // Труды III межд. конф. по „Автоматизированному Электроприводу”, Нижний-Новгород (Россия), 2001, 194 с.
- [15] **ჯ. დოჭვირი, ჯ. ბეჟანიშვილი, ო. ხაჭაპურიძე** -ქალაქის დამამზადებელი მანქანების მართვა // თბილისი, გამომც. „ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2010, 80 გვ.

**Jumber Dochviri, Oleg Khachapuridze**

**Fundamentals of Automatized Electrical Drives,**

**volume I,**

**Lecture Notes**

