

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. წერეთელი

სამთო მანქანების ელექტრული
ამძრავი

დამზმარე სახელმძღვანელო

თბილისი — 2006

ნაშრომში განხილულია ელექტროამძრავის მექანიკის საფუძვლები, მოყვანილია მოძრაობის ძირითადი განტოლება როგორც ბრუნვითი, ისე სწორხაზოვანი მოძრაობისათვის. განხილულია კონკრეტული მაგალითები სტატიკური დატვირთვის სხვადასხვა სახეებისათვის სამთო მანქანებისა და მექანიზმებისათვის. წარმოდგენილია მექანიზმების სტატიკური ძალების, მომენტებისა და მასების დაყვანა ამძრავი ძრავას ლილვზე. მოყვანილია მოძრაობის ძირითადი განტოლების შედგენის მეთოდიკა შემთხვევისათვის, როცა გასათვალისწინებელია ამწევი ბაგირის დრეკადობა და მისი სიხისტის კოეფიციენტი.

დაწვრილებითაა განხილული როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის ძრავების ელექტრომექანიკური თვისებები. მოყვანილია მექანიკური მახასიათებლების ასაგები ფორმულები, როგორც ძრავულ, ისე საშუხრუჭე რეჟიმებში. განხილულია მექანიკური, თბური და ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები. მოყვანილია ძრავას სიმძლავრის ანგარიშის მეთოდიკა სამთო მანქანების მუშაობის თავისებურებების გათვალისწინებით.

ნაშრომი განკუთვნილია სამთო ელექტრომექანიკის სპეციალობის სტუდენტებისათვის და აგრეთვე სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სხვა სპეციალობებისათვის.

რეცენზენტები: პროფ. ბ. მაჩაბელი,

პროფ. რ. ენაბელი

პროფ. ბ. ბელიშვილის რედაქციით

გამომცემლობა " ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2006

ISBN 99940-56-99-9

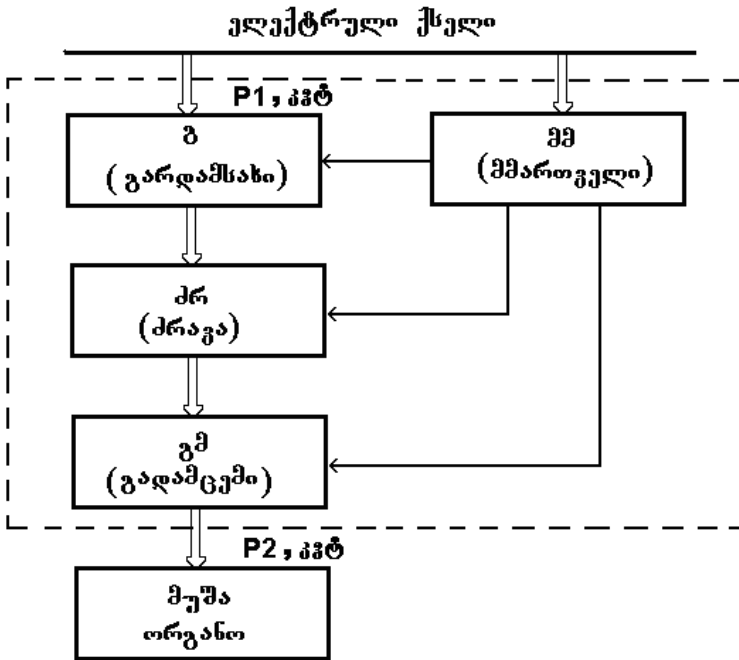
შესავალი

განმარტება ცნებისა –“ ელექტროამბრავი”

დღესდღეობით, მრეწველობის ყველა დარგში, ამბრავის ძირითად სახეს ელექტრული ამბრავი წარმოადგენს. მან ასევე, ფართო გავრცელება ჰპოვა სამთო მრეწველობაში. ელექტროამბრავად იწოდება ელექტრომექანიკური სისტემა, რომელიც შედგება ელექტრული ძრავას, გარდამქმნილი, გადამცემი და მმართველი მოწყობილობებისაგან და რომლის დანიშნულებაც მოძრაობაში მოიყვანოს სამრეწველო მანქანის მუშა ორგანოები და მართოს ეს მოძრაობა. შესაძლებელია, რომ სისტემაში გარდამქმნილი და გადამცემი მოწყობილობები არ არსებობდეს. ელექტრული ძრავა გარდამქმნის ელექტრულ ენერგიას მექანიკურად და სამუხრუჭე (გენერატორულ) რეჟიმში პირიქით, მექანიკურს - ელექტრულად.

ელექტრული ამბრავი (ნახ. შ.1) წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ მოწყობილობას, რომელიც შედგება გარდამსახის, ელექტრული ძრავას, გადამცემი და მმართველი მოწყობილობებისაგან.

ელექტროქსელიდან მუშა ორგანოებამდე, ენერგიის მიწოდების სტრუქტურული სქემების თვალსაზრისით, ელექტრული ამბრავი იყოფა სამ ტიპად: ჯგუფური, ინდივიდუალური და ურთიერთდაკავშირებული.



ნახ. №1

ჯ გ უ ფ უ რ ი ეწოდება ისეთ ელექტრულ ამძრავს, რომელიც უზრუნველყოფს რამოდენიმე მომუშავე მანქანის ან ერთი და იმავე მანქანის რამოდენიმე მუშა ორგანოს მოძრაობას. ამძრავის ეს ტიპი არ წარმოადგენს სრულყოფილ სახეობას, რადგანაც შეუძლებელია მუშა მანქანათა ცალცალკე მართვა. სამთო მრეწველობაში ჯგუფური ამძრავის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ნახშირის კომბაინი, სადაც ერთი ძრავას საშუალებით მოდის მოძრაობაში მუშა ორგანოსა და მიწოდების მექანიზმები.

ი ნ დ ი ვ ი დ უ ა ლ უ რ ი ამძრავი წარმოადგენს ისეთ სისტემას, რომლის დროსაც თითოეული საწარმოო მანქანა მოძრა-

ობაში მოდის მასთან დაკავშირებული ელექტრული ძრავათი. ელექტრული ამძრავის ამ სახეს არ გააჩნია ის უარყოფითი მხარე, რაც აღნიშნული იყო ჯგუფური ტიპის ამძრავში. ინდივიდუალური ამძრავი უზრუნველყოფს მანქანის მუშაობის ოპტიმალურ რეჟიმებს, რომელთა დროსაც მიიღწევა მაქსიმალური მწარმოებლობა. ასეთი ამძრავები გააჩნიათ სამაზხო ამწეებს, საბურღ დანადგარებს, ვენტილატორებს, წყალამოსადგრელ და კონვეიერულ დანადგარებს, მეტალმჭრელ ჩარხებს და სხვ.

უ რ თ ი ე რ თ დ ა კ ა ვ შ ი რ ე ბ უ ლ ი ეწოდება ისეთ ელექტრულ ამძრავს, რომელიც შედგება ორი ან რამდენიმე ელექტრულად ან მექანიკურად ურთიერთდაკავშირებული ელექტროძრავასაგან და რომელთა მუშაობის დროსაც შეთანხმებული უნდა იყოს მათი სიჩქარეებისა და დატვირთვების, აგრეთვე მანქანების მუშა ორგანოების გადაადგილება სივრცეში. ურთიერთდაკავშირებული ამძრავების მაგალითებად სამთო მრეწველობაში გვევლინება ჯაჭვური და ლენტური საკონვეიერო ხაზები, სარანდავი დანადგარები, მაკობირებელი მეტალმჭრელი ჩარხები და სხვა მანქანები.

მოძრაობის მიხედვით ელექტროამძრავები შეიძლება იყოს მბრუნავი ან ხაზური, ხოლო გადამცემი მოწყობილობის მიხედვით – რედუქტორიანი ან ურედუქტორო.

დენის მიხედვით ელამძრავები ორი სახისაა: მუდმივი დენის, რომელშიც მუშა ძრავა მუდმივი დენისაა და ცვლადი დენის, რომელშიც მუშა ძრავა ცვლადი დენისაა.

თავი I

ელექტროამპრავის მექანიკის საფუძვლები

1.1 ელექტროამპრავის მოძრაობის ძირითადი განტოლება ელექტროამპრავის ძირითადი დანიშნულებაა გარდაქმნას ელექტრული ენერგია მექანიკურად, მოიყვანოს მოძრაობაში საწარმოო (მუშა) მანქანა სასარგებლო საბუშარის შესასრულებლად და განახორციელოს ამ სისტემის, ძრავა-მექანიზმის, ელექტრული მართვა. ამასთან, ძრავას ლილვიდან მუშა მანქანისათვის გადაცემული მთელი W ენერგიიდან ნაწილი $W_{სტ}$ - სტატიკური ენერგია იხარჯება წინააღმდეგობის დაძლევაზე, ხოლო $W_{დ}$ - დინამიკური ენერგია, სისტემის მბრუნავი ნაწილების კინეტიკური ენერგიის შეცვლაზე, ანუ

$$W = W_{სტ} + W_{დ}, \quad \text{ჟ} \quad 1.1$$

ყველაზე მარტივი შემთხვევისათვის, როცა მუშა მანქანა უშუალოდ, ხისტადაა დაკავშირებული ძრავას ლილვთან და იგივე ω (რად/წმ) კუთხური სიჩქარით ბრუნავს როგორც ძრავა, სრული კინეტიკური ენერგიის მარაგი იქნება

$$W_{დ} = J \frac{\omega^2}{2}, \quad 1.2$$

სადაც $J = J_1 + J_2$ -სისტემის მბრუნავი ნაწილების ჯამური ინერციის მომენტი (J_1 ძრავასი და J_2 , მუშა მანქანის), კგმ².

გავიხსენოთ, რომ ინერციის მომენტის მნიშვნელობა შესაძ-

ლებელია გამოითვალოს ფორმულით

$$J = m\rho^2, \text{ კგ.მ}^2 \quad 1.3$$

სადაც m - მბრუნავი ნაწილების მასაა, კგ;

ρ - ინერციის რადიუსი, მ.

თუ გავაწარმოებთ 1.1 -ს დროის მიხედვით, მივიღებთ

$$P = P_{სტ} + P_{ღ}, \text{ ვტ} \quad 1.4$$

სადაც P , $P_{სტ}$ და $P_{ღ}$ ენერგიების შესაბამისი სიმძლავრეებია.

თუკი ინერციის მომენტი ცვლადი სიდიდეა, 1.2 გამოსახულების გათვალისწინებით შესაძლოა დაიწეროს

$$P_{ღ} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt}; \text{ ვტ} \quad 1.5$$

ანალოგიურად, რადგანაც ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი და სიმძლავრე დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან მუდმივი სიდიდით, ω -თი, იქნება ($P=M\omega$)

$$M = M_{სტ} + M_{ღ} = M_{სტ} + J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt} \quad 5.8 \quad 1.6$$

მიღებულ გამოსახულებას უწოდებენ მოძრაობის ძირითად განტოლებას.

სამთო მანქანების უმეტესობის ინერციის მომენტი მუდმივი სიდიდეა ($J=const$) და 1.6 გამოსახულება შესაძლოა გამარტივდეს

$$\boxed{M = M_{სტ} + M_{ღ} = M_{სტ} + J \frac{d\omega}{dt}} \quad 1.7$$

ამ გამოსახულებებიდან ნათლად ჩანს, რომ დინამიკური მომენტის დაძლევა ძრავას უხდება მხოლოდ აჩქარების (შენელების) პროცესში, ხოლო თანაბარი მოძრაობის რეჟიმში ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი მთლიანად ხმარდება მხოლოდ სტატიკური $M_{სტ}$ წინააღმდეგობის დაძლევას.

1.7 გამოსახულებიდან შესაძლებელია განისაზღვროს ამძრავის აჩქარების სიდიდე

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_{სტ}}{J}, \text{ რად/წმ}^2 \quad 1.8$$

აშკარაა, რომ თუ $\varepsilon > 0$, ($M > M_{სტ}$), ამძრავის სიჩქარე გაიზრდება, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი - შემცირდება.

წრფივად მოძრავი მექანიზმებისათვის, მოძრაობის ძირითადი განტოლება, შემდეგნაირად გამოისახება (აქაც მიღებულია, რომ მოძრავი ელემენტების მასა $m = \text{const}$)

$$\boxed{F = F_{სტ} + F_{ღ} = F_{სტ} + m \frac{dV}{dt}}, \text{ ნ} \quad 1.9$$

სადაც F - მამოძრავებელი ძალაა, ნ;

$F_{სტ}$ - სტატიკური წინააღმდეგობის ძალა, ნ;

m - წრფივად მოძრავი ელემენტების მასა, კგ;

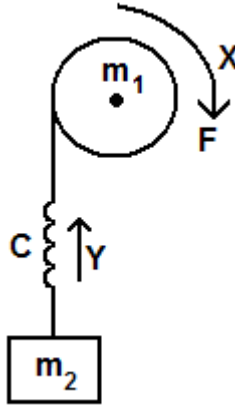
V - სისტემის წრფივი სიჩქარე, მ/წმ .

ზემოთ მიღებული მოძრაობის ძირითდი განტოლებები მიღებულია იმ დაშვებით, რომ ძრავასა და მექანიზმის შემაერთებული გადაცემა იყო აბსოლუტურად ხისტი. სინამდვილეში, ყველა მექანიკურ ელემენტს გააჩნია დრეკადი თვისებები. დიდი სიღრმეებიდან საშახტო ამწევებით ტვირთის ამოტანის დროს ამწევი ბაგირის სიხისტის გაუთვალისწინებლობა, დინამიკური პროცესების ანალიზისას, დიდ შეცდომაზე მიგვიყვანდა. ასევე, გრძელი ლენტური კონვეიერის გაანგარიშებისას, აუცილებელია ლენტის სიხისტის კოეფიციენტის გათვალისწინება, რადგანაც, ზოგიერთ შემთხვევაში, კონვეიერის ამუშავებისას ამძრავი ძრავა ანვითარებს ნომინალურ ბრუნვათა რიცხვს, ხოლო დაბჭიმავე ბორბალს, ლენტის დრეკადობის გამო, ჯერ ბრუნვა არც კი დაუწყია.

განვიხილოთ დრეკადი ელემენტით შეერთებული, ორმასიანი სისტემის მოძრაობის ამსახველი განტოლების შედგენა მარტივი ამწევის მაგალითზე (განტოლების შედგენისას, მათემატიკური გარდაქმნების გამარტივების მიზნით, მხედველობაში არ არის მიღებული ბაგირის მასა. მასის გაუთვალისწინებულობა იმოქმედებს მხოლოდ ამონახსნის რიცხვითი მნიშვნელობის სიზუსტეზე, ამონახსნის ფორმა კი იგივე დარჩება).

ძრავას ჩართვის შემდეგ (ნახ. 1.1), m_1 მასის მქონე ამძრავ ბორბალზე მოედება F ძალა, რომელიც იმოქმედებს C სიხისტის კოეფიციენტის მქონე დრეკად ბაგირზე, ეს უკანასკნელი დაიწყებს დეფორმირებას და წაგრძელებლა $\Delta = X - Y$ სიდიდით, სადაც X -

ამძრავი ბორბლის ზედაპირის ნებისმიერი წერტილის გადაადგილება, ხოლო Y - m_2 მასის მქონე ტვირთისა.



ნახ. 1.1 ორმასიანი დრეკადელემენტანი ამწევი მექანიზმი

ბაგირის წაგრძელების ხარჯზე ამ უკანასკნელში აღიძვრება დრეკადობის ძალა და ჰუკის კანონის თანახმად, იგი ტოლი იქნება $F_{დრ} = C \cdot \Delta = C(X - Y)$. ეს ძალა წინააღმდეგობას უწევს ამძრავი ბორბლის შემობრუნებას და შეიძლება განვიხილოთ როგორც მასზე მოდებული სტატიკური დატვირთვა; მაშინ მოძრაობის განტოლება ამძრავი ბორბლისათვის დაიწერება

$$m_1 \frac{d^2 X}{dt^2} = F - F_{სტ} = F - C(X - Y). \quad 1.10$$

m_2 მასის ტვირთისათვის დრეკადობის $F_{დრ}$ ძალა მამოძრავებელს წარმოადგენს და ანალოგიურად 1.10 - ისა

$$m_2 \frac{d^2 Y}{dt^2} = F_{\text{ღრ}} - F_{\text{სტ}} = C(X - Y) - m_2 g \quad 1.11$$

სადაც g - სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, $მ/წმ^2$.

ამრიგად, შეიძლება დაიწეროს ორმასიანი, დრეკადი ელემენტით შეერთებული სისტემის აღმწერი დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა ზოგადი სახით (ჩვენ შემთხვევაში $m_2 g = F_{\text{st}}$):

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 X}{dt^2} = F - C(X - Y); \\ m_2 \frac{d^2 Y}{dt^2} = C(X - Y) - F_{\text{სტ}}. \end{cases} \quad 1.12$$

გავყოთ სისტემის პირველი განტოლება m_1 -ზე, მეორე m_2 -ზე და ავიღოთ სხვაობა $\Delta = X - Y$, მივიღებთ

$$\frac{d^2 \Delta}{dt^2} + \omega^2 \Delta = \frac{F}{m_1} + \frac{F_{\text{სტ}}}{m_2}, \quad 1.13$$

სადაც $\omega^2 = \frac{C(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}$, $1/წმ^2$ სისტემის რხევის კუთხური

სიხშირეა. 1.13 განტოლებიდან ჩანს, რომ განხილული ელექტრომექანიკური სისტემა კონსერვატიულია, რადგანაც მასზე შემამფოთებელი ძალის ზემოქმედების შემდეგ სისტემაში აღიძვრება ჩაუქრობადი ω კუთხური სიხშირის (ანუ $T = 2\pi/\omega$ პერიოდის) რხევა. ამავე განტოლებიდან ადვილად განისაზღვრება დრეკად ელემენტში აღძრული დეფორმაციის ძალა -

$$F_{\text{ღრ}} = C \cdot \Delta = C(X - Y). \quad 1.14$$

შევეკრიბოთ 1.12 სისტემაში შემავალი განტოლებები და გამოვთვალოთ $\frac{d^2 Y}{dt^2}$. გვექნება

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} = \frac{F - F_{\text{სტ}}}{m_2} - \frac{m_1}{m_2} \frac{d^2 X}{dt^2}. \quad 1.15$$

1.12 სისტემის პირველი განტოლებიდან განვსაზღვროთ Y და ორჯერ გავაწარმოოთ დროით

$$\frac{d^2 Y}{dt^2} = \frac{m_1}{C} \frac{d^4 X}{dt^4} - \frac{1}{C} \frac{d^2 F}{dt^2} + \frac{d^2 X}{dt^2}. \quad 1.16$$

თუ გაუუტოლებთ ერთმანეთს 1.15 და 1.16, გვექნება

$$\frac{m_1 m_2}{C} \frac{d^4 X}{dt^4} + (m_1 + m_2) \frac{d^2 X}{dt^2} = F - F_{\text{st}} + \frac{m_2}{C} \frac{d^2 F}{dt^2} \quad 1.17$$

ან

$$\frac{1}{\omega^2} \frac{d^3 V_x}{dt^3} + \frac{dV_x}{dt} = a_0 + \frac{1}{\omega^2 m_1} \frac{d^2 F}{dt^2}, \quad 1.18$$

ანალოგიურად იქნება m_2 ტვირთვისთვისაც

$$\frac{m_1 m_2}{C} \frac{d^4 Y}{dt^4} + (m_1 + m_2) \frac{d^2 Y}{dt^2} = F - F_{\text{სტ}} - \frac{m_1}{C} \frac{d^2 F_{\text{სტ}}}{dt^2}, \quad 1.19$$

ან

$$\frac{1}{\omega^2} \frac{d^3 V_y}{dt^3} + \frac{dV_y}{dt} = a_0 - \frac{1}{\omega^2 m_2} \frac{d^2 F_{\text{სტ}}}{dt^2} \quad 1.20$$

სადაც,

$$a_0 = \frac{F - F_{სტ}}{m_1 + m_2}, \quad \text{მ/წმ}^2, \quad 1.21$$

სისტემის საშუალო აჩქარების სიდიდეა, ანუ აჩქარების ის სიდიდე, რომელიც სისტემას ექნებოდა, ბაგირის სიხისტე უსასრულობის ტოლი რომ ყოფილიყო.

თუკი ძრავას მიერ განვითარებული (F) ძალა (მომენტი) და ($F_{სტ}$) სტატიკური დატვირთვა მუდმივი სიდიდეებია, მაშინ

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega^2} \frac{d^3 V_x}{dt^3} + \frac{dV_x}{dt} = a_0; \\ \frac{1}{\omega^2} \frac{d^3 V_y}{dt^3} + \frac{dV_y}{dt} = a_0. \end{cases} \quad 1.22$$

1.22 სისტემის წარმოებულები ოპერაციულ ფორმაში იქნება

$$\begin{cases} \bar{\bar{V}}_x = P^3 \bar{V}_x - P^2 \dot{V}_x(0) - P \ddot{V}_x(0) - \ddot{V}_x(0) \\ \bar{\bar{V}}_x = P \bar{V}_x - \dot{V}_x(0) \\ \bar{\bar{V}}_y = P^3 \bar{V}_y - P^2 \dot{V}_y(0) - P \ddot{V}_y(0) - \ddot{V}_y(0) \\ \bar{\bar{V}}_y = P \bar{V}_y - \dot{V}_y(0) \end{cases} \quad 1.23$$

აქ $V_x(0)$, $\dot{V}_x(0)$, და $\ddot{V}_x(0)$ - პირველი მასის საწისი სიჩქარე, აჩქარება და ბიძგია (აჩქარების წარმოებულები); ანალოგიურად მეორე მასისათვის -

$V_y(0)$, $\dot{V}_y(0)$, და $\ddot{V}_y(0)$ - მეორე მასის საწისი სიჩქარე, აჩქარება და ბიძგი;

ამუშაების დასაწყისში, სანამ მოძრაობა დაიწყებოდეს, დრეკადობის $F_{დრ} = C(X - Y)$ გაწონასწორებულია $F_{სტ}$ ძალით და ამიტომ 1.12 სისტემის პირველი განტოლებიდან $(m_1 \ddot{X} = F - C(X - Y))$

$$m_1 \cdot \ddot{X}(0) = m_1 \cdot \dot{V}_x(0) = F - C(X - Y) = F - F_{სტ},$$

აქედან

$$\dot{V}_x(0) = \frac{F - F_{სტ}}{m_1},$$

ხოლო საწყისი სიჩქარისა და ბიძგის მნიშვნელობა უნდა მივიღოთ ნულის ტოლად. 1.12 სისტემის მეორე განტოლებიდან კი გამოდის, რომ $(m_2 \ddot{Y} = C(X - Y) - F_{სტ})$

$$m_2 \cdot \ddot{Y}(0) = m_2 \cdot \dot{V}_y(0) = C(X - Y) - F_{სტ} = 0,$$

აქედან -

$$\dot{V}_y(0) = 0.$$

საწყისი პირობების გათვალისწინებით 1.19 სისტემის ამონახსნი ოპერაციულ ფორმაში იქნება

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega^2} P^3 \bar{V}_x - \frac{1}{\omega^2} P \dot{V}_x(0) + P \bar{V}_x = \frac{a_0}{P}; \\ \frac{1}{\omega^2} P^3 \bar{V}_y + P \bar{V}_y = \frac{a_0}{P}. \end{cases} \quad 1.24$$

საიდანაც

$$\begin{cases} \bar{V}_x = \dot{V}_x(0) \frac{P^2 + C/\omega^2}{P^2(P^2 + \omega^2)}; \\ \bar{V}_y = a_0 \cdot \omega^2 \frac{1}{P^2(P^2 + \omega^2)}. \end{cases} \quad 1.25$$

1.25-ის ორიგინალი

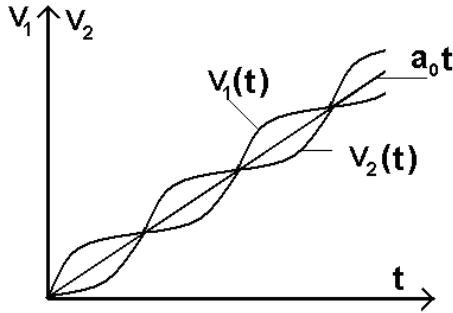
$$\begin{cases} V_x = a_0 \left[t + \frac{1}{\omega} \cdot \frac{m_2}{m_1} \cdot \text{SIN}(\omega \cdot t) \right], \\ V_y = a_0 \left[t - \frac{1}{\omega} \cdot \text{SIN}(\omega \cdot t) \right]. \end{cases} \quad 1.26$$

როგორც 1.26 გამოსახულებებიდან ჩანს, სინქარეები იცვლებიან სწორხაზობრივი კანონით, რომლებზეც სინუსოიდებია დამატებული და პროცესს აქვს ჩაუქრობადი ხასიათი.

რეალურ ელექტრომექანიკური სისტემების დრეკად ელემენტებში (ამ შემთხვევაში ამწვე ბაგირში), უეჭველად არსებობენ დისიპატიური (ენერგიის ფანტვის) ძალები ბლანტი ხახუნის სახით და პროცესს ყოველთვის ქრობადი ხასიათი აქვს. ამიტომაც, 1.12 განტოლებათა სისტემაში, გათვალისწინებული უნდა ყოფილიყო ეს ძალები, მაგრამ სინქარეების რხევის პირველი ამპლიტუდა, რომელიც ყველაზე საინტერესოა სისტემაში მაქსიმალური გადატვირთვის ხარისხის შესაფასებლად, მცირედ განსხვავდება რეალური ელექტრომექანიკური სისტემის აღმწერი განტოლებებით მიღებული სინქარეების რხევის პირველი ამპლიტუდისაგან.

1.26 სისტემის ამონახსნების შესაბამის გრაფიკებს ექნებათ

სახე ($V_x = f(t)$ და $V_y = f(t)$)



ნახ. 1.2 ორმასიანი დრეკადელემენტებიანი სისტემის აბუშავება, როცა $F = \text{const}$

1.12 განტოლებათა სისტემა, როდესაც მოძრაობა ბრუნვითია, დაიწერება

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = M - c(\varphi_1 - \varphi_2); \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 = c(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{სტ}. \end{cases} \quad 1.27$$

სადაც J_1 და J_2 - ორმასიანი სისტემის ინერციის მომენტებია;

φ_1 და φ_2 - შესაბამისად, მობრუნების კუთხეები;

M და $M_{სტ}$ - ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი და

სისტემის სტატიკური მომენტი;

C - დრეკადი შვერთების სიხისტის კოეფიციენტი.

1.2 წინააღმდეგობის მომენტების სახეები

შეთანხმდნენ, რომ მომენტს, რომელსაც ქმნის საწარმოო მექანიზმი ელექტროძრავის ლილვზე, უწოდონ წინააღმდეგობის დაყვანილი სტატიკური მომენტი ($M_{სტ}$). იმისათვის, რომ შესრულდეს მუდმივი სიჩქარით მოძრაობა, საჭიროა ელექტროამძრავმა განავითაროს $M_{სტ}$ -ის ტოლი სიდიდის მომენტი.

წინააღმდეგობის ძალები წარმოიშვებიან სასარგებლო მუშაობის შესრულების დროს და დამოკიდებულნი არიან საწარმოო პროცესსა და მანქანის კონსტრუქციაზე.

ყველა წინააღმდეგობის მომენტს ყოფენ ორ კატეგორიად:

1) რეაქტიულად და 2) აქტიურად ანუ პოტენციალურად.

პირველ კატეგორიას მიეკუთვნებიან ის მომენტები, რომლებიც ხელს უშლიან მოძრაობას ყველა მიმართულებით და იცვლიან ნიშანს მოძრაობის მიმართულების შეცვლისთან ერთად. ასეთი მომენტები იქმნება ხაზუნის და არადრეკადი სხეულების ჭიმვის, კუმშვის და გრეხვის ძალებით. მეორე კატეგორიას მიეკუთვნება მომენტები, რომლებიც წარმოიშვებიან სხეულის წონით ან მისი მდგენელით და დრეკადი სხეულების ჭიმვის, კუმშვის და გრეხვის ძალებით. რეაქტიული ძალების საპირისპიროდ, აქტიური ძალები ინარჩუნებენ თავიანთი მოქმედების მიმართულებას მოძრაობის მიმართულების შეცვლის მიუხედავად. ამის გამო, ტვირთის პოტენციალური ენერჯის გაზრდისას (ანუ სხეულის ზემოთ აწევისას), ის-

ინი ხელს უშლიან მოძრაობას (ტვირთების, გალების აწევა) და პირიქით, ეხმარებიან მოძრაობას პოტენციალური ენერჯის შემცირებისას (ტვრთების, გალების ჩაშვება).

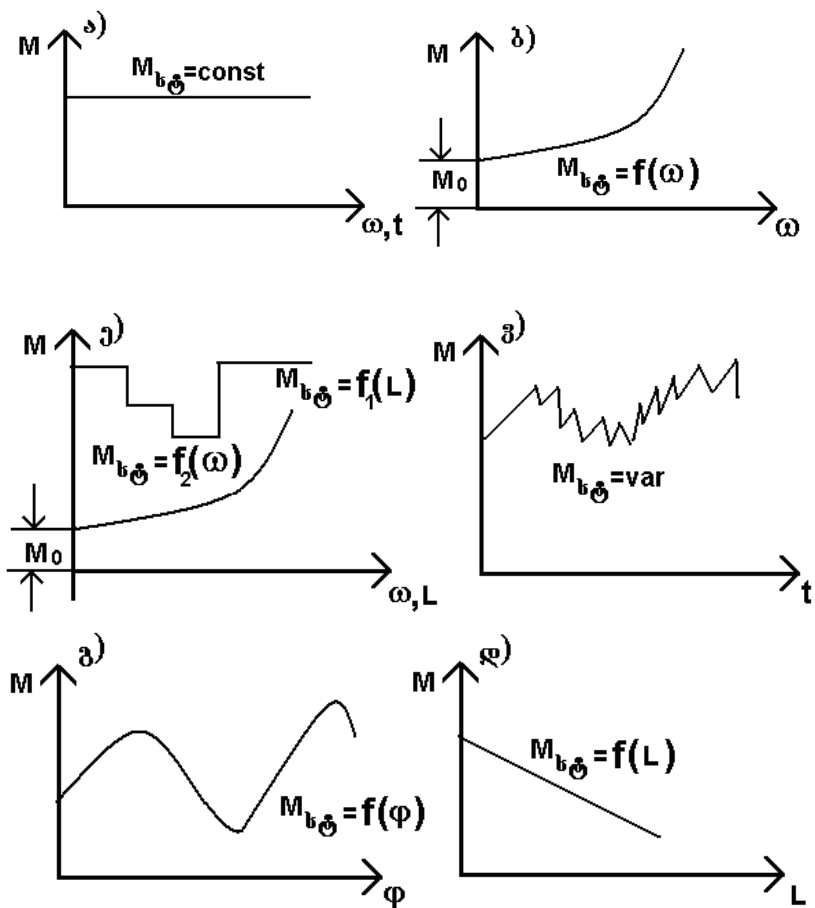
ხახუნზე დანაკარგები შეიძლება მიახლოებით იქნეს გათვალისწინებული მანქანის მ.ქ.კ.-ით. თუკი ცნობილია სასარგებლო მუშაობის შესასრულებლად საჭირო სიმძლავრე $P_{ს.ა.ს.}$, მაშინ ელექტროძრავას სიმძლავრე ხახუნზე დანაკარგების გათვალისწინებით იქნება -

$$P = P_{ს.ა.ს.} / \eta . \quad 1.29$$

საშახტო ამწევ მექანიზმებში, შახტის ჭაურში მოძრავი ჭურჭლის ხახუნზე დანაკარგებს ჰაერსა და მოძრაობის მიმართველებში, ითვალისწინებენ სასარგებლო ტვირთის გაზრდით რაღაც დამატებითი ფიქტიური სიდიდით. სატუმბე დანადგარების გაანგარიშებისას, ზოგიერთ შემთხვევაში, სითხის წინააღმდეგობის ძალებს მილსადენებსა და ხრახნსაცობებში (ვენტილებში), ითვალისწინებენ ასაწევი სითხის სიმაღლის გარკვეული სიდიდით გაზრდით.

სამთო მრეწველობაში გამოყენებული ყველა მანქანა, წინააღმდეგობის მომენტის შეცვლის ხასიათის მიხედვით, შეიძლება დაიყოს ხუთ ჯგუფად.

პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება მანქანები, რომელთა წინააღმდეგობის მომენტი მუდმივი სიდიდეა ან იცვლება უმნიშვნელოდ. ასეთებია კულის ბაგირით გაწონასწორებული საშახტო მანქანები, ამწეები, თანაბრად დატვირთული კონვეიერები და სხვ.(ნახ. 1.3 ა)



ნახ. 1.3 დატვირთვის მომენტების ცვლილების გრაფიკები

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება მანქანები, რომელთა წინააღმდეგობის მომენტი კუთხური სიჩქარის პროპორციულია, ე.ი. $M_{სტ} = f(\omega)$. ეს დამოკიდებულება ზოგადი სახით შეიძლება ამგვარად ჩაიწეროს

$$M_{სტ} = M_0 + (M_{ნომ} - M_{სტ}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ნომ}} \right)^a \quad 130$$

სადაც M_0 - მოძრაობის წინააღმდეგობის მომენტია ნულოვანი სიჩქარის დროს; ხოლო $M_{ნომ}$ - წინააღმდეგობის მომენტი ნომინალური $\omega_{ნომ}$ სიჩქარის დროს; a - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს $M_{სტ}$ მომენტის ცვლილების ხასიათს სიჩქარის გაზრდის დროს. მისი მნიშვნელობა სხვდასხვა მანქანებისათვის იცვლება $0 \leq a \leq 2$. ამ ჯგუფის მანქანებს ძირითადად მიეკუთვნება ცენტრიდანული მოქმედების მექანიზმები, როგორებიცაა: ცენტრიდანული ვენტილატორები და ტუმბოები, კომპრესორები, ცენტროფუგები და სხვა მექანიზმები, რომელთა დატვირთვის მომენტი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია (ნახ. 1.3 ბ).

მესამე ჯგუფი მოიცავს მანქანებს, რომელთა სტატიკური დატვირთვის მომენტი დამოკიდებულია ძრავის ლილვის მობრუნების კუთხეზე, ე.ი. $M_{სტ} = f(\varphi)$. მათ მიეკუთვნება ყველა სახის მრუდხარაბარბაცა და ექსცენტრული მოქმედების მექანიზმები - დგუშისანი ტუმბოები და კომპრესორები, მერხევი კონვეიერები, კულის ბაგირით გაუწონასწორებული და ცვლადრადიუსიანი საშახტო ამწევი მანქანები, გადამყირავებლები და სხვ. ყველა ამ მანქანის დატვირთვის მომენტი დამოკიდებულია გავლილ გზაზე, ანუ რაც იგივეა, საბოლოო ჯამში, ელექტროძრავას ლილვის მობრუნების კუთხეზე (ნახ. 1.3 გ და დ).

მელთზე ჯგუფს მიეკუთვნება მუშა მანქანები, რომელთა დატვირთვის მომენტი ერთდროულადაა დამოკიდებული როგორც სიჩქარეზე, ისე განვლილ მანძილზე, ე.ი. $M_{სტ} = f(\omega, L)$. ასეთი მანქანებია საშახტო ელექტრული, რელსური, ტრანსპორტი. მათი წინააღმდეგობის მომენტი ერთი მხრივ პროპორციულია ჰაერის წინააღმდეგობის მომენტისა და მეორე მხრივ, გზის პროფილის აღმართ-
- დაღმართისა და მოსახვევის ხასიათზე (ნახ. 1.3 ე).

მეხუთე ჯგუფს შეადგენენ მანქანები, რომელთა დატვირთვის მომენტი შემთხვევით ხასიათს ატარებს. ასეთ მანქანებს მიეკუთვნება სამთო კომბაინები, ექსკავატორები, საბურღი დანადგარები და სხვ. მათი დატვირთვის მომენტები დამოკიდებულია მემანქანის კვალიფიკაციაზე, მანქანის მჭრელი ორგანოს მუშაობის ხასიათზე, დასამუშავებელი წიაღისეულის თვისებასა და სტრუქტურაზე, რომლებიც ძალზე დიდ ფარგლებში იცვლებიან და სხვ. ასეთი მანქანების დატვირთვის მომენტი განისაზღვრება სტატისტიკური მონაცემების გასაშუალებული მნიშვნელობებით (ნახ. 1.3 ვ).

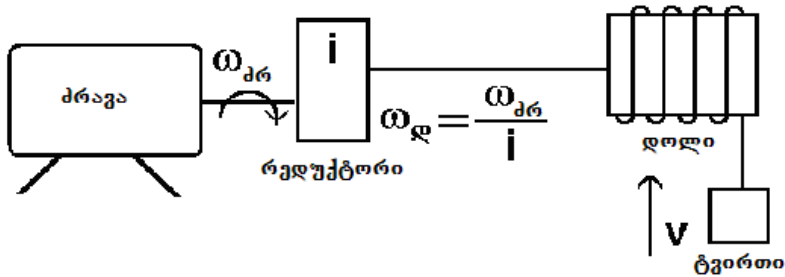
1.3 წინააღმდეგობის მომენტებისა და ძალების, მასებისა და ინერციის მომენტების დაყვანა

მუშა მანქანების უმეტესობა, საჭიროებს საკმაოდ დაბალ ბრუნვათა რიცხვებს - 100-300 ბრ/წთ, იმ დროს, როდესაც ელექტრული ძრავები, ეკონომიკური პირობებიდან გამომდინარე, ძირითადად მზადდება 750 ბრ/წთ-დან 3000 ბრ/წთ-მდე ბრუნვის სიჩქარით. ელექტრული ძრავას ნომინალური ბრუნვის სიჩქარის გაზრდა, მუდმივი სიმძლავრის დროს, ამცირებს ძრავას მასას, გაბარიტულ ზომებსა და ფასს. ამავე დროს სწრაფბრუნიან ძრავებს გააჩნიათ უფრო მაღალი მ.კ.კ. და სიმძლავრის კოეფიციენტი, ვიდრე დაბალბრუნიანს. ყოველივე ამის გამო, დაბალბრუნიანი მუშა მანქანის დაკავშირება ელექტრულ ძრავებთან ხორციელდება საშუალოდ გადაცემის მეშვეობით, რომელიც ხშირ შემთხვევაში, კბილანურ რედუქტორს წარმოადგენს.

ამძრავის მოძრაობის განტოლება სამართლიანია იმ პირობით, როცა ყველა მომენტი მოქმედებს ერთ ლილვზე და სისტემის ყველა მასა მოძრაობს ერთნაირი სიჩქარით. რედუქტორის არსებობისას კი, სისტემის ცალკეულ ელემენტებს სხვადასხვა ბრუნვის სიჩქარე გააჩნიათ. ამ შემთხვევაში, გარდამავალი პროცესის ანგარიშისას, საჭირო გახდებოდა ცალკეული ელემენტებისათვის შეგვედგინა მოძრაობის განტოლება და შემდეგ ამოგვეხსნა ერთად, მთელი სისტემისათვის, რაც თავის მხრივ, დაკავშირებული იქნებოდა რთულ, შრომატევად საშუაოსთან. ანგარიშის გამარტივების მიზნით, წინააღმდეგობის მომენტები და ძალები, ინერციის მომენ-

ტები და მოძრავი მასები, აგრეთვე ცალკეული ელემენტების სისხისტის კოეფიციენტები, დაჰყავთ რომელიმე ელემენტის ბრუნვის ან წრფივ მოძრაობის სიჩქარეზე, უმეტეს შემთხვევაში, ძრავას ბრუნვის სიჩქარეზე.

განვიხილოთ სისტემა, რომელიც შედგება ელექტრული ძრავას, მუშა მექანიზმისა და მათი ურთიერთდამაკავშირებელი ერთსაფეხურიანი კბილანური რედუქტორისაგან (ნახ. 1.4).



ნახ. 1.4 ამწევი დანადგარის კინემატიკური სქემა

ზოგადად, ლილვებზე სიმძლავრეების ტოლობის პირობიდან გამომდინარე, შეიძლება დაიწეროს

$$M_{სტ} \omega_{ძრ} = M_{გ} \omega_{გ} / \eta_r , \tag{1.31}$$

სადაც $M_{სტ}$ - წინააღმდეგობის სტატიკური მომენტი დაყვანილი ძრავას ლილვზე, ნ.მ; ხოლო $M_{გ}$ - წინააღმდეგობის მომენტი მექანიზმის ლილვზე, ნ.მ; $\omega_{ძრ}$ და $\omega_{გ}$ - ძრავასა და მექანიზმის კუთხური სიჩქარეები, რად/წმ; η_r - კბილანური გადაცემის მ.კ.კ.

1.31- დან გვაქვს

$$M_{st} = \frac{M_g}{i \cdot \eta_r} , \quad 1.32$$

სადაც $i = \omega_{კრ} / \omega_g$ - რელუქტორის გადაცემის რიცხვია.

თუ ძრავის ლილვსა და მუშა მექანიზმს შორის რამოდენიმე საშუალო გადაცემაა ($i_1 \cdot i_2 \cdots i_k$), შესაბამისი მ.ქ.კ.-ებით ($\eta_{r1} \cdot \eta_{r2} \cdots \eta_{rk}$), მაშინ შეიძლება დაიწეროს

$$M_{სტ} = \frac{M_g}{i_1 \cdot i_2 \cdots i_k \cdot \eta_{r1} \cdot \eta_{r2} \cdots \eta_{rk}} \quad 1.33$$

1.32 და 1.33 გამოსახულებები სამართლიანია მხოლოდ მაშინ, როცა ამძრავი მუშაობს ძრავულ რეჟიმში და დანაკარგები დაიფარება თვით ძრავას მიერ. სამუხრუჭე რეჟიმში, როცა ენერგია მუშა მექანიზმის ლილვიდან ძრავს გადაეცემა, მ.ქ.კ. სიდიდე ფორმულაში მნიშვნელიდან მრიცხველში გადადის. მაგალითად, 1.32 გამოსახულება ამ შემთხვევაში მიიღებს სახეს

$$M_{სტ} = M_g \eta_r / i_r . \quad 1.34$$

ყველა ტვირთამწე მანქანებს, გარდა მბრუნავი ნაწილებისა (ძრავას ლუზა ან როტორი, რელუქტორის კბილანები, დოლი და სხ.), გააჩნიათ წინსვლით მოძრავი ელემენტები (გალი, სკიპი, ტვირთი და სხვ.). გაანგარიშისას, მათი დაყვანა რომელიმე სახის მოძრაობაზე ხდება. სიმძლავრეთა ტოლობიდან გამომდინარე

$$M_{სტ} \omega_{კრ} = F_{სტ} V_g / \eta_r \quad 1.35$$

აქედან

$$M_{სტ} = \frac{F_{სტ} V_{\theta}}{\omega_{\theta} r} \quad 1.36$$

სადაც V_{θ} -- მექანიზმის სიჩქარეა, მ/წმ.

თუკი ძრავა სამუხრუჭე რეჟიმში მუშაობს, იქნება

$$M_{სტ} = \frac{F_{სტ} V_{\theta} r}{\omega_{\theta}} \quad 1.37$$

სისტემებში, რომლებსაც გააჩნიათ საშუალო გადაცემები, წინააღმდეგობის მომენტების მსგავსად ხდება ინერციის მომენტების დაყვანა. საერთოდ, რომელიმე სიდიდის დაყვანა რეალური სისტემიდან სხვა სისტემაზე ხდება იმ პირობით, რომ რეალური სისტემის კინეტიკური ენერგია აუცილებლად ტოლი იყოს დაყვანილი სისტემის კინეტიკური ენერგიისა.

ნახ. 1.4-ზე წარმოდგენილი ამწე დანადგარის რეალური კინეტიკური ენერგია გამოისახება

$$W_{რეალ} = J_{\theta} \frac{\omega_{\theta}^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_{\text{ღ}} \frac{\omega_{\text{ღ}}^2}{2} + m \frac{V^2}{2}, \quad 1.38$$

დანადგარის დაყვანილი კინეტიკური ენერგია (ძრავის ლილვზე) ტოლი იქნება

$$W_{დაყ} = J_{დაყ} \frac{\omega_{\theta}^2}{2}. \quad 1.39$$

სადაც $J_{დაყ}$ -- დაყვანილი ინერციის მომენტი.

თუ გავითვალისწინებთ, პირობის თანახმად, რომ $W_{რეალ} = W_{დაყ}$ და მიღებულ გამოსახულებას გავყოფთ $\omega_{პრ}^2$ -ზე, გვექნება

$$J_{დაყ} = J_{პრ} + J_1 \frac{\omega_1^2}{\omega_{პრ}^2} + J_{ღ} \frac{\omega_{ღ}^2}{\omega_{პრ}^2} + m \frac{V^2}{\omega_{პრ}^2} \quad 1.40$$

უკანასკნელ გამოსახულებაში შევცვალოთ $\omega_{პრ}/\omega_1$ და $\omega_{პრ}/\omega_{ღ}$ სიდიდეები შესაბამისი გადაცემის რიცხვებით ძრავას ლილვსა და ცალკეულ მბრუნავ ელემენტებს შორის i_1 და $i_{ღ}$ -ით და საბოლოოდ გვექნება

$$J_{დაყ} = J_{პრ} + J_1 \frac{1}{i_1^2} + J_{ღ} \frac{1}{i_{ღ}^2} + m \frac{V^2}{\omega_{პრ}^2} \quad 1.41$$

ამრიგად, ძრავის ლილვზე დაყვანილი ინერციის მომენტის ცნებაში იგულისხმება ისეთი ექვივალენტური მქნევარას ინერციის მომენტი, რომელიც ბრუნავს ძრავის ბრუნვის სიხშირით და რომელსაც აქვს რეალურად მბრუნავი სისტემის ტოლი კინეტიკური ენერგია.

1.4 ელექტროამძრავების ამუშავებისა და დამუხრუჭების დროის განსაზღვრა

ამუშავებისა და დამუხრუჭების დროის ხანგრძლივობის განსაზღვრისათვის საჭიროა მოძრაობის ძირითადი გატოლებიდან გამოითვალოს dt მნიშვნელობა და შემდეგ მოხდეს მისი ინტეგრება. თუკი ძრავის მიერ განვითარებული M მომენტი, ინერციის მომენტი J და დატვირთვის $M_{სტ}$ მომენტი ამუშავების დროის განმავლობაში შეიძლება მუდმივ სიდიდეებად ჩათვალოს, მაშინ 1.7- დან იქნება

$$t_{აგ} = \int_0^{\omega_{სტ}} J \frac{d\omega}{M - M_{სტ}} = J \frac{\omega_{სტ}}{M - M_{სტ}}, \quad 1.42$$

სადაც $\omega_{სტ}$ - სტატიკური $M_{სტ}$ მომენტის შესაბამისი კუთხური სიჩქარეა, რად/წმ;

$t_{აგ}$ - ამუშავების დროის ხანგრძლივობაა სიჩქარის ნულოვანი მნიშვნელობიდან $\omega_{სტ}$ მნიშვნელობამდე, წმ. როცა დატვირთვის მნიშვნელობა $M_{სტ} = 0$, მაშინ

$$t_{აგ} = J \frac{\omega_0}{M} .$$

მექანიზმის დამუხრუჭების დრო კი იქნება

$$t_{დაგ} = \int_{\omega_{სტ}}^0 J \frac{d\omega}{-M - M_{სტ}} = J \frac{\omega_{სტ}}{M + M_{სტ}}$$

თავი II

მექანიკური მახასიათებლები და ელექტროამპრავის

სამუშაო რეჟიმები

2.1 მექანიკური მახასიათებლები

ელამპრავის მუშაობა, როგორც მოძრაობის ძირითადი განტოლებიდან ჩანს, განისაზღვრება ძრავას მომენტისა და მუშა მანქანით შექმნილი დატვირთვისაგან. ძრავას მუშაობის დასახასიათებლად გამოიყენებენ ე.წ. ძრავას მემქანის მახასიათებელს. იგი წარმოადგენს ძრავას კუთხური სიჩქარის დამოკიდებულებას მის მიერ განვითარებული მომენტისაგან- $\omega = f(M)$; ასევე განიხილავენ მემქანის მემქანის მახასიათებელს, რომელიც ადგენს მემქანის მიერ ძრავას ლილვზე შექმნილი წინაღობის მომენტის დამოკიდებულებას ბრუნვის სიჩქარისაგან $M_{სტ} = \varphi'(\omega)$. რადგან, როგორც წესი, ძრავასა და მემქანის მექანიკური მახასიათებლები ერთად განსაზღვრავენ მუშაობის რეჟიმს, უფრო მოსახერხებელია წარმოვადგინოთ მემქანის მექანიკური მახასიათებელი, როგორც ძრავას სიჩქარის დამოკიდებულება მის ლილვზე დაყვანილი სტატიკური მომენტისაგან. ანუ მემქანის მექანიკური მახასიათებელი გამოისახება ფუნქციით $\omega = f'(M_{სტ})$. ამ დამოკიდებულებებს ელექტროამპრავების დამყარებული მუშაობის რეჟიმისათვის უწოდებენ სტატიკურ მემქანის მახასიათებლებს.

სტატიკურ მექანიკურ მახასიათებელს უწოდებენ ბუნებრივს, როდესაც ძრავა ჩართულია ნომინალურ პარამეტრებიან ქსელთან და როდესაც მისი ღუზის (როტორის) წრედში დამატებითი წინაღობა არ არის ჩართული. სხვა დანარჩენ პირობებში, მაგალითად ნომინალურისაგან განსხვავებული ძაბვისა და სიხშირის, ღუზის (როტორის) წრედში წინაღობის ჩართვის შემთხვევაში და სხვა - უწოდებენ ხელვნურ მახასიათებლებს.

ძრავას ტიპისა და ჩართვის სქემის მიხედვით, მისი ბრუნვის სიჩქარე, სტატიკური დატვირთვის შეცვლით, სხვადასხვანაირად შეიცვლება. სიჩქარის შეცვლის შეფასებისათვის შემოღებულია სტატიკური მექანიკური მახასიათებლის სიხისტის ცნება, რომელიც განისაზღვრება β სიხისტის კოეფიციენტი β - ივით. იგი წარმოადგენს მომენტისა და ბრუნვის სიჩქარის უსაზრულოდ მცირე ნაზრდების ფარდობას

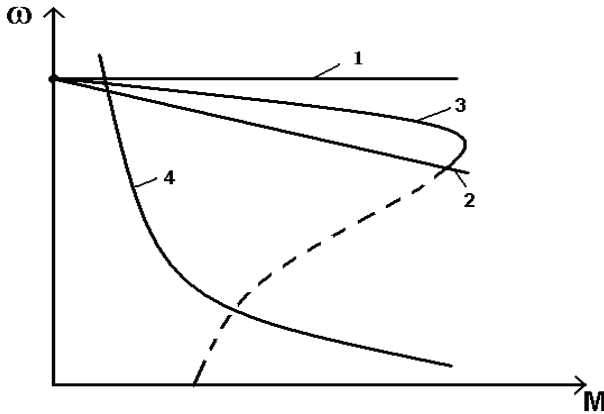
$$\beta = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta \omega}, \text{ ნ.მ.წმ}$$

ხშირ შემთხვევაში, სიხისტის კოეფიციენტი უარყოფითი სიდიდეა და ამის გამო, მექანიკური მახასიათებლის შეფასებისათვის, სარგებლობენ მისი აბსოლუტური მნიშვნელობით.

სიხისტის მიხედვით ანსხვავებენ შემდეგი სახის მახასიათებლებს:

ა) აბსოლუტურად სიხისტი მახასიათებელი - $\beta = \infty$; (ნახ 2.1, 1-) . ასეთი მახასიათებლის

დროს, ამძრავის ბრუნვის სიჩქარე მუდმივია დატვირთვის ცვალებადობისას. იგი გააჩნიათ სინქრონულ ძრავებს.



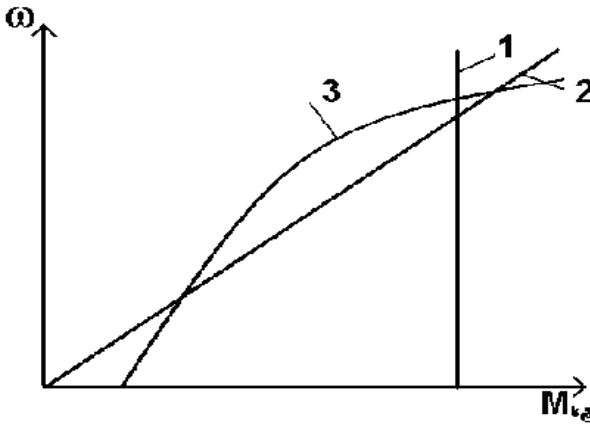
ნახ. 2.1 ელექტროძრავას სტატიკური მექანიკური მახასიათებლები

ბ) ხ ი ს ტ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ე ლ ი ; (ნახ 2.1, 2-3-) დატვირთვის შეცვლისას უმნიშვნელოდ იცვლება ამძრავის სიჩქარე. ასეთი მახასიათებლები გააჩნიათ დამოუკიდებელ (პარალელურ) აგზნებიან მუდმივი დენის ძრავებს და ასინქრონულ ძრავებს მახასიათებლის მუშა შტოზე.

გ) რ ბ ი ლ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ე ლ ი , ასეთი მახასიათებლის დროს დატვირთვის ცვალებადობა სიჩქარის დიდ ფარგლებში ცვალებადობას იწვევს და გააჩნიათ მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიან ძრავებს (ნახ. 2.1, 4).

ელექტროძრავას ტიპისა და მართვის ხერხის სწორი შერჩევისათვის საჭიროა ცნობილი იყოს მუშა მანქანის აღმასრულებელი ორგანოს მექანიკური მახასიათებელი $\omega = f(M_{სტ})$.

ნახ. 2.2 - ზე მოცემულია სხვადასხვა ტიპის მანქანის მექანიკური მახასიათებლები: 1-- $M_{სტ} = \text{const}$; 2- მუდმივი დენის გენერატორი; 3- ვენტილატორი.



ნახ. 2.2 სხვადასხვა სახის მუშა მანქანის მექანიკური მახასიათებელი

ცნობილია, რომ ყველა ელექტრულ მანქანას შეუძლია იმუშავოს როგორც ძრავულ, ისე გენერატორულ რეჟიმში. ძრავულ რეჟიმში, მანქანის ლილვზე შეიქმნება მამრუნებელი მომენტი, რომელსაც მოძრაობაში მოჰყავს მუშა მექანიზმი ანუ ამ რეჟიმში ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება მექანიკურად. გენერატორულ რეჟიმში მანქანის მიერ განვითარებული მომენტი მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგოდ, უშლის ხელს მოძრაობას და მოქმედებს მუშა მექანიზმზე დამამუხრუჭებლად, ანუ ამ რეჟიმში მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად და ქსელს უბრუნდება ან იფანტება სითბოს სახით. ელექტრული ძრავებით მუშა მექანიზმების ელექტრულად დამუხრუჭებას მიმართავენ: საწარმოო

მექანიზმების სწრაფი გაჩერებისათვის, აშწე დანადგარებში ტვირთის ჩაშვებისათვის, მუშა ორგანოს ზუსტი გაჩერებისათვის და სხვ.

ელექტროძრავას ჩართვის სქემისა და ამძრავის მუშაობის პირობებისაგან დამოკიდებულებით ელექტრული (გენერატორული) დამუხრუჭების რეჟიმი იყოფა რ ე კ უ პ ე რ ა ც ი უ ლ, დ ი ნ ა მ ი კ უ რ და უ კ უ ჩ ა რ თ ვ ი თ დამუხრუჭების რეჟიმებად.

2.2 ელექტროამძრავების სტატიკური მდგრადობა

ელექტრომექანიკური სისტემა მუშაობის დროს უნდა იყოს სტატიკურად მდგრადი. აგრეგატის მუშაობის სტატიკურ მდგრადობაში იგულისხმება უნარი, დაუბრუნდეს იგი მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობას მას შემდეგ, როცა იგი გამოყვანილი იქნება ამ მდგომარეობიდან გარეშე ძალით (შეშფოთებით). წონასწორობის სტატიკური პირობა განისაზღვრება ძრავასა და საწარმოო მექანიზმის მექანიკური მახასიათებლის ფორმით.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც მექანიზმის მომენტი არ არის დამოკიდებული სიჩქარეზე (ნახ. 3.3 1-), ხოლო ამძრავ ძრავად გამოყენებულია ასინქრონული მანქანა, რომლის მექანიკური მახასიათებელი 2- მრუდითაა წარმოდგენილი. ძრავას მიერ განვითარებული M მომენტის დროს, რომელიც მექანიზმის სტატიკური დატვირთვის მომენტის $M_{სტ}$ -ის ტოლია, ამძრავი მუშაობს $\omega_{სტ}$ დამყარებული სიჩქარით მექანიკური მახასიათებლების გადა-

კვეთის a წერტილში. თუკი რალაცა შემაშფოთებელი ზემოქმედებით ამძრავის სინქარე შემცირდება $\Delta\omega$ სიდიდით ω_1 მნიშვნელობამდე, გაიზრდება ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი M_1 მნიშვნელობამდე. რადგანაც მექანიზმის მომენტი ისევე $M_{სტ}$ -ის ტოლი დარჩა, აღიძვრება დადებითი დინამიკური მომენტი $M_{დ} = M_1 - M_{st}$, რომელიც აიძულებს ამძრავს აჩქარდეს მანამ, სანამ სინქარე ისევე არ გაუტოლდება $\omega_{სტ}$ -ს. თუკი სინქარე გაიზრდება $\Delta\omega$ -თი $\omega_{სტ}$ -ის ზემოთ, წარმოიშვება უარყოფითი დინამიკური მდგენელი და ამძრავის სინქარე კვლავ გახდება $\omega_{სტ}$ -ის ტოლი. გამოდის, რომ a წერტილში მუშაობისას პროცესი სტატ-იკურად მდგრადია.

დინამიკური მომენტის ფარდობას, სინქარის ვარდნის $\Delta\omega$ სიდიდესთან, უწოდებენ მ დ გ რ ა დ ო ბ ი ს კოეფიციენტს

$$K_{მდ} = M_{დ} / \Delta\omega = \Delta M / \Delta\omega$$

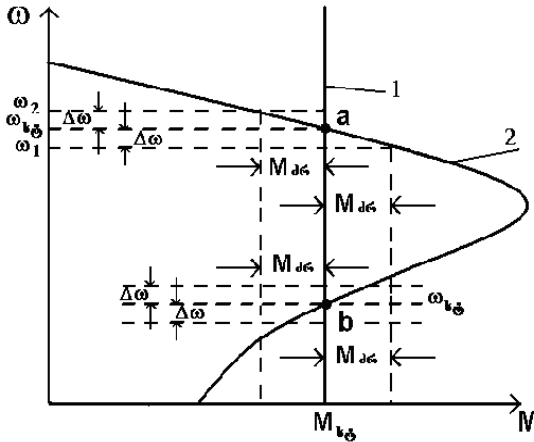
ჩვენს მიერ განხილულ a წერტილისათვის, ორივე შემთხვევაში (სინქარის შემცირებისა და მომატების დროს), მდგრადობის კოეფიციენტი უარყოფითი სიდიდეა

$$K_{მდ} = M_{დ} / \Delta\omega = (M_1 - M_{სტ}) / (\omega_1 - \omega_{სტ}) < 0.$$

მუშაობის დამყარებულ რეჟიმს ანუ მექანიკური მახასიათებლების გადაკვეთას ადგილი აქვს b წერტილშიც, სადაც დაცუ-

ლია პირობა $M = M_{სტ}$, მაგრამ, განსხვავებით ა წერტილისა, სიჩქარის მომატებას $\Delta\omega$ სიდიდით მოჰყვება დინამიკური მომენტის გაზრდა, რაც თავის მხრივ, კიდევ უფრო გაზრდის ამძრავის სიჩქარეს. პირიქით შემთხვევაში, $\Delta\omega$ სიდიდით სიჩქარის შემცირებას, მოჰყვება დინამიკური მომენტის უარყოფითი მნიშვნელობა, რაც კიდევ უფრო შეუწეობს ხელს სიჩქარის შემცირებას. b წერტილისათვის ორივე შემთხვევაში

$$K_{მღ} = M_{ღ} / \Delta\omega = (M_1 - M_{სტ}) / (\omega_1 - \omega_{სტ}) > 0$$



ნახ. 2.3 სტატიკური მდგრადობის განსაზღვრა ძრავას მექანიკური მახასიათებლით

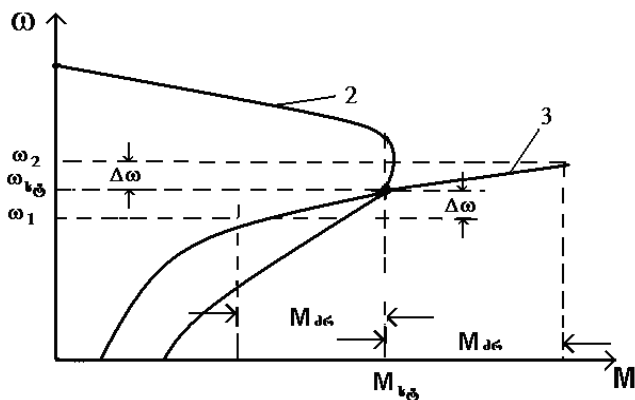
ამრიგად, ამძრავის მუშაობის სტატიკური მდგრადობის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს, რომ

$$K_{მღ} = M_{ღ} / \Delta\omega < 0.$$

ასინქრონული ძრავას არამდგრად შტოზე სტატიკური მდგრადობა შესაძლებელია განხორციელდეს იმ შემთხვევაში, თუკი საწარმოო მექანიზმის სტატიკური დატვირთვა კენტილატორული ხასიათისაა- $M_{სტ} = f(\omega^2)$ (ნახ. 2.4). ამ შემთხვევაში სტატიკური მდგრადობის კოეფიციენტი

$$K_{გრ} = M_{გრ} / \Delta\omega = (\beta - \beta_{სტ}) \cdot \Delta\omega / \Delta\omega = \beta - \beta_{სტ} < 0$$

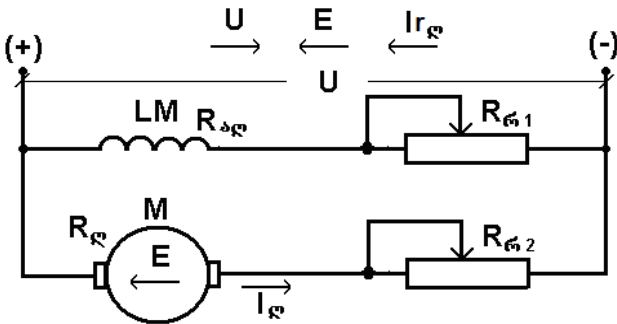
აღსანიშნავია, რომ ძრავას არამდგრად შტოზე მუშაობა, განხილულ შემთხვევაში, გამოიწვევს ძრავას გადახურებას.



ნახ. 2.4 სტატიკური მდგრადობის განსაზღვრა მექანიზმის მექანიკური მახასიათებლით

2.3 მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

მუდმივი დენის მანქანების მუშაობის რეჟიმის აღმწერ განტოლებას, მიუხედავად მათი აგზნების გრაგნილის ღუზასთან ერთად ქსელთან მიერთების სხვადასხვა სქემისა, ერთნაირი ფორმა გააჩნია. აგზნების გრაგნილი კი ღუზასთან შეიძლება მიერთდეს პარალელურად (ანუ დამოუკიდებლად), მიმდევრობით და მიმდევრობით-პარალელურად. ამ ბოლო შემთხვევაში ძრავას ორივე სახის აგზნების გრაგნილი გააჩნია. შესაბამისად, ძრავას უწოდებენ პარალელურ (დამოუკიდებელ) აგზნებიანს, მიმდევრობით - და შერეულ აგზნებიანს. მექანიკური მახასიათებლის ანალიზური გამოსახულება დამყარებულია ძაბვის ბალანსის განტოლებაზე.



ნახ. 2.5 დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას ჩართვის სქემა
მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) აგზნებიან
ძრავას ქსელთან მიერთების პრინციპული სქემა ასეთია (ნახ. 2.5)
სადაც - LM - აგზნების გრაგნილია, $R_{აღ}$ აქტიური წინაღობით;

$R_{\rho 1}$ - აგზნების გრაგნილში დენის სარეგულირებელი რეოსტატი;

M - ძრავას ლუზა, R_{ρ} აქტიური წინააღობით;

$R_{\rho 2}$ - ლუზის წრედში დენის სარეგულირებელი რეოსტატი;

ძაბვის ბალანსის განტოლებას ლუზის წრედში აქვს სახე

$$U = I_{\rho} R_{\rho} + E_{\rho} \quad 2.1$$

სადაც U - ძაბვაა ძრავას მომჭვრებზე, ვ;

I_{ρ} - ლუზის წრედის დენი, ა;

R_{ρ} - ლუზის წრედის სრული წინააღობა (რეოსტატის ჩათვლით), ომი;

E_{ρ} - ლუზაში აღძრული ე.მ.ძ., ვ.

ლუზის ე.მ.ძ. განისაზღვრება ფორმულით

$$E_{\rho} = \frac{pN}{2\pi a} \Phi \omega = K\Phi \omega = C\omega, \quad 2.2$$

სადაც $K = \frac{pN}{2\pi a}$ - ძრავას კონსტრუქციულობის კოეფიციენტია და მუდმივია, თუკი ძრავა კომპენსირებულია; p მთავარი პოლუსების რიცხვია; N გამტარების რიცხვი და a - ლუზის გრაგნილის პარალელური გამტარების რიცხვი;

Φ - ძრავას მაგნიტური ნაკადი, ვბ;

ω - ლუზის ბრუნვის სიჩქარე, რად/წმ.

C - ძრავას კოეფიციენტი.

თუ ჩავსვავთ $E_{\text{ღ}}$ -ს მნიშვნელობას 2.2 -დან 2.1-ში, მივიღებთ

$$U = I_{\text{ღ}} R_{\text{ღ}} + K\Phi \omega \quad 2.3$$

2.3- დან განვსაზღვროთ ω - ს მნიშვნელობა და მივიღებთ ელექტრომექანიკური მახასიათებლის ანალიზურ გამოსახულებას

$$\omega = \frac{U - I_{\text{ღ}} R_{\text{ღ}}}{K\Phi} = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_{\text{ღ}}}{K\Phi} I_{\text{ღ}} = \frac{U}{C} - \frac{R_{\text{ღ}}}{C} I_{\text{ღ}} \quad 2.4$$

მუდმივი დენის ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_{\text{R}} = K\Phi I_{\text{R}} = C I_{\text{R}}, \text{ ნ.მ.} \quad 2.5$$

ძრავას ლილვზე მომენტი განსხვავდება სიდიდით ელექტრომაგნიტური მომენტისაგან, თვითონ ძრავაში მექანიკური და ძრავას ფოლადში თბური დანაკარგების გამო. ძრავულ რეჟიმში მომენტი ლილვზე ყოველთვის ნაკლებია ელექტრომაგნიტურზე, ხოლო გენერატორულში - მეტი. რადგანაც ეს მომენტები მხოლოდ (2...5) % -ით განსხვავდებიან ნომინალურისაგან, მიახლოებით თვლიან, რომ მომენტი ძრავას ლილვზე ელექტრომაგნიტურის ტოლია.

მაბრუნებელი მომენტის ნიშანი, 2.5 გამოსახულების მიხედვით, დამოკიდებულია ლუზის დენის ან მაგნიტური ნაკადის ნიშანზე, ამის გამო, ძრავის ბრუნვის მიმართულების შეცვლისათვის (რევერსირებისათვის), რასაც იწვევს მომენტის ნიშნის შეცვლა,

საჭიროა შეიცვალოს მაგნიტური ნაკადის მიმართულება, ან ლუზაზე ძაბვის პოლარობა. ლუზის დენის მნიშვნელობის ჩასმით 2.5-დან 2.4-ში, მივიღებთ მ ე ქ ა ნ ი კ უ რ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ლ ი ს გამოსახულებას

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_R}{K^2\Phi^2} M = \omega_0 - \frac{1}{\beta} M \quad , \quad 2.6$$

სადაც $\beta = \frac{K^2\Phi^2}{R_{\text{ლ}}} = \frac{C^2}{R_{\text{ლ}}}$ - მექანიკური მახასიათებლის სი-

ნისტის კოეფიციენტი, რაზეც დამოკიდებულია თვით მახასიათებლის დახრა.

თუ გავამრავლებთ 2.1 გამოსახულების ორივე მხარეს I_R -ზე, მივიღებთ

$$UI_{\text{ლ}} = E_{\text{ლ}} I_R + I_{\text{ლ}}^2 R_{\text{ლ}} \quad 2.7$$

ან

$$P_1 = P_{\text{ეგ}} + \Delta P \quad , \quad 2.8$$

სადაც $P_1 = UI_{\text{ლ}}$ - ძრავას მიერ ქსელიდან მოთხოვნილი

სიმძლავრეა;

$P_{\text{ეგ}} = E_R I_R$ - ძრავას ლუზაში შექმნილი ელექტრომა-

გნიტური სიმძლავრე;

$\Delta P = I_{\text{ლ}}^2 R_{\text{ლ}}$ - ლუზის წრედში თბური დანაკარგების

სიმძლავრე.

2.2- სა და 2.7- ის გათვალისწინებით ელმაგნიტური სიმძლავრე შესაძლოა შემდეგნაირადაც დაიწეროს

$$P_{ემ} = E_{ლ} I_{ლ} = C \omega I_{ლ} = M \omega. \quad 2.9$$

თუკი ძრავას მომენტი და ბრუნვის სიჩქარე ერთი მიმართულებისაა, მაშინ ხდება ელექტრული ენერგიის გარდაქმნა მექანიკურად, ანუ ძრავა მუშაობს ძრავულ რეჟიმში. ძრავას მ.კ.კ. მექანიკური და აგზნების გრაგნილში თბური დანაკარგების გაუთვალისწინებლად

$$\eta = \frac{P_{ემ}}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{I_{ლ} \cdot R_{ლ}}{U_{ლ}} \quad 2.10$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ ღუზის წრედის წინაღობის გაზრდით, ამძრავის მ.კ.კ. მცირდება.

ძაბვის, მაგნიტური ნაკადისა და ღუზის წრედის ნომინალური მნიშვნელობების დროს, ბრუნვის სიჩქარეც ნომინალური იქნება

$$\omega_6 = \frac{U_6 - I_{ლ} R_{ლ}}{K \Phi_6}. \quad 2.11$$

ძრავზე სასარგებლო დატვირთვისა და ენერგიის დანაკარგების არ არსებობისას სისტემაში ღუზის დენის მნიშვნელობა ნულის ტოლია და ღუზის ბრუნვის სიჩქარე, რომელსაც ასეთ შემთხვევაში იდეალურს უწოდებენ - ω_0 , დამოკიდებულია მხოლოდ ძაბვისა და მაგნიტური ნაკადის ნომინალურ მნიშვნელობებზე

$$\omega_0 = \frac{U_6}{K\Phi_6} = \frac{U_6}{C}. \quad 2.12$$

ასეთი ბრუნვი სიჩქარის დროს ე.მ.მ. და ქსელის ძაბვა ერთ-მანეთის ტოლია.

ელექტრომექანიკური მახასიათებელი, 2.12 -ის გათვალისწინებით, შესაძლოა წარმოვადგინოთ

$$\omega = \omega_0 - \frac{I_{\text{ღ}} R_{\text{ღ}}}{K\Phi} = \omega_0 - \frac{I_{\text{ღ}} R_{\text{ღ}}}{C}, \quad 2.13$$

ხოლო მექანიკური მახასიათებელი

$$\omega = \omega_0 - \frac{R_{\text{ღ}}}{K^2 \Phi^2} M = \omega_0 - \frac{R_{\text{ღ}}}{C^2} M. \quad 2.14$$

სხვაობას, $(\omega_0 - \omega)$ -ს, იდელურ უქმი სვლის ბრუნვის სიჩქარესა და დატვირთვის შესაბამის ბრუნვის სიჩქარეს შორის, უწოდებენ სტატიკურ ბრუნვის სიჩქარის ვარდნას- $\Delta\omega$. ელექტრო-

მექანიკური მახასიათებლისათვის $\Delta\omega = \frac{R_{\text{ღ}} I_{\text{ღ}}}{C}$, ხოლო მექანიკური

მახასიათებლისათვის $\Delta\omega = \frac{R_{\text{ღ}} M_{\text{ღ}}}{C^2}$.

ამ უკანასკნელთა გათვალისწინებით, დამოუკიდებელ აგზნებთან ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ზოგადი სახით იქნება

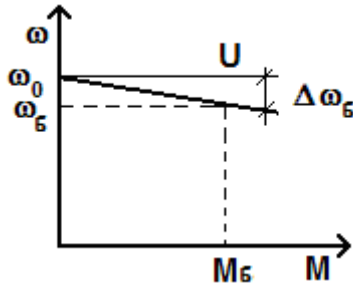
$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega. \quad 2.15$$

რადგანაც ბრუნვის სიჩქარის ვარდნა, $\Delta\omega$, პირდაპირპროპორციულია მომენტისა და დენისა, მექანიკური და ელექტრომექანიკური მახასიათებლები წარმოადგენენ წრფეებს.

იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიჩქარე, შეიძლება გან-
ისაზღვროს (2.12 -ის შეფარდებით 2.11 -თან) ფორმულით

$$\omega_0 = \omega_{\text{გ}} \frac{U_{\text{გ}}}{U_{\text{გ}} - I_{\text{ლ.გ}} \cdot R_{\text{ლ}}} \quad 2.16$$

სადაც $U_{\text{გ}}$, $I_{\text{ლ.გ}}$ და $\omega_{\text{გ}}$ - შესაბამისად ძრავას ნომინალური საპას-
პორტო მონაცემებია. თუკი ცნობილი იქნება ω_0 , ნომინალური
მომენტი $M_{\text{გ}}$ და ასევე მისი შესაბამისი ბრუნვის სიჩქარე $\omega_{\text{გ}}$,
ე.ი. წრფის ორი წერტილი, შესაძლებელია აიგოს ბუნებრივი
მექანიკური მახასიათებელი.



ნახ. 2.5 დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას ბუნებრივი მექანიკური
მახასიათებელი

ამძრავის გაანგარიშებისას გამოიყენებენ ე.წ. ლუზისა და რო-
ტორის ნომინალური წინაღობის ცნებას. ნომინალური წინაღობა
ეწოდება წინაღობის ისეთ სიდიდეს, რომელიც შედგება ლუზის
(როტორის) საკუთარი და გარედან მიერთებული წინაღობების ჯა-
მისაგან და რომელიც ქსელის ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობისა

და გაჩერებული ღუზის (როტორის) დროს უზრუნველყოფს ძრავას ღუზაში (როტორში) ნომინალური დენის გავლას.

მუდმივი დენის ძრავაში

$$R_{\text{ნომ}} = \frac{U_{\text{ნომ}}}{I_{\text{ნომ}}},$$

ხოლო ცვლადი დენის ძრავაში

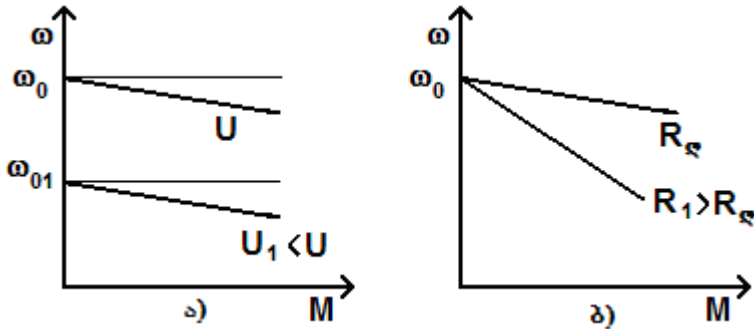
$$R_{2\text{ნომ}} \approx Z_{2\text{ნომ}} = \frac{E_{2\text{ნომ}}}{\sqrt{3}I_{2\text{ნომ}}},$$

სადაც $E_{2\text{ნომ}}$ უძრავი როტორის უკუ ე.მ.ძ.-აა სტატორის ნომინალური ძაბვის დროს, ვ;

$I_{2\text{ნომ}}$ - როტორის ნომინალური დენია, ა;

ხელოვნური მახასიათებლების მიღება შესაძლებელია ძრავზე ძაბვის ცვლილებით, აგზნების ნაკადის შეცვლითა და ღუზის წრედში წინაღობის დამატებით. ბოლო შემთხვევას უწოდებენ აგრეთვე რეოსტატულ მახასიათებელს. როგორც 2.12 და 2.14 გამოსახულებებიდან ჩანს, ძრავზე ძაბვის შეცვლით იცვლება მხოლოდ იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიჩქარე ω_0 , ხოლო მახასიათებლის დახრა, ანუ სიხისტის კოეფიციენტი, მუდმივი რჩება. ამის გამო, სხვადასხვა ძაბვების შესაბამისი მახასიათებლები, ბუნებრივი მახასიათებლის პარალელურები იქნებიან (ნახ. 2.6 ა). თუ ღუზის წრედში ჩართვება დამატებითი წინაღობა $R_{\text{დ}}$, მაშინ ძრავა იმუშავებს რეოსტატულ მახასიათებელზე. ნულოვანი დატვირთვის დროს, იგი იბრუნებს იდეალური

ბრუნვის სიჩქარით და დამოკიდებული არ იქნება ლუზის წრედის წინააღმდეგობაზე (იხ. ფორმულა 2.14) (ნახ. 2.6 ბ))



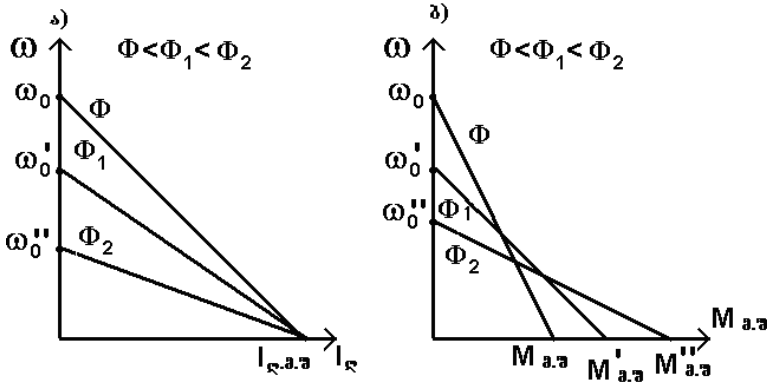
ნახ. 2.6 დამოუკიდებელ აგზნებრიან ძრავას ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები სხვადასხვა დაბვისა და წინააღმდეგობის დროს

მაგნიტური ნაკადის შეცვლით იცვლება როგორც იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიჩქარე ω_0 , ასევე მახასიათებლის დახრა. ნულოვანი სიჩქარის დროს, ლუზის დენი ტოლია მოკლედ შერთვის (მ.შ.) დენისა

$$I_{ა.შ.} = \frac{U_0}{R_{ლ}}$$

, რომელიც არ არის დამოკიდებული

მაგნიტურ ნაკადზე, ამიტომ ელექტრომექანიკური მახასიათებლები, სხვადასხვა მაგნიტური ნაკადის დროს, გადაიკვეთებიან ერთ წერტილში, რომელიც მ.შ დენს შეესაბამება (ნახ. 2.7 ა). მოკლედ შერთვისის მომენტი $M_{ა.შ.} = K\Phi I_{ა.შ.}$, ლუზის დენისაგან განსხვავებით, დამოკიდებულია მაგნიტურ ნაკადზე და ამის გამო მექანიკური მახასიათებლები მომენტის ღერძს სხვადასხვა წერტილში გადაკვეთენ (ნახ. 2.7 ბ).



ნახ. 2.7 ძრავას ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები სხვადასხვა ნაკადის დროს

მექანიკური მახასიათებლები სამუხრუჭე რეჟიმებში. ძალიან ხშირად, თანმედროვე ელექტროამძრავში, აუცილებელია როგორც საწარმოო მექანიზმის სწრაფად და ზუსტად გაჩერება, ასევე მისი რევერსი და ტვირთის ჩაშვება. ყველა ამ შემთხვევაში, ძრავა აუცილებლად უნდა გადავიდეს გენერატორული დამუხრუჭების რომელიმე სახის რეჟიმში, ამძრავში დაგროვილი კინეტიკური ენერგია ან ტვირთის ჩაშვებისას პოტენციური ენერგიის ნაზრდი გარდაქმნას ელექტრულ ენერგიად და იმის მიხედვით, თუ რომელ რეჟიმში მუშაობს, ან უკან მიაწოდოს ქსელს, ან გამოჰყოს სითბოს სახით გარემოში.

ელექტრული დამუხრუჭება სამი სახისაა: 1) ენერგიის ქსელში გადაცემით (რეკუპერაციული); 2) დინამიკური დამუხრუჭება; 3) უკუჩართვითი დამუხრუჭება.

განვიხილოთ დაწვრილებით მექანიკური მახასიათებლების თავისებურებანი აღნიშნული დამუხრუჭების რეჟიმებისათვის.

1. რეკუპერაციული დამუხრუჭება. დამუხრუჭების ეს ხერხი ხორციელდება მაშინ, როცა ძრავას ბრუნვის სიჩქარე ω მეტი აღმოჩნდება იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიჩქარე ω_0 -ზე და მისი ე.მ.ძ. E გადააჭარბებს ქსელის ძაბვა U -ს. ძრავა ამ შემთხვევაში მუშაობს გენერატორულ რეჟიმში ქსელის პარალელურად და აწვდის ელექტრულ ენერგიას; დენიც იცვლის მიმართულებას, რომელიც აშკარაა ტოლობიდან

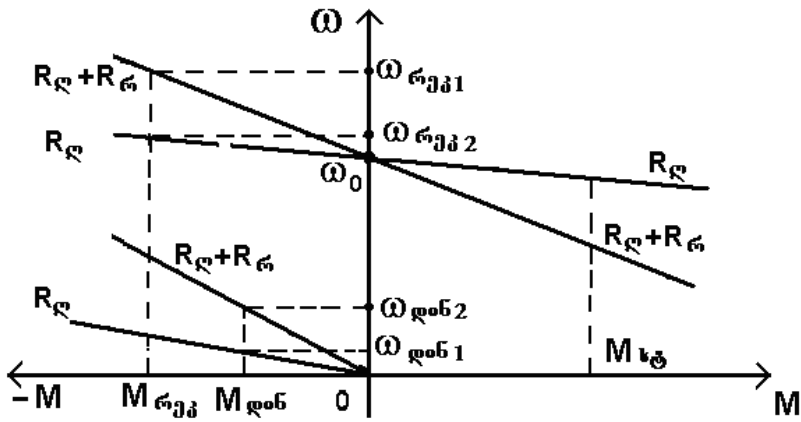
$$I = (U - E)/R = -(E - U)/R, \quad 2.17$$

და შესაბამისად, ნიშანს შეიცვლის ძრავას მომენტიც, ანუ იგი გახდება დამამუხრუჭებელი - $M = -K\Phi I$. თუკი ავლნიშნავთ სამუხრუჭე მომენტს $M_{საგ} = -M$, მაშინ 2.14 განტოლება $\omega > \omega_0$ -ის გათვალისწინებით მიიღებს სახეს

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} + \frac{R_{ლ}}{K^2\Phi^2} M_{საგ}. \quad 2.18$$

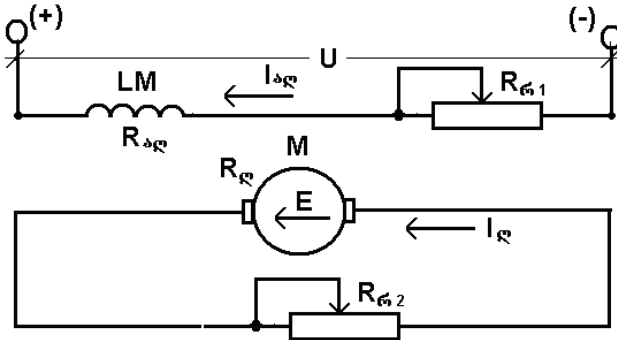
განტოლების მარჯვენა მხარის პირველი წევრი გვიჩვენებს, რომ დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ამ სამუხრუჭე რეჟიმში, $M = 0$ -ის დროს, გადის წერტილში, რომელიც, ისევე როგორც ძრავულ რეჟიმში, შეესაბამება იდეალური უქმი სვლის ბრუნვის სიხშირეს. მექანიკური მახასიათებლის დახრა (სიხისტე) განისაზღვრება განტოლების მეორე წევრით $R_{ლ}/K^2\Phi^2$, რომელიც ღუზის წრედის მოცემული წინააღობის დროს, მუდმივია. შესაბამისად, მექანიკური მახასიათებლის დახრა ამ სამუხრუჭე რეჟიმში იგივეა, რაც იყო ძრავულ რეჟიმში. ამის

გამო, რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში, მექანიკური მახასიათებელი წარმოადგენს ძრავული რეჟიმის მექანიკური მახასიათბლის გაგრძელებას მეორე კვადრანტში. დამუხრუჭების ეს ხერხი შესაძლებელია, მაგალითად, სატრანსპორტო და ამავე მექანიზმების ამძრავებში ტვირთის ჩაშვებისას ან სიჩქარის რეგულირების ისეთი ხერხის დროს, როცა აღმოჩნდება, რომ მნიშვნელობა $\omega > \omega_0$. ასეთი დამუხრუჭება მეტად ეკონომიურია, რადგანაც ხასიათდება ქსელში ენერჯის მიწოდებით, მაგრამ ყოველთვის არ არის შესაძლებელი $\omega > \omega_0$ პირობის დაცვა. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ რაც მეტია ღუზის წრედის წინააღობა, მით მეტია ბრუნვის სიჩქარე რეკუპერაციულ სამუხრუჭე რეჟიმში, ერთი და იგივე სტატიკური მომენტის დროს, ნახ. 2.9



ნახ. 2.9 დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები ძრავულ და სამუხრუჭო რეჟიმებში

2. დინამიკური დამუხრუჭება ხორციელდება ღუზის წრედის ქსელიდან ამორთვით და გარეშე წინააღობაზე მიერთებით, ამიტომ მას ხშირად რეოსტატულ დამუხრუჭებას უწოდებენ (ნახ. 2.10).



ნახ. 2.10 დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას ჩართვი სქემა
დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში

აგზნების გრაგნილი ამ დროს ქსელთან ჩართული უნდა დარჩეს. დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმშიც, მანქანა მუშაობს როგორც გენერატორი, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ამპრავში დაგროვილი კინეტიკური ან ჩამავალი ტვირთის პოტენციალური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულად და განსხვავებით რეკუპერაციული რეჟიმისა, გამოიყოფა ღუზის წრედში სითბოს სახით.

იმის გამო, რომ ე.მ.ძ. დამუხრუჭების დროს ინარჩუნებს იგივე ნიშანს, რაც ჰქონდა ძრავულ რეჟიმში და ღუზას გარედან ძაბვა არ მიეწოდება, ღუზის დენი განისაზღვრება ფორმულით

$$I = (U - E) / R = (0 - E) / R = -E / R, \quad 2.19$$

სადაც R - ღუზის წრედის საერთო წინააღობაა.

სამუხრუჭე მომენტი შესაძლებელია წარმოვადგინოთ როგორც

$$-M_{სამ} = K\Phi I = -K\Phi \frac{E}{R} = -K^2\Phi^2 \frac{\omega}{R}, \quad 2.20$$

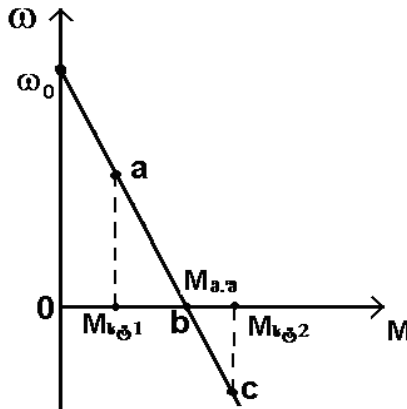
მაგნიტური ნაკადის მუდმივობის დროს ($\Phi = \text{const}$) იქნება

$$\omega = \frac{R}{K^2\Phi^2} M_{სამ} = \frac{R}{C^2} M_{სამ}. \quad 2.21$$

მექანიკური მახასიათებელი დინამიკური დამუხრუჭების დროს, როგორც 2.21-დან ჩანს, წარმოადგენს წრფეს, რომელიც საკოორდინატო სათავეზე გადის და მისი დახრის კუთხე იცვლება R -ის მიხედვით. მინიმალური დახრა (მაქსიმალური სიხისტე) მიიღება ნულოვანი რეოსტატული წინაღობის დროს, ანუ მაშინ, როდესაც ღუზის წრედში მხოლოდ ღუზის წინააღობაა ჩართული (იხ. ნახ. 2.9). რადგანაც მახასიათებელი კოორდინატთა სათავეზე გადის, ბრუნვის სიჩქარის შემცირებას მოჰყვება სამუხრუჭე მომენტის შემცირებაც და გამოდის, რომ დინამიკური დამუხრუჭებით ძრავას სრული გაჩერება შეუძლებელია. ამიტომ, იძულებული ვართ საბოლოო გაჩერებისათვის გამოვიყენოთ მექანიკური მუხრუჭი. ეს დინამიკური დამუხრუჭების ძირითადი ნაკლია.

დინამიკური დამუხრუჭება ფართოდ გამოიყენება ამძრავის შესანელებლად, განსაკუთრებით ამწევ მექანიზმებში ტვირთების ჩაშვების დროს. იგი საკმაოდ ეკონომიურია, მაგრამ ამ მხრივ ჩამორჩება რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმს.

3. უკუჩართვით დამუხრუჭება ხორციელდება იმ შემთხვევაში, როცა ძრავას გრაგნილები ჩართულია ერთი მიმართულებით სამოძრაოდ, მაგრამ მასზე ისეთი სიდიდის დატვირთვაა მოდებული, რომ ძრავა იძულებით ბრუნავს მეორე მიმართულებით. ეს ხორციელდება, მაგალითად, ამწევის ამძრავში, როცა ძრავა ჩართულია ტვირთის აწევაზე, ხოლო ტვირთის წონისაგან გამოწვეული მომენტი ისეთია, რომ აიძულებს ძრავას დაბრუნდეს ტვირთის ჩაშვების მიმართულებით. ასეთივე რეჟიმი მიიღება, თუკი ერთი მიმართულებით მბრუნავ ძრავას შევეცვლით ქსელის პოლარობას და ამით შევქმნით მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულების მბრუნ მომენტს. განვიხილოთ ეს რეჟიმი გრაფიკულად.



ნახ. 2.11 დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მასასიათებელი უკუჩართვითი დამუხრუჭების რეჟიმში ტვირთის ჩაშვებისას

დავუშვათ, ძრავზე მოღებულა $M_{სტ1}$ დატვირთვა და იგი მუშაობს a წერტილში ძრავულ რეჟიმში. ახლა დავუშვათ, რომ რაღაც მიზეზით დაიწყო სტატიკურმა დატვირთვამ გაზრდა ძრავას ლილვზე. ამას მოჰყვება ბრუნვის სიჩქარის შემცირება და შესაბამისად, ე.მ.დ.-ის შემცირებაც. ძრავის ღუზაში გამავალი დენი $I = (U - E) / R = (U - C\omega) / R$ დაიწყებს გაზრდას. როცა ბრუნვის სიჩქარე ნულს გაუტოლდება $\omega = 0$, ძრავაში გაივლის მოკლედ შერთვის (მ.შ) დენი $I_{გ.შ} = U / R$ (b წერტილი) და იგი განავითარებს მ.შ.-ის მომენტს, $M_{გ.შ}$ -ს. დატვირთვის შემდგომ გაზრდას მოჰყვება ძრავას ბრუნვის მიმართულების შეცვლა და შესაბამისად ძრავაში გამავალი დენის გაზრდა $I = (U + C\omega) / R$, დენის გაზრდას კი მოჰყვება მომენტის გაზრდა და როცა ეს უკანასკნელი გაუტოლდება ჩამავალი ტვირთის წონისაგან გამოწვეულ მომენტს, $M_{სტ2}$ -ს, დამყარდება თანაბარი მოძრაობა (c წერტილი). როგორც

$$I = (U + C\omega) / R \quad 2.22$$

გამოსახულებიდან ჩანს, ძრავაში გამავალმა დენმა, გარკვეულ პირობებში, შეიძლება გადააჭარბოს დასაშვებს. ამის გამო, უკუჩართვით დაძუბურუჭების დროს, ღუზის წრედში დამატებით წინაღობას რთავენ (ამას მახასიათებლის დახრაც გვიჩვენებს).

ბოლო ფორმულის ორივე მხარეს თუ გავამრავლებთ IR -ზე, მიიღება

$$I^2 R = UI + C\omega = UI + E \quad 2.23$$

სადაც $I^2 R$ - ლუზის წრედის გათბობაზე დახარჯული სიმძლავრეა; UI - ქსელიდან წამოღებული სიმძლავრე; E - ძრავას ლილვზე, ჩამავალი ტვირთის მექანიკური სიმძლავრის ექვივალენტური ელექტრული სიმძლავრე.

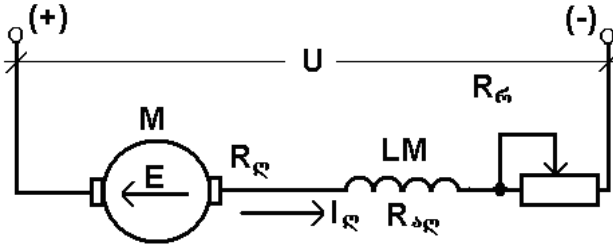
ეკონომიურობის თვალსაზრისით უკუჩრთვით დამუხრუჭების რეჟიმი, განხილულ რეჟიმებთან შედარებით, ყველაზე არაეკონომიური რეჟიმია - ჩამავალი ტვირთის ენერგია და ქსელიდან წამოღებული ენერგია, ორივე გამოიყოფა ლუზის წრედში სითბოს სახით. დადებითი მხარეებია: ამ რეჟიმით შესაძლებელია ამძრავის როგორც შენელება, ისე სრულიად გაჩერება და რევერსიც კი.

2.4 მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას ჩართვის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 2.14-ზე. ელექტრომექანიკური მახასიათებლის განტოლებას, მსგავსად დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავისა, აქვს სახე

$$\omega = \frac{U - I_{\text{ფ}} R_{\text{ფ}}}{K\Phi}, \quad 2.24$$

სადაც $R = R_{\text{ლ}} + R_{\text{აგ}} + R_{\text{რ}}$ - ლუზის წრედის სრული წინაღობაა და შედგება ლუზის, აგზნების გრაგნილისა და რეოსტატის წინააღობების ჯამისაგან, ომი.



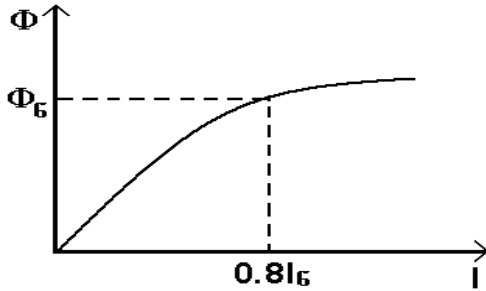
ნახ. 2.14 მიმღევრობით აგზნებიანი მუდმივი დენი ძრავას ქსელთან ჩართვის სქემა

დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავასაგან განსხვავებით, ამ შემთხვევაში, აგზნების გრაგნილის მაგნიტური ნაკადი იქმნება ლუზაში გამავალი დენით. მაგნიტური ნაკადის დამოკიდებულება ამ დენისაგან განისაზღვრება დამაგნიტების მრუდით, რომელიც ნახ. 2.15-ზეა წარმოდგენილი. მაგნიტური ნაკადი შეიძლება ლუზის დენის პროპორციულად ჩაითვალოს ნომინალური დენის მხოლოდ 80%-მდე, ე.ი. სანამ მაგნიტური სისტემა გაჯერებული არ არის და ძრავა მუშაობს დამაგნიტების მრუდის სწორხაზოვან უბანზე.

ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე შეიძლება დაიწეროს

$$\Phi = C I_{\text{ლ}}, \quad 2.25$$

სადაც C - პროპორციულობის კოეფიციენტი, ომი.წმ;



ნახ. 2.15 მიმღევრობით აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას
ვებერ-ამპერული მახასიათებელი

მაგნიტური ნაკადის მნიშვნელობის ჩასმით 2.25-დან 2.5-ში,
გვექნება

$$M = KCI_{\text{ღ}}^2 \quad 2.26$$

საიდანაც

$$I_{\text{ღ}} = \sqrt{\frac{M}{KC}} \quad 2.27$$

შევიტანოთ 2.25 და 2.27 გამოსახულებები 2.4-ში და
გვექნება

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{I_{\text{ღ}}R}{K\Phi} = \frac{U}{KCI_{\text{ღ}}} - \frac{I_{\text{ღ}}R}{KCI_{\text{ღ}}} = \frac{U}{\sqrt{KC}\sqrt{M}} - \frac{R}{KC}, \quad 2.28$$

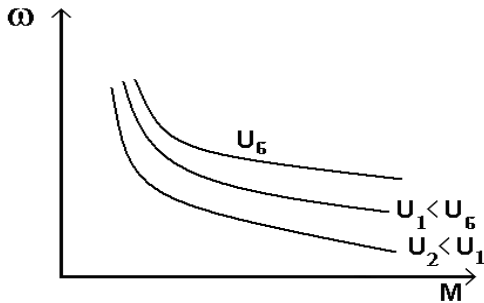
ანუ

$$\omega = \frac{A}{\sqrt{M}} - B \quad 2.29$$

სადაც

$$A = \frac{U}{\sqrt{KC}}; \quad B = \frac{R}{KC}$$

2.29-ის თანახმად, როცა $\mathbf{M} \rightarrow \mathbf{0}$, კუთხური სიჩქარე მიისწრაფის უსასრულობისაკენ, ხოლო როცა $\omega = \mathbf{0}$, მაშინ $\mathbf{M} = (\mathbf{A}/\mathbf{B})^2$. ამის გამო, ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი არ გადაიკვეთება სიჩქარის ღერძთან, არის მისი ასიმპტოტა და წარმოადგენს ჰიპერბოლას (ნახ. 2.16). მცირე დატვირთვის მომენტების დროს, კუთხურმა სიჩქარემ, შეიძლება დაუშვებელ სიდიდეებს მიაღწიოს და ამის გათვალისწინებით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მუშაობა უქმ სვლაზე, დაუშვებელია.



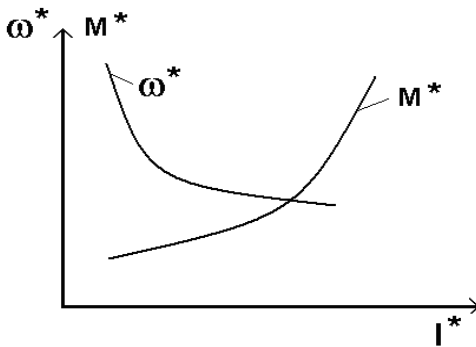
ნახ. 2.16 მიმდევრობით აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას მექანიკური მახასიათებლები ლუზის წრედის სხვადასხვა ძაბვის დროს

2.29 განტოლება იძლევა იმის საშუალებას, რომ ჩავატაროთ მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ფორმის ხარისხობრივი ანალიზი. მაგრამ ეს განტოლება, ზემოთ აღნიშნული დაშვებების გამო, იშვიათად გამოიყენება პრაქტიკული გამოთვლებისათვის. დამამზადებელი ქარხანა ცალკეული სერიის ძრავებისათვის იძლევა ბუნებრივი მახასიათებლების უნივერსალურ მრუდებს. უნივერსალური მახასიათებლები წარმოადგენენ კუთხური

სიჩქარისა და მომენტიის ფარდობითი სიდიდეების დამოკიდებულებას ლუზაში გამავალ დენის ფარდობით სიდიდესთან (ნახ. 2.17).

$$\text{აქ} - \omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}; M^* = \frac{M}{M_0} \text{ და } I^* = \frac{I}{I_0}. \text{ იციან რა ძრავას ნომინალური მონაცემები, აძლევენ დენს სხვადასხვა მნიშვნელობას და უნივერსალური მახასიათებლებით აგებენ ძრავას ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებლებს.}$$

ლუზის მიმდევრობით დამატებითი წინაღობის ჩართვით მექანიკური მახასიათებელი მნიშვნელოვნად რბილდება



ნახ. 2.17 მიმდევრობით აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას უნივერსალური მახასიათებლები

ხელოვნური (რეოსტატული) მახასიათებლების ასაგებად შესაძლებელია ვისარგებლოთ ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის განტოლებით.

ბუნებრივი მახასიათებლის განტოლება

$$\omega_0 = \frac{U}{K\Phi} \left[1 - \frac{I_R(R_R + R_{ag})}{U} \right] \quad 2.30$$

ძრავას რეოსტატული მახასიათებლის განტოლება

$$\omega_{\phi} = \frac{U}{K\Phi} \left[1 - \frac{I_{\phi}(R_{\ell} + R_{\text{აგ}} + R_{\phi})}{U} \right] \quad 2.31$$

გავყოთ 2.31 გამოსახულება 2.30-ზე და განვსაზღვროთ იქიდან ω_r

$$\omega_{\phi} = \omega_0 \frac{U - I_{\phi}(R_{\ell} + R_{\text{აგ}} + R_{\phi})}{U - I_{\phi}(R_{\ell} + R_{\text{აგ}})} \quad 2.32$$

სადაც ω_0 და ω_{ϕ} - შესაბამისად ბუნებრივი და რეოსტატული მახასიათებლების კუთური სიჩქარეებია.

2.30 ფორმულის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ქსელის ძაბვის შემცირებით მიღებული ხელოვნური მახასიათებლებიც განლაგდებიან ბუნებრივის ქვემოთ (ნახ. 2.16).

მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავები, ისევე როგორც დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავები, დენის მიხედვით შეიძლება გადაიტვირთონ, მოკლე ხნით, 2...2.5-ჯერ.

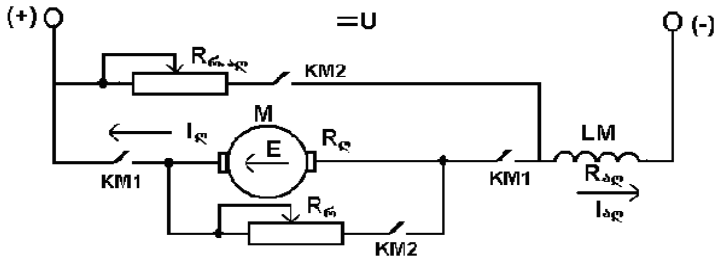
მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავების მომენტი იზრდება არა მარტო დენის ხარჯზე, არამედ ნაკადითაც. მაგნიტური ნაკადი დენის პროპორციული რომ ყოფილიყო, დენის ორჯერ გაზრდით მომენტი ოთხჯერ გაიზრდებოდა, მაგრამ, მაგნიტური წრედის გაჯერების გამო, მომენტი დაახლოებით სამჯერ იზრდება. დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავებში კი, სადაც მომენტი დენის პირდაპირპროპორციულია, დენის ორჯერ გაზრდით, მომენტიც ორჯერ იზრდება.

ყოველივე ამის გამო, მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავებს ფართოდ გამოიყენებენ საშახტო და სამრეწველო ელმავლების ელექტროამძრავებში. მთავარი მათი უპირატესობა სხვა ძრავებთან შედარებით ისაა, რომ შესაძლებელია საგრძნობი გამშვები მომენტის მიღება გაშვებისა და გადატვირთვის დროს.

მექანიკური მახასიათებლები სამუხრუჭე რეჟიმებში.

მიმდევრობით აგზნებიან ძრავებს ორი სამუხრუჭე რეჟიმი გააჩნიათ: დინამიკური და უკუჩართვითი. იმის გამო, რომ ასეთი ტიპის ძრავების მექანიკური მახასიათებლები სიჩქარის ღერძს არ გადაკვეთენ, ანუ შეუძლებელია მომენტის ნიშნის შეცვლა, რეკუპერაციული დამუხრუჭება ვერ განხორციელდება.

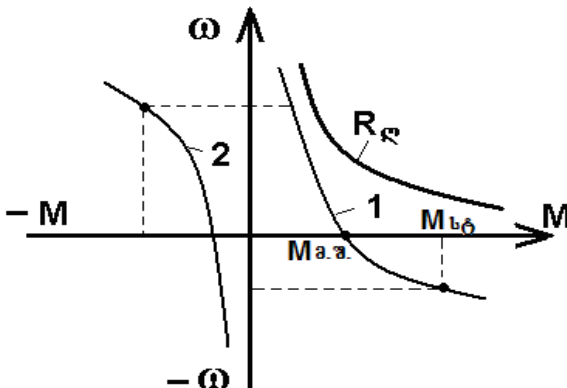
მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავების დინამიკური დამუხრუჭების ორი ხერხი არსებობს: დამოუკიდებელი აგზნებით და თვითაგზნებით. დამოუკიდებელი აგზნებით დამუხრუჭების სქემა მოცემულია 2.18 ნახ.-ზე. დამუხრუჭებისას გაიხსნებიან KM_1 კონტაქტები და ჩაიკეტებიან KM_2 . იმისათვის, რომ აგზნების გრაფილში დენი შეიზღუდოს ნომინალურ მნიშვნელობამდე, მას ჩართავენ ქსელში $R_{აგ}$ -ის მიმდევრობით. ასეთი სქემით ჩართვა სავსებით ანალოგიურია დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავის ჩართვის სქემისა იგივე რეჟიმში. დამუხრუჭების ამ ხერხის ძირითადი უარყოფითი მხარე, დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავასთან შედარებით, არის მნიშვნელოვანი ენერჯის ხარჯი.



ნახ. 2.18 მიმღევრობით აგზნებიანი მუდმივი ძრავას ჩართვის
სქემა დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში

თუკი დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავაში აგზნების გრავნილის სიმძლავრე ძრავას მთლიანი სიმძლავრის (0.5...3) %-ია, მიმღევრობით აგზნებიანში საჭირო სამუხრუჭო მომენტის მისაღებად აგზნების გრავნილში უნდა გაიაროს ნომნალური დენის ტოლმა სიდიდემ. ასე, რომ აგზნების წრედის სიმძლავრე თითქმის ძრავას ნომინალური სიმძლავრის ტოლია.

თვითაგზნებით დამუხრუჭებას პრაქტიკაში არ მიმართავენ.



ნახ. 2.19 მიმღევრობით აგზნებიანი ძრავას მექანიკური
მასსიათებლები უკუჩართვით დამუხრუჭების დროს

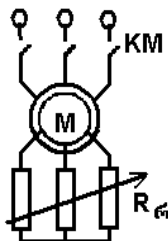
დამუხრუჭების უკუჩართვითი რეჟიმი მიმდევრობით აგზნებიან ძრავაში ხორციელდება დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მსგავსად, ანუ აქტიური მომენტის დროს, როცა $M_{სტ} > M_{გ.შ.}$ (1-მასხასიათებელი ნახ. 2.19 -ზე) ანდა ღუზის მომჭერებზე ძაბვის პოლარობის გადართვით (2- მასხასიათებელი ნახ. 2.19-ზე). როგორც დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავაში, უკუდენით დამუხრუჭების დროს, ღუზის წრედში უნდა ჩაირთოს დენის შემზღვეველი წინაღობა.

შერეულ აგზნებიან ძრავებს ძალზე იშვიათად გამოიყენებენ სამთო მრეწველობაში და ამის გამო, ისინი აქ არ განიხილება.

2.5 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მასხასიათებლები

ბუნებრივი მექანიკური მასხასიათებელი

ფაზურ როტორიანი ასინქრონული ძრავას ჩართვის სქემა მოცემულია ნახ. 2.20-ზე.

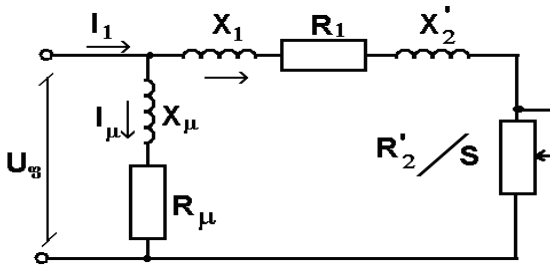


ნახ. 2.20 ასინქრონული ფაზურ როტორიანი ძრავას ჩართვის სქემა

მექანიკური მასასიათებლის განტოლების მისაღებად სარგებლობენ გამარტივებული ჩანაცვლების სქემით, რომელიც ნახ. 2.21-ზეა წარმოდგენილი.

აქ S - ასინქრონული ძრავის სრიალია;

$$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0 ; \quad 2.39$$



ნახ. 2.21 ასინქრონული ძრავას ჩანაცვლების სქემა (I_μ , R_μ და X_μ შესაბამისად დამაგნიტების კონტურის დენი, აქტიური და ინდუქტიური წინაღობა) ასეთი ექვივალენტური სქემისათვის საერთო წინაღობა

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2'/S)^2 + X_{გ.წ.}^2} \quad 2.40$$

სადაც R_1 , X_1 სტატორის აქტიური და ინდუქტიური წინაღობაა, ომი;

R_2' , X_2' როტორის ფაზის აქტიური და ინდუქტიური წინაღობაა, მიყვანილი სტატორთან, ომი;

$X_{გ.წ.} = X_1 + X_2'$ -- მოკლედ ჩართვის ინდუქტიური წინაღობა, ომი.

ძრავაში გამავალი დენი, დამაგნიტების დენის გაუთვალისწინებლად, ტოლია სტატორის გრაგნილზე დაყვანილი როტორის დენისა

$$I_1 \approx I_2' = \frac{U_{\text{ფ}}}{Z} = \frac{U_{\text{ფ}}}{\sqrt{(R_1 + R_2'/S)^2 + X_{\text{მ.წ.}}^2}} \quad 2.41$$

ძრავის ω_0 კუთხური სიჩქარით მბრუნავი მაგნიტური ველის მიერ როტორზე გადაცემულ სიმძლავრეს აქვს სახე

$$P_{\text{გმ}} = M_{\text{გმ}} \omega_0 \quad 2.42$$

სადაც $M_{\text{გმ}}$ - ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტია, ნმ.

ნაწილი ამ სიმძლავრისა იკარგება როტორის გრაგნილში, ხოლო დანარჩენი ნაწილი გარდაიქმნება მექანიკურ სიმძლავრედ

$$P = P_{\text{გმ}} - 3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \quad 2.43$$

თუ ჩავსვავთ 2.43-ში 2.42-ს და შევცვლით P -ს $M_{\text{გმ}} \omega$ -თი, მივიღებთ

$$M_{\text{გმ}} \cdot \omega = M_{\text{გმ}} \cdot \omega_0 - 3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' \quad 2.44$$

ხოლო 2.40-ის გათვალისწინებით გვექნება

$$M_{\text{გმ}} = \frac{3 \cdot I_2'^2 \cdot R_2'}{\omega_0 S} \quad 2.45$$

თუკი მექანიკურ დანაკარგებს, მათი სიმცირის გამო, მხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ ძრავის მიერ განვითარებული მომენტი $M = M_{\text{გმ}}$.

შევიტანოთ 2.45-ში ფორმულაში როტორის დენის მნიშვნელობა და მივიღებთ ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის განტოლებას

$$M = \frac{3U_{ფ}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot S \left[(R_1 + R'_2/S)^2 + X_{ფგ}^2 \right]} \quad 2.46$$

უკანასკნელი ფორმულის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ $M=f(S)$ ფუნქციას აქვს ორი მაქსიმუმი- ერთი ძრავულ რეჟიმში, მეორე გენერატორულში (რეკუპერაციულში). თუ ავიღებთ $dM/dS=0$, განვსაზღვრავთ სრიალის იმ კრიტიკულ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ელექტროძრავა განავითარებს მაქსიმალურ (კრიტიკულ) მომენტს

$$S_{კრ} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{ფგ}^2}} \quad 2.47$$

შევიტანოთ 2.47-დან $S_{კრ}$ -ის მნიშვნელობა 2.46 ფორმულაში და მივიღებთ მაქსიმალური მომენტის გამოსახულებას

$$M_{კრ} = \frac{3U_{ფ}^2}{2\omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{ფგ}^2} \right)} \quad 2.48$$

დადებითი ნიშანი აიღება ძრავული და უკუჩართვითი, ხოლო უარყოფითი-რეკუპერაციული რეჟიმების დროს.

თუ გავყოფთ 2.46 გამოსახულებას 2.48-ზე და გავითვალისწინებთ 2.47-ს, მივიღებთ მექანიკური მახასიათებლის ფორმულას უფრო მოსახერხებელი სახით

$$M = M_{კრ} \frac{2 + \alpha S_{კრ}}{S/S_{კრ} + S_{კრ}/S + \alpha S_{კრ}} \quad 2.49$$

სადაც $\alpha = 2 \cdot R_1/R'_2$

საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავებში (10-15 კვტ და ზემოთ), სტატორის აქტიური წინაღობის სიდიდე მისი სიმცირის გამო შეიძლება უგულებელვყოთ. მაშინ 2.49 გამოსახულება უფრო მოსახერხებელი და მარტივი გახდება

$$M = \frac{2M_{კრ}}{S/S_{კრ} + S_{კრ}/S} \quad 2.50$$

თუ 2.50-ში ჩავსვავთ $S=1$ ($n=0$), მივიღებთ ამუშავების მომენტის მნიშვნელობას

$$M_{აგ} = \frac{2M_{კრ}}{1/S_{კრ} + S_{კრ}} \quad 2.51$$

მაქსიმალური მომენტის ფარდობით ნომინალურთან, შეგვიძლია ვიმსჯელოთ ძრავას გადატვირთვის უნარიანობაზე. ამ ფარდობას უწოდებენ მაქსიმალური (კრიტიკული) მომენტის ჯერადობას-

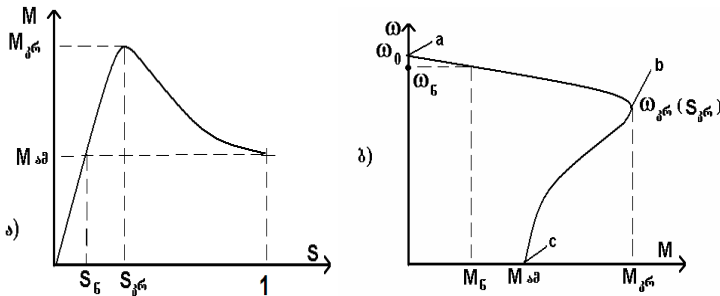
$$\lambda_{\zeta} = M_{კრ}/M_{\zeta}, \quad 2.52$$

საშახტო ამწევ მანქანებზე გამოყენებულ ფაზურ როტორიან ასინქრონულ ძრავებს აქვთ $\lambda_{\zeta} = 1.3 \dots 2.5$, ხოლო საშახტო მოკლედ შერთულ როტორიან ძრავებს - $\lambda_{\zeta} = 2.5 \dots 3.5$.

თუ შევიტანთ 2.50-ში M და S მიმდინარე მნიშვნელობების ნაცვლად ძრავას ნომინალურ სიდიდეებს, M_{Γ} და S_{Γ} , და გამოვიყენებთ 2.52-ს, მივიღებთ

$$S_{კრ} = S_{\Gamma} (\lambda_{\Gamma} + \sqrt{\lambda_{\Gamma}^2 - 1}) \quad 2.53$$

ნახ. 2.22 ა)-ზე წარმოდგენილია ასინქრონული ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი $M = f(S)$ ფუნქციის სახით. ხოლო ნახ. 2.22 ბ) -ზე $M = f(\omega)$ ფუნქციით.



ნახ. 2.22 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის მნიშვნელოვან წერტილებს წარმოადგენენ:

- 1) $S = 0; (\omega = \omega_0) \dots M = 0$ -- უქმი სვლის რეჟიმი;
- 2) $S = S_{\Gamma}; (\omega = \omega_{\Gamma}) \dots M = M_{\Gamma}$ -- ნომინალური რეჟიმი;
- 3) $S = S_{კრ}; (\omega = \omega_{კრ}) \dots M = M_{კრ}$ -- ძრავას მაქსიმალური (კრიტიკული) მომენტი;
- 4) $S = 1; (\omega = 0) \dots M = M_{აბ}$ -- ძრავას აბუშავების მომენტი.

როგორც 2.50 გამოსახულებიდან ჩანს, სრიალის მცირე სიდიდეების დროს ($S \ll S_{kr}$), მომენტისა და სრიალის დამოკიდებულება შეიძლება წრფივად ჩათვალოს (ab მონაკვეთი)

$$M = \frac{2M_{კრ}}{S_{კრ}} S \quad 2.54$$

მახასიათებლის ამ ნაწილს უწოდებენ მუშა ანუ მდგრად უბანს. როდესაც $S \gg S_{კრ}$, მომენტის გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$M = \frac{2M_{კრ}}{S} S_{კრ} \text{ ,} \quad 2.55$$

მივიღეთ ჰიპერბოლას განტოლება (bc მონაკვეთი). მახასიათებლის ამ ნაწილს უწოდებენ არამდგრად (არამუშა) უბანს და ამ უბნით მუშაობს ძრავა მხოლოდ ამუშავების პროცესში.

ზემოთ განხილული მახასიათებლები ბუნებრივი მახასიათებლებია და ისინი აიგებიან შემდეგი თანმიმდევრობით. ძრავას საპასპორტო მონაცემებია: ნომინალური სიმძლავრე $-P_{\zeta}$, კვტ; ნომინალური ბრუნვის სიხშირე $-n_{\zeta}$, ბრ/წთ; გადატვირთვის კოეფიციენტი - $\lambda_{\zeta} = M_{კრ}/M_{\zeta}$; წვეილ პოლუსთა რიცხვი - p).

განისაზღვრება: $\left(\omega = \frac{\pi n}{30} \right)$

1) ძრავას ნომინალური სრიალი- $S_{\zeta} = 1 - \omega_{\zeta} / \omega_0$

სადაც $\omega_0 = 2\pi f/p$ -სტატორის ელექტრომანიტური ველის ბრუნვის სიხშირეა, ხოლო $f = 50$ ჰრ ქსელის სიხშირე;

2) ძრავას კრიტიკული სრიალი - $S_{კრ} = S_{\epsilon}(\lambda_{\epsilon} + \sqrt{\lambda_{\epsilon}^2 - 1})$

3) ძრავას ნომინალური მომენტი

$$M_{\epsilon} = 9550P_{\epsilon}/n_{\epsilon} = P_{\epsilon} 10^3 / \omega_{\epsilon}, \text{ ნმ}$$

4) ძრავას მაქსიმალური (კრიტიკული) მომენტი

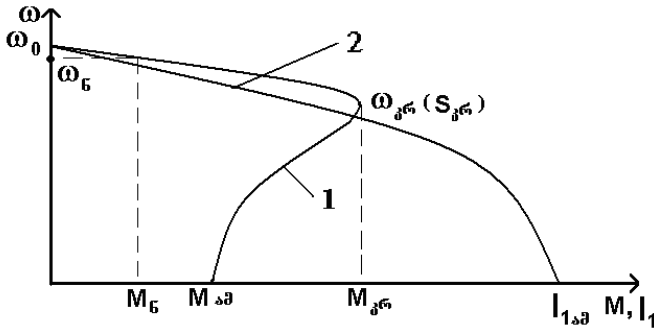
$$M_{კრ} = M_{\epsilon} \lambda_{\epsilon}$$

ამის შემდეგ სრიალს მისცემენ სხვადასხვა მნიშვნელობებს 1-დან 0-მდე და 2.50 ფორმულით ააგებენ ასინქრონული ძრავას ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელს $M=f(S)$ კოორდინატებში.

მნიშვნელოვანი კონსტრუქციული პარამეტრები, რომლებითაც ხასიათდებიან ელექტროამძრავის მოკლედ შერთულ როტორიანი ძრავები, არის საწყისი ამუშავების მომენტისა და დენის ჯერადობები ($K_m = M_{კრ} / M_{\epsilon}$ და $K_i = I_{კრ} / I_{\epsilon}$). ნახ. 2.23 – ზე მოყვანილია ძრავას ბუნებრივი ელექტრომექანიკური და მექანიკური მახასიათებლები.

ამ მახასიათებლების შედარებიდან ჩანს, რომ მოკლედ შერთული როტორიანი ძრავა ქსელიდან მოითხოვს მნიშვნელოვან ამუშავების დენს, იმ დროს, როცა ამუშავების მომენტის სიდიდე შედარებით მცირე სიდიდეა. ეს მოვლენა აიხსნება იმით, რომ ამუშავების დროს სტატორის წინაღობა თითქმის მთლიანად

ინლექციურია და ამის გამო მცირეა დენის აქტიური მდგენელი, რომელიც განსაზღვრავს ძრავას მომენტის სიდიდეს.



ნახ. 2.23 მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავას მექანიკური (1) და ელექტრომექანიკური (2) მახასიათებლები

მოკლედ შერთულ როტორიანი ძრავას საწყისი ამუშავების მომენტის ჯერადობა

$$K_m = M_{აგ} / M_გ = 1 \dots 2 \quad 2.56$$

ხოლო საწყისი, ამუშავების დენის ჯერადობა

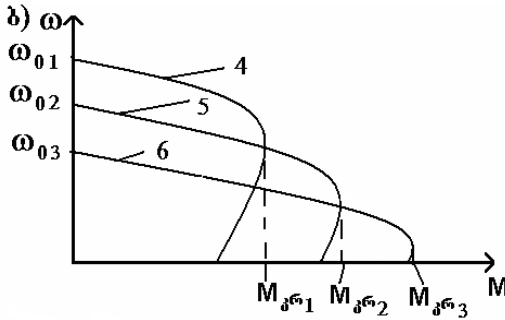
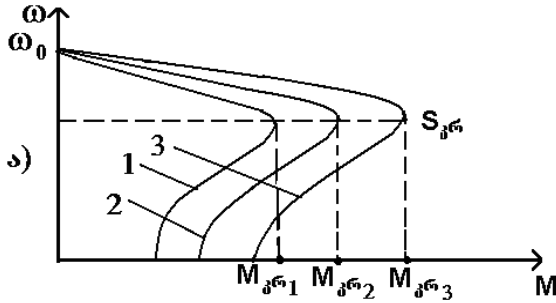
$$K_i = I_{აგ} / I_გ = 5 \dots 7 \quad 2.57$$

იმისთვის, რომ შეამცირონ ამუშავების დენის მნიშვნელობა და პირიქით, გაზარდონ ამუშავების მომენტი, ამზადებენ სპეციალური შესრულების მოკლედ შერთულ როტორიან ძრავებს: ღრმად ღრმულებიანი როტორით ან ორმაგი გრავნილიანი როტორით. ასეთი ტიპის ძრავები ფართოდ გამოიყენება შახტებში, მათი $K_m = 1.2 - 2.5$ და $K_i = 3.5 - 6.0$.

ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები. ზემოთ განხილული ასინქრონული ძრავების ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი გაანგარიშებული იქნა იმ პირობით, რომ ქსელის ძაბვა და სიხშირე ნომინალურია, ხოლო სტატორისა და როტორის წრედში არ არის ჩართული დამატებითი წინაღობა. საწარმოო პირობებში კი, ქსელის გადატვირთვის გამო, ძაბვისა და სიხშირის მნიშვნელობანი ხშირად იხრებიან ნომინალურიდან, ხოლო ამძრავის სიჩქარის რეგულირებისათვის ან ამუშავების დენის შეზღუდვისათვის ძრავას წრედში ჩართავენ აქტიურ ან ინდუქციურ წინაღობებს.

განვიხილოთ ქსელის ძაბვის გავლენა ძრავას მექანიკურ მახასიათებელზე.

როგორც 2.46 და 2.48 გამოსახულებებიდან ჩანს, სრიალის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი ძაბვის კვადრატის პროპორციულია. ამის გამო, ასინქრონული ძრავა მეტად მეძნობიარეა ძაბვის მერყეობის მიმართ. რადგანაც ძრავას სინქრონული კუთხური სიჩქარე და სრიალის კრიტიკული მნიშვნელობა (2.40 და 2.47) არ არის დამოკიდებული ქსელის ძაბვაზე, ხელოვნურ მახასიათებლებს ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს აქვთ ნახ. 2.24 ა)-ზე წარმოდგენილი სახე. იმისათვის, რომ აიგოს ხელოვნური მექანიკური მახასიათებლები ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის, საჭიროა ჯერ აიგოს ბუნებრივი მახასიათებელი და შემდეგ $M_b = M_c (U_b / U_c)^2$ დამოკიდებულებით აიგება ხელოვნური მახასიათებლები.



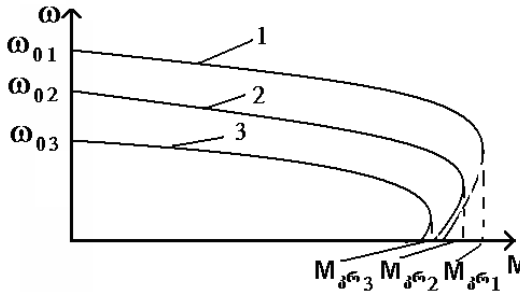
ნახ. 2.24 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები
სხვადასხვა დაბვისა (ა) და სიხშირის (ბ) დროს

როგორც 2.40 ფორმულიდან ჩანს, ძრავას სინქრონული კუთხური სიხშირე პირდაპირპროპორციულია დაბვის სიხშირისა. თუ არ მივიღებთ მხედველობაში სტატორის აქტიურ წინაღობას, (იხ. 2.47), კრიტიკული სრიალის მნიშვნელობა უკუპროპორციულია დაბვის სიხშირისა - $S_{კრ.წ} / S_{კრ.წ} = f_წ / f_გ$. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ძრავას მაქსიმალური მომენტი იცვლება, როგორც დაბვის, ისე დაბვის სიხშირის ცვლილებით. პრაქტიკულად, მაქსიმალური მომენტის მუდმივად შენარჩუნებაა საჭირო. ამისათვის ცვლიან ერთდროულად, როგორც ქსელის დაბვას, ასევე დაბვის

სიხშირეს ისეთი კანონით, რომ ფარდობა ქსელის ძაბვისა დენის სიხშირესთან იყოს მუდმივი სიდიდე, ანუ

$$U_{ფ} / f = \text{const} \quad 2.58$$

ასეთ შემთხვევაში მაქსიმალური მომენტი შეიცვლება უმნიშვნელოდ და მახასიათებლებს ექნებათ სახე (ნახ.2.25)



ნახ. 2.25 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები ძაბვისა და სიხშირის $U/f=\text{const}$ კანონით რეგულირებისას

განვიხილოთ როტორის წრედში ჩართული რეოსტატის წინააღობის გავლენა მახასიათებლის ფორმაზე. თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სტატორის აქტიურ წინააღობას, კრიტიკული სრიალის მნიშვნელობა ხელოვნურ მახასიათებელზე იქნება

$$S_{კრ.ხ} = (R'_2 + R'_r) / X_{კრ} \quad 2.59$$

ხოლო ბუნებრივზე --

$$S_{კრ} = R'_2 / X_{კრ} \quad 2.60$$

გავყთ ბოლო ფორმულები ერთმანეთზე და გვექნება

$$S_{კრ.ხ} = S_{კრ} (R'_2 + R'_r) / R'_2 = S_{კრ} (R_2 + R_r) / R_2, \quad 2.61$$

სადაც R_2 - როტორის წრედში ჩართული რეოსტატის წინააღ-

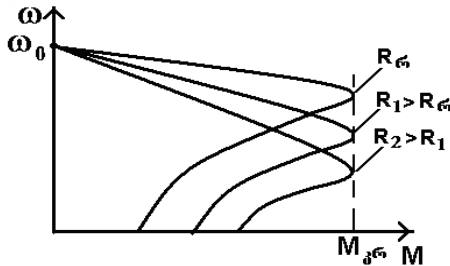
ბა. ეს დამოკიდებულება სამართლიანია სრიალის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის.

ამგვარად, შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ სრიალის სიდიდე, ერთი და იგივე მომენტის დროს, ხელოვნურ მახასიათებელზე იმდენჯერ მეტია ბუნებრივი მახასიათებლის შესაბამის სრიალზე, რამდენჯერაც მეტია როტორის სრული წინაღობა ($R_2 + R_r$) როტორის გრაგნილის (R_r) წინააღობაზე. ეს უკანასკნელი კი გამოითვლება ფორმულით

$$R_{\text{როტ}} = E_{2\epsilon} \cdot S_{\epsilon} / (\sqrt{3}I_{2\epsilon}) \quad 2.62$$

სადაც $I_{2\epsilon}$ -- როტორის ნომინალური ღებია, ა; ხოლო $E_{2\epsilon}$ -- როტორის ე.მ.ძ. , ვ. მათი სიდიდეები ძრავებისათვის მოცემულია კატალოგში.

პრაქტიკულად, $E_{2\epsilon}$ ძაბვაა უძრავი, გახსნილწრედინანი როტორის რგოლებს შორის, როცა სტატორი ჩართულია ნომინალურ (U_{ϵ} და f_{ϵ}) პარამეტრებიან ქსელში. მახასიათებლები რეოსტატის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს მოყვანილია ნახ. 2.26-ზე.



ნახ. 2.26 მექანიკური მახასიათებლები როტორის წრედში სხვადასხვა აქტიური წინააღმდეგობების დროს

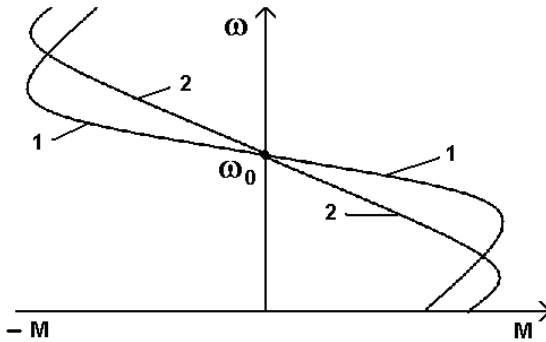
მექანიკური მახასიათებლები სამუხრუჭე რეჟიმებში.

ასინქრონულ ძრავებში შესაძლებელია განხორციელდეს სამივე სახის სამუხრუჭე რეჟიმი: რეკუპერაციული, დინამიკური და უკუჩართვითი.

რეკუპერაციული დამუხრუჭება. რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმი წარმოიშება მაშინ, როცა ძრავას როტორის კუთხური სიჩქარე მეტი აღმოჩნდება სინქრონულზე და იბრუნებს იმავე მიმართულებით, რა მიმართულებითაც ბრუნავს სტატორის ელმაგნტური ველი. რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს როტორის მომენტსა და ღენს აქვთ უარყოფითი მნიშვნელობა, მანქანა მუშაობს ასინქრონული გენერატორის რეჟიმში და აგზავნის ქსელში ელენერგიას ჩამავალი ტვირთის მექანიკური ენერგიის ხარჯზე. ძრავას მომენტი, რომელსაც უარყოფითი მნიშვნელობა აქვს, დამამუხრუჭებლად მოქმედებს ჩამავალ ტვირთზე და როდესაც ძრავას მომენტი და ჩამავალი ტვირთის წონით გამოწვეული მომენტი ერთმანეთს გაუტოლდება, ტვირთი ეშვება თანაბარი სიჩქარით. ამ რეჟიმის მექანიკური მახასიათებლები წარმოადგენენ ძრავული რეჟიმის გაგრძელებას და მოთავსებულნი არიან მეორე კვადრანტში (ნახ. 3.27). როგორც 2.48 განტოლებიდან ჩანს, კრიტიკული (მაქსიმალური) მომენტის მნიშვნელობა რეკუპერაციულ რეჟიმში მეტია ძრავული რეჟიმის კრიტიკულ მომენტზე. როტორის წრედის აქტიური წინაღობის გაზრდით, ძრავას სიჩქარე რეკუპერაციულ დამუხრუჭების რეჟიმში იზრდება და შეიძლება დასაშვებს გადააჭარბოს. ამის გამო, რეკუპერაციული დამუხრუჭება მიზანშეწონილია

განხორციელდეს ბუნებრივი მახასიათებლით. ამ რეჟიმში, სრიალის მნიშვნელობა, რადგანაც $\omega > \omega_0$, ყოველთვის უარყოფითი სიდიდეა

$$S = (\omega_0 - \omega)/\omega_0 = -(\omega - \omega_0)/\omega_0$$



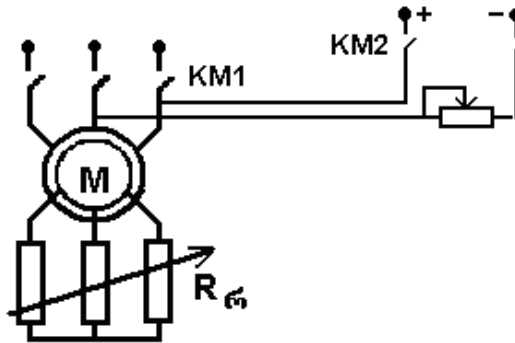
ნახ. 2.27 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს: 1. $R_{\text{გ}}=0$ და 2. $R_{\text{გ}} \neq 0$

დინამიკური დამუხრუჭება. დამუხრუჭების ეს ხერხი შეიძლება განხორციელდეს სტატორის გრაგნილის მუდმივი დენის წყაროსთან მიერთებით. ამისათვის, ასინქრონული ძრავას სტატორს, დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმის განხორციელებისათვის, გამორთავენ ცვლადი დენის წრედიდან და მიუერთებენ მუდმივი დენის წყაროს (ნახ. 2.28). ამასთან, როტორის წრედში ჩართულია რეოსტატი სხვადასხვა სამუხრუჭე მახასიათებლის მისაღებად.

სტატორის გრაგნილში გამავალი მუდმივი დენი შექმნის უძრავ ელექტრომაგნიტურ ველს. როტორის ბრუნვისას მის გრაგნი-

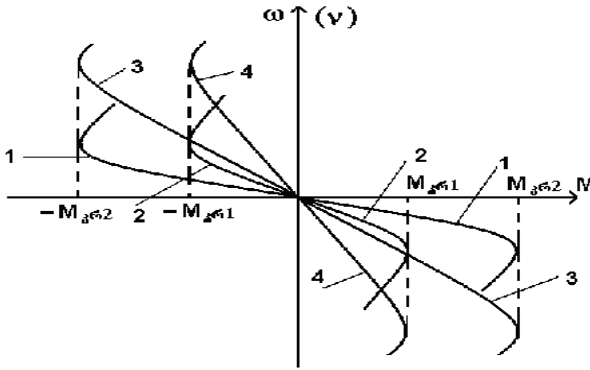
ლებში დაინდუქტირდება ე.მ.ძ., რომელიც როტორში წარმოშობს ცვლად დენს და რომელიც, თავის მხრივ, შექმნის ელექტრომაგნიტურ ველს. ეს ველი სტატორის მიმართ უძრავია. ჯამური მაგნიტური ნაკადის ხარჯზე წარმოიქმნება ძრავას მამუხრუჭებელი მომენტი. ნახ. 2.28-ზე წარმოდგენილი სტატორის ჩართვის ელექტრული სქემა ყველაზე მარტივი, ეფექტური და გავრცელებული სქემაა არსებული დინამიკური დამუხრუჭების სქემებიდან.



ნახ. 2.28 ასინქრონული ფაზურ როტორიანი ძრავას ჩართვის სქემა დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში

დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლები მსგავსია ძრავული რეჟიმის მექანიკური მახასიათებლებისა. განსხვავება მათ შორის ისაა, რომ დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლები გადიან კოორდინატთა სათავეში, რადგანაც სიჩქარეების ნულოვანი მნიშვნელობების დროს, სამუხრუჭე მომენტიც ნულის ტოლია.

ძრავულ და სამუხრუჭე რეჟიმში მექანიკური მახასიათებლების მსგავსებას ამტკიცებს სამუხრუჭე მახასიათებლის განტოლებაც



ნახ. 2.29 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში

$$M = \frac{2M_{კრ.დ}}{v/v_{კრ} + v_{კრ}/v}. \quad 2.63$$

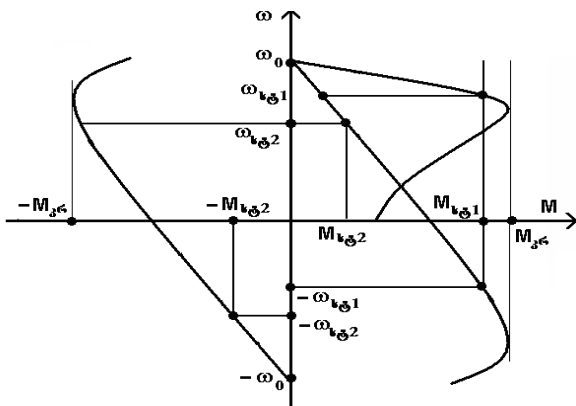
ამ ფორმულით სარგებლობენ, როცა სურთ ააგონ დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებელი. $M_{კრ.დ}$ და $v_{კრ}$ სიდიდეები განისაზღვრება ელექტროამბრავისათვის წაყენებული პირობებით ($v = \omega / \omega_0$).

დინამიკური დამუხრუჭების მექანიკური მახასიათებლები როტორის ორი სხვადასხვა წინაღობისათვის და სტატორში გამავალი მუდმივი დენის ორი მნიშვნელობისათვის მოყვანილია ნახ. 2.29-ზე. 1 და 2 მახასიათებელი შეესაბამება როტორის ერთი და იმავე წინაღობას სტატორის დენის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის და 3 და 4 იგივე დენების მნიშვნელობებისათვის, როტორის უფრო დიდი წინაღობების დროს.

უკუჩართვით დამუხრუჭება. ასინქრონულ ძრავებში უკუჩართვით დამუხრუჭების რეჟიმი, მსგავსად მუდმივი დენის ძრავებისა, შეიძლება განხორციელდეს :

- ან ჩამავალი ტვირთის დატვირთვის მომენტის ხარჯზე, როცა $M_{სტ} > M_{აგ}$ და როტორის წრედში საკმაოდ დიდი წინაღობაა ჩართული (ნახ. 2.30, I და IV კვადრანტი),

- ან ერთი მიმართულებით ინერციით მბრუნავ ძრავაში მომჭერების სწრაფი გადართვით საწინააღმდეგო ბრუნვის მიმართულების ჩართვაზე ძრავას სრულ გაჩერებამდე (ნახ. 2.30, II და III კვადრანტი).



ნახ. 2.30 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები უკუჩართვით დამუხრუჭების რეჟიმში

როტორის წრედში, უკუჩართვის დამუხრუჭების რეჟიმში, ჩართვა რეოსტატი საჭირო მომენტის მისაღებად და დენის შესაზღუდად. დენი ამ რეჟიმში იზრდება იმის გამო, რომ სტატორის ელმაგნიტური ველი და როტორი ბრუნავენ საპირისპირო მიმართუ-

ლებით. სრიალის მნიშვნელობა უკუჩართვის რეჟიმში ერთზე მეტია, რადგანაც

$$S = [\omega_0 - (-\omega)]/\omega_0 = (\omega_0 + \omega)/\omega_0$$

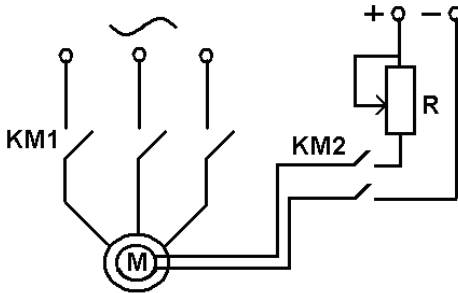
ამ რეჟიმის დადებით მხარეს მიეკუთვნება სქემის სიმარტივე (რევერსიული ამპრავის დროს არავითარი დამატებითი აპარატურა საჭირო არ არის), საკმაო სამუხრუჭო მომენტის განვითარების საშუალება სინქარის ნებისმიერი მნიშვნელობის დროს, თვით $\omega = 0$ -ის დროსაც.

უარყოფითი მხარეებია: 1) ენერჯის დიდი დანაკარგები, მსგავსად მუდმივი დენის ძრავას უკუდენითი დამუხრუჭების რეჟიმისა; 2) არასიმდლოვრე ერთი მახასიათებლიდან მეორეზე გადასვლისას (რეოსტატით რეგულირებისას).

2.6 სინქრონული ძრავას მექანიკური

მახასიათებლები

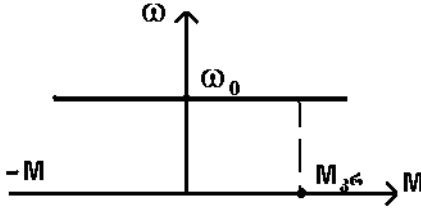
სინქრონული ძრავების კუთხური სინქარე არ არის დამოკიდებული დატვირთვის სიდიდეზე. იგი დამოკიდებულია მხოლოდ ქსელის სიხშირესა და ძრავას წყვილ პოლუსთა რიცხვზე. სინქრონული ძრავა წარმოადგენს მანქანას, რომლის სტატორი იკვებება ცვლადი დენის ქსელიდან, ხოლო როტორის გრაგნილი - მუდმივი დენის წყაროდან (ნახ. 2.31).



ნახ. 2.31 სინქრონული ძრავას ჩართვის სქემა

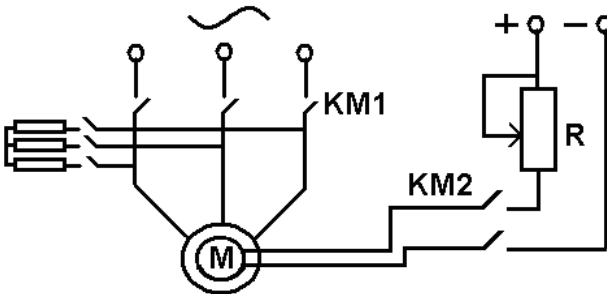
სინქრონული ძრავების ერთ-ერთი დადებითი მხარე არის წინსწრებითი სიმძლავრის კოეფიციენტის არსებობა, ხოლო უარყოფითი -შედარებით რთული ამუშავების რეჟიმი, ვიდრე ასინქრონული ძრავასი. ამის გამო, სინქრონულ ძრავებს გამოიყენებენ საშუალო და დიდი სიმძლავრის მექანიზმებისათვის, სადაც საჭირო არ არის ხშირი ჩართვები და ბრუნვათა რიცხვის რეგულირება. სამთო მრეწველობაში სინქრონულ ძრავებს გამოიყენებენ წყალამოსადგვერელ, სავენტილატორო და საკომპრესორო დანადგარებში, აგრეთვე საშუალო და დიდი მწარმოებლობის ექსკავატორებსა და დიდი სიმძლავრის ამწვევ მანქანებში, გენერატორის ამძრავ მანქანად და სხვ.

რადგანაც სინქრონულ ძრავაში კუთხური სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მომენტის ცვალებადობაზე (დასაშვები დენის სიდიდეზე), ამიტომ მექანიკური მახასიათებელი წარმოადგენს აბსიცათა ღერძის პარალელურ ხაზს (ნახ. 2.32). ძრავის გადატვირთვის კოეფიციენტი λ შეადგენს $\lambda = 2 \dots 2.5$.



ნახ. 2.32 სინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებელი

სინქრონული ძრავას დამუხრუჭება შესაძლებელია დინამიკური დამუხრუჭებითა და აგრეთვე უკუჩართვითი რეჟიმით. დინამიკური დამუხრუჭების დროს სტატორის გრავნილი ამოირთვება ქსელიდან და მიერთდება რეოსტატზე (ნახ. 2.33), როტორის აგზნების გრავნილი რჩება მუდმივი დენის წყაროსთან მიერთებული. ამასთან, მანქანის ტუშაობის რეჟიმი ანალოგიურია ასინქრონული ძრავას დინამიკური დამუხრუჭებისა. სინქრონული ძრავას დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმს მიმართავენ ვენტილატორების ამძრავებში. უკუჩართვითი დამუხრუჭების რეჟიმს სინქრონულ ძრავებისათვის პრაქტიკულად არ გამოიყენებენ.



ნახ. 2.33 სინქრონული ძრავას დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმი

რეკუპერაციულ დამუხრუჭებას, მსგავსად უკუდენითი დამუხრუჭების რეჟიმისა, პრაქტიკულად არ მიმართავენ.

თავი III

გარდამავალი პროცესები ელექტროამძრავში

3.1 საერთო ცნებები ელექტროამძრავებში მიმდინარე

გარდამავალ პროცესებზე

საწარმოო მანქანების უმეტესობა მუშაობს აღმასრულებელი ორგანოს ცვალებადი დატვირთვითა და სინქრით. ყოველი მანქანის მუშაობა იწყება მისი ამუშავებით, ხოლო მთავრდება - დაბურვებით. ყველა შემთხვევაში ხდება მუშაობის ერთი რეჟიმიდან მეორეში გადასვლა. ელექტრომექანიკურ სისტემებში არსებული ინერციების გამო ეს გადასვლები გარკვეული დროის განმავლობაში მიმდინარეობს.

ელექტროამძრავის გადასვლის პროცესს, ერთი დამყარებული მუშაობის რეჟიმიდან მეორეში, გ ა რ დ ა მ ა ვ ა ლ პროცესს უწოდებენ.

გარდამავალი პროცესის დროს იცვლება ძრავას მომენტი, სინქრე, სიმძლავრე, დენი და ტემპერატურა, ამან კი შეიძლება გამოიწვიოს ქსელში ძაბვის ვარდნა.

ელექტროამძრავის მუშაობის დროს მასში შეიძლება დაგროვდეს და გაიცეს სხვადასხვა სახის ენერგია: მექანიკური - ამძრავის ყოველ მოძრავ ნაწილში; ელექტრომაგნიტური - ელექტრომანქანების გრაგნილებში; თბური - მართვის აპარატურასა და ელექტრომანქანებში.

ამის შესაბამისად, ელექტროამძრავში განიხილავენ შემდეგ სახის გარდამავალ პროცესებს:

1) მექანიკური - ითვალისწინებს სისტემის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ცვლილებას;

2) ელმაგნიტური - ითვალისწინებს ელექტრომაგნიტური ენერგიის ცვლილებას;

3) თბური - ითვალისწინებს თბური ენერგიის მარაგის ცვლილებას

პრაქტიკულად, ელექტროამპრაგის მუშაობის დროს, სამივე სახის გარდამავალი პროცესი ერთდროულად მიმდინარეობს, მაგრამ მათი ხანგრძლიობა და მოქმედების ხასიათი ელექტროამპრაგზე სახვადასხვაა.

გარდამავალი პროცესების ანალიზი დაიყვანება სისტემის ძირითადი ელექტრული და მექანიკური სიდიდეების დროში ცვალებადობის კანონის განსაზღვრაში.

გარდამავალი პროცესის გამოკვლევისათვის, პირველ რიგში, აუცილებელია დიფერენციალური განტოლების შედგენა. ამ განტოლების ამოხსნა, მოცემული საწყისი პირობებისათვის, აღწერს სისტემის ქცევას როგორც გარდამავალ, ისე დამყარებულ რეჟიმში. როგორც წესი, ელექტროამპრაგის ყველა სისტემები წარმოადგენენ არაწრფივ სისტემებს, რომელთა ანალიზი დაკავშირებულია დიდ სიძნელებთან. ამჟამად, გარდამავალი პროცესის კვლევისათვის მიმართავენ მათემატიკურ მოდელირებას გამომთვლელი მანქანის საშუალებით.

ქვემოთ განიხილება ელექტროამპრაგებში მიმდინარე სხვა-

დასხვა სახის გარდამავალი პროცესების კერძო შემთხვევები, რომელთა ანალიზი, გარკვეული დაშვებებით, შესაძლებელია და პრაქტიკულ ინტერესს იწვევს.

3.2 მექანიკური გარდამავალი პროცესები ელექტროძრავას წრფივი მექანიკური მახასიათებლისა და უცვლელი დატვირთვის დროს

წრფივი მექანიკური მახასიათებელი გააჩნია ასინქრონულ ფაზურ როტორიან ძრავას მახასიათებლის მდგრად შტოზე და მუდმივი დენის დამოუკიდებელ (პარალელურ) აგზნებიან ძრავას.

ამოცანის მიზანია ელექტროამძრავის ამუშავებისა და დაბუხრუჭების პროცესში განისაზღვროს სიჩქარის, მომენტისა და დენის ცვლილების კანონი. ამისათვის საჭიროა მოძრაობის ამსახველი განტოლების შედგენა.

მოძრაობის ძირითად განტოლებაში (1.7)

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_{სტ}$$

განვსაზღვროთ M მომენტის მნიშვნელობა.

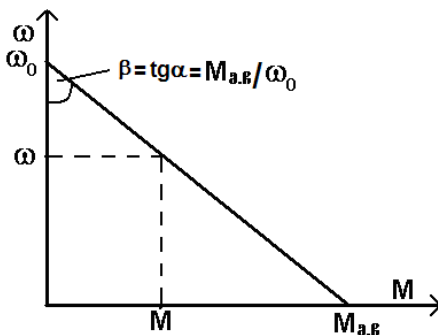
ნახ. 3.1-დან, სამკუთხედების მსგავსობიდან გამომდინარე

$$\frac{M_{ა.ჩ.} - M}{\omega} = \frac{M_{ა.ჩ.}}{\omega_0}$$

$$\text{საიდანაც} - M = M_{ა.ჩ.} \left(1 - \frac{\omega}{\omega_0} \right), \quad 3.1$$

სადაც - $M_{ა.ჩ.}$ -- ძრავას მიერ განვითარებული მომენტია ნულოვანი სიჩქარის დროს ($\omega=0$), ნ.მ;

$$\beta\beta = \frac{M_{ა.ჩ.}}{\omega_0} - \text{მექანიკური მასხასიათებელი სიხისტე, ნმ.წმ;}$$



ნახ. 3.1 წრფივი მექანიკური მასხასიათებელი

თუ ჩავსვავთ მომენტის მნიშვნელობას 3.1 ფორმულიდან მოძრაობის ძირითად განტოლებაში, მივიღებთ

$$J \frac{d\omega}{dt} + \beta\omega = M_{ა.ჩ.} - M_{სტ} \quad 3.2$$

გავყოთ განტოლების ორივე მხარე β -ზე და გვექნება

$$T_M \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{ლაგ} \quad 3.3$$

სადაც $T = J/\beta = J\omega_0 / M_{გ.წ.}$ - ელექტროამპრავის დროის მუდმივაა, წმ;

$$\omega_{დამ} = \frac{M_{გ.წ.} - M_{სტ}}{\beta} \text{ - კუთხური სიჩქარის დამყარე-}$$

ბული მნიშვნელობა, რად/წმ.

ელექტროამპრავის დროის მუდმივა არის ის დრო, რომლის განმავლობაშიც დაუტვირთავი ელექტროძრავა, გაქანდება უძრავი მდგომარეობიდან ω_0 კუთხურ სიჩქარემდე, როცა მისი მომენტი უცვლელია და ტოლია $M_{გ.წ.}$ მომენტისა.

3.1 ნახაზიდან (თუ გავითვალისწინებთ, რომ მიმდინარე კოორდინატები შეიძლება შევცვალოთ ნომინალური მნიშვნელობებით)

$$\beta_{წომ} = \frac{M_{წომ}}{\omega_0 - \omega_{წომ}} \quad 3.4$$

და თუ გავითვალისწინებთ ასევე, რომ ცვლადი დენის ძრავებში

$$S_{წომ} = (\omega_0 - \omega_{წომ})/a \quad 3.5$$

ელექტროამპრავის დროის მექანიკური მუდმივა ფაზურ როტორიანი ასიქრონული ძრავასათვის გამოითვლება ფორმულით

$$T_M = J \frac{\omega_0 S_{წომ}}{M_{წომ}} \quad 3.6$$

3.3 პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი

$$\omega = \omega(0) \cdot \exp(-t/T_M) + \omega_{\text{დამ}}(1 - \exp(-t/T_M)) \quad 3.7$$

სადაც $\omega(0)$ - ძრავას საწყისი კუთხური სიჩქარეა.

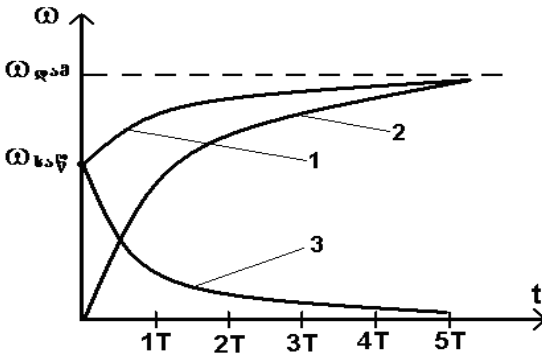
კერძო შემთხვევაში, როცა $\omega(0) = 0$

$$\omega = \omega_{\text{დამ}}(1 - \exp(-t/T_M)), \quad 3.8$$

დამუხრუჭების დროს კი -

$$\omega = \omega(0) \cdot \exp(-t/T_M) \quad 3.9$$

როგორც 3.7, 3.8 და 3.9 გამოსახულებებიდან ჩანს, ამძრავის კუთხური სიჩქარის ცვლილება ექსპონენციალური კანონით მიმდინარეობს (ნახ. 3.2)



ნახ. 3.2 კუთხური სიჩქარის ცვლილების გრაფიკი გარდამავალ პერიოდში

1-აჩქარება, $\omega_{\text{საწყ}} \neq 0$; 2- აჩქარება, $\omega_{\text{საწყ}} = 0$; 3- შენელება

კუთხური სიჩქარის ცვლილების დრო, 3.7 ფორმულიდან

$$t = T_M \ln \frac{\omega(0) - \omega_{\text{დამ}}}{\omega - \omega_{\text{დამ}}} \quad 3.10$$

გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა, როგორც 3.10 ფორმულიდან ჩანს, თეორიულად უსასრულობის ტოლია, რადგანაც როცა $\omega \rightarrow \omega_{ღამ}$, მაშინ $t \rightarrow \infty$; პრაქტიკულად გარდამავალი პროცესი დასრულებულად ითვლება $t = (4 \dots 5) T_M$ -ის შემდეგ, რადგანაც ამ დროს განსხვავება ძრავას რეალურ კუთხურ სიჩქარესა და დამყარებულ ბრუნვის სიჩქარეს შორის (0.7--1.8)%-ია, რაც სავსებით დასაშვებია პრაქტიკული ანგარიშისათვის.

გარდამავალი პროცესის დასასრულს, როცა $\frac{d\omega}{dt} \rightarrow 0$, ძრავას კუთხური სიჩქარე გაუტოლდება დამყარებულს

$$\omega = \omega_{ღამ} = \frac{M_{მ.ჩ} - M_{სტ}}{\beta} = \omega_0 - \frac{M_{სტ}}{\beta} \quad 3.11$$

წრფივი მექანიკური მახასიათებლის დროს, დამოკიდებულება ძრავას მიერ განვითარებულ მომენტსა და კუთხურ სიჩქარეს შორის გამოისახება ფორმულით

$$\omega = \frac{M_{მ.ჩ} - M}{\beta} ; \quad 3.12$$

$$\omega(0) = \frac{M_{მ.ჩ} - M(0)}{\beta} ; \quad 3.13$$

$$\omega_{ღამ} = \frac{M_{მ.ჩ} - M_{ღამ}}{\beta} . \quad 3.14$$

ამ უკანასკნელთა გათვალისწინებით მივიღებთ ძრავას მიერ განვითარებული მომენტის ცვლილების კანონს დროში

$$M = M(0) \cdot \exp(-t/T_M) + M_{\text{ღამ}}(1 - \exp(-t/T_M)) \quad 3.15$$

მუდმივი ღენის დამოუკიდებელ აგზნებიან პრაგებში, სადაც განვითარებული მომენტი ღუზის ღენის პროპორციულია, 3.15-ის გათვალისწინებით შეიძლება დაიწეროს

$$I = I(0) \cdot \exp(-t/T_M) + I_{\text{ღამ}}(1 - \exp(-t/T_M)) \quad 3.16$$

გარდამავალი პროცესის მრუდეებსაც ექსპონენციალური სახე ექნებათ.

როგორც მექანიკური ღროის მუდმივას განმსაზღვრელი ფორმულიდან ჩანს, გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა პირდაპირპროპორციულია სისტემის დაყვანილი ინერციის მომენტისა და უკუპროპორციულია პრავის მიერ განვითარებული მომენტისა. ამიტომ, მწარმოებლობის გაზრდის მიზნით ცდილობენ, შესაძლებლობის ფარგლებში, შეამცირონ ინერციის მომენტის მნიშვნელობა და გაზარდონ ამამუშავებელი მომენტი.

ამრიგად, წრფივ მახასიათებლიანი ამძრავის მექანიკური გარდამავალი პროცესის განმსაზღვრელი კანონი შეიძლება მივიღოთ ანალიზური გზით. იმ შემთხვევაში, როცა მექანიკური მახასიათებელი არაწრფივია და წინააღმდეგობის მომენტი არ არის მუდმივი, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ მათემატიკური მოდელირება გამომთვლელი მანქანის საშუალებით.

3.3 ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები

ელექტრულ მანქანებში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები განპირობებულია მისი წრედების ინდუქციურობითა და მასში გამავალი დენის კვადრატის პროპორციული ელექტრომაგნიტური ენერჯიის ცვლილებით. რადგანაც ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების ხანგრძლივობა ასინქრონულ ძრავებში მილისეკუნდებით განისაზღვრება, ხოლო მუდმივი დენის ძრავებში სეკუნდებით, ამიტომ, როგორც წესი, ელექტრომაგნიტურ გარდამავალ პროცესებს განიხილავენ მუდმივი დენის ძრავებისათვის.

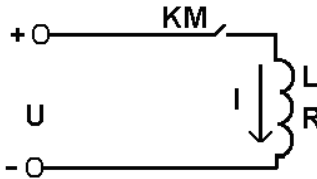
ბოლო წლების გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ასინქრონული ძრავას ელექტრომაგნიტური პროცესის ხანგრძლივობის უგულვებლყოფა ყოველთვის არ შეიძლება. ეს დამოკიდებულია ელექტროამძრავის პარამეტრების ფარდობაზე. მაგალითად, ვიწრო პირობებიან წმენდით კომბანებს პარამეტრების ისეთი ფარდობები აქვთ, რომ დინამიკური პროცესების გამოკვლევის დროს აუცილებელია ასინქრონული ძრავას ელექტრომაგნიტური ინერჯიის მხედველობაში მიღება.

მუდმივი დენის ძრავას ამუშავების, დამუხრუჭებისა და სინქარის რეგულირების ძირითადი საშუალებაა მკვებავი დენის წყაროს ან ძრავას აგზნების გრაგნილზე მიწოდებული ძაბვის რეგულირება, ხოლო დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავებსა და გენერატორებში აგზნების გრაგნილში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები შეიძლება განვიხილოთ ცალკე, სხვა პროცესებისაგან იზოლირებულად.

აგზნების წრედში (ნახ.3.3) გარდამავალი პროცესის ამსახველი დიფერენციალური განტოლება შეიძლება გამოისახოს

$$U = IR + L \frac{di}{dt} \quad 3.17$$

სადაც U და I - აგზნების წრედის ძაბვა (ვ) და დენია(ა);
 L და R - გრაგნილის ინდუქციურობა (ჰნ) და ომური წინაღობა (ომი).



ნახ 3.3 ელექტრული მანქანის აგზნების წრედი

ხშირ შემთხვევაში გრაგნილის ინდუქციურობა ცვალებადი სიდიდეა და იცვლება დიდ ფარგლებში მაგნიტური წრედის გაჯერების მიხედვით. ასეთ დროს აგზნების გრაგნილში გამავალი დენის ცვლილების ხასიათი დროში არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებით აღიწერება.

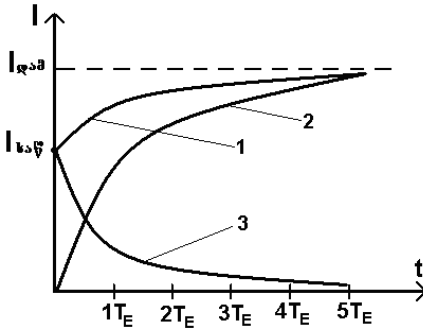
როდესაც შეგვიძლია დავუშვათ, რომ $L = \text{const}$, 3.17 განტოლების ამონახსნი $I(0)$ საწყისი პირობის დროს იქნება

$$I = I(0) \cdot \exp(-t/T_E) + I_{\text{ღამ}}(1 - \exp(-t/T_E)) \quad 3.18$$

სადაც $I_{\text{ღამ}} = U/R$ -- აგზნების წრედში დამყარებული დენის მნიშვნელობაა, ა; $T_E = L/R$ - აგზნების წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა, წმ; $I(0)$ - აგზნების დენის საწყისი მნი-

შენელობა.

როგორც 4.18 გამოსახულებიდან ჩანს აგზნების გრაგნილზე ძაბვის მოდებით გრაგნილში გამავალი დენის მნიშვნელობა მყისურად არ იცვლება. არამედ მოიმატებს ან იკლებს ექსპონენციალური კანონით (ნახ. 3.4). გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივაზე. პრაქტიკულად, გარდამავალი პროცესი მთავრდება $t = (4...5)T_E$ დროის შემდეგ.



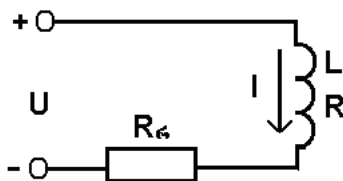
ნახ. 3.4 აგზნების წრეში გარდამავალი პროცესი

1- ჩართვა, $I_{საწ} \neq 0$; 2-ჩართვა, $I_{საწ} = 0$; 3- გამორთვა

დენის ასეთი მდორე ზრდა დადებითად მოქმედებს აგრეგატის მუშაობაზე. გენერატორის ან თვით ძრავას აგზნების გრაგნილში დენის ექსპონენციალური ზრდა მდორედ შეცვლის დენის მნიშვნელობას ძრავას ლუხის წრეში, რაც თავის მხრივ ასევე მდორედ შეცვლის ძრავას მიერ განვითარებულ მომენტს, შემცირდება გადატვირთვები ამძრავში და ამით, საბოლოო ჯამში, გაიზრდება დანადგარის საიმედოობა და მუშაობის ხანგრძლივობა.

ზოგიერთ შემთხვევაში კი დენის ასეთი მდორე ზრდა, უარყოფითად მოქმედებს მანქანის მწარმოებლობაზე, მაგალითად საშახტო ამწე მანქანებსა და ექსკავატორებში. ასევე, ავტომატური რეგულირების სისტემებიან ამძრავებში, შესაძინევი დაგვიანება იწვევს ელექტრომექანიკური სისტემის რხვეითი პროცესების გაძლიერებას და საბოლოო ჯამში, მუშაობის საიმედოობისა და ხანგრძლივობის შემცირებას. ამის გამო, ხშირ შემთხვევაში ახორციელებენ აგზნების დენის ზრდის პროცესის დაჩქარების ღონისძიებებს.

განვიხილოთ მუდმივი დენის მანქანებში აზნების წრედში დენის ზრდის დაჩქარების მეთოდები. პირველ შემთხვევაში აგზნების გრაგნილის მიმდევრობით რთავენ რეზისტორს, R_r (ნახ. 3.5). ამით ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა $T_{E1} = L/(R + R_r)$ მცირდება. იმისათვის, რომ აგზნების დენის დამყარებული მნიშვნელობა დარჩეს $I_{ლაგ} = U/R$ - ის ტოლი, საჭიროა ძაბვის სიდიდე გაიზარდოს $(R + R_r)/R$ - ჯერ. ამ ხერხის ერთ-ერთი უარყოფითი მხარეა დამატებითი დანაკარგები რეზისტორის ჩართვის გამო.



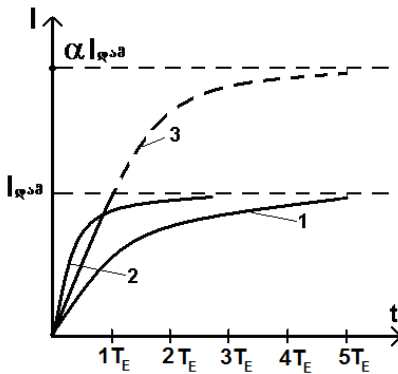
ნახ. 3.5 ელექტრული მანქანის აგზნების წრედი რეზისტორის დამატებით

მეორე მეთოდი, რომელიც გამოირიცხავს ზემოთ მოყვანილ უარყოფით მხარეს, მდგომარეობს აგზნების დენის ცვლილების

ფორსირებაში, ე.წ. "აგზნების ფორსირება". აგზნების ფორსირება ხორციელდება აგზნების გრაგნილზე გაზრდილი ძაბვის მიწოდების გზით. ღვეუშვით, რომ აგზნებაზე მოდებულია ძაბვა, რომელიც α -ჯერ მეტია იმ ძაბვაზე, რომელიც საჭიროა აგზნების დენის დამყარებული მნიშვნელობის მისაღებად, მაშინ დენის ცვლილების კანონი (ნულოვანი საწყისი პირობებისათვის) იქნება

$$I = \alpha \frac{U}{R} (1 - \exp(-t/T_E))$$

როდესაც დენის მნიშვნელობა მიაღწევს $I_{ლაგ} = U/R$ სიდიდეს, ფორსირება უნდა მოიხსნას.

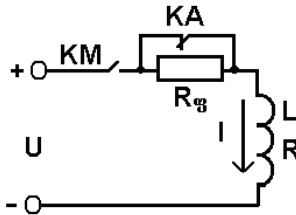


ნახ. 3.6 აგზნების დენის ცვლილება: 1- ფორსირების გარეშე; 2- ფორსირება მუდმივი რეზისტორით; 3- ფორსირება დამატებითი რეზისტორის გამოერთვით

როგორც 3.6 ნახაზიდან ჩანს, ფორსირების ხარჯზე აგზნების დენის მნიშვნელობა თავის დამყარებულ სიდიდეს აღწევს გაცილებით მცირე t_2 დროში, ვიდრე ნომინალური ძაბვის დროს.

ფორსირების გარეშე დენის ზრდის პროცესის ხანგრძლივობა დაახლოებით $t_1 = 5T_E$. გამოთვლილია, რომ როცა $\alpha = 2$, მაშინ $t_2 = \frac{t_1}{7} = \frac{5}{7}T_E$ და ამავე დროს დენის ზრდის კანონი ახლოსაა წრფივულთან.

ფორსირების მოხსნა საჭირო მომენტში შეიძლება განვახორციელოთ ნახ. 3.7-ზე მოყვანილი სქემით.



ნახ. 3.7 ფორსირების მოხსნა

KM კონტაქტის ჩაკეტვის შედეგად აგზნების გრაფიკულზე მოდებულია αU სიდიდის ძაბვა, რადგანაც ფორსირების $R_{ფ}$ რეზისტორი დაშუნტებულია **KA** დენის რელეს კონტაქტით. დენის გაზრდისას $I_{ლაკ} = U/R$ მნიშვნელობამდე, რელე იმოქმედებს და აგზნების წრედში ჩაირთვება $R_{ფ}$ ფორსირების რეზისტორი, რომელიც დენის შემდგომ გაზრდას შეზღუდავს.

$R_{ფ}$ სიდიდე განისაზღვრება გამოსახულებით :

$$R_{ფ} = R(\alpha - 1)$$

ამრიგად, მუდმივი დენის ელამპრავის გაანგარიშებისას, აუცილებელია ელექტრომაგნიტური პროცესის გათვალისწინება.

3.4 თბური გარდამავალი პროცესები

ელექტრული ძრავების მუშაობის დროს ხდება მათი გახურება ენერგიის დანაკარგების ხარჯზე. მუშაობის დასაწყისში გამოყოფილი სითბოს დიდი ნაწილი მიდის თვით მანქანის ტემპერატურის მომატებაზე, ხოლო მცირე- გადაეცემა გარემოს. მანქანის ტემპერატურის მომატებასთან ერთად იზრდება გარემოზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა და რომელიღაც განსაზღვრული ტემპერატურის დროს, მანქანის შემდგომი გახურება შეწყდება და მთელი გამოყოფილი სითბო გადაეცემა გარემოს.

ტემპერატურის ყოველგვარი ცვლილება დაკავშირებულია ელმანქანის თბური ენერგიის მარაგის ცვლილებებზე, რის შედეგადაც წარმოიშვება თბური გარდამავალი პროცესი.

რადგანაც ელექტრული მანქანა წარმოადგენს სხვადასხვა სითბოს გადაცემისა და ტევადობის ერთობლიობას (ფოლადი, სპილენძი, საიზოლაციო მასალები), ხოლო სითბოს წყაროები (გრაფნილები, გრიგალური დენების ზონები ფოლადში და სხვ.) არათანაბრადაა მანქანაში განლაგებული, ამიტომ ძალზე გართულებულია თბური გაანგარიშებები და თითქმის ამოუხსნადია გადასატრელები ამოცანა. ამის გამო, პრაქტიკული შედეგების მისაღებად, შემოაქვთ გარკვეული დაშვებები. კერძოდ, ხშირად იყენებენ ერთსაფეხურიანი გახურების თეორიას, რომლის თანახმადაც ელექტრული ძრავა წარმოდგენილია როგორც ერთგვაროვანი სხეული დიდი სითბოგადაცემით და ამის ხარჯზე მანქანის ნებისმიერ წერტილს, ნებისმიერ მომენტში, აქვთ ერთნაირი ტემპერატურა.

რადგანაც ელექტრული მანქანის ტემპერატურა არც ისე დიდია, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ მანქანის ნაწილებს შორის სითბოს გაცვლა და გარემოში გამოყოფა წარმოებს კონვექციითა და სითბოგამტარობით. ელექტრული მანქანების გახურების პროცესის ასეთი იდეალიზაციის შედეგად, მიიღება მარტივი დიფერენციალური განტოლებები, რომლებიც აღწერენ თბურ გარდამავალ პროცესებს.

მიღებული დაშვებების შესაბამისად შესაძლებელია დაიწეროს თბური განტოლება:

$$Qdt = A\tau dt + Cdt \quad , \quad 3.19$$

სადაც Q - ერთეულოვან დროში ძრავაში გამოყოფილი სითბოა, კკალ/წმ;

A - ძრავას მიერ გარემოში გადაცემული სითბო 1 წმ-ის განმავლობაში, ტემპერატურათა სხვაობის $1^{\circ}C$ -ის დროს, კკალ/ $1^{\circ}C$ წმ;

τ - გადახურება, ანუ ძრავას ტემპერატურის მომატება გარემოს ტემპერატურასთან შედარებით, C° ;

C - ძრავას სითბოტევადობა, ანუ სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა ძრავას ტემპერატურის ერთი გრადუსით გაზრდისათვის, კკალ/ C° .

თუ ვაგყოფთ განტოლების ორივე მხარეს Adt -ზე, მივიღებთ პირველი რიგის არაერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებას

$$T_{\delta} \frac{d\tau}{dt} + \tau = \tau_{\text{ღამ}}$$

სადაც $T_{\delta} = C/A$ - გახურების დროის მუდმივაა, წმ;

$\tau_{\text{ღამ}} = Q/A$ - გადახურების დამყარებული მნიშვნე-

ლობა, $^{\circ}\text{C}$;

4.20 განტოლების ამოხსნა საწყისი პირობებისათვის,

($t = 0, \tau = \tau(0)$) იქნება

$$\tau = \tau_{\text{ღამ}}(1 - \exp(-t/T_{\delta})) + \tau(0) \cdot \exp(-t/T_{\delta})$$

თუ საწყის მომენტში ძრავის ტემპერატურული ნაზრდი გარემოსთან შედარებით ნულის ტოლი იყო ($\tau(0) = 0$), მაშინ

$$\tau = \tau_{\text{ღამ}}(1 - \exp(-t/T_{\delta}))$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ამ შემთხვევაშიც უნდა ჩაითვალოს, რომ გახურების პროცესი $t = (4 \dots 5)T_{\delta}$ დროის შემდეგ მთავრდება.

დიფერენციალურ განტოლებას, რომელიც აღწერს გაციების პროცესს, ექნება იგივე სახე, რაც ჰქონდა გახურებისას, მხოლოდ ამოხსნისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ $\tau(0) = \tau_{\text{ღამ}}$.

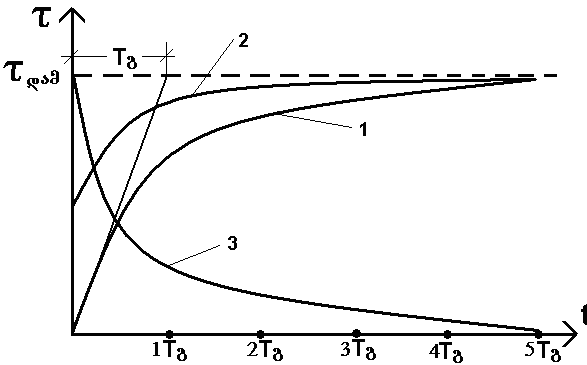
თუ ძრავა გამორთულია ქსელიდან, $Q = 0$ და $\tau_{\text{ღამ}} = 0$,

ამონახსნს ექნება სახე

$$\tau = \tau_{\text{საწყ}} \cdot \exp(-t/T_{\delta}) \quad 3.23$$

გახურების მრუდები, რომლებიც შეესაბამებიან 3.21 , 3.22 და 3.23-ს, მოყვანილია 3.8- ზე.

ძრავას ცვალებადი დატვირთვის დროს გახურების მრუდი იქნება ტეხილი ხაზები, რომლებიც შესდგებიან გახურებისა და გაცივების სხვადასხვა ექსპონენციალური მრუდების მონაკვეთებისაგან.



ნახ. 3.8 ელექტრული ძრავას გახურებისა (1 და 2) და გაცივების (3) მრუდები

გახურების დროის მუდმივა წარმოადგენს დროს, რომლის განმავლობაში ძრავას ტემპერატურა, გარემოში სითბოს გაუცემლობის შემთხვევაში, მიაღწევდა დამყარებულის ტოლ მნიშვნელობას, სითბოს გამოყოფა საწყისი ინტენსივობით რომ წარმართულიყო.

გახურების დროის მუდმივას განსაზღვრავენ ექსპერიმენტალურად, რადგან ანალიზურად მისი მიღება მეტად რთული და არაზუსტია.

სითბური გარდამავალი პროცესები, მექანიკურ და ელმაგნიტურ პროცესებთან შედარებით, გაცილებით ნელა მიმდინარეობს. გაზურების ღროის მუდმივას რეალური მნიშვნელობები ელექტრული ძრავებისათვის ნახევარი საათიდან რამოდენიმე საათამდე ცვალებადობს. ამის გამო, სითბური გარდამავალი პროცესები ვერავითარ გავლენას ვერ ახდენს მექანიკურ და ელმაგნიტურ გარდამავალ პროცესებზე.

თავი IV

ელექტრული ძრავას სიმძლავრის შერჩევა

4.1 საერთო ცნებები

ელექტრული ძრავას სიმძლავრის სწორ შერჩევას დიდი ეკონომიკური მნიშვნელობა ენიჭება. ძრავას სიმძლავრე სრულად უნდა შეესაბამებოდეს შესრულებული სამუშაოს რეჟიმსა და დატვირთვას. არასაკმარისი სიმძლავრის ძრავას გამოყენება იწვევს მის უღროოდ მწყობრიდან გამოსვლას, ავარიის წარმოშობას, საწარმოდ მანქანის გაცდენას და საერთო ჯამში, მწარმოებლურობის შემცირებას. ზედმეტი სიმძლავრის ძრავას დადგმა კი იწვევს კაპიტალური დანახარჯების გაზრდას, ტრანსფორმატორებისა და გარდამსახი მოწყობილობების სიმძლავრის გადიდებას, ასინქრონულ ძრავებში სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირებას და ენერჯის ზედმეტ ხარჯს.

მონაცემები, რომლებიც ელექტრული ძრავას პასპორტშია მოცემული, მიეკუთვნება ერთ, განსაზღვრულ ნომინალურ რეჟიმს და მათ უწოდებენ ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ მონაცემებს.

ძრავას ლილვზე მექანიკურ დატვირთვისა და მის გახურებას შორის ურთიერთკავშირის ფიზიკური აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ დატვირთვის გაზრდასთან ერთად იზრდება ძრავას გრაგნილებში გამავალი დენი. ცნობილია, რომ სითბოს რაოდენობა, რომლებიც გრაგნილებში გამოიყოფა, ისევე როგორც ყველანაირ გამტარში, ამ გრაგნილებში გამავალი დენის კვადრატის პროპორციულია. ძრავას გახურებას იწვევს სხვა მიზეზიც – გარემოს ტემპერატურა, ხახუნზე დანაკარგები და სხ.

საერთაშორისო კლასიფიკაციით ძრავას ნომინალური მუშაობის რვა სახის რეჟიმი არსებობს (**S1...S8**).

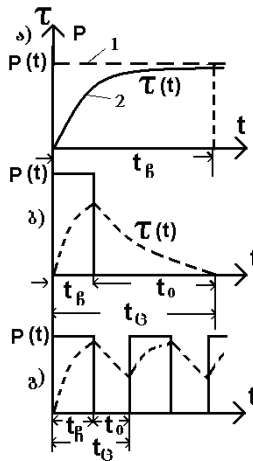
განვიხილოთ მათი მოკლე დახასიათება.

1. **ხ ა ნ გ რ ძ ლ ი ვ ი ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ** ი მუშაობის რეჟიმი - **S1**, ეწოდება მანქანის მუშაობის რეჟიმს, როდესაც ძრავას ლილვზე უცვლელი სიდიდის დატვირთვა ისეთი ხანგრძლივობითაა მოდებული, რომ ძრავას გახურების ტემპერატურის ნაზრდი აღწევს თავის დამყარებულ მნიშვნელობას. ძრავას ლილვზე სიმძლავრისა (1) და გახურების ტემპერატურის (2) დამოკიდებულება დროის მიხედვით მოყვანილია ნახ. 4.1 ა.

$$t_{\text{გ}} = t_{\text{გ}} + t_0$$

2. ხ ა ნ მ ო კ ლ ე ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი მუშაობის რეჟიმი - **S2**. მუშაობის ეს რეჟიმი ხასიათდება იმით, რომ ძრავას მუშაობის (ჩართვის) პერიოდში (t_{β}) მისი ტემპერატურა ვერ ასწრებს დამყარებული ტემპერატურის მიღწევას, ხოლო პაუზა (t_0) იმდენად ხანგრძლივია, რომ ძრავას ტემპერატურა ეცემა გარემოს ტემპერატურამდე (ნახ. 5.1 ბ)

3. გ ა ნ მ ე ო რ ე ბ ი თ-ხ ა ნ მ ო კ ლ ე ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი მუშაობის რეჟიმი - **S3**. ამ რეჟიმის დროს, მუშაობის არც ერთ პერიოდში, ძრავას ტემპერატურა ვერ აღწევს დამყარებულ მნიშვნელობას, ხოლო პაუზის დროს ძრავა ვერ ასწრებს გაციებას გარემოს ტემპერატურამდე. (ნახ. 4.1 გ).



ნახ. 4.1 სხვადასხვა სითბურ რეჟიმში მომუშავე ძრავას დატვირთვის გრაფიკები
 ა) - ხანგრძლივი, ბ) - ხანმოკლე, გ) - განმეორებით-ხანმოკლე

განმეორებით-ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმი ხასიათდება ჩ ა რ თ ვ ი ს ხ ა ნ გ რ ძ ლ ი ვ ო ბ ი თ -- (ჩხ), რომელიც გამ-

ოთველება ძრავას მუშაობის დროის (t_p) ფარდობით ციკლის ($t_c = t_p + t_0$) დროსთან პროცენტებში:

$$ჩხ\% = t_p / t_c \cdot 100\% = t_p / (t_p + t_0) \cdot 100\%$$

ქარხანა ძრავებს უშვებს ჩხ% = 15,25,40 და 60 %.
სტანდარტული მნიშვნელობებისათვის.

4. გ ა ნ მ ე ო რ ე ბ ი თ - ხ ა ნ მ ო კ ლ ე ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი მუშაობის რეჟიმი ხ შ ი რ ი ა მ უ შ ა ვ ე ბ ი თ - **S4**,

5. გ ა ნ მ ე ო რ ე ბ ი თ - ხ ა ნ მ ო კ ლ ე ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი მუშაობის რეჟიმი ხ შ ი რ ი ა მ უ შ ა ვ ე ბ ი თ ა და ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი დ ა მ უ ხ რ უ ჭ ე ბ ი თ - **S5**,
უკანასკნელი ორი, განმეორებით-ხანმოკლე ნომინალური მუშაობის რეჟიმის ნაირსახეობას წარმოადგენს.

6. შ ე ნ ა ც ვ ლ ე ბ ი თ ი ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი რეჟიმი-**S6**, ისეთი რეჟიმია, რომლის დროსაც ძრავას ხანმოკლე მუშაობის პერიოდები იცვლება უკმა სვლის მუშაობის პერიოდებით. ამავე დროს, ძრავას მუშაობის პერიოდში მისმა ტემპერატურამ შეიძლება დასაშვებს მიაღწიოს.

7. შენაცვლებითი ნომინალური რეჟიმი ხ შ ი რ ი რ ე ვ ე რ ს ი რ ე ბ ი თ - **S7**,

8. შენაცვლებითი ნომინალური რეჟიმი ო რ ი ა ნ მ ე ტ ი ბ რ უ ნ ვ ი ს ს ი ხ შ ი რ ი თ - **S8**,

ეს უკანასკნელი გახურების თვალსაზრისით **S7**-ის მსგავსია.

4.2 ძრავას სიმძლავრის შერჩევა მუშაობის ხანგრძლივ რეჟიმში

მანქანებისა და მექანიზმების დიდი ნაწილი (ვენტილატორები, ტუმბოები, ლენტური კონვეიერები და სხვა) მუშაობენ მუდმივი ან მცირედ ცვალებადი დატვირთვით. ამუშავების პროცესი პრაქტიკულად არ მოქმედებს ძრავას სითბურ რეჟიმზე. ამ შემთხვევაში ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ძალზე გამარტივებულია. მაგალითად, ვენტილატორის ძრავას სიმძლავრის გამოთვლა წარმოებს ფორმულით:

$$P_{\text{ვენტ}} = QH10^{-3} / \eta_{\text{ვენტ}} , \quad \text{კვტ;}$$

სადაც Q - ვენტილატორის მწარმოებლურობაა, $\text{მ}^3/\text{წმ}$;

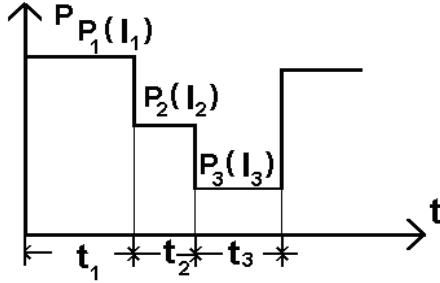
H - ღებრესია, $\text{ნ}/\text{მ}^2$;

$\eta_{\text{ვენტ}}$ - ვენტილატორის მ.ქ.კ.

ამის შემდეგ კატალოგიდან შეირჩევა უახლოესი სტანდარტული სიმძლავრის ძრავა საჭირო ბრუნვის სიხშირით.

შედარებით გართულებულია ხანგრძლივ რეჟიმში მომუშავე ძრავას სიმძლავრის შერჩევა, როდესაც მასზე ცვალებადი დატვირთვაა მოდებული. ცვალებადი დატვირთვის მაგალითი მოყვანილია ნახ. 4.2 -ზე.

თუკი შევარჩევთ ძრავას, რომლის ნომინალური სიმძლავრე ტოლი იქნება P_1 მაქსიმალური დატვირთვისა, მაშინ იგი გახურების თვალსაზრისით დაუტვირთავი აღმოჩნდება, რადგანაც დიდი დროის განმავლობაში იგი იმუშავებდა მცირე სიმძლავრის დატვი-



ნახ. 4.2 ცვალებადი დატვირთვით ხანგრძლივ რეჟიმში მომუშავე ძრავას დატვირთვის დიაგრამა

რთვებზე. თუკი ძრავას სიმძლავრე შეირჩეოდა P_3 მინიმალური დატვირთვის მიხედვით, მაშინ აშკარაა, რომ ძრავა გადახურდებოდა ჭარბი დატვირთვისაგან და ბოლოს, თუკი ძრავას შევარჩევთ საშუალო სიმძლავრის მიხედვით, იგი მაინც შეიძლება გადახურდეს იმის გამო, რომ დატვირთვის დიაგრამის საშუალო მნიშვნელობა არ ითვლისწინებს დანაკარგების კვადრატულ დამოკიდებულებას ძრავას გრავნილში გამავალ დენთან.

ძრავას მუშაობის ნებისმიერ რეჟიმში, მისმა ტემპერატურამ არ უნდა გადააჭარბოს იზოლაციის გახურების დასაშვებ ტემპერატურას. რადგანაც ტემპერატურის ნაზრდი დანაკარგების პროპორციულია, ამიტომ ძრავას სიმძლავრის სწორი შერჩევისათვის, აუცილებელია გამოითვალოს ძრავაში თბური დანაკარგები მთელი ციკლის განმავლობაში.

თავიდან, ძრავას საორიენტაციო სიმძლავრედ აიღებენ დატვირთვის საშუალო სიმძლავრეს:

$$P_{\text{ნომ}} = K P_{\text{საშ}} \quad 4.1$$

სადაც -- $K = 1.1 \dots 1.3$ - მარაგის კოეფიციენტი.

ამის შემდეგ $\eta = f(P)$ დამოკიდებულებით პოულობენ ძრავაში დანაკარგებს სხვადასხვა პერიოდისათვის:

$$\Delta P_i = P_i \frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \quad 4.2$$

საერთო დანაკარგები ძრავაში მთელი ციკლის განმავლობაში

$$\Delta P_{\text{საშ}} = \frac{\sum \Delta P_i t_i}{\sum t_i}$$

სადაც -- P_i და t_i -- სიმძლავრე და დროა დატვირთვის i -ურ უბანზე.

ძრავა სწორად იქნება შერჩეული, თუკი დაკმაყოფილდება პირობა

$$\Delta P_{\text{ნომ}} \geq \Delta P_{\text{საშ}} \quad 4.4$$

სადაც -

$$\Delta P_{\text{ნომ}} = P_{\text{ნომ}} \frac{1 - \eta_{\text{ნომ}}}{\eta_{\text{ნომ}}} \quad 4.5$$

ცხადია, სხვაობა $\Delta P_{\text{ნომ}} - \Delta P_{\text{საშ}}$ უნდა იყოს შესაძლოდ მინიმალური ძრავას სიმძლავრის მიხედვით.

ძრავას სიმძლავრის ასეთი მეთოდით შერჩევას უწოდებენ ს ა შ უ ა ლ ო დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ი ს მეთოდს. ამ მეთოდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ აუცილებელია გვექონდეს ძრავას მ.ქ.კ.-ის დამოკიდებულება დატვირთვის სიდიდესთან $\eta = f(P)$.

ამის გამო, პრაქტიკაში ხშირ შემთხვევაში გამოიყენება ექვივალენტური ან საშუალო კვადრატული სიდიდების მეთოდი. განვიხილოთ ექვივალენტური დენის მეთოდი, რომლის არსი შემდეგშია: ძრავაში დანაკარგების განსაზღვრისას, ნამდვილი დენი იცვლება ექვივალენტურით, რომელიც მთელი მუშა ციკლის განმავლობაში ძრავაში იგივე დანაკარგებს იწვევს, რასაც რეალური დენი გამოიწვევდა.

ძრავაში დანაკარგები მუდმივ და ცვალებად ნაწილად იყოფა. მუდმივი P_0 დანაკარგები არ არის დამოკიდებული დატვირთვაზე და განისაზღვრება მხოლოდ ძრავას ფოლადში, საკისრებში, მექანიკური და გამაგრილებელი ვენტილატორის დანაკარგებისაგან. ცვლადი დანაკარგები განისაზღვრება გრავნილების გადახურებით და გამოითვლება I^2R სიდიდით. შესაბამისად, დატვირთვის დიაგრამის ცალკეულ უბანზე სრული დანაკარგები იქნება

$$\Delta P_i = \Delta P_0 + I_i^2 R, \quad 4.6$$

ხოლო საშუალო დანაკარგები

$$\Delta P_{საშ} = \Delta P_0 + I_{ექ}^2 R. \quad 4.7$$

თუ შევიტანთ ბოლო ორ გამოსახულებას 4.3-ში, გვექნება

$$\Delta P_0 + I_{ექ}^2 R = \frac{\sum((\Delta P_0 + I_i^2 R) \cdot t_i)}{\sum t_i}. \quad 4.8$$

უკანასკნელი ფორმულიდან გამოითვლება

$$I_{\text{ექ}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 t_i}{\sum t_i}} = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 t_i}{T}}, \quad 4.9$$

სადაც -- $T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ - მუშაობის სუფთა დროა.

ძრავის სიმძლავრის სწორედ შერჩევისათვის აუცილებელი პირობაა

$$I_{\text{ნომ.ძრ}} \geq I_{\text{ექ}} \quad 4.10$$

იმ შემთხვევაში, როცა დენის ნამდვილი მნიშვნელობა მოცემულია უწყვეტად, ცვალებადი კანონით (ნახ. 4.3), მაშინ ექვივალენტური დენის განსაზღვრისათვის სარგებლობენ მოცემული მრუდის უბანუბან წრფივი აპროკსიმაციით. ჯამში მიიღება გრაფიკი, რომელიც შედგება სამკუთხედების, ტრაპეციებისა და მართკუთხედებისაგან.

სამკუთხედების ფორმის უბნისათვის

$$I_{\text{ექ}} = \sqrt{\frac{I_1^2}{3}} ;$$

მართკუთხედი ფორმისათვის

$$I_{\text{ექ}} = \sqrt{I_2^2} ;$$

ხოლო ტრაპეციის ფორმისათვის

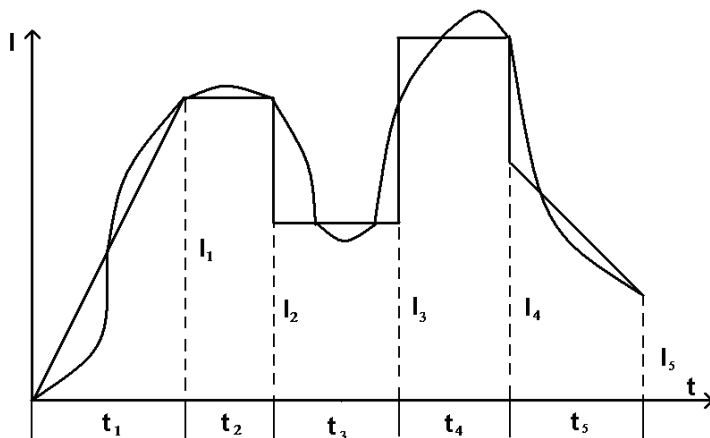
$$I_{\text{ექ}} = \sqrt{\frac{I_4^2 + I_4 I_5 + I_5^2}{3}} .$$

ექვივალენტური დენის მნიშვნელობა ნახაზზე წარმოდგენილი დატვირთვის გრაფიკისათვის იქნება

$$I_{\text{ეკ}} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{1}{3} I_1^2 t_1 + I_1^2 t_2 + I_2^2 t_3 + I_3^2 t_4 + \frac{I_4^2 + I_4 I_5 + I_5^2}{3} t_5 \right)}, \quad 4.11$$

სადაც -- $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$.

ხშირად, ექვივალენტური დენების ნაცვლად სარგებლობენ ექვივალენტური მომენტების მნიშვნელობებით. ასინქრონულ ძრავებში



ნახ. 4.3 ელამბრავის დატვირთვის დიაგრამა

ამ შემთხვევაში, გარკვეულ უზუსტობას აქვს ადგილი, მაგრამ მისი გამოყენება პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის მაინც მიზანშეწონილია. ფორმულას ექვივალენტური მომენტისათვის აქვს ანალოგიური სახე

$$M_{\text{ეკ}} = \sqrt{\Sigma M_i^2 t / T}$$

იმ შემთხვევაში, როცა შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ბრუნვის სიხშირე $\omega = \text{const}$ და თუ გავითვალისწინებთ ფორმულას,

$P = M\omega \cdot 10^{-3}$, სიმძლავრის ექვივალენტური მნიშვნელობა იქნება

$$P_{\text{ექ}} = \sqrt{\sum P_i^2 t_i} / T \quad 4.13$$

4.3 ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე და განმეორებით-ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმებში

მუდმივი დატვირთვით მომუშავე ძრავის სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმში არ წარმოადგენს სირთულეს, თუ მისი მუშაობის t_f დრო ტოლია იმ დროისა, რომლისთვისაც ძრავას კატალოგში მოცემულია მისი ნომინალური სიმძლავრე. ამ შემთხვევაში, ძრავას სიმძლავრე შეირჩევა პირობით $P_{\text{ნომ}} \geq P$.

ხშირ შემთხვევაში, ძრავას ფარდობითი მუშაობის დრო არ ემთხვევა იმ დროს, რომლისთვისაც მოცემულია ძრავას სიმძლავრე კატალოგში. დაეუშვათ, შერჩეულია ძრავა, რომლისთვისაც კატალოგში ნაჩვენებია $t_{\text{ნ.ს.ა.}}$ საბუთო დროისათვის აქვს ნომინალური $P_{\text{ნომ}}$ სიმძლავრე. ეს ნიშნავს, რომ თუ ძრავა მუშაობს თავისი ნომინალური სიმძლავრით, მისი გადახურების ტემპერატურა მიაღწევს $\tau_{\text{დას}}$ დასაშვებ მნიშვნელობას $t_{\text{ნომ}}$ დროის განმავლობაში.

ახლა დავეუშვათ, რომ ძრავა გადაიტვირთა, ანუ $P_1 \geq P_{\text{ნორ}}$, მაშინ სიმძლავრის დანაკარგები გაიზრდება და მისი გადახურების ტემპერატურა τ_1 მიაღწევს $\tau_{\text{ღას}}$ დასაშვებს უფრო ნაკლები, t_1 დროის განმავლობაში.

3.22 განტოლების გამოყენებით, შეიძლება დაიწეროს τ_1 და $\tau_{\text{ღას}}$ გამოსახულებებისათვის

$$\tau_1 = \tau_{\text{ღამ.1}} (1 - \exp(-t_1 / T_g));$$

$$\tau_{\text{ღას}} = \tau_{\text{ღამ.ნომ}} (1 - \exp(-t_{\text{ნომ}} / T_g))$$

τ_1 -სა და $\tau_{\text{ღას}}$ -ის გატოლებით მიიღება (გავითვალისწინოთ, რომ $\tau_{\text{ღამ.1}} = \Delta P_1 / A$ და $\tau_{\text{ღამ.ნომ}} = \Delta P_{\text{ნომ}} / A$);

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_{\text{ნომ}}} = \frac{1 - \exp(-t_{\text{ნომ}} / T_g)}{1 - \exp(-t_1 / T_g)} \quad 4.14$$

4.14 განტოლება გვიჩვენებს სიმძლავრის სხვადასხვა დატვირთვის დანაკარგების ფარდობას სიმძლავრის ნომინალურ დანაკარგებთან. რაც მეტია P_1 დატვირთვა, ანუ რაც მეტია ΔP_1 , მით უფრო მცირე უნდა იყოს ამ დატვირთვით მომუშავე ძრავას მუშაობის ხანგრძლივობა t_1 . ამრიგად, 4.14 განტოლება შეიძლება გამოვიყენოთ ძრავას იმ სიმძლავრის განსაზღვრისათვის, რომელიც შეიძლება მან განავითაროს მოცემული, გარკვეული t_1 დროის განმავლობაში ან განისაზღვროს t_1 დრო, P_1 მოცემული სიმძლავრისათვის.

ძრავას სიმძლავრის შერჩევა განმეორებით-ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმისათვის არ არის დაკავშირებული დიდ სიძნელებთან იმ შემთხვევაში, თუკი ჩართვის ფარდობითი ხანგრძლივობა (ჩხ) ტოლია ერთ-ერთი სტანდარტული ნომინალური მნიშვნელობისა--
 $Cx_{წმ} \% = 15, 25, 40$ და 60 %. ამასთან, ძრავას სიმძლავრე შეირჩევა $P_{წმ} \geq P$ პირობით.

ცოტათი გართულებულია ძრავას სიმძლავრის შერჩევა იმ შემთხვევაში, როცა ჩართვის ფარდობითი ხანგრძლივობა არ ემთხვევა სტანდარტულს ანუ $Cx \neq Cx_{წმ}$. ამ შემთხვევაში ძრავას ნომინალური დანაკარგები უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$\Delta P_{წმ} \geq \Delta P_1 Cx / Cx_{წმ}$$

ლიტერატურა

1. მ. ჩილიკინი. ელექტროამბრავის ზოგადი კურსი. თარგმანი მეხუთე შევსებული და გადაბეჭედილი გამოცემიდან. თბილისი, განათლება, 1975 წ.
2. Мартынов М.В., Переслегин Н.Г. Автоматизированный электропривод в горной промышленности. Изд. 2, перераб. и доп. М., "Недра", 1977. 375 с.
3. Чермалых В.М. Исследование сложных электромеханических систем. Киев, КПИ, 1979 г.
4. მ. წერეთელი, სამთო მანქანების ელექტრული ამბრავი. (ლექციების კონსპექტი), თბილისი, სტუ, 1998 წ.

სარჩევი

შესავალი	3
----------------	---

თავი I

ელექტროამძრავის მექანიკის საფუძვლები	6
1.1 ელექტროამძრავის მოძრაობის ძირითადი განტოლება	6
1.2 წინააღმდეგობის მომენტების სახეები	17
1.3 წინააღმდეგობის მომენტებისა და ძალების, მასებისა და ინერციის მომენტების დაყვანა	21
1.4 ელექტროამძრავების აშუშავებისა და დამუხრუჭების დროის განსაზღვრა	26

თავი II

მექანიკური მახასიათებლები და ელექტრო ამძრავის სამუშაო რეჟიმები	28
2.1 მექანიკური მახასიათებლები	28
2.2 ელექტროამძრავების სტატიკური მდგრადობა	32
2.3 მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები	36
2.4 მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები	52
2.5 ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები.....	60
2.6 სინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები	78

თავი III

გარდამავალი პროცესები ელექტროამბრაჟში	81
3.1 საერთო ცნებები ელექტროამბრაჟში მიმდინარე გარდამავალ პროცესებზე	81
3.2 მექანიკური გარდამავალი პროცესები ელექტროძრავას წრფივი მექანიკური მახასიათებლისა და უცვლელი დატვირთვის დროს	83
3.3 ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესები	89
3.4 თბური გარდამავალი პროცესები	95

თავი IV

ელექტრული ძრავას სიმძლავრის შერჩევა	99
4.1 საერთო ცნებები	99
4.2 ძრავას სიმძლავრის შერჩევა მუშაობის ხანგრძლივ რეჟიმში	103
4.3 ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე და განმეორებით-ხანმოკლე მუშაობის რეჟიმებში	109
ლიტერატურა	112