

მისეილ ჯერეთელი, ნანა მახარაშვილი

კიდული ბაბირბზის ასინქრონული

ამძრაპი



”ტექნიკური უნივერსიტეტი”

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
მიხეილ წერეთელი, ნანა მახარაშვილი
კიდული ბაგირგზის ასინქრონული
ამპრაგი



დამტკიცებულია მონოგრაფიად
სტუ-ს სარედაქციო-აგამომცემლო
საბჭოს მიერ, 03.06.2015, ოქმი №2

თბილისი
2016

უაკ 625.52

ნაშრომი შეეხება კიდული ბაგირგზის ელექტრულ ამძრავს. განხილულია ბაგირგზებზე გამოყენებული სხვადასხვა სახის ცვლადი დენის ამძრავი. განსაკუთრებით ხაგასმულია ცვლადი დენის ამძრავი ქსელის სისშირის მართვით (სისშირული გარდამქმნელები). მოყვანილია მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

შედარებით დაწვრილებითაა განხილული ბაგირგზის დიფერენციალური ელექტრული ამძრავი, როგორც ყველაზე იაფი და საიმედო საშუალება ძალზე მარტივი მართვის სისტემით. განხილულია ამუშავების, შენელებისა და მცოცი სიჩქარის პერიოდების დინამიკური რეჟიმები. ამ რეჟიმების შესაბამისი ამძრავის ენერგეტიკა.

განკუთვნილია კიდული ბაგირგზის ელექტრულ ამძრავში მომუშავე სპეციალისტებისათვის, სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის დოქტორანტებისა და მაგისტრანტრანტებისათვის.

რეცენზენტები: პროფესორი თ. მუსელიანი,

პროფესორი ნ. არუდაშვილი

© საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი",

2016 წ.

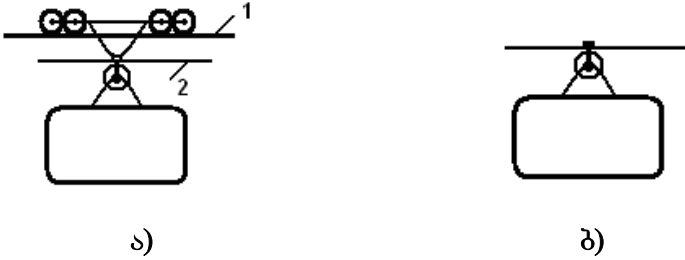
შესავალი

ხალხისა და ტვირთის ტრანსპორტირების ერთ-ერთი ყველაზე იაფი საშუალება არის კიდული ბაგირგზა. მისი მოწყობილობა მარტივი და საიმედოა, პირველადი კაპიტალური და საექსპლუატაციო დანახარჯები კი მცირე. იგი შეიძლება აშენდეს ისეთ ადგილას, რომელიც სხვა ტრანსპორტისთვის მიუდგომელია. მაგალითად, მდინარე, ჭაობი, ხეობა, გორა და სხვ. ამასთანავე, აღნიშნული ტრანსპორტი ეკოლოგიურად უფრო სუფთაა.

თანამედროვე ელექტრონული ტექნიკის განვითარებამ, როგორც კიდულ ბაგირგზებში, ისევე მრეწველობის სხვა დარგებში, ძვირადღირებული და ნაკლებად საიმედო მუდმივი დენისა და ცვლადი დენის ფაზურ-როტორიანი ძრავები შეცვალა მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავებით. ასინქრონული ძრავას სისწირულმა მართვამ პრაქტიკულად მთლიანად გამორიცხა სხვა სახის მართვები.

კიდული ბაგირგზები ორ ტიპად იყოფა: ორბაგირიანი და ერთბაგირიანი.

ორბაგირიან გზაზე გვხვდება: სარელსო ბაგირი (1), რომელზეც ვაგონის სავალი თვლები დაგორავს და საწევი ბაგირი (2), რომლის საშუალებითაც მოძრაობს ვაგონი (ნახ. 1,ა). ერთბაგირიან გზაზე მხოლოდ ერთი საწევი ბაგირია (ნახ. 1,ბ). მისი დანიშნულებაა, როგორც ვაგონის გაწევა, ასევე მისი გადატანა.



ნახ. 1

კიდული ბაგირგზები (როგორც ერთბაგირიანი, ისე ორბაგირიანი) მოძრაობის ხასიათის მიხედვით ორგვარია:

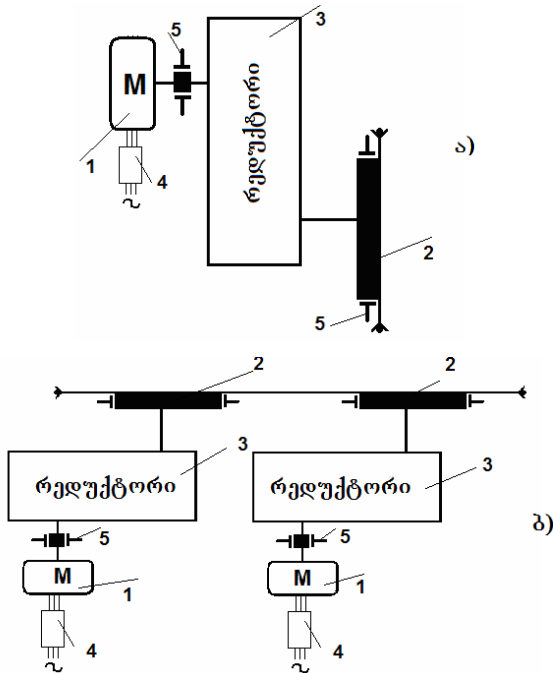
1. ქანქარასებრი, სადაც სადგურები ერთმანეთთან დაკავშირებულია სარელსო ბაგირებით და რომლებზეც ვაგონები უკუმოქცევადატანით (ქანქარასებრი) მოძრაობას ახორციელებს.

2. წრიული, სადაც ვაგონები მუდმივად ერთი მიმართულებით მოძრაობს. ამ გზებზე ვაგონებს საწვე ბაგირზე ისეთნაირად ამაგრებენ, რომ სადგურებზე შესაძლებელი იყოს მათი მოხსნა. ზოგჯერ, ვაგონი საწვე ბაგირთან უძრავადაა ჩამაგრებული და მასთან ერთად შემოუვლის ყველა შივსა და გორგოლაჭს.

საიმედო მუშაობის უზრუნველსაყოფად ამძრავის კვება ორი სხვადასხვა წყაროდან უნდა ხდებოდეს (ორმაგი კვება). საჭიროა ასევე სარეზერვო წყაროს გამოყენებაც (დიზელ-გენერატორი ან თანამედროვე აკუმულატორული ბატარეა).

ყოველი სამგზავრო კიდული ბაგირგზის ამძრავი ძირითადად შემდეგი ელემენტებისაგან შედგება:

- 1) ამძრავი ძრავა (უმეტესად ელექტრული);
- 2) წრიული ძალის გადამცემი ხახუნის ამძრავი შივი (ერთი ან რამდენიმე);
- 3) გადამცემი მექანიზმი ამძრავ ძრავასა და ხახუნის ამძრავ შივს შორის (უმეტეს შემთხვევაში რედუქტორი);
- 4) ძრავას მართვისა და დაცვის აპარატურა;
- 5) სამუხრუჭო მოწყობილობა.



ნახ. 2. ბაგირგზის ამძრავის სახეები

ძირითად ამძრავს საჭიროა ორი ძრავა ჰქონდეს – ძირითადი და სამარაგო. სამარაგო ძრავას, უმეტეს შემთხვევაში ძირითად ძრავაზე უფრო მცირე სიმძლავრე გააჩნია და ამიტომ მას დაბალი სიჩქარით მოძრაობისათვის ხმარობენ.

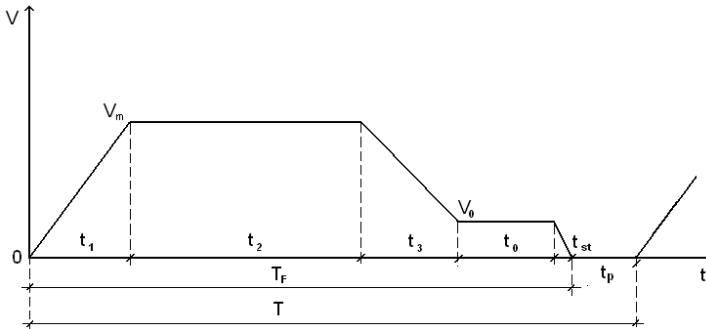
ზოგ შემთხვევაში, მუშაობის საიმედოობისათვის, ამძრავში იყენებენ ნახევარსიმძლავრიან ორ ძრავას, რომლებსაც შკივთან ცალკეულად ორსიჩქარიანი რედუქტორებით აერთებენ (ნახ. 2, ა). ასეთი სისტემის გაუმჯობესება არის ორი რედუქტორის შეცვლა დიფერენციალური ერთი რედუქტორით (ნახ. 2, ბ)

რგოლურ გზებზე, ვაგონების უკან დასაბრუნებლად, ენერგიის ყველა წყაროს ერთდროული დაზიანების შემთხვევაში გამოყენებულია ხელის ამძრავები [1].

I. ბაგირგზის კინემატიკის ელემენტები და გამტარუნარიანობა

1.1. ბაგირგზის კინემატიკის ელემენტები

ბაგირგზის სიჩქარის ტაქოგრამა უმეტეს შემთხვევაში ხუთპერიოდია



ნახ. 1.1. სიჩქარის ხუთპერიოდია ტაქოგრამა

აქ t_1 აჩქარების პერიოდია; t_2 - თანაბარი მოძრაობის პერიოდი; t_3 - შენელების პერიოდი; t_0 - გაწვევის (მცოცი) სიჩქარის პერიოდი; t_{st} - ბაგირგზის მუშა მუხრუჭით დამუხრუჭების პერიოდია მცოცი სიჩქარით მოძრაობისას, წმ. ძირითადი აჩქარების პერიოდი

$$t_1 = \frac{V_m}{j_1}, \tag{1.1}$$

სადაც V_m მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარეა, მ/წმ; საორენტაციოდ, ამ სიჩქარის მნიშვნელობად აიღება [2]

$$V_m = 0.32 \sqrt{2 \frac{j_1 \cdot j_3}{j_1 + j_3} L}, \quad (1.2)$$

აქ j_1 ძირითადი აჩქარების სიდიდეა, მ/წმ²; j_3 - ძირითადი შენელების სიდიდე, მ/წმ²; ხშირ შემთხვევაში j_1 და j_3 -ს აიღებენ $j_1 = j_3 = j = 0.5 \dots 0.75$. L - ტრასაზე ვაგონის მოძრაობის მთლიანი მანძილი, მ.

აჩქარების პერიოდში გავლილი მანძილი

$$L_1 = \frac{j_1 \cdot t_1^2}{2} = \frac{V_m^2}{2j_1}. \quad (1.3)$$

შენელების პერიოდში გავლილი მანძილი

$$L_3 = \frac{V_m^2 - V_0^2}{2j_3}. \quad (1.4)$$

სადაც $V_0 = 0.5$ - ბაგირგზის მცოცი სიჩქარეა, მ/წმ.

შენელების პერიოდი

$$t_3 = \frac{V_m - V_0}{j_3}. \quad (1.5)$$

მცოცი სიჩქარით მოძრაობის პერიოდი

$$t_0 = \frac{L_0}{V_0}, \quad (1.6)$$

სადაც $L_0 = 8 \dots 10$ - ბაგირგზის მცოცი სიჩქარის პერიოდში გავლილი მანძილი, მ.

მაქსიმალური სიჩქარით მოძრაობის მანძილი

$$L_2 = L - (L_1 + L_3 + L_0). \quad (1.7)$$

მაქსიმალური სინქარით მოძრაობის პერიოდი

$$t_2 = \frac{L_2}{V_m}. \quad (1.8)$$

მოძრაობის სრული დრო

$$T_F = t_1 + t_2 + t_3 + t_0. \quad (1.9)$$

ციკლის ხანგრძლივობა

$$T = T_F + t_p, \quad (1.10)$$

სადაც t_p პაუზის ხანგრძლივობაა და აიღება ვაგონის ტევადობის მიხედვით, წმ.

1.2 ბაგირგზის გამტარუნარიანობა

1. სამგზავრო ბაგირგზა

გამტარუნარიანობა ხასიათდება დროის ერთეულში, მაგალითად, ერთი საათის განმავლობაში, ერთი მიმართულებით გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობით. ქანქარასებრი გზებისათვის გამტარუნარიანობა განისაზღვრება ფორმულით [1]

$$A = nk \text{ კაც/სთ}, \quad (1.11)$$

სადაც n არის ვაგონის ტევადობა; k - რეისთა რიცხვი ერთ საათში.

ორვაგონიანი გზებისათვის

$$k_{2V} = \frac{3600}{\frac{V_m}{j_1} + \frac{L}{V_m} + \frac{V_m}{j_3} + t_p}, \quad (1.12)$$

ხოლო ერთვაგონიანისათვის

$$k_{1V} = \frac{3600}{\frac{V_m}{j_1} + 2 \cdot \frac{L}{V_m} + \frac{V_m}{j_3} + 2 \cdot t_p}, \quad (1.13)$$

მივიღოთ, რომ $j_1 = j_3 = j = 0.6$ და $V_m \approx 0.32\sqrt{jL} = 0.25\sqrt{L}$;

ფორმულები (1.12) და (1.13) ასე გადაიწერება

$$k_{2V} = \frac{3600}{\frac{V_m}{j_1} + \frac{L}{V_m} + \frac{V_m}{j_3} + t_p} = \frac{3600}{4.8\sqrt{L} + t_p}; \quad (1.14)$$

$$k_{1V} = \frac{3600}{\frac{V_m}{j_1} + 2 \cdot \frac{L}{V_m} + \frac{V_m}{j_3} + 2 \cdot t_p} = \frac{1800}{4.4\sqrt{L} + t_p}, \quad (1.15)$$

$V_m = \frac{\pi D_1 n_n}{60i}$ - რეალური მაქსიმალური სიჩქარე, მ/წმ;

D_1 - ხახუნის ამძრავი შიგნის დიამეტრი, მ;

n_n - ძრავას ნომინალური ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ;

i - რედუქტორის გადაცემის რიცხვი;

t_p - დროის დანახარჯი მეზავრთა ჩახსდომა-გადმოსხდომაზე, კარის გაღება-დახურვაზე.

დროის დანახარჯი t_p დამოკიდებულია ვაგონის ტევადობასა და კარების რიცხვზე (ერთი ან ორი). მასში შე-

დის აგრეთვე დრო, რომელიც საჭიროა სადგურებს შორის გაშვებისათვის მზადყოფნის მაუწყებელი სიგნალების გასაცვლელად, რაც დამოკიდებული არაა ვაგონების ტევადობასა და კონსტრუქციაზე. ბაგირგზის მუშაობის დაკვირვების შედეგების მიხედვით, ერთი მგზავრის ჩასხდომა-გადმოსხდომაზე დახარჯული დრო შეადგენს 2 წამს, ხოლო კარების გაღება-დაკეტვასა და სიგნალების გაცვლაზე - საშუალოდ 10 წამს. ამრიგად, დრო t_p , მაგალითად, გზისათვის, რომლის ვაგონის ტევადობა ათი კაცია, შეადგენს $2 \times 10 + 10 = 30$ წამს, ხოლო ოცი მგზავრის შემთხვევაში - $2 \times 20 + 10 = 50$ წამს. [1]

2. სატვირთო ბაგირგზა.

ორივე ტიპის სატვირთო ბაგირგზისათვის რეისთარიცხვი ერთ საათში ანალოგიური ფორმულებით გამოითვლება [(1.14) და (1.15)], მხოლოდ ამ შემთხვევაში გაითვალისწინება მოძრაობის უთანაბრობის რეზერვის კოეფიციენტი

$$k_{\text{სატვ}} = 0.8 \cdot k_{\text{სახალ.}}$$

II. ბაგირგზის ასინქრონული ამძრავი

კიდული ბაგირგზის ელექტრულ ამძრავში, ამძრავ ძრავად, ყველაზე ხშირად ცვლადი დენის ასინქრონულ ძრავებს გამოიყენებენ, როგორც იაფ, მარტივსა და ექსპლოატაციაში ეკონომიურს.

ყველაზე ფართოდ, ასინქრონული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების შემდეგი ხერხები გამოიყენება:

ფაზურ-როტორიანი ძრავებისათვის –
როტორის წრედში წინაღობის ჩართვით;

იმპულსური რეგულირებით;

კასკადური სქემებით.

მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავებისათვის –

პოლუსთა რიცხვის ცვლილებით;

მკვებავი ძაბვის სიხშირის შეცვლით.

სიჩქარის რეგულირების მიზნით, გარდა ჩამოთვლილისა, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ელექტრული ძრავების ჩართვის ზოგიერთი სპეციალური ხერხი, მაგალითად, დიფერენციალური ელექტრული ამძრავი მოკლედ ჩაკეტილ-როტორიანი ძრავებით.

2.1. ფაზურ-როტორიანი ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება როტორის წრედში წინაღობის ჩართვით

ფაზურ-როტორიანი ძრავების სიჩქარის რეგულირებას,

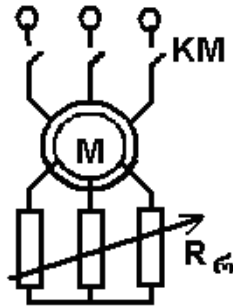
როდესაც იგი კიდული ბაგირგზების ამძრავადაა გამოყენებული, როგორც წესი, როტორის წრედში წინაღობის ცვალებადობით ახორციელებენ.

რეგულირების სიმდოვრე დამოკიდებულია ჩართული წინაღობების რიცხვზე. რეგულირება ხორციელდება ძირითადი სინქარის ქვევით. ძრავას გამოყენება უმჯობესდება, თუკი მასზე მოდებული დატვირთვის მომენტი მუდმივია. რეგულირების დიაპაზონი დატვირთვის მომენტზე დამოკიდებული და მასთან ერთად იცვლება, ხოლო მასხასიათებლის სიხისტე დამოკიდებულია სინქარზე და მისი პირდაპირპროპორციულია. ამით იზღუდება რეგულირების დიაპაზონი და არა უმეტეს 3:2 –ია. რეგულირების ნაკლია აგრეთვე ენერჯის მნიშვნელოვანი კარგვები.

ენერჯის კარგვის თვალსაზრისით არახელსაყრელია სინქარის რეგულირება, რომელიც ხორციელდება მუდმივი მომენტით და განსაკუთრებით არახელსაყრელია მუდმივი სიმძლავრით სინქარის რეგულირება. ზოგადად, ენერჯის კარგვები $\Delta P_2 = P_1 \cdot S = P_1 \left(1 - \frac{V}{V_m} \right)$ სრიალის პროპორციულია. ენერჯის კარგვები საგრძნობლივად მცირდება ვენტილატორული დატვირთვის დროს. ასეთ დროს V სინქარის შემცირებასთან ერთად მცირდება ქსელიდან წადებული P_1 სიმძლავრე. ამის გამო რეგულირების ამ ხერხს უფრო ფართოდ იყენებენ ვენტილატორული დატ-

ვითვის მქონე ამძრავებში და ისეთ მექანიზმებში, რომლებიც მუშაობს განმეორებით ხანმოკლე რეჟიმში, მაგალითად, ამწევი დანადგარებში, კიდულ ბაგირგზებში, კონვეიერებში და სხვ.

ფაზურ-როტორიანი ასინქრონული ძრავას ჩართვის სქემა მოცემულია 2.1. ნახაზზე.



ნახ. 2.1. ასინქრონული ფაზურ-როტორიანი ძრავას ქსელთან ჩართვის სქემა

მუდმივი დენის ძრავებისაგან განსხვავებით, ასინქრონულ ძრავებში მექანიკურ მახასიათებლებს აგებენ არა ძრავას მიერ განვითარებულ მომენტსა და მის შესაბამის ბრუნვის სიჩქარეს შორის, არამედ მომენტსა და ე.წ. სრიალს შორის. სრიალი ფიზიკურად არის სტატორის ელექტრომაგნიტური ველის (ω_0) ბრუნვის სიჩქარეს და როტორის მიმდინარე (ω) ბრუნვის სიჩქარეს შორის სხვაობა და გამოისახება, როგორც

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} . \quad (2.1)$$

თავის მხრივ, ელექტრომაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი, რომელსაც სინქრონულ ბრუნთა რიცხვს უწოდებენ, ქსელის ძაბვის სიხშირისა და ძრავას წყვილ პოლუსთა რიცხვის ფუნქციაა და გამოითვლება

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (2.2)$$

გამოსახულებით. რადგან ძრავას წყვილ პოლუსთა რიცხვი p ნატურალური რიცხვია, სამრეწველო ქსელის სტანდარტული სიხშირის დროს ($f = 50$ ჰც.) სწრაფმავალი ძრავების სინქრონული ბრუნვათა რიცხვი ტოლია შემდეგი სიდიდეებისა:

p	1	2	3	4	5	6	და ა.შ.
n_0	3000	1500	1000	750	600	500	და ა.შ.

ხოლო შესაბამისი ბრუნვის სიჩქარე გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} \approx \frac{n_0}{9.55} . \quad (2.3)$$

სინქრონული ბრუნთა რიცხვი ადვილად შეიძლება განისაზღვროს ძრავას ნომინალური ბრუნთა რიცხვიდანაც, რადგანაც ეს უკანაკნელი (2...3)%-ით ნაკლებია სინქრონულზე $n_0 = 3000 / \text{round}(3000 / n_n)$.

საშუალო და დიდი სიმძლავრის ძრავებში (10-15 კვტ და ზემოთ), სტატორის აქტიური წინაღობის სიდიდეს უგულვებელყოფენ მისი სიმცირის გამო და ამის გათვალისწინებით, ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის განტოლებას აქვს სახე

$$M = \frac{2M_m \cdot S_m}{S_m^2 + S^2} S. \quad (2.4)$$

აქ, M_m , ძრავას მიერ განვითარებული კრიტიკული ანუ მაქსიმალური მომენტია და განისაზღვრება ძრავას საპასპორტო მონაცემებიდან; S_m სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობაა და შეესაბამება ძრავას მიერ განვითარებულ მაქსიმალურ მომენტს.

(2.4) გამოსახულებიდან

$$S = S_m \left(b_m - \sqrt{b_m^2 - 1} \right). \quad (2.5)$$

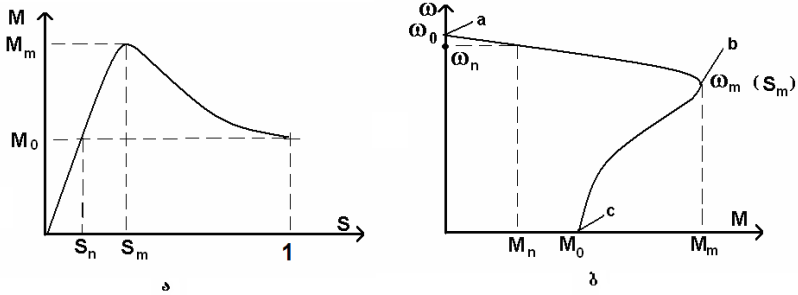
აქ $b = \frac{M_m}{M}$ მაქსიმალური მომენტის ფარდობაა აღებული მომენტის მნიშვნელობასთან. თუ $M = M_n$, მაშინ სიდიდეს, $b_m = \frac{M_m}{M_n}$ -ს უწოდებენ ძრავას ნომინალურ გადატვირთვის უნარიანობას და (2.4) გამოსახულებიდან

$$S_m = S_n \left(b_m + \sqrt{b_m^2 - 1} \right). \quad (2.6)$$

რადიკალის წინ აიღება “+” ნიშანი, რადგანაც S_m

ყოველთვის მეტია S_n -ზე.

2.2, ა-ნახაზზე ასინქრონული ძრავას ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებელი წარმოდგენილია $M=f(S)$ ფუნქციით, ხოლო 2.2, ბ – ნახაზზე - $M=f(\omega)$ ფუნქციით.



ნახ. 2.2. ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის მნიშვნელოვანი წერტილებია:

- 1) $S=0; (\omega = \omega_0) \dots M=0$ - უქმი სვლის რეჟიმი;
- 2) $S=S_n; (\omega = \omega_n) \dots M=M_n$ - ნომინალური რეჟიმი;
- 3) $S=S_m; (\omega = \omega_m) \dots M=M_m$ - ძრავას მაქსიმალური (კრიტიკული) მომენტი;
- 4) $S=1; (\omega = 0) \dots M=M_0$ - ძრავას ამუშავების მომენტი.

ზემოთ განხილული მახასიათებლები ბუნებრივი მახასიათებლებია და ისინი აიგება შემდეგი თანამიმდევრობით.

ძრავას საპასპორტო მონაცემებია: ნომინალური სიმძლავრე P_n , კვტ; ნომინალური ბრუნვათა რიცხვი n_n , გადატვირთვის კოეფიციენტი $b_m = M_m / M_n$; წყვილ პოლუსთა რიცხვი p :

განისაზღვრება:

$$1) \text{ ძრავას ნომინალური სრიალი } S_n = 1 - \frac{\omega_n}{\omega_0};$$

$$2) \text{ ძრავას მაქსიმალური სრიალი } S_m = S_n \left(b_m + \sqrt{b_m^2 - 1} \right);$$

$$3) \text{ ძრავას ნომინალური მომენტი } M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \text{ ნმ}$$

$$4) \text{ ძრავას მაქსიმალური მომენტი } M_m = M_n b_m.$$

ამის შემდეგ, სრიალს მისცემენ სხვადასხვა მნიშვნელობებს 1-დან 0-მდე და (2.5) ფორმულის მიხედვით ააგებენ ასინქრონული ძრავას ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელს $M=f(s)$ კოორდინატებში.

როტორის წრედში აქტიური წინაღობის ჩართვით იზრდება

$$S_m = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_m^2}} \quad (2.7)$$

სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

ნიშანი “+” აიღება ძრავულ რეჟიმში, ხოლო “-“ – გენერატორულ (სამუხრუჭო) რეჟიმში.

აქ R_1, X_1 სტატორის აქტიური და ინდუქციური წინაღობაა, ომი;

R'_2, X'_2 - სტატორზე დაყვანილი როტორის ფაზის აქტიური და ინდუქტიური წინაღობა, ომი;

$X_m = X_1 + X'_2$ - მოკლედ შერთვის ინდუქციური წინაღობა, ომი.

განვიხილოთ როტორის წრედში ჩართული რეოსტატის წინაღობის გავლენა მახასიათებლის ფორმაზე. თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სტატორის აქტიურ წინაღობას, სრიალის მაქსიმალური მნიშვნელობა ბუნებრივ მახასიათებელზე იქნება

$$S_{m0} = \frac{r'_0}{X_{m0}}, \quad (2.8)$$

ხოლო ხელოვნურზე

$$S_{mx} = \frac{R'_2 + r'_0}{X_{m0}}. \quad (2.9)$$

(2.8) და (2.9) ფორმულების ერთმანეთზე გაყოფით, მიიღება:

$$\frac{S_{mx}}{S_{m0}} = \frac{R'_2 + r'_0}{r'_0} = \frac{R_2 + r_0}{r_0} = 1 + \frac{R_2}{r_0}, \quad (2.10)$$

სადაც R_2 როტორის წრედში ჩართული რეოსტატის წინაღობაა

$$R_2 = r_0 \frac{S_{mx} - S_{m0}}{S_{m0}} . \quad (2.11)$$

ეს დამოკიდებულება მართებულია სრიალის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის.

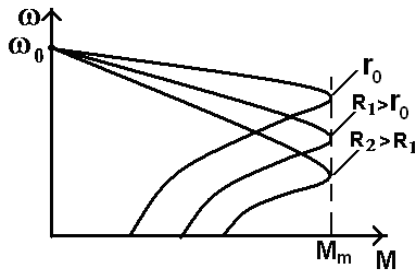
ამგვარად, შეიძლება აღინიშნოს, რომ ერთსა და იმავე მომენტის დროს სრიალის სიდიდე ხელოვნურ მახასიათებელზე იმდენჯერ მეტია ბუნებრივი მახასიათებლის შესაბამის სრიალზე, რამდენჯერაც მეტია როტორის სრული წინაღობა $R_2 + r_0$, როტორის გრაგნილის r_0 წინაღობაზე.

მახასიათებლები რეოსტატის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, მოყვანილია ნახ. 2.3 ნახაზზე.

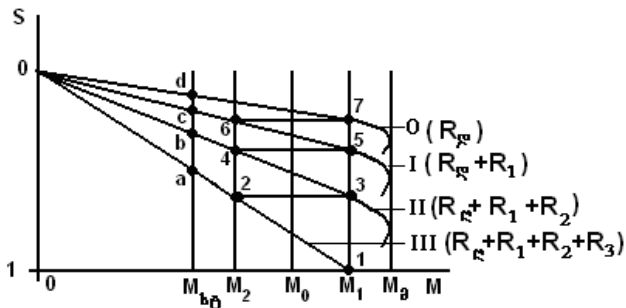
ძრავას მიერ M_1 მომენტის განავითარებისას (როდესაც როტორის წრედში მთლიანადაა ჩართული R_1 , R_2 და R_3 გამშვები წინაღობები), ამძრავი აჩქარდება III მექანიკურ მახასიათებელზე (ნახ. 2.4). სიჩქარის გაზრდასთან ერთად, გაიზრდება ძრავაში ემ ძალა და ამის გამო, შემცირდება როტორში გამავალი დენი; აგრეთვე შემცირდება ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი; როდესაც იგი გაუტოლდება ამძრავზე მოდებულ სტატიკურ მომენტს, აჩქარება შეწყდება და ძრავა იმუშავებს თანაბარი სიჩქარით (წერტილი a).

ნომინალური სიჩქარის (წერტილი d) მიღწევისათვის

საჭიროა ძრავა გადავიდეს ბუნებრივ მახასიათებელზე. ამისათვის, როდესაც ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი III მახასიათებელზე გახდება M_2 -ის ტოლი (წერტილი 2), საჭიროა ჩამოკლდეს (დაშუნტდეს) წინაღობის პირველი საფეხური R_3 . ამის შედეგად ძრავას მიერ განვი-



ნახ. 23. მექანიკური მახასიათებლები როტორის წრედში სხვადასხვა აქტიური წინაღობის დროს



ნახ. 24. რეოსტატული ამუშავება მუდმივი დატვირთვით თარებულ მომენტს გაიზრდება M_1 მნიშვნელობამდე და გადავა II მახასიათებელზე (წერტილი 3). ამძრავი ისევ

აჩქარდება, ამჟამად II მახასიათებელზე, და როცა მის მიერ განვითარებული მომენტი შემცირდება M_2 მნიშვნელობამდე (წერტილი 4), ჩამოკლდება R_2 წინაღობა და ამძრავი ისევ M_1 მომენტით აჩქარდება I მახასიათებელზე (წერტილი 5-დან წერტილ 6-მდე). ამის შემდეგ, ჩამოკლდება ბოლო R_1 წინააღობა და ძრავა გადავა ბუნებრივ, 0 მექანიკურ მახასიათებელზე. იგი დაიწყებს თანაბარი სიჩქარით მუშაობას წერტილ d-ში.

M_1 მომენტს უწოდებენ პიკურ მომენტს, ხოლო M_2 -ს – გადართვის მომენტს. ასინქრონულ ძრავებში პიკური მომენტი აიღება მაქსიმალურის (80...90)%, ხოლო გადართვის მომენტი - სტატიკურზე (15...20)%-ით მეტი. ანუ $M_1 \leq (0.8...0.9) \cdot M_m$ და $M_2 \geq 1.15...1.2 \cdot M_{st}$.

ასეთი მეთოდით ამუშავებისას, ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი M_1 -დან M_2 მნიშვნელობამდე იცვლება, ხოლო გარდამავალი პროცესის გაანგარიშებისას ამამუშავებელი მომენტი M_0 შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივად და მისი მნიშვნელობა $M_0 = \sqrt{M_1 M_2}$ ფორმულით გამოითვლება.

თუ სტატკური დატვირთვა ამძრავზე ნომინალურის $M_{st} = 0.1...0.5 \cdot M_n$ -ია, ამუშავების რეჟიმი “მსუბუქია”; თუ

$M_{st} = 0.5...0.9 \cdot M_n$ - ამუშავება “ნორმალურია” და თუკი

$M_{st} \geq M_n$ - “მძიმეა” [1,2].

როდესაც მომენტი იცვლება M_1 -დან M_2 -მდე, ამუშავებას უწოდებენ **საფეხურებრივს**. ამ დროს, მექანიზმების ნაწილებში აღიძვრება ციკლური ხასიათის დამატებითი დინამიკური დატვირთვა, რომელიც ზრდის მანქანის ელემენტების ცვეთას. მომენტის ცვალებადობა საგრძნობლად შეიძლება შემცირდეს ამუშავების საფეხურების რაოდენობის გაზრდით. თუ $\frac{M_1}{M_2} \rightarrow 1$, მაშინ ამუშავება უსაფეხურო ხდება და ძრავას შესაძლებლობები – მაქსიმალური.

სამთო მანქანებში (კიდული ბაგირგზები, საშახტო ჯალამბრები, ლენტური კონვეიერები და სხვ.) საცხებით მისაღებია $z = 7-8$ - ის ადგება. ამ დროს ამამუშავებელ M_0 და პიკურ M_1 მომენტებს შორის განსხვავება მხოლოდ 12%-ია.

როგორც აღინიშნა, M_2 გადართვის მომენტის მნიშვნელობა $M_2 \geq 1.15...1.2 \cdot M_{st}$.

შესაბამისი გადატვირთვის კოეფიციენტი იქნება

$$b_2 = \frac{M_m}{M_2} = \frac{M_m}{k_2 M_m} = \frac{1}{k_2}, \quad (2.12)$$

ხოლო მისი a_2 კოეფიციენტი

$$a_2 = b_2 - \sqrt{b_2^2 - 1}. \quad (2.13)$$

ამუშავების მომენტის, M_0 -ის მნიშვნელობად მივიღოთ

$$M_0 = 1.2M_n = 1.2 \frac{M_m}{b_n} \text{ ნმ}; \quad (2.14)$$

შესაბამისად,

$$b_0 = \frac{b_n}{1.2}; \quad (2.15)$$

მაშინ, პიკური მომენტის გადატვირთვის კოეფიციენტი იქნება

$$b_1 = \frac{b_0^2}{b_2}; \quad (2.16)$$

ხოლო პიკური მომენტის კოეფიციენტი

$$a_1 = b_1 - \sqrt{b_1^2 - 1}; \quad (2.17)$$

ამუშავების რეოსტატის საფეხურების რაოდენობა

$$z = \text{round} \left[\frac{\lg \left(\frac{1}{a_1 S_{m0}} \right)}{\lg \left(\frac{a_1}{a_2} \right)} \right]. \quad (2.18)$$

ამ დამრგვალებული z -სათვის გამოითვლება a_1 -ის ახალი მნიშვნელობა

$$a_1 = \left(\frac{a_2^z}{S_{m0}} \right)^{\frac{1}{z+1}}; \quad (2.19)$$

b კოეფიციენტის მნიშვნელობა

$$b = \frac{a_1}{a_2}. \quad (2.20)$$

რადგანაც უკვე ცნობილია $b = \frac{a_1}{a_2}$ სიდიდე, შესაძლებელია ამუშავების მექანიკური მახასიათებლების აგება.

ასევე ცნობილია, რომ ბუნებრივი მახასიათებლის მაქსიმალური სრიალის საშუალებით ადვილად აიგება ხელოვნური მახასიათებლებიც; კერძოდ, ხელოვნური მახასიათებლების მაქსიმალური სრიალი ერთმანეთისაგან განსხვავდება b სიდიდით და გამოითვლება $S_{mz} = S_{m0}b^z$ -ის საშუალებით.

ამის შემდეგ, (2.4) ფორმულით აიგება ბუნებრივი და ხელოვნური მახასიათებლები

$$M = \frac{2M_m S_{m0} b^z}{(S_{m0} b^z)^2 + S^2} S. \quad (2.21)$$

როცა $z=0$, აიგება ბუნებრივი მახასიათებელი, ხოლო როცა $z=1...n$ - შესაბამისი ხელოვნური მახასიათებელი.

როტორის ერთი ფაზის ნომინალური წინაღობა გამ-

ოთველება $R_n = \frac{U_{2n}}{\sqrt{3}I_{2n}}$, ხოლო საკუთრივ როტორის წინა-

ლობა - $r_0 = R_n \cdot S_{n0}$ ფორმულით. I_{2n} - არის როტორის ნომი-ნალური დენი, ა; U_{2n} - როტორის ემ ძალა, ვ; მათი სიდი-

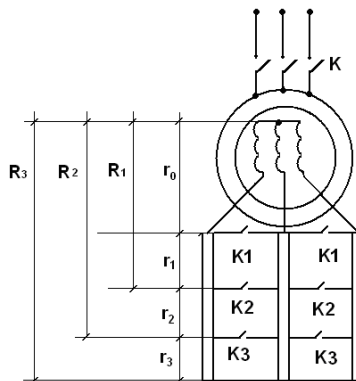
დეები ძრავებისათვის მოცემულია კატალოგში.

როტორის წრედში მიერთებული წინალობები ყოველ საფეხურზე განისაზღვრება $R_z = r_0 \cdot b^z$ გამოსახულებით, ხოლო თითოეული საფეხურის წინალობა

$$r_z = R_z - R_{z-1} = r_0(b^z - b^{z-1}) = r_0(b - 1)b^{z-1};$$

2.5 ნახაზზე ნაჩვენებია სქემისათვის $R_1 = r_0 + r_1;$

$R_2 = r_0 + r_1 + r_2 = R_1 + r_2$ და $R_3 = r_0 + r_1 + r_2 + r_3 = R_2 + r_3.$



ნახ. 2.5. როტორის წრედის წინალობების განსაზღვრა

2.2. მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება

თანამედროვე ტექნოლოგიებით აღჭურვილ ბაგირგზაზე, ექსპლოატაციაში ყველაზე იაფი და საიმედო, მოკლედ ჩაკეტილ-როტორიანი ასინქრონული ძრავების გამოყენებას ძალზე დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება. მათ სამართავად მიმართავენ ძრავას პოლუსების რაოდენობის შეცვლას და სიხშირულ გარდამქმნელებს (სგ).

ა) სიჩქარის რეგულირება პოლუსთა რიცხვის ცვლით

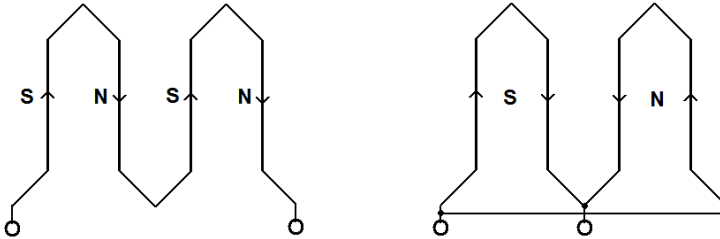
ასინქრონული ძრავას სინქრონული კუთხური სიჩქარე დამოკიდებულია მკვებავი ძაბვის f_1 სიხშირეზე და წყვილ პოლუსთა p რიცხვზე

$$w_0 = \frac{2\pi f_1}{p}.$$

ამიტომ წყვილპოლუსთა რიცხვის ცვლით შესაძლებელია ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება. ისეთ ძრავებს, სადაც შესაძლებელია პოლუსთა რიცხვით სიჩქარის შეცვალა, მრავალსიჩქარიან ძრავებს უწოდებენ. ასეთ ძრავებში თითოეული ფაზის გრაგნილი ორი თანატოლი ნაწილისაგან შედგება. ერთ-ერთ მათგანში ცვლიან დენის მიმართულებას გრაგნილების მიმდევრობით ჩართვიდან პარალელურზე გადართვით. ასეთ გადართვას (ნახ. 2.6.) მოჰყვება პოლუსთა რიცხვის ორჯერ შემცირება და

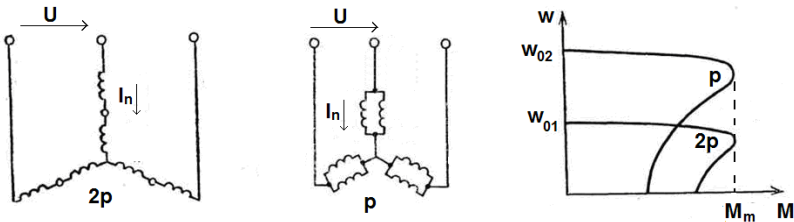
შესაბამისად ძრავას სინქრონული ბრუნვის სიჩქარის ორჯერ გაზდა.

პრაქტიკულად სტატორის გრაგნილის გადართვა იმ სქემის მიხედვით ხდება, რომელიც ნაჩვენებია 2.7ნახაზზე, სადაც განხორციელებულია ერთმაგი ვარსკვლავიდან



ნახ. 2.6. სტატორის გრაგნილის მიმდევრულიდან პარალელურზე გადართვის სქემა

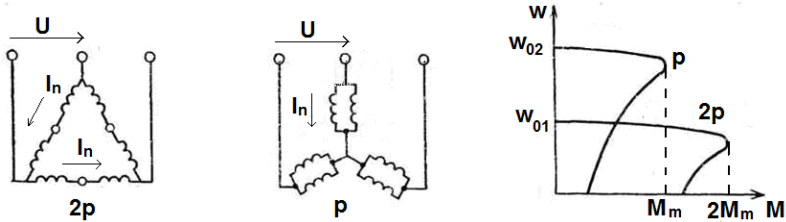
ორმაგ ვარსკვლავზე გადართვა, ხოლო 2.8 ნახაზზე სამკუთხედიდან ორმაგ ვარსკვლავზე გადართვა.



ნახ. 2.7. სტატორის გრაგნილის ვარსკვლავიდან ორმაგ ვარსკვლავზე გადართვის სქემა და მუდმივი მომენტი სიჩქარის რეგულირება

სტატორის გადართვისას ვარსკვლავიდან ორმაგ ვარსკვლავზე ძრავას სიმძლავრე ორჯერ იზრდება, ხოლო მომენტი მუდმივი რჩება. ასეთ რეგულირებას უწო-

დებენ მუდმივი მომენტი სიჩქარის რეგულირებას (ნახ. 2.7). სტატორის გადართვისას სამკუთხედიდან ორმაგ ვარსკვლავზე ძრავას სიმძლავრე მუდმივი რჩება, ხოლო მომენტი ორჯერ მცირდება. ასეთ რეგულირებას უწოდებენ მუდმივი სიმძლავრით რეგულირებას (ნახ. 2.8).



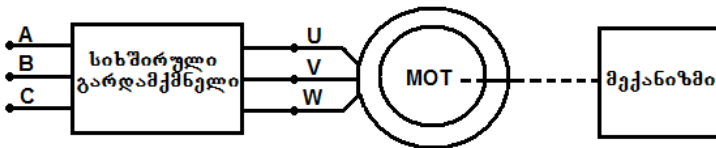
ნახ. 2.8. სტატორის გრაგნილის სამკუთხედიდან ორმაგ ვარსკვლავზე გადართვის სქემა და მუდმივი სიმძლავრით სიჩქარის რეგულირება

ბ) სიხშირული გარდამქმნელის (სგ) გამოყენების შემთხვევაში ძრავას ამუშავება ხდება სიხშირისა და ძაბვის მდღვრედ გაზრდით. ამუშავების მთელი დროის განმავლობაში ძრავას დენი დასაშვების ფარგლებშია და განისაზღვრება სგ-ს სასურველი პარამეტრებით. სგ-ს საშუალებით ძრავას ამუშავების უარყოფითი მხარეა შედარებით მაღალი ფასი.

მკვებავე ძაბვის სიხშირის ცვლილებით ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება ასინქრონული ძრავასათვის უზრუნველყოფს ყველაზე საუკეთესო მახასიათებლებს სხვა ცნობილ მეთოდებთან შედარებით და იძლევა ყველაზე მარტ-

იგი და საიმედო მოკლედ ჩართულ-როტორიანი (მჩრ) ელექტრული ძრავას გამოყენების საშუალებას.

ელექტრული ამძრავი, სადაც ძრავა სგ-ს საშუალებით იმართება, შესდგება ასინქრონული (როგორც მჩრ ისე ფაზურ-როტორიანი) ან სინქრონული ელექტრული ძრავა-საგან და სისშირული გარდამქმნელისაგან (ნახ. 2.9.)



ნახ. 2.9. სისშირით რეგულირებადი ელექტროამძრავი

სისშირული გარდამქმნელი მართავს ელექტრულ ძრავას და არის ელექტრონული სტატიკური მოწყობილობა. გარდამქმნელის გამოსასვლელზე ფორმირდება ელექტრული ძაბვა ცვალებადი ამპლიტუდითა და სისშირით.

ასინქრონულ ძრავაში, როტორის ბრუნვათა რიცხვი w , განსხვავდება სტატორის მაგნიტური ველის w_0 ბრუნვათა რიცხვისაგან S სრიალის მნიშვნელობით. w_0 ბრუნვათა რიცხვი დამოკიდებულია მკვებავი ძაბვის f სისშირეზე, ხოლო როტორის ბრუნვის სიჩქარე გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

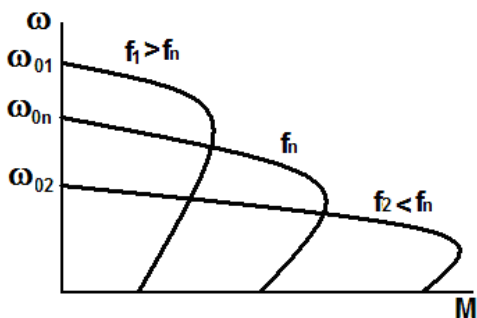
$$\omega = \omega_0(1 - S) = \frac{2\pi f}{p}(1 - S)$$

სადაც p - სტატორის წყვილპოლუსთა რიცხვია;

თავის მხრივ, სიხშირის ცვლილება მექანიკურ მახასიათებელზეც მოქმედებს. რადგანაც ძრავას მაქსიმალური მომენტი უკუპროპორციულია სიხშირის კვადრატისა -

$$M_m = A \frac{U^2}{f^2},$$

ამიტომ, სიხშირის შემცირებისას იგი იზრდება და პირიქით - გაზრდისას მცირდება (ნახ. 2.3)



ნახ. 2.10. სიხშირის ცვლილების გავლენა მექანიკურ მახასიათებლებზე

გარდა ამისა, სიხშირის შემცირებით მცირდება დამაგნიტების კონტურის ინდუქტიური წინაღობა და იზრდება შესაბამისად დენი, რაც იწვევს ძრავას გადახურებას. ამიტომ, ძრავას სრულყოფილი გამოყენებისათვის, აუცილებელია სიხშირის შეცვლასთან ერთად შეიცვალოს სტატორის მკვებავი ძაბვის ამპლიტუდა - $\frac{U}{f} = \text{const}$;

უკანასკნელ პერიოდში, შეინიშნება სიხშირული გარდამქმნელების წარმატებული დანერგვა წარმოების თით-

ქმის ნებისმიერ სფეროში. ეს პირველ რიგში გამოწვეულია იმით, რომ გარდამქმნელები იქმნება პრინციპულად ახალ ელექტრონულ ბაზაზე, კერძოდ, იზოლირებულ ჩამკეტიან ბიპოლარულ IGBT ტიპის ტრანზისტორებზე.

მოკლედ შევეხოთ სიხშირული გარდამქმნელის მართვის მეთოდებს.

მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ასინქრონული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირებისათვის უმთავრესად სკალარული და ვექტორული სიხშირული მართვა გამოიყენება. წინასწარ განსაზღვრული კანონით, სკალარული მართვის დროს, ცვლიან ძრავაზე მიმავალ ძაბვის ამპლიტუდასა და სიხშირეს. სიხშირის ცვალებადობა, თავის მხრივ იწვევს ძრავას მაქსიმალური და ამუშავების მომენტების, მარგი ქმედებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტების საანგარიშო მნიშვნელობებიდან გადახრას. ამის გამო, ძრავას სასურველი მახასიათებლების მისაღებად, საჭიროა ძაბვის სიხშირის ცვალებადობასთან ერთად შესაბამისად შეიცვალოს ძაბვის ამპლიტუდის მნიშვნელობაც.

სკალარული რეგულირების დროს, ყველაზე ხშირად, შენარჩუნებულია ძრავას მაქსიმალური მომენტის ფარდობა დატვირთვის მომენტთან. ანუ სიხშირის შეცვლასთან ერთად ისე იცვლება ძაბვის ამპლიტუდის მნიშვნელობა, რომ მაქსიმალური მომენტის ფარდობა დატვირთვის მომენტთან მუდმივია. ამ ფარდობას ძრავას გადატვირთვის

უნარს უწოდებენ. ძრავას მუდმივი გადატვირთვის უნარის დროს მარგი ქ-ის და სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობები პრაქტიკულად არ იცვლება. ამასთან, მცირე სისწორეებზე, მაქსიმალური მომენტიც იწყებს შემცირებას. ამის საკომპენსაციოდ და ამამუშავებელი მომენტის გასაზრდელად დამატებით არეგულირებენ მკვებაგ ძაბვას. სკალარული მართვა უმეტესად გამოიყენება ისეთ ამძრავებში სადაც სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონი არ აღემატება 1:40.

ვექტორული მართვა საგრძობლად ზრდის მართვის დიაპაზონს, რეგულირების სიზუსტეს და ამძრავის სისწრაფეს. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს უშუალოდ ძრავას მაბრუნებელი მომენტის მართვას. მაბრუნებელი მომენტი განისაზღვრება სტატორის დენით, რომელიც ქმნის მაგნიტურ ველს. მომენტის უშუალოდ მართვის დროს აუცილებელია სტატორის დენის როგორც ამპლიტუდის, ასევე ფაზის ანუ დენის ვექტორის შეცვლა. აქედანაა ტერმინი “ვექტორული მართვა”.

დენის ვექტორის სამართავად, აუცილებელია სტატორის მაგნიტური ნაკადის მდებარეობის ცოდნა მბრუნავი როტორის მიმართ. თავის მხრივ, როტორის მდებარეობის გაგება დროის ნებისმიერ მომენტში შესაძლებელია ან როტორის მდებარეობის გადამწოდის გარეთ გამოტანით, ან ძრავას სხვა პარამეტრების გაზომვით, რომლებიც

დამოკიდებულია როტორის მდებარეობაზე. ასეთი პარამეტრებია სტატორის გრაგნილების დენი და ძაბვა.

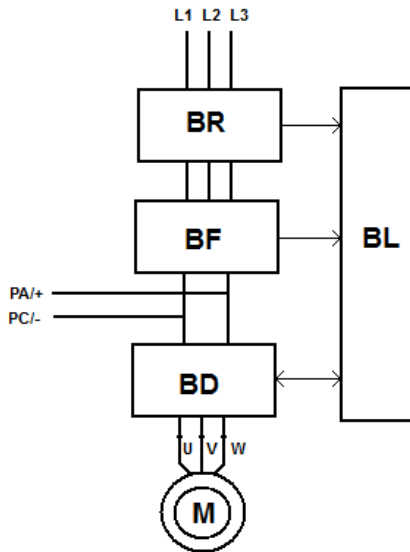
უფრო ადვილია ვექტორული მართვის განხორციელება სიჩქარის გადამწოდის გარეშე, მაგრამ ამ შემთხვევაში საჭიროა დიდი მოცულობისა და მაღალი სიჩქარით გამოთვლები. გარდა ამისა, უშუალოდ ძრავას მომენტის მართვა მცირე სიჩქარეების დროს, სიჩქარის უკუკავშირის გარეშე შეუძლებელია. ვექტორული მართვა სიჩქარის უკუკავშირით უზრუნველყოფს რეგულირების დიაპაზონს 1:1000-მდე, სიჩქარის რეგულირების სიზუსტეს პროცენტის მეასედებით და მომენტის რეგულირების სიზუსტეს ერთეული პროცენტებით.

რეგულირებად ელექტროამძრავში გამოყენებული სიხშირის გარდამქმნელები, სტრუქტურული სქემებისა და ძალოვანი ნაწილის მუშაობის პრინციპიდან გამომდინარე ორ ჯგუფად იყოფა:

1. სიხშირული გარდამქმნელები მუდმივი დენის ცხადად გამოხატული საშუალებო რგოლით;
2. სიხშირული გარდამქმნელები უშუალო კავშირით (მუდმივი დენის ცხადად გამოხატული საშუალებო რგოლის გარეშე);

პირველად, ისტორიულად, მეორე ჯგუფის სიხშირული გარდამქმნელები გამოიხდა, სადაც ძალოვანი ნაწილი მართვად გამმართველებზე, ტირისტორებზე იყო აწყობი-

ლი. მმართველი სისტემა რიგრიგობით აღებდა ტირისტორების ჯგუფს და ახდენდა გამომავალი სიგნალის ფორმირებას. ამჟამად სიხშირული გარდამქმნელების მართვის ეს მეთოდი აღარ გამოიყენება. ყველა გარდამქმნელი შეიცავს მუდმივი დენის ცხადად გამოსატულ რგოლს (იხ. 2.4)



ნახ. 2.11. სიხშირული გარდამსახი მუდმივი დენის ცხადად გამოსატული რგოლით

ამ ჯგუფის გარდამქმნელებში გამოიყენება ელექტრული ენერგიის ორმაგი გარდამქმნა: მუდმივი ამპლიტუდისა და სიხშირის შემავალი სინუსოიდალური ძაბვა (L1,L2,L3) გაიმართება გამმართველ (BR) ბლოკში და გაიფილტრება

და გასწორდება ფილტრაციის (BF) ბლოკში. საბოლოოდ მიიღება მუდმივი ძაბვა. ამ კვანძს მუდმივი დენის რგოლი ჰქვია. რეგულირებადი სიხშირის სინუსოიდალური ძაბვის მიღებას ემსახურება გარდამსახი (BD) ბლოკი. მართვად გარდამქმნელებად გამოიყენება იზოლირებულ ჩამკეტიანი ბიპოლარული IGBT ტრანზისტორები. ზემოთ ჩამოთვლილი ბლოკები იმართება წინასწარ დაპროგრამებული ალგორითმით მიკროპროცესორული მოდულებით ან ლოგიკის (BL) ბლოკით.

გ) მდოვრედ ამუშავების მოწყობილობა

კიდული ბაგირგზის უსაფრთხო ექსპლოატაციის წესებით დაშვებულია, რომ თუ ბაგირგზის მაქსიმალური სიჩქარე $V_m \leq 3$ მ/წმ, ამძრავ ძრავად შესაძლებელია მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავას გამოყენება, რომლის ამუშავება ქსელთან უშუალოდ მიერთებით განხორციელდება. ზოგ ბაგირგზაზე (სადაც დიდტევადობიანი ვაგონებია და შესაბამისად დიდი მასები) ამუშავების ასეთი ხერხი საფრთხით მისაღებია, მაგრამ მცირე მასიან ბაგირგზებზე დასაშვებზე მეტი დინამიკური რეჟიმები აღიძვრება და აუცილებელია დამატებითი ღონისძიებების მიღება.

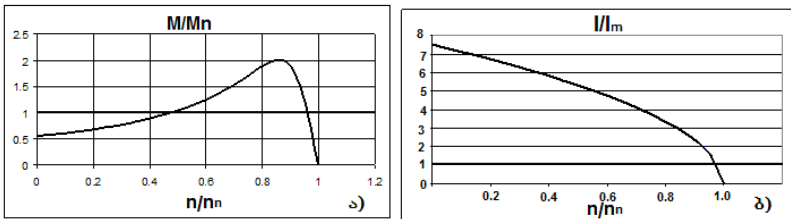
მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავას ქსელთან მიე-

რთებისას სტატორში გაივლის ნომინალურ დენზე 5...8-ჯერ მეტი ე.წ. ამუშავების დენი, მაშინ როდესაც ამამუშავებელი მომენტის სიდიდე, ამ შემთხვევაში, ნომინალური მომენტის (50...150)%-ია. 2.12 ნახაზზე მოყვანილია ეს დამოკიდებულებები: ა) მომენტის, ხოლო ბ) დენის. აბსცისაზე გადახომილია ძრავას ბრუნვათა რიცხვები ფარდობით ერთეულებში.

ბევრი სამრეწველო მექანიზმისათვის, მათ შორის ბაგირგზებისათვის, დაუშვებელია ასეთი დიდი ამამუშავებელი დენი და მცირე მომენტი.

მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავას ამუშავების დენის შემცირებისათვის ძალიან ხშირად მკვებავ ძაბვას არეგულირებენ. ყველაზე ძველი და დამუშავებული მეთოდია ძრავას სტატორის გადართვა სამკუთხედი შეერთებიდან ვარსკვლავზე. ამუშავების დასაწყისში, სამკუთხედიდან ვარსკვლავზე სტატორის შეერთებისას, მასზე მოედება ნომინალურზე $\sqrt{3}$ ნაკლები ძაბვა. რადგანაც ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი ძაბვის კვადრატის პროპორციულია, შესაბამისად ამუშავების მომენტი 3-ჯერ შემცირდება. აღნიშნული მეთოდი მეტად ეკონომიური და მარტივი განსახორციელებელია, მაგრამ მას გააჩნია სერიოზული ნაკლი. კერძოდ, ხშირად არაა საკმარისი ამამუშავებელი მომენტის 3-ჯერ შემცირებული მნიშვნელობა.

მდოვრედ ამუშავების მოწყობილობა (მამ) ტირისტორული მოწყობილობაა და რომლის ძირითადი ამოცანა არის ძრავას მდოვრედ ამუშავება და დამუხრუჭება. სამივე ფაზაში ძაბვის რეგულირებით, მამ-ით, მიიღწევა ძრავას საიმედო და მოსახერხებელი მართვა.



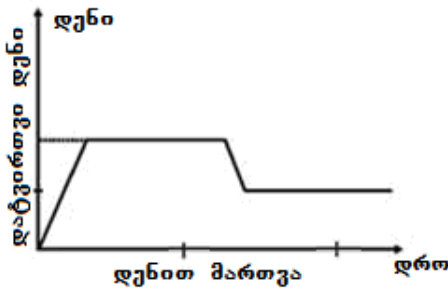
ნახ. 2.12. ამუშავების მომენტი ა), დენის ცვალებადობა ბ)

ძაბვით მართვა. მართვის ეს მეთოდი საკმაოდ ხშირად გამოიყენება. ამამუშავებელი უზრუნველყოფს მდოვრედ ამუშავებას, მაგრამ არ გააჩნია დენითა და მომენტით უკუკავშირი. ამამუშავებელი თანაბრად ზრდის და ამცირებს ძაბვას ნომინალურ მნიშვნელობამდე, საკმარისია მხოლოდ დროის სიდიდის მონიშვნა.

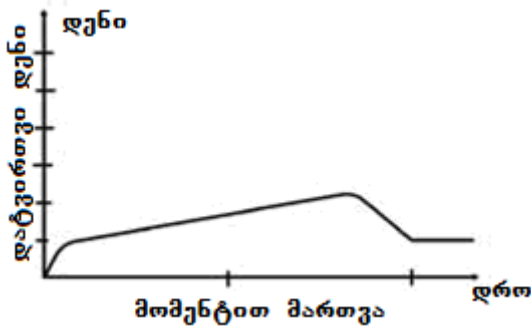
ამუშავების დროის მნიშვნელობად მიღებულია 1...60 წმ, ხოლო გაჩერებისა - 2...120 წმ. ოპტიმალური ამუშავების ტიპური საპროგრამო პარამეტრებია: საწყისი ძაბვა, ამუშავების დრო და აჩქარების მრუდის ორმაგი დახრა.



დენით მართვა. ძაბვის ცვალებადობა შესაძლებელია განხორციელდეს დენური შეზღუდვით. ამ შემთხვევაში ძაბვის ზრდა შეწყდება, როცა დენის მნიშვნელობა ზღვრულ სიდიდეს მიაღწევს. ძაბვის შეზღუდვის დონე ამუშავების ძირითადი პარამეტრია და კონკრეტულ დავალებიდან გამომდინარე, მომხმარებლისაგან დგინდება. ეს ფუნქცია აქტუალურია განსაკუთრებით მაშინ, როცა ქვესადგურის ან გენერატორის სიმძლავრე ან უბრალოდ, კაბელის კვეთის სიდიდე შეზღუდულია.



მომენტიტ მართვა. ძრავას ამუშავების ეს მეთოდი განსაკუთრებით მოსახერხებელია. ძაბვისა და დენით მეთოდებისაგან განსხვავებით, მამ-ი არეგულირებს მომენტის იმ საჭირო მნიშვნელობას, რომელიც უზრუნველყოფს მინიმალური დენით ძრავას ამუშავებას. მომენტიტ მართვის მთავარი უპირატესობა ტრადიციულ ძაბვით მართულ ამამუშავებლებთან შედარებით ისაა, რომ ხორციელდება ამამუშავებისა და გაჩერების უფრო სრულყოფილი კონტროლი, რაც თავის მხრივ საშუალოდ დენს 20%-ით ამცირებს. მომენტიტ უკუკავშირიანი სისტემა იძლევა აჩქარების წრფივ გრაფიკს.



III. ბაგირგზის ცვლადი დენის ამძრავი დიფერენციალური რედუქტორით

3.1. ზოგადი ცნებები

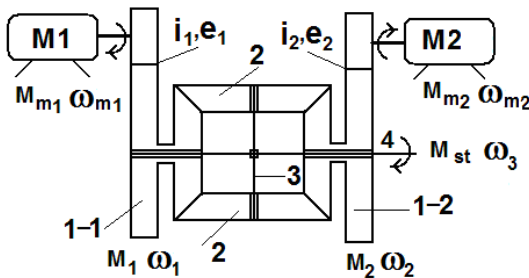
თანამედროვე ტექნოლოგიებით აღჭურვილ ბაგირგზაზე, როგორც II თავში აღინიშნა, ექსპლუატაციაში ყველაზე იაფი და საიმედო, მოკლედ ჩაკეტილ-როტორიანი (მჩრ) ასინქრონული ძრავებია გამოყენებული, ხოლო მათ სამართავად - სისშირული გარდამქმნელები.

გარდამქმნელები უდიდესი სიზუსტით ასრულებს მათდაკისრებულ ამოცანებს, მაგრამ გააჩნიათ სატრანსპორტო მექანიზმების ამძრავებისთვის დამახასიათებელი ნაკლი – სარევიზიო (მცოცი ≈ 0.5 მ/წმ) სიჩქარის განხორციელება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში შეუძლებელია. ეს იმითაა გამოწვეული, რომ მცირე სიჩქარით მოძრაობისას, დატვირთვის სიდიდის ნომინალური მნიშვნელობის დროს, ძრავა ხურდება ცუდი ვენტილაციის გამო. დღესდღეობით, ყოველ დღით, სამგზავრო ბაგირგზებზე ცვლის დაწყებისას, მცირე სიმძლავრის მჩრ ასინქრონული ძრავათი ხორციელდება სარევიზიო სიჩქარე დამატებითი რედუქტორის საშუალებით.

ამავე დროს, სისშირული გარდამქმნელების გამოყენება ჯერჯერობით შეზღუდულია მათი მაღალი ფასის გამო.

ბაგირგზის მუშაობის ტაქოგრაშიდან გამომდინარე, ამძრავს მოთხოვნება მდოვრედ ამუშავება, სტაბილური მაქსიმალური სიჩქარე, მდოვრედ შენელება და მდგრადი მცოცი (სარვეზიო) სიჩქარის განვითარება (იხ. ნახ. 1.1)

თანამედროვე ტექნოლოგიით აღჭურვილი მდოვრედ ამუშავების მოწყობილობა (მამ), რომელიც აგრეთვე ცნობილია “Softstarter”-ის სახელით, მთლიანად აკმაყოფილებს დიფერენციალურ რედუქტორთან ერთად, ბაგირგზის ამძრავზე წაყენებულ მოთხოვნებს. მამ-ს შეუძლია ასინქრონული ძრავას მდოვრედ ამუშავება და დამუხრუჭება ამძრავ შკივზე მოდებული დატვირთვის მიუხედავად განსაზღვრულ დროში, წინასწარ მიცემული პროგრამით. დღესდღეობით მამ-ით 1600 კვტ-მდე მხრ ასინქრონული ძრავა იმართება.



ნახ. 3.1. კონუსური, სიმეტრიული დიფერენციალური რედუქტორი

კიდული ბაგირზის ელექტრულ ამძრავში გამოყენებულ კონუსურ, სიმეტრიულ დიფერენციალურ რედუქტორს აქვს (3.1.) ნახაზზე ნაჩვენები სახე:

M_{mn1}, w_{mn1} და M_{mn2}, w_{mn2} - M1 და M2 ძრავების მიერ განვითარებული ნომინალური მომენტები და ბრუნვის სიჩქარეებია;

i_1, e_1 და i_2, e_2 - გადაცემის რიცხვები და გადაცემის მქოვეფიცენტები ძრავებიდან მზიურ კბილანებად, შესაბამისად;

M_1, w_1 და M_2, w_2 - მზიურ კბილანებზე დაყვანილი მომენტები და ბრუნვის სიჩქარეებია, შესაბამისად;

w_3 და M_{st} - გამომავალი ლილვის ბრუნვის სიჩქარე და მასზე მოდებული სტატიკური დატვირთვა.

მზიური კბილანები (1-1 და 1-2), რომელთაც შეუძლიათ ბრუნვა როგორც შემხვედრად, ისე თანმხვედრად, ატრიალებენ (3) წამყვანით შეერთებულ ორ სატელიტურ კბილანას (2), რომლებიც აბრუნებს (4) გამომავალ ლილვს.

როდესაც გამომავალი (4) ლილვის ბრუნვის სიჩქარე w_3 , მზიური კბილანების ბრუნვის სიჩქარეების ნახევარჯამია- $w_{3max} = 0.5(w_1 + w_2)$, მაშინ ძრავების ბრუნვას უწოდებენ თანმხვედრს, ხოლო როცა $w_{3min} = 0.5(w_1 - w_2)$, მაშინ - შემხვედრს.

თანმხვედრი მოძრაობის დროს ორივე ძრავა მუშაობს ძრავულ რეჟიმში და იდეალურად ინაწილებს გამომავალ ლილვზე მოდებულ სტატიკურ დატვირთვას - $M_{mn1} = \frac{M_{st}}{2i_1 e_1}$

და $M_{mn2} = \frac{M_{st}}{2i_2 e_2}$.

შემხვედრი მოძრაობისას, თუ გამომავალ ლილვზე დატვირთვა დადებითია და $i_2 > i_1$, M1 ძრავა მუშაობს ძრავულ რეჟიმში, ხოლო M2- რეკუპერაციულში. დატვირთვები ძრავებზე იქნება $M_{mn1} = \frac{M_{st}}{2i_1 e_1}$ და $M_{mn2} = \frac{M_{st} e_2}{2i_2}$.

ენერგეტიკული თვალსაზრისით, თანმხვედრი მოძრაობისას ორივე ძრავა მუშაობს გამომავალ ლილვზე მოდებული სიმძლავრის ნახევარი სიმძლავრით. თუ გავამრავ-

ლებთ $w_3 = \frac{w_1}{2} + \frac{w_2}{2}$ -ს სტატიკურ დატვირთვაზე, იქნება -

$$M_{st} w_3 = M_{st} \frac{w_1}{2} + M_{st} \frac{w_2}{2} \text{ ანუ } P_3 = P_1 + P_2 \approx 2P_1 \text{ და } P_1 = P_2 =$$

$$= \frac{P_3}{2}. \text{ შემხვედრი მოძრაობისას კი, M1 ძრავას ქსელიდან}$$

მოაქვს $M_{st} w_1$ სიმძლავრე, რომლის ნაწილი ($2M_{st} w_3$), გადაეცემა ამძრავ შიკვს, ხოლო დანარჩენი $M_{st} w_2$, M2 ძრავას გავლით, რომელიც მუშაობს რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში, უკან უბრუნდება ქსელს. გავამრავლოთ

$w_3 = \frac{w_1}{2} - \frac{w_2}{2}$ გამოსახულება სტატიკურ დატვირთვაზე -

$$M_{st} w_1 = 2M_{st} w_3 + M_{st} w_2 \quad \text{ანუ} \quad P_1 = P_3 + P_2.$$

თუ მხედველობაში არ მიიღება მომენტების დანაკარგები მათი სიმცირის გამო, შეიძლება დაიწეროს (ძრავების მიერ განვითარებული მომენტები დამყარებულ რეჟიმში ტოლია და მიმართულებით ერთმანეთს ემთხვევა - $M_{m1} = M_{m2}$) - $M_3 = M_1 + M_2$.

დიფერენციალური ელექტროამძრავის (დეა) ანალიზისას სინქარეები, ბრუნვათა რიცხვები და ინერციის მომენტები მზიურ კბილანებზე დაჰყავთ.

ძრავების ბრუნვათა რიცხვები:

უქმი სვლის ბრუნვათა რიცხვები -

$$w_{m10} = \frac{\pi n_{m10}}{30}, \quad w_{m20} = \frac{\pi n_{m20}}{30} \quad \text{და} \quad w_{10} = \frac{w_{m10}}{i_1}, \quad w_{20} = \frac{w_{m20}}{i_2};$$

ნომინალური ბრუნვათა რიცხვები -

$$w_{m1n} = \frac{\pi n_{m1n}}{30}, \quad w_{m2n} = \frac{\pi n_{m2n}}{30} \quad \text{და} \quad w_{1n} = \frac{w_{m1n}}{i_1}, \quad w_{2n} = \frac{w_{m2n}}{i_2};$$

ა) - შემხვედრი ბრუნვისას, ბ) - თანმხვედრი ბრუნვისას

ძრავების მიერ განვითარებული მომენტები:

ა) $M_1 = M_{mn1} i_1 e_1, \quad M_2 = M_{mn2} i_2 \frac{1}{e_2};$

ბ) $M_1 = M_{mn1} i_1 e_1, \quad M_2 = M_{mn2} i_2 e_2;$

ძრავების ინერციის მომენტები:

$$ა) J_1 = J_{m1} i^2 e_1, J_2 = J_{m2} i^2 \frac{1}{e_2}; \quad ბ) J_1 = J_{m1} i^2 e_1, J_2 = J_{m2} i^2 e_2;$$

მახასიათებლების სიხისტეები:

$$ა) B_1 = B_{m1} i^2; \quad ბ) B_2 = B_{m2} i^2;$$

$$\text{სადაც } B_{m1} = \left| \frac{M_{mn1}}{w_{m01} S_{n1}} \right| \text{ და } B_{m2} = \left| \frac{M_{mn2}}{w_{m02} S_{n2}} \right|, \text{ ხოლო გამომაგა-}$$

ლი ლილვის მექანიკური მახასიათებლის სიხისტე გამოითვლება - $B_3 = \frac{4B_1 B_2}{B_1 + B_2}$. (w_{m0} , M_{mn} და S_n ამპრავი ძრავას

უქმი სვლის კუთხური სიჩქარე, ნომინალური მომენტი და ნომინალური სრიალია) [3].

3.2. დიფერენციალური ელექტრული ამპრავის ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრა

როგორც ზემოთ აღინიშნა, როდესაც ძრავები და შესაბამისად მზიური კბილანები თანმხვედრად ბრუნავს, დიფერენციალური ელექტროამპრავის (დეა-ს) გამომაგალი ლილვი მაქსიმალური სიჩქარით ბრუნავს -

$$w_{30\max} = 0.5(w_{10} + w_{20}), \quad (3.1)$$

ანალოგიურად, მინიმალური (გაწევის) სიჩქარის დროს

$$w_{30\min} = 0.5(w_{10} - w_{20}). \quad (3.2)$$

(3.1) და (3.2) ჯერ შევკრიბოთ და შემდეგ გამოვაკლოთ ერთმანეთს -

$$W_{10} = W_{30\max} + W_{30\min} \quad \text{და} \quad W_{20} = W_{30\max} - W_{30\min} \quad (3.3)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $w_{10} = \frac{\pi n_{m10}}{30i_1}$, $w_{20} = \frac{\pi n_{m20}}{30i_2}$,

$w_{30\max} = \frac{2}{D_0} V_m$ და $w_{30\min} = \frac{2}{D_0} V_0$, გვქვია

$$i_1 = \frac{\pi D_0}{60} \frac{n_{m1n}}{V_m + V_0} \quad \text{და} \quad i_2 = \frac{\pi D_0}{60} \frac{n_{m20}}{V_m - V_0} \quad (3.4)$$

ქვემოთ, მცოცი სიჩქარის რეჟიმის გამოკვლევისას ვნახავთ, რომ სასურველია ამძრავი ძრავები ერთნაირები იყოს. ამ მოსაზრებით $n_{m10} = n_{m20}$ და $\frac{i_2}{i_1} = \frac{V_m + V_0}{V_m - V_0}$. მივიღოთ მხედველობაში, რომ $V_0 \approx 0.5$ მ/წმ და განვსაზღვროდ გადაცემის რიცხვების ფარდობა -

ცხრილი 1

Vm, მ/წმ	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
i2/i1	1.40	1.29	1.22	1.18	1.15	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09

ცხრილიდან სჩანს, რომ ბაგირგზის სიჩქარის გაზრდასთან ერთად გადაცემის რიცხვების მნიშვნელობები ერთმანეთს უახლოვდება.

ამძრავი ძრავების სიმძლავრეები:
შემხვედრი ბრუნვისას -

$$P_{1m} = \frac{1}{9550} \frac{M_{st} n_{m1}}{2i_1 e_1}, \quad P_{2m} = \frac{1}{9550} \frac{M_{st} n_{m2} e_2}{2i_2}; \quad (3.5)$$

თანმხვედრი ბრუნვისას –

$$P_{1m} = \frac{1}{9550} \frac{M_{st} n_{m1}}{2i_1 e_1}, \quad P_{2m} = \frac{1}{9550} \frac{M_{st} n_{m2}}{2i_2 e_2}. \quad (3.6)$$

რადგანაც M2 ძრავას სიმძლავრე P_{2m} , თანმხვედრი ბრუნვისას უფრო მეტია ვიდრე შემხვედრისას, აიღება დიდი მნიშვნელობა.

M1 ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ფორმულას ასეთი სახე აქვს

$$M_1 = B_1 (w_{10} - w_1) \quad \text{ან} \quad w_1 = w_{10} - \frac{M_{st}}{2B_1}. \quad (3.7)$$

M2 ძრავას მექანიკური მახასიათებლისათვის

$$M_2 = B_2 (w_{20} - w_2) \quad \text{ან} \quad w_2 = w_{20} - \frac{M_{st}}{2B_2}. \quad (3.8)$$

გამომავალი ღიღვისათვის

$$M_3 = B_3 (w_{30} - w_3) \quad (3.9)$$

ან

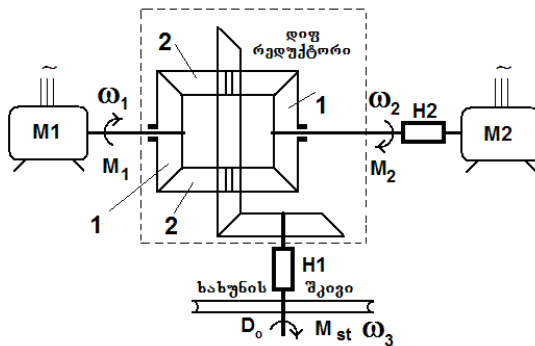
$$w_3 = w_{30} - \frac{M_{st}}{B_3} = \frac{w_{10} + w_{20}}{2} - \frac{B_1 + B_2}{4B_1 B_2} M_{st}, \quad (3.10)$$

3.3. ბაგირგზის სამუშაო რეჟიმები დიფერენციალური ელექტრული ამძრავით

ბაგირგზის სამუშაო რეჟიმები შესაძლოა შემდეგნაირად განხორციელდეს.

1. ამძრავის მცოცი სიჩქარის მიღება

ქსელთან მიერთდება M1 ძრავა და H2 მუხრუჭი. იგი ამუშავდება უქმ სვლაზე, განავითარებს მაქსიმალურ ბრუნვათა რიცხვს w_{10} -ს და 1 მზიური და 2 სატელიტური კბილანების გავლით დაატრიალებს M2 ძრავას საწინააღმდე-



ნახ. 3.2. ბაგირგზის დიფერენციალური ელამძრავი

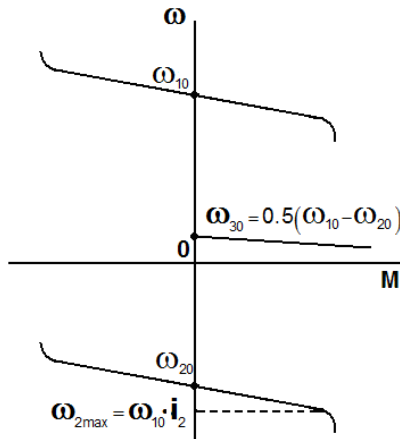
გო მიმართულებით, მაქსიმალური $w_{2max} = w_{10} \cdot i_2$ ბრუნვის სიჩქარით (ნახ. 3.2). შემდეგ M2 ძრავა მიუერთდება ქსელს H1 მუხრუჭთან ერთად და ამძრავი შკივი დაიწყებს ბრუნვას მცოცი სიჩქარით $V_0 = \frac{D_0}{2} \frac{w_1 - w_2}{2} \approx 0.5$ მ/წმ. ძრავები

კი ბრუნავს ერთმანეთის შემხვედრად w_1 და w_2 ბრუნვის სიჩქარეებით. გაწვევის სიჩქარით ამუშავების პროცესის მექანიკურ მახასიათებლებს ასეთი სახე აქვთ (იხ. ნახ. 3.3).

ამძრავი მუშაობს მცოცი, სარვეზიო სიჩქარით.

2. ამძრავის ამუშავება ნომინალური სიჩქარით

ამ შემთხვევაში $M1$ ძრავა და $H1$ მუხრუჭი მიუერთდება ქსელს და $M1$ ძრავა პროგრამული მნიშვნელობით აჩქარ-



ნახ. 3.3. ბაგირგზის მცოცი სიჩქარის განხორციელება

დება w_1 სიჩქარემდე, ამძრავი შკივი კი $w_3 = \frac{w_1}{2}$ სიჩქარით მოძრაობს. თუ დამაკმაყოფილებელია ბაგირგზის ასეთი სიჩქარე მისი მწარმოებლურობიდან გამომდინარე, ამ

მაქსიმალური სიჩქარით გაგრძელება მოძრაობა. სხვა შემთხვევაში, ჩაირთვება H2 მუხრუჭი და M2 ძრავა მიერთდება ქსელთან M1 ძრავას თანმხვედრად და აჩქარდება მაქსიმალურ w_2 სიჩქარემდე, ამძრავი შკივი იბრუნებს

$$w_3 = \frac{w_1 + w_2}{2} \text{ მაქსიმალური სიჩქარით.}$$

3. ძირითადი შენელება ორ ეტაპად ხორციელდება –

M2 ძრავა გამოირთვება ქსელიდან და გადადის დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში. როდესაც მისი სიჩქარე ნულამდე შემცირდება, გამოირთვება ქსელიდან და დამუხრუჭდება H2 მუხრუჭით. ამის შემდეგ, M2 ძრავა მიერთდება ქსელს M1 ძრავას შემხვედრად სამუშაოდ და აჩქარდება $-w_2$ სიჩქარემდე. ამძრავი შკივი იბრუნებს მცოცი $w_3 = 0.5(w_1 - w_2)$ სიჩქარით. რა თქმა უნდა, შეიძლება ძირითადი შენელება ერთ ეტაპად განხორციელებულიყო, კერძოდ, თუ კი მაქსიმალური სიჩქარით მბრუნავი M2 ძრავა გადავა რევერსის რეჟიმში w_2 -დან $-w_2$ სიჩქარემდე. როგორც ცნობილია, ძრავაში დანაკარგები რევერსიულ რეჟიმში დაახლოებით ოთხჯერ მეტია ვიდრე ამუშავების ან დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში.

თუ რომელი ტიპის ძირითადი შენელებაა მისაღები, განისაზღვრება ბაგირგზის პარამეტრებიდან.

ბაგირგზის სამუშაო რეჟიმების განსახილველად, უმჯობესია გაანგარიშებები პრაქტიკულ მაგალითზე ჩავატაროთ.

მაგალითად, ავიღოთ სამგზავრო კიდული ბაგირგზა “ვაკის პარკი-კუს ტბა” -

ბაგირგზის ჰორიზონტალური სიგრძე - $L = 1140$ მ;

ამძრავი შკივის დიამეტრი - $D_0 = 1.25$ მ;

სტატიკური დატვირთვა ამძრავ შკივზე - $Mst = 2400$ ნ;

აჩქარების, შენელებისა და მცოცის სინქარის სიდიდეებ-
ად მივიღოთ - $j_1 = j_3 \approx 0.5$ მ/წმ²; $V_0 \approx 0.5$ მ/წმ;

ბაგირგზის მაქსიმალური სინქარის ოპტიმალური მნიშვნე-
ლობის მიახლოებითი მნიშვნელობა -

$$V_m \approx 0.3 \sqrt{2 \frac{j_1 j_3}{j_1 + j_3} L} = 0.3 \sqrt{j_1 L} = 0.3 \sqrt{0.5 \cdot 1140} = 7.16 \text{ მ/წმ};$$

ამძრავი ძრავები: $P_{m1n} = P_{m2n} = 37$ კვტ;

ნომინალური და სინქრონული ბრუნვათა რიცხვები -

$n_{mn} = 980$ ბრ/წმ; $w_{mn} = 102.6$ 1/წმ;

$n_{m0} = 1000$ ბრ/წმ; $w_{m0} = 104.7$ 1/წმ;

$k_i = \frac{l_a}{l_n} = 7$ - ძრავას ამუშავების დენის ჯერადობა ნომინა-

ლურთან;

ნომინალური და ამუშავების დენები -

$I_n = 73$ ა; $I_a = k_i \cdot I_n = 7 \cdot 73 = 511$ ა;

ძრავას ამუშავებისა და მაქსიმალური მომენტის ჯერადობა

$$b_a = \frac{M_a}{M_n} = 2; \quad b_m = \frac{M_m}{M_n} = 2.2;$$

მაქსიმალური მომენტის ფარდობა ამუშავების მომენტთან

$$k_a = \frac{M_m}{M_a} = \frac{b_m}{b_a} = \frac{2.2}{2} = 1.1;$$

ძრავას ნომინალური და ინერციის მომენტები –

$$M_{mn} = 9550 \frac{P_n}{n_n} = 9550 \frac{37}{980} = 360.56 \text{ ნმ}; \quad J_m = 0.74 \text{ კგმ}^2;$$

ძრავას ამუშავებისა და მაქსიმალური მომენტები

$$M_a = b_a \cdot M_n = 2 \cdot 360.56 \approx 721$$

$$M_m = b_m \cdot M_n = 2.2 \cdot 360.56 \approx 793$$

ნომინალური და მაქსიმალური სრიალი –

$$S_n = 1 - \frac{n_{mn}}{n_{m0}} = 1 - \frac{980}{1000} = 0.02;$$

$$S_m = S_n (b_m + \sqrt{b_m^2 - 1}) = 0.02 (2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1}) = 0.0832$$

ბუნებრივი მექანიკური მახასიათებლის სიხისტე –

$$B_{mn} \approx \frac{M_{mn}}{w_{mn} S_n} = \frac{360.56}{102.6 \cdot 0.02} = 175.7 \text{ ნმწმ}$$

გადაცემის რიცხვები –

$$i_1 = \frac{\pi D_0}{60} \frac{n_{m0}}{V_m + V_0} = \frac{1.25\pi}{60} \frac{1000}{7.16 + 0.5} \approx 8.54;$$

$$i_2 = \frac{\pi D_0}{60} \frac{n_{m0}}{V_m - V_0} = \frac{1.25\pi}{60} \frac{1000}{7.16 - 0.5} \approx 9.83,$$

ძრავების მიერ განვითარებული დაყვანილი სიჩქარეები –

$$w_{1n} = \frac{w_{mn}}{i_1} = \frac{102.6}{8.54} \approx 12 \text{ 1/წმ}; \quad w_{10} = \frac{w_{m0}}{i_1} = \frac{104.7}{8.54} \approx 12.3 \text{ 1/წმ};$$

$$w_{2n} = \frac{w_{mn}}{i_2} = \frac{102.6}{9.83} \approx 10.4 \text{ 1/წმ}; \quad w_{20} = \frac{w_{m0}}{i_2} = \frac{104.7}{9.83} \approx 10.7 \text{ 1/წმ};$$

ძრავების მიერ განვითარებული დაყვანილი ნომინალური და მაქსიმალური მომენტები –

$$M_{1n} = M_{mn} \cdot i_1 = 360.56 \cdot 8.54 \approx 3079 \text{ ნმ};$$

$$M_{2n} = M_{mn} \cdot i_2 = 360.56 \cdot 9.83 \approx 3544 \text{ ნმ}.$$

$$M_{1m} = M_{mm} \cdot i_1 = 793 \cdot 8.54 \approx 6772 \text{ ნმ};$$

$$M_{2m} = M_{mm} \cdot i_2 = 793 \cdot 9.83 \approx 7795 \text{ ნმ}.$$

ძრავებისა და ჯამური დაყვანილი სიხისტის კოეფიციენტები –

$$B_1 = B_{mn} i_1^2 = 175.7 \cdot 8.54^2 \approx 12814 \text{ ნმწმ};$$

$$B_2 = B_{mn} i_2^2 = 175.7 \cdot 9.83^2 \approx 16978 \text{ ნმწმ};$$

$$B_3 = \frac{4B_1 B_2}{B_1 + B_2} = \frac{4 \cdot 12814.1 \cdot 16977.7}{12814.1 + 16977.7} \approx 29210 \text{ ნმწმ}.$$

ძრავების დაყვანილი ინერციის მომენტები –

$$J_1 \approx 1.3J_{m1} i_1^2 = 1.3 \cdot 0.74 \cdot 8.54^2 \approx 70 \text{ კგმ}^2;$$

$$J_2 \approx 1.3J_{m_2} i_2^2 = 1.3 \cdot 0.74 \cdot 9.83^2 \approx 93 \text{ კგმ}^2;$$

სადაც 1.3 - ითვალისწინებს დიფერენციალური რედუქტორის კბილანების ინერციის მომენტებს, ძრავადან გამომავალ ლილვამდე;

გამომავალი ლილვის ბრუნვის სიჩქარე -

$$w_{30\max} = 0.5(w_{10} + w_{20}) = 0.5(12.3 + 10.7) = 11.5 \text{ 1/წმ და}$$

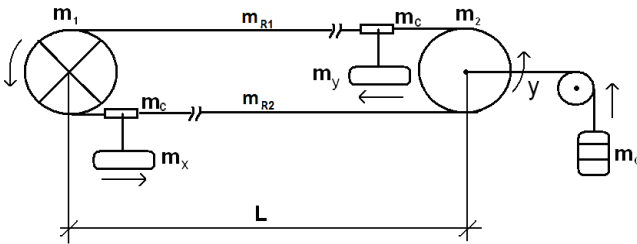
$$w_{30\min} = 0.5(w_{10} - w_{20}) = 0.5(12.3 - 10.7) = 0.8 \text{ 1/წმ};$$

შესაბამისად

$$V_m = 0.5D_0 w_{30\max} = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 11.5 \approx 7.2 \text{ მ/წმ და}$$

$$V_0 = 0.5D_0 w_{30\min} = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 0.8 \approx 0.5 \text{ მ/წმ.}$$

საანგარიშო სამეზავრო ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზა ერთმალიანი, ორვაგონიანი. საანგარიშო კინემატიკურ სქემას შესაძლოა ასეთი სახე ჰქონდეს:



ნახ. 34. ერთმალიანი, ორვაგონიანი ბაგირგზის საანგარიშო კინემატიკური სქემა

სადაც m_1 - ამძრავი და მიმმართველი შკივების მასების ჯამია; m_2 - დამჭიმი და მიმმართველი შკივების მასების

ჯამი; m_G - საწვევი ბაგირის დამჭიმი ტვირთია; m_R - საწვევი ბაგირის ერთი შტოს მასა; m_x და m_y ბაგირგზის სამგზავრო ვაგონების მასებია; m_C - სამგზავრო ვაგონის ურთკის (კარეტის) მასა;

ყველა მასა ამძრავ შკივზეა დაყვანილი და ასეთ შემთხვევაში ჯამური ინერციის მომენტი J_3 , გამოითვლება ფორმულით

$$J_3 = \Sigma m \frac{D_0^2}{4},$$

ეს ფორმულა მიიღება, თუ გავატოლებთ მბრუნავი სხეულების კინეტიკურ ენერგიას წრფივად მოძრავი სხეულების კინეტიკურ ენერგიასთან

$$J_3 \frac{w_3^2}{2} = \Sigma m \frac{V_m^2}{2}$$

და გავითვალისწინებთ, რომ

$$V_m = w_3 \frac{D_0}{2},$$

სადაც $\Sigma m = m_1 + m_2 + 2m_R + 2m_C + m_x + m_y$;

ამძრავი შკივის დაყვანილი მასა:

$$m_{1x} = 200 \cdot D_0^2 = 200 \cdot 1.25^2 \approx 313 \text{ კგ};$$

დამჭიმი და მიმმართველი შკივის დაყვანილი მასა:

$$m_{2x} = 115 \cdot D_0^2 = 115 \cdot 1.25^2 \approx 180 \text{ კგ};$$

ამდრავ შკივზე დაყვანილი მასების ჯამი:

$$m_1 = m_{1x} + 2m_{2x} = 313 + 2 \cdot 180 = 673 \text{ კგ};$$

დამჭიმ შკივზე დაყვანილი მასების ჯამი:

$$m_2 = 3 \cdot m_{2x} = 3 \cdot 180 = 540 \text{ კგ};$$

დატვირთული ვაგონის მასა - $m_x = m_y = 1550$ კგ;

ვაგონის ურიკის (კარეტის) მასა - $m_C = 230$ კგ;

საწვევი ბაგირის ერთი შტოს მასა - $m_R = 830$ კგ;

ჯამური დაყვანილი მასა

$$\begin{aligned} \Sigma m &= m_1 + m_2 + 2m_R + 2m_C + m_x + m_y = \\ &= 673 + 540 + 2 \cdot 830 + 2 \cdot 230 + 1550 + 1550 = 6433 \text{ კგ}; \end{aligned}$$

ჯამური ინერციის მომენტი -

$$J_3 = \Sigma m \frac{D_0^2}{4} = 6433 \frac{1.25^2}{4} \approx 2513 \text{ კგმ}^2;$$

IV. დინამიკური რეჟიმები ბაგირგზის დიფერენციალურ ელექტრულ ამპრაჟში

ბაგირგზის სამუშაო რეჟიმებიდან (ტაქოგრამიდან) გამომდინარე, დინამიკური (გარდამავალი) რეჟიმები აღიძვრება:

- ა) გაწვევის სიჩქარის მიღებისას;
- ბ) ძირითადი აჩქარების პერიოდში და
- გ) ძირითადი შენელების პერიოდში

დინამიკური რეჟიმების აღმწერ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას აქვს ასეთი სახე [4,5] -

$$\begin{cases} M_1 - J_1 \frac{dw_1}{dt} - \frac{M_{st}}{2} = \frac{J_3}{4} \frac{d(w_1 + w_2)}{dt}; \\ M_2 - J_2 \frac{dw_2}{dt} - \frac{M_{st}}{2} = \frac{J_3}{4} \frac{d(w_1 + w_2)}{dt}. \end{cases} \quad (4.1)$$

სადაც M_1, J_1 და w_1 - $M1$ ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი, როტორისა და 1-1 მზიური კბილანას ჯამური ინერციის მომენტი და ბრუნვის სიჩქარეა 1-1 მზიურ კბილანაზე დაყვანილი;

M_2, J_2 და w_2 - შესაბამისად, $M2$ ძრავასათვის;

M_{st} და J_3 - სტატიკური დატვირთვა და დატვირთვის ინერციის მომენტი გამომავალ ლილეზე (ნახ. 3.1).

(4.1) სისტემა შეიძლება ასეც გადაიწეროს

$$\begin{cases} M_1 - \frac{M_{st}}{2} = J_{11} \frac{dw_1}{dt} + J_{30} \frac{dw_2}{dt}; \\ M_2 - \frac{M_{st}}{2} = J_{30} \frac{dw_1}{dt} + J_{22} \frac{dw_2}{dt}, \end{cases} \quad (4.2)$$

სადაც $J_{11} = J_1 + \frac{J_3}{4}$; $J_{22} = J_2 + \frac{J_3}{4}$; $J_{30} = \frac{J_3}{4}$;

თუ M_1 და M_2 ძრავების მექანიკური მახასიათებლები წრფივია, მაშინ განტოლებათა სისტემაში ნაცვლად M_1 და M_2 სიდიდეებისა, ჩაისმება

$$M_1 = B_1 (w_{10} - w_1) \quad \text{და} \quad M_2 = B_2 (w_{20} - w_2) \quad (4.3)$$

მნიშვნელობები.

ამის გათვალისწინებით

$$\begin{cases} w_{1y} = T_1 \frac{dw_1}{dt} + T_{31} \frac{dw_2}{dt} + w_1; \\ w_{2y} = T_{32} \frac{dw_1}{dt} + T_2 \frac{dw_2}{dt} + w_2, \end{cases} \quad (4.4)$$

სადაც $w_{1y} = w_{10} - \frac{M_{st}}{2B_1}$ და $w_{2y} = w_{20} - \frac{M_{st}}{2B_2}$ - გარდამავალი

პერიოდის დასასრულ $M1$ და $M2$ ძრავების დამყარებული ბრუნვის სიჩქარეებია;

$$T_1 = \frac{J_{11}}{B_1}, \quad T_2 = \frac{J_{22}}{B_2}, \quad T_{31} = \frac{J_{30}}{B_1} \quad \text{და} \quad T_{32} = \frac{J_{30}}{B_2} - \text{ელექტრომექანი-$$

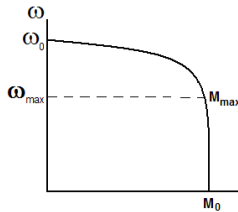
კური დროის მუდმივებია;

w_{10}, B_1, w_{20} და B_2 - დაყვანილი უკმი სვლის სიჩქარეები და

მახასიათებლის სიხისტეები $M1$ და $M2$ ძრავებისათვის;

(4.4) განტოლებათა სისტემით აღიწერება გაწვევის სიჩქარით მოძრაობის რეჟიმი, როდესაც ორივე ძრავა შემხვედრად ამუშავდება წრფივ მექანიკურ მახასიათებლებზე.

დიფერენციალური ამძრავის სამუშაო რეჟიმებიდან გამომდინარე, $M2$ ძრავას მექანიკური მახასიათებელი ისეთი უნდა იყოს რომ, გარდამავალ პერიოდში მისი ამამუშავებელი მომენტი არ იცვლებოდეს (ღრმა ღრმულებიანი ან ორმაგი ციყვის ბორბლის, ე.წ. ბუშეროს ტიპის; რუსული, საშახტო შესრულების KO და სხვ. ტიპის ძრავები). ამ ფორმის მექანიკური მახასიათებელი იხ. ნახ. 4.1.



ნახ. 4.1. მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავას მექანიკური

მახასიათებელი, რომლის $\frac{M_{max}}{M_a} \approx 1$

დაპროგრამების სისტემა **MATLAB**-ში გავიანგარიშოთ ყველა სახის სამუშაო რეჟიმების გარდამავალი პერიოდები.

4.1 მცოცი სიჩქარის გარდამავალი პერიოდი

როგორც ზევით აღინიშნა, გაწვევის სიჩქარის აღმწერ განტოლებათა სისტემას აქვს სახე (იხ. 4.4)

$$\begin{cases} w_{1y} = T_1 \frac{dw_1}{dt} + T_{31} \frac{dw_2}{dt} + w_1; \\ w_{2y} = T_{32} \frac{dw_1}{dt} + T_2 \frac{dw_2}{dt} + w_2, \end{cases} \quad (4.4)$$

ამოგხსნათ (4.4.) სისტემა dsolve ფუნქციის დახმარებით.

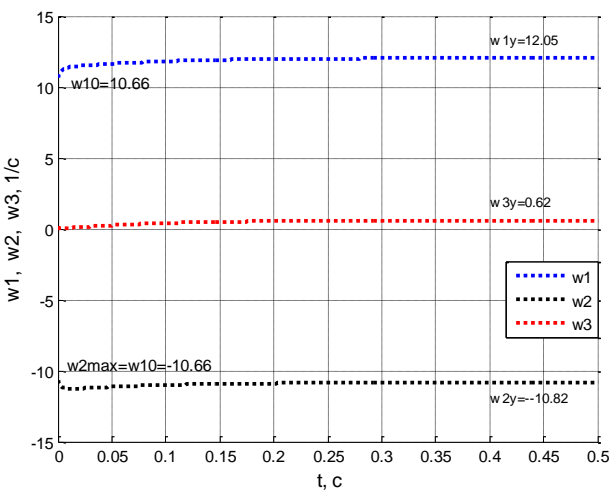
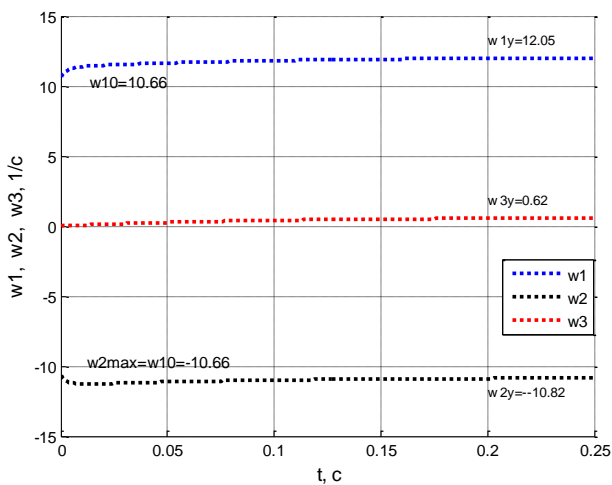
```
>> syms w1 w2 w3 t; w10=12.26; w20=10.66; w1y=12.05; w2y=-10.818;
>> T1=0.053; T2=0.041; T31=0.050; T32=0.038; t0=.5;
>> eq1='T1*Dw1+T31*Dw2+w1=w1y'; eq2='T32*Dw1+T2*Dw2+w2=w2y';
>> cond1='w1(0)=w10';cond2='w2(0)=-w20';
>> S=dsolve(eq1,eq2,cond1,cond2); w1=S.w1; w2=S.w2;
>> w3=.5*(w1+w2); w1=subs(vpa(w1,4)); w2=vpa(subs(w2,4));
>> w3=subs(vpa(w3,4)); w1=vpa(simplify(w1),4),
>> w2=vpa(simplify(w2),4), w3=vpa(simplify(w3),4),
>> t=0:.001:t0; w1=subs(w1); w2=subs(w2); w3=subs(w3);
>> hold on; plot(t,w1,'b:',t,w2,'k:', t,w3,'r:', 'LineWidth',2.5),grid;
>> legend('w1','w2','w3',0); w3y=(w1y+w2y)/2;
>> ylabel('w1, w2, w3, 1/c','FontSize',12); xlabel('t, c','FontSize',12);
>> text(.8*t0, 1.1*w1y,['w1y=',num2str(w1y,'%9.2f')],'FontSize',8);
>> text(.8*t0, 1.1*w2y,['w2y=',num2str(w2y,'%9.2f')],'FontSize',8);
>> text(.8*t0, 3*w3y,['w3y=',num2str(w3y,'%9.2f')],'FontSize',8);
>> gtext('w2max=w10=-10.66'); gtext('w10=10.66');
```

M1, M2 ძრავებისა და გამომავალი ლილვის სიჩქარეები ანალიზურად და გრაფიკულად ასე გამოისახება

$$w1=12.05-0.69*\exp(-333.3*t)-0.7*\exp(-10.99*t)$$

$$w2=0.69*\exp(-333.3*t)-0.532*\exp(-10.99*t)-10.82$$

$$w3=1.38e-34*\exp(-333.3*t)-0.616*\exp(-10.99*t)+0.616$$



ნახ. 4.2. გაწევის სიჩქარის გარდამავალი რეჟიმის

მრუდები - $t = 0.25$ წმ და $t = 0.5$ წმ

სიჩქარეების ამსახველი გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ გარდამავალი პროცესი წამის მეათედებში მიმდის

ნარეობს. ამისათვის, გარდამავალი რეჟიმის ამსახველი მრუდების უკეთ წარმოდგენისათვის, სხვადასხვა დროში წარმოვადგინოთ - $t = 0.25$ წმ და $t = 0.5$ წმ. (ნახ. 4.2.)

4.2 აჩქარების გარდამავალი პერიოდი

ამ რეჟიმის განხილვამდე გამოვიკვლიოთ (4.2.) განტოლებათა სისტემა

$$\begin{cases} M_1 - \frac{M_{st}}{2} = J_{11} \frac{dw_1}{dt} + J_{30} \frac{dw_2}{dt}; \\ M_2 - \frac{M_{st}}{2} = J_{30} \frac{dw_1}{dt} + J_{22} \frac{dw_2}{dt}, \end{cases} \quad (4.2)$$

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ბაგირგზის დიფამპრავში გამოყენებული ძრავების ამუშავების და მაქსიმალური მომენტები დაახლოებით ტოლია (იხ. ნახ. 4.1). ამის გათვალისწინებით $M_1 - 0.5M_{st} = M_{11}$ და $M_2 - 0.5M_{st} = M_{22}$ მუდმივი სიდიდეებია და გვექნება

$$\frac{dw_1}{dt} = \frac{M_{11}J_{22} - M_{22}J_{30}}{J_{11}J_{22} - J_{30}^2}, \quad (4.5)$$

ანალოგიურად

$$\frac{dw_2}{dt} = \frac{M_{11}J_{30} - M_{22}J_{11}}{J_{30}^2 - J_{22}J_{11}}. \quad (4.6)$$

ამძრავი შკივის აჩქარება

$$\frac{dw_3}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{dw_1}{dt} + \frac{dw_2}{dt} \right) = \frac{M_{11}(J_{22} - J_{30}) + M_{22}(J_{11} - J_{30})}{2(J_{11}J_{22} - J_{30}^2)}. \quad (4.7)$$

ერთი შეხედვითაც ჩანს, რომ ძალზე რთული განსახორციელებელია M_1 და M_2 მომენტების ერთდროული მართვა ამძრავი შიკვის პროგრამული აჩქარების მისაღებად.

უფრო ადვილი იქნება, თუკი $M1$ და $M2$ ძრავა თანმიმდევრობით გაიშვება- პირველად $M1$ ძრავა (დამუხრუჭებული $M2$ -ის ლილვით) და შემდეგ $M2$ ძრავა.

$M1$ ძრავას ამუშავების ამსახველი განტოლება იქნება

$$M_1 - 0.5M_{st} = J_{11} \frac{dw_1}{dt}, \quad (4.8)$$

M_1 მომენტის მუდმივობის დროს, w_1 სიჩქარე გაიზრდება წრფივად მუდმივი აჩქარებით და გადავა მექანიკური მას-ასიათებლის მდგრად შტოზე.

ამის შემდეგ უნდა ჩაირთოს $M2$ ძრავა. ამუშავების დასაწყისში, $M1$ ძრავა მუშაობს მასასიათებლის მდგრად შტოზე სისტემის ამსახველ განტოლებათა სისტემას ექნება სახე:

$$\begin{cases} w_{1y} = T_1 \frac{dw_1}{dt} + T_{31} \frac{dw_2}{dt} + w_1; \\ M_2 - \frac{M_{st}}{2} = J_{30} \frac{dw_1}{dt} + J_{22} \frac{dw_2}{dt}. \end{cases} \quad (4.9)$$

განვსახდვროთ (4.9) -ის სისტემის მეორე განტოლებიდან $\frac{dw_2}{dt}$ და შევიტანოთ პირველში. გვექნება

$$a_{w1} = T_0 \frac{dw_1}{dt} + w_1, \quad (4.10)$$

სადაც

$$a_{w_1} = w_{1y} - T_{31} \frac{M_2 - 0.5 \cdot M_{st}}{J_{22}} = w_{1y} - T_{31} \cdot ep2$$

$$\text{და } T_0 = \left(T_1 - T_{31} \frac{J_{30}}{J_{22}} \right),$$

(4.10) განტოლების ამოხსნა, $w_1(0) = w_{1y}$ საწყისი პირობით, გვაძლევს

$$w_1 = a_{w_1} + (w_{1y} - a_{w_1}) \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right). \quad (4.11)$$

T_0 -ის რიცხვითი მნიშვნელობა, განხილული მაგალითისათვის- $T_0 \approx 0.007$; $t \approx (4 \div 5)T_0 = 0.028 \dots 0.035$ წმ-ის შემდეგ გარდამავალი პროცესი დამთავრდება. საინჟინრო გათვლებისათვის საკმარისია ჩაითვალოს, რომ $M1$ ძრავას w_1 ბრუნვის სიჩქარე გარდამავალ პროცესში მონაწილეობას არ ღებულობს და მისი მნიშვნელობა მუდმივი სიდიდეა - $w_1 = a_{w_1}$. ეს მოსალოდნელიც იყო, რადგანაც w_1 სიჩქარის ცვლილება ძრავას მექანიკური მახასიათებლის მდგრად შტოზე ხდება, ხოლო ელექტრომექანიკური დროის მუდმივა მახასიათებლის B_1 სიხისტის უკუპროპორციულია.

$M2$ ძრავას დასაშვები აჩქარების სიდიდის მიხედვით გამოითვლება M_2 მომენტის საჭირო მნიშვნელობა

$$M_2 = J_{22} \frac{dw_2}{dt} + 0.5 \cdot M_{st} \text{ ნმ.} \quad (4.12)$$

სამგზავრო ბაგირგზების ვაგონების მაქსიმალური დასაშვები აჩქარების სიდიდე 1 მ/წმ^2 -ია. მივიღოთ, რომ

$$j_1 = j_3 = \frac{dV_m}{dt} = 0.5 \text{ მ/წმ}^2. \text{ თუ გავითვალისწინებთ ამძრავი}$$

შკივის დიამეტრს $-D_0 = 1.25 \text{ მ}$ და $\frac{dw_1}{dt} \approx 0$, მივიღებთ

$$\frac{dw_2}{dt} = ep2 \approx 2 \frac{dw_3}{dt} = 2 \cdot \frac{2}{D_0} \frac{dV_m}{dt} = 2 \cdot \frac{2}{1.25} \cdot \frac{1}{2} = 1.6 \text{ 1/წმ}^2;$$

ამ დასაშვები კუთხური აჩქარების მიხედვით გამოითვლება M_2 მომენტის მნიშვნელობა –

$$M_2 = J_{22} \cdot ep2 + 0.5M_{st} = 721 \cdot 1.6 + 0.5 \cdot 2400 \approx 2354 \quad (4.13)$$

ანალოგიურად M_1 მომენტისათვის ($ep1 = ep2$)

$$M_1 = J_{11} \cdot ep1 + 0.5M_{st} = 698 \cdot 1.6 + 0.5 \cdot 2400 \approx 2317 \quad (4.14)$$

ასევე განისაზღვრება ძრავების სიჩქარეების ცვლილებების კანონი უძრავი მდგომარეობიდან მაქსიმალური სრისლის შესაბამის სიჩქარეებამდე –

$$w_1 = ep1 \cdot t_1 \text{ და } w_2 = ep2 \cdot t_2,$$

ხოლო მათი სიდიდეები:

$$w_{1m} = w_{10} (1 - S_m) = 12.26 (1 - 0.0832) = 11.24 \text{ 1/წმ და}$$

$$w_{2m} = w_{20} (1 - S_m) = 10.66 (1 - 0.0832) = 9.77 \text{ 1/წმ,}$$

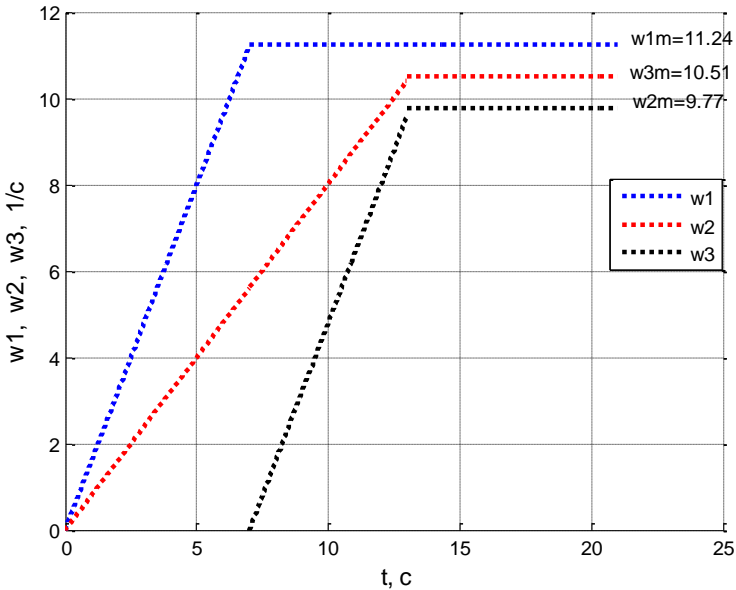
მაშინ, დროის მნიშვნელობები, როცა ძრავები მიაღწევს მაქსიმალურ სრიალებს, იქნება:

$$t_1 = \frac{w_{1m}}{ep1} = \frac{11.24}{1.6} = 7.03 \approx 7 \text{ წმ}; \quad t_2 = \frac{w_{2m}}{ep2} = \frac{9.77}{1.6} = 6.11 \approx 6 \text{ წმ}.$$

ავაგოთ გარდამავალი რეჟიმის შესაბამისი მრუდები. აგებისას გავითვალისწინოთ ზემოთ მოყვანილი დაშვებები: კერძოდ, $M1$ და $M2$ ძრავას სიჩქარეები იცვლება წრფივად $ep1$ და $ep2$ მუდმივი აჩქარებით t_1 და t_2 დროში. არ მიიღება მხედველობაში $M2$ და $M2$ ძრავას გადასვლა მახასიათებლის მდგრად შტოებზე და ითვლება, რომ ძრავები ბრუნავს ნომინალური ბრუნვით ნაცვლად რეალურისა, მათ შორის ძალზე მცირე განსხვავების გამო.

```
>> w10=12.26; w20=10.66; w1m=11.24; w2m=9.77; ep1=1.6; ep2=1.6;
>> Ds=.001; t1=7; t2=6; w3m=.5*(w1m+w2m);
>> t=0:.01:t1; w1=ep1*t; w3=w1/2;
>> hold on; plot(t,w1,'b:', t,w3,'r:', 'LineWidth',2.5);
>> t=t1:.01:t1+t2; w2=ep2*(t-t1); w3=w1m/2+w2/2; w22=w2m+Ds*sin(t);
>> hold on; plot(t,w2,'k:', t,w3,'r:', 'LineWidth',2.5);
>> t=t1+.01:3*t1; hold on; plot(t,w1+Ds*sin(t),'b:', 'LineWidth',2.5);
>> t=t1+t2+.01:3*t1; w22=w2m+Ds*sin(t); w33=w3m+Ds*sin(t);
>> hold on; plot(t,w22,'k:', t, w33, 'r:', 'LineWidth',2.5); grid;
>> ylabel('w1, w2, w3, 1/c','FontSize',12); xlabel(' t, c','FontSize',12);
>> legend('w1','w2','w3',0);
>> gtext('w1m=11.24'); gtext('w2m=9.77'); gtext('w3m=10.51');
```

$M1$, $M2$ ძრავებისა და გამომავალი ლილვის სიჩქარეები გრაფიკულად ასე გამოისახება (იხ. ნახ. 4.3).



ნახ. 4.3. აჩქარების გარდამავალი პერიოდის მრუდები

4.3 შენელების გარდამავალი პერიოდი

შენელების გარდამავალი პერიოდი დაიწეება მაქსიმალური სიჩქარის შემდეგ, როდესაც სამგზავრო ვაგონები მიუახლოვდება მიმღებ ბაქნებს .

შენელების დასაწყებად, M2 ძრავა ჩაერთვება დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში და დაიწყება მისი ბრუნვათა რიცხვის შემცირება. როცა მისი ბრუნვის სიჩქარე ნულს მიუახლოვდება, ამძრავი შკივის ბრუნვის სიჩქარე

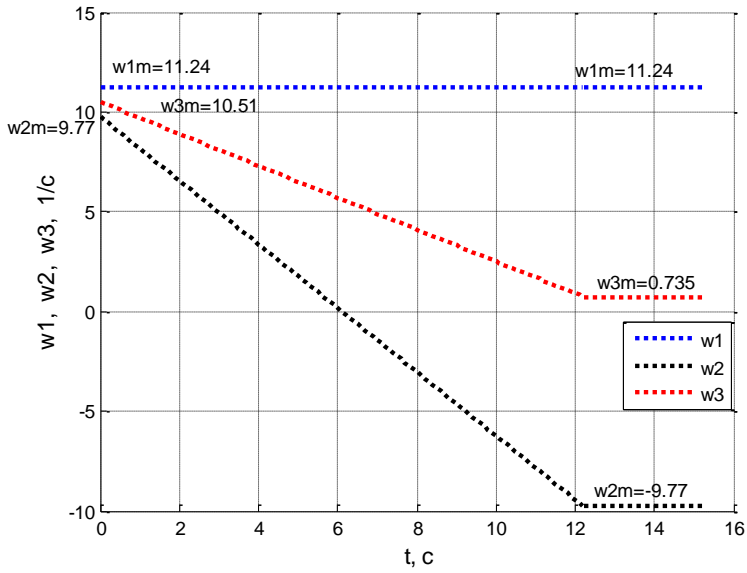
იქნება $w_3 = \frac{w_1}{2}$. ამის შემდეგ M2 ძრავა ჩაერთვება ძრავულ რეჟიმში სამუშაოდ M1 ძრავას შემხვედრად. როცა მისი სიჩქარე მაქსიმალურს მიაღწევს, ამძრავი შკივის სიჩქარე მცოცის, $w_3 = \frac{w_1 - w_2}{2}$ - ის ტოლი იქნება. ამით დათავრდება ძირითადი შენელების დინამიკური რეჟიმი.

თუ გავითვალისწინებთ აჩქარების დროს მოყვანილ დაშვებებს, M2 ძრავას სიჩქარის ცვლილების კანონი და ამ ცვლილების შესაბამისი დრო გამოისახება:

$$w_2 = w_{2m} - \epsilon p_2 \cdot t \quad \text{და} \quad t_0 = \frac{2w_{2m}}{\epsilon p_2};$$

```
>> w1m=11.24; w2m=9.77; ep1=1.6; ep2=1.6; Ds=.001; t0=2*w2m/ep2;
>> w3m=.5*(w1m+w2m); t=0:.1:t0; w11=w1m+Ds*sin(t);
>> w2=w2m-ep2*t; w3=.5*(w1m+w2);
>> hold on; plot(t,w11,'b:',t,w2,'k:', t,w3,'r:','LineWidth',2.5);
>> t=t0:.01:1.25*t0; w11=w1m+Ds*sin(t); w22=-w2m+Ds*sin(t);
>> w33=.5*(w1m-w2m)+Ds*sin(t); legend('w1','w2','w3',0);
>> hold on; plot(t,w11,'b:', t,w22,'k:', t,w33,'r:','LineWidth',2.5),grid;
>> ylabel('w1, w2, w3, 1/c','FontSize',12); xlabel(' t, c','FontSize',12);
>> gtext('w1m=11.24'); gtext('w2m=9.77'); gtext('w3m=10.51');
>> gtext('w1m=11.24'); gtext('w2m=-9.77'); gtext('w3m=0.735');
```

M1, M2 ძრავებისა და გამომავალი ლილვის სიჩქარეებს გრაფიკულად ასეთი სახე ექნებათ (ნახ. 4.4)



ნახ. 4.4. შენელების გარდამავალი პერიოდის მრუდები

V. ბაგირგზის დიფერენციალური ელექტრული ამძრავის მუშაობის ენერგეტიკა

5.1 მოკლედ ჩაკეტილ-როტორიანი ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავას მექანიკური მახასიათებლის ასაგები გრაფიკული და გრაფონალიზური მეთოდები, რომლებიც სახელმძღვანელოებსა და მეთოდურ მითითებებშია მოცემული, ძალზე რთული და არასაკმაოდ ზუსტია. მათი გამოყენება კი იმიტომაა აუცილებელი, რომ არსებული მექანიკური მახასიათებლის ასაგები (ე.წ. კლოსის) ფორმულა არ ასახავს რეალურ დამოკიდებულებას ძრავას მომენტსა და ბრუნთა რიცხვებს შორის მახასიათებლის არამდგრად შტოზე. კერძოდ, ამუშავების დასაწყისში, როდესაც ძრავა ავითარებს ამუშავების მომენტს, ეს უკანასკნელი არ ემთხვევა კლოსის ფორმულით გამოთვლილ ამუშავების მომენტის მნიშვნელობას [6].

მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავას მექანიკურ მახასიათებელს, როგორც წესი, კლოსის ფორმულით აგებენ

$$M_{kl} = \frac{2M_m \left(1 + S_{m0} \frac{R_1}{R_2'} \right)}{\frac{S_{m0}}{S} + \frac{S}{S_{m0}} + 2S_{m0} \frac{R_1}{R_2'}}, \quad (5.1)$$

სადაც M_{kl} არის ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი, ნ.მ; M_m - ძრავას მაქსიმალური მომენტი, ნ.მ; S_{m0} - ამ მომენტის შესაბამისი მაქსიმალური სრიალი ბუნებრივ მექანიკურ მახასიათებელზე; $S = 1 - 0$ - სრიალის მიმდინარე მნიშვნელობა; R_1 - სტატორის ფაზის აქტიური წინაღობა, ომი; R'_2 - სტატორის ძაბვასა და სიხშირეზე დაყვანილი როტორის ფაზის აქტიური წინაღობა, ომი.

თუკი ძრავას სიმძლავრე 10-15 კვტ-ს აღემატება, სტატორის ფაზის აქტიურ წინაღობას უგულვებელყოფენ მისი სიმცირის გამო და იყენებენ გამარტივებულ კლოსის ფორმულას, როდესაც $R_1 \approx 0$

$$M_{kl} = \frac{2M_m S_{m0}}{S_{m0}^2 + S^2} S. \quad (5.2)$$

როდესაც სრიალი $S = 1$, ძრავა ავითარებს ამუშავების მომენტს

$$M_a = \frac{2M_m S_{m0}}{S_{m0}^2 + 1}. \quad (5.3)$$

ამ ფორმულით მიღებული M_a სიდიდე იშვიათად ემთხვევა ძრავას კატალოგში მოცემულ ამუშავების მომენტის მნიშვნელობას, ხოლო სპეციალური ტიპის ძრავებში (ღრმა ღრმულებიანი, ორმაგი ციყვის ბორბლის, ბუშეროს ტიპის და სხვ.), სადაც მაქსიმალური და ამუშავების მო-

მენტები დაახლოებით ერთმანეთის ტოლია ($M_a \approx M_m$), საერთოდ არ ემთხვევა ერთმანეთს.

ეს შეუსაბამობა განსაკუთრებით თავს იჩენს ძრავას გარდამავალი რეჟიმების ანალიზისას.

როგორც ცნობილია, ღრმა ღრმულებიან და ორმაგ ციყვის ბორბლიან მოკლედ შერთულ-როტორიან ასინქრონულ ძრავებში, როტორის აქტიური წინაღობის ხელოვნური გაზრდით, ძრავას ამუშავებისას იზრდება მაქსიმალური სრიალი და შესაბამისად ამუშავების მომენტი.

ძრავას გაქანებასთან ერთად მცირდება ძრავას დენი და მისი სიხშირე, შესაბამისად როტორის აქტიური წინაღობა და მაქსიმალური სრიალი იმ დონემდე მცირდება, რომ ნომინალურის ტოლი ხდება.

სპეციალური ტიპის მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავების მექანიკური მახასიათებლის ასაგები ფორმულის გამოყვანისას აუცილებელია იმ დამატებითი წინაღობის გათვალისწინება, რომელიც ზემოთ იყო აღნიშნული.

მაქსიმალური სრილის მნიშვნელობა, რომელიც უზრუნველყოფს ძრავას ამუშავების მომენტის კატალოგში მოცემულ სიდიდეს $M_a = M_{ak}$, ადვილად გამოითვლება დამოკიდებულებიდან (5.3) ($S_{m0} = S_{ma}$), როდესაც

$$S_m = S_a = k_a - \sqrt{k_a^2 - 1}, \quad (5.4)$$

სადაც $k_a = \frac{M_m}{M_{ak}}$.

ასევე, დამოკიდებულებიდან (5.2), თუ სრიალის მნიშვნელობა ნომინალურის ტოლია, $S = S_n$, მაშინ $M_{kl} = M_n$ და მაქსიმალური სრიალი ბუნებრივ მახასიათებელზე ტოლი იქნება

$$S_{m0} = S_n \left(b_m + \sqrt{b_m^2 - 1} \right), \quad (5.5)$$

სადაც $b_m = \frac{M_m}{M_n}$, $S_n = 1 - \frac{n_n}{n_0}$, ხოლო n_n და n_0 - ძრავას

ნომინალური და სინქრონული ბრუნთა რიცხვია.

შესაბამისად, როტორის წინაღობასთან დამოკიდებულებით, ამუშავების დასაწყისში, როდესაც $S = 1$

$$S_{ma} = \frac{R'_2 + R'_{2x}}{X_m}. \quad (5.6)$$

ძრავას გაქანების დამთავრების შემდეგ, როდესაც $S \approx 0$

$$S_{m0} \approx \frac{R'_2}{X_m}, \quad (5.7)$$

სადაც X_m არის მოკლედ შერთვის ინდუქციური წინაღობა, ხოლო R'_{2x} იმ წინაღობის სიდიდე, რომელიც კატალოგში მოცემულ ამუშავების M_{akat} მომენტს უზრუნველყოფს.

(5.6) გამოსახულების გაყოფით (5.7)-ზე და იქიდან R'_{2x} გამოთვლით, გვექნება

$$R'_{2x} = R'_2 \frac{S_{ma} - S_{m0}}{S_{m0}}. \quad (5.8)$$

და იმის გათვალისწინებით, რომ

$$R'_2 = \frac{S_n n_n}{1040.4 \cdot n_0} \frac{U_n^2}{P_n}, \quad (5.9)$$

ადვილად გამოითვლება დამატებითი წინაღობის სიდიდე R'_{2x} (U_n - ძრავას ნომინალური ხაზური ძაბვა (ვ) და P_n , ძრავას ნომინალური სიმძლავრე, კვტ).

თუ მაქსიმალურ სრიალის მიმდინარე მნიშვნელობას აღვნიშნავთ S_{mk} -ით და წარმოვადგენთ

$$S_{mk} = \begin{cases} S_{m0} + (S_{ma} - S_{m0}) \frac{S - S_{m0}}{1 - S_{m0}} & - \text{როცა } S = 1 - S_{m0}; \\ S_{m0} - \text{როცა } S = S_{m0} - 0, \end{cases} \quad (5.10)$$

გამოსახულებით, მივიღებთ კლოსის კორექტირებულ ფორმულას:

$$M_k = \frac{2M_m S_{mk}}{S_{mk}^2 + S^2} S, \text{ ნ.მ.} \quad (5.11)$$

ვნახოთ მაგალითზე, კლოსის კორექტირებული ფორმულით აგებული მექანიკური მახასიათებელი და შევადაროთ კლასიკურს, როდესაც: $M_n = 360.5$ ნ.მ; $S_{m0} = 0.0832$;

$$b_n = \frac{M_m}{M_n} = 2.2; \quad M_m = b_n M_n = 2.2 \cdot 360.5 \approx 793 \text{ ნ.მ};$$

$$m_a = \frac{M_{akat}}{M_n} = 2.1; \quad M_{akat} = m_a \cdot M_n = 2.1 \cdot 360.5 \approx 757 \text{ ნ.მ};$$

$$k_a = \frac{M_m}{M_{akat}} = \frac{b_n}{m_a} = \frac{2.2}{2.1} = 1.04762;$$

$$S_{ma} = k_a - \sqrt{k_a^2 - 1} = 1.04762 - \sqrt{1.04762^2 - 1} = 0.7354$$

კლოსის ფორმულით –

$$M_{kl} = \frac{2M_m S_{m0}}{S_{m0}^2 + S^2} S = \frac{2 \cdot 793 \cdot 0.0832}{0.0832^2 + S^2} S, \text{ ნ.მ};$$

კლოსის კორექტირებული ფორმულით –

$$M_k = \frac{2M_m S_{mk}}{S_{mk}^2 + S^2} S = \frac{2 \cdot 793 \cdot S_{mk}}{S_{mk}^2 + S^2} S, \text{ ნ.მ};$$

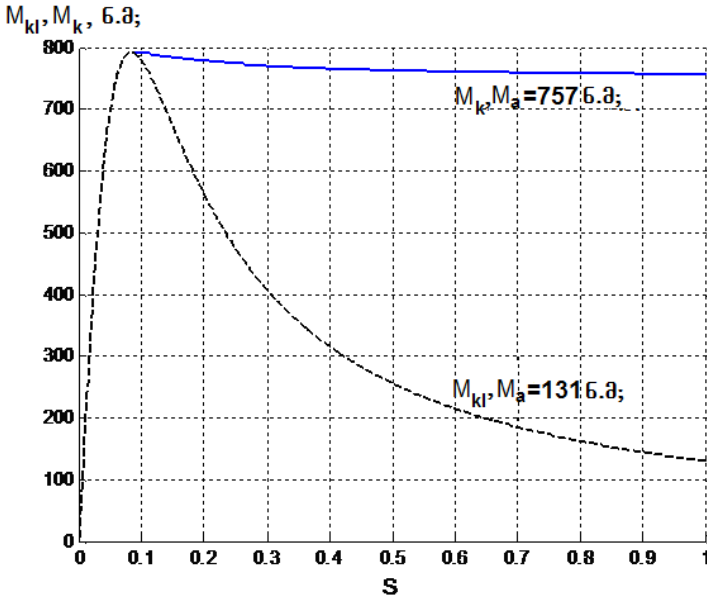
მექანიკური მახასიათებლების ასაგებად გამოვიყენოთ დაპროგრამების სისტემა “MATLAB”-ი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, კლოსის კორექტირებული ფორმულით აგებული მექანიკური მახასიათებლის ამუშავების მომენტის მნიშვნელობა ზუსტად ემთხვევა კატალოგში მოცემულ ამუშავების მომენტს

$$M_{ak} = \frac{2M_m S_{ma}}{S_{ma}^2 + 1^2} \cdot 1 = \frac{2 \cdot 793 \cdot 0.7354}{0.7354^2 + 1^2} 1 \approx 757 \text{ ნ.მ},$$

ხოლო კლოსის ფორმულით ამუშავების მომენტის მნიშვნელობა

$$M_{aki} = \frac{2M_m S_{m0}}{S_{m0}^2 + 1^2} \cdot 1 = \frac{2 \cdot 793 \cdot 0.0832}{0.0832^2 + 1^2} 1 \approx 131 \text{ ნ.მ.}$$



ნახ. 5.1. კლოსის (M_{ki} - წყვეტილი ხაზი) და კლოსის კორექტირებული (M_k - მთლიანი ხაზი) ფორმულებით აგებული ძრავას მექანიკური მახასიათებლები

უფრო მეტი თვალსაჩინოებისათვის, გავიანგარიშოთ კლოსისა და მისი კორექტირებული ფორმულებით მოკლედ შერთულ-როტორიანი ასინქრონული ძრავას ამუშავების დროის მნიშვნელობა უკმ სვლაზე: კლოსის ფორმულით

$$t = -\frac{Jw_0}{2M_m} \int_{S_1}^{S_2} \frac{S_{m0}^2 + S^2}{S_{m0}S} dS = -\frac{T_0}{2} \int_{S_1}^{S_2} \frac{S_{m0}^2 + S^2}{S_{m0}S} dS \quad \text{ანუ}$$

$$\frac{2t}{T_0} = Q_{KL} = -\int_{S_1}^{S_2} \frac{S_{m0}^2 + S^2}{S_{m0}S} dS ;$$

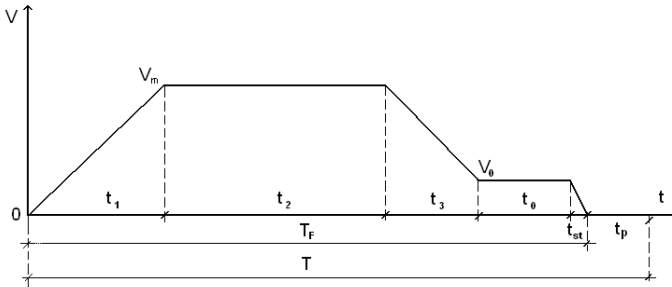
კლოსის კორექტირებული ფორმულით

$$t = -\frac{T_0}{2} \int_{S_1}^{S_2} \frac{S_{mk}^2 + S^2}{S_{mk}S} dS \quad \text{ანუ} \quad \frac{2t}{T_0} = Q_k = -\int_{S_1}^{S_2} \frac{S_{mk}^2 + S^2}{S_{mk}S} dS .$$

ორივე ინტეგრალის ამოხსნით მიიღება, რომ კლოსის ფორმულით გამოთვლილი ძრავას უკმ სვლაზე ამუშავების დროის ფარდობითი მნიშვნელობა დაახლოებით

3- ჯერ მეტია $\left(\frac{Q_{KL}}{Q_k} \approx 3 \right)$, ვიდრე რეალური.

5.2 დანაკარგები ძრავაში ბაგირზის გარდამავალი რეჟიმების დროს



ნახ. 5.1. სიჩქარის სუბპერიოდული ტაქოგრამა

t_1 პერიოდის დასაწყისში M1 და M2 ძრავა თანამიმდევრობით მიუერთდება ქსელს თანმხვედრ რეჟიმში სამუშაოდ. ორივე ძრავა ბრუნავს მაქსიმალური სიჩქარით, ხოლო ბაგირგზის სიჩქარეა - $V_m = \frac{D_0}{2} \frac{w_1 + w_2}{2}$. t_2 - თანაბარი (მაქსიმალური) სიჩქარით მოძრაობის პერიოდია. t_3 პერიოდის დასაწყისში M2 ძრავა ჩაერთვება ქსელთან რევერსიულ რეჟიმში სამუშაოდ. t_3 პერიოდის დასასრულს M2 ძრავა ბრუნავს მაქსიმალური სიჩქარით M1 ძრავას შემხვედრად, ხოლო ბაგირგზა მოძრაობს V_0 მცოცვი სიჩქარით t_0 დროის განმავლობაში. ამ t_0 დროის გავლის შემდეგ, ორივე ძრავა გამოერთვება ქსელიდან და ამძრავი შიკივი t_{st} დროში დამუხრუჭდება. ამძრავი შიკივის მუხრუჭს მხოლოდ შიკივზე მოდებული $J_3 \frac{w_3^2}{2}$ კინეტიკური ენერჯიის ჩაქრობა უხდება, რადგანაც ქსელიდან გამორთული M1 და M2 ძრავები თავისუფალი გარბენით მუხრუჭდება t_p პაუზის განმავლობაში.

განვიხილოთ ამძრავის ენერგეტიკა ცალკეული პერიოდის მიხედვით. ენერჯიის ხარჯვის თვალსაზრისით, განვიხილება:

t_1 - ამუშავების და t_3 - ძირითადი შენელების პერიოდები;

t_2 - მაქსიმალური და t_0 - მცოცი სინქარით მუშაობის პერიოდები;

როგორც ზემოთ აღინიშნა, t_1 - ამუშავების პერიოდში $M1$ და $M2$ ძრავები თანამიდევერობით მიუერთდება ქსელს და ენერჯის ჯამური დანაკარგები იქნება ძრავებში დანაკარგები.

t_3 პერიოდში $M2$ ძრავა გადადის რევერსის რეჟიმში, ჯერ დამუხრუჭდება ან უკუდენით, ან დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში და შემდეგ აჩქარდება ძრავულ რეჟიმში $M1$ ძრავას შემხვედრად სამუშაოდ.

გარდამავალ პერიოდში ძრავას როტორში დანაკარგები, როდესაც მასზე M_{st} დატვირთვაა მოდებული, გამოითვლება ცნობილი გამოსახულებით [3,6]

$$A_2 = \int_{t_1}^{t_2} M_{mot} (w_0 - w) dt = \int_{t_1}^{t_2} M_{mot} w_0 S dt, \quad (5.14)$$

სადაც M_{mot} ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი;

dt -ს მნიშვნელობა აიღება მოძრაობის ძირითადი განტოლებიდან

$$dt = J \frac{dw}{M_{mot} - M_{st}}, \quad (5.15)$$

თავის მხრივ

$$w = w_0 (1 - S) \quad \text{და} \quad \frac{dw}{dt} = -w_0 \frac{dS}{dt}, \quad (5.16)$$

მაშინ როტორში დანაკარგები

$$A_2 = Jw_0^2 \int_{S_{La}}^{S_{St}} \frac{M_{mot} \cdot S}{M_{mot} - M_{st}} dS, \quad (5.17)$$

სადაც M_{mot} და M_{st} -ძრავას მიერ განვითარებული და ძრავაზე მოდებული სტატიკური მომენტებია; S_{St} და S_{La} - სრიალის საწყისი და ბოლო მნიშვნელობა გარდამავალ რეჟიმში; ხოლო J და w_0 - ძრავაზე მოდებული სისტემის ინერციის მომენტი და უქმი სვლის ბრუნვათა რიცხვი;

როდესაც $M_{st} \neq 0$, სტატორში დანაკარგები გამოითვლება

$$A_1 = A_2 \frac{R_1}{R'_2}, \quad (5.18)$$

სადაც R_1 და R'_2 -შესაბამისად ძრავას სტატორისა და სტატორზე დაყვანილი როტორის წინააღმდეგობებია; ხოლო

$$A_0 = A_2 \left(1 + \frac{R_1}{R'_2} \right), \quad (5.19)$$

მთელი დანაკარგები ძრავაში.

განვსაზღვროთ R_1 და R'_2 სიდიდეები. ცნობილია, რომ საერთო დანიშნულების მოკლედ ჩაკეტილ-როტორიან (მჩრ) ძრავებში $R_1 \approx R'_2$, ხოლო სპეციალური კონსტრუქციის ძრავებში (მაგალითად, ბუშეროს ტიპის ძრავებში), როტორის დაყვანილი წინააღმდეგობა დამოკიდებულია

სრიალზე და მეტია სტატორის აქტიურ წინაღობაზე - $R'_2 > R_1$. ეს, ბუნებრივია, გამოიწვევს დანაკარგების შემცირებას [3].

მიღებულია, რომ $P_n > 15$ კვტ სიმძლავრის ძრავებში სტატორის აქტიური წინაღობა

$$R_1 \approx R'_{20}. \quad (5.20)$$

აქ R'_{20} - როტორის დაყვანილი წინაღობაა სტატორზე, როდესაც $S \approx 0$ და ასეთ შემთხვევაში თავისუფლად შეიძლება (5.9.) ფორმულით სარგებლობა

$$\frac{R_1}{R'_2} = \frac{R'_{2x}}{R'_2} = \frac{S_{a0}}{S_{a0} - S_{m0}} \quad (5.21)$$

იმ მოსაზრებით, რომ ძრავაში დანაკარგები

$$A_0 = A_2 \left(1 + \frac{R'_2}{R'_{2x}} \right), \quad (5.22)$$

შესაძლოა განისაზღვროს გამოსახულებით

$$A_0 = \frac{S_a}{S_a - S_m} A_2 = \frac{0.6417}{0.6417 - 0.0832} A_2 = 1.15 \cdot A_2. \quad (5.23)$$

განესაზღვროთ ძრავაში დანაკარგები განხილული მაგალითისათვის.

M2 ძრავას შეუძლია განავითაროს

$$M_{2m} = M_{mm} \cdot i_2 = 793 \cdot 9.83 \approx 7795 \text{ ნმ}, \quad (5.24)$$

მაქსიმალური მომენტი, ხოლო ამუშავების მომენტი მასზე

$$\frac{b_m}{b_a} = \frac{2.2}{2} = 1.1 \text{-ჯერ ნაკლებია. მივიღოთ, რომ } M_2 \text{ ძრავა}$$

ავითარებს (4.8.) ფორმულით გაანგარიშებულ, ამუშავებისათვის საჭირო $M_{2a} \approx 2354$ ნმ მომენტს. მაშინ, M_2 ძრავას მიერ განვითარებული მაქსიმალური მომენტი ტოლი იქნება $-M_{2m} = 1.1 \cdot M_{2a} = 1.1 \cdot 2354 \approx 2590$ ნმ.

ანალოგიურად M_1 ძრავასათვის

$$M_{1m} = M_{1mm} \cdot i_1 = 793 \cdot 8.54 \approx 6772 \text{ და } M_{1a} \approx 2317 \text{ ნმ, მაშინ}$$

$$M_{1m} = 1.1 \cdot M_{1a} = 1.1 \cdot 2317 \approx 2549 \text{ ნმ.} \quad (5.25)$$

კორექტირებული კლოსის ფორმულაში M_1 ძრავასათვის

$$M_{k1} = \frac{2M_{1m} S_k S}{S_k^2 + S^2} = \frac{2 \cdot 2549 \cdot S_k S}{S_k^2 + S^2} \quad (5.26)$$

M_2 ძრავასათვის

$$M_{k2} = \frac{2M_{2m} S_k S}{S_k^2 + S^2} = \frac{2 \cdot 2590 \cdot S_k S}{S_k^2 + S^2} \quad (5.27)$$

ამუშავების დანაკარგები M_1 ძრავაში კორექტირებული კლოსის ფორმულის მიხედვით (იხ. 5.23 ფორმულა)

$$A_{01} = 1.15 J_{11} w_{10}^2 \int_{S_2}^{S_1} \frac{M_{k1} S}{M_{k1} - 0.5 M_{st}} dS, \quad (5.28)$$

M_2 ძრავაში

$$A_{02} = 1.15 J_{22} w_{20}^2 \int_{S_2}^{S_1} \frac{M_{k2} S}{M_{k2} - 0.5 M_{st}} dS. \quad (5.29)$$

განსაზღვროთ დანაკარგები ცალკეული რეჟიმებისათვის)

ა) M1-ის ამუშავება აჩქარების რეჟიმში

```
syms S; w10=12.26; J11=698; Mst=2400; Sm=.0832; M1m=2549;  
>> S1=1; S2=.05; ka=1.1; Sa=ka-(ka^2-1)^.5;  
>> Sk=Sm+(Sa-Sm)*(S-Sm)/(1-Sm);  
>> Mk1=2*M1m*Sk*S/(Sk^2+S^2); C1=J11*w10^2/1000;  
>> Q1=1.15*C1*Mk1*S/(Mk1-.5*Mst); A01=vpa(-int(Q1,S,S1,S2),3),  
A01=123 კჯ. DP01=A01/t1=123/7≈18 კვტ;
```

(M1-ის ამუშავების დრო $t_1 \approx 7$ წმ)

ბ) M2-ის ამუშავება აჩქარების რეჟიმში

```
syms S; w20=10.66; J22=721; Mst=2400; Sm=.0832; M2m=2590;  
>> S1=1; S2=.05; ka=1.1; Sa=ka-(ka^2-1)^.5;  
>> Sk=Sm+(Sa-Sm)*(S-Sm)/(1-Sm);  
>> Mk2=2*M2m*Sk*S/(Sk^2+S^2); C2=J22*w20^2/1000;  
>> Q2=1.15*C2*Mk2*S/(Mk2-.5*Mst); A02=vpa(-int(Q2,S,S1,S2),3),  
A02=94.4 კჯ. DP02=A02/t2=94.4/6≈16 კვტ;
```

(M2-ის ამუშავების დრო $t_2 \approx 6$ წმ)

გ) M2-ის შენელება უკუდენით დამუხრუჭების რეჟიმით

```
syms S; w20=10.66; J22=721; Mst=2400; Sm=.0832; M2m=2590;  
>> S1=2; S2=1; ka=1.1; Sa=ka-(ka^2-1)^.5;  
>> Sk=Sm+(Sa-Sm)*(S-Sm)/(1-Sm);  
>> Mk2=2*M2m*Sk*S/(Sk^2+S^2); C2=J22*w20^2/1000;  
>> Q2=1.15*C2*Mk2*S/(Mk2-.5*Mst); A02B=vpa(-int(Q2,S,S1,S2),3),  
A02B=290 კჯ; DP02B=A02B/tR=290/6≈48 კვტ;
```

(შენელების (ამუშავების) დრო $t_3 \approx 6$ წმ)

დ) M2-ის შენელება დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმით დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმში ძრავაში დანაკარგები დაახლოებით ამუშავების დანაკარგების ტოლია,

თუ მხედველობაში არ მივიღევთ სტატორში დანაკარგებს მისი სიმცირის გამო.

მაშინ $A02RD \approx A02 = 71.6$ კჯ და $DP02RD \approx DP02 \approx 12$ კჯ.

M2-ის შენელების რეჟიმში, უკუდენით დამუხრუჭების გამოყენებისას ≈ 3 - ჯერ მეტია დანაკარგები, ვიდრე დინამიკური დამუხრუჭებისას - $A02B/A02D = 290/94.4 = 3.07$.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, თანმხვედრი, მაქსიმალური სიჩქარით მოძრაობისას, ორივე ძრავა მუშაობს გამომავალ ლილვზე მოდებული სიმძლავრის ნახევარი სიმძლავრით.

$$DP = P_{EM} - P_M = M(w_0 - w) = Mw_0 \left(1 - \frac{w}{w_0} \right) = Mw_0 S.$$

განხილულ შემთხვევაში, ორივე ძრავას ჯამური დანაკარგები

$$\begin{aligned} DP_2 &= M_{st} \frac{w_{10} - w_1}{2} + M_{st} \frac{w_{20} - w_2}{2} = \\ &= \frac{M_{st}}{2} \left[w_{10} \left(1 - \frac{w_1}{w_{10}} \right) + w_{20} \left(1 - \frac{w_2}{w_{20}} \right) \right] = \frac{M_{st}}{2} w_{10} S_n \left(1 + \frac{i_1}{i_2} \right) \end{aligned}$$

შემხვედრი მოძრაობისას კი, M1 ძრავას ქსელიდან მოაქვს $M_{st} w_1$ სიმძლავრე, რომლის ნაწილი ($2M_{st} w_3$), გადაეცემა ამძრავ შკივს, ხოლო დანარჩენი - $M_{st} w_2$, რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში მომუშავე M2 ძრავას გავლით ქსელს უკან უბრუნდება - $M_{st} w_1 = 2M_{st} w_3 + M_{st} w_2$.

მთლიანად, ამ რეჟიმში, ამძრავში დანაკარგები, გამ-
ოთვლება

$$DP_0 = M_{st} \frac{w_{10} - w_1}{2} - M_{st} \frac{w_{20} - w_2}{2} =$$

$$= \frac{M_{st}}{2} \left[w_{10} \left(1 - \frac{w_1}{w_{10}} \right) - w_{20} \left(1 - \frac{w_2}{w_{20}} \right) \right] = \frac{M_{st}}{2} w_{10} S_n \left(1 - \frac{i_1}{i_2} \right),$$

ამრიგად, ბაგირგზის ვაგონის მოძრაობის სრული
დროის განმავლობაში იკარგება (კვ):

მცოცი სიჩქარით მოძრაობისას -

$$DP_0 = \frac{M_{st}}{2} w_{10} S_n \left(1 - \frac{i_1}{i_2} \right) = \frac{2400}{2} 12.26 \cdot 0.02 \left(1 - \frac{8.542}{9.824} \right) =$$

$$= 39.46 \text{ ვტ} \approx 0.04 \text{ კვტ}$$

მაქსიმალური სიჩქარით მოძრაობისას -

$$DP_2 = \frac{M_{st}}{2} w_{10} S_n \left(1 + \frac{i_1}{i_2} \right) = \frac{2400}{2} 12.26 \cdot 0.02 \left(1 + \frac{8.542}{9.824} \right) =$$

$$= 550.08 \text{ ვტ} \approx 0.55 \text{ კვტ}$$

ეკონომიურობის თვალსაზრისით, სასურველია რეგ-
ერსის დროს დინამიკური დამუხრუჭების რეჟიმის გამოყ-
ენება.

ლიტერატურა

1. ბარამიძე კ., კოგანი ი. სამგზავრო კიდული საბაგრო გზები. თბილისი: განათლება, 1969 წ.- 248 გვ.
2. მ. წერეთელი, ნ. მახარაშვილი, ი. წერეთელი. ქანქარასებრი კიდული ბაგირგზის პარამეტრების შერჩევა და ამუშავების დინამიკური რეჟიმის ოპტიმიზაცია. თბილისი: სამომცემლო სახლი “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2013 წ. -128 გვ.
3. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981г.- 576 с.
4. Основы автоматизированного электропривода. М.Г. Чиликин, М.М. Соколов, В.М. Терехов, А.В. Шинянский. М.: Энергия ,1974 г.-568 с.
5. Марголин Ш.М. Дифференциальный электропривод. М.: Энергия, 1975 г.- 168 с.
6. А. С. Симоненко. Электропривод. Ч. I. лабораторный практикум для студентов специальности 110302 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». 2-е изд., перераб. и доп. — Кострома, 2008 г.- 344 с.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი	3
I. ბაგირგზის კინემატიკის ელემენტები და გამტარუნარიანობა	7
1.1. ბაგირგზის კინემატიკის ელემენტები	7
1.2 ბაგირგზის გამტარუნარიანობა	9
II. ბაგირგზის ასინქრონული ამძრავი	12
2.1. ფაზურ-როტორიანი ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება	12
2.2. მოკლედ ჩართულ-როტორიანი ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება	26
III. ბაგირგზის ელექტრული ამძრავი დიფერენციალური რედუქტორით	41
3.1. ზოგადი ცნებები	41
3.2. დიფერენციალური ელექტრული ამძრავის ძირითადი პარამეტრების განსაზღვრა	46
3.3. ბაგირგზის სამუშაო რეჟიმები დიფერენციალური ელექტრული ამძრავით	48
IV. დინამიკური რეჟიმები ბაგირგზის დიფერენციალურ ელექტრულ ამძრავში	58
4.1 მცოცი სიჩქარის გარდამავალი პერიოდი	61
4.2 აჩქარების გარდამავალი პერიოდი	63
4.3 შენელების გარდამავალი პერიოდი	68

V. ბაგირგზის დიფერენციალური ელექტრული	
ამპრაგის მუშაობის ენერგეტიკა -----	71
5.1 მოკლედ ჩაკეტილ-როტორიანი ასინქრონული	
ძრავას მექანიკური მახასიათებლები --	71
5.2 დანაკარგები ძრავაში ბაგირგზის გარდამავალი	
რეჟიმების დროს -----	78
ლიტერატურა -----	87