

ს. კარიბიძისი, ჯ. სანიკიძე

ელექტრული ჯიშის საფუძვლები



„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ს. კარიპიდისი, ჯ. სანიკიძე

ელექტრული წევის საფუძვლები



დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ
სტუ-ის სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ.

თბილისი
2014

სახელმძღვანელო „ელექტრული წვევის საფუძვლები“ დაწერილია „ელექტრული ტრანსპორტის“ სპეციალობის ბაკალავრების და მაგისტრებისათვის. წიგნში პოპულარული ენით აღწერილია ელექტრული წვევის, როგორც სახალხო მეურნეობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დარგის, წარმოშობის და განვითარების ისტორია, მისი დღევანდელი მდგომარეობა და პერსპექტივები. განხილულია წვევის, სამუხრუჭო და მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების წარმოქმნის მექანიზმები და მათი რეალიზაციის საკითხები. მათემატიკური აპარატის გამოყენებით ახსნილია მატარებლის მოძრაობის დინამიკის და წვევის გაანგარიშების გრაფიკული, გრაფოანალიზური და ანალიზური მეთოდები.

განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი თანამედროვე ნახევარგამტარული ტექნიკის ბაზაზე შესრულებულ მდოვრე რეგულირების მქონე სტატიკურ გარდამქმნელებს და სტატიკური ინვერტორების გამოყენებით ასინქრონული წვევის ძრავების სიჩქარის რეგულირების სისტემებს.

წარმოდგენილ სახელმძღვანელოში, პირველად ქართული ტექნიკური ლიტერატურის ისტორიაში, მნიშვნელოვანი ყურადღება ეთმობა ელექტრომობილებს. აღწერილია ელექტრომობილების წარმოშობის და განვითარების ისტორია, მათი ჩავარდნის და ხელმეორედ აღორძინების მიზეზები, პრობლემები, რომლებიც ხელს უშლის ელექტრომობილების ფართოდ დანეგვას და მითითებულია მათი გადაჭრის გზები.

აღწერილია სარელსო ტრანსპორტზე მაღალი სიჩქარეების რეალიზაციის გზაზე წარმოქმნილი სირთულეები და მათი გადაწყვეტის გზები, უბორბლო (მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე) სატრანსპორტო საშუალებების დანერგვის გზით. დეტალურადაა განხილული მათი მუშაობის პრინციპი. მოყვანილი და აღწერილია დღეისათვის პრაქტიკულად რეალიზებული მაღალსიჩქარიანი სატრანსპორტო საშუალებები და მათი განვითარების პერსპექტივები.

ჩვენი აზრით, დღეისათვის ტრანსპორტის დარგში ქართული ტექნიკური აზროვნების სივრცეში, წინამდებარე სახელმძღვანელო წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან შენაძენს მათთვის, ვინც დაინტერესებულია ელექტრული წვევის საკითხებით.

რეცენზენტები: **შ. ნემსაძე** ტექნიკის მეცნიერებათა
დოქტორი, პროფესორი

თ. ნათენაძე გაერთიანება „ელექტრომაგალმშენებელი“-ს
მთ. ინჟინრის მოადგილე, ტექნიკის მეცნიერებათა
კანდიდატი

ISBN

© საგამომცემლო სახლი

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2014

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.



Verba volant,
scripta manent

წინასიტყვაობა

წინამდებარე სახელმძღვანელო “ელექტრული წვევის საფუძვლები” შედგენილია ელექტრული ტრანსპორტის სპეციალობის ბაკალავრიატის, მაგისტრატურის და დოქტურანტურის დღევანდელი პროგრამების შესაბამისად.

წიგნის ძირითადი შინაარსი მოიცავს სხვადასხვა დროს ელექტრული ტრანსპორტის კათედრის დამაარსებლის, პროფესორ **ლევან აბელიშვილის**, პროფესორ **ლევან ტრაპაიძის** და ამ წიგნის ავტორების მიერ ათეული წლების განმავლობაში წაკითხულ სალექციო კურსს. წიგნში შესულია, აგრეთვე, მრავალი თანამედროვე სამეცნიერო ხასიათის გამოკვლევა წვევის ელექტრული ამძრავების სფეროდან.

დღემდე ქართულ ენაზე არ გამოცემულა ელექტრული წვევის საკითხებისადმი მიძღვნილი არც ერთი სახელმძღვანელო. ყველა ძირითადი და დამხმარე სახელმძღვანელო არსებობს რუსულ და უცხოურ ენაზე. მათში ძირითადად განხილულია ელექტრიფიცირებული რკინიგზების მუდმივი დენის 3კვ. ძაბვის სისტემა, რომელიც შექმნილია გასული საუკუნის 30-იან წლებში და შემდგომში შექმნილი ცვლადი დენის სისტემები.

გასული საუკუნის 70-იან წლებში, ყოფილ საბჭოთა კავშირში და საზღვარგარეთ დაიწყო ინტენსიური მუშაობა ჩვეულებრივი, ხელოვნური კომუტაციის მქონე ტირისტორების ბაზაზე შესრულებულ სინქარის იმპულსური რეგულირების სქემებზე, რომლებშიც გამოყენებული იყო არსებული მუდმივი დენის მიმდევრობითაგზნებიანი ძრავები.

ძალოვან ნახევარგამტარული ტექნიკის განვითარებაში მნიშვნელოვანმა ძვრებმა, კერძოდ, ათასობით ვოლტ ძაბვაზე და ამპერ დენზე მომუშავე სრულად მართვადი GTO, IGCT ტირისტორების და IGBT ტრანზისტორების შექმნამ და დანერგვამ, ძირფესვიანად შეცვალა როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი დენის წვევის სისტემების მომავალი.

განსხვავებით რუსულ და უცხოურ ენებზე გამოცემულ ელექტრული წვევის სახელმძღვანელოებისაგან, წინამდებარე წიგნში დიდი ყურადღება ეთმობა როგორც ცვლადი დენის სისტემებს, ასევე ასინქრონულ წვევის ძრავების ბაზაზე შესრულებულ წვევის ამძრავებს, ელექტრომობილებს და მაღალსინქარიან სარელსო ტრანსპორტს.

სახელმძღვანელოში განხილულია წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ძრავას დამაგნიტების მრუდის ზუსტ აპროქსიმირებას. მოყვანილია მახასიათებლების გაანგარიშების მაგალითები, პერსონალური კომპიუტერული პროგრამების (Exsel) გამოყენებით.

სახელმძღვანელოში დიდი ყურადღება აქვს დათმობილი ასინქრონულ წვევის ძრავებში მიმდინარე პროცესების შესწავლას, მათი სხვადასხვა (მოტორულ, გენერატორულ) რეჟიმებში მუშაობისას. სადაც ძირითადად განიხილება ძრავას მკვებავ ინვერტორებში ძაბვის და სიხშირის რეგულირების საკითხები. განხილულია

არსებული განივ იმპულსური რეგულირების (გირ) ნაცვლად, ავტორების მიერ შემოთავაზებული ძაბვის და სიხშირის რეგულირების ორსაფეხურიანი ოპტიმალური მეთოდი.

წიგნში წვევის გაანგარიშების არსებულ გრაფიკულ მეთოდებთან ერთად, ავტორების მიერ შემოთავაზებულია წვევის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი, რომელიც ნაკლებად შრომატევადი და ზუსტია.

წიგნში პირველად განიხილება ელექტრული ტრანსპორტის ერთ-ერთი ნაირსახეობა ელექტრომობილი. აღწერილია ელექტრომობილების წარმოშობის და განვითარების ისტორია. ის, თუ რამ გამოიწვია ელექტრომობილების განვითარების ჩაყარდნა და რამ განაპირობა მისი ხელმეორედ აღორძინება. დეტალურადაა აღნიშნული იმ პრობლემების შესახებ, რაც ხელს უშლის ელექტრომობილების ფართოდ დანერგვას, მითითებულია ამ პრობლემების გადაჭრის გზები.

საკმარისია თვალი გადავაგვლოთ წიგნში განხილულ საკითხთა ნუსხას, რომ შეგვექმნას შთაბეჭდილება განხილულ საკითხებზე და მათ მასშტაბებზე.

ავტორები დიდ მადლიერებას გამოთქვამენ რეცენზენტის, სრული პროფესორის შოთა ალექსანდრეს-ძე ნემსაძის მიმართ, ამ სახელმძღვანელოს გამოცემის მხარდაჭერისთვის და ელექტრული ტრანსპორტის კათედრის თანამშრომლის ვალერია სიმონის ასულ გლურჯიძის მიმართ, წიგნის რედაქტირების და გაფორმებისათვის გაწეული დიდი შრომისათვის.

ავტორები მადლიერებით მიიღებენ ყველა შენიშვნას და საქმიან წინადადებას.

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ელექტრული წევის განვითარების მოკლე ისტორია

ელექტრული წევა ეწოდება წევის ისეთ სახეობას, როდესაც სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობაში მოყვანა ხდება ელექტრული ძრავების მიერ, ელექტრული ენერჯის მექანიკურ მუშაობად გარდაქმნის გზით.

ელექტრული წევის შექმნა და მისი შემდგომი სრულყოფა უშუალოდაა დაკავშირებული ელექტროტექნიკის დარგის წარმოქმნასა და განვითარებასთან, რომელსაც, თავის მხრივ, საფუძველი დაუდო ელექტრობაზე და მაგნიტიზმზე, ხანგრძლივ პერიოდში, დაგროვილმა ცოდნამ.

მექანიკური მუშაობის განსახორციელებლად ელექტროენერჯის გამოყენების პირველი ცდები უკავშირდება 1834 წელს, როდესაც ამერიკელმა ტომას დავენპორტმა გაღვანური ელემენტების და პრიმიტიული მაგნიტოელექტრული ძრავას გამოყენებით სცადა მოძრაობაში მოეყვანა მცირე ზომის ვაგონეტკა.

თითქმის ერთდროულად (1838 წელს), რუსმა ფიზიკოსმა ს. იაკობიმ დაახლოებით იგივე მეთოდებით ჩაატარა ცდები, ელექტრული ძრავით ნავის მოძრაობაში მოსაყვანად. აქ უწყვეტი მოძრაობის განმაპირობებლად პირველად გამოიყენეს ბრუნვითი მოძრაობა, ნაცვლად, მანამდე არსებული, გადატანითი მოძრაობისა, რომელიც ვერ უზრუნველყოფდა უწყვეტ მოძრაობას. ძრავას ბრუნვითი მოძრაობა ბერკეტული სისტემით გადაეცემოდა ნავის კიჩოზე განთავსებულ ხრახნს, მოჰყავდა ის ბრუნვით მოძრაობაში და ამ გზით ახდენდა ნავის ხაზოვან გადაადგილებას. 0.5 ცხენის ძალის სიმძლავრის ელექტრული ძრავა იკვებებოდა, ნავზე განთავსებულ გაღვანური ელემენტებისგან. ნავი მოძრაობდა დინების საწინააღმდეგოდ 4კმ/სთ სიჩქარით. ს. იაკობის მიერ უშუალოდ სატრანსპორტო საშუალებაზე (ნავზე, ეკიპაჟზე) ელექტრული ენერჯის წყაროს განთავსებამ, სათავე დაუდო ე.წ. ავტონომიური ელექტრული წევის სახეობის განვითარებას.

ე. ლენცის და ბ. იაკობის მიერ ელექტრული და მაგნიტური პროცესების ურთიერთშექცევადობის მოვლენის აღმოჩენამ, რომელიც საფუძველად დაედო თანამედროვე მუდმივი დენის მანქანების შექმნას, იტალიელი ელექტრომექანიკოსის პაჩინოტის მიერ ელექტრული მანქანების კონსტრუქციის განვითარებაში შეტანილმა უდიდესმა წვლილმა 1864 წელს, ო. დოლივო – დობროვოლსკის მიერ 1889 წელს სამფაზა ასინქრონული ძრავების შექმნამ, 1875-76 წლებში ინჟინერ ფ.პიროცკის

მიერ ელექტროენერჯის შორ მანძილზე გადაცემის წარმატებულმა ცდებმა, რომელმაც მოხსნა სატრანსპორტო საშუალებაზე განთავსებული ელექტრული ძრავას ელექტრული ენერჯით მომარაგების პრობლემა და ელექტროტექნიკის დარგში სხვა მნიშვნელოვანმა მიღწევებმა, საგრძობლად შეუწყო ხელი ელექტრული წვეის, როგორც დარგის განვითარებას.

1879 წელს ფირმა “Siemens & Halske“-მ ბერლინში გამართულ სამრეწველო გამოფენაზე წარადგინა მინიატურული ელექტრომატარებელი, რომელიც შედგებოდა ელექტრომაგლისაგან და სამი პლატფორმის ტიპის ვაგონისაგან. მატარებელი მოძრაობაში მოდიოდა 3 ცხენის ძალის სიმძლავრის მქონე ელექტრული წვეის ძრავით, რომელიც კვებას იღებდა 130 ვ. ძაბვის მქონე სარელსო გზიდან. იგივე ფირმამ 1881 წელს გერმანიის ქალაქებს ფრანფურტსა და ოფენბახს შორის არსებულ რკინიგზაზე ელექტრომომძრავი შემადგენლობის ელექტროენერჯით მომარაგებისთვის, პირველად გამოიყენა ზედა საკონტაქტო სისტემა. წარმოდგენილი კონცეფცია, შემდგომში, საფუძვლად დაედო ელექტრული წვეის თანამედროვე სტრუქტურას.

ელექტრული წვეის დანერგვის თვალსაზრისით ძალზე მნიშვნელოვანი იყო, **დანიელ ვან-დებოტეს** იდეის საფუძველზე, კანადის ქალაქ ტორონტოში ტრამვაის ხაზის გახსნა, რომელიც შეიცავდა დღეისათვის არსებულ თითქმის ყველა კომპონენტს; კერძოდ, მოძრავ შემადგენლობაზე ელექტროენერჯის მისაწოდებლად საყრდენებზე გაჭიმულ საკონტაქტო სადენს, ხოლო უკუ სადენებად სარელსო გზას. აღნიშნულმა, როგორც ამერიკაში, ასევე ევროპაში საფუძველი დაუდო საქალაქო ტრანსპორტის ახალი სახეობის—ტრამვაის განვითარებას, რომლის ექსპლუატაციით მიღებულმა პრაქტიკულმა გამოცდილებამ, შემდგომში, განაპირობა მიწისქვეშა სარელსო ტრანსპორტში—მეტროპოლიტენში ელექტრული წვეის გამოყენების მიზანშეწონილობა.

ელექტრული წვეის გამოყენებით, პირველი მიწისქვეშა სარკინიგზო ხაზი (მეტროპოლიტენი) გაიხსნა ლონდონში 1890 წელს და ამ მომენტიდან ყველა ახლად შექმნილი მეტროპოლიტენი სრულდება ელექტრული რკინიგზის პრინციპით.

ამჟამად მეტროპოლიტენი ფუნქციონირებს მსოფლიოს დიდ ქალაქებში და მათ შორის თბილისშიც, სადაც პირველი ხაზი გაიხსნა 1966 წელს. დღეისათვის თბილისის მეტროპოლიტენის მოქმედი ხაზების საერთო სიგრძეა 36 კმ, ხოლო ექსპლუატაციაში მყოფი სადგურების რაოდენობაა 23.

მაგისტრალურ რკინიგზაზე, მსოფლიოში პირველად, ელექტრული წვეის დანერგვა განხორციელდა ამერიკის შეერთებულ შტატებში **ბალტიმორ-ოჰაიოს** 115 კმ-იან

მონაკვეთზე. ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე ელექტროენერჯის მისაწოდებლად გამოყენებული იყო ორ სავალ რელსს შორის განთავსებული მესამე რელსი. მესამე რელსში მუდმივი დენის დაბვა იყო იგივე, რაც წვეის ძრავას მომჭერებზე - 650 ვოლტი. იმ დროისათვის არსებული ტექნიკა არ იძლეოდა უფრო მაღალი დაბვის გამოყენების შესაძლებლობას. შემდგომში ელექტრული რკინიგზების განვითარება მუდმივ დენზე მიმდინარეობდა, საკონტაქტო ქსელში დაბვის ამადლების გზით.

გასული საუკუნის 20-იან წლებში, საფრანგეთში და ინგლისში რკინიგზები ელექტრიფიცირებული იქნა მუდმივ დენზე საკონტაქტო ქსელში 1 500 ვოლტ დაბვაზე.

შემდგომში საფრანგეთში და ევროპის მთელ რიგ ქვეყნებში, მათ შორის ყოფილ საბჭოთა კავშირში, რკინიგზების ელექტრიფიცირება ხორციელდებოდა მუდმივ დენზე საკონტაქტო ქსელში 3 000 ვ დაბვაზე.

ზემოხამოთვლილი რკინიგზების ელექტრომოდრავ შემადგენლობებზე გამოყენებული იყო მიმდევრობითაგზნებიანი მუდმივი დენის წვეის ძრავები, რომლებიც ყველაზე უკეთ აკმაყოფილებდნენ სატრანსპორტო ამოცანებით წამოყენებულ პირობებს და გამოირჩეოდნენ საიმედოობით ექსპლუატაციაში.

უნდა აღინიშნოს, რომ 3 000 ვ დაბვა არ წარმოადგენს დაბვის ოპტიმალურ მნიშვნელობას არც წვეის ძრავებისთვის და არც ელექტრომოდრავების სისტემისთვის. წვეის ძრავებისთვის ოპტიმალურად ითვლება დაბვა 750-900 ვოლტი, როდესაც მათ გააჩნიათ საუკეთესო მასა-გაბარიტული და ღირებულებითი მაჩვენებლები, ხოლო დაბვა 3 000 ვ; რა თქმა უნდა, ეს მათთვის დიდია; ელექტრომოდრავების სისტემისთვის კი 3 000 ვ დაბვა, რა თქმა, უნდა ცოტაა, რადგან მოითხოვს ძვირადღირებული კვების წყაროების (წვეის ქვესადგურების) ახლო-ახლო (15-20 კმ) განთავსებას. იმ დროისათვის არსებული ტექნიკური საშუალებები არ იძლეოდა წვეის ძრავების საკონტაქტო ქსელიდან განმხოლოების საშუალებას და მათი ქსელიდან პირდაპირი კვების შემთხვევაში, ეს დაბვა 3 000 ვ ითვლებოდა ოპტიმალურ დაბვად.

მუდმივ დენზე ელექტრიფიცირების პარალელურად, იტალიაში და შვეიცარიაში რკინიგზების ელექტრიფიცირება მიმდინარეობდა ცვლად დენზე, იმ დროისათვის არსებული ცვლადი დენის სამფაზა ასინქრონული ძრავების ბაზაზე. ელექტროენერჯის მიწოდება ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე ხდება სამსადენიანი საკონტაქტო ქსელით ან ორსადენიანი საკონტაქტო ქსელით და მესამე სადენად სარელსო გზის გამოყენებით. პრაქტიკულმა ექსპლუატაციამ გამოავლინა ამ სისტემის მთავარი ნაკლოვანებები:

- წვეის თვალსაზრისით – მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავების სინქარის რეგულირების სირთულე.

- ელექტრომომარაგების თვალსაზრისით—სამფაზა საკონტაქტო ქსელის სირთულე და დაბალი საიმედოობა (განსაკუთრებით საჰაერო ისრების შესრულებაში).

სარელსო გზის გამოყენება მესამე სადენად ოდნავ ამარტივებს საკონტაქტო ქსელს და ასევე ოდნავ ამცირებს მის ღირებულებას.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მიუხედავად მარტივი და იაფი სამფაზა ასინქრონული ძრავების გამოყენებისა, აღნიშნულმა სისტემამ ვერ ჰპოვა გავრცელება, ეხლა შემორჩენილია მხოლოდ ჩრდილოეთ იტალიის რკინიგზაზე.

XX საუკუნის დასაწყისში საფუძველი ჩაეყარა წვევის სახეობის კიდევ ერთ სისტემას – ერთფაზა ცვლადი დენის სისტემას კოლექტორიანი ერთფაზა წვევის ძრავებით. ეს სისტემა ვითარდებოდა ორი მიმართულებით:

- დადაბლებული სიხშირის ($16\frac{2}{3}$ ჰერცი) ერთფაზა ცვლადი დენის კოლექტორიანი წვევის ძრავების გამოყენებით.
- ნორმალური სიხშირის (სამრეწველო -50 ჰერცი) ერთფაზა ცვლადი დენის კოლექტორიანი წვევის ძრავების გამოყენებით.

დადაბლებული სიხშირის ცვლადი დენის სისტემის გამოყენება განაპირობა ცვლადი დენის კოლექტორიანი წვევის ძრავების კომუტაციის პირობების გაუმჯობესების მოთხოვნებმა. ამ სისტემამ ფართო გავრცელება ვერ ჰპოვა, რადგან მოითხოვს სპეციალურ დაბალი სიხშირის ელექტროსადგურებს ან სიხშირის გარდამქმნელებით აღჭურვილ, 50 ჰერც სიხშირეზე მომუშავე, ძვირადღირებული წვევის ქვესადგურების შექმნას.

ნორმალური სიხშირის ცვლადი დენის წვევის სისტემის შემთხვევაში, ელექტრული რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემა ყველაზე მარტივი და იაფია, რადგან არ მოითხოვს ელექტროენერჯის შუალედურ გარდაქმნებს, მაგრამ, ამ შემთხვევაში, ელექტრომოდრავი შემადგენლობა გამოდის რთული და არასაიმედოდ მომუშავე. ზოგადად უნდა ითქვას, რომ ერთფაზა ნორმალურ სიხშირეზე მომუშავე კოლექტორიანი წვევის ძრავები ძვირი და ექსპლუატაციაში ნაკლებად საიმედოა, ვიდრე მუდმივი დენის ძრავები. ამიტომ, უპირატესობა უნდა მიენიჭოს მუდმივი დენის ძრავების გამოყენებას. ეს კი შესაძლებელია, თუ ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე მოხდება ერთფაზა ცვლადი დენის გარდაქმნა, რეგულირებადი ძაბვის მქონე მუდმივ დენად ან სამფაზა რეგულირებადი სიხშირის ცვლად დენად.

საბჭოთა კავშირში რკინიგზების ელექტრიფიცირება დაიწყო გასული საუკუნის 30-იან წლებში, იმ დროისათვის პროგრესულ – 3 000 ვ. ძაბვის მქონე მუდმივი დენის სისტემაზე. საბჭოთა კავშირის მასშტაბით, ელექტრულ წვევაზე პირველად გადავიდა

ზესტაფონი – ხაშურის ყველაზე რთული პროფილის მქონე მაგისტრალური რკინიგზის მონაკვეთი. შემდგომში, ელექტრული რკინიგზის ეს მონაკვეთი გამოიყენეს, როგორც საცდელი პოლიგონი ახალი ტექნიკის დასანერგად; შემდგომში, ამ მიმართულებით, საჭირო გახდა მაღალკვალიფიციური საინჟინრო და სამეცნიერო კადრების მომზადება. კერძოდ, საბჭოთა კავშირის მასშტაბით დიდი ავტორიტეტით სარგებლობდა თბილისის რკინიგზის ინჟინერთა ინსტიტუტი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტის, პროფ. **ლევან აბელიშვილის** ხელმძღვანელობით, 1954 წელს ჩამოყალიბებული ელექტრული წვევის სკოლა, გამოჩენილი სპეციალისტების – **გ.სეხნიაშვილის, მ.ხევსურიანის, ივ.თოფჩიშვილის, ა.მასხარაშვილის, გ.ლორთქიფანიძის, გ.კალანდარიშვილის** და სხვათა შემადგენლობით.

ყოველივე აღნიშნულმა საქართველოში და კერძოდ, თბილისში, სათავე დაუდო ელექტრომაგვალმშენებლობას. 1958 წლიდან დღემდე თბილისში მუშაობს ელექტრომაგვალმშენებელი ქარხანა, რომელიც უშვებს მუდმივი დენის მძლავრ მაგისტრალურ და სამრეწველო ელექტრომაგვლებს.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში შემავალ ქვეყნებიდან, საქართველო ერთადერთი რესპუბლიკაა, რომლის რკინიგზის ყველა მიმართულება, მათ შორის განშტოებებიც, მთლიანადაა ელექტრიფიცირებული. მისი საერთო სიგრძე დღეისათვის შეადგენს 1545 კმ-ს. ეს, რა თქმა უნდა, მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს ქვეყანას, ევროპა-აზიის დამაკავშირებელი სატრანსპორტო დერეფნის სტრატეგიული ფუნქციის შესრულებაში.

მუდმივი დენის 3 000 ვ სისტემა, რომელიც ჩაისახა გასული საუკუნის დასაწყისში და დღესაც მუშაობს მთელ რიგ ქვეყნებში, მათ შორის საქართველოშიც, გაზრდილი ტვირთნაკადების პირობებში (საფიდერო ზონაში მძიმეწონიანი მატარებლები და მათი გაზრდილი რიცხვი) ზენორმატიული ძაბვის ვარდნების გამო, ვერ უზრუნველყოფს გზის მოთხოვნილ გამტარუნარიანობას და საჭიროებს კარდინალური ღონისძიებების გატარებას. აღნიშნული პრობლემის მოხსნა, როგორც ზემოთ გვქონდა აღნიშნული, დღეისათვის შესაძლებელია მუდმივი დენის საკონტაქტო ქსელში ძაბვის ამალეებით 6 000 და 12 000 ვოლტამდე.

გასული საუკუნის 50-იან წლებში მუდმივი დენის 3 000 ვოლტიანი სისტემის გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით გასატარებელი ღონისძიებების ძიების გზაზე, მეცნიერები მივიდნენ იმ დასკვნამდე, რომ წვევის ქვესადგურის ფუნქციანაწილობრივ გადაეტანათ ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე და საკონტაქტო ქსელში ძაბვა გაეზარდათ ოპტიმალურ მნიშვნელობამდე. აღნიშნული კონცეფცია საფუძვლად დაედო ერთფაზა სამრეწველო სიხშირის 25 000 ვოლტიან ცვლადი

დენის სისტემის შექმნას. ამ შემთხვევაში მარტივდება და იაფდება ელექტრომომარაგების სისტემა, მაგრამ რთულდება და ძვირდება ელექტრომომარაგი შემადგენლობა, რადგან მასზე დამატებით უნდა განთავსდეს წვეის ტრანსფორმატორი და გამმართველი მოწყობილობა. საწყის ეტაპზე, ნახევარგამტარული გამმართველი ელემენტების დანერგვამდე, არსებული იგნიტრონული და ექსიტრონული გამმართველები, მოძრავი შემადგენლობის პირობებში (ვიწრო გაბარიტები, ვიბრაცია, რთული გარდამავალი პროცესები) მუშაობდნენ არასაიმედოდ.

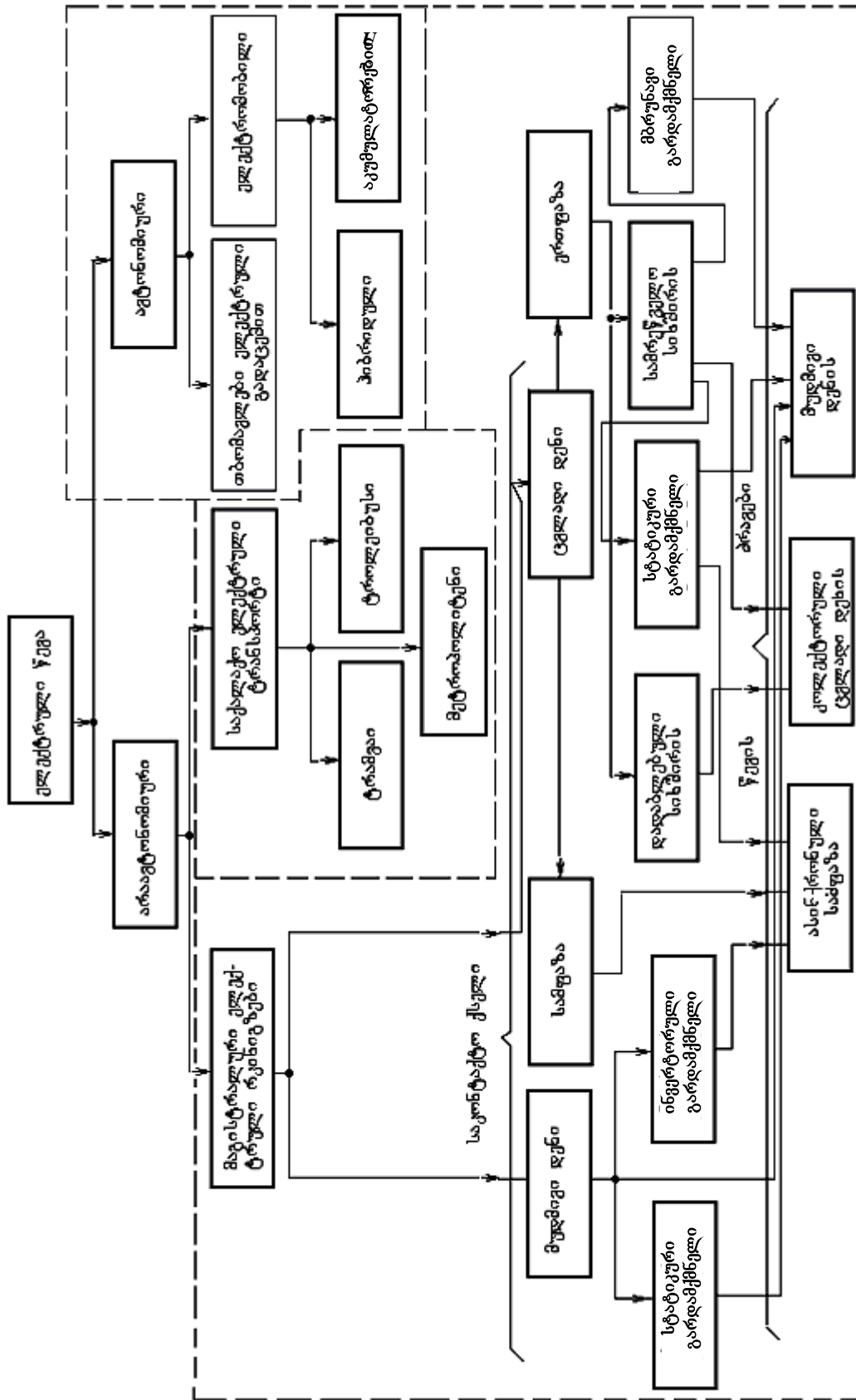
ბოლო წლებში ელექტრონული ნახევარგამტარული ტექნიკის განვითარებაში კოლოსალურმა ნახტომმა, (ჩაკეციუსუნარიანი GTO, IGCT ტირისტორების და ბიპოლარული IGBT ტრანზისტორების დანერგვამ) ელექტრულ წვევაში, როგორც ელექტრომომარაგების, ასევე ელექტრომომარაგი შემადგენლობის კუთხით, ყველაზე ოპტიმალური, უსაფრთხო და საიმედო სქემების (სამფაზა ასინქრონული ძრავების და დამოუკიდებელ აგზნებისანი მუდმივი დენის ძრავების ბაზაზე) რეალიზაცია გახდა შესაძლებელი. ეს კი საშუალებას იძლევა, ელექტრომომარაგი შემადგენლობის ჩაჭიდების წონების უკეთ გამოყენების გზით (აღნიშნული ძრავების ხისტი მახასიათებლების წყალობით) მოვახდინოთ ლოკომოტივების დიდი სიმძლავრეების რეალიზაცია (ვატაროთ დიდწონიანი მატარებლები დიდი სიჩქარით). საინტერესოა დღეისათვის არსებული შემდეგი სტატისტიკური მონაცემები.

2000 წლისთვის რკინიგზების ჯამური სიგრძე მსოფლიოში შეადგენდა 955000 კილომეტრს. აქედან ელექტრიფიცირებული იყო 25%, ანუ დაახლოებით 240000 კილომეტრი.

ნახ. 1-ზე მოცემულია ელექტრული წვეის ყოფილი, დღეისათვის არსებული და პერსპექტიული სისტემების კლასიფიკაცია.

ელექტრულ წვეას, სხვა სახის წვეასთან შედარებით, მნიშვნელოვან უპირატესობას ანიჭებს:

- ენერგიით ცენტრალური ელექტრომომარაგება, პრაქტიკულად უსასრულო სიმძლავრის ქსელიდან.
- ლოკომოტივის ერთეულ სიმძლავრეზე მოსული მცირე წონა.
- გზის გამტარუნარიანობის მნიშვნელოვანი ზრდა.
- ლოკომოტივების მწარმოებლობის ზრდა.
- მუშაობის საიმედოობის ამაღლება.
- საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირება.
- მომსახურე პერსონალის მუშაობის პირობების გაუმჯობესება.



ნახ. 1.- ელექტრონული წყლის არსებული და პერსპექტიული სისტემების კლასიფიკაცია

- მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი.
- ეკოლოგიური უსაფრთხოება.
- რეკუპერაციული დამუხრუჭების შესაძლებლობა, რაც მნიშვნელოვნად ზოგავს ელექტროენერჯის ხარჯს, ამავე დროს, ამცირებს ინტენსიურ ცვეთებს სამუხრუჭო სისტემაში, ზრდის უსაფრთხოებას.

ორგანულ საწვავზე გაზრდილი ფასები და განსაკუთრებით გაზრდილი გლობალური ეკოლოგიური საფრთხეები, დღის წესრიგში აყენებს საავტომობილო ტრანსპორტზე შიგაწვის ძრავების ჩანაცვლებას, უფრო ეკონომიური და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ელექტრული ამძრავებით (იხ. ნახ. 1).

წინამდებარე სახელმძღვანელოში, ზემოთ მოყვანილი და სხვა აქ არ მოყვანილი მნიშვნელოვნად აქტუალური ტექნიკური საკითხები, უფრო დეტალურად და საფუძვლიანად განხილული იქნება ქვემოთ.

I ტაზო

ტრანსპორტის მოძრაობის თეორიული საფუძვლები

1.1. ტრანსპორტის დანიშნულება და სახეობები

კაცობრიობის განვითარების ყველა ეტაპზე უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭებოდა ტრანსპორტს. მიწათმოქმედების, ნედლეულის მომპოვებელი და გადამამუშავებელი სამრეწველო დარგებისაგან განსხვავებით, ტრანსპორტი უშუალოდ არ ქმნის ახალ, მატერიალურ პროდუქციას. ტრანსპორტის პროდუქციას წარმოადგენს გადატანილი ტვირთები და გადაყვანილი მგზავრები. დღეისათვის სატრანსპორტო გადაზიდვები ხდება, ურთიერთ მჭიდრო კავშირში მყოფ სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებებით. ფუნქციონალური დანიშნულების მიხედვით თანამედროვე ტრანსპორტი შეიძლება დაეყოთ ორ ჯგუფად:

- ა) სამრეწველო ტრანსპორტი (ამა თუ იმ საწარმოს ტექნოლოგიური საჭიროების უზრუნველსაყოფად).
- ბ) მაგისტრალური ტრანსპორტი, რომელიც უზრუნველყოფს ეკონომიკურ კავშირს პროდუქციის მწარმოებელსა და მომხმარებელს შორის და მგზავრთა გადაყვანას.

თავის მხრივ თანამედროვე მაგისტრალური ტრანსპორტი იყოფა:

- სარკინიგზო,
- საავტომობილო,
- საზღვაო (სამდინარო),
- საჰაერო,
- სამილსადენო,

ტრანსპორტად.

ზემოხამოთვლილ სატრანსპორტო სისტემებში, ტვირთნაკადების და მგზავრთნაკადების მოცულობების, გადაზიდვების თვითღირებულების სიდიდის მიხედვით, წამყვანი როლი უჭირავს სარკინიგზო ტრანსპორტს.

1.2. ბორბალი და მისი ფუნქცია

ბორბალი მიეკუთვნება კაცობრიობის ერთ-ერთ უდიდეს და უძველეს გამოგონებას. ბორბალი ფართოდ გამოიყენება ტრანსპორტის ყველა სახეობაში, დაწყებული

საჭაპნე (ცხენის გამწვევი ძალით) ტრანსპორტიდან, დამთავრებული ავიაციით. ისმის სამართლიანი კითხვა – რა განაპირობებს ბორბლის ასეთ პოპულარობას? ერთი შეხედვით პასუხი მარტივია – ბორბალი სრიალის ხახუნს ცვლის გორვის ხახუნით, რაც რაოდენობრივად ბევრად ნაკლებია. მაგრამ ირკვევა, რომ ეს არაა მთავარი მიზეზი. მთავარი არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ბორბალი მუშაობს როგორც ბერკეტი, რომლის დახმარებითაც ტვირთის გადასაადგილებლად საჭიროა გაცილებით ნაკლები ძალა, ვიდრე საჭირო იქნებოდა იგივე ტვირთის თრევით გადასაადგილებლად.

ავსნათ აღნიშნული კონკრეტულ მაგალითზე; ვთქვათ ზედაპირზე მოითხოვება რაიმე G წონის მქონე ტვირთის გადაადგილება. ამისათვის საჭირო იქნება დაძლეული იქნეს ხახუნის ძალა F , რომელიც რაოდენობრივად ტოლი იქნება

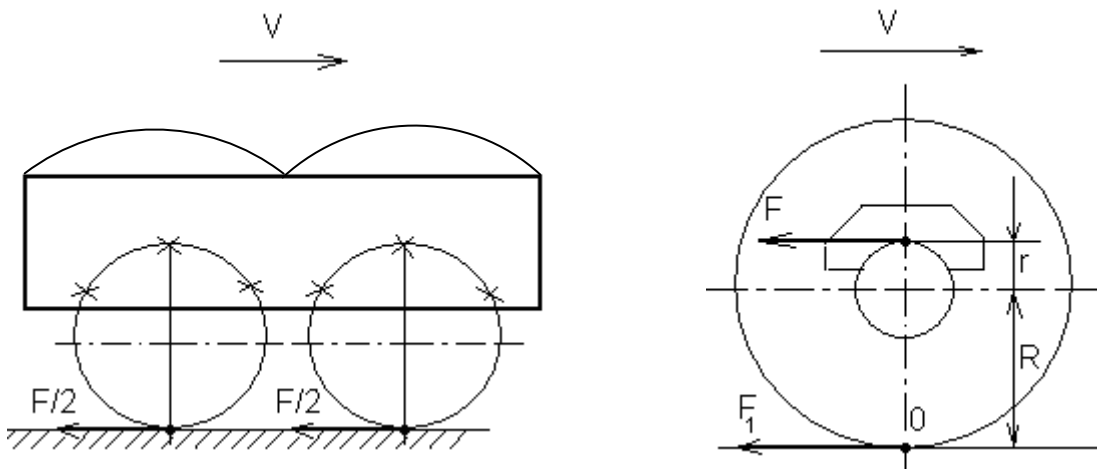
$$F = G\Psi_{\text{ბ.ბ.}} \quad (1.1)$$

სადაც, $\Psi_{\text{ბ.ბ.}}$ არის ტვირთსა და ზედაპირს შორის სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი.

რა მოხდება, თუ იგივე ტვირთს განვათავსებთ ორ წყვილთვალზე დაყრდნობილ ურიკაზე და წყვილთვლებს დავამაგრებთ ყრუდ, შემობრუნების შესაძლებლობის გარეშე? (ნახ. 1.1).

აღმოჩნდება, რომ ტვირთის გადასაადგილებლად საჭირო იქნება იგივე F ძალა, რაც იყო ტვირთის გათრევის შემთხვევაში და თანაბრად განაწილდება წყვილთვლებს შორის.

თუ გავანთავისუფლებთ ბორბლებს და მივცემთ შემობრუნების საშუალებას, იგივე ხახუნის კოეფიციენტის პირობებში, იგივე F ძალა წარმოიშვება წყვილთვალის ღერძის ყელსა და r რადიუსიან საკისარს შორის. ხოლო ძალა, რომელიც



ნახ. 1.1. ხახუნის F ძალა, რომელიც წარმოიშვება საყრდენ ზედაპირზე ტვირთის გადაადგილებისას ნახაზზე მოცემული სქემით, იგივეა რაც ტვირთის გათრევისას.

U_{A0}

ამ შემთხვევაში უნდა დავძლიოთ, რომ ტვირთი

გადავადგილოთ, მოდებული იქნება ბორბლის ზედაპირთან საყრდენ 0 წერტილში, ანუ ბორბლის ცენტრიდან R მანძილზე. აღვნიშნოთ ეს ძალა F_1 -ით (ნახ. 1.2) [1].

ბერკეტის წესის თანახმად ვწერთ

$$F_1 = \frac{F \cdot r}{R}. \quad (1.2)$$

ე.ი. ბორბლის გამოყენებით იგივე ტვირთის გადასაადგილებლად საჭირო იქნება იმდენჯერ ნაკლები ძალა, რამდენჯერაც წვეილთვალის ღერძის ყელის რადიუსი r ნაკლები იქნება ბორბლის R რადიუსზე. სწორედ ამაში მდგომარეობს ბორბლის გამოყენების უპირატესობა.

1.3. ტრანსპორტის მოძრაობის თავისებურებები

როგორც უკვე აღვნიშნეთ სატრანსპორტო მოძრაობა დაკავშირებულია სივრცეში ტვირთების ან მგზავრების გადაადგილებასთან. ვინაიდან გადაადგილებისათვის საჭიროა მამოძრავებელი ძალა, ამიტომ ტრანსპორტირების დროს სრულდება მექანიკური მუშაობა, რომელიც განმარტების თანახმად, ტოლია აღნიშნული ძალის და გადაადგილების ნამრავლის. ამ მუშაობის შესასრულებლად კი საჭიროა რაიმე ფორმის პირველადი ენერჯის დახარჯვა.

სატრანსპორტო მოძრაობა ხასიათდება გარკვეული თავისებურებებით, რაც განასხვავებს მას სხვა სახის მოძრაობებისაგან.

სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობა ციკლური ხასიათისაა. ყოველ ციკლში გვაქვს მოძრაობის დასაწყისი (დროის მომენტი და სივრცეში ადგილი, საიდანაც იწყება მოძრაობა) და მოძრაობის დასასრული, როდესაც მოძრაობის სინქარე უტოლდება ნულს. ე.ი. სატრანსპორტო საშუალება მოძრაობის დასაწყისში და მოძრაობის დასრულების შემდეგ უძრავია, ანუ მოძრაობის ყოველი ციკლი ხასიათდება განვლილი მანძილით და მოძრაობის ხანგრძლივობით (დროით). ეს ორი სიდიდე საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ მოძრაობის საშუალო სინქარე.

სატრანსპორტო მოძრაობა წარმოადგენს არა სტიქიურ, არამედ მიზანდასახული ხასიათის მოძრაობას, რომელიც სრულდება კონკრეტულ განსაზღვრულ მანძილზე, შესაძლებლობის ფარგლებში უმოკლესი (სწორი ხაზი) გზით და, როგორც წესი, მინიმალურ შესაძლო დროში.

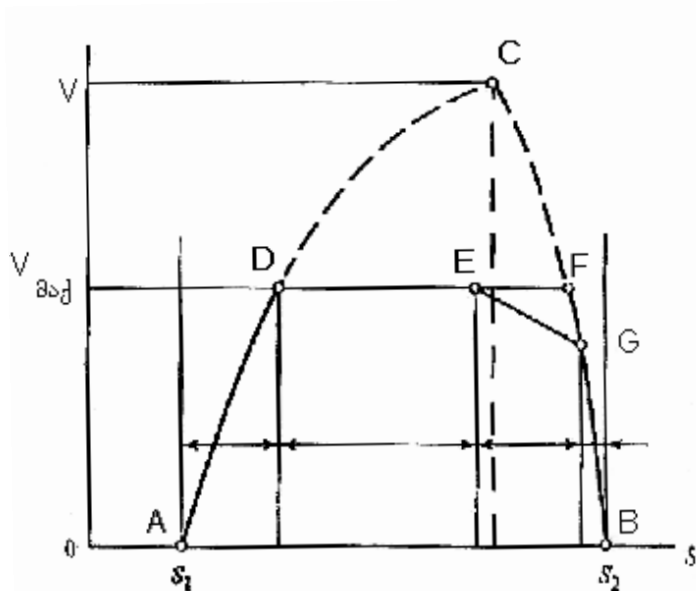
როგორც ცნობილია, ორ წერტილს შორის უმოკლესი მანძილია ამ წერტილების შემაერთებელი სწორი ხაზის სიგრძე. ამიტომ ნებისმიერი ტრანსპორტისთვის ოპტიმალურია მოძრაობა სწორ ხაზზე (უმოკლეს მანძილზე, უმოკლეს დროში). თუ

მივიღებთ ასეთ დაშვებას, მაშინ სატრანსპორტო მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ერთგანზომილებიანი მოძრაობა, როდესაც მოძრაობის დროს იცვლება ერთი გეომეტრიული კოორდინატა – მანძილი მოძრაობის საწყის წერტილამდე.

რადგან სატრანსპორტო ციკლის საწყისში და ბოლოში სიჩქარე ნულის ტოლია, ამიტომ თვით ციკლი შედგება სამი განსხვავებული ფაზის (რეჟიმის) მოძრაობისაგან:

- ა) გაქანება (ადგილიდან დაძვრა და სიჩქარის გაზრდა).
- ბ) მოძრაობა სიჩქარის გარკვეულ დიაპაზონში.
- გ) შენელება (თვით სრულ გაჩერებამდე).

1.3 ნახაზზე ნაჩვენებია სიჩქარის ცვლილების გრაფიკი მოძრაობის ერთი ციკლის განმავლობაში, A პუნქტიდან (გზის კოორდინატა S_1) B პუნქტამდე (გზის კოორდინატა S_2).



ნახ. 13. სატრანსპორტო მოძრაობის ციკლი.

განვიხილოთ ეს ციკლი დაწვრილებით.

თუ ამოცანას დავაყენებდით ისე, რომ მანძილი AB ($S_2 - S_1$) გაგვევლო მინიმალურ დროში, მაშინ სიჩქარის გრაფიკს ექნებოდა მხოლოდ ორი მხარე: გაქანების რეჟიმი მაქსიმალურად დასაშვები აჩქარებით (A წერტილიდან C წერტილამდე, რომელიც შეესაბამებოდა მაქსიმალურ სიჩქარეს) და მკვეთრი დამუხრუჭების რეჟიმი - მაქსიმალურად შესაძლო

შენელებით – C წერტილიდან B წერტილამდე. ასეთი გრაფიკი ნაჩვენებია პუნქტირით ნახ. 13-ზე.

A და B წერტილებს შორის სატრანსპორტო საშუალების ასეთი გრაფიკით მოძრაობისას, მოძრაობის საშუალო სიჩქარე იქნებოდა, ყველა სხვა შესაძლო გრაფიკთან შედარებით, ყველაზე მაღალი. მაგრამ, ასეთი გრაფიკით მოძრაობა შეუძლებელია; ერთის მხრივ სატრანსპორტო საშუალებების ტექნიკური შესაძლებლობების გამო (სიჩქარეების მნიშვნელობა შეიძლება იყოს ისეთი დიდი, რომ მისი რეალიზაცია იყოს ტექნიკურად შეუძლებელი); ხოლო მეორეს მხრივ მიზანშეუწონელია ენერჯის ხარჯის მიხედვით, რადგან კინეტიკური ენერჯის მთელი მარაგი, რომელიც დააგროვა მოძრაობა სატრანსპორტო საშუალებამ გაქანების

რეჟიმში (რაზეც, რა თქმა უნდა, დაიხარჯა სოლიდური სიდიდის პირველადი ენერგია), უნდა შთაინთქას სამუხრუჭო სისტემაში და გაიფანტოს აუნაზღაურებლად ატმოსფეროში სითბოს სახით. რეალურ პირობებში ჩვეულებრივი სატრანსპორტო საშუალების ასეთ რეჟიმში მუშაობა მიუღებელია; თუმცა ანალოგიურად (A-C ტრაექტორია) ხორციელდება რაკეტული ძრავებით იმ კოსმიური ობიექტების გაშვება გაქანება, რომელთა გაჩერება არაა საჭირო.

პრაქტიკაში არ შეიძლება ფიზიკურმა სიდიდეებმა მიიღონ უსასრულოდ დიდი მნიშვნელობები. ნებისმიერ სატრანსპორტო საშუალებისთვის იზღუდება მაქსიმალური სიჩქარე. ეს შეზღუდვები შეიძლება განპირობებული იყოს სხვადასხვა მიზეზით. მაგალითად, გზის ან სატრანსპორტო საშუალების კონსტრუქციის სიმტკიცით, მოძრაობის უსაფრთხოებით, მოძრაობის ორგანიზაციით, გზის ტექნიკური მდგომარეობით და ა.შ.

მაქსიმალური სიჩქარის შეზღუდვისას (ნახ. 13), განხილულ სამკუთხედის ფორმის *ACB* მრუდს, ცვლის ტრაპეციის ფორმის მრუდი *ADEFB* (მსხვილი ხაზი), მოძრაობის იგივე სამი ფაზით.

სატრანსპორტო საშუალების მიერ დაგროვილი კინეტიკური ენერგიის ნაწილის სასარგებლოდ გამოყენებისთვის, სასურველია მოსალოდნელი დამუხრუჭების წინ (ნახ. 13 *E* წერტილი) გამოერთოთ წვევის რეჟიმი და დარჩენილი გზა *EG* ტრაექტორიით, სატრანსპორტო საშუალებამ გაიაროს ინერციით. მოძრაობის ასეთ რეჟიმს უწოდებენ **თავისუფალი გორვის** რეჟიმს. ამ შემთხვევაში ციკლი შედგება არა სამი, არამედ ოთხი სხვადასხვა ფაზისაგან: დაძვრა – გაქანება *AD*, მოძრაობა *DE*, თავისუფალი გორვა *EG*, დამუხრუჭება *GB*. ამ რეჟიმით მუშაობს სარელსო სატრანსპორტო საშუალებები, შედარებით მოკლე გადასარბენების მქონე უბნებზე (მეტრო, საგარეუბნო მატარებლები, ტრამვაი).

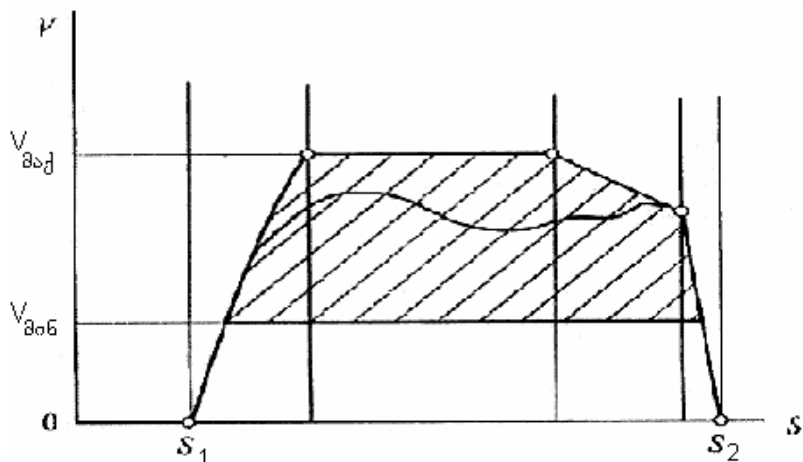
დაახლოებით ასეთი ციკლით მუშაობს სატრანსპორტო თვითმფრინავები და საზღვაო გემები. გაქანების შემდეგ ეს სატრანსპორტო საშუალებები მოძრაობენ შეუზღუდავ საჰაერო და საზღვაო სივრცეში, პრაქტიკულად მაქსიმალური (კრეისერული) სიჩქარით, ენერგეტიკული მოწყობილობის მუდმივ რეჟიმში მუშაობის წყალობით.

სხვა მიწისზედა ტრანსპორტის (საავტომობილო, მაგისტრალური რკინიგზის) მუშაობის რეჟიმი განსხვავდება იმით, რომ ციკლში მოძრაობის სიჩქარე, მიუხედავად ენერგეტიკული მოწყობილობის უცვლელი რეჟიმით მუშაობისა, ვერ იქნება მუდმივი. ეს აიხსნება იმით, რომ მიწის ზედაპირის რელიეფის ცვლილება იწვევს გზის გრძივი პროფილის ცვლილებას, ეს კი მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის დიდ ფარგლებში ცვლილებას.

რკინიგზის სარელსო ტრანსპორტზე მატარებლები ერთი მიმართულების სარელსო გზაზე მოძრაობენ ერთმანეთის მიყოლებით. ეს განაპირობებს კიდევ ერთ დამატებით შეზღუდვას-შეზღუდვას მინიმალური დასაშვები სიჩქარით. ის არ შეიძლება იყოს ნებისმიერი, რადგან ძალზე დაბალი სიჩქარე მნიშვნელოვნად ამცირებს რკინიგზის გამტარუნარიანობას.

ხანგრძლივ რაჟიმში მოძრაობის მინიმალური სიჩქარე განისაზღვრება ლოკომოტივების პროექტირების დროს. ამ სიჩქარეს უწოდებენ “საანგარიშო” სიჩქარეს (ანუ სხვაგვარად საანგარიშო ქანობზე მოძრაობის სიჩქარეს). ეს საკითხი დაწვრილებით განხილული იქნება ქვემოთ.

ყოველივე აღნიშნულის გათვალისწინებით, რკინიგზის ტრანსპორტისათვის დიდ მანძილებზე მოძრაობისას და გზის რელიეფის ცვლილების გამო, მოძრაობის ციკლის გრაფიკი იქნება არა ერთმნიშვნელოვანი დამოკიდებულება სიჩქარესა და მანძილს შორის, როგორც ნახ. 13-ზე DE წრფე, არამედ მოძრაობა მინიმალურ და მაქსიმალურ სიჩქარეებს შორის გარკვეული ზონაში, ცვალებადი სიჩქარით ნახ. 14-ზე დაშტრიხული ფართი.



ნახ. 14. სარელსო ტრანსპორტის ციკლური გრაფიკი.

ტრანსპორტის მოძრაობის ეს ციკლი, რომელშიც მრავალჯერ შეიძლება განმეორდეს სიჩქარის და ლოკომოტივის მუშაობის რეჟიმის ცვლილების პროცესი (გაქანება, მოძრაობა დამყარებული სიჩქარით, თავისუფალი გორვა, დამუხრუჭება) წარმოადგენს გამოყენებითი სატრანსპორტო მეცნიერების “ელექტრული წვეის საფუძვლების” პრაქტიკული და თეორიული შესწავლის საგანს.

“ელექტრული წვეის საფუძვლების” კურსი, ელექტრიფიცირებულ რკინიგზებზე მატარებელთა მოძრაობის უზრუნველყოფისათვის მოიცავს შემდეგ აუცილებელ ძირითად საკითხებს:

- სატრანსპორტო მოძრაობის მექანიკას (კინემატიკა, დინამიკა), ანუ ჩვენ შემთხვევაში – მატარებელთა მოძრაობას.

- მატარებელთა მოძრაობის ენერგეტიკას.
 - ელექტრომოდრავი შემადგენლობის და ვაგონების მახასიათებლებს და მათ წვევითი თვისებებს.
 - წვევის და დამუხრუჭების რეჟიმებში მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის მართვის ელემენტებს.
 - მატარებლის მოძრაობასთან დაკავშირებულ პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის და პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდებს.
 - ელექტრომოდრავი შემადგენლობის წვევითი-ენერგეტიკული გამოცდის მეთოდებს.
- მატარებელთა მოძრაობის შემსწავლელ მეცნიერებას აქვს ორი მხარე – თეორიული და პრაქტიკული.

ელექტრული წვევის საფუძვლების, როგორც მეცნიერების თეორიული მხარე ეფუძნება თეორიული მექანიკის და თეორიული ელექტროტექნიკის კანონებს და ხარისხობრივად აანალიზებს მატარებელთა მოძრაობას ფიზიკის პოზიციიდან.

ელექტრული წვევის საფუძვლების, როგორც მეცნიერების პრაქტიკული, ანუ რაოდენობრივი მხარე, როგორც მატარებელთა მოძრაობის მექანიკის გაანგარიშების ბაზა, ემყარება ექსპლუატაციიდან და სპეციალური გამოცდებიდან მიღებულ მრავალრიცხოვან ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადოებას და სისტემატიზაციას.

მატარებელთა ელექტრული წვევის თეორია და წვევის ანგარიშები გამოიყენება:

- ელექტრომოდრავი შემადგენლობის პროექტირების დროს.
- ელექტრული ლოკომოტივების ექსპლუატაციის ორგანიზების დროს.
- მატარებელთა მოძრაობის ორგანიზების დროს.
- ელექტრული რკინიგზების ელექტრომომარაგების სისტემების პროექტირების დროს.
- რკინიგზების პროექტირების დროს.

ამ კურსის შესწავლა აუცილებელია მოძრავი შემადგენლობის, გადაზიდვების ორგანიზაციის და მართვის, რკინიგზების კვლევის და პროექტირების სპეციალისტებისათვის. მაგრამ, უპირველეს ყოვლისა, ელექტრული წვევის და წვევის ანგარიშების საკითხების ცოდნა, რა თქმა უნდა, აუცილებელია ელექტრომავალ-მშენებლობაში, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის ექსპლუატაციაში და ელექტრომომარაგების სისტემაში დასაქმებული სპეციალისტებისათვის.

14. სატრანსპორტო მოძრაობის კინემატიკის და დინამიკის საფუძვლები

14.1. მატარებლის მოძრაობის მექანიკის ძირითადი ცნებები, სიდიდეები, აღნიშვნები და განზომილებები

მატარებელთა მოძრაობის პარამეტრების, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის და ელექტრომომარაგების სისტემების მუშაობის რეჟიმების განსაზღვრასთან, დაკავშირებულია ფიზიკის ძირითადი კანონები, მცნებები, სიდიდეები მექანიკიდან (სტატიკა, კინემატიკა, დინამიკა), თერმოდინამიკიდან და ელექტროტექნიკიდან.

განსახილველი საკითხების და გაანგარიშებების უკეთ ათვისების მიზნით, აუცილებელია ტრანსპორტზე გამოყენებული იმ ფიზიკური სიდიდეების, სიმბოლური აღნიშვნების, განზომილებების და განმარტებების განხილვა, რომლებიც შემდგომში ფართოდ იქნება გამოყენებული სახელმძღვანელოში.

მ მ ძ ა ნ ი კ ა

ნებისმიერ ერთგანზომილებიან ხაზოვან გადაადგილების დროს მოძრავი სხეულის კოორდინატებია:

1. გზა (მოძრაობისას განვლილი მანძილი კოორდინატთა სათავიდან) – S კმ.

გზის მონაკვეთი ΔS , რომელიც განისაზღვრება, როგორც სხვაობა გზის საწყის (1) და ბოლო (2) წერტილებს შორის, კერძოდ:

$$\Delta S = S_2 - S_1, \text{ კმ.}$$

მანძილი სატრანსპორტო მოძრაობებში, როგორც წესი, იშვიათ გამონაკლისის გარდა, იზომება კილომეტრებში, (კმ).

2. მოძრაობის დრო t , წთ. (სთ)

დროის მონაკვეთი (დროის შუალედი) Δt განისაზღვრება, როგორც

$$\Delta t = t_2 - t_1, \text{ წთ.}$$

ანგარიშებში, რომლებიც დაკავშირებულია მატარებელთა მოძრაობასთან, დრო იზომება წუთებში (წთ), ან საათებში (სთ).

კ ი ნ ე მ ა ტ ი კ ა

გზა და დრო წარმოადგენს მოძრავი სხეულის გადაადგილების და დროის კოორდინატებს. ქვემოთ მოყვანილი ორი სიდიდე კი უშუალოდ წარმოადგენს მოძრაობის კინემატიკურ პარამეტრებს.

3. მოძრაობის სიჩქარე V , კმ/სთ

ფიზიკური განმარტების თანახმად, სიჩქარე ეს არის თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის დროს, დროის ერთეულში განვლილი მანძილი.

მათემატიკურად კი, ზოგადად სიჩქარე არის აღებული განვლილი მანძილის წარმოებული დროით.

$$V = \frac{ds}{dt}$$

ეს არის ე.წ. მყისური სიჩქარე (სიჩქარე დროის მოცემულ მომენტში). მისი მნიშვნელობის განსასაზღვრავად უნდა ვიცოდეთ უწყვეტი ფუნქცია $S = f(t)$, რომ შევძლოთ მისი დიფერენცირება. მაგრამ მატარებელთა მოძრაობის ანგარიშებში სწორედ ეს ფუნქციაა უცნობი.

თუ ვიცით ეს ფუნქცია, მაშინ $ds = Vdt$ განტოლების ინტეგრირებით შეგვიძლია მივიღოთ განვლილი მანძილის დამოკიდებულება დროისაგან, რაც წვევის გაანგარიშების ერთ-ერთ ამოცანას წარმოადგენს.

დასაწყისში ეს ფუნქცია უცნობია. ამიტომ, ტრანსპორტის მოძრაობის შესასწავლად მყისური სიჩქარის მცნებით სარგებლობა არასასურველია და არ აქვს აზრი. სიჩქარის მყისური მნიშვნელობა ესაა სიჩქარე, რომელსაც უჩვენებს სიჩქარეზომის ისარი ავტომობილის ან ელექტრომავლის მოძრაობისას. ის მეტნაკლებად განუწყვეტლივ ცვალებადობს მაშინაც კი, როდესაც გვაქვს მოძრაობის დამყარებული რეჟიმი. წვევის ანგარიშებში, ჩვეულებრივ, გამოიყენება მოძრაობის საშუალო სიჩქარის მცნება $V_{საშ.}$ (მოძრაობა $\Delta S = S_2 - S_1$ მანძილზე, $\Delta t = t_2 - t_1$ დროში)

$$V_{საშ.} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{(S_2 - S_1)}{(t_2 - t_1)}, \text{ კმ/სთ.} \quad (1.3)$$

სახოვანი სიჩქარე იზომება კილომეტრ/საათებში (კმ/სთ), ამიტომ (1.3) ფორმულაში დროის განზომილება წუთებიდან უნდა გადავიყვანოთ საათებში. ამისათვის შემოდის კოეფიციენტი 60 (საათში წუთების რაოდენობა). აღნიშნულის გათვალისწინებით მივიღებთ

$$V_{საშ.} = 60 \frac{\Delta S}{\Delta t} = 60 \frac{(S_2 - S_1)}{(t_2 - t_1)}, \text{ კმ/სთ.} \quad (1.4)$$

შემდგომში ტერმინ სიჩქარის ქვეშ ყოველთვის ვიგულისხმებთ საშუალო სიჩქარეს. ამიტომ $V_{საშ.}$ სიმბოლოს ნაცვლად გამოვიყენებთ უფრო მარტივ V -ს. იმისათვის, რომ სწორად განვსაზღვროთ სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობა და თავიდან ავიცილოთ, ამ მიმართებით, პრაქტიკაში ხშირად დაშვებული შეცდომები, განვიხილოთ ელემენტარული მაგალითი:

მატარებელმა თავისი გზის პირველი ნახევარი გაიარა საშუალო სიჩქარით $V_1=120$ კმ/სთ, ხოლო გზის მეორე ნახევარი $V_2=80$ კმ/სთ სიჩქარით. საჭიროა განვსაზღვროთ მოძრაობის მთელ უბანზე, საშუალო სიჩქარე.

ხშირად ამ დროს საძიებელი სიდიდის განსაზღვრას ახდენენ, ზემოთ მოყვანილი სიჩქარის ორი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკულის გამოთვლით

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{(120 + 80)}{2} = 100 \text{ კმ/სთ.}$$

რაც, რა თქმა უნდა, არაა სწორი.

მოყვანილი განმარტების თანახმად საშუალო სიჩქარე არის მთელი განვლილი მანძილის ფარდობა ამ მანძილის გავლაზე დახარჯულ დროსთან, ანუ

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{S}{t}.$$

ჩვენ შემთხვევაში $t = t_1 + t_2$; სადაც $t_1 = 0.5 \frac{S}{V_1} = 0.5 \frac{S}{120} = \frac{S}{240}$, ხოლო

$$t_2 = 0.5 \frac{S}{V_2} = 0.5 \frac{S}{80} = \frac{S}{160},$$

აქედან გამომდინარე საშუალო სიჩქარე იქნება

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{S}{\frac{S}{240} + \frac{S}{160}} = \frac{S}{S \left(\frac{1}{240} + \frac{1}{160} \right)} = \frac{288}{4} = 96 \text{ კმ/სთ.}$$

როგორც ვრწმუნდებით შეცდომის ფარდობითი მნიშვნელობა შეადგენს 4%-ს.

4. აჩქარება a . აჩქარების ფიზიკური არსი შეიძლება გავიგოთ ასე, აჩქარება ეს არის სიჩქარის ცვლილების სიჩქარე. მათემატიკურად ეს ჩაიწერება ასე

$$a = \frac{dv}{dt}; \text{ რადგან } V = \frac{ds}{dt}, \text{ ამიტომ } a = \frac{d^2s}{dt^2}.$$

განხილული საშუალო სიჩქარის განმარტების მსგავსად, საშუალო აჩქარება

$$a_{\text{საშ.}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{(V_2 - V_1)}{(t_2 - t_1)}. \quad (1.5)$$

მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ საშუალო აჩქარების მნიშვნელობას აზრი ეძლევა მხოლოდ დროში სიჩქარის მონოტონური ცვლილების პროცესში (მისი გაზრდისას ან შემცირებისას).

აჩქარების განზომილებაა კმ/სთ²; ან კმ/სთ. წთ.

1.4.2. სტატიკა და დინამიკა

მექანიკის ეს განყოფილებები უკავშირდებიან ძალების მოქმედებებს. ამიტომ საჭიროა მატარებლის მოძრაობის დროს, მასზე მოქმედი ძირითადი ძალების განხილვა და მათი განსაზღვრა.

ა) წონა (სიმძიმის ძალა), კნ

სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის სხვადასხვა ობიექტებისათვის წონა, რომლის განზომილებაა კილო ნიუტონი (კნ) ან ტონა (ტ) აღინიშნება სხვადასხვა სიმბოლიკით:

- ლოკომოტივის წონა P (კნ), (ტ)
- შემადგენლობის წონა Q (კნ), (ტ)
- მატარებლის წონა (P + Q) (კნ), (ტ)
- ვაგონის წონა q (კნ), (ტ)
- ღერძზე დაწოლა q₀ (კნ), (ტ).

აქ ნაჩვენები ერთეულების წონის განზომილებაა კილონიუტონი (კნ.) ადრე, ერთეულთა პრაქტიკულ სისტემაში გამოიყენებოდა განზომილება კილოგრამი ძალა (კგძ). შეიძლება მიახლოებით ჩაითვალოს 1კგძ ≈ 10 ნ (ზუსტად 1 კგძ = 9.81ნ, სადაც g = 9.81 მ/წმ² არის სიმძიმის ძალის აჩქარება). აღნიშნული დამრგვალების ცდომილება არ აღემატება 1,9%-ს, რაც დასაშვებია.

რადგან წონის და მასის განზომილებები ერთნაირია, მათი მცნებები ერთმანეთში არ უნდა აურიოთ.

წონა – ესაა ვერტიკალური მიმართულების ძალა, სიმძიმის ძალა და მასზე შეიძლება ვილაპარაკოთ როგორც ზემოქმედ ფაქტორზე. მაგალითად, როდესაც მოძრავი შემადგენლობა ზემოქმედებს სარელსო გზაზე. ის ვექტორული სიდიდეა.

მასა – არის სკალარული სიდიდე, რომელიც გამოიყენება როგორც ნივთიერების რაოდენობის გამომხატველი მცნება. მოძრავი შემადგენლობის ცალკეული ერთეულების მასებს გამოხატავენ არა კგ-ში, არამედ უფრო დიდ, მასშტაბურ ერთეულში – ტონაში.

მასისათვის შემოვიღოთ შემდეგი სიმბოლოები:

- ლოკომოტივის მასა m_p (ტ);
- შემადგენლობის მასა m_o (ტ);
- მატარებლის მასა m = (m_p + m_o) (ტ);
- ვაგონის მასა m_q.

ბ) ღერძზე (წყვილთვალზე) დაწოლა კნ

- ლოკომოტივისთვის G (კნ);
- ვაგონისათვის q₀ (კნ).

$$G = \frac{P}{n}; \quad q_0 = \frac{q}{n};$$

სადაც, n არის შესაბამისად ლოკომოტივის და ვაგონის ღერძების რიცხვი.

გ) ჰორიზონტალური ძალები

თავისი სიდიდით ერთი თანრიგით ნაკლებია სიმძიმის ძალებზე, ამიტომ მათი განზომილებაა ნიუტონი, (ნ). ისინი აღინიშნებიან შემდეგი სიმბოლოებით:

- წვევის ძალა F (ნ).
- მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W (ნ).
- სამუხრუჭო ძალა B (ნ).

დ) ხვედრითი ჰორიზონტალური ძალები წარმოადგენენ ჰორიზონტალური სრული ძალების ფარდობას მატარებლის წონასთან. კერძოდ:

- ხვედრითი წვევის ძალა $f = \frac{F}{P+Q}$ ნ/კნ; (კგ/ტ).
- ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა $w = \frac{W}{P+Q}$ ნ/კნ; (კგ/ტ).
- ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა $b = \frac{B}{P+Q}$ ნ/კნ; (კგ/ტ).

განსაზღვრების თანახმად ხვედრით ძალებს არ უნდა ჰქონდეთ განზომილება, რადგან ძალა იყოფა ძალაზე, მაგრამ, რადგან სიმძიმის ძალები იზომება ტონებში ან კნ-ში, ხოლო ჰორიზონტალური ძალები კგ-ში, ან ნ-ში, ამიტომ ხვედრითი ძალების განზომილებაა კგ/ტ; ნ/კნ; ან %ი (ანუ პრომილე - მეათასედი ნაწილი).

ე) რკინიგზის გეომეტრიული მახასიათებლები. ჩამოთვლილი ფიზიკური სიდიდეები, მათი განზომილებები, სიმბოლოები, რომლებიც დაკავშირებულია მატარებლის მოძრაობის აღწერასთან, საჭიროა შეივსოს იმ უბნის გეომეტრიული მახასიათებლებით, რომელზეც მოძრაობს მატარებელი. პირველ რიგში ესაა ელემენტების სიგრძე:

- უბნის, გადასარბენის, პროფილის ელემენტის სიგრძე L კმ.
- სადგურების ლიანდაგების სასარგებლო სიგრძე $L_{სადგ}$ მ.
- მრუდის სიგრძე $S_{მრ. მ.}$
- მრუდის რადიუსი $R_{მრ. მ.}$
- გრძივი პროფილის ქანობი i %ი.

ვ) მოძრავი შემადგენლობის ხაზოვანი ზომები:

- ლოკომოტივის სიგრძე $L_{ლოკ. მ.}$
- ვაგონის სიგრძე $L_{ვაგ. მ.}$
- მატარებლის სიგრძე $L_{მატ. მ.}$

გავიხსენოთ ფიზიკის კანონები, რომლებიც ცნობილია როგორც ნიუტონის კანონები:

- სხეული (იზოლირებული მატერიალური წერტილი), რომელზეც არ მოქმედებს გარეშე ძალა, ან მოქმედი გარეშე ძალთა ტოლქმედი ძალა 0-ის ტოლია, ინარჩუნებს უძრავ მდგომარეობას, ან მოძრაობს სწორხაზოვნად, თანაბარი სიჩქარით.
- მატერიალური წერტილის აჩქარება პირდაპირპროპორციულია მასზე მოქმედი ძალის და უკუპროპორციულია მისი მასის.
- ქმედება უძრავ უკუქმედებას.

გავიხსენოთ პარალელოგრამის კანონი ძალთა შეკრების შესახებ:

თუ სხეულზე მოქმედებს ორი ან მეტი ძალა, მაშინ ამ ძალების მოქმედება შეიძლება შეიცვალოს ერთი ტოლქმედი ძალით, რომელიც მოქმედი ძალების გეომეტრიული ჯამის ტოლია.

ზოგადად სივრცეში, ტრანსპორტის მოძრაობა შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც სამგანზომილებიანი მოძრაობა. მოძრაობის პროცესში, დროის მიხედვით შეიძლება შეიცვალოს სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობის ყველა სამივე კოორდინატი.

წყალზედა საზღვაო ტრანსპორტისათვის მოძრაობა, რა თქმა უნდა, ორგანზომილებიანია (მოძრაობა წყლის ზედაპირის სიბრტყეზე). გარკვეული დაშვებებით მიწისზედა ტრანსპორტის მოძრაობაც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ორგანზომილებიანი მოძრაობა.

სარკინიგზო ტრანსპორტისათვის, გარკვეული პირობითობის შემოღებით, რომელიც აადვილებს ანალიზს, მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობა სარელსო გზის ღერძის გასწვრივ, რა თქმა უნდა, შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ერთგანზომილებიანი მოძრაობა.

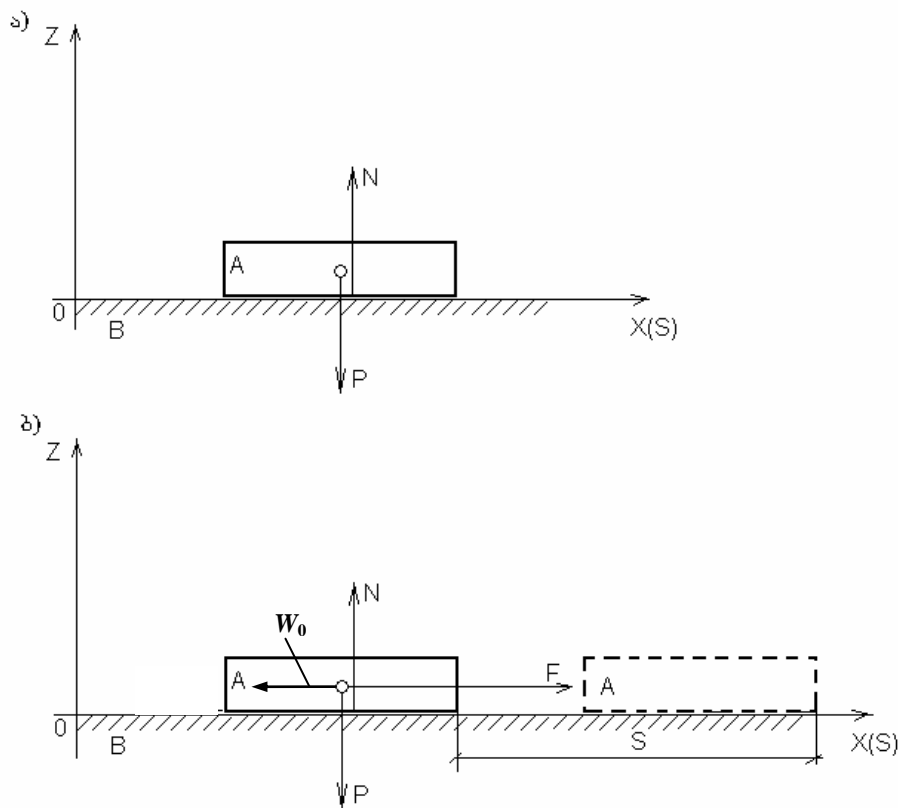
განვიხილოთ ერთგანზომილებიანი სწორხაზოვანი მოძრაობის უმარტივესი შემთხვევები:

1.4.3. მოძრაობა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე

სხეული (საგანი) A დევს (ნახ. 1.5, ა) ჰორიზონტალურ საყრდენ B ზედაპირზე (ან ცურავს რაიმე სითხის ზედაპირზე). სხეულის წონა $P=mg$ ზემოქმედებს საყრდენ ზედაპირზე ვერტიკალურად, ზემოდან ქვემოთ. საყრდენის რეაქციის ძალა (ან სითხის ამომგდები ძალა) N , ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ტოლია სიმძიმის ძალის და მიმართულია მის საწინააღმდეგო მიმართულებით ზემოთ. ვერტიკალური z ღერძის გასწვრივ მოქმედი P და N ძალების ტოლქმედი ძალა 0-ის ტოლია და სხეული იმყოფება უძრავ მდგომარეობაში. მისი გადაადგილება z ღერძის გასწვრივ

შეუძლებელია. ამ შემთხვევაში გადაადგილება შესაძლებელია მხოლოდ $X(S)$ ღერძის გასწვრივ, ე.ი. ერთი განზომილებით.

A სხეული წონასწორობიდან შეიძლება გამოვიყვანოთ და ავამოძრაოთ, მასზე გარეშე ჰორიზონტალური F ძალის მოდებით. გავქაჩოთ A სხეული მარჯვნივ F ძალის მოდებით (ნახ. 1.5, ბ). თუ F ძალა გახდება მეტი A სხეულსა და საყრდენ B ზედაპირს შორის არსებულ უძრავი ხახუნის ძალაზე, მაშინ A სხეული დაიწყებს მოძრაობას მარჯვნივ. მოძრაობის დაწყების შემდეგ სხეულის გადაადგილებას შეეწინააღმდეგება წინააღმდეგობის ძალა W_0 , ანუ ამ შემთხვევაში სხეულსა და ზედაპირს შორის გაჩენილი სრიალის ხახუნის ძალა. კულონ-ამონტონის კანონის თანახმად სრიალისას ხახუნის ძალის სიდიდე პროპორციულია ვერტიკალურად მოქმედი სიმძიმის P ძალის. ე.ი. $W_0 = P\mu$, სადაც μ არის ხახუნის კოეფიციენტი. ამ კონკრეტულ შემთხვევაში μ არის სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია A სხეულის და B საყრდენის მასალაზე, მათი მოხახუნე ზედაპირების მდგომარეობაზე.



ნახ. 1.5. სხეულზე მოქმედი ძალები: ა) უძრავობისას და ბ) დინამიკაში მოძრაობისას.

შემდგომში თუ F ძალა დარჩება მეტი წინააღმდეგობის W_0 ძალაზე, მაშინ A სხეული დაიწყებს აჩქარებულ მოძრაობას. აჩქარება პროპორციული იქნება

სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის $F - W_0$ და უკუპროპორციული იქნება სხეულის მასის m -ის. მათემატიკურად ეს ასე ჩაიწერება

$$\alpha = \frac{(F - W_0)}{m}. \quad (1.6)$$

გამოდის, რომ სხეულის ჰორიზონტალური მოძრაობა დაკავშირებულია ორი ჯგუფის ძალების არსებობასთან. ორი ვერტიკალური ძალა P და N ერთმანეთს აწონასწორებს. ორი ჰორიზონტალური ძალა, ზოგადად, ერთმანეთს ვერ აწონასწორებენ.

მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W_0 წარმოიქმნება მოძრაობის პროცესში, სტიქიური ბუნებისაა და არ ემორჩილება მართვას.

F ძალის სიდიდე დამოკიდებულია სატრანსპორტო საშუალების შესაძლებლობებზე და მისი მნიშვნელობა ემორჩილება მართვას. ამ ძალის მნიშვნელობაზეა დამოკიდებული მოძრაობის ხასიათი. ამიტომ F ძალას უწოდებენ **მამოძრაველ ძალას, ანუ წვეის ძალას**.

იმისათვის რომ მოძრაობა გაგრძელდეს აუცილებელია დაცული იქნეს პირობა $F \geq W_0$. უკიდურეს შემთხვევაში დაკმაყოფილდეს პირობა $F = W_0$, რაც მექანიკის პირველი კანონის თანახმად, არის თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის პირობა.

თუ $F = W_0$, მაშინ $F = P\mu$. თუ ამ უკანასკნელის ორივე მხარეს გავყოფთ სხეულის წონაზე P -ზე, მივიღებთ $\frac{F}{P} = f = \mu$ ე.ი. მოძრაობის აუცილებელი პირობაა, რომ მამოძრაველი ძალა მეტი ან უკიდურეს შემთხვევაში ტოლი იყოს წინააღმდეგობის ძალის.

F ძალის ზემოქმედებით სხეულის ჰორიზონტალურად S მანძილზე გადაადგილებისას სრულდება მუშაობა, რომელიც ფიზიკის კანონის თანახმად ტოლია

$$A = FS. \quad (1.7)$$

1.4.4. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალები

განხილულ მაგალითში მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა, ესაა სხეულსა და საყრდენ ზედაპირს შორის სრიალის ხახუნის ძალა (ნახ. 1.5). სრიალის ხახუნის ძალა დამოკიდებულია სრიალის ხახუნის კოეფიციენტზე, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია მოხახუნე ზედაპირის მასალაზე, ზედაპირის მდგომარეობაზე, მათი შეხეთვის ხარისხზე და ა.შ.

ცნობილია, რომ სხეულის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე გათრევით გადასადგილებლად საჭიროა მისი წონის 20% ძალა. ეს ბევრად ნაკლებია, ვიდრე ამ წონის

ასაწევად საჭირო ძალა. შეხეთვის, მაგალითად წყლის არსებობა ორჯერ ამცირებს ამ ძალის მნიშვნელობას, მაგრამ ის მაინც საკმაოდ დიდია. მაგალითისთვის, თუ თბომავალი მასით 270 ტონა ავითარებს 800 კნ გამწვევ ძალას, მას შეუძლია ადგილიდან დაძრას და გაათრიოს 400-800 ტ მასის ტვირთი.

ტვირთების გადაადგილება თვლებზე მნიშვნელოვნად ამცირებს მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების მნიშვნელობას. გორვის ხახუნის ძალა ათჯერ და ასჯერ ნაკლებია სრიალის ხახუნის ძალაზე. რაც უფრო ხისტი და მაგარია თვალის და რელსის მასალა, მით ნაკლებია ხახუნი. ამიტომ, ბორბლის და რელსის გამოყენების პირობებში, ზემოთ მოყვანილ იმავე თბომავალს, შეუძლია ადგილიდან დაძრას 20 000-25 000ტ მასის მქონე ტვირთი. სწორედ ამაში მდგომარეობს სარელსო ტრანსპორტის უპირატესობა სხვა სახის მიწისზედა ტრანსპორტთან შედარებით. ამით აიხსნება ის, რომ რკინიგზით ტვირთების გადაზიდვა ითხოვს ნაკლებ დანახარჯებს, ვიდრე საავტომობილო ტრანსპორტით გადაზიდვა.

1.4.5. მოძრაობა დახრილ ზედაპირზე

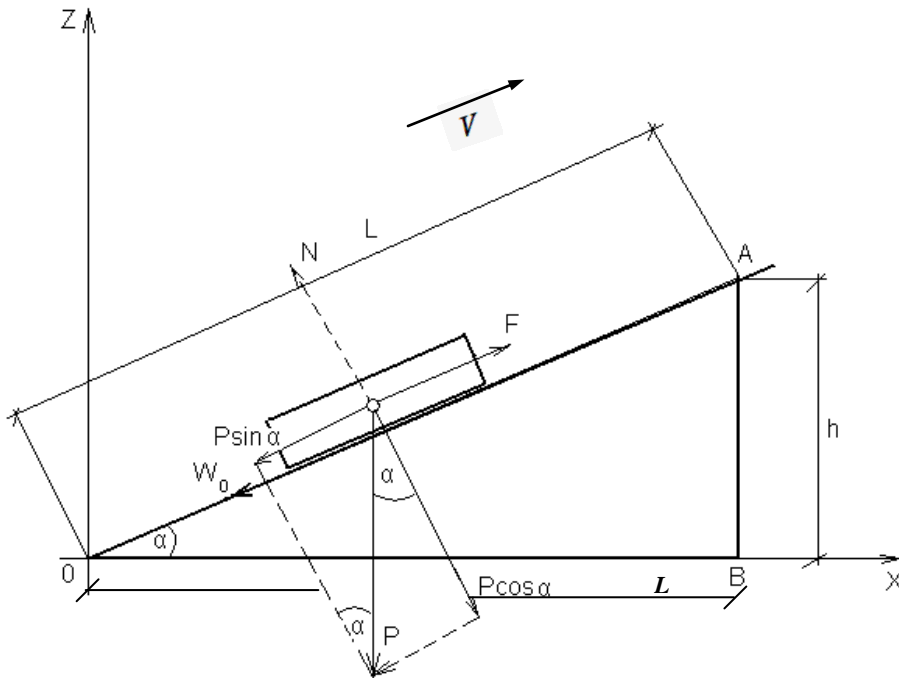
მიწისზედა სატრანსპორტო საშუალებების მუშაობის თავისებურებას შეადგენს ის, რომ მიწისზედა სავალი გზები მიბმულნი არიან გეოგრაფიულ რელიეფზე და არ შეიძლება იყვნენ მკაცრად ჰორიზონტალურები. ეს განაპირობებს რკინიგზაზე და საავტომობილო გზებზე აღმართების და თავდაღმართების არსებობას.

თუ სატრანსპორტო საშუალება იმყოფება დახრილ სიბრტყეზე (ნახ. 1.6), მაშინ მოქმედი ძალების ხასიათი რამდენადმე იცვლება. ვინაიდან მოძრაობის ღერძის მიმართულება არაა ჰორიზონტალური, არამედ ემთხვევა დახრილ ზედაპირს OA -ს, რომელიც ჰორიზონტალთან დახრილია α კუთხით. მეორე ღერძი მიმართულია დახრილი ზედაპირის მართობულად (N), სწორედ ამ მიმართულებით მოქმედებენ ერთმანეთზე G და მოძრავი შემადგენლობა.

უპირველეს ყოვლისა სიმძიმის ძალა P დავშალოთ ორ მდგენელად: ერთი, მიმართული რელსის გასწვრივ $P\sin\alpha$, ხოლო მეორე რელსის მართობულად $P\cos\alpha$. ეს უკანასკნელი ახდენს სატრანსპორტო საშუალების გზაზე დაწოლას და განსაზღვრავს ხახუნს მათ შორის. ეს ძალა ნაკლებია სიმძიმის P ძალაზე, რადგან $\cos\alpha < 1$ -ზე.

P ძალის პირველი მდგენელი $P\sin\alpha$ ამ შემთხვევაში მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით და შესაბამისად წარმოადგენს მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალას. ამიტომაცაა, რომ აღმართზე (დახრილ

ზედაპირზე) ტვირთების გადაადგილება გაცილებით ძნელია, ვიდრე ჰორიზონტალურ გზაზე და მით უფრო ძნელია, რაც დიდია დახრის კუთხე α .



ნახ. 1.6. სხეულის მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე.

ზემომოყვანილიდან ჩანს, რომ დახრილ ზედაპირზე მოძრაობის დროს სრული წინააღმდეგობის ძალა W შედგება ორი მდგენელის – ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ხახუნით გამოწვეული მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის $W_0 = P(\cos \alpha)\mu$ და დამატებითი წინააღმდეგობის ძალის (სიმძიმის ძალის მდგენელის) $P \sin \alpha$ -ს ჯამისაგან.

$$W = W_0 + P \sin \alpha = P(\cos \alpha)\mu + P \sin \alpha = P(\mu \cos \alpha + \sin \alpha). \quad (1.8)$$

თუ განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ P -ზე, გადავალთ ხვედრით ძალებზე

$$w = \mu \cos \alpha + \sin \alpha. \quad (1.9)$$

α დახრის კუთხის ტრიგონომეტრიული ფუნქციების სიდიდეები შეგვიძლია განვსაზღვროთ დახრილი ზედაპირის გეომეტრიული ზომებით. კერძოდ, სიგრძით L და სიმაღლით h . α დახრის კუთხის სიმცირის გამო $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{L}$.

მაგისტრალურ რკინიგზებზე ქანობის დახრის კუთხე მცირეა და არ აღემატება 1.15° -ს. ამიტომ, ასეთი მცირე დახრილობის კუთხეების ტანგენსები ძალზე მცირე სიდიდეებია (მაგალითად $0.0052 - 0.0087$) რიგის, ანუ შეადგენენ 1-ის მეათასედ ნაწილს. ამიტომ, ქანობის დამახასიათებელ პარამეტრად იყენებენ კუთხის ტანგენსის 1 000-ჯერ გაზრდილ სიდიდეს. მას უწოდებენ ქანობს, აღნიშნავენ i ასოთი და ზომავენ მეათასედებში (პრომილებში) %.

$$i = 1000 \operatorname{tg} \alpha = 1000 \frac{h}{L}. \quad (1.10)$$

ქანობის გამოთვლა მეათასედებში ადვილია, თუ ავიღებთ ქანობის სიგრძის განზომილებას კმ-ში, ხოლო ქანობის სიმაღლის h -ის განზომილებას (1 000-ჯერ ნაკლებს), მეტრებში, მაშინ

$$i \text{ ‰} = \frac{h \text{ (მ)}}{l \text{ (კმ)}}.$$

მაგალითად ქანობი $i = 15\text{‰}$ ნიშნავს ისეთი დახრილობის აღმართს, რომელზეც რელსის ბოლო, მის საწყისთან შედარებით მაღლდება ყოველ კილომეტრზე 15 მეტრით.

α დახრის კუთხის სიმცირის გამო $\sin \alpha$ ახლოსაა 0-თან, ხოლო $\cos \alpha$ შეგვიძლია ჩავთვალოთ 1-ის ტოლად. მაშინ (1.8) გამოსახულება ქანობზე თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის შემთხვევაში მიიღებს სახეს

$$w = \mu + \sin \alpha. \quad (1.11)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ქანობზე სატრანსპორტო საშუალების თავდაღმართის მიმართულებით მოძრაობისას, $P \sin \alpha$ მდგენელი, რომელიც წარმოადგენს ქანობით გამოწვეულ დამატებით წინააღმდეგობის ძალას, ემთხვევა მოძრაობის მიმართულებას, ის გადაიქცევა ე.წ. „უარყოფით წინააღმდეგობის“ ძალად, ანუ ამჩქარებელ ძალად. ამის გათვალისწინებით (1.11) მიიღებს სახეს

$$w = \mu \pm \sin \alpha. \quad (1.11)'$$

(1.11¹) გამოსახულებიდან ნათლად ჩანს, რომ თუ ქანობზე დგომისას $-\sin \alpha > \mu$ -ზე, მაშინ ადგილი ექნება თვით დაძვრას (სხვა გარე ძალების მოქმედების გარეშე). ასეთ ქანობებს მავნე ქანობებს უწოდებენ.

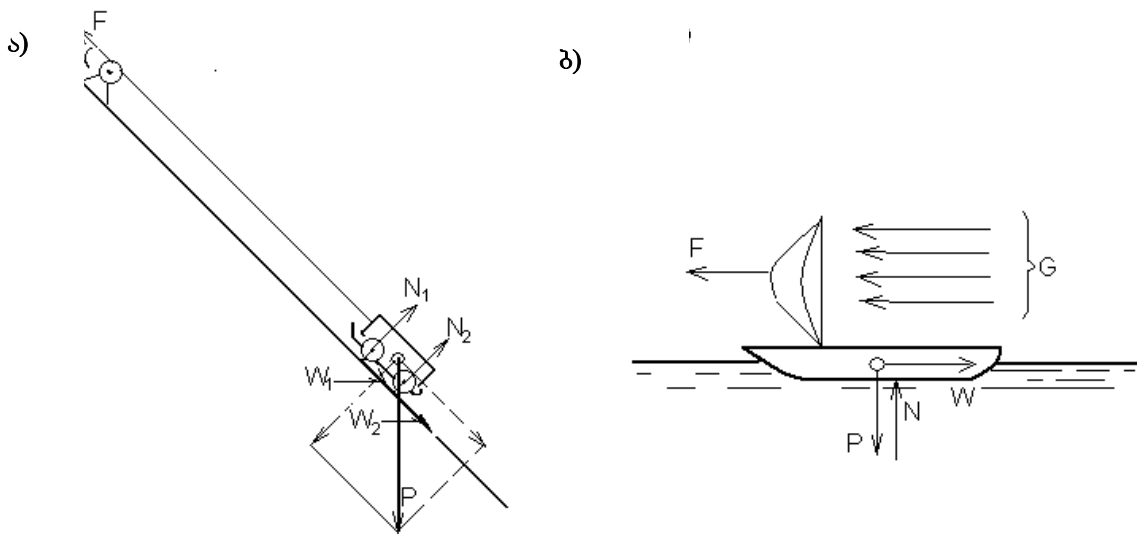
1.5. მამოძრავებელი ძალა და მისი შექმნის საფუძვლები სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებებისათვის

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ნებისმიერი სხეულის მოძრაობაში მოსაყვანად საჭიროა მასზე იმოქმედოს გარეშე ძალამ. სხვადასხვა სახის ტრანსპორტში გამოიყენება სხვადასხვა ხერხით შექმნილი გარეშე ძალა. მათგან უმეტესობა შეიძლება გავაერთიანოთ პრინციპულად განსხვავებულ ორ ჯგუფად:

პირველ ჯგუფში შედის უშუალოდ მოდებული გარეშე ძალები (ნახ. 1.7). ამ ჯგუფის ძალების ყველაზე ცხადი გამოხატულების ფორმაა სტაციონალური ენერჯის წყაროდან გარეშე ძალის მოდება დრეკადი ბაგირის მეშვეობით (ნახ. 1.7,ა).

პრაქტიკაში არსებობენ სხვადასხვა სახის სატრანსპორტო საშუალებები, რომლებიც გადაადგილდებიან ბაგირების მეშვეობით:

- მიწის ზემოთ განთავსებული სატრანსპორტო საშუალებები – სამრეწველო, სამგზავრო, სამთო-სათხილამურო საბაგირო გზები.
- მიწაზე განთავსებული სატრანსპორტო საშუალებები რელსებზე ან მიმმართველებზე – ესკალატორები და ფუნქიკულიორები.
- ვერტიკალური მიმართულებით მიწის ზემოთ ან მიწის ქვემოთ – ლიფტები.
- მდინარეებზე გადასასვლელი ბორნები.



ნახ. 1.7. მოძრაობა მამოძრავებელი ძალის უშუალო მოდებით.

ცხადია, რომ ყველა ჩამოთვლილი სატრანსპორტო საშუალება გადაადგილდება ლოკალურად შეზღუდულ არეალში.

გარეშე ძალის უშუალოდ გამოყენების მაგალითია ქარის დინამიკური დაწნევის იალქანზე ზემოქმედება (ნახ. 1.7, ბ). კაცობრიობა ძალიან დიდი ხნის მანძილზე იყენებდა ამ პრინციპზე მომუშავე ტრანსპორტს, მათ შორის დედამიწის გარშემო მოგზაურობისათვის.

ასევე ამ ტიპის მაგალითად შეგვიძლია განვიხილოთ სამილსადენო, პნევმო, ჰიდრო და ელექტრომაგნიტური სატრანსპორტო საშუალებები.

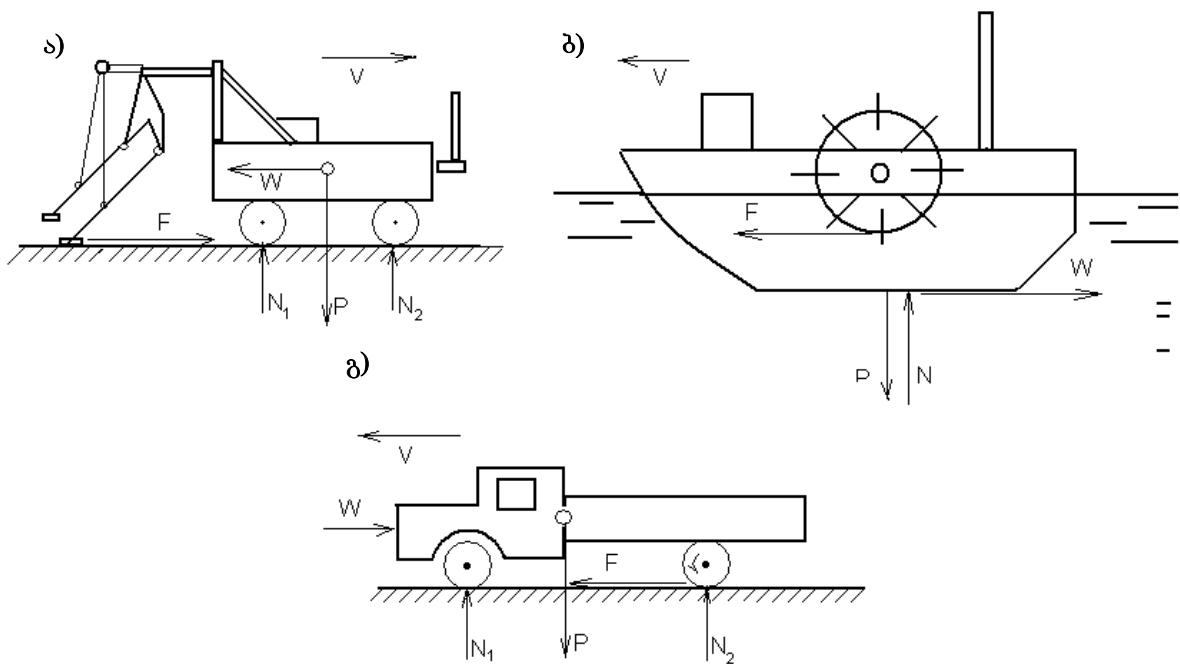
სატრანსპორტო მიზნებისათვის მამოძრავებელი ძალების შექმნის მეორე კლასის ჯგუფს მიეკუთვნება – მყარი სავალი გზის ან სატრანსპორტო საშუალების გარშემო არსებული გარემოს რეაქციის გამოყენება.

სავალი ნაწილის მყარი ზედაპირიდან ბერკეტებით მოწყდომა – ამ ხერხით სარგებლობენ და მოძრაობენ ცხოველები და ადამიანები, რომელთა საყრდენ ბერკეტებს წარმოადგენენ მათივე ფეხები. რეაქცია წარმოიქმნება სავალი ნაწილის

ზედაპირიდან არეკვლისას, ფეხსა და გზას შორის არსებული ხახუნის წყალობით. ამ ხერხით მოძრაობის ეფექტურობა, რა თქმა უნდა, დამოკიდებულია ხახუნის ძალის სიდიდეზე. ცნობილია, რომ სადაც ეს ხახუნის ძალა მცირეა, იქ მოძრაობა გაძნელებულია (მაგალითად მოყინულ გზაზე).

მოძრაობის ამ ხერხს აქვს მთელი რიგი ნაკლოვანება. კერძოდ, მამოძრავებელი ძალების არათანაბარი მოქმედება, ციკლურობა, საყრდენი ბერკეტების შეზღუდული რაოდენობა და ა.შ.

მიუხედავად აღნიშნული ნაკლოვანებებისა ამ სქემით ინგლისში ააგებს ორთქლძაღვის ერთ-ერთი პირველი სახეობა (ნახ. 1.8, ა).



ნახ. 1.8. გარემოს რეაქციით შექმნილი მამოძრავებელი ძალა:
 ა) მყარი ზედაპირიდან ბერკეტებით მოწყვდომა (ორთქლძაღვალი);
 ბ) ბორბლიანი ორთქლძაღვალი გემი;
 გ) მყარი ზედაპირიდან ბორბლით უწყვეტი არეკნი (ავტომობილი).

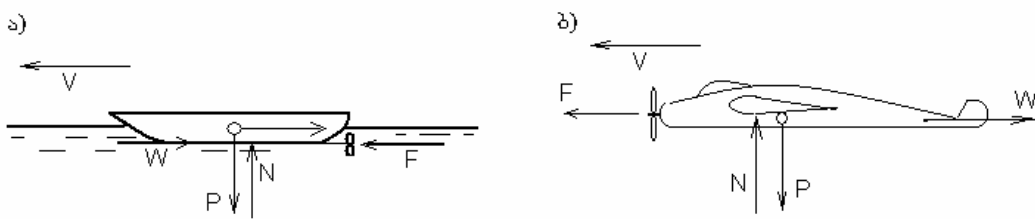
მოძრავი გარემოდან ბერკეტებით მოწყვდომის ხერხის მაგალითებია – თევზის მოძრაობა წყალში, ჩიტის – ჰაერში, ნავის ნიჩბების მოქმედება წყალში. ამ ხერხის ნაკლოვანი მხარეა მამოძრავებელი ძალის წარმოქმნის ციკლური ხასიათი და უთანაბრობა. ამ ნაკლისაგან თავისუფალია ბორბლიანი ამძრავის მქონე გემები, ბორბლებზე ფრთების რაოდენობის დიდი რიცხვის და წყალთან ერთი და იგივე რაოდენობის ფრთების კონტაქტის გამო (ნახ. 1.8, ბ).

ბორბლის უწყვეტი მოწყვდომა გზის მყარი ზედაპირიდან ნახ. 1.8, გ. ამ ხერხზეა დაფუძნებული ყველა მიწისზედა სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობის პრინციპი. მაბრუნებელი მომენტი, რომელიც ბორბალზე უნდა იყოს მოდებული

კუნთის ძალის (ველოსიპედისტის შემთხვევა) ან ენერგეტიკული დანადგარის (ორთქლის, თბური ან ელექტრული ძრავას) მეშვეობით. ბორბალსა და გზის სავალ ნაწილს შორის არსებული ხახუნის წყალობით, ხდება ბორბლის უწყვეტ რეჟიმში არეკვნა გზის სავალი ნაწილიდან, რის შედეგად ბრუნვითი მოძრაობა გარდაიქმნება ხაზოვან გადაადგილებად. ე.ი. ბორბლის უწყვეტი არეკვნა გზის სავალი ნაწილიდან განაპირობებს უწყვეტ რეაქციას გზის მხრიდან, ანუ უწყვეტ გარეშე მამოძრავებელ ძალას. ეს კი საშუალებას იძლევა შეიქმნას ისეთი ტექნიკური სატრანსპორტო საშუალებები, რომლებშიც გარეშე მამოძრავებელი ძალები იმოქმედებენ მუდმივად და უწყვეტად.

მოძრავი გარემოდან ამძრავი ხრახნით უწყვეტი მოწყდომა. ასე შეიძლება უწოდოთ გარეშე მამოძრავებელი ძალის შექმნას წყალში ხრახნით (ნახ. 1.9,ა) და ჰაერში პროპელერით (ნახ. 1.9,ბ).

თანამედროვე საზღვაო, სამდინარო, წყალქვეშა, წყალზედა, საჰაერო პროპელერიანი სატრანსპორტო საშუალებების მუშაობა დაფუძნებულია ამ პრინციპზე.



ნახ. 1.9. უწყვეტი მამოძრავებელი ძალის შექმნა მოძრავ გარემოში:
 ა) მოტორულ ნაგზე ფრთებიანი ხრახნით;
 ბ) საჰაერო ხრახნით (პროპელერით) ავიაციაში.

ტრანსპორტზე გარეშე მამოძრავებელი ძალის შექმნის კიდევ ერთი ხერხია რეაქტიული ხასიათის მოძრაობა. რეაქტიულ მოძრაობაში იგულისხმება გარეშე მამოძრავებელი ძალის შექმნა, ძრავას წვის კამერიდან დიდი სიჩქარით გამოტყორცნილი აირების შიდა რეაქციით. ამის თვალსაჩინო მაგალითია თოფის გასროლისას წარმოქმნილი უკუცემა, როდესაც იარაღი ცდილობს გადაადგილდეს ტყვიის გასროლის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ პრინციპზეა დამყარებული რეაქტიული თვითმფრინავების და რაკეტების მოძრაობა.

1.6. მატარებლის მოძრაობის მექანიკის მოდელი

რეალური მატარებელი წარმოადგენს დრეკადი ელემენტებით (ე.წ. ავტოგადაბმულობებით) ერთმანეთთან დაკავშირებულ ცალკეული რგოლებისაგან (ლოკომოტივი, ვაგონები) შემდგარ რთულ სისტემას, რომელსაც აქვს რაღაც სასრულო სიგრძე $L_{მატ}$. მოკლედ, რეალური მატარებელი წარმოადგენს $L_{მატ}$ –სიგრძის დრეკად-ჭიმვად ძაფს.

მატარებელზე მოლიანად და მის შემადგენელ ცალკეულ რგოლებზე მოქმედებენ ზემოთ განხილული ჰორიზონტალური ძალები, კერძოდ – მამოძრავებელი ძალა (წვეის ძალა) F , წინააღმდეგობის ძალები W' , $W_1'' \dots W_n''$ და ვერტიკალური სიმძიმის ძალები – ლოკომოტივის P , ვაგონების $q_1 \dots q_n$. მთელი ეს რთული სისტემა მოძრაობს ხაზოვნად, ერთნაირი V სიჩქარით (ნახ. 1.10, ა). ასეთი რთული სისტემის მოძრაობის შესწავლის გაიოლების მიზნით, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია მოვახდინოთ გარკვეული გამარტივებები:

1. პირობითად, შემადგენლობის ვაგონების მთელი მასა $m_Q = \sum m_i$, რომელთა ჯამური წონაა $Q = \sum q_i$, გავაერთიანოთ ერთ სხეულად (ნახ. 1.10, ბ). (ამ დროს ვაკეთებთ დაშვებას, რომ ვაგონებს შორის დრეკადი ელემენტები არ არსებობს. ეი. მატარებელს, რომელიც რეალურად წარმოადგენს დრეკად-ჭიმვად ძაფს, ვცვლით ხისტ სისტემით). ამის უფლებას გვაძლევს ის, რომ მატარებელში შინაგანი ძალების მიერ შესრულებული მუშაობათა ჯამი 0-ის ტოლია.

შემადგენლობის მოძრაობისადმი ჯამური წინააღმდეგობის ძალა ტოლი იქნება

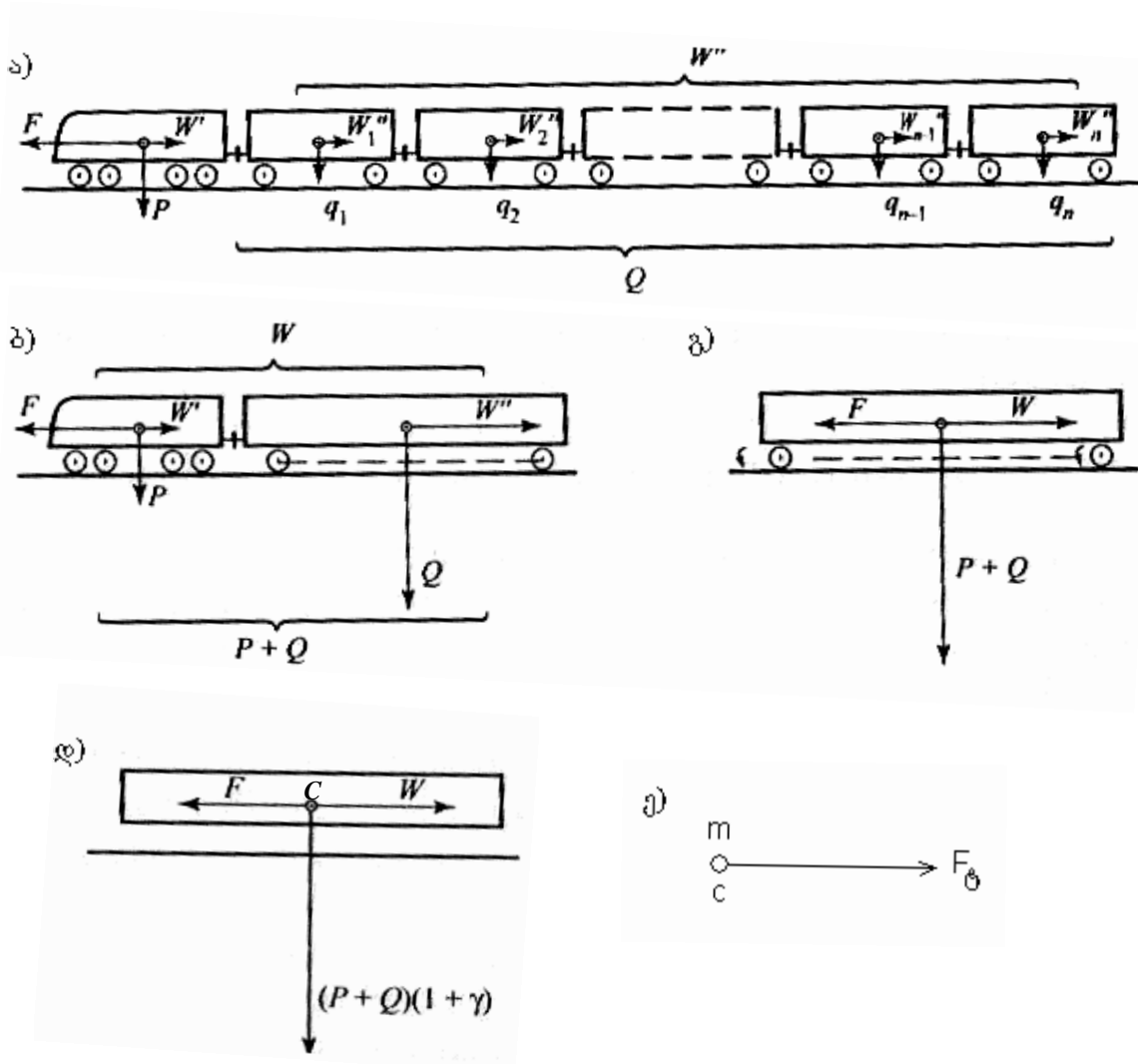
$$W'' = \sum W_i''.$$

მატარებლის მიღებული მოდელი წარმოადგენს ორ ერთმანეთთან დაკავშირებულ სხეულს (ლოკომოტივი, ვაგონების შემადგენლობა), რომელიც მოძრაობს ხაზოვნად, ერთნაირი სიჩქარით. ეს საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ შემდეგი გამარტივება:

2. მატარებელი წარმოვადგინოთ როგორც ერთი სხეული, ჯამური წონით $P+Q$, რომელზეც მოქმედებს ორი ჰორიზონტალური ძალა, წვეის ძალა F და მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა $W = W' + W''$ (ნახ. 1.10, გ).

თუ მატარებლის შემადგენელ ნაწილებს დეტალურად გავაანალიზებთ, ვნახავთ, რომ საკმაოდ დიდი მასის ცალკეული სხეულები მატარებელში (ლოკომოტივის და ვაგონების წვეილთვალები, რედუქტორების კბილანები, წვეის ძრავების ღუხები) მონაწილეობენ რთულ მოძრაობაში. ისინი ბრუნავენ და თან ხაზოვნად გადაადგილდებიან. ეი. მათ ბრუნვით მოძრაობაში მოსაყვანად იხარჯება მამოძრავებელი F ძალის ნაწილი. აღნიშნულის გასათვალისწინებლად ვაკეთებთ შემდეგ გამარტივებას:

3. განხილვიდან გამოვრიცხავთ მბრუნავი სხეულების მასებს და მათ პირობითად ვცვლით ფიქტიური (არარსებული) მასით. სხვაგვარად მატარებლის მასას ვზრდით $(1+\gamma)$ -ჯერ, სადაც γ მბრუნავი სხეულების მასების წილია მატარებლის სრულ მასაში. შედეგად მივიღებთ ერთ ხისტ სხეულს, რომლის წონაა $P(1+\gamma)$, მასაა $m(1+\gamma)$ და რომელიც მოძრაობს ხაზოვნად (ნახ. 1.10, გ).



ნახ. 1.10. მოძრავ მატარებელზე მოქმედი ძალების საანგარიშო სქემები.

მექანიკის კანონის თანახმად ხისტი სხეულის მოძრაობის შესასწავლად საკმარისია შევისწავლოთ ამ სხეულის ერთი წერტილის – მისი სიმძიმის ცენტრის მოძრაობა, პირობით, რომ ამ სხეულის მასა მთლიანად განთავსებულია სიმძიმის ცენტრში.

4. აღნიშნული საშუალებას გვაძლევს, მატარებელი წარმოვადგინოთ, როგორც მატერიალური წერტილი – სიმძიმის ცენტრი C , სადაც განთავსებულია მთელი ფიზიკური მასა m და მასზე მოქმედებს ორი ჰორიზონტალური ძალა F და W (ნახ. 1.10, დ).

5. ძალთა გეომეტრიული შეკრების კანონის და ტოლქმედი ძალის ტერმინის შემოღების შემდეგ, საბოლოოდ მატარებლის ფიზიკური (მექანიკური) მოდელი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ, როგორც მატერიალური წერტილი C , რომელშიც განთავსებულია მატარებლის მთელი ფიზიკური მასა m , და რომელზეც მოქმედებს ტოლქმედი ძალა F_0 (ნახ. 1.10, ე).

სწორედ მიღებული, ერთი შეხედვით უმარტივესი ფიზიკური მოდელი უდევს საფუძვლად წვეის განგარიშების წესებს, რკინიგზების პროექტირების და პრაქტიკული ექსპლუატაციის დროს.

1.7. სარელსო გზა და მისი თავისებურებანი

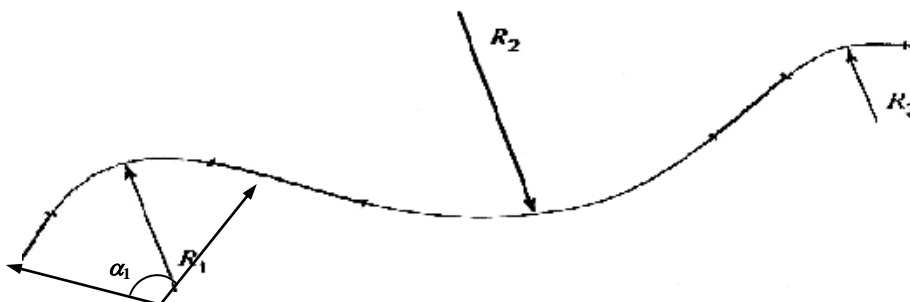
რკინიგზა, რომელიც განთავსებულია ცვალებადი რელიეფის მქონე მიწაზე, არ შეიძლება იყოს მხოლოდ სწორხაზოვანი. ის შეიძლება სწორი ხაზიდან განსხვავდებოდეს, როგორც გეგმაში (მრუდეების არსებობით), ასევე გრძივ პროფილში (უარყოფითი და დადებითი ქანობების არსებობით).

რკინიგზის ნებისმიერი უბანი გეგმაში შედგება სხვადასხვა სიგრძის სწორხაზოვანი და მრუდხაზოვანი მონაკვეთებისაგან, რომელთა არსებობა, რა თქმა უნდა, განპირობებულია მიწის რელიეფით, რაზედაც დაგებულია გზა. პროექტირების და მშენებლობის დროს სხვადასხვა რადიუსის მქონე მრუდეები, ასევე მრუდეები და გზის სწორი მონაკვეთები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ცვალებადი რადიუსის მქონე გარდამავალი მრუდეებით. წვეის ანგარიშებში ამას არ ითვალისწინებენ და თვლიან, გადასვლა სწორი მონაკვეთიდან მრუდეზე, ან პირიქით, ან ერთი რადიუსის მრუდიდან მეორე რადიუსის მქონე მრუდეზე ხდება მყისურად.

მრუდე შეიძლება მოცემული იყოს შემდეგი სამი პარამეტრიდან ერთ-ერთით: მრუდის სიგრძით – $S_{გრ}(მ)$, მრუდის რადიუსით – $R_{გრ}(მ)$, მრუდის ცენტრალური კუთხით – α° . როგორც გეომეტრიიდან ცნობილია, მათ შორის არის შემდეგი დამოკიდებულება

$$S_{გრ} = \frac{2\pi R_{გრ} \cdot \alpha^\circ}{360}. \quad (1.12)$$

რკინიგზის გრძივი პროფილი ხასიათდება ან სწორი ჰორიზონტალური მონაკვეთებით, ან სხვადასხვა კუთხით დახრილი მონაკვეთებით $\pm i \%$ ქანობებით. ეს ქანობები სხვა ელემენტებს უკავშირდება გარდამავალი მრუდეებით, რასაც წვეის ანგარიშებში ასევე არ ითვალისწინებენ (ნახ. 1.11).



ნახ. 1.11. რკინიგზის უბნის გეგმის სქემა.
 R_1, R_2 და R_3 მრუდე მონაკვეთების რადიუსებია.

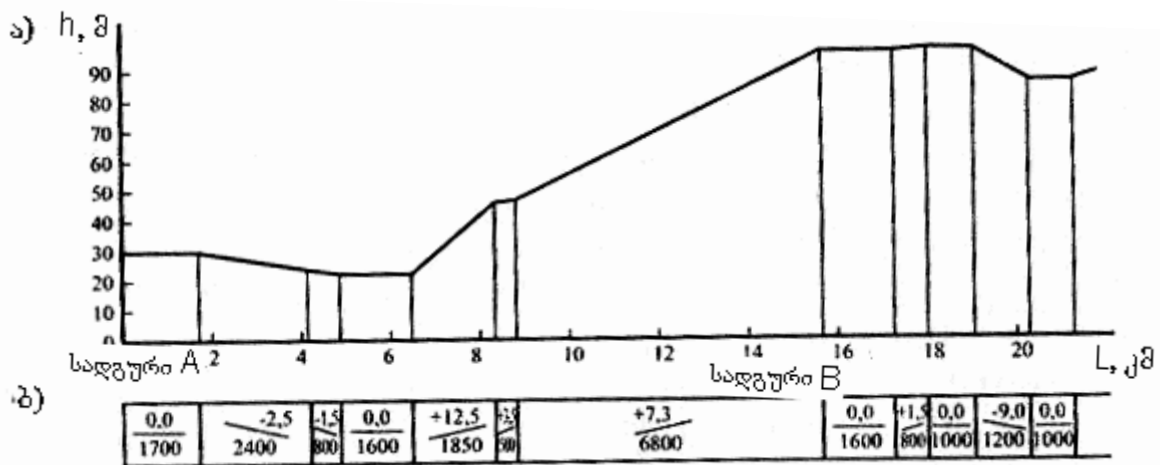
გზის გრძივი პროფილი წარმოიდგინება, როგორც ტეხილი ხაზი, ჰორიზონტალთან სხვადასხვა კუთხით დახრილი მონაკვეთებით, რომელთა ბოლოების

სიმაღლეები, ათვლის საწყისი წერტილის მიმართ (მაგ. ზღვის დონის მიმართ) აღინიშნება h -ით მეტრებში.

ასეთი გამარტივების შემდეგ გზის გრძივი პროფილი შეიძლება მოცემული იყოს ცხრილის სახით (იხ. ცხრ. 1.1) ან პირობითი აღნიშვნით, სადაც მასშტაბში მოცემულია მხოლოდ პროფილის ელემენტის სიგრძე (ნახ. 1.12).

რკინიგზის უბნის გრძივი პროფილის პირობითი წარმოდგენის მაგალითი
ცხრილი 1.1

ელემენტების ნუმერაცია	ელემენტის სიგრძე l მ-ში	ქანობის დახრა $\%$ -ში	მრუდის რადიუსი, R -მ-ში	მრუდის რკალის სიგრძე მ-ში
1. სადგური A	1 700	0		
2	2 400	-2,5	650	350
3	800	-1,5		
4	1 600	0		
5	1 850	+12,5		
6	500	+7,3		
8. სადგური B	1 600	0		
9	800	-1,5	1 500	500
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
17 სადგური G	1 400	0		



ნახ. 1.12. რკინიგზის გრძივი პროფილი შედგენილი 1.1. ცხრილის მონაცემებით:
ა) გრძივი პროფილი (ორგანზომილებიანი გამოსახულება),
ბ) გრძივი პროფილი (ერთგანზომილებიანი გამოსახულება, მრუდეები დატანილი არაა).

II თავი

ცნობები ელექტრული წევის სახეობების შესახებ

2.1. სარელსო ტრანსპორტის წევის სახეობები

სატრანსპორტო გადაზიდვების პროცესში, ლოკომოტივის მიერ მოხმარებული ენერჯის დიდი წილი იხარჯება მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალთა (ხახუნი ბორბალსა და სავალ გზას შორის, ხახუნი საკისრებში, ხახუნი ჰაერსა და მოძრავი შემადგენლობის კორპუსს შორის და ა.შ.) დაძლევაზე. ბორბლიან სატრანსპორტო საშუალებებში, მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების შემცირების ერთ-ერთი ეფექტური (აეროდინამიკური ფორმების გაუმჯობესებასთან ერთად) გზა აღმოჩნდა ბორბლის დაყრდნობა მტკიცე ფოლადის სავალ ნაწილზე, რელსზე, რამაც სათავე დაუდო სარელსო-სარკინიგზო ტრანსპორტის შექმნას.

თავდაპირველად სარელსო ტრანსპორტზე გამწვევ საშუალებად გამოიყენებოდა ცოცხალი ძალა (ცხენი).

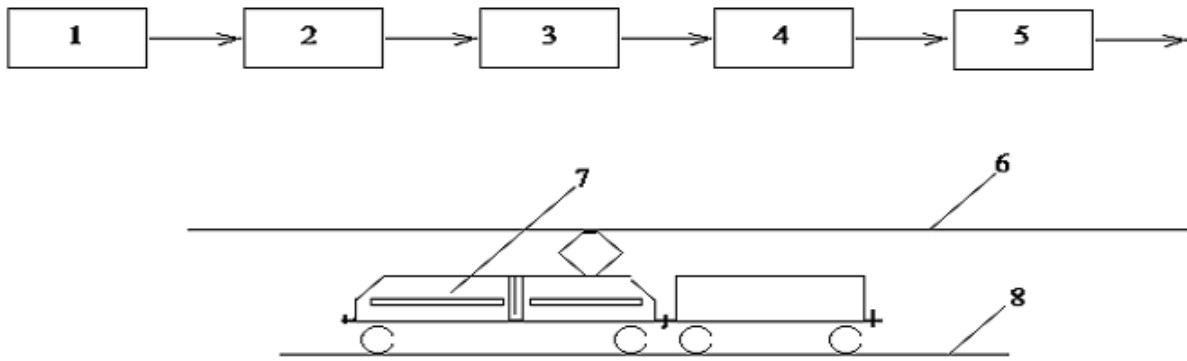
ორთქლის მექანიკური ძრავას გამოყენებამ განაპირობა პირველი სარკინიგზო ლოკომოტივების (თვითმოძრავი სატრანსპორტო საშუალებების) – ორთქლმავლების და შესაბამისად ორთქლმავლური წევის შექმნა. წევის ამ სახეობამ საუკუნეების განმავლობაში ემსახურა კაცობრიობას და ადგილი დაუთმო უფრო ეფექტურ თბომავლურ წევას, რომლის შექმნა, თავის მხრივ, უკავშირდება ლოკომოტივებზე თბური (შიგაწვის) ძრავების გამოყენებას.

ელექტრული მანქანების (ელექტრული ძრავების, გენერატორების) დანერგვამ და სარკინიგზო ლოკომოტივებზე გამოყენებამ, შესაძლებელი გახადა წევის ახალი, მეტად ეფექტური სახეობის – ელექტრული წევის შექმნა.

ორთქლმავალი და თბომავალი წარმოადგენს ე.წ. ავტონომიურ ლოკომოტივებს, რომლებზეც შეზღუდული სიმძლავრის პირველადი ენერჯის წყარო განთავსებულია უშუალოდ ბორტზე და გადაადგილდება მასთან ერთად. რაც შეეხება ელექტრულ ლოკომოტივებს, ისინი ენერჯიას იღებენ პრაქტიკულად უსასრულო სიმძლავრის გარე ელექტრომომარაგების სისტემიდან (ნახ. 2.1).

თუ ზემოაღნიშნულ წევის სამ სახეობას შორის მოვახდენთ ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლებით შედარებას, მივიღებთ შემდეგ სურათს:

ძირითადი ეკონომიკური მაჩვენებელი – მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მოკლედ მ.ქ.კ.), გვიჩვენებს მთლიანად დახარჯული მუშაობის რა წილი მიდის სასარგებლოდ. მისი მნიშვნელობა:



ნახ. 2.1. ელექტრული რკინიგზის სტრუქტურული სქემა.

- | | |
|--|----------------------|
| 1. ელექტროსადგური, | 5. წვეის ქვესადგური, |
| 2. ძაბვის ამამაღლებელი ტრანსფორმატორი, | 6. საკონტაქტო ქსელი, |
| 3. მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზი, | 7. ელექტრომაგალი, |
| 4. რაიონული ქვესადგური, | 8. სარელსო გზა. |

• **ორთქლმავლური წვეისათვის შეადგენს $\eta=0.03-0.04$, ანუ პროცენტებში 3-4%-ს,** რაც დღევანდელი მდგომარეობით წარმოუდგენლად დაბალი მაჩვენებელია.

რომ ავსნათ ამ კოეფიციენტის ფიზიკური არსი, განვიხილოთ ასეთი მაგალითი: ვთქვათ ორთქლმავლის წვეის კამერაში იწვეის 100 ტ. მასის პირობითი საწვავი. მ.ქ.კ-ის 3-4% მნიშვნელობა ნიშნავს, სასარგებლოდ მოიხმარება 3 – 4 ტ. საწვავის დაწვით მიღებული ენერჯია. დანარჩენი 96-97 ტ. საწვავიდან მიღებული თბური ენერჯია იკარგება ატმოსფეროში აუნაზღაურებლად.

• **თბომავლური წვეისათვის ეს მაჩვენებელი ტოლია $\eta=0.2-0.25$, ანუ პროცენტებში 20-25 %-ს,** რაც დაახლოებით 8-ჯერ აღემატება ორთქლმავლური წვეის მაჩვენებელს.

• **ელექტრული წვეის შემთხვევაში მთელი სისტემის ჯამური მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5$, სადაც:**

1. η_1 არის ელექტროსადგურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც ჰიდროსადგურებისათვის შეადგენს 0,96-0,98, ხოლო თბოსადგურებისათვის 0,6-0,75.
2. η_2 არის გადამცემი ხაზების მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც ერთთან ახლოს მყოფი ციფრია.
3. η_3 არის წვეის ქვესადგურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც ასევე ტოლია 0,92-0,95.
4. η_4 არის საკონტაქტო ქსელის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რომელიც ასევე ახლოსაა ერთთან.
5. η_5 არის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, ტოლია 0,8-0,85.

როგორც აღნიშნულიდან ჩანს, სისტემისათვის განმსაზღვრელია ელექტროსადგურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, კერძოდ:

- ელექტრული რკინიგზებისთვის, რომლებიც იკვებებიან ჰიდროელექტროსადგურებში გამომუშავებული ელექტროენერგიით, ჯამური მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta=0,6-0,65$, ანუ 60 – 65%-ს.
- ელექტრული რკინიგზებისათვის, რომლებიც იკვებებიან თბო და ატომურ ელექტროსადგურებში გამომუშავებული ელექტროენერგიით, ეს მაჩვენებელი შეადგენს $\eta=0,25-0,27$, ანუ 25 -27%-ს.

განსხვავებით ელექტრული წვევისაგან, ორთქლმავლური და თბომავლური წვევის დროს პირველადი ენერჯის წყარო განთავსებულია უშუალოდ ლოკომოტივზე, რის გამოც შეზღუდულია ლოკომოტივის სიმძლავრე, ანუ შეზღუდულია მატარებლების წონა და მათი მოძრაობის სიჩქარე; მაშინ როდესაც ელექტრული წვევის შემთხვევაში ელექტრული ლოკომოტივი იკვებება პრაქტიკულად უსასრულო სიმძლავრის ქსელიდან და შეუძლია განავითაროს ნებისმიერი მოთხოვნილი სიმძლავრე.

თუ გავითვალისწინებთ დღის წესრიგში მდგარ მკაცრ ეკოლოგიურ მოთხოვნებს, ელექტრული წვევის სისტემა ამ მხრივ აბსოლუტურად უსაფრთხოა.

მოკლე ანალიზითაც დასტურდება ელექტრული წვევის უპირატესობა, წვევის სხვა სახეობებთან შედარებით. თუმცა მას გააჩნია ერთი ნაკლი – მოითხოვს ძალიან დიდ კაპიტალდაბანდებას.

2.2. წვევის ძრავა, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მთავარი კვანძი

სახელმძღვანელოში ელექტრული წვევის თეორიის ძირითადი საკითხების საფუძვლიანი განხილვის და შესწავლის გაიოლების მიზნით, ავტორებმა მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ მკითხველისათვის პოპულარული, მარტივი ენით აგვეხსნა ელექტრომოდრავი შემადგენლობის და მისი ძირითადი კვანძების მუშაობის პრინციპი. ავტორების აზრით, ასეთი მიდგომა უფრო საინტერესოს და ადვილად გასაგებს გახდის რთული პროცესების შესწავლას.

გადაუჭარბებლად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ წვევის ძრავა წარმოადგენს ნებისმიერი სახის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის (ელექტრომავალი, ელექტრომატარებელი, მეტროპოლიტენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობა, ტრამვაი და ა.შ.) ყველაზე მთავარ, ძირითად კვანძს, რადგან მოძრაობის სიჩქარე და განვითარებული წვევის ძალა (მოძრაობის პროცესის ორი მთავარი კომპონენტი) განისაზღვრება სწორედ წვევის ძრავას პარამეტრებით და მუშაობის რეჟიმით.

წვევის ძრავას მეშვეობით ხდება საკონტაქტო ქსელში არსებული ელექტრული ენერჯის გარდაქმნა მექანიკურ მუშაობად (ე.წ. წვევის რეჟიმი), რისი წყალობითაც მოძრავი შემადგენლობა გადაადგილდება სარელსო გზაზე. მიუხედავად მრავალი ცდისა, მომხდარიყო ელექტრული წვევის ძრავას, როგორც ენერჯის ელექტრო-მექანიკური გარდამქმნელის ჩანაცვლება სხვა მექანიზმით, ახლო პერსპექტივაში, ის მაინც რჩება ელექტრული წვევის უმთავრეს კვანძად და საფუძვლად.

ელექტრული მანქანების უნარი იმუშაონ ურთიერთშეკცევად რეჟიმში, საშუალებას გვაძლევს წვევის ძრავა წარმოვადგინოთ არამარტო, როგორც ელექტრული ენერჯის მექანიკურ ენერჯიად გარდამქმნელი საშუალება, არამედ მისი გადართვით ე.წ. გენერატორულ რეჟიმში, მოძრავი მატარებლის მექანიკური ენერჯის ელექტრულ ენერჯიად გარდამქმნელი საშუალება.

თუ წვევის რეჟიმში, წვევის ძრავა ქსელიდან მოხსნილ ენერჯიას ხარჯავს მატარებლის გადაადგილებაზე, გენერატორულ რეჟიმში წვევის ძრავა გამოიმუშავებს რა ელექტრულ ენერჯიას, ქმნის სამუსრუტო მომენტს, რომელიც ამცირებს მატარებლის მოძრაობის სიჩქარეს ან აუცილებლობის შემთხვევაში შეუძლია გააჩეროს ის.

წვევის ძრავას მუშაობის ეფექტურობას განაპირობებს მისი ელექტრული და მაგნიტური პარამეტრები და კონსტრუქცია. რაც უფრო მძლავრია წვევის ძრავა, მით უფრო დაძაბულად მიმდინარეობს მასში ელექტრომაგნიტური პროცესები, უფრო რთულია მის ცალკეულ პარამეტრებს შორის ელექტრომაგნიტური კავშირები.

რადგან ძრავას მიერ განვითარებული მექანიკური ენერჯია, წყვილთვალს გადაეცემა წვევის გადაცემის (მაგალითად კბილანა რედუქტორის) მეშვეობით, გარდაუვალია ძრავაში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების ზეგავლენა წვევის გადაცემაში ამ დროს წარმოქმნილ დინამიკურ ძალებზე და პირიქით, წვევის გადაცემაში წარმოქმნილი მექანიკური პროცესების გავლენა, ძრავაში მიმდინარე ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე (ნახ. 2.2).

არსებული რთული პროცესების ანალიზისას, გამომდინარე ენერჯის მუდმივობის კანონიდან, ითვალისწინებენ ენერჯის ბალანსს გარდაქმნის დროს. სხვაგვარად, ენერჯია რომელიც მიეწოდება ძრავას შესასვლელზე, ტოლი უნდა იყოს წყვილთვალის რელსზე მოძრაობის დროს რეალიზებული ენერჯის და წვევის გადაცემაში ენერჯის დანაკარგების ჯამის.

წვევის ძრავაში და წვევის გადაცემაში, ენერჯის გარდაქმნის პროცესზე ზეგავლენას ახდენს, როგორც წინასწარ ცნობილი, კონტროლირებადი ფაქტორები (მაგალითად მატარებლის წონა), ასევე უშუალოდ მოძრაობის პროცესში წარმოქმნილი შემთხვევითი ხასიათის ფაქტორები, კერძოდ:

- სარელსო გზის პირაპირების გაველისას წყვილთვალზე დარტყმები;
- ლოკომოტივის რხევა მოძრაობის პროცესში განპირობებული დრეკადი ელემენტების (რესორები, ზამბარები) არსებობით;
- წყვილთვალების გასრიალება რელსზე;
- საკონტაქტო ქსელში ძაბვის მერყეობა;
- გარემოს ტემპერატურის ცვლილება;
- მოძრაობის პროცესში სავალი ნაწილის ზონაში, უშუალოდ წვევის ძრავას სიახლოვეს მტერის და თოვლის გრიგალური ნაკადების წარმოქმნა.

როგორც ვხედავთ, წვევის ძრავას და წვევის გადაცემის მუშაობის პირობები, გაცილებით მძიმე და დაძაბულია, ვიდრე სტაციონალური ელექტრული მანქანების მუშაობის პირობებია.

ელექტრომოდრაგი შემადგენლობის და სარელსო გზის ურთიერთქმედებით გამოწვეული დინამიკური დატვირთვები, დამანგრეველ ზემოქმედებას ახდენენ წყვილთვალებზე, წვევის ძრავების კვანძებზე, ბუქსებზე, რესორულ ჩამოკიდებაზე და ა.შ.

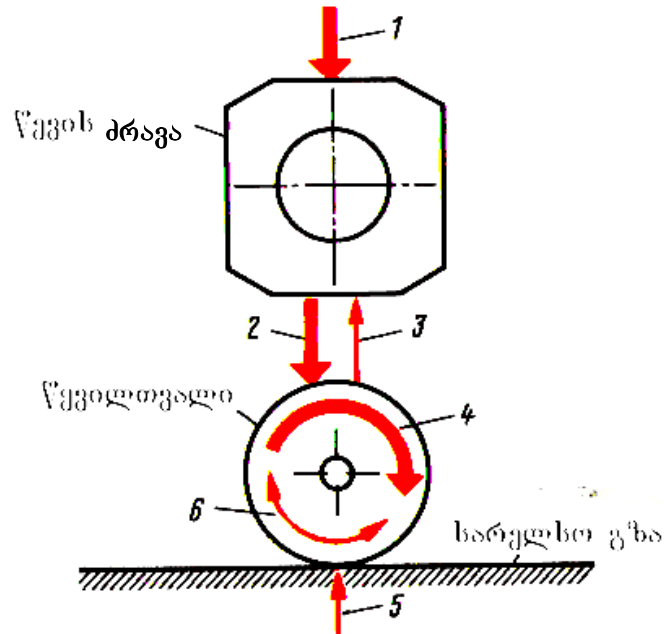
2.3. როგორ მუშაობს წვევის ძრავა?

დასაწყისში განვიხილოთ მუდმივი დენის წვევის ძრავას, ხოლო შემდეგ ცვლადი დენის ასინქრონული წვევის ძრავას მუშაობის პრინციპი.

საჭიროა გავიხსენოთ – მუდმივი დენი გადის დენის წყაროდან მომხმარებლისკენ ერთი მიმართულებით და მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი არ იცვლება დროის მიხედვით. თუ ასეთ დენიან სადენს მოვათავსებთ მაგნიტურ ველში, მაშინ ამპერის კანონის თანახმად, მასზე იმოქმედებს მექანიკური ძალა, რომელიც ეცდება ეს დენიანი გამტარი გამოაგდოს მაგნიტური ველიდან. აღნიშნული ძალის მნიშვნელობა დამოკიდებულია სადენში გამავალ დენის ძალის სიდიდეზე, სადენის სიგრძეზე და მაგნიტური ველის ინტენსივობაზე, ანუ მაგნიტური ნაკადის სიმკვრივეზე. ამ ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით.

თუ ამის შემდეგ იმავე მაგნიტურ ველში, დიამეტრალურად საპირისპიროდ მოვათავსებთ მეორე დენიან სადენს, მაშინ მასზე იმოქმედებს მექანიკური ძალა, რომელსაც ექნება პირველ სადენზე მოქმედი ძალის საპირისპირო მიმართულება, რადგან ეს მეორე სადენი განთავსებული იქნება მეორე (განსხვავებული) პოლუსის ქვეშ. თუ პირველი სადენის ბოლოს მიუერთებთ მეორე სადენის დასაწყისს, ხოლო მეორეს ბოლოს პირველის დასაწყისს, მიღებულ ჩარჩოს მოვათავსებთ საკისრებზე

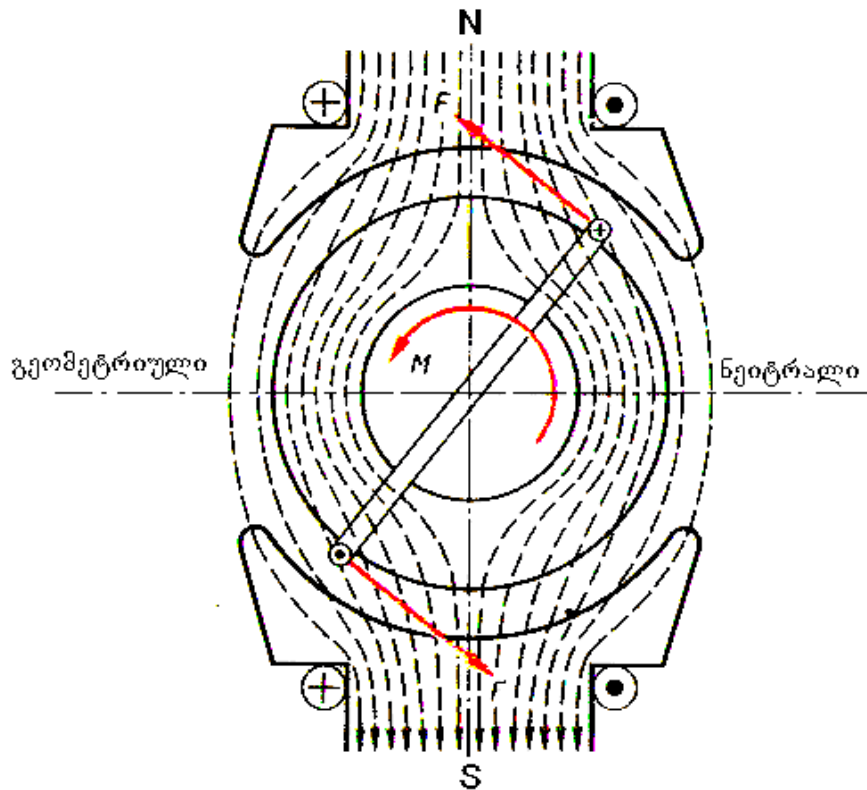
ისე, რომ ჩარჩო განთავსდეს მაგნიტური ველის ძალხაზების მართობულად, მაშინ ჩარჩოს სადენებზე საპირისპიროდ მოძქმედი FF ძალები შექმნიან მობრუნებელ მომენტს M -ს, რომლის წყალობით ჩარჩო დაიწყებს შემობრუნებას მაგნიტური ძალხაზების მიმართ.



ნახ. 2.2. წვევის ძრავას, წვევილთვალის და სარელსო გზის ურთიერთქმედება მოძრაობის პროცესში.

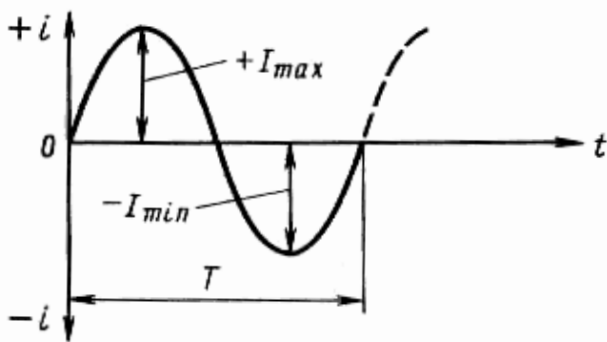
- 1 – ენერგია, რომელიც წვევის ძრავას მიეწოდება საკონტაქტო ქსელიდან.
- 2 – ენერგია, რომელიც გადაეცემა წვევის ძრავიდან წვევილთვალს.
- 3 – დარტყმებით განპირობებული ენერგია, რომელიც გადაეცემა წვევილთვალიდან წვევის ძრავას.
- 4 – ენერგია, რომელიც იხარჯება წვევილთვალის ბრუნვითი მოძრაობის შესაქმნელად.
- 5 – ენერგია, მიღებული სარელსო გზის დეფორმაციით.
- 6 – მობრუნავი მომენტი, რომელიც წარმოიშობა წვევილთვალის დარტყმის შედეგად.

მაგნიტური ძალხაზების მიმართ ჩარჩოს შემობრუნების დროს, ფარადეის მიერ აღმოჩენილ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად, მასში დაინდუქტირდება ელექტრომამოძრავებელი ძალა (მოკლედ ე.მ.ძ.), რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებული იქნება მაგნიტური ნაკადის სიმკვრივეზე (ინდუქციაზე), გამტარის აქტიურ სიგრძეზე და მაგნიტური ძალხაზების გადაკვეთის სიჩქარეზე (ჩარჩოს ბრუნვის სიხშირეზე). შემობრუნებისას რაღაც დროის მომენტში დენიანი ჩარჩო დაიჭერს მაგნიტური ნაკადის მართობულ მდგომარეობას, ანუ აღმოჩნდება პოლუსების ნაკადების გამყოფ ხაზზე, ე.წ. გეომეტრიულ ნეიტრალზე (ნახ. 2.3). ამ მომენტში ჩარჩოში ე.მ.ძ-ის დაინდუქტირება არ ხდება. ჩარჩოს შემდგომი შემობრუნებისას ის იჭერს მაგნიტური ძალხაზების პარალელურ მდებარეობას (ვერტიკალური მდგომარეობა) და მასში დაინდუქტირდება ე.მ.ძ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა.



ნახ. 2.3. მაგნიტურ ველში დენიან ჩარჩოზე მოქმედი ძალები FF და M მახრუნებელი მომენტის წარმოქმნის მექანიზმი.

ამგვარად, ჩარჩოს ერთი შემობრუნებისას, რომელიც გრძელდება T დროის განმავლობაში, მასში დაინდუქტირებული ე.მ.ძ-ის მნიშვნელობა იზრდება 0-დან მაქსიმალურ დადებით მნიშვნელობამდე, შემდეგ მცირდება 0-ვან მნიშვნელობამდე, შემდეგ 0-დან მაქსიმალურ უარყოფით მნიშვნელობამდე, შემდეგ კვლავ 0-მდე და



ნახ. 2.4. ჩარჩოს ერთი შემობრუნებისას (T -დრო) დენი მასში იცვლება $+I_{max}$ -დან $-I_{max}$ -მდე.

ა.შ. ჩარჩოს ბრუნვისას მასში ცირკულირებს სინუსოიდალურად ცვლადი დენი $+I_{max}$ -დან $-I_{max}$ -მდე (იხ. ნახ. 2.4).

თუ მოვახდენთ ჩარჩოდან დენის მოხსნას იმ მომენტში, როდესაც ის იცვლის მიმართულებას, მაშინ გარე წრედში დენი გაივლის ერთი და იგივე მიმართულებით. იმისათვის, რომ დენის ცვლილება პრაქტიკულად იყოს შეუმჩნეველი, ერთი ჩარჩოს ნაცვლად საკის-

რებზე ამაგრებენ ასეულობით ჩარჩოს. ბრუნვისას ჩარჩოების სადენების რიცხვი, რომელიც განთავსებულია ერთი პოლუსის ქვეშ უცვლელია, ამიტომ მათში დაინდუქტირებული ჯამური ე.მ.ძ-ც უცვლელია.

ჩარჩოებს ცალკეული სექციების სახით ამაგრებენ ძრავას მბრუნავ ნაწილზე – **როტორზე, რომელსაც უწოდებენ ღუზას**, ხოლო სექციების ერთობლიობას უწოდებენ **ღუზის გრაგნილს**.

ძრავას მბრუნებელი მომენტი წარმოადგენს ღუზის გრაგნილის სექციების მბრუნებელი მომენტების ჯამს. ბრუნვის დროს გრაგნილის სექციები გაივლიან სხვადასხვა პოლარობის პოლუსების ქვეშ. იმისათვის, რომ მბრუნებელი მომენტის მიმართულება დარჩეს უცვლელი, საჭიროა მაგნიტური ნაკადის გეომეტრიული ნეიტრალის გავლისას, სექციებში გამავალმა დენმა შეიცვალოს მიმართულება.

ღუზის გრაგნილის სექციის გადართვის ამ პროცესს, როდესაც მასში დენი იცვლის მიმართულებას, უწოდებენ **კომუტაციას** (ლათინური სიტყვიდან “ვიცვლები”), ხოლო ამ პროცესში მონაწილე მოკლედ შერთულ სექციებს უწოდებენ **მაკომუტირებელ სექციებს**.

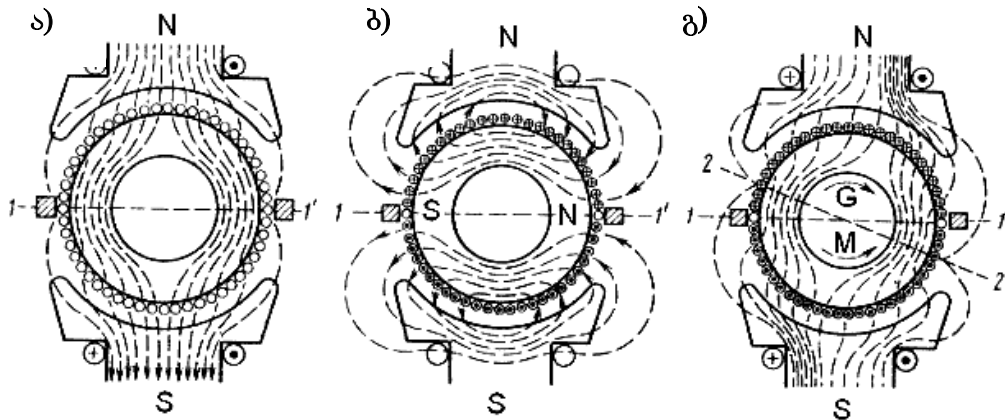
საჭიროა ყურადღება მიექცეს იმ გარემოებას, რომ დამყარებულ რეჟიმშიც კი, როდესაც არ იცვლება ძრავას მომჭერებზე ძაბვის მნიშვნელობა და ძრავას დატვირთვა, ანუ ძრავაში გამავალი დენი, კომუტაციის პროცესი წარმოადგენს დროში ცვლად **გარდამავალ პროცესს**.

კომუტაციური პროცესები, გარდა ზემოთ აღნიშნული ფაქტორებისა, რთულდება სხვა მთელი რიგი მიზეზებით, რაც განპირობებულია ძრავაში მიმდინარე რთული ელექტრომაგნიტური პროცესებით. კერძოდ:

პირველ რიგში კომუტაციის პროცესში ღუზის გრაგნილში დენის მიმართულების შეცვლა იწვევს ღუზის გრაგნილის მოკლედ შერთულ სექციაში თვითინდუქციის ე.მ.ძ-ის დაინდუქტირებას. ის წარმოიშვება ამ ხვიის ღუზის გრაგნილის მიერ წარმოქმნილ ცვლად მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედების დროს და მასში განაპირობებს უმნიშვნელო ელექტრული ენერჯის დაგროვებას. **ლენცის** აღმოჩენის თანახმად ეს ე.მ.ძ. ეწინააღმდეგება მის წარმოქმნელ მიზეზს. მაგალითად თუ კონკრეტულ მომენტში კომუტაციის პროცესში მყოფ სექციაში დენი მცირდება, მაშინ თვითინდუქციის ე.მ.ძ ცდილობს დააყოვნოს ამ დენის შემცირება და პირიქით; თუ კომუტაციის შემდეგ მომენტში კომუტაციაში მონაწილე სექციაში დენი იზრდება, მაშინ წარმოქმნილი თვითინდუქციის ე.მ.ძ. ცდილობს შეეწინააღმდეგოს მის ზრდას.

ცალკე უნდა აღინიშნოს ის, რომ ჯაგრისების ქვეშ კომუტაციის პროცესში მონაწილეობს არა ერთი, არამედ რამდენიმე მოკლედ შერთული სექცია. ამიტომ, თვითინდუქციის ე.მ.ძ-ის მსგავსად, მათში დაინდუქტირდება ურთიერთინდუქციის ე.მ.ძ, რომლის მიმართულებაც განისაზღვრება იმავე ლენცის კანონით.

აღსანიშნავია ისიც, რომ ღუზის გრაგნილში გამავალი დენი წარმოშობს მაგნიტურ ნაკადს, ე.წ. ღუზის რეაქციის ნაკადს, რომელიც განსხვავებით ძირითადი მუშა ნაკადისაგან (ნახ. 2.5, ა), მიმართულია ძირითადი მუშა ნაკადის მართობული მიმართულებით (ნახ. 2.5, ბ) და საბოლოო ჯამში იწვევს მის დამახინჯებას (ნახ. 2.5, გ). აღნიშნულის გამო გეომეტრიულ ნეიტრალის ზონაში მეოფ სექციებში დაინდუქტირდება, ღუზის რეაქციით გამოწვეული ე.მ.ძ, რომელსაც ბრუნვის ე.მ.ძ-ს უწოდებენ.



ნახ. 2.5.

თუ ღუზის გრაგნილში არ გადის დენი, მაშინ ძრავაში არსებობს მხოლოდ მთავარი პოლუსების მიერ შექმნილი სიმეტრიული მაგნიტური ნაკადი (ნახ. 2.5, ა). ღუზის გრაგნილის დენი წარმოქმნის თავის მაგნიტურ ველს, ე.წ. ღუზის რეაქციის ნაკადს, რომელიც მოქმედებს ძირითადი ნაკადის მართობი მიმართულებით (ნახ. 2.5, ბ). აღნიშნული ნაკადების ზედდება წარმოშობს დამახინჯებულ რეზულტირებულ ნაკადს (ნახ. 2.5, გ), რომელსაც გააჩნია გეომეტრიული (1-1') და ფიზიკური (2-2') ნეიტრალები. გენერატორულ რეჟიმში ფიზიკური ნეიტრალი გადაადგილდება ღუზის ბრუნვის მიმართულებით (ისარი G), ხოლო ძრავულ რეჟიმში ღუზის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ (ისარი M).

აღნიშნულის გამო, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ კომუტაციის პროცესში, ღუზის გრაგნილის მოკლედ შერთულ სექციაში ცირკულირებს დენი, რომელიც შექმნილია თვითინდუქციის, ურთიერთინდუქციის და ბრუნვის ელექტრომამოძრავებელი ძალების ჯამური ქმედებით. მანამ, სანამ ზემოხაზოთვლილი ე.მ.ძ-ბი მცირე სიდიდეებია, კომუტაციის პროცესი ძრავაში მიმდინარეობს მეტნაკლებად ნორმალურად. მაგრამ, თუ კომუტაციაში მონაწილე სექციაში დაგროვილი ელექტრომაგნიტური ენერგია აღმოჩნდება საკმარისი, მეზობელ კოლექტორულ ფირფიტებს შორის ჰაერის იონიზაციისთვის (როდესაც ჰაერი ხდება დენგამტარი), მაშინ მათ შორის წარმოიქმნება ნაპერწკალი, რომელიც შეიძლება გადაიზარდოს ელექტრულ რკალში და წრიულ ცეცხლში, რაც ძრავასათვის სერიოზული ავარიაა.

მუდმივი დენის მანქანებში ფიზიკური პროცესები როგორც ძრავულ, ასევე გენერატორულ რეჟიმში მიმდინარეობს იდენტურად. განსხვავება იმაშია, რომ ღუზის გრაფიკში დაინდუქტირებული ე.მ.ძ-ის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით. გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე წვევის ძრავას მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური მომენტი, მიმართული იქნება ელექტრომაგლის წყვილთვალის მიერ შექმნილი მახრუნებელი მომენტის საწინააღმდეგოდ და წარმოადგენს დამამუხრუჭებელ მომენტს, განსხვავებით წვევის რეჟიმისაგან, როდესაც ძრავულ რეჟიმში ძრავის მიერ შექმნილი მახრუნებელი მომენტი, ასრულებს სასარგებლო მექანიკურ მუშაობას და განაპირობებს მატარებლის სასარგებლო გადაადგილებას სარელსო გზაზე.

2.4. მუდმივი დენის წვევის ძრავების ძირითადი კვანძები

წვევის ძრავა შედგება უძრავი ნაწილისაგან ე.წ. **ჩონჩხისაგან (სტატორი)** და **მოძრავი ღუზისაგან (როტორი)**. მუდმივი დენის წვევის ძრავებში გაბარიტების და მასალების უკეთ გამოყენების მიზნით, სტატორში განთავსებულია მძლავრი მაგნიტური ნაკადის შემქნელი **მაგნიტური სისტემა** (მთავარი პოლუსების გულარები მათზე განთავსებული აგზნების გრაფიკებით), ხოლო როტორი **მბრუნავი ღუზა** შედგება გულარისაგან, რომლის ღრმულებში განთავსებულია ღუზის გრაფიკი.

1. სტატორის კორპუსი, ანუ ძრავას ჩონჩხი მუდმივი დენის ელექტრომაგნიტური სათვის წარმოადგენს თხელკედლიან, ღრუ, დაცვრებული ყურების მქონე ოთხწახნაგიან ფოლადის სხმულს. ძრავას კორპუსი ერთის მხრივ გვერდით შევრილების და ღრეკადი ტრავერსების საშუალებით ეყრდნობა ურიკის ჩარჩოს, ხოლო საპირისპირო მხარეს არსებული შევრილებში განთავსებულ სრიალა საკისრებით ეყრდნობა წყვილთვალის ღერძს. ძრავას ასეთ დამაგრებას უწოდებენ ჩამოკიდებას ნახევრად ღერძზე დაყრდნობით, ანუ ე.წ. **ტრამვაისებრ ჩამოკიდებას** (სახელწოდება განსაზღვრა პირველად ამ ტიპის ჩამოკიდების გამოყენებამ ტრამვაიზე), რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს კბილანა რედუქტორების გამოყენებით, ძრავას დიდი მახრუნებელი მომენტის გადაცემას წამყვან წყვილთვალზე. ზემოდან ძრავას კორპუსზე არსებული მილყელების საშუალებით ძრავაში შეჰყავთ გამაგრებელი ჰაერი და ახდენენ ჰაერის ევაკუაციას. კორპუსის ზედა და ქვედა ნაწილში არსებული ლუკების მეშვეობით ხდება ძრავას შიგთავსის დათვალიერება.

ჩონჩხი წარმოადგენს წვევის ძრავას მაგნიტური სისტემის ნაწილს. პოლუსის შიგა მხარეს არსებულ შევრილებზე სიმეტრიულად მაგრდება მთავარი პოლუსის გულარები, რომლებზეც წინასწარ ჩამოცმულია აგზნების გრაფიკები.

2. მთავარი პოლუსის გულარები აკრეფილია 2-3 მმ სისქის, დატვიფრული ელექტროტექნიკური ფოლადის ფირფიტებისაგან. მასიური ლითონით დამზადებული გულარის შემთხვევაში მათში წარმოიშვება გრიგალური დენები, რომელთა არსებობა ძალზე არასასურველია, რადგან იწვევენ გულარების გახურებას და ენერჯის დამატებით დანაკარგებს. ფოლადის ფირფიტებისაგან აკრეფილი გულარების გამოყენების შემთხვევაში კი, იზრდება გრიგალური დენების კონტურის წინააღმდეგობა, რაც ამ დენების მნიშვნელობას ამცირებს მინიმუმამდე.

3. მთავარი პოლუსების აგზნების გრაგნილები შესრულებულია კოჭების სახით, მართკუთხა ფორმის სპილენძის სადენით, სიბრტყით დახვევით ორ ფენად. ხეიბი და ფენები იზოლირებულია ერთმანეთისგან და კორპუსისგან.

4. წვეის ძრავას ღუზა, ისე როგორც პოლუსების გულარები, გრიგალური დენების შემცირების მიზნით, აკრეფილია საიზოლაციო ლაქგასმულ, ელექტროტექნიკური თხელი (0,35 მმ სისქის), დატვიფრის გზით მიღებული ფირფიტებისაგან. გარე წრესთან ახლოს, დატვიფრის გზით ფირფიტებს უკეთდება მართკუთხა ფორმის ამონაჭრები ე.წ. ღრმული. ფირფიტების აგროვების შემდეგ წარმოიქმნება გრძივი ღრმულები, რომლებშიც ათავსებენ ღუზის გრაგნილს. ღუზის გრაგნილი შესრულებულია სპილენძის ცალკე იზოლირებული სექციისაგან (ან ნახევარსექციისაგან). მათ განათავსებენ ღრმულებში, უკეთებენ იზოლაციას და ამაგრებენ საიზოლაციო მასალისაგან დამზადებულ სოლებით და არტახებით.

5. წვეის ძრავას ღუზა დაწნევის გზით დამაგრებულია ძრავას ლილვზე, რომელიც დამზადებულია ქრომონიკელის ზემტკიცე ფოლადისაგან. ლილვის ორთავე მხარეს, დაწნევის გზით, დასმულია ღუზის გორვის საკისრები, რომელთა გარე რგოლები ჩაწნეხილია საკისრების ფარებში. ეს უკანასკნელები კი ხრახნებით მაგრდება ძრავას ჩონჩხის შუბლურ ნაწილებში გაჩარხულ ბუდეებში.

იმისათვის, რომ ძრავას ღუზამ თავისუფლად იბრუნოს, პოლუსის ბუნიკსა და ღუზის გარე ზედაპირს შორის, არსებობს რამდენიმე მილიმეტრიანი საჰაერო ღრეჩო. ეს საჰაერო ღრეჩო მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ძრავას თვისებებს და მახასიათებლებს. ეს აიხსნება იმით, რომ მაგნიტო მამოძრავებელი ძალა (მ.მ.ძ.) ძირითადად იხარჯება ამ საჰაერო ღრეჩოს მაგნიტური წინააღმდეგობის დაძლევაზე. ამ საჰაერო ღრეჩოში თავს იყრის ძირითადი მაგნიტური ნაკადი, რომლის ურთიერთქმედება ღუზის დენთან ქმნის ძრავას მობრუნებელ მომენტს.

6. კოლექტორ-ჯაგრისების კვანძი წარმოადგენს წვეის ძრავას ერთ-ერთ საპასუხისმგებლო ნაწილს, რომელიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მის ნორმალურ მუშაობას. ეს კვანძი შედგება კოლექტორისაგან, ჯაგრისებისა და ჯაგრისების დამჭერი მოწყობილობისაგან.

7. **კოლექტორი** წარმოადგენს ელექტრომექანიკურ გარდამქმნელს, რომელიც ძრავულ რეჟიმში, წვევის ძრავას ჯაგრისებზე მოყვანილ მუდმივ დენს გარდაქმნის ღუზის გრაგნილებში გამავალ ცვლად დენად, ხოლო გენერატორულ რეჟიმში პირიქით, ღუზის გრაგნილის ცვლად დენს გამართვის გზით გარდაქმნის მუდმივ დენად. ჯაგრისის მიერ დამოკლებულ ღუზის გრაგნილის სექციაში დენი მიმართულებას იცვლის მყისურად. ამ პროცესს, როგორც ზემოთ ვნახეთ, **კომუტაცია** ეწოდება. წვევის ძრავას ნომინალური ბრუნთა რიცხვის დროს, დენის გადართვის რაოდენობა შეადგენს 15 000-ს წამში. ანუ ღუზის გრაგნილში დენი პრაქტიკულად ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას. ასეთი დაძაბული მუშაობის პირობების დასაკმყოფილებლად, მის დასამზადებლად საჭიროა დიდი სიზუსტე.

კონსტრუქციულად კოლექტორი წარმოადგენს ფოლადის ცილინდრული ფორმის ყუთზე რადიალური მიმართულებით აკრეფილ სპეციალური კადმიუმის მტკიცე სპილენძის ფირფიტებს, რომლებიც ერთმანეთისაგან იზოლირებულია სითბოსადმი და ნესტისადმი მედეგი, მაღალი ელექტრული სიმტკიცის მქონე მიკანიტის ფირფიტებით. ცილინდრზე საიმედო დამაგრების მიზნით, სპილენძის ფირფიტების ქვედა ნაწილს აძლევენ მერცხლის კუდის ფორმას. კოლექტორს დაწნეხვით ამაგრებენ ძრავას ლილვზე. კოლექტორის ყოველი ფირფიტის შეფერილზე გააკეთებენ ჭრილებს, რომელშიც ათავსებენ ღუზის გრაგნილის სექციების გამომყვან ბოლოებს და საიმედოდ ახდენენ მათ მირჩილვას.

წვევის ძრავაში დენის შეყვანა ხდება **ჯაგრისების** საშუალებით. ჯაგრისებს განალაგებენ ძირითადი მაგნიტური ნაკადის გეომეტრიულ ნეიტრალზე, რაც მნიშვნელოვნად ამსუბუქებს კომუტაციას. კომუტაცია მიმდინარეობს რთულ პირობებში, რაც გამოწვეულია სარელსო გზის არათანაბარი მონაკვეთების გაგლისას წარმოქმნილი შემთხვევითი დინამიკური ძალების კოლექტორზე და ჯაგრისებზე ზემოქმედებით.

ჯაგრისებს ამზადებენ სპეციალური მტკიცე მასალისაგან, რომელსაც აქვს დიდი გარდამავალი ელექტრული წინაღობა, მცირე ხახუნის კოეფიციენტი. ისინი უშვებენ დენის ნომინალურ სიმკვრივეს 10-12 ამპ/სმ². ჯაგრისის სიგანე ერთდროულად ფარავს კოლექტორის რამდენიმე ფირფიტას, რის გამოც ერთი ჯაგრისის ქვეშ ერთდროულად კომუტაციას განიცდის ღუზის გრაგნილის რამდენიმე სექცია.

კომუტაციის პირობების გაუმჯობესების მიზნით გატარებული კონსტრუქციული ღონისძიებები, პირველ რიგში, მიმართულია ღუზის რეაქციით გამოწვეულ ძირითადი მაგნიტური ნაკადის დამახინჯების აღმოსაფხვრელად. ამ მიზნით:

1. ზრდიან საჰაერო ღრეჩოს პოლუსის ცენტრიდან პერიფერიის მიმართულებით;

2. მთავარ პოლუსებს შორის, გეომეტრიული ნეიტრალის ზონაში, ათავსებენ დამატებით პოლუსებს;
3. მთავარ პოლუსების გულარის ბუნიკებში ჭრიან სპეციალურ ღრმულებს, რომლებშიც ათავსებენ საკომპენსაციო გრაგნილებს.

არათანაბარი საჰაერო ღრეჩო, მთავარ პოლუსის ბუნიკსა და ღუზის გარე ზედაპირს შორის, საშუალებას გვაძლევს შევქმნათ მაგნიტური ნაკადის უფრო თანაბარი სიმკვრივე, მთავარი პოლუსების ქვეშ.

დამატებითი პოლუსების გრაგნილები, რომლებიც ყველაზე ეფექტურად ამცირებენ ღუზის რეაქციას, ქმნიან მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც აკომპენსირებს ძირითადი ნაკადის დამახინჯებას. ამავე მიზანს ემსახურება **საკომპენსაციო გრაგნილები**.

ეს გრაგნილები ქმნიან ღუზის რეაქციის ნაკადის საპირისპიროდ (განივად) მიმართულ მაკომპენსირებელ ნაკადს, არ ახდენენ ზეგავლენას ძრავას ძირითად მუშა ნაკადზე და შესაბამისად ძრავას მიერ განვითარებულ მომენტზე.

ძრავას ნორმალურ პირობებში მუშაობისას **კომუტაციის ხარისხი** ფასდება ჯაგრისების ნაპერწკლიანობის ხარისხით, სხვაგვარად **კომუტაციის კლასით**.

წვევის ძრავას საიმედო მუშაობას მნიშვნელოვნად განაპირობებს გამოყენებული **იზოლაცია**, რომლითაც მაღალი ძაბვას ქვეშ მყოფი ძრავას ცალკეული კვანძები იზოლირებულია ერთმანეთისგან და კორპუსისგან (მიწისგან).

თანამედროვე წვევის ძრავებში იყენებენ იზოლაციის სამ სახეს:

- ა) ხვიათაშორისო იზოლაციას,
- ბ) კორპუსულ იზოლაციას,
- გ) საფარველ იზოლაციას, რომელიც გამოიყენება ძირითადი იზოლაციის მექანიკური დაზიანებისაგან დასაცავად.

პოლიმერების სფეროში მნიშვნელოვანმა გარღვევებმა საფუძველი ჩაუყარეს ახალი საიზოლაციო მასალების შექმნას, რომლებიც ხასიათდებიან მაღალი ელექტრული და მექანიკური სიმტკიცით და მაღალი ტემპერატურებისადმი მედეგობით.

2.5. მუდმივი დენის წვევის ძრავების პარამეტრები

წვევის ძრავების მუშაობის ურთულესი პირობები (ვიბრაცია, ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედება, დატვირთვის ცვლილება დიდ ფარგლებში, მკვებავი ძაბვის მერყეობა და ა.შ.) და გამოყოფილ ვიწრო გაბარიტებში დიდი სიმძლავრის ჩატევისაკენ სწრაფვა, განაპირობებს მათ ზღვრული შესაძლებლობებით შესრულებას. მათი სიმძლავრეების ოპტიმალურად გამოყენების ხარისხს კი განსაზღვრავს გზის პროფილი, მატარებლის მოძრაობის პირობები და მატარებლების მასა. გზის

პროფილი თითქმის არ იცვლება. აქედან გამომდინარე გზის გამტარუნარიანობის გაზრდისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მატარებლების მასის გაზრდას და მოძრაობის სწორ ორგანიზაციას. ამ საკითხების საუკეთესო გადაწყვეტაში დიდ როლს თამაშობს ელექტრომომარგების სისტემების და უშუალოდ ელექტრომომარგი შემადგენლობის რეგულირების თვისებების კომპლექსური შეფასების ხარისხი. რთული პროფილის უბნების დაძლევისთვის ხშირად ადგილი აქვს, როგორც ე.მ.შ-ის მოწყობილობის, ასევე ელექტრომომარგების სისტემის ხანმოკლედ დიდ დატვირთვას. წვეის ქვესადგურის მკვებავ ფიდერებზე უცვლელი ძაბვის პირობებში დატვირთვის გაზრდა იწვევს მოხმარებული დენების ზრდას, ეს უკანასკნელი კი, საკონტაქტო ქსელში, ელექტროენერჯის დანაკარგების ზრდას.

წვეის ძრავების საპროექტო ანგარიშებში განსაზღვრავენ:

1. ძრავას მომჭერებზე ძაბვის ნომინალურ მნიშვნელობას;
2. ძრავას ნომინალურ სიმძლავრეს;
3. მატარებელი მომენტის ნომინალურ მნიშვნელობას;
4. წვეილთვალზე წვეის ძალის ნომინალურ მნიშვნელობას.

გარდა აღნიშნულისა განსაზღვრავენ, აგრეთვე, წვეის ძრავას მაქსიმალურ ბრუნთა რიცხვს და რედუქტორის პარამეტრების გათვალისწინებით ე.მ.შ-ს მაქსიმალურ სიჩქარეს.

ხანგრძლივი საექსპლუატაციო გამოცდილება აჩვენებს, რომ წვეის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის ოპტიმალური მნიშვნელობაა 750-900 ვოლტი. ამ დროს ყველაზე ეფექტურადაა გამოყენებული ძრავას გაბარიტები, შესაბამისი სიმძლავრებისათვის.

მაქსიმალურ სიმძლავრეს ძრავა ანვითარებს მაქსიმალური ბრუნთა რიცხვის დროს, მაგრამ გათვალისწინებული უნდა იქნეს მაქსიმალური ბრუნთა რიცხვების შეზღუდვა, კომუტაციის პირობების მოსალოდნელი გაუარესების და ცენტრიდანული ძალების ზრდით გამოწვეული მექანიკური ძალების შეზღუდვის აუცილებლობით.

საჭიროა ვიცოდეთ, რომ წვეის ძრავას ძირითად გაბარიტებს: ღუზის დიამეტრს და მისი გულარის სიგრძეს განსაზღვრავს არა სიმძლავრე, არამედ მატარებელი მომენტი. ძრავას ეს პარამეტრები დაკავშირებულია მის მექანიკურ და ელექტრულ დატვირთვებთან. კერძოდ, საჰაერო ღრეჩოში მაგნიტური ნაკადის სიმკვრივესთან (ინდუქციასთან) და ღუზის ბრუნთა რიცხვთან.

ძრავაში მაგნიტური ნაკადი განისაზღვრება, ელექტრულ წრედებში დენის განსაზღვრის მსგავსად,

$$\Phi = \frac{F_{\text{მთ}}}{\sum R_{\mu}}, \quad (2.1)$$

სადაც, $F_{\text{მა}} \equiv IW$ არის მთავარი პოლუსის კოჭების მიერ შექმნილი მაგნიტომამოძრავებელი ძალა (მმძ).

I – კოჭებში გამავალი დენის მნიშვნელობა.

W – კოჭების ხვიათა რიცხვი.

ΣR_{μ} – წვეის ძრავას მაგნიტური წრედის უბნების მაგნიტური წინააღმდეგობების ჯამი.

წვეის ძრავას მაგნიტური წრედი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ, როგორც მიმდევრულად შეერთებული უბნები – მთავარი პოლუსის გულარები, საჰაერო ღრეჩო, ღუზის გულარის კბილები, ღუზის გულარა, ჩონჩხის უღელი. ყოველი უბნის მაგნიტური წინააღმდეგობა დამოკიდებულია ამ უბნის მასალაზე. გულარებში და ჩონჩხში გამოყენებული ელექტროტექნიკური ფოლადის მაგნიტური ინდუქცია უმნიშვნელო მმძ-ის შემთხვევაშიც კი დიდია. აგზნების დენის ზრდისას დასაწყისში ინდუქცია იზრდება, მაგრამ შემდეგ მაგნიტური სისტემის გაუქმების გამო, აგზნების დენის შემდგომი ზრდა აღარ იწვევს ინდუქციის გაზრდას. ის რჩება მაქსიმალური და უცვლელი.

გავიგებთ რა მაგნიტური ნაკადის მნიშვნელობას, ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად, განვსაზღვრავთ ღუზის გრაგნილში აღძრულ ელექტრომამოძრავებელ ძალას (ემძ)

$$E = C_e \Phi \cdot n. \quad (2.2)$$

სადაც, C_e არის ძრავას კონსტრუქციული მუდმივა და ტოლია $C_e = \frac{PN}{60 \cdot \alpha}$.

P – ძრავას წვეილ პოლუსთა რიცხვი.

N – გამტართა რიცხვი.

α – ღუზის გრაგნილის პარალელურ შტოთა რიცხვი.

n – ძრავას ლილვის (ღუზის) ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ.

თუ ვიცით ძრავას ბრუნთა რიცხვის მნიშვნელობა და გადამცემი რედუქტორის პარამეტრები, შეგვიძლია განვსაზღვროთ ემძ-ს სიჩქარე V კმ/სთ.

$$V = \frac{0,188D \cdot n}{\mu} \quad \text{კმ/სთ}, \quad (2.3)$$

სადაც D არის წვეილთვალის დიამეტრი მეტრებში.

μ – რედუქტორის გადაცემის რიცხვი, რომელიც პრაქტიკაში იცვლება 3.5–4.5 ფარგლებში.

$0,188 = \frac{3,14 \cdot 60}{1000}$; $3,14 = \pi$; 60-წუთების საათებში გადამყვანი კოეფიციენტი.

1 000 – კი მეტრების კილომეტრებში გადამყვანი კოეფიციენტი.

ძრავას მუშაობის დამყარებულ რეჟიმში არსებობს ელექტრული წონასწორობა მომჭერებზე მოდებულ ძაბვასა – U , ძრავას ღუზაში დაინდუქტირებულ ემძ-სა – E -ს

და ძრავას წრედში ძაბვის ვარდნას $-IR$ -ს შორის (I – ძრავაში გამავალი დენია, R – ძრავას წრედის აქტიური წინააღმდეგობაა). ე.ი. ვწერთ

$$U = E + IR. \quad (2.4)$$

თუ E აღმოჩნდება მეტი ძაბვაზე U -ზე, მაშინ დენი შეიცვლის მიმართულებას და წავა ქსელში, ანუ ძრავა დაიწყებს მუშაობას გენერატორულ რეჟიმში.

ამუშაების დასაწყისში, როდესაც ძრავა არ ბრუნავს $n=0$, ანუ $E=C_e\Phi n=0$, მივიღებთ $U=IR$, აქედან ძრავაში გამავალი დენი ტოლი იქნება $I=\frac{U}{R}$ და იქნება დასაშვებზე გაცილებით დიდი, რადგან ძრავას წრედის აქტიური წინააღმდეგობა $R \approx 0.1$ ომის რიგისაა. მაგალითად, $U=500$ ვოლტი ძაბვის დროს, დაძვრის პროცესში, ძრავაში გამავალი დენი ტოლი იქნება $500/0,1=5000$ ამპერის, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ძრავას როგორც თბური, ასევე მექანიკური დაზიანება. ამის თავიდან ასაცილებლად ახდენენ ამ დენების შეზღუდვას, რასაც დეტალურად ვნახავთ ქვემოთ.

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ის, რომ ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი არაა დამოკიდებული ძრავას მომჭერებზე მოდებული ძაბვის სიდიდეზე, არამედ დამოკიდებულია ძრავას ღუზაში გამავალ დენის სიდიდეზე I -ზე და მაგნიტური ნაკადის სიდიდეზე Φ -ზე. ეს უკანასკნელი, როგორც ვიცით, იქმნება აგზნების გრაგნილში გამავალი დენით I_s . ე.ი.

$$M = C_M \Phi I. \quad (2.5)$$

სადაც, $C_M = \frac{pN}{2\pi a}$ არის ძრავას კონსტრუქციაზე დამოკიდებული კოეფიციენტი.

ძრავას მახრუნებელი მომენტის M და ღუზის კუთხური სიჩქარის ω -ს ნამრავლი წარმოადგენს ძრავას მექანიკურ სიმძლავრეს, რომელიც გვიჩვენებს თუ, რა სიდიდის ელექტროენერგიის გარდაქმნა შეუძლია მექანიკურ ენერგიად მოცემულ ძრავას დროის ერთეულში. $P_2 = M \cdot \omega \frac{\text{კბმ}}{\text{წმ}}$. ძრავას სიმძლავრე შეგვიძლია განვსაზ-

ღვროთ ორი მხრიდან, წვეის ძრავას ე.წ. “შესასვლელის” მხრიდან $P_1 = UI$ და ძრავას ლილვის (გამოსასვლელის) მხრიდან $P_2 = M \cdot \omega$; ეს ორი სიმძლავრე ერთმანეთისგან განსხვავდება ძრავაში სიმძლავრის ელექტრული, მაგნიტური და მექანიკური დანაკარგების არსებობით. ამ უკანასკნელის გათვალისწინება ხდება ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტით (მქკ) η . საბოლოოდ შეგვიძლია დავწეროთ

$$UI\eta = M\omega. \quad (2.6)$$

აქედან შეგვიძლია განვსაზღვროთ ძრავას მქკ-ი η

$$\eta = \frac{M\omega}{UI} = \frac{P_2}{P_1}. \quad (2.7)$$

2.6. მუდმივი დენის წვეის ძრავების მახასიათებლები

წვეის ძრავას მუშაობისას, ერთმანეთთან ურთიერთკავშირშია ელექტრული და მექანიკური სიდიდეები. ჩვენ გვინტერესებს ძრავას მიერ რეალიზებული მომენტი M , ბრუნვის სიხშირე n და მასში ენერჯის დანაკარგები η , განვითარებული სიმძლავრის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. ხოლო, თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ძრავას სიმძლავრეზე შეგვიძლია ვიმსჯელოთ მის მიერ მოხმარებული დენით I -თი, მაშინ მათ შორის ურთიერთდამოკიდებულებას მათემატიკურად გამოსახავენ, როგორც $M_j(I_j)$, $n_j(I_j)$, $\eta_j(I_j)$ და მათ ძრავას **ელექტრომექანიკურ მახასიათებლებს** უწოდებენ.

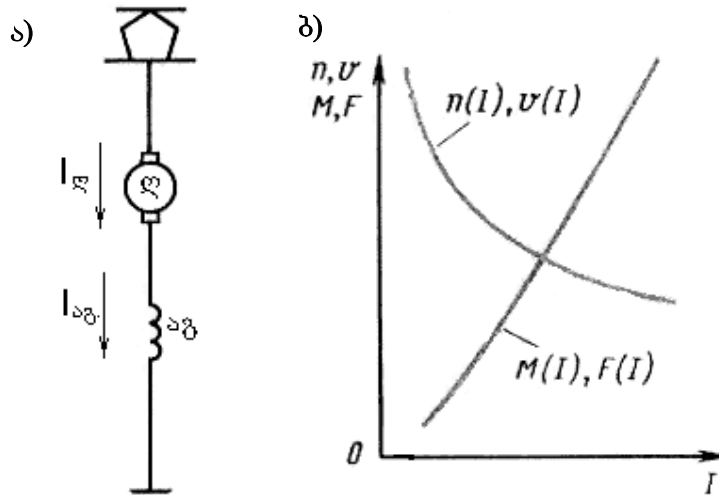
ვინაიდან ელექტრომოდრავი შემადგენლობის შესაძლებლობები სიჩქარის სახით რეალიზდება წყვილთვალისა და რელსის შესების ზონაში, ამიტომ მიზანშეწონილია ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლები გადათვლილი იქნეს წყვილთვალის რელსთან შესების ზონის მიმართ, რა თქმა უნდა, რედუქტორის გადაცემის რიცხვის და წყვილთვალის დიამეტრის გათვალისწინებით. ამგვარად, განსაზღვრული დამოკიდებულებები $V(I_j)$, $F(I_j)$ და $\eta_{\text{ელ}}(I_j)$ ($\eta_{\text{ელ}} = \eta_a \cdot \eta_{\text{რედ}}$; $\eta_{\text{რედ}}$ არის რედუქტორის მ.ქ.კ.) იწოდება **ელექტროწვეით მახასიათებლებად**.

$V(I_j)$, $F(I_j)$ ელექტროწვეითი მახასიათებლების საშუალებით აგებენ ელექტრომოდრავი შემადგენლობის წვეის მახასიათებელს $F_{\text{ელ}}(V)$, რომელიც მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მატარებელთა მოძრაობასთან დაკავშირებულ მრავალ ტექნიკურ-ეკონომიკური ამოცანის გადაწყვეტაში.

იმისათვის, რომ ავაგოთ ე.მ.შ-ს წვეის მახასიათებელი $F_{\text{ელ}}(V)$, წინასწარ ცნობილი ელექტროწვეითი მახასიათებლების საშუალებით, საჭიროა ერთი წყვილთვალის შესაბამისი წვეის ძალა გავამრავლოთ ე.მ.შ-ს წვეის ძრავების რიცხვზე. იმის გათვალისწინებით, რომ თითოეული წყვილთვალი მოძრაობაში მოდის თავისი წვეის ძრავათი.

ელექტრომექანიკური და ელექტროწვეითი მახასიათებლების სახე განისაზღვრება, პირველ რიგში, წვეის ძრავას აგზნების სისტემით, ანუ სხვაგვარად, აგზნების დენსა და ღუზის დენს შორის დამოკიდებულებით. ეს უკანასკნელი კი დამოკიდებულია აგზნების გრაგნილის, ღუზის გრაგნილის მიმართ ჩართვის სქემაზე.

აგზნების გრაგნილი შეიძლება ჩართული იყოს ღუზის გრაგნილის მიმდევრობით. ასეთი ტიპის ძრავას უწოდებენ **მიმდევრობითაგზნებიან ძრავას**. მისი დამახასიათებელი თვისებაა ის, რომ ღუზის და აგზნების გრაგნილში გადის ერთი და იგივე დენი (ნახ. 2.6. ა).



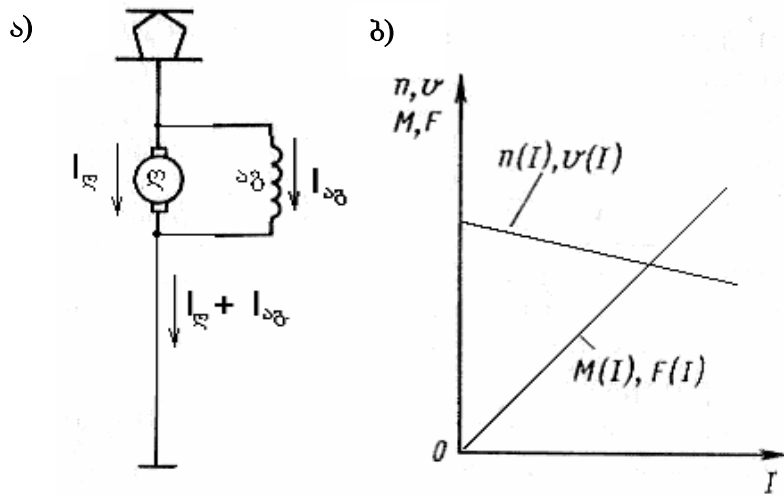
ნახ. 2.6. მიმდევრობით აგზნებიან წვევის ძრავებს აქვთ რბილი ელექტრომექანიკური $n(I), M(I)$ მახასიათებლები ლილვის მიმართ. რადგან ხაზოვანი სინქარე V პროპორციულია ბრუნთა რიცხვის n -ის, ხოლო წვევის ძალა F პროპორციულია მომენტის M -ის, ამიტომ ელექტროწვევით მახასიათებლებს $V(I), F(I)$ წვევითვალის ფერსოს მიმართ ექნებათ იგივე ფორმა, ოღონდ სხვა მასშტაბში (ისინი განსხვავდებიან რაოდენობრივად).

თუ აგზნების გრაგნილს ჩაერთავთ ღუზის გრაგნილის პარალელურად (ნახ. 2.7. ა), ასეთ ძრავას უწოდებენ **პარალელურ აგზნებიან ძრავას**. მისი დამახასიათებელი თვისებაა ის, რომ ძრავას ღუზაში გადის ღუზის დენი $I_{\text{ღ}}$, ხოლო აგზნების გრაგნილში გადის სხვა – აგზნების დენი $I_{\text{აგ}}$, ძრავას წრედში კი ცირკულირებს ამ ორი დენის ჯამი $I_{\text{ღ}} + I_{\text{აგ}}$.

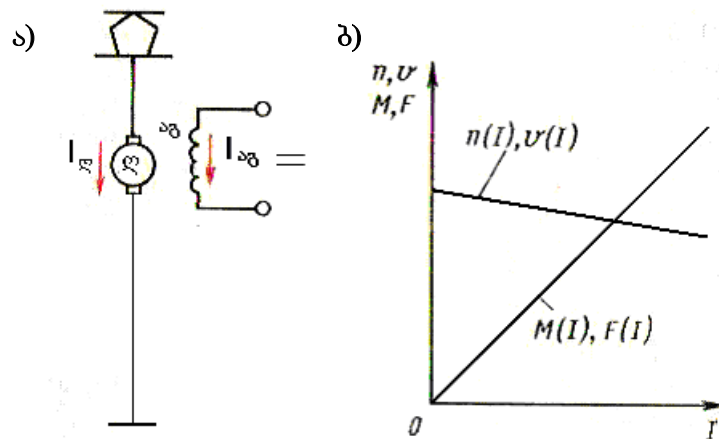
ძრავას აგზნების გრაგნილი შეიძლება არ მივაერთოთ ღუზის გრაგნილთან და ჩაერთოთ დამოუკიდებელ დენის წყაროზე. ასეთი ტიპის ძრავას **დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავას უწოდებენ** (ნახ. 2.8, ა). როგორც წესი, ასეთ ძრავებს აქვთ ხისტი მახასიათებლები (ნახ. 2.8, ბ), მაგრამ ავტომატური მარეგულირებელი მოწყობილობების გამოყენებით შეგვიძლია ვცვალოთ მახასიათებლების სიხისტის ხარისხი და შესაბამისად ძრავას თვისება.

ძრავას შეიძლება გააჩნდეს ორი აგზნების გრაგნილი. ერთი ჩაერთოს ღუზის გრაგნილის მიმდევრობით, ხოლო მეორე დამოუკიდებელ დენის წყაროზე. ასეთი ტიპის ძრავას **შერეულ აგზნებიან ძრავას უწოდებენ**. იმის მიხედვით, თუ ცალკეული აგზნების გრაგნილების მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადები ერთმანეთს აძლიერე-

ბენ, თუ ასუსტებენ (ანუ რა პოლარობით არიან ჩართულნი აგზნების გრაგნილები), გვაქვს შერეულ შემხვედრ აგზნებიანი და შერეულ თანხვედრილ აგზნებიანი ძრავები.



ნახ. 2.7. პარალელურ აგზნებიან ძრავას აქვს ხისტი ელექტრომექანიკური მახასიათებლები $n(I), M(I)$ ლილვის მიმართ. აქაც ელექტროწვეით მახასიათებლებს $V(I), F(I)$ წვეილთვალის ფერსოს მიმართ ექნებათ იგივე ფორმა, ოღონდ სხვა მასშტაბში. (ისინი განსხვავდებიან რაოდენობრივად).



ნახ. 2.8. დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავას აქვს ხისტი ელექტრომექანიკური მახასიათებლები $n(I), M(I)$ ლილვის მიმართ, რომელთა სიხისტის ხარისხი შეგვიძლია ვარეგულიროთ. აქაც ელექტროწვეით მახასიათებლებს $V(I), F(I)$ წვეილთვალის ფერსოს მიმართ ექნებათ იგივე ფორმა, ოღონდ სხვა მასშტაბში (ისინი განსხვავდებიან რაოდენობრივად).

მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავებისთვის ძაბვათა ბალანსის განტოლებიდან თუ განვსაზღვრავთ სიჩქარეს, მივიღებთ

$$V = \frac{(U - I_j R_j)}{C \cdot \Phi} \quad (2.8)$$

ვინაიდან ღუზის დენი და აგზნების დენი ასეთ ძრავებში ერთი და იგივეა, ამიტომ მანქანის მაგნიტური გაუდენთვის ზონაში შესვლამდე, მაგნიტური ნაკადი

პროპორციულია ღუზის (რაც იგივე აგზნების) დენის და იზრდება მის პროპორციულად. ე.ი. დატვირთვის (ძრავას დენის) ზრდისას (2.8) განტოლების მრიცხველი მცირდება, ხოლო ერთდროულად მნიშვნელოვანი იზრდება, რის გამოც სიჩქარე მკვეთრად მცირდება. ძრავას, მაგნიტური გაუქმების ზონაში შესვლისას (დიდი დენების დროს), სიჩქარე მცირდება ნაკლები ინტენსივობით.

ძრავას მიერ განვითარებული მომენტის (წვევის ძალის) მე-(2.5) ფორმულაში ძრავას მაგნიტური სისტემის გაუქმებამდე, მაგნიტური ნაკადი შეგვიძლია წარმოვადგინოთ როგორც $\Phi = kI$ (ნაკადი პროპორციულია ღუზის დენის), მაშინ მომენტი განისაზღვრება როგორც $M = kC_M I^2$, ე.ი. დაძვრის მომენტში, მცირე დენების დროს, ძრავას მაგნიტური სისტემის გაუქმებამდე, განვითარებული მომენტი (წვევის ძალა) დენის კვადრატის პროპორციულია. მაგნიტური გაუქმების ზონაში შესვლის შემდეგ მომენტი იზრდება წრფივად.

მიმდევრობით აგზნებიან ძრავას აქვს მთელი რიგი უპირატესობები:

- პროფილის ცვლილებისას რეგულირება ხდება ავტომატურად. კერძოდ, პროფილის მძიმე ქანობზე გადასვლისას, სიჩქარე იწვევს კლებას, ერთდროულად იზრდება ძრავას დენი, წვევის ძალა და ხდება გაზრდილი წინააღმდეგობის ძალის დაძლევა გარედან ჩაურევლად (ავტომატურად).
- დატვირთვის გადანაწილება პარალელურად მომუშავე ძრავებს შორის არ მოითხოვს დამატებითი ღონისძიებების გატარებას.
- კონსტრუქციულად მარტივი და საიმედოა.
- ნაკლებად მკძნობიარეა ქსელში ძაბვის მერყეობის მიმართ.

ერთდროულად, ამ ტიპის ძრავას აქვს სერიოზული ნაკლოვანებები:

- არ შეუძლია ავტომატურად გადასვლა ელექტრული (გენერატორული) დამუხრუჭების რეჟიმში.
- რთულ პროფილებზე მოძრაობისას, მოძრაობისადმი გაზრდილი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევის მიზნით, წვევის ძალის გაზრდა (მაგნიტური სისტემის გაუქმების გამო) ხდება მხოლოდ ღუზის დენის გაზრდის ხარჯზე, სიჩქარეები მცირდება, რის გამოც იზრდება სვლის დროები და ძრავას გახურების ტემპერატურა.
- არაეფექტურად ხდება ჩაჭიდების წონის გამოყენება (დაწვრილებით განვიხილავთ ქვემოთ).

დამოუკიდებელი აგზნების შემთხვევაში, იმის გამო, რომ აგზნების გრაფილი, რომელიც ქმნის მაგნიტურ ნაკადს, იკვებება დამოუკიდებელი კვების წყაროდან,

დატვირთვის (დუზის დენის) ზრდისას ძრავას ბრუნთა რიცხვი, ანუ მოძრაობის სიჩქარე იცვლება უმნიშვნელოდ. (ნახ. 2.7, ბ) $V(I)$ მახასიათებელი ოდნავ დახრილი წრფეა, რაც ნიშნავს პროფილის ნებისმიერ ელემენტზე მოძრაობისას სიჩქარე თითქმის არ იცვლება. ასეთ მახასიათებელს უწოდებენ **ხისტ მახასიათებელს**.

დიდი უპირატესობაა ის, რომ ხისტი მახასიათებლების მქონე დამოუკიდებელ აგზნებიანი წვევის ძრავებით აღჭურვილ ე.მ.შ-ას შეუძლია რეალიზება გაუკეთოს 15-20%-ით მეტ ჩაჭიდების წვევის ძალას, ვიდრე ე.მ.შ-ს მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავებით, რაც განსაკუთრებით ეფექტურია რთული მთაგორიანი რკინიგზის უბნებისათვის. უპირატესობაა ისიც, რომ ასეთი ტიპის ძრავებს შეუძლიათ ავტომატური გადასვლა ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმში და იქ მდგრადად მუშაობა.

ნაკლია, საჭირო დამატებითი ღონისძიებების გატარება, პარალელურად მომუშავე ძრავებს შორის დატვირთვის თანაბარი გადანაწილების უზრუნველსაყოფად.

ხშირად წვევის ძრავების დამზადების ან შეკეთების დროს არსებული ტექნოლოგიური დაშვებების გამო, განსხვავებაა ერთი ტიპის წვევის ძრავების ელექტრომექანიკურ მახასიათებლებს შორის. ასევე, შეიძლება განსხვავება იყოს წვევითვალის არტახების დიამეტრებს შორის. ასეთი გაბნეული მახასიათებლების მქონე ამძრავების გამოყენება, ერთ მოძრავ, შემადგენლობაზე დაუშვებელია. ამიტომ, პრაქტიკაში ცდილობენ წვევის ძრავები და წამყვანი წვევითვალეების არტახები შეარჩიონ ისე, რომ დაკმაყოფილდეს პირობა

$$n_1 D_1 = n_2 D_2 = \dots n_k D_k = const. \quad (2.9)$$

2.7. უკოლექტორო წვევის ძრავები და მათი თავისებურებები

დღეისათვის ფართოდ გამოყენებულ მუდმივი დენის და პულსირებულ დენზე მომუშავე წვევის ძრავებს აქვთ მთელი რიგი ნაკლოვანებები. მათ შორის უმთავრესია კოლექტორის არსებობა, რომელიც

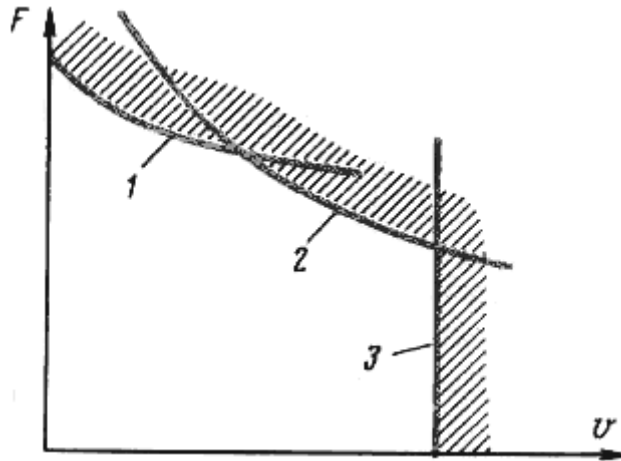
- რთულ პირობებში მუშაობის გამო მოითხოვს ექსპლუატაციაში განსაკუთრებულ მომსახურებას, ძვირია და მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ძრავას საიმედოობას;
- ითვლება ძრავას სიმძლავრის და სიჩქარის (ბრუნთა რიცხვის) შემზღუდავ მთავარ კვანძად.

ცვლადი დენის სამ ფაზაზე მომუშავე წვევის ძრავები (ე.წ. ასინქრონული და სინქრონული ელექტრული მანქანები) არ საჭიროებენ კოლექტორს. ეს მანქანები იმავე გაბარიტებში (გაბარიტებს განსაზღვრავს სარელსო გზის სიგანე) იძლევიან გაცილებით მეტ სიმძლავრეს (უშვებენ გაცილებით მეტ ბრუნთა რიცხვს),

გამოირჩევიან ერთეულ სიმძლავრეზე ნაკლები მასით, სიიაფით, კონსტრუქციის, მომსახურების სიმარტივით და ექსპლუატაციაში მაღალი საიმედოობით.

დღემდე აღნიშნულ უკოლექტრო ვევის ძრავების ფართოდ გამოყენებას ზღუდავდა ორი ძირითადი ფაქტორი:

1. საკონტაქტო ქსელში არსებული ერთფაზა ცვლადი დენის (ან მუდმივი დენის) სამფაზა ცვლად დენად გარდაქმნის სირთულე;
2. რეგულირების სისტემების შექმნის გზაზე განსაკუთრებული ტექნიკური სირთულე.



ნახ. 2.9. უკოლექტრო ვევის ძრავებიანი ე.მ.შ. ტრისტორული რეგულირებით, საშუალებას იძლევა ვევითი შესაძლებლობები სრულად გამოვიყენოთ საქსპლუატაციო შეზღუდვების (1 - ჩაჭიდებით, 2 - ძაბვით, 3 - მაქსიმალური სინქარით) შიგნით, მთელ არიალში.

ნახევარგამტარულ ტექნიკაში ბოლო წლებში განხორციელებულმა დიდმა ძვრებმა, შესაძლებელი გახადა აღნიშნული პრობლემების მოხსნა. დღეისათვის საზღვარგარეთის მთელ რიგ ქვეყნებში (გერმანია, შვეიცარია, ჩეხეთი, იაპონია) შექმნილია სამფაზა ასინქრონულ ძრავების ბაზაზე მომუშავე არამარტო საცდელი, არამედ სერიული ელექტრომავლები და ელექტრომატარებლები, რომელთა ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად აღემატება დღემდე არსებულ მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობების ანალოგიურ მაჩვენებლებს.

სრულად მართვადი ნახევარგამტარების ბაზაზე შექმნილი რეგულატორები საშუალებას იძლევიან მთლიანად იყოს რეალიზებული, უკოლექტრო ვევის ძრავების ბაზაზე შექმნილი, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის ვევითი შესაძლებლობები, მათი მუშაობის საქსპლუატაციო შეზღუდვების მთელ არეალში (იხ.ნახ.2.9). რეგულირების ამოცანა კი მდგომარეობს საკონტაქტო ქსელში არსებული ძაბვა და დენი, მოთხოვნილი კანონის შესაბამისად, გარდაქმნათ უკოლექტრო ვევის ძრავების გრაგნილებისათვის საჭირო ძაბვად და დენად, მაღალი საიმედოობით და მინიმალური დანაკარგებით.

2.8. ასინქრონული წევის ძრავები და მათი მახასიათებლები

ელექტრულ ძრავებში კონსტრუქციულად ყველაზე მარტივია ერთფაზა ასინქრონული ძრავა, მაგრამ მისი მთავარი ნაკლია არ გააჩნია საწყისი მახრუნებელი მომენტი. ეს აიხსნება იმით, რომ ამ ძრავაში გამავალი დენი და მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი პულსირებს ერთდროულად, ერთნაირი სიხშირით. ბრუნავი მომენტის შესაქმნელად კი საჭიროა მათ შორის იყოს ფაზით წანაცვლება. თუ ამ ძრავას სტატორში განვითავებთ ორ ერთმანეთის მიმართ 90° -ით წანაცვლებულ გრაგნილს და მათ მივაწვდით კვებას ცალკეული ფაზიდან, მაშინ წარმოიქმნება არასიმეტრიული მბრუნავი მაგნიტური ველი, რომელიც როტორში დაინდუქტირებს დენს. ამ დენის ქმედება მბრუნავ მაგნიტურ ველთან წარმოქმნის მახრუნებელ მომენტს, მაგრამ, ამ დროს გვექნება ძალზე დიდი დანაკარგები. ამის ნაცვლად, თუ სტატორში განვითავებთ სამ გრაგნილს, რომელიც გეომეტრიულად განლაგებული იქნება 120° კუთხით, მაშინ წარმოიქმნება სიმეტრიული მბრუნავი მაგნიტური ველი. თუ ამ ველში მოვითავსებთ დენგამტარი მასალისაგან დამზადებულ, საკისრებზე მოძრავ ცილინდრს (როტორს), მასში დაინდუქტირდება ელექტრომამოძრავებელი (ე.მ.ძ) ძალა; ამის შედეგად დენი, რომლის ურთიერთქმედება მბრუნავ მაგნიტურ ველთან წარმოქმნის მახრუნებელ მომენტს და როტორი დაიწყებს ბრუნვას.

დანაკარგების შემცირების მიზნით როტორი მზადდება არა მასიური ცილინდრის სახით, არამედ ცილინდრის ღრმულებში ჩაწყობილ იზოლირებულ სპილენძის ღეროებისაგან, რომლებიც თავებში მიდუღებულია ასევე სპილენძისაგან დამზადებულ რგოლებთან. ამგვარად მიიღება მოკლედ შერთული როტორი ე.წ. “ციყვის ბორბალი”, მრავალფაზიანი გრაგნილით, რომელშიც ყოველი ღერო წარმოადგენს ცალკე ფაზურ გამტარს.

მიუხედავად იმისა, რომ ასინქრონული ძრავას როტორი გარეგნულად ჰგავს მუდმივი დენის მბრუნავ ღუზას, კოლექტორის გარეშე, მას არ უწოდებენ ღუზას და უწოდებენ როტორს. განსხვავება იმაშია, რომ მუდმივი დენის მანქანის ღუზა კოლექტორის მეშვეობით უკავშირდება მკვებავ გარე ქსელს, რაც არაა მოკლედ-შერთულ როტორიან ასინქრონულ ძრავაში.

ასინქრონულ ძრავაში როტორის ბრუნვის სიხშირე ოდნავ $(1-3)\%$ -ით ჩამორჩება მბრუნავი მაგნიტური ველის ბრუნვის სიხშირეს (სინქრონულ სიხშირეს), რაც განაპირობებს ამ ძრავის სახელწოდებას **ასინქრონული** (არა სინქრონული).

ვინაიდან $(1-3)\%$ -ა განსხვავება სინქრონულ სიხშირესა და მბრუნავ როტორის სიხშირეს შორის, ამიტომ როტორში დაინდუქტირებული დენის სიხშირეც სწორედ ეს $(1-3)\%$ იქნება.

ასინქრონული ძრავას დამყარებულ რეჟიმში მუშაობის ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრია **როტორის ფარდობითი სრიალი**, რომელიც გამოისახება შემდეგი სახით

$$S = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}, \quad (2.10)$$

ან სხვაგვარად, შეგვიძლია წარმოვსახოთ როგორც

$$S = \frac{(f_1 - f_2)}{f_1} \quad (2.11)$$

სადაც, n_1 – მბრუნავი მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვია,

n_2 – როტორის ბრუნთა რიცხვია,

f_1 არის მბრუნავი მაგნიტური ველის ბრუნვის სიხშირე,

f_2 არის როტორის ბრუნვის სიხშირე.

სხვაობას $\Delta f = f_1 - f_2$ უწოდებენ როტორის **აბსოლუტურ სრიალს**. ფარდობითი სრიალისაგან განსხვავებით **აბსოლუტური სრიალი** არის ძრავას **გარდამავალი რეჟიმების** დამახასიათებელი ძირითადი პარამეტრი.

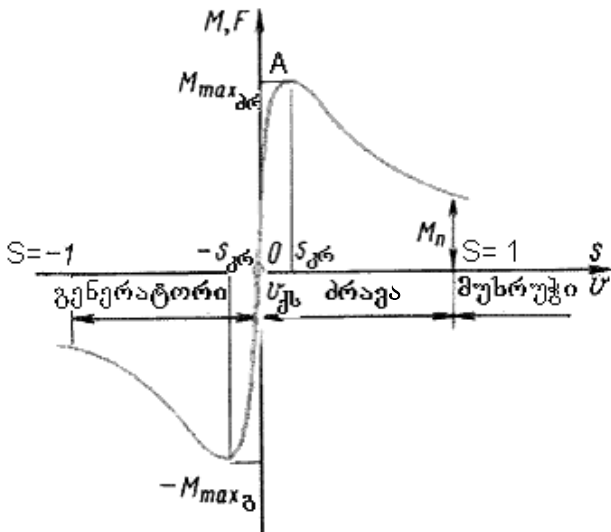
ძრავას ნომინალურ რეჟიმში მუშაობისას, აბსოლუტური სრიალი Δf არ აღემატება 3–4 ჰერცს. სწორედ ასეთი სიხშირე აქვს როტორში დაინდუქტირებულ ემპ-ას და დენს. რაც შეეხება სტატორის გრაგნილის მკვებავი ძაბვის სიხშირეს f_1 , ამ რეჟიმში ტოლია 130-140 ჰერცის. სტატორის მაგნიტური ველის და როტორის ბრუნთა რიცხვი სხვა სიხშირეებზე, ასინქრონულ ძრავაში ენერჯის კარგვები იქნება მეტი, შესაბამისად მ.კ.კ. იქნება დაბალი. ასევე შემცირდება სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\phi$.

უცვლელი მკვებავი ძაბვის U_1 და სიხშირის f_1 დროს დამოკიდებულებას $M(s)$, ასინქრონული ძრავას ბუნებრივ (არარეგულირებად) მახასიათებელს უწოდებენ. M – არის ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი.

ძრავას ამუშაების პროცესში ფარდობითი სრიალი იცვლება $S=1$ -დან (როცა ძრავას როტორი უძრავია), $S=0$ -მდე (როდესაც როტორი ბრუნავს მბრუნავი მაგნიტური ველის სინქრონული ბრუნთა რიცხვით, ანუ როდესაც $f_2 = f_1$). ამ დროს როტორში არავითარი ემპ არ ინდუქტირდება და ის არ ანვითარებს არავითარ მბრუნებელ მომენტს.

წვევის რეჟიმში $M(S)$, მახასიათებლის მუშა ზონას წარმოადგენს $S=0$ $S_{კრ.} = 5-6\%$ ინტერვალში არსებული წრფივი მონაკვეთი, რომლის გარეთაც ძრავას მუშაობა ხდება არამდგრადი (ნახ. 2.10). მუშა ზონაში ნომინალური მახასიათებელი ხისტია (მონაკვეთი (0-A)). თუ როტორის ბრუნვის სიხშირე გახდება მეტი

სინქრონულ სისშირეზე (ეს მოხდება დიდ ქანობებზე დიდი სიჩქარით მოძრაობისას), მაშინ ასინქრონული ძრავა ავტომატურად გადადის გენერატორულ რეჟიმში.



ნახ. 2.10. ასინქრონული ძრავას მომენტის დამოკიდებულება სრიალზე.

ფარდობითი სრიალი სრულად არ განსაზღვრავს ასინქრონული წვეის ძრავას მუშაობის რეჟიმს, რადგან გზის პროფილის მიხედვით მემანქანემ უნდა არეგულიროს სიჩქარე, ე.ი. არეგულიროს სტატორის მაგნიტური ველის ბრუნვის სისშირე და როტორში დენის სისშირე. ასინქრონულ ძრავებიანი ემშ-ს სიჩქარის რეგულირება შესაძლებელია, აგრეთვე, ძრავას მომჭერებზე ძაბვის რეგულირებითაც. ამიტომ, ერთი და იგივე ფარდობითი სრიალისას, ძრავას მუშაობის

რეჟიმები შეიძლება იყოს სხვადასხვა.

რადგან პროფილის და მოძრაობის პირობების მიხედვით ძრავას დატვირთვა (მაბრუნებელი მომენტი) იცვლება დიდ ფარგლებში, საჭიროა უზრუნველყოფილი იყოს ძრავას სიმძლავრის ეფექტური გამოყენება. ამისათვის საჭიროა ძრავას მუშაობის ყველა რეჟიმში, სიმძლავრის დანაკარგები ΔP იყოს მინიმალური და უცვლელი. რადგან სიმძლავრის ეს დანაკარგები ტოლია

$$\Delta P = M \Delta f . \quad (2.12)$$

დანაკარგების მინიმიზაცია და უცვლელობა მიიღწევა, როცა

$$\Delta f = \Delta f_{\min} = const . \quad (2.13)$$

დიდი დატვირთვებისას, ასევე, გათვალისწინებული უნდა იყოს ძაბვის ვარდნები სტატორის გრაგნილში. ემშ-ზე ამ პროცესებს წარმართავს ძრავების როტორების ბრუნთა რიცხვის ავტომატური რეგულირების სისტემები.

ასინქრონული წვეის ძრავას მინიმალური დანაკარგებით მუშაობის რეჟიმი განისაზღვრება სამი სიდიდით:

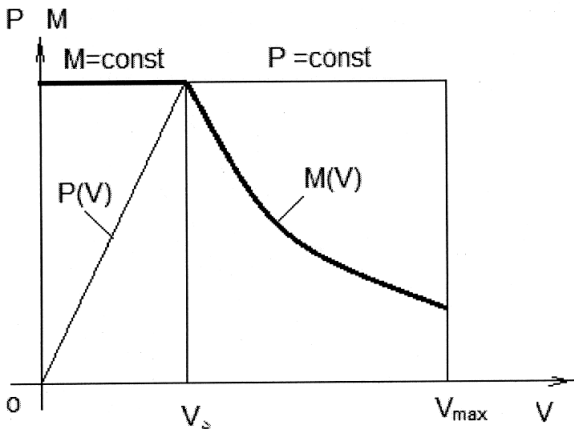
1. მკვებავი ძაბვით U ,
2. მოძრაობის სიჩქარით V ,
3. განვითარებული წვეის ძალით F .

ამგვარად, ასინქრონული ძრავებით აღჭურვილ ემშ-თვის რეგულირების ძირითად კანონს აქვს შემდეგი სახე,

$$\frac{U_1}{U'_1} = \frac{V_1}{V'_1} \cdot \sqrt{\frac{F_1}{F'_1}}. \quad (2.14)$$

ამ გამოსახულებაში V_1 სიჩქარე და F_1 წვევის ძალა შეესაბამება სტატორის მკვებავ U_1 ძაბვას და f_1 სიხშირეს, ხოლო V'_1 სიჩქარე და F'_1 წვევის ძალა შეესაბამება სტატორის მკვებავ U'_1 ძაბვას და f'_1 სიხშირეს.

ემშ-ს მუშაობის დამახასიათებელი რეჟიმებია – დაძვრა უცვლელი წვევის ძალით $F = const$, მოძრაობა უცვლელი სიმძლავრით $P = const$ და მოძრაობა მაქსიმალური სიჩქარით V_{max} (ნახ. 2.11).



ნახ. 2.11. ასინქრონული ძრავას რეგულირების მახასიათებელი.

თუ დაძვრა ხდება უცვლელი წვევის ძალით, მაშინ (2.7)-ის თანახმად $\frac{F_1}{F'_1} = 1$ და

$$\frac{U_1}{U'_1} = \frac{V_1}{V'_1}. \quad (2.15)$$

ე.ი. დაძვრის პროცესში უცვლელი წვევის ძალის შესანარჩუნებლად ძაბვა უნდა ვცვალოთ (გზარდოთ) სიხშირის პროპორციულად.

წვევის ძრავას ნომინალურ მახასიათებელზე გასვლის შემდეგ (ნახ. 2.11-ზე V_s სიჩქარე) ელექტრომომარაგების სისტემის თანაბარი დატვირთვისათვის, სასურველია ძრავას სიმძლავრე შევინარჩუნოთ უცვლელი $FV = const$. ეს ნიშნავს იმას, რომ

$$\frac{F_1 \cdot V_1}{F'_1 \cdot V'_1} = 1,$$

ანუ (2.7)-ის თანახმად

$$\frac{U_1}{U'_1} = \sqrt{\frac{V_1}{V'_1}}. \quad (2.16)$$

ე.ი. მოძრაობის დროს უცვლელი სიმძლავრის შესანარჩუნებლად საჭიროა ძაბვა ძრავას მომჭერებზე ვარგეულირთ, სიჩქარის მნიშვნელობიდან კვადრატული ფესვის შესაბამისად.

თანაბარი სიჩქარით მოძრაობის რეჟიმი $\frac{V_1}{V'_1} = 1$ ტოლფასია მკვებავი ძაბვის

უცვლელი სიხშირის პირობის $\frac{f_1}{f'_1} = 1$. გამომდინარე (2.7)-დან ვწერთ,

$$\frac{U_1}{U'_1} = \sqrt{\frac{F_1}{F'_1}}. \quad (2.17)$$

ე.ი. მოძრავი შემადგენლობა რომ ვატაროთ თანაბარი სიჩქარით, საჭიროა ძაბვა ძრავას მომჭერებზე ვარეგულიროთ წვევის ძალის მნიშვნელობიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულად.

თუ ძრავას მომჭერებზე ძაბვა უცვლელია, ე.ი. $\frac{U_1}{U'_1}=1$, მაშინ ფორმულა (2.7)

$$\text{გამომდინარე} \quad \frac{(V_1)^2}{(V'_1)^2} = \frac{F_1}{F'_1}. \quad (2.18)$$

ამ დროს წვევის მახასიათებელი იცვლება კვადრატული ჰიპერბოლის კანონით, როგორც გაუქვნივთავ მიმდევრობით ავზნებიან მუდმივი დენის ძრავაში.

გამოდის რომ, თუ ძრავას მომჭერებზე ძაბვა არ იცვლება და სიხშირეს შევცვლით წვევის ძალის უკუპროპორციულად, მივიღებთ რბილ მახასიათებელს მინიმალური დანაკარგებით.

მაგალითად, თუ უცვლელი U_1 ძაბვის და $f_1 = 50$ ჰერცი სიხშირის დროს წვევის ძრავა ავითარებს F_1 წვევის ძალას და სიხშირეს გავზრდით $\sqrt{2}$ -ჯერ, ანუ $f'_1 = \sqrt{2}f_1 = 1,41 \cdot 50 = 70$ ჰერცი, მაშინ ფორმულა 2.7-ის თანახმად წვევის ძალა შემცირდება $\sqrt{\frac{F_1}{F'_1}}$ -ჯერ, ანუ განახევრდება. ამ დროს როტორის აბსოლუტური სრიალი დარჩება უცვლელი. თუ შემდგომ სიხშირე (მოძრაობის სიჩქარე) გაიზარდა 2-ჯერ და გახდა 100 ჰერცის ტოლი, იგივე ფორმულა (2.7)-ის თანახმად წვევის ძალა შემცირდება 4-ჯერ.

თუ ერთდროულად ვცვლით მკვებავ ძაბვას და სიხშირეს, ფორმულა (2.7)-ის კანონის შესაბამისად შეგვიძლია მივიღოთ ნებისმიერი სიხისტის წვევის მახასიათებელი.

2.9. ელექტრომოდრავი შემადგენლობის ძირითადი მოწყობილობები

დანიშნულების და მუშაობის პრინციპის მიხედვით ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე გამოყენებული მოწყობილობა იყოფა სამ ჯგუფად:

1. ელექტრული მოწყობილობა,
2. პნევმატური მოწყობილობა,
3. მექანიკური მოწყობილობა.

განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე.

2.9.1. ემშ-ს ელექტრული მოწყობილობა

ძირითად ელექტრულ მოწყობილობებს მიეკუთვნება:

- დენმიმღები,
- ენერჯის სტატიკური და მბრუნავი გარდამქმნელები (მათ შორის წვეის ძრავი),
- მაღალი და დაბალი ძაბვის საკომუტაციო (გადამრთველი) აპარატურა,
- მზომი და მანათობელი ხელსაწყოები.

ყველა ეს აპარატურა შესრულებულია სპეციალურად წვეის პირობებისათვის. მათ უნდა გაუძღონ მექანიკურ (რხევები, დარტყმები), ატმოსფერულ (ნესტიანობა, ტემპერატურის დიდ ფარგლებში მერყეობა, დამტვერიანება), რთული გარდამავალი რეჟიმების ზემოქმედებას, შეინარჩუნონ იზოლაციის საიზოლაციო თვისებები ექსპლუატაციის რთულ პირობებში.

დენმიმღების დანიშნულებაა უზრუნველყოს ემშ-ს ელექტრული წრედების საიმედო ელექტრული კავშირი საკონტაქტო ქსელთან, სიჩქარეთა მთელ დიაპაზონში, რაც საკმაოდ რთული და საპასუხისმგებლო ამოცანაა.

ელექტრულ გარდამქმნელებს, პირველ რიგში, მიეკუთვნება წვეის ძრავები, რომლებიც ელექტრულ ენერჯიას გარდაქმნიან მექანიკურ მუშაობად (წვეის რეჟიმი) ან მოძრავი მატარებლის კინეტიკურ ენერჯიას გარდაქმნიან ელექტრულ ენერჯიად (ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმი). გარდა წვეის ძრავებისა, მუდმივი დენის ემშ-ზე გამოყენებულია სტატიკური და მბრუნავი გარდამქმნელები, ოპერატიული (მართვის) დაბალი ძაბვის მისაღებად და წვეის ძრავების აგზნების გრაგნილების საკვებად, ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმში.

ცვლადი დენის ემშ-ზე დამატებით გამოყენებულია წვეის ტრანსფორმატორები, წვეის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის სარეგულირებლად და სტატიკური გამმართველები მუდმივი დენის მისაღებად.

მუდმივი დენის ემშ-ზე წვეის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის სარეგულირებლად დღეისათვის გამოყენებულია რეოსტატები და ე.წ. იმპულსური გარდამქმნელები.

ძალური წრედების საკომუტაციო აპარატურას მიეკუთვნება:

- **ინდივიდუალური და ჯგუფური კონტაქტორები** (ამა თუ იმ მოწყობილობების დატვირთვის ქვეშ ჩართვა-გამორთვისათვის, რისთვისაც ისინი ადჭურვილნი არიან რკალმქრობი კამერებით).
- **რევერსორები** (ემშ-ს მოძრაობის მიმართულების შესაცვლელად).

- **სამუხრუჭო გადამრთები** (წვეის რეჟიმიდან დამუხრუჭების რეჟიმზე და პირიქით გადართვისათვის).
- **სხვადასხვა სახის გამთიშავები და ამომრთველები** (მაგალითად დაზიანებული წვეის ძრავების ამოსართველად).

ელექტრომოწობილობების მოკლედ შერთვისაგან, გადატვირთვისაგან და გადამეტაბებისაგან დამცავ აპარატებს მიეკუთვნება: **სწრაფმომქმედი ავტომატები, სწრაფმომქმედი კონტაქტორები, მცლელები, დნობადი მცველები, დამცავი კონდენსატორები და სხვა.**

უსაფრთხოების მოთხოვნებიდან გამომდინარე, ძალური საკომუტაციო აპარატურა იმართება არაპირდაპირ, დისტანციურად, დაბალი ძაბვის (50 ვოლტი) ოპერატიული წრედებით.

გარდა ძალური ელექტრული წრედებისა, ემშ-ზე გამოყოფენ ე.წ. დამხმარე წრედებს, რომლებშიც გაერთიანებულია – დამხმარე აგრეგატების, მართვის, სიგნალიზაციის და განათების წრედები.

დამხმარე აგრეგატებს მიეკუთვნება: მოტორ-ვენტილატორები, მოტორ-კომპრესორები, მართვის გენერატორები.

- ვენტილატორები ქმნიან გამაგრილებელი ჰაერის მარაგს, წვეის ძრავების, სტატიკური გარდამქნელების და სხვა მოწყობილობების გასაგრილებლად.
- კომპრესორები ქმნიან მაღალი წნევის დაჭირხნული ჰაერის მარაგს, მექანიკური მუხრუჭების და სხვადასხვა აპარატურის პნევმატური ამძრავების სამართავად.
- ტუმბოები გამოიყენება ცვლადი დენის ემშ-ზე წვეის ტრანსფორმატორებში გამაგრილებელი ზეთის ნაკადის შესაქმნელად.

ზემოხაზოვანი მოწყობილობების მოძრაობაში მოსაყვანად, მუდმივი დენის ემშ-ზე გამოიყენება მაღალი ძაბვის მუდმივი დენის ძრავები, ხოლო ცვლადი დენის ემშ-ზე, მოკლედშერთულ როტორიანი, სამფაზა ასინქრონული ძრავები.

აქვე ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს ის, რომ ემშ-ს ისეთ მნიშვნელოვან აგრეგატებს, როგორებიცაა მოტორ-ვენტილატორები, მოტორ-კომპრესორები, მოტორ-გენერატორები, მოტორ-ტუმბოები, არც თუ სამართლიანად უწოდებენ დამხმარე მანქანებს. ეს მათ თითქოს მეორეხარისხიან როლს ანიჭებს, მაგრამ ეს არ შეესაბამება სიმართლეს. მაგალითად, წვეის ძრავა ვერ იმუშავებს გამართულად და მაქსიმალური სიმძლავრით, თუ მოტორ-ვენტილატორი არ იმუშავებს გამართულად და არ მიაწვდის მას საჭირო რაოდენობის გამაგრილებელ ჰაერს. ემშ და მისი სამუხრუჭო სისტემა ვერ ამოქმედდება, თუ არ გვექნება მაღალი წნევის ჰაერის მარაგი, ანუ მოტორ კომპრესორი არ იმუშავებს გამართულად და ა.შ.

ამ მანქანებისთვის “დამხმარე” იარაღის მიწება განაპირობა იმან, რომ ისინი, როგორც წვეის ძრავები, უშუალოდ არ მონაწილეობენ ტვირთების გადატანასა და მგზავრების გადაყვანაში.

2.9.2. პნევმატური მოწყობილობა

პნევმატურ მოწყობილობას მიეკუთვნება: დაჭირხნული ჰაერის შემქმნელი წყარო-კომპრესორი, სამარაგო მაღალი წნევის საჰაერო რეზერვუარები, სამუხრუჭო პნევმატური სისტემა, სხვადასხვა დანიშნულების მიღგაყვანილობა და სხვა.

2.9.3. მექანიკური მოწყობილობა

მექანიკურ მოწყობილობას მიეკუთვნება: ძარა, ურიკები, წყვილთვალები, წვეის გადაცემები (კბილანა რედუქტორები), სარესორო ჩამოკიდება, ავტოგადაბმულობები და სხვა.

2.10. ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მართვის სისტემები

განვიხილოთ მიმდევრობით აგზნებიანი წვეის ძრავებით აღჭურვილი მუდმივი დენის და ცვლადი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მართვის სისტემების მუშაობის პრინციპი, წვეის და ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმებში.

ა) წვეის რეჟიმი

როგორც ზემოთ ვნახეთ, მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას ძაბვათა ბალანსის განტოლებას აქვს სახე

$$U = E + IR_{\text{არ}}, \quad (2.19)$$

სადაც, $E = C_v \Phi V$ არის ძრავას უკუელექტრომოდრავებელი ძალა ვოლტებში,

Φ – ძრავას მაგნიტური ნაკადი,

V – ხაზოვანი სიჩქარე, კმ/სთ-ში,

I – ძრავაში გამავალი დენია ამპერებში,

$R_{\text{არ}}$ – ძრავას გრავნილების ჯამური აქტიური წინააღმდეგობა ომებში.

ჩავსვათ E -ს მნიშვნელობა ფორმულა 2.19-ში, მივიღებთ

$$U = C\Phi V + IR_{\text{არ}}. \quad (2.20)$$

ფორმულა (2.20)-დან განვსაზღვროთ სიჩქარე V , მივიღებთ

$$V = \frac{(U - IR_{\text{არ}})}{C\Phi}. \quad (2.21)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ძაბვის ვარდნა ძრავაში $IR_{ძრ}$ უმნიშვნელო სიდიდეა (30–50 ვ) და შეგვიძლია უგულებელვყოთ, მაშინ საბოლოოდ მივიღებთ

$$V \approx \frac{U}{C\Phi}. \quad (2.22)$$

ფორმულა (2.22)-დან გამომდინარე გამოდის, რომ სიჩქარის რეგულირება შესაძლებელია ორი გზით – ძრავას მომჭერებზე U ძაბვის რეგულირებით და ძრავას Φ მაგნიტური ნაკადის რეგულირებით.

მუდმივი დენის ემშ-ზე ძაბვის რეგულირებას ახორციელებენ ძრავების შეერთების სქემის ცვლილებით (ძრავების გადაჯგუფებით) და თითოეულ დაჯგუფებაზე ასამუშავებელი რეოსტატების წრედში შეყვანით.

მაგნიტური ნაკადის Φ -ის რეგულირება ხდება საფეხურისებურად, ძრავას აგზნების გრაგნილის შუნტირებით, ე.წ. ველის შესუსტების რეზისტორებით.

აღნიშნულ საკითხებს დაწვრილებით განვიხილავთ ქვემოთ.

რაც შეეხება ცვლადი დენის ემშ-ას, ტრანსფორმატორის არსებობა, აქ მნიშვნელოვნად აიოლებს ძრავას მომჭერებზე ძაბვის და მ.შ. სიჩქარის რეგულირების საკითხს. წვეის ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის საფეხურისებრი რეგულირებით, ასევე, საფეხურისებრივად შეგვიძლია ვცვალოთ ძაბვა ძრავას მომჭერებზე.

ნახევარგამტარული მართვადი მოწყობილობების ტირისტორების გამოყენებით, შესაძლებელია ძრავას მომჭერებზე ძაბვის მდოვრე რეგულირება, როგორც ცვლადი დენის ემშ-ზე (ე.წ. ფაზური რეგულირება), ასევე მუდმივი დენის ემშ-ზე (ე.წ. იმპულსური რეგულირება). აღნიშნულის შესახებ დეტალური განხილვა გვექნება ქვემოთ.

ბ) ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმი

მოძრავ სატრანსპორტო საშუალებას გააჩნია კინეტიკური ენერგია, რომელიც მოძრავი სხეულის მასის და სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. ვინაიდან მატარებლების შემთხვევაში საქმე გვაქვს სოლიდურ მასასთან და საკმაოდ დიდ სიჩქარეებთან, ამიტომ მათი კინეტიკური ენერგია იქნება ძალზე დიდი. მათი სიჩქარის შესამცირებლად ან გასაჩერებლად საჭიროა მათ წაგართვათ ეს ენერგია და (ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად) ის გარდაექმნათ სხვა სახის ენერგიად. მაგალითად თბურ ენერგიად, როგორც ეს ხდება ფრიქციულ-მექანიკურ მუხრუჭებში. ელექტრულ სატრანსპორტო საშუალებებში არსებობს ელექტრული დამუხრუჭების შესაძლებლობა, რაც არამარტო ზრდის მოძრაობის უსაფრთხოებას, არამედ მნიშვნელოვნად ზოგავს ელექტროენერგიის დანახარჯს.

ელექტრულ მანქანებს, სხვა ტიპის მანქანებთან შედარებით, აქვთ ერთი ძალზე დიდი უპირატესობა. მათ შეუძლიათ მუშაობა ურთიერთშექცევად რეჟიმში. კერძოდ, თუ მანქანის მომჭერებზე მოვიყვანთ ელექტროენერგიას, მაშინ ლილვზე შეგვიძლია მივიღოთ მექანიკური ენერგია ან პირიქით, თუ ლილვზე მოვდებთ მექანიკურ ენერგიას და მანქანას დავაბრუნებთ, მაშინ მომჭერებიდან შეგვიძლია მოვხსნათ ელექტრული ენერგია.

აქედან გამომდინარე, თუ მუდმივი დენის წვევის ძრავას მიუერთებთ ელექტრო-მომარაგების ქსელს, ის იმუშავებს, როგორც ელექტრული ძრავა და მოძრავ შემადგენლობას მოიყვანს მოძრაობაში.

თუ ემშ მოძრაობს დიდი დახრილობის უარყოფითი ნიშნის ქანობზე, (თავდაღ-მართზე) მაშინ ქანობის პოტენციური ენერგია გადადის მოძრავი შემადგენლობის კინეტიკურ ენერგიაში, რომელსაც ბრუნვით მოძრაობაში მოჰყავს წვევის ძრავა, ის გადადის გენერატორულ რეჟიმში და გამოიმუშავებს ელექტროენერგიას. ეს ელექტროენერგია შეიძლება ჩავაქროთ სპეციალურ რეოსტატებში, სითბოს გამოყოფაზე. ამ დროს ამბობენ, რომ ვახორციელებთ ელექტრულ რეოსტატულ დამუხრუჭებას. თუ გამოიმუშავებულ ელექტროენერგიას სპეციალური გარდამქმნელებით გარდაქმნით და მივაწოდებთ უკან ელექტრომომარაგების სისტემას, მაშინ ის მოიხმარება სხვა ელექტრომომხმარებლის მიერ და განხორციელდება ე.წ. რეკუპერაციული დამუხრუჭება (ლათინური სიტყვა “recuperation” ნიშნავს აღდგენას, რეგენერაციას, ენერგიის დაბრუნებას უკან მკვებავ ქსელში).

ელექტრული წვევის სახეობის სატრანსპორტო საშუალებებზე შეიძლება გამოყენებული იყოს, როგორც რეოსტატული, ასევე რეკუპერაციული დამუხრუჭება. ცალკეულ შემთხვევაში მოძრავ ერთეულზე შეიძლება გამოყენებული იქნეს ორივე სახის დამუხრუჭება. ელექტრული დამუხრუჭების შესახებ უფრო დეტალური განხილვა იქნება ქვემოთ.

2.11. ელექტრული წვევის თანამედროვე და პერსპექტიული სახეობები

ელექტრული წვევის სახეობებს შეიძლება მივაკუთნოთ სარელსო და არასა-რელსო მოძრავი შემადგენლობა, რომელშიც ელექტრული ამძრავის საშუალებით, ელექტრული ენერგია, წყვილთვალისა და გზის შეხების ზონაში, გარდაიქმნება მექანიკურ მუშაობად.

იმის მიხედვით, თუ ელექტრომოდრავ შემადგენლობას (მოკლედ ე.მ.შ-ს) როგორ

მიეწოდება პირველადი ენერჯია, შეიძლება განვასხვაოთ მოძრავი შემადგენლობის სამი ჯგუფი:

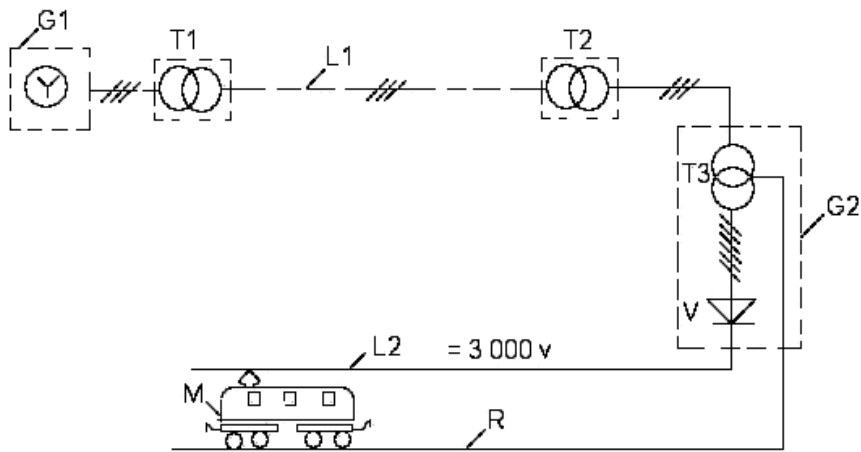
1. ელექტრომოძრავი შემადგენლობა, რომელიც საკონტაქტო ქსელის საშუალებით, უწყვეტადაა დაკავშირებული გარე ელექტრომომარაგების სისტემასთან. მათ მიეკუთვნება – მაგისტრალური და სამრეწველო ელექტრომაველები, ელექტრომატარებლები, მეტროპოლიტენის მოძრავი შემადგენლობა, საქალაქო ელექტრული ტრანსპორტი.
2. ელექტრომოძრავი შემადგენლობა, რომელშიც პირველადი ენერჯიის წყარო უშუალოდ განთავსებულია ბორტზე. მათ მიეკუთვნება – დიზელ-ელექტრომაველები, დიზელ ელექტრომატარებლები და სხვა.
3. ელექტრომოძრავი შემადგენლობა, რომლის ბორტზეც განთავსებულია ენერჯიის წყარო და რომელიც ენერჯიის შესავსებად პერიოდულად უკავშირდება გარე ელექტრომომარაგების სისტემას. მათ მიეკუთვნება – ელექტრო და მექანიკურ აკუმულატორებზე მომუშავე ელექტრომობილები, ე.წ. ავტოკარები და სხვა.

ჩამოთვლილ სამი სახეობიდან, სახელმძღვანელოში ძირითადად განვიხილავთ პირველი ჯგუფის ელექტრომოძრავ შემადგენლობას.

ელექტრული წვეის დანერგვის საწყის ეტაპზე, მუდმივი დენის სისტემის არჩევა განაპირობა სატრანსპორტო ამოცანების მოთხოვნების უკეთ დაკმაყოფილების იმ დროინდელმა შესაძლებლობამ. კერძოდ, ტრანსპორტის მიმართ წაყენებული უმთავრესი მოთხოვნაა სიჩქარის რეგულირების შესაძლებლობა ფართო დიაპაზონში. ამასთანავე, გათვალისწინებული უნდა იყოს მუშაობის განსაკუთრებით მძიმე პირობები – ვიბრაცია, დამტვერიანება, ატმოსფერული მოვლენები, ტემპერატურის დიდ ფარგლებში მერყეობა და სხვა.

ელექტრული წვეის გარიჟრაჟზე, ამ მოთხოვნებს მეტნაკლებად სრულად აკმაყოფილებდა მუდმივი დენის კოლექტორიანი წვეის ძრავები. ამიტომ ელექტრული ლოკომოტივები ადჭურვილი იყო ასეთი ძრავებით.

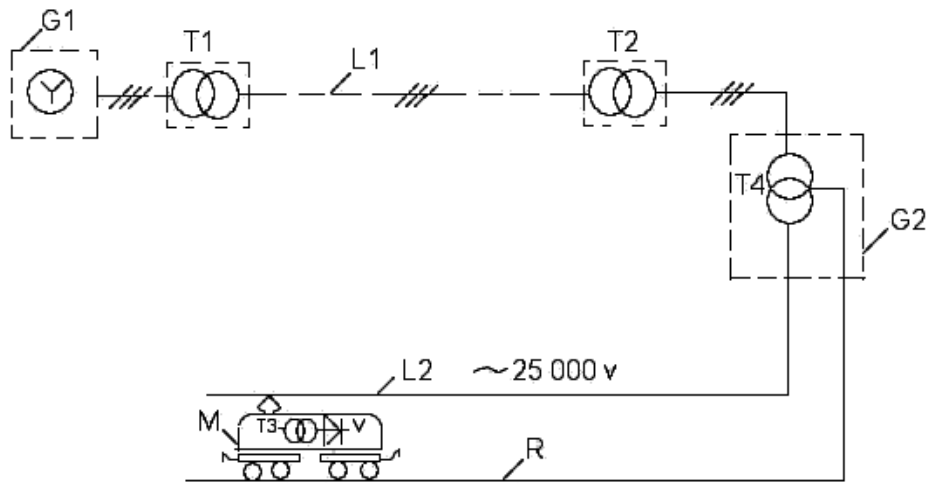
მეორე მხრივ, მკვებავ ქსელში ელექტროენერჯიის დანაკარგების შემცირების მიზნით, სასურველი იყო ძაბვა ყოფილიყო რაც შეიძლება მაღალი. მაგრამ, წვეის ძრავასა და საკონტაქტო ქსელს შორის ხისტი ელექტრული კავშირი ზღუდავდა ამ უკანასკნელის ძაბვის მნიშვნელობას. გამომდინარე სარელსო გზის გაბარიტებიდან და ძრავას დასაშვები ძაბვის მნიშვნელობიდან, საკონტაქტო ქსელში მაქსიმალური შესაძლო ძაბვის მნიშვნელობა განისაზღვრა 3000 ვოლტით; შედეგად მივიღეთ მუდმივი დენის 3000 ვოლტიანი ელექტრული წვეის სისტემა, რომელიც დღესაც ფუნქციონირებს მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში და მათ შორის საქართველოში (იხ. ნახ. 2.12).



ნახ. 2.12. მუდმივი დენის 3 000 ვოლტ ძაბვაზე მომუშავე ელექტრიფიცირებული რკინიგზის პრინციპული სქემა.

$G1$ – ელექტროსადგური, $T1$ – ძაბვის ამამაღლებელი ქვესადგური, $T2$ ძაბვის დამადაბლებელი ქვესადგური, $L1$ – ელექტროგადამცემი ხაზი, $G2$ – მუდმივი დენის წვევის ქვესადგური, $T3$ – წვევის ტრანსფორმატორი, V სტატიკური გამმართველი, $L2$ – საკონტაქტო ქსელი, M – ელექტრომოდრავი შემადგენლობა, R – სარელსო გზა.

ბუნებრივი რესურსების მომპოვებელი და გადამამუშავებელი დარგების ახალი სიმძლავრეების ათვისებამ, განაპირობა ცალკეულ ქვეყნებსა და რეგიონებს შორის ტვირთბრუნვის განუწყვეტელი გაზრდა, რომლის დაკმაყოფილებაც შესაძლებელი გახდა მატარებელთა წონის და სიჩქარის გაზრდით, რამაც თავის მხრივ მოითხოვა ელექტრული ლოკომოტივების სიმძლავრეების გაზრდა. საკონტაქტო ქსელში, 3000 ვოლტის ძაბვის პირობებში მოთხოვნილი სიმძლავრეების ასეთმა გაზრდამ, მნიშვნელოვნად გაზარდა ძაბვის ვარდნა საკონტაქტო ქსელში. ელექტრული ლოკომოტივების დენმიმღებზე ძაბვა შემცირდა დასაშვებ ნორმაზე ქვევით, რის შედეგად შემცირდა მოძრაობის სიჩქარე და პრაქტიკულად შეიზღუდა სარკინიგზო ტრანსპორტის გამტარუნარიანობა. აღნიშნულის გამო დღის წესრიგში დადგა ძაბვის გაზრდის და შესაბამისად არსებული მუდმივი დენის 3000 ვოლტიანი სისტემის შეცვლის აუცილებლობა. ამ ამოცანის გადაწყვეტა მოხდა წვევის ქვესადგურის ფუნქციის ნაწილობრივი გადატანით ლოკომოტივზე. კერძოდ, ელექტრულ ლოკომოტივზე განთავსდა მისი სიმძლავრის ეკვივალენტი სიმძლავრის წვევის ტრანსფორმატორი და სტატიკური გამმართველი. ამან შესაძლებლობა მოგვცა საკონტაქტო ქსელში აგვერჩია ძაბვის ოპტიმალური მნიშვნელობა. შედეგად მივიღეთ 25 კილოვოლტი ძაბვის, სამრეწველო სიხშირის, ერთფაზა ცვლადი დენის სისტემა (იხ. ნახ. 2.13), სადაც $T4$ წარმოადგენს ქვესადგურში განთავსებულ ძაბვის დამადაბლებელ ტრანსფორმატორს. შესაბამისად, $T3$ და V ელექტრომაგლის ეკვივალენტური სიმძლავრის წვევის ტრანსფორმატორს და გამმართველს.



ნახ. 2.13. ერთფაზა, 25 კვ. ძაბვის, სამრეწველო სისშირის ცვლად დენზე მომუშავე, ელექტროფიცირებული რკინიგზის პრინციპული სქემა.

თანამედროვე ელექტრომაგლების ერთ ღერძზე მოსული სიმძლავრე შეადგენს 850-1 000 კვტ-ს, ანუ ხვედრითი სიმძლავრე მოსული ლოკომოტივის ერთ ტონაზე საშუალოდ ტოლია 40-45 კვტ/ტ-ზე. ღერძზე მოსული სიმძლავრე და შესაბამისად წევის ძალა იზღუდება წყვილთვალსა და რელსს შორის ჩაჭიდებით. ჩაჭიდების პირობების გაუმჯობესება შესაძლებელია, როგორც ღერძზე დაწოლის გაზრდით (ლოკომოტივის ჩაჭიდების წონის გაზრდით), ასევე არსებული ჩაჭიდების წონის გამოყენების ეფექტური ღონისძიებების გატარებით (რეგულირებადი მახასიათებლების მქონე წევის ძრავების, წყვილთვალების განტვირთვის საწინააღმდეგო სისტემების, ბუქსაობის საწინააღმდეგო სისტემების გამოყენებით).

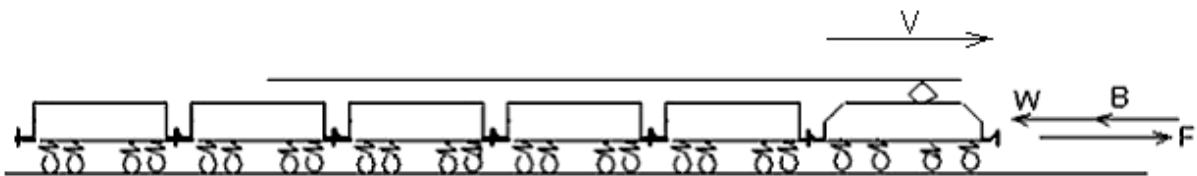
დღეისათვის მძლავრი ნახევარგამტარული ტექნიკის (ასობით ამპერზე და ათასობით ვოლტ ძაბვაზე მომუშავე ტრანზისტორები და სრულად მართვადი ტირისტორები), ბაზაზე სტატიკური გარდამქმნელების შექმნამ, შესაძლებელი გახდა ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე, რთული კონსტრუქციის და ნაკლებად საიმედოდ მომუშავე კოლექტორიანი ძრავების ნაცვლად, გამოვიყენოთ საიმედოდ მომუშავე, მარტივი კონსტრუქციის და იაფი ასინქრონული წევის ძრავები, რაც ითვლება ელექტრული რკინიგზების განვითარების ერთ-ერთი პერსპექტიულ მიმართულებად.

მატარებლების სიჩქარის ზრდისას (500 კმ/სთ და მეტი), მკვეთრად მცირდება ჩაჭიდება ბორბალსა და რელსს შორის და ბორბალი, როგორც ტრანსპორტის ამძრავი საშუალება, წყვეტს ფუნქციონირებას. აღნიშნულის გამო, დღის წესრიგში დგება წევის ისეთი ახალი სახეობის შექმნა, რომელიც გამორიცხავს კონტაქტს ბორბალსა და რელსს შორის. წევის ასეთ ახალ, პერსპექტიულ სახეობაა მაგნიტურ ბალიშებზე მოძრავი, ხაზური ძრავებით აღჭურვილი ელექტრომოდრავი შემადგენლობა. ის განხილული იქნება ქვემოთ.

2.12. მატარებელზე მომქმედი ძალები

რეალური მატარებელი წარმოადგენს ერთმანეთთან დრეკადი ელემენტებით დაკავშირებულ, ცალკეული რგოლებისაგან შემდგარ რთულ სისტემას, რომლის ცალკეული შემადგენელი დეტალები, გარდა სარელსო გზაზე სასარგებლო გადაადგილებისა, ასრულებენ ბრუნვით (ლოკომოტივის და ვაგონების წყვილთვალეები, წვეის ძრავების ღუზები, რედუქტორების კბილანები) და პარაზიტულ რხევით (რესორზედა მასები, გრძივი რხევები, განპირობებული ავტოგადაბმულობებით) მოძრაობებს. ჩვენი ინტერესის სფეროს წარმოადგენს მატარებლის მართვადი ხაზოვანი მოძრაობა (ტვირთების და მგზავრების გადაადგილება), რომელსაც განაპირობებს რელსის გასწვრივ მიმართული სამი ძირითადი ძალა;

1. წვეის ძალა F , რომელსაც ქმნის ლოკომოტივის წვეის ძრავები და რომელიც მიმართულია ყოველთვის მოძრაობის მიმართულებით (იხ. ნახ. 2.14).
2. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W , რომელიც, წარმოადგენს სტიქიურად მომქმედ, არამართვად ძალას და, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში, მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. (გამონაკლისს წარმოადგენს შემთხვევა, როდესაც მატარებელი მოძრაობს დიდი დახრილობის თავდაღმართებზე, ანდა, როდესაც მატარებელზე ზემოქმედებს მოძრაობის მიმართულებით მქროლავი ძლიერი ზურგის ქარი (იხ. ნახ. 2.14).
3. სამუხრუჭო ძალა B , რომელიც წარმოადგენს ხელოვნურად შექმნილ წინააღმდეგობის ძალას. ის ყოველთვის მიმართულია მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ და განკუთვნილია მოძრაობის სიჩქარის შესაზღვდავად ან მატარებლის გასაჩერებლად.



ნახ. 2.14. მატარებლის სტრუქტურული სქემა.

2.13. მატარებლის მოძრაობის რეჟიმები

იმის მიხედვით, ამ სამი ძალიდან, ერთდროულად რა ძალები მოქმედებენ მატარებელზე, გვაქვს მოძრაობის სამი რეჟიმი:

1. წვეის რეჟიმი. ამ რეჟიმში მატარებელზე მოქმედებს წვეის ძალა F და მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა – W . ეს ძალები მიმართულნი არიან

რელსის გასწვრივ ურთიერთსაწინააღმდეგოდ. მათი ტოლქმედი ძალა იქნება $F_{\delta} = F - W$.

აქ შეიძლება გვქონდეს სამი შემთხვევა:

- $F_{\delta} > 0$ -ზე, ანუ $F > W$ -ზე, მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად.
- $F_{\delta} = 0$, ანუ $F = W$, მატარებელი მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით.
- $F_{\delta} < 0$ -ზე, ანუ $F < W$ -ზე, მატარებელი მოძრაობს შენელებულად.

2. თავისუფალი გორვის რეჟიმი. მატარებელზე მოქმედებს – W ძალა.

ამ ძალისთვის დადებით მიმართულებად ითვლება მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება.

აქაც შეიძლება გვქონდეს სამი შემთხვევა:

- $W > 0$ -ზე, მატარებელი მოძრაობს შენელებულად.
- $W = 0$, მატარებელი მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით (რაც ძალზე იშვიათი შემთხვევაა, რადგან ინერციის ძალით გამოწვეული მოძრაობა გამორიცხავს დამყარებულ რეჟიმს საზოგადოდ).
- $W < 0$ -ზე და ის აბსოლუტური მნიშვნელობით აღემატება მაგნე ქანობის (განვმარტავთ ქვემოთ) მნიშვნელობას, მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად.

3. დამუხრუჭების რეჟიმი. მატარებელზე მოქმედებს სამუხრუჭო ძალა - B და მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W ; ეს ძალები მიმართულნი არიან რელსის გასწვრივ მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მათი ტოლქმედი ძალა იქნება $F_{\delta} = -(B + W)$.

აქაც განვიხილოთ სამი შემთხვევა:

- $F_{\delta} = -(B + W) > 0$ -ზე, მატარებელი მოძრაობს შენელებულად.
- $F_{\delta} = -(B + W) = 0$ -ს, მატარებელი მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით.
- $F_{\delta} = -(B + W) < 0$ -ზე, მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად. ეს ის შემთხვევაა, როდესაც მატარებელი მოძრაობს დიდი ქანობის თავდადმართზე და სამუხრუჭო ძალა არაა საკმარისი, ანუ როდესაც $B < -W$ -ზე.

III თავი

წვევის ძალა და მისი რეაქცია

3.1. ბორბლიან ტრანსპორტზე წვევის ძალის წარმოქმნის მექანიზმი

როგორც მექანიკიდანაა ცნობილი, სისტემა (სხეული, მატარებელი და ა.შ.) გამოდის წონასწორობიდან (იწყებს მოძრაობას) ან იცვლის მოძრაობის სიჩქარეს მაშინ, თუ მასზე მოქმედებს გარეშე ძალა. ამ საკითხს ზოგადად ჩვენ შევეხეთ პირველ თავში. ახლა კი განვიხილოთ საფუძვლიანად.

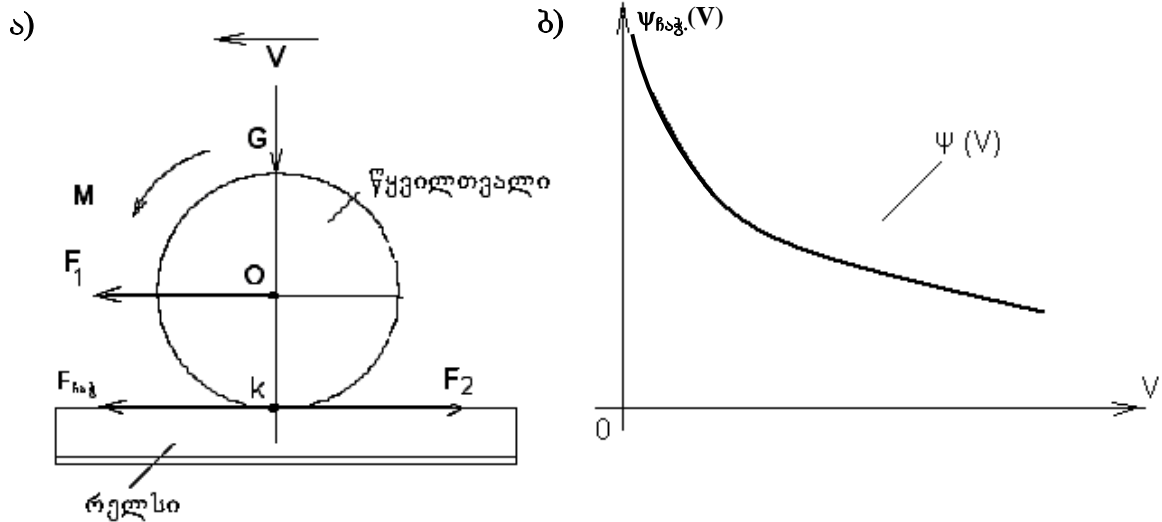
გამომდინარე აღნიშნული კანონიდან, ლოკომოტივის ძრავების მიერ განვითარებულ წვევის ძალებს, თავისთავად არ შეუძლიათ მისი მოძრაობაში მოყვანა, რადგან ისინი სისტემის შიგნით არსებული ძალებია. ნახ. 3.1-ზე მოცემულია წვევის ძალის წარმოქმნის მექანიზმის ახსნა.

წვევის ძრავას მიერ შექმნილი მატარებელი მომენტი, კბილანა რედუქტორით (ნახაზზე არ ჩანს) გადაეცემა წყვილთვალს, მომენტი M . ეს უკანასკნელი, მექანიკის კანონის თანახმად, შეგვიძლია შევცვალოთ F_1F_2 წყვილძალით, რომელთაგან ერთი მოდებულია წყვილთვალის O ცენტრში და მიმართულია მოძრაობის მიმართულებით; ხოლო მეორე წყვილთვალის არტახისა და რელსის შეხების k წერტილში და მიმართულია რელსის გასწვრივ მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ეს უკანასკნელი F_2 ძალა ცდილობს არტახის საყრდენი k წერტილი გააცუროს რელსის ზედაპირზე. არტახზე ვერტიკალურად მოქმედი G სიმძიმის ძალის წყალობით, k წერტილში წარმოიქმნება რელსის რეაქციის ძალა $F_{ჩაჭ}$, რომელიც აკომპენსირებს (ანეიტრალებს) F_2 ძალის მოქმედებას. რჩება გაუწონასწორობელი F_1 ძალა, რომელიც შემობრუნებს წყვილთვალს დროებითი საყრდენი k წერტილის მიმართ. რელსთან შეხებაში მოვა არტახის ახალი k წერტილები. წყვილთვალი დაიწყებს რელსის ზედაპირზე გორვას, რასაც მოჰყვება ლოკომოტივის ხაზოვანი გადაადგილება სარელსო გზის გასწვრივ. $F_{ჩაჭ}$ არის სწორედ ის გარეშე ძალა, ე.წ. ჩაჭიდების ძალა, რომლის წყალობითაც შესაძლებელია სატრანსპორტო საშუალების სარელსო გზაზე სასარგებლო გადაადგილება.

საზოგადოდ, ჩაჭიდების ძალა ხახუნის ბუნებისაა და განისაზღვრება ფორმულით

$$F_{ჩაჭ} = G\Psi_{ჩაჭ}(V), \quad (3.1)$$

სადაც, G არის ლოკომოტივის ჩაჭიდების წონა, ხოლო $\Psi_{ჩაჭ}$ არის ჩაჭიდების (არტახისა და რელსს შორის არსებული ხახუნის) კოეფიციენტი.



ნახ. 3.1. წვეის ძალის წარმოქმნის მექანიზმი.

ეს უკანასკნელი (Ψ კოეფიციენტი) დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. კერძოდ, რელსისა და არტახის მასალაზე, მათი ზედაპირების მდგომარეობაზე, სისუფთავეზე, მოძრაობის სიჩქარეზე, ატმოსფერულ მოვლენებზე და ა.შ. მისი მნიშვნელობა გაითვლება ე.წ. ემპირიული (ცდების შედეგებით მიღებული მონაცემების გაანალიზების საფუძველზე გამოყვანილი) ფორმულით. მაგალითად, მუდმივი დენის ელექტრომაგლისათვის ჩაჭიდების კოეფიციენტის საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე

$$\Psi_{ჩაჭ} = 0.25 + \frac{8}{100 + 20V}. \quad (3.2)$$

3.1, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ჩაჭიდების კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიჩქარეზე $\Psi_{ჩაჭ}(V)$.

წვეის ძრავას მიერ შექმნილი F_2 ძალის სიდიდე დამოკიდებულია ძრავას მუშაობის რეჟიმზე და ექვემდებარება რეგულირებას (მართვას).

რაც შეეხება $F_{ჩაჭ}$ ძალას, ის ხახუნის ბუნებისაა და გააჩნია ზღვარი, რომლის იქეთაც ის შეიძლება აღმოჩნდეს ნაკლები F_2 ძალაზე. ამ შემთხვევაში დაიწყება წვეილთვალის სრიალი რელსის ზედაპირზე, რასაც ეწოდება ბუქსაობა და რაც მეტად არასასურველი მოვლენაა, განსაკუთრებით სარელსო ტრანსპორტზე (თუ რატომ, ვნახავთ ქვემოთ).

იმისათვის, რომ ბუქსაობას არ ჰქონდეს ადგილი, საჭიროა დაცული იყოს პირობა

$$F_{ჩაჭ} > F_2, \quad (3.3)$$

რასაც წვეის ძირითადი კანონი ეწოდება.

წარმოქმნილი ბუქსაობის აღსაკვეთად, საჭიროა გავზარდოთ $F_{ჩაჭ}$ ძალა, მობუქსავე წვეილთვალის არტახსა და რელსს შორის მშრალი კვარცის ქვიშის

შეფრქვევით ან მართვის პულტიდან მოვახდინოთ ზემოქმედება და შევამციროთ F_2 ძალის მნიშვნელობა, რათა აღდგეს (3.3) პირობა.

3.2. წყვილთვალის არტახების რელსთან ჩაჭიდებაზე მომქმედი ფაქტორები

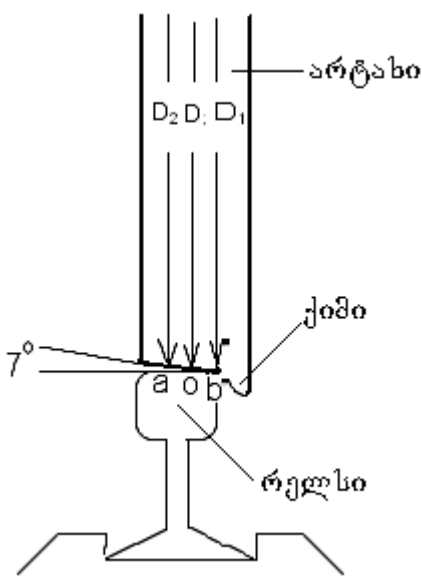
არტახის და რელსის ჩაჭიდებაზე ზემოქმედებას ახდენს მრავალი, მათ შორის შემთხვევითი ხასიათის ფაქტორი, კერძოდ, მასალა, რისგანაცაა დამზადებული არტახი და რელსი, მათი ზედაპირების მდგომარეობა, ატმოსფერული მოვლენები და სხვა. განვიხილოთ ამ ფაქტორების მოქმედება.

3.2.1. არტახისა და რელსის მასალა და მათი ზედაპირების მდგომარეობა

რაც უფრო მტკიცე მასალისგანაა დამზადებული არტახი და რელსი, სხვა თანაბარ პირობებში, მით უფრო მაღალია მათ შორის ჩაჭიდების კოეფიციენტი. თუ რელსის ზედაპირი დაბინძურებულია მტვერით, ზეთის ფენით, დაფარულია ლიპინულით და ა.შ., ამ შემთხვევაში ჩაჭიდების კოეფიციენტი მკვეთრად მცირდება.

3.2.2. ბორბლების გაცურება

როგორც ცნობილია, მრუდეებში მოძრავი შემადგენლობის ჩაწერის გაიოლების მიზნით, არტახებს აძლევენ კონუსურ ფორმას (დაახლოებით 7° დახრით) (ნახ. 3.2).



ნახ. 3.2. არტახის დაყრდნობა რელსის ზედაპირზე.

დაუშვათ არტახი რელსს ეყრდნობა oab სივანის შესაბამის ფართზე. გორვისას არტახის სხვადასხვა წერტილები ცდილობენ გაიარონ სხვადასხვა მანძილი. კერძოდ “ oa ” მონაკვეთის წერტილები გადიან უფრო მოკლე მანძილს, ხოლო “ ob ” მონაკვეთის წერტილები უფრო გრძელ მანძილს. ვინაიდან, თვალი ბრუნვისას გადის ერთნაირ მანძილს; გამოდის, რომ არტახის სხვადასხვა წერტილები განუწყვეტლივ განიცდიან გაცურებას რელსის ზედაპირზე. ასეთივე სურათი შეიმჩნევა იმ შემთხვევაშიც, როდესაც წყვილთვალის არტახები არათანაბრადაა გაცვეთილი. მაგალითად, ვთქვათ წყვილთვალის ერთი არტახის დიამეტრია

1 200 მმ, ხოლო მეორესი 1 197 მმ. ამ შემთხვევაში, თუ წყვილთვალის ბრუნავს 100

ბრ/წთ-ში სიჩქარით, მაშინ პირველი არტახის მიერ განვლილი მანძილი ტოლი იქნება $S_1 = \pi D_1 n_{\omega} = 3,14 \cdot 1,200 \cdot 100 = 376,8$ მეტრის, ხოლო მეორე არტახის მიერ განვლილი მანძილი იქნება $S_2 = \pi D_2 n_{\omega} = 3,14 \cdot 1,197 \cdot 100 = 375,8$ მეტრი. გამოდის, წყვილთვალის მიერ განვლილი მანძილი რომ იყოს ერთნაირი 100 ბრ/წთ-ში სიჩქარით მოძრაობისას, ნაკლები დიამეტრის მქონე არტახმა რელსზე უნდა ისრიალოს 1 მეტრ მანძილზე.

წყვილთვალის არტახების დამატებითი სრიალი წარმოიშვება მრუდში მოძრაობისას, როდესაც ისინი წყვილთვალის ერთი და იგივე ბრუნვისას გადიან სხვადასხვა მანძილს.

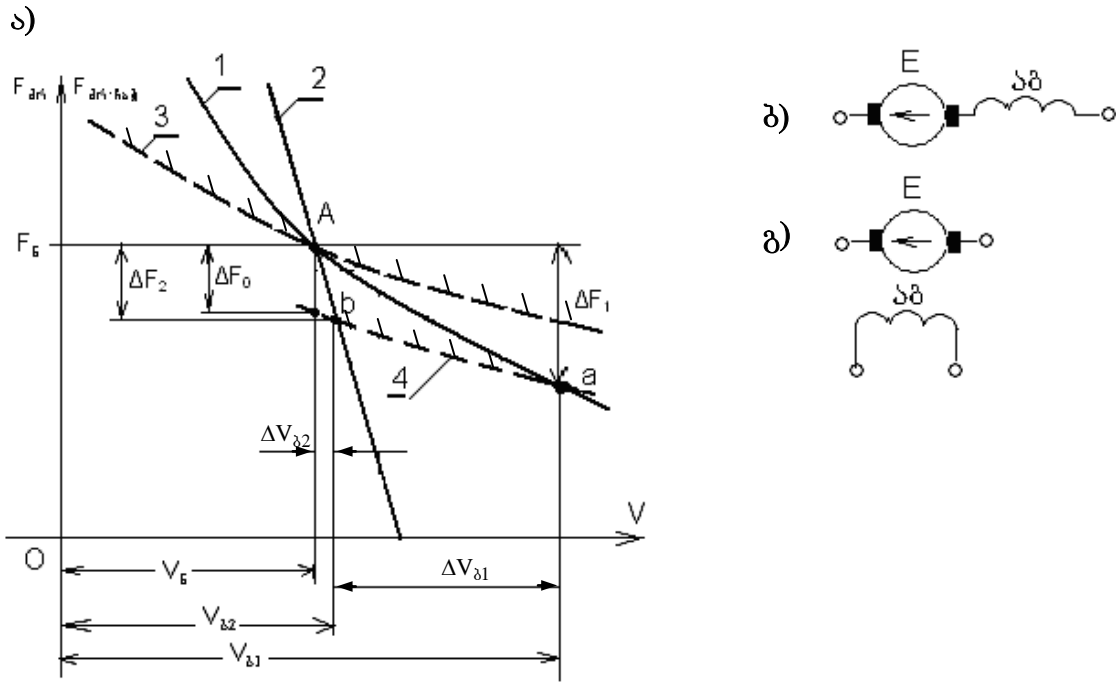
3.2.3. წვეის ძრავების მახასიათებლების სიხისტის გავლენა ჩაჭიდების წვეის ძალის რეალიზაციაზე

სხვადასხვა სიხისტის მახასიათებლების მქონე ელექტრომოდრაფი შემადგენლობის ხანგრძლივმა ექსპლუატაციამ აჩვენა სიხისტი მახასიათებლების უღაო უპირატესობა. ამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი. მაგალითების განხილვის დროს ვუშვებთ, რომ წვეის ძრავები იკვებებიან უსასრულო სიმძლავრის კვების წყაროდან, ანუ წვეის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის სიდიდე არაა დამოკიდებული დატვირთვის დენზე და უცვლელია.

გთქვამთ, გვაქვს სხვადასხვა სიხისტის წვეის მახასიათებლის $F_{არ.ჩაჭ}(V)$ მქონე წვეის ძრავები – რბილი მახასიათებლით – 1 მრუდი (აქვს ნახ. 3.3, ბ-ზე მოცემულ მიმდევრობით აგზნებიან წვეის ძრავას) და სიხისტი მახასიათებლით – 2 წრფე, (აქვს ნახ. 3.3, გ-ზე მოცემულ დამოუკიდებელ აგზნებიან წვეის ძრავას). ორივე ტიპის წვეის ძრავას მახასიათებელი მოცემულია ნახ. 3.3, ა-ზე. აქვე მოცემული მე-3 მრუდი წარმოადგენს ჩაჭიდების წვეის ძალის ცვლილებას სიჩქარის მიხედვით $F_{არ.ჩაჭ}(V)$.

ნომინალურ რეჟიმში ერთი ან მეტი პარალელურად ჩართული წვეის ძრავების სტატიკური და დინამიკური მახასიათებლები განისაზღვრება 1-მრუდით და 2 წრფით. ნორმალური ჩაჭიდების პირობებში, მათ მდგრად მუშაობას შეესაბამება A წერტილი. რაიმე შემთხვევითი ფაქტორით ჩაჭიდების წვეის ძალის ΔF სიდიდით შემცირების შემთხვევაში, ჩაჭიდების წვეის ძალის ცვლილებას შეესაბამება წყვეტილი მე-4 მრუდი. ამ შემთხვევაში სხვადასხვა სიხისტის მქონე მახასიათებლისათვის წვეის ძალის და სიჩქარის გადახრა იქნება სხვადასხვა და მათ შორის იქნება მნიშვნელოვანი განსხვავება (შევადართო ერთმანეთს ΔV_1 , ΔV_2 და ΔF_1 , ΔF_2).

რბილი მახასიათებლის მქონე ძრავას შემთხვევაში (1-მრუდი), მდგრადი ბუქსაობის რეჟიმს შეესაბამება a -წერტილი, ხოლო სიხისტი მახასიათებლის მქონე



ნახ. 3.3. ბუქსაობის პროცესი რბილი (1 მრუდი) და ხისტი (2 - წრფე) მახასიათებლის დროს.

ძრავას შემთხვევაში (მე-2 წრფე) b წერტილი. როგორც ნახაზიდან გარკვევით ჩანს, რბილი მახასიათებლის შემთხვევაში, სრიალის სიჩქარე, რომელიც ტოლია $\Delta V_{\delta 1} = V_{\delta 1} - V_6$ გაცილებით დიდია, ვიდრე ხისტი მახასიათებლის შემთხვევაში $\Delta V_{\delta 2} = V_{\delta 2} - V_6$. შესაბამისად ჩაჭიდების წვევის ძალების გადახრაშიც იქნება განსხვავება, $\Delta F_1 \gg \Delta F_2$. ხისტი მახასიათებლის შემთხვევაში უმნიშვნელო წაბუქსავეები შეიძლება თავისთავად აღმოიფხვრას ან მათ აღმოფხვრას დასჭირდეს მცირე ძალისხმევა. აღნიშნულის გამო, ამ შემთხვევაში ლოკომოტივის ჩაჭიდების შესაძლებლობების გამოყენება უფრო მაღალია. რაც შეეხება ბუქსაობას, რბილი მახასიათებლების მქონე ამძრავის შემთხვევაში, როგორც საექსპლუატაციო გამოცდილებამ აჩვენა, შემთხვევითი უმნიშვნელო წაბუქსავეები შეიძლება გადავიდეს ზებრუნ სრიალში. მის აღსაკვეთად საჭიროა მობუქსავე წვეილთვალის ქვეშ ქვიშის მიწოდება ან ძრავას მიერ განვითარებული წვევის ძალის სწრაფად შემცირება.

3.2.4. წვევის ძრავების შეერთების სქემის გავლენა

განხილულთან დაკავშირებით, გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს საკითხი, თუ როგორაა დამოკიდებული წვევის მახასიათებლის სიხისტე, წვევის ძრავების შეერთების სქემაზე. თუ დამოუკიდებელ ან მიმდევრობით აღზნებიანი წვევის ძრავები იმავე მძლავრ წრედში ჩართულნი არიან პარალელურად, მაშინ მათი სტატიკური

მასასიათებლები ემთხვევიან დინამიკურ მასასიათებლებს. მაგრამ თუ წვეის ძრავები ირთვებიან მიმდევრობით, მაშინ სურათი იცვლება. ამ შემთხვევაში მიმდევრულად ჩართული ძრავების რიცხვის მიხედვით, მნიშვნელოვანია განსხვავება სტატიკურ და დინამიკურ მასასიათებლებს შორის.

მართლაც, თუ გვექნება მიმდევრობით ჩართული ძრავების რაოდენობა m და სიმცირის გამო უგულებელყოფთ ძაბვის ვარდნებს ღუზის გრაგნილებში (მათი მნიშვნელობები არ აღემატება 3%-ს), შეგვიძლია დაგწეროთ

$$U = mCV_0\Phi, \quad (3.4)$$

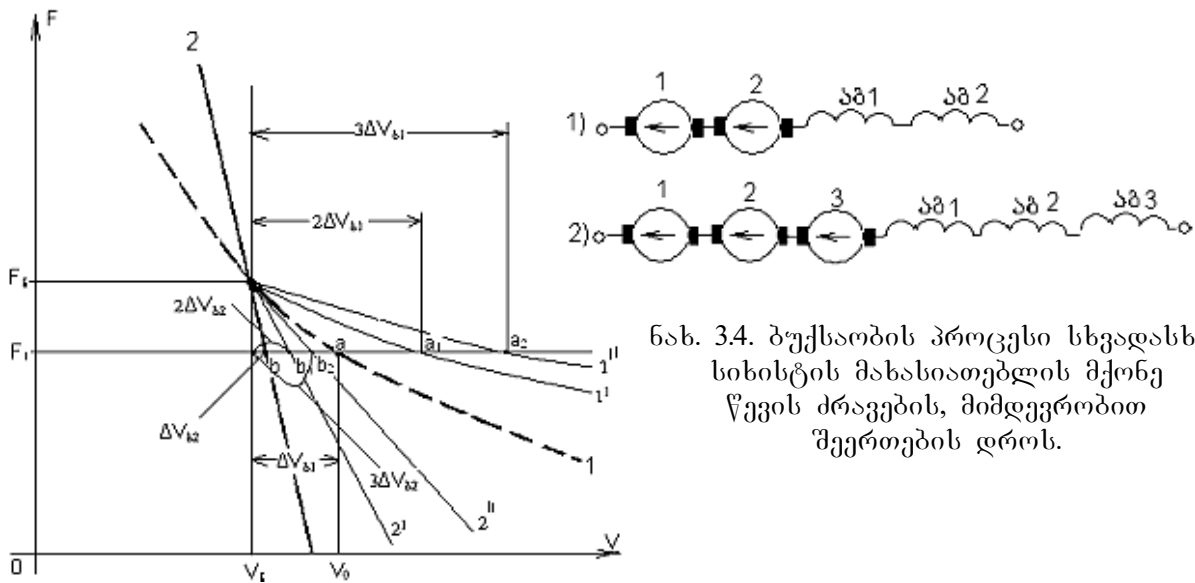
სადაც, m – მიმდევრულად ჩართული ძრავების რიცხვი,

C – ძრავას და გადამცემი რელუქტორის ცნობილი მუდმივა,

V_0 – ლოკომოტივის სიჩქარე.

Φ – მაგნიტური ნაკადია.

თუ ბუქსაობას ადგილი არ აქვს ან თუ ბუქსაობს ყველა წყვილთვალა, მაშინ ერთი და იგივე ღუზის დენის მნიშვნელობის დროს, ძაბვა თანაბრად განაწილდება მიმდევრულად ჩართულ ძრავებს შორის და ტოლი იქნება U/m . ყოველ წვეის ძრავას მასასიათებელს შეესაბამება მრუდი 1 (ნახ. 3.4).



ნახ. 3.4. ბუქსაობის პროცესი სხვადასხვა სიხისტის მასასიათებლის მქონე წვეის ძრავების, მიმდევრობით შეერთების დროს.

თუ მიმდევრულად ჩართულ m ძრავადან, ბუქსაობს ერთ ძრავთან დაკავშირებული წყვილთვალა (მაგალითად ეს წყვილთვალა მოხვდა ზეთის ფენით დაბინძურებულ რელსზე და დაკარგა ჩაჭიდება), მაშინ (3.4) განტოლება შეგვიძლია ჩავწეროთ ასე

$$mCV_0\Phi = (m-1)CV_0\Phi + C(V_0 + \Delta V_3)\Phi, \quad (3.5)$$

სადაც, V_0 არის 1 მრუდიდან განსაზღვრული საწყის სიჩქარე,

V_3 – ასრიალების სიჩქარე.

(3.5) განტოლებიდან ასრიალების სიჩქარე

$$\Delta V_3 = m(V_3 - V_0). \quad (3.6)$$

მობუქსავე წყვილთვალის სიჩქარე იქნება

$$V_3 = V_0 + m(V_3 - V_0). \quad (3.7)$$

ნახ. 3.4-ზე ამ რეჟიმს შეესაბამება a_1 წერტილი ორი ძრავას შემთხვევაში, a_2 წერტილი სამი ძრავას შემთხვევაში და ა.შ. ამ რეჟიმებს შეესაბამება შესაბამისი მრუდები 1', 1'' და ა.შ. როგორც ნახაზიდან ჩანს დინამიკური მახასიათებლები (მრუდები 1', 1'' და ა.შ.), მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან ნორმალური 1 – მრუდიდან. ამავე დროს, მახასიათებლის სიხისტე მიმდევრულად ჩართული წვევის ძრავების რიცხვის უკუპროპორციულია.

იმავე ნახაზზე ნახვენებია ბუქსაობის იგივე პროცესი ხისტი მახასიათებლის შემთხვევაში (2-წრფე). $\Delta V_{32} \ll \Delta V_{31}$ და, ამ შემთხვევაში, ბუქსაობის აღკვეთა უფრო ადვილია. ამ მიზეზით ყველა სხვა თანაბარ პირობებში, მიმდევრობით აღგზნებიანი ძრავების გამოყენება არაა მიზანშეწონილი. სწორედ ამ მიზეზით აიხსნება ის, რომ ჩაჭიდების წონის გამოყენება ცვლადი დენის ელექტრომაგვლებში (სადაც წვევის ძრავები ჩართულია უცვლელი პარალელური სქემით) გაცილებით მაღალია, ვიდრე მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებში.

3.3. ელექტრომაგვლის წვევითი თვისებების ამამაღლებელი ღონისძიებები

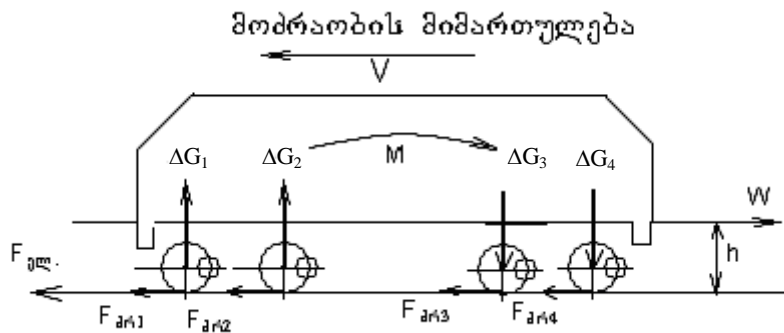
ა) ჩაჭიდების წონის გამოყენების ამაღლება

ვინაიდან ლოკომოტივის წვევის ძალა და მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა მოქმედებს სხვადასხვა სიბრტყეში და სხვადასხვა მიმართულებით, ამიტომ მოძრაობის პროცესში ადგილი აქვს ვერტიკალური დატვირთვის გადანაწილებას წყვილთვალზე. ამავე დროს ლოკომოტივის წონა, რომელიც ტოლია წყვილთვალზე მოსული წონების ჯამის, არ იცვლება.

ვთქვათ ელექტრომაგვალი შემადგენლობასთან ერთად, მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით. ამ დროს ელექტრომაგვლის წვევის ძალა $F_{ელ.}$ ტოლია მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის W . ე.ი. $F_{ელ.} = W$.

წვევის ძალა $F_{ელ.} = \sum F_{კრ.}$ მოდებულია არტახის და რელსის შეხების ზონაში, ხოლო მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W , რელსიდან h სიმაღლეზე (ნახ. 3.5). შედეგად წარმოიქმნება ე.წ. ამაყირავებელი მომენტი, რომელიც ცდილობს

წამოსწიოს ძარის წინა ნაწილი (მოძრაობის მიმართულების მიხედვით) და დასწიოს უკანა. ამის გამო წინა ურეკის ღერძები განიტვირთება ΔG_1 და ΔG_2 სიდიდით, ხოლო უკანა ღერძები დამატებით დაიტვირთება ΔG_3 და ΔG_4 სიდიდით.



ნახ. 3.5. წყვილთვალებზე დატვირთვების გადანაწილება წვეის რეჟიმში.

ღერძებზე ვერტიკალური დატვირთვის ასეთი არათანაბარი გადანაწილება $F_{ძრ.ნაჭ} = (G_0 - \Delta G)\Psi_0$ – ფორმულის თანახმად გამოიწვევს ჩაჭიდების წვეის ძალის შემცირებას წინა ღერძებზე, რაც თავის მხრივ გაზრდის ბუქსაობის ალბათობის შესაძლებლობას უკანა ღერძებთან შედარებით. აღნიშნულის გამო ლოკომოტივის ჩაჭიდების წონა სრულად არ გამოიყენება და შესაბამისად მცირდება ლოკომოტივის ჩაჭიდების წვეის ძალა.

ჩაჭიდების წონის სრულად გამოყენების მიზნით, მშენებლობის პროცესში ცდილობენ მოწყობილობები განალაგონ ისე, რომ ცალკეულ ღერძზე დატვირთვა არ განსხვავდებოდეს საშუალო მნიშვნელობიდან + 2% -ით.

თანამედროვე ლოკომოტივები აღჭურვილია განტვირთვის საწინააღმდეგო მოწყობილობებით.

ბ) წვეის ძრავების და წყვილთვალების შერჩევა

ჩაჭიდების წონის ეფექტურ გამოყენებას მნიშვნელოვნად განაპირობებს მოტორღერძების სწორი შერჩევა, რაც მეტნაკლებად უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$D_1 n_1 = D_2 n_2 = D_3 n_3$$

სადაც, D_1, D_2, D_3 არის წყვილთვალების დიამეტრები, ხოლო n_1, n_2, n_3 – მათთან დაკავშირებული ძრავების ბრუნთა რიცხვები.

აღნიშნულის გამო, მოტორღერძული ბლოკების აგროვების დროს მაღალსიჩქარიანი მახასიათებლების მქონე წვეის ძრავებს აყენებენ იმ ღერძებზე, რომელთაც აქვთ ბორბლების არტახების ნაკლები დიამეტრი.

გ) მატარებლის ტარების რეჟიმი

ლოკომოტივის ჩაჭიდების წონის გამოყენების ეფექტურობას მნიშვნელოვნად განაპირობებს გზის პროფილის შესაბამისად, მატარებლის ტარების რეჟიმის სწორი შერჩევა და ჩაჭიდების კოეფიციენტის ამამაღლებელი ღონისძიებების დროული გამოყენება. რთულ აღმართებთან მძიმეწონიანი მატარებლებით მიახლოებისას, მემანქანემ უნდა გაზარდოს სიჩქარე მაქსიმალურ დასაშვებ მნიშვნელობამდე, ველის შესუსტების საფეხურების დროული გამოყენებით. დიდი დახრილობის აღმართზე მოძრაობისას, უნდა გამოიყენონ კვარცის მშრალი ქვიშა ხშირად, მცირე პროპორციებით, რათა თავიდან ავიცილოთ მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის გაუმართლებელი გაზრდა.

უნდა გვახსოვდეს, რომ ძრავების ერთი დაჯგუფებიდან მეორეზე გადასვლის დროს ან ველის საფეხურებზე გადასვლისას არ დაუშვათ დენის დიდი ნახტომები, რადგან ეს გამოიწვევს ცალკეული წყვილთვალეების ბუქსაობას, მათ წვეის ძალების დაკარგვას და მ.შ. სიჩქარის შემცირებას.

IV ტაზო

მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალები

4.1. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალთა კლასიფიკაცია

წყვილთვალის არტახისა და რელსის შეხების ზონაში წარმოქმნილი გარეშე მამოძრავებელი ძალის (შემდგომში მას მარტივად ვუწოდებთ წვეის ძალას) მიერ შესრულებული მუშაობის უმეტესი წილი, იხარჯება მატარებლის გადაადგილების საწინააღმდეგოდ წარმოქმნილი გარეშე ე.წ. წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე, ანუ სხვაგვარად, მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა ეწოდება მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მიმართულ ძალთა ეკვივალენტურ ძალას, რომლის დაძლევაზეც იხარჯება ლოკომოტივის მიერ განვითარებული წვეის ძალის მნიშვნელოვანი ნაწილი.

მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი წარმოქმნილ წინააღმდეგობის ძალებს, როგორც ვიცით, აღნიშნავენ ლათინური W (გერმანული სიტყვის **der Widerstand** – წინააღმდეგობა, უკუმოქმედება) ასოთი.

წინააღმდეგობის ძალთა კლასიფიკაცია ხდება შემდეგი ნიშნების მიხედვით:

1. წინააღმდეგობის ძალთა კლასიფიკაცია მოძრავი შემადგენლობის წონის მიხედვით:

- **სრული წინააღმდეგობა** W ნ, (კგ) მატარებლის, როგორც ერთი მთლიანი ერთეულის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა.
- **ხვედრითი წინააღმდეგობა** w (ნ/კნ), (კგ/ტ) მატარებლის ერთეული წონის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა.

აღნიშნულ ძალებს შორის არსებობს შემდეგი ურთიერთკავშირი

$$\text{ან} \left. \begin{aligned} W &= w(P + Q), \\ w &= \frac{W}{P + Q} \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

სადაც, $(P + Q)$ არის მატარებლის სრული წონა კნ-ში, ან (ტონებში).

2. წინააღმდეგობის ძალთა კლასიფიკაცია ექსპლუატაციის პირობებით:

- ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა W_0 ; w_0 ,
- დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა $W_{\text{დამ}}$; $w_{\text{დამ}}$,
- დაძვრის წინააღმდეგობის ძალა $W_{\text{დაძ}}$; $w_{\text{დაძ}}$,
- საერთო (სრული) წინააღმდეგობის ძალა W ; w .

მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალებს პირობითად ჰყოფენ ორ ჯგუფად:

ა) პირველ ჯგუფში შედის წინააღმდეგობის ძალები, რომლებიც დამოკიდებულია მოძრავი შემადგენლობის ტიპზე და მოძრაობის სიჩქარეზე. მათ უწოდებენ მოძრაობისადმი ძირითად წინააღმდეგობის ძალებს და აღნიშნავენ W_0 სიმბოლოთი.

მატარებელში შემაგალი ყველა ერთეული, მათ შორის ლოკომოტივების მოძრაობა აღიწერება, ერთი და იგივე ურეის მოძრაობის განტოლებით. მაგრამ ლოკომოტივებში, კერძოდ ელექტრომავლებში ვაგონებთან შედარებით წვეის ძრავების და კბილანა რედუქტორების არსებობა, განაპირობებს მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალებს შორის განსხვავებას. ასევე, მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალების სიდიდეზე, მნიშვნელოვნად მოქმედებს ლოკომოტივის მუშაობის რეჟიმები.

აღნიშნულის გამო, მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალებს დამატებით განასხვავებენ ლოკომოტივის მუშაობის რეჟიმის მიხედვით:

- მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალები წვეის რეჟიმში $W_0; w_0$,
- მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალები თავისუფალი გორვის რეჟიმში $W_x; w_x$.

ბ) მეორე ჯგუფში აერთიანებენ ე.წ. დამატებით წინააღმდეგობის ძალებს, რომლებიც ძირითადად განპირობებულია გზის პროფილით, გეგმით, (ქანობი, მრუდეები), ქარით, გვირაბებით.

$$W_{\text{დ}} = W_i + W_{\text{მრ}} + W_{\text{ქ}} + W_{\text{გგ}} + W_{\text{ლად}} + W_{\text{გენ}}, \quad (4.2)$$

სადაც, W_i , $W_{\text{მრ}}$, $W_{\text{ქ}}$, $W_{\text{გგ}}$, $W_{\text{ლად}}$, $W_{\text{გენ}}$ შესაბამისად არის – ქანობით, მრუდეებით, ქარით, გვირაბით, დაძვრით და ვაგონქვეშა გენერატორების მუშაობით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალები.

მოძრავი შემადგენლობის (მატარებლის) მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა, არის ძირითადი და დამატებითი წინააღმდეგობის ძალთა ალგებრული ჯამი.

ან ხვედრით ფორმაში.

$$\left. \begin{aligned} W &= W_0 + W_{\text{დ}}, \\ w &= w_0 + w_{\text{დ}}. \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

3. წინააღმდეგობის ძალთა კლასიფიკაცია მოძრავი შემადგენლობის ტიპის მიხედვით:

- ლოკომოტივის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W' ; w' ,
- შემადგენლობის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W'' ; w'' ,
- მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W ; w .

4.2. მატარებლის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალები

მატარებლის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალები განპირობებულია ხახუნით მოძრავი შემადგენლობის ცალკეულ კვანძებში, გარემო ჰაერსა და მოძრავი შემადგენლობის გარსაცმს შორის. სხვაგვარად, მოძრაობისადმი ძირითად წინააღმდეგობის ძალებს მიეკუთვნებათ ის ძალები, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან მატარებლის გადაადგილებას, სწორ, ჰორიზონტალურ უბანზე, უქარო ამინდში მოძრაობისას. ეს ძალები წარმოიქმნებიან მოძრაობის პროცესში, ყველგან და ყოველთვის. მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალები განპირობებულია:

ხახუნით:

- ბუქსების საკისრებში,
- გორვის ხახუნით არტახსა და რელსს შორის,
- სრიალის ხახუნით არტახსა და რელსს შორის,
- ხახუნით გარემო ჰაერსა და მოძრავი შემადგენლობის კორპუსს შორის.

ენერჯის გაბნევით:

- ბორბალსა და რელსს შორის,
- მოძრავ შემადგენლობასა და გარემოს შორის.

ქვემოთ განვიხილოთ ხახუნის ძალები ცალ-ცალკე.

ა) ბუქსების საკისრებში ხახუნი დამოკიდებულია ღერძზე მოსულ ვერტიკალურ დაწოლის ძალაზე და, რა თქმა უნდა, ბუქსებში ხახუნის კოეფიციენტზე. ეს უკანასკნელი თავის მხრივ დამოკიდებულია ღერძის ვერტიკალურ დატვირთვაზე, ბუქსის საკისრის ტიპზე და მოძრაობის სიჩქარეზე. დაძვრის მომენტში, იმის გამო, რომ არაა ზეთის ფენა, მოძრაობა იწყება მშრალი ხახუნით, შესაბამისად ხახუნის კოეფიციენტი დიდია და სიჩქარის ზრდასთან ერთად (30-50 კმ/სთ სიჩქარის დროს) მცირდება მინიმუმამდე. სიჩქარის შემდგომი ზრდისას, იმის გამო, რომ ზეთის ტემპერატურა იზრდება და შესაბამისად მცირდება მისი სიბლანტე, იზრდება ხახუნის კოეფიციენტი და შესაბამისად ბუქსებში ხახუნით გამოწვეული მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა.

ბ) არტახსა და რელსს შორის გორვის ხახუნი.

წყვილთვალის გორვას, რელსის ზედაპირზე, თან ახლავს გორვის ხახუნი, რომლის დაძლევაზე იხარჯება ლოკომოტივის მიერ მოხმარებული ენერჯის ნაწილი. გორვის ხახუნის ფიზიკური არსი მდგომარეობს შემდეგში; წყვილთვალის

რელსზე ვერტიკალური დაწოლის 2G-ს ზემოქმედებით წარმოიქმნება რელსის და არტახის დრეკადი დეფორმაცია. ამ დეფორმაციის შედეგად წყვილთვალის თვლები, რელსში ეშვება Δ მანძილზე და მის საწყის მდგომარეობაში დასაბრუნებლად საჭიროა გარკვეული ენერგიის დახარჯვა. მეორეს მხრივ არტახი რელსის საყრდენ ზონაში ქმნის ე.წ. “ნაპლივს” (ქართულად ითარგმნება, როგორც **რელსის თია**, ანუ რელსის მეტალის გარკვეული სიჭარბე). მისი ანალოგი შეიძლება იყოს გემის მოძრაობა წყალში (როდესაც გემის ცხვირი დეენის წინ წყლის გარკვეულ ნაკადს.

გ) არტახსა და რელსს შორის სრიალის ხახუნი.

წყვილთვალის რელსზე მოძრაობას ყოველთვის თან ახლავს არტახის გაცურება რელსზე. ამას კი მოჰყვება სრიალის ხახუნის ძალის წარმოქმნა და შესაბამისად მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის გაზრდა. ამის განმაპირობებელი ფაქტორებია:

- წყვილთვალის არტახების კონუსური ფორმა,
- რელსებს შორის წყვილთვალის მიმოქნევითი მოძრაობა,
- წყვილთვალის თვლებს შორის განსხვავება დიამეტრებში,
- წყვილთვალის არასწორი ჩამაგრება ურიკაში.

დ) ხახუნი გარემო ჰაერსა და მოძრავი შემადგენლობის კორპუსს შორის.

ღია სივრცეში მოძრაობის დროს მატარებელს უხდება გარემო ჰაერის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის გადალახვა. ამ სახის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის ფიზიკური არსი შეიძლება აიხსნას ჰიდროდინამიკის კანონებით.

თუ მივიღებთ მოძრავ მატარებელსა და გარემო ჰაერს შორის ურთიერთქმედების გამარტივებულ სქემას, მაშინ აეროდინამიკის ძირითადი პრინციპების გამოყენებით შეგვიძლია მიახლოებით განვსაზღვროთ აეროდინამიკური წინააღმდეგობა.

გარემო ჰაერის წინააღმდეგობის ძალის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზებია:

- ლოკომოტივის შუბლურ ნაწილზე მოქმედი ჰაერის ნაკადის დინამიკური დაწოლა.
- მატარებლის ბოლო ვაგონის უკან ძლიერი გრივალური ნაკადის წარმოქმნა, რაც განაპირობებს ამ ზონაში გარკვეული ვაკუუმის შექმნას.
- ვაგონთაშორის სივრცეში ჰაერის ნაკადის ტურბულენტურობა (მძვინვარე ნაკადი);
- მატარებლის გარსაცმსა და ჰაერს შორის ხახუნი.
- განსაკუთრებით ძალიან დიდი ტურბულენტურობა ვაგონქვეშა სივრცეში, რასაც ხელს უწყობს წყვილთვალეების, როგორც ვენტილატორების თვლების მსგავსი მუშაობა.

მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის ამ მდგენელის შემცირება შესაძლებელია მოძრავი შემადგენლობის გარსაცმის აეროდინამიკური ფორმის გაუმჯობესებით და მატარებლის სწორი ფორმირებით.

ექსპერიმენტებით დასტურდება, რომ მცირე სიჩქარეების დროს (40 კმ/სთ-ზე ნაკლები), განმსაზღვრელია ხახუნი ბუქსის საკისრებში, გორვის და სრიალის ხახუნი წყვილთვალსა და რელსს შორის. 60 კმ/სთ სიჩქარის ზემოთ, განმსაზღვრელი ხდება გარემო ჰაერით განპირობებული წინააღმდეგობის ძალა.

ყოველივე აღნიშნული საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ: მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალების განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორია სიჩქარე. ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია.

$$W_0 \equiv f(V^2). \quad (4.4)$$

მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალებზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ვაგონების დატვირთვა (დერძზე მოსული დაწოლა q_0)

$$W_0 \equiv f\left(\frac{1}{q_0}\right). \quad (4.5)$$

მოძრაობისადმი ძირითადი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა w_0 დამოკიდებულია მოძრავი შემადგენლობის ტიპზე.

ლოკომოტივების და სამგზავრო ვაგონებისათვის (რომლებშიც $q_0 = const$) საან-

გარიშო ფორმულას აქვს სახე
$$W'_0 = a + bV + cV^2 \frac{6}{კნ} ; \left(\frac{კბ}{ტ}\right). \quad (4.6)$$

სატვირთო ვაგონებისათვის
$$W''_0 = \frac{a + (b + cV + dV^2)}{q_0} \frac{6}{კნ} ; \left(\frac{კბ}{ტ}\right). \quad (4.7)$$

სადაც, a, b, c, d ემპირიული კოეფიციენტებია.

4.3. მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალების გაანგარიშება

მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი ძირითად წინააღმდეგობის ძალაზე მრავალი, მათ შორის, შემთხვევითი ხასიათის ფაქტორი ახდენს ზემოქმედებას. ამიტომ, მისი ანალიზური (ჩვეულებრივად ფორმულის საშუალებით) გზით გაანგარიშება შეუძლებელია. აღნიშნულის გამო გაანგარიშებას ახდენენ ექსპერიმენტულად მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე.

ცალკეული ტიპის მოძრავი შემადგენლობისათვის ექსპერიმენტებით მიღებული მონაცემების დამუშავება ხდება სტატისტიკური და ალბათობის თეორიაზე დაყრდ-

ნობილი მეთოდების გამოყენებით. მიღებული შედეგების საფუძველზე მიიღება ემპირიული საანგარიშო ფორმულები, რომლებიც განსაზღვრავენ W_0 -ის საშუალო მნიშვნელობებს. გაანგარიშების დროს სამი ძირითადი საექსპლუატაციო ფაქტორია გამოკვეთილი, რომელიც განსაზღვრავს W_0 -ს – **სიჩქარე, მოძრავი შემადგენლობის ტიპი და ღერძზე საშუალო დაწოლა.**

ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ძირითადი წინააღმდეგობის ძალის მნიშვნელობა ლოკომოტივებისათვის დამოკიდებულია მათ მუშაობის რეჟიმზე და ცალ-ცალკე განისაზღვრება **წვეის და თავისუფალი გორვის რეჟიმებისათვის.**

მაგალითად, მატარებლის მოძრაობისადმი ხვედრით წინააღმდეგობის ძალა ლოკომოტივის წვეის რეჟიმში მუშაობის დროს, განისაზღვრება ფორმულით,

$$w_{\text{წ}} = \frac{(w'_{\text{წ}}P + w''_{\text{წ}}Q)}{P + Q} \frac{6}{\text{კნ}} ; \left(\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}} \right), \quad (4.8)$$

სადაც, P – ლოკომოტივის წონა, კნ-ში; Q – შემადგენლობის წონა კნ-ში.

მატარებლის მოძრაობისადმი ხვედრით წინააღმდეგობის ძალა, ლოკომოტივის თავისუფალი გორვის რეჟიმში მუშაობის დროს, განისაზღვრება ფორმულით,

$$w_{\text{გთ}} = \frac{(w'_{\text{გთ}}P + w''_{\text{გთ}}Q)}{P + Q} \frac{6}{\text{კნ}} ; \left(\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}} \right). \quad (4.9)$$

თუ ვაგონების წონითი წილი შემადგენლობაში და მათი საკისრების ტიპი მოცემულია კოეფიციენტებით:

- $\alpha_{\text{ბ4}}$ – სრიალის საკისრებიანი, ოთხღერძიანი,
- $\alpha_{\text{გ4}}$ – გორვის საკისრებიანი, ოთხღერძიანი,
- $\beta_{\text{ბ6}}$ – სრიალის საკისრებიანი, ექვსღერძიანი,
- $\beta_{\text{გ6}}$ – გორვის საკისრებიანი, ექვსღერძიანი,
- $\gamma_{\text{ბ8}}$ – სრიალის საკისრებიანი, რვაღერძიანი,
- $\gamma_{\text{გ8}}$ – გორვის საკისრებიანი, რვაღერძიანი.

ამ შემთხვევაში შემადგენლობის მოძრაობისადმი ძირითად წინააღმდეგობის ძალა გაითვლება ფორმულით,

$$w''_0 = \alpha_{\text{ბ4}} w''_{04} + \alpha_{\text{გ4}} w''_{04} + \beta_{\text{ბ6}} w''_{06} + \beta_{\text{გ6}} w''_{06} + \gamma_{\text{ბ8}} w''_{08} + \gamma_{\text{გ8}} w''_{08}. \quad (4.10)$$

რა თქმა უნდა

$$\alpha_{\text{ბ4}} + \alpha_{\text{გ4}} + \beta_{\text{ბ6}} + \beta_{\text{გ6}} + \gamma_{\text{ბ8}} + \gamma_{\text{გ8}} = 1. \quad (4.11)$$

4.4. მატარებლის მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალები

ექსპლუატაციაში მოძრავ შემადგენლობაზე გარკვეულ კონკრეტულ პირობებში მოქმედებენ შემდეგი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალები:

- ქანობით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალა,
- მრუდეებით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალა,
- ქარით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალა,
- გვირაბით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალა,
- სამგზავრო ვაგონებში ვაგონქვეშა გენერატორების მუშაობით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალა.

განვიხილოთ ისინი დეტალურად.

4.4.1. ქანობით გამოწვეული მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

ქანობზე მოძრავ მატარებელზე დამატებით მოქმედებს სიმძიმის ძალის მდგენელი $(P+Q)\sin\alpha$ ძალა, რომელიც ყოველთვის მიმართულია თავდაღმართის მიმართულებით. ამ მდგენელის ფიზიკური არსი განხილული იყო ზემოთ.

სანამ ძალებს განვიხილავდეთ განვმარტოთ ქანობის მცნება.

ქანობს აღნიშნავენ i სიმბოლოთი და გამოსახავენ მეათასედებში (%). მას წარმოადგენენ, როგორც პროფილის ელემენტის ჰორიზონტალთან დახრის კუთხის α -ს ტანგენსს გამრავლებულს 1 000-ზე. ე.ი. $i=1000\operatorname{tg}\alpha$ (ნახ. 4.1).

სამკუთხედ ABC -დან შეგვიძლია დავწეროთ

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{H}{S}, \quad (4.12)$$

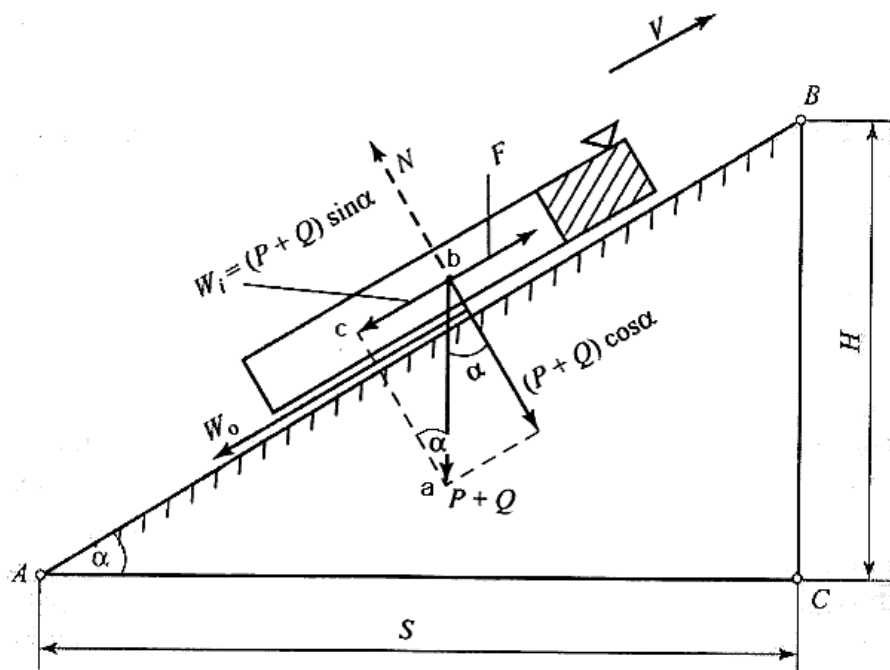
თუ გზის მონაკვეთს ავიღებთ 1 000 მეტრს, ე.ი. $S=AC=1000$ მ, მაშინ $i = \frac{1000H}{1000} = H$.

ე.ი. ქანობის მნიშვნელობა გვიჩვენებს, რამდენი მეტრით მაღლდება გზის ბოლო მის საწყისთან შედარებით, გზის ყოველ კილომეტრზე.

განვიხილოთ სამკუთხედი abc და განვსაზღვროთ α კუთხის \sin -სი, მაშინ $\sin\alpha = \frac{bc}{ab} = \frac{W_1}{P+Q} = w_i$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ რკინიგზის პროფილისთვის α

მცირე კუთხეა, მაშინ $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha$, ე.ი. $w_i = i$. (4.13)

ე.ი. ქანობით გამოწვეული ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა, თვით ამ ქანობის ტოლია.



ნახ. 4.1. ქანობზე მოძრავ მატარებელზე მომქმედი ძალები.

მიღებულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ქანობზე მოძრაობისას მატარებელზე მომქმედი ჯამური ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა ტოლია

$$w = w_0 \pm w_i \quad (4.14)$$

ნიშანი “+” შეესაბამება აღმართებს, ხოლო “-” ნიშანი თავდაღმართებს.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ წვევის ანგარიშების გაიოლების მიზნით ახდენენ ე.წ პროფილის გასწორებას პროფილში (როდესაც ერთნაირი ნიშნის აღმართებს ან თავდაღმართებს ცვლიან ერთი გასაშუალოებული ერთი ელემენტით და აღნიშნავენ i'_g -ით) და გეგმაში (როდესაც რეალურად არსებულ მრუდეებს ცვლიან ფიქტიური აღმართებით და აღნიშნავენ i''_g), თუ გასწორებულ ქანობზე არის მრუდე, მაშინ საბოლოოდ გასწორებული ქანობი მრუდეების გათვალისწინებით იქნება

$$i_g = \pm i'_g + i''_g. \quad (4.15)$$

აღნიშნულს დეტალურად განვიხილავთ ქვემოთ.

4.4.2. მრუდეებით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

მრუდეში მოძრაობის დროს მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალის წარმოქმნა აიხსნება შემდეგი გარემოებებით:

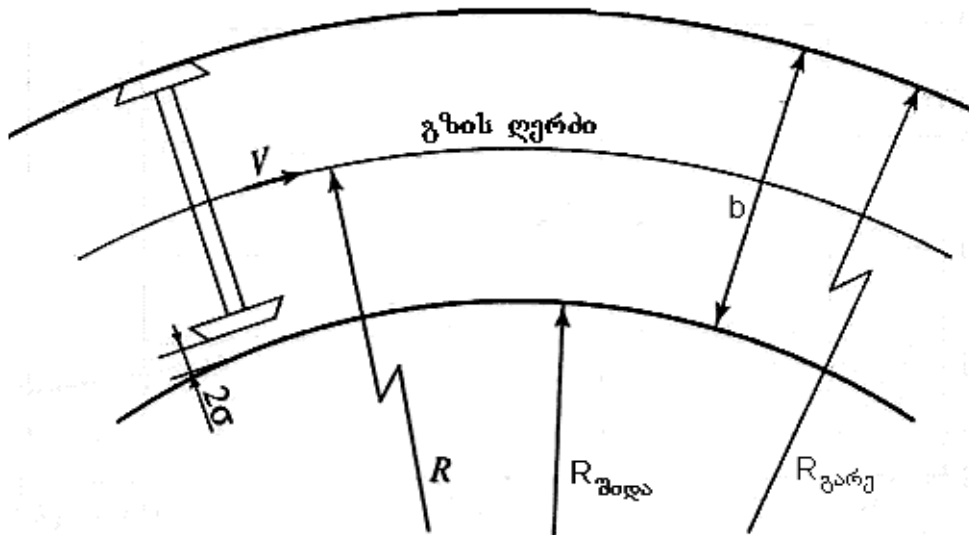
1. ერთი და იგივე დიამეტრის წყვილთვალის თვლები, ერთი და იგივე ბრუნთა რიცხვის პირობებში გადიან სხვადასხვა მანძილს, რაც იწვევს თვლების რელსზე გაცურების გაზრდას, ეს უკანასკნელი კი იწვევს მოძრავი შემადგენლობის ენერჯიის დამატებით დანაკარგს.

წვეის ანგარიშებში მიღებულია – მრუდებში მოძრაობისას წვეილთვალები გადიან გზის ღერძის რადიუსის R შესაბამის მანძილს S -ს (ნახ. 4.2).

$$S = 2\pi R. \quad (4.16)$$

სინამდვილეში მრუდებში მოძრაობისას წვეილთვალის მარცხენა თვალი (ნახ. 4.2), მოძრაობს გარე რელსზე, რომლის რადიუსი $R_g > R$ -ზე და ტოლია

$$R_g = R + \frac{b}{2}. \quad (4.17)$$



ნახ. 4.2. R რადიუსიან მრუდებში წვეილთვალის მოძრაობა.

წვეილთვალის მარჯვენა თვალი მოძრაობს შიგა რელსზე, რომლის რადიუს R_g ტოლია

$$R_g = R - \frac{b}{2}, \quad (4.18)$$

სადაც, b არის ლიანდის სიგანე.

შესაბამისად გარე რელსზე განვლილი მანძილი იქნება მეტი, ვიდრე შიდა რელსზე განვლილი მანძილი. აღნიშნულის გამო ადგილი ექნება წვეილთვალის სრიალს და სრიალის ხახუნის წინააღმდეგობის ძალის წარმოქმნას.

- მრუდებში მოძრაობისას ცენტრიდანული ძალის $\frac{MV^2}{2}$ -ის მოქმედებით მარცხენა ბორბლის არტახის ქიმი ებჯინება გარე რელსის შიდა გვერდს. იზრდება რელსისა და არტახის შეხების ფართი, გვერდითი სრიალის ხახუნი და შესაბამისად წინააღმდეგობის ძალა.
- მრუდებში მოძრაობისას ლოკომოტივების და ვაგონების ურიკები შემობრუნდებიან ძარის მიმართ, რის შედეგად საჭუსელების საყრდენებში და ბუქსებში იზრდება სრიალის ხახუნი, რაც, რა თქმა უნდა, ზრდის წინააღმდეგობის ძალას.

ყველა ფაქტორის გათვალისწინების სირთულის გამო, მრუდეებით გამოწვეულ დამატებითი წინააღმდეგობის ძალას განსაზღვრავენ ემპირიული ფორმულით

$$w_{აგ} = \frac{A}{R} \frac{\delta}{\kappa\delta}; \left(\frac{\kappa\delta}{\delta} \right). \quad (4.19)$$

სადაც, R არის მრუდის რადიუსი მეტრებში, ხოლო A ემპირიული კოეფიციენტია, რომელიც საბჭოთა კავშირის რკინიგზებისთვის მიღებული იყო ტოლი 700-ის (ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა სხვადასხვა ქვეყნების რკინიგზებისთვის სხვადასხვაა. მაგალითად: აშშ-ში $A = 446$, ინგლისში და იაპონიაში $A = 600$, იტალიაში და პოლონეთში $A = 800$). ე.ი. ჩვენი რკინიგზისათვის

$$w_{აგ} = \frac{700}{R} \frac{\delta}{\kappa\delta}; \left(\frac{\kappa\delta}{\delta} \right). \quad (4.20)$$

თუ მრუდის რადიუსის ნაცვლად მოცემული გვექნება ცენტრალური კუთხე α° და მრუდის რკალის სიგრძე $S_{აგ}$, მაშინ რკალის სიგრძესა და ცენტრალურ კუთხეს შორის, ცნობილი დამოკიდებულების თანახმად

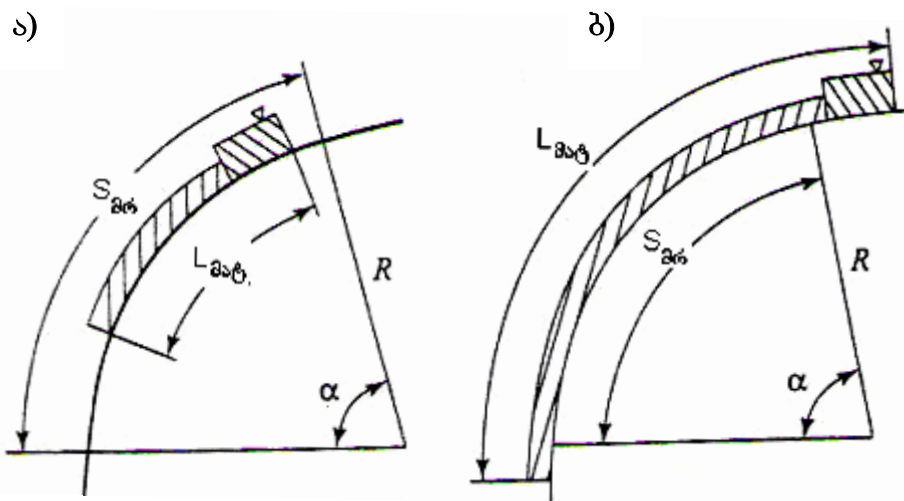
$$S_{აგ} = \frac{2\pi R \alpha^\circ}{360}. \quad (4.21)$$

აქედან განვსაზღვროთ მრუდის რადიუსი R . მივიღებთ

$$R = \frac{360 S_{აგ}}{2\pi \alpha^\circ}. \quad (4.22)$$

შევიტანოთ R -ის მნიშვნელობა (4.20) ფორმულაში. მივიღებთ

$$w_{აგ} = \frac{12.2 \alpha^\circ}{S_{აგ}}. \quad (4.23)$$



ნახ. 4.3. მატარებლის მიერ მრუდეების გავლის სქემები:

ა) $L_{აგ} < L_{არ}$.

ბ) $L_{აგ} > L_{არ}$.

(4.20) და (4.23) ფორმულა გამოიყენება, როდესაც მატარებელი მთლიანად თავსდება მრუდეში (ნახ. 4.3, ა). თუ მატარებლის სიგრძე $L_{აბ}$ აღემატება მრუდის რკალის სიგრძეს $S_{აბ}$ -ს (ნახ. 4.3, ბ), მაშინ (4.20), (4.23) ფორმულებს ამრავლებენ $\frac{S_{აბ}}{L_{აბ}} < 1$ სიდიდეზე. ე.ი. დამატებით წინააღმდეგობის ძალას ანგარიშობენ მატარებლის მრუდეში არსებულ ნაწილზე.

$$W_{აბ} = \frac{700}{R} \cdot \frac{S_{აბ}}{L_{აბ}}. \quad (4.24)$$

4.4.3. ქარით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

ნახ. 4.4-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით, მოძრავი მატარებლის მიმართ ქარი შეიძლება მიმართული იყოს შემხვედრი მიმართულებით, თანხვედრი მიმართულებით ან გვერდითი მიმართულებით.

ქარის ზემოქმედება ზრდის მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი აეროდინამიკურ წინააღმდეგობას. თუ ქარი მოქმედებს მატარებლის შემხვედრი მიმართულებით $V_{ქ}$, მაშინ იზრდება შუბლური წინააღმდეგობა. ამ დროს ჰაერის რეზულტირებული სიჩქარე ტოლია მოძრავი შემადგენლობის V და ქარის სიჩქარის $V_{ქ}$ ჯამის, $V + V_{ქ}$. თანხვედრილი მიმართულების ქარის $V_{ქ}$ შემთხვევაში, ჰაერის რეზულტირებული ნაკადის სიჩქარე იქნება $V - V_{ქ}$. მატარებლის მოძრაობისადმი შემხვედრი ან თანხვედრილი ქარით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა გამოითვლება ფორმულით

$$W_{ქ} = CS(V \pm 0.8V_{ქ})^2, \quad (4.25)$$

სადაც, C არის ლოკომოტივის შუბლური ნაწილის გარშემოვლის კოეფიციენტი.

S – შუბლური ნაწილის განიკვეთის ფართი მ².

V – მოძრავი შემადგენლობის სიჩქარე მ/წმ.

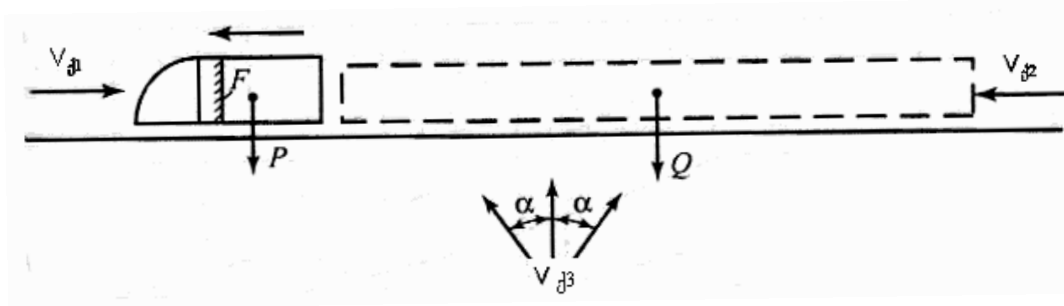
$V_{ქ}$ – ქარის სიჩქარე მ/წმ.

0.8 – ქარის ზემოქმედების უთანაბრობის კოეფიციენტი. მაგალითად განპირობებული ძარასა და გზის სავალ ნაწილს შორის არსებული სიცარიელთ.

“+” ნიშანი აიღება შემხვედრი ქარის დროს, ხოლო “-“ ნიშანი თანხვედრილი ქარის დროს.

გვერდითი ქარის დროს ხდება მოძრავი შემადგენლობის სავალი ეკიპაჟის გადაადგილება სარელსო გზის განივი მიმართულებით. არტახის ქიმები გარკვეული ძალით ებჯინება გარე რელსის შიდა გვერდს, რაც ზრდის სრიალის ხახუნს და

მ.შ. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალას. განსაკუთრებით ძლიერ ზემოქმედებას ახდენს 30° კუთხით მოქმედი გვერდითი ქარი.



ნახ. 4.4. ქარის მიმართულება მოძრავი მატარებლის მიმართ.

4.4.4. გვირაბებით გამოწვეული მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

ამ ძალის წარმოქმნას განაპირობებს გარემო ჰაერის წინააღმდეგობის ძალის გაზრდა. მატარებელი გვირაბში მოძრაობს, როგორც დგუში ცილინდრში, რის გამოც მატარებლის თავში იქმნება ჭარბი დაწნევა, ხოლო ბოლოში გაიშვიათება. ასეთნაირად მიღებული წნევათა სხვაობა, განაპირობებს დიდი რაოდენობით ჰაერის ნაკადს მოძრავ შემადგენლობის გვერდით კედლებსა და გვირაბის კედლებს შორის, მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ჰაერის ამ ნაკადით განპირობებული მატარებლის მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა $W_{ჰგვ}$ შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც

$$W_{ჰგვ} = W_3 \beta, \quad (4.26)$$

სადაც, W_3 არის ჰაერით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა გვირაბს გარეთ, ხოლო β არის მატარებლის გარე ფორმაზე და გვირაბის გაბარიტებზე დამოკიდებული კოეფიციენტი.

მაგალითად, ექსპერიმენტულად დადასტურდა, რომ ერთლიანდაგიან გვირაბში 50კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობის დროს, ჰაერის ნაკადით გამოწვეული მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა ორჯერ მეტია, ვიდრე გვირაბს გარეთ, ანუ ამ შემთხვევისთვის კოეფიციენტი $\beta = 2$ -ს.

4.4.5. სამგზავრო მატარებლებში ვაგონქვეშა გენერატორების მუშაობით წარმოქმნილი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

ვაგონქვეშა გენერატორები წარმოადგენენ ელექტროენერჯის წყაროებს და უზრუნველყოფენ ვაგონების განათების, კონდიციონერების, საყოფაცხოვრებო მოწყობილობების და სააკუმულატორო ბატარეების დამუხტვის წრედების მუშაობას.

ვაგონქვეშა გენერატორების მუშაობით წარმოქმნილი მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა განისაზღვრება ფორმულით

$$W_{\text{ზ}} = \frac{1360P'}{q_0V}, \quad (4.27)$$

სადაც, V არის მატარებლის მოძრაობის სიჩქარეა კმ/სთ-ში.

P' – ერთი ვაგონის გენერატორის საშუალო სიმძლავრე კვტ-ში.

q_0 – ვაგონის ღერძზე დაწოლა კნ-ში.

P' -ის მნიშვნელობა შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$P' = \frac{P_{\text{გ}} n_{\text{გ}} + (P_{\text{გ}} + P_{\text{კ}}) n_{\text{კ}}}{n}, \quad (4.28)$$

სადაც, $P_{\text{გ}}$ არის ვაგონქვეშა გენერატორის სიმძლავრე, რომელიც იხარჯება სამოსამსახურო საჭიროებაზე კვტ-ში.

$n_{\text{გ}}$ – უკონდინციონერო ვაგონების რაოდენობა.

$P_{\text{კ}}$ – ჰაერის კონდიციონერებაზე დახარჯული სიმძლავრე კვტ-ში.

$n_{\text{კ}}$ – კონდიციონერებით აღჭურვილი ვაგონების რაოდენობა.

n – მატარებელში ვაგონების რაოდენობა.

4.4.6. მატარებლის დაძვრით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

გაჩერების პუნქტებში ხანგრძლივი (20 წთ და მეტი) დგომის დროს, ვინაიდან წყვილთვალის ღერძის ყელსა და ბუქსის საკისარს შორის ზეთის თხელი ფენა იშლება, ამასთანავე ზამთრის პერიოდში იზრდება ზეთის სიბლანტე, დაძვრის მომენტში ბუქსის საკისრებში ადგილი აქვს მშრალ ხახუნს, რის გამოც მნიშვნელოვნად იზრდება დაძვრის წინააღმდეგობის ძალა. ამ ძალის სიდიდეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს – ვაგონების დატვირთვა (q), მატარებლის სიგრძე, მოძრავი შემადგენლობის სავალი ნაწილის მდგომარეობა და ბუქსის საკისრის ტიპი. ბურთულა საკისრებით აღჭურვილი მოძრავი შემადგენლობის დაძვრის წინააღმდეგობის ძალა, დაახლოებით 5-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე სრიალა საკისრებიანი ბუქსების გამოყენების შემთხვევაში.

სრიალა საკისრებით აღჭურვილი მოძრავი შემადგენლობის დაძვრის წინააღმდეგობის ძალა გამოითვლება შემდეგი ემპირიული ფორმულით

$$w_{\text{დაძ}}^{\text{სრ}} = \frac{1420}{q_0 + 70} \frac{6}{\text{კნ}}; \left(\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}} \right). \quad (4.29)$$

ბურთულა საკისრებით აღჭურვილი მოძრავი შემადგენლობის დაძვრის წინააღმდეგობის ძალა კი ფორმულით

$$w_{\text{დად}}^b = \frac{280}{q_0 + 70} \frac{6}{\text{კნ}} ; \left(\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}} \right), \quad (4.30)$$

სადაც, q_0 არის ვაგონის ღერძზე დაწოლა კნ-ში, ან ტ-ში.

4.5. მატარებლის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა

მატარებლის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა წარმოადგენს ძირითადი, დამატებითი და დაძვრის წინააღმდეგობის ძალთა ალგებრულ ჯამს.

ზოგადად, მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა, როგორც ზემოთ გვექონდა აღნიშნული, შეგვიძლია წარმოვადგინოთ როგორც ჯამი

$$W_{\text{ღ}} = W_i + W_R + W_{\text{ქ}} + W_{\text{გვ}} + W_{\text{გენ}} + W_{\text{დად}}. \quad (4.31)$$

ლოკალურ შემთხვევებში აღნიშნულ ჯამში რჩება ის წევრები, რომლებიც ექსპლუატაციის პირობებში რეალურად არსებობენ. მაგალითად, თუ სატვირთო მატარებლის დაძვრა ხდება სწორ კორიზონტალურ უბანზე, უქარო ამინდში, გვირახს გარეთ, მაშინ დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა ტოლი იქნება

$$W_{\text{ღ}} = W_{\text{დად}}.$$

პრაქტიკაში მოძრაობისადმი საერთო (სრული) წინააღმდეგობის ძალა წევრის რეჟიმში

$$W = W_0 \pm W_i + W_{\text{აგ}}, \quad (4.32)$$

სადაც, W_0 არის მატარებლის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა,

$$W_0 = w'_0 P + w''_0 Q \quad (4.33)$$

W_i არის ქანობით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა ნ-ში,

$W_{\text{აგ}}$ არის მრუდებით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა

$$W_{\text{აგ}} = w_{\text{აგ}}(P + Q) = i''_{\text{გ}}(P + Q), \quad (4.34)$$

სადაც, $i''_{\text{გ}}$ არის დაყვანილი ფიქტიური ქანობი, რომლითაც ვცვლით რეალურ მრუდით

გამოწვეულ წინააღმდეგობის ძალას $w_{\text{აგ}}$ -ს. ანუ $i''_{\text{გ}} = w_{\text{აგ}}$.

თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს (4.21) ფორმულაში, მივიღებთ

$$W = w'_0 P + w''_0 Q \pm i'_{\text{გ}}(P + Q) + i''_{\text{გ}}(P + Q).$$

აღნიშნული ფორმულის გარდაქმნის შემდეგ გვექნება

$$W = w'_0 P + w''_0 Q \pm i_{\text{გ}}(P + Q), \quad (4.35)$$

სადაც, $i_{\text{გ}} = \pm i'_{\text{გ}} + i''_{\text{გ}}$.

საერთო ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა წევრის რეჟიმში ნ/კნ-ში

$$w = w_0 \pm i_3, \quad (4.36)$$

w_0 – მატარებლის მოძრაობისადმი ხვედრითი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა წვევის რეჟიმში ნ/კნ-ში განისაზღვრება ფორმულით

$$w_0 = \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{P + Q}. \quad (4.37)$$

ლოკომოტივის თავისუფალი გორვის რეჟიმში მუშაობისას, შესაბამისად გვექნება: სრული წინააღმდეგობის ძალა ნ-ში

$$W_x = (w'_x P + w''_x Q). \quad (4.38)$$

შესაბამისად სრული ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა ნ/კნ-ში

$$w_x = \frac{w'_x P + w''_x Q}{P + Q}. \quad (4.39)$$

მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე, ლოკომოტივის მექანიკური მუშაობის 100 % წილიდან იხარჯება:

- ძირითადი წინააღმდეგობის დაძლევაზე – 60%.
- პროფილის ქანობების დაძლევაზე – 35%.
- მრუდეებით განპირობებულ წინააღმდეგობის დაძლევაზე – 5%.

4.6. ღონისძიებები მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების შესამცირებლად

როგორც ცნობილია, რკინიგზის ტრანსპორტი წარმოადგენს სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ერთ-ერთ მსხვილ მომხმარებელს. ამ რესურსების მნიშვნელოვანი ნაწილი იხარჯება მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე. ამიტომ, წინააღმდეგობის ძალების შემცირება დიდწილად განაპირობებს რკინიგზის მუშაობის ეფექტურობის გაზრდას.

ღონისძიებები, რომლებიც მიმართულია მატარებლების მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების შესამცირებლად, შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად:

- ა) ორგანიზაციულ – ტექნიკური ღონისძიებები,
- ბ) ტექნიკური (კონსტრუქციული) ღონისძიებები,
- გ) ორგანიზაციული ღონისძიებები.

ა) ორგანიზაციულ – ტექნიკური ღონისძიებები:

1. სატვირთო ვაგონების სტატიკური დატვირთვის $-q_0$ -ის გაზრდა.

ძირითადი წინააღმდეგობის ძალების საანგარიშო ფორმულებიდან (იხ. ზემოთ) ჩანს, რომ q_0 -ის გაზრდით ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა მცირდება.

2. ცარიელი ვაგონების გარბენის შემცირება.

რკინიგზის მუშაობის ხარისხის და მოძრავი შემადგენლობის ეფექტური გამოყენების უნივერსალურ მაჩვენებელს წარმოადგენს ვაგონის ბრუნვა (დრო ვაგონის დატვირთვიდან დატვირთვამდე). ვაგონის ბრუნვის შემცირება ექსპლუატაციაში ამცირებს არა მარტო მოთხოვნილი ვაგონების რაოდენობას, არამედ მნიშვნელოვნად აჩქარებს ტვირთების გადაზიდვას.

ბ) ტექნიკური (კონსტრუქციული) ღონისძიებები:

1. ვაგონების ტარის შემცირება, თანამედროვე მსუბუქი მასალების და შედუღების ტექნოლოგიის გამოყენებით.
2. სრიალა საკისრებიანი ბუქსების შეცვლა ბურთულა საკისრებიანი ბუქსებით.
3. გზის პროფილის გაიოლება. კერძოდ მრუდეების რადიუსების გაზრდა და ე.წ. მავნე ქანობების დახრილობის შემცირება.
4. გზის კონსტრუქციის მოდერნიზაცია და გაძლიერება. კერძოდ, მძიმე ტიპის რელსების გამოყენება და გზის ყოველ კმ-ზე შპალების რაოდენობის გაზრდა.
5. მოძრავი შემადგენლობის აეროდინამიკური წინააღმდეგობის შემცირება.
6. ვაგონების თვლების დიამეტრის გაზრდა 950 მმ-დან, 1 050 მმ-მდე.
7. მრუდეებში მოძრაობისას არტახების ქიმების და რელსის შიდა გვერდითი ზედაპირის შეხეთვა.
8. ქარსაფარი და თოვლის ნამქერებისაგან დამცავი ზონების მოწყობა.
9. სატვირთო მატარებლების სწორი ფორმირება. ერთი ტიპის ვაგონების დაჯგუფებით, მატარებლის შუბლური წინააღმდეგობის განმაპირობებელი ფართის შემცირება.

გ) ორგანიზაციული ღონისძიებები:

1. მოძრავი შემადგენლობის და სავალი გზის გამართულ ტექნიკურ მდგომარეობაში შენახვა.
2. ხარისხიანი საზეთ-საცხი მასალების გამოყენება.
3. სამუხრუჭო სისტემების გამართულ მდგომარეობაში მოვლა-პატრონობა.
4. სატვირთო მატარებლების გაჩერებების რიცხვის და დგომის ხანგრძლივობების შემცირება, განსაკუთრებით, ჰაერის დაბალი ტემპერატურის დროს.

V თავი

სამუხრუჭო კალა და მატარებელთა დამუხრუჭება

5.1. ზოგადი ცნობები დამუხრუჭების სისტემების შესახებ

წვეის რეჟიმში ელექტრული ლოკომოტივის წვეის ძრავების მიერ საკონტაქტო ქსელიდან მოხმარებული ელექტრული ენერგია, წვეილთვალისა და რელსის შესხების ზონაში გარდაიქმნება მექანიკურ მუშაობად. ნაწილი ამ მექანიკური მუშაობისა იხარჯება მატარებლის მოძრაობისადმი წარმოქმნილი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე, ხოლო დარჩენილი ნაწილი ახდენს მატარებლის გაქანებას და გადადის მის კინეტიკურ ენერგიაში $\frac{mV^2}{2}$. ზოგადად, ბუნებრივ პროფილზე მოძრავი მატარებლის სრული ენერგია შეგვიძლია გამოვსახოთ ფორმულით

$$A = \frac{mV^2}{2} + mg\Delta H, \quad (5.1)$$

სადაც, $m = (m_p + m_d)$ არის მატარებლის სრული ფიზიკური მასა კნ-ში, ან ტ-ში.

V – მოძრაობის სიჩქარე კმ/სთ-ში

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება მ/წმ²;

$\Delta H = H_b - H_g$ არის იმ ქანობის სიმაღლეთა სხვაობა, რაზეც მოძრაობს მატარებელი.

(5.1) ფორმულის პირველი მდგენელი $\frac{mV^2}{2}$ არის მოძრავი მატარებლის კინეტიკური ენერგია, ხოლო მეორე მდგენელი $mg\Delta H$ არის ქანობის სიმაღლეთა სხვაობით ΔH -ით განპირობებული პოტენციური ენერგია. თუ მატარებელი მოძრაობს პორიზონტალურ პროფილზე (ნულოვან ქანობზე), მაშინ $\Delta H = 0$ -ს და მატარებელს გააჩნია მხოლოდ კინეტიკური ენერგია.

დამუხრუჭების ფიზიკა გულისხმობს მოძრავ მატარებლისგან ენერგიის ჩამორთმევას და (ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად) მის გარდაქმნას სხვა სახის ენერგიად. მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოებისათვის აუცილებელია, შესაძლებელი იყოს მისი სიჩქარის რეგულირება ან გაჩერება მოძრაობის გრაფიკით განსაზღვრულ ადგილებში, ამკრძალავი სიგნალის დროს, ავარიულ სიტუაციებში.

მატარებლის გაჩერებისათვის (მისი კინეტიკური ენერგიის შთანთქმისათვის), მუდმივად მოქმედი ბუნებრივი წინააღმდეგობის ძალები საკმარისი არ არის. მოვიყვანოთ ასეთ მაგალითს: ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ გზის სწორ, პორიზონტალურ უბანზე 72 კმ/სთ (20 მ/წმ) სიჩქარით მოძრავი 3500 ტ მასის მქონე

მატარებელი, წვეის ძრავების ამორთვის შემდეგ, მოძრაობას აგრძელებს 22 წთ-სა და 39წმ-ის განმავლობაში გაჩერებამდე გაივლის 13,6კმ მანძილს, რაც აბსოლუტურად მიუღებელია მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველყოფის თვალსაზრისით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, აუცილებელია მოძრავი შემადგენლობის ყველა ერთეულზე (ლოკომოტივები და ვაგონები) დაყენებული იყოს დამატებითი ხელსაწყოები (მოწყობილობა), რომელიც მართული იქნება, მემანქანის კაბინიდან, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელი იქნება, საჭიროების დროს, მოძრაობისადმი ხელოვნური წინააღმდეგობის ძალების შექმნა. ასეთ მოწყობილობას **სამუხრუჭო მოწყობილობა (მუხრუჭი)** ეწოდება.

ამრიგად, სარკინიგზო მოძრავი შემადგენლობის **მუხრუჭი** ეწოდება მოწყობილობათა კომპლექსს, რომელიც განლაგებულია მოძრავი შემადგენლობის ყველა ერთეულზე და ქმნის მატარებლის მოძრაობისადმი რეგულირებად ხელოვნურ წინააღმდეგობის ძალას; მოძრაობის სიჩქარის შემცირების ან მოძრაობის გრაფიკით გათვალისწინებულ ადგილებში და ავარიულ სიტუაციებში, წინასწარდასახულ სამუხრუჭო $S_{\text{დ}}$ მანძილის ფარგლებში გაჩერებას.

აღნიშნულ, ხელოვნურად შექმნილ რეგულირებად წინააღმდეგობის ძალას **სამუხრუჭო ძალა**, ხოლო ამ ძალის მოქმედებით მატარებლის მოძრაობის პროცესს, **დამუხრუჭების რეჟიმი** ეწოდება.

თუ მატარებელი აღჭურვილია სამუხრუჭო საშუალებებით და მოძრაობს ΔH სიმაღლეთა სხვაობის მქონე ქანობზე V სიჩქარით, მის გასაჩერებლად საჭიროა დაკმაყოფილდეს პირობა

$$(B_{\text{დ.საშ}} + W_{\text{დ.საშ}})S_{\text{დ}} = \frac{mV^2}{2} + mg\Delta H, \quad (5.2)$$

სადაც, $B_{\text{დ.საშ}}$ არის სიჩქარის $(V-0)$ დიაპაზონში სამუხრუჭო ძალის საშუალო მნიშვნელობა.

$W_{\text{დ.საშ}}$ - მატარებლის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალის მნიშვნელობა სიჩქარის $(V-0)$ დიაპაზონში.

$S_{\text{დ}}$ - ე.წ. სამუხრუჭო მანძილი, ანუ მანძილი რომლის ფარგლებში ჩერდება მატარებელი.

მოყვანილ განტოლებიდან ჩანს, რომ მატარებლის მინიმალურ სამუხრუჭო მანძილში $S_{\text{დ}}$ -ში გასაჩერებლად (რაც პრაქტიკაში ჩვეულებრივი მოთხოვნაა), საჭიროა სამუხრუჭო ძალის $B_{\text{დ.საშ}}$ სიდიდე იყოს რაც შეიძლება დიდი. როგორც წესი, ექსპლუატაციაში მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის მოთხოვნების უზრუნველსაყოფად, მატარებლის სამუხრუჭო საშუალებებით შექმნილი სამუხრუჭო ძალა

*B*_{დ.სა.შ.} რამდენჯერმე აღემატება ლოკომოტივის წვევის ძალას, რაც უზრუნველყოფს, შესაბამისი წონის მატარებლის, წინასწარ დასახულ სამუხრუჭო მანძილში გარანტირებულ გაჩერებას.

5.2. სამუხრუჭო სისტემების კლასიფიკაცია

თანამედროვე ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე, ძირითადად, გამოიყენება დამუხრუჭების ორი სისტემა – **მექანიკური (ფრიქციული, ხახუნის პრინციპზე მომუშავე) და ელექტრული.**

მექანიკურ სამუხრუჭო სისტემებში, მოძრავი მატარებლის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება ხახუნის ძალთა მუშაობად და იხარჯება მოხახუნე ზედაპირების (არტახი-ხუნდი, დოლი-ხუნდი, დისკო-ფერადო) ცვეთაზე და გახურებაზე. ამ შემთხვევაში ეს ენერგია იკარგება აუნაზღაურებლად.

თავის მხრივ ელექტრული მუხრუჭები იყოფა ორ ჯგუფად:

1. ელექტროდინამიკური მუხრუჭები.
2. ელექტრომაგნიტური-სარელსო მუხრუჭები.

ელექტროდინამიკური დამუხრუჭების პრინციპი ემყარება ელექტრული მანქანების შექცევად რეჟიმში მუშაობის უნარს. ელექტრული დამუხრუჭების დროს, ელექტრული მოძრავი შემადგენლობის წვევის ძრავები გადადიან გენერატორულ რეჟიმში. მატარებლის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად, რომელიც შთანთქმება სპეციალურ სამუხრუჭო რეოსტატებში და გამოიყოფა სითბოს სახით. ასეთი ტიპის ელექტრულ დამუხრუჭებას უწოდებენ **ე.წ. რეოსტატულ დამუხრუჭებას.** თუ ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმში გამომუშავებულ ელექტროენერგია გადაეცემა უკან მკვებავ ქსელში და მოიხმარება სხვა მომხმარებლის მიერ, ასეთი ტიპის ელექტრულ დამუხრუჭებას უწოდებენ **ე.წ. რეკუპერაციულ დამუხრუჭებას.**

ელექტროდინამიკური მუხრუჭები დეტალურად განხილული იქნება ქვემოთ.

ელექტრომაგნიტური-სარელსო დამუხრუჭების დროს სამუხრუჭო ხუნდები, ელექტრომაგნიტური ველის ზემოქმედებით მიიზიდება რელსის მიერ და სამუხრუჭო ძალის წარმოქმნას განაპირობებს მათ შორის სრიალის ხახუნი. ამ საკითხს დეტალურად განვიხილავთ ქვემოთ.

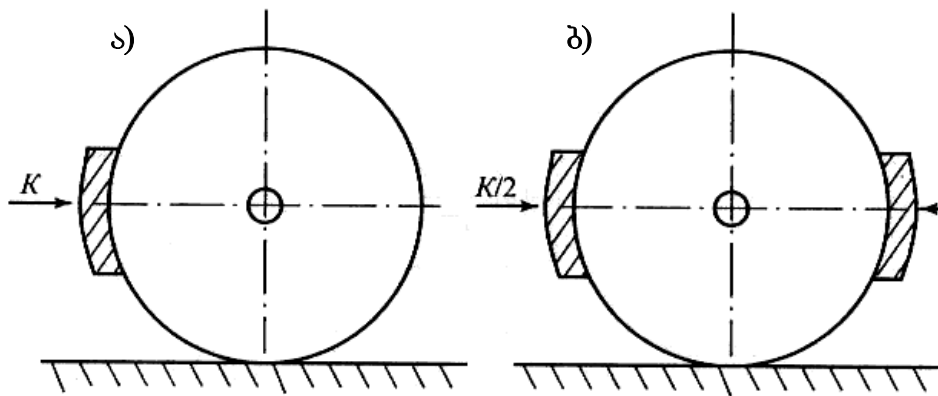
პერსპექტივაში, ე.წ. მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე მატარებლებში, შეიძლება გამოყენებული იყოს დამუხრუჭების **ელექტრომაგნიტური სისტემა.** ამ სისტემის მუხრუჭებში სამუხრუჭო ძალა წარმოიშვება, მოძრავი მატარებლის და უძრავი სარელსო გზის მაგნიტური ნაკადების ურთიერთქმედებით.

განხილული სამუხრუჭო სისტემებიდან, დღეს სარკინიგზო ტრანსპორტისათვის ყველაზე საიმედო და ეფექტური სახის მუხრუჭად ითვლება მექანიკური დამუხრუჭების სისტემა, რომლითაც აღჭურვილია მოძრავი შემადგენლობის ყველა ერთეული.

5.3. მექანიკური დამუხრუჭება

სამუხრუჭო ძალის შექმნის ხერხების მიხედვით გვაქვს მექანიკური დამუხრუჭების თვალ-ხუნდებიანი, დოლური და დისკური სისტემები.

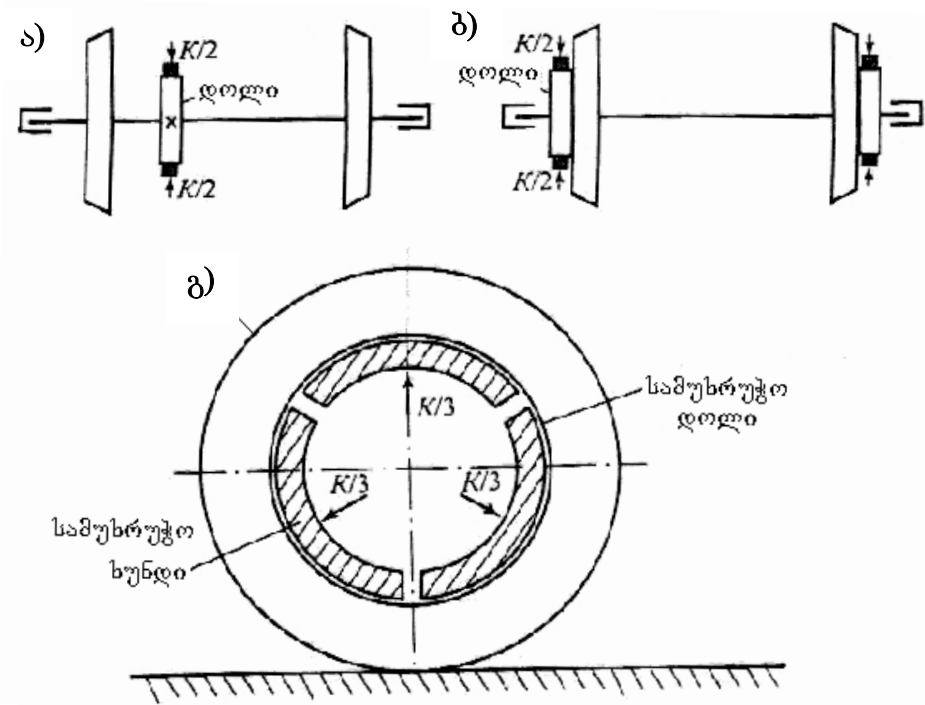
თვალ-ხუნდებიანი სისტემებით დამუხრუჭების დროს, სამუხრუჭო ძალა წარმოიქმნება სამუხრუჭო ხუნდების წყვილთვალის არტახებზე დაწოლით. სამუხრუჭო ხუნდების დაწოლა შეიძლება იყოს ცალმხრივი, ან ორმხრივი (ნახ. 5.1). ვინაიდან ასეთი სისტემა ითვლება სარკინიგზო ტრანსპორტზე ძირითად სამუხრუჭო სისტემად, ამიტომ მას დეტალურად განვიხილავთ ქვემოთ.



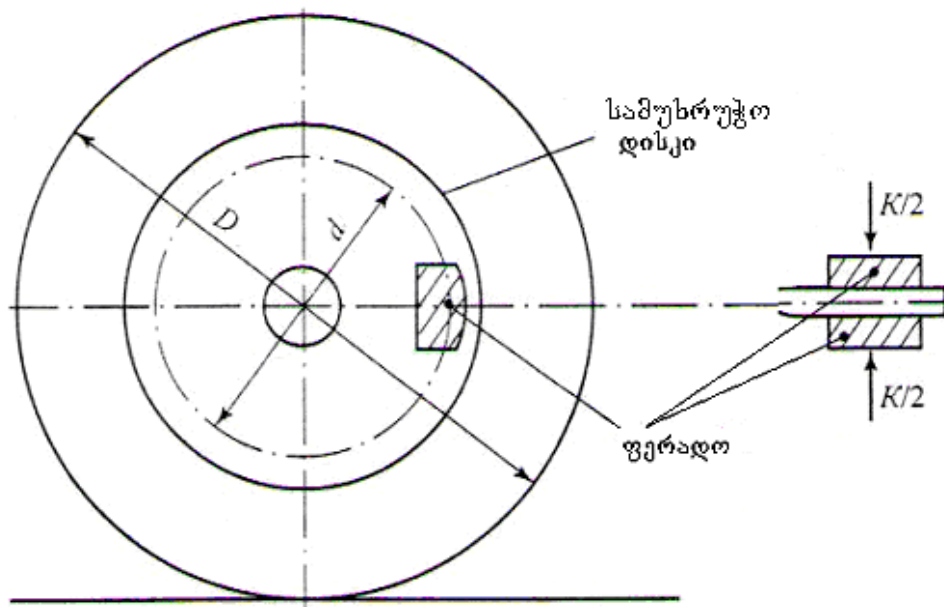
ნახ. 5.1. თვალ-ხუნდებიანი მუხრუჭის სქემა: ა) ცალმხრივი, ბ) ორმხრივი.

დოლური მუხრუჭების პრინციპული განსხვავებაა ის, რომ გამოიყენება წყვილთვალის ღერძზე ან თვალზე დამაგრებული სპეციალური სამუხრუჭო დოლები, რომლებზეც სამუხრუჭო ხუნდები აჭერს რადიალურად გარედან (ნახ. 5.2, ა, ბ) ან შიგნიდან (ნახ. 5.2, გ). ამ ტიპის მუხრუჭების გამოყენების დროს არ ხდება არტახების პროფილების ზედაპირის გახურება და ზედმეტი ცვეთა, რაც ზრდის წყვილთვალის რემონტთაშორის გარბენებს. ნაკლს მიეკუთვნება ის, რომ რთულდება კონსტრუქცია და შესაბამისად მცირდება მათი მუშაობის საიმედოობა.

დისკური მუხრუჭების მუშაობის პრინციპი ნაჩვენებია ნახ. 5.3-ზე. ლოკომოტივის თვლების ცენტრზე დამაგრებულია სამუხრუჭო დისკები, რომლებსაც ორივე მხრიდან, სპეციალური ბერკეტული სისტემების მეშვეობით, აჭერს ფრიქციული ზესადებები (ფერადო), რომლებიც ქმნიან ხახუნის ძალას და, შესაბამისად, სამუხრუჭო მომენტს. ეს მომენტი რამდენადმე ნაკლებია, ვიდრე თვალ-ხუნდებიანი მუხრუჭებში, რადგან დისკების



ნახ. 5.2. დოლური მუხრუჭის სქემა: ა) სამუხრუჭო დოლი განთავსებულია ღერძზე, ბ) სამუხრუჭო დოლი მოთავსებულია თვლის ცენტრზე, გ) სამუხრუჭო ხუნდების დაწოლა შიგნით.



ნახ. 5.3. დისკური მუხრუჭის სქემა.

დიამეტრი ბევრად ნაკლებია თვლის არტახის დიამეტრზე. დისკური მუხრუჭები განსაკუთრებით ეფექტურია მაღალი სიჩქარეების (200 კმ/სთ და მეტი) დროს. მისი გამოყენება, აგრეთვე, ზრდის წყვილთვალეების რემონტთაშორის გარბენებს. ნაკლია ის, რომ ექსპლუატაციაში მოითხოვს ხშირ მომსახურეობას და შედარებით ნაკლებსაიმედოა.

მექანიკური მუხრუჭები განსხვავდებიან ამძრავების ტიპის მიხედვით. განასხვავებენ: პნევმატიკურ, ელექტროპნევმატიკურ, ხელის და ჰიდრაულიკურ მუხრუჭებს.

მექანიკური დამუხრუჭების პნევმატიკურ სისტემებში, სამუხრუჭო მაგისტრალში წნევის დაცემისას, სამუხრუჭო ცილინდრებში ჰაერი შედის სამარაგე რეზერვუარებშიდან. დგუშებს მოძრაობაში მოჰყავს ბერკეტული სისტემა, რომლის მეშვეობით სამუხრუჭო ხუნდი აწევა წყვილთვალის არტახს. ე.ი. პნევმატიკური მუხრუჭის მუშა სხეულს წარმოადგენს დაჭირხნული ჰაერი. ექსპლუატაციაში მაღალი საიმედოობის გამო, ის წარმოადგენს მექანიკური მუხრუჭების ამძრავ ძირითად სისტემას.

დამუხრუჭების ელექტროპნევმატიკურ სისტემებში, ჰაერთან ერთად, გამოიყენება ელექტრული დენი. სპეციალური ელექტრო ჰაერგამანაწილებლები ელექტრული სიგნალების მიხედვით არეგულირებენ წნევას სამუხრუჭო ცილინდრებში, ხუნდების დაწოლას არტახებზე და, შესაბამისად, სამუხრუჭო ძალას. ელექტროპნევმატიკური მუხრუჭების გამოყენება მნიშვნელოვნად აჩქარებს მუხრუჭების ამოქმედებას. ასეთი მუხრუჭებით აღჭურვილია სამგზავრო ვაგონები, ელექტრომატარებლები და ცალკეული ლოკომოტივები.

ხელის მუხრუჭებით აღჭურვილია ლოკომოტივები, ელექტრომატარებლები, სამგზავრო ვაგონები და სატვირთო ვაგონების ნაწილი. ასეთი მუხრუჭები გამოიყენება მოძრავი შემადგენლობის ადგილზე დასამაგრებლად.

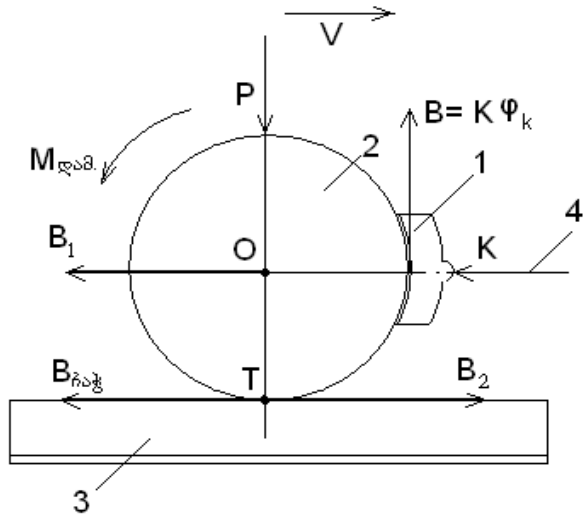
ჰიდრაულიკურ მუხრუჭებში, სამუხრუჭო საშუალებების მოძრაობაში მოსაყვანად, გამოყენებულია სპეციალური სამუხრუჭო სითხე. ამ ტიპის მუხრუჭები ფართოდ გამოიყენება ავტოტრანსპორტზე.

5.4. სამუხრუჭო ძალის წარმოქმნის მექანიზმი

განვიხილოთ სამუხრუჭო ძალის წარმოქმნის მექანიზმი ფრიქციული (ხახუნის პრინციპზე მომუშავე) მუხრუჭების შემთხვევაში (ნახ. 5.4).

ფრიქციული (მექანიკური) დამუხრუჭების დროს, სამუხრუჭე ცილინდრიდან გამოსული 4 ჭოკი, 1-სამუხრუჭო ხუნდს აწევა K ძალით. 1 ხუნდისა და 2-არტახის შესების ზონაში წარმოიშვება მხები მიმართულებით მიმართული ხახუნის ძალა $B = K\varphi_k$, სადაც φ_k არის არტახსა და ხუნდს შორის ხახუნის კოეფიციენტი. წარმოქმნილი ხახუნის ძალა ქმნის დამამუხრუჭებელ მომენტს $M_{\text{გა}}$. ეს მომენტი, მექანიკის კანონების თანახმად, შეგვიძლია წარმოვადგინოთ B_1B_2 წყვილძალის სახით. B_2 ძალა, რომელიც მოდებულია არტახის და რელსის შესების გამრბენ T წერტილში, ცდილობს დაიჭიროს ეს უკანასკნელი, მაგრამ B_2 ძალის მოქმედებას

ანეიტრალებს მისი ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული რელსის რეაქციის



ნახ. 5.4. სამუხრუჭო ძალის წარმოქმნის მექანიზმი.

ძალა $B_{წაჭ}$. გაუწონასწორებელი რჩება O წერტილში მოდებული და მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მიმართული B_1 ძალა, რომელიც წარმოადგენს სამუხრუჭო ძალას (ნახ. 5.4).

ერთ ხუნდზე შექმნილი სამუხრუჭო ძალა ტოლია

$$B_b = 1000 K_b \varphi_k \text{ ნ, (კბ).} \quad (5.3)$$

მთელი მატარებლის სამუხრუჭო ძალა

$$B_a = 1000 \sum K_b \varphi_k \text{ ნ, (კბ).} \quad (5.4)$$

ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა ტოლია

$$b_a = \frac{B_a}{P+Q} = \frac{1000 \sum K_b \varphi_k}{P+Q} \cdot \frac{\text{ნ}}{\text{კნ}}, \left(\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}} \right). \quad (5.5)$$

სადაც, P და Q შესაბამისად არის ლოკომოტივის და შემადგენლობის წონა კნ-ში.

ხახუნის კოეფიციენტი φ_k დამოკიდებულია არტახის და ხუნდის მასალაზე, მათი ზედაპირების მდგომარეობაზე, ტემპერატურაზე, მოძრაობის სიჩქარეზე, ხუნდის დაწოლის K_b ძალაზე.

დღეისათვის რკინიგზის ტრანსპორტზე გამოიყენება **სტანდარტული თუჯის, ფოსფორის მაღალი შემცველობის მქონე თუჯის და კომპოზიციური ხუნდები**. ხახუნის კოეფიციენტი φ_k ჩამოთვლილი ხუნდებისათვის სიჩქარის V და დაწოლის ძალის K_b ზრდისას მცირდება. ეს აიხსნება იმით, რომ ბორბალსა და ხუნდს შორის ხახუნით გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა იზრდება, კონტაქტში მყოფი ზედაპირები რბილდებიან, უფრო პლასტიკური ხდებიან, რაც იწვევს სამუხრუჭო ეფექტის შემცირებას.

φ_k ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრა ხდება ცალკეული ტიპის ხუნდებისათვის შესაბამისი ემპირიული (ცდების შედეგებით მიღებული) ფორმულის საშუალებით. კერძოდ:

- სტანდარტული თუჯის ხუნდებისათვის

$$\varphi_k = 0.6 \frac{16K + 100}{80K + 100} \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}. \quad (5.6)$$

- ფოსფორიანი თუჯის ხუნდებისათვის

$$\varphi_k = 0.5 \frac{16K + 100}{52K + 100} \cdot \frac{V + 100}{5V + 100}. \quad (5.7)$$

- კომპოზიციური ხუნდებისათვის

$$\varphi_k = 0.44 \frac{K + 20}{4K + 20} \cdot \frac{V + 150}{2V + 150} \quad (5.8)$$

როგორც (5.6) ფორმულიდან ჩანს სიჩქარის ზრდის დროს სტანდარტული თუჯის ხუნდებისათვის ხახუნის კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად მცირდება. ასეთი ტიპის ხუნდების ნაკლს მიეკუთვნება, აგრეთვე, მათი ცვეთის დიდი ინტენსივობა, განსაკუთრებით მაღალი სიჩქარეების დროს.

კომპოზიციურ ხუნდებს ამზადებენ აზბესტ-კაუჩუკის შემცველ მასალისაგან. მათ, თუჯის ხუნდებთან შედარებით, აქვთ რამდენჯერმე მაღალი ხახუნის კოეფიციენტი (განსაკუთრებით მაღალი სიჩქარეების ზონაში), მათი ცვეთამედეგობა 3-4 ჯერ მაღალია თუჯისაზე. მაგრამ, გააჩნიათ სერიოზული ნაკლოვანი მხარეები, რომლებიც ზღუდავენ მათ ფართო გამოყენებას მოძრავ შემადგენლობაზე. კერძოდ, მათი დაბალი თბოგამტარობა იწვევს ხუნდისა და არტახის შეხების ზონაში ტემპერატურის მნიშვნელოვან ზრდას (300°-მდე), რამაც შეიძლება გამოიწვიოს არტახის მოშვება თვალზე ან თერმული მიკრობზარების წარმოქმნა. ზამთრის პერიოდში მოსალოდნელია ასეთი ხუნდების ზედაპირების დაფარვა ლიპინულით, რაც იწვევს სამუხრუჭო ეფექტის მკვეთრ შემცირებას. ამ და სხვა ნაკლოვანებების გამო ამ ტიპის ხუნდები გამოიყენება მხოლოდ სამგზავრო ვაგონებზე.

მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სამუხრუჭო ძალის სიდიდეზე. დიდი სიდიდის სამუხრუჭო ძალას კი ძირითადად განაპირობებს სამუხრუჭო ხუნდების ჯამური დაწოლა ΣK . მაგრამ ჯამურ დაწოლას და მ.შ. მატარებლის სამუხრუჭო ძალას ზღუდავს ჩაჭიდება არტახსა და რელსს შორის.

5.5. წვეის ძირითადი კანონი დამუხრუჭების რეჟიმისათვის. თვალის ჩასოღვა

დამუხრუჭების რეჟიმში არტახსა და რელსს შორის ჩაჭიდების ძალა განისაზღვრება ფორმულით

$$B_{ჩაჭ} = 1000G\Psi_{ჩაჭ}, \text{ ნ (კგ)}, \quad (5.9)$$

სადაც, $\Psi_{ჩაჭ}$ არის არტახსა და რელსს შორის ჩაჭიდების კოეფიციენტი.

მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია – მოძრაობის სიჩქარეზე; რელსის და არტახის მასალაზე, მათი ზედაპირების მდგომარეობაზე, ატმოსფერულ მოვლენებზე, წვეილთვალის რელსზე დაწოლის ძალის G მნიშვნელობაზე და გაითვლება ემპირიული ფორმულებით, რომელსაც ზოგადად შეიძლება ჰქონდეს შემდეგი სახე

$$\Psi_{\text{ნაკ}} = a + \frac{b}{c + d \cdot V}, \quad (5.10)$$

სადაც, a, b, c, d არის კოეფიციენტები, რომლებიც კონკრეტული მნიშვნელობებს იძენენ კონკრეტული შემადგენლობისთვის და განისაზღვრებიან ცდების შედეგად მიღებული მონაცემებით.

V არის მოძრაობის სიჩქარე, კმ/სთ-ში.

იმისათვის რომ, დამუხრუჭების რეჟიმში შენარჩუნებული იქნეს წყვილთვალის ნორმალური გორვა რელსის ზედაპირზე, საჭიროა შესრულდეს პირობა

$$B_{\text{ნაკ}} > B_2. \quad (5.11)$$

(5.11) გამოსახულებას წვევის ძირითადი კანონი ეწოდება. თუ ეს პირობა დაირღვა, ე.ი. თუ $B_2 > B_{\text{ნაკ}}$, მაშინ მოხდება წყვილთვალის ჩასოღვა. თვალი შეწყვეტს გორვას და დაიწყებს რელსის ზედაპირზე სრიალს. ეს მოვლენა სარელსო ტრანსპორტის ექსპლუატაციაში ძალზე არასასურველია, რადგან ერთი მხრივ იწვევს არტახისა და რელსის ზედაპირების ინტენსიურ ცვეთას და მეორე მხრივ ამცირებს დამუხრუჭების ეფექტს (რადგან გორვის ხახუნს ენაცვლება სრიალის ხახუნი, რომლის კოეფიციენტი რაოდენობრივად ნაკლებია გორვის ხახუნის კოეფიციენტზე), ეს კი ამცირებს სამუხრუჭო ძალის სიდიდეს და ზრდის სამუხრუჭო მანძილს.

წვევის ძირითადი კანონი თვალის მიმართ შეიძლება ჩავწეროთ ასე

$$B_{\text{თვ}} = 1000 K_{\text{თვ}} \varphi_{k \text{ თვ}} \leq 1000 G_{\text{თვ}} \Psi_{\text{თვ}} \quad (5.12)$$

ანუ

$$K_{\text{თვ}} \varphi_{k \text{ თვ}} \leq G_{\text{თვ}} \Psi_{\text{თვ}}.$$

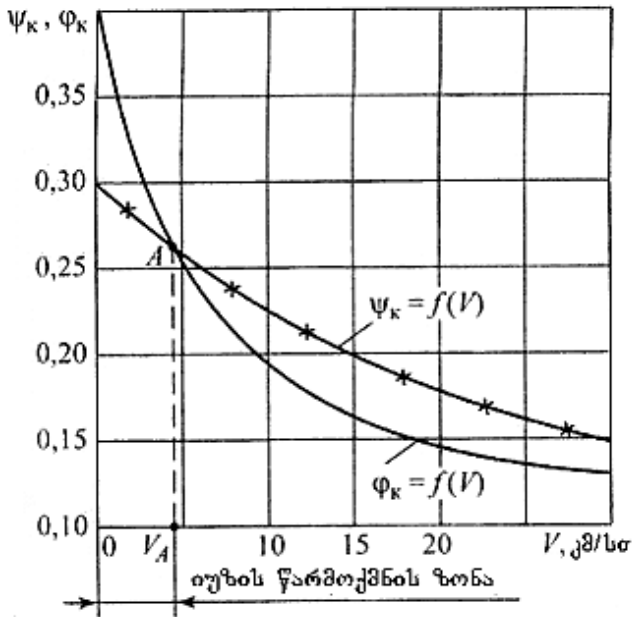
თვალის ნორმალური გორვის ზღვრული პირობა იქნება

$$K_{\text{თვ}} \varphi_{k \text{ თვ}} = G_{\text{თვ}} \Psi_{\text{თვ}}, \quad \text{აქედან}$$

$$\frac{K_{\text{თვ}}}{G_{\text{თვ}}} = \frac{\Psi_{\text{თვ}}}{\varphi_{k \text{ თვ}}}. \quad (5.13)$$

ფარდობას $\frac{K_{\text{თვ}}}{G_{\text{თვ}}} = \delta$ და უწოდებენ ხუნდების დაწოლის კოეფიციენტს. შინაარსობრივად ეს კოეფიციენტი გვიჩვენებს მატარებლის წონის რა პროცენტს შეადგენს ხუნდებზე დაწოლის ჯამური ძალა. (5.13) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ხუნდების დაწოლის კოეფიციენტი დამოკიდებულია $\frac{\Psi_{\text{თვ}}}{\varphi_{k \text{ თვ}}}$ ფარდობაზე. ამ კოეფიციენტების

მნიშვნელობა კი, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე, ხუნდების მასალაზე და ამინდზე.



ნახ. 5.5. ჩაჭიდების Ψ_k და ხუხდის ხახუხის Φ_k კოეფიციენტების დამოკიდებულება სიჩქარეზე.

სატვირთო მატარებლებისათვის $\delta = 0.60$,

სამგზავრო მატარებლებისათვის $\delta = 0.7-0.75$,

ლოკომოტივებისათვის $\delta = 0.5-0.6$.

5.6. მატარებლის სამუხრუჭო ძალის გაანგარიშება

მატარებლის სრული სამუხრუჭო ძალა გაითვლება ფორმულით

$$B_a = 1000 \sum K_b \varphi_k \text{ ნ, (კვ),} \quad (5.14)$$

სადაც, K_b არის ღერძზე სამუხრუჭო ხუნდების დაწოლა კნ-ში.

თუ მივიღებთ, ხახუნის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა მატარებელში არსებული ყველა ღერძისათვის ერთნაირია, მაშინ (5.14) შეგვიძლია ჩავწეროთ როგორც

$$B_a = 1000 \varphi_k \sum K_b \text{ ნ, (კვ).} \quad (5.15)$$

პრაქტიკაში ხშირად სარგებლობენ მატარებლის ხვედრითი სამუხრუჭო ძალის მნიშვნელობით, რომელიც მიიღება (5.15) ფორმულის გაყოფით მატარებლის სრულ

წონაზე

$$b_a = \frac{1000 \varphi_k \sum K_b}{P+Q} \frac{\text{ნ}}{\text{კნ}}, \left(\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}} \right), \quad (5.16)$$

სიდიდეს $\frac{\sum K_b}{P+Q} = \theta$ უწოდებენ ნამდვილ სამუხრუჭო კოეფიციენტს.

აღნიშნულის გათვალისწინებით (5.15) განტოლება მიიღებს სახეს

$$b = 1000 \varphi_k \theta. \quad (5.16')$$

როგორც კვლევებმა აჩვენა, სიჩქარის ზრდის დროს ჩაჭიდების კოეფიციენტი Ψ_k მცირდება უფრო ნელა [მრული $\Psi_k = f(V)$], ვიდრე ხახუნის კოეფიციენტი Φ_k [მრული $\Phi_k = f(V)$] (ნახ. 5.5). როგორც ნახაზიდან ჩანს ჩასოლვის (იუზის) ყველაზე დიდი საშიშროებაა დაბალი სიჩქარეების $V < V_A$ დროს.

იმისთვის, რომ ჩასოლვის ალბათობა იყოს მინიმალური, დაწოლის კოეფიციენტს ზღუდავენ ქვემოთ მოყვანილ ფარგლებში:

შინაარსობრივად **სამუხრუჭო კოეფიციენტი** გვიჩვენებს სამუხრუჭო ხუნდებზე დაწოლის რა ძალა მოდის მატარებლის ერთეულ წონაზე. ის ყოველთვის 1-ზე ნაკლები სიდიდეა და არაა დამოკიდებული სიჩქარეზე. თუ მატარებელში არსებული ყველა დერძი აღჭურვილია მუხრუჭებით, მაშინ **სამუხრუჭო კოეფიციენტი ტოლია** ხუნდების დაწოლის კოეფიციენტის. ე.ი.

$$\theta = \delta.$$

(5.15) და (5.16)' ფორმულებით გაითვლება სამუხრუჭო ძალის მნიშვნელობა, მატარებელში არსებულ ცალკეული ჯგუფის ვაგონებისათვის ცალ-ცალკე და შემდეგ ხდება მათი შეკრება მთელი მატარებლისათვის.

სამუხრუჭო ძალის ზემოგანხილული მეთოდი მისაღებია პრაქტიკული გაანგარიშებების დროს, თუ მატარებელი შედგება ერთნაირი ტიპის, დაახლოებით ერთნაირი წონის ვაგონებისაგან (მაგალითად სამგზავრო მატარებლებისთვის).

თუ მატარებელი შედგება სხვადასხვა დაწოლის კოეფიციენტების მქონე ვაგონებისაგან, მაშინ გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს ცალკე ცალკეული ხუნდებისათვის, რაც ართულებს გაანგარიშებას და ზრდის მის მოცულობას.

ასეთ შემთხვევებში, ანგარიშის გათვლების მიზნით, მიმართავენ ე.წ. **დაყვანის (გაერთმნიშვნელებების)** მეთოდს. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ნამდვილ ხახუნის კოეფიციენტს ϕ_k და ნამდვილ დაწოლის ძალას K -ს ცვლიან მათი საანგარიშო მნიშვნელობებით $\phi_{k_{საან.}}$ და $K_{საან.}$

იმისათვის, რომ ამ დროს შევინარჩუნოთ ნამდვილი სამუხრუჭო ძალის მნიშვნელობა, საჭიროა დაცული იქნეს პირობა

$$\begin{aligned} 1000 \sum_{k} K_k \phi_k &= 1000 \phi_{k_{საან.}} \sum K_{საან.} \\ \text{ანუ} \quad K \phi_k &= K_{საან.} \phi_{k_{საან.}} \end{aligned} \quad (5.17)$$

ხახუნის საანგარიშო კოეფიციენტს შესაბამისი ტიპის ხუნდებისათვის განსაზღვრავენ (5.6), (5.7), (5.8) ფორმულებიდან შესაბამისი ფორმულით, რომელშიც მაგალითად, თუჯის ხუნდების მქონე ყველა ტიპის ვაგონისათვის, დაწოლის ძალის საშუალო მნიშვნელობა აიღება ერთნაირი და ტოლი $K = 26.5$ კნ. აღნიშნულის გათვალისწინებით (5.6) ფორმულა მიიღებს სახეს

$$\phi_{k_{საან.}} = 0.27 \frac{(V + 100)}{5V + 100}. \quad (5.18)$$

(5.17) ფორმულიდან განესაზღვროთ $K_{საან.}$

$$K_{საან.} = \frac{K \phi_k}{\phi_{k_{საან.}}}. \quad (5.19)$$

თუ (5.19) ფორმულაში შევიტანოთ φ_k და $\varphi_{k_{საანგ}}$ მნიშვნელობებს მივიღებთ

$$K_{საანგ} = 2.22K \frac{16K + 100}{80K + 100}. \quad (5.20)$$

ფოსფორშემცველი თუჯის ხუნდებისათვის ანალოგიურად მივიღებთ

$$K_{საანგ} = 1.67K \frac{16K + 100}{52K + 100}. \quad (5.21)$$

კომპოზიციური ხუნდებისათვის

$$K_{საანგ} = 1.22K \frac{K + 20}{4K + 20}. \quad (5.22)$$

ყოველივე ზემოდ აღნიშნულის გათვალისწინებით, მატარებლის სამუხრუჭო ძალა (5.15) და (5.16)' ფორმულის ნაცვლად იანგარიშება ფორმულებით:

სრული სამუხრუჭო ძალა

$$B_{\text{ა}} = 1000\varphi_{k_{საანგ}} \sum K_{საანგ}. \quad (5.23)$$

ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა

$$b = \frac{1000\varphi_{k_{საანგ}} \cdot \sum K_{საანგ}}{P + Q} \cdot \frac{6}{\kappa_6}, \left(\frac{\kappa_6}{\theta} \right). \quad (5.24)$$

ფარდობას $\frac{\sum K_{საანგ}}{P + Q}$ -ს უწოდებენ საანგარიშო სამუხრუჭო კოეფიციენტს.

საბოლოოდ მატარებლის ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა ტოლია

$$b = 1000\varphi_{k_{საანგ}} \theta_{საანგ} \cdot \frac{6}{\kappa_6}, \left(\frac{\kappa_6}{\theta} \right). \quad (5.25)$$

VI ტაზო

მუდმივი დენის ელექტრომოძრაობის უმეაღბენლობის წვევის მახასიათებლები

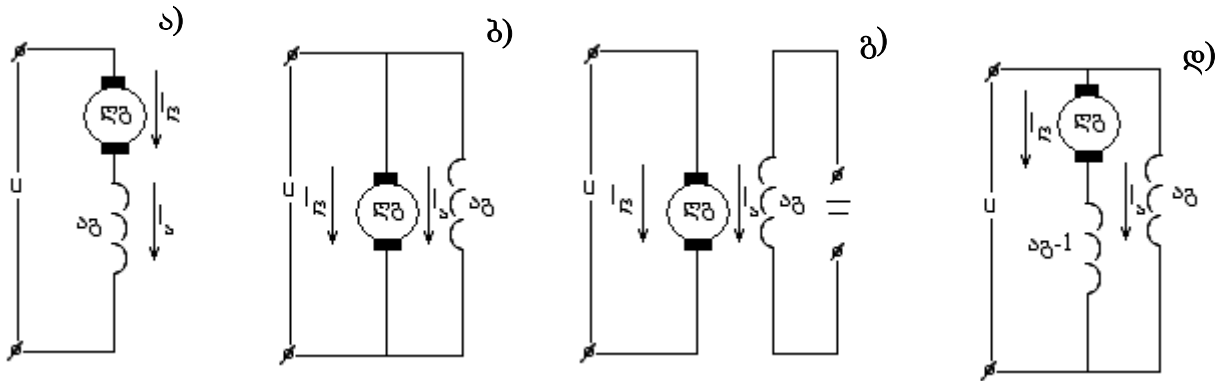
ელექტრომაგვლის წვევის მახასიათებლები წარმოადგენენ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას ლოკომოტივის წვევის ძალასა F და სიჩქარეს V შორის $F(V)$, რეგულირების სხვადასხვა საფეხურისათვის. წვევის მახასიათებლების საშუალებით განისაზღვრება ელექტრომაგვლის შესაძლებლობები, რომლებიც შემდგომში საფუძველად უდევს წვევის ანგარიშების ჩატარებას (მატარებლების წონის, მოძრაობის სიჩქარეების, სვლის დროების, ენერჯის ხარჯის და ა.შ. განსაზღვრას). წვევის მახასიათებლების აგება წარმოებს ელექტრული წვევის ძრავების ელექტრომექანიკური მახასიათებლების საფუძველზე.

6.1. მუდმივი დენის წვევის ძრავების კლასიფიკაცია და ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგება

ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლები წარმოადგენენ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებებს – ძრავას ბრუნთა რიცხვს n და მოხმარებულ დენს I შორის $n(I)$, რომელსაც ეწოდება **სიჩქარის მახასიათებელი**. ძრავას მიერ განვითარებულ მომენტს M და დენს I შორის $M(I)$, რომელსაც ეწოდება **მომენტის (წვევის ძალის) მახასიათებელი**. ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტსა (მოკლედ მ.ქ.კ η) და დენს I შორის, $\eta(I)$, რომელსაც უწოდებენ **ძრავას მ.ქ.კ-ის მახასიათებელს**.

წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების ფორმა და რაოდენობრივი მხარე დამოკიდებულია ძრავას ტიპზე, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ძრავას ღუზის დენსა და მის მაგნიტურ (აგზნების) სისტემას შორის არსებულ კავშირზე. აღნიშნულის მიხედვით განასხვავებენ 4 ტიპის მუდმივი დენის წვევის ძრავას:

1. მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავა (ნახ. 6.1, ა), რომელშიც აგზნების გრაგნილი (აგ) ელექტრულად ჩართულია ღუზის გრაგნილის (ღგ-ის) მიმდევრობით.
2. პარალელურ აგზნებიანი წვევის ძრავა (ნახ. 6.1, ბ), რომელშიც აგზნების გრაგნილი (აგ) ჩართულია ღუზის გრაგნილის (ღგ-ის) პარალელურად.
3. დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავა (ნახ. 6.1, გ), სადაც აგზნების და ღუზის გრაგნილს შორის არის მხოლოდ მაგნიტური კავშირი.
4. შერეულ აგზნებიანი ძრავა (ნახ. 6.1, დ), სადაც გვაქვს აგზნების ორი გრაგნილი: მიმდევრობითი აგ-1 და პარალელური აგ-2.



ნახ. 6.1. ა) მიმდევრობით აგზნებიანი, ბ) პარალელურ აგზნებიანი, გ) დამოუკიდებელ აგზნებიანი, დ) შერეულ აგზნებიანი.

ჩამოთვლილ ძრავას ტიპებიდან დღეისათვის ელექტრულ წვევაში ფართოდ გამოიყენება მიმდევრობით აგზნებიანი (96%) და დამოუკიდებელ აგზნებიანი (4%) წვევის ძრავა. ამიტომ, ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგებას დაწვრილებით განვიხილავთ მხოლოდ ამ ძრავებისათვის.

დღემდე, ყველა სასწავლო სახელმძღვანელოში მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავების ელექტრომექანიკური მახასიათებლებს აგებენ პრაქტიკული ანგარიშებისათვის საკმარისი სიზუსტის მქონე გრაფო-ანალიზური მეთოდით. ერთდროულად შესაძლებელია განვიხილოთ ასეთივე საკმარისი სიზუსტის მქონე გაანგარიშების კიდევ ორი მეთოდი – ანალიზური მეთოდი და თანამედროვე პერსონალურ კომპიუტერზე სპეციალური პროგრამით გათვლის მეთოდი.

წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგება შესაძლებელია, როგორც ექსპერიმენტალურად, აღებული ძრავას სტენდზე გამოცდის გზით (ძრავას მიაერთებენ ქსელთან, ცვლიან დატვირთვის დენს და ხელსაწყოების ჩვენებით აიღებენ შესაბამისი სიდიდეების მნიშვნელობებს), ასევე თეორიული გათვლების გზით, თუ წინასწარ მოცემული გვექნება ძრავას დამაგნიტების მრუდი $C_e \Phi(I)$ (იხ. ნახ. 6.2, ა).

6.2. მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგება გრაფო-ანალიზური მეთოდით

ა) სიჩქარის მახასიათებელი $n(I)$

მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავასათვის ძაბვათა ბალანსის განტოლებას აქვს სახე

$$U = E + IR, \quad (6.1)$$

სადაც, E არის ძრავას უკუელექტრომომძრავებელი ძალა და ტოლია

$$E = C_e \Phi n$$

I – ძრავაში გამავალი დენი, ამპერებში.

R – ძრავას გრაგნილების ჯამური აქტიური წინაღობა, ომეგაში.

U – ძრავაზე მოდებული ძაბვა, ვოლტებში.

$C_e = pN/60\alpha$ – ძრავას კონსტრუქციული მუდმივა.

p – ძრავას წყვილ პოლუსთა რიცხვი.

N – ღუზის გამტართა რიცხვი.

α – პარალელურ შტოთა რიცხვი.

Φ – ძრავას აგზნების სისტემის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი.

n – ძრავას ბრუნვის სიხშირე ბრ/წთ-ში.

თუ (6.1) ფორმულაში შევიტანთ E -ს მნიშვნელობას და განვსაზღვრავთ n -ს,

მივიღებთ
$$n = \frac{U - IR}{C_e \Phi} \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}. \quad (6.2)$$

(6.2) ფორმულით შეგვიძლია ავაგოთ სიჩქარის მახასიათებელი ძრავას ლილვის მიმართ, მოცემული დამაგნიტების მრუდისათვის $C_e \Phi(I)$, შემდეგი თანმიმდევრობით;

გუშვებთ ძრავას დენის მნიშვნელობას I_1 -ს. ნახ. 6.2, ა-დან ვსაზღვრავთ ამ დენის შესაბამის მაგნიტურ ნაკადს $C_e \Phi_1$ -ს და (6.2) ფორმულით ვსაზღვრავთ აღებული დენის შესაბამის ბრუნთა რიცხვს n_1 -ს.

$$n_1 = \frac{U - I_1 R}{C_e \Phi_1}.$$

ეპოულობთ საძიებელი მახასიათებლის 1 წერტილს (ნახ. 6.2, ბ). ძაბვა U და წინაღობა R წინასწარ ცნობილია. შემდეგ გუშვებთ დენის მნიშვნელობას I_2 -ს. ნახ. 6.2, ა-დან ვსაზღვრავთ მის შესაბამის მაგნიტურ ნაკადს $C_e \Phi_2$ -ს და (6.2) ფორმულით განვსაზღვრავთ ბრუნთა რიცხვს n_2 -ს.

$$n_2 = \frac{U - I_2 R}{C_e \Phi_2}.$$

ვიღებთ საძიებელი მახასიათებლის 2 წერტილს და ა.შ. მიღებული მონაცემებით ვაგებთ საძიებელ სიჩქარის მახასიათებელს $n(I)$ (ნახ. 6.2, ბ).

საზური სიჩქარე წყვილთვალის არტახისა და რელსის შეხების ზონაში განისაზღვრება ფორმულით

$$V = \frac{\pi D_w \cdot n_w}{60} \frac{\text{მ}}{\text{წმ}} \text{-ში}, \quad (6.3)$$

სადაც D_w არის თვალის დიამეტრი, მეტრებში;

n_0 – თვალის ბრუნთა რიცხვი ბრ/წთ-ში, რომელიც განისაზღვრება, როგორც $n_0 = n/\mu$, სადაც μ – კბილანა რელუქტორის გადაცემის რიცხვია, n – ძრავას ბრუნთა რიცხვი წუთში.

$$\pi = 3.14.$$

60 – წუთების წამებში გადაყვანი კოეფიციენტი.

თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ხაზური სიჩქარე ჩვენ გვჭირდება პრაქტიკულ კმ/სთ განზომილებაში, მაშინ უნდა შემოვიღოთ მ/წმ-იდან კმ/სთ-ში გადაყვანი კოეფიციენტი $3600/1000 = 3,6$ (ერთ საათში 3600 წამია, ხოლო 1 კმ-ში 1000 მეტრია). აღნიშნულის გათვალისწინებით (6.3) ფორმულის გამოსახულება მიიღებს ასეთ სახეს

$$V = \frac{3,6 \cdot 3,14 D_0 n}{60 \mu} = \frac{0,188 D_0 n}{\mu} \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}. \quad (6.4)$$

წვეის ძრავას წვეილთვალის ფერსოს მიმართ სიჩქარის მახასიათებლის $V(I)$ გასათვლელი ფორმულის მისაღებად (6.4) გამოსახულებაში ჩავსვათ (6.2) გამოსახულება. მივიღებთ

$$V = \frac{0,188 D_0 (U - I_d R_d)}{\mu C_e \Phi}. \quad (6.5)$$

თუ მოცემული ტიპის ელექტრომოდრავი შემადგენლობისთვის მუდმივ პარამეტრებს აღვნიშნავთ

$$C = \frac{C_e \mu}{0,188 D_0}, \quad (6.6)$$

მივიღებთ სიჩქარის მახასიათებლის განტოლებას

$$V = \frac{U - I_d R_d}{C_e \Phi}. \quad (6.7)$$

ბ) მომენტის მახასიათებელი $M(I)$.

ძრავას მახრუნებელი მომენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M = C_M \Phi I, \quad (6.8)$$

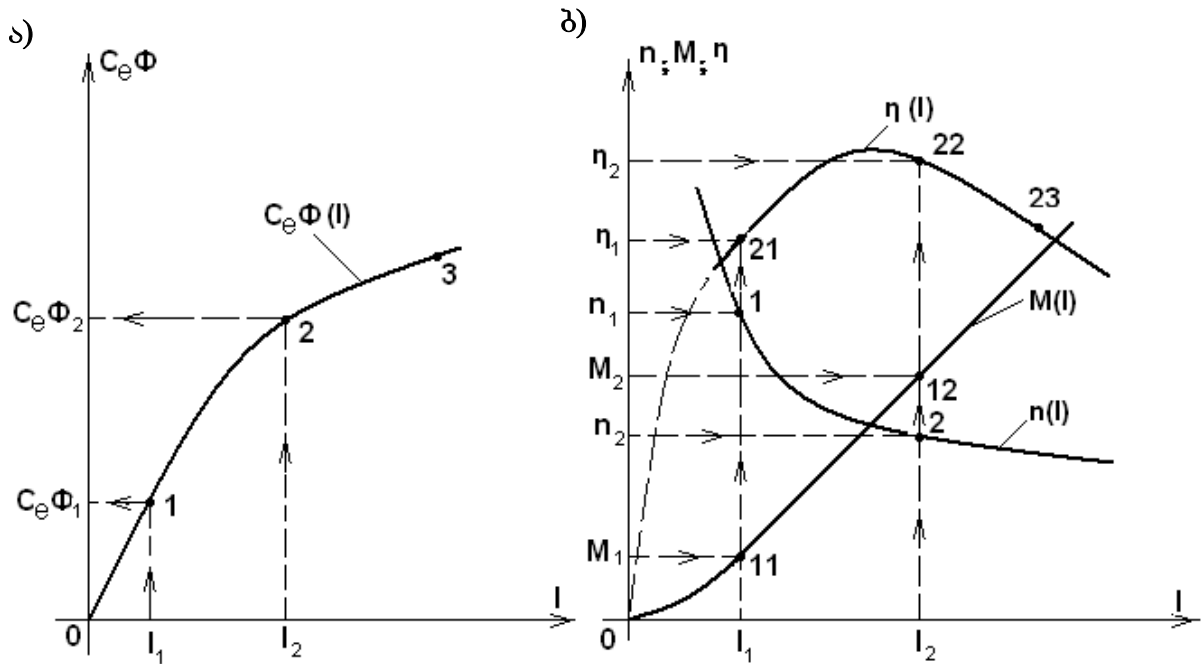
$$C_M = \frac{pN}{2\pi\alpha}; \quad \frac{C_M}{C_e} = \frac{\frac{pN}{2\pi\alpha}}{\frac{pN}{60\alpha}} = 9,55,$$

აქედან

$$C_M = C_e \cdot 9,55. \quad (6.8)^1$$

ვუშვებთ ძრავას დენის მნიშვნელობას I_1 -ს. ძრავას დამაგნიტების მრუდიდან (ნახ. 6.2, ა), ვსაზღვრავთ $C_e \Phi_1$ -ს და (6.8)¹ ფორმულით გამოვითვლით C_M , შემდეგ კი (6.8) ფორმულით მახრუნებელ მომენტს $M_1 = C_M \Phi_1 I_1$ -ს. ვიღებთ საბოლოო

მახასიათებლის 11 წერტილს. დენის I_2 მნიშვნელობისთვის $C_M \Phi_2$ -ს, $M_2 = C_M \Phi_2 I_2$ -ს, ვაგებთ საძიებელი მახასიათებლის 12 წერტილს და ა.შ. მიღებული კოორდინატებით ვაგებთ საძიებელ მომენტის მახასიათებელს $M(I)$ (ნახ. 6.2, ბ).



ნახ. 6.2. მუდმივი დენის წვევის ძრავას ელექტრომექანიკურ მახასიათებლების აგების თანმიმდევრობა.

გ) მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქკ) მახასიათებელი $\eta(I)$.

ამ მახასიათებლის არსის გასაგებად, გავიხსენოთ მ.ქ.კ-ის ცნება, რომელიც წვევის ძრავასათვის შეიძლება ჩამოვაცალიბოთ შემდეგნაირად:

წვევის ძრავას მ.ქ.კ არის სასარგებლოდ დახარჯული მუშაობის ფარდობა, ძრავას მიერ მთლიანად შესრულებულ მუშაობასთან, რაც ჩაიწერება ასე

$$\eta = \frac{A_{\text{სახ}}}{A_{\text{მთ}}} \quad (6.9)$$

გამოვსახოთ მუშაობა სიმძლავრის და დროის ნამრავლით $A = Pt$. მაშინ

$$\text{მივიღებთ} \quad \eta = \frac{P_{\text{სახ}} t}{P_{\text{მთ}} t} = \frac{P_{\text{მთ}} - \sum \Delta P}{P_{\text{მთ}}}, \quad (6.10)$$

სადაც, $P_{\text{სახ}}$ არის ძრავას მიერ განვითარებული სასარგებლო სიმძლავრე.

$P_{\text{მთ}}$ – ძრავას მიერ განვითარებული სრული სიმძლავრე.

$\sum \Delta P$ – სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები ძრავაში.

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{მექ}} + \Delta P_{\text{მაგნ.}} + \Delta P_{\text{ელექტ.}}$$

$\Delta P_{\text{მექ}}$ – ძრავაში სიმძლავრის მექანიკური კარგვები. განპირობებულია ხახუნით საკისრებში,

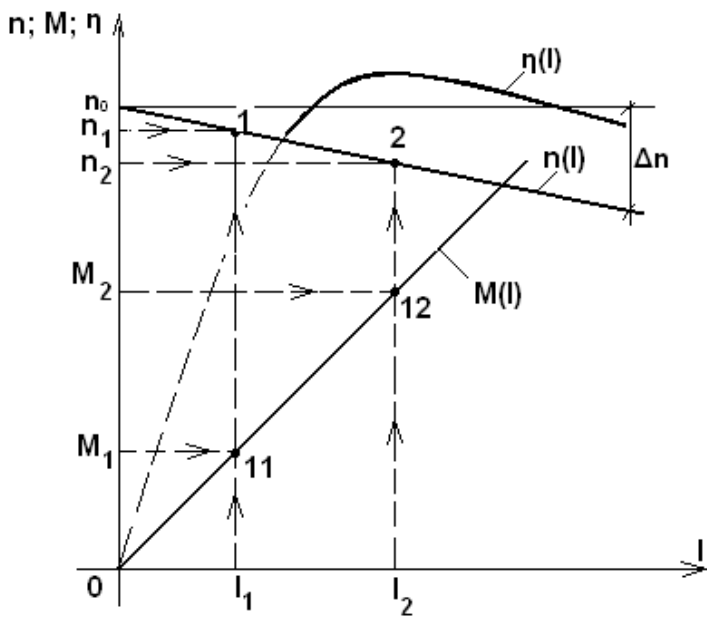
ჰაერსა და მბრუნავ ღუზას შორის.

$\Delta P_{\text{მაგნ.}}$ – ძრავაში სიმძლავრის მაგნიტური კარგვები. განპირობებულია დანაკარგებით ფოლადში, გრიგალურ დენებზე და ჰისტერეზისზე.

$\Delta P_{\text{ელექტ.}}$ – ძრავაში სიმძლავრის ელექტრული კარგვები. განპირობებულია კარგვებით ძრავას გრაგნილების აქტიურ წინააღმდეგობებში.

$$\Delta P_{\text{ელექტ.}} = IR_{\text{კრ}} \cdot I = I^2 R_{\text{კრ}}.$$

ძრავას დენის I_1 მნიშვნელობებისათვის განესაზღვრავთ დანაკარგებს $\Delta P_{\text{მაგნ.}}$, $\Delta P_{\text{ელექტ.}}$, შემდეგ გაეთვლით მათ ჯამს.



ნახ. 6.3. პარალელურ აგზნებიანი ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგება.

$$\sum \Delta P_1 = \Delta P_{\text{მაგნ.}} + \Delta P_{\text{ელექტ.}}$$

და (6.10)-ე ფორმულით ვანგარიშობთ შესაბამის მ.ქ.კ.-ის მნიშვნელობას

$$\eta_1 = \frac{P_{\text{მთ}} - \sum \Delta P_1}{P_{\text{მთ}}}$$

და ვაგებთ საძიებელ მ.ქ.კ.-ის მახასიათებლის 21 წერტილს (ნახ. 6.2, ბ). ანალოგიურად ვახდენთ გაანგარიშებას I_2 ; I_3 და ა.შ. დენის მნიშვნელობებისათვის. (22, 23 და ა.შ. წერტილები). 21, 22, 23 წერტილების მდოვრე მრუდით შეერთება მოგვცემს საძიებელ $\eta(I)$ მახასიათებელს (ნახ. 6.2, ბ).

ანალოგიური მიდგომით შეგვიძლია გავთვალთ და ავაგოთ ელექტრომექანიკური მახასიათებლები პარალელური აგზნების მქონე ძრავასათვის თუ დავეწერთ, რომ

$$n = \frac{U - I_d R_d}{C_e \Phi_0} = \frac{U}{C_e \Phi_0} - \frac{I_d R_d}{C_e \Phi_0} = n_0 - \frac{I_d R_d}{C_e \Phi_0} \quad (6.11)$$

(ნახ. 6.3).

6.3. ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი

თუ დავეუკვრებით ზემომოყვანილ (6.2) გამოსახულებას, ვნახავთ, რომ ძრავას ბრუნთა რიცხვის დენისაგან დამოკიდებულების ანალიზური გაანგარიშებისთვის საჭიროა გვექონდეს ძრავას დამაგნიტების მრუდის $\Phi(I)$ -ის აღმწერი მათემატიკური

გამოსახულება. დღეისათვის არსებობს მათემატიკური ფორმულები, რომლებიც სხვადასხვა სიზუსტით აღწერენ ძრავას დამაგნიტების მრუდს. ფორმულათა სიმრავლიდან გამოვყოფთ ორ ფორმულას, რომელმაც ფართო გამოყენება ჰპოვა ელექტრულ წვევაში.

პირველი ესაა წილადურ-წრფივი ფუნქცია

$$\Phi = \frac{I}{aI + b}; \quad I = \frac{b\Phi}{1 - a\Phi}. \quad (6.12)$$

მეორე ფორმულას აქვს შემდეგი სახე

$$I = a\Phi + b\Phi^3. \quad (6.13)$$

(6.12) ფორმულის მნიშვნელოვანი თვისებაა ის, რომ ცვლადები I და Φ წრფივად განისაზღვრებიან ერთმანეთის საშუალებით.

(6.13) ფორმულის დადებით მხარედ ითვლება ის, რომ შეიძლება გამოყენებული იქნეს ცვლადი დენის შემთხვევებშიც.

შემდგომ გაანგარიშებებში ჩვენ მიერ გამოყენებული იქნება მხოლოდ (6.12) ფორმულა. დამაკმაყოფილებელი შედეგების მისაღწევად (6.12) ფორმულისათვის a და b კოეფიციენტები შეიძლება განისაზღვროს ორი საცდელი წერტილის I_1, Φ_1 და I_2, Φ_2 -ის მკაცრი შერჩევით და შემდეგი გამოსახულებების გამოყენებით

$$a = \frac{I_2\Phi_1 - I_1\Phi_2}{\Phi_1\Phi_2^3 - \Phi_2\Phi_1^3}; \quad b = \frac{I_1\Phi_2^3 - I_2\Phi_1^3}{\Phi_1\Phi_2^3 - \Phi_2\Phi_1^3}. \quad (6.14)$$

a და b კოეფიციენტების მნიშვნელობების განსაზღვრის პროცესი შეგვიძლია მნიშვნელოვნად გავამარტივოთ, თუ გამოვიყენებთ ე.წ. შეუღლების მეთოდს, რისთვისაც (6.12) გამოსახულება გადავწეროთ შემდეგი ფორმით

$$aI + b = \frac{I}{\Phi} = z \quad (6.15)$$

მიღებული წრფის დახრას განსაზღვრავს a კოეფიციენტი, ხოლო ორდინატთა ღერძზე მონიშნულ მონაკვეთს b კოეფიციენტი.

მათემატიკაში არსებული წესების მიხედვით a და b კოეფიციენტს განსაზღვრავენ თვალდათვალ, ისე რომ $a\Phi + b$ წრფე იყოს ახლოს (6.15) დამოკიდებულებასთან. ჩვენ შემთხვევაში (6.15) დამოკიდებულება წარმოადგენს ორ ურთიერთგადამკვეთ წრფეს; ერთი პარალელურია აბცისთა ღერძის და მისი ორდინატაა b_0 , ხოლო მეორეს გადაღუნვის ε წერტილის შემდეგ აქვს დახრა

$$K = \frac{Z_2 - b_0}{I_2 - I_1},$$

სადაც, Z_2 და I_2 არის ცვლადების მაქსიმალური გადახრა.

თუ გამოვიყენებთ უმცირესი კვადრატების მეთოდს, $0 < I < I_2$ და $I_1 < I < I_2$ ინტერვალებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$\int_0^{i_1} [b_0 - (ai + b)]^2 di = \varepsilon_1, \quad \int_0^{i_2} [b_0 + K(i - i_1)(ai + b)]^2 di = \varepsilon_2, \quad (6.16)$$

სადაც, ε_1 და ε_2 არის აღებულ ინტერვალებში შეუთანხმებლობა.

აღნიშნულ ინტერვალებში a და b კოეფიციენტების ოპტიმიზაციისთვის საჭიროა ავიღოთ მათი წარმოებულები და გაუტოლოთ ნულს. შედეგად მივიღებთ განტოლებათა სისტემას

$$\frac{2}{3}I_1a + bb_0; \quad aA + b = b_0 + K(A - I_1); \quad A = \frac{I_1 + I_2}{2}. \quad (6.17)$$

თუ (6.17) სისტემას ამოვხსნით a და b -ს მიმართ, მივიღებთ მათი ოპტიმალური მნიშვნელობების განსასაზღვრელ ფორმულებს

$$a = \frac{K(A - i_1)}{\left(A - \frac{2}{3}i_1\right)}, \quad b = \frac{b_0 - \frac{2}{3}i_1K(A - i_1)}{\left(A - \frac{2}{3}i_1\right)}. \quad (6.18)$$

ამგვარად, (6.2) ფორმულის ნაცვლად, საზოგადოდ, შეგვიძლია გამოვიყენოთ ფორმულა

$$n = \frac{(u - I_d R_d)(a\beta I + b)}{\beta I}, \quad (6.19)$$

სადაც, β არის ველის შესუსტების კოეფიციენტი.

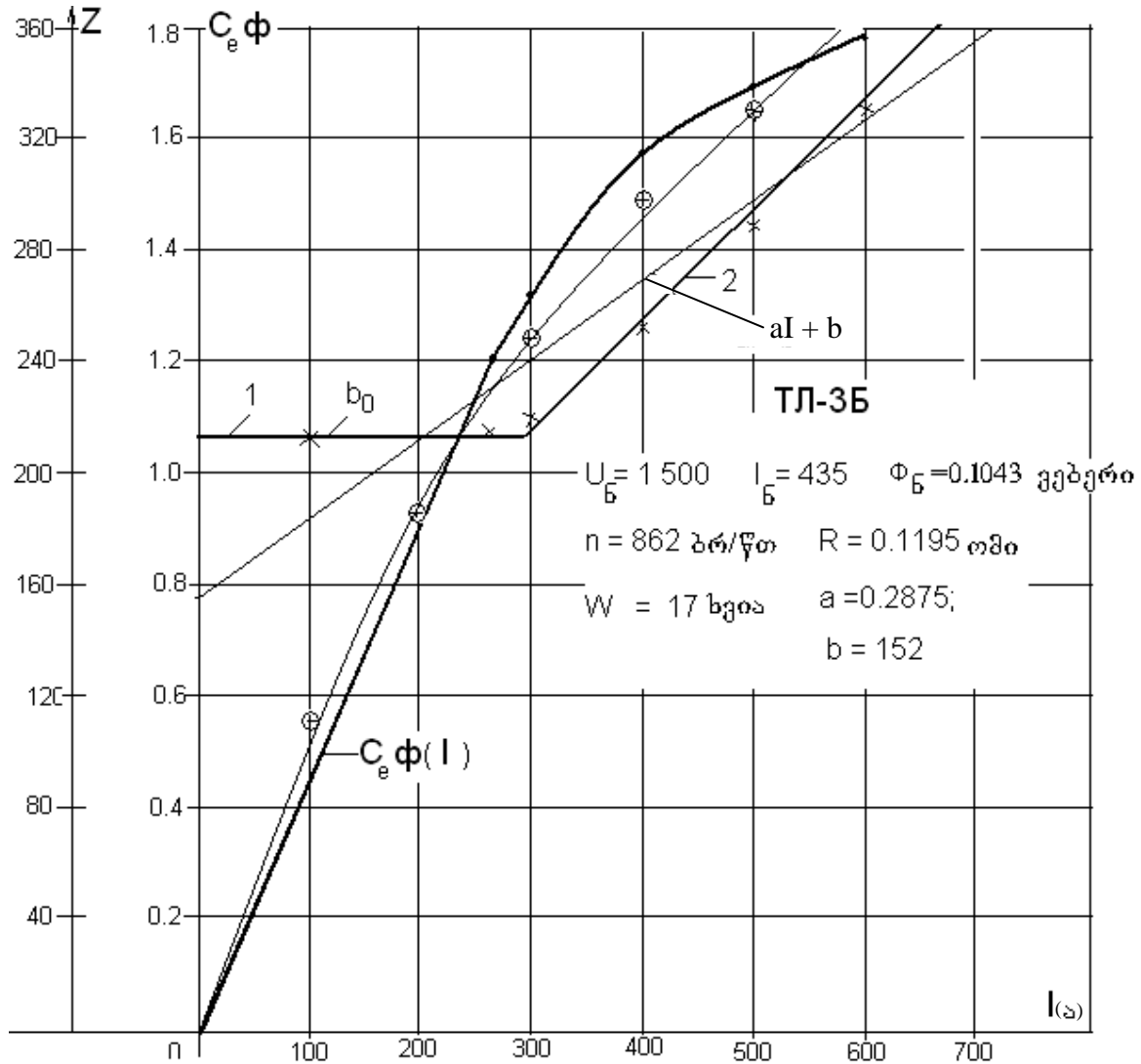
ქვემოთ, მაგალითის სახით განვიხილოთ ТЛ-3Б წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების ანალიზური გაანგარიშება.

როგორც ცნობილია, წვევის ძრავებისათვის დამაგნიტების მრუდი (მაგნიტური ნაკადის დამოკიდებულება აგზნების დენზე) $C_e \Phi(I)$ შეიძლება ავაგოთ ანალიზური გაანგარიშების გზით ან ექსპერიმენტულად. 6.4 ნახაზზე მოცემული დამაგნიტების მრუდისათვის (6.15) განტოლების საფუძველზე მიღებული გვაქვს ორი ურთიერთგადამკვეთი წრფე 1 და 2, ორდინატით b_0 და დახრით K .

a და b კოეფიციენტების (6.15) ფორმულით გაანგარიშებული ოპტიმალური მნიშვნელობები იქნება $a = 0,2875$ და $b = 152$. საცდელი წერტილებისათვის $I_1 = 200$ ა, $I_2 = 500$ ა, $C_e \Phi_1 = 9319$, $C_e \Phi_2 = 1,706$ (6.9) ფორმულით გათვლილი იგივე კოეფიციენტების მნიშვნელობები შესაბამისად იქნება $a = 0.2615$; $b = 162,3$.

6.5 ნახაზზე არსებული გრაფიკული მათოდით აგებულია ბრუნთა რიცხვის (მრუდები 1, 2) და მომენტის (მრუდი 3) დამოკიდებულება დატვირთვის დენზე I ,

სრული $\beta = 1$ და შესუსტებული $\beta = 0,75$ ველისათვის. იხილეთ მრუდები 6.5 ნახაზზე, სადაც ნაჩვენებია ანალიზური გათვლებით მიღებული კოორდინატები, (ჯერებით აღნიშნული წრეები მრუდების გარშემო). როგორც ვრწმუნდებით ცდომილება უმნიშვნელოა.



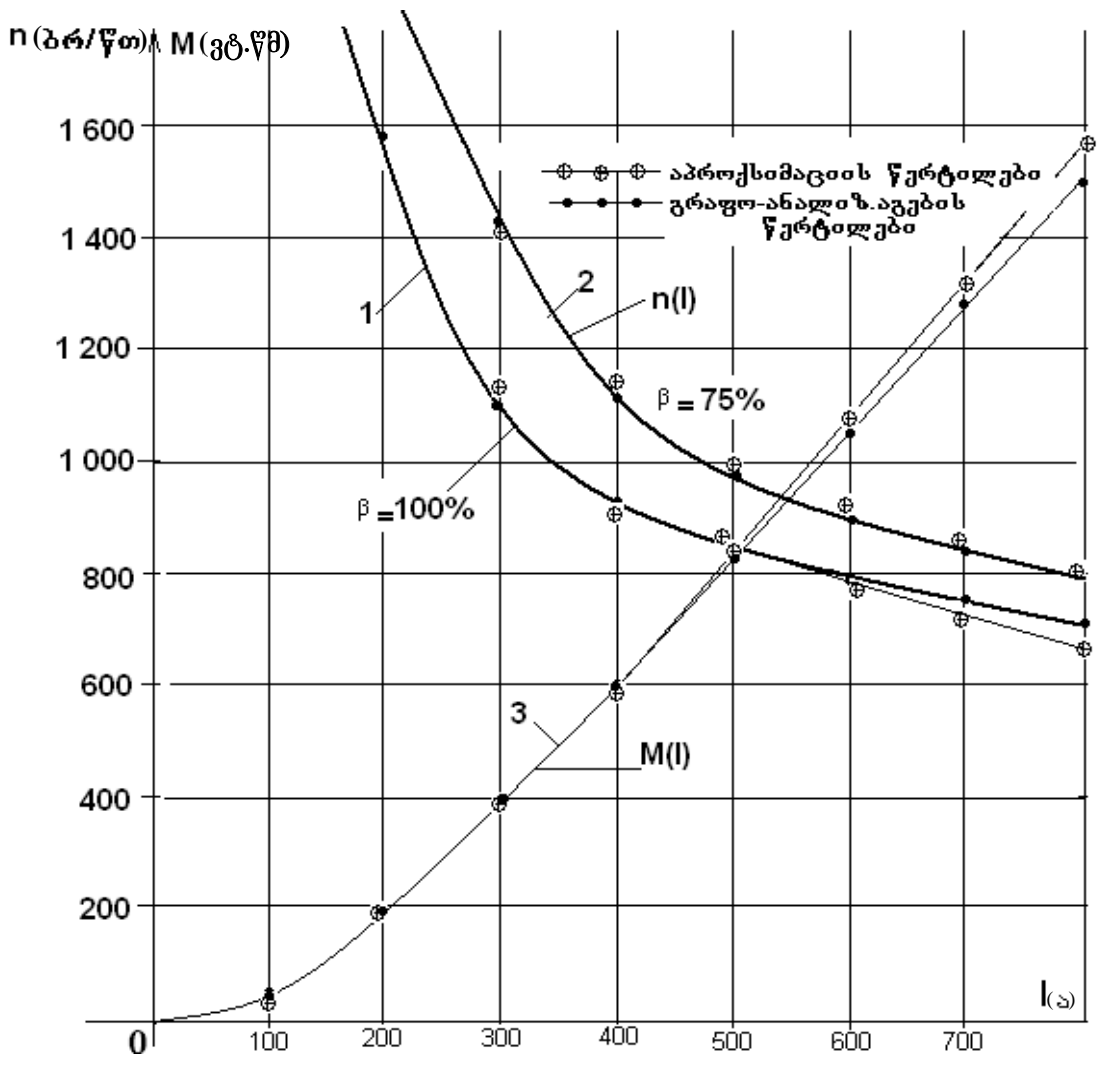
ნახ. 6.4.

მაბრუნებელი მომენტის დამოკიდებულება დატვირთვის დენზე, ანალიზურად გაითვლება ფორმულით

$$M = C_M \Phi I = \frac{C_M I^2 \beta}{0,2875 \beta I} + 152, \quad (6.20)$$

სადაც, $C_M = 9,554 \cdot C_e$.

(6.19) და (6.20) ფორმულების მნიშვნელოვან უპირატესობას, გრაფო-ანალიტიკური გაანგარიშების მეთოდთან შედარებით, წარმოადგენს ის, რომ ნებისმიერ კომპიუტერში ფორმულების მარტივი შეყვანით, მახასიათებლების გაანგარიშება და მათი გრაფიული აგება ხდება რამდენიმე წამში.



ნახ. 6.5.

6.4. წევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშება კომპიუტერული პროგრამით

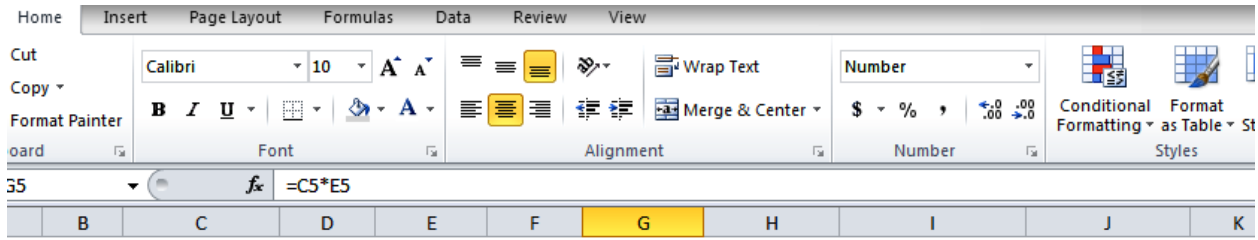
წევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების ასაგებად ვიყენებთ საოფისე კომპიუტერულ პროგრამას MS EXCEL-ს.

ა) სიჩქარის მახასიათებელი $n(I)$

დამოკიდებულება ძრავას ბრუნთა რიცხვს და დენს შორის, როგორც ზემოთ ვნახეთ, გამოისახება (6.2) ფორმულით

$$n = \frac{U - IR}{C_e \Phi} \frac{\text{ბრ}}{\text{წთ}}$$

აღნიშნულ ფორმულას გავშლით EXCEL-ის ცხრილში. ცხრილი 6.1.



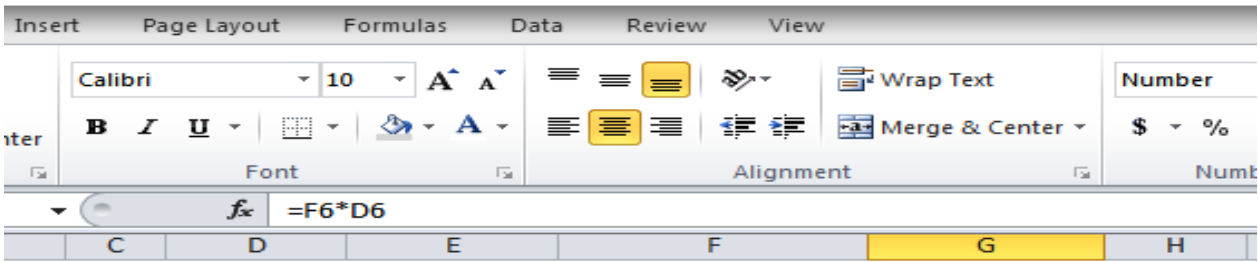
#	ღირებულება (ა)	ძირითადი ძალა (გ)	რეაქტიული ძალა (ომი)	ძირითადი ძალა (გ)	ძირითადი ძალა (გ)	ძირითადი ძალა (გ)	ძირითადი ძალა (გ)	მნიშვნელობა
	1	2	3	4	5	6	7	7
1	50	1500	0.129	0.3	6.5	1493.6	4978.5	
2	100	1500	0.129	0.68	12.9	1487.1	2186.9	
3	150	1500	0.129	1	19.4	1480.7	1480.7	
4	200	1500	0.129	1.25	25.8	1474.2	1179.4	
5	250	1500	0.129	1.4	32.3	1467.8	1048.4	
6	300	1500	0.129	1.56	38.7	1461.3	936.7	
7	350	1500	0.129	1.62	45.2	1454.9	898.1	
8	400	1500	0.129	1.7	51.6	1448.4	852.0	
9	450	1500	0.129	1.75	58.1	1442.0	824.0	
10	500	1500	0.129	1.82	64.5	1435.5	788.7	
11	550	1500	0.129	1.88	71.0	1429.1	760.1	
12	600	1500	0.129	1.91	77.4	1422.6	744.8	
13	650	1500	0.129	1.95	83.9	1416.2	726.2	
14	700	1500	0.129	1.99	90.3	1409.7	708.4	

ცხრილის მე-2-ე გრაფაში შეგვაქვს ძრავას დენის $I_{არ}$ (არგუმენტის) მნიშვნელობა ამპერებში (ა). ცხრილის მე-3-ე გრაფაში შეგვაქვს ძაბვის მნიშვნელობა ძრავას მომჭერებზე $U_{არ}$, რომლისთვისაც ვაგებთ სიჩქარის მახასიათებელს, ვოლტებში (ვ). კონკრეტული მახასიათებლისთვის ის მუდმივი სიდიდეა $U_{არ} = const$. ცხრილის მე-4-ე გრაფაში შეგვაქვს ძრავას გრაგნილების ჯამური აქტიური წინაღობა R ომებში (ომი), რომელიც ასევე მუდმივი სიდიდეა. ცხრილის მე-5-ე გრაფა ივსება საანგარიშო ფორმულით $RI_{არ}$, რომელიც წარმოადგენს ძაბვის ვარდნას ძრავას გრაგნილების აქტიურ წინააღმდეგობაში ვოლტებში (ვ). ცხრილის მე-6-ე გრაფაში ძრავას დამაგნიტების მრუდიდან $C_e \Phi (I_{არ}) = E/n (I_{არ})$ შეგვაქვს E/n ვ.წთ/ბრ. მნიშვნელობა. ცხრილის მე-7-ე გრაფა ივსება საანგარიშო ფორმულით $(U_{არ} - RI_{არ})$ ვოლტებში (ვ). ცხრილის მე-8-ე გრაფა ივსება საანგარიშო ფორმულით $n = \frac{U - IR}{C_e \Phi} \frac{ბრ}{წთ}$. ცხრილის მე-2 და მე-8 გრაფის მონაცემებით ვაგებთ საძიებელ სიჩქარის $n(I)$ მახასიათებელს.

ბ) მომენტის მახასიათებელი $M(I)$

როგორც ზემოთ ვნახეთ, ძრავას დენსა და მომენტს შორის, დამოკიდებულება გამოისახება (6.8) ფორმულით

$$M = C_M \Phi I \text{ კნ.მ.}$$



#	$I_{\text{არ}}$ (ა)	$C_e\Phi$	$C_M=9.55 C_e\Phi$	$M=C_M\Phi I$
	1	4	5	6
1	50	0.3	2.9	143.3
2	100	0.68	6.5	649.4
3	150	1	9.6	1432.5
4	200	1.25	11.9	2387.5
5	250	1.4	13.4	3342.5
6	300	1.56	14.9	4469.4
7	350	1.62	15.5	5414.9
8	400	1.7	16.2	6494.0
9	450	1.75	16.7	7520.6
10	500	1.82	17.4	8690.5
11	550	1.88	18.0	9874.7
12	600	1.91	18.2	10944.3
13	650	1.95	18.6	12104.6
14	700	1.99	19.0	13303.2

ცხრილის მე-2-ე გრაფაში, ისე როგორც პირველ შემთხვევაში შეგვაქვს ძრავას დენის $I_{\text{არ}}$ (არგუმენტის) მნიშვნელობა ამპერებში (ა). ცხრილის მე-3-ე გრაფაში გადმოგვაქვს $C_e\Phi$ მნიშვნელობები (6.1) ცხრილიდან. მე-4-ე გრაფა ივსება საანგარიშო ფორმულით

$$C_M\Phi = C_e\Phi 9.55.$$

ცხრილის მე-5-ე გრაფა ივსება საანგარიშო ფორმულით $M = C_M\Phi I$. ცხრილი 6.2-ის მე-2 და მე-5 გრაფების მონაცემებით ვაგებთ საძიებელ მომენტის $M(I)$ მახასიათებელს.

გ) მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქკ) მახასიათებელი $\eta(I)$.

როგორც ცნობილია მარგი ქმედების კოეფიციენტი წარმოადგენს სასარგებლო სიმძლავრის შეფარდებას მთლიანად მოხმარებულ სიმძლავრესთან

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1} = \frac{1 - \sum \Delta P}{P_1},$$

სადაც, $\sum \Delta P$ არის სიმძლავრის ჯამური დანაკარგები.

P_2 სასარგებლო სიმძლავრეა, რომელიც ტოლია

$$P_2 = U \cdot I \cdot \eta.$$

ძრავას მომენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$M = \frac{0.974 \cdot P_2}{n} = 0,974 \cdot U \cdot I \cdot \eta.$$

აქედან განვსაზღვროთ მარგი ქმედების კოეფიციენტი

$$\eta = \frac{M \cdot n}{0,974UI}.$$

აღნიშნულ ფორმულას გავშლით EXCEL-ის ცხრილში 6.3.

ცხრილი 6.3.

#	Iა (ა)	Uა (ვ)	M	n	M*n	0.974*Uა*Iა	M*n/0.974*Uა*Iა	შენიშვნა
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	50	1500	143.3	4978.5	71317.0	73050.0	0.976	
2	100	1500	649.4	2186.9	142018.1	146100.0	0.972	
3	150	1500	1432.5	1480.7	212103.1	219150.0	0.968	
4	200	1500	2387.5	1179.4	281572.2	292200.0	0.964	
5	250	1500	3342.5	1048.4	350425.3	365250.0	0.959	
6	300	1500	4469.4	936.7	418662.5	438300.0	0.955	
7	350	1500	5414.9	898.1	486283.6	511350.0	0.951	
8	400	1500	6494.0	852.0	553288.8	584400.0	0.947	
9	450	1500	7520.6	824.0	619678.0	657450.0	0.943	
10	500	1500	8690.5	788.7	685451.3	730500.0	0.938	
11	550	1500	9874.7	760.1	750608.5	803550.0	0.934	
12	600	1500	10944.3	744.8	815149.8	876600.0	0.930	
13	650	1500	12104.6	726.2	879075.1	949650.0	0.926	
14	700	1500	13303.15	708.4	942384.5	1022700.0	0.921	

ცხრილი 6.3-ის პირველი და მე-7 გრაფის მონაცემებით ვაგებთ მქკ-ის საძიებელ მახასიათებელს $\eta(I)$.

6.5. მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავას თავისებურებები

მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავას თავისებურებაა ის, რომ ღუზაში გამავალი დენი და აგზნების დენი ერთი და იგივეა (იხ. ნახ. 6.1, ა). ამიტომ, დატვირთვის დენის ზრდისას იზრდება რა ღუზის დენი, ერთდროულად იზრდება მაგნიტური ნაკადი. (6.2) ფორმულაში მცირდება მრიცხველი, ამავე დროს იზრდება მნიშვნელი; ამიტომ, დენის ზრდისას ძრავას ბრუნთა რიცხვი მკვეთრად ეცემა. იხ. სიჩქარის მახასიათებლის 1-2 მონაკვეთი (ნახ. 6.2, ბ).

დიდი დენების მნიშვნელობისას ძრავას მაგნიტური სისტემა იჟღინთება (მაგნიტური მახასიათებლის 2-3 მონაკვეთი) (ნახ. 6.2, ა), რის გამოც მაგნიტური

ნაკადი თითქმის არ იზრდება და ძრავას ბრუნთა რიცხვი მცირდება ძალიან ნელა. სიჩქარის მახასიათებლის 2-3 მონაკვეთი, (ნახ. 6.2, ბ).

მცირე დენებისას (მაგნიტური სისტემის გაუქვნივამდე) მაგნიტური ნაკადი იზრდება ძრავას დენის პროპორციულად. $C_M \Phi = Itg\alpha$ (იხ. ნახ. 6.2, ა). ე.ი. (6.8) ფორმულაში თუ შევიტანთ $C_M \Phi = Itg\alpha$ მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$M = C_M \Phi = I^2 t g \alpha. \quad (6.21)$$

ე.ი. ძრავას მიერ განვითარებული მომენტი დენის კვადრატის პროპორციულია. მონაკვეთი 0-11; (ნახ. 6.2, ბ).

დიდი დენების დროს მაგნიტური ნაკადი თითქმის არ იცვლება და ძრავას მომენტი დენის პროპორციულია. მონაკვეთი 11-12 (ნახ. 6.2, ბ).

მცირე დენების (დატვირთვების) დროს სიმძლავრის დანაკარგები ძირითადად მოდის ხახუნზე საკისრებში (ბრუნვის მაღალი სიჩქარეების გამო, დიდია მექანიკური კარგვა), იხ. მახასიათებლის მონაკვეთი 21-22 (ნახ. 6.2, ბ) ხოლო დიდი დენების (დატვირთვების) დროს ძირითადია (განმსაზღვრელია) მაგნიტური კარგვა ფოლადში და ელექტრული კარგვა გრაფნილებში. მონაკვეთი 23-24, (ნახ. 6.2, ბ).

რაც შეეხება პარალელურაგზნებიანი ძრავას ელექტრომექანიკურ მახასიათებლებს, როგორც ვხედავთ, ასეთი ძრავების სიჩქარის მახასიათებელი ხისტია. დატვირთვის (დენის) ცვლილებისას სიჩქარე იცვლება უმნიშვნელოდ. (Δn -ფარგლებში) (ნახ. 6.3). ვინაიდან, დატვირთვის დენის ცვლილება პრაქტიკულად არ ცვლის მაგნიტურ ნაკადს, ამიტომ $M = C_M \Phi I$ ფორმულის თანახმად, მომენტი იცვლება წრფივად, დენის პროპორციულად (ნახ. 6.3).

მქკ-ის მახასიათებელი პარალელურაგზნებიანი ძრავებში თითქმის იგივეა, რაც მიმდევრობითაგზნებიანი ძრავებში (ნახ. 6.3).

6.6. მუდმივი დენის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა წყვილთვალის ფერსოს მიმართ

ვთქვათ მოცემულია კონკრეტული წვეის ძრავას მახასიათებლები ძრავას ლილვის მიმართ: $n(I); M(I); \eta(I)$ (ნახ. 6.2). საჭიროა ამ მახასიათებლების გადათვლა წყვილთვალის არტახისა და რელსის შეხების ზონაში, სადაც ისინი რეალიზდება ხაზოვანი სიჩქარის V (კმ/სთ) და წვეის ძალის F (ნ) – სახით. ძრავადან წყვილთვალზე მომენტის გადაცემის კინემატიკური სქემა მოცემულია ნახ. 6.6-ზე, სადაც: 1-წვეის ძრავა, 2-კბილანა რედუქტორი, 3-წყვილთვალი, 4-რელსი. ხაზოვანი სიჩქარე არტახისა და რელსის შეხების ზონაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$V = \frac{\pi D_{\sigma} n_{\sigma}}{\mu_{\sigma}}, \quad (6.22)$$

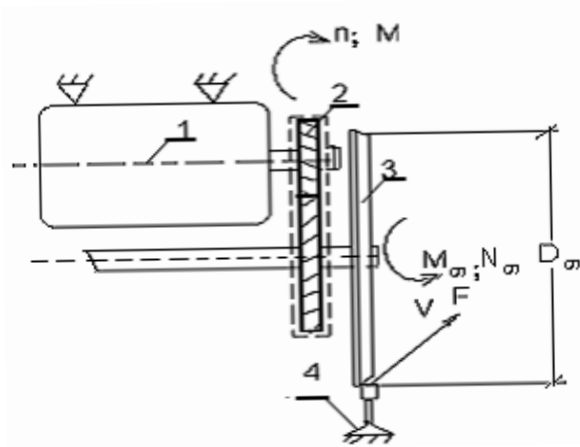
სადაც, D_{σ} არის წვეილთვალის დიამეტრი, მ-ში.

n_{σ} – წვეილთვალის ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ-ში.

μ_{σ} – რელუქტორის გადაცემის რიცხვი.

იმისათვის, რომ სინქარე მივიღოთ კმ/სთ-ში, საჭიროა (6.22) ფორმულის მრიცხველი გავამრავლოთ 60-ზე, ხოლო მნიშვნელი 1000-ზე. მივიღებთ

$$V = \frac{\pi D_{\sigma} n_{\sigma} \cdot 60}{\mu_{\sigma} \cdot 1000} = \frac{0.188 D_{\sigma} N_{\sigma}}{\mu_{\sigma}} \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}, \quad 0,188 = \frac{3,14 \cdot 60}{1000}. \quad (6.23)$$



ნახ. 6.6. მომენტის გადაცემა ძრავიდან წვეილთვალზე.

წვეის ძრავიდან წვეილთვალზე მომენტის გადაცემა ხდება μ_{σ} გადაცემის რიცხვის მქონე კბილანა 2 რელუქტორით (ნახ. 6.6). თვალზე მოდებული მომენტი გაითვლება ფორმულით

$$M_{\sigma} = M \mu_{\sigma}. \quad (6.24)$$

თუ ძრავას ლილვის მიმართ განვითარებული მომენტის M -ის მნიშვნელობას შევიტანოთ (6.8) ფორმულიდან, მივიღებთ

$$M_{\sigma} = C_M \Phi I \mu_{\sigma} \text{ ნ.მ.} \quad (6.25)$$

წვეის ძალა არტახისა და რელსის შეხების ზონაში (ნახ. 6.6). განისაზღვრება ფორმულით

$$F = \frac{M_{\sigma}}{\frac{D_{\sigma}}{2}} = \frac{2M_{\sigma}}{D_{\sigma}} = \frac{2C_M \Phi I \mu_{\sigma}}{D_{\sigma}} \text{ ნ, (კგ)}. \quad (6.26)$$

თუ კონკრეტული ელექტრომოდრავი შემადგენლობისთვის აღვნიშნავთ მუდმივად,

მივიღებთ

$$C_M = \frac{D_{\sigma}}{\mu} \cdot C = \frac{9,55}{5,3} \frac{D_{\sigma}}{\mu} \cdot C = 1,8 \frac{D_{\sigma}}{\mu} \cdot C$$

$$F = 0.367 C \Phi I \text{ ნ. (კგ)}. \quad (6.27)$$

წვეილთვალის ფერსოს მიმართ მარგი ქმედების კოეფიციენტი გაიანგარიშება ფორმულით

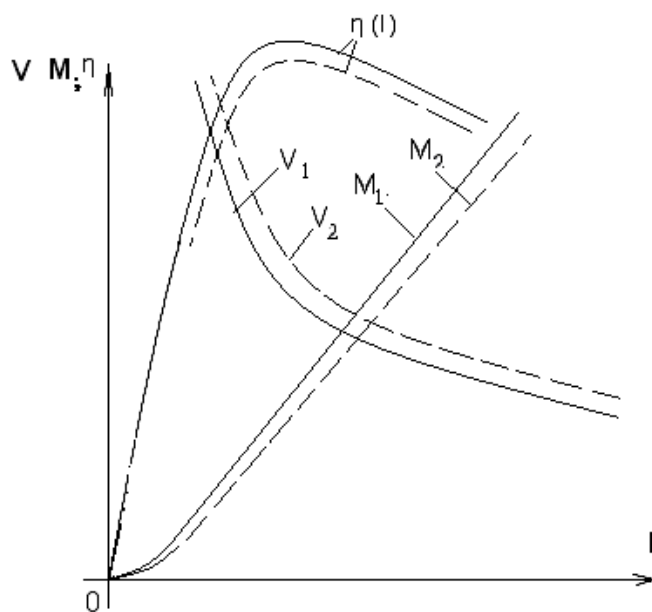
$$\eta = \eta_d \eta_{\sigma}, \quad (6.28)$$

სადაც, η_d არის ძრავას მ.ქ.კ, η_{σ} არის რელუქტორის მ.ქ.კ-ტი.

თუ ვისარგებლებთ (6.23), (6.27) და (6.28) ფორმულებით შეგვიძლია გადავთვალოთ მახასიათებლები წვეილთვალის ფერსოს მიმართ $V(I)$, $F(I)$, $\eta(I)$.

6.7. წვევის ძრავას მახასიათებლების გადათვლა რელექტორის გადაცემის რიცხვის და წყვილთვალის დიამეტრის ცვლილებისას

მოცემული გვაქვს ელექტრომექანიკური მახასიათებლები წყვილთვალის ფერსოს მიმართ, რომლებიც შეესაბამებიან μ_1 გადაცემის რიცხვს და ბორბლის D_1 დიამეტრს (ნახ. 6.7) (უწყვეტი ხაზები). ვთქვათ, შევცვალოთ რელექტორი და წყვილთვალი, რომელთა პარამეტრებია μ_2 და D_2 . ამ შემთხვევაში, ცხადია შეიცვლება მახასიათებლები და მათი გადათვლა მოხდება შემდეგნაირად:



ნახ. 6.7. ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა რელექტორის გადაცემის რიცხვის და წყვილთვალის დიამეტრის ცვლილებისას.

μ_1 და D_{01} პარამეტრების შემთხვევაში სიხარე (6.23) ფორმულის თანახმად იქნება

$$V_1 = \frac{0,188 D_{01} \cdot n}{\mu_1}. \quad (6.29)$$

μ_2 და D_{02} პარამეტრების შემთხვევაში კი იქნება

$$V_2 = \frac{0,188 D_{02} \cdot n}{\mu_2}. \quad (6.30)$$

გავყოთ (6.30)-(6.29)-ზე და განვსაზღვროთ V_2 . მივიღებთ

$$V_2 = V_1 \frac{D_{02} \mu_1}{D_{01} \mu_2} = V_1 \cdot \gamma, \quad (6.31)$$

$$\text{სადაც } \gamma = \frac{D_{02} \mu_1}{D_{01} \mu_2}.$$

F_1 წვევის ძალა μ_1 და D_1 პარამეტრების შემთხვევაში (6.26) ფორმულის თანახმად იქნება

$$F_1 = \frac{2M\mu_1}{D_{\sigma 1}}, \quad (6.32)$$

μ_2 და D_2 პარამეტრებისათვის

$$F_2 = \frac{2M\mu_2}{D_{\sigma 2}}. \quad (6.33)$$

თუ გავყოფთ (6.33)-ს (6.32) ფორმულაზე და განვსაზღვრავთ F_2 -ს მივიღებთ

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{D_{\sigma 1} \mu_2}{D_{\sigma 2} \mu_1} = F_1 \cdot \frac{1}{\gamma}, \quad (6.34)$$

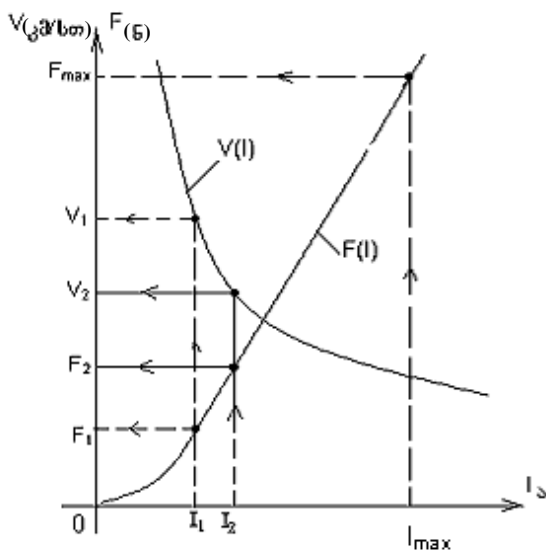
სადაც, $\frac{1}{\gamma} = \frac{D_1 \mu_2}{D_2 \mu_1}$.

მარგი ქმედების კოეფიციენტის მახასიათებელი პრაქტიკულად იქნება იგივე. (6.31) და (6.34) ფორმულებით გადათვლილი მახასიათებლები მოცემულია ნახ. 6.7-ზე (წყვეტილი ხაზები).

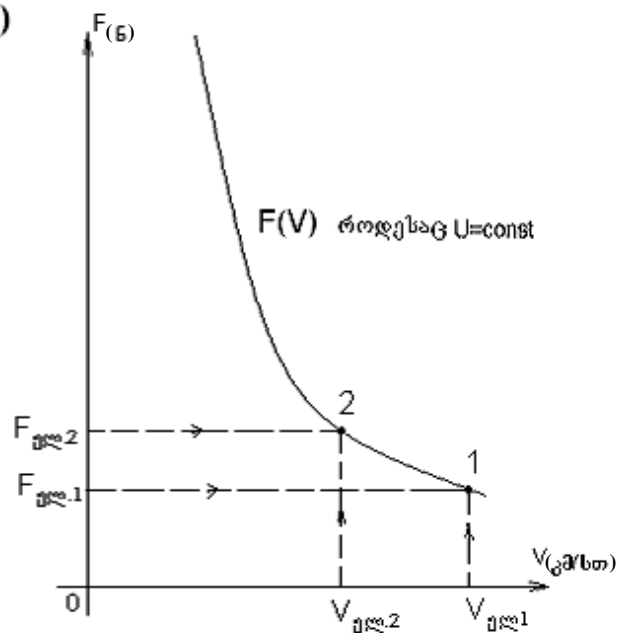
6.8. ელექტრომავლის წვეის მახასიათებლები და მათი აგება

ელექტრომავლის წვეის მახასიათებელი $F_{ელ}(V)$ აიგება წვეის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების საფუძველზე, რეგულირების სხვადასხვა საფეხურისათვის. ვთქვათ, მოცემულია წვეის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლები რედუქტორის გადაცემის რიცხვის μ და წვეილთვალის დიამეტრის D კონკრეტული მნიშვნელობებისათვის (ნახ. 6.8, ა).

ა)



ბ)



ნახ. 6.8. ელექტრომავლის წვეის მახასიათებლის $F(v)$ აგების თანმიმდევრობა.

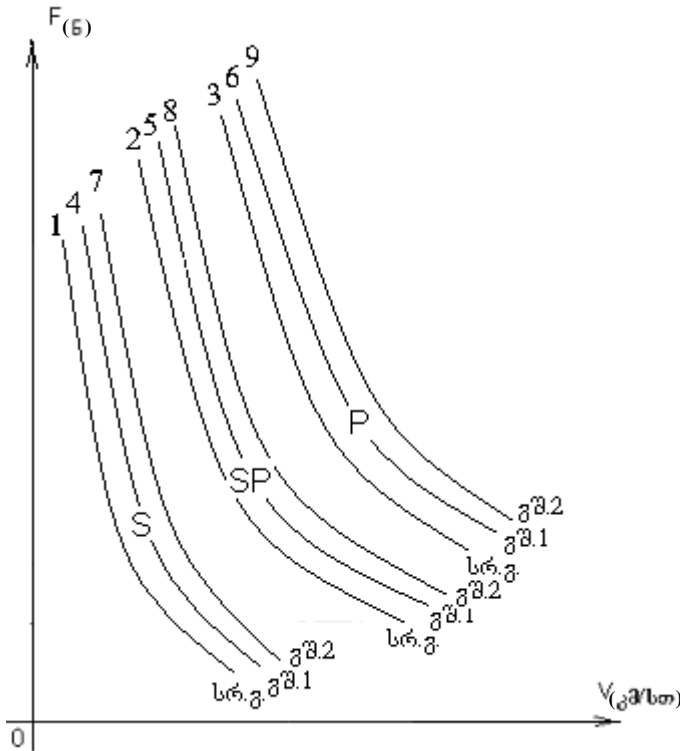
აგებას ვახდენთ შემდეგი თანმიმდევრობით: ვუშვებთ ძრავას დენის მნიშვნელობას I_1 და მახასიათებელზე ვპოულობთ მის შესაბამის სიჩქარეს V_1 , რომელიც იგივეა, რაც ელექტრომაგლის სიჩქარე $V_1=V_{ელ.1}$, იმავე დენისათვის ვსაზღვრავთ ძრავას წვევის ძალას F_1 (ნახ. 6.8, ა). ელექტრომაგლის წვევის ძალას საზღვრავთ

ფორმულით

$$F_{ელ.1} = k \cdot F_1, \quad (6.35)$$

სადაც, k არის ელექტრომაგალზე ძრავების რიცხვი. $k = 4, k = 6, k = 8, k = 12$.

მიღებული $V_{ელ.1}$ და $F_{ელ.1}$ კოორდინატებით ვაგებთ წვევის მახასიათებლის 1 წერტილს (ნახ. 6.8, ბ). შემდეგ ვუშვებთ დენის I_2 მნიშვნელობას, ვსაზღვრავთ შესაბამის სიჩქარეს $V_{ელ.2}$ და წვევის ძალას $F_{ელ.2}$, ვაგებთ საძიებელი წვევის მახასიათებლის 2 წერტილს და ა.შ. თუ მიღებულ წერტილებს შევავრთებთ ლეკალოს დახმარებით, მივიღებთ კონკრეტული რეგულირების საფეხურის



ნახ. 6.9. წვევის მახასიათებლები რეგულირების სხვადასხვა საფეხურისთვის.

(ძრავას მომჭერებზე ძაბვის კონკრეტული მნიშვნელობის) წვევის მახასიათებელს $F(V)$ (ნახ. 6.8, ბ). თუ ანალოგიურად გავთვლით კოორდინატებს რეგულირების სხვადასხვა საფეხურისათვის (სხვადასხვა ძაბვისათვის და ველის შესუსტების სხვადასხვა კოეფიციენტისათვის), მივიღებთ წვევის მახასიათებელთა ოჯახს.

ნახ. 6.9-ზე 1 მრუდი შეესაბამება წვევის ძრავების მიმდევრობითი შეერ-თების (სერიესული "S" შეერთების) სრული ველის (სრ.შ) წვევის მახასიათებელს. 2 მრუდი მიმდევრობით პარალელური (სერიეს-პარალელური SP) შეერთების სრული ველის მახასიათებელს. 3 მრუდი პარალელური შეერთების (P) სრული ველის წვევის მახასიათებელს. 4-5-6 და 7-8-9 მრუდეები შესაბამისად წარმოადგენენ მაგნიტური ველის შესუსტების პირველი და მეორე საფეხურების წვევის მახასიათებლებს შესაბამისად S, SP, P შეერთებებზე.

6.9. შეზღუდვები წვევის მახასიათებლებზე

ექსპლუატაციაში გამოიყენება წვევის მახასიათებლების არა სრული არე, არამედ მისი გარკვეული შემოფარგლული ნაწილი. ეს განპირობებულია გარკვეული საექსპლუატაციო შეზღუდვებით. გვაქვს წვევის მახასიათებლების შემდეგი შეზღუდვები:

1. წვევის ძრავას მაქსიმალური დენით,
2. ჩაჭიდებით,
3. ველის შესუსტების მაქსიმალური დასაშვები სიდიდით,
4. კონსტრუქციული სიჩქარით.

განვიხილოთ აღნიშნული შეზღუდვები ცალ-ცალკე.

1. შეზღუდვა ძრავას მაქსიმალური დენით.

წვევის ძრავას აქვს მაქსიმალური დასაშვები დენი $I_{d,max}$, რომლის გადაჭარბების შემთხვევაში წვევის ძრავა შეიძლება ელექტრულად დაზიანდეს. ძრავას მაქსიმალურ დენს შეესაბამება მაქსიმალური წვევის ძალა $F_{d,max}$ (ნახ. 6.8, ა). შესაბამისად ელექტრომაგვლის წვევის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა ძრავას დასაშვები დენის მიხედვით იქნება

$$F_{ელ,max}^i = mF_{d,max}, \quad (6.36)$$

სადაც, m არის ელექტრომაგვლის ძრავების რიცხვი.

i – სიმბოლო ნიშნავს წვევის ძალის შეზღუდვას დენით.

აღნიშნულ წვევის ძალის მნიშვნელობას გადავზომავთ კოორდინატთა ღერძზე და გავავლებთ აბცისთა ღერძის პარალელურ 1-წრფეს (ნახ. 6.10).

2. შეზღუდვა ჩაჭიდებით.

როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია, თუ არტახისა და რელსის შეხების ზონაში ძრავას მიერ განვითარებული წვევის ძალა გადააჭარბებს ჩაჭიდების ძალის მაქსიმალურ შესაძლო მნიშვნელობას, მაშინ ადგილი ექნება ბუქსაობას. თავიდან რომ ავიცილოთ ბუქსაობა, საჭიროა დაცული იყოს პირობა

$$F_{ელ} < F_{ჩაჭ}.$$

ამისათვის კი საჭიროა გავთვალოთ $F_{ჩაჭ}$ სხვადასხვა სიჩქარისათვის. როგორც ზემოთ ვნახეთ, ჩაჭიდების წვევის ძალა განისაზღვრება ფორმულით

$$F_{ჩაჭ} = 1000G\Psi_{ჩაჭ}, \quad (6.37)$$

სადაც, G არის ელექტრომაგვლის ჩაჭიდების წონა, კნ-ში. $G = kq$.

k – ლოკომოტივის ღერძების რიცხვი.

q – ლოკომოტივის ღერძზე დაწოლა, კნ-ში, (ტ).

$\Psi_{\text{ჩაჭ}}$ არის ჩაჭიდების კოეფიციენტი, რომელიც მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებისათვის განისაზღვრება შემდეგი ემპირული ფორმულით

$$\Psi_{\text{ჩაჭ}} = 0.28 \frac{3}{50 + 20V} - 0.0007V \quad (6.38)$$

სადაც, V არის სიჩქარე.

გაანგარიშებას ვახდენთ ცხრილის სახით. სხვადასხვა სიჩქარისათვის ვსაზღვრავთ $\Psi_{\text{ჩაჭ}}$ და (6.37) ფორმულით შესაბამის წვეის ძალას $F_{\text{ჩაჭ}}$; მიღებული სიდიდეები შეგვაქვს ცხრილში და ვაგებთ ჩაჭიდებით შეზღუდვის მრუდს. მრუდი 2 (ნახ. 6.10).

V კმ/სთ	0	10	20	30
$\Psi_{\text{ჩაჭ}}$	0.34	0.292	0.273	0.264
$F_{\text{ჩაჭ}}$ (ნ)	625 600	537 280	502 320	485 760

3. შეზღუდვა ველის შესუსტებით.

მაგნიტური ველის ღრმა შესუსტების დროს, ღუზის რეაქციის ზემოქმედებით მახინჯდება ჯამური მაგნიტური ნაკადი, რაც იწვევს ძრავას გეომეტრიული ნეიტრალის გადაადგილებას. აღნიშნულის შედეგად ძრავას კოლექტორზე წარმოქმნილი ნაპერწკლიანობა შეიძლება გადაიზარდოს წრიულ ცეცხლში, რაც გამოიწვევს წვეის ძრავას დაზიანებას. ამის თავიდან ასაცილებლად აწესებენ შეზღუდვას ველის მაქსიმალურად დასაშვები შესუსტებით. მრუდი 3 (ნახ. 6.10).

4. შეზღუდვა კონსტრუქციული სიჩქარით.

ელექტრომაგვალს საპასპორტო მონაცემებით აქვს კონსტრუქციის სიმტკიცით დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარე, რომლის გადაჭარბების შემთხვევაში კონსტრუქცია შეიძლება დაიშალოს. კონსტრუქციული სიჩქარის შეზღუდვას შეესაბამება 4-წრფე (ნახ. 6.10).

ნახ. 6.10-დან ჩანს, რომ მივიღეთ **ABCDE** ტეხილით შემოფარგლული არე, რომლის ფარგლების დარღვევა იწვევს:

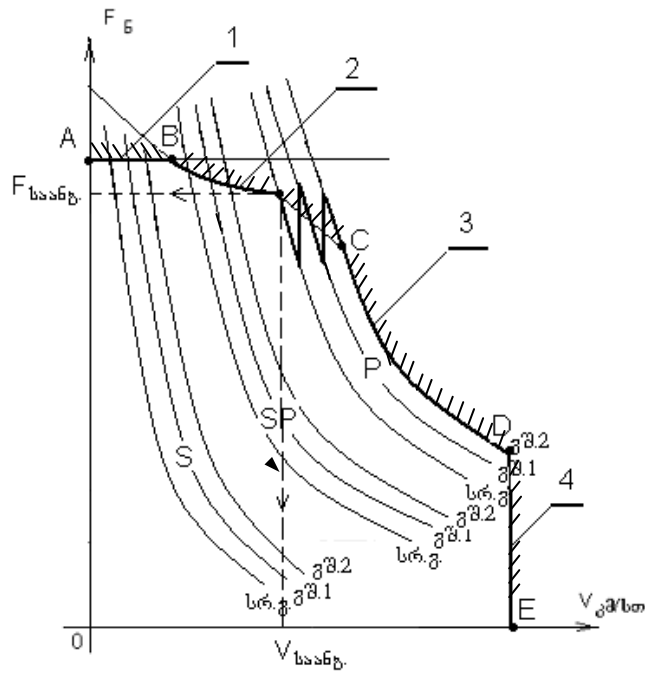
AB – ზონის გარეთ - ძრავას თბურ დაზიანებას;

BC – ზონის გარეთ - ჩაჭიდების დარღვევას;

CD – ზონის გარეთ - ნაპერწკლიანობის გაზრდას კოლექტორზე. სხვაგვარად ძრავას კომუტაციის გაუარესებას;

DE – ზონის გარეთ - კონსტრუქციის დაშლას.

ე.ი. ნორმალური ექსპლუატაციისთვის, წვეის შესაძლებლობები შეიძლება გამოყენებული იქნეს **ABCDE** ტეხილით შემოფარგლულ ფარგლებს შიგნით.



ნახ. 6.10. შეზღუდვების დატანა წვეის მახასიათებლებზე.

აგებული წვეის მახასიათებლიდან, მაქსიმალური სიმძლავრის გამოყენების კუთხით, ირჩევენ საანგარიშო წვეის ძალას $F_{საანბ}$ და სიჩქარეს $V_{საანბ}$. (ნახ. 6.10), რომლებიც შემდგომ გამოიყენება მატარებლის წონის განსასაზღვრავად.

VII თაზო

მუდმივი დენის კონტაქტორულ-რეოსტატული მართვის მქონე ელექტრომოძრავი შემადგენლობის ამუშავება და სიჩქარის რეგულირება

დღეისათვის მსოფლიოში არსებული რკინიგზები ძირითადად ელექტრიფიცირებულია მუდმივ დენზე (საკონტაქტო ქსელში 3 000 ვ. ძაბვაზე) და ერთფაზა ცვლად დენზე (საკონტაქტო ქსელში 25 კვ. ძაბვაზე). შესაბამისად გვაქვს მუდმივ დენზე და ცვლად დენზე მომუშავე ელექტრომოძრავი შემადგენლობის (ელექტრომავლები, ელექტრომატარებლები) პარკი. ეს ლოკომოტივები ელექტრული სქემების, გამოყენებული მოწყობილობის და კონსტრუქციის მიხედვით ერთმანეთისგან განსხვავებულია. შესაბამისად განსხვავებულია მათი ამუშავების და სიჩქარის რეგულირების პრინციპები. განვიხილოთ ეს პრინციპები ცალკეული სისტემებისათვის.

7.1. მუდმივი დენის წვევის ძრავას ამუშავების პროცესი

მატარებლის მოძრაობა იწყება გადასარბენზე მატარებლის დაძვრით, როდესაც $V=0$, ძრავას ბრუნთა რიცხვი $n=0$. წვევის ძრავაში გამავალი დენი (რომელიც პქმნის დაძვრისთვის აუცილებელ წვევის ძალას) განისაზღვრება ძრავას მომჭერებზე მოდებული ძაბვის და ძალური წრედის წინაღობის ფარდობით. ნულოვან სიჩქარეზე წვევის ძრავას ჩართვა ქსელის ნომინალურ ძაბვაზე დაუშვებელია, ვინაიდან ძრავას გრაგნილების ძალიან მცირე აქტიური წინაღობის გამო, ძრავაში გაივლის ძალიან დიდი დენი. წვევის ძრავა ელექტრულად და შესაძლებელია მექანიკურადაც დაზიანდეს.

საკითხის უკეთ გაგებისა და ძრავაში მიმდინარე პროცესების ანალიზის სიმარტივისათვის, განვიხილოთ ამუშავების პროცესი ერთი ძრავას მაგალითზე.

როგორც ელექტრული მანქანების კურსიდანაც ცნობილი, მუდმივი დენის მანქანის ძრავული რეჟიმის ძაბვათა ბალანსის განტოლებას, მუშაობის პროცესში, აქვს შემდეგი სახე

$$U_{\text{ძრ}} = E + IR_{\text{ძრ}}, \quad (7.1)$$

სადაც, E არის ძრავას უკუელექტრომომძრავებელი ძალა (ემძ) ვოლტებში.

$$E = C_e \Phi n \quad (7.2)$$

C_e – ძრავას კონსტრუქციული მუდმივა.

Φ – ძრავას მაგნიტური ნაკადი, ვებერებში.

n – ძრავას ღუზის ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ-ში.

$I_{\text{ძრ}}$ – ძრავაში გამავალი დენი, ამპერებში.

$R_{\text{ძრ}}$ – ძრავას გრაგნილების (ლუზის, აგზნების, დამატებითი პოლუსის, საკომპენსაციო) ჯამური აქტიური წინააღმდეგობა, ომებში.

შევიტანოთ (7.2) ფორმულის მნიშვნელობა (7.1) ფორმულაში, მივიღებთ

$$U_{\text{ძრ}} = C_e \Phi n + I R_{\text{ძრ}}. \quad (7.3)$$

(7.3) ფორმულა შეგვიძლია წავიკითხოთ ასე:

წვევის ძრავას მომჭერებზე მოდებული ძაბვა ტოლია, თვითინდუქციის (უკუ) ელექტრომაგნიტური ძალის $C_e \Phi n$ და ძრავას გრაგნილების აქტიურ წინააღმდეგობაში ძაბვის ვარდნის $I R_{\text{ძრ}}$ ჯამის.

(7.3) ფორმულიდან განვსაზღვროთ ძრავას დენი

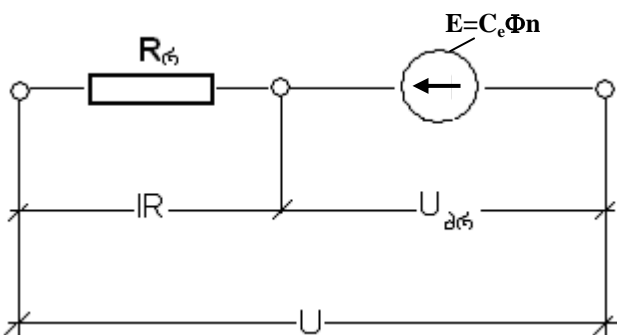
$$I_{\text{ძრ}} = \frac{U_{\text{ძრ}} - C_e \Phi n}{R_{\text{ძრ}}} \quad (7.4)$$

დაძვრის მომენტში, რადგან $n_{\text{ძრ}} = 0$, ამიტომ $C_e \Phi n = 0$ და დენის საანგარიშო ფორმულა მიიღებს სახეს

$$I = \frac{U_{\text{ძრ}}}{R_{\text{ძრ}}}.$$

ვინაიდან $R_{\text{ძრ}}$ ძალზე მცირე სიდიდეა (დაახლოებით 0,1-0,15 ომი), ამიტომ ძრავას დენი აღწევს დაუშვებლად დიდ მნიშვნელობას.

თავიდან, რომ ავიცილოთ ძრავას დაზიანება, საჭიროა შევზღუდოთ ძრავას ამუშავების დენი დასაშვებ მნიშვნელობამდე. ამისთვის საჭიროა შევამციროთ ძრავას მომჭერებზე ძაბვის მნიშვნელობა, რისთვისაც მუდმივი დენის ელექტრომოდრავ შემადგენლობებში, ძრავას მიმდევრობით ირთვება დამატებითი წინააღმდეგობები, ე.წ. ასამუშავებელი რეოსტატები, რომლებშიც შთაინთქმება ძაბვის მნიშვნელოვანი ნაწილი (იხ. ნახ. 7.1).



ნახ. 7.1. ასამუშავებელი რეოსტატი R_{δ} ჩართულია ძრავას მიმდევრობით.

აღწერილი შემთხვევისთვის (7.4) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$I_{\text{ძრ}} = \frac{U_{\text{ძრ}} - C_e \Phi n_{\text{ძრ}}}{R_{\text{ძრ}} + R_{\delta}}. \quad (7.5)$$

მატარებლის დაძვრისას წვევის ძრავების ღუზები იწყებენ ბრუნვას. წარმოიქმნება უკუ ემძ $E = C_e \Phi n$, რის გამოც ძრავას დენი და, შესაბამისად, წვევის ძალა

($F_{\text{ძრ}} = 0,367 C_e \Phi I$), დაიწყებს შემცირებას. იმისათვის, რომ წვევის ძალა და შესაბამი-

სად მატარებლის აჩქარება შევინარჩუნოთ უცვლელად, საჭიროა ძრავას ამუშავების დენი შევინარჩუნოთ მაქსიმალურ დასაშვებ ფარგლებში უცვლელად (ან ვცვალოთ წინასწარ განსაზღვრული კანონით). ამისთვის კი საჭიროა სიჩქარის ზრდისას შევამციროთ ასამუშავებელი რეოსტატის წინაღობა $R_{\text{რ}}$. ეს პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ ასამუშავებელი რეოსტატი მთლიანად არ ამოირთვება წრედიდან, ანუ სანამ მატარებლის სიჩქარე არ მიაღწევს ძრავას ავტომატურ მახასიათებელზე (ურეოსტატო პოზიციის სიჩქარე) გასვლის სიჩქარეს. ამით ამუშავების პროცესი დამთავრებულია. შემდგომში, მოძრაობის სიჩქარის ცვლილებისას ავტომატურად იცვლება ძრავას დენი და შესაბამისად ძრავას მიერ განვითარებული წვევის ძალა.

იმისათვის, რომ განახორციელონ მდოვრე დაძვრა და თავიდან აიცილონ დარტყმები კბილანა რედუქტორებში, საწყის ეტაპზე ძრავას დენს ამცირებენ შესაბამის მინიმალურ მნიშვნელობამდე (ასამუშავებელ რეოსტატზე ე.წ. სამანევრო საფეხურების წინაღობების დამატებით), შემდეგ კი ზრდიან ძრავას მაქსიმალურად დასაშვებ დენის მნიშვნელობამდე. (ძრავას მაქსიმალური დენის მნიშვნელობა აიღება თვით ძრავას დასაშვებ დენის ჩაჭიდების მაქსიმალური წვევის ძალის შესაბამისი დენის, ან მაქსიმალური დასაშვებ აჩქარების შესაბამისი დენის მიხედვით).

7.2. წვევის ძრავას მდოვრე რეოსტატული ამუშავება

როგორც ვნახეთ, რეოსტატული ამუშავების დროს ძრავაში გამავალი დენის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$I_{\text{აშ}} = \frac{U_{\text{დრ}} - C_{\text{e}} \Phi n_{\text{დრ}}}{R_{\text{დრ}} + R_{\text{რ}}}$$

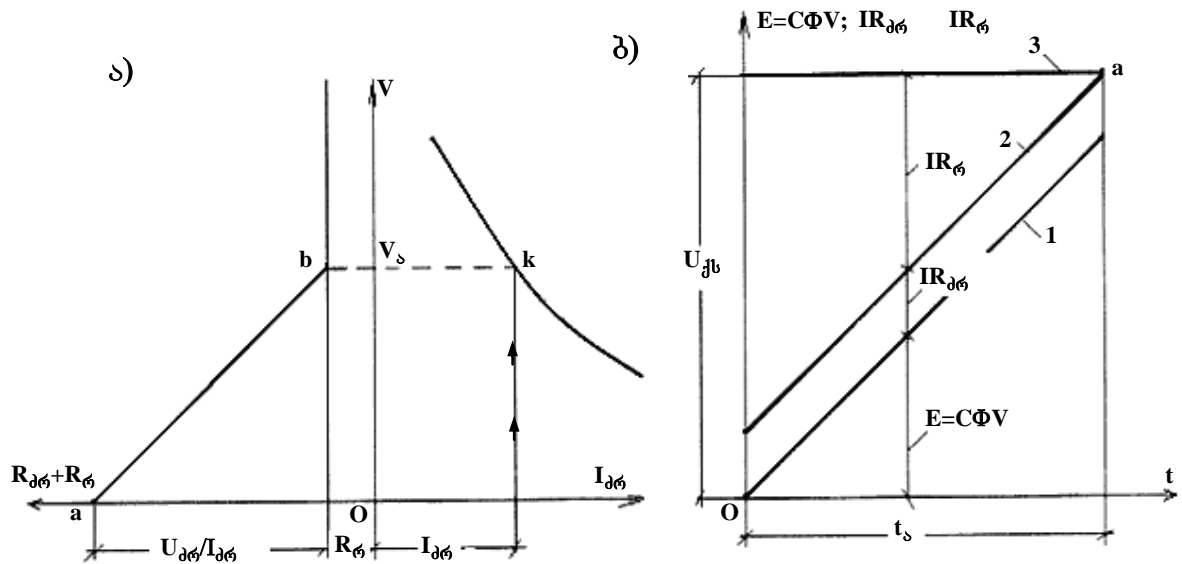
დაძვრის მომენტისთვის ეს ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$I_{\text{აშ}} = \frac{U_{\text{დრ}}}{R_{\text{დრ}} + R_{\text{რ}}}. \quad (7.6)$$

თუ (7.6) ფორმულას ამოვხსნით $(R_{\text{დრ}} + R_{\text{რ}})$ -ის მიმართ, მივიღებთ

$$(R_{\text{დრ}} + R_{\text{რ}}) = \frac{U_{\text{დრ}}}{I_{\text{აშ}}}. \quad (7.7)$$

მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ამუშავების დენის (შესაბამისად წვევის ძალის), მუდმივი მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად, საჭიროა ასამუშავებელი რეოსტატის წინაღობა შევამციროთ სიჩქარის ზრდის უკუპროპორციულად (ნახ. 7.2 ა) (ნახაზის მარცხენა მხარე). ჩანს, რომ ამუშავების პროცესში რეოსტატის წინაღობა იცვლება ab წრფის მიხედვით. b წერტილში რეოსტატის წინაღობა 0-ის ტოლია. k წერტილი შეესაბამება ავტომატურ მახასიათებელზე გასვლის სიჩქარეს $V_{\text{ს}}$ -ს.



ნახ. 7.2. წვევის ძრავას მდოვრე რეოსტატული ამუშავება.

7.2 ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ძაბვის და ელექტრომაგნიტური ძალის ცვლილება ერთი ძრავას შემთხვევაში. გამარტივების მიზნით, ამუშავების პროცესში, მექანიკურ და მაგნიტურ კარგებს ძრავაში არ ვითვალისწინებთ. ამავე დროს ვუშვებთ, რომ სიჩქარის ზრდისას მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა არ იცვლება, ანუ მატარებლის აჩქარება მუდმივი სიდიდეა.

თუ ძრავას უაუქტრომაგნიტურ ძალას (1 წრფე), დავეუმატებთ ძაბვის ვარდნას ძრავას აქტიურ წინააღმდეგობაში $IR_{\text{ძრ}}$, მივიღებთ ძაბვის მნიშვნელობას ძრავას მომჭერებზე (2 წრფე). ქსელის ძაბვა უცვლელია და გამოსახულია 3 წრფით.

თუ 7.2 ბ ნახაზზე მოცემულ წრფეების ორდინატებს გავამრავლებთ ძრავას ამუშავების დენზე $I_{\text{ა}}$, მაშინ მივიღებთ სიმძლავრეების განაწილებას ამუშავების პროცესში (ნახ. 7.3).

7.3 ნახაზზე 3 წრფე შეესაბამება ქსელიდან მოთხოვნილ სიმძლავრეს $U_{\text{ქს}}I$. 3 და 2 წრფეების ორდინატთა სხვაობა შეესაბამება სიმძლავრის დანაკარგებს ასამუშავებელ რეოსტატებში $I^2R_{\text{წ}}$, (სამკუთხედი ced). 2 და 1 წრფეების ორდინატთა სხვაობა სიმძლავრის დანაკარგებს ძრავას აქტიურ წინააღმდეგობაში $I^2R_{\text{ძრ}}$, 1, 2 და 3 წრფეებით შემოფარგლული ფართები, შესაბამისად შეესაბამება ენერჯის განაწილებას ამუშავების პროცესში. კერძოდ,

oedb – მართკუთხედის ფართი შეესაბამება ქსელიდან მიღებულ ენერჯიას,

$$A_{\text{ქს}} = U_{\text{ქს}} \cdot I_{\text{ა}} \cdot t_s$$

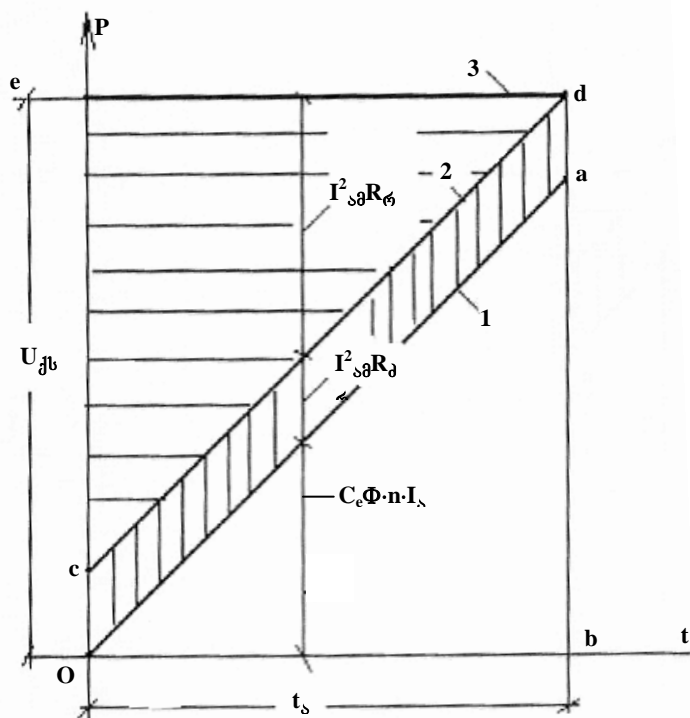
ocda – ფართი შეესაბამება ენერჯის დანაკარგებს ძრავაში,

$$A_{\text{ქს}} = U_{\text{არ}} \cdot I_{\text{ამ}} \cdot t_{\text{s}}$$

ced – ჰორიზონტალურად დაშტრიხული ფართი შეესაბამება ენერჯის დანაკარგებს ასამუშავებელ რეოსტატებში,

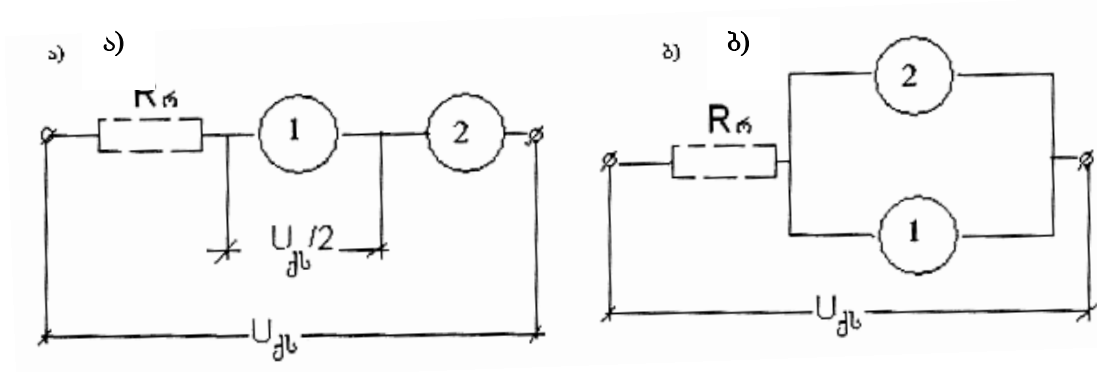
$$A_{\text{რ}} = I_{\text{ამ}}^2 R_{\text{რ}} t_{\text{s}}$$

როგორც 7.3 ნახაზიდან ჩანს, ამუშავების პროცესში, ქსელიდან მიღებული ენერჯის თითქმის ნახევარი ფუჭად იკარგება ასამუშავებელ რეოსტატებში.

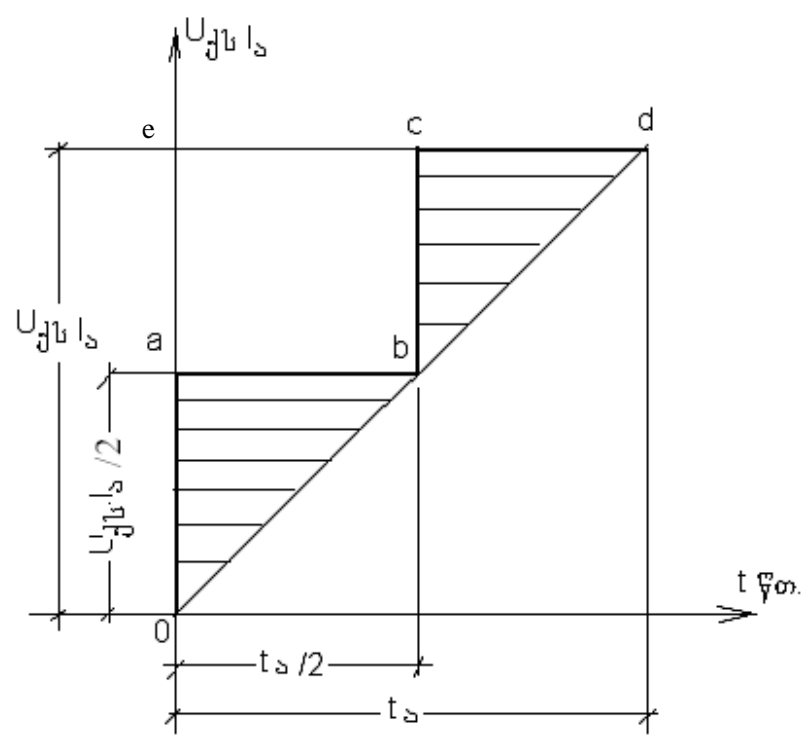


ნახ. 7.3. სიმძლავრის გახაწილება ერთი ძრავას ამუშავების პროცესში.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც გვაქვს ორი წვევის ძრავა, ჯერ მიმდევრობით (ნახ. 7.4 ა), ხოლო შემდგომ პარალელურად ჩართული (ნახ. 7.4 ბ). რეოსტატის გარეშე მიმდევრობით შეერთებისას ერთი ძრავას მომჭერებზე ძაბვა ქსელის ძაბვის ნახევრის ტოლია, ხოლო პარალელური შეერთების დროს ქსელის ძაბვის ტოლი. ამუშავების პროცესში ძაბვა იცვლება Oabcd ტეხილის მიხედვით (ნახ. 7.5). b წერტილში წვევის ძრავას ძაბვა უტოლდება ქსელის ძაბვის ნახევარს და რეოსტატი მთლიანადაა გამოყვანილი წრედიდან. ამავე წერტილში ხდება გადართვა პარალელურ შეერთებაზე და ასამუშავებელი რეოსტატი ხელმეორედ ირთვება წრედში. ამუშავება მთავრდება d წერტილში, როდესაც ასამუშავებელი რეოსტატის წინაღობა უტოლდება 0-ს და ძრავაზე მოედება ქსელის ძაბვა. როგორც 7.5 ნახაზიდან ჩანს, განხილული ვარიანტის შემთხვევაში ამუშავებაზე ენერჯის დანაკარგები თითქმის ორჯერ მცირდება. ode-სამკუთხედის ფართი მცირდება aecb-მართკუთხედის ტოლი ფართით.



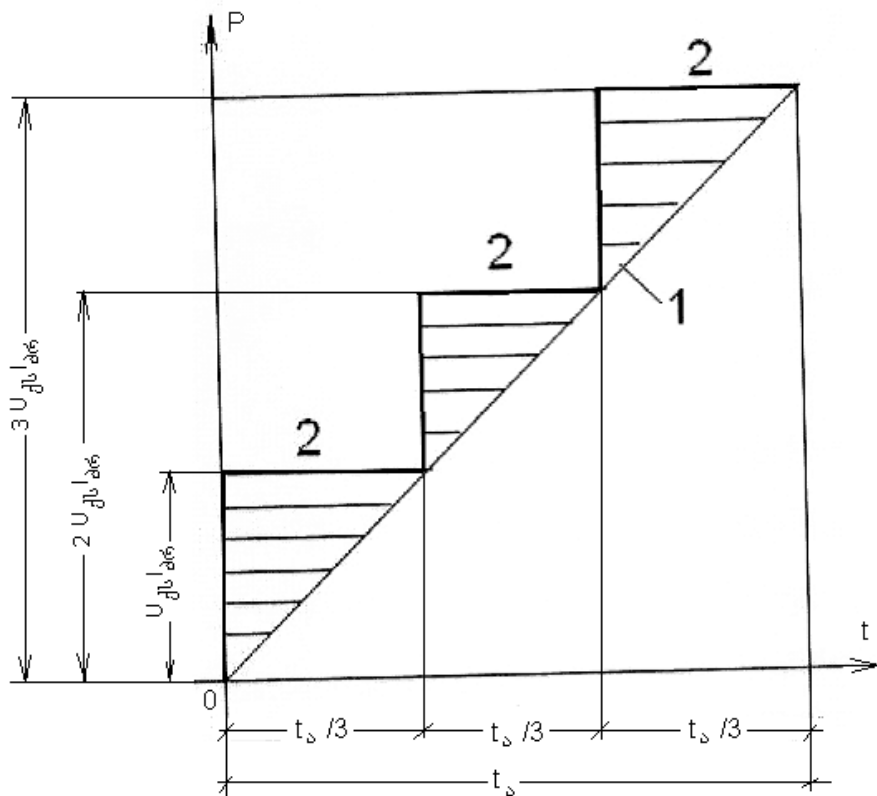
ნახ. 7.4. წვეის ძრავების ჩართვა: ა) მიმდევრობით და ბ) პარალელურად.



ნახ. 7.5. ამუშავების პროცესი ორი ძრავას დაჯგუფების შემთხვევაში.

ექსპრავიანი ლოკომოტივის შემთხვევაში შეიძლება განხორციელდეს ძრავების შეერთების სამი ვარიანტი: მიმდევრობითი შეერთება – ძრავას მომჭერებზე 500 ვ ძაბვით, მიმდევრობით-პარალელური შეერთება – ძრავას მომჭერებზე 1 000 ვ ძაბვით და პარალელური შეერთება – ძრავას მომჭერებზე 1 500 ვ ძაბვით. ამ ვარიანტისათვის ამუშავების დიაგრამა მოცემულია 7.6 ნახაზზე.

2-ტეხილი გვიჩვენებს ძაბვის ცვლილებას ძრავას მომჭერებზე, ხოლო დაშტრიხული სამკუთხედები – ენერგიის დანაკარგებს ასამუშავებელ რეოსტატებში. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ამ შემთხვევაში ენერგიის დანაკარგები რეოსტატებში მცირდება სამჯერ, იმასთან შედარებით, რაც გვექნებოდა წვეის ძრავების ერთი, (პარალელური) დაჯგუფების შემთხვევაში.



ნახ. 7.6. ამუშავების პროცესი ძრავების სამი დაჯგუფების შემთხვევაში.

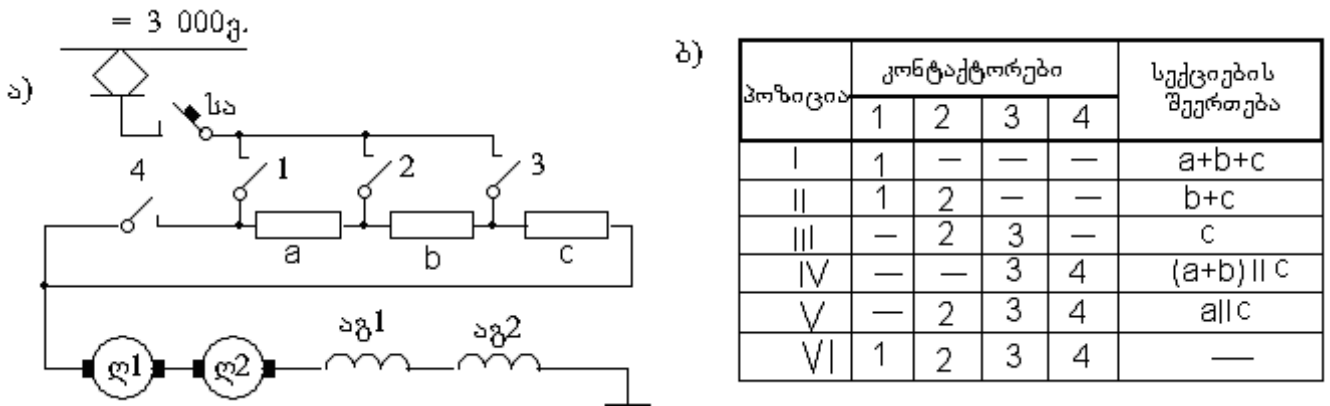
7.3 საფეხურისებრივი რეოსტატული ამუშავება

მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებზე, ასამუშავებელ რეოსტატებს ასრულებენ ცალკეული სექციების სახით (ნახ. 7.7 ა). ამუშავების პროცესში რეოსტატის სექციებს გარკვეული თანმიმდევრობით გამორთავენ საკომუტაციო აპარატების ინდივიდუალური კონტაქტორების საშუალებით. განვიხილოთ ეს პროცესი 7.7 ა ნახაზზე მოცემული სქემის მაგალითზე.

ასამუშავებელი რეოსტატების სექციების რიცხვის შერჩევასაც ცდილობენ მათი მინიმალური რაოდენობით მიიღონ პოზიციების მაქსიმალური რაოდენობა და ამით უზრუნველყონ დენის, და შესაბამისად, წვეის ძალის ნაკლები რყევა. ამის მიღწევა შესაძლებელია სექციების შეერთების სხვადასხვა კომბინაციებით.

7.7 ა ნახაზზე თუ ჩაკვეტავთ 1 კონტაქტორს და დანარჩენი იქნება ღია, მაშინ *a, b* და *c* სექციები ჩაირთვებიან მიმდევრობით. 2-კონტაქტორის ჩართვით ამოირთვება *a* სექცია. 3 კონტაქტორის ჩართვით წრედში ჩართული დარჩება მხოლოდ *c* სექცია. თუ გამოვრთავთ 1, 2 კონტაქტორებს და ჩავრთავთ 4 კონტაქტორს, მაშინ *a* და *b* სექციები ჩაირთვებიან *c* სექციის პარალელურად. თუ ჩავრთავთ 2, 3, 4 კონტაქტორებს, პარალელურად ჩაირთვებიან *a* და *c* სექციები. და ბოლოს თუ ჩავრთავთ ყველა ოთხივე კონტაქტორს, ასამუშავებელ რეოსტატს მოლიანად ამოვრთავთ

წრედის (გავალთ ე.წ. ავტომატურ მახასიათებელზე). იმისათვის, რომ ვიცოდეთ რომელ პოზიციაზე რომელი კონტაქტორებია ჩართული და სექციები როგორაა ჩართული, ადგენენ კონტაქტორების ჩართვის ცხრილს (ნახ. 7.7, ბ).



ნახ. 7.7. ა – საფეხურისებრივი რელეების სქემა და ბ) კონტაქტორების ცხრილი.

7.4. სიჩქარის რეგულირება

საზოგადოდ ცნობილია, რომ მუდმივი დენის კოლექტორიანი წვეის ძრავები პროექტირდება 1500 ვოლტ ძაბვაზე. ეს განპირობებულია იმით, რომ უფრო მაღალი მუშა ძაბვის დროს რთულდება ძრავის კონსტრუქცია და დაუშვებლად იხრება ძრავის გაბარიტები (რაც ლიმიტირებულია სარელსო გზის ლიანდის სიგანით). 1500 ვოლტ ძაბვაზე დაბალი მუშა ძაბვის შემთხვევაში, (როდესაც საკონტაქტო ქსელში შენარჩუნებულია 3 000ვ ძაბვა), ძალზე რთულდება წვეის ძრავის მომჭერებზე ძაბვის და, შესაბამისად, სიჩქარის რეგულირება.

ზემოთ მოყვანილი ძაბვათა ბალანსის განტოლებიდან (ფორმულა 7.4) განვსაზღვროთ ძრავის ბრუნთა რიცხვი n , მივიღებთ

$$n = \frac{U_{\text{ძრ}} - IR_{\text{ძრ}}}{C_e \Phi} \quad (7.8)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ძრავაში ძაბვის ვარდნა $IR_{\text{ძრ}}$, U -თან შედარებით, ძალზე მცირე სიდიდეა (არ აღემატება 4%-ს), მაშინ ის შეიძლება უგულვებელყოთ და (7.8) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$n = \frac{U_{\text{ძრ}}}{C_e \Phi} \quad (7.9)$$

მიღებული (7.9) განტოლების თანახმად, ძრავის ბრუნთა რიცხვის n და, შესაბამისად, ელექტრომავლის სიჩქარის რეგულირება, შესაძლებელია ძრავის მომჭერებზე ძაბვის U ან ძრავის მაგნიტური ნაკადის Φ რეგულირებით.

7.4.1. სიჩქარის რეგულირება ძაბვის ცვლილებით

ამუშავების პროცესის განხილვის დროს ვნახეთ (ნახ. 7.7), ასამუშავებელი რეოსტატის საფეხურების მთლიანი ამორთვის შემდეგ, თითოეულ ძრავაზე გვექნება 1 500 ვოლტი ძაბვა (ორი ძრავა მიმდევრობით $\frac{3000}{2}=1500$ ვ.). სინამდვილეში, როგორც ვიცით, ელექტრომავლის ძრავების (დერძების) რიცხვი შეიძლება იყოს 4, 6, 8 და მათი მიმდევრობით შეერთებისას თითოეულზე ძაბვა შესაბამისად იქნება:

4 დერძიანი ელექტრომავლისთვის $\frac{3000}{4}=750$ ვოლტი;

6 დერძიანი ელექტრომავლისთვის $\frac{3000}{6}=500$ ვოლტი;

8 დერძიანი ელექტრომავლისთვის $\frac{3000}{8}=375$ ვოლტი.

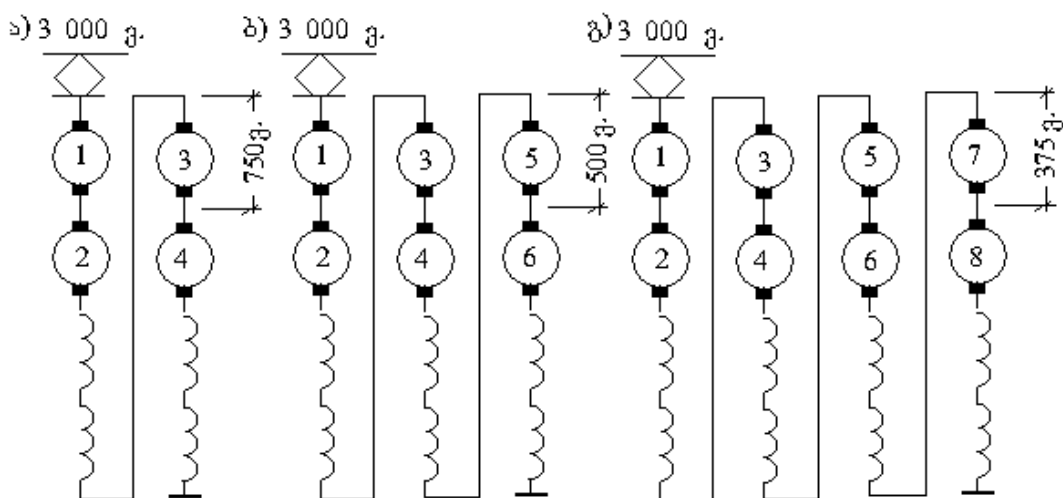
(ნახ. 7.8).

სიჩქარის შემდგომი გაზრდისთვის საჭიროა გავაგრძელოთ ძრავას მომჭერებზე ძაბვის გაზრდა. ამ მიზნით წვეის ძრავებს მიმდევრობითი (ე.წ. სერიესული) შეერთებიდან, გადართავენ მიმდევრობით-პარალელურ (სერიეს-პარალელურ) შეერთებაზე. ე.ი. გვექნება:

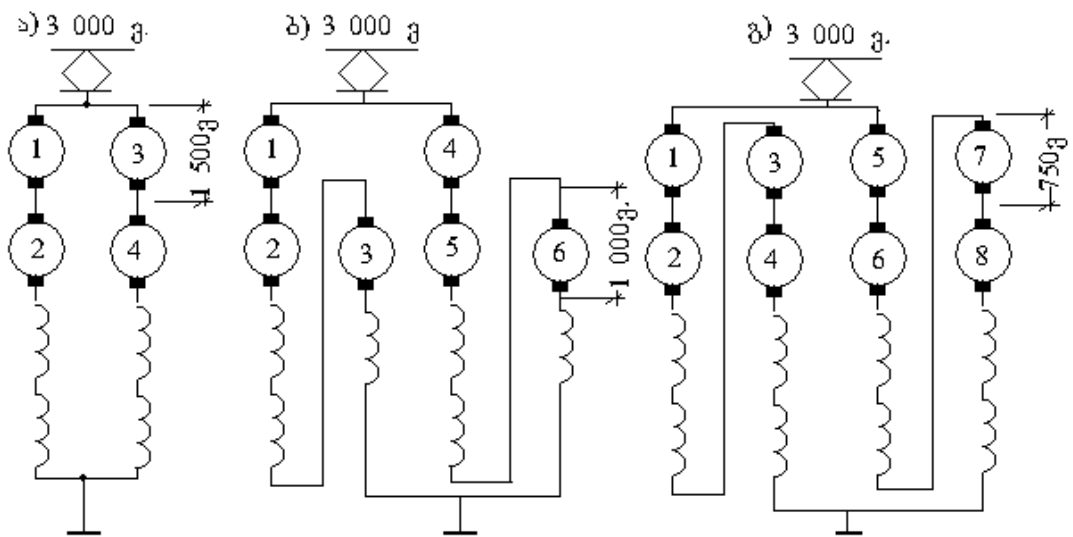
4 დერძიან ელექტრომავლებში ორი პარალელური შტო, თითოეულში ორ-ორი მიმდევრობით ჩართული ძრავათი და ძაბვით – $\frac{3000}{2}=1500$ ვ (ნახ. 7.9, ა);

6 დერძიან ელექტრომავლებში ორი პარალელური შტო, თითოეულში სამ-სამი მიმდევრობით ჩართული ძრავათი, ძაბვით $\frac{3000}{3}=1000$ ვ (ნახ. 7.9, ბ);

8 დერძიან ელექტრომავლებში ორი პარალელური შტო. თითოეულში ოთხ-ოთხი მიმდევრობით ჩართული წვეის ძრავათი $\frac{3000}{4}=750$ ვ ძაბვით (ნახ. 7.9, გ).



ნახ. 7.8. წვეის ძრავების მიმდევრობითი შეერთება: ა) 4 დერძიანი, ბ) 6 დერძიანი და გ) 8 დერძიანი ელექტრომავლებისთვის.



ნახ. 7.9. წვეის ძრავების სერიეს-პარალელური შეერთება: ა) 4 ღერძიანი, ბ) 6 ღერძიანი და გ) 8 ღერძიანი ელექტრომაგლებისთვის.

სიჩქარის შემდგომი ზრდისათვის წვეის ძრავებს გადართავენ პარალელურ შეერთებაზე (ნახ. 7.10).

შენიშვნა: ოთხღერძიან ელექტრომაგლებში ძრავების შემდგომი გადაჯგუფება შეუძლებელია, რადგან მათთვის ნომინალური ძაბვის მნიშვნელობა – 1 500 ვ უკვე მიღწეულია.

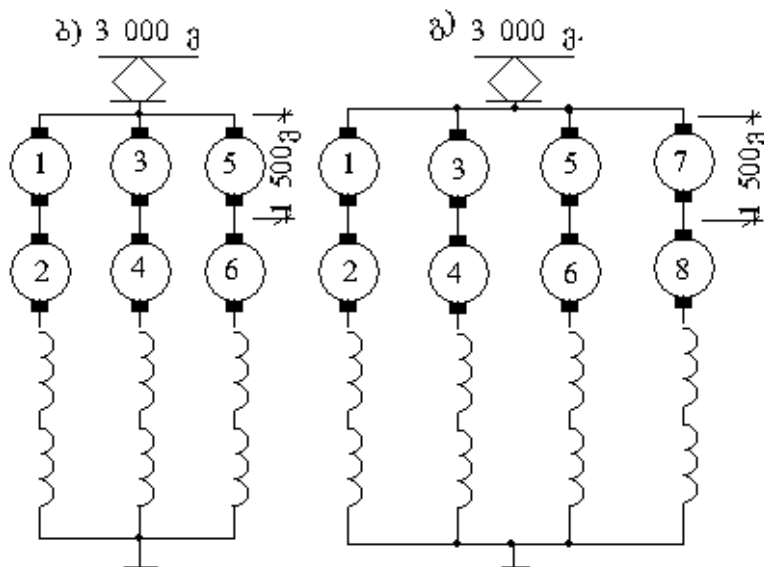
6 და 8 ღერძიანი ელექტრომაგლებისთვის გვექნება:

6 ღერძიან ელექტრომაგლებში სამი პარალელური შტო, თითოეულში ორ-ორი

მიმდევრულად ჩართული ძრავათი, ძაბვით $\frac{3000}{2} = 750$ ვ (ნახ. 7.10, ა);

8 ღერძიან ელექტრომაგლებში ოთხი პარალელური შტო, თითოეულში ორ-ორი

მიმდევრულად ჩართული ძრავათი, ძაბვით $\frac{3000}{2} = 750$ ვ (ნახ. 7.10, ბ).



ნახ. 7.10. წვეის ძრავების პარალელური შეერთება: ბ) 6 ღერძიანი და გ) 8 ღერძიანი ელექტრომაგლებისათვის.

7.4.2. სიჩქარის რეგულირება მაგნიტური ნაკადის რეგულირებით

როგორც ზემოთ გვქონდა აღნიშნული (ფორმულა 7.9), სიჩქარის რეგულირება შეიძლება მაგნიტური ნაკადის Φ ცვლილებით, ძრავას მომჭერებზე უცვლელი ძაბვის დროს.

მიმდევრობით აგზნებიან ძრავებში, სადაც ღუზის დენი გადის აგზნების გრაგნილში, მაგნიტური ნაკადის მხოლოდ შემცირება შეიძლება. ამიტომ, ამ მოქმედებამ მიიღო ველის შესუსტების სახელწოდება. ამ დროს იზრდება ღუზის დენი და შესაბამისად ქსელიდან მოთხოვნილი სიმძლავრე.

ელექტრული მანქანების კურსიდან ცნობილია, რომ მაგნიტური ნაკადის სიდიდე პროპორციულია ამპერ ხვეების. ეს ფორმულის სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ ასე

$$\Phi \equiv WI_{\Sigma}, \quad (7.10)$$

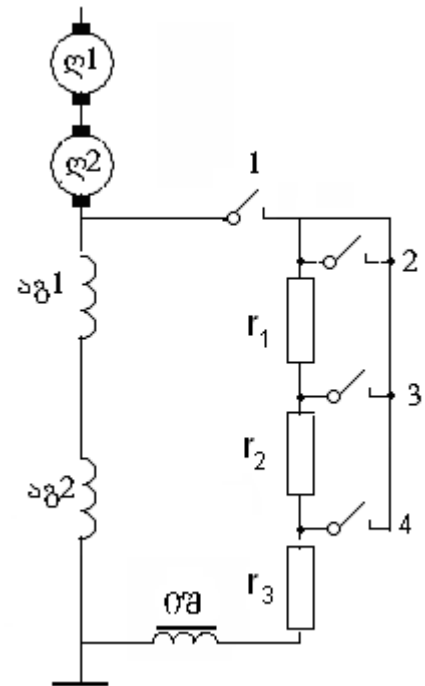
სადაც, W არის აგზნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვი.

I_{Σ} – აგზნების გრაგნილში გამავალი დენი.

ე.ი. გამოდის რომ მაგნიტური ნაკადი შეიძლება ვარეგულიროთ ორი გზით:

- 1 – აგზნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვის W ცვლილებით;
- 2 – აგზნების გრაგნილში გამავალი დენის I_{Σ} ცვლილებით.

პირველი ხერხი პრაქტიკაში არ გამოიყენება, რადგან აგზნების გრაგნილის გამომყვანების რიცხვის გაზრდის გამო, ართულებს ძრავას კონსტრუქციას და ამცირებს მისი მუშაობის საიმედოობას.



ნახ. 7.11. ველის შესუსტების პრინციპული სქემა.

მეორე ხერხის გამოყენების დროს, წვევის ძრავას აგზნების გრაგნილს აშუნტებენ რეგულირებადი წინაღობის მქონე რეზისტორით (რეოსტატით). მაშუნტირებელი რეზისტორი დაყოფილია სექციებად, რომელთა ჩართვა-გამორთვა ხდება ინდივიდუალური ელექტროპნემატური კონტაქტორებით (ნახ. 7.11). 1-კონტაქტორის ჩართვისას, აგზნების გრაგნილის პარალელურად ირთვება ველის შესუსტების რეზისტორის სრული წინააღმდეგობა $R = r_1 + r_2 + r_3$. ამ დროს აგზნების დენის დიდი ნაწილი (ვთქვათ 80%) გაივლის აგზნების გრაგნილში, ხოლო დანარჩენი 20% გაივლის მაშუნტირებელ წრედში. შედეგად მივიღებთ ველის შესუსტების პირველ 80%-იან საფეხურს.

შემდეგ ჩართავენ 2 კონტაქტორს. მაშუნტირებელი წრედის წინააღმდეგობა შემცირდება r_1 სიდიდით. (ვთქვათ სრული წინააღმდეგობის R -ის 10%-ით), მივიღებთ ველის შესუსტების 70%-იან მეორე საფეხურს და ა.შ.

მაგნიტური ნაკადის შემცირება შესაძლებელია რაღაც მინიმალურ ზღვრამდე. უფრო ღრმად ველის შესუსტების შემთხვევაში, ღუზის რეაქციის ნაკადის ზემოქმედებით მახინჯდება რეზულტირებული ნაკადი, გეომეტრიული ნეიტრალი (რომელზეც განთავსებულია მუსები) იცვლის ადგილს (მუსდამჭერები კი რჩებიან დამაგრებული ადგილზე), რის გამოც ძრავა იწყებს ნაპერწკლიანობას, რაც შეიძლება კოლექტორზე გადაიზარდოს წრიულ ცეცხლში.

7.11 ნახაზზე ველის შესუსტების რეზისტორების მიმდევრობით ჩართულია დიდი ინდუქტივობის მქონე ელემენტი ე.წ. ინდუქტიური შუნტი იშ. მისი გამოყენების აუცილებლობა აიხსნება შემდეგნაირად:

მოძრაობის დროს ხანმოკლე ვადით შეიძლება გამოირთოს წვევის ქვესადგური, ან დენმიმღები მოწყდეს საკონტაქტო სადენს. ძაბვის (კონტაქტის) აღდგენის მომენტში ძრავაში გაივლის დიდი დენი (რადგან გამორთვის გამო, ძრავას ე.მ.ძ. იყო შემცირებული). ვინაიდან აგზნების გრაფიკის აქვს გაცილებით დიდი ინდუქტიური წინააღმდეგობა, ვიდრე ველის შესუსტების მაშუნტირებელ წრედს, ამიტომ ამ დენის უდიდესი ნაწილი გაივლის მაშუნტირებელი წრედის გავლით. ძრავა დარჩება აგზნების გარეშე. ღუზის რეაქციის ნაკადი მკვეთრად დაამახინჯებს მუშა ნაკადს, რასაც მოჰყვება გეომეტრიული ნეიტრალის გადახრა და ძრავას კომუტაციის მკვეთრი გაუარესება. ეს რომ ავიცილოთ თავიდან, მაშუნტირებელ წრედში, ველის შესუსტების რეზისტორების მიმდევრობით რთავენ დიდი ინდუქტივობის მქონე ინდუქტიურ შუნტს – იშ-ს.

თუ მაგალითისთვის განვიხილავთ BL-10 სერიის ელექტრომაგალს, ვნახავთ, რომ ძაბვის რეგულირებით მიიღება სამი სავალი (ხანგრძლივ რეჟიმში მუშაობისთვის) საფეხური. თუ თითოეულ ამ საფეხურზე გამოვიყენებთ ველის შესუსტების 4 საფეხურს, სულ მივიღებთ $3 + 3 \cdot 4 = 15$ სავალ საფეხურს.

ძალური ნახევარგამტარული ტექნიკის განვითარების დღევანდელი დონე შესაძლებლობას იძლევა, ე.წ. რეოსტატული ამუშავების და მაგნიტური ნაკადის რეგულირების რეოსტატული სისტემების ნაცვლად მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებში გამოვიყენოთ ე.წ. მდოვრე რეგულირების სქემები, პრაქტიკულად უსასრულო სავალ საფეხურთა რაოდენობით.

7.5. ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა ძრავას მომჭერებზე ძაბვის ცვლილებისას

თუ ცნობილია ძრავას ელექტრომექანიკური ან წვევის მახასიათებლები რომელიმე U_1 ძაბვაზე და საჭიროა მახასიათებლების აგება სხვა U'_1 ძაბვაზე, ეს შეიძლება გავაკეთოთ ორი გზით:

1. ზემოთ აღწერილი მეთოდიკით (იხ. მე-6 თავის მე-2 და მე-3 პარაგრაფები) მოვახდინოთ მახასიათებლების გადათვლა U'_1 ძაბვაზე და მათი შემდგომი აგება;
 2. მოვახდინოთ U_1 ძაბვაზე გათვლილი და აგებული ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა განსხვავებულ U'_1 ძაბვაზე.
- პირველი გზა ჩვენთვის ცნობილია, განვიხილოთ მეორე.

ა) სიჩქარის მახასიათებლის $V(I)$ გადათვლა.

(6.7) ფორმულის თანახმად ძრავას მომჭერებზე U_1 ძაბვის და ძრავას I_d დენის დროს, სიჩქარე იქნება

$$V_1 = \frac{U_1 - I \cdot R_d}{C\Phi}. \quad (7.11)$$

ანალოგიურად U'_1 ძაბვის და იგივე I_d დენის დროს, სიჩქარე იქნება

$$V'_1 = \frac{U'_1 - I \cdot R_d}{C\Phi}. \quad (7.12)$$

თუ გავყოფთ (7.12)-ს (7.11)-ზე და განვსაზღვრავთ სიჩქარეს V'_1 , მივიღებთ

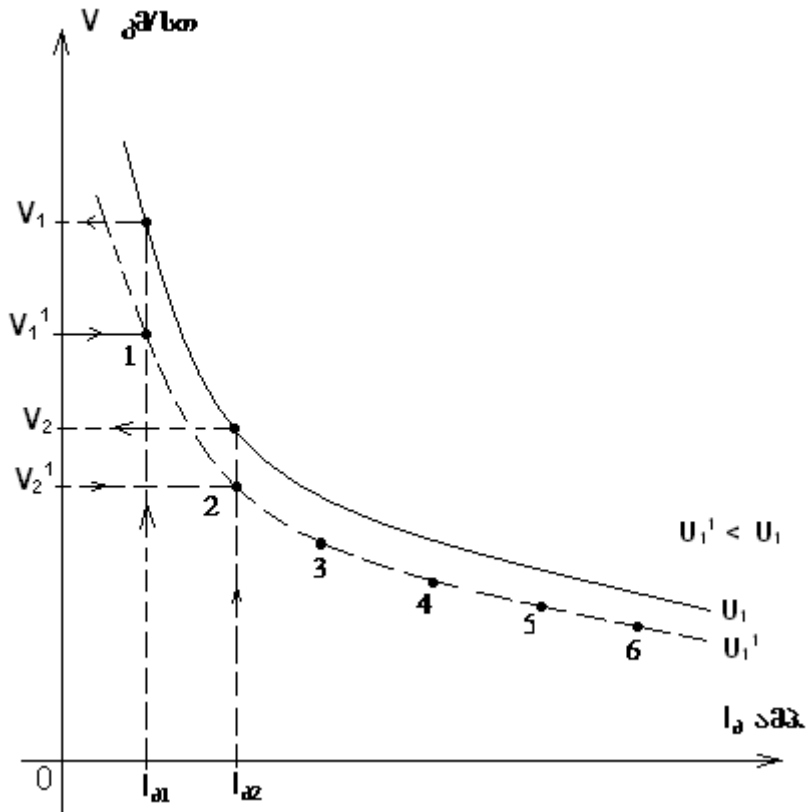
$$V'_1 = \frac{V_1(U'_1 - I \cdot R_d)}{U_1 - I \cdot R_d}. \quad (7.13)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ძაბვის ვარდნა ძრავაში IR_d , ძრავაზე მოდებულ ძაბვასთან შედარებით მცირე სიდიდეა და შეგვიძლია უგულვებელყოთ, მაშინ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ერთი და იგივე დატვირთვის (დენის) დროს, სიჩქარე ძრავას მომჭერებზე მოდებული ძაბვის პროპორციულია, ანუ სხვა, განსხვავებულ ძაბვაზე სიჩქარის მახასიათებლის აგებას ვახდენთ შემდეგი თანმიმდევრობით:

$$V'_1 = V_1 \frac{U'_1}{U_1}. \quad (7.14)$$

U_1 ძაბვის შესაბამის არსებულ სიჩქარის მახასიათებელზე ვუშვებთ ძრავას დენის მნიშვნელობას I_{d1} და ვსაზღვრავთ შესაბამის სიჩქარეს V_1 -ს. შემდეგ (7.14) ფორმულით გამოვთვლით სიჩქარეს V'_1 . I_{d1} და V'_1 კოორდინატებით ვაგებთ საძიებელი მახასიათებლის 1 წერტილს (ნახ. 7.12). შემდეგ ვუშვებთ ძრავას დენის

მეორე, $I_{ა2}$ -ის მნიშვნელობას, არსებული მახასიათებლიდან ვსაზღვრავთ სიჩქარეს V_2 -ს, (7.14) ფორმულით გამოვთვლით სიჩქარეს V_2' -ს. $I_{ა2}$ და V_2' კოორდინატებით ვაგებთ საძიებელი მახასიათებლის 2 წერტილს და ა.შ. (1, 2, 3,...) მიღებული წერტილების შეერთება მრუდი წირით მოგვცემს U_1' ძაბვის შესაბამის სიჩქარის მახასიათებელს (ნახ. 7.12 წყვეტილი მრუდი).



ნახ. 7.12. სიჩქარის მახასიათებლის გადათვლა ძაბვის ცვლილებისას.

ბ) წვეის ძალის მახასიათებლის $F(I)$ გადათვლა.

როგორც ზემოთ მოყვანილ (6.27) ფორმულიდან ჩანს, არტახის და რელსის შესხების ზონაში განვითარებული წვეის ძალა ძაბვაზე არაა დამოკიდებული. ამიტომ ის რჩება უცვლელი და გადათვლას არ საჭიროებს.

გ) მარგი ქმედების კოეფიციენტის მახასიათებლის $\eta_{\sigma}(I)$ გადათვლა.

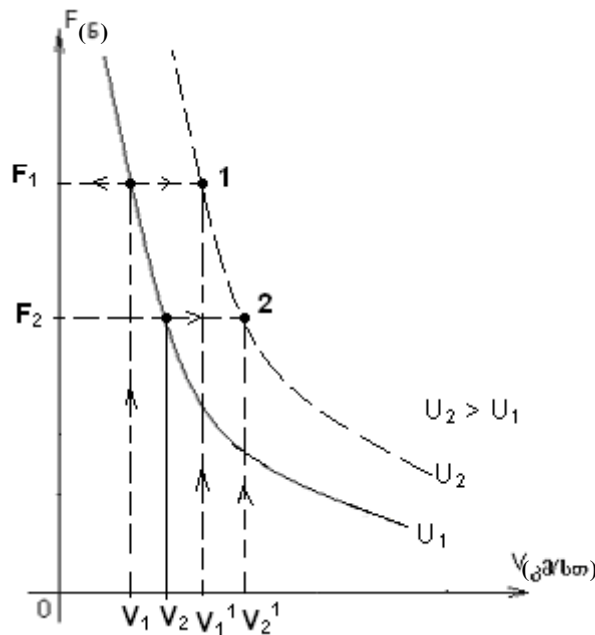
თვალის მიმართ მარგი ქმედების კოეფიციენტი წვეის ძრავას და კბილანა რელუქტორის მარგი ქმედების კოეფიციენტთა ნამრავლის ტოლია. $\eta_{\sigma} = \eta_{\sigma} \eta_{\sigma_{რელ}}$ რელუქტორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რელუქტორში დანაკარგების უცვლელულობის გამო, მუდმივი სიდიდეა $\eta_{\sigma_{რელ}} = const$. ძაბვის გაზრდისას, ვინაიდან იზრდება ძრავას ბრუნვის სიჩქარე, გაიზრდება მექანიკური კარგეები ძრავაში და შესაბამისად შემცირდება ძრავას მქკ. ძრავას მომჭერებზე ძაბვის შემცირებისას,

მცირდება ძრავას ბრუნთა რიცხვი, მცირდება მექანიკური კარგეები და შესაბამისად იზრდება ძრავას მქკ. აღნიშნულის გათვალისწინებით შეგვიძლია ავაგოთ მქკ-ის მახასიათებელი წყვილთვალის ფერსოს მიმართ ძაბვის ცვლილებისას $\eta_o(I)$.

დ) ძრავას წვეის მახასიათებლის $F(V)$ გადათვლა.

რაც შეეხება ძრავას წვეის მახასიათებლის $F(V)$ გადათვლას სხვა ძაბვაზე, ის წარმოებს ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლის ანალოგიურად.

ვთქვათ მოცემულია ძრავას წვეის მახასიათებელი U_1 ძაბვაზე, (ნახ. 7.13, უწყვეტი მრუდი) და საჭიროა გადავთვალოთ ეს მახასიათებელი U_2 ძაბვაზე. ვიღებთ სიჩქარის მნიშვნელობას V_1 და მოცემული წვეის მახასიათებლიდან ვსაზღვრავთ მის შესაბამის წვეის ძალას F_1 -ს ვინაიდან წვეის ძალის სიდიდე არაა დამოკიდებული ძაბვაზე, ის რჩება უცვლელი; ხოლო სიჩქარე, ამ შემთხვევაში, გაიზრდება ძაბვის პროპორციულად და გახდება V_1' -ის ტოლი. ამ ორი F_1 და V_1' კოორდინატით ავაგებთ საძიებელი მახასიათებლის 1 წერტილს (ნახ. 7.13). შემდეგ ვუშვებთ სიჩქარის V_2 მნიშვნელობას, ვსაზღვრავთ მოცემული წვეის მახასიათებლიდან წვეის ძალას F_2 -ს, ხოლო ვანგარიშობთ V_2' -ს. მიღებული ორი კოორდინატით ვაგებთ საძიებელი მახასიათებლის 2 წერტილს და ა.შ. წერტილების შეერთება მრუდი წირით მოგვცემს U_2 ძაბვის შესაბამის წვეის საძიებელ მახასიათებელს (წყვეტილი მრუდი, ნახ. 7.13).



ნახ. 7.13. წვეის მახასიათებლის გადათვლა ძაბვის ცვლილებისას.

7.6. ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა მაგნიტური ნაკადის (მაგნიტური ველის) შესუსტებისას

როგორც ზემოთ გვქონდა აღნიშნული (იხ. მე-7 თავის 7.4.2 პარაგრაფი) სიჩქარის რეგულირება შესაძლებელია მაგნიტური ნაკადის რეგულირებით, ელექტრული მანქანების კურსიდან ცნობილია, რომ მაგნიტური ნაკადი

$$\Phi \equiv I_{\text{აგზ}} W_{\text{აგზ}}. \quad (7.15)$$

ასევე მე-7 თავის 7.4.2 პარაგრაფიდან ცნობილია, რომ პრაქტიკაში მაგნიტური ნაკადის სარეგულირებლად (ამ შემთხვევაში არსებობს მხოლოდ მისი შემცირების გზა) არეგულირებენ აგზნების დენს $I_{\text{აგზ}}$, რასაც ველის შესუსტებას უწოდებენ.

ზოგადად ნახ. 7.14 ა-ზე მოცემული სქემის შესაბამისად, მიმდევრობით აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$V(I) = \frac{U - (R_{\text{გ}} + \beta R_{\text{აგზ}})I}{C\Phi(\beta I)}, \quad (7.16)$$

სადაც $R_{\text{გ}}$ არის ღუზის ჯამური აქტიური წინააღმდეგობა, ომებში.

$R_{\text{აგზ}}$ – აგზნების გრაგნილის აქტიური წინააღმდეგობა, ამპერებში.

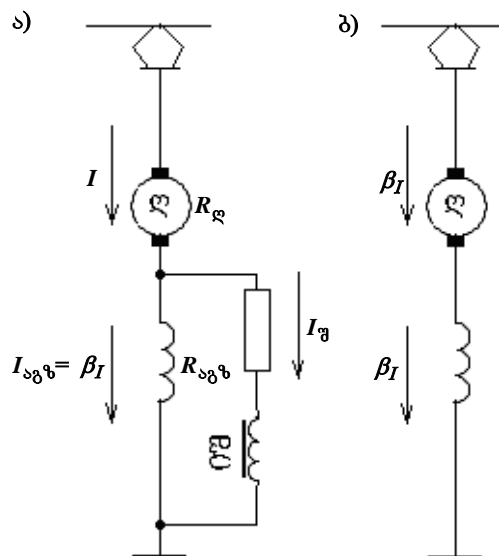
I – ძრავაში გამავალი დენი, ამპერებში.

β – მაგნიტური ველის კოეფიციენტი, რომელიც, თავის მხრივ, განისაზღვრება, როგორც

$$\beta = \frac{R_{\text{ა}}}{(R_{\text{ა}} + R_{\text{აგზ}})} < 1,$$

$R_{\text{ა}}$ – აგზნების გრაგნილის მაშუნტირებელი წრედის აქტიური წინააღმდეგობა ომებში.

$\beta \cdot I = I_{\text{აგზ}}$ – აგზნების დენი.



ნახ. 7.14. მიმდევრობით აგზნებიანი წვეის ძრავას ელექტრული სქემა: ა) შესუსტებული, ბ) სრული მაგნიტური ველის დრო.

თუ ცნობილი იქნება ძრავას დამაგნიტების მრუდი $\Phi(I_{\text{აგზ}}) = \Phi(\beta I)$, მაშინ ველის შესუსტების კოეფიციენტის β -ს ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის, (7.16) ფორმულით შეგვიძლია გავთვალოთ და ავაგოთ ველის შესუსტების შესაბამისი მახასიათებელი.

ველის შესუსტების მახასიათებლები შეგვიძლია ავაგოთ დამაგნიტების მრუდის გამოყენების გარეშე, სრული ველის მახასიათებლების გადათვლის გზით.

ა) სიჩქარის მახასიათებლის გადათვლა.

თუ ყურადღებით დავაკვირდებით (7.16) ფორმულას, ვნახავთ, რომ ღუზის წრედში გადის I სიდიდის დენი, ხოლო აგზნების გრაგნილში $I_{\text{აგზ}} = \beta I$ სიდიდის დენი. თუ დავუშვებთ, რომ, როგორც ღუზაში, ასევე აგზნების გრაგნილში გადის ერთი და იგივე βI სიდიდის დენის, მაშინ (7.16) ფორმულის ნაცვლად გვქვია

$$V(\beta I) = \frac{U - (R_{\text{გ}} + R_{\text{აგზ}})\beta I}{C\Phi'(\beta I)}. \quad (7.17)$$

როგორც (7.16) და (7.17) გამოსახულებიდან ჩანს, ერთი და იგივე აგზნების დენის βI დროს, ნაჩვენებია მაგნიტური ნაკადები $\Phi(\beta I)$ და $\Phi'(\beta I)$. სინამდვილეში ღუზის რეაქციის იდეალური კომპენსირებისას (ღუზის სხვადასხვა დენებისათვის) მაგნიტური ნაკადები პრაქტიკულად იქნება ერთნაირი. თუ ამის გათვალისწინებით (7.17) ფორმულას გავყოფთ (7.16) ფორმულაზე, მივიღებთ

$$\frac{V(\beta I)}{V(I)} = \frac{U - (R_{\text{გ}} + R_{\text{აგზ}})\beta I}{U - (R_{\text{გ}} + \beta R_{\text{აგზ}})I}. \quad (7.18)$$

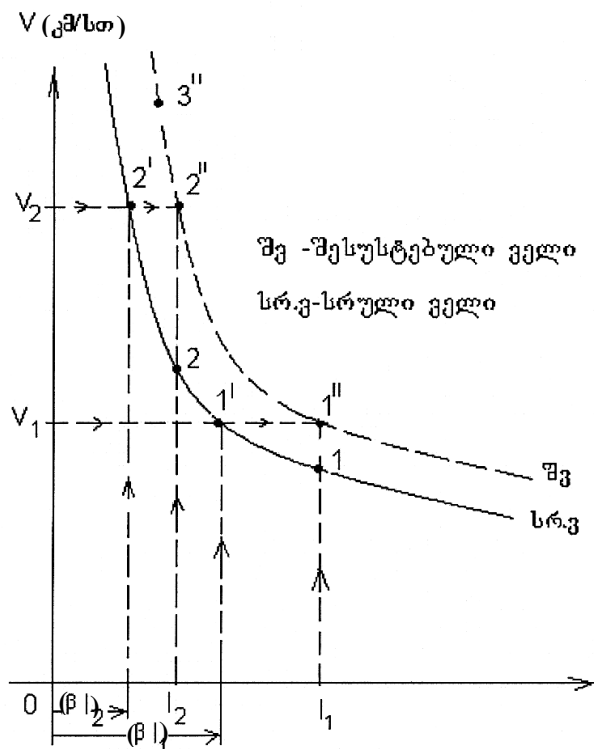
თუ ყურადღებით დავაკვირდებით (7.18) გამოსახულებას, დავინახავთ, რომ ის მიისწრაფვის ერთისაკენ, რადგან $(R_{\text{გ}} + R_{\text{აგზ}})\beta I$ და $(R_{\text{გ}} + \beta R_{\text{აგზ}})I$ გამოსახულება შეადგენს 3-4%-ს. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია ის, რომ $R_{\text{გ}} \gg R_{\text{აგზ}}$ და $\beta < 1$. ამ შემთხვევაში შეგვიძლია დავწეროთ

$$V(\beta I) \approx V(I). \quad (7.19)$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, სიჩქარის მახასიათებელი მაგნიტური ველის შესუსტებისას, შეგვიძლია გადავთვალოთ სრული ველის შესაბამისი სიჩქარის მახასიათებელიდან შემდეგნაირად:

ვთქვათ მოცემულია სრული ველის ($\beta=1$) სიჩქარის მახასიათებელი (უწყვეტი მრუდი ნახ. 7.15). ველის შესუსტების სიჩქარის მახასიათებლის ასაგებად ვუშვებთ ძრავას დენის მნიშვნელობას I_1 -ს, რომელსაც სრული ველის სიჩქარის მახასიათებელზე შეესაბამება 1 წერტილი. შემდეგ განვსაზღვრავთ დენის მნიშვნელობას $(\beta I)_1$ -ს. გადავდებთ მას აბსცისთა ღერძზე და ავღმართავთ ვერტიკალს სრული

ველის სიჩქარის მახასიათებლის გადაკვეთამდე, 1^I წერტილი. მიღებული წერტილიდან ვავლებთ პორიზონტალს I_1 დენის შესაბამისი ვერტიკალის გადაკვეთამდე. გადაკვეთის 1^{II} წერტილი წარმოადგენს ველის შესუსტების საძიებელი მახასიათებლის პირველ წერტილს. შემდეგ ვუშვებთ დენის მნიშვნელობას I_2 -ს, რომელსაც სრული ველის სიჩქარის მახასიათებელზე შეესაბამება 2 წერტილი. ვანგარიშობთ $(\beta I)_2$ -ს მნიშვნელობას, გადავდებთ აბსცისთა ღერძზე და მიღებული წერტილიდან ავღმართავთ ვერტიკალს სრული ველის მახასიათებლის გადაკვეთამდე 2^I წერტილი. ამ წერტილიდან ვავლებთ პორიზონტალს I_2 დენის შესაბამისი ვერტიკალის გადაკვეთამდე. მიღებული 2^{II} წერტილი წარმოადგენს ველის შესუსტების საძიებელი მახასიათებლის მეორე წერტილს და ა.შ. 1^{II} , 2^{II} , 3^{II} და ა.შ. წერტილების შეერთება მრუდი წირით მოგვცემს ველის შესუსტების საძიებელ სიჩქარის მახასიათებელს (წვეტილი მრუდი ნახ. 7.15).



ნახ. 7.15. სიჩქარის მახასიათებლის გადათვლა მაგნიტური ველის შესუსტებისას.

ბ) წვეის ძალის მახასიათებლის გადათვლა.

წვეის ძალის სრული ველის მახასიათებლის მიახლოებითი გადათვლა ველის შესუსტების β კოეფიციენტის ნებისმიერ მნიშვნელობაზე, წარმოებს სიჩქარის მახასიათებლის გადათვლის ანალოგიურად. ღუზის დენის I და აგზნების დენის βI მნიშვნელობისათვის ძრავას წვეის ძალა განისაზღვრება, როგორც

$$F(I) = 0,367C\Phi(\beta I)I. \tag{7.20}$$

სრული ველის მახასიათებელზე ($\beta=1$) βI დენის მნიშვნელობას შეესაბამება წვეის ძალის მნიშვნელობა

$$F(\beta I) = 0,367 C \Phi(\beta I) \beta I . \quad (7.21)$$

თუ (7.20) გავეყოფთ (7.21)-ზე მივიღებთ

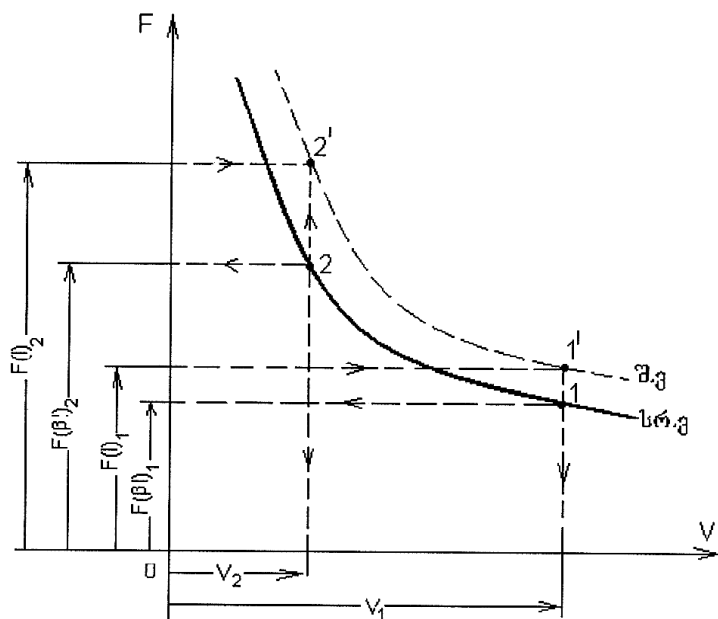
$$\frac{F(I)}{F(\beta I)} = \frac{1}{\beta} . \quad (7.22)$$

აქედან

$$F(I) = \frac{F(\beta I)}{\beta} . \quad (7.23)$$

რადგან $F(I)$ და $F(\beta I)$ წვეის ძალების დროს სიჩქარე ერთნაირია, ამიტომ წვეის მახასიათებლის გადათვლას ვახდენთ (7.23) ფორმულით შემდეგნაირად:

სრული ველის წვეის მახასიათებელზე ვიღებთ 1 წერტილს, რომელსაც შეესაბამება სიჩქარის კოორდინატა V_1 და წვეის ძალის კოორდინატა $F(\beta I)_1$ გადათვლის შემდეგ 1¹ წერტილს კოორდინატებით V_1 და $F(I)_1 = \frac{F(\beta I)_1}{\beta}$, რომელიც წარმოადგენს (ნახ. 7.16). შემდეგ სრული ველის მახასიათებელზე ვუშვებთ 2 წერტილს, კოორდინატებით V_2 და $F(\beta I)_2$, გადათვლის შემდეგ მივიღებთ 2¹ წერტილს კოორდინატებით V_2 და $F(I)_2 = \frac{F(\beta I)_2}{\beta}$ და ა.შ. თუ მიღებულ 1¹, 2¹, 3¹... წერტილებს შევაერთებთ მრუდის წირით, მივიღებთ საძიებელ ველის შესუსტების მახასიათებელს (ნახ. 7.16. წვეეტილი წირი).



ნახ. 7.16. წვეის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლის გადათვლა ველის შესუსტებისას.

გ) მარგი ქმედების კოეფიციენტის მახასიათებლის $\eta(I)$ გადათვლა

მარგი ქმედების კოეფიციენტის მახასიათებელი $\eta(I)$ მაგნიტური ველის შესუსტებისას უმნიშვნელოდ იცვლება, ამიტომ მის რაოდენობრივ გადათვლას არ ვაკეთებთ. განვმარტავთ, რომ მისი მნიშვნელობა ველის შესუსტების დროს, ძრავას დიდი დატვირთების (დენების) ზონაში უფრო მაღალია, ვიდრე სრული ველის დროს. ეს აიხსნება სიმძლავრის ელექტრული კარგვების შემცირებით. მცირე დენების ზონაში კი სრული ველის შესაბამის მნიშვნელობაზე უფრო დაბალია. ეს აიხსნება, ბრუნვის სიჩქარის გაზრდის გამო, ძრავაში და კბილანა რედუქტორში მექანიკური კარგვების გაზრდით.

7.7. სიჩქარის ცვლილების პროცესი ძრავას მომჭერებზე დაბვის ცვლილებისას და მაგნიტური ველის შესუსტებისას

ძრავას მომჭერებზე დაბვის მატების ან შემცირების დროს, ასევე ძრავას მაგნიტური ველის შესუსტებისას სიჩქარე არ შეიძლება შეიცვალოს მყისივე. ეს აიხსნება მატარებლის დიდი მასით გამოწვეულ ინერციულობით.

ქვემოთ ცალ-ცალკე განვიხილავთ სიჩქარის ცვლილებას მკვებავი დაბვის და მაგნიტური ველის ცვლილებისას.

ა) სიჩქარის (ძრავას მუშაობის რეჟიმის) ცვლილება მკვებავი დაბვის ცვლილებისას

ვნახოთ, თუ როგორ იცვლება სიჩქარე მატარებლის უცვლელ პროფილზე მოძრაობის დროს მკვებავი დაბვის გაზრდისას.

ვთქვათ, ძრავას მომჭერებზე U_1 დაბვას შეესაბამება სიჩქარის მახასიათებელი 1 (ნახ. 7.17 ა). ძრავას მუშაობის დამყარებულ რეჟიმს შეესაბამება V_1 სიჩქარე, დენი I_{d1} და წვევის ძალა F_{d1} . მახასიათებლებზე ამ რეჟიმს შეესაბამებიან a და b წერტილები (ნახ. 7.17 ა). მექანიკის კანონის თანახმად დამყარებული (უცვლელი, თანაბარი) სიჩქარით მოძრაობის რეჟიმს ადგილი ექნება მხოლოდ მაშინ, როდესაც სხეულზე მომქმედი ძალების ტოლქმედი ძალა იქნება ნულის ტოლი. ანუ ჩვენ შემთხვევაში, მაშინ, როდესაც ლოკომოტივის წვევის ძალა ტოლი იქნება მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის. ე.ი.

$$F_{\text{წ}} = kF_d = W, \quad (7.24)$$

სადაც, k არის ლოკომოტივის წვევის ძრავების რიცხვი.

ამავდროულად (6.1) ფორმულის თანახმად, ძრავაზე მოდებული ძაბვა წონასწორდება უკუელექტრომაგნიტური ძაბვის და ძრავას გრაგნილებში ძაბვის ვარდნათა ჯამით. ძაბვის გაზრდისას U_1 მნიშვნელობიდან U_2 მნიშვნელობამდე (ამ უკანასკნელს ნახ. 7.17 ა-ზე შეესაბამება სიჩქარის 2 მახასიათებელი), ირდევია ბალანსი ძრავაზე მოდებულ ძაბვასა, უკუ ემძ-სა და ძრავას გრაგნილებში ძაბვის ვარდნებს შორის. ძაბვის მყისი გაზრდისას, საწყის მომენტში ძრავას უკუ ემძ არ იცვლება (რადგან სიჩქარე და მაგნიტური ნაკადი პრაქტიკულად რჩება იგივე) ძაბვის მყისური გაზრდით U_1 მნიშვნელობიდან U_2 მნიშვნელობამდე, ძაბვასა და უკუ ემძ-ს შორის გაჩნდება დისბალანსი, რაც

$$I_d = \frac{U - C\Phi V}{R_d}. \quad (7.25)$$

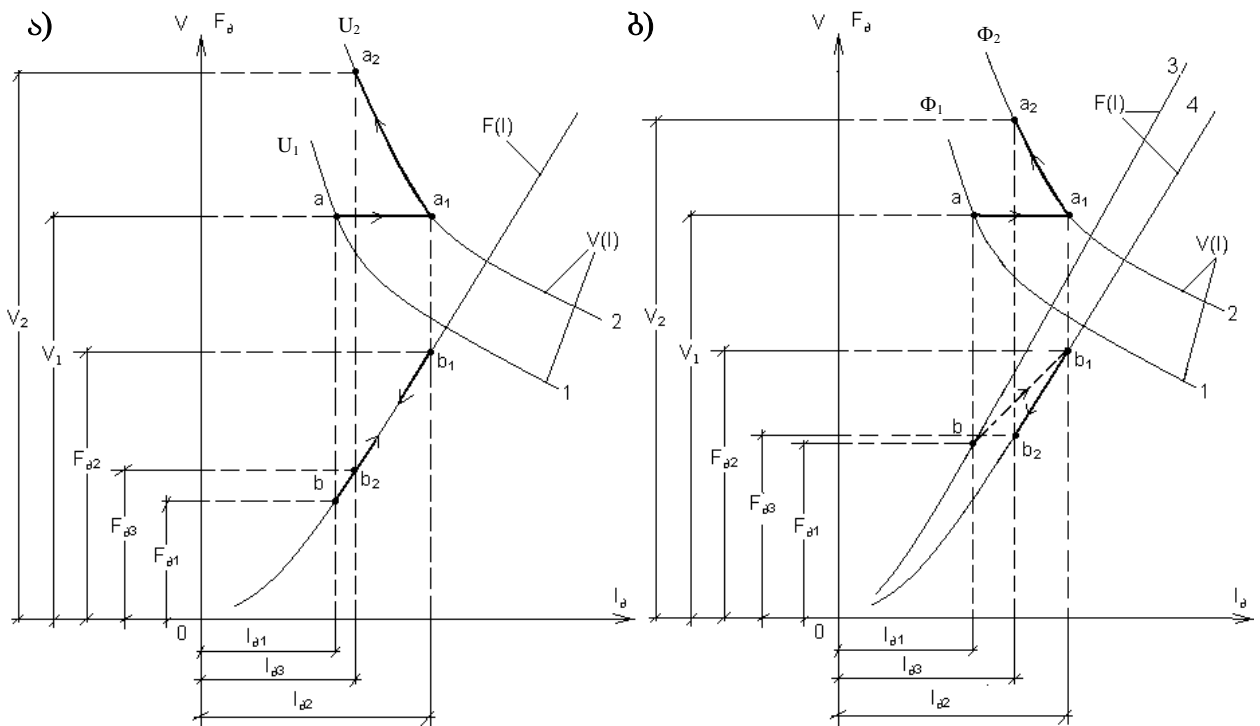
ფორმულის თანახმად გამოიწვევს დენის მკვეთრ, ნახტომისებრ გაზრდას I_{d1} მნიშვნელობიდან I_{d2} მნიშვნელობამდე, პრაქტიკულად უცვლელი V_1 სიჩქარის დროს (ნახ. 7.17 ა-ზე იხილე მონაკვეთი aa_1). დენის გაზრდას (6.27) ფორმულის თანახმად მოჰყვება ძრავას (შესაბამისად ლოკომოტივის) წვეის ძაბვის გაზრდა F_{d1} მნიშვნელობიდან F_{d2} მნიშვნელობამდე. ეს კი გამოიწვევს მატარებელზე მოქმედ ძალებს შორის წონასწორობის დარღვევას. წვეის ძალა გახდება მეტი წინააღმდეგობის ძალაზე და დაიწყება აჩქარებული მოძრაობა. სიჩქარე დაიწყებს ზრდას 2 მახასიათებელზე არსებული $a_1 a_2$ მონაკვეთის შესაბამისად (ნახ. 17.7 ა); მოძრაობის სიჩქარის ზრდისას დენი დაიწყებს შემცირებას, შესაბამისად შემცირებას დაიწყებს წვეის ძალაც $b_1 b_2$ მრუდის შესაბამისად.

სიჩქარის ზრდის და წვეის ძაბვის შემცირების პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ არ დამყარდება ახალი წონასწორობა ლოკომოტივის წვეის ძაბვასა და მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძაბვას შორის. ასეთი წონასწორობა დადგება F_{d1} წვეის ძალაზე ოდნავ მეტ წვეის ძაბვისას, რადგან გაზრდილი სიჩქარის დროს უფრო მეტი იქნება მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა. ახალ დამყარებულ რეჟიმს შეესაბამება ძრავას წვეის ძალა $F_{d3} > F_{d1}$ (წერტილი b_2). ამ დროს დამყარდება ძრავას დენი I_{d3} , ხოლო სიჩქარე V_2 . (ნახ. 17.7, ა) განსხვავება F_{d3} , F_{d1} და შესაბამისად I_{d3} , I_{d1} დენებს შორის უმნიშვნელოა და პრაქტიკულად თვლიან, რომ ძაბვის გაზრდა იწვევს მოძრაობის სიჩქარის გაზრდას, ხოლო დენი და წვეის ძალა რჩება უცვლელი და ძაბვის გაზრდამდე არსებული მნიშვნელობის ტოლი.

ძრავას მომჭერებზე ძაბვის შემცირებისას პროცესი მიმდინარეობს აღწერილის ანალოგიურად, ოღონდ მცირდება სიჩქარე, ხოლო დენი და წვევის ძალა რჩება უცვლელი.

ბ) სიჩქარის (ძრავას მუშაობის რეჟიმის) ცვლილება აგზნების (ველის) შესუსტების ჩართვის დროს

აგზნების შესუსტებისას ძრავას მუშაობის რეჟიმის ცვლილება ნაჩვენებია ნახ. 7.17 ბ-ზე. სრული ველის დროს ძრავას მუშაობა მიმდინარეობს სიჩქარის 1 და წვევის ძალის 3 მახასიათებლებზე. დამყარებული სიჩქარის რეჟიმს შეესაბამება a და b წერტილები (სიჩქარე V_1 , დენი I_{a1} , წვევის ძალა F_{a1}). ველის შესუსტებისას ირდევია ბალანსი ძრავაზე მოდებულ ძაბვასა (რომელიც ამ შემთხვევაში უცვლელია), ძრავას უკუ ემმ-სა და ძრავას გრაგნილებში ძაბვის ვარდნებს შორის. ამის მიზეზია ძრავას უკუ ემმ-ს შემცირება, აგზნების გრაგნილის ველის შესუსტების რეზისტორით დაშენების გამო, რის შედეგად (6.1) ფორმულის თანახმად დენი ნახტომისებურად იზრდება I_{a1} მნიშვნელობიდან I_{a2} მნიშვნელობამდე. ამას შეესაბამება გადასვლა სრული ველის მახასიათებლის a წერტილიდან, შესუსტებული ველის მახასიათებლის a_1 წერტილში. ძრავას წვევის ძალა იზრდება F_{a1} მნიშვნელობიდან F_{a2} მნიშვნელობამდე (შესუსტებული ველის 3 მახასიათებელზე b_1 წერტილი).



ნახ. 7.17. წვევის ძრავას მუშაობის რეჟიმის ცვლილების თანმიმდევრობა:
 ა) ძაბვის ნახტომისებრი ცვლილებისას, ბ) აგზნების შესუსტების ჩართვისას.

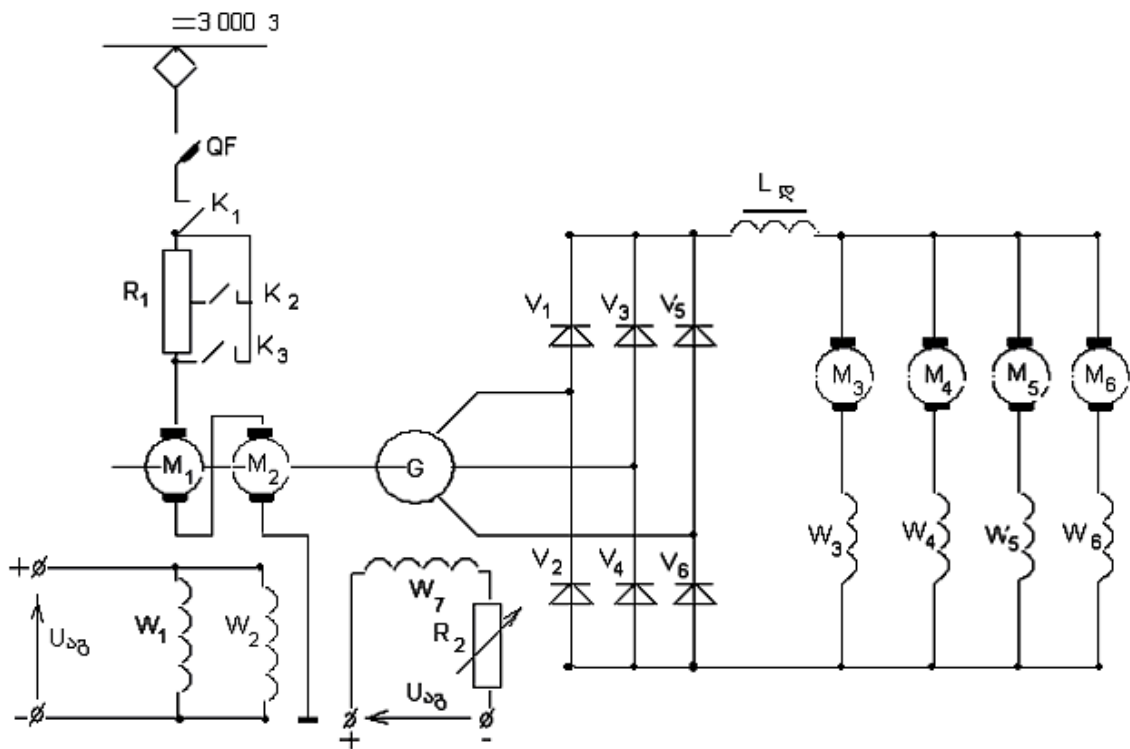
გაზრდილი წვევის ძალა აღმოჩნდება მეტი მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალაზე და სიჩქარე დაიწყებს ზრდას. სიჩქარის ზრდისას ძრავას დენი, მაგნიტური ნაკადი და შესაბამისად წვევის ძალა შემცირდება 4-ე მახასიათებლის მიხედვით (ნახ. 7.17 ბ). ახალი წონასწორობა აღდგება b_2 წერტილში. ამ დროს წვევის ძალას აწონასწორებს გაზრდილი (სიჩქარის გაზრდის გამო) მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა. წვევის ძალას და ახალ და დამყარებულ რეჟიმს შეესაბამება ძრავას დენი $I_{კ}$, სიჩქარე V_2 სიჩქარის ველის შესუსტების მახასიათებელზე a_2 წერტილი (2-მრუდი ნახ. 7.17, ბ).

მუდმივი ძაბვის მდოვრე რეგულირება

8.1. ძაბვის მდოვრე რეგულირება ელექტრომანქანური გარდამქმნელებით

გარდამქმნელი ტექნიკის თანამედროვე დონე შესაძლებლობას იძლევა როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი დენის სისტემებში გამოვიყენოთ ძაბვის რეგულირების სხვადასხვა სქემები. გასულ საუკუნეში, როდესაც შესაბამისი ხელსაწყოები (ნახევარგამტარული დიოდები, ტრანზისტორები, ტირისტორები და ა.შ.) არ იყო, მუდმივი დენის სისტემებში ძაბვის რეგულირება პრობლემას წარმოადგენდა. ამ მიზნით, ძირითადად იყენებდნენ მბრუნავ სამანქანო აგრეგატებს.

8.1 ნახაზზე მოცემულია წვეის სინქრონული გენერატორის და არამართვადი ვენტილების გამოყენებით მუდმივი ძაბვის მდოვრე რეგულირების ერთ-ერთი ვარიანტი.

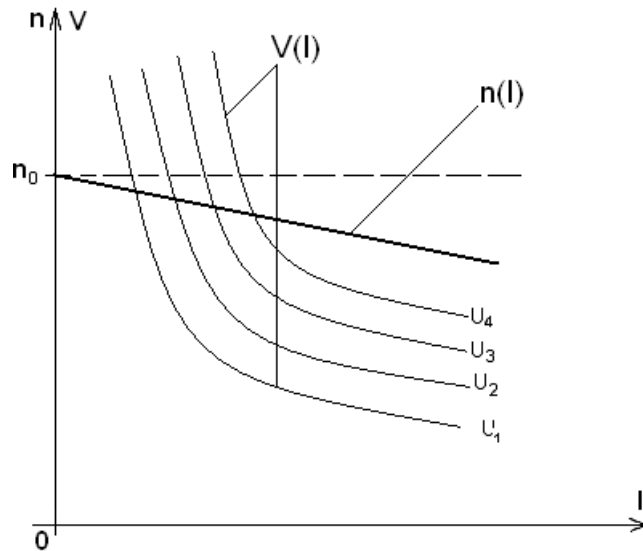


ნახ. 8.1. ძაბვის მდოვრე რეგულირების ერთ-ერთი ვარიანტი, მბრუნავი მანქანების გამოყენებით.

გასული საუკუნის ორმოცდაათიან წლებამდე, როდესაც ნახევარგამტარული ვენტილები ჯერ კიდევ არ იყო, სინქრონული გენერატორის ნაცვლად იყენებდნენ მუდმივი დენის გენერატორებს.

როგორც 8.1 ნახაზიდან ჩანს, წვეის სინქრონული გენერატორი G ბრუნვით მოძრაობაში მოჰყავს საერთო ლილვზე დასმულ, 1 500 ვოლტ ძაბვაზე მომუშავე,

ორ პირველად ძრავას M_1 და M_2 -ს. ამ ძრავების ასამუშავებლად გამოიყენება ორი K_2, K_3 კონტაქტორი და მცირე გაბარიტების R_1 რეოსტატი (ამუშავების პროცესის ხანგრძლივობა ძალზე მცირეა). ამძრავებად გამოიყენებულია დამოუკიდებელ აღზნებიანი მუდმივი დენის ძრავები, რომელთა სიჩქარის მახასიათებელი $n(I)$ მოცემულია 8.2 ნახაზზე (სწორი ხაზი).



ნახ. 8.2. გენერატორის ბრუნთა რიცხვის და ძრავების სიჩქარის მახასიათებლები $n(I)$.

საკონტაქტო ქსელში ძაბვის უცვლელი 3 000 ვ მნიშვნელობისას, M_1 და M_2 ძრავების ბრუნთა რიცხვი თითქმის უცვლელია.

პრაქტიკულ რეალურ სქემებში, საკონტაქტო ქსელში ძაბვის მნიშვნელობა განუწყვეტლივ იცვლება, ამიტომ M_1 და M_2 ძრავების უცვლელი ბრუნთა რიცხვის შესანარჩუნებლად გამოიყენება ბრუნთა რიცხვის სტაბილიზაციის ჩაკეტილი სისტემა, რომელიც ქსელში, ძაბვის მერყეობის მიხედვით, არეგულირებს ძრავების მაგნიტურ ნაკადს და ამ გზით ახდენს ბრუნთა რიცხვის სტაბილიზირებას. თუ ძრავების და მ.შ. სინქრონული გენერატორის ბრუნთა რიცხვი უცვლელია, მაშინ სინქრონული გენერატორის აგზნების დენის ცვლილებით (R_2 რეოსტატით), შეგვიძლია მდოვრედ ვცვალოთ გენერატორის ძაბვა, შესაბამისად ლოკომოტივის M_3, M_4, M_5 და M_6 მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავების ბრუნთა რიცხვი და შესაბამისად ლოკომოტივის სიჩქარე. წვევის ძრავების სიჩქარის მახასიათებლები $V(I)$, ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის ($U_1 \dots U_4$) მოცემულია 8.2 ნახაზზე.

მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავების გამოყენება განაპირობა პარალელურ რეჟიმში მათმა უკეთესმა მუშაობის უნარმა.

მუდმივი დენის გენერატორის ნაცვლად, მაღალსიხშირიანი წვევის სინქრონული

გენერატორის გამოყენება, მნიშვნელოვნად ამცირებს გარდამქნელი აგრეგატის მასა-გაბარიტულ მაჩვენებლებს.

აღსანიშნავია ის, რომ გასულ საუკუნეში მსგავსი სისტემები ფართოდ გამოიყენებოდა ამერიკაში და ევროპაში. დღეისთვის შედარებით დიდი მასა-გაბარიტების და რთული საექსპლუატაციო პირობების გამო, ისინი ელექტრულ ლოკომოტივებში არ გამოიყენება, თუმცა წარმატებით მუშაობენ თანამედროვე თბომავლებში.

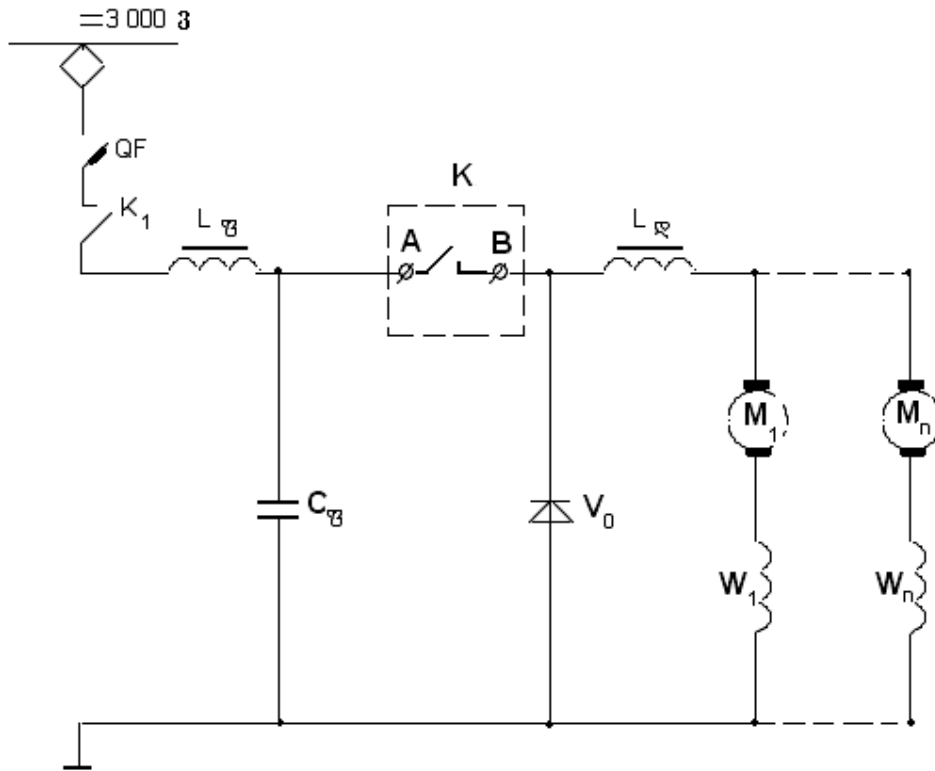
8.2. მუდმივი ძაბვის მდოვრე იმპულსური რეგულირება

იმპულსური რეგულირების დროს წვევის ძრავებს ენერგია მიეწოდება ცალკეული იმპულსების სახით. იმპულსური რეგულირების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ თუ ჩვენ შევძლებთ ვარეგულიროთ უცვლელი ენერგიის მქონე იმპულსების მიწოდების სიხშირე ძრავაში, ან უცვლელი სიხშირით მიწოდებული იმპულსების ენერგია, ან ორივე კომბინირებულად, მაშინ ჩვენ შეგვიძლია ვარეგულიროთ წვევის ძრავას მომჭერებზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის სიდიდე და შესაბამისად მოძრაობის სიჩქარე. 8.3 ნახაზზე მოცემულია მიმდევრობით აგზნებიან ძრავას მომჭერებზე ძაბვის იმპულსური რეგულირების უმარტივესი სქემა. სქემაზე ნახევარგამტარული ხელსაწყოების ნაცვლად, პირობითად გამოყენებულია უბრალო “K” მწვევტარა.

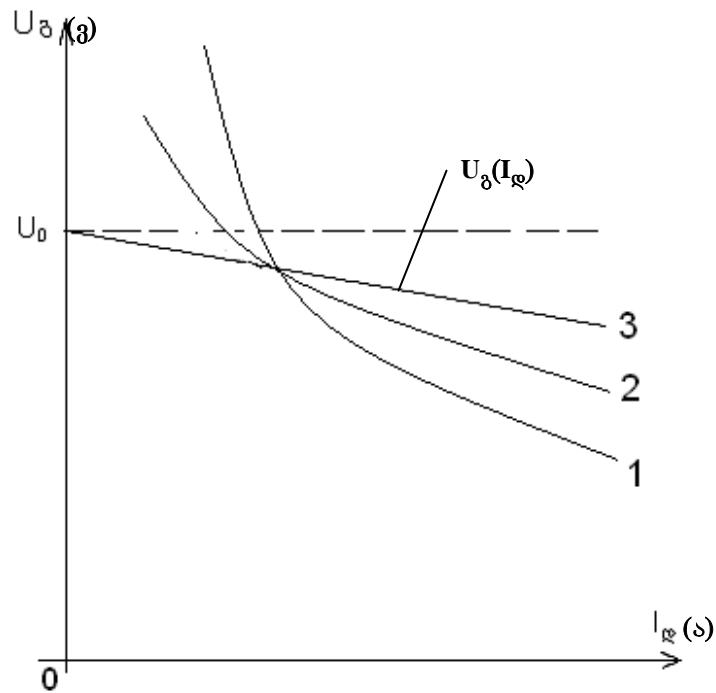
მაღალ ძაბვებზე და დიდ დენებზე ($U = 4500$ ვ, $I = 4000$ ა) მომუშავე მთლიანად მართვადი **GTO, IGCT** ტირისტორების და ($U = 6500$ ვ; 500 ა; $U = 3300$ ვ; $I = 1200$ ა) პარამეტრების მქონე **IGBT** ტრანზისტორების გამოჩენამდე, გასული საუკუნის სამოციან წლებში, გამოიყენებოდა არასრულად მართვადი (ხელოვნური კომუტაციის სქემების მქონე) ჩვეულებრივი ტირისტორების ბაზაზე შექმნილი გარდამქმნელები.

ნახ. 8.5, ა და ნახ. 8.5 ბ-ზე მოცემულია იმ დროისათვის გავრცელებული იმპულსური რეგულირების სქემური ვარიანტები. მთელი რიგი ნაკლოვანებების გამო, აღნიშნულმა სქემებმა პრაქტიკაში ვერ ჰპოვეს გავრცელება. ორივე სქემის მთავარი ნაკლია ე.წ. რბილი ფორმის $U_g(I_{\text{ღ}})$ გარე მახასიათებელი და წვევის ძრავების მომჭერებზე ქსელის ძაბვის ორმაგი მნიშვნელობა. ეს უკანასკნელი გარემოება მოითხოვდა წვევის ძრავების დუხების მიმდევრობით, დიდი სიდიდის ინდუქტივობების ჩართვას, რაც ზრდიდა მასა-გაბარიტულ მაჩვენებლებს და აძვირებდა მათ.

8.4 ნახაზზე ნაჩვენებია ყველა სამივე ტიპის რეგულატორის გარე მახასიათებელი (1, 2, და 3), ხოლო 8.5 ნახაზის ე და ვ-ზე გარდამქმნელების გამოსასვლელზე ძაბვის ფორმების მრუდეები. როგორც მრუდეებიდან ჩანს, პირველი ორი სქემის გამოყენების შემთხვევაში, წვევის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის მნიშვნელობა ქსელის ძაბვის



ნახ. 8.3. მუდმივი დენის ემშ-ის სიჩქარის იმპულსური რეგულირების მუშაობის პრინციპი.



ნახ. 8.4. დამოკიდებულება გამოსასვლელზე ძაბვასა და დატვირთვის დენს შორის.

გაორმაგებული მნიშვნელობის $2U$ -ს ტოლია. დროის გარკვეულ მომენტებში (მაგალითად $t_1 - t_2$), დატვირთვის დენი გადის საკომუტაციო კონდენსატორის გავლით, რაც განაპირობებს მახასიათებლების სირბილეს (მრუდები 1, 2). ეს მიმდევრობით

აღზნებიანი ძრავას გამოყენების შემთხვევაში კიდევ უფრო არბილებს ამ უკანასკნელის ისედაც რბილ მახასიათებელს, რაც სერიოზულ დაბრკოლებას წარმოადგენს ჩაჭიდების წვეის ძალის გამოყენებისთვის (ხშირი ბუქსაობის გამო).

8.5 ნახაზის გ-ზე მოცემულია სქემა, რომელშიც დატვირთვის დენი არ გადის საკომუტაციო კონდენსატორში. ამით აიხსნება გარე მახასიათებლის სიხისტე (ნახ. 8.4-ზე 3 წრფე). როგორც 8.5 ნახაზის ზ დიაგრამიდან ჩანს, ამ შემთხვევაში ძრავაზე მოდებულია ქსელის ძაბვა. სიხშირულ-იმპულსური რეგულირების ეს სქემა დანერგულია საქართველოს რკინიგზაზე, წლების განმავლობაში მომუშავე ЭР2 სერიის მოდერნიზირებულ ელექტრომატარებლებში. ამ სქემის თავისებურებას, მსგავს სქემებთან შედარებით, შეადგენს VD უკუდიოდის მიმდევრობით R რეზისტორის გამოყენება, რაც უზრუნველყოფს VT_1 ტირისტორის საიმედოდ ჩაკეტვისთვის საკმაოდ სიდიდის უკუძაბვას (100 ვ).

გარკვეულ ინტერესს იწვევს 8.5 ნახაზ დ-ზე მოცემული სქემა, რომელიც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ ძაბვის განივ იმპულსური რეგულირება. ამ სქემის გარე მახასიათებელი მსგავსია 8.5 ნახაზ გ-ზე მოცემული სქემის მახასიათებლის (3 წრფე. ნახ. 8.4).

8.5 ნახაზ კ, ლ-ზე მოცემულია რეგულატორები, რომლებიც შესრულებულია მთლიანად მართვად GTO და IGCT – ტირისტორებზე (ნახ. 8.5, კ) და JGBT – ტრანზისტორებზე (ნახ. 8.5, ლ). აქვე 8.5 ნახაზ მ, ნ-ზე მოცემულია დატვირთვაზე შესაბამისი ძაბვის მრუდეები.

სიხშირულ იმპულსური რეგულირებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$U \cdot t_0 = U_d T, \quad (8.1)$$

სადაც U არის კვების წყაროს ძაბვა.

t_0 – იმპულსის სიგანე, რომელიც ამ შემთხვევაში უცვლელია.

U_d – ძრავას მომჭერებზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა.

T – იმპულსებს შორის პერიოდი, რომელიც ამ შემთხვევაში იცვლება.

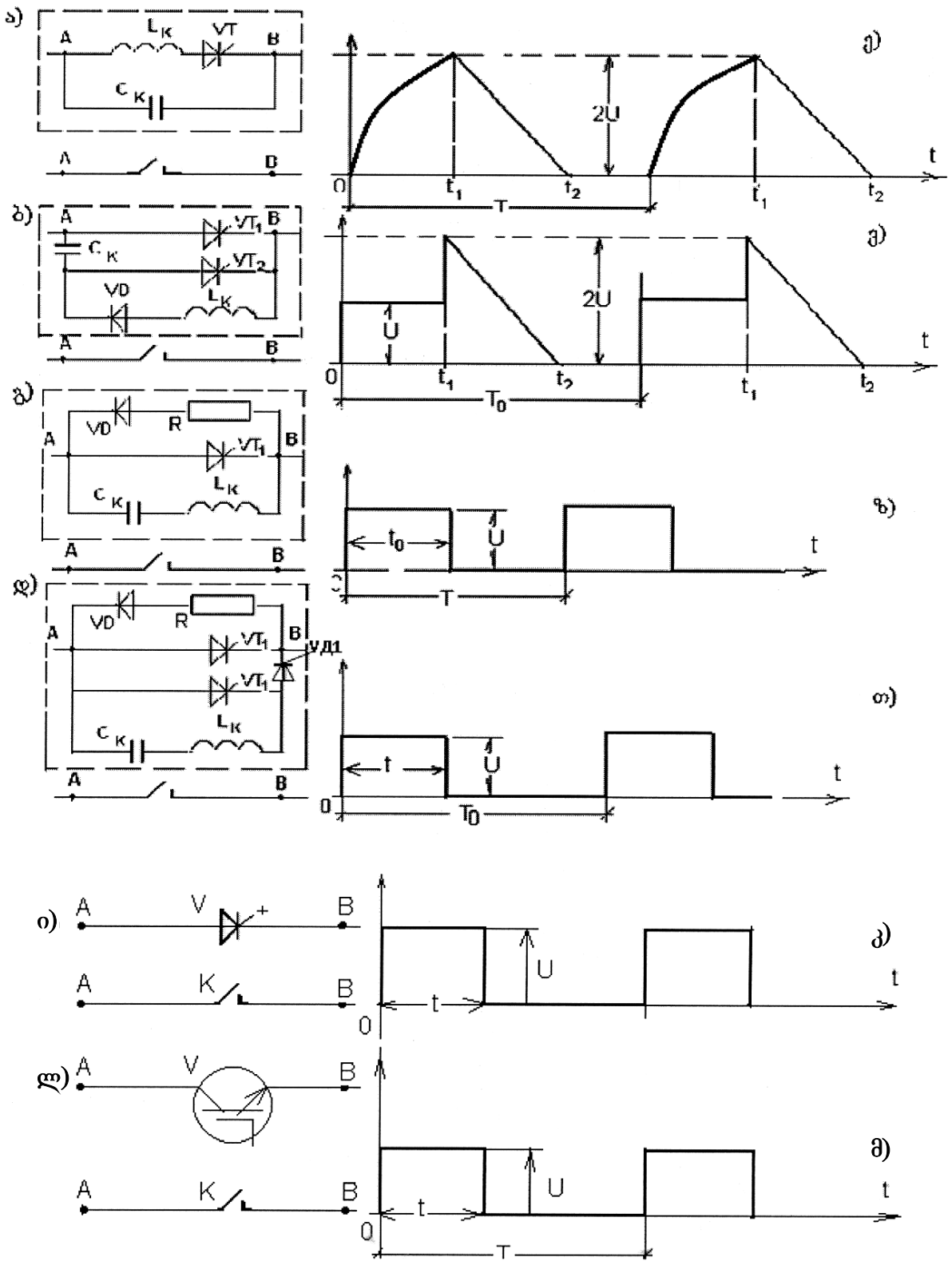
(8.1) ფორმულიდან განვსაზღვროთ U_d . მივიღებთ

$$U_d = U_0 \frac{t_0}{T} = U \cdot t_0 \cdot f, \quad (8.2)$$

სადაც, $f = \frac{1}{T}$ არის იმპულსების სიხშირე.

როგორც (8.2) გამოსახულებიდან ჩანს, თუ $U = const$, $t_0 = const$ და სიხშირეს მდოვრედ შევცვლით, შეგვიძლია ძაბვა ძრავას მომჭერებზე მდოვრედ ვარეგულიროთ.

განივ-იმპულსური რეგულირების დროს ანალოგიურად შეგვიძლია დავწეროთ



ნახ. 8.5. ნახევარგამტარული მწვევტარების სქემები და დატვირთვაზე ძაბვის მრუდები: ა), ბ), გ), დ) ხელოვნური კომუტაციის ჩვეულებრივ ტირისტორებზე, ე) მოლიანად მართვად ტირისტორებზე, ვ) ბიპოლარულ ტრანზისტორებზე.

$$U \cdot t = U_d T_0. \quad (8.3)$$

ქვემოთ დეტალურად განვიხილავთ გარდამქმნელებში ძაბვის სისწორულ და განივ იმპულსური რეგულირების პროცესებს, შესაბამისი ანალიზით.

8.6 ნახაზზე მოცემულია სისწორულ იმპულსური (ა) და განივ-იმპულსური (ბ) რეგულირების შესაბამისი ძაბვების და დენების დიაგრამები.

ამ დროს იმპულსებს შორის პერიოდი T_0 ან მისი შებრუნებული სიდიდე სისწორე f_0 – უცვლელია, ხოლო იმპულსის სიგანე t იცვლება. ამ შემთხვევაში ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა იქნება

$$U_d = \frac{U \cdot t}{T_0} = U \cdot t \cdot f_0, \quad (8.4)$$

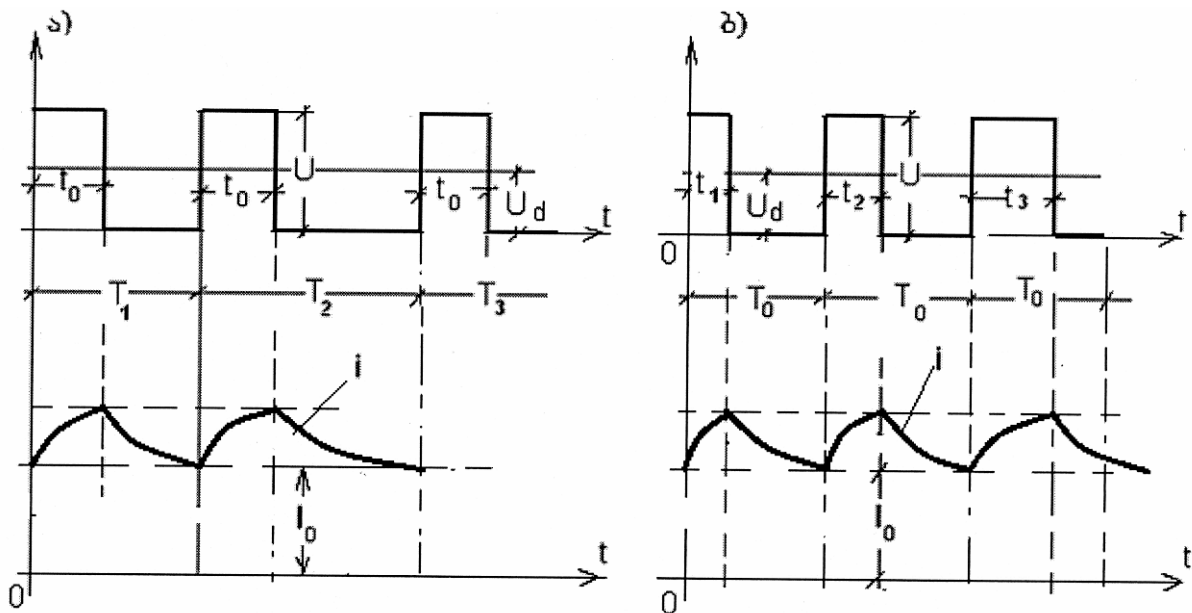
$U = const$ და $T_0 = const$ -ის დროს, თუ მდოვრედ შევცვლით იმპულსის სიგანეს t -ს შეგვიძლია ძაბვა ძრავას მომჭერებზე ვარეგულიროთ მდოვრედ.

8.3 ნახაზზე ნახვენებია პრაქტიკული სქემა, რომელზეც:

$L_{ფ} C_{ფ}$ არის საფილტრო მოწყობილობა, რომლის დანიშნულებაა ქსელში დენის პულსაციის შემცირება;

$L_{დ}$ დროსელის დანიშნულებაა ძრავაში დენის პულსაციის შემცირება;

V_0 – უკუ დიოდია, რომელიც უზრუნველყოფს ძრავაში გამავალი დენის უწყვეტობას და “K” მწვევტარაზე გადამეტაბვის მოხსნას.



ნახ. 8.6. ძაბვის და დენის დიაგრამები სისწორულ ა) და განივ-იმპულსურ ბ) რეგულირების დროს.

როგორც 8.6 ნახაზზე მოცემული დენის მრუდებიდან ჩანს, რეგულირების ორივე შემთხვევაში ძრავას დენი განიცდის პულსაციას, რომელიც ჩვეულებრივი შესრულების ძრავებისთვის არ უნდა აღემატებოდეს 5-7%-ს.

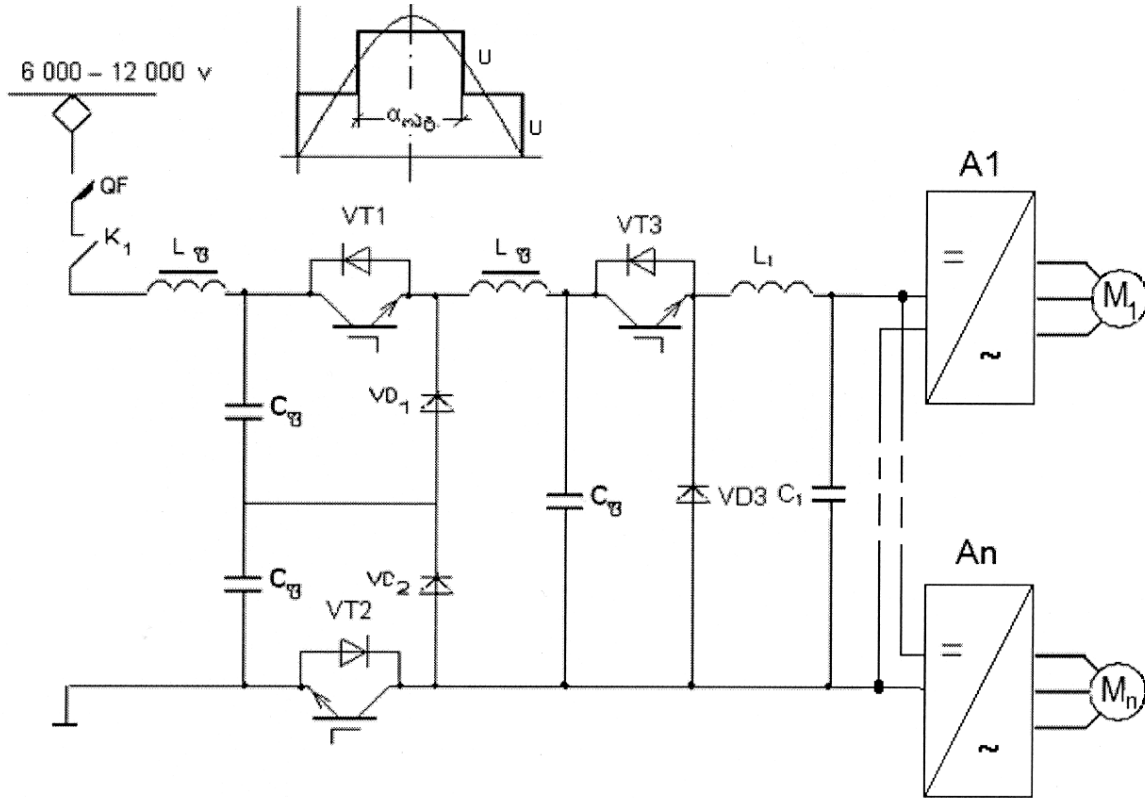
8.3. მუდმივი დენის წვევის პერსპექტიული ელექტრომობილური შემადგენლობა

მუდმივი დენის 3 000 ვ ძაბვის სისტემაში მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავების გამოყენება განაპირობა ამ ძრავების პარალელურ რეჟიმში უპრობლემო მუშაობამ, რაც არ მოითხოვს დამატებითი ღონისძიებების და მოწყობილობების გამოყენების აუცილებლობას, რომლებიც საჭირო იქნებოდა დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავების ან ასინქრონული ძრავების გამოყენების შემთხვევაში.

იმ დროისათვის 3 000 ვ. ძაბვის მქონე მუდმივი დენის მისაღებად, წვევის ქვესადგურებში გამოიყენებოდა ვერცხლისწყლიანი გამმართველები, რომლებიც სტაციონალურ პირობებში მუშაობდნენ დამაკმაყოფილებლად.

რკინიგზებზე ტვირთნაკადების და, შესაბამისად, ელექტრომობილური სისტემების დატვირთვების გაზრდამ, ტვირთდაძაბულ უბნებზე გამოიწვია საკონტაქტო ქსელში ძაბვის ძალიან დიდი ვარდნები და თავი იჩინა მუდმივი დენის 3 000 ვოლტიანი სისტემის ნაკლოვანმა მხარეებმა. დღეისათვის მრავალი გამოკვლევით დადგენილია – იმისათვის რომ მუდმივი დენის სისტემამ კონკურენცია გაუწიოს ცველადი დენის 25 კვ ძაბვის სისტემას, აუცილებელია ძაბვა საკონტაქტო ქსელში გაიზარდოს 6 000-12 000 ვოლტამდე. მაგრამ დღეისათვის არსებული ნახევარგამტარული ტექნიკა, მაღალ ძაბვაზე და დიდ დენებზე ($U = 4500$ ვ, $I = 4000$ ა) მომუშავე მთლიანად მართვადი **GTO**, **IGCT** ტირისტორების და ($U = 6500$ ვ, 600 ა, $U = 3300$ ვ, $I = 1200$ ა) **IGBT** ტრანზისტორების ბაზაზე, არ იძლევა მათი დამოუკიდებელ ერთეულებად მუშაობის შესაძლებლობას; ხოლო მიმდევრობით შეერთებისას ისინი ან საერთოდ ვერ მუშაობენ (**IGBT** ტრანზისტორები), ან მუშაობენ ძალზე ცუდად (**IGCT** ტირისტორები). მრავალმხრივმა ექსპერიმენტალურმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ 3 000 ვ ძაბვაზე მუშაობისას, ხელსაწყო საერთო ძაბვა უნდა იყოს 8000-9000 ვოლტის ფარგლებში. ამის გამო ზოგიერთი სპეციალისტი მიმართავს სხვადასხვა სქემურ კომბინაციას. მაგალითად მკვებავ ძაბვას ფილტრის კონდენსატორების საშუალებით ყოფენ ნაწილებად. ასეთი გარდამქმნელების სიმძლავრე შეზღუდულია და არ აღემატება 300 კვტ-ს. საკონტაქტო ქსელში 6 000 ვ ძაბვის დროს, შეიძლება რეკომენდებული იქნეს 8.7 ნახაზზე მოცემული სქემა. ამ შემთხვევაში V_{T1} და V_{T2} ვენტილებზე ჯდება ქსელის ძაბვის ნახევარი და შეიძლება გამოყენებული იქნეს თანამედროვე **IGBT** ტრანზისტორები 6 500 ვოლტ ძაბვაზე და 500 ამპერ დენზე. როგორც ცნობილია ნებისმიერი რაოდენობის პარალელურად ჩართული ტრანზისტორები ნორმალურად მუშაობენ. საკონტაქტო ქსელში 12 000 ვ ძაბვის არსებობის

შემთხვევაში, VT_1 და VT_2 ხელსაწყოებად შეიძლება წარმატებით გამოვიყენოთ მიმდევრულად ჩართული სამი **IGCT** ტირისტორი 5 000 ვოლტ ძაბვაზე და 4 000 ამპერ დენზე. **IGBT** ტრანზისტორების გამოყენების შემთხვევაში (ისინი მუშაობენ 10-15 კვრც სიხშირეზე) $L_{ფ}C_{ფ}$ და L_1, C_1 ფილტრების მასა-გაბარიტები მინიმალურია, რაც არ ითქმის **IGCT** ტირისტორების გამოყენების შემთხვევაში (მუშა სიხშირე 1 300 ჰერცი).



ნახ. 8.7. მუდმივ დენზე წვეის პერსპექტიული ამძრავი.

8.7 ნახაზზე მოცემულ სქემაზე, VT_1 , VT_2 ტრანზისტორების მუშაობის რეჟიმების შერჩევით, მეორე საფილტრო L_1C_1 კასკადზე შეგვიძლია მივიღოთ ნებისმიერი დადაბლებული, სტაბილური ძაბვა. სიჩქარის შემდგომი რეგულირება ხდება A ინვერტორის საშუალებით. აქვე მოცემულია ოპტიმალური ორსაფეხურიანი ძაბვის მრუდი.

საკონტაქტო ქსელში ამაღლებული 6 000–12 000 ვ. ძაბვის შემთხვევაში, ლოკომოტივის ჩაჭიდების წონის უკეთ გამოყენების მიზნით, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ხისტ მახასიათებლებიანი დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის, ან ასინქრონული წვეის ძრავები. 8.7 ნახაზზე მოყვანილია ასინქრონულ წვეის ძრავებიანი სქემა. ასეთი სისტემის გამოყენების შემთხვევაში მაღალია მუშაობის საიმედოობა და მნიშვნელოვნად დაბალია საექსპლუატაციო ხარჯები, ვიდრე დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავების გამოყენების დროს.

ვინაიდან ასინქრონულ ძრავებს მახასიათებლების სიხისტის გამო არ შეუძლიათ პარალელური სქემით მუშაობა, ამიტომ მათი ნორმალური მუშაობისთვის სასურველია ყოველი ასინქრონული ძრავა იკვებებოდეს თავისი ინვერტორიდან. ამ შემთხვევაში ძრავების პარალელურ რეჟიმში მუშაობას (დერძებზე დატვირთვის თანაბარ გადანაწილებას) უზრუნველყოფს დატვირთვის გამათანაბრებელი მოწყობილობის გამოყენება, რომელიც ზემოქმედებს ინვერტორებზე.

8.4. დამოუკიდებელ აგზნებიანი წვევის ძრავების მქონე მუდმივი დენის ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე სინქარის იმპულსური რეგულირება

მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიან წვევის ძრავებით აღჭურვილ ემშ-ზე, სინქარის რეგულირების ხელოვნური კომუტაციის მქონე იმპულსური სისტემების გამოყენების ხანგრძლივმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, როგორც მრავალი დადებითი, ასევე მრავალი უარყოფითი მხარე.

დადებითად შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ სპეციალისტებმა მიიღეს გამოცდილება პრინციპულად ახალი ელექტრომომწყობილობების პროექტირების და ექსპლუატაციის სახით.

უარყოფითია ის, რომ გასული საუკუნის 60-90-წლებში საბჭოთა კავშირში ნახევარგამტარული და კონდენსატორული ტექნიკის მასა-გაბარიტული მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად ჩამორჩებოდა მსოფლიო სტანდარტებს. აღნიშნულის გამო სტატიკური გარდამქმნელების მასა-გაბარიტული მაჩვენებლები იყო ძალზე დიდი, ხოლო ახალი ელექტრომომწყობილობის დაბალი ხარისხის გამო, საქმე საცდელი ერთეულების საექსპლუატაციო გამოცდებს ვერ გასცდა. მაშინ არ იყო ელექტრომაგალი ან ელექტრომატარებელი, რომელიც იმუშავებდა ერთ წელზე მეტი ხნის განმავლობაში. ამავე დროს მუდმივი დენის მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავების ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმში არამდგრადი მუშაობა, ართულებდა სიტუაციას და საცდელი ნიმუშების დანერგვას.

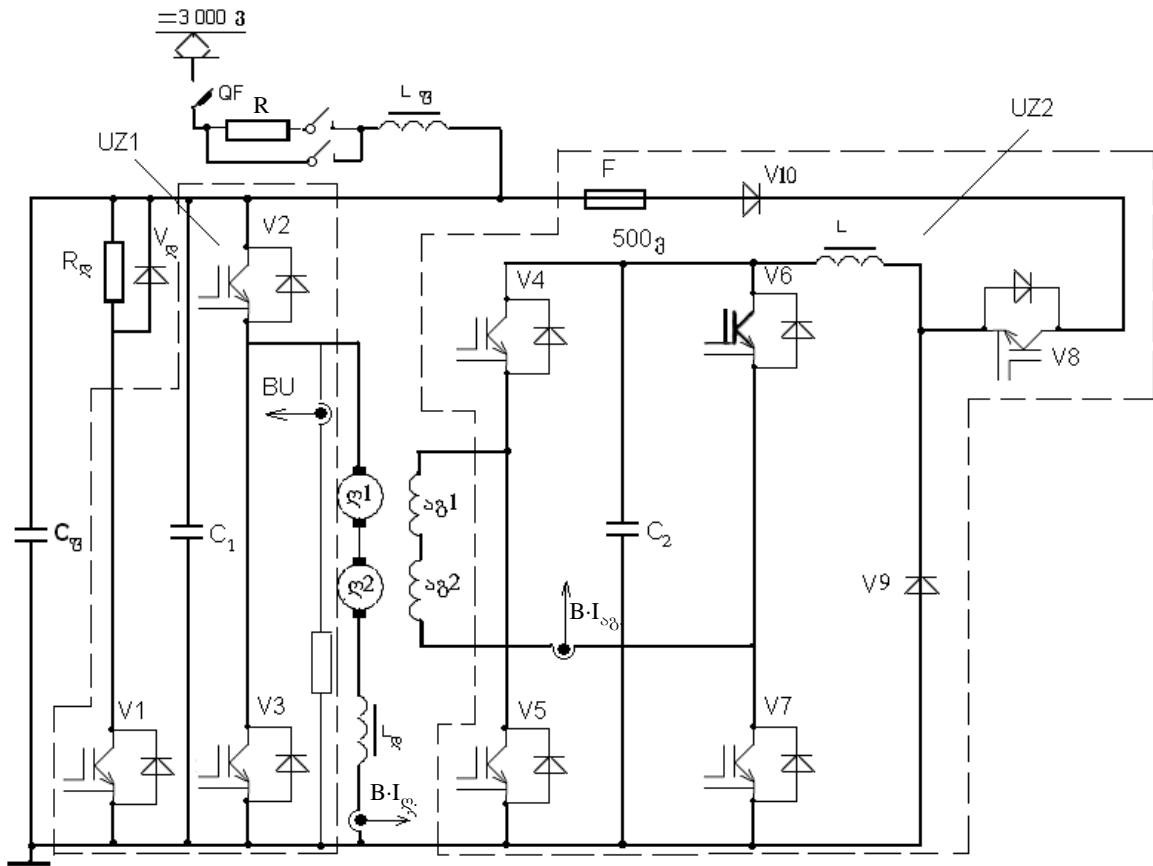
როგორც ცნობილია, მიმდევრობით აგზნებიან გენერატორებს მდგრადად მუშაობა შეუძლიათ მხოლოდ დაუშვებელი სიდიდის, დიდი დატვირთვის დენის დროს. ამის გამო (დენების შესაზღუდად) იძულებულნი იყვნენ ღუზის წრედში ჩაერთოთ მნიშვნელოვანი სიდიდის აქტიური წინააღმდეგობა, რომელიც აუარესებდა მთელი სისტემის ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს. წვევის რეჟიმიდან რეკუპერაციულ რეჟიმზე და პირიქით გადასვლა მიმდინარეობდა კონტაქტორულ-რეოსტატული მართვის სისტემის მსგავსად, სქემის დაშლით (ციკლური სქემა და ა.შ.). ყოველივე ამისგან

შეიძლება განვთავისუფლდეთ, თუ გამოვიყენებთ სინქარის იმპულსური რეგულირების სისტემას და დამოუკიდებელ აგზნებიან წვევის ძრავებს. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ძალური სქემის დაშლის გარეშე მდოვრე გადასვლა წვევის რეჟიმიდან რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმზე და პირიქით. რაც მთავარია, ამ დროს რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმი მდგრადია სინქარის მთელ დიაპაზონში, 3–5 კმ/სთ მინიმალურ სინქარემდე.

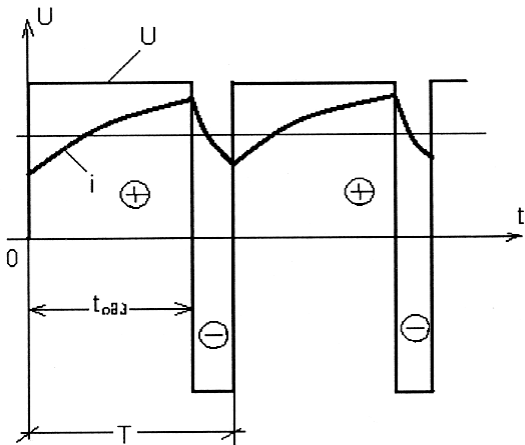
დღეისათვის კონდესატორების და ნახევარგამტარული ტექნიკის ტექნოლოგიაში მიღწეულია უზარმაზარი პროგრესი, რაც უკავშირდება ათასობით ვოლტ ძაბვაზე და ათასობით ამპერ დენზე მომუშავე, სრულიად მართვადი GTO IGCT ტირისტორების და IGBT ტრანზისტორების დანერგვას. ამან შესაძლებელი გახდა ელექტრულ წვევაში დანერგილიყო ასინქრონული ელექტრული ამძრავი, რომელიც მოტორულ რეჟიმში სხვა ტიპის ელექტროამძრავებთან შედარებით, ხასიათდება ძალზე დიდი უპირატესობით კერძოდ: სიიფით, კონსტრუქციის სიმარტივით, მაღალი საიმედოობით, სამსახურის ხანგრძლივი ვადით და ა.შ. რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში ის მუშაობს ძალზე ცუდად. როგორც ცნობილია [10] გენერატორულ რეჟიმში მუშაობისას ასინქრონული მანქანა მოიხმარს დამაგნიტების დენს, რომელმაც შეიძლება შეადგინოს ნომინალური დენის 50%, რაც მისი ძალზე უარყოფითი მხარეა. შედარებისთვის აგზნების სისტემისთვის მოთხოვნილი სიმძლავრე სინქრონული გენერატორებისთვის და მუდმივი დენის T12K და T13B წვევის მანქანებისთვის შეადგენს დაახლოებით 1%-ს. რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში, დამოუკიდებელ აგზნებიანი გენერატორები იმპულსური რეგულირებით, რეალური დანაკარგების გათვალისწინებით მთელ სიმძლავრეს გადასცემენ ქსელში. წარმოდგენილი სისტემა ჩაჭიდების წონის მაქსიმალური გამოყენების, მახასიათებელთა სიხისტის, ძალური და მართვის სისტემების სიმარტივის გამო, შეიძლება ჩაითვალოს წვევის ასინქრონული ამძრავების სრულფასოვან ალტერნატივად.

8.8 ნახაზზე ნაჩვენებია წარმოდგენილი სისტემის უმარტივესი სქემა, რომელიც ერთნაირი წარმატებით შეგვიძლია გამოვიყენოთ ელექტრომაგვლებზე, ელექტრომატარებლებზე და მეტროპოლიტენის ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე. ამ სქემაში გამოყენებულია IGBT ტრანზისტორების მოდულები 6 500 ვოლტ ძაბვაზე და 600 ამპერ დენზე. დატვირთვის სიმძლავრის მიხედვით V1, V2, V3 მოდულები შეიძლება წარმოადგენდნენ ნებისმიერი რაოდენობის პარალელურად ჩართულ ტრანზისტორს ან ნებისმიერი რაოდენობის ფაზებს, რომლებიც მუშაობენ ერთმანეთისგან გარკვეული წანაცვლებული კუთხით.

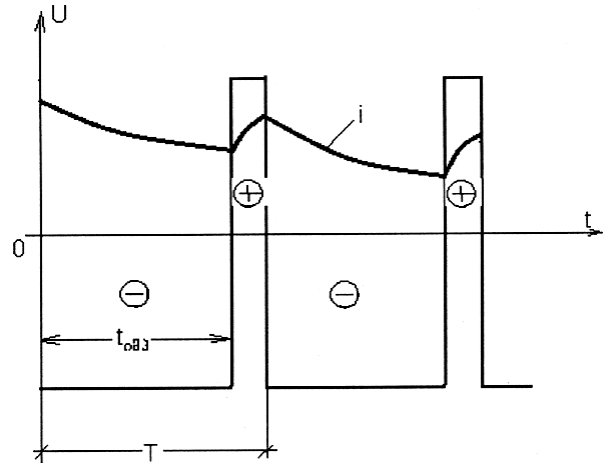
ა)



ბ)



გ)



ნახ. 8.8. ა) მუდმივი დენის დამოუკიდებელ ავზნებიანი წვევის ძრავების სიჩქარის იმპულსური რეგულირების სქემა, ბ), გ) ამავნები სტატიკური გარდამქმნელის ძაბვების და დენების დიაგრამა.

ძრავულ რეჟიმში, $V2$ მოდული აწარმოებს განივ-იმპულსურ მოდულაციას და მდოვრედ არეგულირებს ძაბვას ძრავების მომჭერებზე.

გენერატორულ რეჟიმში მუშაობისას $V2$ მოდული გამორთულია, მუშაობს $V3$ მოდული როგორც მწვევტარა (გარკვეული პერიოდულობით ამოკლებს და ახდენს დუზის წრედის გაწყვეტას), რისი წყალობითაც რეკუპერაცია მიმდინარეობს

ელექტრომოძრავი შემადგენლობის გაჩერებამდე. აქ განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ღუზის წრედის პერიოდული გაწვევით საკონტაქტო ქსელის ძაბვას დარღება $E_d + L_{\Sigma} \frac{di}{dt}$ სიდიდე და არა ძრავას უკუელექტრომამოძრავებელი ძალა E_d , როგორც კლასიკურ რელეურ-კონტაქტორულ სქემებში, რომელთა გამოყენებისას რეკუპერაციის მინიმალური სიჩქარე იყო 25-30 კმ/სთ-ში. აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ რაც მეტია დატვირთვის (ღუზის) წრედის ინდუქტივობა L_{Σ} , მით უფრო ნაკლები იქნება რეკუპერაციული დამუხრუჭების მინიმალური სიჩქარე.

საკონტაქტო ქსელში რეკუპერირებული ელექტროენერჯიის მომხმარებლის არ არსებობისას ან ძაბვის 4 000 ვოლტზე გადამეტებისას, VI მოდულის ჩართვით ხდება მდოვრე გადასვლა რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმიდან რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმზე.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის, რომ მიუხედავად დამოუკიდებელი აგზნების მქონე ძრავებისა, მოძრავი შემადგენლობის ავტომატურ მახასიათებელზე გასვლამდე, ძრავას აგზნების დენი იცვლება ღუზის დენის პროპორციულად (ავტომატური რეგულირების სისტემის წყალობით), რის გამოც სტატიკაში მიიღება ისეთივე რბილი მახასიათებლები, როგორც მიმდევრობით აგზნებიან ძრავებში. დინამიკაში კი მახასიათებლები ხისტი ფორმისაა. მაგალითად ბუქსაობის დროს აგზნების დენი არ იცვლება. მსგავსი სქემა შეიძლება გამოყენებული იქნეს ნებისმიერ სიმძლავრეზე. საკმარისი იქნება მხოლოდ UZ1 გარდამქნელების რაოდენობის გაზრდა (იხ. პუნქტირით შემოფარგლული სქემა).

წვეის ძრავების პარალელურ შტოთა რიცხვის შესაბამისად, აგზნების გრაფიკები შეიძლება ჩაირთოს ყველა მიმდევრობით ან პარალელურად ერთ სწრაფმომქმედ კვების წყაროზე UZ 2-ზე (იხილეთ პუნქტირით შემოფარგლული სქემა). წვეის ძრავების ცალკეულ შტოებს შორის დენების გათანაბრება ხდება შტოების V2 მოდულების და დენის BI გადამწოდებების საშუალებით.

მუშაობის ორივე რეჟიმში (წვეის, ელექტრული დამუხრუჭების) მოკლედ შერთვისას, ღუზის წრედების დენები კონტროლდება შესაბამისი დენის BI და ძაბვის BU გადამწოდებით ერთდროულად, ხოლო მათგან მოსული სიგნალის საფუძველზე ხდება ფორსირებული ძაბვის რევერსი, რათა განხორციელდეს წვეის ძრავების სწრაფი განმაგნიტება (ფორსირებისთვის როგორც [12]-ში მოყვანილმა გათვლებმა აჩვენა საკმარისია ძაბვის 5 ჯერადი მარაგი).

როგორც 8.8 ნახაზიდან ჩანს, წვეის ძრავების აგზნების გრაფიკების კვება ხდება UZ 2 გარდამქმნელით, რომელიც თავის მხრივ იკვებება ძირითადი L_{Σ} C_{Σ} ფილტრიდან. C_{Σ} ტევადობის სიდიდემ უნდა უზრუნველყოს განმაგნიტებელი

დენის გავლის დროის ხანგრძლივობა არა ნაკლები 100 მწმ. მკვებავი ძაბვა სტაბილიზირდება 500 ვოლტის დონეზე V8 მოდულით. ეს ძაბვა მიეწოდება V4, V5, V6 და V7 მოდულებს, რომლებიც ქმნიან ბოგირულ სქემას. აუცილებლობის შემთხვევაში შესაძლებელია დენის მიმართულების შეცვლა და ძრავას სწრაფი განმაგნიტება. V10 დიოდის დანიშნულებაა მოკლედ შერთვის დროს აღკვეთოს ფილტრის კონდენსატორის გადამუხტვა.

რევერსირებადი ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია

$$U_{d_{აგ}} = U_1 \left[\frac{2t_{აგ}}{T} - 1 \right], \quad (8.5)$$

სადაც $t_{აგ}$ არის იმპულსის ხანგრძლივობა.

U_1 – მკვებავი ძაბვა, რომელიც ტოლია

$$U_1 = K_{ფ} U_{აგ.ნომ.}$$

სადაც $K_{ფ} = (4-5)$ ფორსირების კოეფიციენტი.

T – ძაბვის განმეორების პერიოდი.

$U_{აგ.ნომ.}$ – ყველა ძრავას აგზნების გრაფიკების ნომინალური ძაბვათა ჯამი.

8.8 ბ, გ ნახაზზე ნაჩვენებია UZ2 გარდამქმნელის ძაბვების და დენების ფორმები დამყარებულ რეჟიმში და აგზნების დენის რევერსირების რეჟიმში.

IX თავი

ერთფაზა ცვლადი-მუდმივი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობის წევრის რეჟიმი

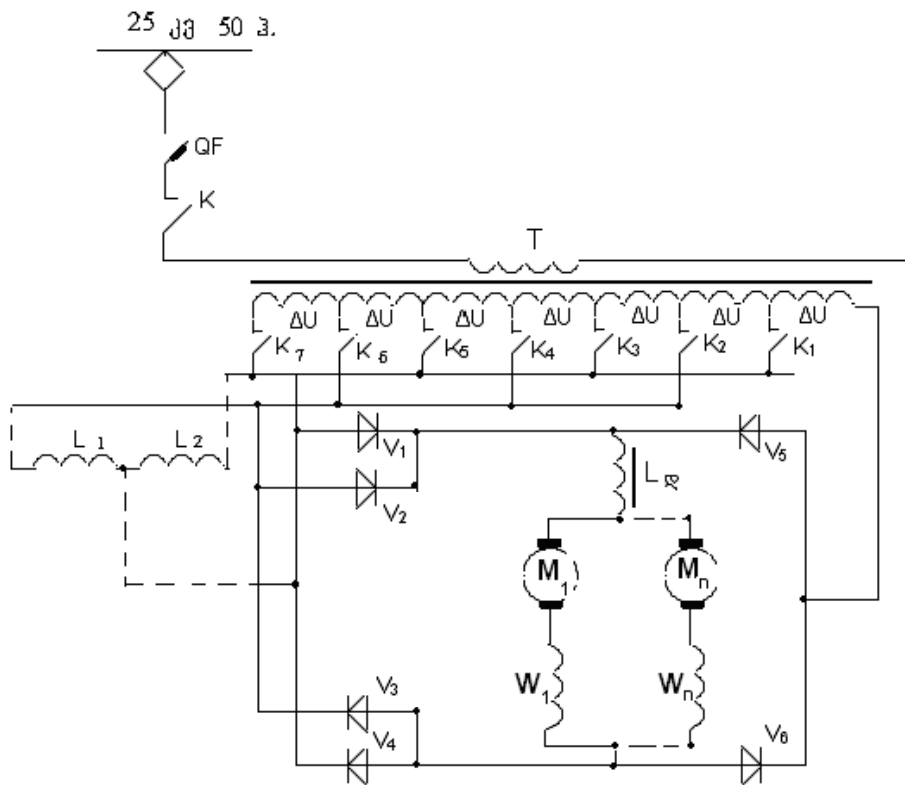
9.1. წვეის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის რეგულირების ხერხები

თუ გავიხსენებთ, რომ მეტწილ შემთხვევებში ელექტროენერჯის გენერაცია (მიღება) და გადაცემა ხდება ცვლად დენზე, ცხადი გახდება ცვლად დენზე ელექტრიფიცირებული რკინიგზების უპირატესობა, მუდმივ დენის სისტემასთან შედარებით. მით უმეტეს იმის გათვალისწინებით, რომ ცვლადი დენის წვეის ქვესადგურები და საკონტაქტო ქსელი გაცილებით მარტივი და იაფია, ვიდრე 3 000 ვ. ძაბვის მუდმივი დენის ქვესადგურები და საკონტაქტო ქსელი.

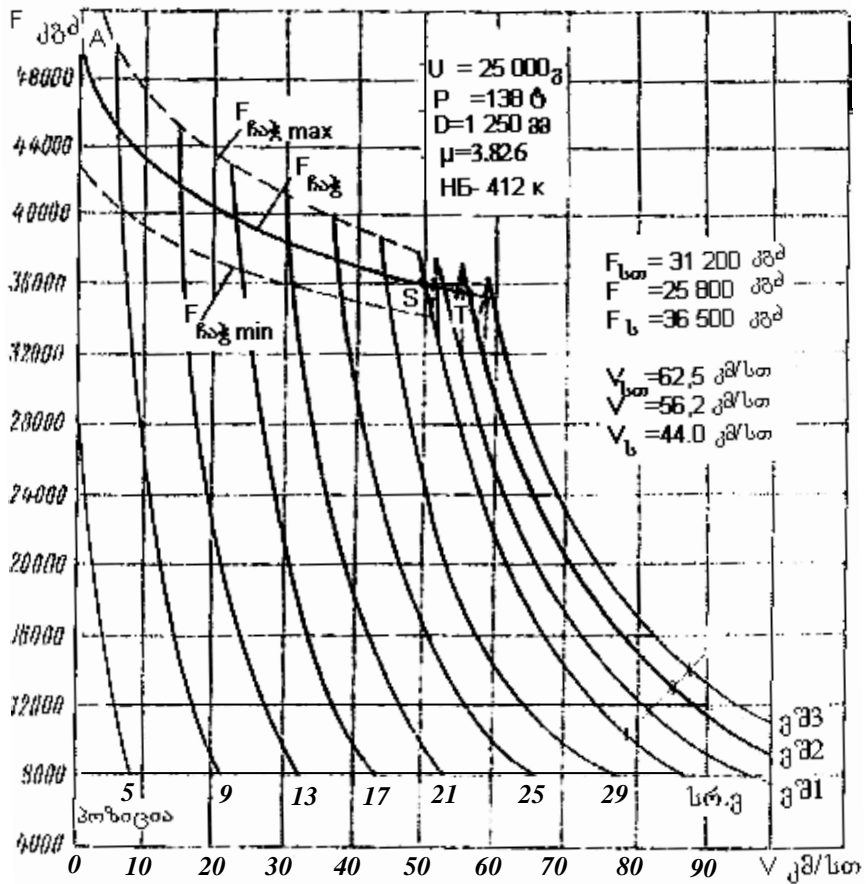
აუცილებელია აღინიშნოს ისიც, რომ დღემდე ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომოძრავე შემადგენლობებზე გამოყენებულია მუდმივ (პულსირებულ) დენზე მომუშავე მიმდევრობით აგზნებიანი წვეის ძრავები. ეს ძრავები მუდმივი დენის ელექტრომოძრავე შემადგენლობაზე გამოყენებულ ძრავებისაგან კონსტრუქციულად განსხვავდებიან იმით, რომ მათ მასიურ ფოლადის კორპუსში ჩამაგრებულია ელექტრომაგნიტური ფოლადის ფირფიტებისაგან აწყობილი ჩანართები, ხოლო მთავარი პოლუსების მაგნიტოგამტარები აკრეფილია ელექტრომაგნიტური ფოლადის იზოლირებული ფირფიტებით. ამ სისტემაზე მომუშავე პირველი ელექტრომაგნიტები და ელექტრომატარებლები აღჭურვილნი იყვნენ იგნიტრონული გამმართველებით, რომლებიც არსებული ვიბრაციის და რყევების პირობებში მუშაობდნენ დიდი ხარვეხებით (ნჯღრევების შედეგად ხშირად ირღვეოდა ვაკუუმის ჰერმეტიულობა).

პირველი ნახევარგამტარული დიოდების (БЛ-200-12) გამოჩენამ მძლავრი ბიძგი მისცა უფრო იაფი და ექსპლუატაციაში საიმედოდ მომუშავე ცვლადი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობის შექმნას.

9.1 ნახაზზე მოცემულია დღემდე საიმედოდ მომუშავე ცვლადი დენის БЛ-60, БЛ-80^к ელექტრომაგნიტების გამარტივებული პრინციპული სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს, წვეის T ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილიდან, 1-7 კონტაქტორების საშუალებით, საფეხურებისამებრ რეგულირებადი ძაბვა მიეწოდება $V_2 - V_6$ ნახევარ-გამტარული დიოდებისაგან შემდგარ გამმართველს. ყოველი საფეხურის ძაბვა $\Delta U = 30 - 40$ ვოლტია. ერთი საფეხურიდან მეორეზე გადასვლა მიმდინარეობს ძრავას დენის წვეგტის გარეშე. პირველ ელექტრომაგნიტებზე ეს ხდება L_1, L_2 დროსელების დახმარებით. შემდგომში ეს ფუნქცია დაეკისრა V_1 და V_4 დიოდებს.



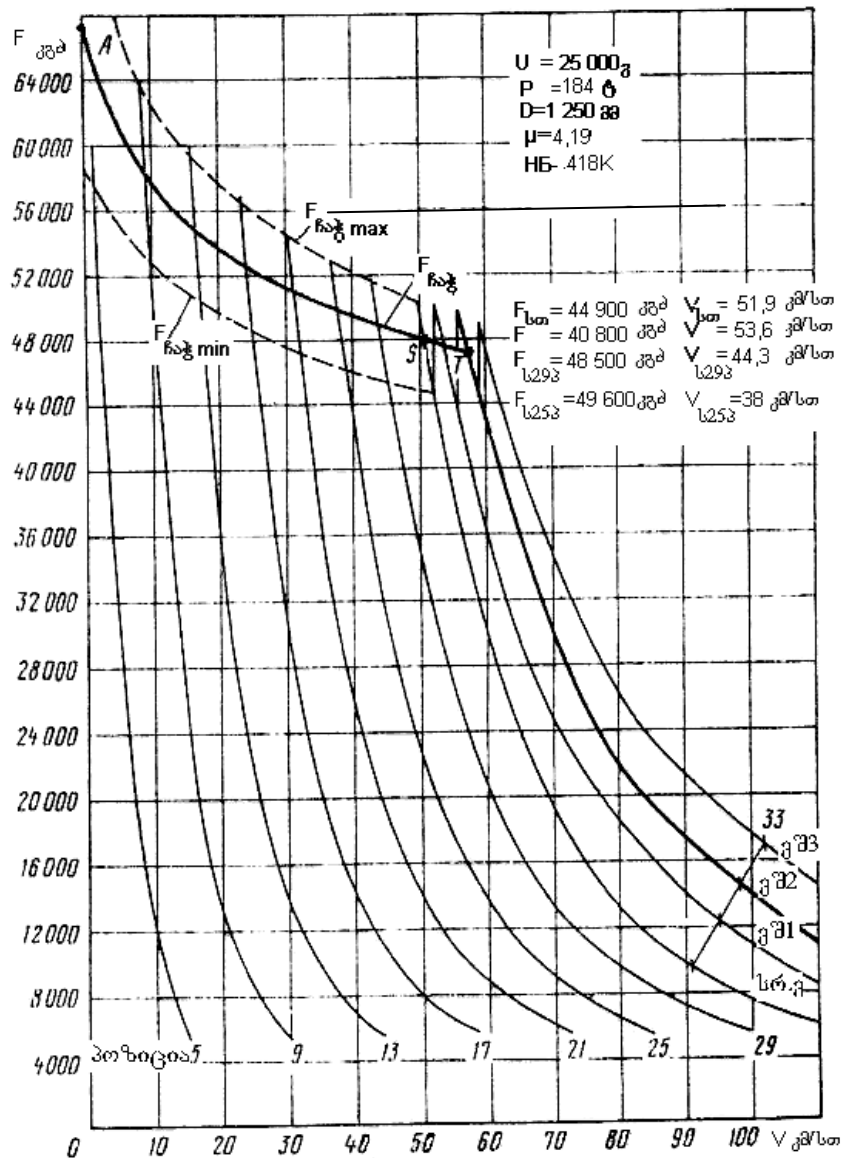
ნახ. 9.1. BJI-60 ელექტრომაგვლის ძაბვის (სიხქარის) საფეხურისებრი რეგულირების სქემა.



ნახ. 9.2. BJI-60 ელექტრომაგვლის წევის მახასიათებლები.

მოცემული სქემა უზრუნველყოფს წვეის ძრავების მუდმივ პარალელურ შეერთებას, რაც მას ჩაჭიდების წონის უკეთ გამოყენების თვალსაზრისით, მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებთან შედარებით, გარკვეულ უპირატესობას ანიჭებს. როგორც ვიცით, ამ უკანასკნელში დაძვრის პროცესში წვეის ძრავები შეერთებულია მიმდევრობით, რაც აუარესებს ჩაჭიდების პირობებს.

ამ სქემის კიდევ ერთ უპირატესობას შეადგენს ის, რომ თითქმის მთელ დიაპაზონში სიმძლავრის კოეფიციენტი უცვლელია, რაც სხვა ცნობილ სქემებთან შედარებით ამაღლებს ძაბვის გამოყენების ეფექტურობას, რადგან ქსელში გამავალ დენს აქვს ჰარმონიკების თითქმის უცვლელი სპექტრი. რეალურად დენის კომუტაციის კუთხის შეცვლის გამო, მისი ფორმა ოდნავ მახინჯდება. 9.2 და 9.3 ნახაზზე მოცემულია BJI-60 და BJI-80^K ელექტრომაგვლების წვეის მახასიათებლები.



ნახ. 9.3. BJI-80K ელექტრომაგვლის წვეის მახასიათებლები.

9.2. გამართული დენის პულსაცია

წვეის ძრავას ერთფაზა გამართველიდან მიღებული ძაბვით კვების შემთხვევაში, დენი განიცდის პულსაციას. გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს დენის პულსაციის დასაშვები საზღვრების დადგენა.

9.4 ა ნახაზზე მოცემულია გამართული ძაბვის u_d იდიალიზირებული ფორმა, დენის და უკუელექტრომომძრავებელი ძალის e_d -ს რეალური ფორმები. თუ უგულებელყოფთ ძაბვის აქტიურ ვარდნებს მათი სიმცირის გამო (3-5%), ამ შემთხვევაში შეგვიძლია დავწეროთ

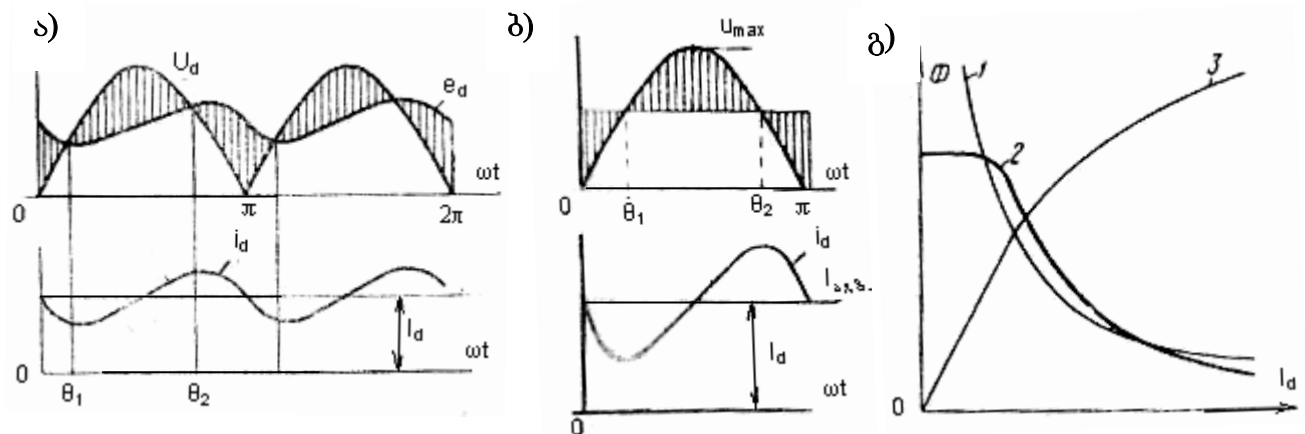
$$u_d = e_d + X_d \frac{dI_d}{d\theta}, \quad (9.1)$$

სადაც, u_d არის გამართული ძაბვის მყისური მნიშვნელობა.

e_d – უკუ ემძის მყისური მნიშვნელობა და როგორც ნახაზიდან ჩანს ისიც პულსირებს.

i_d – გამართული დენის მყისური მნიშვნელობა.

X_d – წრედის ჯამური ინდუქტიური წინააღმდეგობა (წვეის ძრავასა და დატვირთვის დროსელის ჩათვლით).



ნახ. 9.4. ა) და ბ) არამართვადი გამართველის ძაბვების და დენების წრფივი დიაგრამები, გ) დატვირთვის დროსელის მახასიათებლები.

თუ e_d -ს შევცვლით მისი საშუალო მნიშვნელობით E_d -თი (ნახ. 9.4 ბ) და შემოვიღებთ აღნიშვნებს $\varepsilon = \frac{E_d}{U_m}$, $\lambda_1 = X_d \frac{I_6}{U_m}$, $\frac{I_d}{I_6} = i_d$, $\omega t = \theta$ -ს, მაშინ (9.1) ფორმულის ნაცვლად $\theta_1 - \theta_2$ ინტერვალისთვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$\sin \theta = \varepsilon + \lambda_1 \frac{dI_d}{d\theta}. \quad (9.2)$$

(9.2) გამოსახულებიდან დენის პულსაციისთვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$\Delta i_d = i_{d \max} - i_{d \min} = \frac{1}{\lambda_1} \int (\sin \theta - \varepsilon) d\theta = \frac{1}{\lambda_1} \int (\sin \theta - \varepsilon) = \frac{2}{\lambda_1} \left[\cos \theta_1 + \frac{2}{\pi} \theta_1 - 1 \right]. \quad (9.3)$$

θ_1 კუთხე შეგვიძლია განვსაზღვროთ ტოლობებიდან:

$$U_m \sin \theta_1 = E_d, \quad \sin \theta_1 = \frac{E_d}{U_m} = \varepsilon, \quad \theta_1 = \arcsin \varepsilon.$$

ამ შემთხვევაში (9.3) ფორმულიდან შეგვიძლია დავწეროთ

$$\Delta i_d = \frac{2}{\lambda_1} \left[\sqrt{1 - \varepsilon^2} + \frac{2}{\pi} \arcsin \varepsilon - 1 \right]. \quad (9.4)$$

დენის პულსაციის შესაფასებლად იყენებენ პულსაციის კოეფიციენტს, რომელიც ტოლია

$$K_3 = \frac{i_{d \max} - i_{d \min}}{i_{d \max} + i_{d \min}}. \quad (9.5)$$

მთელ დიაპაზონში წვევის ძრავას ნორმალური მუშაობისათვის ეს კოეფიციენტი უნდა იყოს 0,2–0,4-ის ფარგლებში.

როგორც ცნობილია, დატვირთვის ცვლილებისას Δi_d -ს მნიშვნელობა იცვლება. პულსაციის კოეფიციენტის K_3 -ს უცვლელად შენარჩუნებისათვის საჭიროა დამანელებელ დროსელს ჰქონდეს ჰიპერბოლური მახასიათებელი.

9.3. არამართვადი გამმართველის გარე მახასიათებელი

დენის პულსაციის განსაზღვრის დროს გამოყენებული იყო გამართული ძაბვის იდეალიზირებული ფორმა. სინამდვილეში საკონტაქტო ქსელის და წვევის ტრანსფორმატორის ინდუქტივობის გამო, დენი ერთი ვენტილიდან მეორეზე გადადის არამყისურად, არამედ რაღაც γ დროის დაყოვნებით. 9.5 ა ნახაზზე მოცემულია ერთფაზა გამმართველის უმარტივესი სქემა, რომელზეც ნაჩვენებია კვების წყაროს X ინდუქტივობა, რომელიც შეიძლება გამოვსახოთ როგორც

$$X = X_{\text{ტრ.}} + X_{\text{ქს}},$$

სადაც, $X_{\text{ტრ.}}$ არის ტრანსფორმატორის მოკლედ შერთვის წინააღმდეგობა.

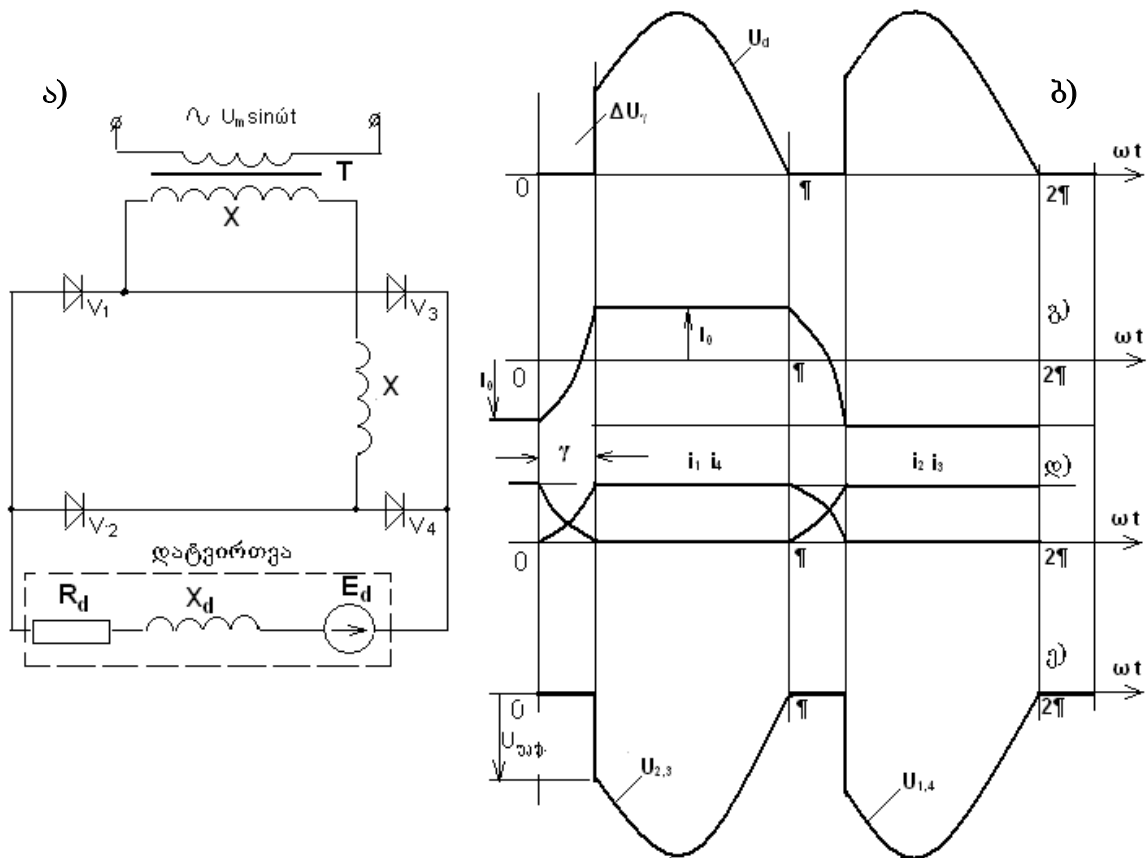
$X_{\text{ქს}}$ – ქსელის დაყვანილი ინდუქტიური წინააღმდეგობა.

9.5 ბ ნახაზზე წარმოდგენილია გამართული ძაბვის მრუდი, რომელიც γ ინტერვალის განმავლობაში 0-ის ტოლია. ამავე დროის განმავლობაში დატვირთვის დენი I_n , $V_1 - V_4$ ვენტილებიდან გადადის $V_2 - V_3$ ვენტილებზე.

ამ დროის განმავლობაში ქსელი და ტრანსფორმატორი მოკლედაა შერთული. ამ ინტერვალისთვის ვწერთ

$$U_m \sin \theta = X \frac{di}{d\theta}, \quad (9.6)$$

სადაც, $\theta = \omega t$; $X = \omega(L_{\text{ქს}} + L_{\text{ტრ.}})$.



ნახ. 9.5. არამართვადი გამმართველის დენების და ძაბვების მყისური მნიშვნელობების მრუდები.

i არის ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის დენი. (9.6) განტოლების ამ ინტეგრალში ამონახსნი იქნება

$$i = \frac{U_m}{X} (1 - \cos \theta). \quad (9.7)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ ინტეგრალის განმავლობაში ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილში დენი იცვლის მიმართულებას $-I_6$ -დან $+I_6$ -მდე, მაშინ (9.7) ფორმულიდან შეგვიძლია დავწეროთ

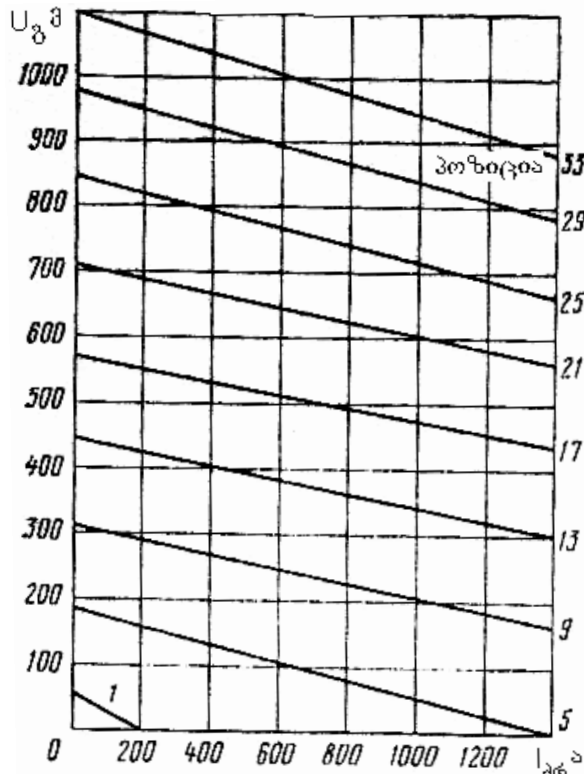
$$\cos \gamma = 1 - \frac{2I_6}{U_m} X. \quad (9.8)$$

ამ ინტეგრალში ძაბვის დანაკარგი იქნება

$$\Delta U_\gamma = \frac{1}{\pi} \int_0^\gamma U_m \sin \theta d\theta = \frac{U_m}{\pi} (1 - \cos \gamma) = U_{d0} \sin^2 \frac{\gamma}{2}, \quad (9.9)$$

სადაც, $U_{d0} = \frac{2U_m}{\pi}$ არის გამმართველის უქმი სვლის ძაბვა.

(9.9) ფორმულიდან ჩანს, რომ დატვირთვის დენის გაზრდისას, ძაბვის დანაკარგი, რომელიც პროპორციულია კომუტაციის γ კუთხის ნახევრის სინუსის კვადრატის, იზრდება. (9.7) და (9.8) ფორმულიდან გამოდის, რომ



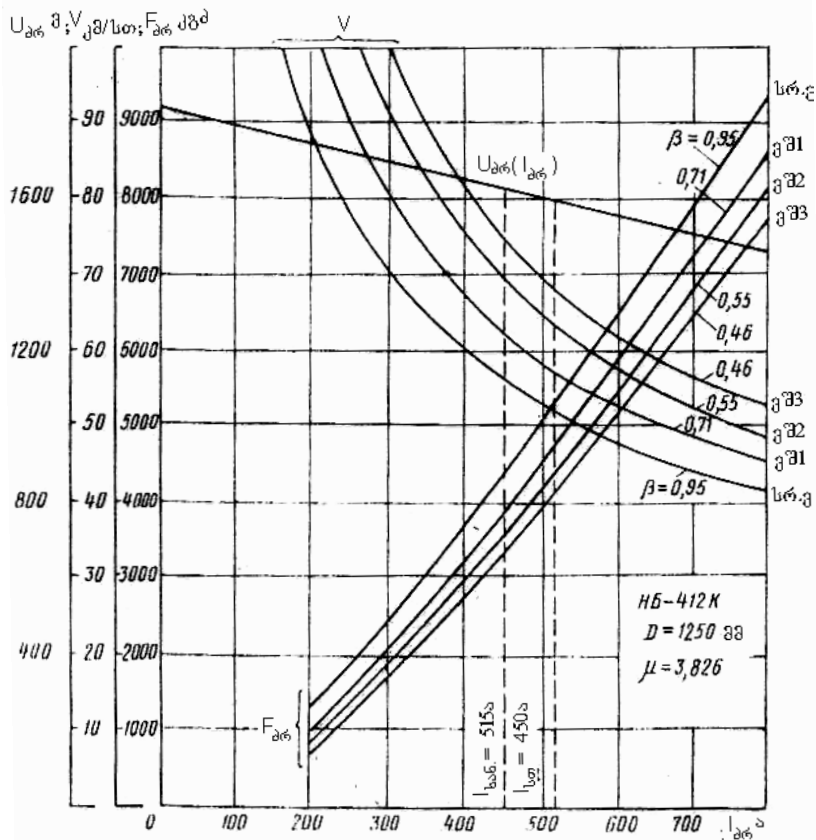
ნახ. 9.6. ВЛ-80K და ВЛ-80T ელექტრომაგ-
ლების გარდამქნელი მოწყობილობების
გარე მახასიათებლები.

$$\Delta U_{\gamma} = \frac{XI_6}{\pi} \quad (9.10)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ (9.10) ფორმულაში
უნდა შესულიყო დანაკარგები ტრანს-
ფორმატორის აქტიურ წინაღობაში, მაგრამ
ეს დანაკარგები ინდუქტიურ წინაღობაში
დანაკარგებთან შედარებით უმნიშვნელოა
და შეგვიძლია მათი უგულებელყოფა.

ცნობილია, რომ ტრანსფორმატორის
ინდუქტიური წინაღობა ნომინალური
დატვირთვის დენის დროს, ხასიათდება
სიდიდით $U_{ა.ა.}\%$. $U_{ა.ა.}$ - (მოკლე შერთვის
ძაბვაა), ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ

$$X = X_{\text{ს}} + X_{\text{ტრ.}} = X_{\text{ს}} + \frac{U_{ა.ა.}\% \cdot U_6}{100I_6}$$



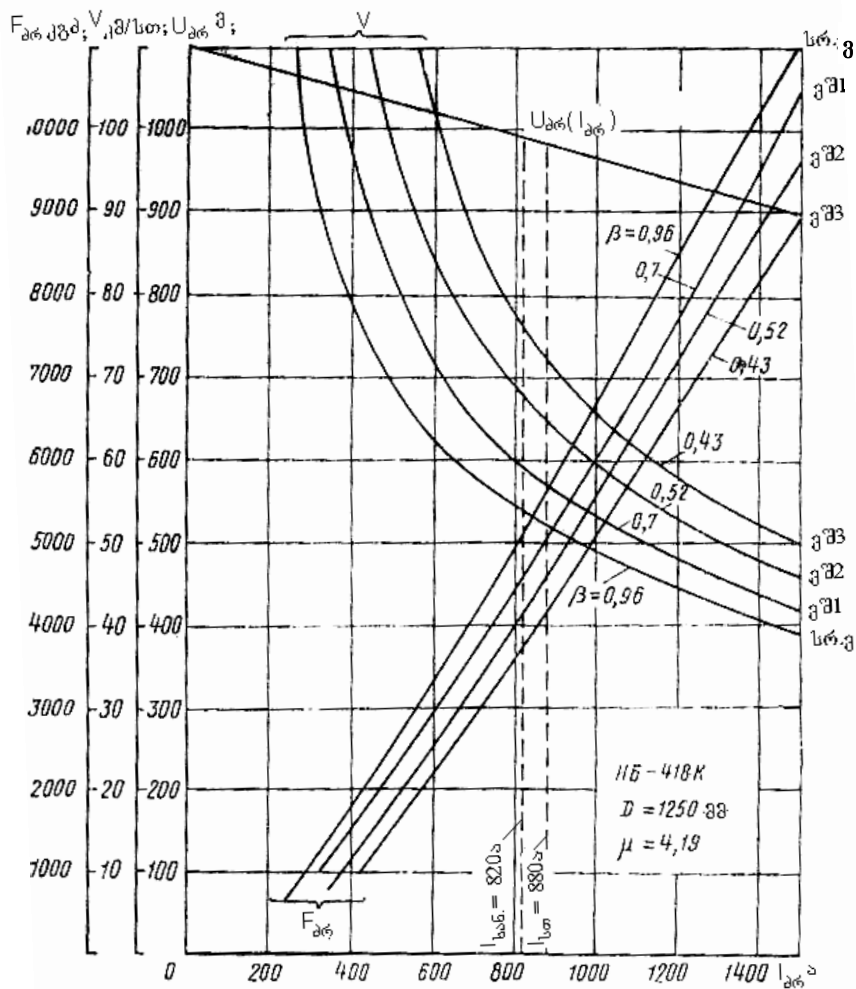
ნახ. 9.7. ВЛ-60 ელექტრომაგლის HB-412K წვევის ძრავას ელექტრო-
მექანიკური მახასიათებლები და $U_{ა.ა.}(I_{ა.ა.})$ დამოკიდებულება,
მოავარი კონტროლერის 33-ე პოზიციაზე.

ამ შემთხვევაში გარე მახასიათებლისთვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$U_d = U_{d0} - \Delta U_\gamma = \frac{2}{\pi} U_m - \frac{XI_6}{\pi} \quad (9.11)$$

9.5 დ ნახაზიდან ჩანს თუ როგორ მოქმედებს კომპუტაციის კუთხის სიდიდე ვენტილების უკუძაბვის სიდიდეზე (γ ინტერვალის ბოლოს ვენტილებზე მოედება უკუ $U_{უკუ}$ ძაბვის ნახტომი (ნახ. 9.5, ე).

9.6 ნახაზზე მოცემულია БЛ-80^T და БЛ-80^K ელექტრომაგვლების გარდამქმნელების გარე მახასიათებლები, ხოლო 9.7 და 9.8 ნახაზზე შესაბამისად НБ-412K და НБ-418K წვეის ძრავების ელექტრომექანიკური მახასიათებლები.



ნახ. 9.8. БЛ-80K და БЛ-80T ელექტრომაგვლების НБ-418K წვეის ძრავის ელექტრომექანიკური მახასიათებლები და $U_{\text{ძრ}}(I_{\text{ძრ}})$ დამოკიდებულება, მთავარი კონტროლერის 33-ე პოზიციაზე.

X თაზო

ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომოძრაში შემადგენლობის წივის კრავების მომჭერება ძაბვის მდგომარეობის რეგულირება

10.1. სქემების კლასიფიკაცია და მათი ანალიზი

თანამედროვე ცვლადი დენის ელექტრულ წევაში ფართო გავრცელება ჰპოვა ნახევარგამტარული ხელსაწყოების-ტირისტორების და დიოდების ბაზაზე შექმნილმა გამმართველების სქემებმა. 10.1 ა ნახაზზე ნახვენებია ე.წ. არასიმეტრიული გამართვის სქემა. ამ სქემაში დენის გამართვის პროცესში მონაწილეობს ორი ტირისტორი VT1, VT3 და ორი დიოდი VD2, VD4. 10.1, ბ ნახაზზე კი მოცემულია სიმეტრიული გამმართველის სქემა, რომელშიც ოთხივე ელემენტად გამოყენებულია ტირისტორები VT1; VT2; VT3; VT4.

წარმოდგენილ ორივე სქემაში მიმდინარე ელექტრული პროცესების აღმწერი ანალიზური გამოსახულებების გამარტივების მიზნით, ვაკეთებთ გარკვეულ დაშვებებს. კერძოდ:

- ვთვლით, რომ ნახევარგამტარულ ვენტილებზე დენის კომუტაცია ხდება მყისურად, ანუ სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ვთვლით, რომ საკონტაქტო ქსელის და წევის ტრანსფორმატორის ინდუქტივობა ნულის ტოლია.
- ასევე ვთვლით, რომ დატვირთვის წრედის ინდუქტივობა უსასრულოდ დიდია, ანუ, სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ვენტილების გამტარ ინტერვალში დატვირთვაში გამავალი დენები დროის მიხედვით არ იცვლება, აღნიშნული დაშვებების გათვალისწინებით, ორივე სქემისათვის, 10.1, გ, დ ნახაზზე მოცემულია დენების და ძაბვების შესაბამისი მრუდები.

როგორც 10.1 გ ნახაზის დიაგრამიდან ჩანს, მართვის კუთხის α -ს მნიშვნელობის მიხედვით, პირველადი დენის იმპულსის სიგანე იცვლება და შესაბამისად იცვლება პირველი ჰარმონიკის ამპლიტუდა და ფაზა.

მეორე შემთხვევაში (10.1 დ ნახაზი) პირველადი დენის ფორმა არ იცვლება და დენის მრუდის ჰარმონიკების შემადგენლობა რჩება მუდმივი.

როგორც საზოგადოდ ცნობილია, გამმართველ სქემებში ცვლადი ძაბვის გამოყენების ძირითად მაჩვენებელს წარმოადგენს სიმძლავრის კოეფიციენტი. ამიტომ საინტერესოა ორივე სქემისთვის განვსაზღვროთ სრული სიმძლავრის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები.

ორივე სქემისთვის აქტიური სიმძლავრე შესაბამისად იქნება:

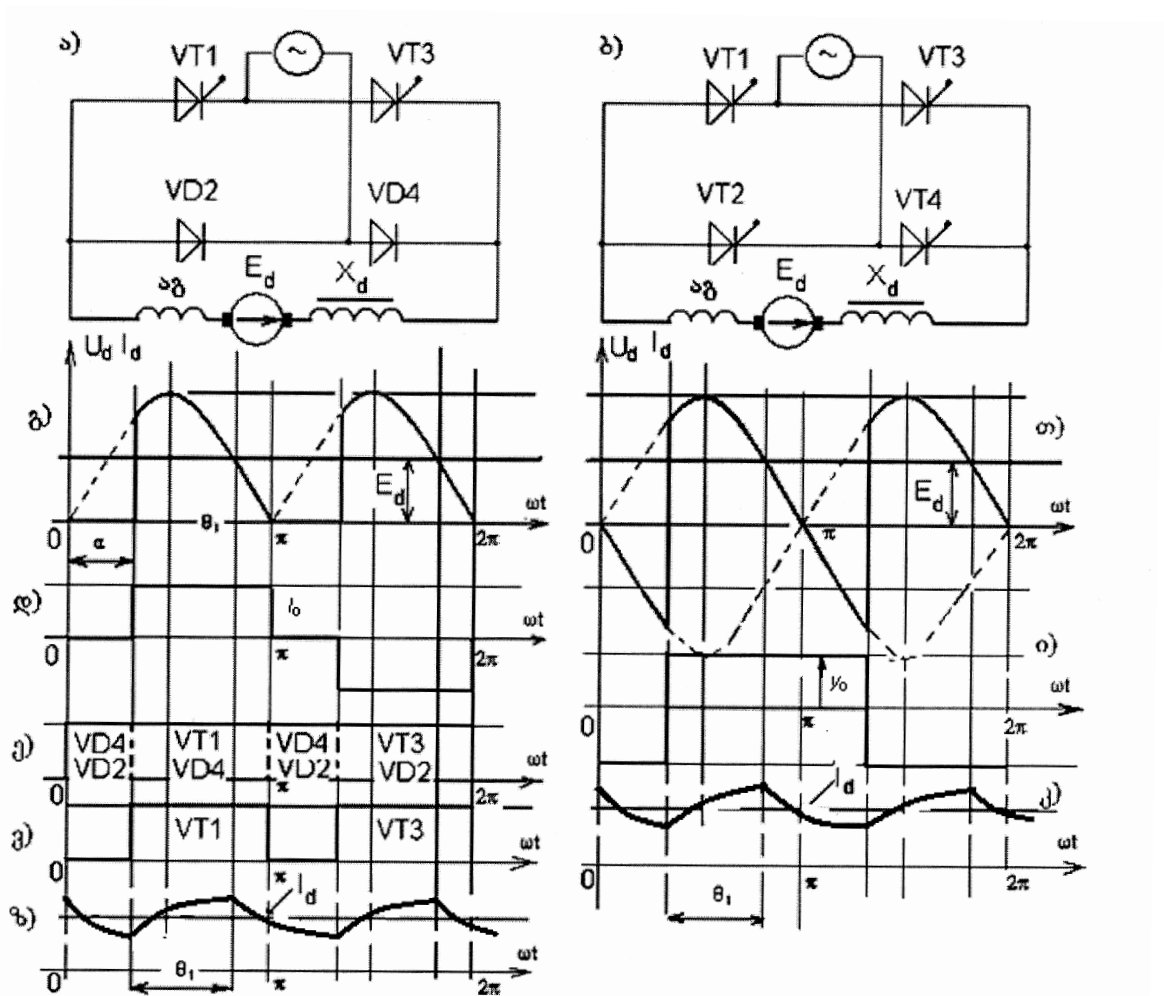
$$P_{11} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \theta I_0 d\theta = \frac{2U_m I_0}{\pi} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \quad (10.1)$$

$$P_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_m \sin \theta I_0 d\theta = \frac{2U_m I_0}{\pi} \cos \alpha. \quad (10.2)$$

რეაქტიულ სიმძლავრეებს განვსაზღვრავთ [12] ლიტერატურაში მოცემული ინტეგრალური გამოსახულებების საფუძველზე

$$Q_{11} = -\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{dU}{d\theta} i d\theta = -\frac{U_m I_0}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \cos \theta d\theta = \frac{2U_m I_0}{\pi} \frac{\sin \alpha}{2}, \quad (10.3)$$

$$Q_{12} = -\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \frac{dU}{d\theta} i d\theta = -\frac{U_m I_0}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \cos \theta d\theta = \frac{2U_m I_0}{\pi} \sin \alpha. \quad (10.4)$$



ნახ. 10.1. ა) ასიმეტრიული და ბ) სიმეტრიული გამმართველების პრინციპული სქემები და დენების და ძაბვების დიაგრამები.

როგორც ეს (10.3)–(10.4) გამოსახულებებიდან ჩანს 10.1, ბ სქემის შემთხვევაში, მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე ორჯერ მეტია.

დენების ეფექტური მნიშვნელობები იქნება:

$$I_{\text{კვ.1}} = I_0 \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}; \quad I_{\text{კვ.2}} = I_0. \quad (10.5)$$

გამართული ძაბვები შესაბამისად იქნება:

$$U_{d1} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \theta d\theta = \frac{2U_m}{\pi} \cdot \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \quad (10.6)$$

$$U_{d2} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_m \sin \theta d\theta = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha. \quad (10.7)$$

თუ გამართული ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, $\alpha = 0$ -ის დროს აღვნიშნავთ U_{d0} -ით, მაშინ რეგულირების ხარისხი ორივე შემთხვევისათვის გამოისახება გამოსახულებებით:

$$C_1 = \frac{U_{d1}}{U_{d0}} = \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}, \quad C_2 = \frac{U_{d2}}{U_{d0}} = \cos \alpha. \quad (10.8)$$

შესაბამისად სიმძლავრის კოეფიციენტები იქნება:

$$\left. \begin{aligned} K_{M1} &= \frac{P_{11}}{UI_{\text{კვ.1}}} = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{1 + \cos \alpha}{\sqrt{\pi - \alpha}}}, \\ K_{M2} &= \frac{P_{12}}{UI_{\text{კვ.2}}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (10.9)$$

სადაც, P_{11} და P_{12} – პირველი ჰარმონიკების სიმძლავრეები.

U , $I_{\text{კვ.1}}$, $I_{\text{კვ.2}}$ – მკვებავი ძაბვის და არასინუსოიდალური დენების ეფექტური მნიშვნელობები.

Q_{11} , Q_{12} – პირველი ჰარმონიკების რეაქტიული სიმძლავრეები.

სიმძლავრის კოეფიციენტების დამოკიდებულება რეგულირების ხარისხზე, ორივე სქემისათვის მოცემულია 10.2 ნახაზზე 1-მრუდით და 2-წრფით.

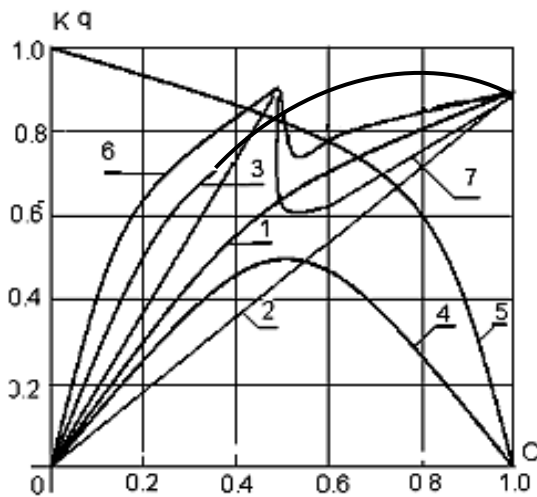
ასევე, ორივე სქემისათვის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარება. აღნიშნული საკითხის გარკვევის მიზნით, Q_{11} და Q_{22} რეაქტიული სიმძლავრეები გავეოთ $\frac{2U_m I_0}{\pi}$ -ზე და განაყოფები შესაბამისად აღვნიშნოთ q_{11} და q_{12} -ით

$$q_{11} = \frac{Q_{11} \pi}{2U_m I_0} \quad \text{და} \quad q_{12} = \frac{Q_{12} \pi}{2U_m I_0};$$

q_{11} და q_{12} -ის დამოკიდებულებები რეგულირების ხარისხზე მოცემულია 10.2 ნახაზზე, 4 და 5 მრუდეების სახით. 1, 2 და 4, 5 მრუდეების შედარებით ვრწმუნდებით, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტი K_{M1} რეგულირების მთელ დიაპაზონში, ბუფერული დიოდებიან სქემაში უფრო მაღალია, ხოლო რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარება

ორჯერ ნაკლებია; მიუხედავად იმისა, რომ დენის ფორმა მკვეთრად და მახინჯებული. ორივე სქემის შემთხვევაში ქსელიდან მოხმარებული დენი არასინუსოიდურია, ფაზით ჩამორჩება ძაბვას, იწვევს ძაბვის დიდ ვარდნებს და მისი ფორმის დამახინჯებას. ასევე, 2 მრუდის და 1 წრფის შედარებით ირკვევა, რომ 10.1 ა ნახაზის სქემის შემთხვევაში სიმძლავრის კოეფიციენტი დაახლოებით 20%-ით მაღალია. ორივე შემთხვევაში სიმძლავრის კოეფიციენტი იზრდება ნულოვანი მნიშვნელობიდან, მაქსიმალურ 0.9 მნიშვნელობამდე.

[12] ლიტერატურაში ერთფაზა გამართული ძაბვის რეგულირების ყველა შესაძლო ვარიანტის გაანალიზების საფუძველზე, რეკომენდებულია რეგულირების სისტემა დენის სიმეტრიული ფორმის შენარჩუნებით $\pi/2$ -ის მიმართ. ასეთი სქემა მოცემულია 10.3 ნახაზზე. აქვეა ძაბვის და დენის დიაგრამები.



ნახ. 10.2. სიმძლავრის კოეფიციენტების და რეაქტიული სიმძლავრეების დამოკიდებულება რეგულირების ხარისხზე, ძაბვის ერთგოლიანი (მრუდები 1;2;3;4;5) და ორ გოლიანი (მრუდები 6;7) რეგულირების დროს.

VD4 დიოდების გზით. შემდეგ ნახევარპერიოდში მართვის იმპულსი ეძლევა VT1 ტირისტორს და აღწერილი პროცესი მეორდება.

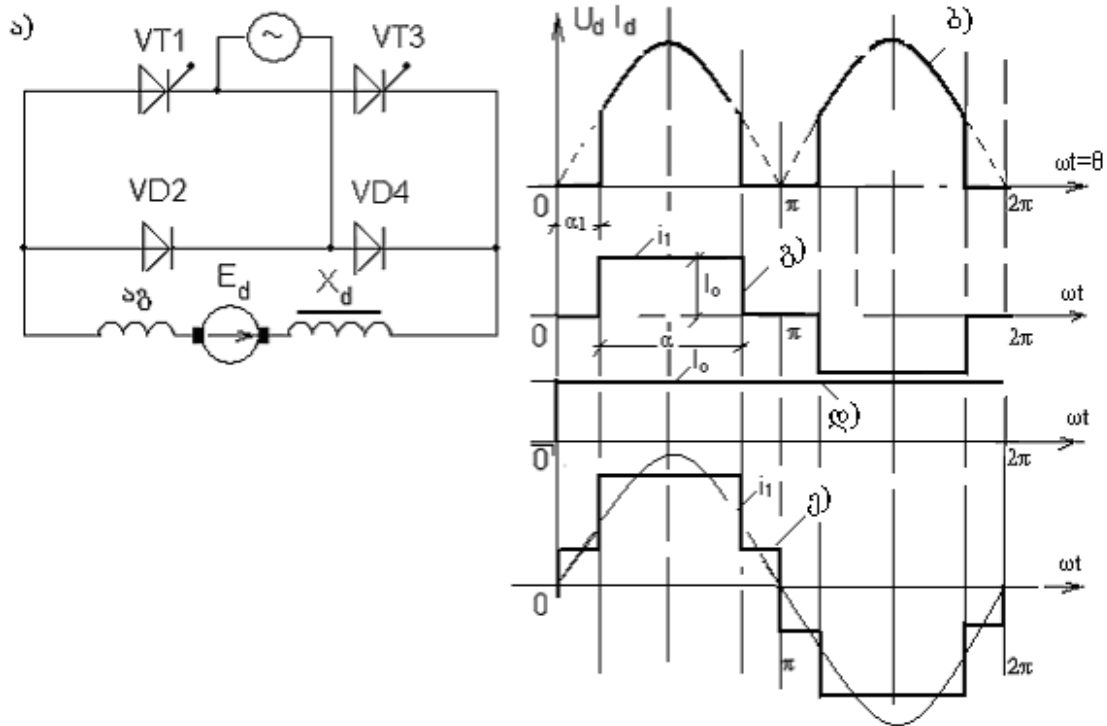
ეს სქემა ერთ-ერთი ავტორის მიერ გამოცდილი იქნა გასული საუკუნის 60-იან წლებში, ხელოვნური კომუტაციის (არასრულად მართვადი) ტირისტორების ბაზაზე, 100კვტ სიმძლავრის მაკეტზე, მოსკოვის ენერგეტიკის ინსტიტუტის ელექტრული ტრანსპორტის კათედრაზე.

როგორც ქსელის დენის დიაგრამიდან ჩანს (ნახ. 10.3 გ), დენის პირველი ჰარმონიკი ფაზით ემთხვევა ქსელის ძაბვას, რაც გამორიცხავს რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარებას. ეს, რა თქმა უნდა, ძაბვის რეგულირების აღწერილი ხერხის მნიშვნე-

როგორც სქემიდან ჩანს, ვენტილები VT1 და VT3 წარმოადგენენ მთლიანად მართვად ტირისტორებს. სქემა მუშაობს შემდეგნაირად:

პირველ ნახევარპერიოდში α_1 მომენტში მართვის სისტემიდან მართვის იმპულსი ეძლევა VT3 ტირისტორს. ტირისტორის გაღების შემდეგ, დენი გადის შემდეგი კონტურით: VT3 - X_d - E_d - VD2. α_2 - მომენტში VT3-ტირისტორს ეძლევა ჩამკეტი (უარყოფითი) მართვის იმპულსი და ის იკეტება. VT3-ტირისტორის ჩაკეტვის შემდეგ, დატვირთვის დენი გადის VD2,

ლოვანი დადებითი მხარეა. ძაბვის ფორმის დამახინჯება და ძაბვის ვარდნები ამ დროს, აგრეთვე, იქნება მინიმალური. რეგულირების ასეთი ხერხის გამოყენებისას საკმარისია მხოლოდ ორი საფეხური, რაც ფაზური რეგულირების ჩვეულებრივ სქემების ოთხი საფეხურის ტოლფასი იქნებოდა. რაც მთავარია, არ მოითხოვება რეაქტიული სიმძლავრის მძლავრი წყარო, რომლის გარეშეც ჩვეულებრივი ფაზური რეგულირების მქონე სქემები ვერ მუშაობენ.



ნახ. 10.3. ფაზური რეგულირების სქემა ბ, გ) ძაბვის და ე) დენის დიაგრამა.

ხანგრძლივ რეჟიმში ქსელის დენის ორსაფეხურიანი ფორმის შემთხვევაში, სიმძლავრის კოეფიციენტი აღწევს 0,975 მნიშვნელობას, ნაცვლად დენის მართკუთხა ფორმის შემთხვევაში არსებული 0,9-მნიშვნელობისა.

რეგულირების განხილული ხერხის შემთხვევაში, ძირითად პარამეტრებს შორის ურთიერთკავშირის დამამყარებელ განტოლებებს ექნებათ შემდეგი სახე:

$$P_{13} = \frac{2U_m I_0}{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}, \quad U_{d3} = \frac{2U_m}{\pi} \sin \frac{\alpha}{2}, \quad I_{\text{გზ3}} = I_0 \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}},$$

$$K_{M3} = \frac{2\sqrt{2}\pi}{\pi} \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\sqrt{\alpha}}, \quad C_{p3} = \frac{U_{d3}}{U_{d0}} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (10.10)$$

(10.10) ფორმულის საფუძველზე გაანგარიშებული და აგებულია სიმძლავრის კოეფიციენტის მრუდი (იხ. ნახ. 10.2 მრუდი 3). როგორც შედარებით ჩანს, რეგულირების ასეთი ხერხის გამოყენებისას სიმძლავრის კოეფიციენტი ყოველთვის მეტია

წინა ორ სქემასთან შედარებით და მაქსიმალურ მნიშვნელობას 0,96096-ს აღწევს, როდესაც რეგულირების კუთხე $\alpha = 2,33(133,5^\circ)$ -ს

10.2. დატვირთვის დენის პულსაცია

10.1 ნახაზზე მოცემული სქემების ანალიზის გამარტივების მიზნით ჩვენ დავეუშვით, რომ დატვირთვის წრედის ინდუქტივობა უსასრულოა, დატვირთვაში და ნახევარგამტარულ ვენტილებში გამავალი დენები, გარკვეულ ინტერვალებში უცვლელია. რეალურ პრაქტიკულ სქემებში ეს, რა თქმა უნდა, ასე არ არის, რადგან დატვირთვის წრედის ინდუქტივობა არაა უსასრულო. ის სასრულო სიდიდეა, რის გამოც დატვირთვაში და ვენტილებში გამავალი დენები პულსირებს. აღნიშნულის გამო, სასურველია ფაზური რეგულირების დროს, განვსაზღვროთ დენის პულსაციის სიდიდე ორივე სქემისათვის.

იგივე დაშვებებისას თუ უგულებელყოფთ ძაბვის ვარდნებს დატვირთვაში, 10.1, ა ნახაზის სქემისათვის, $0 < \theta_1 < \pi$ ინტერვალისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_m \sin \theta = X_d \frac{dI_d}{d\theta} + E_d, \quad (10.11)$$

სადაც, X_d არის დატვირთვის წრედის ჯამური ინდუქტიური წინააღმდეგობა.

E_d არის უკუელექტრომაგნიტური ძალა, რომელიც გარკვეულ დროში უცვლელია და ტოლია გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის,

$$U_d = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha). \quad (10.12)$$

(10.11) გამოსახულებიდან, დატვირთვის დენის პულსაცია ΔI_d (ნახ. 10.1, ზ) შეიძლება გამოვსახოთ როგორც

$$\Delta I_d = \frac{1}{X_d} \int_{\alpha}^{\alpha+\theta_1} [U_m \sin \theta - E_d] d\theta = \frac{1}{X_d} \{U_m [\cos \alpha - \cos(\alpha + \theta_1)] - E_d \theta\}, \quad (10.13)$$

θ_1 -ინტერვალის ხანგრძლიობა განისაზღვრება თანაფარდობიდან,

$$U_m \sin(\alpha + \theta_1) = E_d = \frac{2U_m}{2\pi} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

საიდანაც θ_1 -სთვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\theta_1 = \frac{\arcsin(1 + \cos \alpha)}{\pi} - \alpha. \quad (10.14)$$

θ_1 -ის ცვლილების დიაპაზონია $0 < \theta_1 < \pi$. ნახ. 10.1, ბ-ზე მოცემული სქემისათვის (10.11) განტოლება რჩება ძალაში, ოღონდ ამ შემთხვევაში

$$\frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha = E_d.$$

θ_1 -ის ხანგრძლივობა განისაზღვრება პირობიდან

$$U_m \sin(\alpha + \theta_1) = E_d = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha;$$

აქედან ვწერთ

$$\theta_1 = \arcsin \frac{2}{\pi} \cos \alpha - \alpha. \quad (10.15)$$

ამ შემთხვევაში θ_1 -ის ცვლილების დიაპაზონია $0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$ (10.13) განტოლებაც ამ შემთხვევაში რჩება ძალაში, ოღონდ θ_1 უნდა განისაზღვროს (10.15) განტოლებით. ორივე სქემისათვის დატვირთვის დენების ცვლილება ნაჩვენებია 10.1 ზ და 10.1, კ ნახაზზე.

10.3. მმართველი გამმართველის გარე მახასიათებელი

თუ გავითვალისწინებთ მკვებავი ქსელის და წვევის ტრანსფორმატორის ინდუქტიურ წინააღმდეგობებს, ხოლო დატვირთვის წრედის ინდუქტივობას ჩავთვლით უსასრულოდ დიდს, მაშინ დენების და ძაბვების ფორმებს ექნებათ ნახ. 10.4-ზე მოცემული სახე.

როგორც დიაგრამებიდან ჩანს, გამმართველი ბოგირების ცალკეულ მხრებში გამავალი დენები თავისი ფორმით განსხვავდებიან 10.1 ნახაზზე მოცემული დენებისაგან. დენების გადასვლა გამმართველის ერთი მხრიდან მეორეზე არ ხდება მყისვე. ამ შემთხვევაში გამმართველის ერთ მხარში დენები მდოვრედ მცირდება, ხოლო მეორეში მდოვრედ იზრდება; ანუ გარკვეულ γ და γ_1 ინტერვალებში გამმართველი ბოგირების ყველა ვენტილი ერთდროულად ატარებს დენს, რაც კვების წყაროსათვის მოკლედ შერთვაა.

ნახ. 10.4, ა სქემის $0 < \theta < \gamma$ ინტერვალისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_m \sin \theta = X \frac{dI}{d\theta}, \quad (10.16)$$

სადაც, X არის ქსელის და წვევის ტრანსფორმატორის ჯამური ინდუქტიური წინააღმდეგობა.

თუ მოვახდენთ (10.16) განტოლების ინტეგრირებას, მივიღებთ

$$I = -\frac{U_m \cos \theta}{X} C_1. \quad (10.17)$$

განვსაზღვროთ ინტეგრირების მუდმივა C_1 , საწყისი პირობიდან: როცა $\theta = 0$, $I = -I_0$. მაშინ საბოლოოდ გვექნება

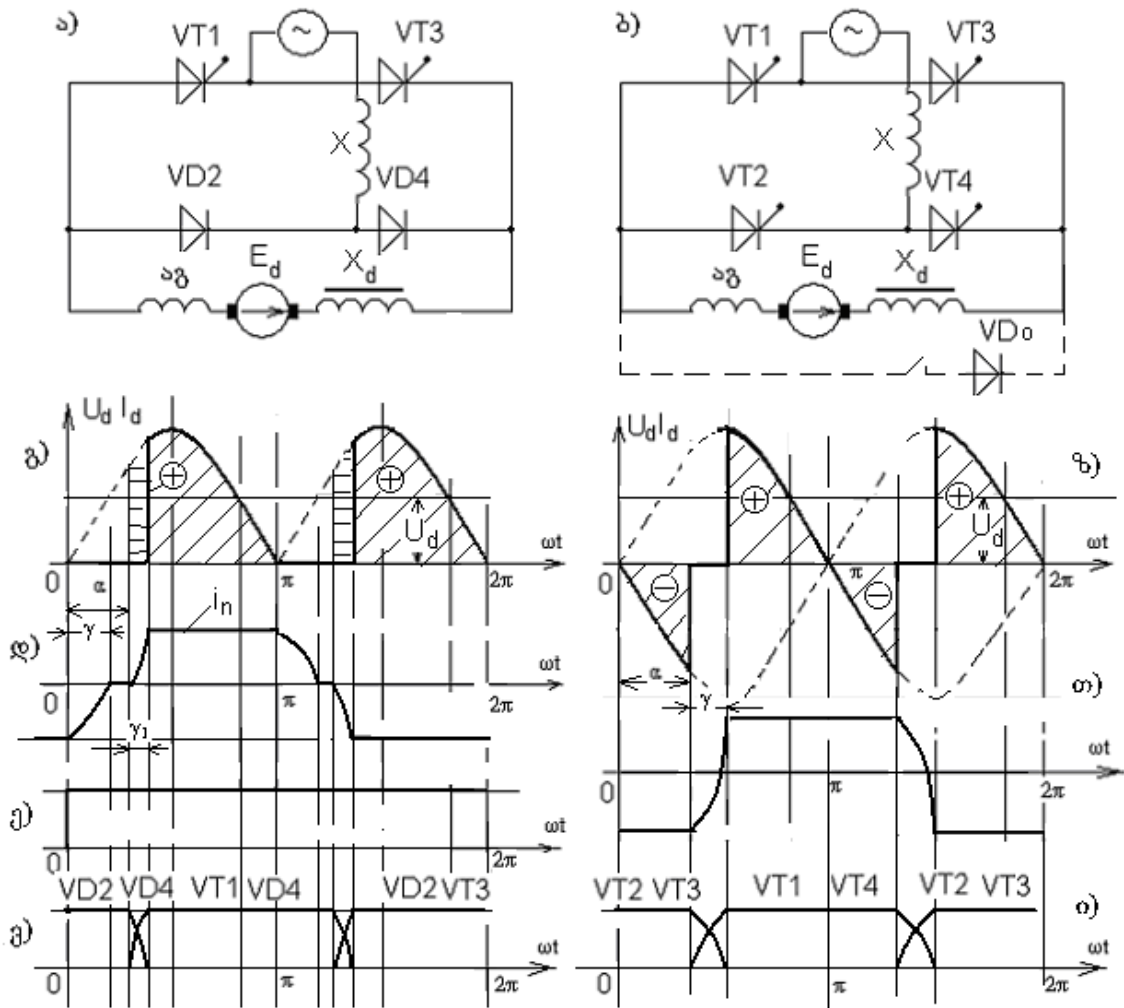
$$I = \frac{U_m}{X} (1 - \cos \theta) - I_0. \quad (10.18)$$

(10.18) ფორმულიდან კომუტაციის კუთხისათვის $\theta = \gamma$ და $I = 0$; გვექნება

$$(1 - \cos \gamma) = \frac{I_0 \cdot X}{U_m} \quad (10.19)$$

როგორც (10.19) ფორმულიდან ჩანს, დენის და ინდუქციობის გაზრდისას γ კუთხე იზრდება, ხოლო კეების ძაბვის გაზრდისას მცირდება.

მართვის კუთხის $\alpha > \gamma$ მნიშვნელობისას, თუ მივცემთ მართვის იმპულსს, მაგალითად VT3 ტირისტორს, მაშინ ქსელის დენი დაიწყებს ზრდას ნულოვანი მნიშვნელობიდან და გაუტოლდება I_0 მნიშვნელობას.



ნახ. 10.4. ა) და ბ) სქემისთვის დენების და ძაბვების დიაგრამები, ქსელის და წვევის ტრანსფორმატორის ინდუქტიური წინააღმდეგობების გათვალისწინებით.

γ_1 დროის განმავლობაში, ასევე განმეორდება მოკლედ შერთვის რეჟიმი. ამ ინტეგრალისათვის, როდესაც $\alpha < \theta < \alpha + \gamma_1$ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_m \sin \theta = X \frac{dI}{d\theta} \quad (10.20)$$

თუ ამ განტოლებას ნულოვანი საწყისი პირობების გათვალისწინებით ამოვხსნით, მივიღებთ

$$I = \frac{U_m}{X} (\cos \alpha - \cos \theta) \quad (10.21)$$

(10.21) ფორმულიდან γ_1 კომუტაციის კუთხისათვის გვექნება

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{I_0 X}{U_m}. \quad (10.22)$$

(10.22) ფორმულიდან ჩანს, რომ γ_1 -ის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია მართვის α კუთხეზე. (10.22) ფორმულის თანახმად $\pi/2$ -მდე ის დასაწყისში მცირდება, ხოლო შემდეგ იწყებს ზრდას. კომუტაციის კუთხე γ , როდესაც $I_0 = const$, $U_m = const$ და $X = const$. მუდმივი სიდიდეა. გამართული საშუალო ძაბვის მნიშვნელობა იქნება:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \theta d\theta - \int_0^{\gamma} U_m \sin \theta d\theta - \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma_1} U_m \sin \theta d\theta \right]. \quad (10.23)$$

საბოლოოდ შეგვიძლია დავწეროთ

$$U_d = \frac{U_m}{\pi} \left[(1 + \cos \alpha) - 2 \frac{I_d X}{U_m} \right]. \quad (10.24)$$

(10.24) ფორმულის გამოსახულებით შეგვიძლია გავთვალოთ და ავაგოთ გარე მახასიათებლების $U_d(I_d)$ ოჯახი, α -ს სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

სიმეტრიული გამართველისთვის (ნახ. 10.4, ბ), როგორც ეს ჩანს 10.4 ზ, თ ნახაზის დიაგრამებიდან, კომუტაცია ხდება ერთჯერადად, γ ინტერვალის ფარგლებში. ამ შემთხვევაში რეზულტირებული საშუალო ძაბვის მნიშვნელობა იქნება

$$U_d = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_m \sin \theta d\theta - \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} U_m \sin \theta d\theta \right]. \quad (10.25)$$

$\alpha < \theta < \alpha + \gamma$ ინტერვალში, (10.16) და (10.17) განტოლებების და სხვა საწყისი მნიშვნელობებისათვის, კერძოდ, როდესაც $\theta = \alpha$, $I = -I_0$, ხოლო როდესაც $\theta = \alpha + \gamma$, $I = +I_0$, გვექნება:

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{2I_d X}{U_m}. \quad (10.26)$$

(10.26) ფორმულის გათვალისწინებით საბოლოოდ გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა იქნება

$$U_d = \frac{2U_m}{\pi} \left(\cos \alpha - \frac{X \cdot I_d}{U_m} \right). \quad (10.27)$$

თუ ვიხელოვანდებით (10.27) ფორმულის გამოსახულებით, მარტივად შეგვიძლია ავაგოთ გარე მახასიათებელთა $U_d(I_d)$ ოჯახი, სხვადასხვა მართვის კუთხის α მნიშვნელობებისათვის.

საბოლოოდ შეგვიძლია დავასკვნათ:

(10.22) და (10.27) ფორმულის გამოსახულებები, რომლითაც ვაგებთ გარე მახასიათებლებს გამართვის ორივე სქემისათვის, წარმოადგენენ სწორი ხაზის განტოლებებს. ეს შესაძლებლობას გვაძლევს გამმართველი წარმოვადგინოთ, როგორც

მუდმივი ძაბვის გენერატორი, $r_{\text{გვ}} = \frac{\Delta U_r}{I_0} = \frac{2X}{U\pi}$ - ეკვივალენტური შიგა წინააღმდეგობით.

გამოდის, რომ ქსელის ინდუქტივობა და წვევის ტრანსფორმატორის ფანტვის ნაკადი, მნიშვნელოვნად ზემოქმედებს გამმართველის გარე მახასიათებელზე.

10.4. კომბინირებული რეგულირება

ფაზური რეგულირება, მიუხედავად სიმარტივისა, მხოლოდ, დენის ფორმის დამახინჯებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობის გამო, პრაქტიკულ სქემებში არ გამოიყენება. ორივე სქემაში, დენის ზრდის სისწრაფე $\frac{dI}{d\theta}$,

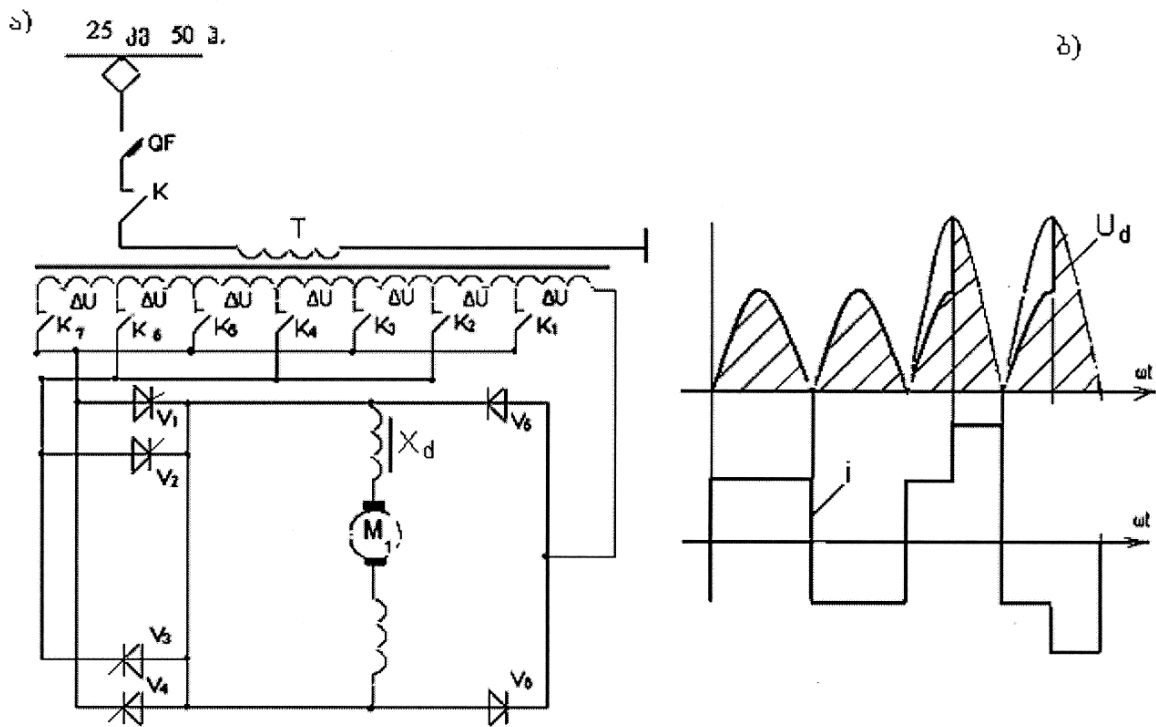
მართვის კუთხის $\frac{\pi}{2}$ მნიშვნელობის ფარგლებში, აღწევს ძალიან დიდ მნიშვნელო-

ბებს. დენის ცვლილების ასეთმა დიდმა სიჩქარემ, შეიძლება უარყოფითი ზეგავლენა მოახდინოს ქსელზე და კავშირგაბმულობის ხაზებზე. ამის თავიდან აცილება შესაძლებელია, თუ გამოვიყენებთ ძაბვის ე.წ. კომბინირებულ (დასექციებულ) რეგულირებას (ნახ. 10.5, ა). ამავე ნახაზზე მოცემულია ორი საფეხურისთვის გამართული, ქსელის ძაბვების და დენების დიაგრამები (ნახ. 10.5, ბ). დენის ასეთი ფორმის

შემთხვევაში, ორსაფეხურიანი სქემისათვის $\frac{dI}{d\theta}$ მცირდება ორჯერ. შესაბამისად, თუ საფეხურთა რიცხვს გავზრდით 4-ჯერ ან მეტად, ის სიდიდე კიდევ უფრო მნიშვნელოვნად შემცირდება.

10.2 ნახაზზე ნაჩვენებია სიმძლავრის კოეფიციენტის დამოკიდებულება რეგულირების ხარისხზე C-ზე, ორი საფეხურისათვის (მრუდი 7), სამ საფეხურისთვის (მრუდი 6). ცხადია საფეხურთა რიცხვის გაზრდით, შესაძლებელია სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელოვანი გაზრდა. ასეთი კომბინირებული რეგულირების საერთო ნაკლია, ტრანსფორმატორის სექციების გადასართველად კონტაქტორული ელემენტების არსებობა სქემაში.

ბოლო დროს ზემოგანხილული სქემების ნაცვლად გავრცელდა კომბინირებული რეგულირების უკონტაქტო სქემები, რომლებიც პრაქტიკულად გამოყენებული იქნა ВЛ-80Р, ВЛ-85 ელექტრომაველებში.



ნახ. 10.5. ძაბვის კომბინირებული რეგულირების სქემა და დენების და ძაბვების დიაგრამები.

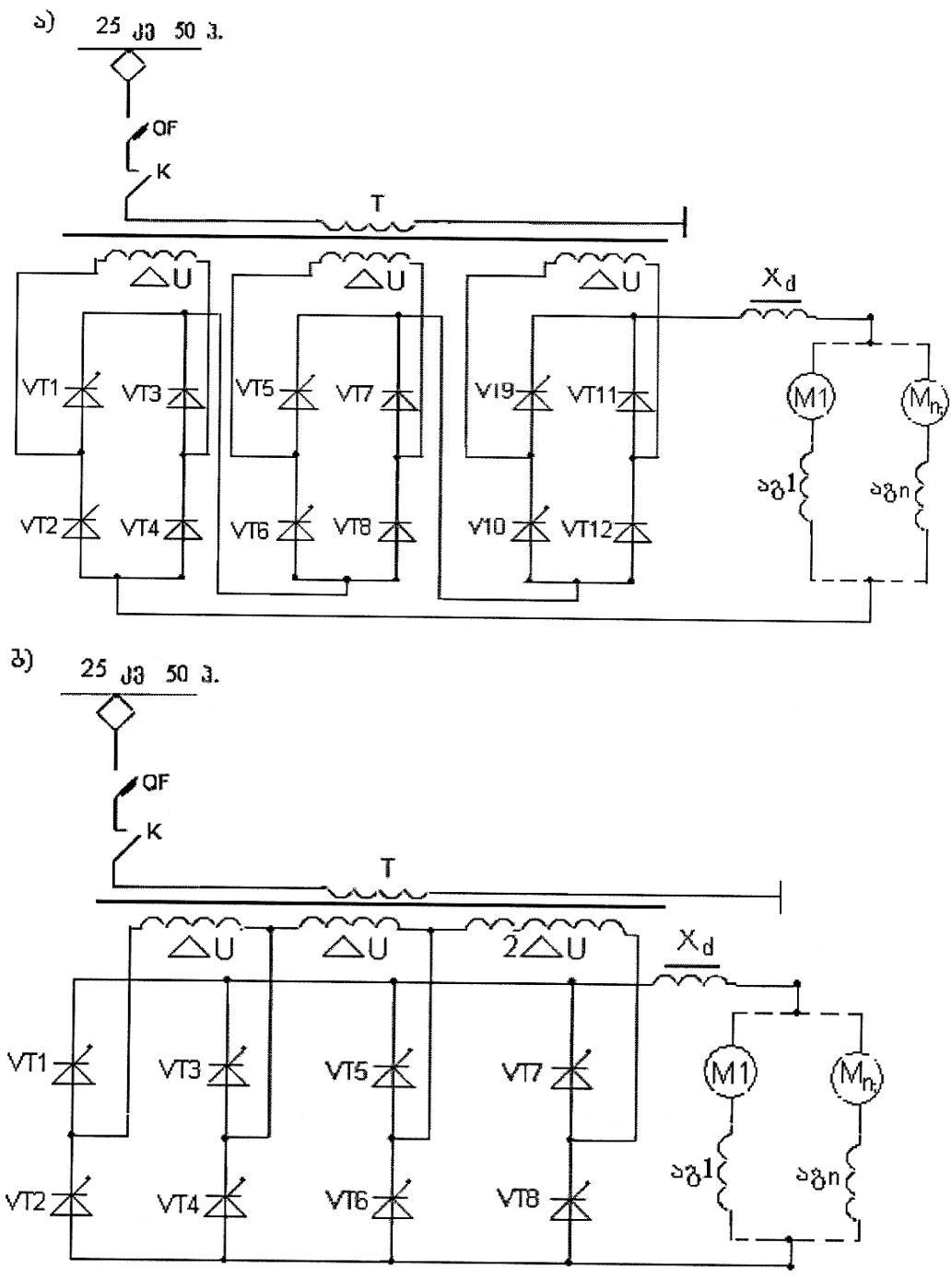
რეგულირების ასეთი სქემა ნახევრებია ნახ. 10.6-ზე. სქემაში, დასაწყისში მდოვრე რეგულირება წარმოებს პირველი ბოგირის მეშვეობით. შემდეგ მორიგეობით მიმდევრობით ირთვება მეორე და მესამე ბოგირი. როგორც ჩანს, ამ სქემაში ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის სექციები ერთმანეთისგან იზოლირებულია.

მეორე სქემაში (ნახ. 10.6, ბ), ყველა ნახევარგამტარული ხელსაწყო მართვადი ტირისტორებია. ამ სქემაში ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის სექციები ერთმანეთთან გაღვანურადაა დაკავშირებული.

10.6, ა ნახაზზე მოცემული სქემის უპირატესობას (ნახ. 10.6, ბ) მოცემულ სქემასთან შეადგენს ის, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტი რეგულირების მთელ დიაპაზონში უფრო მეტია. ნაკლია ის, რომ მახინჯდება ქსელის დენის ფორმა და შეუძლებელია რეკუპერაციული დამუხრუჭება.

10.6, ბ ნახაზზე მოცემულ სქემაში, VT7, VT8 ტირისტორების მართვის გარკვეული კომბინაციით, შესაძლებელია ტრანსფორმატორის მეორადი სამი გრაგნილით მივაღწიოთ ოთხზონიან რეგულირებას. კონკრეტულად, პირველ ზონაში გამართვა და რეგულირება მიმდინარეობს VT1, VT2 და VT3, VT4 მხრებით. მეორე ზონაში აღნიშნული მხრები რჩება მუშაობაში და ემატება VT5, VT6 მხარი. აღნიშნულ მხრებზე მუშაობის დასრულების შემდეგ ხდება გადასვლა VT5-VT8. ამ დროს იხსნება მართვის იმპულსები VT1-VT6 ტირისტორებზე. შემდეგ, რეგულირების

მესამე საფეხურზე იმპულსები მიეწოდება VT3-VT4 მხარს. რეგულირების მეოთხე ზონაში ირთვება VT1,VT2. როდესაც რეგულირება მთავრდება, მუშაობაში ჩართული რჩება მხოლოდ VT1,VT2 და VT7, VT8.



ნახ. 10.6. გამართული ძაბვის მდოვრე კომბინირებული რეგულირების პრაქტიკული სქემები.

ორივე სქემაზე სქემის გადატვირთვის თავიდან აცილების მიზნით, არაა ნაჩვენები რეაქტიული სიმძლავრის მძლავრი წყაროები და ჰარმონიკების საფილტრო მოწყობილობა, რომელთა გარეშე აღნიშნული სქემები არ მუშაობენ.

10.5. ცვლადი დენის პერსპექტიული ელექტრომოდრაგი შემადგენლობა

როგორც პრაქტიკამ აჩვენა, ცვლადი დენის ელექტრომოდრაგ შემადგენლობაზე, ძაბვის როგორც კონტაქტორულ საფეხურებრივ, ასევე მდოვრე რეგულირების სქემებში, ძლიერ მახინჯდება ქსელიდან მოხმარებული დენი, რაც მავნედ ზემოქმედებს კავშირგაბმულობის ხაზებზე და თვით ელექტრომოდრაგების ქსელზე.

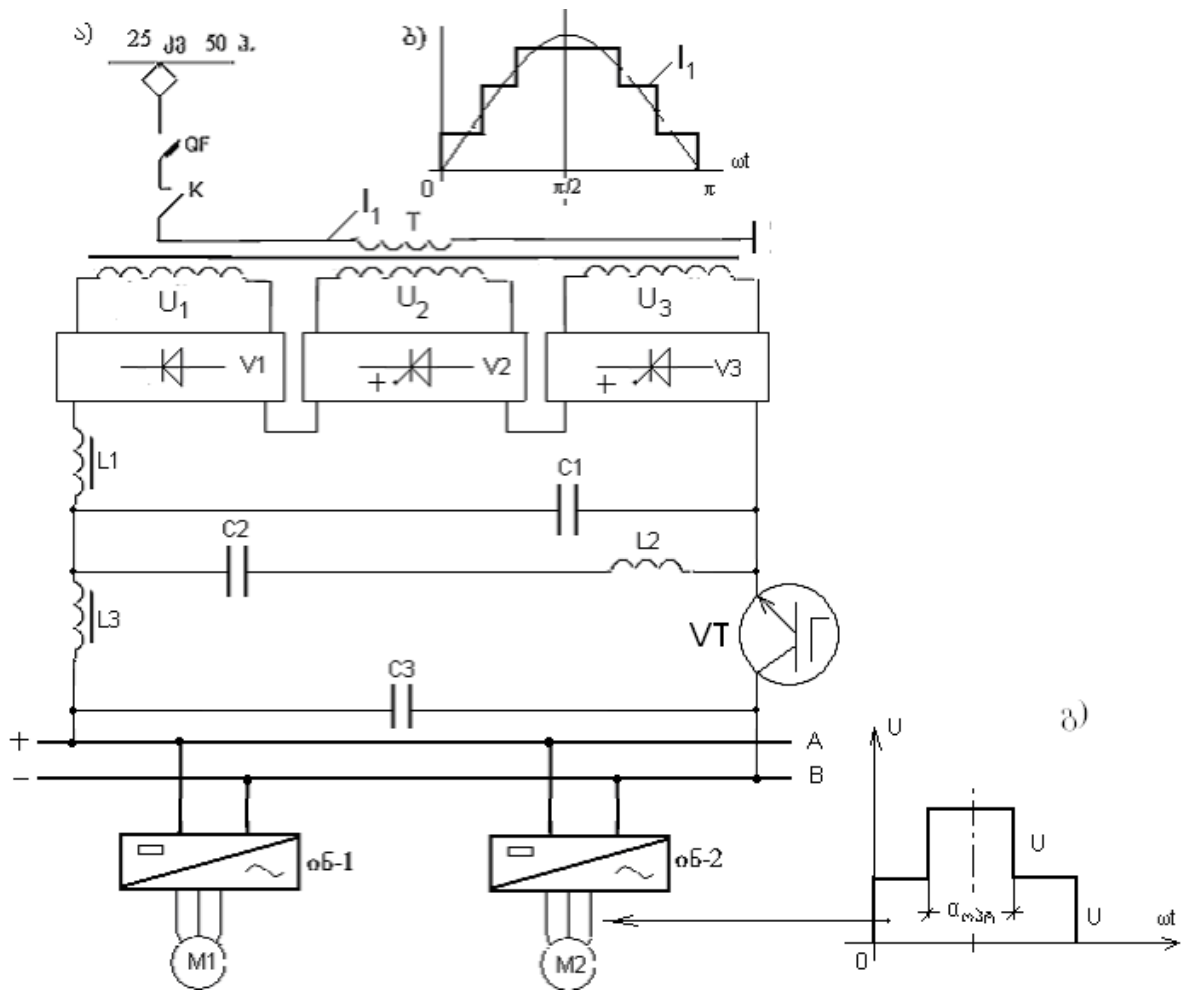
თუ ძაბვის საფეხურებრივი რეგულირებისას, სიმძლავრის კოეფიციენტი და მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე იცვლება მცირე ფარგლებში, ამას ვერ ვიტყვით მდოვრე რეგულირების სქემებისთვის, რომლებშიც სიმძლავრის კოეფიციენტი იცვლება 0-ვანი მნიშვნელობიდან მაქსიმალურ $-0,9$ მნიშვნელობამდე; ხოლო რაც შეეხება რეაქტიულ სიმძლავრეს, ის იგივე რიგისაა, რაც აქტიური სიმძლავრე. ყოველივე აღნიშნული, ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში იწვევს საკონტაქტო ქსელის ძაბვის ფორმის მკვეთრ დამახინჯებას და შემცირებას 27 000 ვოლტიდან 16 000 ვოლტამდე, რაც თავის მხრივ ამცირებს უბნებზე მოძრაობის სიჩქარეს.

დღეისათვის მძლავრი GTO და IGCT ტირისტორების და IGBT ტრანზისტორების არსებობის შემთხვევაში, რომლებიც მუშაობენ ათასობით ვოლტ ძაბვაზე და ათასობით ამპერ დენზე, შესაძლებელი და აუცილებელია უარი ვთქვათ კლასიკურ ფაზური რეგულირების პრინციპზე და გადავიდეთ რეგულირების ახალ, თანამედროვე ხერხებზე.

[3,4] შრომებში შემოთავაზებულია ძაბვის მდოვრე რეგულირების სხვადასხვა სქემა, რომლებშიც ქსელის დენს აქვს თითქმის სინუსოიდალური ფორმა და ფაზით ემთხვევა ძაბვას. რა თქმა უნდა, ამ შემთხვევაში სიმძლავრის კოეფიციენტი მაქსიმალური და უცვლელია, ხოლო ცვლადი ძაბვა გამოიყენება მაქსიმალურად. ნახ. 10.7-ზე მოცემულია ძაბვის რეგულირების ერთ-ერთი ასეთი სქემა, რომელშიც წვევის ძრავებად გამოყენებულია ასინქრონული მანქანები.

როგორც 10.7, ა ნახაზის სქემიდან ჩანს, წვევის ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილი შედგება ერთმანეთისგან იზოლირებული (დენის სამსაფეხურიანი ფორმა) სამი სექციისაგან U_1, U_2, U_3 ძაბვებით, რომლებიც კვებავენ V_1, V_2 და V_3 გამმართველ ბოგირებს. პირველი ბოგირი V_1 არის არამართვადი და იძლევა I_1 დენის პირველ საფეხურს. შემდეგი ორი ბოგირი V_2 და V_3 მართვადია და იძლევა შემდეგ საფეხურებს. პირველადი I_1 დენის ფორმა L_1, C_1 და L_2, C_2 ფილტრების გარეშე ნაჩვენებია 10.7, ბ ნახაზზე. დენის ასეთი სამსაფეხურიანი ფორმისას ჰარმონიკების ფილტრების L_1, C_1 და L_2, C_2 გამოყენების შემთხვევაში, რეალურ დენს პრაქტიკუ-

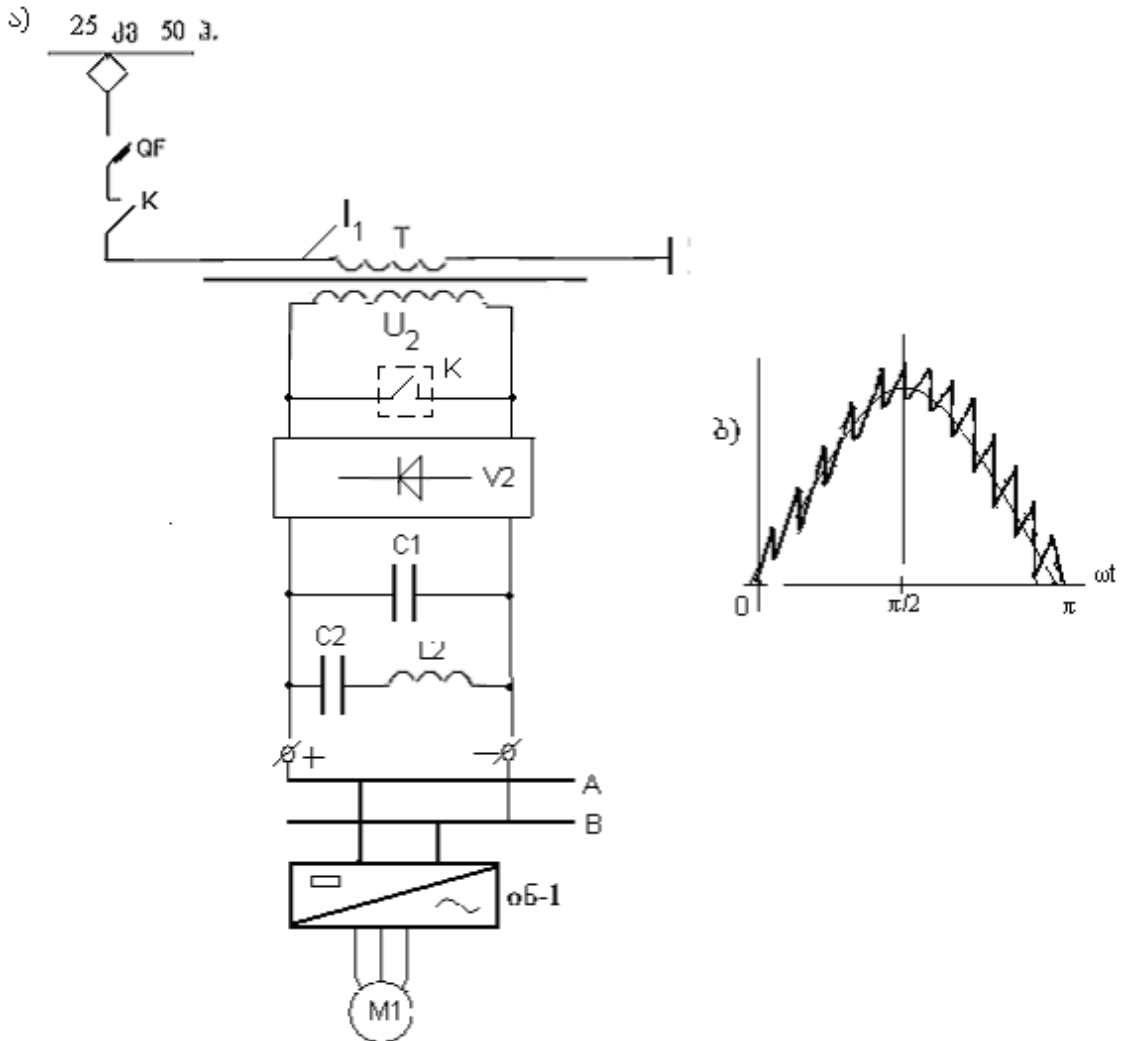
ლად აქვს სინუსოიდალური ფორმა და ფაზით ემთხვევა ძაბვას. ამ დროს სიმძლავრის კოეფიციენტი იქნება უცვლელი, მაქსიმალური და ტოლი 0,99-ის. L1,C1 და L2, C2 ფილტრებზე არსებული გამართული ძაბვა VT ტრანზისტორის საშუალებით რეგულირდება, სტაბილიზირდება და მიეწოდება A,B სალტეს. სალტიდან სტაბილური ძაბვა ინ-1 და ინ-2 ინვერტორებით მიეწოდება ცალკეულ M1 და M2 ასინქრონულ წვეის ძრავებს. ის, რომ ყოველი ასინქრონული ძრავა იკვებება ცალკე ინვერტორიდან განპირობებულია იმით, რომ ასინქრონულ ძრავებს, დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავების მსგავსად, აქვთ ხისტი მახასიათებელი, რაც ართულებს მათ პარალელურ მუშაობას.



ნახ. 10.7. ა) ცვლადი დენის პერსპექტიული ელექტრომოდრავი შემაღლელობის პრინციპული სქემა; ბ) ქსელის დენის სამსაფეხურიანი დიაგრამა, გ) ასინქრონული ძრავას მომჭერებზე ძაბვის ოპტიმალური ორსაფეხურიანი დიაგრამა.

ნახ. 10.8, ა-ზე მოცემულია ტექნიკურ ლიტერატურაში “4-კვადრანტიან” (4q-S) სქემად წოდებული ძაბვის რეგულირების გამარტივებული სქემა [5]. პირობითად “K” მწვევტარას (ტირისტორული ან ტრანზისტორული) ციკლური გადართვის მეშვეობით, დიოდური V გამმართველის შესასვლელზე ფორმირდება $\sin^2 \omega t$ -ის

პროპორციული დენი. ამ შემთხვევაში დენს ექნება მუდმივი მდგენელი, რომლის სიხშირე ორჯერ აღემატება კვების წყაროს სიხშირეს. ნახ. 10.8, ა სქემაზე C_2L_2 ფილტრი გაწყობილია გამართული დენის მეორე ჰარმონიკაზე, განსხვავებით ნახ. 10.7, ა სქემისაგან, სადაც ის გაწყობილია საფეხურისებრი დენის ჰარმონიკებზე.



ნახ. 10.8. ცვლადი დენის პერსპექტიული ელექტრომოდრავი
შემადგენლობის: ა) ე.წ. “4-კვადრანტული” სქემა და
ბ) ქსელის დენის დიაგრამა

ნახ. 10.8, ა-ზე წარმოდგენილი სქემა წვევის ტრანსფორმატორს უყენებს სპეციალურ მოთხოვნას. კერძოდ, ტრანსფორმატორს უნდა ჰქონდეს ფანტვის დიდი ინდუქტივობა, რომ შეძლოს მოკლედ შერთვის დენის შეზღუდვა.

ნახ. 10.8, ა-ზე წარმოდგენილი სქემის ნაკლს ნახ. 10.7, ა. სქემასთან შედარებით წარმოადგენს ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებში გაზრდილი სიხშირის (500-1 000 ჰერცი) გამო დიდი დანაკარგები. ნაკლად უნდა ჩაითვალოს ასევე, საკონტაქტო ქსელის მოკლედ შერთვა წვევის ტრანსფორმატორის გავლით. ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილის დენის ფორმა მოცემულია ნახ. 10.8, ბ-ზე.

XI თაზო

ელექტრომოძრავი შემადგენლობა ასინქრონული წევის ძრავებით

11.1. ზოგადი ცნობები

მუდმივი და პულსირებული დენის მიმდევრობით აგზნებიანი წევის ძრავების, მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობებზე ხანგრძლივმა გამოყენებამ, დაადასტურა მათი საკმაოდ კარგი საექსპლუატაციო მონაცემები. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მათი კარგი და საიმედო მუშაობა პარალელურ რეჟიმში (ნებისმიერი რაოდენობის ძრავების შემთხვევაში), დატვირთვის გამათანაბრებელი ყოველგვარი დამატებითი მოწყობილობების გამოყენების გარეშე, რომლის გარეშეც სხვა ტიპის წევის ძრავებს, (ხისტი მახასიათებლების გამო) არ შეუძლიათ მუშაობა. უნდა აღინიშნოს საკონტაქტო ქსელში ძაბვის მერყეობის ნაკლები ზეგავლენას ამ ტიპის ძრავების მუშაობის რეჟიმზე. აღსანიშნავია ამ ძრავების კონსტრუქციის სირთულე, შესაბამისად სიძვირე და დაბალი საიმედოობა; დიდი საექსპლუატაციო ხარჯები და სხვა. ძალური ელექტრონიკის სერიოზულმა მიღწევებმა, მნიშვნელოვნად გაზარდა ელექტრომოძრავი შემადგენლობაზე მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული წევის ძრავების გამოყენებისადმი ინტერესი. სიჩქარის ელექტრონული რეგულირების სისტემებით აღჭურვილ ასინქრონული ძრავების ძირითად უპირატესობას მიეკუთვნება:

- თვით ასინქრონული ძრავას კონსტრუქციული სიმარტივე და საიმედოობა.
- სიხშირის გარდამქნელის და მართვის სისტემის მაღალი საიმედოობა.
- ხისტი მექანიკური მახასიათებლების გამო, ელექტრომოძრავი შემადგენლობის წევრთი თვისებების მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება.
- სპილენძის სოლიდური ეკონომია (2,5-3-ჯერ ნაკლები), მუდმივ და პულსირებულ დენზე მომუშავე ძრავებთან შედარებით.
- დიდი გადატვირთვის უნარი (შეზღუდვის გარეშე).

ნაკლს მიეკუთვნება – პარალელურად მომუშავე შტოებში დატვირთვის გამათანაბრებელი, დამატებითი ზუსტი სისტემების გარეშე მუშაობის შეუძლებლობა, გენერატორულ რეჟიმში მუშაობის არაეკონომიურობა.

დღეისათვის მძლავრი (ათასობით ამპერ დენზე და ვოლტ ძაბვაზე), სრულად მართვადი GTO და IGCT სერიის ტირისტორების და, ასევე, დიდი სიმძლავრის IGBT ტრანზისტორების არსებობა შესაძლებელს ხდის შეიქმნას საიმედოდ მომუშავე

სიხშირის გარდამქმნელები, ასინქრონული ძრავების სიჩქარის მდოვრე რეგულირებისათვის, რაც სატრანსპორტო საშუალებისადმი ერთ-ერთი უმთავრესი მოთხოვნაა.

ზემოაღნიშნული ნახევარგამტარული ხელსაწყოების შექმნამდე, 50-60 წლის განმავლობაში, იყო ცდები არასრულად მართვადი, ხელოვნური კომუტაციის მქონე სწრაფმომქმედი ტირისტორების ბაზაზე აეთვისებინათ ასინქრონული წვეის ძრავები. დამზადდა და გამოიცადა ელექტრომაგვლების და ელექტრომატარებლების საცდელი ნიმუშები, მაგრამ მათ გავრცელება ვერ ჰპოვეს. ქვემოთ განვიხილავთ ასინქრონული ძრავების მუშაობის პრინციპს და ძირითად მახასიათებლებს.

11.2. ასინქრონული ძრავას მუშაობის პრინციპი და ძირითადი მახასიათებლები

ასინქრონული მანქანის მუშაობის პრინციპის უკეთ გაგების მიზნით მივიღოთ, რომ მისი მბრუნავი მაგნიტური ველი იქმნება ორი პოლუსის (მუდმივი მაგნიტების, ან ელექტრომაგნიტების) ბრუნვის შედეგად, როგორც ნახვენებია 11.1, ა ნახაზზე. როტორის მოკლედ შერთულ გრაგნილში დაინდუქტირდება ელექტრომამოძრავებელი ძალა და გაივლის დენი. დენის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით. მარცხენა ხელის წესით განისაზღვრება მომენტის მიმართულება, რომელიც აბრუნებს როტორს. მაგნიტური ველის ბრუნვის სიჩქარე აღვნიშნოთ n_0 -ით. მას **სინქრონული სიჩქარე** ეწოდება. როტორის ბრუნვის სიჩქარე აღვნიშნოთ n -ით.

სხვაობას $(n_0 - n)$ უწოდებენ **სრიალის სიჩქარეს**, ხოლო სიდიდეს $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ **სრიალი**

ეწოდება. აღნიშნულიდან ჩანს, რომ როტორი მოძრაობაში მოდის მბრუნავი მაგნიტური ველის და როტორის გრაგნილის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ურთიერთქმედებით. აქ მსგავსებაა მუდმივი დენის მანქანასთან. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ორივე მაგნიტური ველი ცვლადია. რეალურ ასინქრონულ მანქანაში მბრუნავი მაგნიტური ველი იქმნება სამ, ერთმანეთისგან 120° კუთხით წანაცვლებულ გრაგნილებში გამავალ სამფაზა დენით. მათემატიკურად ეს შეიძლება დადასტურდეს შემდეგი გამოსახულებით:

$$B_A + B_B + B_C = B_m \sin \omega t \cos \frac{\pi x}{\tau} + B_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \cos \left(\frac{\pi x}{\tau} - \frac{2\pi}{3} \right) + B_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \cos \left(\frac{\pi x}{\tau} - \frac{4\pi}{3} \right) = \frac{2}{3} B_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi x}{\tau} \right), \quad (11.1)$$

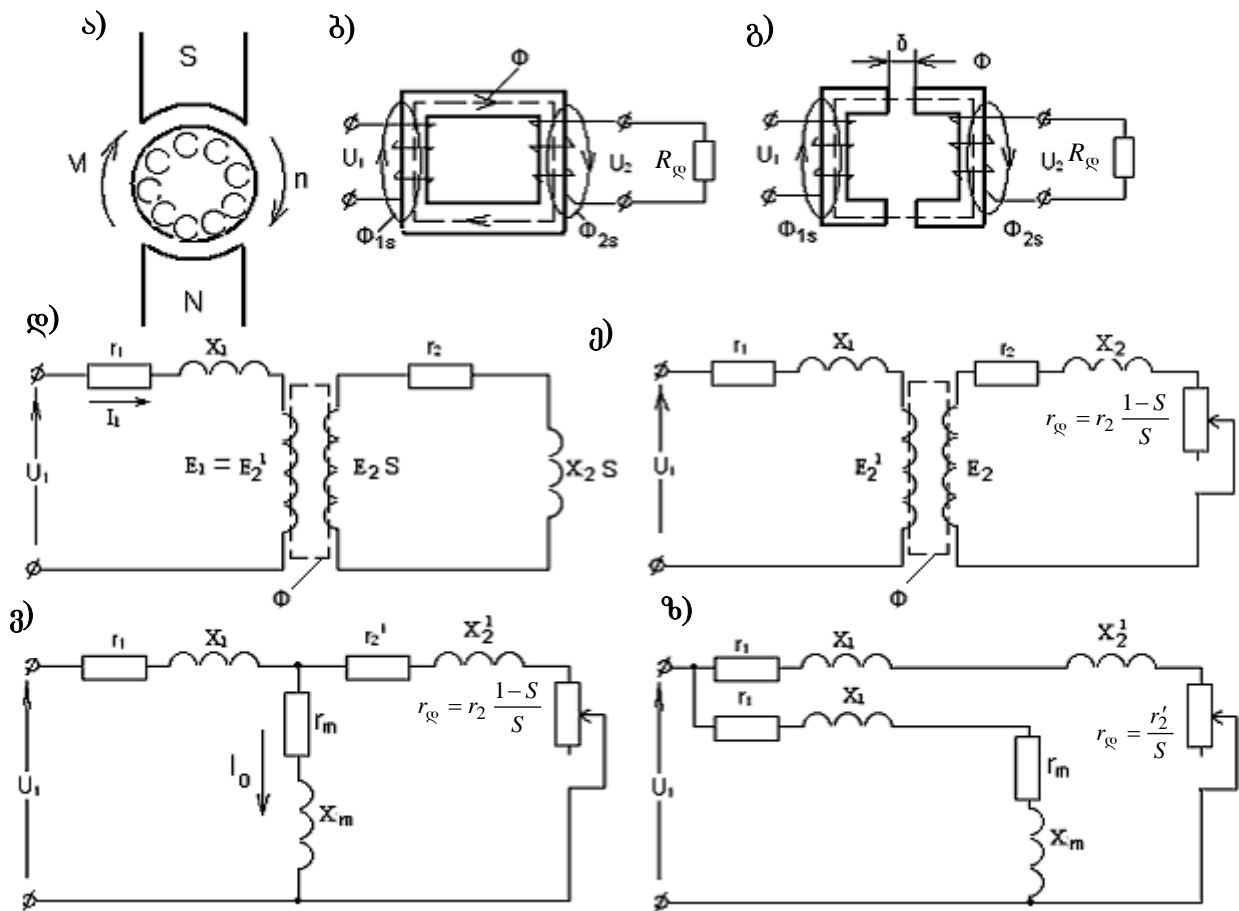
სადაც, B_A, B_B, B_C არის სტატორის მაგნიტოგამტარში ინდუქციები.

$\tau = \frac{\pi D}{2P}$ - საპოლუსე დანაყოფი; $2p$ წყვილპოლუსთა რიცხვი.

X - კოორდინატთა სისტემის კოორდინატა.

ეს მაგნიტური ველი, რომელიც ბრუნავს n_0 სიჩქარით, როტორში წარმოქმნის n სიჩქარით მბრუნავ მაგნიტურ ველს. ამ ორი მბრუნავი მაგნიტური ველის ურთიერთქმედება წარმოქმნის მბრუნებელ მომენტს. ეს არ შეიძლება ითქვას სამფაზა ტრანსფორმატორზე, სადაც, მართალია, არსებობს 120° კუთხით წანაცვლებული სამფაზა დენი, მაგრამ გრაგნილები, რომლებშიც ეს დენი გადის, განლაგებულია ერთ სიბრტყეში. ტრანსფორმატორებში დროის ნებისმიერ მომენტში ადგილი აქვს ტოლობას:

$$B_m \sin \omega t + B_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) + B_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) = 0. \quad (11.2)$$



ნახ. 11.1. ასინქრონული ძრავას ჩანაცვლების სქემები.

11.3. ასინქრონული ძრავას ექვივალენტური ჩანაცვლების სქემა

ასინქრონული ძრავა უძრავი როტორით წარმოადგენს იგივე ტრანსფორმატორს, რომელიც ჩვეულებრივი ტრანსფორმატორისგან განსხვავდება გრაგნილების განლაგების კონსტრუქციული შესრულებით (სტატორზე, როტორზე) და საჭაერო ღრეხოს არსებობით. არსებითი განსხვავება მათ შორის არაა, რადგან ურთიერთქმედება

სტატორსა და როტორს შორის იგივეა, რაც ურთიერთქმედება საჰაერო ღრეჩოთი შესრულებულ ტრანსფორმატორის პირველად და მეორად გრაგნილებს შორის.

11.1, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ტრანსფორმატორის სქემა თავისი დამამაგნიტებელი Φ და ფანტვის Φ_{1s}, Φ_{2s} ნაკადებით. 11.1, გ ნახაზზე ნაჩვენებია იგივე სქემა, ოღონდ საჰაერო δ ღრეჩოთი. ამ თვალსაზრისიდან გამომდინარე ასინქრონული ძრავას შესწავლა მიზანშეწონილია დავიწყოთ ისევე, როგორც ტრანსფორმატორის შესწავლა. სრული ანალოგიისათვის განვიხილოთ ფაზურ როტორიანი ასინქრონული ძრავა. როგორც ეს 11.1, გ ნახაზზე ნაჩვენებია სქემიდან ჩანს, სტატორსა და როტორს შორის ელექტრომაგნიტური კავშირი ხდება მბრუნავი ველის ძირითადი Φ ნაკადით. უძრავი როტორის შემთხვევაში მის ფაზებში ინდუქტირდება E_2 ელექტრომამოძრავებელი ძალა, ხოლო მოძრავი როტორის შემთხვევაში ინდუქტირდება $E_{2s} = E_2 S$ ელექტრომამოძრავებელი ძალა. X_1 და X_2 ინდუქტიური წინააღობები განპირობებულია Φ_{1s} და Φ_{2s} ფანტვის ნაკადებით. როტორის დენის სისშირე განისაზღვრება როტორის ბრუნთა რიცხვით სტატორის მაგნიტური ველის მიმართ და ტოლია $f_2 = f_0 S$. ტრანსფორმატორის მსგავსად 11.1, ე ნახაზზე მოცემული ჩანაცვლების სქემა შეიძლება შეიცვალოს 11.1, გ ნახაზზე მოცემული სქემით, რომელიც უფრო სრულად აღწერს ასინქრონულ ძრავაში მიმდინარე პროცესს.

როტორის მეორადი წრედის დენი ბრუნვისას (ნახ. 11.1, დ) იქნება

$$I_2 = \frac{E_2 S}{\sqrt{r_2^2 + (X_2 S)^2}}. \quad (11.3)$$

ეს გამოსახულება შეგვიძლია ჩავწეროთ სხვაგვარად

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{S}\right)^2 + X_2^2}}. \quad (11.4)$$

(11.4) ფორმულის გამოსახულება არა თუ განსხვავდება (11.3) ფორმულის გამოსახულებიდან, არამედ მას აქვს სულ სხვა ფიზიკური არსი.

კერძოდ, (11.4) ფორმულის გამოსახულების თანახმად, მბრუნავი მანქანის ნაცვლად შეგვიძლია განვიხილოთ უძრავი როტორი, რომელშიც ინდუქტირდება E_2 ემძ. ამ დროს ინდუქტიური წინააღობა ტოლია X_2 -ის, ხოლო აქტიური წინააღობა გაიზარდა $r_{\text{ფ}} = \frac{r_2(1-S)}{S}$, რადგან $\frac{r_2}{S} = r_2 + \frac{r_2(1-S)}{S}$. პირველადი და მეორადი წრედის I_1 და I_2 დენები რჩება უცვლელი. ამ დროს ძრავას მიერ მბრუნავ ლილვზე განვითარებული სიმძლავრე, ტოლი იქნება $r_{\text{ფ}} = \frac{r_2(1-S)}{S}$ დამატებითი წინააღობის მიერ ქსელიდან

მოთხოვნილი სიმძლავრის. ამრიგად 11.1, დ ნახაზზე მოცემული ინდუქციური ძრავას ეკვივალენტური სქემა, შეგვიძლია შევცვალოთ მეორად წრედში დამატებითი წინაღობის $r'_2 = \frac{r_2(1-S)}{S}$ შემცველ 11.1, ე ნახაზზე მოცემული სქემით.

დაყვანილი ძაბვა
$$E'_2 = E_1 = E_2 \frac{W_1}{W_2}$$

E_2S -ისაგან განსხვავებით, E_2 -ს აქვს მკვებავი ქსელის სიხშირე. r'_2 და X'_2 წარმოადგენენ პირველად მხარეს დაყვანილ წინააღმდეგობებს და შესაბამისად უტოლდებიან:

$$r'_2 = K \cdot r_2 ; \quad X'_2 = K \cdot X_2 = K \cdot \omega_0 \cdot L'_2 ; \quad X_1 = \omega_0 L_1 ,$$

K – ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ასინქრონული მანქანის რეჟიმების აღმწერ მათემატიკური გამოსახულებების გამარტივების მიზნით, შეგვიძლია უგულებელვყოთ დამაგნიტების დენის და პირველად გრაგნილში $I_1 r_1$ ძაბვის ვარდნის ცვლილებები და ვისარგებლოთ 11.1, ზ ნახაზზე მოცემული ჩანაცვლების სქემით.

11.4. მექანიკური მახასიათებლის განტოლება

11.1, ე ნახაზზე მოცემული ჩანაცვლების სქემის მიხედვით, მეორადი დენის გამოსახულებას ექნება შემდეგი სახე

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{S}\right)^2 + X_k^2}} . \tag{11.5}$$

ცნობილია, რომ როტორის ლილვზე სიმძლავრე ტოლია $P = M\omega_0 S$; მეორეს მხრივ ეს სიმძლავრე ტოლია $P = 3(I'_2)^2 r'_2$; თუ მათ გაუტოლებთ ერთმანეთს და განვსაზღვრავთ მომენტს M -ს, მივიღებთ

$$M = \frac{3(I'_2)^2}{\omega_0} \cdot \frac{r'_2}{S} , \tag{11.6}$$

თუ I'_2 -ის ნაცვლად შევიტანოთ მის მნიშვნელობებს (11.5) ფორმულიდან (11.6) ფორმულაში, მივიღებთ

$$M = \frac{3}{\omega_0} \cdot \frac{U_1^2}{\left(r_1 + \frac{r'_2}{S}\right)^2 + X_k^2} \cdot \frac{r'_2}{S} . \tag{11.7}$$

თუ აუცილებელია მომენტი გავზომოთ 6.8-ში, (11.7) ფორმულის გამოსახულება უნდა გავყოთ 9.81-ზე.

ცნობილია აგრეთვე, რომ მუდმივი დენის ძრავების მსგავსად მომენტი ტოლია

$$M = K_1 I_2' \Phi \cos \Psi_2, \quad (11.8)$$

სადაც, K_1 – არის ძრავას კონსტრუქციული მუდმივი კოეფიციენტი.
 $\cos \Psi_2 - E_2$ ძაბვასა და დენს შორის კუთხის კოსინუსი.

ჩვეულებრივ $\cos \Psi_2$ მიხედვით ერთის ტოლია.

(11.7) ფორმულის რთული გამოსახულება შეგვიძლია რამდენადმე გაავამარტივოთ, თუ (11.7) ფორმულიდან განვსაზღვრავთ dM/dS წარმოებულს და გაუტოლებთ 0-ს. ცნობილი მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ, მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებებს:

$$M_k = \pm \frac{3U_1^2}{2\omega_0 [r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + X_k^2}]}, \quad (11.9)$$

$$S_k = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + X_k^2}}. \quad (11.10)$$

მიღებულ გამოსახულებებში ნიშანი “+” შეესაბამება ძრავულ რეჟიმს, ხოლო ნიშანი “-“ გენერატორულ რეჟიმს.

სადაც, M_k არის მომენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

S_k – სრიალის ის მნიშვნელობა, როდესაც მომენტი აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

$X_k = X_1 + X_2'$ მოკლედ შერთვის ინდუქტიური წინაღობაა.

გავეყთ (11.7) ფორმულა (11.9) ფორმულაზე, რაც საშუალებას გვაძლევს დავწეროთ

$$M = \frac{2M_k(1 + aS_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2aS_k}, \quad (11.11)$$

სადაც $a = \frac{r_1}{r_2'}$.

მეტწილ შემთხვევებში (ეს განსაკუთრებით ეხება დიდი სიმძლავრის ასინქრონულ ძრავებს), გაანგარიშების სიზუსტის შენარჩუნებით შეგვიძლია უგულებელვყოთ სტატორის გრაგნილის აქტიური წინაღობა r_1 სიმცირის გამო, რაც საშუალებას მოგვცემს (11.9), (11.10) და (11.11) ფორმულის გამოსახულებები ჩავწეროთ ასე

$$M_k = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 X_k}, \quad (11.12)$$

$$S_k = \pm \frac{r_2'}{X_k}, \quad (11.13)$$

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}. \quad (11.14)$$

(11.14) ფორმულის გამოსახულების შემდგომი გამარტივება შეგვიძლია ვაწარმოოთ S სრიალის მცირე მნიშვნელობების დროს, $\frac{S}{S_k}$ -ის უგულებელყოფით. ამ შემთხვევაში (11.14) ფორმულის ნაცვლად, გვექნება

$$M = \frac{2M_k}{S_k} \cdot S. \quad (11.15)$$

მიღებული (11.15) ფორმულა აღწერს ე.წ. მახასიათებლის წრფივ უბანს, რომელიც ანალოგიურია დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას მახასიათებლის ძრავას მომენტსა და სიჩქარეს შორის დამოკიდებულების უფრო ზუსტი ფორმულა შეგვიძლია მივიღოთ (11.14) ფორმულის გამოსახულებიდან, თუ მასში S -ს ნაცვლად ჩავსვამთ $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ მნიშვნელობას. ამ შემთხვევაში მივიღებთ

$$M = \frac{2M_k}{\frac{n_0 - n}{n_0 S_k} + \frac{n_0 S_k}{n_0 - n}}. \quad (11.16)$$

ნომინალური ძაბვის პირობებში (11.14) და (11.16) ფორმულის გამოსახულებებით შეგვიძლია გავთვალოთ ნახ. 11.2, ა და ნახ. 11.2, ბ-ზე ნაჩვენები მახასიათებლები. (მსხვილი ხაზებით გამოსახული 1-მრუდეები).

11.5. ასინქრონული ძრავების ბრუნთა რიცხვის რეგულირების ხერხები

წვევის ძრავას ტიპის მიუხედავად, როდესაც სტატიკური მომენტი $M_{სტ.} = const$, მისი შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოყენებისთვის, მომენტი (წვევის ძალა) და სიმძლავრე უნდა იცვლებოდეს 11.2, გ ნახაზზე მსხვილი და პუნქტირით ნაჩვენები ხაზების შესაბამისად. სიჩქარის ასეთი რეგულირების შემთხვევაში ხდება წვევის ძრავას შესაძლებლობების მაქსიმალური გამოყენება. მუდმივი დენის მიმდევრობით და დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავების შემთხვევაში, ასეთი ფორმის მახასიათებლები შედარებით ადვილად მიიღება. რაც შეეხება ასინქრონულ ძრავებს, ასეთი მახასიათებლების მიღება შესაძლებელია რთული დამატებითი მოწყობილობების, ე.წ. განივ იმპულსური მოდულაციის მქონე ინვერტორების გამოყენებით, რომლებიც გაცილებით რთული და ძვირია, ჩვეულებრივ გამმართველებთან შედარებით. თუ გავიხსენებთ (11.7) ფორმულას და გავითვალისწინებთ სიჩქარის ფორმულას

$$n = \frac{60f_0(1-S)}{P}, \quad (11.17)$$

მაშინ ცხადი ხდება, თუ როგორ უნდა ვარგულოდ ასინქრონული ძრავას ბრუნვის სიჩქარე:

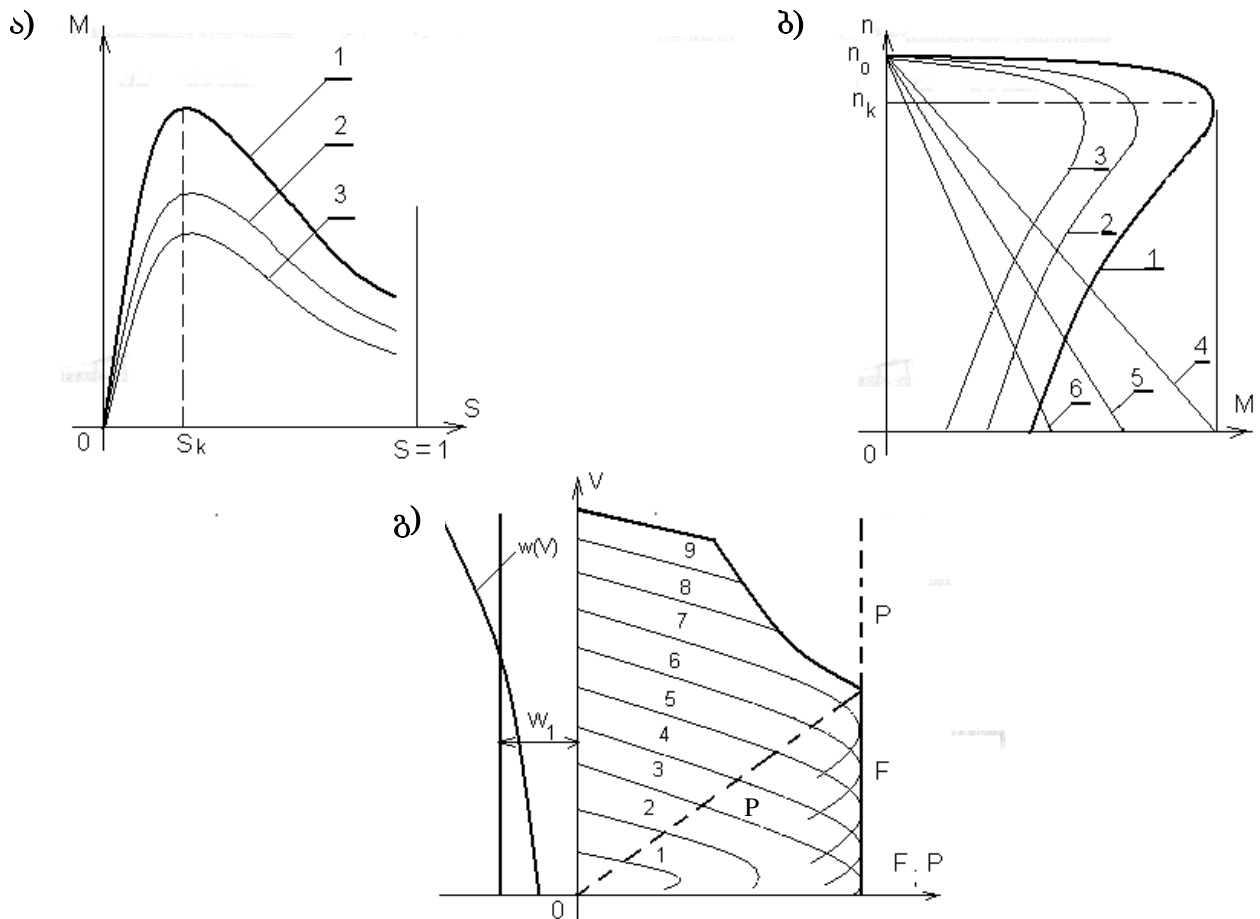
- წყვილ პოლუსთა რიცხვის p -ს ცვლილებით;
- სრიალის S -ის ცვლილებით;
- ძაბვის U -ის ცვლილებით;
- სიხშირის f -ის ცვლილებით;
- ერთდროულად ძაბვის U -ის და სიხშირის f -ის ცვლილებით.

ქვემოთ მოკლედ მიმოვიხილავთ სიჩქარის რეგულირების ჩამოთვლილ ხერხებს.

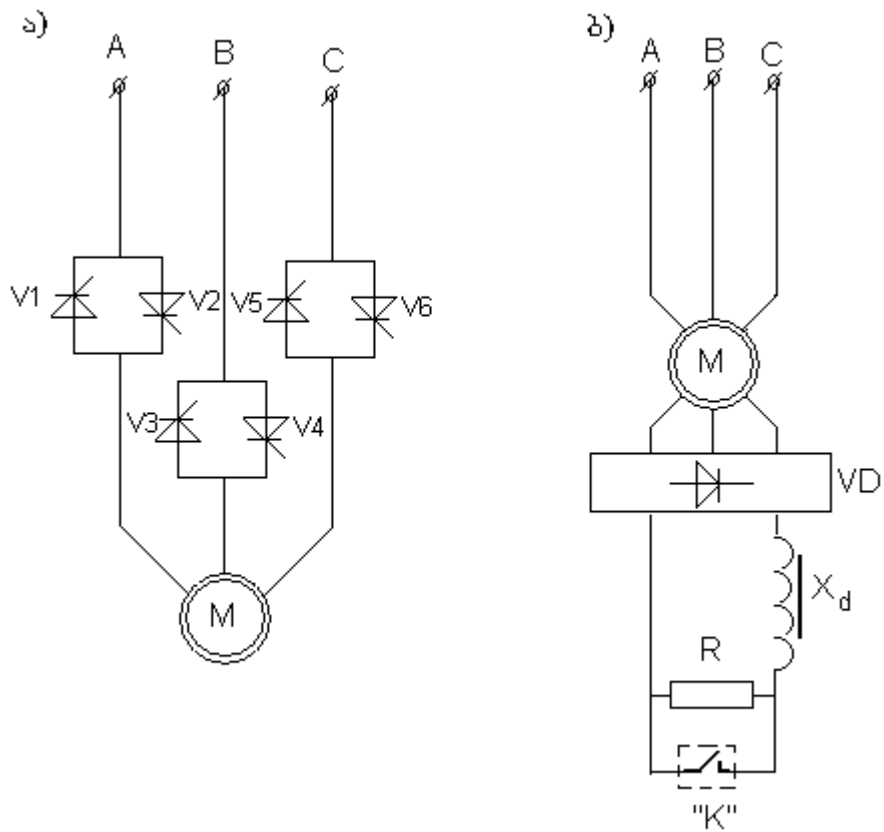
1. სიჩქარის რეგულირება წყვილპოლუსთა რიცხვის p ცვლილებით, გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც არ მოითხოვება სიჩქარის რეგულირება დიდ ფარგლებში.

2. სიჩქარის რეგულირება S სრიალის ცვლილებით ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო ობიექტებში (ამწე მანქანები), სადაც სიჩქარის რეგულირებისას არ აინტერესებთ ძირითადი ენერგეტიკული მახასიათებლები. რეგულირების ეს ხერხი ხდება როტორის წრედში რეგულირებადი რეზისტორის ჩართვით, რომლის რეგულირებით იცვლება სიჩქარე. რეგულირების ეს ხერხი თანამედროვე შესრულებით ნაჩვენებია 11.3, ბ ნახაზზე მოცემულ სქემაზე. როგორც სქემიდან ჩანს ასინქრონული ძრავას როტორი მიერთებულია სამფაზა გამმართველ “VD“ ბოგირზე, რომელიც კვებავს “K” მწვეტარათი შუნტირებულ R რეზისტორს. “K” მწვეტარას ჩართვა – გამორთვით რეგულირდება R რეზისტორის წინააღმდეგობა და შესაბამისად როტორის ბრუნვის სიხშირე. “K” მწვეტარად დღეისათვის გამოიყენება GTO, IGCT ტიპის მართვადი ტირისტორები, ან IGBT ტიპის ტრანზისტორები. ასეთი რეგულირების დროს ასინქრონული ძრავას სიჩქარის მახასიათებელი მსგავსია დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას სიჩქარის მახასიათებლის. სწორი ხაზების ფორმის სიჩქარის მახასიათებლები, რომლებიც შეესაბამება რეგულირების ამ ხერხს, ნაჩვენებია 11.2, ბ ნახაზზე (4, 5, 6 ხაზები).

3. მკვებავი ძაბვის რეგულირებით სიჩქარის რეგულირების დროს მცირდება მომენტი (რადგან მომენტი (11.7) ფორმულის თანახმად ძაბვის კვადრატის პროპორციულია). შესაბამისი მრუდები ნაჩვენებია ნახ. 11.2, ა,ბ, 2, 3-ს სახით. სიჩქარის რეგულირების ეს ხერხი ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო ისეთ ობიექტებში, სადაც ამუშავების მომენტებს არ წაყენებათ დიდი მოთხოვნები. ტექნიკურად ასეთი რეგულირება ხდება მარტივად, სტატორის წრედში ჩვეულებრივი ტირისტორების ჩართვით (ნახ. 11.3 ა).



ნახ. 11.2. ასინქრონული ძრავის მახასიათებლები.



ნახ. 11.3. სიხარის რეგულირების სხვადასხვა სქემები.

4. სიჩქარის რეგულირება მკვებავი ძაბვის მხოლოდ სიხშირის რეგულირებით, შესაძლებელია გამოვიყენოთ მხოლოდ ნომინალურ ბრუნთა რიცხვს ზემოთ. დაბალ ბრუნთა რიცხვებზე ამ მეთოდის გამოყენება არ შეიძლება, რადგან მოხდება სტატორის მაგნიტური სისტემის გაუღენთვა და როტორის დენის სიდიდის მიუხედავად მასში გაივლის დიდი დენი. მის საფუძველად აიღება თანაფარდობა $\Phi \equiv \frac{U}{f}$,

საიდანაც ჩანს, რომ როდესაც $U = const$ სიხშირე უმნიშვნელოა, ნაკადი მკვეთრად იზრდება, რაც იწვევს სწორედ სტატორის მაგნიტური სისტემის ძლიერ გაუღენთვას.

როგორც მრავალრიცხოვანი შრომებით დასტურდება, ასინქრონული ძრავას შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოყენებისთვის, მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლების: სიმძლავრის კოეფიციენტის, მარგი ქმედების კოეფიციენტის გადატვირთვის უნარის მისაღწევად აუცილებელია სიხშირის რეგულირებასთან ერთად ვცვალოთ მკვებავი ძაბვის სიდიდე. ძაბვის სიდიდის ცვლილების ხასიათი კი დამოკიდებულია სტატიკური მომენტის და სიჩქარის ურთიერთდამოკიდებულების ხასიათზე.

ტექნიკურ ლიტერატურაში მაქსიმალური შესაძლებლობების გამოყენების პირობა ცნობილია მ.პ. კოსტენკოს [10] ფორმულის სახით

$$\frac{U}{U_0} = \frac{f}{f_0} \sqrt{\frac{M}{M_0}}, \quad (11.18)$$

სადაც, U, U_0 არის მომქმედი და ნომინალური ძაბვების მნიშვნელობები.

f, f_0 – მომქმედი და ნომინალური სიხშირეები.

M, M_0 – მომქმედი და ნომინალური მბრუნავი მომენტები.

უცვლელი სტატიკური მომენტის $M_{სტ.} = const$ დროს, $\frac{M}{M_{სტ.}} = 1$ და (11.18) ფორმულიდან მივიღებთ

$$\frac{U}{f} = \frac{U_0}{f_0} = const \quad (11.19)$$

დატვირთვის ვენტილატორული ხასიათის შემთხვევაში, (11.18) ფორმულიდან მივიღებთ პირობას

$$\frac{U}{f^2} = \frac{U_0}{f_0^2}. \quad (11.20)$$

ჩვენ შემთხვევაში, როგორც ნახ. 11.2 გ ჩანს, ხვედრითი წინაღობის ძალა იცვლება ცნობილი კანონით და ნაჩვენებია $w(V)$ მრუდის სახით. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნომინალურ სიჩქარემდე w ხვედრითი ძალა თითქმის არ იცვლება და ის შეგვიძლია ჩავთვალოდ უცვლელად და w_1 -ის ტოლად. ამ შემთხვევაში (11.18) ფორმულის პირობა მარტივდება და უტოლდება (11.19) ფორმულას.

ამგვარად ნომინალურ სიჩქარემდე რეგულირება უნდა მოხდეს (11.19) ფორმულის პირობის დაცვით (მომენტის უცვლელობა), ხოლო ნომინალური სიჩქარის ზემოთ,

რეგულირება უნდა ვაწარმოოთ სიხშირის ცვლილებით, რადგან ამ დროს სიმძლავრე შენარჩუნდება უცვლელად. მართლაც (11.12) ფორულის თანახმად, მაქსიმალური მომენტი სიხშირის უკუპროპორციულია

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_0}{p}.$$

ასეთი რეგულირების დროს სიხქარემ შეიძლება მიაღწიოს $2,5n_0$ მნიშვნელობას. ამჩქარებელ ძალებსა და სიხქარეს შორის დამოკიდებულებათა მრუდები ნახ. 11.2 გ ნაჩვენებია 1,2,3,...,9 წვრილი ხაზებით.

11.6. ასინქრონული მანქანების სამუხრუჭო რეჟიმები

ასინქრონულ მანქანას, როგორც ყველა ელექტრული მანქანას, აქვს უნარი იმუშაოს შექცევად რეჟიმში. თუ ასინქრონული მანქანის ლილვზე მოვდებთ სტატიკურ სამუხრუჭო მომენტს, მანქანა განაგრძობს მუშაობას როგორც ძრავა, რომელიც გადალახავს რა გარედან მოდებულ მომენტს, მოიხმარს სიმძლავრეს ქსელიდან. ამ პირობებში, თუ მოიხსნება გარეშე სტატიკური მომენტი ძრავას ღერძზე, მაშინ ძრავას როტორი იბრუნებს სინქრონული სიხქარის მიახლოებული სიხქარით. ამ დროს ქსელიდან მოიხმარება ელექტრული ენერგია, რომელიც საჭიროა დანაკარგების დასაფარავად. თუ გარეშე დამხმარე ძრავათი ამ დროს როტორს დავაბრუნებთ სინქრონული სიხქარით, ანუ დავფარავთ მხოლოდ დანაკარგებს სტატორში, მაშინ დანაკარგები როტორში (მექანიკური კარგვები), დაიფარება პირველადი ძრავათი, ანუ ქანობზე მოძრავი გარკვეული მასის მატარებლის კინეტიკური ენერგიის ხარჯზე.

ჩვეულებრივ ასინქრონული მანქანების დამუხრუჭებაში განასხვავებენ სამ რეჟიმს:

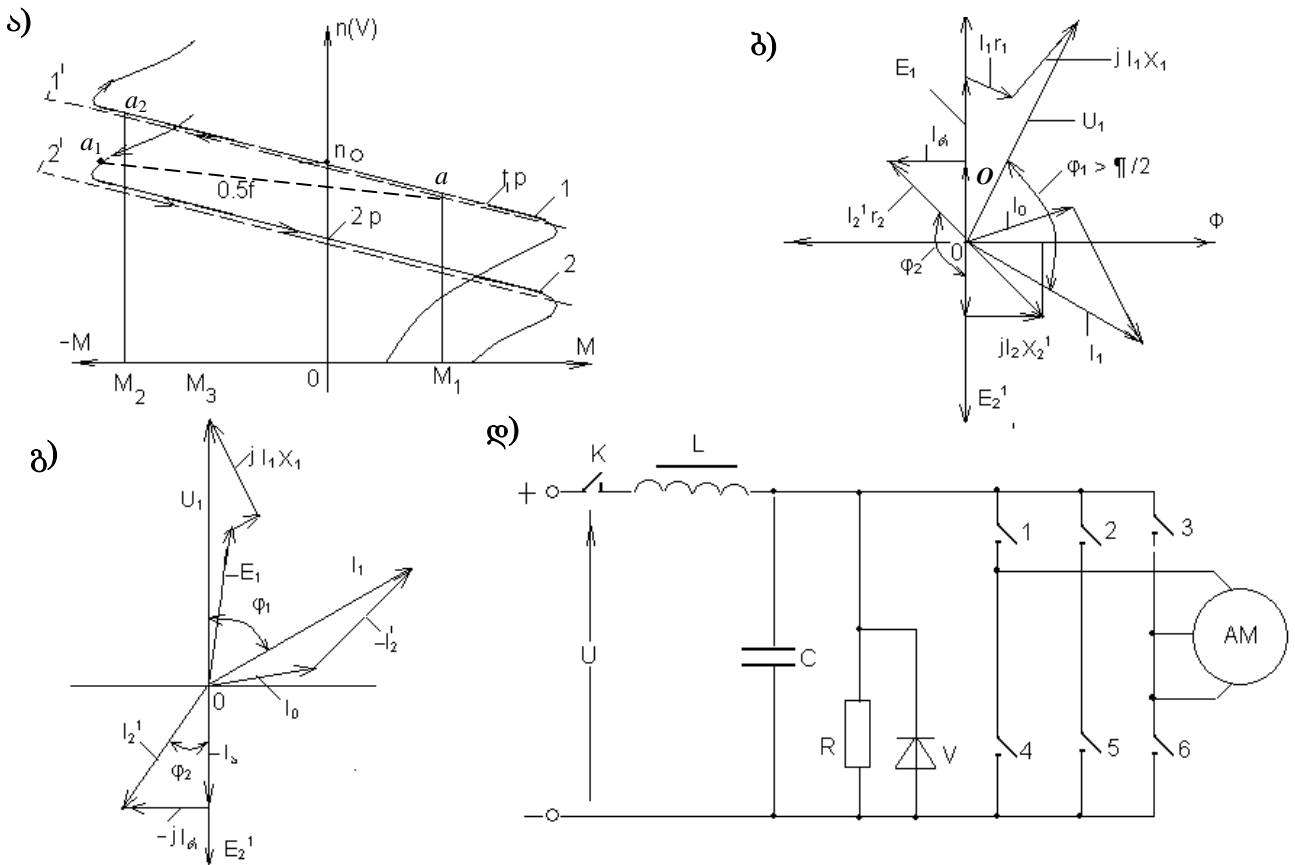
ა) **რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმი**, როდესაც ასინქრონული მანქანა მუშაობს როგორც გენერატორი სინქრონულ სიხქარეზე მეტი სიხქარით ქსელზე და გარდამქმნელის მეშვეობით რეოსტატზე.

ბ) **დინამიური დამუხრუჭების რეჟიმი**, როდესაც მანქანა მუშაობს, როგორც ცვალებადი სიხშირის სინქრონული გენერატორი ცალკე სამუხრუჭე რეზისტორზე (ამ შემთხვევაში სტატორი იკვებება დამოუკიდებელი რეგულირებადი დენის წყაროდან, ხოლო როტორში შეიძლება ჩაირთოს წინაღობა, ან იყოს მოკლედ შერთული).

გ) **დამუხრუჭების რეჟიმი ურთიერთ შემხვედრი ჩართვით.**

ბოლო ორი სახის დამუხრუჭების რეჟიმი [ა) და ბ)], ძირითადად გამოიყენება სამრეწველო დანიშნულების ელექტროამძრავებში.

11.4 ა ნახაზზე ნაჩვენებია სიჩქარის შემცირების (დამუხრუჭების) შემთხვევა, წყვილპოლუსთა რიცხვის გადართვით (P და $2P$) და სიხშირის ცვლილება (f ; $0.5f$) (1, 2 მახასიათებელზე a და a_1 წერტილები). როგორც ნახაზიდან თვალნათლივ ჩანს, ამ შემთხვევებშიც სიჩქარის შემცირება ხდება გენერატორულ რეჟიმში გადასვლით, ისე როგორც ეს ხდება მუდმივი დენის დამოუკიდებელაგზნების მანქანაში, რაც იმავე ნახაზზე ნაჩვენებია წყვეტილი ხაზებით 1', 2'. სიჩქარის გაზრდისას ხდება მდოვრე გადასვლა ძრავული რეჟიმიდან გენერატორულ რეჟიმში. რაც შეეხება გენერატორულ რეჟიმში გადასვლას მაგნიტური ნაკადის გაზრდით, ამ შემთხვევაში საჭიროა გამოვიჩინოთ გარკვეული სიფრთხილე, რადგან მაგნიტური ნაკადის მნიშვნელოვან ზრდას შეიძლება მოჰყვეს მანქანის მაგნიტური სისტემის გაუღენთვა და ღუზის დენის გაზრდა.



ნახ. 11.4. გენერატორულ და ძრავულ რეჟიმებში მომუშავე ასინქრონული მანქანის მართვის სქემა (სიხშირის გარდამქმნელი), ვექტორული დიაგრამები და მექანიკური მახასიათებლები.

დამუხრუჭების ეს სახე შეიძლება რეალიზებული იყოს **სიხშირის გარდამქმნელი-ძრავას** სისტემით, ასინქრონული ძრავას გაჩერებისას, ან მახასიათებლიდან მახასიათებელზე გადასვლისას. ამისათვის წარმოებს გარდამქმნელის გამომავალი

ძაბვის სისწორის $f_{რეგ.}$ და ამ გზით სინქრონული სიხარის $\omega_0 = \frac{2\pi f_{რეგ.}}{P}$ -ის შემცირება. მატარებლის მექანიკური ინერციის წყალობით, ასინქრონული ძრავას როტორის მიმდინარე ბრუნთა რიცხვი n ან მისი შესაბამისი კუთხური სიხარე ω , ვერ ასწრებს მყისვე შეცვლას, იცვლება გაცილებით ნელა, ვიდრე ძრავას მაგნიტური ნაკადის ბრუნვის სიხარე ω_0 და ყოველთვის იქნება მასზე მეტი, რაც იძლევა რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმის და მ.შ. ქსელში ენერჯის მიწოდების საშუალებას.

დეტალურად განვიხილოთ გენერატორული რეჟიმი, როდესაც როტორის ბრუნვის სიხარე აჭარბებს სინქრონულს. ამ შემთხვევაში საწყისი a – წერტილი გადადის a_2 მდებარეობაში, სადაც გადის საწინააღმდეგო ნიშნის დენი, რომელიც ქმნის სამუხრუჭე მომენტს M_2 . ამ რეჟიმში სრიალი S იქნება უარყოფითი, როტორის ე.მ.ძ. ასევე შეიცვლის მიმართულებას. ამ შემთხვევაში მაგნიტური ნაკადიც, რა თქმა უნდა, იცვლის მიმართულებას, მოტორული რეჟიმის შესაბამისი მიმართულების საწინააღმდეგოდ.

ამ რეჟიმისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$E'_{2s} = (-S)E'_2 = -SE'_2. \quad (11.21)$$

ამ შემთხვევაში როტორის დენი ტოლი იქნება:

$$I'_2 = \frac{-SE'_2}{r'_2 + jX'_2(-S)} = \frac{E'_2}{-\frac{r'_2}{S} + jX'_2} = -\frac{E'_2}{\frac{r'_2}{S} - jX'_2} = -\left[\frac{E'_2 \frac{r'_2}{S}}{\left(\frac{r'_2}{S}\right)^2 + (X'_2)^2} + j \frac{E'_2 X'_2}{\left(\frac{r'_2}{S}\right)^2 + (X'_2)^2} \right] = (I_{\alpha 2} + jI_{\phi 2}), \quad (11.22)$$

სადაც r'_2 და X'_2 არის როტორის წრედის აქტიური და ინდუქტიური წინააღმდეგობები.

$E'_2 = E'_1$ როტორის ემძის დაყვანილი მნიშვნელობები უძრავ მდგომარეობაში.

(11.22) გამოსახულების საფუძველზე აგებულია ასინქრონული მანქანის გენერატორული რეჟიმის ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 11.4 ბ). გენერატორული რეჟიმის უკეთ შესწავლისათვის, იქვე მოყვანილია მოტორული რეჟიმის შესაბამისი ვექტორული დიაგრამა (ნახ. 11.5 გ), რომელიც აგებულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$I'_2 = \frac{SE'_2}{r'_2 + jX'_2} = \frac{E'_2}{-\frac{r'_2}{S} + jX'_2} = -\frac{E'_2 \frac{r'_2}{S}}{\left(\frac{r'_2}{S}\right)^2 - (X'_2)^2} = -\frac{E'_2 X'_2}{\left(\frac{r'_2}{S}\right)^2 + (X'_2)^2} = -(I_{\alpha 2} - jI_{\phi 2}). \quad (11.23)$$

როგორც მოტორული რეჟიმის ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 11.4 გ) ცხადად ჩანს, პირველადი დენი I_1 ძაბვას ჩამორჩება φ_1 კუთხით, რომელიც თავისი სიდიდით ნაკლებია $\pi/2$. დენის აქტიური მდგენელი $I_{აქ}$ უარყოფითია, რაც ცხადყოფს ქსელიდან აქტიური სიმძლავრის მოხმარებას.

(11.22) ფორმულიდან და ნახ. 11.4 ბ-ზე მოცემული ვექტორული დიაგრამიდან ნათლად ჩანს, რომ გენერატორულ რეჟიმში გადასვლის დროს მიმართულებას იცვლის დენის აქტიური მდგენელი, ხოლო რეაქტიული მდგენელი რჩება უცვლელი. როტორის დენის აქტიური მდგენელი მიმართულებას იცვლის იმის გამო, რომ ლილვზე მომენტი იცვლის მიმართულებას.

ვექტორული დიაგრამა, ასევე, უჩვენებს, რომ U ძაბვასა და I_1 დენს შორის წანაცვლების კუთხე $\varphi_1 > \frac{\pi}{2}$, რაც აიხსნება იმით, რომ I_1 დენის წარმოქმნას განაპირობებს არა U ძაბვა, არამედ E_2 ემძ. ამის გამო სტატორის გრაგნილი მუშაობს გენერატორულ რეჟიმში და გადასცემს ენერგიას ქსელში. მაგრამ, ასეთი რეჟიმი არაა ხელსაყრელი, რადგან მანქანა მუშაობს დიდი ბრუნთა რიცხვით. იგივე ეფექტი, გენერატორულ რეჟიმში, შეგვიძლია მივიღოთ სიჩქარის (ბრუნთა რიცხვის) გაზრდის გარეშე, თუ შევცვლით სიხშირეს (1 და 2 მრუდეები).

IGBT ტიპის ტრანზისტორები და GTO, IGCT ტიპის სრულად მართვადი ტირისტორები საშუალებას იძლევა დამზადდეს გარდამქმნელები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ძაბვის და სიხშირის დასახული კანონით ცვლილებას. უფრო მეტიც, მათ ბაზაზე შესაძლებელია წვევის ნებისმიერი ელექტრული ამძრავის შექმნა. ნახ. 11.4 დ-ზე ნაჩვენებია ძაბვის და სიხშირის გარდამქმნელის გამარტივებული სქემა, სადაც ნახევარგამტარული ხელსაწყოები ჩანაცვლებულია უბრალო დენმკვეთებით 1,2,...,5,6, რომლებიც იძლევიან ნებისმიერი რეჟიმის რეალიზაციის საშუალებას.

სქემა საშუალებას იძლევა ძრავამ იმუშაოს ქსელზე (ძრავულ რეჟიმში) და სამუხრუჭო რეოსტატზე (ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმში). განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ასინქრონული ძრავების უდიდესი ნაკლი გენერატორულ (რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს) რეჟიმში მუშაობისას, როდესაც ისინი მოიხმარენ ნომინალური დენის $I_{ნომ}$ -ის 25-50%-მდე დამაგნიტების დენს. ამ შემთხვევაში გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე ასინქრონული ძრავას აგზნებაზე იხარჯება სრული სიმძლავრის 25-50%. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, თუ ელექტროსადგურში განთავსებულია ერთნაირი სიმძლავრის ასინქრონული გენერატორები, მაშინ აღსაგზნებლად საჭირო ხდება მათი ეკვივალენტური სიმძლავრის სინქრონული გენერატორის გამოყენება. საჭიროა აღინიშნოს, რომ დიდი სიმძლავრის სინქრონული გენერატორის

აგზნებისთვის მოთხოვნილი სიმძლავრე არ აღემატება 1%-ს. აგზნებისთვის მოთხოვნილ სიმძლავრეებს შორის ასეთი დიდი განსხვავება მიანიშნებს ასინქრონული გენერატორების უდიდეს ნაკლზე. გენერატორულ რეჟიმში დენი ძაბვას ჩამორჩება 90°-ზე მეტი კუთხით, რის გამოც ასინქრონული გენერატორების სინქრონულ გენერატორებთან პარალელური მუშაობა მნიშვნელოვნად ამცირებს სიმძლავრის კოეფიციენტს $\cos\phi$ -ს, მაშინაც კი, როდესაც დატვირთვა სუფთა აქტიური ხასიათისაა.

უნდა აღინიშნოს მცირე სიმძლავრეების დროს ასინქრონული გენერატორების სიმარტივე და გარკვეული უპირატესობა სინქრონულ გენერატორებთან შედარებით, რაც მიიღწევა გენერატორის თვითაგზნების მიზნით სტატორის წრედში კონდენსატორების ჩართვით. ასეთი სქემა გაცილებით იაფია სინქრონულ გენერატორებისა და მათი აგზნების სისტემების ღირებულებაზე.

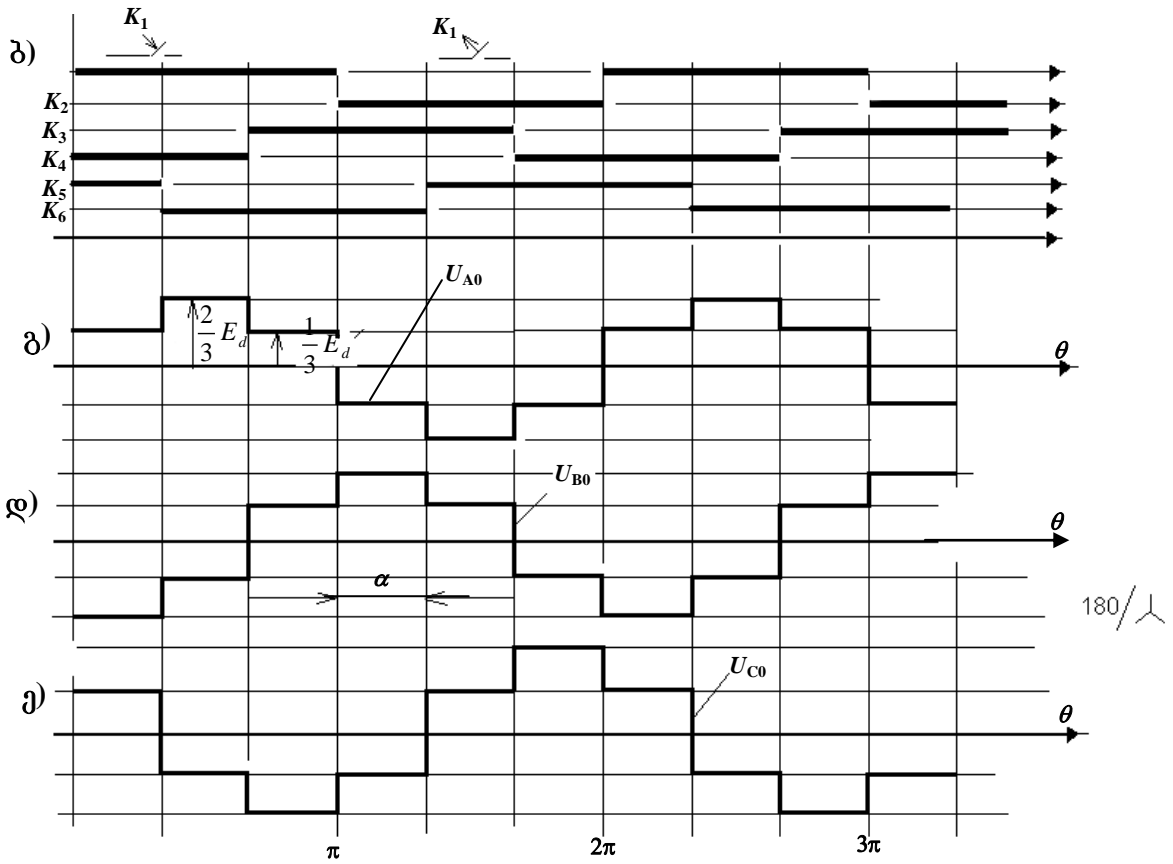
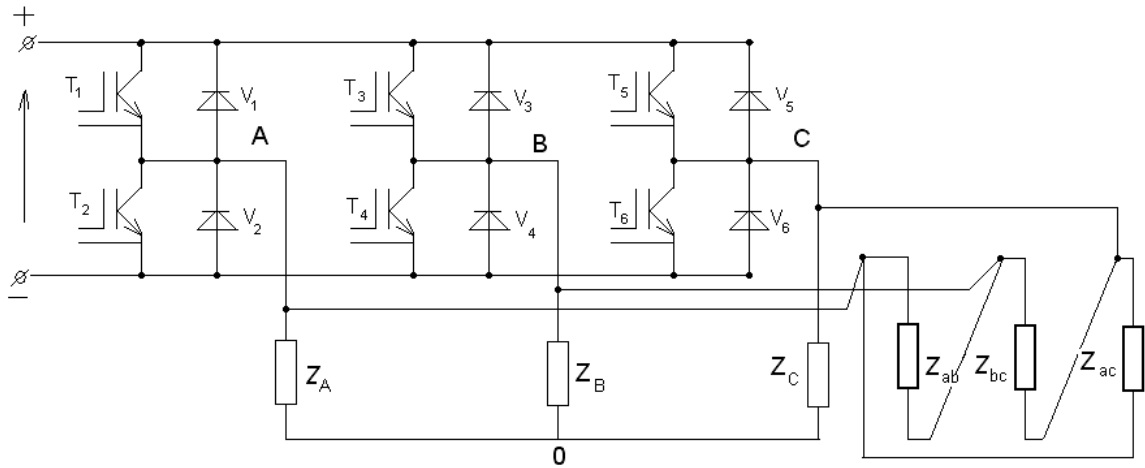
11.7. სამფაზა ინვერტორის ძაბვის და სიხშირის რეგულირების ოპტიმალური მეთოდი

11.5 ა ნახაზზე ნაჩვენებია IGBT ტრანზისტორების ბაზაზე შესრულებული სამფაზა ინვერტორის რეალური სქემა, ორ ვარიანტად: როდესაც დატვირთვა შეერთებულია ვარსკვლავურად და როდესაც დატვირთვა შეერთებულია სამკუთხედად.

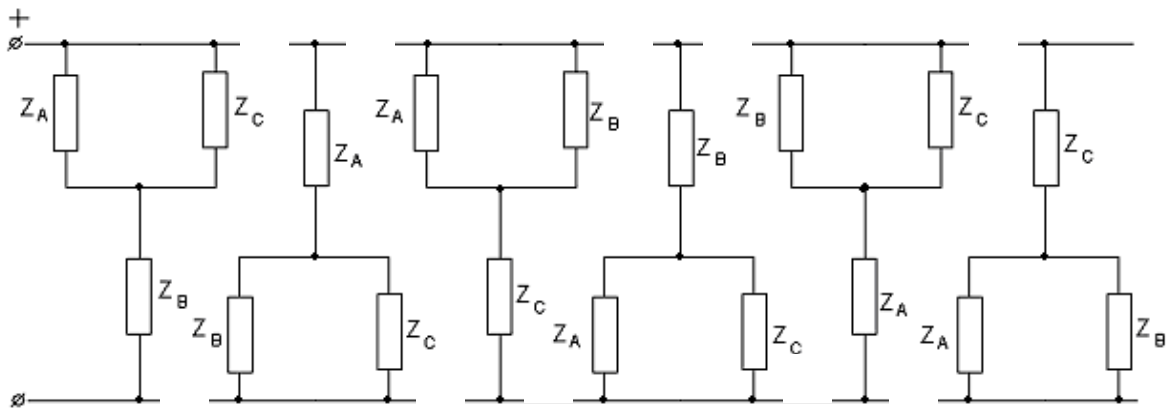
11.5 ბ, გ, დ ნახაზზე ნაჩვენებია ფაზური ძაბვების მრუდების ფორმები, ძაბვის ნახევარპერიოდის 180 გრადუსისათვის, დატვირთვის ვარსკვლავური შეერთებისას. დატვირთვის სამკუთხა შეერთებისას, ნახევარპერიოდის 120 გრადუსისათვის, ხაზური ძაბვების ფორმა იქნება იგივე, რაც 11.5 ბ, გ, დ ნახაზზე, იმ განსხვავებით, რომ ძაბვის საფეხურები იქნება სხვა. $\frac{1}{3}E_d$ და $\frac{2}{3}E_d$ -ს ნაცვლად იქნება $\frac{E_d}{2}$ და E_d . 11.5 ვ ნახაზზე მოცემულია ტრანზისტორების გადართვის ყოველი ინტერვალისათვის, ფაზური წინაღობების სქემები.

დღეისათვის გავრცელებული აზრი იმის შესახებ, რომ 3-ე და მისი ჯერადი ჰარმონიკების გამორიცხვისათვის, საჭიროა α კუთხე აღებული იქნას 60°-ის ტოლი. მაგრამ, როგორც გათვლები აჩვენებს, ამ დროს მნიშვნელოვნად მცირდება პირველი ჰარმონიკა. ამიტომ, მიზანშეწონილია საფეხურების ძაბვა U და კუთხე α გათვლილი იქნენ ოპტიმალური მეთოდებით, მაგალითად, უმცირესი კვადრატების მეთოდის საფუძველზე. ამ გზით ჩატარებული გათვლებით ძაბვის ერთნაირი მნიშვნელობებისას (ნახ. 11.5 ა, ბ) აღმოჩნდა, რომ კუთხე $\alpha = 1,7693$, (გრადუსებში 101°), ხოლო საფეხურების ძაბვა ერთნაირია და ტოლია $\frac{1}{3}E_d$ და E_d -სი.

ს)



მ)



ნახ. 11.5. ა) სამფაზა ინვერტორის სქემა, ბ) მართვის ალგორითმი, გ), დ), ე) ფაზური ძაბვების დიაგრამები, ე) დატვირთვის წინაღობების ჩართვის სქემები, სხვადასხვა ინტერვალისათვის.

α კუთხის და საფეხურების ძაბვების ასეთი ოპტიმალური მნიშვნელობისას, ძირითადი (პირველი) ჰარმონიკა იქნება მნიშვნელოვნად დიდი, ხოლო დანარჩენი ჰარმონიკები იქნებიან მინიმალური სიდიდის.

ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია უარი ვთქვათ ძაბვის რეგულირების დღემდე ფართოდ გამოყენებულ განივ-იმპულსური რეგულირების (გირ) მეთოდზე, რომლის დროსაც ყველაზე ოპტიმალურ რეჟიმშიც კი ჰარმონიკების კოეფიციენტები მაღალია.

როგორც ცნობილია [15]-დან, ჰარმონიკების კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს ნებისმიერი არასინუსოიდალური პერიოდული ფუნქციის სინუსოიდთან მიხლოების მაჩვენებელს, განისაზღვრება როგორც

$$K_{\beta} = \frac{\sqrt{1 - K_{\alpha}^2}}{K_{\alpha}}; \quad K_{\alpha} = \frac{U_1}{U_{\text{ფგ}}}, \quad (11.24)$$

სადაც, K_{α} არის დამახინჯების კოეფიციენტი;

U_1 და $U_{\text{ფგ}}$ - პირველი ჰარმონიკის და მთელი მრუდის ეფექტური მნიშვნელობა. მაგალითად, სინუსოიდისათვის $K_{\beta} = 0$.

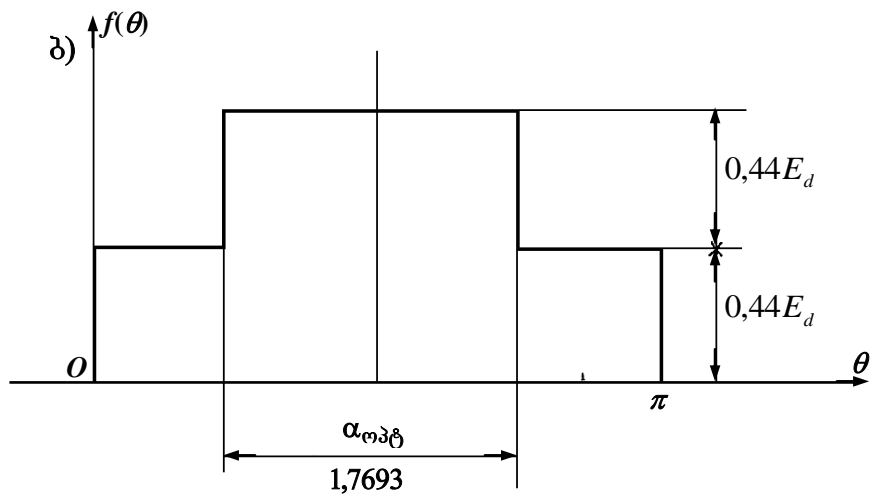
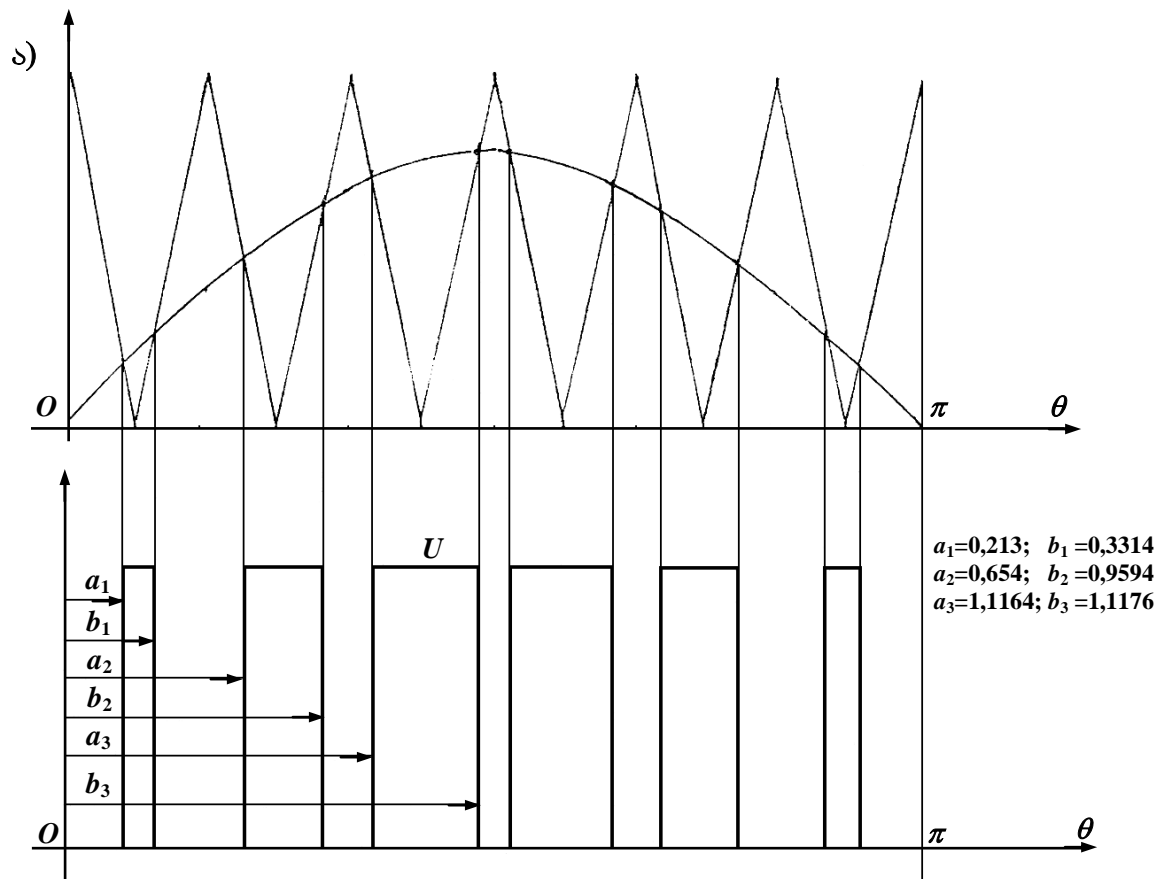
თუ (11.24) ფორმულით გამოვთვლით ჰარმონიკების კოეფიციენტს, მაგალითად ოპტიმალური გირ-თვის, ის აღმოჩნდება გაცილებით დიდი, ვიდრე ორსაფეხურიანი ძაბვის და $\alpha = 60^\circ$ კუთხის დროს.

მაგალითად, ოპტიმალური გირ-თვის $K_{\beta} = 0,7708$, ხოლო ორსაფეხურიანი $\alpha = 60^\circ$ -თვის $K_{\beta} = 0,2986$. ეს კოეფიციენტი ორსაფეხურიანი ძაბვის ოპტიმალური მრუდისათვის $\alpha = 1,7693$ (გრადუსებში 101°) დროს ტოლი იქნება $K_{\beta} = 0,2132$. კოეფიციენტების მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობების შედარება ცხადყოფს ოპტიმალური ვარიანტის უპირატესობას გირ-თან შედარებით.

ორსაფეხურიანი ოპტიმალური ფორმის ცვლადი ძაბვის ინვერტორის მეორე თვალსაჩინო უპირატესობას გირ-თან შედარებით წარმოადგენს ამ მრუდეების დაშლა ფურიეს მწკრივად.

ზოგადად, ძაბვის ორსაფეხურიანი მრუდისათვის k -ური ჰარმონიკის ამპლიტუდას (ნახ. 11.6 ა) ექნება შემდეგი სახე

$$U_{mk} = \frac{8E_d}{\pi k} \left[\sin k \frac{a_1 + b_1}{2} \sin k \frac{b_1 - a_1}{2} + \sin k \frac{a_2 + b_2}{2} \sin k \frac{b_2 - a_2}{2} + \sin k \frac{a_3 + b_3}{2} \sin k \frac{b_3 - a_3}{2} \right], \quad (11.25)$$



ნახ. 11.6 ასინქრონული ძრავას გიმ-ის და ოპტიმალური ფორმის დაბეგების ფორმირების დიაგრამები.

თუ (11.25) ფორმულაში ჩავსვათ $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ -ის რიცხვით მნიშვნელობებს (ნახ. 11.6) გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ ოპტიმალური გირ-ისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\begin{aligned}
 U(\theta) = 0,808E_d \left[\sin \theta + \frac{0,2363}{3} \sin 3\theta - \frac{0,04229}{5} \sin 5\theta + \frac{0,1368}{7} \sin 7\theta + \right. \\
 \left. + \frac{1,5}{9} \sin 9\theta + \frac{4,2543}{11} \sin 11\theta - \frac{5,0}{13} \sin 13\theta - \frac{2,68}{15} \sin 15\theta - \frac{0,78}{17} \sin 17\theta + \dots \right]. \quad (11.26)
 \end{aligned}$$

ორსაფეხურიანი ძაბვის მრუდისათვის (ნახ. 11.6, ბ) ზოგადად k -ური ჰარმონიკი იქნება

$$U_{mk} = \frac{4U}{\pi k} \left[\sin^2 k \frac{\pi}{2} + \sin k \frac{\pi}{2} \sin k \frac{\alpha}{2} \right], \quad (11.27)$$

სადაც, $U = 0,44E_d$ ძაბვის პირველი საფეხურის სიდიდეა.

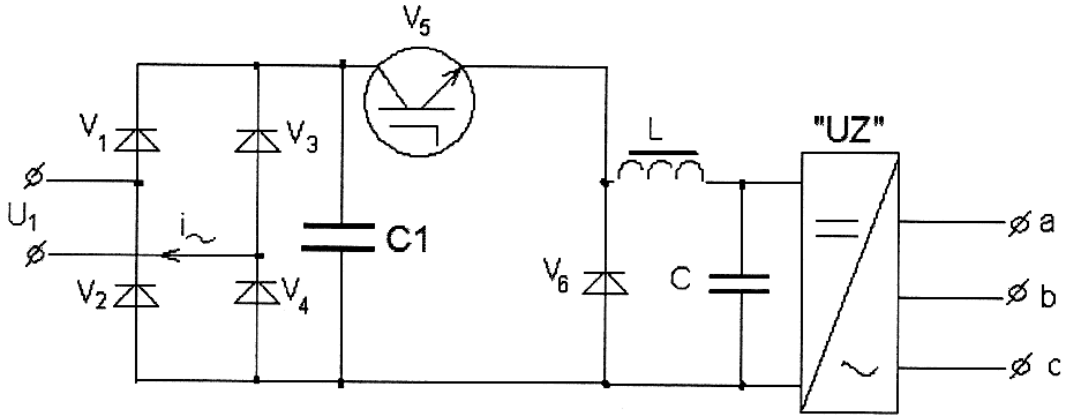
თუ (11.27) ფორმულაში ჩავსვამთ მნიშვნელობებს $U = 0,44E_d$ და $d = 1,7693$ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$U(\theta) = 0,9963E_d \left[\sin \theta + \frac{0,3398}{3} \sin 3\theta - \frac{0,02658}{5} \sin 5\theta + \frac{0,6973}{7} \sin 7\theta + \frac{1,2744}{9} \sin 9\theta + \frac{0,8317}{11} \sin 11\theta - \frac{0,0793}{13} \sin 13\theta + \frac{2,226}{15} \sin 15\theta + \frac{1,262}{17} \sin 17\theta + \dots \right]. \quad (11.28)$$

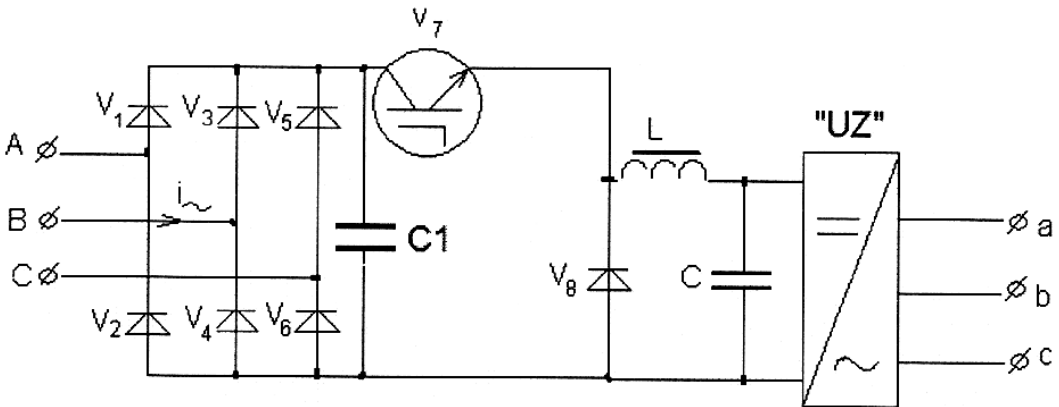
(11.28) და (11.26) ფორმულის მწკრივების შედარებიდან ჩანს, რომ პირველ შემთხვევაში ძირითადი ჰარმონიკა გაცილებით დიდია, ხოლო მე-11-ე, მე-13-ე, მე-15-ე და მე-17-ე ჰარმონიკები უმნიშვნელოა გირ-თან შედარებით. რაც შეეხება მე-3, მე-5, მე-7 და მე-9 ჰარმონიკების მნიშვნელობებს, ისინი თითქმის ერთნაირია ორივე შემთხვევისათვის.

თუ ინვერტორის ძაბვის განივ იმპულსური რეგულირების ხერხი მისაღები იყო ჩვეულებრივი ტირისტორებით აღჭურვილ ხელოვნური კომუტაციის სქემებში, სადაც საკომუტაციო კონდენსატორების დასამუხტად მოითხოვებოდა მუდმივად უცვლელი ძაბვა, სრულიად მართვადი GTO, IGCT ტირისტორებისთვის და IGBT ტრანზისტორებისთვის ასეთი მოთხოვნების საჭიროება არაა. აქედან გამომდინარე, საზოგადოდ, ხდება ძაბვის და სიხშირის რეგულირების ორდონიანი სქემის შემოთავაზება, რომელიც მოცემულია ნახ. 11.7-ზე. როგორც სქემიდან ჩანს, ინვერტორის შემავალი ძაბვა რეგულირდება IGBT (V5) ტრანზისტორით, რომელიც L , C ფილტრის გაბარიტების შემცირების მიზნით, მუშაობს მაღალ სიხშირეებზე 10-20 კილოჰერცზე. ამ დროს, ინვერტორის ძაბვის ფორმა ოპტიმალურია და უცვლელია, რეგულირების მთელ დიაპაზონში (ნახ. 11.7 ბ). განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ მიუხედავად ორდონიანი სქემისა, საერთო მ.ქ.კ-ტი და სიმძლავრის კოეფიციენტი იქნება უფრო მაღალი, ვიდრე ერთდონიანი სქემის შემთხვევაში, გირ-ის გამოყენებისას; ამასთანავე, მართვის სისტემა იქნება გაცილებით მარტივი. ნახ. 11.7 დ, ე, ვ-ზე ნაჩვენებია ქსელის დენების მრუდების ფორმები. არამართვადი ($V_1 - V_4$) ერთფაზა გამართვის შემთხვევისთვის (ნახ. 11.7 დ), როგორც ცნობილია, სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi = 0,9$. ნახ. 11.7, ე-ზე ნაჩვენებია შემთხვევა, როდესაც V_1 და V_2

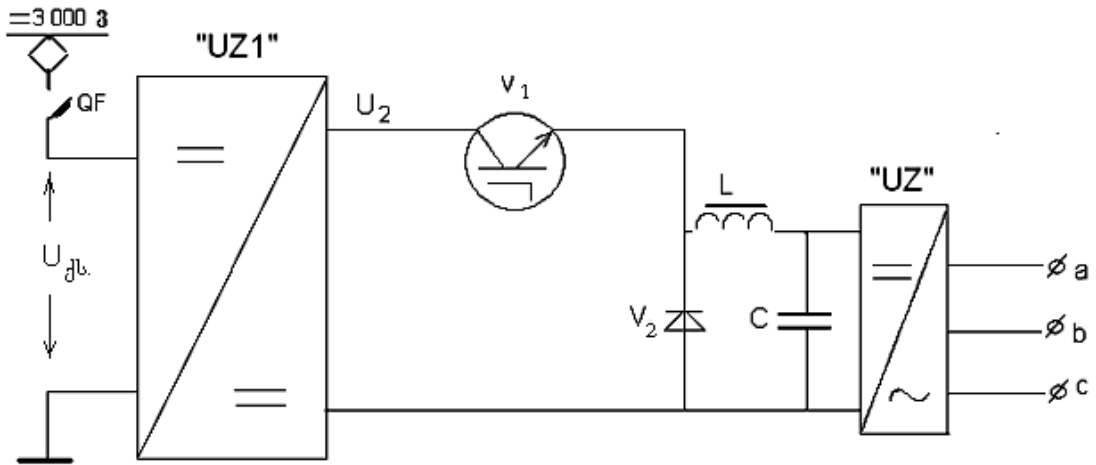
ა)



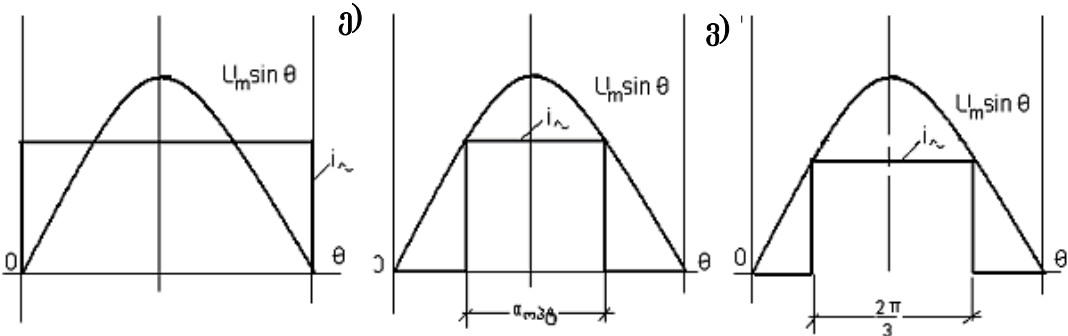
ბ)



გ)



დ)



ნახ. 11.7. 3-ფაზა ინვერტორის დახვის და სიხშირის ეკონომიკური რეგულირების შესაძლო სქემების ვარიანტები.

ხელსაწყოები წარმოადგენენ მართვად ტირისტორებს. მათი წყალობით ქსელის დენის ფორმა ოპტიმალურია. ამ შემთხვევისთვის $\alpha = 2,323$ (133°), ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi = 0,96$.

სამფაზა გამმართველისთვის, როდესაც $\alpha = 2\pi/3$, სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi = 0,9594$ (ნახ. 11.7, ვ).

11.7, გ ნახაზზე მოცემულია 3 000 ვოლტიან საკონტაქტო ქსელიდან კვების ვარიანტი. როგორც ნახაზიდან ნათლად ჩანს, ქსელის დაბვა $U_{ქს}$, ნებისმიერი ერთტრანზისტორიანი (IJBТ, 6 500 ვ, 600 ამპ.) UZ1 გარდამქმნელით გარდაიქმნება მოთხოვნილი სიდიდის დაბალ U_2 დაბვად, რომელიც შემდეგ დაბალი კლასის იგივე (IJBТ) VI ტრანზისტორით, სიხშირესთან ერთად, მდოვრედ რეგულირდება და მიეწოდება LC ფილტრს, შემდეგ კი UZ ინვერტორს.

11.6, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ორსაფეხურიანი დაბვის ოპტიმალური ფორმა, რომელიც რეგულირების პროცესში რჩება უცვლელი. ასევე უცვლელი რჩება შემავალი ინვერტორში რეგულირებული კუთხე α . იცვლება მხოლოდ მართკუთხედების სიმაღლე და სიხშირე.

ელექტრული დამუხრუჭება

12.1. ზოგადი ცნობები ელექტრული დამუხრუჭების შესახებ

გვაქვს ელექტრული დამუხრუჭების ორი სისტემა:

- ელექტროდინამიკური,
- ელექტრომაგნიტური.

ელექტროდინამიკური ელექტრული დამუხრუჭების პრინციპი ეფუძნება ელექტრული მანქანის უნარს, იმუშაოს ურთიერთშექცევად რეჟიმში; თუ მის მომჭერებზე მოვიყვანთ ელექტროენერგიას, მაშინ ლილვზე მივიღებთ მექანიკურ ენერგიას. ამ დროს ამბობენ, რომ ელექტრული მანქანა მუშაობს **ძრავულ რეჟიმში**. თუ იგივე მანქანის ლილვს მოვიყვანთ ბრუნვით მოძრაობაში რაიმე სხვა ძრავითი (მაგალითად შიგაწვის, ქარის, წყლის და ა.შ.), მაშინ მანქანის მომჭერებიდან შეგვიძლია მოვხსნათ ელექტრული ენერგია. ამ დროს ამბობენ, რომ ელექტრული მანქანა მუშაობს **გენერატორულ რეჟიმში**.

ელექტრული ლოკომოტივების შემთხვევაში, პირველად ენერგიას (რომელიც იწვევს ელექტრული მანქანების, ამ შემთხვევაში წვეის ძრავების ბრუნვით მოძრაობაში მოყვანას და მათ გენერატორულ რეჟიმში მუშაობას), წარმოადგენს მოძრავი მატარებლის კინეტიკური ენერგია. გამომუშავებული ელექტრული ენერგია (ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად) იხარჯება სპეციალურ რეოსტატებში სითბოს გამოყოფაზე, ან გადაიცემა ქსელში და მოიხმარება სხვა მომხმარებლების მიერ. ე.ი. მოძრავ მატარებელს ჩამოერთმევა მისი მასის და სიჩქარის კვადრატის პროპორციული კინეტიკური ენერგია; რადგან მატარებლის ფიზიკური მასა არ შეიძლება შეიცვალოს; ამ ენერგიის ჩამორთმევა გამოიწვევს მოძრაობის სიჩქარის შემცირებას; ე.ი განხორციელდება დამუხრუჭების ეფექტი. პირველ შემთხვევაში გვექნება ე.წ. **რეოსტატული ელექტრული დამუხრუჭება**, ხოლო მეორე შემთხვევაში **რეკუპერაციული ელექტრული დამუხრუჭება**.

რაც შეეხება **ელექტრომაგნიტურ-სარელსო** დამუხრუჭებას, ამ დროს სამუხრუჭო ეფექტს განაპირობებს სპეციალურ ფოლადის ხუნდებს და რელსს შორის ხახუნი. წარმოქმნილი სამუხრუჭო ძალა არ იზღუდება ბორბალსა და რელსს შორის ჩაჭიდებით, რაც წარმოადგენს ასეთი ტიპის მუხრუჭის თავისებურებას.

ელექტრული დამუხრუჭების განხორციელების შესაძლებლობა წარმოადგენს ელექტრული ლოკომოტივების ერთ-ერთ მთავარ უპირატესობას, წვეის სხვა სახეობებთან შედარებით და საშუალებას გვაძლევს:

- შევამციროთ სამუხრუჭო ხუნდების და წყვილოვალის არტახების ინტენსიური ცვეთა;
- საიმედოდ მომუშავე დამატებითი ელექტრული სამუხრუჭო სისტემის წყალობით, ავამაღლოთ მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოება;
- გავზარდოთ მოძრაობის სიჩქარეები, დიდი დახრილობის თავდაღმართებზე მოძრაობისას;
- შევამციროთ ხარჯები ძირითადი მექანიკური მუხრუჭების მოვლა პატრონობაზე;
- გამოვიყენოთ დამუხრუჭების რეჟიმების ავტომატური რეგულირების სისტემები, რაც განსაკუთრებული ეფექტის მომცემია მეტროპოლიტენების, საგარეუბნო მატარებლების და ჩქაროსნული მოძრაობის პირობებში.

ელექტროდინამიკური მუხრუჭების ნაკლს შეიძლება მივაკუთნოთ:

- სამუხრუჭო ეფექტის რეალიზაცია მხოლოდ მოძრაობის პროცესში, ანუ ვერ გამოიყენება გაჩერებული მატარებლების დასამაგრებლად;
- წვეის ძრავების და სხვა ელექტრომომწობილობის გახურების ტემპერატურის ამაღლება მუშაობის ინტენსივობის გაზრდის გამო.

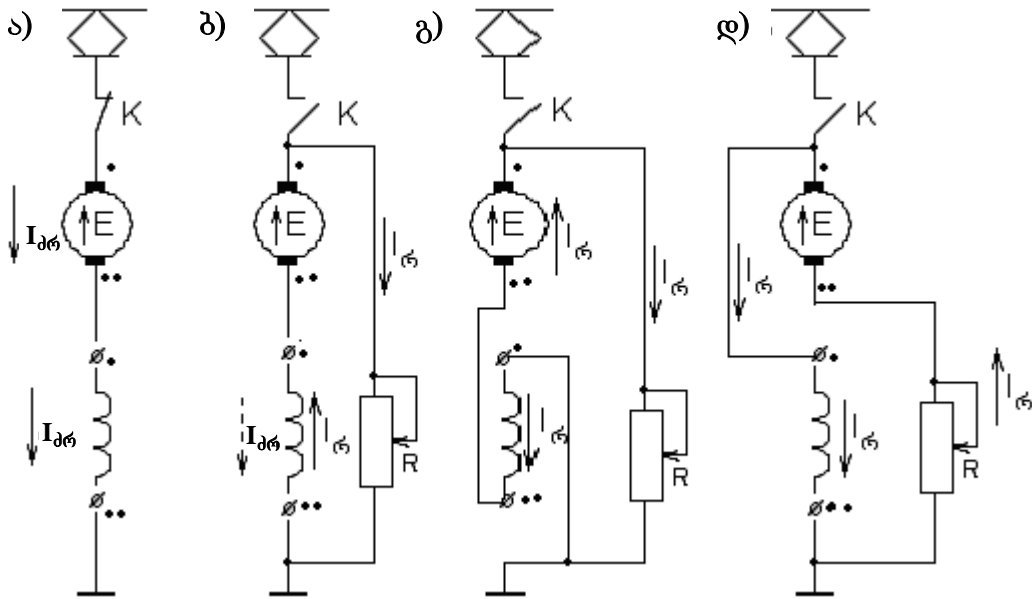
განვიხილოთ ელექტრული დამუხრუჭების სახეობები დაწვრილებით.

12.2. მუდმივი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის რეოსტატული დამუხრუჭება

რეოსტატული დამუხრუჭების დროს ლოკომოტივის წვეის ძრავები გამოირთვება საკონტაქტო ქსელიდან, გადაირთვება გენერატორულ რეჟიმში და ჩაირთვება სპეციალურ სამუხრუჭო რეოსტატებზე. მოძრავი მატარებლის მექანიკური ენერგია, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად და იხარჯება სამუხრუჭო რეოსტატებში სითბოს გამოყოფაზე. რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმისაგან განსხვავებით (რასაც გავეცნობით ქვემოთ), წვეის რეჟიმში გამოყენებული მიმდევრობით აგზნებიანი წვეის ძრავები, რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში მუშაობენ მდგრადად. ეს შესაძლებლობას გვაძლევს დამუხრუჭების რეჟიმში გამოვიყენოთ მიმდევრობით აგზნებიანი წვეის ძრავების მარტივი თვით-აგზნების სქემები ან წვეის ძრავები გადავიყვანოთ დამოუკიდებელ აგზნებაზე.

12.2.1. რეოსტატული დამუხრუჭება წვეის ძრავების თვითაგზნებით

სიმარტივისთვის განვიხილოთ მიმდევრობით აგზნებიანი ერთი წვეის ძრავას მუშაობა რეოსტატული დამუხრუჭების დროს, თვითაგზნების რეჟიმში (ნახ. 12.1).



ნახ. 12.1. ა) წვეის ძრავას წვეის რეჟიმის პრინციპული სქემა, ბ) რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში, გრაგნილების გადართვის გარეშე, გ) აგზნების გრაგნილის მომჭერების გადართვით, დ) ღუზის გრაგნილის მომჭერების გადართვით.

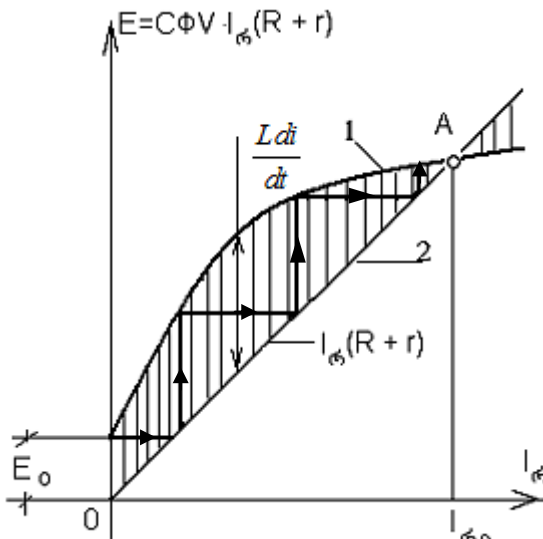
თუ წვეის რეჟიმის შემდეგ (ნახ. 12.1, ა), გადართვა მოხდება რეოსტატულ დამუხრუჭების რეჟიმზე სქემის შეუცვლელად (ნახ. 12.1, ბ), ნარჩენი მაგნიტური ნაკადის წყალობით წარმოქმნილი ემძ, სამუხრუჭო რეოსტატში უზრუნველყოფს რეოსტატულ დამუხრუჭების დენს I_{α} . ეს დენი ძრავას აგზნების გრაგნილში გაივლის ძრავული რეჟიმის დენის საპირისპირო მიმართულებით, (ნაჩვენებია წყვეტილი ისრით ნახ. 12.1, ბ-ხე), შედეგად ძრავა განმაგნიტდება და სამუხრუჭო ეფექტი გაქრება. თვითაგზნების პროცესის სწორად წარმართვისათვის, საჭიროა გადაირთოს აგზნების გრაგნილი ან ღუზის გრაგნილი (ნახ. 12.1, გ, დ). პრაქტიკაში მიღებულია აგზნების გრაგნილის გადართვა.

ა) თვითაგზნების პროცესი.

განვიხილოთ თვითაგზნების პროცესი. ვთქვათ მოძრაობის რაიმე უცვლელ სიჩქარეზე წვეის რეჟიმიდან გადავდივით რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმზე (ნახ. 12.1, გ). ნარჩენი მაგნიტური ნაკადის წყალობით ღუზაში აღიძვრება ემძ E_0 და რეოსტატის წრედში გაივლის დენი I_{α} . ამ დენის მოქმედებით გაიზრდება აგზნების გრაგნილის მიერ შექმნილი მაგნიტომამოძრავებელი ძალა, შესაბამისად მაგნიტური

ნაკადი. ეს გაზრდის ძრავას ემძ-ს, ეს უკანასკნელი დენს და ა.შ. ეს პროცესი გაგრძელდება ზეგვისებურად A წერტილამდე, როდესაც ძრავას ემძ გაუტოლდება წრედში ძაბვის ვარდნებს (ნახ. 12.2). თვითაგზრების პროცესი ნაჩვენებია ისრებიანი ტეხილით.

რეოსტატული დამუხრუჭების დროს, როგორც აღვნიშნეთ, იცვლება დენის



ნახ. 12.2. თვითაგზრების დროს წრედში ემძ-ის და ძაბვის ვარდნების დამოკიდებულება დენზე.

მიმართულება მხოლოდ დუზაში (აგზნების გრაფილში რჩება უცვლელი), ამიტომ მომენტი იცვლის მიმართულებას (მიმართული ხდება დუზის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ) და იწვევს მატარებლის დამუხრუჭებას.

განვიხილოთ მიმდევრობით აგზნებიანი წვეის ძრავას წვეის რეჟიმიდან (ნახ. 12.1, ა) გენერატორულ რეჟიმში გადართვისას მიმდინარე გარდამავალი პროცესი. ანალიზის გამარტივების მიზნით გრიგალური დენების გავლენას გარდამავალ პროცესზე უგულებლებლყოფთ, ხოლო მოძრაობისას, მატარებლის

დიდი ინერციულობის გამო, ვთვლით, რომ სიჩქარე გარდამავალ პროცესში უცვლელია. აღნიშნულის გათვალისწინებით შეგვიძლია დავწეროთ

$$C\Phi V = i(R + r) + \frac{L di}{dt}$$

ან

$$\frac{L di}{dt} = C\Phi V - i(R + r), \quad (12.1)$$

სადაც, r არის ძრავას გრაფილების აქტიური წინაღობა.

R - რეოსტატის ერთ ძრავაზე დაყვანილი წინაღობა.

L - რეოსტატული დამუხრუჭების წრედის ინდუქტიობა.

V - სიჩქარე, რომელზეც ხორციელდება დამუხრუჭება.

(12.1) განტოლების მდგენელები 12.2 ნახაზზე წარმოდგენილია გრაფიკულად დენის ფუნქციაში. დამოკიდებულება $C\Phi V(i)$ წარმოდგენილია 1 - მრუდის სახით, იმის გათვალისწინებით, რომ საწყის სტადიაში, როდესაც $i = 0$, $E = E_0 = C\Phi_0 V$. აქ Φ_0 ნარჩენი მაგნიტური ნაკადია. ძაბვის ვარდნათა ჯამი ძრავაში და სამუხრუჭო რეოსტატში $i(R + r)$, წარმოდგენილია კოორდინატთა სათავეში გამავალი 2 წრფით.

$\frac{Ldi}{dt}$ – ემძ 12.2 ნახაზზე წარმოადგენს 1 მრუდის და 2 წრფის ორდინატთა სხვაობას.

როგორც 12.2 ნახაზიდან ჩანს, E_0 ემძ-ის არსებობა დამუხრუჭების რეჟიმზე გადასვლის მომენტში, განაპირობებს $\frac{Ldi}{dt}$ სიდიდის დადებით ნიშანს. დენის ზრდისას დასაწყისში $\frac{Ldi}{dt}$ სიდიდე იზრდება, შემდგომ იწყებს კლებას და A წერტილში, როდესაც $C\Phi V = i(R+r)$, ხდება 0-ის ტოლი. ე.ი მყარდება ელექტრული წონასწორობა, ძრავას ემძ უტოლდება წრედში ძაბვათა ვარდნას და მთავრდება გარდამავალი პროცესი (თვითაგზნების პროცესი).

A წერტილში ელექტრული წონასწორობა არის მდგრადი. მართლაც, თუ რაიმე მიზეზით რეოსტატული დამუხრუჭების დენი გახდება $I_{\phi 0}$ -ზე მეტი, მაშინ ძაბვის ვარდნები $i(R+r) > C\Phi V$, $\frac{Ldi}{dt} < 0$ -ზე იქნება უარყოფითი, დენი დაიწყებს შემცირებას და გაუტოლდება $- I_{\phi 0}$ -ს. თუ რაიმე მიზეზით დენი გახდება ნაკლები $I_{\phi 0}$ დამყარებულ მნიშვნელობაზე, მაშინ $C\Phi V > i(R+r)$, $\frac{Ldi}{dt} > 0$ დენი დაიწყებს ზრდას და დაუბრუნდება პირვანდელ მნიშვნელობას $I_{\phi 0}$ -ს. მდგრადობის კრიტერიუმი შეიძლება მათემატიკურად ჩაიწეროს შემდეგნაირად

$$\frac{dC\Phi V}{dt} < (R+r). \quad (12.2)$$

ე.ი. რეოსტატული დამუხრუჭება ელექტრულად მდგრადია, მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დენის ზრდისას ემძ-ის $E = C\Phi V$ ზრდის სისწრაფე ნაკლებია ძაბვის ვარდნების $i(R+r)$, ზრდის სისწრაფეზე.

მოცემული სიჩქარის V -ს დროს A წერტილის მდებარეობას განსაზღვრავს 2 წრფის $[i(R+r)]$ -ის, დახრის კუთხე აბცისთა ღერძთან. ამ უკანასკნელს კი R რეოსტატის წინააღმდეგობის სიდიდე. რაც დიდია რეოსტატის წინააღმდეგობა, 2 წრფის დახრის კუთხე, მით მარცხნივ გადაადგილდება A წერტილი. ანუ სხვაგვარად, მით უფრო ნაკლებია რეოსტატული დამუხრუჭების დენის დამყარებული მნიშვნელობა.

ბ) მახასიათებლები

რეოსტატული დამუხრუჭების დამყარებული რეჟიმის ($\frac{Ldi}{dt} = 0$, A წერტილი) დროს (12.1) განტოლება მიიღებს სახეს

$$E = C\Phi V = I_{\text{არ}}(R+r). \quad (12.3)$$

(12.3) განტოლებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ სიჩქარე

$$V = \frac{I_{\text{არ}}(R+r)}{C\Phi}. \quad (12.4)$$

ელექტრომავლის სქემაში შეიძლება იყოს წვევის ძრავების p პარალელურ შტოთა რიცხვი, თითოეულ შტოში მიმდევრულად ჩართულ n ძრავათი. მაშინ ძრავების ემპტოლი იქნება

$$n \cdot C\Phi V = p \cdot I_{\text{არ}} R + n I_{\text{არ}} r.$$

აქედან სიჩქარე

$$V = \frac{p I_{\text{არ}} R + n I_{\text{არ}} r}{C\Phi} = \frac{I_{\text{არ}} \left[\frac{p}{n} (R+r) \right]}{C\Phi}. \quad (12.5)$$

რეოსტატული დამუხრუჭების დროს სამუხრუჭო ძალის ფიზიკური არსი იგივეა, რაც წვევის ძალის. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ დანაკარგები ძრავაში და რედუქტორში ზრდის სამუხრუჭო ეფექტს. ამის გათვალისწინებით ერთი ძრავას მიერ შექმნილი სამუხრუჭო ძალა ტოლია

$$B_{\text{არ}} = 0,367 C\Phi I_{\text{არ}} + \Delta B.$$

თუ ლოკომოტივის ძრავების რიცხვი შეადგენს k -ს ($k = pn$), მაშინ რეოსტატული დამუხრუჭების დროს ლოკომოტივის სამუხრუჭო ძალა იქნება

$$B_{\text{ლოკ}} = k(0,367 C\Phi I_{\text{არ}} + \Delta B). \quad (12.6)$$

ΔB არის მექანიკური და მაგნიტური კარგვებით განპირობებული ძალა, რომელიც ტოლია

$$\Delta B = \frac{3.6(\Delta P_{\text{მექ.არ}} + \Delta P_{\text{მაგნ.}} + \Delta P_{\text{მექ.რედ.}})}{V}, \quad (12.7)$$

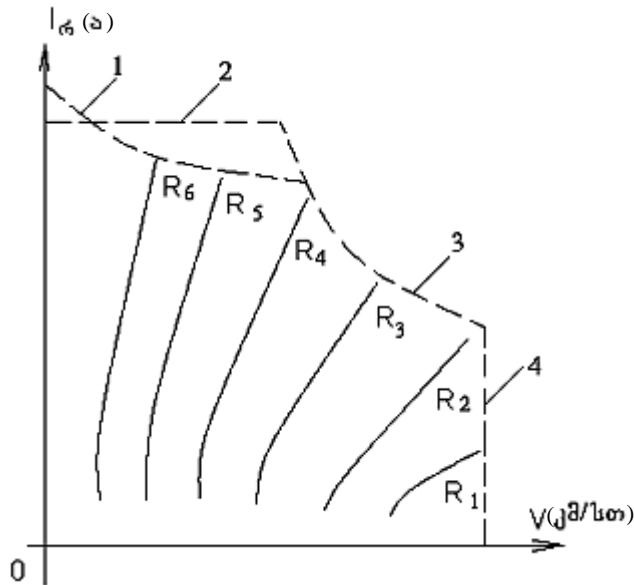
სადაც, $\Delta P_{\text{მექ.არ}}$ არის მექანიკური დანაკარგები ძრავას საკისრებში.

$\Delta P_{\text{მაგნ.}}$ – მაგნიტური დანაკარგები ძრავაში.

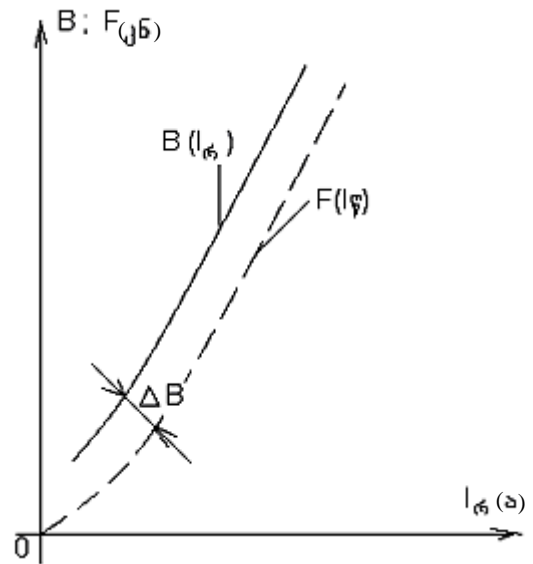
$\Delta P_{\text{მექ.რედ.}}$ – მექანიკური დანაკარგები კბილანა რედუქტორებში.

V – მატარებლის სიჩქარე, რომელზეც ხორციელდება დამუხრუჭება.

თუ ვისარგებლებთ (12.5) და (12.7) ფორმულებით, შეგვიძლია ავაგოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულებები $I_{\text{არ}}(V)$ და $B(I_{\text{არ}})$, (ნახ. 12.3, ნახ. 12.4), ხოლო მათი მეშვეობით სამუხრუჭო მახასიათებლები $B(V)$ (ნახ. 12.5).

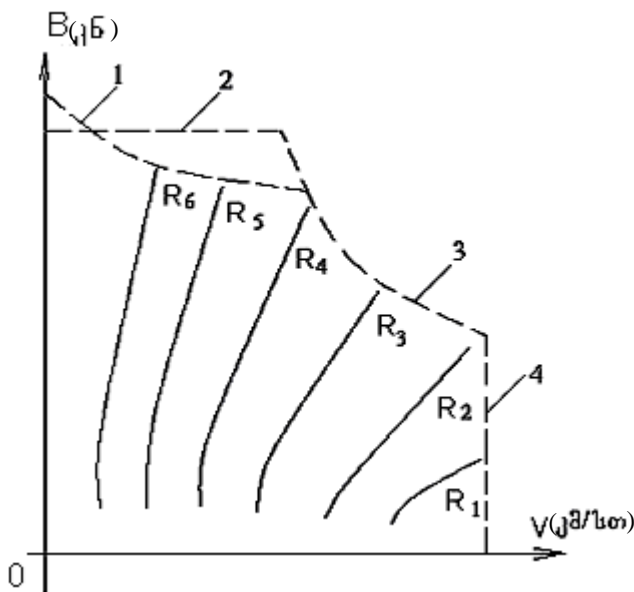


ნახ. 12.3. რეოსტატული დამუხრუჭების დენის მახასიათებლები თვითაგზნების დროს შემდეგი შეზღუდვებით: 1 – ჩაჭიდებით, 2 – მაქსიმალური დენით, 3 – დასაშვები ძაბვით, 4 – მაქსიმალური სიჩქარით.



ნახ. 12.4. სამუხრუჭო ძალის B და წვევის ძალის F -ის დამოკიდებულება დენზე.

დენის $I_\phi(V)$ და სამუხრუჭო მახასიათებლები $B(V)$ მოცემულია სამუხრუჭო



ნახ. 12.5. რეოსტატული დამუხრუჭების სამუხრუჭო მახასიათებლები, შემდეგი შეზღუდვებით: 1 – ჩაჭიდებით, 2 – მაქსიმალური დენით, 3-დასაშვები ძაბვით, 4-მაქსიმალური სიჩქარით.

რეოსტატის სხვადასხვა ($R_1 - R_6$) წინააღმდეგობების მნიშვნელობებისთვის.

(12.5) ფორმულიდან ჩანს, რომ მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავებით რეოსტატული დამუხრუჭების შემთხვევაში, სიჩქარის რეგულირება ყველაზე ეფექტურად შეიძლება განვახორციელოთ სამუხრუჭო რეოსტატის წინააღმდეგობის ცვლილებით. რაც მეტია ეს წინააღმდეგობა, მოცემული დენისათვის და მ.შ. სამუხრუჭო ძალისათვის, მით უფრო მეტი შეიძლება იყოს სიჩქარე. რეოსტატის წინააღმდეგობის გაზრდა ნებისმიერ სიჩქარეზე, ამცირებს დენს და შესაბამისად სამუხრუჭო ძალას.

სამუხრუჭო მახასიათებლებზე (ნახ. 12.5) დატანილია შემდეგი შეზღუდვები:

1 – ჩაჭიდებით. ამ შეზღუდვის გარეთ მოსალოდნელია თვლების ჩასოღვა.

2 – წვევის ძრავას ან რეოსტატის დასაშვები დენით, რომლის გადაჭარბებისას მოსალოდნელია მათი თბური დაზიანება.

3 – წვევის ძრავაზე მაქსიმალური დასაშვები ძაბვით.

რეოსტატული დამუხრუჭების დროს გადამეტაბვების საფრთხეს განაპირობებს, დიდი სიჩქარეების დროს, დიდი სამუხრუჭო ძალების რეალიზაციის სურვილი. ამ შემთხვევაში ძრავას ემპ-ის მნიშვნელობა დიდია, რადგან ის მუშაობს მაღალ სიჩქარეზე დიდი მაგნიტური ნაკადით (განსხვავებით წვევის რეჟიმისაგან, როდესაც დიდ ნაკადს შეესაბამება შედარებით მცირე სიჩქარეები). დასაშვებზე მეტი სიჩქარის პირობებში ძაბვამ ძრავას მომჭერებზე შეიძლება მის ნომინალურ მნიშვნელობას გადააჭარბოს 1,5-2-ჯერ, რასაც შეიძლება მოჰყვეს ძრავას კომუტაციის გაუარესება და კოლექტორზე წრიული ცეცხლი.

4 – მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარით.

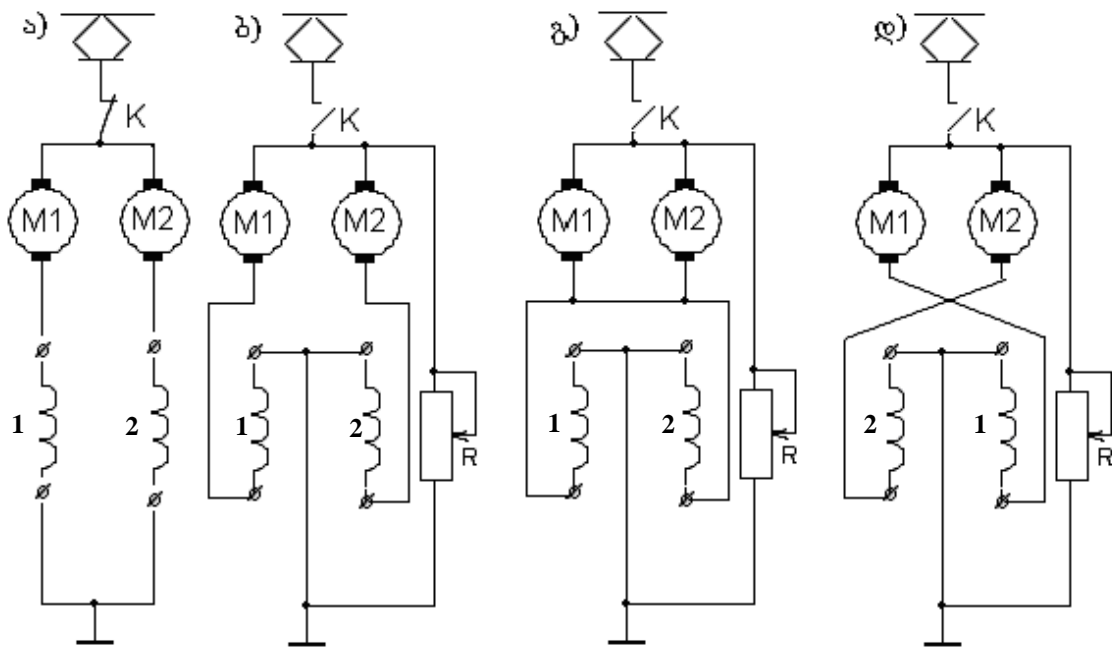
მაღალ სიჩქარეებზე დამუხრუჭების ინტენსივობა იზღუდება მაქსიმალურად დასაშვები ძაბვით, ხოლო დაბალ სიჩქარეებზე მაქსიმალურად დასაშვები დენით. სიჩქარეების შემცირებისას, დაახლოებით ერთნაირი სამუხრუჭო ძალის შესანარჩუნებლად საჭიროა სამუხრუჭო რეოსტატის წინაღობის შემცირება რეოსტატის ცალკეული სექციების საფეხურების ამორთვით. რეოსტატის ბოლო საფეხურის ამორთვის შემდეგ, სამუხრუჭო დენის და შესაბამისად სამუხრუჭო ძალის მნიშვნელობა მკვეთრად მცირდება. ძალიან მცირე სიჩქარის დროს პრაქტიკულად ქრება ძრავას ემპ, დენი და შესაბამისად სამუხრუჭო ძალა. ამიტომ მხოლოდ რეოსტატული მუხრუჭით შეუძლებელია მატარებლის გაჩერება, ან მისი დამაგრება გაჩერებულ მდგომარეობაში ე.წ. მავნე ქანობებზე.

გ) რეოსტატული რეჟიმის დამუხრუჭების სქემები.

ერთი ძრავას შემთხვევაში წვევის რეჟიმიდან რეოსტატულ რეჟიმზე გადასვლის სქემა ჩვენ მოყვანილი გვექონდა ნახ. 12.1-ზე.

თუ წვევის რეჟიმში გვექნებოდა პარალელურად ჩართული ორი ძრავა, მაშინ მათი გადაყვანა რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში, ყველაზე მარტივად შეიძლებოდა, თუ ამ ორ ძრავას შევავრთებდით მიმდევრობით და ჩავრთავდით ერთ საერთო სამუხრუჭო რეოსტატზე. მაგრამ, როგორც ზემოთ ვნახეთ, რეოსტატული დამუხრუჭების დროს, განსაკუთრებით მაღალ სიჩქარეებზე, თითოეულ ძრავაზე ძაბვამ შეიძლება მიაღწიოს ნომინალურზე ორჯერ მეტ მნიშვნელობას. ეს კი ნიშნავს ორ მიმდევრობით ჩართულ ძრავაზე ძაბვის 4-ჯერ გადაჭარბებას, რაც მიუღებელია. ამიტომ რეოსტატული დამუხრუჭების დროს ცდილობენ შეინარჩუნონ ძრავების წვევის რეჟიმის შესაბამისი პარალელური შეერთების სქემები.

მაგრამ მიმდევრობით აგზნებიანი ძრავების პარალელურად ჩართვის შემთხვევაში (ნახ. 12.6, ა) საჭირო ხდება სპეციალური ღონისძიებების გატარება, მათი მდგრადი მუშაობის უზრუნველსაყოფად.



ნახ. 12.6.

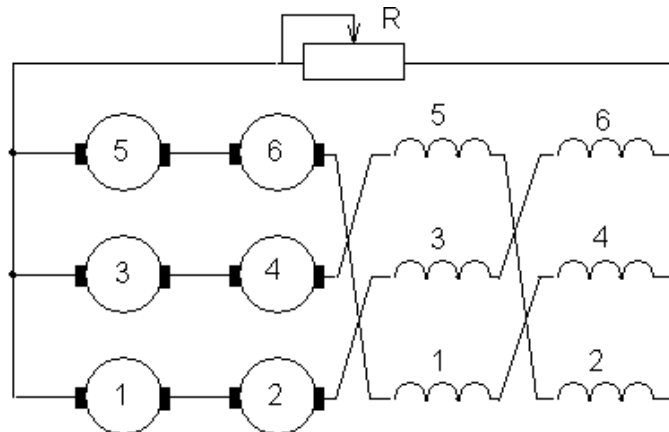
თუ რეოსტატულ დამუხრუჭების რეჟიმში დავტოვებთ ჩვეულებრივ პარალელურ შეერთებას (ნახ. 12.6, ბ), მაშინ სქემა იქნება არამდგრადი, წვეის ძრავების და წყვილთვალების დამზადებისას ტექნოლოგიური დაშვებებით განპირობებული პარამეტრების (მახასიათებლების) გაბნევის გამო. მაგალითად, თუ $M1$ ძრავა აღმოჩნდებოდა $M2$ ძრავაზე ჩქარმავალი, მაშინ მისი ე.მ. $E = C_e \Phi n$ ფორმულის თანახმად, იქნებოდა მეტი $M2$ ძრავას ემძ-ზე. ეს გამოიწვევდა $M1$ ძრავას აგზნების გრაგნილში დენის გაზრდას. ეს უკანასკნელი აგზნების ნაკადის Φ -ის გაზრდას. ის კი თავის მხრივ $M1$ ძრავას ე.მ.ძ-ის E გაზრდას და $M2$ ძრავას ემძ-ის შემცირებას. ეს გამოიწვევდა ძრავებს შორის ე.წ. გამათანაბრებელ დენს, რომელიც კიდევ უფრო დატვირთავდა $M1$ ძრავას და განტვირთავდა $M2$ ძრავას. ეს პროცესი გაგრძელდებოდა მანამ, სანამ მთლიანად არ გადაიტვირთებოდა (მოკლედ შერთვამდე) $M1$ ძრავა და მთლიანად არ განიტვირთებოდა (სრულ განმაგნიტებამდე) $M2$ ძრავა. შემდეგ დენი შეიცვლიდა მიმართულებას, რაც გამოიწვევდა $M2$ ძრავას გადამაგნიტებას და $M1$ ძრავას განმაგნიტებას. საბოლოოდ ეს მიგვიყვანდა ორი მიმდევრულად ჩართულ გენერატორის მოკლედ შერთვამდე.

რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში ორი გენერატორის ელექტრულად მდგრადი მუშაობის უზრუნველსაყოფად, შეგვიძლია გამოვიყენოთ სქემა გამათანაბრებელი სადენით (ნახ. 12.6, გ). ეს სქემა უზრუნველყოფს მდგრად მუშაობას იმიტომ, რომ გამათანაბრებელი დენები გადიან არა პარალელურად მომუშავე მანქანების აგზნების გრაგნილებში, არამედ მოკლე გზით გამათანაბრებელ სადენში. ეს სქემა მართალია უზრუნველყოფს მდგრადობას, მაგრამ ვერ უზრუნველყოფს დატვირთვის თანაბარ გადანაწილებას $M1$ და $M2$ ძრავებს შორის.

მდგრადობას და დატვირთვის თანაბარ გადანაწილებას უზრუნველყოფს ე.წ. აგზნების გრაგნილების ჯვარედინი ჩართვის სქემა, როდესაც $M1$ ძრავას აგზნების გრაგნილი ჩართულია $M2$ ძრავას ღუზის მიმდევრობით და პირიქით, $M2$ ძრავას აგზნების გრაგნილი ჩართულია $M1$ ძრავას ღუზის მიმდევრობით (ნახ. 12.6, დ).

ორი ძრავადან ერთ-ერთში ღუზის დენის გაზრდა იწვევს მეორე ძრავაში აგზნების გაზრდას, მის ემპ-ის და შესაბამისად ღუზის დენის გაზრდას, რაც უზრუნველყოფს არა მარტო ელექტრულ მდგრადობას, არამედ დატვირთვის თანაბარ გადანაწილებას პარალელურად მომუშავე გენერატორებს შორის.

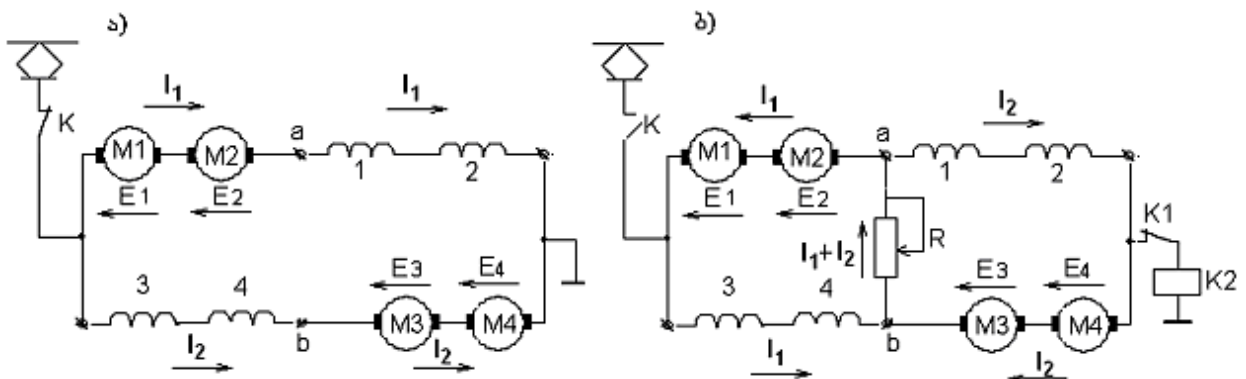
ექსლერძიანი ელექტრომაგლის შემთხვევაში, რეოსტატული დამუხრუჭების დროს, პარალელურ რეჟიმში მომუშავე გენერატორების სამი ჯგუფი (1-2, 3-4 და 5-6 წვევის ძრავები) ჩართულია საერთო სამუხრუჭო R რეოსტატზე ე.წ. ციკლური სქემით (ნახ. 12.7).



ნახ. 12.7. რეოსტატული დამუხრუჭების ციკლური სქემა.

ციკლური სქემის შემთხვევაში 1-2 ძრავას გაზრდილი ე.მ.ძ. E გამოიწვევს აგზნების ნაკადების და შესაბამისად ე.მ.ძ-ის გაზრდას სხვა ძრავებში და ისინი დაიტვირთებიან ერთნაირად. პარალელურად ოთხი და მეტი ჯგუფის ძრავების შემთხვევაში რეოსტატული დამუხრუჭება ციკლური სქემით არამდგრადი ხდება. ერთ-ერთი მიზეზი, რამაც განაპირობა ორი წვევის ძრავას მუდმივად მიმდევრობით

შეერთება, როგორც წვეის, ასევე რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში, სწორედ ეს იყო. ამ შემთხვევაში ვიღებთ ორ პარალელურ შტოს, რაც საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ზემოთ აღწერილი ჯვარედინი სქემა (ნახ. 12.6, დ). ამის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ მეტროპოლიტენის ვაგონის ძალური პრინციპული სქემა წვეის რეჟიმში (ნახ. 12.8, ა) და რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში (ნახ. 12.8, ბ). განსხვავებით (ნახ. 12.6, დ)-ზე მოყვანილი სქემიდან, აქ არ არის გრაგნილების გადართვის აუცილებლობა. სამუხრუჭო რეჟიმზე გადასვლისთვის საკმარისია წვეის ძრავები გამოვრთოთ ქსელიდან და ab წერტილებს შორის ჩავრთოთ სამუხრუჭო რეოსტატი R (ნახ. 10.8, ბ), რომელშიც გაივლის წვეის ძრავების ორივე ჯგუფის ჯამური დენი $I_1 + I_2$, რადგან პირველი ჯგუფის ძრავების დენი I_1 გადის მეორე ჯგუფის ძრავების აგზნების გრაგნილებში, ხოლო მეორე ჯგუფის ძრავების დენი I_2 , პირველი ჯგუფის აგზნების გრაგნილებში. ამიტომ განსახილველ სქემას აქვს ჯვარედინი სქემის თვისება. მიწის მიმართ პოტენციალის შესამცირებლად სქემა დამიწებულია სამუხრუჭო გადამრთის K_1 კონტაქტორით და K_2 დამიწების რელეთი (ნახ. 12.8, ბ).



ნახ. 12.8. მეტროპოლიტენის მოძრავი შემადგენლობის პრინციპული სქემა:
 ა) წვეის რეჟიმში; ბ) რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში.

სამუხრუჭო ძალა დამოკიდებულია ძრავას დენის მნიშვნელობაზე. მისი რეგულირება კი შესაძლებელია სამუხრუჭო რეოსტატის წინააღმდეგობის R -ის რეგულირებით.

12.2.2. რეოსტატული დამუხრუჭება წვეის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნებით

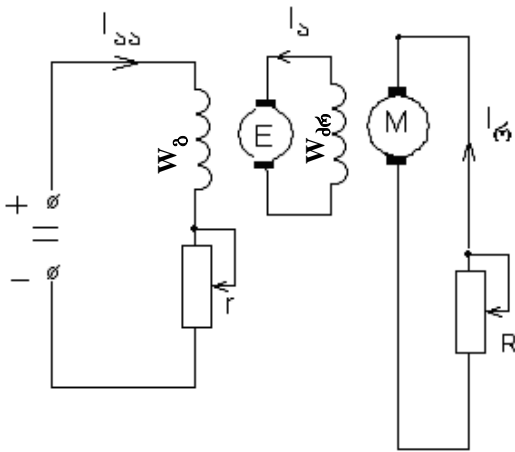
თვითაგზნებიანი რეოსტატული დამუხრუჭება, ერთის მხრივ, მარტივია და შესაბამისად მუშაობაში საიმედო. მან ფართო გავრცელება ჰპოვა მუდმივი დენის ემშ-ზე, მაგრამ ხასიათდება გარკვეული ნაკლით. კერძოდ, თვითაგზნების პროცესის

გარკვეული ინერციულობის (ნელი ტემპის) გამო გვიანდება სამუხრუჭო ეფექტის გაჩენა. ეს განპირობებულია მცირე სიდიდის ნარჩენი ნაკადით და შესაბამისად მცირე სიდიდის E_0 -ით.

თვითაგზნების პროცესის დასაჩქარებლად შეიძლება გამოყენებული იქნეს წვეის ძრავას აგზნების გრაგნილის თანკვება დამოუკიდებელი კვების წყაროდან, ან წვეის ძრავას გადაყვანა დამოუკიდებელ აგზნებაზე.

არსებობს წვეის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნებით რეოსტატული დამუხრუჭების სხვადასხვა სქემა, რომლებიც ანალოგიურია რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემების (განხილულ იქნება ქვემოთ).

12.9 ნახაზზე მოცემულია სქემა, რომელზეც ძრავას აგზნების გრაგნილი დამუხრუჭების რეკიში კვებას იღებს, სტაბილური ბრუნთა რიცხვის მქონე, დამოუკიდებელ აგზნებიანი მბრუნავი მანქანიდან.



ნახ. 12.9. რეოსტატული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა, დამოუკიდებელი აგზნების მბრუნავი მანქანი.

ვინაიდან ამ სქემაში აგზნების დენი არაა ელექტრულად დაკავშირებული ღუზის დენთან, ხოლო ღუზის რეაქციის ზეგავლენა მაგნიტურ ნაკადზე უმნიშვნელოა, ამიტომ (12.5) ფორმულის თანახმად შეგვიძლია მივიღოთ სამუხრუჭო მახასიათებელთა ოჯახი, რომლებიც წარმოადგენენ აბცისთა დერძთან დახრილ წრფეებს. მახასიათებლების დახრის კუთხე დამოკიდებულია სამუხრუჭო რეოსტატის წინააღობის სიდიდეზე და აგზნების ნაკადზე.

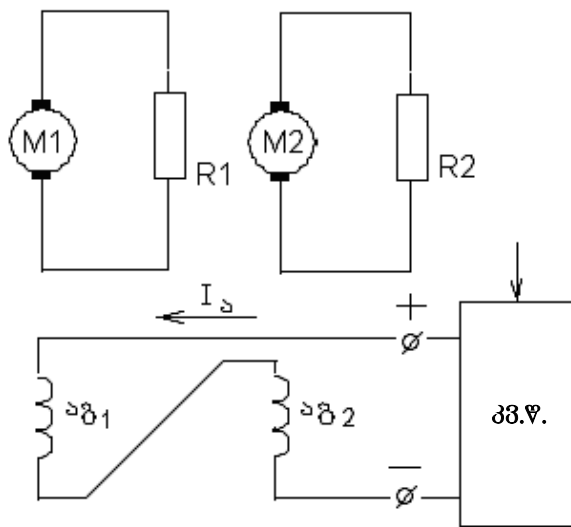
შესაბამისად დამუხრუჭების ასეთ სისტემებში სამუხრუჭო ძალის რეგულირება შეიძლება, როგორც რეოსტატის წინააღობის რეგულირებით, ასევე მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით.

12.9 ნახაზზე მოცემული სქემის ნაკლია ის, რომ ცუდად ხდება დატვირთვის გადანაწილება, საერთო სამუხრუჭო რეოსტატზე პარალელურად მომუშავე წვეის ძრავებს შორის. ამიტომ, მიზანშეწონილია პარალელურად მომუშავე წვეის ძრავების თითოეული ჯგუფი ჩაირთოს ცალკე სამუხრუჭო რეოსტატზე.

12.3. ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომობილური შემადგენლობის რეოსტატული დამუხრუჭება

ასეთი სქემა განვიხილოთ ერთფაზა ცვლადი დენის ელექტრომავლის მაგალითზე, სადაც იყენებენ რეოსტატული დამუხრუჭების სქემებს წვეის ძრავების

დამოუკიდებელი აგზნებით. 12.10 ნახაზზე მოცემულია ასეთი ტიპის რეოსტატული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა. წვეის ძრავას დუზები ჩართულია თავთავის სამუხრუჭო რეოსტატზე $R1, R2$. აგზნების გრაგნილები შეერთებულია მიმდევრობით და იკვებება კვების წყაროდან (კვ.წ.) სამუხრუჭო ძალას არეგულირებენ აგზნების დენის I_a -ს ცვლილებით. დენის მახასიათებელს ანგარიშობენ (12.4) ფორმულით. აგზნების დენის უცვლელი მნიშვნელობისას მაგნიტური ნაკადი თითქმის არ იცვლება. ამიტომ დამუხრუჭების დენი I_{θ} – სიჩქარის პროპორციულია. თითოეული მახასიათებელი შეესაბამება გარკვეულ აგზნების დენს I_a -ს. სამუხრუჭო ძალას ანგარიშობენ (12.7) ფორმულით. დენის და სამუხრუჭო ძალის მახასიათებლები მოცემულია შესაბამისად ნახ. 12.11 და ნახ. 12.12-ზე.



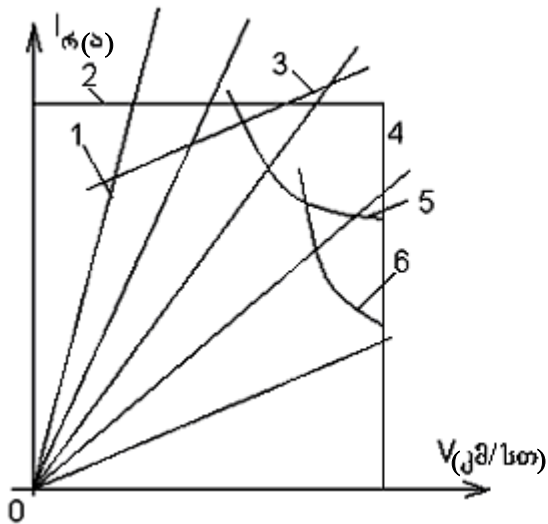
ნახ. 12.10. რეოსტატული დამუხრუჭების სქემა
წვეის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნებით.

დენის და სამუხრუჭო მახასიათებლებზე დატანილია შემდეგი შეზღუდვები:

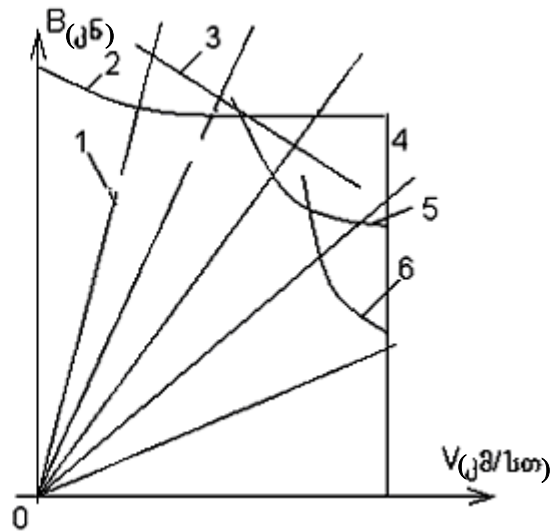
- აგზნების დენის მაქსიმალური მნიშვნელობით – 1,
- ჩაჭიდებით – 2,
- ძრავას კომუტაციით – 3,
- მაქსიმალური სიჩქარით – 4,
- სამუხრუჭო რეოსტატის სიმძლავრით – 5,
- დუზის და აგზნების დენების თანაფარდობით – 6.

ცვლადი დენის ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე რეოსტატული დამუხრუჭების რეჟიმში თავს იჩენს იგივე სირთულეები, რაც წვეის რეჟიმში. კერძოდ, დატვირთვის თანაბარი გადანაწილება პარალელურად მომუშავე მანქანებს შორის და ჩაჭიდების გაუარესების საშიშროება. ამ პრობლემების მოგვარება შედარებით მარტივად

თითქოს შესაძლებელია წვეის ძრავების ცალკეული ჯგუფების ინდივიდუალური აგზნებით, ცალკე სტატიკური გარდამქმნელიდან ძაბვის მდოვრე ავტომატური რეგულირებით. ეს შესაძლებლობას მოგვცემდა გაგვეთანაბრებინა დატვირთვა პარალელურად მომუშავე წვეის ძრავების ჯგუფებს შორის (ნაკლებად დატვირთულისთვის აგზნების გაზრდით და გადატვირთულისთვის აგზნების შემცირებით). ამასთანავე, ჩასოლვის საფრთხის შემთხვევაში შეგვემცირებინა აგზნება შესაბამისი ძრავასათვის. მაგრამ ამ ვარიანტმა ვერ ჰპოვა გავრცელება სქემის სირთულის გამო.



ნახ. 12.11. რეოსტატული დამუხრუჭების მახასიათებლები, დამოუკიდებელი აგზნების დროს.



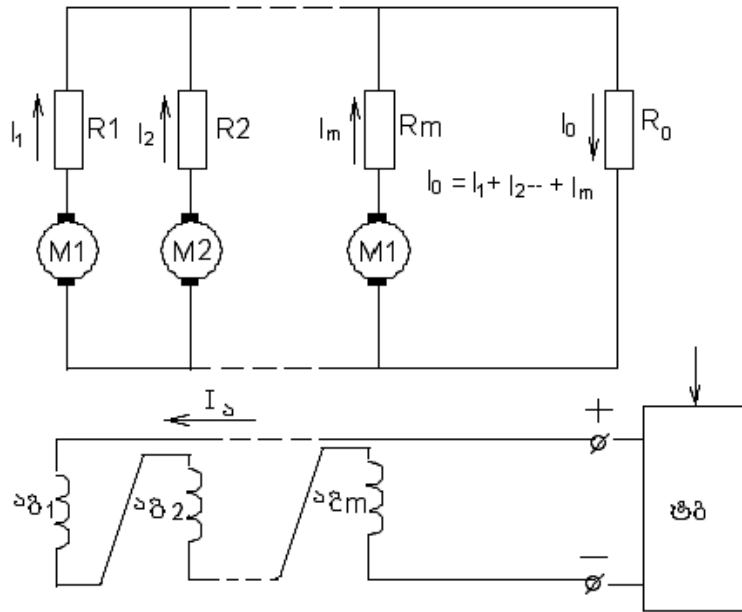
ნახ. 12.12. სამუხრუჭო მახასიათებლები დამოუკიდებელი აგზნების დროს.

სხვადასხვა შემოთავაზებული სქემური ვარიანტებიდან საყურადღებოა 12.13 ნახაზზე მოცემული სქემა, რომელიც საშუალებას იძლევა ჩაჭიდება დარღვეულ წყვილთვალთან კავშირში მყოფი ძრავას ღუზის დენი შემცირდეს ნულამდე უფრო სწრაფად, ვიდრე მათი (ძრავას ღუზის და წყვილთვალის) კუთხური სინქარე გაუტოლდება ნულს (ანუ მოხდება ჩასოლვა). ამას იწვევს ის, რომ ამ მანქანის ემპ-ზე და დენზე შემხვედრად მოქმედებს ძაბვის ვარდნა R_0 რეზისტორზე – $I_0 R_0$ (ნახ. 12.13).

რეოსტატული დამუხრუჭების დროს სასურველია დამუხრუჭება მიმდინარეობდეს ქსელიდან დამოუკიდებლად. ზემოთ განხილულ სქემებში (სადაც აგზნები გენერატორები ან სტატიკური გარდამქმნელებია გამოყენებული), თუ საკონტაქტო ქსელიდან მოიხსნება ძაბვა, დამუხრუჭება გახდება შეუძლებელი. ამ დროს პრინციპულად შესაძლებელია სქემა გადავროთო:

1. თვითაგზნებაზე, რაც ძალზე ართულებს სქემას და ზრდის მოწყობილობის გაბარიტებს, რომლის განთავსებაც ბორტზე შეუძლებელია;

2. სამუხრუჭო რეოსტატზე ძაბვის ვარდნის ნაწილით კვებაზე (რისთვისაც აგზნების გრაგნილები სამუხრუჭო რეოსტატს უერთდება სტატიკური გარდამქმნელის მეშვეობით);
3. ამგზნებ მანქანად გამოვიყენოთ ერთ-ერთი წვევის ძრავა, ხოლო მისი აგზნება მოვახდინოთ სააკუმულატორო ბატარეიდან.



ნახ. 12.13. გენერატორების პარალელური მუშაობა საერთო დატვირთვაზე რეოსტატული დამუხრუჭების დროს.

12.4. მუდმივი დენის კონტაქტორულ-რეოსტატული ელექტრომოდრავი შემადგენლობის რეკუპერაციული დამუხრუჭება

12.4.1. ზოგადი ცნობები რეკუპერაციული დამუხრუჭების შესახებ

როგორც ამ თავის დასაწყისში აღვნიშნეთ რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს (recuperation – ლათინური სიტყვაა და ნიშნავს აღდგენას, ქსელში უკან დაბრუნებას) წვევის ძრავების მიერ გამომუშავებული ელექტრული ენერგია ბრუნდება უკან ქსელში და მოიხმარება (აუცილებლად მოიხმარება) სხვა მომხმარებლის მიერ.

განსხვავებით მექანიკური მუხრუჭებისაგან, ელექტრული დამუხრუჭების დროს, ელექტრული სქემების და მათში შემავალი პარამეტრების შერჩევით შეგვიძლია მივიღოთ სასურველი ფორმის სამუხრუჭო მახასიათებელი.

თუ ელექტრული დამუხრუჭება განკუთვნილია გრძელ, დიდი დახრილობის დაღმართებზე სიჩქარის შესაზღვრავად, მაშინ შეგვიძლია მივიღოთ მექანიკურად

მდგრადი ხისტი სამუხრუჭო მახასიათებლები, როდესაც სიჩქარის ზრდისას მკვეთრად იზრდება შემანელებელი $B + W_0$ ძალის მნიშვნელობა.

თუ ელექტრული დამუხრუჭება განკუთვნილია მატარებლების გასაჩერებლად, (მეტროპოლიტენის მოძრავი შემადგენლობა, საგარეუბნო ელექტრომატარებლები), მაშინ სასურველია უცვლელი სამუხრუჭო ძალა შევინარჩუნოთ სიჩქარეთა მთელ დიაპაზონში.

რეკუპერაციული დამუხრუჭების გამოყენება, განსაკუთრებით ინტენსიური მოძრაობის მქონე საუღელტეხილო უბნებზე, იძლევა დიდ ეკონომიურ ეფექტს. კერძოდ:

- წვეაზე დახარჯული ელექტროენერჯის 20%-მდე ეკონომიას;
- დიდი დახრილობის თავდაღმართებზე მოძრაობის სიჩქარეების ამალღების შესაძლებლობას;
- საკონტაქტო ქსელში ძაბვის სტაბილიზაციის ხელშეწყობას;
- სამუხრუჭო ხუნდების და წყვილთვალის არტახების ცვეთის შემცირებას;
- კიდევ ერთი საიმედოდ მომუშავე მუხრუჭის გამოყენების გზით მოძრაობის უსაფრთხოების ამალღებას.

კონტაქტორულ-რეოსტატული მართვის მქონე ემშ-ის რეკუპერაციული დამუხრუჭების განხორციელებისთვის პირველი და აუცილებელი პირობაა წვეის მანქანის ემშ-ამ, ანუ მიმდევრულად ჩართულ წვეის ძრავების ჯამურმა ემშ-ამ, გადააჭარბოს საკონტაქტო ქსელის ძაბვას. რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს ძაბვათა ბალანსის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$E = C\Phi V = U + Ir. \quad (12.8)$$

აქედან დენის მნიშვნელობა იქნება

$$I = \frac{C\Phi V - U}{r}. \quad (12.9)$$

მატარებლის სიჩქარე რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს

$$V = \frac{U + Ir}{C\Phi}. \quad (12.10)$$

თუ მიმდევრობით ჩართული იქნება n_a რაოდენობის წვეის ძრავა, მაშინ

$$V = \frac{U_{\text{ქს}} + \sum Ir}{n \cdot C\Phi}, \quad (12.11)$$

სადაც, $\sum Ir$ არის ძალურ წრედში ჯამური ძაბვის ვარდნა.

სამუხრუჭო ძალა გამოითვლება იგივე ფორმულით (იხ. ფორმულა 12.6), როგორც რეოსტატული დამუხრუჭებისას

$$B_{\text{ლოკ}} = k(0,367C\Phi I_{\text{ძრ}} + \Delta B). \quad (12.12)$$

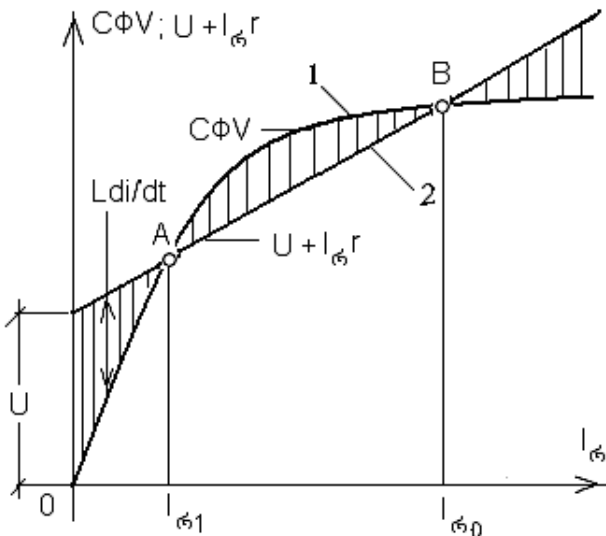
რეკუპერაციული დამუხრუჭების მქკ წარმოადგენს ქსელში მიწოდებული სიმძლავრის ფარდობას დამუხრუჭების მექანიკურ სიმძლავრესთან

$$\eta_{რკ} = \frac{367(UI - \Delta P_s)}{BV}, \quad (12.13)$$

სადაც, ΔP_s არის აგზნების წრედის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე.

(12.11), (12.12) და (12.13) ფორმულების გამოყენებით, შეგვიძლია ავაგოთ რეკუპერაციული დამუხრუჭების მახასიათებლები, თუ გვეცოდინება მაგნიტური ნაკადის დამოკიდებულება რეკუპერაციის დენზე $\Phi(I_{\phi})$. გენერატორულ რეჟიმში მუშაობისას მუდმივი დენის წვეის ძრავებს აქვთ $\Phi(I_{\phi})$ დამოკიდებულების 4 სახე, რომლებიც შეესაბამებიან: მიმდევრობით, დამოუკიდებელ, შერეულ-თანხვედრ და შერეულ შემხვედრ აგზნების სისტემებს.

მიმდევრობით აგზნებიანი და შერეულ-თანხვედრ აგზნებიანი გენერატორები რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმისთვის ქსელთან მუშაობის არამდგრადობის გამო გამოუყენებლები არიან. 12.14 ნახაზზე 1 – მრუდი შეესაბამება ასეთი გენერატორის ემძ-ის დამოკიდებულებას რეკუპერაციის დენზე, როდესაც $V = const$, ხოლო 2 – წრფე ქსელის ძაბვის და გენერატორში ძაბვის ვარდნის ჯამს $U + I_{\phi}r$. გარდამავალი პროცესი აღიწერება პროცესის განტოლებით



ნახ. 12.14.

$$C\Phi V = U + I_{\phi}r + L \frac{di}{dt}. \quad (12.14)$$

აქედან

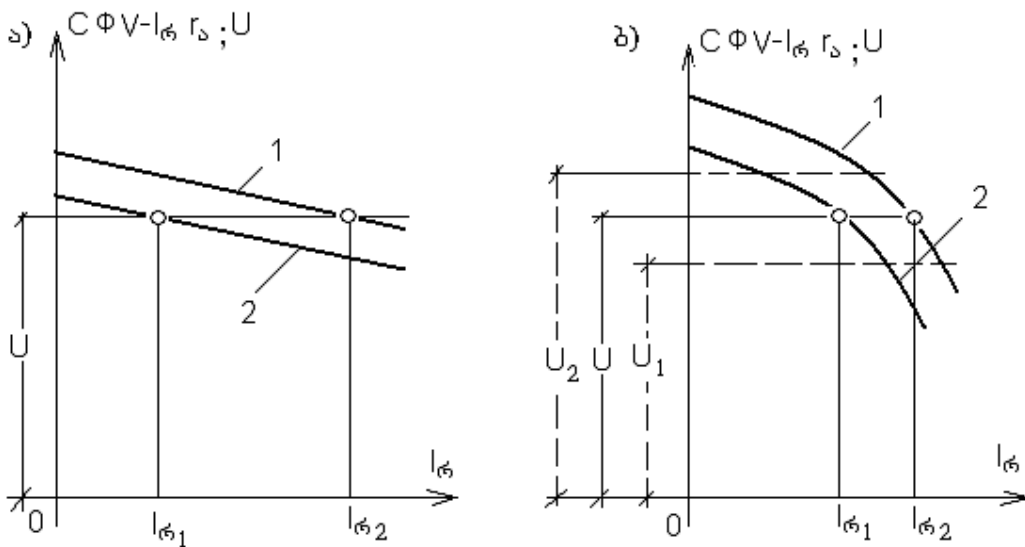
$$L \frac{di}{dt} = C\Phi V - (U + I_{\phi}r). \quad (12.15)$$

1 და 2 ხაზების გადაკვეთის A წერტილი წარმოადგენს ელექტრული წონასწორობის წერტილს, როდესაც $C\Phi V = U + I_{\phi}r$. მაგრამ ის არამდგრადია. მართლაც, თუ შემთხვევით მოხდება რეკუპერაციის დენის შემცირება $I_{\phi 1}$ ქვემოთ, მაშინ ემძ აღმოჩნდება ნაკლები ქსელის ძაბვის და მანქანაში ძაბვის ვარდნის ჯამზე, $U + I_{\phi}r$ -ზე, $L \frac{di}{dt}$ გახდება ნაკლები 0-ზე, რაც კიდევ უფრო შეამცირებს ემძ-ს. ეს პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ მანქანა მთლიანად არ განმაგნიტდება და პირიქით, თუ რეკუპერაციის დენი შემთხვევით გაიზრდება, მაშინ ემძ გახდება მეტი $U + I_{\phi}r$ ჯამზე, $L \frac{di}{dt} > 0$ -ზე და ეს პროცესი

გაგრძელება ახალი წონასწორობის B წერტილამდე. ეს წერტილი კი იქნება მდგრადი, მაგრამ მისი შესაბამისი დენი $I_{\phi 0}$ ისეთი დიდია, რომ მისი პრაქტიკულად რეკუპერირება შეუძლებელი იქნება.

მუდმივი დენის ელექტრომაგვლებზე, რეკუპერაციულ რეჟიმში მდგრადი მუშაობის უზრუნველსაყოფად, წვევის ძრავები მიმდევრობითი აგზნებიდან გადაჰყავთ დამოუკიდებელ აგზნებაზე. აგზნების გრაფილების საკვებად გამოიყენება მბრუნავი დაბალი ძაბვის გენერატორი (ამგზნები მანქანა), რომელიც ბრუნვით მოძრაობაში მოჰყავს საკონტაქტო ქსელზე მიერთებულ მაღალი ძაბვის ძრავას ან სტატიკურ გარდამქმნელს.

დამოუკიდებელ აგზნებიან წვევის ძრავებს გენერატორულ რეჟიმში აქვთ ნაკლებად ციცაბო გარე მახასიათებელი (1,2 წრფეები), რის გამოც პარალელური მუშაობის რეჟიმში ისინი არათანაბრად არიან დატვირთულნი (ნახ. 12.15, ა). ($I_{\phi 1}$ და $I_{\phi 2}$ დატვირთვის დენებს შორის სხვაობა გაცილებით დიდია დამოუკიდებელაგზნებიან გენერატორებისთვის, ვიდრე შერეულ შემხვედრაგზნებიან გენერატორებისთვის) (ნახ. 12.15, ბ).

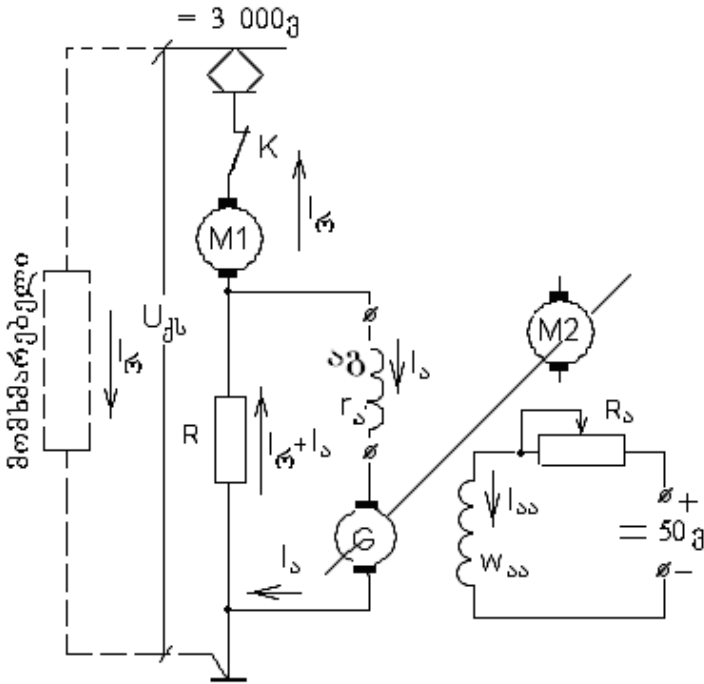


ნახ. 12.15. გარე მახასიათებლები და დატვირთვის განაწილება
 ა) პარალელურ აგზნებიან და ბ) შერეულ შემხვედრაგზნებიან
 გენერატორებს შორის.

კონსტრუქციული სირთულის და შესაბამისად ნაკლებ საიმედოობის გამო, სარკინიგზო მაგისტრალურ ტრანსპორტზე, შერეულ შემხვედრაგზნებიანი ძრავები არ გამოიყენება. იმისათვის, რომ დამოუკიდებელ აგზნებიან ძრავას (გენერატორის) გარე მახასიათებელს მისცენ ციცაბო ფორმა რეკუპერაციის დენის გაზრდისას მკვეთრად შემცირდეს ემპ, ადგენენ სპეციალურ სქემებს. განვიხილოთ ორი მათგანი.

12.4.2. რეკუპერაციული დამუხრუჭების სისტემა მასტაბილიზირებელი რეზისტორით

ასეთი სისტემის გამოყენებისას, $M1$ წვევის ძრავას აგზნების წრედს, “მიწის” მხრიდან უერთებენ ამგზნებ გენერატორს G -ს, რომლის ღუზა მოძრაობაში მოჰყავს მაღალ ძაბვაზე მომუშავე $M2$ ელექტროძრავას. წვევის ძრავას ღუზის წრედში, ასევე “მიწის” მხრიდან, რთავენ მასტაბილიზირებელ რეზისტორს R -ს, რომელიც უზრუნველყოფს გარე მახასიათებლის ვარდნის გაზრდას.



ნახ. 12.16. რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემა მასტაბილიზირებელი რეზისტორით.

გრაგნილში $W_{აა}$ -ში დენის მნიშვნელობას, შესაბამისად მაგნიტურ ნაკადს, ამ გზით ამგზნები გენერატორის G -ს ძაბვას და წვევის ძრავას აგზნების დენს.

ამგზნები გენერატორის ძაბვა U_G ბალანსირდება ძაბვის ვარდნით მასტაბილიზირებელ რეოსტატში $(I_e + I_s)R$ და აგზნების გრაგნილში $I_s r_s$. ე.ი.

$$U_G = (I_e + I_s)R + I_s r_s. \tag{12.16}$$

სადაც, I_e და I_s არის წვევის ძრავას რეკუპერაციის და აგზნების დენები.

r_s - აგზნების გრაგნილის წინაღობა.

(12.16) ფორმულიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ აგზნების დენი. მივიღებთ

$$I_s = \frac{I_e + I_s R}{R + r_s}$$

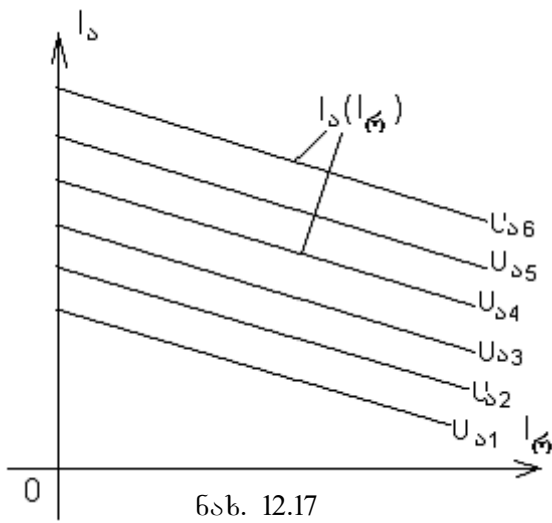
ან

$$I_s = \frac{U_G}{R + r_s} - \frac{I_e R}{R + r_s}. \tag{12.17}$$

აგზნების დენი გადის მასტაბილიზირებელი რეზისტორის R -ის და წვევის ძრავას აგზნების გრაგნილის აგ გავლით. რეკუპერაციის დენი წვევის ძრავას ღუზის პლუს მომჭერიდან მიდის საკონტაქტო ქსელში, იქედან მომხმარებელში, სარელსო წრედში და მასტაბილიზირებელ R რეზისტორის გავლით ძრავას ღუზის მინუს მომჭერში.

წვევის ძრავას დატვირთვის სარეგულირებლად R_s რეოსტატის საშუალებით ცვლიან ამგზნები გენერატორის დამოუკიდებელ აგზნების

როგორც (2.17) ფორმულიდან ჩანს, რეკუპერაციის დენის $I_{\text{რ}}$ ზრდისას მცირდება წვევის ძრავას აგზნების დენი $I_{\text{ა}}$, ძრავას მაგნიტური ნაკადი და შესაბამისად ძაბვა U . რეკუპერაციის დენის შემცირებისას პირიქით, ძაბვა გაიზრდება. ფიზიკურად ეს



ნახ. 12.17

შეგვიძლია წარმოვადგინოთ ასე: რეკუპერაციის დენის გაზრდისას იზრდება ძაბვის ვარდნა მასტაბილიზირებელ R რეზისტორზე, რაც ტოლფასია ამგზნები გენერატორის წრედში წინაღობის გაზრდის და შესაბამისად წვევის ძრავას აგზნების დენის შემცირების. როგორც (2.17) ფორმულიდან ჩანს, ფუნქციონალური დამოკიდებულება $I_{\text{ა}}(I_{\text{რ}})$ წარმოადგენს დახრილ წრფეს. გენერატორის სხვადასხვა ძაბვისათვის გვაქვს ასეთი წრფეების ოჯახი (ნახ. 12.17).

თუ შევცვლით მასტაბილიზირებელი რეზისტორის სიდიდეს, შესაბამისად შევცვლით $I_{\text{ა}}(I_{\text{რ}})$ წრფეების დახრის კუთხეს. მაგრამ მასტაბილიზირებელ რეზისტორში იკარგება ელექტროენერგია და მისი გაზრდა სასურველი არაა. (მასტაბილიზირებელი რეზისტორის წინაღობა 0,05 ომის ტოლია ყოველი ძრავასათვის). რადგან მასტაბილიზირებელი რეზისტორის გამოყენების შემთხვევაში ამგზნებმა გენერატორმა უნდა დააბალანსოს ძაბვის ვარდნა არა მარტო აგზნების გრაგნილში, არამედ მასტაბილიზირებელ რეზისტორშიც, ამიტომ მისი სიმძლავრე და შესაბამისად მასა-გაბარიტული მანქნებლები დიდია, რის გამოც თანამედროვე ელექტრომაგლებზე განხილული სისტემის ნაცვლად გამოიყენება რეკუპერაციული სისტემის ახალი ვარიანტი, ე.წ. ამგზნები მანქანის უკუ აგზნების სისტემა.

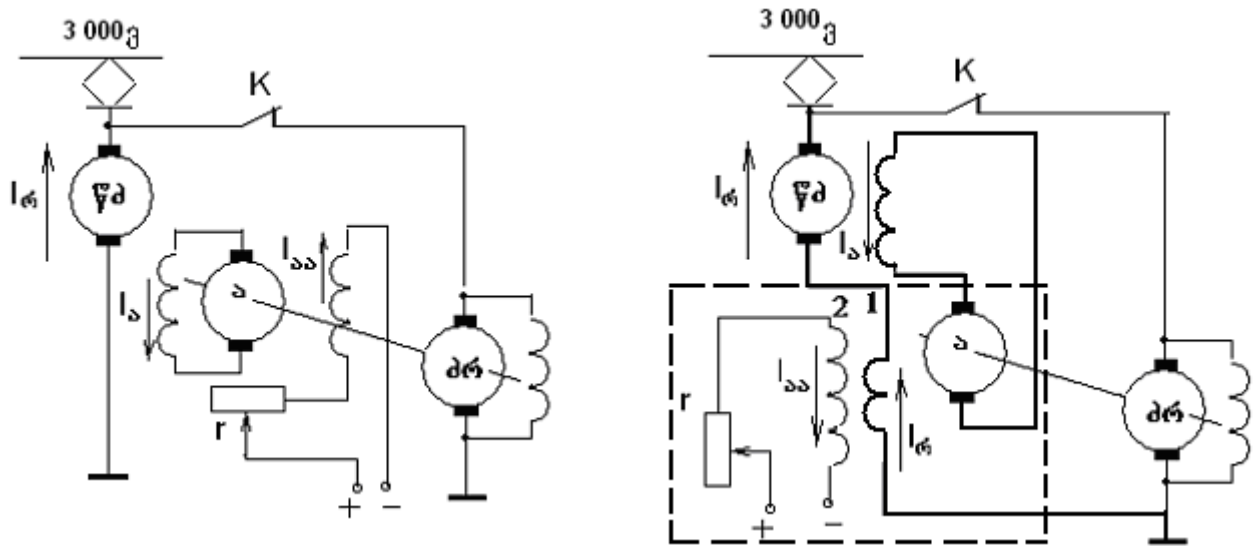
12.4.3. რეკუპერაციული დამუხრუჭების სისტემა ამგზნები მანქანის უკუ აგზნებით

როგორც ცნობილია, მიმდევრობით აგზნებიან ძრავას არ შეუძლია ავტომატურად გადავიდეს გენერატორულ რეჟიმში. ეს აიხსნება იმით, რომ მაგნიტური ნაკადის სიდიდე და შესაბამისად ე.მ.ძ-ის სიდიდე დამოკიდებულია დატვირთვის დენზე და მისი შემცირებისას მკვეთრად ეცემა, ე.ი. არ სრულდება რეკუპერაციული დამუხრუჭების განხორციელების პირველი ძირითადი მოთხოვნა, ძაბვა ძრავას მომჭერებზე არ გახდება საკონტაქტო ქსელის ძაბვაზე მეტი. იმისათვის, რომ შესაძლებელი გახდეს რეკუპერაციული დამუხრუჭება, საჭიროა მიმდევრობითი აგზნებიანი ძრავა

გადავიყვანოთ დამოუკიდებელ აგზნებაზე. ამ მიზნით საჭიროა აგზნების გრაგნილები გამოვრთოთ ღუზის გრაგნილებიდან და ჩავრთოთ დამოუკიდებელ კვების წყაროზე ე.წ. ამგზნებ მანქანაზე (ნახ. 12.18 ა). ამ შემთხვევაში ძრავას აგზნების გრაგნილში აგზნების დენი I_a შეიძლება გავზარდოთ ისე, რომ ძრავების ე.მ.ძ. გახდეს ქსელის ძაბვაზე მეტი. თუ მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე შემცირდება, შესაბამისად შემცირდება ე.მ.ძ. ამ დროს სამუხრუჭო მომენტის შესანარჩუნებლად საჭიროა გავზარდოთ აგზნების დენი I_a და შესაბამისად ე.მ.ძ. მოთხოვნილ მნიშვნელობამდე. ამ მიზნით ვარეგულირებთ ამგზნები მანქანის აგზნების დენს I_{aa} -ს, r რეოსტატის საშუალებით. ამგზნები მანქანა მოძრაობაში მოჰყავს მუდმივი დენის ძრავას ძრ, რომელიც K კონტაქტორის საშუალებით ირთვება ქსელში.

ა)

ბ)



ნახ. 12.18. რეკუპერაციული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა:

- ა) წვეის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნებით;
- ბ) ამგზნები მანქანის უკუ აგზნებით.

12.18 ა ნახაზზე მოცემული სქემა არაპრაქტიკულია, რადგან ის მეტად მგრძობიარეა ქსელში ძაბვის ცვლილებაზე. თუ საკონტაქტო ქსელში ძაბვა რაიმე მიზეზით გაიზრდება, მაშინ ის მეტი გახდება ძრავების ძაბვაზე. ამ უკანასკნელში დენი შეიცვლის მიმართულებას, ძრავა გადავა წვეის რეჟიმში და იმის ნაცვლად რომ მატარებელი დაამუხრუჭოს, პირიქით გააქანებს მას. თუ საკონტაქტო ქსელში ძაბვა რაიმე მიზეზით შემცირდება, მკვეთრად გაიზრდება რეკუპერაციის დენი, შესაბამისად სამუხრუჭო მომენტი და მატარებელში წარმოიშვება ბიძგები. უნდა აღვნიშნოთ, რომ მატარებლის დენმიმღებზე (საკონტაქტო ქსელში) ძაბვის სიდიდე განუწყვეტლივ იცვლება, საფიდერო ზონაში მყოფი მატარებლების რაოდენობის და მათი მუშაობის რეჟიმების ცვლილების გამო (ზოგი მატარებელი იძვრის, ზოგი

ამუხრუჭებს, ზოგი გადის საფიდერო ზონიდან, ზოგი შემოდის საფიდერო ზონაში და ა.შ.). ამ პირობებში მატარებლის მემანქანის მიერ დაყენებული სამუხრუჭო ძალა (იგივე სამუხრუჭო მომენტი) და მ.შ. მისი შემქმნელი რეკუპერაციის დენი უნდა იყოს უცვლელი. ამ მოთხოვნის დაცვა შესაძლებელია ნახ. 12.18 ბ-ზე მოცემული რეკუპერაციული დამუხრუჭების პრინციპული სქემით, სადაც რეალიზდება რბილი მახასიათებელი. შესაბამისად ის არაა მგრძობიარე ქსელში ძაბვის მერყეობის მიმართ. ეს სქემა რეალიზებულია BJI-10, BJI-11 ელექტრომაგალებზე.

როგორც სქემიდან ჩანს, წვევის ძრავას აგზნების გრაგნილი მიერთებულია ა – ამგზნებთან, რომელსაც თავად აქვს ორი აგზნების გრაგნილი. ერთი მიერთებულია წვევის ძრავას ღუზასთან და მასში გადის რეკუპერაციის დენი I_{α} , ხოლო მეორე გრაგნილი იკვებება დამოუკიდებელი დენის წყაროდან, r რეოსტატის გავლით. ეს გრაგნილები ჩართულია ურთიერთშემხვედრად და მათ მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადები ერთმანეთს აკლდება. თუ საკონტაქტო ქსელის ძაბვის შემცირების გამო გაიზრდება რეკუპერაციის დენი, გაიზრდება მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი ამგზნების 1 გრაგნილში. ამგზნები მანქანის ა-ს რეზულტირებული მაგნიტური ნაკადი შემცირდება, შესაბამისად შემცირდება ამგზნების ძაბვა და მ.შ. წვევის ძრავას აგზნების დენი I_{α} . ამას მოჰყვება ძრავების ძაბვის და შესაბამისად რეკუპერაციის დენის I_{α} -ის შემცირება. თუ ძაბვა გაიზრდება საკონტაქტო ქსელში, შემცირდება რეკუპერაციის დენი I_{α} . ეს გამოიწვევს ამგზნები მანქანის მაგნიტური ნაკადის და მ.შ. ძაბვის გაზრდას. ეს კი თავის მხრივ გაზრდის წვევის ძრავას (ამ შემთხვევაში გენერატორის) აგზნების დენს, ძრავების ძაბვას და შესაბამისად რეკუპერაციის დენის I_{α} -ის გაზრდას.

მდგრადობის უზრუნველყოფის მიზნით რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს, წვევის ძრავების აგზნების გრაგნილებს რთავენ ციკლური სქემით, როგორც რეოსტატული დამუხრუჭების დროს.

გენერატორის აგზნების დენს და მ.შ. სამუხრუჭო მომენტს არეგულირებენ ამგზნების აგზნების დენის I_{α} -სა რეგულირებით, მემანქანის კონტროლერის ელექტრული მუხრუჭის სახელურის გადართვით.

წვევის რეჟიმიდან რეკუპერაციულ რეჟიმზე ძალური წრედის გადართვა და პირიქით, რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმიდან წვევის რეჟიმზე წრედის გადართვა, ხდება სამუხრუჭე გადამრთველის საშუალებით, რომელიც კონსტრუქციულად იგივე აპარატია, რაც რევერსორი.

რეკუპერაციული დამუხრუჭების დიაპაზონის გაფართოების მიზნით ცვლიან წვევის ძრავების დაჯგუფების სქემებს, მოძრაობის სიჩქარის მიხედვით. მაგალითად, BJI-10

სერიის ელექტრომაგვლებში 25–30 კმ/სთ სიჩქარეთა დიაპაზონში წვევის ძრავები შეერთებულია მიმდევრობით (სერიესულად „S“); 30–55 კმ/სთ სიჩქარეთა დიაპაზონში სერიეს-პარალელურად („SP“); 55–100 კმ/სთ სიჩქარეთა დიაპაზონში პარალელურად („P“).

12.5. მუდმივი დენის ელექტრომაგვლების რეკუპერაციული დამუხრუჭების პრაქტიკული სქემები

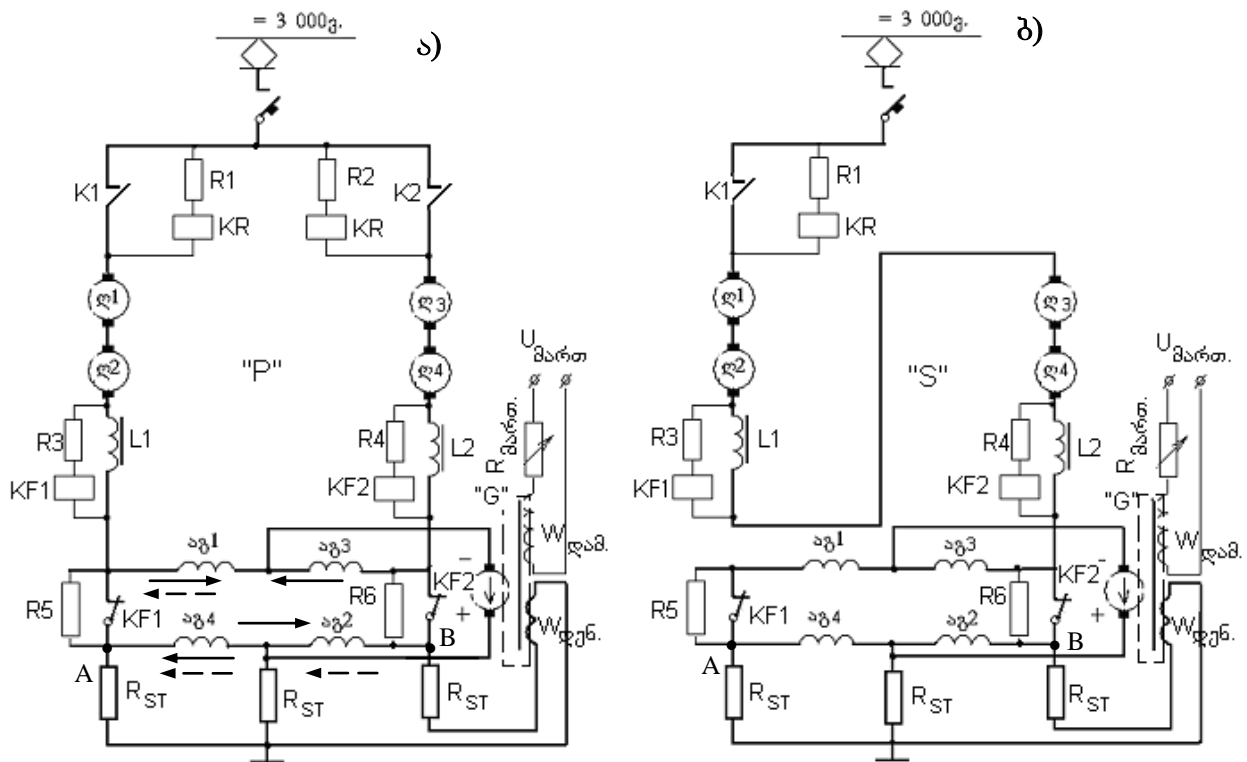
ჩვენ დაწვრილებით განვიხილეთ მუდმივი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემის აგების ძირითადი პრინციპები. განვიხილავთ БЛ10; БЛ11 და БЛ15 ელექტრომაგვლებზე გამოყენებულ რეკუპერაციული დამუხრუჭების კონკრეტულ სქემებს.

12.19 ნახაზზე მოცემულია БЛ10 და БЛ11 ელექტრომაგვლების რეკუპერაციული დამუხრუჭების პრინციპული ძალური სქემები, წვევის ძრავების პარალელური (ნახ. 12.19 ა) და მიმდევრობითი (ნახ. 12.19 ბ) შეერთების რეჟიმებისათვის. როგორც ნახაზიდან ჩანს, რეკუპერაციის რეჟიმში აიკრიფება ე.წ. “ციკლური” სქემა, რომელზეც ერთი სექციის წვევის ძრავას ღუზები სპეციალური გადამრთველების საშუალებით განცალკევდებიან აგზნების გრაგნილებისაგან. წვევის ძრავების აგ-1, აგ-2, აგ-3 და აგ-4 აგზნების გრაგნილები კვებას იღებენ სპეციალური მუდმივი დენის “G” გენერატორიდან, რომელიც შედის НБ-436В. გარდამქნელში ამ გენერატორის ძაბვა რეგულირდება მართვის დენის ცვლილებით, რომელიც თავის მხრივ რეგულირდება, მემანქანის კონტროლერის სამუხრუჭო სახელურთან დაკავშირებულ რეოსტატის წინააღმდეგობის ცვლილებით. როგორც სქემიდან ჩანს, “G” გენერატორს დამოუკიდებელი აგზნების $W_{დაზ}$ გრაგნილის გარდა, გააჩნია დენური გრაგნილი $W_{დენ}$, რომელშიც გადის ერთი შტოს რეკუპერაციის დენი და იწვევს ანტიკომპაუნდირებას (გენერატორის აგზნების ნაკადის საწინააღმდეგო მოქმედება). შედეგად მიიღება რბილი მახასიათებელი.

R_{ST} ბალასტური რეზისტორები, რომელთა თითოეულის სიმძლავრეა 50 კვტ, გამოიყენებიან პარალელურ შტოებს შორის დენების გასათანაბრებლად.

მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში, როდესაც პარალელურ შტოებს შორის დენები ერთნაირია, აგ-1 ÷ აგ-4 აგზნების გრაგნილებში გადის “G” გენერატორით განპირობებული დენები (ნახაზზე ნაჩვენებია უწყვეტი ისრებით). ამ შემთხვევაში A და B წერტილების პოტენციალები იქნება ერთნაირი. პარალელურ შტოებს შორის დისბალანსის (დენების უთანაბრობის) შემთხვევაში, A და B წერტილებს შორის პოტენციალები განსხვავდებიან. მაგალითად, თუ 1 და 2 ძრავების დენი მეტია 3 და

4 ძრავების დენზე, მაშინ B წერტილის პოტენციალი მეტი ხდება A წერტილის პოტენციალზე. ამ შემთხვევაში B წერტილიდან A წერტილის მიმართულებით გაივლის გამათანაბრებელი დენი ΔI_g (ნახ. 10.19-ზე ნაჩვენებია წყვეტილ ხაზებიანი ისრით). ეს დენი ტოლი იქნება $\Delta I_g = 0.5(I_1 - I_2)$. როგორც ნახაზიდან ვრწმუნდებით, ამ შემთხვევაში გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე 1 და 2 წვევის ძრავების შტოს დენი შემცირდება, ხოლო 3 და 4 წვევის შტოს ძრავების დენი გაიზრდება. ამგვარად აღდგება თანასწორობა. პირიქით, თუ 3 და 4 წვევის ძრავების შტოების დენი გაიზრდება, მაშინ A წერტილის პოტენციალი გახდება მეტი B წერტილის პოტენციალზე და განვითარდება უკუ პროცესი. $L1$ და $L2$ ინდუქტიური შუნტების დანიშნულებაა შეზღუდონ დენის მნიშვნელობები მოკლედ შერთვისას და საკონტაქტო ქსელში ძაბვის ნახტომისებრი ცვლილების დროს.



ნახ. 12.19. БЛ10 და БЛ11 ელექტრომაშინების ერთი სექციის რეკუპერაციული დამუხრუჭების ძალური სქემა, წვევის ძრავების ა) პარალელური ("P") და ბ) სერიისული ("S") დაჯგუფებებისათვის.

რეკუპერაციის რეჟიმი იწყება მემანქანის მიერ ამგზნები "G" გენერატორის მართვის დენის რეგულირებით, სამუხრუჭო სახელურის მეშვეობით. როდესაც წვევის ძრავების აგზნების დენები 0-ის ტოლია, მაშინ რეკუპერაციის ორივე რელე KR ჩართულია, რის შედეგად $K1$ და $K2$ ხაზური კონტაქტორები გამორთულია. მართვის დენის $I_{მართ.}$ გაზრდით, იზრდება აგზნების დენი და შესაბამისად წვევის ძრავების

ელექტრომაგნიტური დაზიანება. როდესაც სხვაობა საკონტაქტო ქსელის ძაბვასა და ძრავების უკუელექტრომაგნიტურ დაზიანებას შორის მიაღწევს 50-100 ვოლტს, გამოირთვება რეკუპერაციის რელე KR , რომელიც თავის მხრივ რთავს $K1$ და $K2$ სახაზო კონტაქტორებს.

შემდგომში რეკუპერაციის რეჟიმის მიმდინარეობა მთლიანად დამოკიდებულია მემანქანეზე (სამუხრუჭო სახელურის მდებარეობაზე).

რეკუპერაციის რეჟიმიდან გამოსვლას, აგრეთვე, ახორციელებს მემანქანე გენერატორის აგზნების დენის შემცირებით.

12.5.1. სქემის დაცვა ავარიულ რეჟიმებში

რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავარიულ რეჟიმში მოკლედ შერთვის დენებისაგან დაცვას, განსხვავებით მოტორული რეჟიმისაგან, სწრაფმომქმედი ავტომატი ვერ ახორციელებს. ამიტომ მოკლედ შერთვის დენებისაგან დაცვა ხორციელდება სპეციალური სწრაფმომქმედი KF კონტაქტორით, რომელთა კოჭები ჩართულია $L1$ და $L2$ ინდუქტიური შუნტების პარალელურად. მოკლედ შერთვის შემთხვევაში KF -ის კონტაქტები, რომლებიც ჩართულია აგზნების გრაგნილების წრედში, გაწყდება და წვეის ძრავები განმაგნიტდება. ამის შემდეგ $K1$ და $K2$ სახაზო კონტაქტორები გაწყვეტენ წვეის ძრავების წრედს.

რეკუპერაციული დამუხრუჭების აღნიშნული სისტემის უდიდესი ნაკლია ის, რომ იცვლება რეკუპერაციის მახასიათებლების სიხისტე. მაგალითად, თუ რეკუპერაციული დამუხრუჭება იწყება მაღალ სიჩქარეებზე, როდესაც მახასიათებლები ძალზე რბილია და პროცესის მართვა ძალზე მარტივია; სიჩქარის შემცირებისას და მართვის დენის $I_{ართ}$ გაზრდისას, მახასიათებლები ხისტდება, რაც ართულებს პროცესის ხელით მართვას. ამ დროს საკონტაქტო ქსელში ძაბვის ოდნავი შეცვლა, იწვევს წვეის ძრავების ღუზებში დენის დიდ ფარგლებში ცვლილებას.

როგორც ცნობილია, მოტორულ რეჟიმში ძრავების რბილი მახასიათებლები, ელექტრომაგნიტური მართვისათვის არავითარ სირთულეს არ ქმნის. ამგზნები გენერატორის ორხვიანი დენის გრაგნილი მნიშვნელოვნად ზრდის ამგზნები გენერატორის ინერციულობას. ამ მიზეზით, ძაბვის (სიმძლავრის) მიხედვით მარავის არ არსებობის გამო, რომელიც აუცილებელია ფორსირებისთვის (გარდამავალი პროცესების ხანგრძლივობის შესამცირებლად), ძალზე რთულია რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვა. მიუხედავად ამისა გაკეთდა БЛ10 და БЛ11 ელექტრომაგნიტური გარკვეული პარტია, მოსკოვის რკინიგზის ტრანსპორტის

ინსტიტუტის მიერ შემუშავებული რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვის სისტემით.

აღნიშნულ სისტემაში დამოუკიდებელი აგზნების წრედის მართვა ხდება განვიმპულსურ რეჟიმში მომუშავე ტრანზისტორული მწვევტარას საშუალებით. მართვის გრაგნილის პარალელურად ჩართულია დიოდი, რომელიც დამატებით ზრდის ამგზნები გენერატორის ინერციულობას. ასეთ სისტემებში საკონტაქტო ქსელის ძაბვის ნახტომისებრი შემცირებისას ($-\Delta U$) ადგილი ჰქონდა დაცვის ხშირ მოქმედებას. ასეთი ავტომატური რეგულირების სისტემებით აღჭურვილმა ელექტრომაგლების ექსპლუატაციამ აჩვენა გაცილებით დაბალი საიმედოობა, ვიდრე ხელით მართვის სისტემას ჰქონდა.

12.5.2. მბრუნავ გარდამქმნელიანი მუდმივი დენის ელექტრომაგლების რეკუპერაციული მახასიათებლების ანალიზური გამოსახულებები

დღემდე არ არსებობს ანალიზური გამოსახულებები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება რეკუპერაციული მახასიათებლების გაანგარიშება. აქამდე სარგებლობენ გრაფო-ანალიზური მეთოდით, ან ექსპერიმენტული მონაცემებით.

ანალიზური გამოსახულებები, მახასიათებლების აგების გარდა, საჭიროა რეკუპერაციული დამუხრუჭების პროცესზე წრედის სხვადასხვა პარამეტრების ზეგავლენის დასადგენად.

დამაგნიტების მრუდისთვის შემოთავაზებული ანალიზური გამოსახულებებით შესაძლებელია საკმარისი სიზუსტით ავაგოთ რეკუპერაციული დამუხრუჭების მახასიათებლები. წინამდებარე წიგნში შემოთავაზებული დამაგნიტების მრუდის აპროქსიმაციის მეთოდი საკმარისი სიზუსტით აკეთებს ТЛ-2К და ТЛ3Б წვევის ძრავების ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აპროქსიმაციას.

რეკუპერაციული რეჟიმისთვის ანალიზური გამოსახულებების მისაღებად ვწერთ

$$E = C\Phi V = U + IR, \quad (12.18)$$

სადაც, $C = 5,3\mu C/D_m$ არის ძრავას და გადაცემის მუდმივა.

$\mu = n/n_m$ – რედუქტორის გადაცემის რიცხვი.

n – ძრავას ბრუნთა რიცხვი.

n_m – წვეილთვალის ბრუნთა რიცხვი.

D_m – წვეილთვალის დიამეტრი.

$C_e = PN/60a$ – ძრავას მუდმივა.

(10.18) გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ ნომინალურ ემძ-ზე $E_6 C \Phi_6 V_6$ -ზე და შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_6}; \quad v = \frac{V}{V_6}; \quad \gamma = \frac{IR}{C\Phi_6 V_6}; \quad i = \frac{I}{I_6}; \quad u = \frac{U}{C\Phi_6 V_6},$$

რის შემდეგ (10.18) გამოსახულება ფარდობით ერთეულებში შეგვიძლია ჩავწეროთ ასე:

$$v\varphi = u + \gamma i. \quad (12.19)$$

აგზნების წრედისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{U_{\text{აგ}}}{R_{\text{აგ}}} = I_{\text{აგ}} = \frac{K_{\text{აგ}}(I_{\text{მართ}} W_{\text{დამ}} - IW_{\text{დ}})}{R_{\text{აგ}}}, \quad (12.20)$$

სადაც, $K_{\text{აგ}}$ არის აგზნები მანქანის გაძლიერების კოეფიციენტი.

$R_{\text{აგ}}$ – წვევის ძრავას აგზნების გრაგნილის აქტიური წინააღმდეგობა.

$I_{\text{მართ}} W_{\text{დამ}}$ – აგზნების დამოუკიდებელი აგზნების გრაგნილის ამპერხვეულები.

$IW_{\text{დ}}$ – დენური გრაგნილის ამპერხვეულები.

ანალოგიურად შეგვიძლია ჩავწეროთ (12.20) განტოლება ფარდობით ერთეულებში. მივიღებთ:

$$i_{\text{აგ}} = \frac{I_{\text{აგ}}}{I_{\text{ან}}} = \frac{I_{\text{მართ}} W_{\text{დამ}} - IW_{\text{დ}}}{I_{\text{მართ}} W_{\text{დამ}} - I_n W_{\text{დ}}} = \frac{i_{\text{მართ}} - \lambda_0 i}{1 + \lambda_0}, \quad (12.21)$$

სადაც, $i_{\text{აგ}}$ არის აგზნების დენის ფარდობითი მნიშვნელობა.

$i_{\text{მართ}}$ – აგზნების მართვის დენის ფარდობითი მნიშვნელობა.

$\lambda_0 = \frac{I_6}{I_{\text{მართ}}} \cdot \frac{W_{\text{დ}}}{w_{\text{სამ}}}$ – კომპაუნდირების კოეფიციენტი.

თუ გავითვალისწინებთ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას ფარდობით ნაკადს φ და ფარდობით აგზნების დენს $i_{\text{აგ}}$. შორის, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\varphi = \frac{i_{\text{აგ}}}{ai_{\text{აგ}} + b}.$$

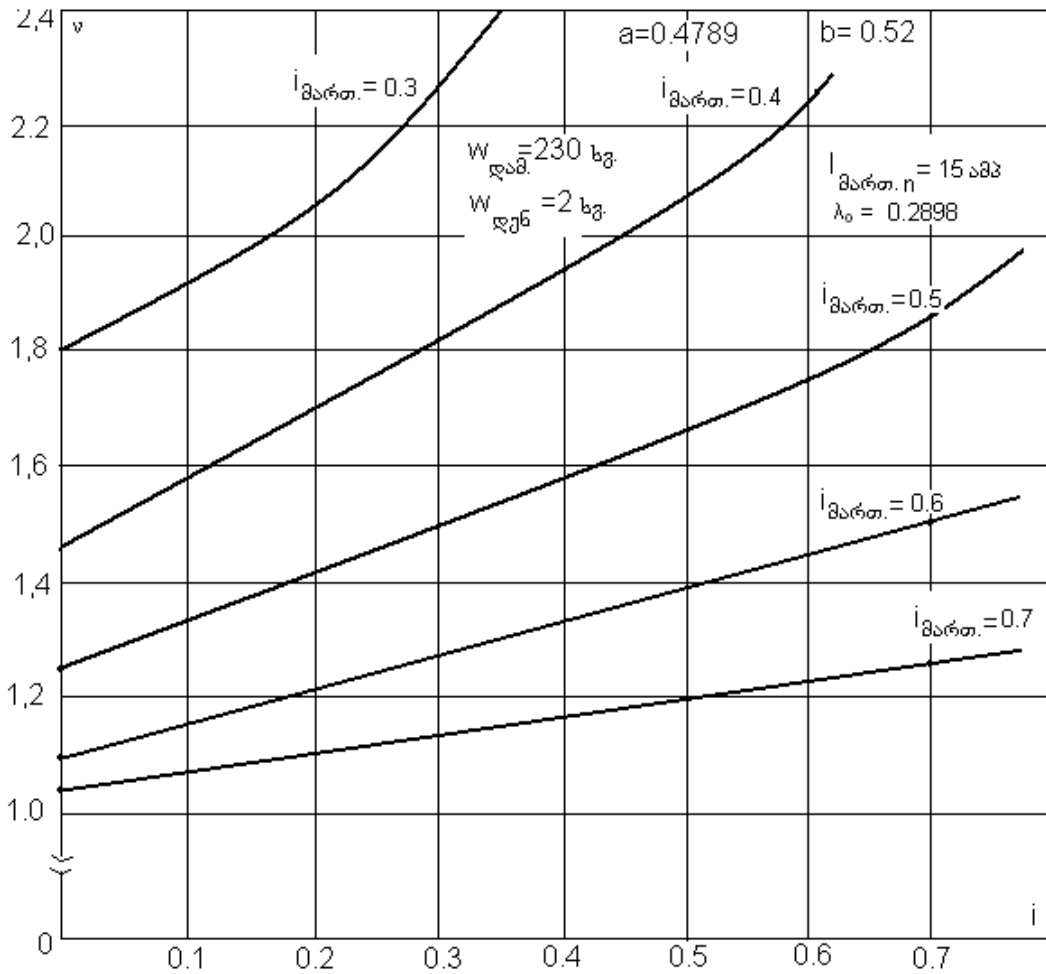
(12.20) და (12.21) გამოსახულებებიდან საბოლოოდ მივიღებთ

$$v = (u + \gamma i) \left[a + \frac{b(1 - \lambda_0)}{i_{\text{მართ}} - \lambda_0 i} \right]. \quad (12.22)$$

(12.22) ფორმულის საფუძველზე გაითვლება და აიგება რეკუპერაციული დამუხრუჭების მახასიათებლები აგზნების დენის სხვადასხვა ფარდობითი მნიშვნელობებისათვის $i_{\text{აგ}} = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ და კომპაუნდირების კოეფიციენტისათვის.

$$\lambda_0 = 0,2898.$$

რეკუპერაციული დამუხრუჭების მახასიათებლების შესაბამისი მრუდები მოცემულია 10.20 ნახაზზე.



ნახ. 12.20. მბრუნავი გარდამქმნელებით აღჭურვილი БЛ-10, БЛ-11 ელექტრომაგვლების რეკუპერაციული მახასიათებლების საანგარიშო მრუდეები.

როგორც მახასიათებლებიდან ჩანს, სიჩქარის შემცირებისას მათი სიხისტე მნიშვნელოვნად იცვლება.

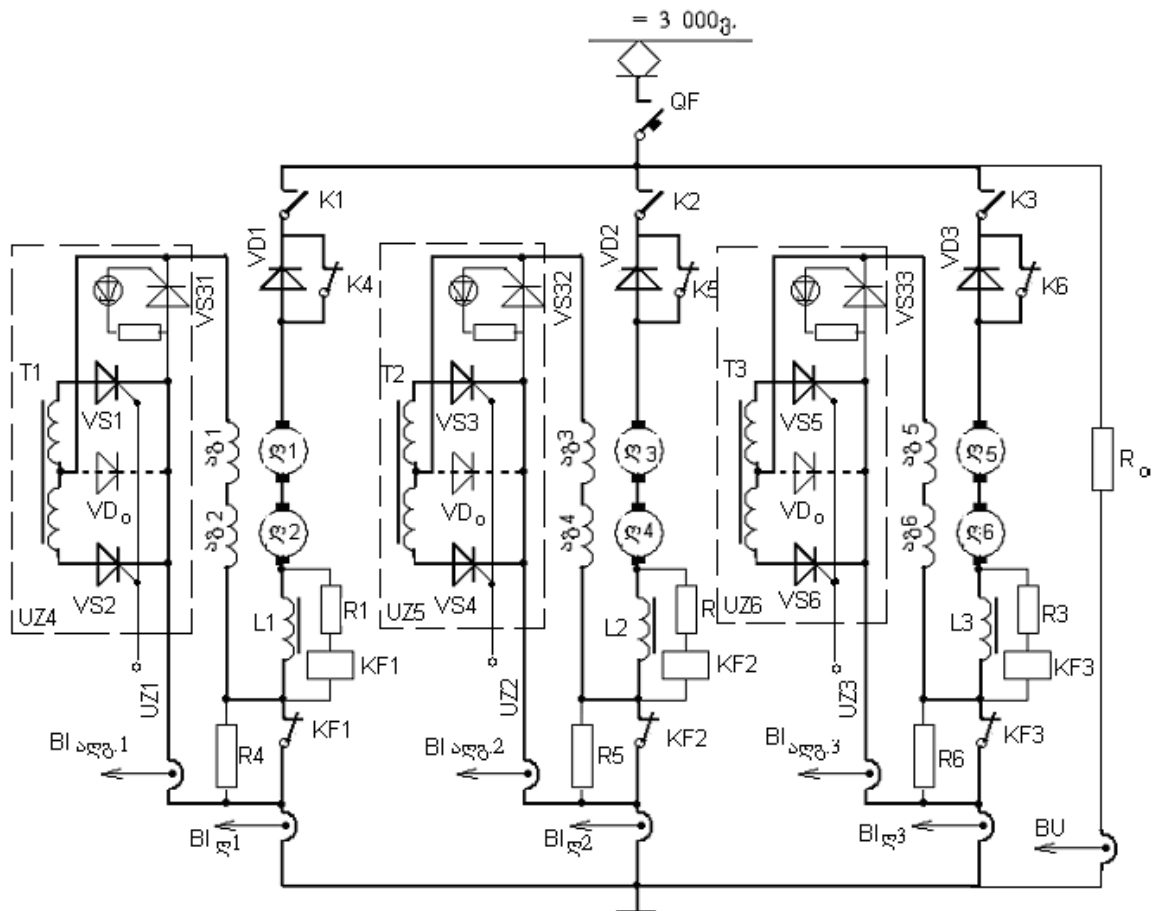
12.20 ნახაზზე მოცემული მახასიათებლები და (12.21) ფორმულა ასახავენ რეალურ ექსპერიმენტულ მრუდეებს.

აუცილებლობის შემთხვევაში, (12.21) ფორმულით შეგვიძლია გავთვალთ დამოკიდებულება აგზნების დენის ფარდობით მნიშვნელობასა და ღუზის დენის ფარდობით მნიშვნელობას შორის.

12.5.3. БЛ-15 ელექტრომაგვლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემა

12.21 ნახაზზე მოცემულია БЛ-15 ელექტრომაგვლის ერთი სექციის რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემა, წვეის ძრავების პარალელური “P” შეერთებისათვის. განსხვავებით ზემოგანხილულ სქემიდან (ნახ. 12.19), აღნიშნული სქემა არ შეიცავს მასტაბილიზირებელ რეზისტორებს, ხოლო რეკუპერაციის რელეს ნაცვლად გამოყენებუ-

ლია VD1, VD2 და VD3 დიოდები. როგორც ზემოთ ვნახეთ, БЛ10 და БЛ11 ელექტრომაგლებზე რეკუპერაციის რეჟიმში შესვლა ხდება რეკუპერაციის რელეს KR-ის საშუალებით, რომლის დროს ადგილი აქვს დენების ნახტომისებრ ცვლილებას დიდ ფარგლებში $I_{რეკ} = (50-100)/0.2 = 250-500$ ამპ, რასაც მოყვება წვეის (სამუხრუჭო) ძალის დიდი ბიძგები. VD1, VD2 და VD3 დიოდების გამოყენების შემთხვევაში კი წვეის რეჟიმიდან რეკუპერაციის რეჟიმში გადასვლა ხდება მდოვრედ, ყოველგვარი ბიძგების გარეშე, ძრავების ჯამურ ემპ-სა და საკონტაქტო ქსელის ძაბვას შორის 2-3 ვოლტით განსხვავების პირობებში, ნაცვლად 50-100 ვოლტისა. დიოდების ჩართვა, ამავე დროს, უზრუნველყოფს პარალელური შტოების სტაბილურ მუშაობას, რაც გამორიცხავს პარალელურ შტოების მუშაობაზე ურთიერთ ზეგავლენას.



ნახ. 12.21. БЛ-15 ელექტრომაგლის ერთი სექციის რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემა წვეის ძრავების პარალელური შეერთებისას.

სქემიდან ასევე ცხადად ჩანს, რომ ამგზნების გრაგნილების ყოველი წყვილი იკვებება თავისი სწრაფმომქმედი ამგზნებით (გამმართველით), რაც მათი ცვლადი პოლარობის, უინერციო ძაბვით კვების საშუალებას იძლევა.

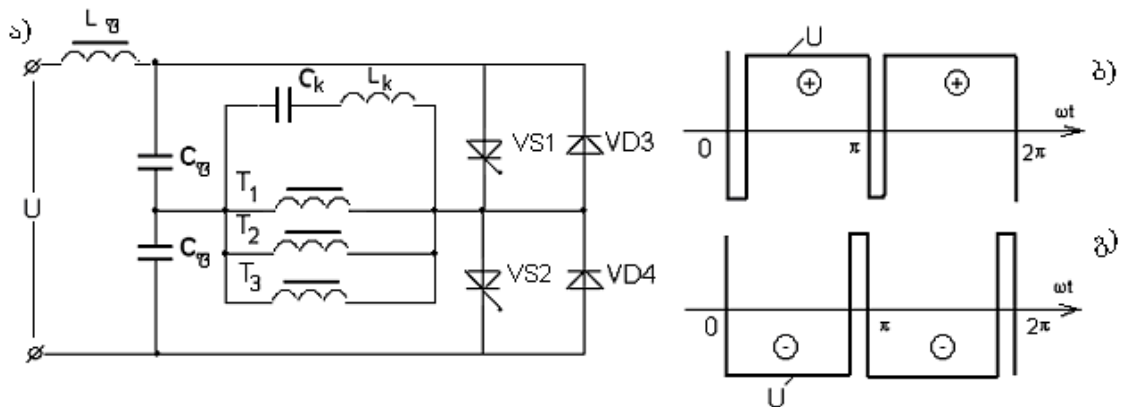
UZ4, UZ5 და UZ6 ამგზნებებში პუნქტირით ნახვენებია VD0 ნულოვანი დიოდები, რომლებიც, ერთის მხრივ, აუმჯობესებენ გარდამქმნელების ენერგეტიკულ მახასია-

თებლებს, მაგრამ, მეორეს მხრივ, მნიშვნელოვნად ზრდიან მათ ინერციულობას. ამ მიზეზით ისინი აღარ გამოიყენებიან.

ძალური წრედის დაცვა მოკლედ შერთვის დენებისაგან ხდება KF1, KF2 და KF3 სწრაფმომქმედი კონტაქტორებით ისევე, როგორც მბრუნავ გარდამქმნელებიან სქემებში. VS1-VS2, VS3-VS4 და VS5-VS6 ტირისტორების დაცვა წვევის ძრავების გენერატორული რეჟიმის გამრღვევი ძაბვისაგან ხდება სპეციალური VS31, VS32 და VS33 დაცვის ტირისტორებით, რომელთა მართვის წრედებში ჩართულია 300ვ ზღურბლური ძაბვის მქონე სტაბილიტრონები. ასე, რომ ნორმალურ რეჟიმში ეს ტირისტორები ჩაკეტილია და იღებიან როდესაც ძაბვა გადააჭარბებს 300 ვოლტს.

12.22 ა ნახაზზე მოცემულია სტატიკური გარდამქმნელის სქემა, რომელიც 3000ვ ძაბვის მუდმივ დენს გარდაქმნის 300 ჰერცი სიხშირის, მართკუთხა ფორმის ცვლად დენად და კვებავს UZ4, UZ5 და UZ6 ამგზნებებს. თითოეული ამგზნები, ურთიერთ ზეგავლენის გამოსარიცხად იკვებება ცალკე T1, T2 და T3 ტრანსფორმატორით, რომელთა პირველადი გრაგნილები ჩართულია პარალელურად.

12.22 ბ, გ ნახაზზე ნაჩვენებია ამგზნებების ძაბვის ფორმები, გამმართველ (დადებითი ძაბვა) და ინვერტორულ (უარყოფითი ძაბვა) რეჟიმებში, რომლებიც წარმოადგენენ UZ4, UZ5 და UZ6 ამგზნებების პოლარობის ცვლილების იმიტაციას.



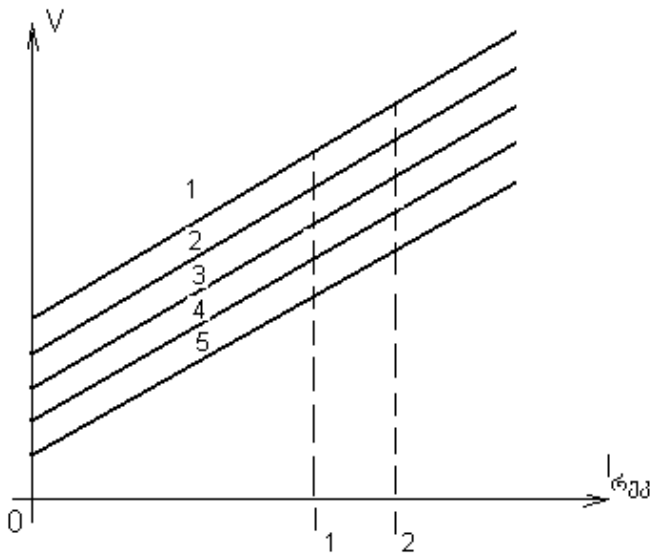
ნახ. 12.22. ა) ამგზნებების მკვებავი სტატიკური გარდამქმნელის სქემა; ამგზნებების ძაბვის ფორმები – ბ) ინვერტორულ და გ) გამმართველ რეჟიმებში.

გათვალისწინებულია რა მბრუნავ გარდამქმნელებიან სქემებში ფორსირების შეუძლებლობა (ძაბვა 37 ვოლტი), განსახილველ სქემაში ამგზნების მაქსიმალური ძაბვა 90 ვოლტია. ძაბვის მიხედვით ასეთმა მარაგმა და ამგზნებების არაინერციულობამ, რეალური БЛ-15 ელექტრომაგლის გამოცდისას აჩვენა ძაბვების ნახტომისებრი ვარდნა ქვემოთ 30%-ით (1200ვ); ამავე დროს ღუზის დენების ამპლიტუდა არ აღემატებოდა (2-2,5) $I_{ნომ}$. მნიშვნელობას, ხოლო ხანგრძლივობა 100-150 მილიწამს.

12.23 ნახაზზე ნაჩვენებია რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვის სისტემით (რდამს) აღჭურვილი ელექტრომაგლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების

მახასიათებლები. როგორც ნახაზიდან ჩანს, მახასიათებლებს აქვთ ერთნაირი დახრა და ის შეიძლება ვარგეულიროთ დიდ ფარგლებში, რაც მიიღწევა დამსახავი ძაბვის და უკუკომპაუნდირების კოეფიციენტის ერთდროული ცვლილებით.

ამ გარდამქმნელის შექმნისას (1985წ) არსებული საგარდამქმნელო და კონდენსატორული ტექნიკა არ იძლეოდა დიდ შესაძლებლობებს. კერძოდ, ინვერტორულ



ნახ. 12.23. რდამს-ით აღჭურვილი ელექტრომაგვლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების მახასიათებლები.

ნაწილში VS1-VS4 ტირისტორების ნაცვლად გამოყენებული იყო ერთმანეთის მიმდევრობით ჩართული 8 ტირისტორი და დიოდი; ფილტრის კონდენსატორებად გამოყენებული იყო ФСТ-150 ტიპის კონდენსატორები; საკომუტაციო კონდენსატორებად PCT-240 ტიპის კონდენსატორები. გარდამქმნელის საერთო წონა შეადგენდა 1 000 კგ-ზე მეტს.

ნახევარგამტარული და კონდენსატორული ტექნიკის დღევანდელი დონე (T553-800-40 სერიის ტირისტორები, ДЛ353-800-40 სერიის დიოდები; გერმანული B25650-350-2 600-2x16 ტიპის საფილტრო კონდენსატორები, B25855y2675K-3x6.7 MkF-3 400 v-10კგ ტიპის საკომუტაციო კონდენსატორები) საშუალებას იძლევა, იგივე სიმძლავრის (100 კვტ) გარდამქმნელის წონა არ აღემატებოდეს 500 კგ-ს.

დღეისათვის ევროპაში მზადდება იგივე ტიპის გარდამქმნელები, IGBT ტიპის ტრანზისტორების ბაზაზე. დაბალი ძაბვის და შესაბამისად იაფი ტრანზისტორების გამოყენების მიზნით, მკვებავი ძაბვა ფილტრის კონდენსატორების გამოყენებით იყოფა შუაზე.

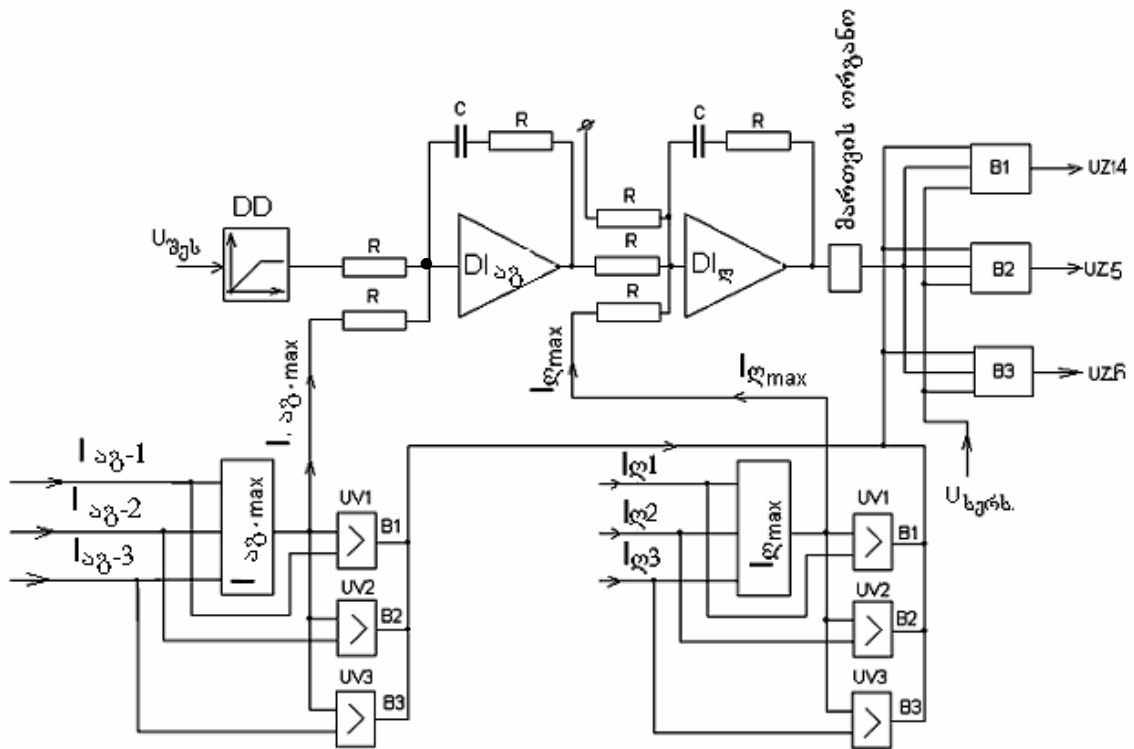
ამ ტიპის გარდამქმნელების უდიდესი ნაკლია ის, რომ მათი ამგზნებები (გამმართველები) წარმოადგენენ პარალელურად ჩართულ, არამართვად ვენტელებზე აგებულ, ერთფაზა გამმართველებს, რომელთა სწრაფმოქმედება მბრუნავ გარდამქმნელებზე გაცილებით უარესია. ნაკლია, აგრეთვე, მათი სიძვირე. დადებით მხარედ უნდა ჩაითვალოს მათი დაბალი წონა (350 კგ).

12.5.4. BJI-15 ელექტრომაგლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვის სისტემა (რდამს)

BJI-10 და BJI-11 ელექტრომაგლების ხანგრძლივმა ექსპლუატაციამ, აჩვენა მბრუნავი გარდამქმნელებით აღჭურვილი, ხელის მართვის მქონე რეკუპერაციული დამუხრუჭების სისტემის სირთულე და დაბალი საიმედოობა, რაც თავის მხრივ განპირობებული იყო რეალურ პირობებში არაკონტროლირებადი გარდამავალი პროცესებით. აღნიშნულის გამო, BJI-15 ელექტრომაგლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების სისტემის დამუშავების დროს, მიღებული იქნა გადაწყვეტილება რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმის სრული ავტომატიზაციის შესახებ.

12.24 ნახაზზე მოცემულია BJI-15 ელექტრომაგლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვის სისტემის ფუნქციონალური სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს, თითოეულ ამგზნებს (გამმართველს) აქვს თავისი ფაზორეგულატორი B1, B2, B3, რომელიც აწყობილია ვერტიკალური პრინციპით. აქ ხდება შედარება ხერხისპირის-მაგვარ ძაბვას და აგზნების და ღუზის დენების რეგულატორების გამოსასვლელებზე არსებული მუდმივ ძაბვას შორის. სქემიდან ჩანს, რომ გამოყენებულია ე.წ. “დაქვემდებარებული რეგულირების” პრინციპი. კერძოდ, აგზნების დენის რეგულატორის ($DI_{აგ}$) გამოსასვლელი ძაბვა წარმოადგენს ღუზის დენის რეგულატორის ($DI_{ღ}$) შემავალ ძაბვას. როგორც აგზნების, ასევე ღუზის სამივე შტოს დენების პროპორციული სიგნალები შედიან სპეციალურ DD1 და DD2 შემდარებელ მოწყობილობებში, რომლებშიც ხდება სამი შემავალი დენის მნიშვნელობიდან უდიდესი $I_{აღ,max}$ და $I_{ღ,max}$ სიგნალების გამოვლენა. შემდეგ ეს მაქსიმალური სიგნალები მიეწოდება თავთავის რეგულატორს. ამავე დროს, ამ მოწყობილობებში მაქსიმალური დენების პროპორციული სიგნალები დარდება შესაბამისი დენების ნამდვილ მნიშვნელობებს. დენებს შორის სხვაობის შესაბამისი სიგნალები, UV1, UV2, UV3 გამაძლიერებლების გავლით მიეწოდება შესაბამის B1, B2, B3 ფაზორეგულატორებს. ამგვარად ხდება აგზნების და ღუზის დენების გათანაბრება სამივე შტოში.

სქემაში რეკუპერაციული რეჟიმი მიმდინარეობს K1, K2 და K3 ხაზური კონტაქტორების ჩართვით და ინტენსივობის დამსახავ DD ბლოკზე შემავალი ძაბვის მიწოდებით. ამ დროს მუშაობას იწყებს აგზნების დენის რეგულატორი $DI_{აგ}$, რომელიც გარკვეული ინტენსიობით, მდოვრედ ზრდის აგზნების დენს სამივე შტოში. შედეგად ხდება მდოვრე შესვლა რეკუპერაციულ რეჟიმში. როდესაც ღუზის დენი მიაღწევს დაყენების მნიშვნელობას, მუშაობას იწყებს ღუზის დენის რეგულატორი $DI_{ღ}$, რომელიც ინარჩუნებს აღნიშნული დენის და მ.შ. მის პროპორციულ სამუხრუჭო ძალის უცვლელ მნიშვნელობას.



ნახ. 12.24. BI-15 ელექტრომაგლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვის ფუნქციონალური სქემა.

როგორც 12.21 ნახაზზე მოცემული ძალური სქემიდან ჩანს, აგზნების და ღუზის დენების პროპორციული სიგნალები მიიღება სპეციალური $BI_{აგ1}$, $BI_{აგ2}$, $BI_{აგ3}$, $BI_{ღ1}$, $BI_{ღ2}$ და $BI_{ღ3}$ გადამწოდებიდან, რომლებიც იმ პერიოდისათვის წარმოადგენდნენ დენის და ძაბვის გადამწოდებად გამოყენებულ მაგნიტურ გამაძლიერებლებს.

დღეისათვის შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს საზღვარგარეთული ფირმების თანამედროვე რევერსიული გადამწოდები. კერძოდ შეგვიძლია გამოვიყენოთ ფირმა LEM.SA-ის დენის და ძაბვის გადამწოდები, რომელთა მონაცემებია:

1. დენის გადამწოდი LT-1 000-S1± 1 000 A;
2. ძაბვის გადამწოდი LV 100 /SPS1.

გარდა იმისა, რომ ავტომატური მართვის სისტემა რეკუპერაციული დენის სხვადასხვა დასახულ მნიშვნელობებს ინარჩუნებს უცვლელად, ამასთანავე უზრუნველყოფს მაქსიმალური ძაბვის შეზღუდვას 4 000 ვოლტის ფარგლებში. ეს სორციელდება 12.21 ნახაზზე ნაჩვენები ძაბვის გადამწოდის BU-ს მეშვეობით. ამ გადამწოდიდან სიგნალი მიეწოდება ღუზის დენის $DI_{ღ}$ რეგულატორს.

12.6. ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომოდრაგი შემადგენლობის რეკუპერაციული დამუხრუჭება

მუდმივი დენის სისტემაში რეკუპერაციული დამუხრუჭების მთავარ ნაკლს, ერთის მხრივ, წარმოადგენს წვევის ძრავების მომჭერებზე მუდმივი ძაბვის საკონტაქტო ქსელის ძაბვასთან შედარების კლასიკური სქემა; ხოლო მეორეს მხრივ წვევის ძრავების მაგნიტური სისტემის გაჯერება, რაც არ იძლევა საშუალებას გავზარდოთ ძრავას ელექტრომამოდრავებელი ძალა გენერატორულ რეჟიმში. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ღუზის წრედის ინდუქტივობა ამ პროცესში არავითარ როლს არ თამაშობს, გარდა იმისა რომ ზღუდავს დენის მნიშვნელობას მოკლედ შერთვის შემთხვევაში, ან ძაბვის ნახტომისებრი ცვლილების დროს.

სხვა სურათია ცვლად დენზე რეკუპერაციის შემთხვევაში. აქ ხდება წვევის ძრავას მომჭერებზე არსებული მუდმივი ძაბვის შედარება საკონტაქტო ქსელის სინუსოიდალური ფორმის ძაბვასთან ან ძაბვის ნახტომისებრი ცვლილების დროს.

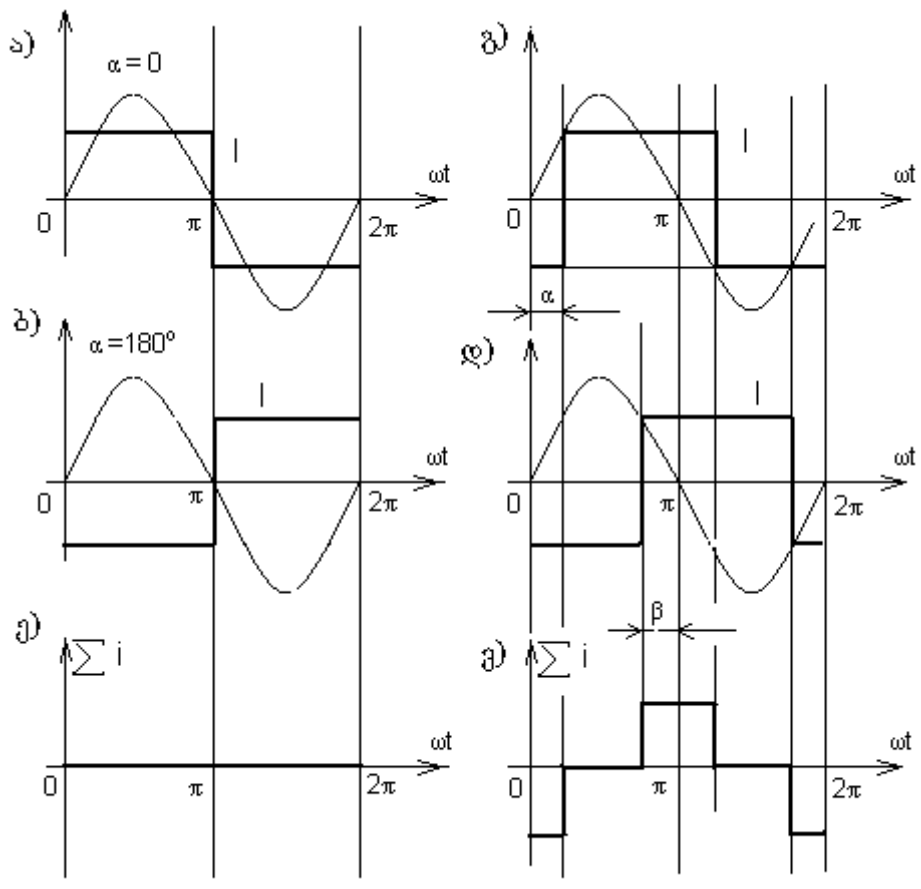
ამ შემთხვევაში წვევის ძრავების წრედში საკმარისი ინდუქტივობის არსებობის დროს, რეკუპერაცია შესაძლებელია თითქმის გაჩერებამდე, განსხვავებით მუდმივი დენისაგან, სადაც 8 წვევის ძრავას მიმდევრობით შეერთებისას რეკუპერაცია შეუძლებელია 25 კმ/სთ სიჩქარის ქვემოთ.

ცნობილია, რომ დღემდე ცვლადი დენის ელექტრომაგლებზე გამოიყენება მიმდევრობით აგზნებიანი პულსირებულ დენზე მომუშავე წვევის ძრავები. წვევის რეჟიმში წვევის ძრავები შეერთებულია პარალელურად და მიერთებულია საერთო გამართველზე. რეკუპერაციულ რეჟიმზე გადასვლისას, აქაც ისევე, როგორც მუდმივ დენზე, ხდება გადართვები ძალურ წრედში. კერძოდ: წვევის ძრავების აგზნების გრაფიკები განირთვებიან თავიანთი ღუზებიდან და ირთვებიან ცალკე დამოუკიდებელ რეგულირებად კვების წყაროზე, ინდივიდუალურად ან ერთდებიან მიმდევრობით და იკვებებიან ერთი საერთო რეგულირებად კვების წყაროდან. პირველ შემთხვევაში პარალელურად, მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფის მიზნით, ღუზების წრედში ირთვება ბალასტური რეზისტორები. მეორე შემთხვევაში წვევის ძრავების პარალელურად მდგრადი მუშაობა მიიღწევა აგზნების დენის რეგულირებით და, ასევე, საკმარისი ხარისხის უკუაგზნების მიღებით. გამართვის რეჟიმიდან ინვერტირების რეჟიმზე გადასვლის დროს, საჭიროა რეგულირების კუთხე გავზარდოთ $\pi/2$ -ზე ზემოთ და შევცვალოთ წვევის ძრავების პოლარობა.

სანამ განვიხილავთ ინვერტორული რეჟიმის ელექტრომაგნიტურ პროცესებს, საკითხის შესწავლის გაიოლების მიზნით, პარალელურად განვიხილოთ გამართვის რეჟიმი.

გამართვის რეჟიმში ენერჯის წყაროს (გენერატორს) წარმოადგენს საკონტაქტო ქსელი. ამიტომ, როდესაც $\alpha = 0$, დენის მრუდი ფაზით ემთხვევა ქსელის ძაბვის მრუდს. როდესაც X_d ძალზე დიდია და $\alpha = 0$, დენის ფორმა ახლოსაა მართკუთხედთან (ნახ. 12.25 ა). ამ შემთხვევაში წვეის ძრავა მუშაობს ძრავულ რეჟიმში და ქსელიდან მოიხმარს ენერჯიას. ინვერტორულ რეჟიმში მუშაობის დროს წვეის ძრავა არის ენერჯის წყარო (გენერატორი), ხოლო საკონტაქტო ქსელი წარმოადგენს მომხმარებელს, (ნახ. 12.25 ბ). 12.25 ა და ბ ნახაზზე ნაჩვენებია დენის იდეალიზირებული ფორმები ზღვრული რეჟიმებისათვის, როდესაც $\alpha = 0$ (გამართვის რეჟიმი) და $\alpha = 180^\circ$ (ინვერტორული რეჟიმი).

12.25 გ და დ ნახაზზე ნაჩვენებია დენის მრუდები, როდესაც $\alpha = \pi/6$ და $\beta = \pi/6$. როგორც 12.25 ა და ბ ნახაზიდან ჩანს, თუ გარდამქმნელები მუშაობენ ერთდროულად ზღვრულ რეჟიმებზე, მაშინ ქსელიდან მოხმარებული და მიწოდებული დენების ჯამი ΣI ნულის ტოლია, 12.25 ე ნახაზზე. $\alpha = \pi/6$ და $\beta = \pi/6$ კუთხეების დროს, ქსელიდან მოხმარებულ რეზულტირებულ დენს ექნება 12.25, ვ ნახაზზე ნაჩვენები ფორმა.

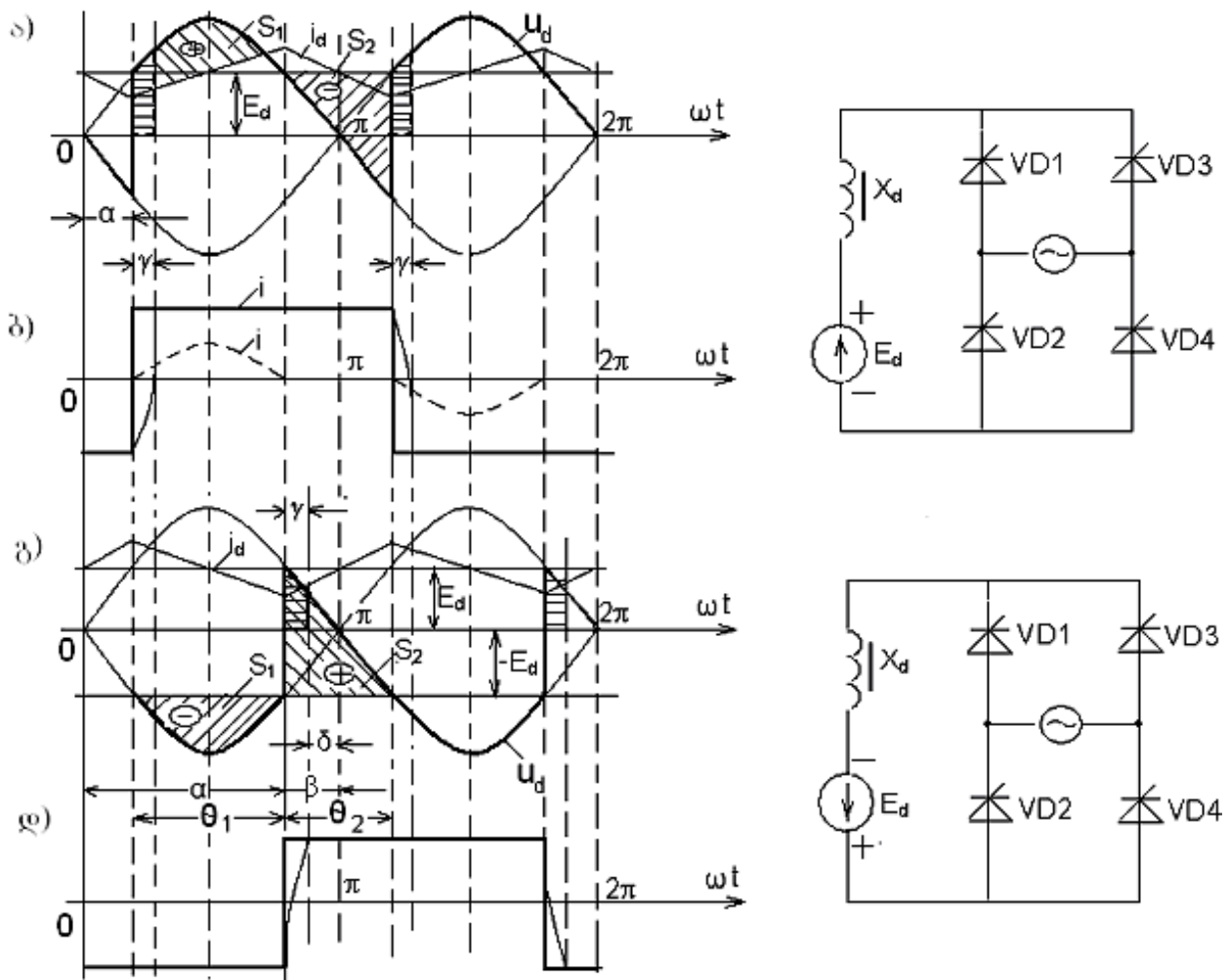


ნახ. 12.25. ძაბვების და დენების იდეალიზირებული მრუდები ა), გ) გამართველ და ბ), დ) ინვერტორულ რეჟიმებში.

ტირისტორების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს ვარგეულიროთ ძაბვა გამართვის რეჟიმში, ხოლო რეკუპერაციულ რეჟიმში მოვახდინოთ ინვერტირება და გადავცეთ ენერგია ცვლადი დენის პირველად წრედში.

იმისათვის, რომ უკეთ გავერკვეთ ფიზიკურ პროცესებში, განვიხილოთ ორივე (გამმართველ და ინვერტორულ) რეჟიმში მართვა იმპულსების მიწოდების α კუთხის ცვლილებით.

ნახ. 12.26-ზე მოცემულია დენების და ძაბვების რეალური დიაგრამები ორივე რეჟიმისათვის. აქვე აღვნიშნავთ, რომ დატვირთვის დენის ფორმა ნაჩვენებია დატვირთვის წრედის სასრულო ინდუქტივობის გათვალისწინებით (დიაგრამა ა და გ), ხოლო ქსელის დენი (დიაგრამები ბ და დ) უსასრულო ინდუქტივობისათვის.



ნახ. 12.26. ა), ბ) გამმართველი და გ), დ) ინვერტორული რეჟიმების დენების და ძაბვების დიაგრამები.

12.26 ა ნახაზზე მსხვილი კონტურით ნაჩვენებია α კუთხის შესაბამისი გამართული ძაბვის ფორმა. როგორც ა) და ბ) დიაგრამებიდან ჩანს, $\alpha < \theta < \pi$, ინტერვალისთვის მკვებავი ძაბვა $U_m \sin \omega t$ და ქსელის დენი მიმართულებით ერთმანეთს

ემთხვევა, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ ქსელიდან მოიხმარება ენერჯია (ძრავული რეჟიმი). $\pi < \theta < \pi + \alpha$ ინტერვალისათვის ძაბვა იცვლის ნიშანს, ხდება უარყოფითი, ხოლო დენი ინარჩუნებს დადებით მიმართულებას. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ დენი მუდმივი დენის წრედიდან გადადის ცვლადი დენის წრედში (ნახ. 12.26 დ).

$\alpha < \theta < \alpha + \theta_1$ ინტერვალში იზრდება დატვირთვის დენი მინიმალური მნიშვნელობიდან I_{\min} , მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე I_{\max} . ამ ინტერვალში მკვებავი ძაბვა მეტია უკუ ემძ-ზე. თუ წრედში ინდუქტივობა არ იქნებოდა საკმარისი სიდიდის, მაშინ დენს ექნებოდა ნახევარსინუსოიდის ფორმა (ნახ. 12.26 ბ დიაგრამაზე ნაჩვენებია წყვეტილით). ინდუქტივობის არსებობის გამო დენს აქვს მართკუთხედის ფორმა, ამ ინტერვალისათვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_m \sin \omega t = E_d + X_d \frac{dI_d}{d\theta}. \quad (12.23)$$

$\alpha + \theta_1 < \theta < \theta_1 + \theta_2 + \alpha$ ინტერვალში დატვირთვის დენი მცირდება მაქსიმალურ I_{\max} მნიშვნელობიდან მინიმალურ I_{\min} მნიშვნელობამდე, რადგან ამ ინტერვალში უკუ ემძ მეტია მკვებავ ძაბვაზე ცხადია, რომ დაშტრიხული ფართობი S_1 და S_2 იქნებიან ტოლი. ამ შემთხვევაში შეგვიძლია დავწეროთ

$$\int_{\frac{\theta_1}{2}}^{\frac{\theta_1}{2} + \theta} [U_m \cos \theta - E_d] d\theta = \frac{1}{2} (\pi - \theta_1) (E_d + U_m \sin \alpha), \quad (12.24)$$

სადაც, $E_d = \frac{2U_m \cos \alpha}{\pi}$ გამართული ძაბვა კომუტაციის γ კუთხის გაუთვალისწინებლად.

α კუთხის გაზრდით $\frac{\pi}{2}$ -მდე, გამართული ძაბვა გაუტოლდება 0-ს. α კუთხის შემდგომი ზრდისას, თუ შევცვლით უკუ ემძ-ს ნიშანს, დაიწყება ინვერტირება. ამ რეჟიმისათვის უარყოფითი ძაბვის, დატვირთვის და ქსელის დენების დიაგრამები მოცემულია 12.26 გ ნახაზზე.

როგორც გ დიაგრამიდან ჩანს, θ_1 -ინტერვალში მკვებავი ძაბვა მეტია უკუ ემძ-ზე. ამ მიზეზით დატვირთვის დენი მცირდება მაქსიმალური I_{\max} მნიშვნელობიდან მინიმალურ I_{\min} მნიშვნელობამდე. აქაც ცხადია, რომ S_1 და S_2 დაშტრიხული ფართობი იქნება ერთნაირი. თუ (12.24) ფორმულაში α -ას ნაცვლად ჩავსვამთ $\pi - \beta$ -ას, მაშინ მივიღებთ გამმართველი რეჟიმისათვის:

$$U_d = \frac{2}{\pi} U_m \cos \alpha - \frac{2XI_0}{U_m} = -\frac{2}{\pi} \cos \beta - \frac{2XI_0}{U_m} = -\left[\frac{2}{\pi} U_m \cos \beta + \frac{2XI_0}{U_m} \right]. \quad (12.25)$$

(12.25) განტოლებით გათვლილია და აგებულია გამმართველი და ინვერტორული რეჟიმების გარე მახასიათებლები (ნახ. 12.27 ა). აქვე ნაჩვენებია გარდამქმნელის

მუშაობის რეჟიმის დამოკიდებულება მართვის α კუთხის სიდიდეზე (ნახ. 12.27 ბ). ინვერტირების რეჟიმისთვის შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U_d = U_m \sin \theta + X_d \frac{dI_d}{d\theta}. \quad (12.26)$$

თუ (12.26) გამოსახულებაში არ იქნებოდა $X_d \frac{dI_d}{d\theta}$ წევრი, მაშინ დენი გაივლიდა მხოლოდ იმ ინტერვალებში, რომლებშიც უკუ ემძიმებოდა მეტი ქსელის ძაბვის მყისურ მნიშვნელობაზე. $X_d \frac{dI_d}{d\theta}$ -ის წყალობით დენი გადის იმ ინტერვალებშიც, რომლებშიც უკუ ემძიმება ძაბვის მყისურ მნიშვნელობაზე. განსხვავებით გამართველ რეჟიმიდან, ინვერტორულ რეჟიმს გააჩნია გარკვეული შეზღუდვები, რომელსაც განვიხილავთ ქვემოთ.

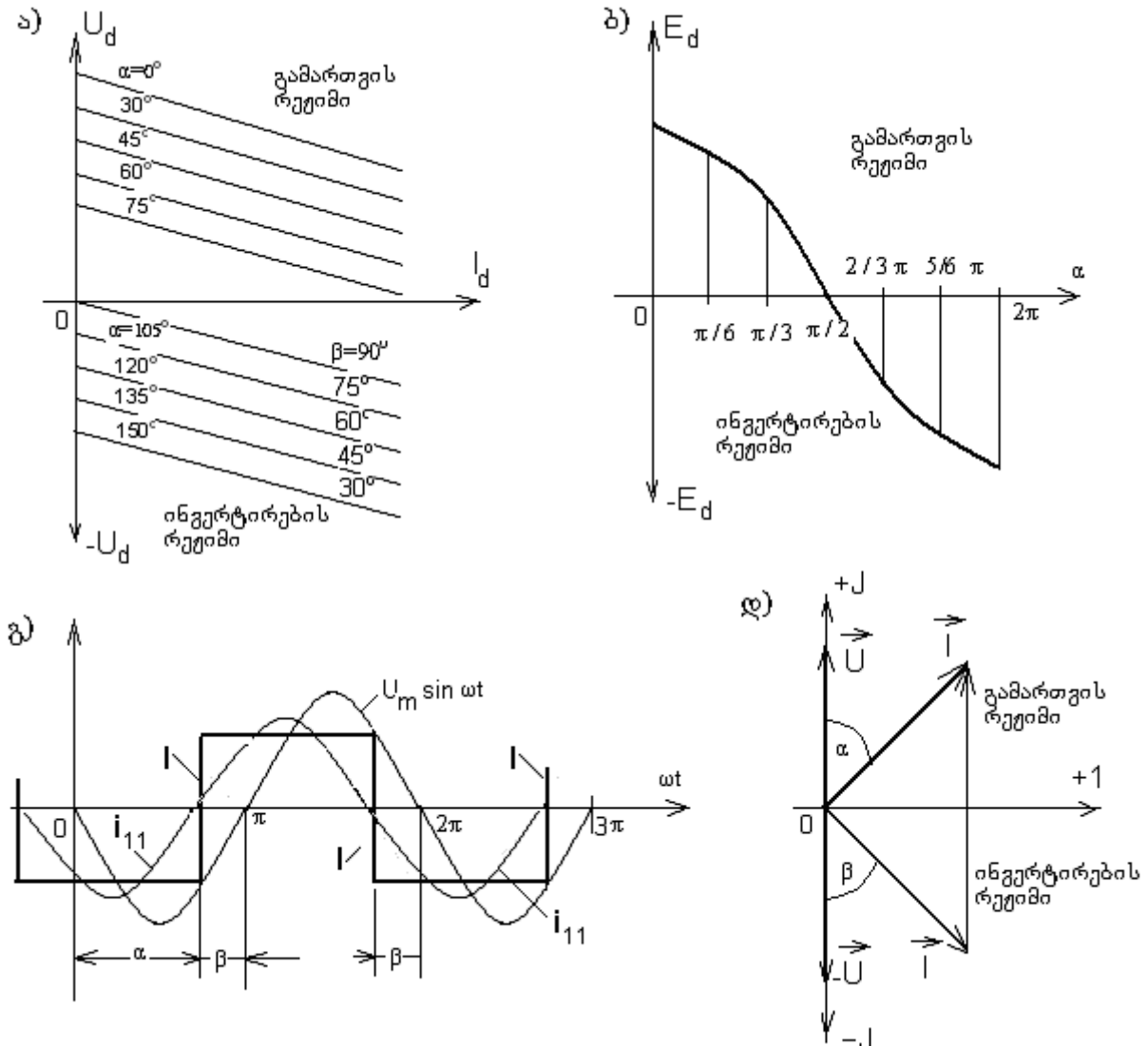
12.26 ა და გ ნახაზზე დაშტრისული ფართებით, ორივე რეჟიმისათვის მოცემულია კომუტაციის γ ინტერვალები, რომლის განმავლობაში გამართული და ინვერტირებული ძაბვები 0-ის ტოლია. ინვერტორულ რეჟიმში, თუ δ ინტერვალი (დრო), რომელიც განკუთვნილია ტირისტორის ვენტილური თვისებების აღსადგენად (მოცემულია ტირისტორის პასპორტში), არ იქნება საკმარისი, მაშინ ინვერტორი „ამოყირავდება“ (ასეთი ტექნიკური ტერმინია მიღებული) და მოხდება მოკლე შერთვა. ამ მიზეზით მართვის კუთხე $\beta = \gamma + \delta$ მკაცრად კონტროლდება.

რაც შეეხება სიმძლავრის აქტიურ P და რეაქტიულ Q მდგენელებს; ამ შემთხვევაშიც ისინი იანგარიშება (12.2), (12.4) ფორმულებით. მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ქსელის დენის პირველი ჰარმონიკი წინ წაასწრებს მკვებავ ძაბვას, როგორც ნაჩვენებია 12.27 გ ნახაზზე.

სიმძლავრის კოეფიციენტიც გამოითვლება (12.9) ფორმულით (K_M -თვის) და გამოისახება 2 წრფით (ნახ. 12.2). რაც შეეხება რეაქტიულ სიმძლავრეს, ისიც გამოითვლება (12.4) ფორმულით და გამოისახება 4 მრუდით (ნახ. 12.2). განსხვავება იქნება იმაში, რომ ამ შემთხვევაში ის მიეწოდება ქსელში.

12.27 გ ნახაზზე მოცემულია მკვებავი ძაბვის $U_m \sin \omega t$ -ის მრუდი, დენის მრუდი (მსხვილი მართკუთხა ფორმის) და, ასევე, ამ დენის პირველი ჰარმონიკა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, პირველი ჰარმონიკა წინ უსწრებს ძაბვას β კუთხით. 12.27 დ ნახაზზე მარჯვნივ ნაჩვენებია ვექტორული დიაგრამა ორივე რეჟიმისათვის. იმისათვის, რომ ინვერტირების რეჟიმში შევინარჩუნოთ სიმძლავრის კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობა, აქაც გამოიყენება კომბინირებული რეგულირება.

α და β -ს ერთნაირი მნიშვნელობის დროს, $\delta = 5,4 - 7,2^\circ$ (300-400 მკვმ) კუთხის არსებობის გამო, სიმძლავრის კოეფიციენტი ინვერტორულ რეჟიმში ყოველთვის იქნება ნაკლები გამმართველ რეჟიმზე.



ნახ. 12.27. გარდამქმნელის გარე მახასიათებლები: ა, ბ გამართვის და ინვერტირების რეჟიმებში და გ, დ დენების და ძაბვების დიაგრამები.

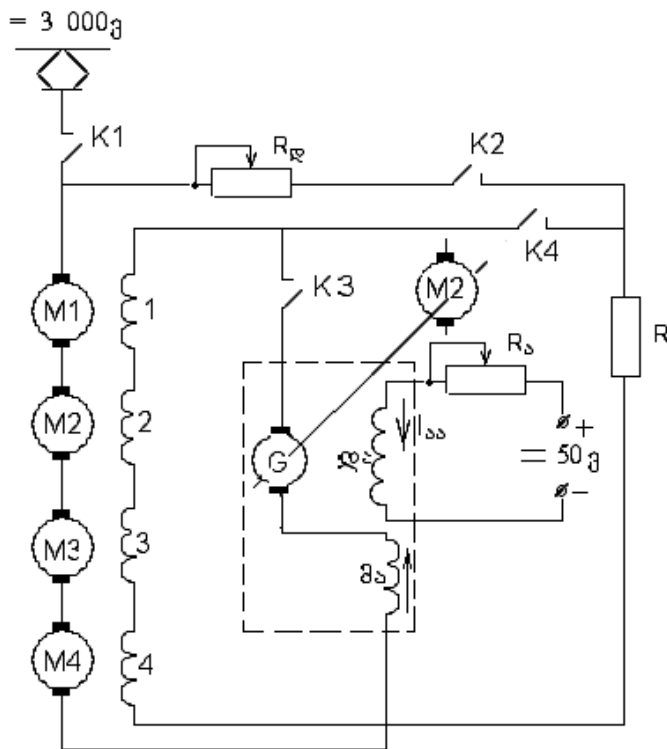
12.7. რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭება

თუ ელექტრული დამუხრუჭება გვსურს გამოვიყენოთ მატარებლის გასაჩერებლად, მაშინ სასურველია მაღალ სიჩქარეებზე რეკუპერაციული დამუხრუჭება შევუთავსოთ დაბალ სიჩქარეებზე რეოსტატულ დამუხრუჭებას. სხვაგვარად, განვახორციელოთ რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭება. რეოსტატული დამუხრუჭება, ასევე, შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც სარეზერვო დამუხრუჭება, რეკუპერაციის ჩაშლის შემთხვევაში (როდესაც ქსელში გაგზავნილი ენერჯის მოხმარება არ ხდება, ან

სიჩქარეები შემცირდება). მაგალითისათვის განვიხილოთ 12.28 ნახაზზე მოცემული რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა.

მოცემული სქემით დამუხრუჭება ხდება შემდეგნაირად:

დასაწყისში $K2$ და $K3$ კონტაქტორების ჩართვით იკრიფება რეოსტატული დამუხრუჭების სქემა, დამოუკიდებელი აგზნებით: მიმდევრულად ჩართული 4 წვევის ძრავას ღუზების +, სამუხრუჭო რეოსტატი $R_{\text{ღ}}$, $K2$ კონტაქტორი, R რეზისტორი, 1-4 წვევის



ნახ. 12.28. რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა.

მოსმარების შეწყვეტის დროს, რეკუპერაციის რეჟიმში წყდება და სპეციალური მინიმალური ძაბვის რელე, აკრეფს რეოსტატული დამუხრუჭების სქემას.

ამგზნები მანქანის განტვირთვისთვის, დაბალი სიჩქარეების დროს ჩაირთვება $K4$ კონტაქტორი, სქემა გადავა თვითაგზნების რეჟიმში (წვევის ძრავების +, სამუხრუჭო რეოსტატი $R_{\text{ღ}}$, კონტაქტორი $K2$, კონტაქტორი $K4$, წვევის ძრავების 1-4 აგზნების გრაგნილები, ამგზნების მიმდევრობითი აგზნების გრაგნილი მა, 1-4 წვევის ძრავას ღუზა, + მომჭერი) ამის შემდეგ ამგზნები მანქანა $K3$ კონტაქტორით წრედთან ამოირთვება.

ძრავების აგზნების გრაგნილები, $K3$ კონტაქტორი, ამგზნები გენერატორის ღუზა G , ამგზნების მიმდევრობითი აგზნების გრაგნილი მა, 1-4 წვევის ძრავას ღუზა, + მომჭერი. ამგზნები მანქანის ძაბვის გაზრდით ($R_{\text{ღ}}$ რეოსტატით) იზრდება 1-4 წვევის ძრავების ემმ. როდესაც მათი ჯამი გაუტოლდება საკონტაქტო ქსელის ძაბვას, სპეციალური ძაბვათა ბალანსის რელე ჩართავს $K1$ კონტაქტორს, შემდეგ გამოირთვება $K2$ კონტაქტორი და დაიწყება რეკუპერაცია.

სიჩქარის შემცირებისას, როდესაც წვევის ძრავების ჯამური ემმ გახდება ქსელის ძაბვაზე ნაკლები ან ენერჯის

12.8. ელექტრული დამუხრუჭება მდოვრე იმპულსური რეგულირებით

იმპულსური მართვის სისტემა საშუალებას იძლევა სინქარის მდოვრე რეგულირება მოვახდინოთ არა მარტო წვეის რეჟიმში, არამედ ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმშიც. ელექტრული დამუხრუჭება ამ შემთხვევაში შეგვიძლია განვახორციელოთ შედარებით მარტივად და სინქარეთა გაცილებით დიდ დიაპაზონში, ვიდრე კონტაქტორულ-რეოსტატული მართვის დროს. განვიხილოთ დაწვრილებით რეკუპერაციული და რეოსტატული დამუხრუჭების მუშაობის პრინციპები, მდოვრე იმპულსური რეგულირების შემთხვევაში.

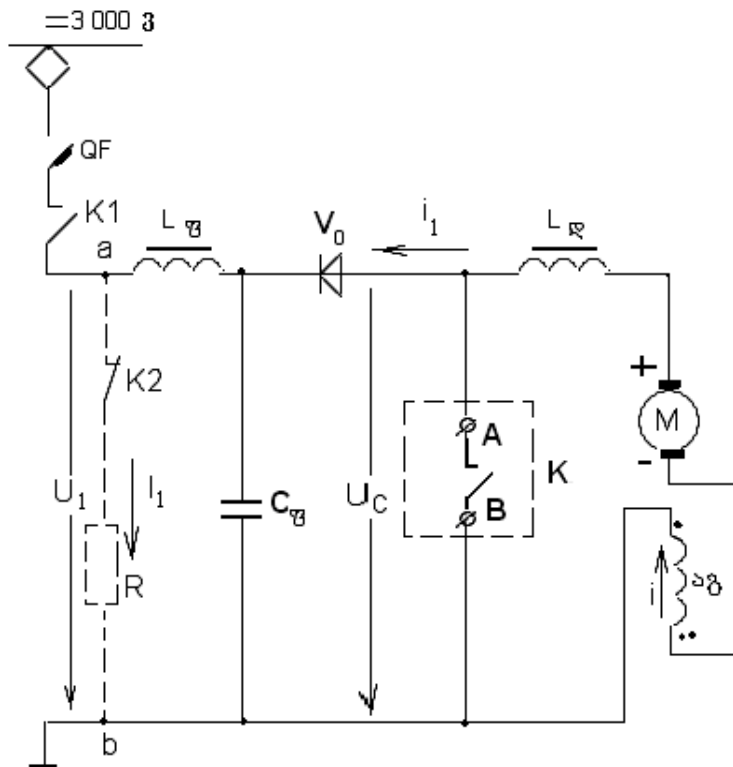
12.8.1. რეკუპერაციული დამუხრუჭება

კონტაქტორულ რეოსტატული მართვის მქონე ემშ-ს შემთხვევაში, რეკუპერაციული დამუხრუჭების განხორციელებისთვის დაცული უნდა იყოს ორი აუცილებელი პირობა:

1. წვეის ძრავები გადაყვანილი უნდა იყოს დამოუკიდებელ აგზნებაზე.
2. გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე წვეის ძრავების ჯამური ემძ-ა უნდა გაუტოლდეს, ან მეტი გახდეს ქსელის ძაბვაზე.

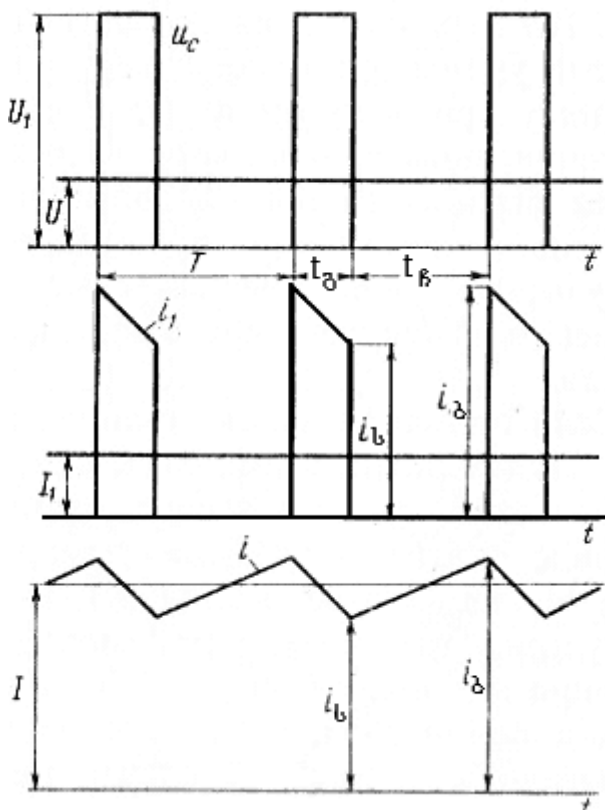
იმპულსური რეგულირება კი საშუალებას იძლევა შევინარჩუნოთ წვეის ძრავა მიმდევრობით აგზნებით (წვეის რეჟიმის შესაბამისად) და დამუხრუჭება განვახორციელოთ ისეთ სინქარეებზე, როდესაც ემძ-ის ჯამური მნიშვნელობა ნაკლებია ქსელის ძაბვაზე.

განვიხილოთ იმპულსური გარდამქმნელის მუშაობის პრინციპი რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში, 12.29 ნახაზზე მოცემული გამარტივებული სქემის მაგალითზე. ამ სქემაში გამოყენებულია ყველა ის ელემენტი, რომელიც გვქონდა იმპულსური რეგულირების წვეის რეჟიმის სქემაში (ნახ. 8.3) იმ განსხვავებით, რომ შეცვლილია მათი ჩართვის სურათი. კერძოდ, $L_{\Sigma}C_{\Sigma}$ საფილტრო მოწყობილობას აკისრია იგივე ფუნქცია, რაც მას ჰქონდა წვეის რეჟიმში. V_0 – დიოდი ეწინააღმდეგება ქსელიდან დენის გავლას გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე წვეის ძრავაში დროის იმ შუალედში, როდესაც ძაბვა ძრავებზე ნაკლებია ქსელის ძაბვაზე. L_{Σ} – რეაქტორი ახდენს ძრავას წრედში დენის პულსაციის დანელებას და ანხორციელებს ელექტრომაგნიტური ენერჯიის დაგროვებას იმ შუალედებში, როდესაც V_0 ჩაკეტილია (სხვაგვარად, როცა ქსელის ძაბვა აღემატება ძრავების მომჭერებზე ძაბვას).



ნახ. 12.29. რეკუპერაციული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა, იმპულსური რეგულირების დროს.

ნახ. 12.30-ზე მოცემულია დენების და ძაბვების ცვლილების დიაგრამები



ნახ. 12.30. დენების და ძაბვების ცვლილების დიაგრამები რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს.

რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს. T პერიოდის ნაწილ $t_გ$ დროის განმავლობაში K -მწვეტარა ჩართულია, ხოლო $t_დ = T - t_გ$ დროის განმავლობაში, K -მწვეტარა გამორთულია. როდესაც K -მწვეტარა ჩართვება, შეიკვრება ელექტრული წრედი: ძრავას ღუზის $+$, $L_დ$ -რეაქტორი, K -მწვეტარა, ძრავას აგზნების გრაგნილი აგ, ძრავას ღუზის წრედის მცირე წინააღმდეგობის გამო, გენერატორული დენი i იზრდება i_2 საწყისი მნიშვნელობიდან i_3 ბოლო მნიშვნელობამდე, რის გამოც იზრდება კონტურის ინდუქტივობებში ($L_დ$ -რეაქტორი, წვევის ძრავას გრაგნილები) ელექტრომაგნიტური ენერგიის მარაგი. ამ ინტერვალის განმავლობაში რეკუპერა-

ციის დენი ნულის ტოლია, $i_1 = 0$.

შემდეგ, როდესაც K -მწვევებარა გამოირთვება, კონტურში გამავალი ძრავას დენი დაიწყებს შემცირებას i_2 -დან, i_1 -მდე. ამის გამო წრედის ინდუქტივობებში ($L_{\text{გ}}$ რეაქტორი, წვეის ძრავას გრაგნილები) დაინდუქტირებული თვითინდუქციის ემძიკრიბება ძრავას ემძ-თან. მათი ჯამი მეტი აღმოჩნდება საკონტაქტო ქსელის ძაბვაზე და გაჩნდება რეკუპერაციის დენი i_1 .

წვეის ძრავას მომჭერებზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, პერიოდის განმავლობაში, ბალანსირდება $U_{\text{ქს}}$ ძაბვით. დიაგრამების შესაბამისად ძაბვის საშუალო მნიშვნელობისთვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$U = U_1 \frac{1-t_b}{T}. \quad (12.27)$$

თუ გავითვალისწინებთ სიმძლავრეთა დაახლოებით ბალანსს

$$UI = U_1 I_1.$$

აქედან შეგვიძლია განვსაზღვროთ ძრავას საშუალო დენი

$$I = I_1 \frac{T}{T-t_b}, \quad (12.28)$$

სადაც, I_1 არის ქსელში რეკუპერირებული დენის საშუალო მნიშვნელობა.

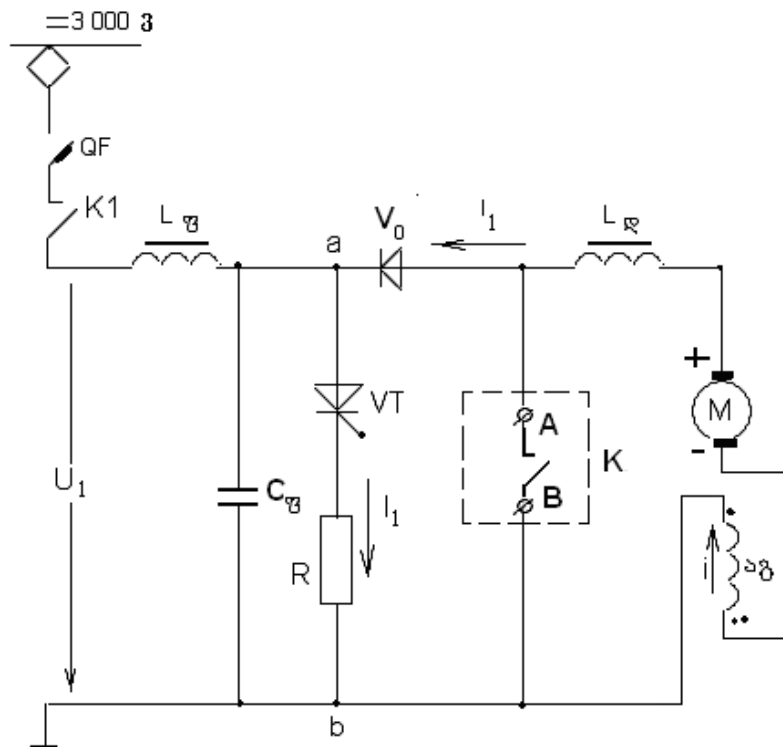
როგორც (12.27) და (12.28.) გამოსახულებებიდან ჩანს U ძაბვის, I დენის და შესაბამისად სამუხრუჭო ძალის და, რა თქმა უნდა, სიჩქარის რეგულირება იმპულსური მართვით რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას, შეგვიძლია $\frac{t_b}{T}$ სიდიდის ცვლილებით. სხვაგვარად, იმპულსური გარდამქმნელის $f = \frac{1}{T}$ სიხშირის ცვლილებით (სიხშირულ-იმპულსური გარდამქმნელის გამოყენებით) ან, როდესაც $f = const$, ანუ $T = \frac{1}{f} = const$, $\frac{t_b}{T} = \gamma$ იმპულსების შევსების კოეფიციენტის რეგულირებით (განივი-იმპულსური გარდამქმნელის გამოყენებით).

12.8.2. რეოსტატული დამუხრუჭება

იმპულსური მართვით რეკუპერაციული დამუხრუჭების მსგავსად, შეგვიძლია განვახორციელოთ რეოსტატული დამუხრუჭება სიჩქარის ფართო დიაპაზონში, სამუხრუჭო რეოსტატის წინააღობის რეგულირების გარეშე. ეს შესაძლებელია განხორციელდეს იგივე სქემით, რაც განვიხილეთ რეკუპერაციული დამუხრუჭების დროს. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ იმპულსური გარდამქმნელი უერთდება

არა საკონტაქტო ქსელს, არამედ ირთვება სამუხრუჭო R რეოსტატზე, 12.29 ნახაზზე წყვეტილი კონტური. შესაბამისად ის მუშაობს არა საკონტაქტო ქსელის დაბვასთან პარალელურ რეჟიმში, როგორც რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას, არამედ სამუხრუჭო რეოსტატზე, რომელზეც დაბვა რეოსტატული დამუხრუჭების დენის პროპორციულია. ასეთი სქემით მუშაობა შესაძლებელია ნებისმიერი აგზნების მქონე (მათ შორის მიმდევრობით აგზნებიანი) ძრავათი. რა თქმა უნდა წევის ძრავების რამდენიმე პარალელური ჯგუფის შემთხვევაში, ელექტრული მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით, უნდა გამოვიყენოთ კონტაქტორულ-რეოსტატული მართვისას გამოყენებული ანალოგიური სქემები.

რეოსტატული დამუხრუჭების განსახორციელებლად საჭიროა გარდამქმნელი $K1$ კონტაქტორის მეშვეობით, გამოვროთოთ ქსელიდან და $K2$ კონტაქტორის მეშვეობით მიუერთოთ R სამუხრუჭო რეოსტატს, სქემის a და b წერტილებს შორის (12.29 ნახაზზე წყვეტილი კონტური). სქემას შეესაბამება იგივე დიაგრამები (ნახ. 12.30), რომელიც განვიხილეთ რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას, იმ განსხვავებით, რომ ქსელის U_1 დაბვის ნაცვლად, უნდა გავითვალისწინოთ დაბვის ვარდნა სამუხრუჭო რეოსტატზე $I_1 R$.



ნახ. 12.31. რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭების პრინციპული სქემა.

K მწვევტარას ჩართულ მდგომარეობას შეესაბამება დროის ინტეგრალი t_b , ხოლო K მწვევტარას გამორთულ მდგომარეობას დროის ინტეგრალი $t_g = T - t_b$. K მწვევ-

ტარას ჩართულ მდგომარეობაში შეიკვრება ძალიან მცირე წინაღობის მქონე წრედი: ძრავას ღუზა, $L_{\text{ღ}}$ -რეაქტორი, K მწვევტარა, ძრავას აგზნების გრაგნილი აგ, ძრავას ღუზა. დაიწყება გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე წვევის ძრავას ფორსირებული თვითაგზნება. დაიწყებს დენი ზრდას და შესაბამისად დაიწყება ელექტრომაგნიტური ენერჯიის დაგროვება წრედის ინდუქტივობებში. ამ ინტერვალში, სამუხრუჭო რეოსტატში გამავალი დენი ნულის ტოლია $I_1 = 0$.

K მწვევტარას გამორთვის შემდეგ წრედი გაწყდება და ძრავაში დენი დაიწყებს კლებას, რის გამოც ძრავას ემძ-ს და $L_{\text{ღ}}$ -რეაქტორში დაინდუქტირებული, თვითინდუქციის ემძ-ის ჯამი უზრუნველყოფს დენის გავლას სამუხრუჭო რეოსტატში და შესაბამისად სამუხრუჭო ძალას. (12.22) ფორმულის თანახმად რეოსტატში გამავალი დენი I_1 , რომელიც ქმნის სამუხრუჭო ძალას იქნება

$$I_1 = I \frac{T - t_{\text{ფ}}}{T} = I(1 - \gamma), \quad (12.29)$$

სადაც I არის ძრავას საშუალო დენი.

მძლავრი $L_{\text{ფ}}C_{\text{ფ}}$ ფილტრი უზრუნველყოფს სამუხრუჭო რეოსტატში გამავალი დენის უცვლელ მნიშვნელობას პერიოდის განმავლობაში.

ძაბვის მნიშვნელობა სამუხრუჭო R რეოსტატზე იქნება

$$U_1 = I_1 R = IR \frac{T - t_{\text{ფ}}}{T} = IR(1 - \gamma). \quad (12.30)$$

$t_{\text{ფ}}$ ინტერვალში ძრავას მომჭერებზე ძაბვა იქნება ნულის ტოლი, ხოლო $t_{\text{ფ}} = T - t_{\text{ფ}}$ ინტერვალში, ძაბვა რეოსტატზე იქნება U_1 . წვევის ძრავას მომჭერებზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა

$$U = U_1 \frac{T - t_{\text{ფ}}}{T} = IR \frac{T - t_{\text{ფ}}}{T} = IR(1 - \gamma)^2. \quad (12.31)$$

(12.31) ფორმულიდან ჩანს, რომ უცვლელი დენის და მ.შ. უცვლელი სამუხრუჭო ძალის შესანარჩუნებლად, საჭიროა $1 - \gamma$ სიდიდე ვცვალოთ \sqrt{V} - პროპორციულად.

იმპულსური მართვის შემთხვევაში სასურველია რეოსტატული დამუხრუჭება გამოვიყენოთ, როგორც სარეზერვო დამუხრუჭება, რეკუპერაციული დამუხრუჭების ჩამოშლის შემთხვევაში (მაგალითად, როდესაც ქსელში მომხმარებელი არაა ან რეკუპერირებული ენერჯიის მცირე მოხმარებაა და ვერ მიიღება სასურველი სამუხრუჭო ეფექტი).

12.31 ნახაზზე ნაჩვენებია იმპულსური მართვის დროს რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭების ერთ-ერთი შესაძლო სქემითი ვარიანტი, რომელიც მუშაობს შემდეგნაირად: როდესაც ქსელში რეკუპერირებული ენერჯიის მოხმარება მცირეა,

მაშინ ფილტრის კონდენსატორზე დაბვა იზრდება. თუ დაბვის სიდიდე მიაღწევს წინასწარ დასახულ ზღურბლურ მნიშვნელობას, იმოქმედებს სამუხრუჭო VT ტირისტორის გაღების სისტემა და იმპულსური გარდამქმნელი ჩაერთვება R სამუხრუჭო რეოსტატზე. K მწვევტარას შემდგომი ჩართვისას VT ტირისტორს მოედება უკუ დაბვა და ის ჩაიკეტება. თუ ერთ-ერთი ასეთი ციკლის დროს აღდგება ქსელში ნორმალური მოხმარება, მაშინ ფილტრის კონდენსატორზე დაბვა არ გაიზრდება, სამუხრუჭო ტირისტორი VT არ გაიხსნება და აღდგება რეკუპერაციული დამუხრუჭება. განსხვავებით 10.29 ნახაზზე მოცემული სქემიდან, სადაც სამუხრუჭო რეოსტატი ჩართულია ფილტრის გამოსასვლელზე, 12.31 ნახაზის სქემაზე სამუხრუჭო რეოსტატი ჩართულია K მწვევტარასა და ფილტრს შორის (იხ. a და b წერტილების ახალი მდებარეობა). ამიტომ, სამუხრუჭო რეოსტატში გამავალი დენი განიცდის წყვეტას. $t_{\delta} = T - t_{\beta}$ -დროის განმავლობაში რეოსტატში გამავალი დენი I_1 , ძრავას დენის I -ს ტოლია, ხოლო t_{β} დროის განმავლობაში რეოსტატში გამავალი დენი ნულის ტოლია $I_1 = 0$, ხოლო დაბვა $t_{\delta} = T - t_{\beta}$ ინტერვალში IR -ის ტოლია, ხოლო t_{β} ინტერვალის განმავლობაში ნულის ტოლია. შესაბამისად დენების და დაბვების საშუალო მნიშვნელობები ტოლია:

$$I_1 = I \frac{T - t_{\beta}}{T} = I(1 - \gamma), \quad (12.32)$$

$$U_1 = U = IR \frac{1 - t_{\beta}}{T} = IR(1 - \gamma). \quad (12.33)$$

განსხვავებით 12.29 ნახაზზე მოცემული სქემისაგან, სადაც დაბვის საშუალო მნიშვნელობა იყო $IR(1 - \gamma)^2$, განსახილველ სქემაზე დაბვის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია $IR(1 - \gamma)$. შესაბამისად იმპულსების შევსების კოეფიციენტი უნდა ვცვალოთ V სიჩქარის პროპორციულად.

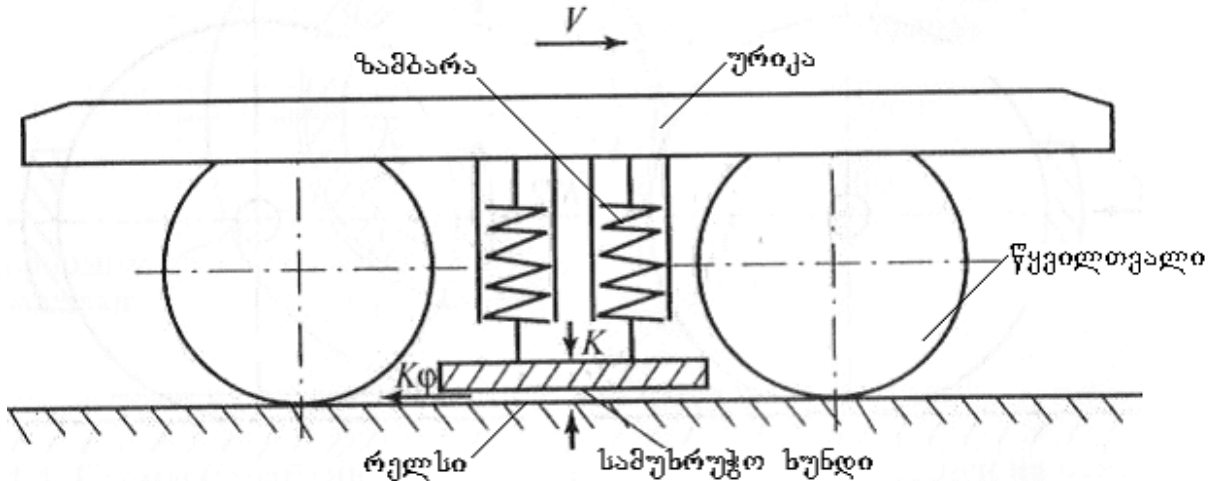
12.9. ელექტრომაგნიტური სარელსო დამუხრუჭება

სარელსო დამუხრუჭების დროს სამუხრუჭო ძალა იქმნება სამუხრუჭო ხუნდის და რელსის ზედაპირებს შორის, მექანიკური ხახუნის მეშვეობით.

როგორც ზემოთ გვქონდა აღნიშნული, ამ შემთხვევაში სამუხრუჭო ძალა არ იზღუდება ჩაჭიდებით არტახსა და რელსს შორის.

სამუხრუჭო ხუნდები ზამბარებით ჩამოკიდებულია ურიკის ჩარჩოს გვერდით ძელებზე, სპეციალური მიმმართველების და ურიკაზე განთავსებული პნევმატური ცილინდრების საშუალებით გადაადგილდებიან ვერტიკალურად 15-20 მმ მანძილზე.

სამუხრუჭო ხუნდების აგზნების გრავნილებზე ოპერატიული ძაბვის მიწოდებისას, წარმოიქმნება მაგნიტური ნაკადი, რომელიც იკვრის ხუნდის გულარის და რელსის მეშვეობით. სამუხრუჭო ხუნდი მიიზიდება რელსის მიერ და წარმოიქმნება სამუხრუჭო ძალა B . თანამედროვე ელექტრომაგნიტურ სარელსო მუხრუჭებში, სამუხრუჭო ხუნდის დაწოლის ხვედრითი ძალა რელსზე შეადგენს 50 კნ/1 მეტრზე.



ნახ. 12.32. სარელსო მუხრუჭის სქემა.

მთელი ლოკომოტივის სამუხრუჭო ძალა შეიძლება გავთვალთ ფორმულით

$$B = 1000 \sum K_b \varphi, \quad (12.34)$$

სადაც, $\sum K_b$ არის ხუნდების ჯამური დაწოლის ძალა რელსზე.

φ – სამუხრუჭო ხუნდსა და რელსს შორის ხახუნის კოეფიციენტი.

ხუნდის რელსზე დაწოლის ძალა კნ-ში განისაზღვრება ფორმულით

$$K_b = \frac{B_F \cdot S}{1000 \mu_0}, \quad (12.35)$$

სადაც, B_F არის მაგნიტური ინდუქცია ტესლებში.

S – ერთი ხუნდის კვეთის ფართი, მ².

μ_0 – საპაერო ღრეჩოს მაგნიტური შეღწევადობა $\mu_0 = 0,4\pi \cdot 10^{-6} = 1,2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{ჰენრი}}{\text{მეტრი}}$.

რელსსა და ხუნდს შორის ხახუნის კოეფიციენტი φ დამოკიდებულია მოძრაობის სიჩქარეზე, ატმოსფერულ მოვლენებზე, მასალაზე და მოხახუნე ზედაპირების მდგომარეობაზე. ის გაიანგარიშება ემპირიული ფორმულებით. კერძოდ:

მშრალი რელსებისათვის

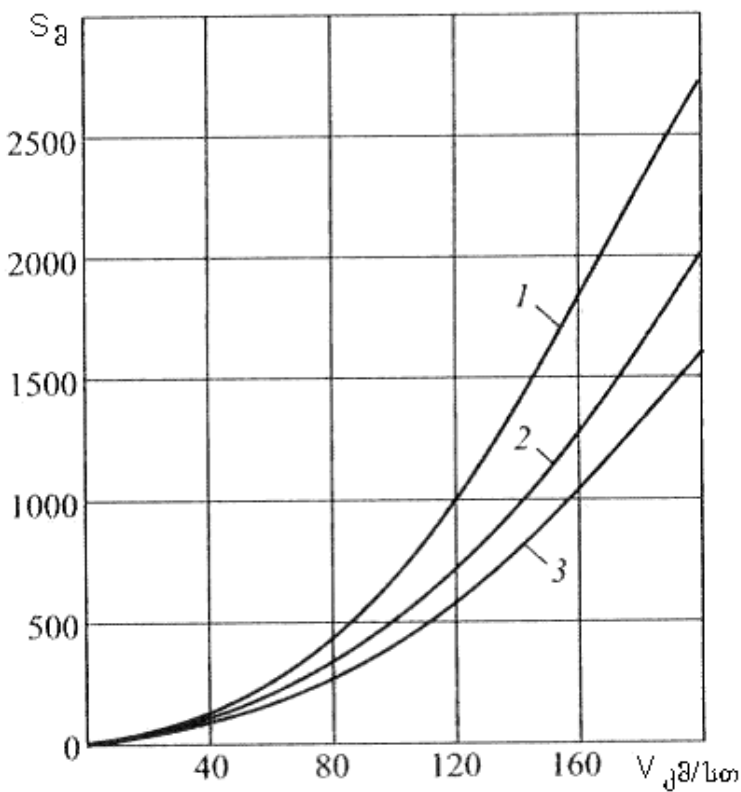
$$\varphi = \frac{0,19(10.8V + 100)}{21.6V + 100}. \quad (2.36)$$

სველი რელსებისათვის

$$\varphi = \frac{0,19(7.2V + 100)}{18V + 100}. \quad (12.37)$$

V – დამუხრუჭების სიჩქარე კმ/სთ-ში;

ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა $b = 1000\phi\theta \frac{\delta}{\kappa\delta},$ (12.38)



ნახ. 12.33. ЭР-200 ელექტრომატარებლის სამუხრუჭო მანძილის დამოკიდებულება სიჩქარეზე: დისკური მუხრუჭებისათვის ----- 1 ელექტრომაგნიტური სარელსო მუხრუჭებისათვის .. 2 კომბინირებული მუხრუჭებისათვის----- 3.

სადაც, θ არის ხუნდების დაწოლის კოეფიციენტი

$$\theta = \frac{\sum K_b}{P+Q}. \quad (12.39)$$

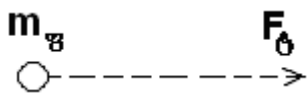
მაღალი სიჩქარეების შემთხვევაში (200 კმ/სთ და მეტი), სასურველია ელექტრომაგნიტური სარელსო მუხრუჭის მოქმედება შეუთავსოთ სხვა, მაგალითად დისკური მუხრუჭების მოქმედებას. 10.33 ნახაზზე ნაჩვენებია სამუხრუჭო მანძილის დამოკიდებულება სიჩქარეზე: დისკური-1; ელექტრომაგნიტური სარელსო-2 და ერთობლივი (კომბინირებული) – 3 დამუხრუჭების შემთხვევაში, ЭР-200 ელექტრომატარებლისათვის. როგორც მრუდებიდან ჩანს, 160 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობისას,

მუხრუჭების კომბინირებული (ერთდროულად დისკური და ელექტრომაგნიტური – სარელსო) გამოყენების შემთხვევაში, სამუხრუჭო მანძილი ელექტრომაგნიტურ – სარელსო მუხრუჭების გამოყენებასთან შედარებით მცირდება დაახლოებით 2-ჯერ, ხოლო დისკური მუხრუჭების გამოყენებასთან შედარებით 1,3 ჯერ.

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება

13.1. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ზოგადი სახე

როგორც ზემოთ ვნახეთ (იხ. თავი 1, პარაგრაფი 1.5) მოძრაობის შესწავლის გაიოლების მიზნით, რეალურ მატარებელს ცვლიან ფიზიკური მოდელით, სიმძიმის ცენტრის მდებარეობის მატერიალური წერტილით, რომელშიც განთავსებულია მთელი მატარებლის ფიზიკური მასა $m_{\text{ფ}}$ და რომელზეც მოქმედებს რელსის გასწვრივ მიმართული ტოლქმედი ძალა F_{δ} . (ნახ. 13.1).



ნახ. 13.1. მატარებლის ფიზიკური (მექანიკური) მოდელი.

მატიკურ მოდელს.

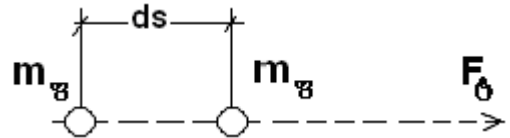
მატარებლის მოძრაობის მათემატიკური მოდელი, ნიუტონის მეორე კანონზე დაყრდნობით, ერთმანეთთან აკავშირებს მატარებლის კინემატიკურ

პარამეტრებს: სიჩქარეს V , დროს t , მატარებელზე მოქმედ ტოლქმედ F_{δ} ძალას და მატარებლის ფიზიკურ მასას $m_{\text{ფ}}$ -ს.

დაუშვათ F_{δ} ტოლქმედი ძალის ზემოქმედებით, $m_{\text{ფ}}$ მასის მქონე მატარებელი გადაადგილდა ელემენტარულ dS მანძილზე (ნახ. 13.2). ამ დროს შესრულდება ელემენტარული მუშაობა $dA_{\text{კონ}}$, რომელიც ტოლია:

$$dA_{\text{კონ}} = F_{\delta} dS. \quad (13.1)$$

მოძრავ მატარებელში საკმაოდ დიდი მასის მქონე ცალკეული კვანძები (ლოკომოტივების წამყვანი წყვილთვალები, კბილანა რედუქტორების



ნახ. 13.2

ჩათვლით, ვაგონების მიმყოლი წყვილთვალები, წვევის ძრავების ღუზები), გარდა ხაზოვანი გადაადგილებისა ასრულებენ ბრუნვით მოძრაობას. ე.ი. წვევის რეჟიმში მატარებლის მამოძრავებელი ძალის მუშაობა იხარჯება მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის დაძლევაზე, მატარებლის ფიზიკური მასის კინეტიკური ენერჯის შექმნაზე (მატარებლისთვის გარკვეული სიჩქარის მინიჭებაზე) და ზემოჩამოთვლილი მბრუნავი სხეულების ბრუნვით მოძრაობაში მოყვანაზე.

მექანიკის კანონების თანახმად, მოძრავ მატარებელზე დახარჯული სრული კინეტიკური ენერჯია ტოლია

$$A_{\text{კობ}} = \frac{m_{\text{ვ}} \cdot V^2}{2} + \frac{\sum J\omega^2}{2}, \quad (13.2)$$

სადაც, $\frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2}$ არის მატარებლის ხაზოვანი სიჩქარის შესაბამისი კინეტიკური ენერგია.

$\frac{\sum J\omega^2}{2}$ – ეველა მბრუნავი სხეულების ჯამური კინეტიკური ენერგია.

J – მბრუნავი სხეულების ინერციის მომენტი.

ω – მბრუნავი სხეულების კუთხური სიჩქარე.

თუ წამყვანი წყვილთვალების, მიმყოლი წყვილთვალების და წვევის ძრავას ღუზების ინერციის მომენტებს შესაბამისად აღვნიშნავთ: $J_{\text{წ}}$, $J_{\text{ა}}$, $J_{\text{ღ}}$, ხოლო კუთხურ სიჩქარეებს შესაბამისად: $\omega_{\text{წ}}$, $\omega_{\text{ა}}$, $\omega_{\text{ღ}}$ და მათ გამოვსახავთ ხაზოვანი სიჩქარეებით და რადიუსებით $\omega = \frac{V}{R}$, მაშინ (13.2) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$A_{\text{კობ}} = \frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2} + \left(\frac{J_{\text{წ}}}{R_{\text{წ}}^2} + \frac{J_{\text{ა}}}{R_{\text{ა}}^2} + \frac{J_{\text{ღ}}}{R_{\text{ღ}}^2} \right) \frac{V^2}{2}. \quad (13.3)$$

გავიტანოთ ფრჩხილებს გარეთ $\frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2}$ -ზე. მივიღებთ

$$A_{\text{კობ}} = \frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2} \left[1 + \frac{\left(\frac{J_{\text{წ}}}{R_{\text{წ}}^2} + \frac{J_{\text{ა}}}{R_{\text{ა}}^2} + \frac{J_{\text{ღ}}}{R_{\text{ღ}}^2} \right)}{m_{\text{ვ}}} \right]. \quad (13.4)$$

აღვნიშნოთ $\left(\frac{J_{\text{წ}}}{R_{\text{წ}}^2} + \frac{J_{\text{ა}}}{R_{\text{ა}}^2} + \frac{J_{\text{ღ}}}{R_{\text{ღ}}^2} \right) = m_{\text{მპ}}$ და მას ეწოდოთ მბრუნავი სხეულების

ეკვივალენტური მასა, მაშინ მივიღებთ

$$A_{\text{კობ}} = \frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2} \left[1 + \frac{m_{\text{მპ}}}{m_{\text{ვ}}} \right] \quad (13.5)$$

ფარდობა $\frac{m_{\text{მპ}}}{m_{\text{ვ}}}$ აღვნიშნავთ γ ასოთი, მაშინ

$$A_{\text{კობ}} = \frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2} (1 + \gamma) \quad (13.6)$$

$(1 + \gamma)$ -ს უწოდებენ მბრუნავი სხეულების ინერციის კოეფიციენტს. (13.6) ფორმულას თუ შევიტანთ (13.1) ფორმულაში, მივიღებთ

$$d \left[\frac{m_{\text{ვ}} V^2}{2} (1 + \gamma) \right] = F_{\delta} dS. \quad (13.7)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $V = \frac{dS}{dt}$ და მოვახდენთ (13.7) განტოლების დიფერენცირებას, მივიღებთ

$$(1 + \gamma)m_{\text{ფ}} V dV = F_{\delta} V dt$$

აქედან

$$F_{\delta} = \frac{dV}{dt} (1 + \gamma)m_{\text{ფ}}. \quad (13.8)$$

(13.8) გამოსახულება წარმოადგენს მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას ჩაწერილ სრულ პირველ ფორმაში, რომელიც ამყარებს ურთიერთ კავშირს დიფერენციალური სახით: მატარებელზე მოქმედ F_{δ} ტოლქმედ ძალასა, მატარებლის $(1 + \gamma)m_{\text{ფ}}$ დაყვანილ მასასა და $\frac{dV}{dt}$ აჩქარებას შორის.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სიჩქარე

$$V = \frac{dS}{dt}, \text{ აქედან } dt = \frac{dS}{V}$$

და dt -ს მნიშვნელობას შევიტანთ (13.8) ფორმულაში, მივიღებთ მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას, ჩაწერილ სრულ მეორე ფორმაში

$$F_{\delta} = (1 + \gamma)m_{\text{ფ}} \cdot V \frac{dV}{ds}. \quad (13.9)$$

გავიხსენოთ, რომ მატარებლის ფიზიკური მასა $m_{\text{ფ}} = \frac{1000(P+Q)}{g}$, ხოლო წვევის

რეჟიმში $\frac{F_{\delta}}{P+Q} = \frac{F-W}{P+Q} = (f-w)$; მაშინ აღნიშნულის გათვალისწინებით შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(f-w)g}{1000(1+\gamma)}$$

$\frac{g}{1000(P+Q)}$ სიდიდე წარმოადგენს ხვედრით აჩქარებას, ანუ მატარებლის ერთეული წონის აჩქარებას, მასზე ერთეული ძალის მოქმედებისას და მას აღნიშნავენ ξ (ბერძნული ძეტა) ასოთი. საბოლოოდ

$$\frac{dV}{dt} = \xi(f-w) \quad (13.10)$$

$$V \frac{dV}{ds} = \xi'(f-w). \quad (13.10)^1$$

(13.10) და (13.10)¹ განტოლებები წარმოადგენენ მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებებს წვევის რეჟიმისათვის, ჩაწერილ ხვედრით ფორმაში.

ანალოგიურად შეგვიძლია გამოვიყვანოთ მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები თავისუფალი გორვის რეჟიმისათვის

$$\frac{dV}{dt} = \xi(-w_x) \quad (13.11)$$

$$V \frac{dV}{dS} = \xi'(-w_x) \quad (13.11)^1$$

სადაც w_x მოძრაობისადმი ხვედრით წინააღმდეგობის ძალა თავისუფალი გორვის რეჟიმისთვის. დამუხრუჭების რეჟიმისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$\frac{dV}{dt} = -\xi(0.5b + w_x) \quad (13.12)$$

$$V \frac{dV}{dS} = -\xi'(0.5b + w_x). \quad (13.12)^1$$

სადაც, b არის ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა.

მიღებული განტოლებები ზოგადი ხასიათისაა, რადგან არაა დამოკიდებული ელექტრომაგვლის და ვაგონების ტიპზე, მატარებლის სახეობაზე, მის წონაზე, ლოკომოტივის სიმძლავრეზე და ა.შ.

რადგან ხვედრით წევს და წინააღმდეგობის ძალებს, ფიზიკის თვალსაზრისით განზომილება არა აქვთ, ამიტომ ξ და ξ' მუდმივებს აქვთ აჩქარების განზომილება და, როგორც ვთქვით, წარმოადგენენ ხვედრით აჩქარებას (ანუ მატარებლის 1 კნ წონის აჩქარებას, როდესაც მასზე მოქმედებს ერთეული ხვედრითი ძალა 1 ნიუტონი).

ξ და ξ' მუდმივების რიცხობრივი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ძალის, სიჩქარის, დროის და მანძილის განზომილებებზე. კერძოდ $\xi = \frac{g}{1000(1+\gamma)}$,

გამოსახულებაში $g = 9,81$ მ/წმ² არის სიმძიმის ძალის აჩქარება. ჩვენ კი მიღებული გვაქვს სიჩქარის განზომილება მ/წმ-ის ნაცვლად კმ/სთ-ში. განზომილების

გადაყვანის შემდეგ მივიღებთ $g = 9,81$ მ/წმ² = $\frac{9.81 \cdot 3600^2}{1000} = 127\ 000$ კმ/სთ². მაშინ

$\xi = \frac{g}{1000(1+\gamma)}$ -ის გათვალისწინებით მივიღებთ

$$\xi = \frac{127}{1+\gamma}. \quad (13.13)$$

ξ და ξ' მუდმივების რიცხობრივი მნიშვნელობები მოცემულია ცნობარებში, დამოკიდებულია მანძილის განზომილებებზე.

მბრუნავი მასების ინერციის კოეფიციენტს $(1+\gamma)$, სხვადასხვა ტიპის მოძრავი შემადგენლობისთვის აქვს სხვადასხვა მნიშვნელობა. მისი რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია:

- ელექტრომავლებისათვის – 1,24 – 1,28,
- თბომავლებისათვის – 1,11 – 1,12,
- სატვირთო ვაგონებისათვის, დატვირთულ მდგომარეობაში – 1,03 – 1,04მ,
- სატვირთო ვაგონებისათვის, ცარიელ მდგომარეობაში – 1,08 – 1,09,
- სამგზავრო ვაგონებისათვის – 1,04 – 1,05.

13.2. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ანალიზი

კონკრეტული მატარებლისთვის მბრუნავი მასების ინერციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ლოკომოტივის და ვაგონების ტიპზე, მათი დატვირთვის ხარისხზე და ა.შ. ამიტომ პრაქტიკაში მისი ზუსტი განსაზღვრა მთელ რიგ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. ამიტომ სარგებლობენ გაანგარიშების განზოგადოებული ხერხებით. კერძოდ იღებენ მბრუნავი მასების ინერციის კოეფიციენტის საშუალო შეწონილ მნიშვნელობას მთელი მატარებლისთვის. მაგალითად $(1+\gamma) = 1,06$ -ს და განსაზღვრავენ ხვედრითი აჩქარების საშუალო მნიშვნელობას

$$\xi = \frac{127}{1+\gamma} = \frac{127}{1.06} = 120 \quad \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}^2} \frac{\text{ნ}}{\text{კნ}}. \quad (13.14)$$

ზემოაღნიშნული საშუალებას გვაძლევს, აჩქარების ჩვენთვის მისაღები განზომილებისთვის, წვევის რეჟიმისთვის მივიღოთ დიფერენციალური განტოლების სამი ფორმა:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= 120(f-w); \quad \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}^2}, \\ \frac{dV}{dt} &= 2(f-w); \quad \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}} / \sqrt{\text{წთ}}, \\ \frac{dV}{dt} &= 120(f-w). \quad \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}} / \sqrt{\text{წმ}}. \end{aligned} \quad (13.15)$$

განტოლების პირველი ფორმა მოუხერხებელია, აჩქარების განზომილების სირთულის გამო. მესამე ფორმის გამოყენება შეიძლება მხოლოდ სწრაფად მიმდინარე პროცესების ანალიზისათვის. მაგალითად, სასწრაფო დამუხრუჭების შემთხვევისთვის. პრაქტიკულ წვევის ანგარიშებში, მატარებლის მოძრაობის ანალიზისთვის

მოსახერხებელია დიფერენციალური განტოლების მეორე ფორმა, სადაც სიჩქარის ცვლილების დროის ერთეულად აღებულია წუთი.

იმის მიხედვით, თუ ერთდროულად რა ძალები მოქმედებენ მატარებელზე, განასხვავებენ მოძრაობის სამ რეჟიმს:

წვეის, თავისუფალი გორვის და დამუხრუჭების რეჟიმს.

თითოეულ რეჟიმში, მოქმედ ძალებს შორის თანაფარდობის მიხედვით, შეიძლება გვექონდეს მოძრაობის განსხვავებული სამი შემთხვევა. განვიხილოთ ეს შემთხვევები მოძრაობის ცალკეული რეჟიმისათვის:

ა) წვეის რეჟიმი

მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$\frac{dV}{dt} = \xi f_{\delta} = \xi(f - w_0 \pm w_i), \quad (13.16)$$

სადაც, $f_{\delta} = (f - w_0 \pm w_i)$.

აქ გვაქვს სამი შემთხვევა:

1. $f_{\delta} > 0$ ანუ $(f - w_0 \pm w_i) > 0$; მაშინ $\frac{dV}{dt} > 0$; აჩქარება დადებითია, მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად.
2. $f_{\delta} < 0$ ანუ $(f - w_0 \pm w_i) < 0$; მაშინ $\frac{dV}{dt} < 0$; აჩქარება უარყოფითია, მატარებელი მოძრაობს შენელებულად.
3. $f_{\delta} = 0$ ანუ $(f - w_0 \pm w_i) = 0$; მაშინ $\frac{dV}{dt} = 0$; აჩქარება 0-ია. მატარებელი მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით.

ბ) თავისუფალი გორვის რეჟიმი

მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$\frac{dV}{dt} = -\xi(w_x \pm w_i), \quad (13.17)$$

სადაც, $f_{\delta} = -(w_x \pm w_i)$.

აქაც გვაქვს სამი შემთხვევა:

1. $w_x \pm w_i < 0$; $\frac{dV}{dt} > 0$; აჩქარება დადებითია, მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად.
2. $w_x \pm w_i > 0$; $\frac{dV}{dt} < 0$; აჩქარება უარყოფითია, მატარებელი მოძრაობს შენელებულად.

3. $w_x \pm w_i = 0$; $\frac{dV}{dt} = 0$; აჩქარება 0-ია. მატარებელი მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით.

გ) დამუხრუჭების რეჟიმი

მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

$$\frac{dV}{dt} = \xi f_{\delta} = -\xi(b + w_x \pm w_i), \quad (13.18)$$

სადაც, $f_{\delta} = -(b + w_x \pm w_i)$.

აქაც გვაქვს სამი შემთხვევა:

1. $(b + w_x \pm w_i) < 0$; $\frac{dV}{dt} > 0$; აჩქარება დადებითია, მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად.
2. $(b + w_x \pm w_i) > 0$; $\frac{dV}{dt} < 0$; აჩქარება უარყოფითია, მატარებელი მოძრაობს შენელებულად.
3. $(b + w_x \pm w_i) = 0$; $\frac{dV}{dt} = 0$; აჩქარება 0-ია. მატარებელი მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით.

გამოდის რომ, თუ მატარებელზე მომქმედი ძალების ტოლქმედი 0-ის ტოლია, მატარებელი უძრავია, ან მოძრაობს თანაბარი სიჩქარით. ყველა სხვა შემთხვევაში მატარებელი მოძრაობს აჩქარებულად ($f_{\delta} > 0$), ან შენელებულად ($f_{\delta} < 0$).

13.3. მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის მიზანი და ხერხები

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება, მატარებელზე მომქმედი ტოლქმედი ძალის სიდიდის მიხედვით, განსაზღვრავს მატარებლის აჩქარებას (შენელებას) და შესაბამისად მოძრაობის ხასიათს, მოძრაობის ცალკეული რეჟიმებისათვის.

მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის შედეგად განისაზღვრება მოძრაობის სიჩქარე, განვლილი მანძილი და სვლის დროები გადასარბენების მიხედვით.

მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნას ართულებს ის, რომ მატარებელზე მომქმედი ტოლქმედი ძალა სხვადასხვა რეჟიმში ფუნქციურად სიჩქარის (დამოკიდებულია სიჩქარეზე), რომელიც წარმოადგენს საძიებელ სიდიდეს. ე.ი. შეიძლება ითქვას, რომ გვაქვს ერთი განტოლება ორი უცნობით, რაც მათემატიკურად ამოუხსნადია. აღნიშნულის გამო აუცილებელია წინასწარ გავთვალოთ მოძრაობის თითოეული რეჟიმისათვის მატარებელზე მომქმედი ტოლქმედი ძალის დამოკიდებულება სიჩქარეზე, ცხრილების ან დიაგრამების სახით, კერძოდ:

1. წვეის რეჟიმისათვის $V(f - w_0)$, რომელსაც ვუწოდებთ ხვედრით ამაჩქარებელ ძალთა დიაგრამას;
2. თავისუფალი გორვის რეჟიმისათვის $V(w_x)$;
3. დამუხრუჭების რეჟიმისათვის $V(b + w_x)$.

ამ უკანასკნელებს ვუწოდებთ ხვედრით შემანელებელ ძალთა დიაგრამებს (ნახ. 13.3).

ნახ. 13.3-ზე წყვეტილი ხაზებით ნახვენებია:

ხვედრითი წვეის ძალა f ;

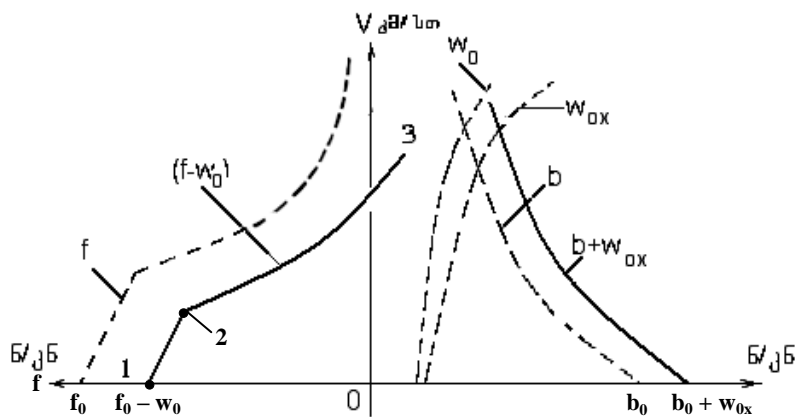
ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა w_0, w_x ;

ხვედრითი სამუხრუჭო ძალა b ;

სოლო უწყვეტი ხაზებით:

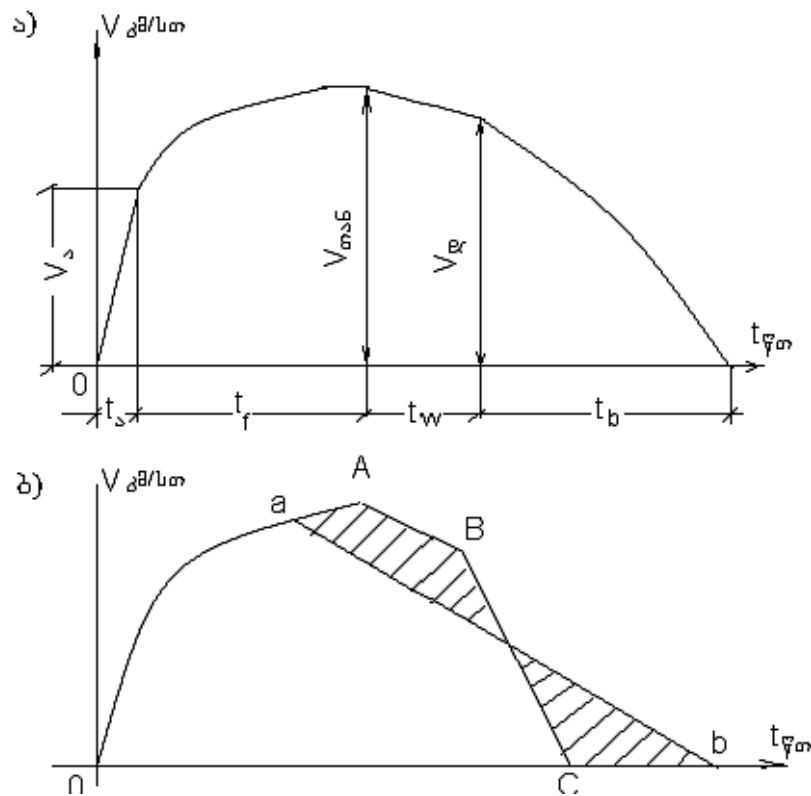
ხვედრით ამაჩქარებელ ძალთა დიაგრამა $V(f - w_0)$;

ხვედრით შემანელებელი ძალთა დიაგრამა $V(b + w_x)$.



ნახ. 13.3. ხვედრით ძალთა დამოკიდებულება სიჩქარეზე.

ამაჩქარებელ და შემანელებელ ძალთა დიაგრამების შესაბამისად 13.4 ა ნახაზზე მოცემულია მატარებლის სიჩქარის ცვლილება გზის ჰორიზონტალურ უბანზე მოძრაობისას. დასაწყისში ხდება მატარებლის დაძვრა და გაქანება V_0 სიჩქარემდე თითქმის თანაბარი აჩქარებით (რადგან ხვედრითი ამაჩქარებელი ძალა $(f - w_0)$ იცვლება მცირე ფარგლებში. იხ. მონაკვეთი 1-2 (ნახ. 13.3). შემდეგ გრძელდება სიჩქარის ზრდა ნაკლები აჩქარებით (რადგან $f - w_0$ ამაჩქარებელი ძალა მცირდება. იხ. მონაკვეთი 2-3, (ნახ. 13.3) V_{max} თანაბარ სიჩქარემდე. თავისუფალ გორვაზე გადასვლის შემდეგ სიჩქარე მცირდება V_{rel} მნიშვნელობამდე. V_{rel} სიჩქარეზე ირთვება სამუხრუჭო საშუალებები და t_b დროის განმავლობაში სიჩქარე ეცემა 0 მნიშვნელობამდე (ნახ. 13.4 ა).



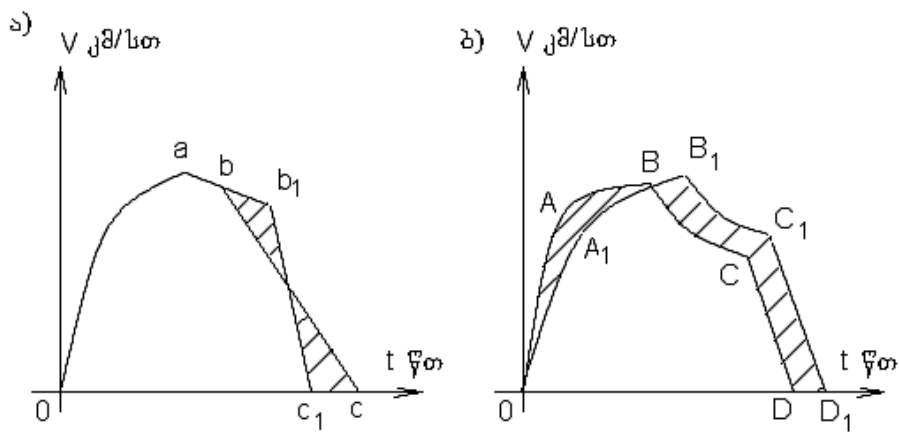
ნახ. 13.4. მოძრაობის სიჩქარეების დამოკიდებულება დროზე, სხვადასხვა რეჟიმის დროს.

13.4 ბ ნახაზზე oab მრუდი გვიჩვენებს სიჩქარის ცვლილებას დამუხრუჭების გარეშე. a წერტილში ხდება გადასვლა თავისუფალი გორვის რეჟიმზე, სიჩქარე მცირდება და b წერტილში მატარებელი ჩერდება. ვინაიდან განვლილი მანძილი სიჩქარის და დროის პროპორციულია, ამიტომ oab მრუდით შემოსაზღვრული ფართი განვლილი მანძილის ტოლია.

$OABC$ მრუდი გვიჩვენებს მოძრაობას მექანიკური დამუხრუჭების გამოყენებით. ამ მრუდით შემოსაზღვრული ფართიც განვლილი მანძილის პროპორციულია. ორივე შემთხვევაში განვლილი მანძილი ერთნაირია $S_{oab} = S_{OABC}$. მაგრამ დრო, რომელიც დასჭირდა მის გაელას თავისუფალი გორვის შემთხვევაში cb –სიდიდით მეტია, ვიდრე დამუხრუჭების გამოყენების შემთხვევაში.

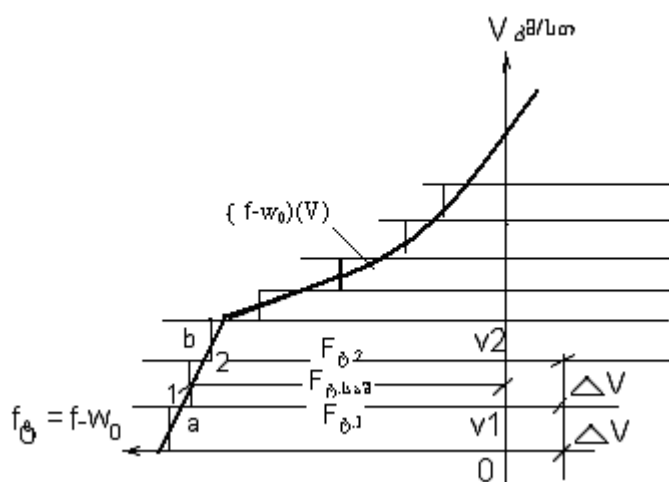
საზოგადოდ სვლის დროზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს, როგორც დამუხრუჭების ინტენსივობა, ასევე დაძვრისას მატარებლის გაქანების ინტენსივობა. (ნახ. 13.5 ა, ბ).

რომ განვსაზღვროთ მატარებლის აჩქარება, შენელება, სვლის დრო და ა.შ. საჭიროა მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა (ინტეგრირება), რაც, გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. კერძოდ, საჭიროა ამჩქარებელ და შემაწელებელ ძალთა დამოკიდებულება სიჩქარეზე მოცემული გვექონდეს ანალიზური



ნახ. 13.5. ა) დამუხრუჭების და ბ) გაქანების – ინტენსივობის გაგლეხა სვლის დროზე.

ფორმით. სხვაგვარად, 13.3 ნახაზზე უწყვეტი მრუდეები მოცემული უნდა იყოს ანალიზურად, რაც დღეისათვის არ არსებობს. ეს გამოწვეულია იმით, რომ წვეის ძრავას სიჩქარე, წვეის ძალა და დენი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ძრავას მაგნიტური ნაკადით, რომლის დამოკიდებულება ძრავას დენზე არაწრფივია და დღემდე არ აქვს ანალიზური აღწერა. ამიტომ ძრავას დამაგნიტების მრუდი, წვეის მახასიათებლები და შესაბამისად ამჩქარებელი მრუდეები მოცემულია გრაფიკულად. რადგან განტოლების ზუსტი ამოხსნა დაკავშირებულია დიდ სირთულეებთან, ამიტომ, პრაქტიკულ ანგარიშებში იყენებენ ამოხსნის მიახლოებით მეთოდებს,



ნახ. 13.6. სვედრით ამჩქარებელი რეალური მრუდის ჩანაცვლება, საფეხურისებრი მრუდით.

რომლებიც დაფუძნებულია სიჩქარის რაიმე ინტერვალში $\Delta V = V_2 - V_1$ რეალურად მოქმედი ამჩქარებელი ძალის $f_{\delta 1} - f_{\delta 2}$ -ის ჩანაცვლებით, ამჩქარებელი ძალის უცვლელი საშუალო მნიშვნელობით $f_{საშ}$ -ით. (რეალური $V_1 - V_2$ ინტერვალის შესაბამისი 1-2 მრუდი იცვლება ab საშუალო მნიშვნელობით, ანუ რეალური მრუდი $V(f - w_0)$ იცვლება საფეხურისებრი ტეხილით (ნახ. 13.6)).

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების მიახლოებითი ამოხსნა შესაძლებელია ანალიზურად, გრაფიკულად და გრაფიკულად.

13.4. მოძრაობის სიჩქარის გრაფიკული გაანგარიშება

ვთქვათ, მატარებელი მოძრაობს თანაბარი აჩქარებით და t_1 მომენტში მისი სიჩქარე იყო V_1 . t_2 მომენტში მატარებლის სიჩქარე იქნება V_2 და გაითვლება ფორმულით

$$V_2 = V_1 + a(t_2 - t_1), \quad (13.19)$$

სადაც a არის მატარებლის აჩქარება.

$(t_2 - t_1)$ სიდიდე აღვნიშნოთ Δt -ით და გავიხსენოთ, რომ $a = \frac{dV}{dt} = \xi f_\delta$, მაშინ

შეგვიძლია დავწეროთ
$$\Delta t \cdot a = \frac{V_2 - V_1}{\xi f_\delta}. \quad (13.20)$$

თუ დროს გადავიყვანთ წუთებში გვექნება
$$\Delta t = \frac{60\Delta V}{\xi f_\delta}. \quad (13.21)$$

თანაბრაჩქარებული მოძრაობის დროს, განვლილი მანძილი განისაზღვრება როგორც

$$S_2 - S_1 = \Delta S = (t_2 - t_1)V_{\text{საშ.}} = \Delta t V_{\text{საშ.}}$$

სადაც, $V_{\text{საშ.}}$ არის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და განისაზღვრება როგორც

$$V_{\text{საშ.}} = \frac{V_1 + V_2}{2}.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ
$$\Delta t = \frac{V_2 - V_1}{\xi f_\delta},$$

მაშინ მივიღებთ
$$\Delta S = \frac{1000(V_2^2 - V_1^2)}{2\xi f_\delta} = \frac{500(V_2^2 - V_1^2)}{\xi f_\delta}. \quad (13.22)$$

გაანგარიშებას ვახდენთ სიჩქარის ცალკეული ΔV ინტერვალებისათვის. ვსაზღვრავთ Δt -ს და შესაბამისად ΔS . მათი შეკრებით მივიღებთ სრული სვლის დროს $t = \sum \Delta t$ და ჯამურ განვლილ მანძილს $S = \sum \Delta S$.

13.5. მოძრაობის მრუდეების გაანგარიშება გრაფიკული მეთოდით

სანამ უშუალოდ საკითხს შევეხებოდეთ, სიამაყით გვსურს აღვნიშნოთ, რომ გრაფიკული გაანგარიშების მეთოდების შემუშავებაში და დანერგვაში ცნობილ რუს სპეცილისტებთან გ.ვ. ლებედევთან, ი.ვ.ლომონოსოვთან, ვ.ა.შევალინთან ერთად დიდი წვლილი მიუძღვის გამოჩენილ ქართველ მეცნიერს, ელექტრული წევის ქართული სკოლის დამფუძნებელს, ელექტრული ტრანსპორტის კათედრის

ჩამომყალიბებელს, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპოდენტს, ტ.მ.დ-ს, პროფ. **ლევან აბელიშვილს**.

დღემდე პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებული, დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის გრაფიკული მეთოდი, შედარებით მარტივია და იძლევა საკმაოდ ზუსტ შედეგებს. სიჩქარის მრუდის გრაფიკული აგების დროს გამოიყენება კავშირი მატარებელზე მოქმედ ამჩქარებელ (შემანელებელ) ძალებსა და სიჩქარეს შორის, ანუ ვიყენებთ წინასწარ სპეციალურ მასშტაბში აგებულ ამჩქარებელ და შემანელებელ ძალთა დიაგრამებს $V(f - w_0)$, $V(w_x)$, $V(b + w_x)$.

გრაფიკული გაანგარიშებისთვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ შემდეგი მასშტაბები:

- დროის – m_t ,
- სიჩქარის – m_v ,
- მანძილის – m_s .

როგორც ზემოთ ვნახეთ, გრაფიკული ინტეგრირების დროს აიღება სიჩქარის ცალკეული ინტერვალები და კეთდება დაშვება, რომ სიჩქარის ცვლილებისას V_1 -დან V_2 -მდე მატარებელზე მოქმედი ხვედრითი ამჩქარებელი (შემანელებელი) ძალა არ იცვლება და ტოლია საშუალო მნიშვნელობის $(f - w_0)_{\text{ს.ა}}$. (ნახ. 13.6).

ვთქვათ, რომელიმე ტიპის ლოკომოტივისათვის და რაღაც წონის მატარებლისთვის აგებული გვაქვს ამჩქარებელ ძალთა დიაგრამა $V(f - w_0)$ მიღებულ მასშტაბებში (ნახ. 13.3). ასევე ვთქვათ ელემენტარულ ΔS მანძილზე სიჩქარე იცვლება ΔV ფარგლებში ab კანონით (ნახ. 13.7). ამ დროს მატარებელზე მოქმედი ხვედრითი ძალა რეალურად იცვლება $(f - w_0)_1$ -დან $(f - w_0)_2$ -მდე. მაგრამ ვთვლით, რომ ის არ იცვლება და არის საშუალო მნიშვნელობის ტოლი $(f - w_0)_{\text{ს.ა}}$ (AC წრფე ნახ. 13.7). ამ ძალას შეესაბამება საშუალო სიჩქარე $V_{\text{ს.ა}} = OC$. სამკუთხედ abd -დან განვსაზღვროთ $tg\beta$, მივიღებთ

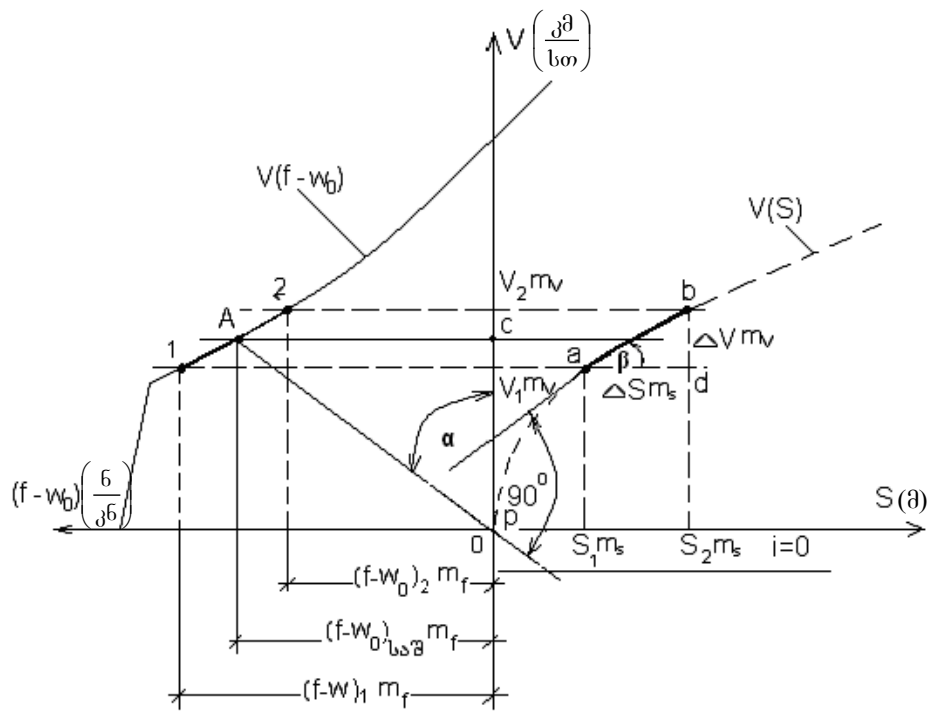
$$tg\beta = \frac{bd}{ad}$$

$ad = \Delta S \cdot m_s$, ხოლო $bd = \Delta V \cdot m_v$ რადგან $\Delta S m_s = V_{\text{ს.ა}} \cdot m_v \cdot \Delta t m_t$, მაშინ მივიღებთ

$$tg\beta = \frac{\Delta V \cdot m_v}{V_{\text{ს.ა}} \cdot \Delta t \cdot m_s}. \tag{13.23}$$

სამკუთხედ OAC -დან $tg\alpha$ ტოლია

$$tg\alpha = \frac{AC}{OC}.$$



ნახ. 13.7. სიჩქარის მრუდის გრაფიკული აგების პრინციპი.

AC ტოლია $(f - w_0)_{საა} \cdot m_f$, ხოლო $OC = V_{საა} \cdot m_v$. ე.ი.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(f - w_0)_{საა} \cdot m_f}{V_{საა} \cdot m_v}.$$

დიფერენციალური განტოლებიდან $(f - w_0)_{საა} = \frac{a}{\xi}$.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ აჩქარება ტოლია $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$, მაშინ

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta V \cdot m_f}{\Delta t \xi V_{საა} \cdot m_v}. \quad (13.24)$$

თუ კუთხეები α და β ტოლია მაშინ ab მართობია AO -სი.

გაუტოლოთ $\operatorname{tg} \alpha$ და $\operatorname{tg} \beta$ ერთმანეთს. მივიღებთ

$$\frac{\Delta V \cdot m_f}{\Delta t \xi V_{საა} \cdot m_v} = \frac{\Delta V m_v}{V_{საა} \Delta t \cdot m_f}.$$

გამარტივების შემდეგ (ერთნაირი სიდიდეების შეკვეცის შემდეგ) მივიღებთ

$$\frac{m_f}{\xi m_v} = \frac{m_v}{m_s},$$

საიდანაც მანძილის მასშტაბი

$$m_s = \xi \frac{m_v^2}{m_f}. \quad (13.25)$$

თუ სწორად შევირჩევთ სიჩქარის m_v , მანძილის m_s , ხვედრითი ძალების m_f მასშტაბებს, მაშინ კუთხეები α და β იქნება ტოლი. ჩვეულებრივ უშვებენ სამიდან ორ მასშტაბს, ხოლო მესამეს გაიანგარიშებენ.

თუ მოძრაობა ხდება ნულოვან ქანობზე, მაშინ აგების პოლუსი p ემთხვევა კოორდინატთა სათავეს 0 წერტილს. აღმართებისთვის პოლუსი გადაადგილდება მარცხნივ იმდენ დანაყოფზე, რამდენიცაა ქანობი ხოლო თავდაღმართებისათვის პოლუსი გადაადგილდება შესაბამისად მარჯვნივ იმდენ დანაყოფზე, რამდენიცაა ქანობი.

13.5.1. სიჩქარის მრუდის აგების თანმიმდევრობა

1. პირველ ეტაპზე მოცემული ტიპის ელექტრომაგლისათვის და განსაზღვრული წონის მატარებლისათვის, ვანგარიშობთ და სათანადო მასშტაბში ვაგებთ ამჩქარებელ $V(f - w_0)$ და შემანელებელ $V(w_x)$; $V(b + w_x)$ ძალთა დიაგრამებს ნულოვანი ქანობისათვის.

2. მეორე ეტაპზე ვაწარმოებთ პროფილის გასწორებას და სათანადო მასშტაბში გამოვხაზავთ მილიმეტრებიან ფორმატზე.

მილიმეტრებიან ფორმატზე სიჩქარეს გადაზომავენ ორდინატთა ღერძზე სათანადო სიჩქარის მასშტაბში. ამჩქარებელ და შემანელებელ ძალთა დიაგრამებს ვუთავსებთ სიჩქარის ღერძს.

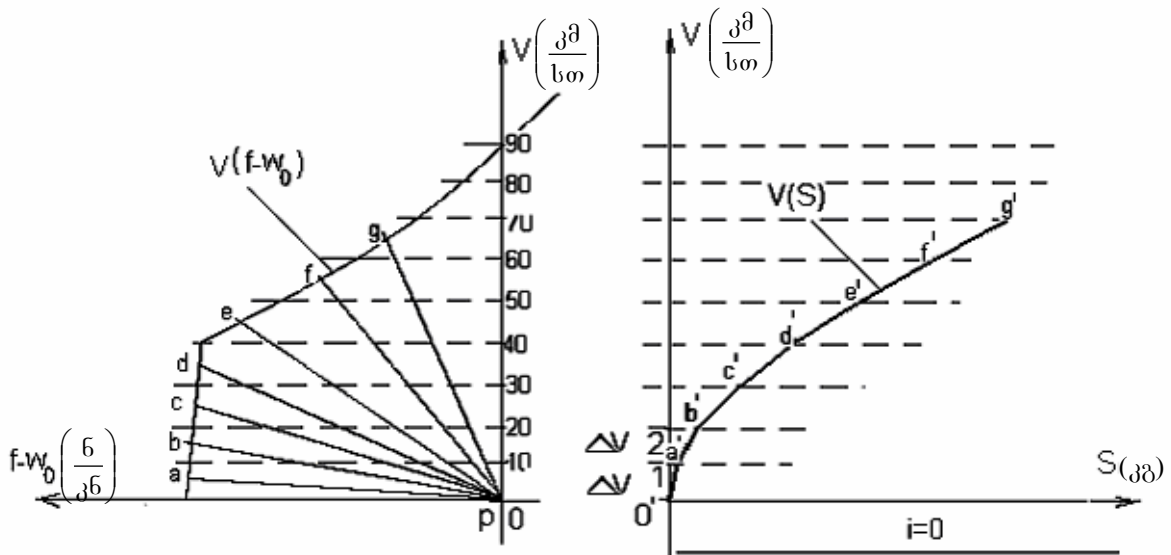
სიჩქარის ინტერვალებს ვიღებთ შემდეგ ფარგლებში:

ავტომატურ მახასიათებელზე გასვლამდე 10 კმ/სთ, ავტომატურ მახასიათებელზე 5 კმ/სთ, თავისუფალი გორვის რეჟიმისათვის 10 კმ/სთ, დამუხრუჭების რეჟიმში მაქსიმალურიდან 50 კმ/სთ სიჩქარემდე – 10 კმ/სთ; 50 კმ/სთ სიჩქარის ქვემოთ 5 კმ/სთ.

ა) წვეის რეჟიმი

სიჩქარის მრუდის $V(S)$ აგებას ვიწყებთ სადგურის ცენტრიდან, რომელიც როგორც წესი, მდებარეობს ნულოვან ქანობზე. ამავე დროს არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ მატარებლის მოძრაობა განიხილება, როგორც ერთი წერტილის, მისი სიმძიმის ცენტრის მოძრაობა. აგებისთვის ვიყენებთ ამჩქარებელ ძალთა დიაგრამას $V(f - w_0)$.

ვუშვებთ სიჩქარის ცვლილების პირველ ინტერვალს $(\Delta V)_1 = 0 - 10$ კმ/სთ (ნახ. 13.8). ამ ინტერვალის საშუალო სიჩქარისათვის (5 კმ/სთ) ვსაზღვრავთ ამჩქარებელი ძალის საშუალო მნიშვნელობას (a წერტილი). ამ წერტილს, გრძელი სახაზავის



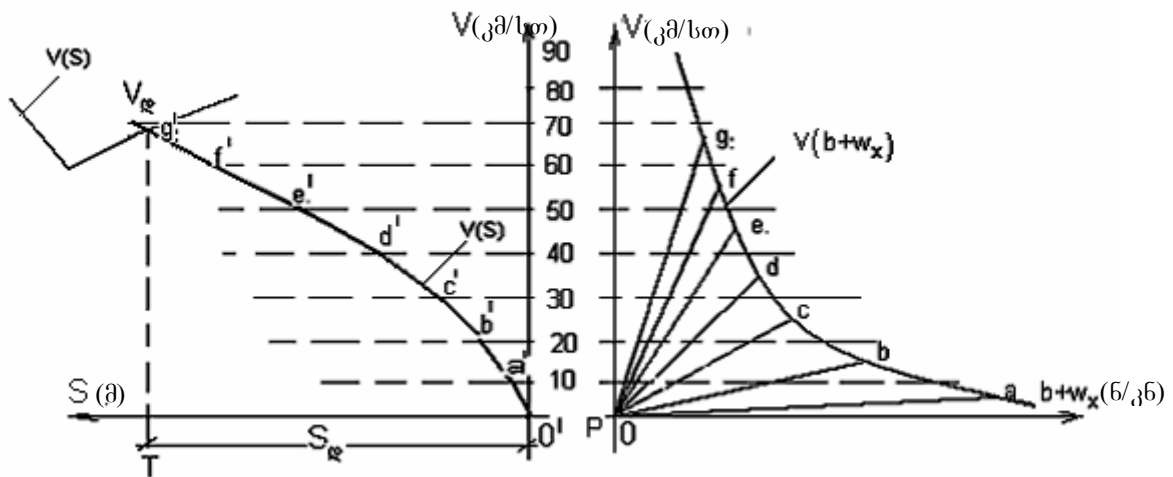
ნახ. 13.8. სიჩქარის მრუდის აგება მატარებლის დაძვრის დროს.

საშუალებით, ვაერთებთ აგების p პოლუსთან, რომელიც ნულოვანი ქანობისთვის ემთხვევა O წერტილს და O' წერტილიდან ვავლებთ aO -ს მართობს პირველი ინტერვალის საზღვრამდე a' წერტილი; ეი პირველ ინტერვალში სიჩქარე იცვლება $O'a'$ წრფის შესაბამისად. შემდეგ ვიღებთ სიჩქარის მეორე ინტერვალს $(\Delta V)_2 = 10 - 20$ კმ/სთ, ვსაზღვრავთ საშუალო სიჩქარეს 15 კმ/სთ, მის შესაბამის საშუალო ამჩქარებელ ძალას (b -წერტილი) b წერტილს ვაერთებთ სახაზავით O წერტილთან და a' წერტილიდან ვავლებთ მართობს $a'b'$ მეორე ინტერვალის საზღვრამდე და ა.შ. თუ ნულოვანი ქანობი იცვლება აღმართით, ეს ნიშნავს, რომ ამ ქანობის მნიშვნელობით მცირდება ამჩქარებელი ძალა. ამის გათვალისწინება ხდება აგების პოლუსის p გადატანით მარცხნივ O წერტილიდან იმდენ დანაყოფზე, რამდენიცაა ქანობი. თუ ქანობი უარყოფითია, შესაბამისად იზრდება ამჩქარებელი ძალა და პოლუსი გადაადგილდება მარჯვნივ, იმდენ დანაყოფზე რამდენიცაა ქანობი.

ბ) დამუხრუჭების რეჟიმი

დამუხრუჭების რეჟიმში სიჩქარის მრუდის ასაგებად ვიყენებთ შემანელებელ ძალთა დიაგრამას სამოსამსახურო დამუხრუჭებისთვის $V(0,5b + w_x)$ ან სასწრაფო დამუხრუჭებისთვის $V(b + w_x)$ სიჩქარის მრუდს ვაგებთ უკუმიმართულებით. ვთვლით, რომ მატარებელი გაჩერებულია სადგურის ცენტრში (O' წერტილი) (იხ. ნახ. 13.9). ვიღებთ სიჩქარის პირველ ინტერვალს 0-10 კმ/სთ. ვსაზღვრავთ საშუალო 5 კმ/სთ სიჩქარისთვის შემანელებელი ძალის საშუალო მნიშვნელობას (a -წერტილის შესა-

ბამისი). a წერტილს სახაზავით ვაერთებთ აგების პოლუსთან (p წერტილი, რომელიც ნულოვანი ქანობისთვის ემთხვევა კოორდინატთა სათავის O წერტილს) და O' წერტილიდან ვავლებთ oa -ს მართობ $O'a'$ მონაკვეთს პირველი ინტერვალის საზღვრამდე. შემდეგ ვიღებთ სიჩქარის მეორე ინტერვალს 10-20 კმ/სთ. სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობისთვის 15-კმ/სთ, ვსაზღვრავთ შემანელებელ ძალას (b წერტილი); b -წერტილს სახაზავით ვაერთებთ O წერტილთან და a' წერტილიდან ვავლებთ მართობს $a'b'$ მეორე ინტერვალის საზღვრამდე, b' წერტილი და ა.შ. აგებას ვაგრძელებთ მანამ, სანამ არ მოხდება გადაკვეთა წვევის რეჟიმის შესაბამის სიჩქარის მრუდთან ($V_{ღ}$ წერტილი). ეს იქნება დამუხრუჭების სიჩქარე, რომელსაც გზაზე შეესაბამება T სიმბოლოთი აღნიშნული დამუხრუჭების ადგილი. TO მონაკვეთი შეესაბამება სამუხრუჭე მანძილს $S_{ღ}$. (ნახ. 13.9).

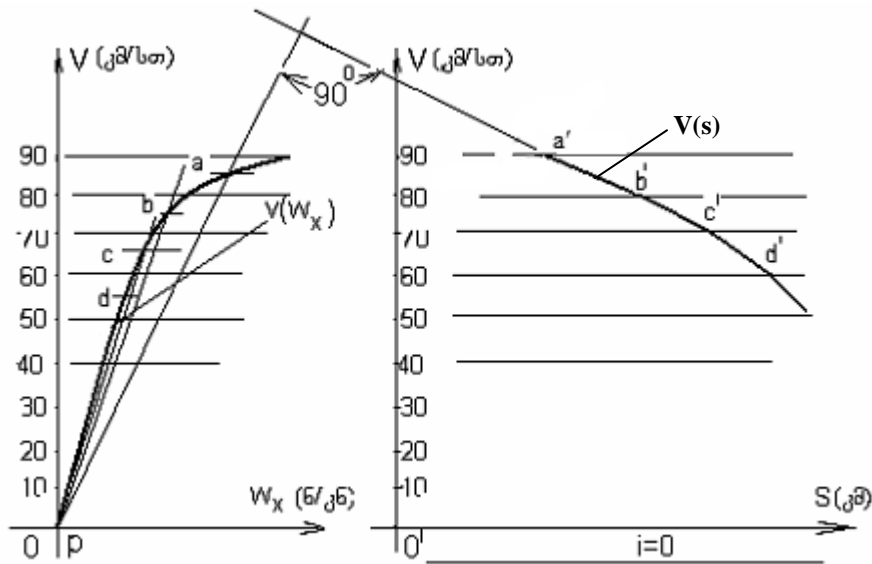


ნახ. 13.9. სიჩქარის მრუდის აგება დამუხრუჭების რეჟიმში.

გ) სიჩქარის მრუდის აგება თავისუფალი გორვის რეჟიმში

თავისუფალი გორვის რეჟიმში სიჩქარის მრუდის ასაგებად ვიყენებთ შემანელებელ ძალთა დიაგრამას $V(w_x)$ (ნახ. 13.10). აგებას ვახდენთ ანალოგიურად, სიჩქარის ინტერვალების მიხედვით. ინტერვალებს ვიღებთ სიჩქარის კლების ან ზრდის ტენდენციის მიხედვით (ქვემოთ ან ზემოთ). ვიღებთ პირველ ინტერვალს სიჩქარის მიხედვით 90-80 კმ/სთ.

საშუალო სიჩქარისათვის 85 კმ/სთ, ვსაზღვრავთ w_x საშუალო მნიშვნელობას (a -წერტილი). a წერტილს სახაზავით ვაერთებთ აგების პოლუსთან (p -წერტილი), რომელიც ნულოვანი ქანობისათვის ემთხვევა კოორდინატთა სათავეს O წერტილი. a' -წერტილიდან ვავლებთ ap -ს მართობს ინტერვალის საზღვრის გადაკვეთამდე b' წერტილი. შემდეგ ვიღებთ სიჩქარის მეორე ინტერვალს 80-70 კმ/სთ და ა.შ. სიჩქარე



ნახ. 13.10. სიჩქარის მრუდის აგება თავისუფალი გორვის რეჟიმში.

ამ რეჟიმში შეიცვლება $a'b'c'd'e'$ ტეხილით. სიჩქარის მრუდის აგებისას, აგების პოლუსი P პროფილის გარდატეხის ზონებში გადაადგილდება: დადებითი ქანობებისათვის კოორდინატთა სათავიდან მარცხნივ, უარყოფითი ქანობებისათვის მარჯვნივ იმდენ დანაყოფზე რამდენიცაა ქანობი.

13.5.2. მატარებლის სვლის დროის გრაფიკული გაანგარიშება

სვლის დროის მრუდის $t(s)$ გრაფიკული აგება ხდება სიჩქარის მრუდის $v(s)$ გამოყენებით. გავარკვიოთ როგორი შეიძლება იყოს გეომეტრიული კავშირი სიჩქარის მრუდსა და დროის მრუდს შორის. ვთქვათ გზის AB მონაკვეთზე სიჩქარე იცვლება 1-2 მრუდით, ხოლო სვლის დრო ab მრუდით (ნახ. 13.11). ამ დროს განვლილი მანძილი შეადგენს Δsm_s -ს.

$$\text{სამკუთხედ } abc\text{-დან ვწერთ } tg\beta = \frac{ac}{bc} = \frac{\Delta sm_s}{\Delta tm_t}, \quad (13.26)$$

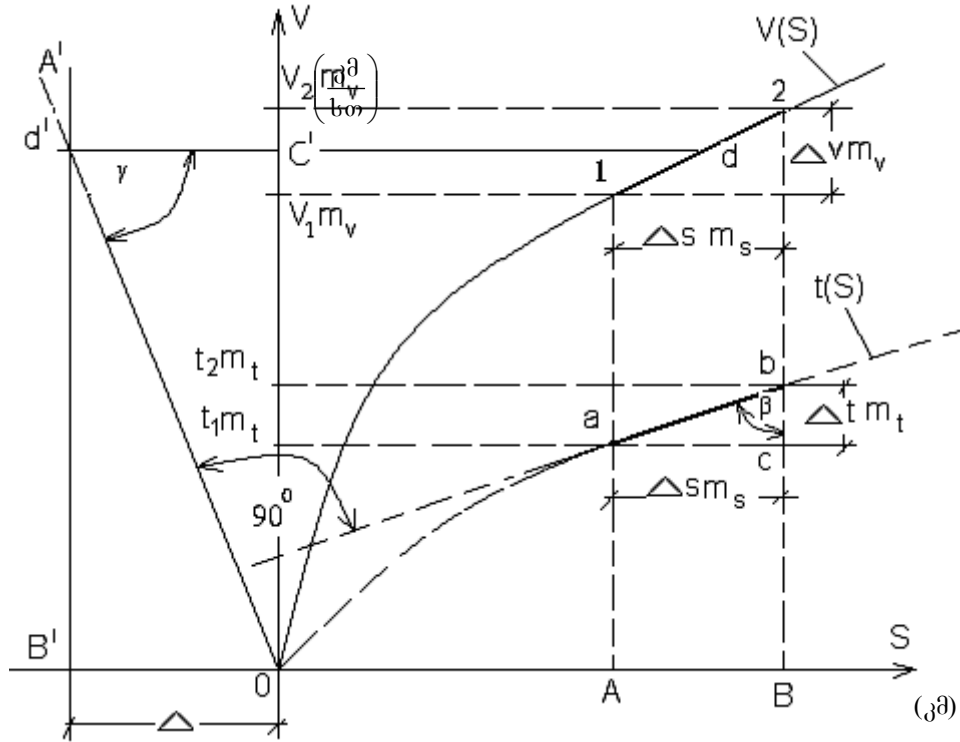
სადაც, m_v , m_t , m_s შესაბამისად წარმოადგენენ სიჩქარის, დროის და მანძილის მასშტაბებს.

$$\text{რადგან } \frac{\Delta s}{\Delta t} = V_{\text{საშ}}, \text{ ამიტომ } tg\beta = \frac{V_{\text{საშ}} m_s}{m_t}, \quad (13.27)$$

ე.ი. β კუთხის ტანგენსი პირდაპირპროპორციულია AB მონაკვეთზე საშუალო სიჩქარის $V_{\text{საშ}}$ მნიშვნელობის. გადავზომოთ კოორდინატთა სათავის O წერტილიდან მარცხნივ ნებისმიერი სიდიდის მონაკვეთი Δ და მის ბოლოდან აღვმართოთ ვერტიკალი $A'B'$. d წერტილიდან, რომელიც შეესაბამება AB მონაკვეთზე განვითარებულ საშუალო სიჩქარეს; გავავლოთ ჰორიზონტალი, რომელიც $A'B'$

ვერტიკალს გადაკვეთს d' წერტილში. ეს წერტილი შევავროთ კოორდინატთა სათავის O წერტილთან. $d'O$ -წრფე Δ მონაკვეთთან ქმნის γ კუთხეს, რომლის ტანგენსი ტოლია

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{B'd'}{OB'} = \frac{V_{\text{ბაშ}} m_V}{\Delta}. \quad (13.28)$$



ნახ. 13.11. დროის მრუდის აგების პრინციპი.

β და γ კუთხეების ტოლობის შემთხვევაში, მათი ტანგენსები ტოლია

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \gamma. \quad (13.29)$$

თუ გაუტოლებთ ერთმანეთს (13.27) და (13.28) გამოსახულებების მარჯვენა მხარეებს, მივიღებთ

$$\frac{V_{\text{ბაშ}} \cdot m_s}{m_t} = \frac{V_{\text{ბაშ}} \cdot m_V}{\Delta}.$$

მიღებულ ტოლობაში ჩავსვათ m_s -ის მნიშვნელობა (13.25) ფორმულიდან:

$$m_s = \xi \cdot \frac{m_V^2}{m_f} \text{ მივიღებთ } \frac{V_{\text{ბაშ}} \cdot \xi \cdot \frac{m_V^2}{m_f}}{m_t} = \frac{V_{\text{ბაშ}} \cdot m_V}{\Delta}.$$

აქედან

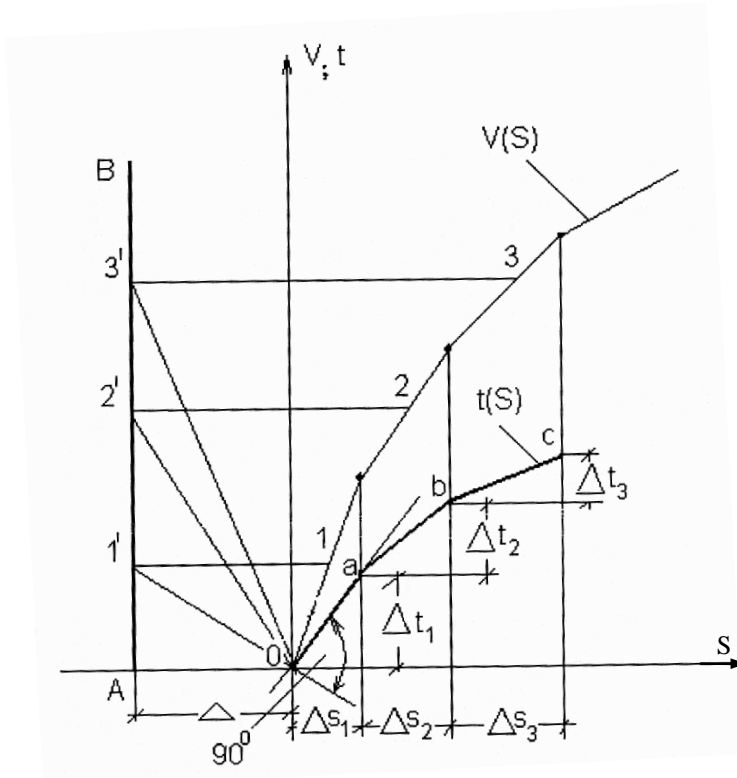
$$\Delta = \frac{m_V \cdot m_t}{m_s}. \quad (13.30)$$

მასშტაბების ასეთი შერჩევის პირობებში ab იქნება $d'O$ -ს მართობი. მიღებული bc მონაკვეთი შესაბამის m_t მასშტაბში შეესაბამება Δt დროს, რომელიც

დასჭირდება მატარებელს AB მანძილის გასაველად $V_{საშ}$ სიჩქარით მოძრაობისას (ნახ. 13.11.)

პრაქტიკულად დროის მრუდის აგება წარმოებს შემდეგნაირად:

აგებულ სიჩქარის მრუდს $V(S)$ (0-1-2-3-4 ტეხილს) ვყოფთ პირობით უბნებად 0-1, 1-2, 2-3, 3-4 და ა.შ. (ნახ. 13.12). თითოეული უბნისათვის ვსაზღვრავთ საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობებს და ვაგეგმავრებთ AB ვერტიკალზე ($1'$, $2'$ და ა.შ.). $1'$ წერტილს ვაერთებთ სახაზავით კოორდინატთა სათავის O წერტილთან და ვავლებთ $1'-O$ -ს მართობს, პირველი უბნის ΔS_1 საზღვრამდე Oa -ს. a წერტილის ორდინატი იქნება დრო Δt_1 , რომელიც დასჭირდება მატარებელს ΔS_1 უბნის გასაველად. შემდეგ ვიღებთ მომდევნო უბანს ΔS_2 , ვსაზღვრავთ საშუალო სიჩქარეს V_2 -ს, ვაგეგმავრებთ AB ვერტიკალზე. $2'$ წერტილს ვაერთებთ O წერტილთან სახაზავით და ვავლებთ მის მართობს a წერტილიდან ab -ს, მომდევნო უბნის საზღვრამდე და ა.შ. a და b წერტილების ორდინატთა სხვაობა მოგვცემს დროს Δt_2 , რომელიც საჭირო იქნება V_2 საშუალო სიჩქარით მოძრაობისას ΔS_2 უბნის გასაველად. თუ შევეკრებთ Δt_i დროებს მთელი გადასარბენის ფარგლებში $\sum \Delta t_i$, მივიღებთ სვლის ჯამურ დროს (ნახ. 13.12).



ნახ. 13.12. დროის მრუდის აგება სიჩქარის მრუდის გამოყენებით.

დიფერენციალური განტოლებების გრაფიკული ამოხსნის მასშტაბები მოყვანილი არის [13].

13.6. მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ანალიზური მეთოდი

წვეის ანგარიშებს საფუძვლად უდევს მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება. დღეისათვის ცნობილია განტოლების ამოხსნის რამდენიმე მეთოდი.

მატარებელთა წვეის საფუძვლების, როგორც მეცნიერების ჩამოყალიბების საწყის ეტაპზე, დიდ ინტერესს იწვევდა მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნასთან დაკავშირებული საკითხები. კერძოდ, დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ მატარებელთა მოძრაობის სიჩქარეები და სვლის დროები, რაც თავის მხრივ წარმოადგენს ამოსავალ მონაცემებს ორთქმავლური და თბომავლური წვეისათვის საწვავის ხარჯის, ხოლო ელექტრული წვეისათვის ელექტროენერჯის ხარჯის განსასაზღვრავად.

იმის გამო, რომ მოძრაობის აღმწერი დიფერენციალური განტოლება არაწრფივია და დღემდე არ არსებობდა მისი ამოხსნის ანალიზური მეთოდი, როგორც წრფივი დიფერენციალური განტოლებებისთვის, ამიტომ სპეციალისტთა უმრავლესობა იყენებდა და იყენებს ამოხსნის მიახლოებით (ასიმპტოტურ) მეთოდებს. გარდა აღნიშნულისა ლოკომოტივის წვეის მახასიათებლებზე არსებული მთელი რიგი შეზღუდვები (ჩაჭიდებით, წვეის ძრავების მაგნიტური ველის შესუსტებით, სიჩქარით) განაპირობებს წვეის მახასიათებლის არაწრფივობას, რაც ქმნის დამატებით სირთულეებს ამ ამოცანის გადაწყვეტაში. აღნიშნულის გამო, სამწუხაროდ, დღემდე მოძრაობის აღმწერი არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნისთვის იყენებენ გრაფო-ანალიზურ ან გრაფიკულ მეთოდებს. დღემდე სასწავლო სახელმძღვანელოებში და სამეცნიერო ლიტერატურაში, ძირითადად როგორც ერთადერთი, ეს მეთოდებია გამოყენებული.

დღეისათვის კომპიუტერული ტექნიკის არნახული განვითარება და მისი დიდი შესაძლებლობები, მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის ახალი მეთოდების გამოყენების საშუალებას იძლევა.

კერძოდ, საწყის დიფერენციალურ განტოლებებში: დროის, სიჩქარის, აჩქარების განზომილების შესაბამისად იცვლებიან გადაამყვანი კოეფიციენტები, რომლებისთვისაც ხდება სპეციალური ცხრილების შედგენა.

ამავე მიზეზით მნიშვნელოვნად რთულდება გრაფიკული და გრაფო-ანალიზური გაანგარიშებები, რადგან ისინი, აგრეთვე, მოითხოვენ სპეციალური მასშტაბების შერჩევას, რომლებიც რეკომენდებულია სპეციალური ცხრილების სახით.

ამოცანის ანალიზური გადაწყვეტისათვის აუცილებელი ხდება მარტივი ფუნქციის შერჩევა, რომელიც კარგად ახდენს ტეხილ-არაწრფივი დამოკიდებულების $Q(V) = (f - w)$ აპროქსიმირებას, ამავდროულად, შესაძლებლობას იძლევა ადვილად მოვახდინოთ ინტეგრირება და მივიღოთ არართული ფორმულები, რომლებითაც, თავის მხრივ, ადვილად ჩატარდება შესაბამისი გამოთვლები.

სხვადასხვა დროს სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული იყო სხვადასხვა ფუნქციები, რომლებიც მთლიანად, ან ცალკეულ უბნებზე ახდენდნენ $Q(V)$ დამოკიდებულების აპროქსიმირებას. მაგალითად, ერთიანი წრფის სახით, სამწევრა პარაბოლის სახით და ა.შ. ყველა ეს მეთოდი, უზუსტობის და საანგარიშო ფორმულების სირთულის გამო, დღემდე პრაქტიკაში არ გამოიყენება.

ჩვენ მიერ ქვემოთ შემოთავაზებულია ახალი **წილად-წრფივი** ფუნქციის გამოყენება, რომელიც განსხვავებით სხვა ცნობილი ფუნქციებიდან, უკეთესად ახდენს $Q(V)$ დამოკიდებულების აპროქსიმირებას მინიმალური ცდომილებით და გაანგარიშებისთვის მიღებული მარტივი გამოსახულებების გამოყენებით, შესაძლებლობას იძლევა გაანგარიშებები ჩავატაროთ გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებით. აღნიშნულ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$Q(V) = (f - w) = \frac{f_0(1 - aV)}{1 - bV}, \quad (13.31)$$

სადაც, a და b კოეფიციენტებია, რომლებიც განისაზღვრებიან შემდეგი გამოსახულებებით:

$$a = \frac{[A_1(bV_1 - 1) + 1]}{V_1}; \quad b = \frac{[(A_1 - 1)V_2 - (A_2 - 1)V_1]}{V_1V_2(A_1 - A_2)}, \quad (13.32)$$

$$\text{სადაც, } A_1 = \frac{Q(V_1)}{f_0}, \quad A_2 = \frac{Q(V_2)}{f_0}.$$

V_1 და V_2 არჩეული საცდელი წერტილების კოორდინატები.

$Q(0) = f_0$ - ფუნქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა, როდესაც $V = 0$.

ქანობების გათვალისწინება ხდება ქვემოთ მოყვანილი გამოსახულებების საფუძველზე

$$Q(V) \pm i = \left[\frac{f_0(1 - aV)}{1 - bV} \right] \pm i. \quad (13.33)$$

თუ მოვახდენთ (13.33) გამოსახულების მარტივ გარდაქმნას მივიღებთ:

$$Q(V) \pm i = \frac{f_{0i}(1 - a_iV)}{1 - bV}, \quad (13.34)$$

სადაც, $f_{0i} = f_0 \pm i$;

$$a_i = \frac{f_0 a \pm ib}{f_0 + i}. \quad (13.35)$$

(13.34) ფორმულიდან ჩანს, რომ ქანობების არსებობის შემთხვევაში, (13.35) ფორმულის თანახმად უნდა ვცვალოთ მხოლოდ f_0 და a .

ა) წევის რეჟიმის გაანგარიშება

(13.31) ფორმულის გათვალისწინებით ძირითად დიფერენციალურ განტოლებებს ექნებათ შემდეგი სახე:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{127}{1+\gamma} \cdot f_0 \frac{1-aV}{1-bV}, \quad (13.36)$$

$$V \frac{dV}{dS} = \frac{127}{1+\gamma} \cdot f_0 \frac{1-aV}{1-bV}. \quad (13.37)$$

(13.36) და (13.37) განტოლებებში სიჩქარე V -იზომება კმ/სთ-ში; მანძილი S –კმ-ში. ხვედრითი ძალა f_0 – $\frac{\text{კბ}}{\text{ტ}}$ -ში ან $\left(\frac{6}{\text{კნ}}\right)$ -ში.

საწყისი პირობების გათვალისწინებით, როდესაც $t = t_0$, მაშინ $V = V_0$. (13.36) და (13.37) განტოლებების ინტეგრირების და გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ საბოლოოდ მივიღებთ

$$t - t_0 = \frac{1}{a^2 F_0} \left[(b-a) \ln \frac{1-aV}{1-aV_0} + b(aV - aV_0) \right], \quad (13.38)$$

$$s - s_0 = \frac{1}{a^3 F_0} \left\{ (b-a) \ln \frac{1-aV}{1-aV_0} + (b-a)(aV - aV_0) + \frac{b}{2} [(aV)^2 - (aV_0)^2] \right\}, \quad (13.39)$$

სადაც, $F_0 = \frac{127 f_0}{1+\gamma}$.

(13.38) და (13.39) გამოსახულებებით შეგვიძლია გავთვალოთ დროის დამოკიდებულება სიჩქარეზე $t(V)$ და განვლილი მანძილის დამოკიდებულება სიჩქარეზე $s(V)$, $t(V)$ და $s(V)$ დამოკიდებულებების საანგარიშო ცხრილების საფუძველზე, ერთი და იმავე V_i სიჩქარეებისთვის ვიღებთ დროის t_i და მანძილის s_i მნიშვნელობებს და ადვილად გავთვლით დამოკიდებულებას $t(s)$.

აქ საზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ (13.38) და (13.39) გამოსახულებების თანახმად, დროის, სიჩქარის და მანძილის განზომილება შეიძლება იყოს ნებისმიერ ერთეულში, ანუ არ არსებობს ცვლადების სპეციალურ ერთეულებში განზომილებების მოთხოვნების დაცვის აუცილებლობა.

ბ) დამუხრუჭების რეჟიმის გაანგარიშება

ამ შემთხვევაში სამუხრუჭე ამოცანების საერთო გადაწყვეტა შეიძლება მივიღოთ დამუხრუჭების რეჟიმის შესაბამისი დიფერენციალური განტოლებების ინტეგრირებით. სამუხრუჭე ამოცანის გადაწყვეტისას გამოიყენება ფუნქცია

$$Q_{\text{ვ}}(V) = 0.5b_{\text{ვ}} + w_x. \quad (13.40)$$

ეს დამოკიდებულება, ისევე როგორც წვევის რეჟიმში, მოცემულია ცხრილის სახით. როგორც მრავალრიცხოვანმა გათვლებმა აჩვენა ეს დამოკიდებულება, ასევე, კარგად შეიძლება იყოს აპროქსიმირებული შემდეგი სახის წილად-წრფივი ფუნქციით

$$Q_{\text{ვ}}(V) = \frac{f_m(1+mV)}{1+nV}, \quad (13.41)$$

სადაც, m და n მუდმივი კოეფიციენტებია, რომლებიც განისაზღვრება ცნობილი მეთოდით $Q_{\text{ვ}}(V)$ მრუდიდან, შემდეგი თანაფარდობიდან

$$n = \frac{(A_1 - 1)V_2 - (A_2 - 1)V_1}{V_1V_2(A_2 - A_1)}; \quad m = \frac{1}{V_1}[A_1(1+nV_1) - 1], \quad (13.42)$$

სადაც, $\frac{Q_{\text{ვ}}(0)}{f_m} = \frac{f_m}{f_m} = 1$, $A_1 = \frac{Q_{\text{ვ}}(V_1)}{f_m}$, $A_2 = \frac{Q_{\text{ვ}}(V_2)}{f_m}$.

$Q_{\text{ვ}}(V_1)$ და $Q_{\text{ვ}}(V_2)$ არის ხვედრითი სამუხრუჭე ძალების მნიშვნელობები V_1 და V_2 სინქარეებზე.

f_m - მაქსიმალური ხვედრითი სამუხრუჭე ძალა, როდესაც $V=0$.

ზემოთგანხილულის მსგავსად ქანობების არსებობის შემთხვევაში გვექნება

$$Q_{\text{ვ}}(V) \pm i = f_m \frac{1+mV}{1-nV} \pm i. \quad (13.43)$$

აქედან შეგვიძლია დავწეროთ

$$Q_{\text{ვ}i}(V) = f_{mi} \frac{1+m_iV}{1-nV}, \quad (13.44)$$

სადაც, $f_{mi} = (f_m \pm i)$;

$$m_i = \frac{f_m m \pm in}{f_m \pm i}. \quad (13.45)$$

როგორც ვრწმუნდებით (13.44) და (13.45) გამოსახულებები მსგავსია (13.33) გამოსახულების.

დამუხრუჭების რეჟიმის შესაბამის დიფერენციალურ განტოლებებს ექნებათ

შემდეგი სახე:
$$\frac{dV}{dt} = -\frac{127}{1+\gamma} \cdot f_m \frac{1+mV}{1+nV}, \quad (13.46)$$

$$V \frac{dV}{dS} = -\frac{127}{1+\gamma} \cdot f_m \frac{1+mV}{1+nV}. \quad (13.47)$$

საწყისი პირობების გათვალისწინებით, როდესაც $t=0$, მაშინ $V=V_0$ (13.44) და (13.45) განტოლებების ინტეგრირებით საბოლოოდ მივიღებთ

$$t - t_0 = \frac{1}{m^2 F_m} \left[n(mV_0 - mV) - (n - m) \ln \frac{1+mV_0}{1+mV} \right]; \quad (13.48)$$

$$S - S_0 = \frac{1}{m^3 F_m} \left[(m - n)(mV_0 - mV) - (m - n) \ln \frac{1+mV_0}{1+mV} + \frac{n}{2} [(mV_0)^2 (mV)^2] \right], \quad (13.49)$$

$$\text{სადაც, } F_m = \frac{127f_m}{1+\gamma}.$$

(13.48) და (13.49) გამოსახულებებით შეგვიძლია გამოვთვალოთ დამოკიდებულებები

$$t_m = f(V), \quad S_m = f(V).$$

წვეის რეჟიმის მსგავსად შეგვიძლია განვსაზღვროთ $t_m = f(S)$.

გ) თავისუფალი გორვის რეჟიმის გაანგარიშება

ამ რეჟიმში მოძრაობისადმი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა იქნება

$$w_x \pm i$$

დამოკიდებულება $w_x(V)$ მოცემულია ცხრილის და შესაბამისი დიაგრამის სახით. მისი აპროქსიმაციისთვის, ასევე, წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ გამოსახულება

$$Q_\varnothing(V) = w_0 \frac{1+m_1V}{1-n_1V}, \quad (13.50)$$

სადაც, w_0 არის ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა, როდესაც $V=0$.

m_1 და n_1 განისაზღვრება $Q_\varnothing(V)$ მრუდიდან აღებული საცდელი წერტილების შერჩევით, შემდეგი გამოსახულებებით:

$$n_1 = \frac{(A_1-1)V_2 - (A_2-1)V_1}{V_1V_2(A_1-A_2)}, \quad m_1 = \frac{1}{V_1}[A_1(1-n_1V_1)-1], \quad (13.51)$$

$$\text{სადაც, } A_1 = \frac{Q_{\varnothing\varnothing}(V_1)}{w_0}, \quad A_2 = \frac{Q_{\varnothing\varnothing}(V_2)}{w_0}.$$

ქანობების არსებობის შემთხვევაში გვექნება $Q_\varnothing(V) \pm i$ და საბოლოო განტოლებას ექნება სახე

$$Q_{\varnothing i}(V) = w_{0i} \frac{1+m_{1i}V}{1-n_1V}, \quad (13.52)$$

$$\text{სადაც, } w_{0i} = w_0 \pm i, \quad m_{1i} = \frac{m_1w_0 \pm n_1i}{w_0 \pm i}.$$

თუ (13.52) განტოლებას ჩავსვამთ ძირითად დიფერენციალურ განტოლებებში მივიღებთ:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{127}{1+\gamma} w_0 \frac{1 \pm m_1V}{1-n_1V}, \quad (13.53)$$

$$V \frac{dV}{dS} = -\frac{127}{1+\gamma} w_0 \frac{1 \pm m_1V}{1-n_1V}. \quad (13.54)$$

ინტეგრირების შემდეგ, საწყისი პირობების გათვალისწინებით (როდესაც $t=t_0$, $V=V_0$), საბოლოოდ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$t - t_0 = \frac{1}{m_1^2 F_8} \left[(m_1 + n_1) \ln \frac{1 + m_1 V_0}{1 + m_1 V} - n_1 (m_1 V_0 - m_1 V) \right], \quad (13.55)$$

$$S - S_0 = \frac{1}{m_1^3 F_8} \left[(m_1 + n_1)(m_1 V_0 - m_1 V) - (m_1 + n_1) \ln \frac{1 + m_1 V_0}{1 + m_1 V} - \frac{n_1}{2} [(m_1 V_0)^2 - (m_1 V)^2] \right], \quad (13.56)$$

სადაც, $F_8 = \frac{127 w_0}{1 + \gamma}$.

ამგვარად, შესაძლებელია პრაქტიკული ანგარიშებისათვის საკმარისი სიზუსტით გავიანგარიშოთ თავისუფალი გორვის რეჟიმი.

წვევის გაანგარიშების წარმოდგენილი ანალიზური მეთოდის სიზუსტის ილუსტრირებისთვის, განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითები წვევის (დაძვრა და გაქანები), დამუხრუჭების და თავისუფალი გორვის რეჟიმებისათვის, გზის ჰორიზონტალურ მონაკვეთებზე (ქანობების გაუთვალისწინებლად).

13.7. წვევის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდის მაგალითები

1. წვევის რეჟიმი

13.13 ა ნახაზზე 1 მრუდის სახით (მსხვილი ხაზი), მოცემულია $BLI80^k$ ელექტრომაგლის წვევის მახასიათებელი ხვედრით ფორმაში, აღებული [1]. ცხრილიდან, ე.წ. ამჩქარებელ ძალთა დიაგრამა $V(f - w_0)$. საცდელი ორი წერტილის კოორდინატებისთვის $[V_1 = 60 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}, (f - w_0)_1 = 8 \frac{\text{მმ}}{\text{ტ}} \text{ და } V_2 = 90 \text{ კმ/სთ}; (f - w_0)_2 = 1 \frac{\text{მმ}}{\text{ტ}}]$, (13.30)

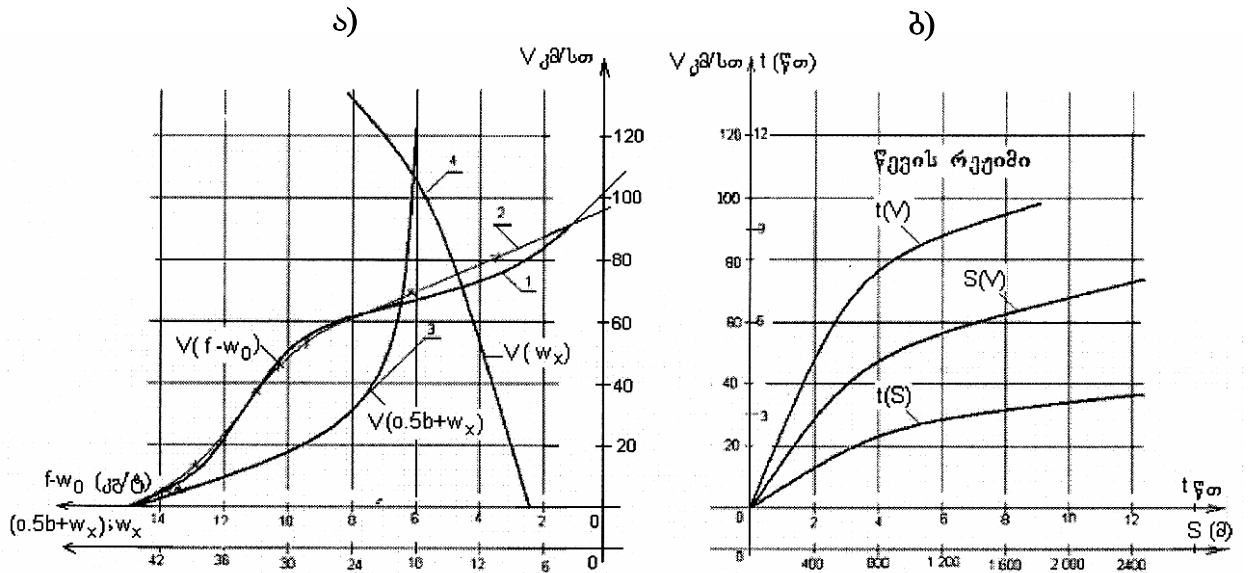
ნატებისთვის $[V_1 = 60 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}, (f - w_0)_1 = 8 \frac{\text{მმ}}{\text{ტ}} \text{ და } V_2 = 90 \text{ კმ/სთ}; (f - w_0)_2 = 1 \frac{\text{მმ}}{\text{ტ}}]$, (13.30)

გამოსახულების თანახმად ვსაზღვრავთ კოეფიციენტებს $a = 0,1075$, $b = 0,005952$.

(13.31) გამოსახულების საფუძველზე ვსაზღვრავთ მაპროქსიმირებელ 2 მრუდს (ნახ. 13.13-ზე წვრილი ჯვრებიანი ხაზი). ამ დროს $f_0 = 14,5$ კგ/ტ.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, მაპროქსიმირებელი მრუდი 2 საკმაოდ ახლოსაა საწყის 1 მრუდთან. (13.38) და (13.39) გამოსახულებებით გავთვლით დამოკიდებულებებს $t(V)$ და $S(V)$. ამ მრუდების ცხრილების მონაცემებით ვაგებთ დროის დამოკიდებულებას განვლილ მანძილზე $t(s)$. ეს დამოკიდებულება $t(s)$ შეიძლება ავაგოთ უკვე არსებული ორი მრუდის $t(V)$ და $S(V)$ საშუალებით, რომლებიდანაც ერთი და იგივე სიჩქარის V_i მნიშვნელობისათვის დავადგენთ t_i და S_i მნიშვნელობებს. ფუნქციონალური დამოკიდებულებები $t(V)$, $S(V)$, $t(s)$ მოცემულია 13.13 ბ ნახაზზე.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ანალიზური და არსებული გრაფიკული მეთოდით მიღებული გაანგარიშებები მოცემულია 13.1 ცხრილში.



ნახ. 13.13

ცხრილი 13.1

V	20	30	40	50	60	70	80
S გრაფ.	124	291	562,4	916,5	1396,6	2187,5	3750
S ანალ.	137	291	547,7	915,8	1482	2213	3615

როგორც ცხრილიდან ჩანს განსხვავება მიღებულ შედეგებს შორის პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის უმნიშვნელოა. გაანგარიშების არსებული გრაფიკული მეთოდი, მიუხედავად გარკვეული უხერხულობებისა, ხასიათდება საკმაო სიზუსტით. ამის დასამტკიცებლად ქვემოთ განვიხილავთ კონკრეტულ მაგალითს, როდესაც წვეის რეჟიმის განტოლებას აქვს ანალიზური ამოხსნა. ამ მიზნით განვიხილოთ წვეის (გაქანების) რეჟიმი, როდესაც ხვედრითი ამაჩქარებელი ძალა იცვლება კანონით

$$f - w = a - bV . \quad (13.57)$$

თუ წვეის რეჟიმის შესაბამის დიფერენციალურ განტოლებაში ჩავსვამთ (13.57) გამოსახულებას, ინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ

$$S = \frac{1000}{120} \frac{1}{b^2} \left[a \ln \frac{a}{a-bV} - bV \right] \quad (13.58)$$

კოეფიციენტების ცნობილი კონკრეტული მნიშვნელობებისათვის $a = 15$ კგ/ტ; $b = 0,1363$ გაანგარიშებით მიღებული კონკრეტული მნიშვნელობები მოცემულია 13.2 ცხრილში. შედარებისთვის აქვე მოცემულია გრაფიკული მეთოდით მიღებული გაანგარიშების შედეგები.

ცხრილი 13.2

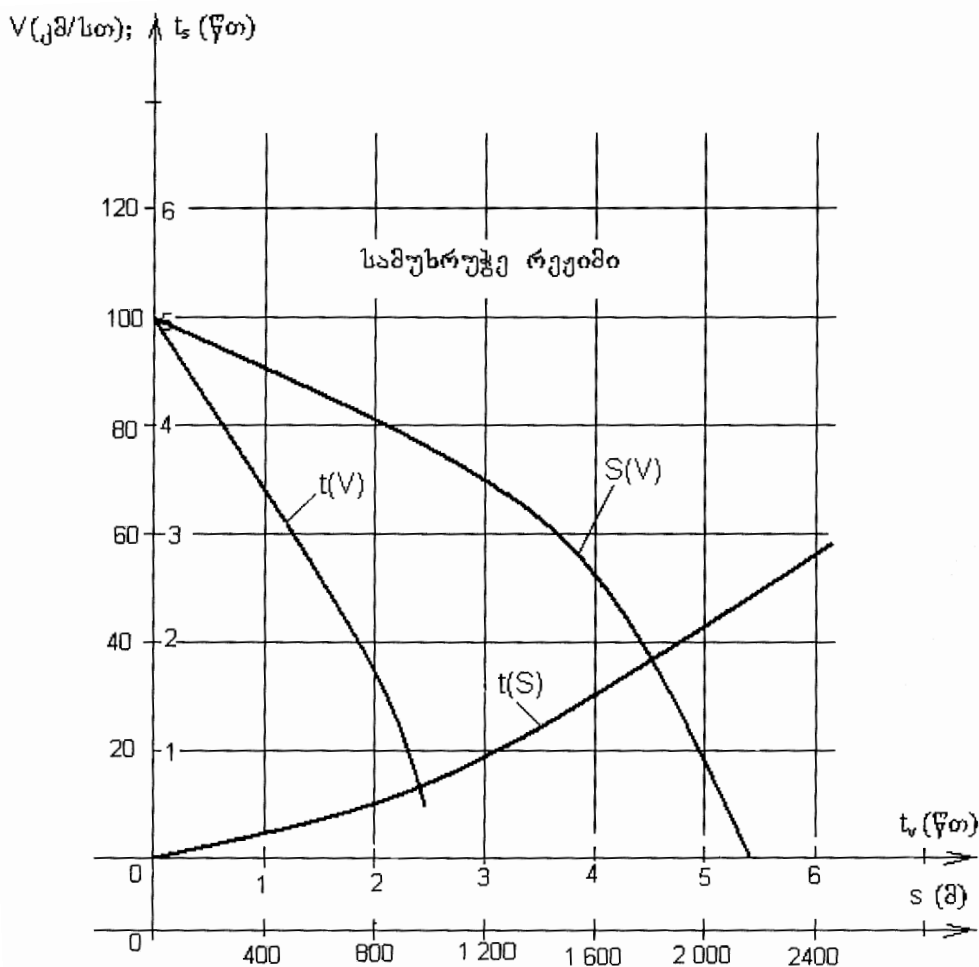
V	10	20	30	40	50	60	70
S გრაფ.	31,22	145,8	354	687,5	1208,33	2043,3	3437,5
S ანალ.	29,58	126,72	307,34	593,8	1018,7	1632,9	2521,26

2. დამუხრუჭების რეჟიმი

ამ რეჟიმისათვის ფუნქციონალური დამოკიდებულება ხვედრით სამუხრუჭო ძალასა და სიჩქარის შორის $V(0,5b_T + w_0)$, ე.წ. შემანელებელ ძალთა დიაგრამა მოცემულია 13.13 ა ნახაზზე, (მრუდი 3). საცდელი წერტილების მნიშვნელობებისათვის $V_1 = 25$ კმ/სთ, $Q_{\text{ვ}}(V_1) = 26,4$ კგ/ტ; $V_2 = 80$ კმ/სთ, $Q_{\text{ვ}}(V_2) = 18,6$ კგ/ტ; (13.42) ფორმულეების გამოყენებით გამოვთვლით კოეფიციენტების მნიშვნელობებს $m = 0.01152$, $n = 0.04888$ და (13.41) ფორმულით გავთვლით დამოკიდებულებას $Q_{\text{ვ}}(V)$. სამუხრუჭო ძალის აპროქსიმაციის საკმარისი სიზუსტის შესაფასებლად, გაანგარიშებით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ცხრილი 13.3 სახით.

ცხრილი 13.3

V	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
რეალ. მრუდი	45.8	34.0	28.1	24.6	22.6	21.0	19.9	19.2	18.7	18.3	18.2
აპროქს. მრუდი	45.8	33.86	28.22	24.94	22.79	21.28	20.1	19.2	18.59	18.0	17.56



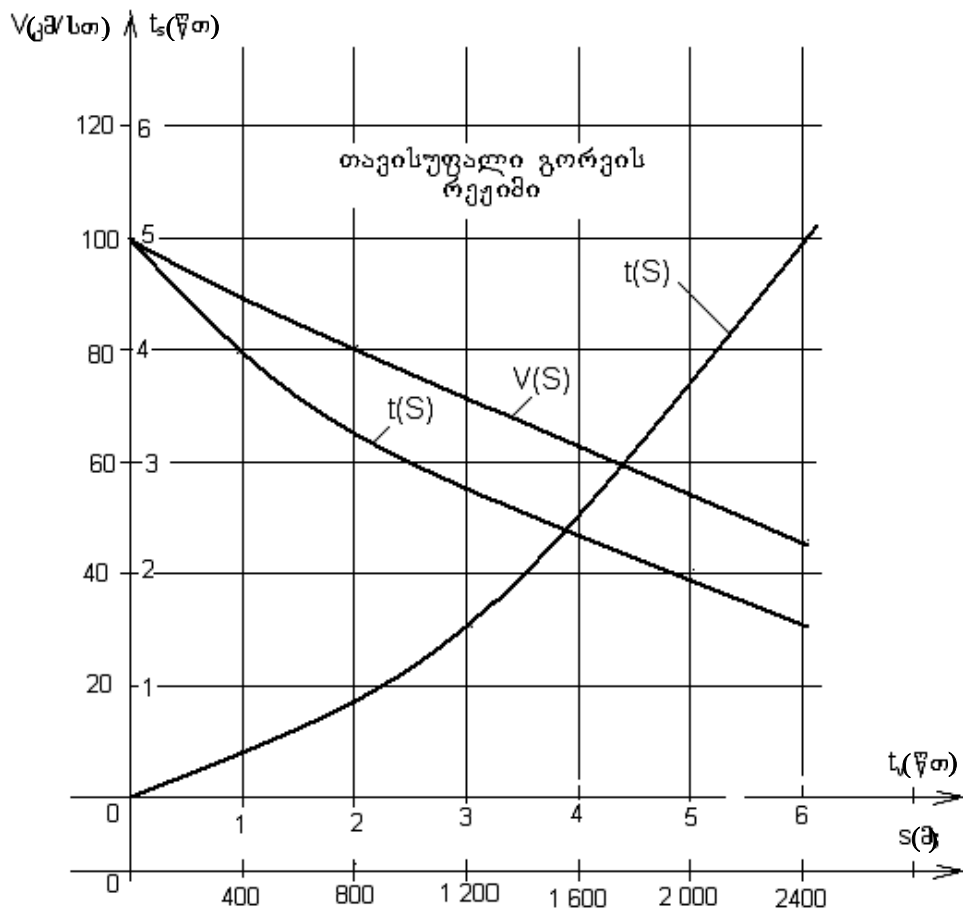
ნახ. 13.14

როგორც (13.3) ცხრილიდან ჩანს, ზემომოყვანილი მეთოდით აპროქსიმირება საკმაოდ ზუსტია. თუ ჩავსვამთ რიცხვით მნიშვნელობებს $m=0.01152$ და $n=0.04888$ (13.55) და (13.56) ფორმულებში, შეგვიძლია გამოეთვალოთ $t(V)$ და $S(V)$ სამუხრუჭო რეჟიმისათვის. გაანგარიშებით მიღებული ფუნქციონალური დამოკიდებულებები მრუდეების სახით წარმოდგენილია 13.14 ნახაზზე.

ამ შემთხვევაში არ არის აუცილებელი გრაფიკული გაანგარიშებით მიღებული სიდიდეების მოყვანა, რადგან ანალიზური გაანგარიშების მეთოდი გაცილებით ზუსტია გრაფიკულზე.

3. თავისუფალი გორვის რეჟიმი

ამ რეჟიმისათვის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის დამოკიდებულება სიჩქარეზე $w_x(V)$ მოცემულია 13.13 ა ნახაზზე. (მრუდი 4). საცდელი წერტილების მნიშვნელობებისათვის $V_1 = 40 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$, $w_x = 3,4 \frac{\text{პბ}}{\text{ტ}}$ და $V_2 = 3,4 \frac{\text{პბ}}{\text{ტ}}$, $w_x = 6,0 \frac{\text{პბ}}{\text{ტ}}$, (13.51) ფორმულებით განვსაზღვრავთ კოეფიციენტების მნიშვნელობებს $m_1 = 0.000959$ და $n_1 = 0.006675$.



ნახ. 13.15

ცნობილი m_1 და n_1 მნიშვნელობებისთვის (13.50) ფორმულით გამოვთვლით მაპროქსიმირებელ ფუნქციას $Q_3(V)$ და იგივე მოსაზრებებით, როგორც დამუხრუჭების რეჟიმისთვის, მონაცემებს შევიტანთ ცხრილში (ცხრილი 13.4).

ცხრილი 13.4

V	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
რეალ. მრუდი	2.4	2.55	2.76	3.40	3.65	3.83	4.32	4.89	5.52	6.23	7.00
აპროქ. მრუდი	2.4	2.59	2.8	3.086	3.4	3.774	4.232	4.82	5.54	6.52	7.20

(13.55)-(13.56) გამოსახულებებით ვითვლით ფუნქციონალურ დამოკიდებულებებს $t(V)$, $S(V)$ და მათი საშუალებით $t(S)$. აღნიშნული ფუნქციონალური დამოკიდებულებები მოცემულია 13.15 ნახაზზე.

13.8. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების რიცხვითი ინტეგრირება

აკადემიკოსმა ა.ნ.კრილოვმა ერთმანეთისგან განაცალკავა დიფერენციალური განტოლებების მიახლოებითი ამოხსნის შემდეგი ჯგუფები:

1. საერთო ინტეგრალის დაშლა მწკრივებად.
2. თანმიმდევრული მიახლოების ხერხის გამოყენება,
3. მიახლოებითი რიცხვითი ინტეგრირება.

წვეის გაანგარიშების დროს არ არის აუცილებელი მატარებლის მოძრაობის აღმწერი დიფერენციალური განტოლების ზოგადი ამოხსნის პოვნა. საკმარისია კერძო ამონახსნის პოვნა, რომელიც აკმაყოფილებს საწყის პირობებს. ამასთანავე არაა აუცილებელი საძიებელი ამონახსნი წარმოდგენილი იქნეს ანალიზურად ან ფუნქციის სახით. საკმარისია ის წარმოვადგინოთ შესაბამისი მრუდების სახით, რომლებიც წარმოადგენენ მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ამონახსნს. ქვემოთ განვიხილავთ ამ მეთოდთან ერთ-ერთს, ეილერის მეთოდს.

ვთქვათ საძიებელი ფუნქცია განისაზღვრება დიფერენციალური განტოლებით

$$\frac{dy}{dx} = \varphi(x, y) \tag{13.59}$$

საწყისი პირობით $y(x_0) = y_0$.

თუ შევირჩევთ მცირე ბიჯს h და მივიღებთ, რომ სანამ x იმყოფება x_0 და $x_0 + h$ შორის, მაშინ y მცირედ განსხვავდება y_0 -გან, წარმოებულ $\frac{dy}{dx}$ ინარჩუნებს

მუდმივ მნიშვნელობას $\varphi(x_0, y_0)$ და შესაბამისად განსახილველ ინტერვალში შეგვიძლია დავწეროთ

$$y = y_0 + (x - x_0) \cdot \varphi(x_0, y_0). \quad (13.60)$$

როდესაც $x = x_0 + h$, მაშინ

$$y = y_0 + h\varphi(x_0, y_0) = y_1.$$

მეორე ინტერვალისთვის, როდესაც $x = x_1 + 2h$

$$y = y_1 + h\varphi(x_1, y_1) = y_2 \quad \text{და ა.შ.}$$

ამგვარად ვიღებთ x_i, y_i წერტილებს, რომლებიც ტეხილი ხაზის მწვერვალებია და რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს (13.59) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნს. ზოგადად ნებისმიერი y_i -ისთვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$y_{i+1} = y_i + h\varphi(x_i, y_i) \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots). \quad (13.61)$$

რაც ნაკლებია ბიჯი h , მით უფრო ახლოსაა მიღებული ტეხილი საძიებელ ინტეგრალურ $y = y(x)$ მრუდთან.

მაგალითი:

ვიღერის მეთოდით ვიპოვოთ დამოკიდებულება $V(S)$ მატარებლის გაქანებისას 19 კმ/სთ სიჩქარიდან 40 კმ/სთ სიჩქარემდე.

გავიხსენოთ მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება ჩაწერილი მეორე ფორმაში

$$V \frac{dV}{dS} = \zeta f_{\delta}. \quad (13.62)$$

თუ შევადარებთ ერთმანეთს (13.62)-ს და (13.59)-ს ვნახავთ, რომ y -ს შეესაბამება V , x -ს შეესაბამება s , ხოლო $\varphi(x_i, y_i)$ -ს შეესაბამება $\frac{\zeta f_{\delta}}{V}$. მაშინ, თუ მივიღებთ, რომ

$V_0 = 19$ კმ/სთ-ს; აღნიშნულ სიჩქარეზე (ამჩქარებელ დიაგრამიდან) $f_{\delta} = 5,82 \frac{6}{\text{კმ}}$ -ს

და შევირჩევთ ბიჯს $h = 0.1$ კმ-ს, მივიღებთ:

$$V_2 = 19 + 0.1 \cdot 120 \cdot \frac{5.82}{19} = 22,7 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}.$$

მესამე ინტერვალისთვის

$$V_3 = 22,7 + 0.1 \cdot 120 \cdot \frac{4.94}{22.7} = 25.3 \frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}.$$

შემდგომ ანგარიშს ვაკეთებთ ცხრილის სახით (იხ. ცხრილი 13.5).

ცხრილი 13.5

S მ	V კმ/სთ	f_{δ} ნ/კნ	Δv კმ/სთ
0	19,0	5,82	3,7
100	22,7	4,94	2,6
200	25,3	4,29	2,0
300	27,3	3,91	1,7
400	29,1	3,60	1,5
500	30,6	3,39	1,3
600	31,9	3,21	1,2
700	33,1	3,04	1,1
800	34,2	2,89	1,0
900	35,2	2,75	0,9
1 000	36,2	2,65	0,9
1 100	37,1	2,55	0,8
1 200	37,9	2,46	0,8
1 300	38,7	2,37	0,7
1 400	39,4	2,29	0,7
1 500	40,1	2,21	0,7

როგორც ცხრილი (13.5)-დან ჩანს მატარებელი 19კმ/სთ სიჩქარიდან 40,1კმ/სთ სიჩქარემდე გაქანდება 1 500 მ მანძილზე.

როგორც ეილერის მეთოდი ამტკიცებს, რაც მცირე სიდიდისა ბიჯი h , მით უფრო დიდია გათვლის სიზუსტე. მაგრამ ირკვევა, რომ დიდი მასშტაბის გათვლებისას, ისეთი დიდია ცდომილებათა რაოდენობა, რომ მათმა ჯამმა შეიძლება მიაღწიოს მნიშვნელოვან სიდიდეს. ეს ცდომილებები გამოწვეულია იმით, რომ განსახილველ ინტერვალებში x და y სიდიდეები აიღება, როგორც უცვლელი და ინტერვალის საწყისში აღებული მნიშვნელობების ტოლი, რაც სინამდვილეში ასე არ არის.

14.1. წვევის გაანგარიშების მიზანი

წვევის გაანგარიშების მიზანს შეადგენს მატარებლების წონების, საუბნო სვლის დროების, მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეების დადგენა, ლოკომოტივების სიმძლავრის და მატარებლების კინეტიკური ენერჯის მაქსიმალური მნიშვნელობების გამოყენების პირობებში. ამასთანავე, წვევის გაანგარიშებით დგინდება მატარებლების რაციონალური ტარების რეჟიმები, ელექტროენერჯის მინიმალური ხარჯი. წარმოებს სამუხრუჭო ამოცანების გადაწყვეტა.

წვევის გაანგარიშების თანმიმდევრობა შემდეგია:

1. პროფილის გასწორება.
2. ელექტრომაგლების და ვაგონების მოცემული ტიპისათვის მატარებლების წონების დადგენა.
3. ხვედრით ამჩქარებელ და ხვედრით შემანელებელ ძალთა დიაგრამების აგება (მოძრაობის შესაბამისი რეჟიმებისათვის).
4. მატარებლების წონების დაზუსტება, ელექტრომაგლის ელექტრომომწეობილობის გახურების მიხედვით.
5. მოხმარებული ელექტროენერჯის ხარჯის განსაზღვრა.
6. ელექტრომომარაგების სისტემის რეჟიმების დადგენა.

გრაფიკული გაანგარიშების შემთხვევაში ვსარგებლობთ წვევის გაანგარიშების წესებით [13] რეკომენდებულ მასშტაბებით.

მაჩვენებლებს ვსაზღვრავთ შემდეგი სიზუსტით:

- ქანობები – მძიმის შემდეგ ერთი ნიშანი, 0.1%-მდე.
- მანძილს – 0.1 კმ-მდე.
- ძალას – 50 ნ-ის ფარგლებში დამრგვალებით.
- ხვედრითი ძალას – 0.01 ნ/კნ სიზუსტით.
- სიჩქარეს – 0.1 კმ/სთ სიზუსტით.
- შემადგენლობის წონას – 50 კნ-ის სიზუსტით.
- სვლის დროს – 0.1 წთ-ის სიზუსტით.
- ელექტროენერჯის ხვედრით ხარჯს – 0.1 კვტ.სთ /ტ კმ-ის სიზუსტით.
- ელექტროენერჯის სრულ ხარჯს – 10 კვტ.სთ-ის სიზუსტით.
- გახურების ტემპერატურას – 1°C-ს სიზუსტით.

14.2. პროფილის გასწორება

რკინიგზის პროფილი შედგება ცალკეული ელემენტებისაგან, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია გარკვეული სიგრძე და დახრილობა (ქანობი). გეგმაში რკინიგზის ხაზი, გარდა სწორხაზოვანი უბნებისა, მოიცავს მრუდხაზოვან უბნებს (მრუდეებს), რომლებისთვისაც დამახასიათებელია მრუდის რადიუსი ან ცენტრალური კუთხე და რკალის სიგრძე. ქანობების და მრუდეების არსებობა, როგორც ვიცით, დაკავშირებულია მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალების გაჩენასთან. ამიტომ ერთი ტიპის ელემენტიდან მეორეზე გადასვლისას იცვლება მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის მნიშვნელობა და შესაბამისად მოძრაობის სიჩქარე. როგორც ზემოთ ვნახეთ, მატარებლის ფიზიკური მოდელის მიხედვით, მოძრავი მატარებელი წარმოგვიდგება, როგორც მატერიალური წერტილი. ყოველივე აღნიშნულის გამო გაანგარიშებები უნდა ვაწარმოოთ პროფილის ყველა ელემენტისათვის, რაც განუზომლად ზრდის გაანგარიშების მოცულობებს. ამავე დროს ვთვლით, რომ ერთი ელემენტიდან მეორეზე გადასვლისას მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა იცვლება მყისვე. სინამდვილეში რეალურ მატარებელს გააჩნია გარკვეული სიგრძე და ის შეიძლება ერთდროულად იყოს განთავსებული რამდენიმე ელემენტზე, მაგალითად ისე, როგორც ნაჩვენებია 14.1 ნახაზზე. ამიტომ, მიზანშეწონილია ანგარიშებში, ერთი მხრივ ერთმანეთის მიჯრით განთავსებული, რაოდენობრივად მცირედ განსხვავებული, ერთნაირი ნიშნის ელემენტები (აღმართები, ან თავდაღმართები) შეიცვალოს ერთი ელემენტით; ხოლო მეორე მხრივ რეალურად არსებული მრუდეები, შეიცვალოს ფიქტიური ქანობებით (აღმართებით). აღნიშნულ პროცესს ეწოდება პროფილის გასწორება.

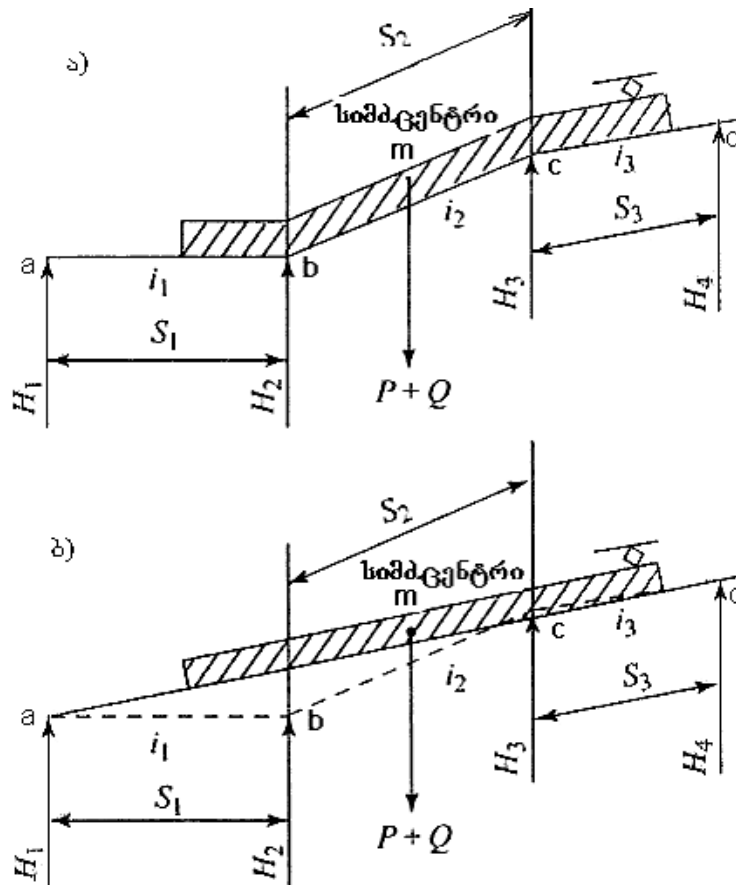
ზოგადი განმარტება: გასწორება გულისხმობს რეალური პროფილის ისეთი ფიქტიური პროფილით შეცვლას, რომლის დაძლევაზეც დაიხარჯება იგივე ენერგია, რაც დაიხარჯებოდა რეალური პროფილის შემთხვევაში.

გასწორება ტარდება ორ ეტაპად: პროფილში და გეგმაში.

14.2.1. გასწორება პროფილში

ვთქვათ გვაქვს სამი ერთნაირი ნიშნის ქანობი (ქანობის მცნება იხ. მე-2 თავში), რომელთა მნიშვნელობებია $i_1\%$, $i_2\%$ და $i_3\%$, ხოლო შესაბამისი სიგრძეებია S_1 , S_2 და S_3 (ნახ. 14.1).

თუ მატარებელი მოძრაობს რეალურ $abcd$ პროფილზე, მაშინ წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე შესრულებული რეალური მუშაობა $A_{\text{რ}}$ ტოლი იქნება



ნახ. 14.1. პროფილის გასწორება.

$$A_0 = (P+Q)(w_0 + w'_1)S_1 + (P+Q)(w_0 + w'_2)S_2 + (P+Q)(w_0 + w'_3)S_3, \quad (14.1)$$

სადაც w_0 არის მატარებლის მოძრაობისადმი ძირითადი ხვედრითი წინააღმდეგობა ნ/კნ.

w'_1, w'_2, w'_3 – შესაბამის ელემენტზე ქანობით გამოწვეული დამატებითი ხვედრითი წინააღმდეგობა, ნ/კნ.

S_1, S_2, S_3 – შესაბამისი ელემენტების სიგრძეები, მეტრებში.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $w'_1 = i_1, w'_2 = i_2, w'_3 = i_3$ (ქანობით გამოწვეული ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა თვით ამ ქანობის ტოლია), მაშინ (14.1)-ის ნაცვლად შეგვიძლია დავწეროთ

$$A_0 = (P+Q)(w_0 + i_1)S_1 + (P+Q)(w_0 + i_2)S_2 + (P+Q)(w_0 + i_3)S_3. \quad (14.2)$$

თუ მოცემული სამი ელემენტის ნაცვლად ავიღებთ ერთ ელემენტს ad -ს, რომლის ქანობის მნიშვნელობას აღვნიშნავთ i'_0 %, ხოლო სიგრძე იქნება $S_0 = \sum S_k$, მაშინ ამ ელემენტის დაძლევაზე დახარჯული მუშაობა (ენერგია) A_0 ტოლი იქნება

$$A_0 = (P+Q)(w_0 + i'_0)S_0. \quad (14.3)$$

ზოგადი განმარტების თანახმად ეს ორი მუშაობა უნდა იყოს ერთმანეთის ტოლი $A_0 = A_0$. გაუტოლოთ (14.2)-ის და (14.3) ფორმულის მარჯვენა მხარეები ერთმანეთს, მივიღებთ:

$$\sum(P+Q)(w_0+i_k)S_k = (P+Q)(w_0+i'_\delta)S_\delta. \quad (14.4)$$

ორივე მხარეს შეგვეკვცავთ $(P+Q)$ -ზე და გავხსნათ ფრჩხილები, მივიღებთ

$$\sum w_0 S_k + \sum i_k S_k = w_0 S_\delta + i'_\delta S_\delta.$$

თუ გავიტანთ ჯამს გარეთ w_0 და გავითვალისწინებთ რომ $\sum S_k = S_\delta$, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ

$$w_0 S_\delta + \sum i_k S_k = w_0 S_\delta + i'_\delta S_\delta$$

ანუ
$$\sum i_k S_k = i'_\delta S_\delta$$

აქედან
$$i'_\delta = \frac{\sum i_k S_k}{S_\delta}. \quad (14.5)$$

ზემოთ მსჯელობისას დაშვებული გვქონდა, რომ ცალკეულ ელემენტებზე მოძრაობისადმი ძირითადი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალები იყო ერთნაირი, რაც, რა თქმა უნდა, ნიშნავს ამ ელემენტებზე სინქარეთა ტოლობას; ეს კი არ შეესაბამება სინამდვილეს. ცხადია, ცდომილება იქნება მით უფრო დიდი, რაც უფრო დიდი იქნება განსხვავება ელემენტების ქანობებს შორის. ამიტომ, გასწორება შეიძლება მხოლოდ ისეთი ელემენტების, რომელთაც აქვთ ერთნაირი ნიშანი და დაახლოებით ერთნაირი დახრილობის ქანობი. ქანობის გასწორების შესაძლებლობის კრიტერიუმი შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ ასე:

$$|i'_\delta - i_k| S_k \leq 2000,$$

ან

$$S_k \leq \frac{2000}{|i'_\delta - i_k|} = \frac{2000}{\Delta_i}, \quad (14.6)$$

სადაც, $\Delta_i = |i'_\delta - i_k|$.

ფიზიკურად აღნიშნული ნიშნავს, რომ გასწორებულ და რეალურ პროფილზე, ქანობით გამოწვეულ დამატებითი წინააღმდეგობის დაძლევაზე დახარჯულ მუშაობებს (ენერგიებს) შორის, განსხვავება არ უნდა აღემატებოდეს 2 000 ჯოჯულს.

14.2.2. გასწორება გეგმაში

მატარებლის მოძრაობის სინქარის განსაზღვრისას, რომ გავითვალისწინოთ მრუდეებით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალების ზეგავლენა სინქარეზე, რეალურ მრუდეებს ცვლიან ფიქტიური ქანობებით (აღმართებით), იმ მოსაზრებით, რომ ამ ფიქტიური აღმართების დაძლევაზე დაიხარჯება იგივე მუშაობა, რაც რეალური მრუდეებით გამოწვეულ წინააღმდეგობის ძალთა დაძლევაზე. აქედან გამომდინარე ვწერთ:

$$A_{\text{მრ}} = w_{\text{მრ},1}(P+Q)S_{\text{მრ},1} + w_{\text{მრ},2}(P+Q)S_{\text{მრ},2} + \dots + w_{\text{მრ},n}(P+Q)S_{\text{მრ},n}. \quad (14.7)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მრუდით გამოწვეული წინააღმდეგობის ძალა (იხ.

თავი 2)
$$w_{\text{მრ}} = \frac{700}{R_{\text{მრ}}},$$

მაშინ

$$\begin{aligned} A_{\text{მრ}} &= \frac{700}{R_{\text{მრ},1}}(P+Q)S_{\text{მრ},1} + \frac{700}{R_{\text{მრ},2}}(P+Q)S_{\text{მრ},2} + \dots + \frac{700}{R_{\text{მრ},k}}(P+Q)S_{\text{მრ},k} = \\ &= 700(P+Q) \sum \frac{S_{\text{მრ},k}}{R_{\text{მრ},k}} \end{aligned} \quad (14.8)$$

გასწორებულ ფიქტიურ ქანობზე დახარჯული მუშაობა

$$A_{\text{ფიქტ.}} = i''(P+Q)S_{\text{ფ}}. \quad (14.9)$$

თუ გავუტოლებთ ერთმანეთს (14.8) და (14.9) განტოლებების მარჯვენა მხარეებს,

მივიღებთ
$$700(P+Q) \sum \frac{S_{\text{მრ},k}}{R_{\text{მრ},k}} = i''(P+Q)S_{\text{ფ}}.$$

აქედან განვსაზღვროთ
$$i'' = \frac{700}{S_{\text{ფ}}} \sum \frac{S_{\text{მრ},k}}{R_{\text{მრ},k}}. \quad (14.10)$$

საბოლოოდ გასწორებული ქანობი, მრუდეების გათვალისწინებით იქნება

$$i_{\text{ფ}} = \pm i'_{\text{ფ}} + i''_{\text{ფ}}. \quad (14.11)$$

პროფილის გასწორებისთვის ანგარიშები საკმაოდ შრომატევადია. სამუშაო მნიშვნელოვნად გამარტივდება თუ გაანგარიშებისთვის გამოვიყენებთ პერსონალურ კომპიუტერის “Mikrosoft Excel”-ის პროგრამას.

14.3. მატარებლის წონის განსაზღვრა

14.3.1. ზოგადი ცნობები

რკინიგზების მწარმოებლობა და რენტაბელობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული სატვირთო მატარებლების შემადგენლობის წონაზე. მატარებელთა წონის გაზრდით იზრდება რკინიგზების გამტარუნარიანობა, მცირდება მოთხოვნები ლოკომოტივებზე და შესაბამისად სალოკომოტივო ბრიგადებზე, მცირდება წევაზე დახარჯული ელექტროენერჯის ხარჯი. ყოველივე ზემოაღნიშნული, მნიშვნელოვნად ამცირებს გადაზიდვების თვითღირებულებას.

ამავე დროს შემადგენლობის წონის მნიშვნელოვნად გაზრდამ, შეიძლება გამოიწვიოს ე.მ.შ.-ის წევის ძრავების და სხვა ელექტრომომწოდებლობის იზოლაციის ნაადრევი დაზერება და მწყობრიდან გამოსვლა.

სატვირთო მატარებლების შემადგენლობის წონას განსაზღვრავენ გზის პროფილის მიხედვით, ემშ-ს წვეის ძალის და სიმძლავრის სრული გამოყენების პირობიდან, მატარებლის მიერ დაგროვილი კინეტიკური ენერჯიის გამოყენების შესაძლებლობის გამოყენებით.

გზის პროფილის მიხედვით, სატვირთო შემადგენლობის წონას განსაზღვრავენ მოძრაობის შემდეგი ორი პირობიდან:

1. საანგარიშო ქანობზე დამყარებული (თანაბარი) სიჩქარით მოძრაობის პირობით.
2. რთულ ქანობებზე არათანაბარი სიჩქარით მოძრაობის და დაგროვილი კინეტიკური ენერჯიის მაქსიმალური გამოყენების პირობით.

14.3.2. შემადგენლობის წონის განსაზღვრა საანგარიშო ქანობზე დამყარებული სიჩქარის პირობით

საანგარიშო (სახელმძღვანელო) ქანობი წარმოადგენს მოცემულ (განსახილველ) უბანზე, მოცემული მიმართულებით ყველაზე დიდი დახრილობის ქანობს (რა თქმა უნდა აღმართს), რომლის სიგრძე ისეთია, რომ მასზე მოძრაობისას აუცილებლად დამყარდება სიჩქარე. სიჩქარის დამყარების მოთხოვნა ნიშნავს, რომ ლოკომოტივი ეწევა მხოლოდ თავის შესაძლებლობებით (ინერჯიის ძალების დახმარების გარეშე).

თუ მოცემული ლოკომოტივი ამ ყველაზე რთულ, საანგარიშოდ წოდებულ ქანობზე, გადაადგილებს საძიებელ მაქსიმალური წონის მქონე შემადგენლობას, მისთვის დასაშვები მინიმალური (საანგარიშო) სიჩქარით, მაშინ არსებობს სრული გარანტია იმისა, რომ ის ამ წონის შემადგენლობას წარმატებით გაატარებს მოცემული უბნის ნებისმიერ სხვა ქანობზე. მინიმალურად დასაშვები (საანგარიშო) სიჩქარის პირობა მოთხოვნილია იმიტომ, რომ ამ სიჩქარეზე ნაკლები სიჩქარით ხანგრძლივ რეჟიმში მოძრაობამ შეიძლება გამოიწვიოს ლოკომოტივის წვეის ძრავების გადატვირთვა და მათი თბური დაზიანება.

როგორც ზემოთ ვნახეთ, წვეის რეჟიმისათვის მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებას ხვედრით ფორმაში აქვს შემდეგი სახე:

$$\frac{dV}{dt} = \xi(f - w). \quad (14.12)$$

იგივე განტოლება ჩაწერილი სრულ ფორმაში იქნება

$$(P + Q) \frac{dV}{dt} = \xi(F - W), \quad (14.13)$$

სადაც, F არის ელექტროძალის მიერ საანგარიშო ქანობზე განვითარებული სრული წვეის ძალის მნიშვნელობა, ნ-ში. აღვნიშნოთ $F = F_v$ (საანგარიშო).

W – საანგარიშო ქანობზე მატარებლის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა, ნ-ში. $W = W' + W''$, (14.14)

W' – ამ შემთხვევაში არის ელექტრული ლოკომოტივის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა საანგარიშო ქანობზე და ტოლია

$$W' = P(w'_0 + i_b) \text{ ნ.} \quad (14.15)$$

W'' არის შემადგენლობის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა საანგარიშო ქანობზე და ტოლია $W'' = Q(w''_0 + i_b)$ ნ. (14.16)

w'_0 და w''_0 შესაბამისად ლოკომოტივის და შემადგენლობის ძირითადი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალებია ნ/კნ-ში.

i_b – საანგარიშო ქანობი %-ში.

შევიტანოთ აღნიშნული მნიშვნელობები (14.14) ფორმულაში, მივიღებთ

$$W = P(w'_0 + i_b) + Q(w''_0 + i_b). \quad (14.17)$$

$F = F_b$ და W -ს მნიშვნელობები შევიტანოთ (14.13) გამოსახულებაში. მივიღებთ

$$\frac{dV}{dt} = \xi[F_b - P(w'_0 + i_b) + Q(w''_0 + i_b)]. \quad (14.18)$$

დამყარებული (თანაბარი) სიჩქარით მოძრაობა ნიშნავს, რომ აჩქარება 0-ის ტოლია. $\frac{dV}{dt} = 0$; ე.ი. (14.18) გამოსახულების მარჯვენა მხარე 0-ის ტოლია.

ξ – კონკრეტული რიცხვია და არ უდრის 0-ს. გამოდის რომ

$$F_b - P(w'_0 + i_b) + Q(w''_0 + i_b) = 0. \quad (14.19)$$

(14.19) გამოსახულებიდან განვსაზღვროთ შემადგენლობის საძიებელი წონა Q . მივიღებთ;

$$Q = \frac{F_b - P(w'_0 + i_b)}{w''_0 + i_b}. \quad (14.20)$$

w'_0 და w''_0 – შესაბამისად ელექტრული ლოკომოტივის და შემადგენლობის მოძრაობისადმი ხვედრითი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალებია. ნ/კნ-ში. განისაზღვრება საანგარიშო ქანობზე დამყარებული საანგარიშო V_b -სიჩქარისთვის, წვევის გაანგარიშების წესებში მოცემული, შესაბამისი ემპირიული ფორმულებით.

F_b და V_b – სიდიდეები მოცემული ელექტრომაგლისთვის აიღება ცნობარებიდან.

i_b – საანგარიშო ქანობია %-ში.

საანგარიშო ქანობზე დამყარებული სიჩქარით გაანგარიშებული წონა აღნიშნულ სიმბოლოთი – Q_b (საანგარიშო).

14.3.3. შემადგენლობის წონის განსაზღვრა მატარებლის კინეტიკური ენერჯის გათვალისწინებით

თუ მოცემული მიმართულების პროფილზე შეუძლებელია ერთმნიშვნელოვნად ავირჩიოთ საანგარიშო ქანობი, მაშინ შემადგენლობის წონა შეგვიძლია დავადგინოთ შერჩევის მეთოდით. ამ შემთხვევაში საანგარიშო ქანობად შეგვიძლია ავირჩიოთ შედარებით ნაკლები სიდიდის ქანობი და მისთვის გაეთვალოთ წონა. შემდეგ კი შევამოწმოთ, მოცემული ლოკომოტივი მიღებული წონის შემადგენლობას გაიყვანს თუ არა უფრო დიდი დახრილობის ქანობზე, საანგარიშო სიჩქარით. შემოწმება მდგომარეობს ყველა საანგარიშოდ მიღებულ ქანობზე მეტი ქანობისთვის სიჩქარის განსაზღვრაში. გაანგარიშება შეგვიძლია ვაწარმოოთ გრაფიკულად, ანალიზურად, ან მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების რიცხვითი ინტეგრირების მეთოდით. თუ აღმოჩნდება, რომ შესამოწმებელ ქანობზე გაანგარიშებით მიღებული სიჩქარე მეტი ან ტოლია მოცემული ლოკომოტივის საანგარიშო სიჩქარეზე, მაშინ წონა შეგვიძლია დავტოვოთ უცვლელი, ხოლო თუ გაანგარიშებით მიღებული სიჩქარე აღმოჩნდება მოცემული ლოკომოტივის საანგარიშო სიჩქარეზე ნაკლები, მაშინ შემადგენლობის წონა უნდა შევამციროთ და შემოწმებითი ანგარიში ჩავატაროთ განმეორებით. ასე ვიქცევით მანამ, სანამ არ დავადგენთ წონას, რომლის დროსაც სიჩქარე გაუტოლდება ლოკომოტივის საანგარიშო სიჩქარეს. საანგარიშოდ ვიღებთ მიღებულ წონას.

14.4. შემადგენლობის წონის შემოწმება ადგილიდან დაძვრაზე

შემადგენლობის წონა უნდა იყოს ისეთი, რომ ლოკომოტივმა შეძლოს მისი ადგილიდან დაძვრა, სხვა ლოკომოტივების დაუხმარებლად, შუქნიშნებთან ან სადგურებში გაჩერების შემდეგ. იმისათვის, რომ წვეის რეჟიმში მოხდეს მატარებლის დაძვრა, საჭიროა აჩქარება იყოს დადებითი, ანუ ამჩქარებელი ძალა

$$F_{\text{დაძვ}} - W_{\text{დაძვ}} > 0, \text{ ანუ } F_{\text{დაძვ}} - (P - Q_{\text{დაძვ}})(w_{\text{დაძვ}} + i_{\text{დაძვ}}) > 0,$$

$$\text{აქედან } Q_{\text{დაძვ}} = \frac{F_{\text{დაძვ}}}{w_{\text{დაძვ}} + i_{\text{დაძვ}}} - P, \quad (14.21)$$

სადაც, $F_{\text{დაძვ}}$ არის ელექტროძაღვის დაძვრის წვეის ძალა, ნ-ში. აიღება ცნობარიდან.

$w_{\text{დაძვ}}$ – შემადგენლობის დაძვრის ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა, ნ/კნ-ში.

$i_{\text{დაძვ}}$ – ქანობი, რომელზეც ხორციელდება დაძვრა, %-ში.

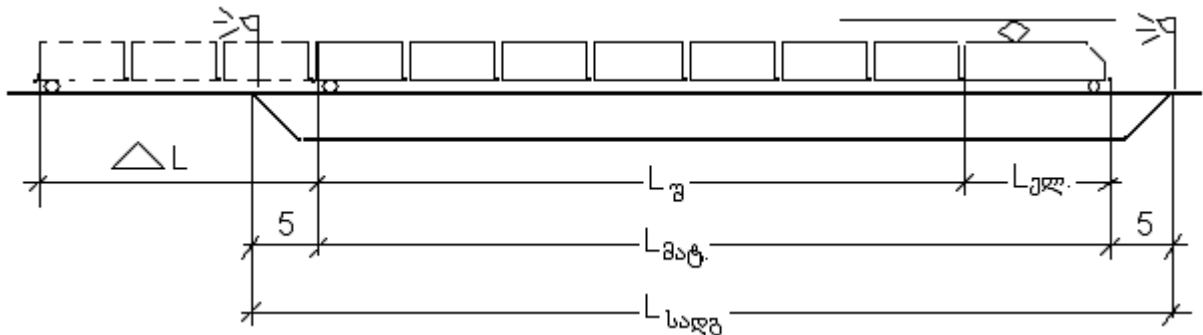
P – ელექტროძაღვის წონა, კნ-ში.

თუ საანგარიშო ქანობით განსაზღვრული წონა Q_s აღმოჩნდება ნაკლები დაძვრის პირობით განსაზღვრულ წონაზე $Q_{დაძ}$, მაშინ მოცემული ელექტრომაგალი ამ წონას ადგილიდან დაძვრავს.

14.5. შემაღენლობის წონის შემოწმება სასადგურე ლიანდაგებში მატარებლის განთავსებაზე

საანგარიშო ქანობით განსაზღვრული წონა Q_s ადგილიდან დაძვრის პირობების დაკმაყოფილების შემთხვევაში, უნდა შემოწმდეს სასადგურე ლიანდაგების სასარგებლო სიგრძეში ჩატევაზე (განთავსებაზე) (ნახ. 14.2).

იმისათვის, რომ სადგურებში მატარებელთა გეგმიური გაჩერების დროს არ მოხდეს მოძრაობის პარალიზება წინა ან მომდევნო ბლოკ უბნებზე, საჭიროა დაკმაყოფილდეს პირობა

$$L_{მატ} \leq L_{სადგ} - 10. \tag{14.22}$$


ნახ. 14.2. მატარებლის განთავსება სადგურის ლიანდაგში.

სადაც, $L_{მატ}$ არის საანგარიშო წონის მქონე მატარებლის სიგრძე, მ-ში.

$L_{სადგ}$ -სადგურის ლიანდაგის სასარგებლო სიგრძე, მ-ში. მოცემული.

10 მ - არის მატარებლის ჩაყენების უზუსტობაზე მანძილის რეზერვი.

მატარებლის სიგრძე $L_{მატ} = L_{ლოკ} + I_{შ} = L_{ლოკ} + \sum n_i L_i,$ (14.23)

სადაც, $L_{ლოკ}$ არის ელექტრომაგლის სიგრძე, მ-ში. აიღება ცნობარებიდან.

$I_{შ} = \sum n_i L_i$ - შემაღენლობის ჯამური სიგრძე, მ-ში.

n_i, L_i - შესაბამისი ტიპის ვაგონების რიცხვი და სიგრძე, მ-ში.

შემაღენლობაში ერთი ტიპის ვაგონების რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით

$$n_i = \frac{Q_s \alpha_i}{q_i}, \tag{14.24}$$

სადაც, α_i არის მატარებელში ერთი ტიპის ვაგონების წონითი წილის კოეფიციენტი/

q_i - აღებული ტიპის ვაგონის წონა, კნ-ში.

თუ (14.23) ფორმულით ნაანგარიშები მატარებლის სიგრძე დააკმაყოფილებს (14.22) ფორმულის პირობას, მაშინ მატარებელი ეტევა სადგურის ლიანდაგის სასარგებლო სიგრძეში.

ვთქვათ შემადგენლობის სიგრძე აღმოჩნდა ΔL მეტრით დასაშვებზე გრძელი (ნახ. 14.2, წყვეტილი კონტური), მაშინ ეს სიგრძე შემადგენლობას უნდა ჩამოვაჭრათ. ვაგონების რაოდენობა, რომლებიც უნდა ჩავხსნათ იქნება

$$n_{\text{ნ.ბ.}} = \frac{\Delta L}{L_{\text{ვაგ}}}$$

მიღებული რიცხვი მრგვალდება უახლოეს მთელ რიცხვამდე.

მთლიანად ჩახსნილი წონა $\Delta Q = n_{\text{ნ.ბ.}} q_{\text{ვაგ}}$ კნ.

არსებობს გაანგარიშების მეორე გზაც, კერძოდ:

გამოვთვალოთ ერთ გრძივ მეტრზე მოსული შემადგენლობის წინა

$$q' = \frac{Q_{\text{ს}}}{L_{\text{მ}}} \text{ კნ/მ.}$$

ΔL ჩამოსაჭრელი სიგრძის შესაბამისი წონა იქნება $\Delta Q = \Delta L q'$ კნ.

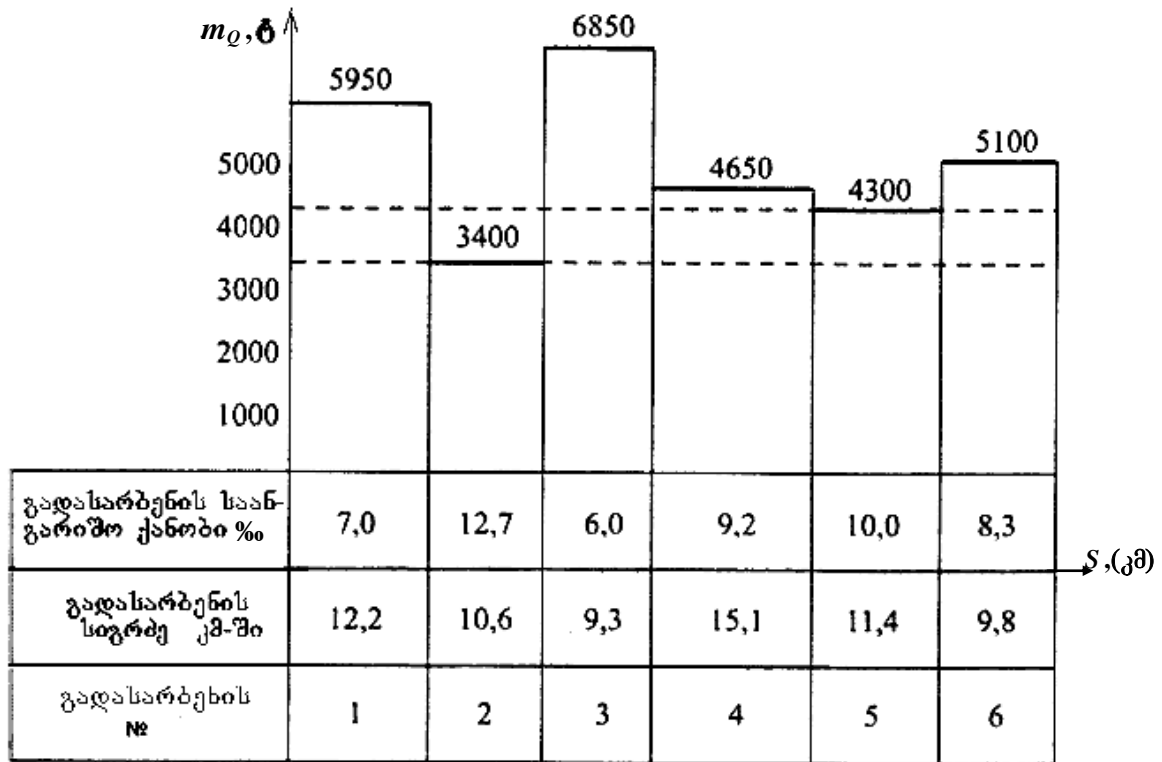
ჩასახსნელი ვაგონების რაოდენობა $n_{\text{ნ.ბ.}} = \frac{\Delta Q}{q_{\text{ვაგ}}}$.

მიღებული რიცხვი უნდა დამრგვალდეს უახლოეს მთელ რიცხვამდე

14.6. სატვირთო მატარებლების უნიფიცირებული წონების დადგენა

თუ მატარებელი გადაადგილდება საკმაოდ შორ მანძილზე (მრავალფეროვანი პროფილით), მაშინ მოსალოდნელია მომსახურების აღებულ მიმართულებაზე, საანგარიშო წონები გადასარბენების მიხედვით განსხვავებულდეს ერთმანეთისაგან. მოვახდინოთ ლოკომოტივების შეცვლა რათა ერთი წონა გავატაროთ მთელ მიმართულებაზე, უმრავლეს შემთხვევაში მიზანშეუწონელია. ამიტომ ასეთ შემთხვევებში, მოცემული ლოკომოტივისათვის მთელ მიმართულებაზე, აწესებენ უნიფიცირებულ წონას. როგორც წესი, მას ადგენენ ყველაზე რთულად დასაძლევ უბნის მიხედვით. იმისათვის, რომ შევაფასოთ უნიფიცირებული წონის გაზრდის შესაძლებლობა მოცემულ მიმართულებაზე, მიზანშეუწონელია ავაგოთ ტონა-კილომეტრიანი დიაგრამა (ნახ. 14.3). ზემოთ განხილული მეთოდით გზის ცალკეული უბნებისათვის ადგენენ საანგარიშო წონებს, შემდეგ მათ ცვლიან შესაბამისი მასებით და წარმოადგენენ 14.3 ნახაზზე ნაჩვენები გრაფიკის სახით. აბცისთა ღერძზე გადაზომავენ განსახილველი უბნების სიგრძეს კმ-ში. ყოველ უბანზე უთითებენ საანგარიშო ქანობის

სიდიდეს %-ში და უბნის სიგრძეს. ორდინატა ღერძზე ყოველი უბნისათვის გადაზომავენ მატარებლის საანგარიშო მასას.



ნახ. 14.3. ტონა – კილომეტრიანი დიაგრამის აგება.

აგებული დიაგრამიდან ჩანს, რომ მეორე გადასარბენისთვის განსაზღვრული მატარებლის მასა 3 400ტ (განსაზღვრულია მოცემულ მიმართულებაზე ყველაზე რთული 12,7% ქანობით), მოცემულმა ლოკომოტივმა შეიძლება ატაროს მთელ მიმართულებაზე, მაგრამ ამ შემთხვევაში დანარჩენ უბნებზე ლოკომოტივის სიმძლავრე სრულად არ იქნება გამოყენებული. ასეთ შემთხვევაში, თუ მეორე უბანზე გამოვიყენებთ ე.წ. მიმწოლ მეორე ლოკომოტივს, მაშინ მატარებლის უნიფიცირებული მასა შეგვეძლო გაგვეზარდა 4 300 ტონამდე. დიაგრამის შემდგომი ანალიზით, შეიძლება უნიფიცირებული მასა გაგვეზარდა 4 650 ტონამდე.

რომელიმე აღებულ მიმართულებაზე წონითი ნორმების გაზრდისთვის, შეიძლება გატარდეს შემდეგი შესაძლო ღონისძიებები:

1. შემზღუდავი რთული საანგარიშო ქანობის რეკონსტრუქცია მისი გაიოლების მიზნით.
2. შემზღუდავი გადასარბენის მოსაზღვრე გამყოფ პუნქტებში გაჩერებების გაუქმება.
3. გამყოფ პუნქტების ფარგლებში მიმწოლი ლოკომოტივების გამოყენება.
4. ორმაგი წევის გამოყენება.
5. მოცემული ლოკომოტივის შეცვლა უფრო მძლავრით.

მოცემული კონკრეტული პირობებისთვის შეიძლება გამოყენებული იყოს ჩამოთვლილიდან ერთ-ერთი ღონისძიება.

XV თავი

სამუხრუჭო ბანბარიშებები

15.1. სამუხრუჭო გაანგარიშებების პრინციპი და ნორმატიული მონაცემები

სარელსო ტრანსპორტზე ძირითადად გამოყენებულია მექანიკური (ხახუნის პრინციპზე მომუშავე) სამუხრუჭო საშუალებები. ელექტრული ლოკომოტივების გამოყენების შემთხვევაში, დამუხრუჭების დამხმარე საშუალებებად გამოიყენება ელექტრული (რელსტატული, რეკუპერაციული) დამუხრუჭება.

არსებობს სამი სახის დამუხრუჭება:

- **სამოსამსახურო დამუხრუჭება** – მოძრავი შემადგენლობის გასაჩერებლად, გაჩერების პუნქტებში (სადგურებში) და შექნიშნებთან.
- **რეგულირებადი დამუხრუჭება** – უარყოფით ქანობებზე მოძრაობის სიჩქარის შესაზღვრავად.
- **სასწრაფო (ექსტერნული) დამუხრუჭება** – ავარიულ სიტუაციებში, მოძრავი შემადგენლობის უსწრაფესად გასაჩერებლად.

სხვადასხვა სახის მოძრავი შემადგენლობის სამოსამსახურო დამუხრუჭების დროს, შენელების (უარყოფითი აჩქარების) მ/წმ²-ში რეკომენდებული სიდიდე შეადგენს [13]:

- სატვირთო მოძრავი შემადგენლობისათვის 0.1 – 0.4 $\frac{მ}{წმ^2}$;
- სამგზავრო მოძრავი შემადგენლობისათვის 0.3 – 0.6 $\frac{მ}{წმ^2}$;
- საგარეუბნო ელექტრომატარებლებისათვის 0.6 – 0.8 $\frac{მ}{წმ^2}$;
- მეტროპოლიტენის მოძრავი შემადგენლობისათვის 0.6 – 1.0 $\frac{მ}{წმ^2}$;
- ტრამვაი, ტროლეიბუსისათვის 0.8 – 1.2 $\frac{მ}{წმ^2}$.

მატარებლის გაჩერებისას, მუხრუჭების მიერ შთანთქმული კინეტიკური ენერგია, შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით

$$\frac{m_a V_{გ}^2}{2} = (B_{საშ} + W_{საშ,გ}) S_{გ}, \tag{15.1}$$

სადაც, $B_{საშ}$ და $W_{საშ,გ}$ არის შესაბამისად სამუხრუჭო ძალის და მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის საშუალო მნიშვნელობები, ნ-ში;

$S_{გ}$ – დამუხრუჭების (სამუხრუჭო) მანძილი, მ-ში.

(15.1.) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მოცემული სამუხრუჭო ძალისათვის, სამუხრუჭო მანძილი იქნება მით უფრო გრძელი, რაც უფრო დიდია მატარებლის მასა m_a და განსაკუთრებით მისი მოძრაობის სიჩქარე V .

დამუხრუჭების პროცესი ხასიათდება ოთხი ძირითადი პარამეტრით:

1. სამუხრუჭო მანძილით – $S_{\text{ღ}}$, მ-ში;
2. დამუხრუჭების საწყისი სიჩქარით – $V_{\text{ღ}}$, კმ/სთ-ში;
3. სამუხრუჭო საშუალებებით – (მოცემულია სამუხრუჭო კოეფიციენტის θ სახით);
4. ქანობით, რომელზეც ხდება დამუხრუჭება – $i\%$ -ში.

აღნიშნული ოთხი პარამეტრიდან წინასწარ ცნობილია სამი და ვსაზღვრავთ მეოთხეს. შესაბამისად გვაქვს 4 ამოცანა:

1. სამუხრუჭო მანძილის $S_{\text{ღ}}$ განსაზღვრა, როდესაც მოცემულია სიჩქარე $V_{\text{ღ}}$, სამუხრუჭო საშუალებები θ და ქანობი $i\%$.
2. მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეების $V_{\text{ღ}}$ განსაზღვრა, როდესაც მოცემულია სამუხრუჭო მანძილი $S_{\text{ღ}}$, სამუხრუჭო საშუალებები θ და ქანობი $i\%$.
3. სამუხრუჭო საშუალებების θ განსაზღვრა, როდესაც მოცემულია სამუხრუჭო მანძილი $S_{\text{ღ}}$, მოძრაობის სიჩქარე $V_{\text{ღ}}$, ქანობი $i\%$.
4. ქანობის $i\%$ განსაზღვრა, როდესაც მოცემულია სამუხრუჭო მანძილი $S_{\text{ღ}}$, მოძრაობის სიჩქარე $V_{\text{ღ}}$ და სამუხრუჭო საშუალებები θ .

პრაქტიკაში ძირითადად გვხვდება 1 და 2 ტიპის სამუხრუჭო ამოცანები. განვიხილოთ ისინი დეტალურად.

15.2. სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა

სრული სამუხრუჭო მანძილი $S_{\text{ღ}}$, ესაა მანძილი, რომელსაც გაივლის მატარებელი დამუხრუჭების გადაწყვეტილების მიღებიდან (სამუხრუჭო ონკანის გაღება) მატარებლის სრულ გაჩერებამდე. ეს მანძილი შედგება ორი მდგენელისაგან

$$S_{\text{ღ}} = S_a + S_b, \quad (15.2)$$

სადაც, S_a არის მოსამზადებელი მანძილი, მ-ში.

S_b – ნამდვილი სამუხრუჭო მანძილი, მ-ში.

მოსამზადებელი მანძილი S_a , ესაა მანძილი, რომელსაც მატარებელი გაივლის სამუხრუჭო ონკანის გადართვის მომენტიდან, სამუხრუჭო ხუნდის არტახზე სრული ძალით დაწოლამდე. ეს მანძილი დამოკიდებულია მუხრუჭების მოსამზადებელ დროზე t_a (დრო, რომელიც სჭირდება მაგისტრალში ჰაერის ტალღის გარბენას, ჰაერგამანაწილებლების ამოქმედებას, ბერკეტული გადაცემების გადაადგილებას,

სამუხრუჭო ცილინდრებში ჰაერის წნევის აწევას) და დამუხრუჭების საწყის სიჩქარეზე $V_{\text{ღ}}$, რომელიც მატარებლის ინერციის გათვალისწინებით აიღება უცვლელი. მოსამზადებელი მანძილი გაითვლება ფორმულით:

$$S_a = 0,278t_a V_{\text{ღ}}, \quad (15.3)$$

სადაც, 0.278 არის განზომილების გადაყვანი კოეფიციენტი, $0,278 = 1000/3600$.

1000 – კმ-ის მეტრებში გადაყვანი კოეფიციენტი.

3600 – საათში წამების რაოდენობა.

მოსამზადებელი დრო დამოკიდებულია მატარებლის სიგრძეზე და მუხრუჭების ტიპზე. ამ დროის განსაზღვრა ხდება ემპირიული ფორმულებით, რომლებიც მოცემულია წვევის გაანგარიშების წესებში. მაგალითად მატარებლებისათვის, რომელთა ღერძების რიცხვი (ღერძების რიცხვით ემსჯელობთ მატარებლის სიგრძეზე) ნაკლებია 200-ზე, საანგარიშო ფორმულას აქვს ასეთი სახე

$$t_a = 7 - \frac{10i}{\varphi_b \theta_b} \quad \text{წმ.} \quad (15.4)$$

სადაც i არის ქანობი, რომელზეც ხდება დამუხრუჭება (თავისი ნიშნით).

θ_b – საანგარიშო სამუხრუჭო კოეფიციენტი.

φ_b – ხახუნის საანგარიშო კოეფიციენტი.

სხვა სიგრძის (ღერძების სხვა რიცხვის) მატარებლებისათვის, საანგარიშო ფორმულაში იცვლება კოეფიციენტები. მაგალითად, თუ ღერძების რიცხვი 200-დან 300-მდეა, მაშინ საანგარიშო ფორმულას აქვს სახე

$$t_a = 10 - \frac{15i}{1000\varphi_b \theta_b} \quad \text{წმ.} \quad (15.5)$$

ხოლო თუ ღერძების რიცხვი მეტია 300-ზე

$$t_a = 12 - \frac{18i}{1000\varphi_b \theta_b} \quad \text{წმ.} \quad (15.6)$$

პნევმატური მუხრუჭებით აღჭურვილ სამგზავრო მატარებლებისათვის:

$$t_a = 4 - \frac{5i}{1000\varphi_b \theta_b} \quad \text{წმ.} \quad (15.7)$$

ელექტროპნევმატური მუხრუჭებით აღჭურვილ სამგზავრო მატარებლებისთვის:

$$t_a = 2 - \frac{3i}{1000\varphi_b \theta_b} \quad \text{წმ.} \quad (15.8)$$

ნამდვილი სამუხრუჭო მანძილი S_6 , ესაა მანძილი, რომელსაც გადის მატარებელი სამუხრუჭო ხუნდის არტახზე დაწოლის მომენტიდან, სრულ გაჩერებამდე. ნამდვილი სამუხრუჭო მანძილი განისაზღვრება ფორმულით:

$$S_6 = \frac{500(V_b^2 - V_d^2)}{\xi(1000\varphi_b \theta_b + W_x + i)} \quad \text{მ,} \quad (15.9)$$

სადაც, ξ არის კოეფიციენტი, რომელიც, როგორც ზემოთ გვქონდა აღნიშნული, მატარებლის შენელებაა კმ/სთ², 1 ნ/კნ შემანელებელი ძალის მოქმედების დროს (სატვირთო და სამგზავრო მატარებლებისათვის $\xi = 120 \frac{\text{კმ/სთ}}{\text{ნ/კნ}}$).

V_b და V_g აღებული ინტერვალებისთვის დამუხრუჭების საწყისი და ბოლო სიჩქარეებია $\frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}$ -ში;

1000 $\rho_b \theta_b$ - აღებული ინტერვალის საშუალო სიჩქარისათვის $V_{საშ} = \frac{V_b + V_g}{2}$ ხვედრითი

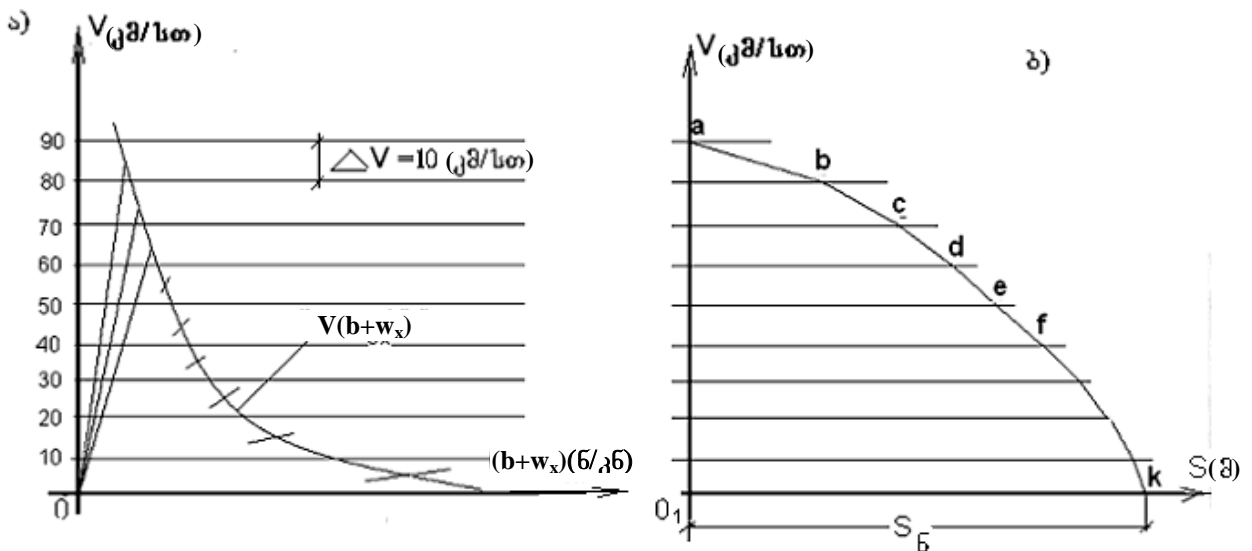
სამუხრუჭო ძალა $\left(\frac{\text{კმ}}{\text{სთ}}\right)$ -ში;

w_x აღებული $V_{საშ}$ სიჩქარისათვის, მოძრაობისადმი ხვედრითი წინაღობის ძალა, უქმი სკლის დროს $\frac{\text{ნ}}{\text{კნ}}$ -ში.

ზემომოყვანილი ფორმულებით შესაძლებელია ანალიზურად გამოვთვალოთ საძიებელი სამუხრუჭო მანძილი.

აღნიშნული ამოცანა შეგვიძლია გადავწყვიტოთ შედარებით მარტივი და საკმარისი სიზუსტის გრაფიკული მეთოდით.

წინასწარ სპეციალურ მასშტაბში მოცემული θ_b სამუხრუჭო კოეფიციენტისათვის ვაგებთ შემანელებელ ძალთა დიაგრამას $V(b+w_x)$ (ნახ. 15.1, ა).



ნახ. 15.1. ნამდვილი სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა გრაფიკული მეთოდით.

მოცემული საწყისი სიჩქარისათვის V_b , გრაფიკული ინტეგრირების მეთოდით (ცალკეულ ინტერვალების მიხედვით) ვაგებთ სიჩქარის მრუდს $V(S)$ აბცისთა ღერძის გადაკვეთამდე რეკომენდებულ მასშტაბში ($a, b, c, d, e, f...k$ ტუხილი) (ნახ. 15.1, ბ) მიღებული მონაკვეთი o_1k შეესაბამება საძიებელ ნამდვილ $S_გ$ სამუხრუჭო

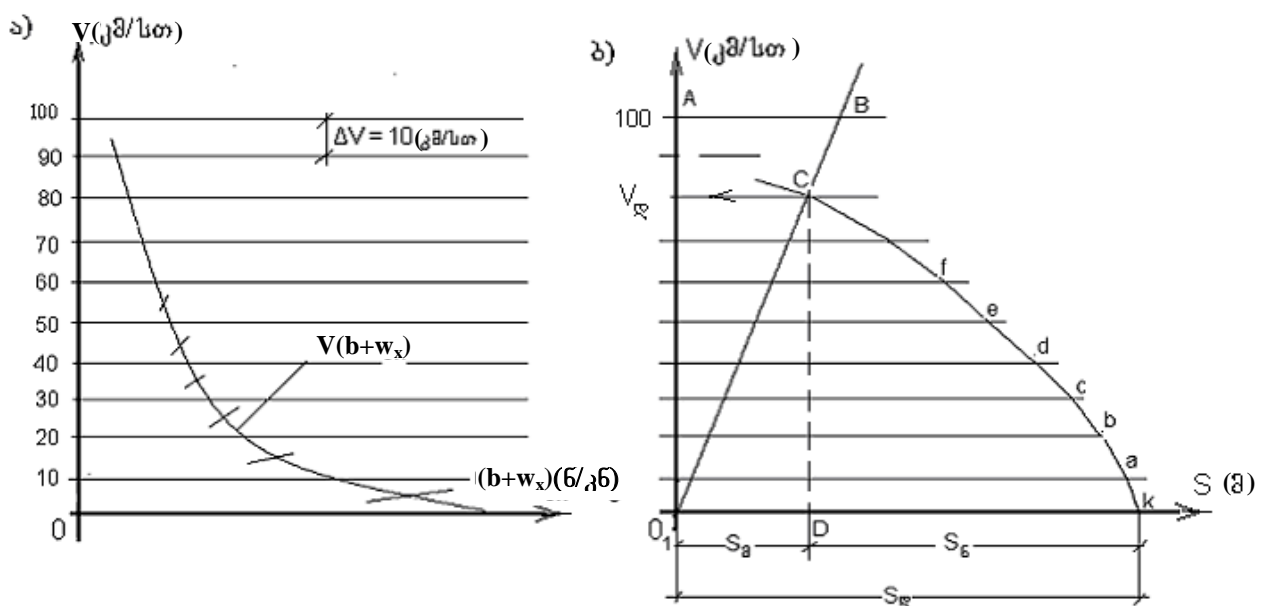
მანძილს. (15.9) ფორმულით ვსაზღვრავთ მოსამზადებელ მანძილს S_a . ჯამი გვაძლევს სრულ სამუხრუჭო მანძილს

$$S = S_a + S_6.$$

15.3. მოძრაობის დასაშვები სიჩქარის განსაზღვრა

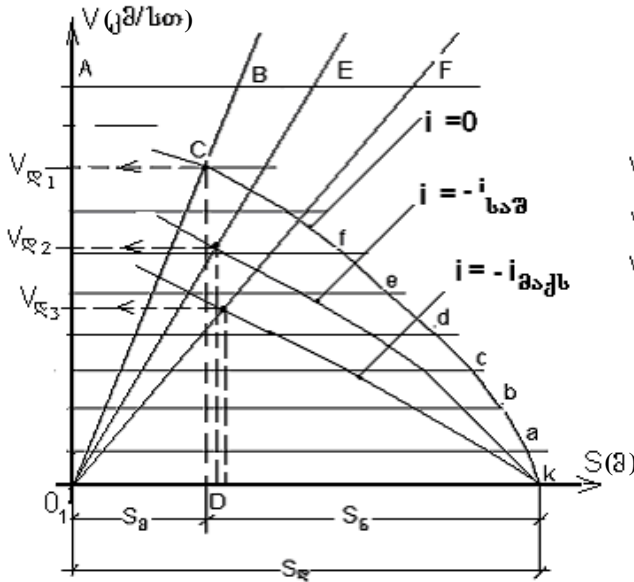
მოძრაობის დასაშვები სიჩქარის განსაზღვრა გულისხმობს სიჩქარის იმ მნიშვნელობის დადგენას, რომლის დროს შესაძლებელი იქნება მოცემულ სამუხრუჭო საშუალებებით აღჭურვილი მატარებლის გაჩერება, მოცემულ სამუხრუჭო მანძილის ფარგლებში. აღნიშნული ამოცანის გადაწვეტა, პრაქტიკულად მისაღები სიზუსტით, უმჯობესია შევასრულოთ გრაფიკული მეთოდით.

მოცემული სამუხრუჭო θ საშუალებებისათვის, ვაგებთ შემანელებელ ძალთა დიაგრამას $V(b+w_x)$ (ნახ. 15.2 ა). O_1 წერტილიდან მასშტაბში გადავზომავთ მოცემულ სამუხრუჭო მანძილს S_6 . ვთვლით, რომ მატარებელი გაჩერებულია k წერტილში და გრაფიკული ინტეგრირების მეთოდით ვაგებთ სიჩქარის მრუდს $V(S)$, (k, a, b, c, d, e, f ტეხილი). სიჩქარის რაიმე მნიშვნელობისათვის (ვთქვათ $V=100$ კმ/სთ) განვსაზღვრავთ მოსამზადებელ მანძილს S_a და A წერტილიდან მასშტაბში გადავზომავთ აბცისთა ღერძის პარალელურად. მონაკვეთი AB (ნახ. 15.2 ბ). კოორდინატთა სათავეს O_1 ვაერთებთ B წერტილთან. O_1B წრფის და k, a, b, c, d, e, f ტეხილის გადაკვეთის C წერტილის ორდინატა DC შეესაბამება საძიებელ სიჩქარეს V_6 -ს, O_1D მონაკვეთი მოსამზადებელ მანძილს S_a , ხოლო Dk მონაკვეთი ნამდვილ სამუხრუჭო მანძილს S_6 .

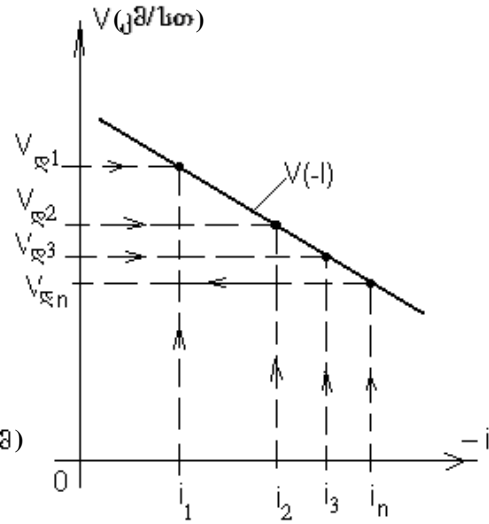


ნახ. 15.2. მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეების გრაფიკული განსაზღვრა.

თუ ზემოაღწერილი მეთოდით გაეთვლით მოძრაობის დასაშვებ სიჩქარეებს სამი სხვადასხვა $i = 0$, $i = i_{საშ}$ ა, $i = -i_{აქს}$. ქანობებისათვის $V_{ღ1}$, $V_{ღ2}$ და $V_{ღ3}$ (ნახ. 15.3), მაშინ შეგვიძლია ავაგოთ დამოკიდებულება $V_{ღ}(-i)$ (ნახ. 15.4), რომლის დახმარებითაც გავიგებთ მოცემული მატარებლისათვის მოცემულ მიმართულებაზე მოძრაობის დასაშვებ სიჩქარეებს V_n -ს, ნებისმიერ ქანობი $-i_n$ -ზე.



ნახ. 15.3. მოძრაობის დასაშვები სიჩქარეების განსაზღვრა სამი ქანობისათვის.



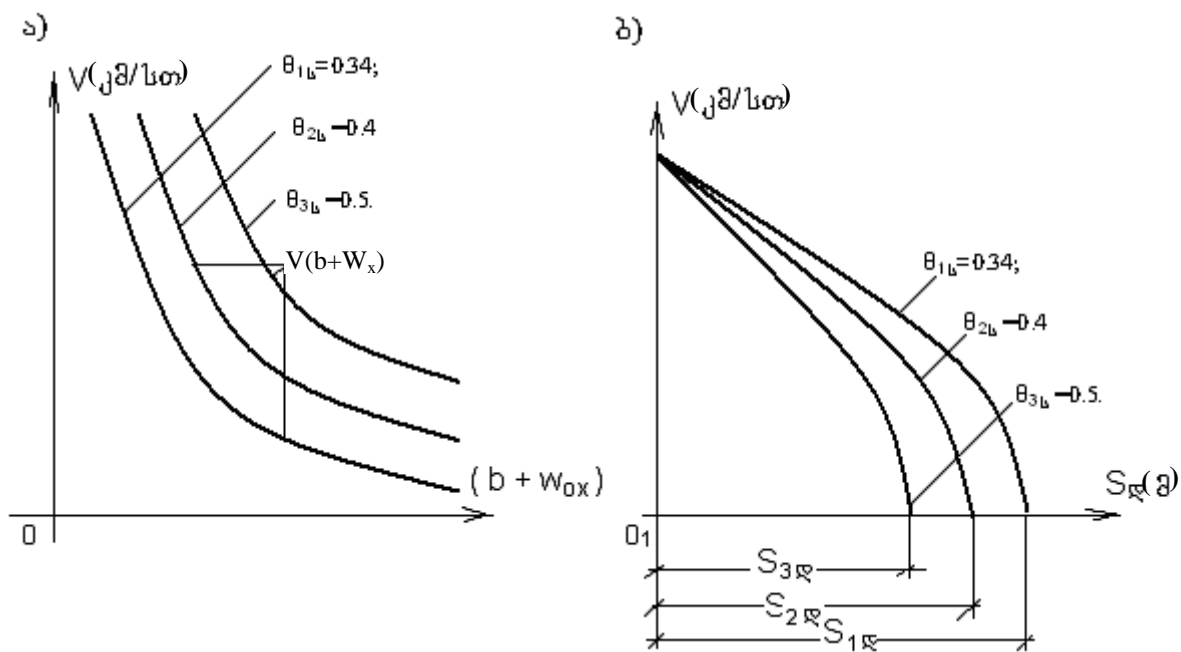
ნახ. 15.4. დამოკიდებულება ქანობსა და დასაშვებ სიჩქარეებს შორის.

15.4 მატარებლის სამუხრუჭო საშუალებების განსაზღვრა

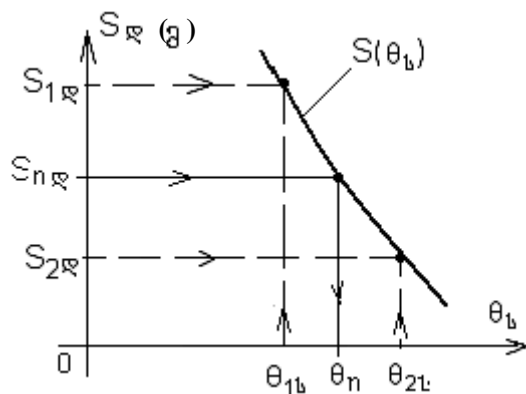
ამ ამოცანის გადაწყვეტისას ვმოქმედებთ შემდეგნაირად: ვუშვებთ საანგარიშო სამუხრუჭო კოეფიციენტის სამ მნიშვნელობას, მაგალითად $\theta_{1ს} = 0,34$, $\theta_{2ს} = 0,4$ და $\theta_{3ს} = 0,5$. მათთვის ვითვლით შემანელებელ ძალთა შესაბამის $(b + w_x)$ მნიშვნელობებს და ვაგებთ შემანელებელ ძალთა დიაგრამებს $V(b + w_x)$, რეკომენდებულ მასშტაბში (ნახ. 15.5 ა). ამ დიაგრამებით, ზემოგანხილული გრაფიკული მეთოდით, ვაგებთ მრუდებს $V(S_{ღ})$, მათი მეშვეობით კი ვსაზღვრავთ შესაბამის ნამდვილ სამუხრუჭო მანძილებს $S_{1ღ}$, $S_{2ღ}$ და $S_{3ღ}$ (ნახ. 15.5 ბ). შემდეგ ცნობილი (15.5)–(15.8) ფორმულებით ვითვლით შესაბამის მოსამზადებელ მანძილებს $S_{1ა}$, $S_{2ა}$ და $S_{3ა}$. მოსამზადებელი და ნამდვილი სამუხრუჭო მანძილების შეკრებით ვიღებთ სრულ სამუხრუჭო მანძილებს, შესაბამისი საანგარიშო სამუხრუჭო კოეფიციენტისათვის

$$S_{1ღ} = S_{1ა} + S_{1ბ}, \quad S_{2ღ} = S_{2ა} + S_{2ბ}, \quad S_{3ღ} = S_{3ა} + S_{3ბ}.$$

საბოლოოდ ვაგებთ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებას $\theta_n(S_{ღ})$, რომლის მეშვეობით მოცემული სამუხრუჭო მანძილისათვის ვსაზღვრავთ საანგარიშო სამუხრუჭო კოეფიციენტის შესაბამის მნიშვნელობას (ნახ. 15.6).



ნახ. 15.5. $V(S_{\text{ფ}})$ მრუდების აგება θ_b -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის გრაფიკული მეთოდით.



ნახ. 15.6. სამუხრუჭო კოეფიციენტის გრაფიკული განსაზღვრა.

XVI თავი

ელექტრომოძრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლები და მოხმარებული დენის მრუდეები

16.1. მუდმივი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლები

ელექტრომოძრავი შემადგენლობის მიერ ქსელიდან მოხმარებული ელექტროენერჯის ხარჯის განსასაზღვრავად, აუცილებელია ვიცოდეთ ქსელიდან მოხმარებული სიმძლავრე და ამ სიმძლავრის მოხმარების დრო. წვეის ანგარიშებში, გაანგარიშებების გამარტივების მიზნით, პირობითად საკონტაქტო ქსელის ძაბვა აღემატება უცვლელი და საშუალო სიდიდის ტოლი $U_{საშ.}$ ეს საშუალებას გვაძლევს სიმძლავრის ფორმულის თანახმად,

$$P = U_{საშ.} I_{ელ.}$$

რკინიგზის უბანზე მატარებლის მომსახურების დროს მუდმივი დენის ემშ-ის მიერ ქსელიდან მოხმარებულ სიმძლავრეზე და შესაბამისად ენერჯიაზე ვიმსჯელოთ, მოხმარებული დენის სიდიდით და მისი მოხმარების ხანგრძლივობით.

წვეის ძრავა, როგორც ცნობილია, ელექტრულ ენერჯიას არტახისა და რელსის შეხების ზონაში გარდაქმნის მექანიკურ მუშაობად. ენერჯიის ამ გარდაქმნას თანახლავს ელექტრული და მაგნიტური დანაკარგები ძრავაში, რაც იწვევს წვეის ძრავას გახურებას. ძრავას გახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია ქსელიდან მოხმარებული სიმძლავრის (დენის) სიდიდეზე და მისი მოხმარების ხანგრძლივობაზე.

ე.ი. იმისათვის რომ განვსაზღვროთ მატარებლების წვეაზე დახარჯული ელექტროენერჯიის ხარჯი და განვსაზღვროთ შეუძლია თუ არა მოცემულ ელექტრომაგალს, მოცემულ პროფილზე, მოემსახუროს, წვეის ანგარიშებით მიღებულ მატარებლის წონას, წვეის ძრავების გადახურების გარეშე, საჭიროა ვიცოდეთ ქსელიდან მოხმარებული დენი და მოხმარების ხანგრძლივობა.

აღნიშნული ამოცანების გადასაწვევტად პრაქტიკაში აგებენ ელექტრომოძრავი შემადგენლობის მიერ მოხმარებული დენის მრუდს $I_{ელ}(s)$, ხოლო ძრავაში გამავალ

დენს გამოითვლიან ფორმულით $I_{არ} = \frac{I_{ელ}}{p}$, სადაც, p არის წვეის ძრავების პარალელურ

შტოთა რიცხვი, რომელიც ტოლია:

1. რვაღერძიანი ელექტრომაგლებისათვის:

წვეის ძრავების მიმდევრობითი “S”შეერთებისას $p = 1$, $p \cdot I_{ელ} = 1 \cdot I_{ელ} = I_{არ}$.

წვეის ძრავების მიმდევრობით-პარალელური "SP" შეერთებისას $p = 2, I_{\text{ჯლ}} = 2 I_{\text{ძრ}}$.

წვეის ძრავების პარალელური "P" შეერთებისას $p = 4, I_{\text{ჯლ}} = 4 I_{\text{ძრ}}$.

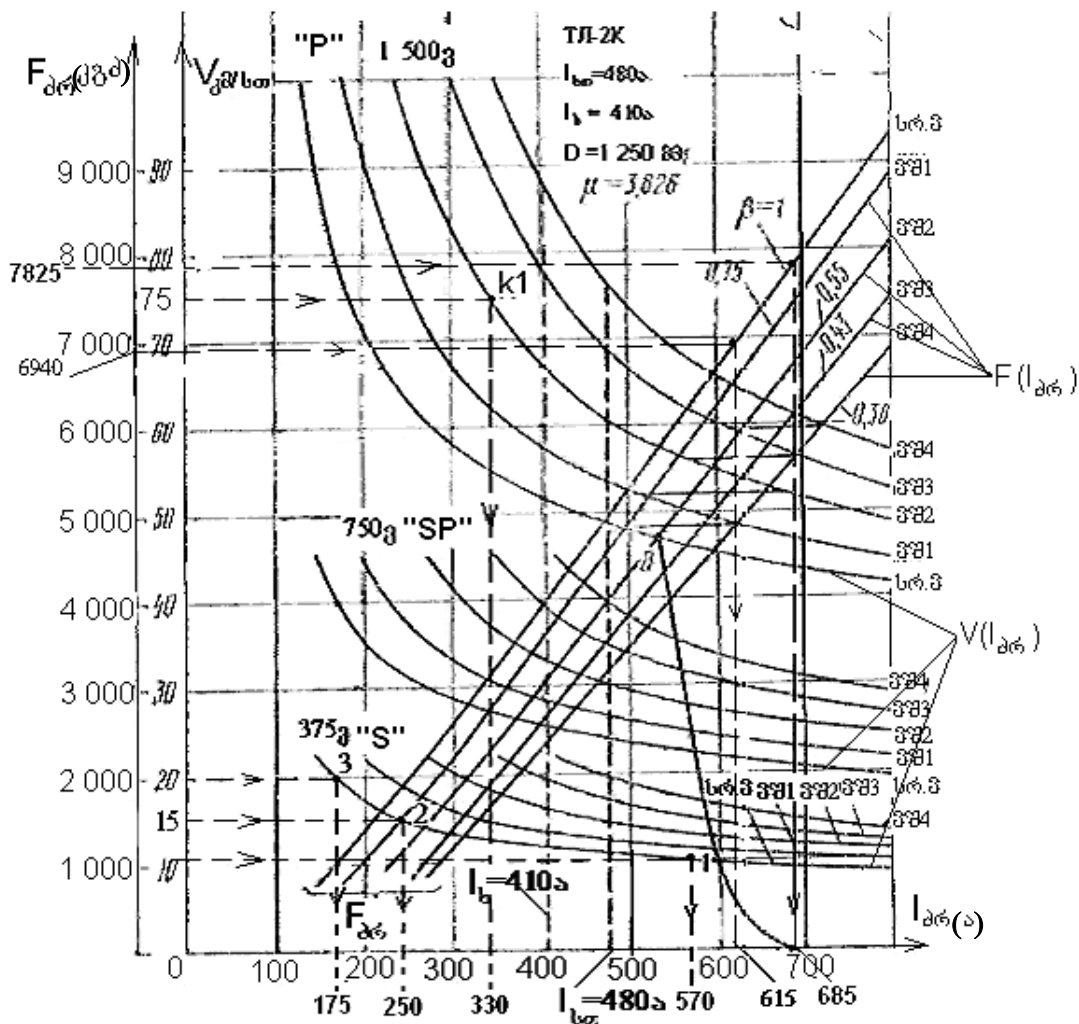
2. ექვსღერძიანი ელექტრომაგვლებისათვის:

წვეის ძრავების მიმდევრობითი "S" შეერთებისას $p = 1, I_{\text{ჯლ}} = p \times I_{\text{ძრ}} = 1 \times I_{\text{ძრ}} = I_{\text{ძრ}}$.

წვეის ძრავების მიმდევრობით-პარალელური "SP" შეერთებისას $p = 2, I_{\text{ჯლ}} = 2 I_{\text{ძრ}}$.

წვეის ძრავების პარალელური "P" შეერთებისას $p = 3, I_{\text{ჯლ}} = 3 I_{\text{ძრ}}$.

$I_{\text{ჯლ}}(s)$ დენის მრუდის აგება ხდება ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლის (რომელიც წარმოადგენს ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დენსა და სინქარეს შორის დამოკიდებულებას) $I_{\text{ჯლ}}(V)$ საშუალებით, რეგულირების სხვადასხვა საფეხურისათვის.



ნახ. 16.1. TЛ-2K წვეის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლები.

თავის მხრივ ელექტრომაგვლის დენის მახასიათებლებს $I_{\text{ჯლ}}(V)$ აგებენ წვეის ძრავას სინქარის მახასიათებლების $V(I_{\text{ძრ}})$ საშუალებით, რეგულირების სხვადასხვა საფეხურისათვის (ნახ. 16.1).

დენის მახასიათებლების აგების თანმიმდევრობა განვიხილოთ БЛ-10 ელექტრო-
მაგლის მაგალითზე:

გუშვებთ ძრავას ელექტრომექანიკურ მახასიათებელზე (ნახ. 16.1) სიჩქარის
მნიშვნელობას $V_1 = 10$ კმ/სთ. ამ სიჩქარეზე ვავლებთ ჰორიზონტალს და მიმდევრო-
ბითი “S” შეერთების სრული ველის (სრ.ვ) სიჩქარის მახასიათებელზე ვპოულობთ
გადაკვეთის 1 წერტილს, რომელსაც შეესაბამება ძრავას დენი $I_{ელ.1} = 570$ ა. ელექტ-
რომაგლის დენს ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$I_{ელ.1} = pI_{არ1} = 1 \times 570 = 570 \text{ ა.}$$

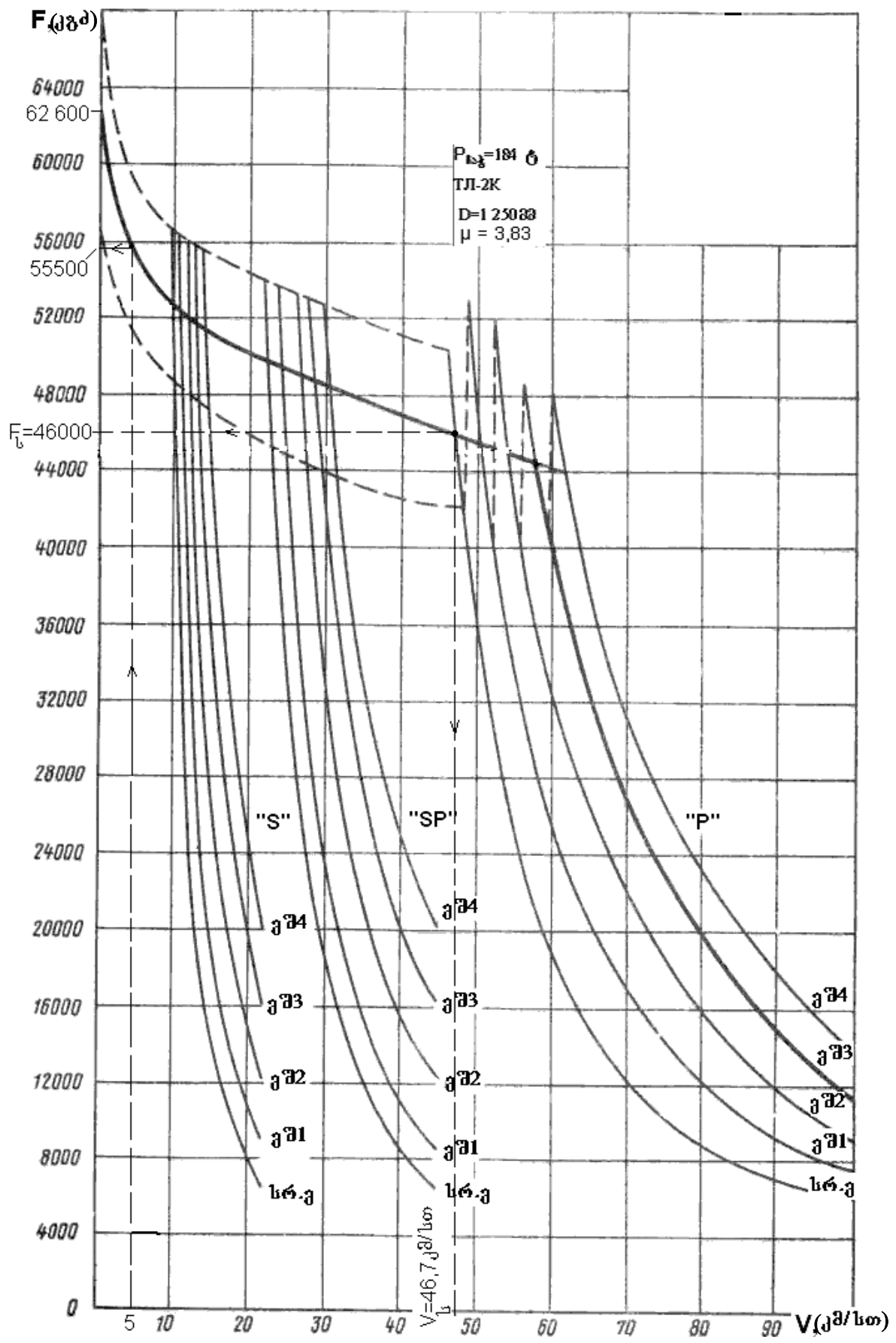
ე.ი. ჩვენ გვაქვს საძიებელი დენის მახასიათებლის 1-წერტილის ორი კოორდინატა:
 $V_1 = 10$ კმ/სთ და $I_{ელ.1} = 570$ ა. შევირჩევთ მასშტაბს და კოორდინატთა სისტემაში
ავაგებთ დენის მახასიათებლის 1 წერტილს (ნახ. 16.3). ასევე ავაგებთ მიმდევრობითი
შეერთების დენის მახასიათებლის 2 და 3 წერტილებს. თუ 1, 2 და 3 წერტილს
შევაერთებთ მრუდი წირით, მივიღებთ მიმდევრობითი შეერთების სრული ველის
საძიებელ დენის მახასიათებელს $I_{ელ}(V)$. ანალოგიურად ავაგებთ დენის მახასია-
თებლებს წვეის ძრავების სხვადასხვა დაჯგუფების და ველის შესუსტების სხვა-
დასხვა საფეხურისათვის. მაგალითად ავაგოთ პარალელური შეერთების ველის
შესუსტების მეორე საფეხურის დენი მახასიათებლის ერთი k წერტილი. ძრავას
ელექტრომექანიკურ მახასიათებლებზე (ნახ. 16.1) ვიღებთ სიჩქარეს $V = 75$ კმ/სთ,
ვაგებთ ჰორიზონტალს პარალელური შეერთების ველის შესუსტების მეორე
საფეხურის გადაკვეთამდე; k_1 წერტილი, რომლის აბცისთა დერძის კოორდინატა
იქნება ძრავას დენი $I_{ელ.k1} = 330$ ამპერი. ელექტრომაგლის დენი ტოლი იქნება

$$I_{ელ.k1} = pI_{ელ.k1} = 4 \times 330 = 1320 \text{ ა.}$$

შემდეგ, $V = 75$ კმ/სთ და $I_{ელ.k1} = 1320$ ა კოორდინატებით ვაგებთ საძიებელი
მახასიათებლის k წერტილს (ნახ. 16.3).

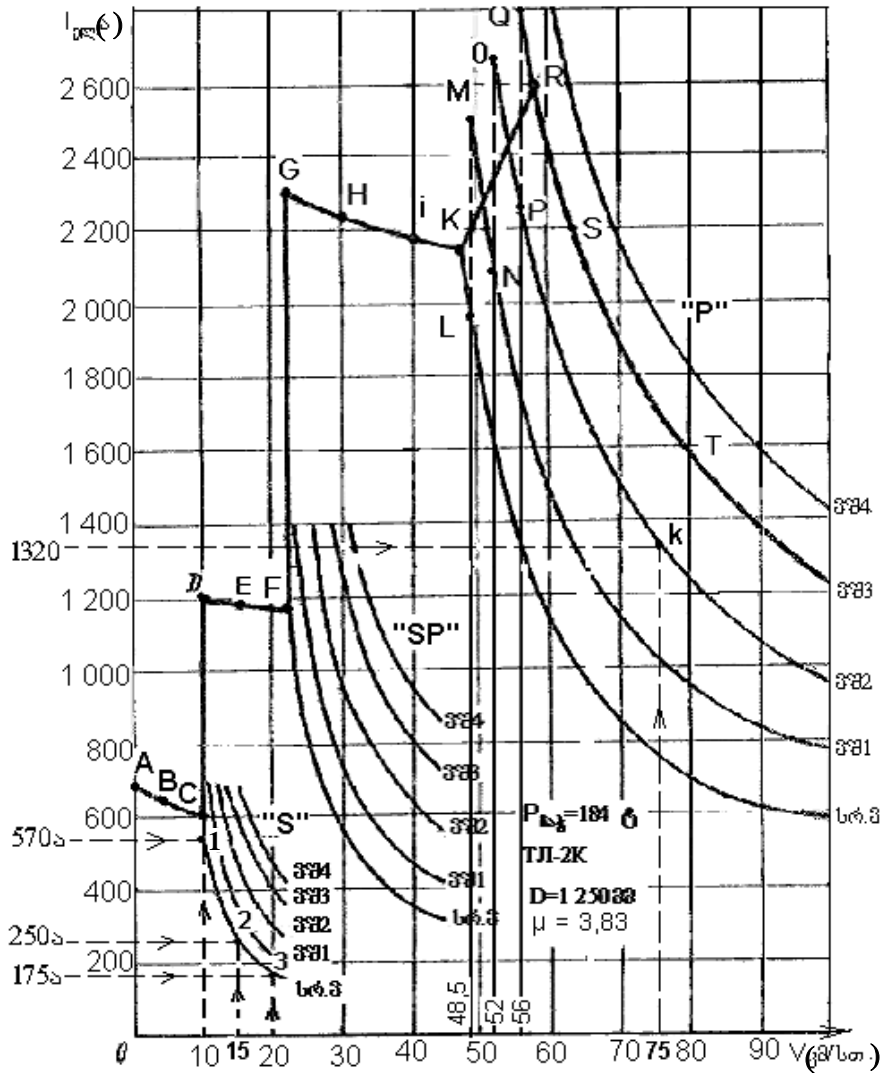
რეგულირების ყველა საფეხურზე დენის მახასიათებლების აგების შემდეგ,
მასზე უნდა დავიტანოთ ელექტრომაგლის დენის შემზღუდავი ხაზები, რომლებიც
შეესაბამებიან მაქსიმალურ დასაშვებ წვეის ძალას, განსაზღვრულს ძრავას
დასაშვები დენით ან წყვილთვალის რელსთან ჩაჭიდებით.

განვიხილოთ აღნიშნული საკითხი БЛ-10 ელექტრომაგლის აგებული დენის მახა-
სიათებლების მაგალითზე (ნახ. 16.3). აღნიშნულ ელექტრომაგალში მაქსიმალური
წვეის ძალა შეზღუდულია ჩაჭიდებით. ამიტომ საჭიროა ელექტრომაგლის წვეის
მახასიათებლებზე (ნახ. 16.2) განვსაზღვროთ ჩაჭიდების წვეის ძალის მნიშვნელობები



ნახ. 16.2. БЛ-10 ელექტრომავლის წევის მახასიათებლები.

სხვადასხვა სიჩქარეზე, გავყოთ ისინი წვევის ძრავების რიცხვზე და მივიღებთ ჩაჭიდების წვევის ძალის მნიშვნელობას ერთი ძრავასათვის $F_{ძრ.ჩაჭ.}$. ამ უკანასკნელით, ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლიდან ვიპოვით ძრავას დასაშვები დენის მნიშვნელობას ჩაჭიდებით $I_{ძრ.ჩაჭ.}$, თუ მას გავამრავლებთ ძრავების პარალელურ შტოთა რიცხვზე p -ზე, მივიღებთ ელექტრომაველის შესაბამის დენს $I_{ელ.ჩაჭ.} = p \cdot I_{ძრ.ჩაჭ.}$. ვნახოთ როგორ ხდება ეს პრაქტიკულად:



ნახ. 16.3. BJI-10 ელექტრომაველის დენის მახასიათებლები.

ნულოვან სიჩქარეზე $V=0$, ელექტრომაველის ჩაჭიდების წვევის ძალა ტოლია 62 600კგ-ის (ნახ. 16.2). შესაბამისად ერთი ძრავას წვევის ძალა იქნება $\frac{62600}{8} = 7825$ 62კგ. აღნიშნულ წვევის ძალას ძრავას ელექტრომექანიკურ მახასიათებელზე შეესაბამება ამუშავების დენის მნიშვნელობა $I_{ძრ.ა} = 685$ ა (ნახ. 16.1). ვინაიდან დაძვრა ხდება წვევის ძრავების მიმდევრობით შეერთებაზე, $p=1$, ამიტომ, ელექტრომაველის ამუშავების დენი იქნება $I_{ელ.ჩაჭ.} = p \cdot I_{ძრ.ჩაჭ.} = 1 \times 685 = 685$ ა. აღნიშნულ დენს გადავდებთ ორდინატთა

დერძზე $V=0$ სიჩქარეზე. მივიღებთ A წერტილს (ნახ. 16.3). ანალოგიურად განვსაზღვრავთ დენს $V = 5$ კმ/სთ სიჩქარეზე, $I_{\text{გლ.ა}} = 615$ ა. დენის მახასიათებელზე $V = 5$ კმ/სთ სიჩქარეზე გადავდებთ 615ა-ს, მივიღებთ B წერტილს და $V = 10$ კმ/სთ სიჩქარეზე, შესაბამისად $I_{\text{გლ.ა}} = 595$ ა-ს, C წერტილი (ნახ. 16.3). 10კმ/სთ სიჩქარეზე ელექტრომაგალი გადის მიმდევრობითი შეერთების სრული ველის მახასიათებელზე; მემანქანე გადართავს წვეის ძრავებს მიმდევრობით-პარალელურ შეერთებაზე და ძალურ წრედში კვლავ შეჰყავს რეოსტატები. იმავე წვეის ძალის რეალიზაციისათვის წვეის ძრავებში კვლავ გადის დენი 595 ამპერი, მაგრამ ამ დროს წვეის ძრავების პარალელურ შტოთა რიცხვი $p = 2$ -ს, ამიტომ ელექტრომაგალის დენი იქნება $I_{\text{გლ.ა}} = 2 \times 595 = 1190$ ა. დენის მახასიათებელზე შეესაბამება D წერტილი (ნახ. 16.3). $V = 15$ კმ/სთ-ზე ელექტრომაგალის ჩაჭიდების წვეის ძალა ტოლია 51 200 კგ (ნახ. 16.2). შესაბამისად, ერთი ძრავის წვეის ძალა იქნება $\frac{51200}{8} = 6400$ კგ, რასაც ძრავას ელექტრომექანიკურ მახასიათებლებზე შეესაბამება ძრავის დენი 580ა (ნახ. 16.1). ელექტრომაგალის დენი იქნება $2 \times 580 = 1160$ ა (ნახ. 16.3-ზე E წერტილი). $V = 22$ კმ/სთ სიჩქარეზე ელექტრომაგალი გადის მიმდევრობით-პარალელური შეერთების სრული ველის ავტომატურ მახასიათებელზე და მემანქანე კვლავ გადართავს წვეის ძრავებს, ამჟამად პარალელურ შეერთებაზე. ამ სიჩქარეზე ელექტრომაგალის წვეის ძალა ტოლი იქნება 49 850კგ-ის, ერთი ძრავას წვეის ძალა $\frac{49850}{8} = 6230$ კგ-ს, რასაც ძრავას ელექტრომექანიკურ მახასიათებელზე შეესაბამება დენი 575ა, ხოლო ელექტრომაგალის დენი ტოლი იქნება მიმდევრობით-პარალელურ შეერთების სრული ველის საფეხურზე გასვლისას $I_{\text{გლ.ა}} = 2 \times 575 = 1150$ ა-ის F წერტილი (ნახ. 16.3). პარალელურ შეერთებაზე გადასვლისას $I_{\text{გლ.ა}} = 4 \times 575 = 2300$ ა-ის. დენის მახასიათებელზე G წერტილი (ნახ. 16.3). შემდეგ დენებს ვსაზღვრავთ ანალოგიურად სიჩქარეებისათვის 30, 40კმ/სთ. მივიღებთ წერტილებს H და i . K წერტილში $V = 46,7$ კმ/სთ სიჩქარის დროს (ელექტრომაგალის დენი ტოლია 2 140ა-ის) ელექტრომაგალი გადის პარალელური შეერთების სრული ველის ავტომატურ მახასიათებელზე და მასზე მუშაობს L წერტილამდე. სიჩქარის შემდგომი გაზრდისათვის მემანქანე L წერტილის შესაბამის $V = 48,5$ კმ/სთ სიჩქარეზე რთავს ველის შესუსტების პირველ საფეხურს და ელექტრომაგალის დენი იცვლება ნახტომისებურად, LM წვეტილი ხაზის შესაბამისად 1 980 ამპერიდან 2 480 ამპერამდე. M წერტილს ვპოულობთ შემდეგნაირად;

წვეის მახასიათებელზე ვშ-1 საფეხურზე გადასვლის შემდეგ ელექტრომაგლის წვეის ძალა ხდება 52300 კვ (ნახ. 16.2). შესაბამისად, ძრავას წვეის ძალა იქნება $\frac{52300}{8} = 6540$ კვ. წვეის ძრავას პარალელური შეერთების ვშ-1 ელექტრომექანიკური მახასიათებლიდან (ნახ. 16.1), ვპოულობთ ამ წვეის ძალის შესაბამის დენს 620ა. შესაბამისად, ელექტრომაგლის დენი იქნება $620 \times 4 = 2480$ ა, რასაც შეესაბამება M წერტილი. ანალოგიურად ვპოულობთ დენის მნიშვნელობებს ველის შესუსტების ვშ-2 და ვშ-3 საფეხურზე გადასვლისას. ველის შესუსტების მესამე საფეხური ვშ-3, აღებული ელექტრომაგლისათვის ითვლება საანგარიშო ავტომატურ საფეხურად. სიჩქარის ცვლილებისას ავტომატურად იცვლება ელექტრომაგლის დენი და შესაბამისად წვეის ძალა.

16.2 ცვლადი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლები

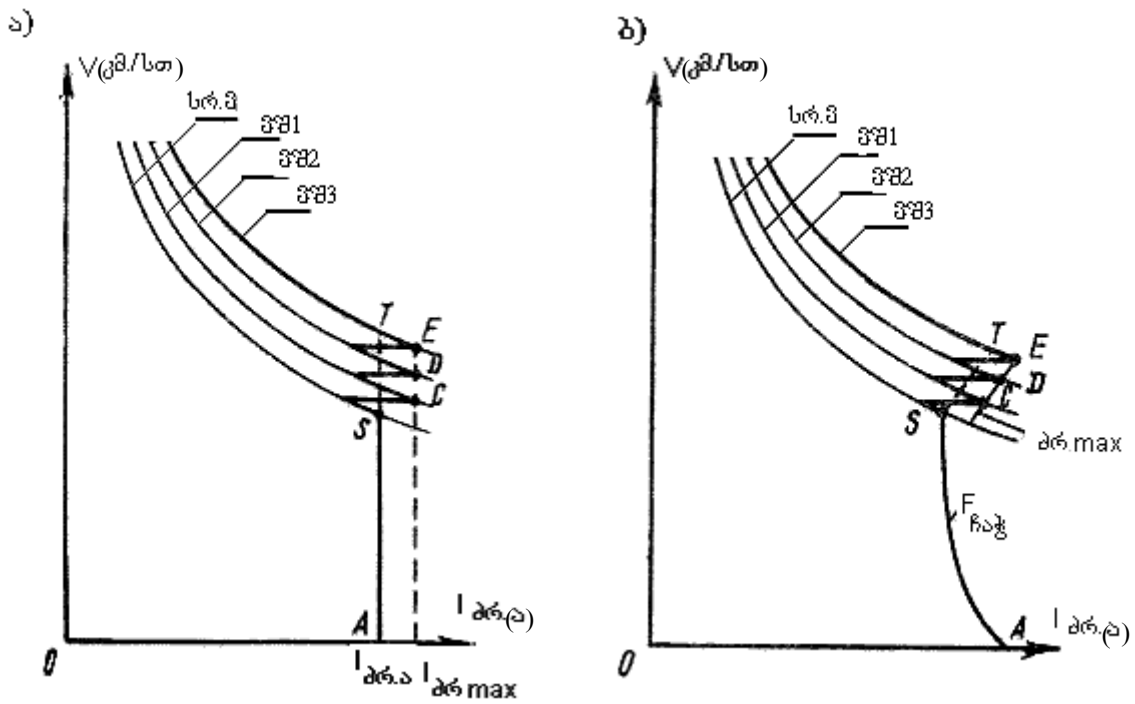
ცვლადი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობაზე, განსხვავებით მუდმივი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობისაგან, არსებობს გარდამქმნელი მოწყობილობა (წვეის ტრანსფორმატორი და გამმართველი) და, ამავე დროს, იცვლება სიმძლავრის კოეფიციენტი. აღნიშნულის გამო საჭირო ხდება ავადოთ შემდეგი დენის მრუდები:

1. $I_{\partial\partial}(S)$ – ძრავას გახურების გასაანგარიშებლად;
2. $I_{\partial\partial}(S)$ – ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილზე აქტიური დენის მომქმედი მნიშვნელობა-ელექტროენერჯის ხარჯის განსასაზღვრავად;
3. $I_d(S)$ – გამართული დენის დაყვანილი მნიშვნელობა ელექტრომოძრავების სისტემის გასაანგარიშებლად.

იმისათვის, რომ ავადოთ აღნიშნული მრუდები, საჭიროა მოცემული ვკქონდეს ძრავას სიჩქარის მახასიათებელი $V(I_{\partial\partial})$ გარდამქმნელი აგრეგატის გარე მახასიათებლის $U_{\partial\partial}(I_{\partial\partial})$ გათვალისწინებით. ამ მახასიათებელზე დატანილი უნდა იყოს შეზღუდვები ძრავას დასაშვები დენით (ნახ. 16.4 ა) და ჩაჭიდებით (ნახ. 16.4 ბ).

დენით შეზღუდვისას (ნახ. 16.4 ა) დაძვრის და გაქანების პერიოდში ვიყენებთ AS ვერტიკალის შესაბამის ამუშავების დენს $I_{\partial\partial, a}$, ველის შესუსტების საფეხურებზე გადასვლისას დასაშვებია დენის ნახტომები $I_{\partial\partial, \max}$ -მნიშვნელობამდე (C, D, E წერტილები).

ჩაჭიდებით შეზღუდვისას უნდა ავადოთ AS მრუდი (ნახ. 16.4, ბ), რომელიც გვიჩვენებს ერთი ძრავას ჩაჭიდების წვეის ძალის შესაბამისი დენის დამოკიდებულებას სიჩქარეზე. ამ მრუდს ვაგებთ ზემოთ განხილულის მსგავსად:



ნახ. 16.4. ძრავის სიჩქარის მრუდები $V(I_{პრ})$ და შეზღუდვები:
 ა) დენით, ბ) ჩაჭიდებით.

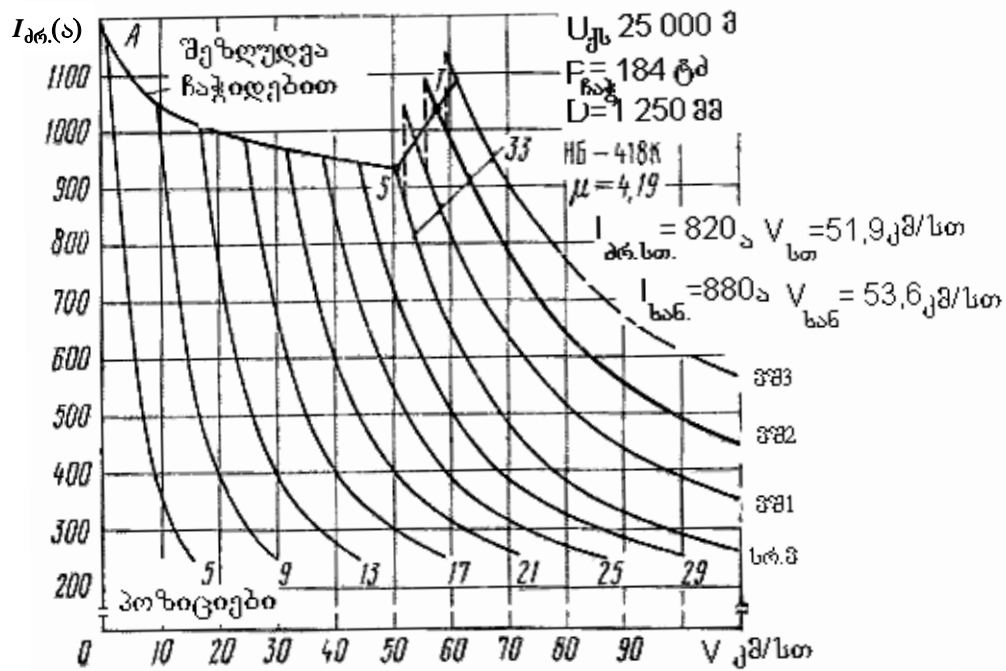
ელექტრომავლის წვეის მახასიათებლიდან 0, 5, 10, 20, 30, 40 და ა.შ. სიჩქარეებისათვის ვსაზღვრავთ ჩაჭიდების წვეის ძალის მნიშვნელობებს. მათი გაყოფით ელექტრომავლის ძრავების რიცხვზე ვიღებთ ჩაჭიდების წვეის ძალების მნიშვნელობებს ერთი ძრავასათვის, რომელთა მიხედვით წვეის ძრავას წვეის ძალის ნორმალური ველის მახასიათებლებიდან ვსაზღვრავთ ძრავას დენის მნიშვნელობას $I_{პრ.ჩაჭ}$. ანალოგიურად ვსაზღვრავთ ძრავას დენის მნიშვნელობებს ველის შესუსტების საფეხურებისათვის (C, D, E წერტილები).

16.5 ნახაზზე მოცემულია НБ-418K წვეის ძრავას (ელექტრომავლები БЛ-80^Т; БЛ-80^К) სავალი საფეხურების დენის მახასიათებლები, ჩაჭიდებით შეზღუდვის შემთხვევაში. ელექტრომავლის დენის მომქმედი მნიშვნელობა შეგვიძლია განვსაზღვროთ $I_{პრ}(V)$ -ს საფუძველზე, გარდამქმნელი აგრეგატის პარამეტრების გათვალისწინებით. წვეის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის დენის მნიშვნელობა ბოგირული სქემის შემთხვევაში (საკუთარ მოხმარებაზე ენერჯიის გაუთვალისწინებლად) გაითვლება ფორმულით

$$I_1 = \frac{I_2}{k_{\delta}}, \quad (16.1)$$

სადაც, I_2 არის ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის დენის მომქმედი მნიშვნელობა.

k_{δ} – ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.



ნახ. 16.5. BL-80^к და BL-80^რ ელექტრომავლების HН-418K წვევის ძრავას, დენის მახასიათებლები $V(I_{d0})$.

თუ ელექტრომოდრავი შემადგენლობა შედგება იდენტური n სექციისაგან, მაშინ სრული დენის მნიშვნელობა იქნება:

$$I_d = I_1 n. \quad (16.2)$$

რადგან ბოგირული სქემის დროს $I_2 = k_{\text{ვზ}} I_{\text{ბ}}$, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ

$$I_d = \frac{nk_{\text{ვზ}} I_{\text{ბ}}}{k_{\text{ბ}}}. \quad (16.3)$$

ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$k_{\text{ბ}} = \frac{0,9U_{\text{ქს}}}{U_{\text{ბ0}}}, \quad (16.4)$$

სადაც, $U_{\text{ბ0}}$ არის უქმი სვლის გამართული ძაბვა.

$U_{\text{ქს}}$ - საკონტაქტო ქსელის ძაბვა.

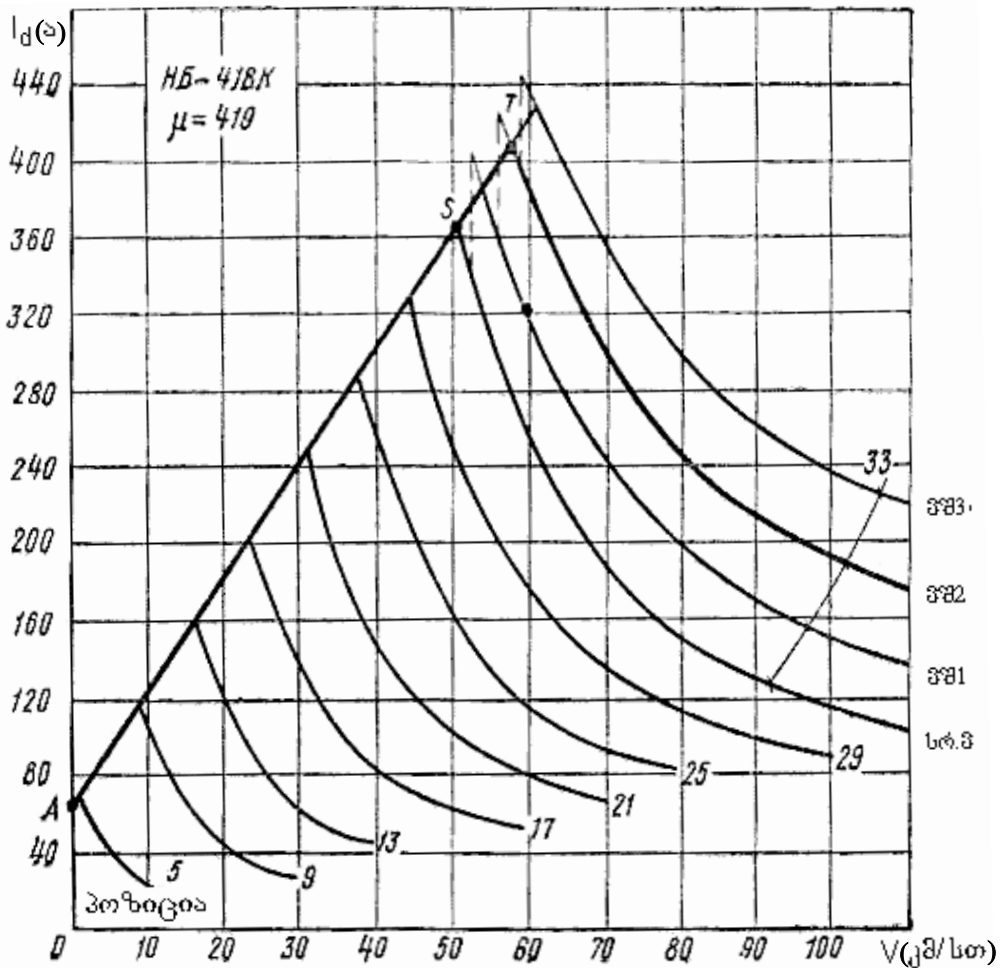
გამართული დენი $I_{\text{ბ}} = I_{d0} p$, სადაც p -ელექტრომავლის ერთ სექციაზე პარალელურ შტოთა რიცხვია. თუ შევიტანთ მნიშვნელობებს (16.2) ფორმულის გამოსახულებაში, საბოლოოდ მივიღებთ

$$I_d = \frac{pnU_{\text{ბ0}} K_{\text{ვზ}} I_{\text{ბ}}}{0,9U_{\text{ქს}}}. \quad (16.5)$$

(16.5) ფორმულის გამოყენებით ჩვენ შეგვიძლია ძრავას დენის I_{d0} ყოველი მოცემული მნიშვნელობისათვის განვსაზღვროთ ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დენი

I_d . $U_{\text{გო}}$ -ის მნიშვნელობა აიღება მოცემული საფეხურისათვის გარდამქმნელის გარე მახასიათებლიდან. ცვლადი დენის ეფექტურობის კოეფიციენტი $k_{\text{ეფ}}$ ჩვეულებრივ ტოლია 0.97.

დენის მახასიათებლებს $I_d(V)$ ავაგებთ ძრავას დენის მახასიათებლის $I_{\text{არ}}(V)$ საშუალებით და (16.5) ფორმულის გამოყენებით. აგებას ვახდენთ შემდეგი თანმიმდევრობით: დატვირთვის მთელი დიაპაზონისათვის ვუშვებთ ძრავას დენის $I_{\text{არ}}$ რამდენიმე მნიშვნელობას და ყველა სავალი საფეხურისათვის ვპოულობთ შესაბამის სიჩქარის მნიშვნელობას (პირველი კოორდინატა). შემდეგ, იგივე დენებისათვის (16.5) ფორმულით გამოვთვლით შესაბამის I_d მნიშვნელობებს. (მეორე კოორდინატა) მიღებული კოორდინატებით ვაგებთ საძიებელ $I_d(V)$ მახასიათებელს ყველა სავალი და ველის შესუსტების საფეხურისათვის (ნახ. 16.6). მახასიათებლებზე დატანილია I_d დენის შემზღუდავი A_s ხაზი, რომელიც შეესაბამება ძრავას ამუშავების დენების მნიშვნელობებს, რეგულირების ყველა სავალ საფეხურზე, მიღებულს ჩაჭიდების შეზღუდვით (იხ. A_s მრუდი ნახ. 16.5).



ნახ. 16.6. $BJI-80^T$ და $BJI-80^K$ ელექტრომაველების დენის $I_d(V)$ მახასიათებლები.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ელექტროენერჯის ხარჯი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, უნდა ავაგოთ დენის აქტიური მდგენელის მახასიათებელი $I_{d_s}(V)$. დენის აქტიური მდგენელი შეგვიძლია განვსაზღვროთ გამოსახულებით:

$$I_{d_s} = I_d \cos \varphi, \quad (16.6)$$

სადაც, $\cos \varphi$ ელექტრომოდრავი შემადგენლობის სიმძლავრის კოეფიციენტია

$$\cos \varphi = \frac{P_b}{S} = \frac{P_b}{UI} = \frac{0.9(U_b + \Delta U_{\text{ვგნტ}} + R_{\text{უკ}} I_b)}{U_{\text{გ0}} \cdot K_{\text{ვგ}}}, \quad (16.7)$$

სადაც, $\Delta U_{\text{ვგნტ}}$ არის გამმართველ ვენტილებში ძაბვის ვარდნა.

$R_{\text{უკ}}$ – ვენტილების აქტიური წინაღობა არაგამტარი მიმართულებით.

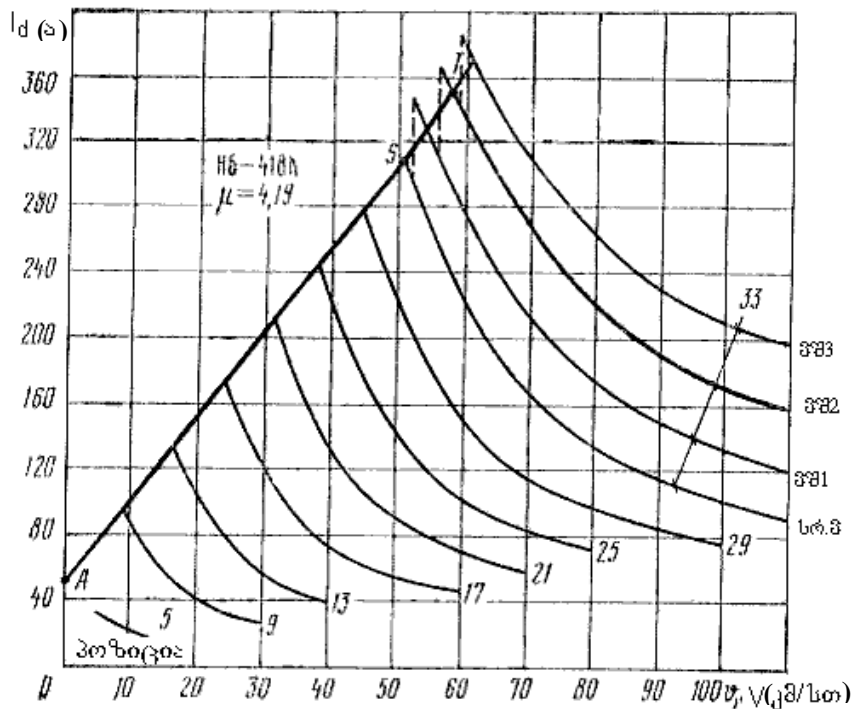
აქტიური დენი I_{d_s} შეგვიძლია გავთვალოთ უშუალოდ ძრავას დენით. ამისათვის (16.6) ფორმულაში შევიტანოთ I_d -ს მნიშვნელობას (16.5) ფორმულიდან და $\cos \varphi$ -ს მნიშვნელობა (16.7) ფორმულიდან. გამარტივების შემდეგ მივიღებთ

$$I_{d_s} = \frac{pn[U_{\text{გ0}} - (z_{\text{უკ}} - pR_{\text{უკ}})I_{\text{დრ}}]I_{\text{დრ}}}{U_{\text{ქს}}}, \quad (16.8)$$

სადაც, $z_{\text{უკ}}$ არის სტატიკური გარდამქმნელის ეკვივალენტური წინაღობა.

ძრავას დენის მახასიათებლით $V(I_{\text{დრ}})$ და (16.8) ფორმულით შეგვიძლია გავთვალოთ აქტიური დენის მნიშვნელობა და ავაგოთ ელექტრომაველის აქტიური დენის მახასიათებლები $I_{d_s}(V)$ სავალი საფეხურებისათვის (ნახ. 16.7).

ამ მახასიათებლებზე დატანილია შეზღუდვის ხაზი AS და ველის შესუსტების საფეხურებზე გადასვლის ხაზები (წყვეტილი ხაზები).



ნახ. 16.7. BJI-80^T და BJI-80^K ელექტრომაველების აქტიური დენის $I_{d_s}(V)$ მახასიათებლები.

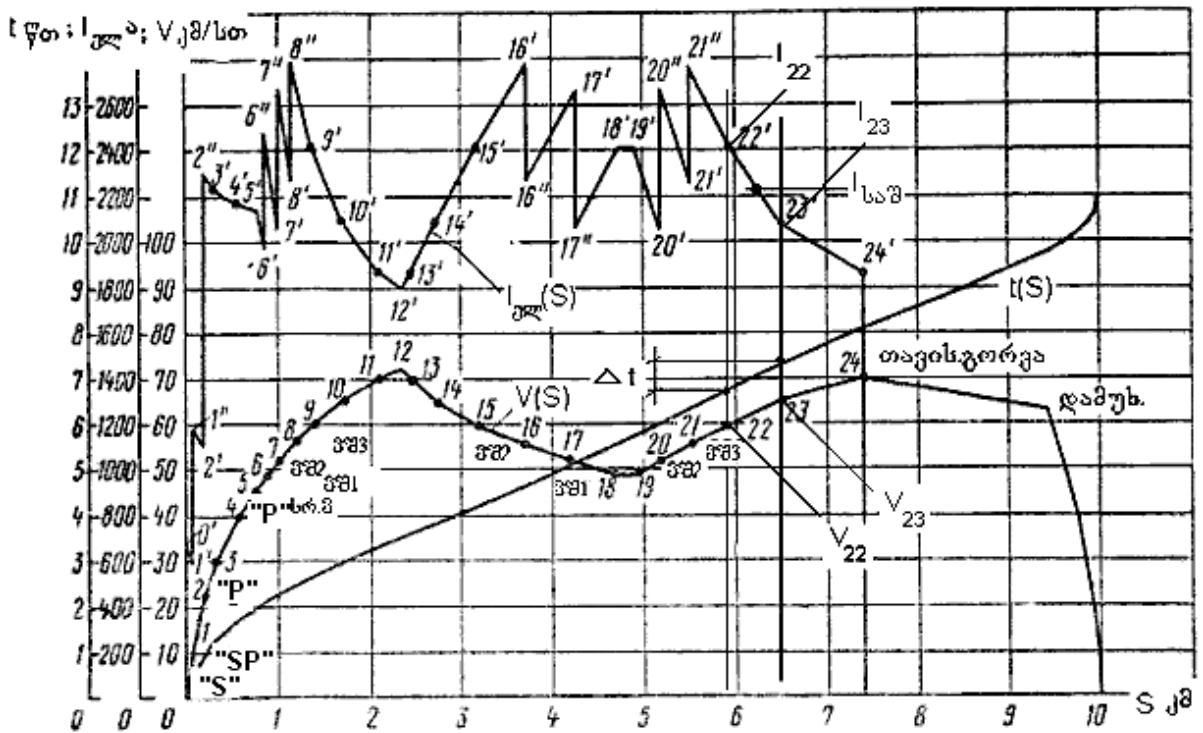
16.3. ელექტრომოძრავი შემადგენლობის მიერ მოხმარებული დენის მრუდები

მუდმივი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობისათვის დენის მრუდს $I_{ელ}(s)$ აგებენ სიჩქარის მრუდის $V(s)$ და ელექტრომაგლის დენის მახასიათებლების $I_{ელ}(V)$ საფუძველზე. დენის მრუდის აგება ხდება ორ ეტაპად:

პირველ ეტაპზე (დაძვრის და ავტომატურ მახასიათებელზე გასვლის პროცესი), დენის მრუდის აგება ხდება მუშაობის რეჟიმების ცვლილების გათვალისწინებით, ე.წ. მახასიათებელი წერტილების მიხედვით.

მეორე ეტაპზე აგებას ვახდენთ სიჩქარის მრუდზე სიჩქარის ნაზრდის ΔV საზღვრების მიხედვით. დენის მრუდის აგების მახასიათებელ წერტილებს მიეკუთვნება წერტილები, რომლებშიც იცვლება ძრავების მუშაობის რეჟიმი. განვიხილოთ დენის მრუდის აგების კონკრეტული მაგალითი.

მაგალითი: ავაგოთ დენის მრუდი $I_{ელ}(s)$ БЛ-10 ელექტრომაგლისათვის, თუ მოცემულია სიჩქარის მრუდი $V(s)$ (ნახ. 16.8) და БЛ-10 ელექტრომაგლის დენის მახასიათებლები $I_{ელ}(V)$ (ნახ. 16.3).



ნახ. 16.8. მუდმივი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობის დენის მრუდის $I_{ელ}(s)$ აგება.

БЛ-10 ელექტრომაგლის დენის მახასიათებლების მიხედვით სიჩქარეები, რომლებზეც ელექტრომაგლები მუშაობენ სხვადასხვა შეერთებზე და ველის შესუსტების სხვადასხვა საფეხურზე (ე.წ. მახასიათებელი წერტილები) შემდეგია:

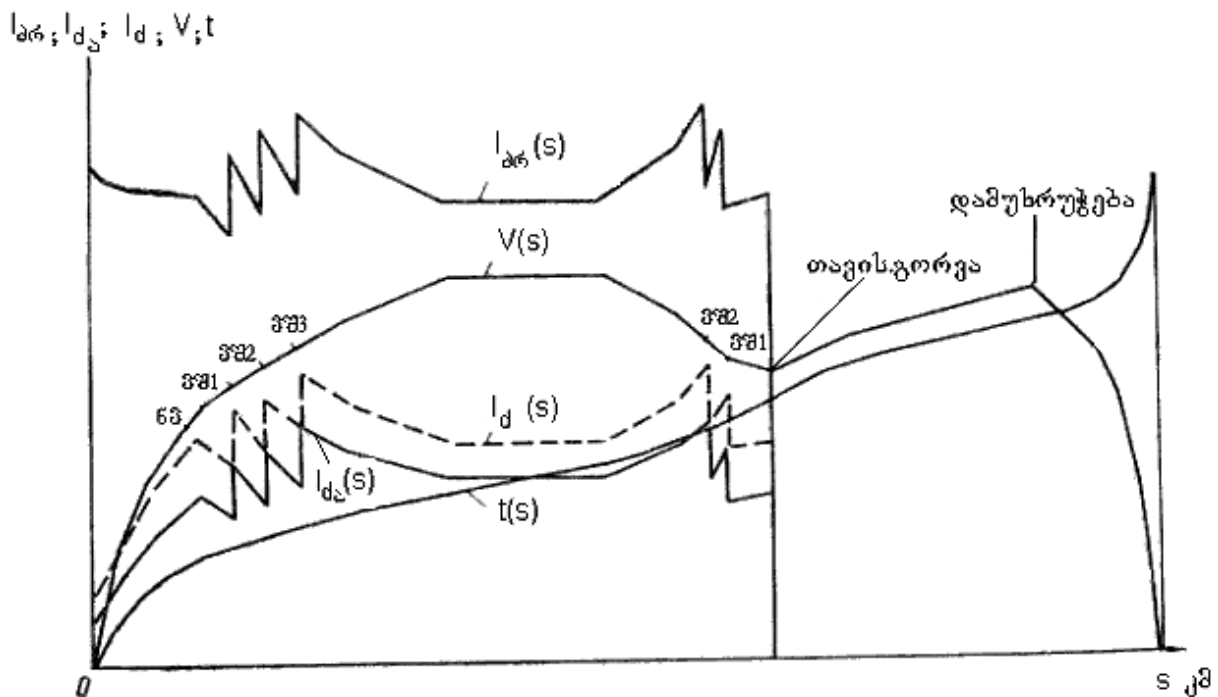
სიჩქარე – კმ/სთ	დაჯგუფება, ველის შესუსტება
0 10	სერიესული „ <i>S</i> “
10 22	სერიეს-პარალელური „ <i>SP</i> “
22 46,7	პარალელური, ჩართული რეოსტატებით
46,7 48,5	პარალელური. სრული ველი „ <i>P</i> “
48,5 52	ვშ1
52 56	ვშ2
56 და ზემოთ	ვშ3

ელექტრომაგლის დენის მახასიათებლებიდან ჩანს, რომ როდესაც $V = 0$, $I_{კლ} = 685$ ა. *A* წერტილი (ნახ. 16.3). ამ დენს გადავზომავთ მასშტაბში სადგურის ცენტრის *O* წერტილიდან, $S = 0$ -თვის (წერტილი *O'* ნახ. 16.8). $V = 10$ კმ/სთ სიჩქარეზე დენი ტოლია 595 ამპერის (*c* წერტილი, ნახ. 16.3). ამ დენს გადავზომავთ სიჩქარის მრუდის წერტილის ვერტიკალზე, რომელიც შეესაბამება სიჩქარეს 10 კმ/სთ (წერტილი *1'* ნახ. 16.8). ამ სიჩქარეზე ხდება წვევის ძრავების გადართვა სერიეს-პარალელურ შეერთებაზე (ნახ. 16.3) და დენი ორმაგდება, (1190 ა) დენის ამ მნიშვნელობას გადავზომავთ იმავე ვერტიკალზე. მივიღებთ *1''* წერტილს (ნახ. 16.8). $V = 22$ კმ/სთ სიჩქარეზე დენი ტოლია 1150 ა-ის (წერტილი *2'*). ამავე სიჩქარეზე ხდება წვევის ძრავების გადართვა პარალელურ დაჯგუფებაზე. დენი იზრდება ორჯერ (*2''* წერტილი, 2 300 ა (ნახ. 16.8). $V = 30$ კმ/სთ სიჩქარეზე დენი ტოლია 2 230 ა-ის (*3'* წერტილი). $V = 40$ კმ/სთ სიჩქარეზე დენი ტოლია 2 170 ა-ის (*4'* წერტილი). $V = 46,7$ კმ/სთ სიჩქარეზე ელექტრომაგალი გადის პარალელური შეერთების სრული ველის ურეოსტატო პოზიციაზე. დენი ტოლია 2 140 ა-ის (*5'* წერტილი) ამ სავალ საფეხურზე მოძრაობა მიმდინარეობს $V = 48,5$ კმ/სთ სიჩქარემდე, რომელსაც სრული ველის მახასიათებელზე შეესაბამება დენი 1 970 ა (*6'* წერტილი). ამავე სიჩქარეზე ხდება გადასვლა ველის შესუსტების პირველ საფეხურ-ვშ1-ზე. დენი იზრდება 2 480 ამპერამდე (*6''* წერტილი) ამ მახასიათებელზე მოძრაობისას 52 კმ/სთ სიჩქარემდე დენი მცირდება 2 060 ამპერამდე. (*7'* წერტილი) შემდეგ ვშ2-ზე გადასვლა იწვევს დენის გაზრდას 2670 ამპერამდე (*7''* წერტილი). ვშ2 – მახასიათებელზე მოძრაობა 56 კმ/სთ სიჩქარემდე იწვევს დენის შემცირებას 2 270 ამპერამდე (*8'* წერტილი). ვშ3-ზე გადასვლა იწვევს დენის გაზრდას 2 780 ამპერამდე (*8''* წერტილი). სიჩქარის 60 კმ/სთ-მდე გაზრდისას ელექტრომაგლის მიერ მოხმარებული დენი მცირდება 2 420 ამპერამდე (*9'* წერტილი). 65 კმ/სთ სიჩქარეზე დენი ტოლია 2 090 ამპერის (*10'* წერტილი). 70 კმ/სთ სიჩქარეზე 1870

ამპერის (11' წერტილი) 72კმ/სთ სიჩქარეზე 1 800 ამპერის (12' წერტილი). შემდეგ მატარებელი იწყებს მოძრაობას აღმართზე და სიჩქარე იწყებს კლებას, შესაბამისად იზრდება დენის მნიშვნელობა. 16 წერტილში (სიჩქარის მრუდზე), სიჩქარე მცირდება 56 კმ/სთ-მდე, ხოლო დენი იზრდება 2 780 ამპერამდე (16' წერტილი) ამ სიჩქარეზე ხდება უკუ გადასვლა ველის შესუსტების მესამე საფეხურიდან, მეორე საფეხურზე, რის გამოც დენი საწყისში მცირდება 2 270 ამპერამდე (16" წერტილი), ხოლო სიჩქარის შემდგომი შემცირებისას აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას 2 670ა. ამ სიჩქარეზე ხდება გადასვლა ვმ1 საფეხურზე. დენი მცირდება 2 600 ამპერამდე და ა.შ. სიჩქარის მრუდის 18-19 წერტილებს შორის სიჩქარე უცვლელია და ტოლია 49კმ/სთ. რა თქმა უნდა, დენიც უცვლელია და ტოლია 2 420ა-ის. 24 წერტილში წვეის რეჟიმი გამოირთვება და მიმდინარეობს თავისუფალი გორვა. შესაბამისად დენის მოხმარება წყდება და უტოლდება 0-ს.

თუ მიღებულ 1', 2', 3' და ა.შ. წერტილებს შევადერთებთ სწორი ხაზებით მივიღებთ ტეხილს, რომელიც გვიჩვენებს საძიებელ დენის მრუდს $I_{კლ}(s)$ (ნახ. 16.8).

თუ გამოვიყენებთ დენის მახასიათებლებს $I_{კლ}(V)$; $I_{d_3}(V)$ და $I_d(V)$ და სიჩქარის წინასწარ აგებულ მრუდს $V(s)$, შეგვიძლია იმავე მეთოდით ავაგოთ დენის მრუდები $I_{კლ}(S)$; $I_{d_3}(S)$; $I_d(S)$ - ერთფაზა ცვლადი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობისათვის (ნახ. 16.9).



ნახ. 16.9. ერთფაზა ცვლადი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობისათვის $I_{კლ}(S)$, $I_{d_3}(S)$, $I_d(S)$ - დენის მრუდების აგება.

XVII თავი

წვევის ძრავების გახურება

17.1. ზოგადი ცნობები ელექტრული მანქანების გახურების შესახებ

ზოგადად, ელექტრული მანქანები და კერძოდ, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის წვევის ძრავები ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნიან მექანიკურ მუშაობად, რასაც თან სდევს ენერგიის დანაკარგები ძრავაში; ეს კი იწვევს მისი ცალკეული კვანძების და დეტალების გახურებას. წვევის ძრავების გახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია მათში სიმძლავრის დანაკარგების რაოდენობაზე, მათ ხანგრძლივობაზე და გაგრილების ინტენსივობაზე. ქსელში უცვლელი ძაბვის პირობებში, სიმძლავრის დანაკარგები ძრავაში დამოკიდებულია ძრავას დატვირთვაზე, ანუ იგივე დატვირთვის დენზე. ე.ი. რაც მეტადაა დატვირთული ძრავა, მით მეტ დენს მოიხმარს, მით მეტია მასში დანაკარგები და, შესაბამისად, მით მეტად ხურდება მისი ნაწილები, პირველ რიგში გრაგნილები და კოლექტორი.

წვევის ძრავების გრაგნილების გახურების შემცირების მიზნით, მათ აგრილებენ. ე.წ. იძულებითი გაგრილების სქემის დროს, სპეციალური მოტორ-ვენტილატორები ქმნიან გამაგრილებელი ჰაერის ნაკადს, რომელიც მიმართულია მანქანის შიგნით და ართმევს სითბოს გარკვეულ ნაწილს. ასეთი გაგრილების სისტემებში ადგენენ გამაგრილებელი ჰაერის რაოდენობრივ ნორმებს Q_3 . თვითგაგრილების მქონე ელექტროძრავებში, სადაც ვენტილატორის ფრთა დასმულია ძრავას ღერძზე; ვენტილაციის ხარისხი დამოკიდებულია ძრავას ბრუნთა რიცხვზე, ანუ მოძრობის სიჩქარეზე.

წვევის ძრავების გახურების ტემპერატურა იზღუდება მასში გამოყენებული საიზოლაციო მასალების დასაშვები ტემპერატურით. დიდი დატვირთვებისას, მაღალი ტემპერატურების გამოყოფის გამო, ინტენსიურად ბერდება საიზოლაციო მასალები და კარგავენ საიზოლაციო თვისებებს.

დღეისათვის წვევის ძრავებში გამოყენებულია სხვადასხვა კლასის საიზოლაციო მასალები, რის გამოც ისინი უშვებენ სხვადასხვა გახურების ტემპერატურას. მაგალითად, B კლასის საიზოლაციო მასალები, რომლებიც დამზადებულია სხვადასხვა ნავთობბითუმის და სინთეტიკური ლაქების ბაზაზე, ნაკლებად სითბომედეგია. მაღალი სითბომედეგობით ხასიათდება F კლასის საიზოლაციო მასალები, რომლებიც დამზადებულია ახალი სინთეტიკური და მინაქსოვილების ბაზაზე. კიდევ უფრო თბომედეგია H კლასის საიზოლაციო მასალები, რომლებიც დამზადებულია კაუ-

ბადორგანული და მინაქსოვილის ნარევების ბაზაზე. ქვემოთ მოგვყავს გახურების დასაშვები ტემპერატურების იზოლაციის კლასზე დამოკიდებულების ცხრილი.

იზოლაციის კლასი	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>H</i>
ღუზის გრაგნილის იზოლაცია	145°C	165°C	185°C
პოლუსების გრაგნილების ტემპერატურა	155°C	180°C	205°C

დიდი დენების დროს წვევის ძრავები მაქსიმალურ დასაშვებ ტემპერატურამდე სწრაფად ხურდება, ხოლო მცირე დენების დროს (დანაკარგების სიმცირის გამო) ნელა. გამოყოფენ წვევის ძრავების მუშაობის ორ რეჟიმს:

- ხანგრძლივს,
- საათურს.

ხანგრძლივ რეჟიმს (დენს) შეესაბამება წვევის ძრავების დატვირთვის ისეთი რეჟიმი (დენი), როდესაც ნომინალური ძაბვის და ნორმალურად მომუშავე ვენტილაციის პირობებში, ხანგრძლივ რეჟიმში მუშაობისას გახურების ტემპერატურა არ გადააჭარბებს დასაშვებ მნიშვნელობას.

საათურ რეჟიმს (დენს) შეესაბამება წვევის ძრავების დატვირთვის ისეთი რეჟიმი (დენი), როდესაც ნომინალური ძაბვის და ნორმალურად მომუშავე ვენტილაციის პირობებში, ერთი საათის განმავლობაში მუშაობისას გახურების ტემპერატურა არ გადააჭარბებს დასაშვებ მნიშვნელობას.

სითბომედეგი საიზოლაციო მასალების გამოყენებას უნდა მიექცეს დიდი ყურადღება, რადგან მათი გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს მანქანის გაბარიტებს, ან იგივე გაბარიტების შემთხვევაში იძლევა დიდი სიმძლავრეების (15-20%-ით მეტი) რეალიზაციის შესაძლებლობას.

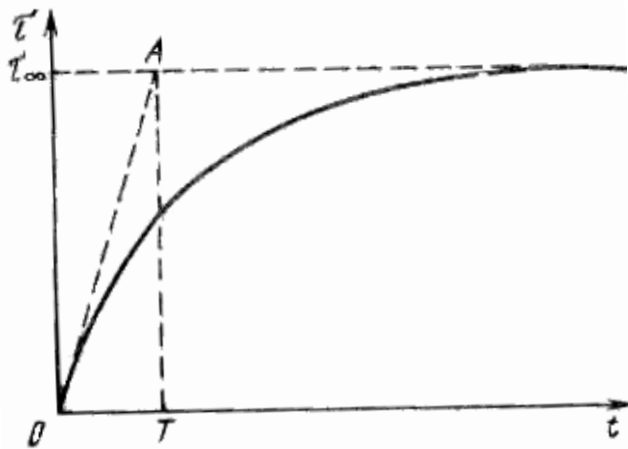
17.2. წვევის ძრავების გახურების გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი

წვევის ელექტრული მანქანების გახურების გაანგარიშებისას განსაზღვრავენ მანქანის ყველაზე გახურებული ნაწილის (ჩვეულებრივ, როგორც წესი, ღუზის ან მთავარი პოლუსების კოჭების) ტემპერატურის გადამეტებას გარემო ჰაერის ტემპერატურაზე.

სტენდებზე არაერთმა გამოცდამ აჩვენა, რომ ძრავების გახურება მიმდინარეობს ფიზიკის კურსიდან ცნობილი ერთგვაროვანი სხეულის გახურების კანონის შესაბამისად.

ერთგვაროვანი სხეულის გახურების თეორიის თანახმად, გახურების პროცესში გამოყოფილი თბური ენერჯის ნაწილი, სხეულის სითბოტევადობის გამო, რჩება

მასში და იწვევს მისი ტემპერატურის ამაღლებას, ხოლო ამ ენერგიის ნაწილი სხეულის სითბოგაცემის უნარის გამო გადაეცემა გარემოს.



ნახ. 17.1. წვეის ძრავას ტემპერატურის ცვლილება დროის მიხედვით, უცვლელი დატვირთვის დროს.

განვიხილოთ წვეის ძრავას გრაგნილის გახურების ტემპერატურის ცვლილება t დროის განმავლობაში, უცვლელი დატვირთვის და სითბოგაცემის პირობებში.

პროცესის დასაწყისში, როდესაც ძრავას ტემპერატურა ახლოსაა გარემოს ტემპერატურასთან, გახურების პროცესი მიდის ინტენსიურად, რადგან მთელი გამოყოფილი სითბო ძრავას დიდი სითბოტევადობის გამო რჩება ძრავაში და იწვევს მისი ტემპერატურის ინტენსიურ

ზრდას. ტემპერატურის ზრდისას, სითბოგაცემის უნარის გამო, განუწყვეტლივ იზრდება გარემოზე გადაცემული სითბოს წილი და დგება ისეთი მომენტი, როდესაც გამოყოფილი სითბო მთლიანად გადაეცემა გარემოს. ეს ნიშნავს იმას, რომ გახურების ტემპერატურა დამყარდა. სითბოგაცემის არარსებობის შემთხვევაში გახურების პროცესი წავიდოდა OA ხაზის მიხედვით (ნახ. 17.1).

ძრავას გახურების პროცესის ანალიზის გაიოლების მიზნით შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

C – ძრავას სითბოტევადობა, ანუ სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა მისი ტემპერატურის 1°C -ით ასამაღლებლად;

A – ძრავას სითბოგაცემა, ანუ სითბოს რაოდენობა, რომელიც გადაეცემა ძრავადან გარემოს დროის ერთეულში, ტემპერატურის 1°C -ით სხვაობისას;

τ – ძრავას ტემპერატურის გადამეტება გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურაზე გრადუსებში;

θ – დროის ერთეულებში ძრავას მიერ გამოყოფილი სითბოს საერთო რაოდენობა.

თუ სითბოს რაოდენობა გაიზომება კილოკალორიებში, მაშინ ზემოთ მოყვანილ სიდიდეების განზომილებები იქნება: θ – კკალ/წმ; C – კკალ/ $^{\circ}\text{C}$; A – კკალ/წმ $^{\circ}\text{C}$.

ძრავას მიერ გამოყოფილი სითბოს საერთო რაოდენობა

$$\theta = 0,24 \sum \Delta P \text{ კკალ/წმ,} \quad (17.1)$$

სადაც, $\sum \Delta P$ არის ძრავაში ჯამური დანაკარგები კვტ-ში.

ძრავას უცვლელი დატვირთვით მუშაობისას თბური ბალანსის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე

$$\theta dt = A \tau dt + C d\tau \quad \text{კკალ.} \quad (17.2)$$

გახურების პროცესი ხასიათდება დამოკიდებულებით გახურების ტემპერატურისა და დროს შორის $\tau(t)$. (17.2) განტოლების საფუძველზე ვიპოვოთ ეს დამოკიდებულება. ამისათვის პირველ რიგში განვაცალკევოთ ცვლადები, მივიღებთ

$$(\theta - A\tau)dt = C d\tau$$

აქედან ვწერთ
$$dt = \frac{C d\tau}{(\theta - A\tau)}.$$

ინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ
$$t = -\frac{C \ln(\theta - A\tau)}{A} + K. \quad (17.3)$$

განვსაზღვროთ ინტეგრირების მუდმივა K საწყისი პირობიდან, როდესაც $t=0$, გახურების ტემპერატურა $\tau = \tau_0$ და $K = C \ln(\theta - A\tau_0)$. თუ K -ს მნიშვნელობას ჩავსვამთ (17.3) ფორმულაში მივიღებთ:

$$t = -\frac{C[\ln(\theta - A\tau) - \ln(\theta - A\tau_0)]}{A} = -\frac{C}{A} \left[\frac{\ln(\theta - A\tau)}{(\theta - A\tau_0)} \right]. \quad (17.4)$$

ამოვხსნათ (17.4) განტოლება τ -ს მიმართ.

თუ მოვახდენთ მიღებული განტოლების ორივე მხარის ინტეგრირებას, მივიღებთ:

$$e^{-\frac{A}{C}t} = \frac{(\theta - A\tau)}{(\theta - A\tau_0)}.$$

აქედან
$$\tau = \frac{\theta}{A} \left(1 - e^{-\frac{tA}{C}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{tA}{C}}. \quad (17.5)$$

(17.5) ტოლობაში შემოვიღებთ აღნიშვნებს $\frac{C}{A} = T$; $\frac{\theta}{A} = \tau_\infty$, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\tau = \tau_\infty (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}, \quad (17.6)$$

სადაც, e არის ნატურალური ლოგარითმის ფუძე.

T - დროის თბური მუდმივა. ესაა პირობითი დრო, რომლის განმავლობაში ძრავა გახურდება დამყარებულ ტემპერატურამდე სითბოგაცემის არარსებობის პირობებში.

τ_0 - საანგარიშო პერიოდში გახურების საწყისი ტემპერატურა, °C.

ძრავას გამორთვის შემთხვევაში, როცა $l=0$, შესაბამისად $\tau_\infty = 0$, სითბოს გამოყოფა წყდება და მიმდინარეობს ძრავას გაგრილება:

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}. \quad (17.7)$$

(17.6) და (17.7) ფორმულით გახურების ტემპერატურების გაანგარიშება გარკვეულ სირთულეებთან იყო დაკავშირებული (დღეისათვის კომპიუტერების მასობრივი

გამოყენების ხანაში ეს სირთულეები არაა). ამიტომ, პრაქტიკაში იყენებენ გამარტივებულ ფორმულებს, რომლებიც $\frac{\Delta t}{T} < 0,1$ პირობის დაცვისას იძლევა საკმარის სიზუსტეს. კერძოდ, გახურების რეჟიმისთვის

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right). \quad (17.8)$$

გაგრილების რეჟიმისთვის
$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), \quad (17.9)$$

სადაც, Δt დროის ინტერვალია, რომელშიც ვანგარიშობთ გახურებას (გაგრილებას), აიღება $\Delta t/T < 0,1$ პირობის დაცვით.

T, τ_{∞} არის მოცემული ძრავას თბური პარამეტრები, რომლებიც დგინდება სტენდზე გამოცდის შედეგად და მოცემულია პასპორტით.

ძრავას გახურების საბოლოო ტემპერატურა გარემოს ტემპერატურის გათვალისწინებით იქნება:

$$T_{\text{გახ.}} = \tau + t_{\text{ჰაერი}}.$$

გარემო ჰაერის ტემპერატურა საანგარიშოდ აიღება 25°C -ის ტოლი.

თუ ელექტრომოდრავი შემადგენლობა მუშაობას იწყებს ხანგრძლივი დგომის შემდეგ, საწყის ტემპერატურად იღებენ $+15^{\circ}\text{C}$.

T, τ_{∞} თბური პარამეტრები სტენდზე გადაღებულია ნომინალური ვენტილაციის პირობებში. თუ ვენტილატორი გამორთულია, მაშინ T აიღება 3-ჯერ მეტი, რადგან სითბოგადაცემა იქნება გაცილებით ნაკლები.

ძრავას დენის მნიშვნელობები აიღება ცვლადი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობისათვის $I_{\text{ძრ.}}(s)$, ხოლო მუდმივი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობისათვის $I_{\text{ელ.}}(s)$ მრუდებიდან. ამ უკანასკნელის შემთხვევაში ძრავას დენი იანგარიშება ფორმულით:

$$I_{\text{ძრ.}} = \frac{I_{\text{ელ.}}}{p},$$

სადაც, p არის ძრავების პარალელურ შტოთა რიცხვი.

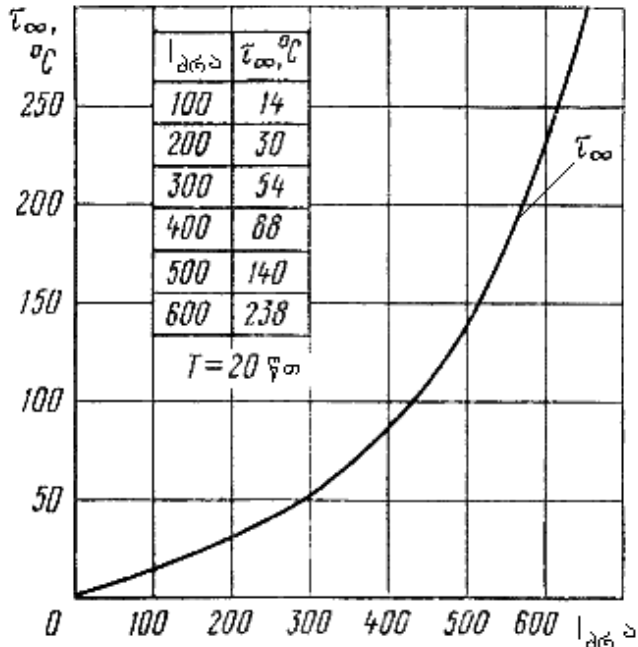
თუ აღებული Δt ინტერვალის ფარგლებში დენი იცვლება $I_{\text{ძრ.1}} - I_{\text{ძრ.2}}$ ფარგლებში, აიღება საშუალო მნიშვნელობის ტოლი

$$I_{\text{ძრ.საშ.}} = \frac{I_{\text{ძრ.1}} + I_{\text{ძრ.2}}}{2}.$$

ძრავას დენის მიღებული მნიშვნელობისთვის ვსაზღვრავთ თბურ პარამეტრებს T, τ_{∞} (ნახ. 17.2) და (17.8) ფორმულით ვანგარიშობთ გახურებას, პირველი ინტერვა-

ლისათვის. შემდეგი ინტერვალისათვის საწყის ტემპერატურად ვიღებთ წინა ინტერვალის ბოლო ტემპერატურას და ასე ვაგრძელებთ ანგარიშს. იქ სადაც წყდება დენის მოხმარება, იწყება გაგრილება და ვიყენებთ (17.9) ფორმულას.

რეკუპერაციული ან რეოსტატული დამუხრუჭების პირობებში ანგარიშს ვაწარმოებთ ისევე, როგორც წვეის რეჟიმში.



ნახ. 17.2. TL-2K წვეის ძრავას საკომპენსაციო გრაფილის თბური პარამეტრები $Q=95$ მ³/წთ გამაგრებული ჰაერის პირობებში.

მაგალითი: გაანგარიშების კონკრეტული მაგალითი. გაანგარიშებას ვახდენთ ცხრილის სახით. (იხ. ცხრილი 17.1) ცხრილის მე-2 გრაფას ვავსებთ სიჩქარის მრუდის $V(S)$ გაანალიზებით. მე-3 გრაფის მონაცემებს ვიღებთ დენის $I_{\text{ინ}}(s)$ მრუდიდან. მე-4 გრაფის მონაცემებს ვიღებთ დროის $t(s)$ მრუდიდან. მე-5 და მე-6 გრაფის მონაცემებს ვიღებთ თბური პარამეტრების მრუდიდან.

გრაფა ვავსებთ წვეის მრუდეების ანალიზით. გარემოს ტემპერატურას ვიღებთ +25°C.

ცხრილი 17.1

№	რეჟიმი	l/s	$\Delta t_{\text{წთ}}$	$t_{\infty}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{წთ}}$	$\frac{\Delta t}{T}$	$t_{\infty}, ^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t}{1-T}$	$t_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right), ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$
1	წვეის	1020	1,6	176	23	0,0697	12,7	0,9303	23,3	36,0
2	—	980	0,5	160	23	0,0228	3,65	0,9772	35,2	38,85
3	—	940	1,9	143	23	0,0620	8,87	0,9380	36,5	45,37
4	—	900	0,7	137	23	0,0304	4,16	0,9696	44,0	48,16
5	—	920	0,9	155	23	0,0391	6,07	0,9609	46,3	52,37
6	—	800	1,1	114	23	0,0495	5,64	0,9505	49,8	55,44
7	—	720	2,0	100	23	0,0870	8,70	0,9130	50,6	59,30
8	—	630	1,7	82	23	0,0740	6,07	0,9260	55,0	61,07
9	თავის. გორვა	0	2,2	0	23	0,0957	0	0,9043	55,8	55,8
		415	1,8	55	23	0,0782	4,30	0,9218	51,5	55,8
10	რეოსტატული									
11	დამუხრუჭება	780	1,3	107	23	0,0565	6,04	0,9435	52,8	58,84
12	—	610	2,1	80	23	0,0913	7,30	0,9087	53,4	61,10

ელექტრომაგლის დაძვრა ხდება ძრავას დენით 1 020ა. ეს დენი ძრავაში გადის 1.6 წთ-ის განმავლობაში. აღნიშნული დენისათვის ვსაზღვრავთ თბურ პარამეტრებს $T = 23$ წთ, $\tau_{\infty} = 182^{\circ}\text{C}$. თუ ჩავსვამთ მნიშვნელობებს (17.3) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) = 182 \frac{1,6}{23} + 25 \left(1 - \frac{1,6}{23}\right) = 12,66 + 23,66 = 35,92 = 36^{\circ}\text{C}.$$

ანალოგიურად ვაკეთებთ ანგარიშს მეორე ინტერვალისათვის, ოღონდ საწყის ტემპერატურად ვიღებთ $\tau_0 = 36^{\circ}\text{C}$ და ა.შ. მე-8 ინტერვალზე ელექტრომაგალი წყვეტს დენის მოხმარებას (თავისუფალი გორვის რეჟიმი) და გაანგარიშებას ვახდენთ გაგრილების (17.4) ფორმულით.

ცხრილის მე-11-ე გრაფის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის ყველაზე დიდი გადახრება შეადგენს $61,1^{\circ}\text{C}$. გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა ტოლია

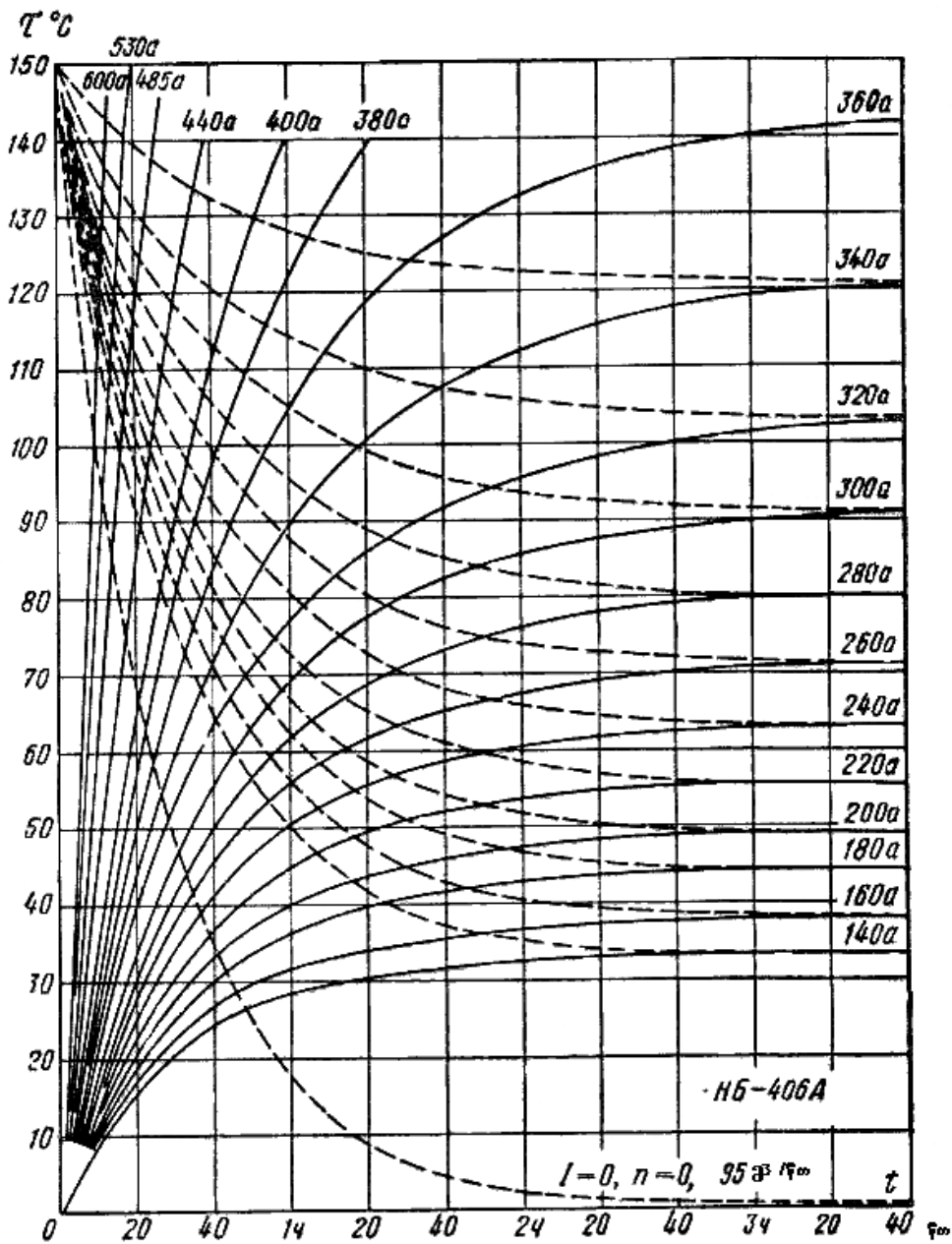
$$\tau_{\text{გახ.}} = \tau + t_{\text{ჰაერი}} = 61,1 + 25 = 86,1^{\circ}\text{C}.$$

17.3. წვეის ძრავების გახურების გაანგარიშების გრაფიკული მეთოდი, ტემპერატურული მრუდების ბადის გამოყენებით

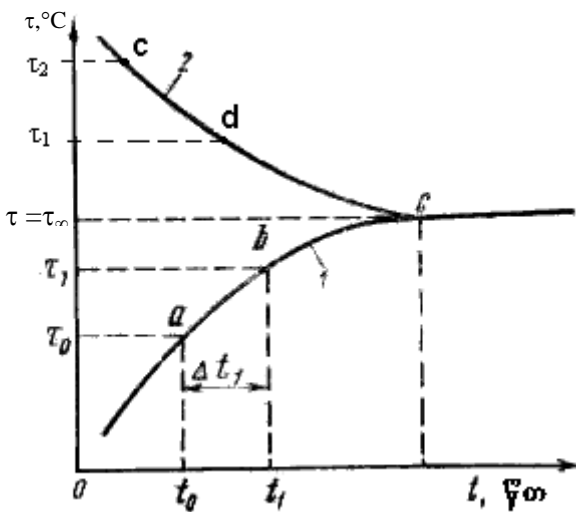
ყოველი სერიული ძრავისათვის გამოსაცდელ სტენდზე განსაზღვრავენ გახურების და გაგრილების ტემპერატურას დატვირთვის დენების და მათი მოხმარების ხანგრძლივობის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის და მიღებული მონაცემებით აგებენ გახურების და გაგრილების მრუდებს ე.წ. ტემპერატურულ ბადეებს $\tau(t)$ (ნახ. 17.3).

ტემპერატურული ბადის გამოყენების ასახსნელად, სიმარტივისათვის განვიხილოთ 17.4 ნახაზზე მოცემული $\tau(t)$ მრუდები, რომლებიც აგებულია ძრავას რაღაც კონკრეტული დენის მნიშვნელობისათვის. ნახაზზე პირველი მრუდი შეესაბამება გახურების პროცესს, ხოლო მე-2 მრუდი გაგრილების პროცესს. პირველი მრუდიდან ჩანს, რომ დასაწყისში $\Delta t = t_1 - t_0$ დროის განმავლობაში ძრავას ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება τ_0 მნიშვნელობიდან τ_1 მნიშვნელობამდე (ab ტრაექტორია). შემდეგ გახურების ინტენსივობა მცირდება და c წერტილში მისი მატება წყდება. ამ მომენტში გახურების ტემპერატურა უტოლდება დამყარებული ტემპერატურის მნიშვნელობას $\tau = \tau_{\infty}$.

გაგრილების მე-2 მრუდიდან ჩანს, რომ საწყის ეტაპზე ტემპერატურა მკვეთრად ეცემა τ_2 -დან τ_1 -მდე (ტრაექტორია cd) და როცა $\tau = \tau_{\infty}$, ტემპერატურის დაცემა წყდება.

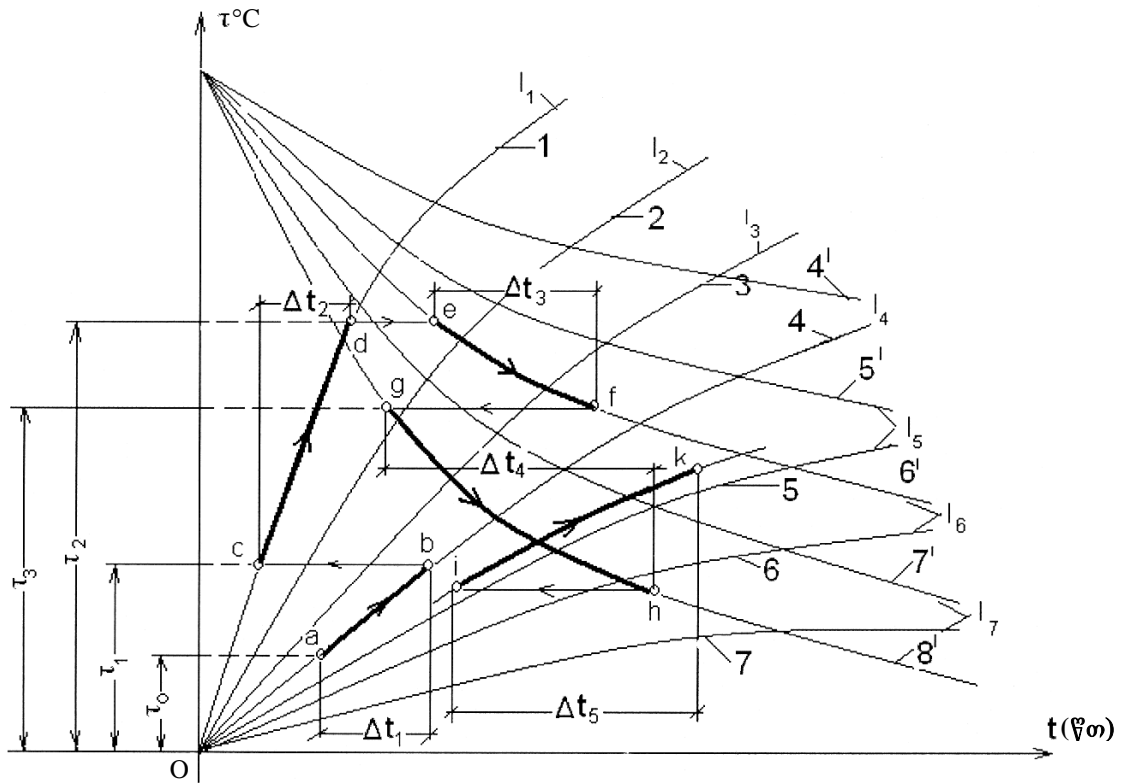


ნახ. 17.3



ნახ. 17.4

განვიხილოთ გაანგარიშების თანმიმდევრობა ნახ. 17.5-ზე მოცემული ტემპერატურული ბადის მაგალითზე. წინასწარ ვაანალიზებთ წვეის ანგარიშებით მიღებულ დენის $I_{ელ.}(s)$ და დროის $t(s)$ მრუდეებს და ვსაზღვრავთ ძრავას დენის საშუალო მნიშვნელობებს $I_{ძრ.1}, I_{ძრ.2}, I_{ძრ.3}, \dots, I_{ძრ.n}$ და მათი მოხმარების ხანგრძლივობებს $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots, \Delta t_n$.



ნახ. 17.5

$I_{\text{ძრ.1}}$ ძრავას დენის მნიშვნელობისთვის ბადეზე (ნახ. 17.5) ვპოულობთ შესაბამის მრუდს, ვთქვათ $I_{\text{ძრ.1}} = I_4$ (მე-4 მრუდს). ამ მრუდზე ძრავას საწყის ტემპერატურას τ_0 -ს შესაბამეობა a წერტილი, რომლისგანაც პორიზონტალურად გადავდებთ ამ დენის მოხმარების ხანგრძლივობას Δt_1 -ს და ვპოულობთ b წერტილს, რომელიც შესაბამეობა გახურების τ_1 ტემპერატურას. ე.ი. ძრავაში $I_{\text{ძრ.1}}$ დენის Δt_1 დროის განმავლობაში გავლისას, ძრავას ტემპერატურა გაიზრდება τ_0 -დან τ_1 -მდე (ab ტრაექტორიით). თუ მეორე ინტერვალისთვის ძრავას დენის საშუალო მნიშვნელობა გახდა I_1 -ის ტოლი (1 მრუდი), ხოლო მისი მოხმარების ხანგრძლივობა Δt_2 , მაშინ ამ ინტერვალისთვის საწყისი ტემპერატურა იქნება τ_1 , რასაც პირველ მრუდზე შესაბამეობა c წერტილი, საიდანაც გადავდებთ Δt_2 დროს და ვიპოვიით d წერტილს. ე.ი. ძრავაში $I_{\text{ძრ.2}}$ დენის Δt_2 დროის განმავლობაში გავლისას, ძრავა გახურდება τ_1 -დან τ_2 -მდე (cd ტრაექტორიით). თუ მესამე ინტერვალში ძრავას მიერ მოხმარებული საშუალო დენი $I_{\text{ძრ.3}}$ იქნება ტოლი I_6 -ის და აღმოჩნდება $I_{\text{ძრ.2}}$ -ზე ნაკლები, მაშინ ძრავა დაიწყებს გაგრილებას $6'$ მრუდის შესაბამისად. ამისთვის, d წერტილი გადაგვაქვს $6'$ მრუდზე e წერტილში, საიდანაც გადავდებთ ამ დენის მოხმარების დროს Δt_3 -ს და ვპოულობთ f წერტილს, რომელსაც შესაბამეობა ტემპერატურა τ_3 . ე.ი.

შემცირებული $I_{\text{პრ3}}$ დენის გაგლის დროს ძრავა Δt_3 დროის განმავლობაში გაგრილდა τ_2 -დან τ_3 -მდე (*ef* ტრაექტორიით). აღწერილი მეთოდით ვაგრძელებთ გათვლებს. თუ ძრავას დენის რაიმე k საშუალო მნიშვნელობისათვის $I_{\text{პრk}}$, შესაბამისი მრუდი არ აღმოჩნდება ბადეზე, მიემართავთ ინტერპოლაციის ხერხს, ისე როგორც ეს ნახვენებია 17.5 ნახაზზე Δt_5 ინტერვალისათვის.

მიუხედავად იმისა, რომ წინამდებარე მეთოდი იყენებს ექსპერიმენტულად გადაღებულ მრუდეებს, ის მაინც არ იძლევა გაანგარიშების საკმარის სიზუსტეს, რადგან არ ითვალისწინებს ტემპერატურის ფაქტიურ გადანაწილებას ძრავის ცალკეულ კვანძებს შორის.

XVIII ოპი

ელექტროენერჯის ხარჯის გაანგარიშება

18.1. მატარებელთა წვევაზე დახარჯული ელექტროენერჯის გრაფიკულიზური გაანგარიშება

ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯია იხარჯება: მატარებლის გადაადგილებაზე (წვევაზე), ელექტრომოდრავი შემადგენლობის გადაადგილებაზე დეპოსა და სადგურის ხაზებზე მანევრირებისას და საკუთარ მოხმარებაზე. ელექტროენერჯის ნაწილი იხარჯება დანაკარგებზე თვით ელექტრომოდრავ შემადგენლობაში და მოძრაობის დროს წარმოქმნილი დანაკარგების დაფარვაზე.

მატარებელთა წვევაზე ელექტროენერჯის ხარჯი შეიძლება განისაზღვროს რამდენიმე ხერხით. მათ შორის ერთ-ერთი პოპულარული გრაფიკულიზური მეთოდი ემყარება მოძრაობის (სიჩქარის, დროის და დენის) მრუდების გამოყენებას.

ელექტრული რკინიგზების მუდმივი დენის სისტემებში, მატარებელთა წვევაზე ელექტროენერჯის ხარჯი დამოკიდებულია საკონტაქტო ქსელში ძაბვის $U_{ქს}$ სიდიდეზე, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მიერ მოხმარებულ I დენზე და ამ დენის მოხმარების ხანგრძლივობაზე Δt -ზე.

18.1 ნახაზზე ნაჩვენებია მოძრაობის სიჩქარის და მოხმარებული დენის ცვლილება დროის მიხედვით. ამუშავების პროცესში 0-დან $V_{სა}$ სიჩქარემდე დენი უცვლელია და ტოლია I_1 -ის. ამ დენის მოხმარება ხდება მთელი ამუშავების პროცესის ხანგრძლივობის $\Delta t_1 = t_1 - 0$ განმავლობაში. ამ დროს მატარებლის წვევაზე ენერჯის ხარჯი იქნება

$$A_{\varphi 1} = U_{ქს} I_1 \Delta t_1. \tag{18.1}$$

$\Delta t_2 = t_2 - t_1$ დროის განმავლობაში მოხმარებული დენის მნიშვნელობა იცვლება I_1 -დან I_2 -მდე. ის შეგვიძლია შევცვალოთ საშუალო მნიშვნელობით $I_{2საშ.} = \frac{I_1 + I_2}{2}$ და ენერჯის ხარჯი იქნება

$$A_{\varphi 2} = U_{ქს} I_{2საშ.} \Delta t_2.$$

თუ ჩავატარებთ ანალოგიურ გათვლებს, ჩვენ მივიღებთ ენერჯის ხარჯს წვევაზე T დროის განმავლობაში, ვტ.სთ-ში.

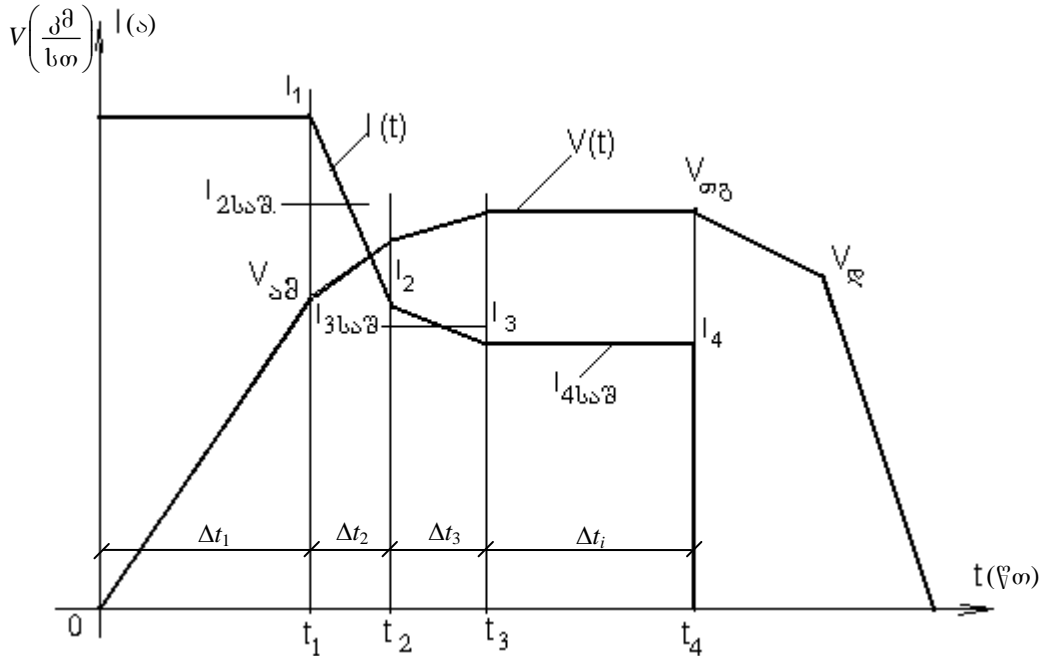
$$A_{\varphi} = A_{\varphi 1} + A_{\varphi 2} + \dots + A_{\varphi i} = U_{ქს} (I_1 \Delta t_1 + I_{2საშ.} \Delta t_2 + I_{iსაშ.} \cdot \Delta t_i) \tag{18.2}$$

ანუ
$$A_{\varphi} = U_{ქს} \sum (I_{iსაშ.} \cdot \Delta t_i). \tag{18.3}$$

თუ გავითვლისწინებთ იმას, რომ ძაბვა გვაქვს ვოლტებში, დენი ამპერებში, დრო წუთებში და ელექტროენერჯია უნდა გავზომოთ კილოვატ-საათებში, ამიტომ

(18.3) ფორმულა უნდა გავყოთ 60-ზე (წუთების საათებში გადასაყვანად და კიდევ უნდა გავყოთ 1 000-ზე, ვატების კილოვატებში გადასაყვანად). საბოლოოდ წვევაზე ელექტროენერჯის გასაანგარიშებელ ფორმულას ექნება შემდეგი სახე

$$A_{\text{ვ}} = \frac{U_{\text{ქს}} \sum(I_{\text{ისაშ}} \Delta t_i)}{60 \cdot 10^3}. \quad (18.4)$$



ნახ. 18.1. სიჩქარის $V(t)$ და დენის $I(t)$ დამოკიდებულება სვლის t დროზე.

წვევის ანგარიშებში დენის, სიჩქარის და დროის მრუდეებს აგებენ მანძილთან ფუნქციაში. ტექნიკურად გაანგარიშება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით: სიჩქარის მრუდზე (ნახ. 16.8) იღებენ გარდატეხის წერტილებს (მაგალითად 22 და 23 წერტილებს). ამ წერტილების შესაბამისად დენის მრუდიდან ვსაზღვრავთ შესაბამის დენებს

I_{22} და I_{23} -ს და ვანგარიშობთ მათ საშუალო მნიშვნელობას $I_{\text{ისაშ}} = \frac{I_{22} + I_{23}}{2}$. დროის

მრუდიდან ვიღებთ Δt ინტერვალს, მიღებულ სიდიდეებს ვსვამთ (18.4) ფორმულაში და ვანგარიშობთ ამ ინტერვალში ენერჯის ხარჯს ΔA -ს.

ცვლადი დენის ელექტიფიცირებული უბნებისათვის, წვევაზე ენერჯის ხარჯის გასათვლელად, ვსარგებლობთ წინასწარ აგებულ დენის აქტიური მდგენელის მრუდით $I_{\text{აშ}}(S)$ (ნახ. 16.9). ამ შემთხვევაში საანგარიშო ფორმულას ექნება შემდეგი სახე:

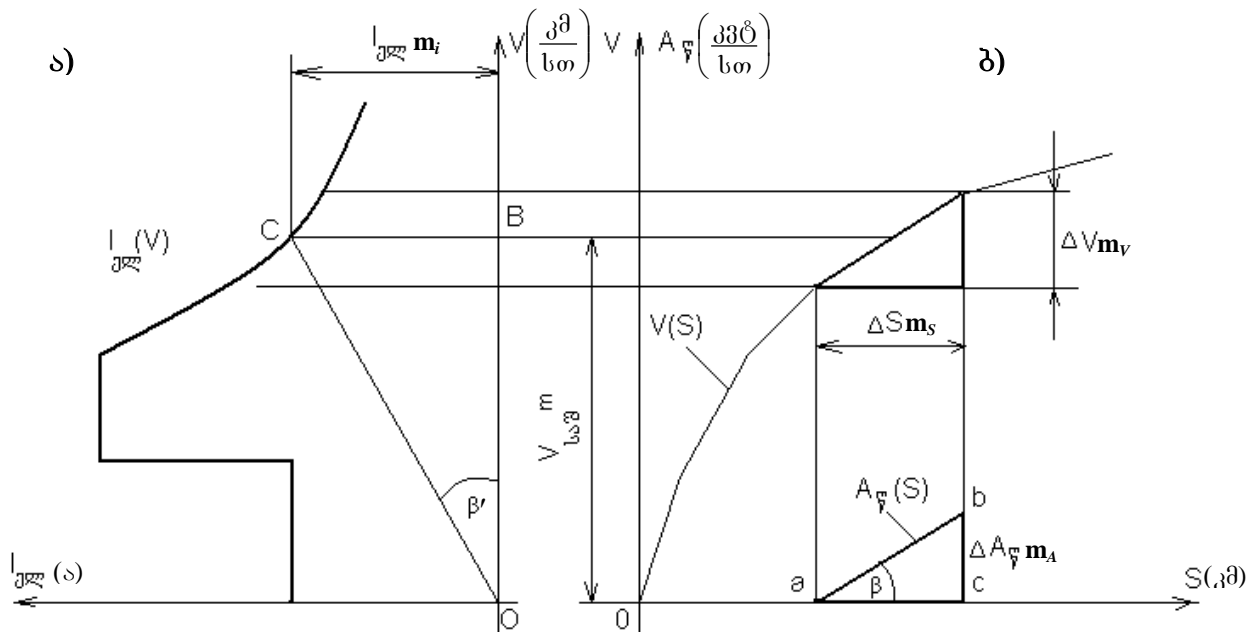
$$A_{\text{ვ}} = \frac{U_{\text{ქს}} \sum(I_{\text{აშისაშ}} \Delta t)}{60 \cdot 10^3}. \quad (18.5)$$

თუ მატარებლის მოძრაობისას გამოიყენება რეკუპერაციული დამუხრუჭება, მაშინ ქსელში დაბრუნებულ ენერჯიას აკლებენ წვევაზე დახარჯულ ენერჯის ხარჯს.

18.2. წვევზე დახარჯული ელექტროენერჯის ხარჯის გრაფიკული გაანგარიშება

ელექტროენერჯის ხარჯი შეიძლება განისაზღვროს მოხმარებული დენის მრუდის აგების გარეშე გრაფიკულად, ელექტრომაგლის დენის მახასიათებლების $I_{ელ}(V)$, $I_{ა}(V)$ და სიჩქარის მრუდის $V(S)$ გამოყენებით. განვიხილოთ გაანგარიშების აღნიშნული პრინციპი.

18.2 ა ნახაზზე მოცემულია ელექტრომაგლის დენის მახასიათებელი $I_{ელ}(V)$, ხოლო 18.2 ბ ნახაზზე მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის მრუდი $V(S)$. ΔS მონაკვეთზე, რომელზეც მატარებელი მოძრაობს $V_{საშ}$ სიჩქარით (18.3) ფორმულით გაეთვალთ ენერჯის ხარჯი $\Delta A_{ფ}$, ენერჯის მიღებული ხარჯი $\Delta A_{ფ}$ გადავდოთ რეკომენდებულ m_A მმ/(კვტ.სთ) მასშტაბში c წერტილიდან, მონაკვეთი bc . აღებული ელემენტის ΔS ფარგლებში, ელექტროენერჯის ხარჯი შეიცვლება წრფივად – ab კანონით.



ნახ. 18.2. ელექტროენერჯის გრაფიკული გაანგარიშების პრინციპი.

ეხლა ვნახოთ, თუ რა პირობებში შეგვეძლო აგვეგო ab ხაზი გეომეტრიულად $\Delta A_{ფ}$ ენერჯის წინასწარ გათვლის გარეშე. ამ მიზნით, პირველ რიგში, განვსაზღვროთ ab ხაზის აბსცისთა ღერძთან დახრის კუთხის β -ს ტანგენსი,

$$tg\beta = \frac{bc}{ac} = \frac{\Delta A_{ფ} m_A}{\Delta s \cdot m_s}, \quad (18.6)$$

სადაც, m_A არის ენერჯის მასშტაბი, მმ/კვტ.სთ.

m_s – მანძილის მასშტაბი, მმ/კმ.

$$\text{მეორე მხრივ } \Delta s = V_{\text{საშ}} \Delta t, \text{ მაშინ } \quad \text{tg}\beta = \frac{\Delta A_{\text{წ}} \cdot m_A}{V_{\text{საშ}} \Delta t \cdot m_f}, \quad (18.7)$$

$V_{\text{საშ}}$ სიჩქარის დროს ელექტრომაგვალი მოიხმარს საშუალო დენს $I_{\text{ელ,საშ}} \cdot m_i$ (CB მონაკვეთი). OBC სამკუთხედიდან შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\text{tg}\beta' = \frac{CB}{OB} = \frac{I_{\text{ელ,საშ}} m_i}{V_{\text{საშ}} m_V}, \quad (18.8)$$

სადაც, m_i არის დენის მასშტაბი, მმ/ა.

m_V – სიჩქარის მასშტაბი, მმ/კმ/სთ.

(18.8) ფორმულის მრიცხველი და მნიშვნელი გაგამრავლოთ $U_{\text{ქს}}$ და Δt -ზე, მივიღებთ:

$$\text{tg}\beta' = \frac{I_{\text{ელ,საშ}} m_i U_{\text{ქს}} \Delta t}{V_{\text{საშ}} m_V U_{\text{ქს}} \Delta t} = \frac{\Delta A_{\text{წ}} m_i}{V_{\text{საშ}} m_V U_{\text{ქს}} \Delta t}. \quad (18.9)$$

$\text{tg}\beta$ და $\text{tg}\beta'$ გამოსახულებებში შედის ენერგიის ხარჯი $\Delta A_{\text{წ}}$, თუ $\text{tg}\beta$ და $\text{tg}\beta'$ გაუტოლებთ ერთმანეთს, მაშინ ab იქნება მართობული BC -სი,

$$\text{tg}\beta = \text{tg}\beta' = \frac{\Delta A_{\text{წ}} m_A}{V_{\text{საშ}} \cdot \Delta t \cdot m_S} = \frac{\Delta A_{\text{წ}} m_i}{V_{\text{საშ}} m_V U_{\text{ქს}} \Delta t}.$$

გამარტივების შემდეგ გვქვია

$$\frac{m_A}{m_S} = \frac{m_i}{m_V \cdot U_{\text{ქს}}}. \quad (18.10)$$

ამ გამოსახულებაში m_A , m_S , m_i და m_V მასშტაბებია, რომლებიც შეირჩევა, ხოლო $U_{\text{ქს}}$ მუდმივი სიდიდეა. მოძრაობის მრუდეებიდან სიჩქარის m_V და დროის m_t მასშტაბები ცნობილია. თუ დენის მახასიათებლები უკვე აგებულია m_i მასშტაბში, მაშინ ენერგიის მასშტაბი m_A განისაზღვრება განტოლებით:

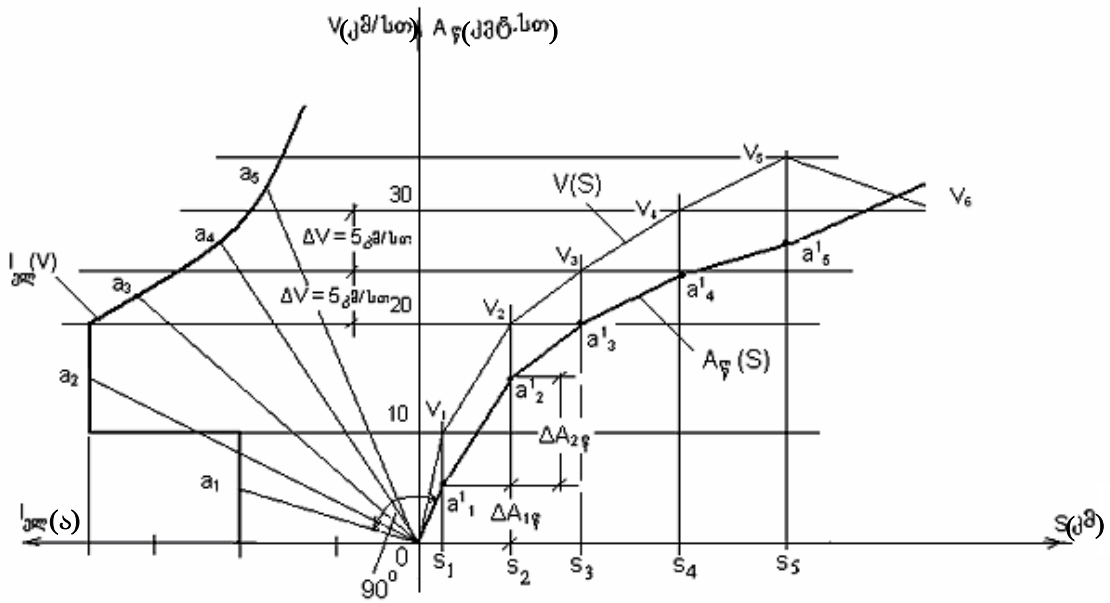
$$m_A = \frac{m_S \cdot m_i}{m_V \cdot U_{\text{ქს}}}. \quad (18.11)$$

18.3 ნახაზზე ნაჩვენებია ენერგიის ხარჯის $\Delta A_{\text{წ}}(S)$ გრაფიკული გაანგარიშების მაგალითი, მოცემული დენის მახასიათებლების $I_{\text{ელ}}(V)$ და სიჩქარის მრუდის $V(S)$ გამოყენებით.

აქ აღებულია შემდეგი მასშტაბები: $m_S = 40$ მმ/კმ; $m_V = 2$ მმ/კმ/სთ, $m_i = 0.05$ მმ/ა. $U_{\text{ქს}} = 3000$ ვ, მაშინ ენერგიის მასშტაბი (18.6) ფორმულის თანახმად იქნება

$$m_A = 40 \cdot \frac{0.05}{2} \cdot 3000 = 0.00033 \quad \text{მმ/ვტ.სთ.}$$

პირველ ინტერვალში 0-10 კმ/სთ, საშუალო სიჩქარეა $V_{\text{საშ}} = 5$ კმ/სთ; მოხმარებული დენი $I_{\text{ელ}} = 400$ ამპ. აღნიშნულს შეესაბამება a_1 წერტილი. a_1 წერტილი შევავროთ O



ნახ. 18.3. ენერგიის ხარჯის მრუდის $A_{\phi}(S)$ აგება.

წერტილთან და ამავე წერტილიდან საიდანაც იწყება მოძრაობა, გავავლოთ Oa_1 სხივის მართობი, V_1 სიჩქარის შესაბამის მანძილის კოორდინატის s_1 -დან აღმართული ვერტიკალის გადაკვეთამდე. მივიღებთ a'_1 წერტილს, რომლის კოორდინატა $a'_1 s_1$ წარმოადგენს ელექტროენერგიის ხარჯს $O s_1$ მანძილის დაძლევაზე $\Delta A_{1\phi}$. შემდეგ ვიღებთ მეორე ინტერვალს, რომელსაც შეესაბამება საშუალო სიჩქარეს $V_2 = 15$ კმ/სთ; დენი $I_{\text{ელ}} = 800$ ამპ. ვაერთებთ ამ წერტილს O წერტილთან და ვავლებთ Oa_2 სხივის მართობს a'_1 წერტილიდან V_2 სიჩქარის მანძილის კოორდინატის s_2 წერტილიდან აღმართული ვერტიკალის გადაკვეთამდე. მივიღებთ a'_2 წერტილს. a'_2 და a'_1 წერტილების კოორდინატა სხვაობა იქნება ენერგიის ხარჯი $s_1 s_2$ მონაკვეთის დაძლევაზე $\Delta A_{2\phi}$ და ა.შ. $O s_5$ მანძილის გავლის შესაბამისი ჯამური ენერგიის ხარჯი (a'_5 წერტილის კოორდინატას შეესაბამება 53 მმ). შესაბამისად ენერგიის ხარჯი იქნება

$$53/0.000333 = 160600 \text{ ვტ.სთ} = 160.6 \text{ კვტ.სთ.}$$

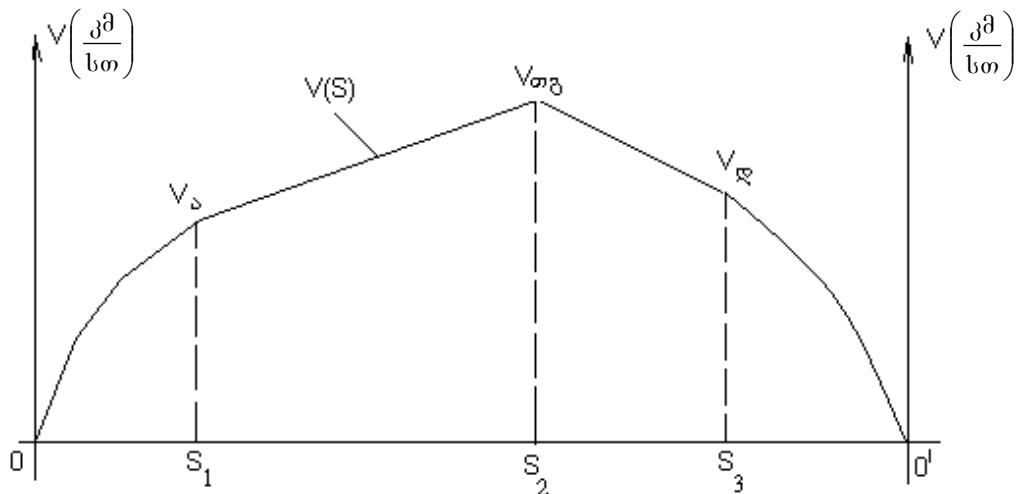
როგორც ვრწმუნდებით, დენის მოხმარებისას, ელექტროენერგიის ხარჯი განუწყვეტლივ იზრდება. როდესაც დენის მოხმარება არაა (თავისუფალი გორვა, მექანიკური დამუხრუჭება) $A_{\phi}(S)$ ხაზი აბცისთა ღერძის პარალელური რჩება. თუ ხდება რეკუპერაციული დამუხრუჭება, ამ შემთხვევაში დენის მახასიათებელი უნდა აიგოს სიჩქარის V ღერძის მარჯვნივ (არსებულის სარკისებურად). შესაბამისად აგებისას ენერგიის მრუდი მიმართული იქნება ქვემოთ, რაც მიანიშნებს ელექტროენერგიის ხარჯის კლებას.

18.3. მატარებელთა წვევაზე ელექტროენერჯის ხარჯის ანალიზური გაანგარიშება

18.3.1. ზოგადი ცნობები

ელექტროენერჯის ხარჯის განსაზღვრის ზემოთ განხილული გრაფიკული და გრაფიკული ხერხები, მოითხოვს დროის დიდ დანახარჯებს სიჩქარის, დროის და დენის მრუდების აგებაზე. ელექტროენერჯის მიახლოებითი (საორიენტაციო) გაანგარიშებისათვის უფრო ხელსაყრელია გამოვიყენოთ გაანგარიშების ანალიზური ხერხი, რომელიც ეფუძნება მატარებელთა წვევაზე ელექტროენერჯის ხარჯის ცალკეული მდგენელების ცალ-ცალკე განსაზღვრას.

მატარებლის გადასარბენზე მოძრაობისას, გზის ნაწილს ის გადის წვევის რეჟიმში, დარჩენილ ნაწილს კი თავისუფალი გორვით და დამუხრუჭებით. 18.4 ნახაზზე ნაჩვენებია მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის უმარტივესი მრუდი. O წერტილში (სადგურის ცენტრში) იწყება და OS_1 მონაკვეთზე ხდება ამუშავება, S_1S_2 მონაკვეთზე მოძრაობა წარმოებს წვევის რეჟიმში, S_2S_3 მონაკვეთზე მატარებელი მოძრაობს თავისუფალი გორვის რეჟიმში, ხოლო S_3 წერტილში ($V_{\text{ღ}}$ სიჩქარეზე) იწყება დამუხრუჭება და O' წერტილში მატარებელი ჩერდება.



ნახ. 18.4. მოძრაობის სიჩქარის დამოკიდებულება მანძილზე.

ამუშავების პერიოდში ელექტრული ენერჯია იხარჯება მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე (OS_1 მონაკვეთი) და მატარებლის მასისთვის კინეტიკური ენერჯის მინიჭებაზე. ელექტროენერჯის ნაწილი იკარგება ასამუშავებელ რესტატებში. შემდეგ მონაკვეთზე (S_1S_2), ელექტრული ენერჯია იხარჯება მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე და მატარებლის მასისთვის კინეტიკური ენერჯის შემდგომ გაზრდაზე. S_2 წერტილში წვევის რეჟიმი წყდება (დენი უტოლ-

დება O -ს) და მოძრავი მატარებლის კინეტიკური ენერგია იხარჯება მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე. S_3 წერტილში იწყება დამუხრუჭება და კინეტიკური ენერგიის დიდი წილი იხარჯება ხახუნზე მუხრუჭებში, ნაწილი კი მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის დაძლევაზე. O' წერტილში მატარებელი ჩერდება და მისი კინეტიკური ენერგია უტოლდება O -ს.

გამოდის რომ ამუშავების და გაქანების პროცესში დახარჯული ელექტრული ენერგია, რომელიც გადავიდა მოძრავი მატარებლის კინეტიკურ ენერგიაში, დამუხრუჭების დროს დაიხარჯა მექანიკურ მუხრუჭებში, აუნაზღაურებლად სითბოს გამოყოფაზე.

წვეის რეჟიმში ენერგიის ნაწილი მუდმივი დენის ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე იკარგება წვეის ძრავებში და კბილანა რედუქტორებში, ხოლო ცვლადი დენის ელექტრომოდრავ შემადგენლობაზე, დამატებით სტატიკურ გარდამქმნელებში.

ზემონათქვამიდან ვასკნით, რომ მატარებელთა წვეაზე საკონტაქტო ქსელიდან მიღებული ელექტრული ენერგია იხარჯება: მოძრაობისადმი ძირითადი და დამატებითი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე, დანაკარგების დაფარვაზე მუხრუჭებში, წვეის ძრავებში, კბილანა რედუქტორებში, სტატიკურ გარდამქმნელებში, ასამუშავებელ რესტატებში და ცვლადი დენის ელექტრომაგლებში, დამატებით ამუშავებისას დაბალი მ.ქ.კ-ის გამო. განვსახდვროთ აღნიშნული მდგენელები ანალიზურად.

18.3.2. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე დახარჯული ენერგია

ეს ენერგია, რომელსაც აღვნიშნავთ A_w -თი, ტოლია მექანიკური მუშაობისა, რომელსაც განსახდვრავენ, როგორც ძალას გამრავლებულს გადაადგილებაზე (განვიღო ვზაზე).

გზის პროფილის ყოველ ელემენტზე, ძირითადი და დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა ტოლია:

$$(P + Q)(w_0 \pm i). \tag{18.12}$$

რომელიმე გადასარბენზე მუშაობა ტოლია პროფილის თითოეულ ელემენტზე შესრულებული მუშაობათა ჯამის:

$$A_w = 1000(P + Q) \sum (w_0 \pm i) S_i, \tag{18.13}$$

სადაც, 1 000 არის კმ-ის მეტრებში გადამყვანი კოეფიციენტი.

$i\%$ – გასწორებული ქანობი.

S_i – ყოველი ელემენტის სიგრძე, კმ-ში.

w_0 სიდიდე სიჩქარის ცვლილებისას იცვლება მცირე ფარგლებში და საორიენტაციო გაანგარიშებისას შეგვიძლია ავიღოთ უცვლელი და საშუალო მნიშვნელობის $w_{0საშ}$ ტოლი.

რეალური პროფილი შეგვიძლია შევცვალოთ ეკვივალენტური ქანობით, პირობით, რომ მასზე შესრულდება იგივე მუშაობა, რაც რეალურ პროფილზე. ამ მოსაზრების გათვალისწინებით ეკვივალენტური ქანობი განისაზღვრება ფორმულით:

$$i_{\text{კვ}} = \frac{1000(H_{\delta} - H_{\text{ღ}}) + \sum(i_{\text{მავნ.}} - w_{\text{0საშ}})S_{\text{მავნ.}} + \sum w_{\text{მრ}}S_{\text{მრ}}}{S}, \quad (18.14)$$

სადაც, $H_{\delta} - H_{\text{ღ}}$ არის ბოლო და საწყისი პუნქტების, ზღვის დონიდან, სიმაღლეთა სხვაობა, მ-ში.

$i_{\text{მავნ.}}$ - მავნე ქანობები %-ში, რომლებზეც $i > w_x$ (მავნე ჰქვია იმიტომ, რომ ასეთ ქანობებზე თავისუფალი გორვის რეჟიმში სინქარე იზრდება და საჭირო ხდება დამუხრუჭება).

$S_{\text{მავნ.}}$ - მავნე ქანობის სიგრძე, მ-ში.

$w_{\text{მრ}}$ - მრუდით გამოწვეული დამატებითი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა, $\frac{6}{\text{კნ}}$ -ში.

$S_{\text{მრ}}$ - მრუდის სიგრძე, მ-ში.

S - უბნის სიგრძე, მ-ში.

(18.14) ფორმულის გათვალისწინებით (18.13) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს

$$A_w = 1000(P + Q)(w_{\text{0საშ}} + i_{\text{კვ}})S. \quad (18.15)$$

18.3.3. ენერჯიის დანაკარგები მუხრუჭებში

მუხრუჭების ჩართვამდე მოძრავ მატარებელში დაგროვილი ენერჯია ტოლი იქნება:

$$\frac{m(1 + \gamma)V_{\text{ღ}}^2}{2}. \quad (18.16)$$

ამ ენერჯიის დიდი წილი, როგორც აღვნიშნეთ, იკარგება მუხრუჭებში. ყოველი დამუხრუჭებისას დაკარგული ენერჯია ტოლი იქნება:

$$\Delta A_{\text{ღ}} = \frac{m(1 + \gamma)V_{\text{ღ}}^2}{2 \cdot 3,6^2} - (P + Q)(w_{\text{ღ}} + i_{\text{ღ}})S_{\text{ღ}}, \quad (18.17)$$

სადაც $m = \frac{1000(P + Q)(1 + \gamma)}{g}$ მატარებლის მასაა კნ-ში.

$V_{\text{ღ}}$ - არის დამუხრუჭების საწყისი სინქარე, კმ/სთ-ში.

3.6 - კმ/სთ²-დან მ/წმ²-ში გადაყვანილი კოეფიციენტი;

$w_{\text{ღ}}$ - დამუხრუჭების რეჟიმში ძირითადი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა, $\frac{6}{\text{კნ}}$ -ში.

$S_{\text{ღ}}$ - სამუხრუჭო მანძილი, მ-ში.

$i_{\text{ღ}}$ - ქანობი %-ში, რომელზეც ხდება დამუხრუჭება.

$\alpha_{\text{ჟ}}$ (მ/წმ²)-შენელებით, თანაბარშენელებული დამუხრუჭებისას განვლილი მანძილი

იქნება:

$$S_{\text{ღ}} = \frac{V_{\text{ღ}}^2}{2\alpha_{\text{ჟ}} \cdot 3,6^2}.$$

თუ გავითვალისწინებთ აღნიშნულს და მატარებლის მასას ჩავანაცვლებთ წონით, მაშინ (18.17) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\Delta A_{\text{გ}} = \frac{(P+Q)V_{\text{გ}}^2}{2 \cdot 3,6^2} \left[\frac{1000(1+\gamma)}{9.81} - \frac{w_{\text{გ}} + i_{\text{გ}}}{\alpha_{\text{გ}}} \right]. \quad (18.18)$$

რა თქმა უნდა, წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე დახარჯული და მუხრუჭებში დაკარგული ენერგიათა ჯამი, წვევის ძრავების მიერ შესრულებული მექანიკური მუშაობის ტოლია:

$$A_{\text{მქ}} = Aw + \Delta A_{\text{გ}}. \quad (18.19)$$

18.3.4. ენერგიის დანაკარგები ძრავაში და გარდამქმნელებში

თუ წვევის ძრავების მიერ სრულდება მექანიკური მუშაობა $A_{\text{მქ}}$, მაშინ ქსელიდან მოხმარებული ენერგია იქნება $\frac{A_{\text{მქ}}}{\eta_{\text{საშ}}}$, სადაც, $\eta_{\text{საშ}}$ არის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მარგი ქმედების კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა, რომელიც ითვალისწინებს დანაკარგებს ძრავებში, რელუქტორებში, გარდამქმნელებში. ენერგიის ეს ჯამური დანაკარგები გაითვლება ფორმულით:

$$\Delta A_{\text{ელ.}} = \left(\frac{A_{\text{მქ}}}{\eta_{\text{საშ}}} - A_{\text{მქ}} \right). \quad (18.20)$$

18.3.5. ენერგიის დანაკარგები ასამუშავებელ რეოსტატებში

ასამუშავებელ რეოსტატებში დანაკარგები შეიძლება განვსაზღვროთ, თუ წვევის ძრავების ელექტრომაგნიტურ სიმძლავრეს გავამრავლებთ ამუშავების დანაკარგების კოეფიციენტზე $k_{\text{ამუშ.}}$ (იხ. 7-თავი). თუ უგულებელყოფთ დანაკარგებს ძრავში და რელუქტორებში, მაშინ ძრავების ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე შეგვიძლია გაუტოლოთ წვევითვალისა და რელსის შეხების ზონაში რეალიზებულ მექანიკურ სიმძლავრეს. ამუშავების პერიოდში დახარჯული ენერგია $A_{\text{ამუშ.}}$ იხარჯება მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე და კინეტიკური ენერგიის მარაგის შექმნაზე.

$$A_{\text{ამუშ.}} = \frac{m(1+\gamma)V_{\text{ამუშ.}}^2}{2 \cdot 3,6^2} + (P+Q)(w_{\text{ამუშ.}} + i_{\text{ამუშ.}})S_{\text{ამუშ.}}. \quad (18.21)$$

თანაბარ აჩქარებული ამუშავების დროს განვლილი მანძილი იქნება:

$$S_{\text{გ}} = \frac{V_{\text{ამუშ.}}^2}{2\alpha_{\text{ამუშ.}} \cdot 3,6^2}. \quad (18.22)$$

თუ გავითვალისწინებთ (18.22) ფორმულას და მატარებლის მასას გამოვსახავთ წონით, ყოველი ამუშავებისათვის მივიღებთ ენერგიის დანაკარგს:

$$\Delta A_{\text{ამუშ}} = \frac{(P+Q)V_{\text{ამუშ}}^2 K_{\text{ამუშ}}}{2 \cdot 3,6^2} \left[\frac{1000(1+\gamma)}{9,81} + \frac{w_{\text{ამუშ}} + i_{\text{ამუშ}}}{\alpha_{\text{ამუშ}}} \right]. \quad (18.23)$$

საბოლოოდ ენერჯის ჯამური დანაკარგების ვატ.საათებში მისაღებად, საჭიროა (18.15), (18.18), (18.20) და (18.23) ფორმულით მიღებული მნიშვნელობები შევკრიბოთ. მათი განზომილება იქნება კვტ.მ-ში. ვატ.სთ-ში გადასაყვანად ის უნდა გავამრავლოთ გადაყვან კოეფიციენტზე (რადგან 1კვტ = 9.81კვტ.წმ; ამიტომ $\frac{9,71 \text{ კვტ.წმ}}{3,6 \cdot 1000} = \frac{2,725}{1000}$ კ.ი. ვამრავლებთ $\frac{2,725}{1000}$ -ზე).

თუ დაუშვებთ:

- ამუშავების და დამუხრუჭების დროს, აჩქარების და შენელების საშუალო მნიშვნელობებს;
- ამუშავებისა $w_{\text{ამუშ}}$, დამუხრუჭების $w_{\text{დ}}$ და $w_{\text{ისაშ}}$, წინააღმდეგობის ძალების საშუალო მნიშვნელობებს;
- ამუშავების და დამუხრუჭების სიჩქარეების საშუალო მნიშვნელობებს;
- ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მარგი ქმედების კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობას,

მაშინ ცნობილი ეკვივალენტური ქანობის მნიშვნელობისას, შეგვიძლია მოცემული $(P+Q)$ წონის მატარებლისათვის გავთვალთ ელექტროენერჯის საორიენტაციო ხარჯი, მოძრაობის მრუდეების აუგებლად და მნიშვნელოვნად დაეზოგოთ დრო.

18.4. ელექტრული ენერჯის სრული ხარჯის გაანგარიშება

მატარებელთა მომსახურებაზე ელექტროენერჯის სრული ხარჯი შედგება რამდენიმე მდგენელისაგან. კერძოდ: ელექტროენერჯის ხარჯი უშუალოდ მატარებელთა წვეაზე $A_{\text{წ}}$, ენერჯის ხარჯი გადაადგილებაზე დეპოებში და სადგურებში (მანევრებზე) $A_{\text{მან}}$ და ენერჯის ხარჯი საკუთარ მოხმარებაზე $A_{\text{სა}}$, ანუ ენერჯის სრული ხარჯი:

$$A_{\text{სრ}} = A_{\text{წ}} + A_{\text{მან}} + A_{\text{სა}}. \quad (18.24)$$

წვეაზე ელექტროენერჯის ხარჯის $A_{\text{წ}}$ განსაზღვრის მეთოდები ჩვენ უკვე განვიხილეთ.

საკუთარ მოხმარებაზე ელექტროენერჯის ხარჯის $A_{\text{სა}}$ (ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დამხმარე მანქანების, ოპერატიული მართვის წრედების და განათების მუშაობაზე) განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ ამ მოწყობილობების ჯამური სიმძლავრე და ამ სიმძლავრეების მუშაობის ხანგრძლივობა.

წვევის გაანგარიშებების წესებით მოცემულია თითოეული ტიპის ელექტრომოდრავი შემადგენლობისათვის, საკუთარი მოხმარებაზე ელექტროენერჯის ხარჯი ერთი საათის განმავლობაში, კვტ.სთ-ში. მაგალითად, БЛ10 ელექტრომავლებისათვის ეს სიდიდე შეადგენს 70 კვტ.სთ-ს. ელექტრომატარებლებისათვის საკუთარ მოხმარებაზე ელექტროენერჯის ხარჯი იანგარიშება მათი სრული მუშაობის ხანგრძლივობის და საკუთარი მოხმარების საშუალო სიმძლავრის მიხედვით. მაგალითად 9-ვაგონიანი ელექტრომატარებელ ЭР2-ისათვის, დამხმარე მანქანების სიმძლავრე შეადგენს 35 კვტ-ს, ხოლო გათბობის და განათების წრედების სიმძლავრე შესაბამისად 175 და 18 კვტ-ს.

დეპოების ხაზებზე მანევრირებისათვის, წვევის გაანგარიშების წესებით, რეკომენდებულია ენერჯის ხარჯი ემშ-ს ტიპის მიხედვით. მაგალითად, БЛ10 სერიის ელექტრომავლებისათვის იგი შეადგენს 20-25 კვტ.სთ-ს

სადგურებში გადაადგილებაზე და მანევრებზე ელექტროენერჯის ხარჯი იანგარიშება მუდმივი დენის ელექტრომავლებისთვის 100კვტ, საშუალო სიმძლავრით მუშაობის და მანევრების დროის ხანგრძლივობის გათვალისწინებით.

ენერჯის სრული ხარჯი წვევის ქვესადგურის ცვლადი დენის მხარეს იქნება

$$A = \frac{A_{\text{სრ}}}{\eta_{\text{სკ}} \eta_{\text{წკ}}},$$

სადაც, $\eta_{\text{სკ}}$ არის საკონტაქტო ქსელის მ.ქ.კ-ი. ის საშუალოდ უდრის 0.92.

$\eta_{\text{წკ}}$ – წვევის ქვესადგურის მ.ქ.კ-ი და საშუალოდ ტოლია 0.92-0.95.

მატარებელთა წვევაზე ენერჯის ხვედრითი ხარჯი ეწოდება 1 ტონა ტვირთის 1კმ მანძილზე გადატანისთვის საჭირო ენერჯის ხარჯს. მისი განზომილებაა

ვტ.სთ/ტ.კმ;
$$\alpha_{\text{წ}} = \frac{1000 A_{\text{წ}}}{QS}, \quad \text{ვტ.სთ/ტ.კმ} \quad (18.25)$$

სადაც, $A_{\text{წ}}$ არის წვევაზე დახარჯული სრული ენერჯია, კვტ.სთ-ში.

Q – შემადგენლობის წონა ტონებში.

S – მატარებლის მიერ განვლილი მანძილი, კმ-ში.

საკუთარი მოხმარების გათვალისწინებით, ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი

იქნება;
$$\alpha'_{\text{წ}} = \frac{U_{\text{ქს}} \sum (I_{\text{საშ.}} \Delta t)}{60QS} + \frac{1000 A_{\text{სა}}}{QS} \quad \text{ვტ.სთ/ტ.კმ.} \quad (18.26)$$

18.5. ელექტროენერჯის ეკონომია

ელექტრული რკინიგზები ითვლება ელექტროენერჯის ერთ-ერთ უმსხვილეს მომხმარებლად. ამიტომ, ელექტროენერჯის ეკონომია ძალიან მნიშვნელოვანია და მას უნდა მიექცეს დიდი ყურადღება.

მატარებელთა წვევაზე ენერჯის ხარჯის მდგენელების ანალიზიდან, პირდაპირ ჩანს ელექტროენერჯის დაზოგვის გზები. ელექტროენერჯის ხარჯის შემცირებისათვის საჭიროა მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალების შემცირება. თუ როგორ გავაკეთოთ ეს, ამაზე საუბარი გვქონდა მე-4 თავში.

ელექტროენერჯის ხარჯი მატარებელთა წვევაზე იზრდება სიჩქარის კვადრატის პროპორციულად. იმისათვის, რომ გადასარბენებზე მატარებლები ვატაროთ მაღალი სიჩქარით და ნაკლები ელექტროენერჯის ხარჯით, საჭიროა ეფექტურად გამოვიყენოთ გზის პროფილის თავდადმართები და მასზე მატარებლები ვატაროთ მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარით. ამ გზით მოძრავ მატარებელში დავაგროვოთ მაქსიმალური კინეტიკური ენერჯია, რომელსაც შემდეგ გამოვიყენებთ გზის პროფილის სხვა ელემენტებზე მოძრაობისას. აღნიშნულის შესრულება მოითხოვს სალოკომოტივო ბრიგადის მაღალ კვალიფიკაციას.

მართალია მოძრაობის საშუალო სიჩქარეების გაზრდით იზრდება წინააღმდეგობის ძალები და შესაბამისად ელექტროენერჯის ხარჯი, მაგრამ ამავე დროს ვიდებთ დამატებით ეფექტს იმით, რომ ჩქარდება მგზავრების და ტვირთების გადაადგილება, იზრდება მოძრავი შემადგენლობის ბრუნვის სიჩქარე და ა.შ., რაც ჯამში იძლევა მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

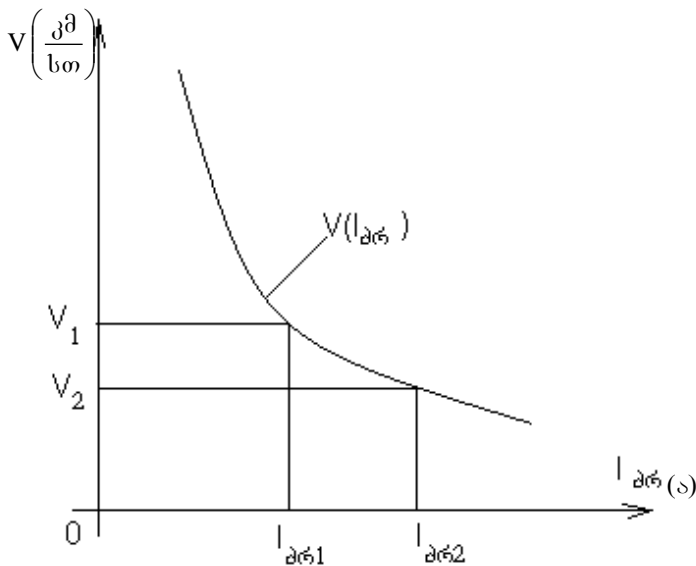
ვაგონების ტვირთამწეობის და მატარებელთა წონის გაზრდა მნიშვნელოვნად ამცირებს მოძრაობისადმი ხვედრით წინააღმდეგობის ძალებს და ერთეული ტვირთის გადატანაზე ელექტროენერჯის ხარჯს.

იმ უბნებზე, რომლებიც გამოირჩევიან რთული პროფილით (დიდი სიდიდის ქანობები და დიდი რაოდენობის მცირე რადიუსიანი მრუდეები), რა თქმა უნდა, სხვა თანაბარ პირობებში ელექტროენერჯის ხარჯი დიდია.

ძალზე დიდ ეფექტს იძლევა რეკუპერაციული დამუხრუჭების გამოყენება. გარდა იმისა, რომ ამ დროს ქსელში ბრუნდება 25-30%-მდე ელექტროენერჯია, იზრდება მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, მოძრაობის უსაფრთხოება და მნიშვნელოვნად მცირდება სამუხრუჭო ხუნდებზე და წყვილთვალების არტახებზე გაწეული ხარჯი.

როგორც ვთქვით, მნიშვნელოვანია ელექტროენერჯის დანაკარგები ამუშავების და დამუხრუჭების დროს. ამიტომ, მოძრაობის გრაფიკი უნდა შეირჩეს სწორად, გაჩერებების და, შესაბამისად, ამუშავების შესაძლო მინიმალური რიცხვით.

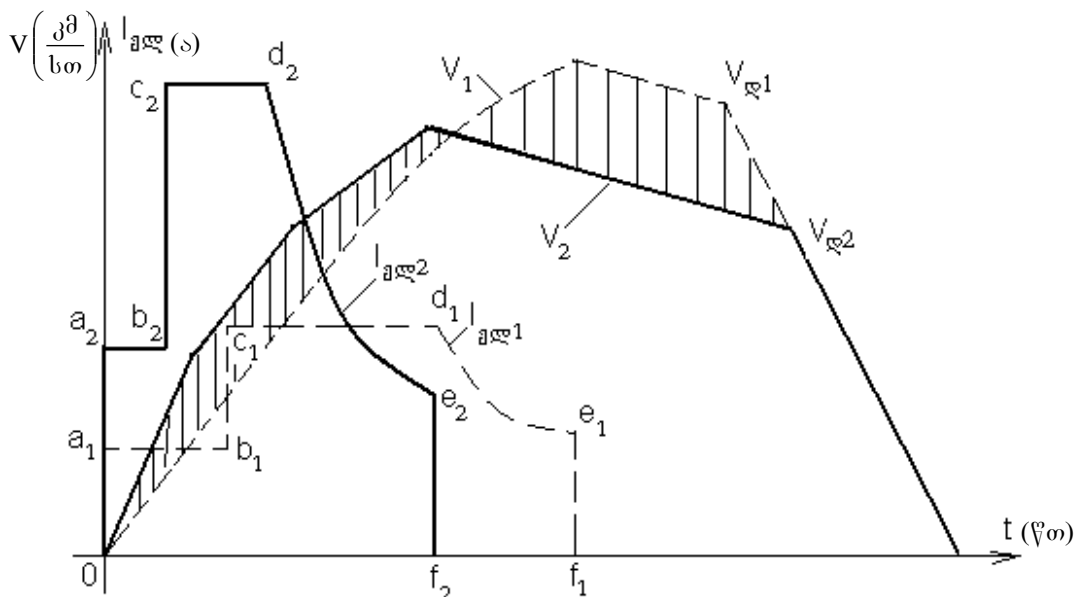
ამუშავების დროს ენერჯის დანაკარგები ასამუშავებელ რეოსტატებში შეგვიძლია შევამციროთ დიდი აჩქარებების (ძრავის დიდი დენების) რეალიზაციით, როდესაც ურეოსტატო (ავტომატურ) მახასიათებელზე გასვლა ხდება დაბალ სიჩქარეებზე.



ნახ. 18.5. ურეოსტატო მახასიათებელზე გასვლის სიჩქარის დამოკიდებულება დენზე.

მაგალითად, $I_{პრ1}$ დენით ამუშავების დროს, ასამუშავებელი რეოსტატები წრედიდან გამოყვანილი იქნება V_1 სიჩქარეზე (ნახ. 18.5), ხოლო თუ ამუშავებას განვახორციელებთ $I_{პრ2}$ გაზრდილი დენით, მაშინ რეოსტატები ამოირთვება უფრო დაბალ V_2 სიჩქარეზე. ანუ ამით მიიღწევა რეოსტატების ჩართული მდგომარეობის ხანგრძლივობის შემცირება (ამუშავების დროის შემცირება) და, რა თქმა უნდა, ელექტროენერგიის ხარჯის დაზოგვა.

გარდა აღნიშნულისა, საგადასარბენო დროის უცვლელად შენარჩუნებით, დიდი აჩქარებების რეალიზება საშუალებას იძლევა მატარებელი თავისუფალი გორვის რეჟიმით ვატაროთ უფრო ხანგრძლივ დროში, დამუხრუჭება დავიწყოთ უფრო დაბალ სიჩქარეზე ($V_{დ2}$ სიჩქარეზე $V_{დ1}$ -ის ნაცვლად) (ნახ. 18.6).

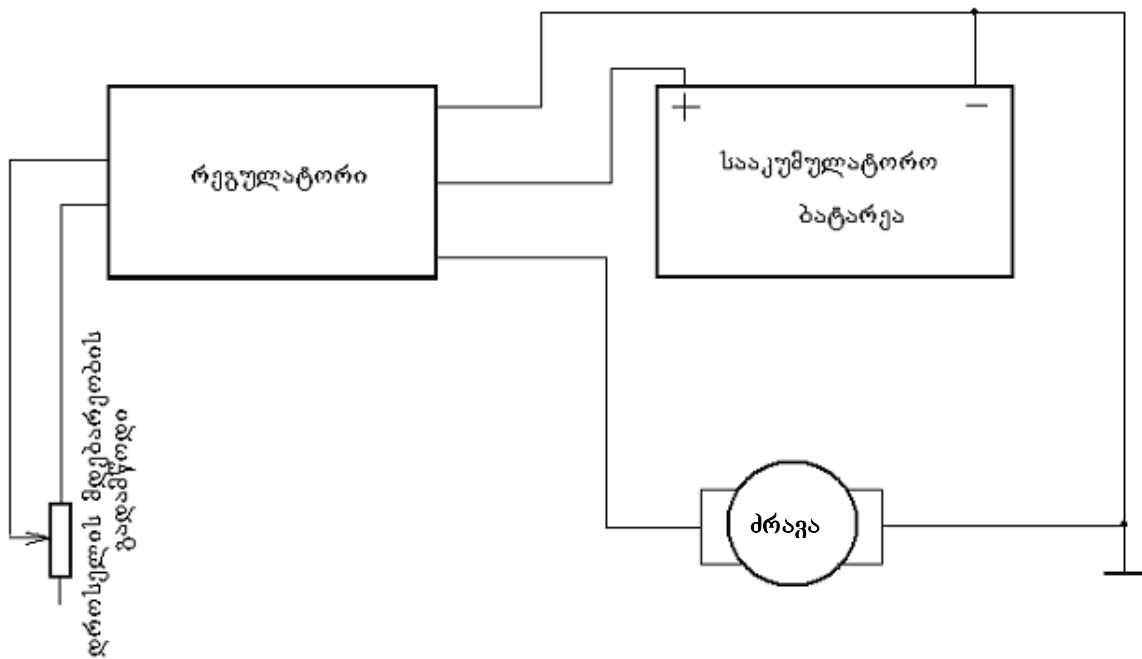


ნახ. 18.6. მატარებლის აჩქარების გავლენა ელექტროენერგიის ხარჯზე.

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ის, რომ თანამედროვე, მაღალეფექტური ნახევარგამტარული ტექნიკის ბაზაზე შესრულებული სტატიკური გარდამქმნელებით აღჭურვილი რეგულირების სისტემების გამოყენება, საშუალებას იძლევა მინიმუმამდე დავიყვანოთ ენერგიის დანაკარგები ამუშავების და დამუხრუჭების დროს.

19.1. ზოგადი ცნობები ელექტრომობილების შესახებ

ტერმინი ელექტრომობილის ქვეშ იგულისხმება ავტომობილი, რომლის წამყვანი თვლების მოძრაობაში მოსაყვანად გამოიყენება დენის წყაროდან მიღებული ელექტრული ენერჯია (მაგალითად, სააკუმულატორო ბატარეიდან). ელექტრომობილში შეიძლება გამოიყენოს სამი ძირითადი კვანძი: დენის წყარო, ელექტრული ძრავა და ძაბვის რეგულატორი. გამარტივებული სტრუქტურული სქემა მოცემულია 19.1 ნახაზზე.



ნახ. 19.1. ელექტრომობილის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა.

19.1.1. ძრავა-რეგულატორი

ელექტრომობილზე შეიძლება გამოყენებული იყოს, როგორც მუდმივი დენის, ასევე ცვლადი დენის ელექტრული ძრავა.

მუდმივი დენის ძრავას გამოყენების შემთხვევაში, ძრავას ბრუნთა რიცხვის და შესაბამისად ელექტრომობილის სიჩქარის რეგულირება ხდება შედარებით მარტივად, ძრავას მომჭერებზე ძაბვის მდოვრე რეგულირებით. ეს უკანასკნელი შეიძლება განხორციელდეს, მაგალითად, სტატიკური განივ-იმპულსური გარდაქმნელის მეშვეობით.

რაც შეეხება ცვლადი დენის ძრავას (მაგალითად სამფაზა ასინქრონული ძრავას) გამოყენების დროს, რეგულატორი წარმოადგენს რამდენიმე კვანძისაგან შემდგარ

როულ ელექტრონულ მოწყობილობას, რომლის ღირებულებამ შეიძლება გადაფაროს ძრავას სიიაფით დაზოგილი ხარჯები. თუმცა, თანამედროვე ნახევარგამტარული ტექნიკის ბაზა საშუალებას იძლევა შეიქმნას კომპაქტური, შედარებით იაფი და საიმედოდ მომუშავე სტატიკური სამფაზა რეგულატორები.

19.1.2. სააკუმულატორო ბატარეა

ელექტრომობილზე დენის წყაროდ შეიძლება გამოყენებული იყოს ნებისმიერი მოწყობილობა, რომელიც იძლევა ელექტროენერგიას. კერძოდ: აკუმულატორები, მოტორ-გენერატორები, წყალბადის გაზზე მომუშავე ელემენტები, მზის ბატარეები და სხვა. დღეისათვის ყველაზე პრაქტიკულად ითვლება ელექტროქიმიური მოქმედების პრინციპზე მომუშავე სააკუმულატორო ბატარეები, რომლებიც გვხვდება სხვადასხვა ტიპის. კერძოდ: ტყვია-გოგირდმუავიანი, ნიკელ-კადმიუმიანი, ლითიუმ-იონური, რკინა-ნიკელის და ა.შ. ჩამოთვლილთაგან ყველაზე იაფია ტყვია-გოგირდმუავიანი აკუმულატორები, მაგრამ მათი სამსახურის ვადა მცირეა. ეს განპირობებულია დამუხტვის პროცესში ელექტროლიტის “დუღილით” (რასაც განაპირობებს დამუხტვის დენის და ძაბვის დიდი მნიშვნელობები). “დუღილის” დროს წარმოქმნილი ბუშტულები “არღვევენ” (შლიან) ფირფიტებს და აკუმულატორი გამოჰყავთ მწყობრიდან. სერიულად გამომაველ აკუმულატორებში ყველაზე ძვირადღირებულია ლითიუმ-იონური აკუმულატორები. მათ აქვთ არსებულ აკუმულატორებში ყველაზე დაბალი ხვედრითი მასა და უშვებენ დამუხტვის დენის შედარებით მაღალ მნიშვნელობებს; კერძოდ, უშვებენ დამუხტვის დენს 3C-ს ტოლს. (C აკუმულატორის ტევადობაა ამპერ-საათებში).

ამერიკული წარმოების მშრალი რულონური ტიპის აკუმულატორებს “ოპტიმა”. შეუძლიათ მუშაობა დიდ დენებზე, სტარტერულ-წვევის რეჟიმში, უშვებენ დამუხტვის დენის დიდ მნიშვნელობებს.

19.2. ისტორია

რაც არ უნდა პარადოქსულად ჟღერდეს, ელექტრომობილი შეიქმნა უფრო ადრე, ვიდრე შიდაწვისძრავიანი ავტომობილი. პირველი ელექტრომობილი (ურიკა ელექტროძრავით) შეიქმნა 1841 წელს. რუსი გამომგონებლის იპოლიტე რომანოვის ორადგილიან ელექტრომობილს ჰქონდა 10 გრადაციის სიჩქარე. მინიმალური 1,6 კმ/სთ, მაქსიმალური 37,4 კმ/სთ.

საწყის ეტაპზე სვლის მარაგი და მოძრაობის სიჩქარეები შიგაწვისძრავიან ავტომობილებს და ელექტრომობილებს ჰქონდათ ერთნაირი. ელექტრომობილების

მთავარ ნაკლად წარმოჩნდა სააკუმულატორო ბატარეების დამუხტვის რთული სისტემა. დასაწყისში ეს ხდებოდა მბრუნავი მოტორ-გენერატორების საშუალებით. 1906 წელს დაინერგა მუდმივი დენის მისაღებად პირველი სტატიკური გარდამქმნელი, მაგრამ ამან მდგომარეობა ვერ გამოასწორა.

1899 წელს “La Jamais Contente ელექტრომობილმა დაამყარა ხმელეთზე სიჩქარის რეკორდი 105,882კმ/სთ. ხოლო “ბორლანდ ელექტრიკის” ფირმის ელექტრომობილმა ერთი დამუხტვით გაიარა მანძილი ჩიკაგოდან – მილოუკამდე 167კმ, საშუალო სიჩქარით 55 კმ/სთ.

1 900-იან წლებში ამერიკის შეერთებულ შტატებში ნიუ-იორკში მუშაობდა 70 000 ელექტრომობილი, უფრო მეტი, ვიდრე ავტომობილი. შემდგომში ავტომობილების სიჩქარის მკვეთრმა ზრდამ და ბენზინით გაწვობის სიმარტივემ განაპირობა ავტომობილების რიცხვის ზრდის ტენდენცია.

ელექტრომობილების მიმართ ინტერესი მსოფლიოში განახლდა გასული საუკუნის 60-იან წლებში, როდესაც ავტომობილებმა წარმოშვა ეკოლოგიური პრობლემები და, ამასთანავე, წარმოქმნილმა ენერგეტიკულმა კრიზისმა გამოიწვია ორგანულ საწვავზე ფასების მნიშვნელოვანი ზრდა.

19.3. ელექტრომობილების უპირატესობა

ელექტრომობილი ავტომობილთან შედარებით გამოირჩევა დაბალი საექსპლუატაციო ხარჯებით. მაგალითად იაპონური ავტომობილი RAV-4 ერთ კილომეტრ მანძილის გაგლაზე ხარჯავს 0,19 კვტ.სთ ენერგიას. საშუალო 20 000კმ წლიური გარბენის შემთხვევაში, თუ 1 კვტ.სთ ენერგიის ღირებულება 12 ცენტია, მაშინ წლიური ხარჯი საშუალოდ იქნება 550 დოლარი.

თუ ეს ავტომობილი იმუშავებდა ორგანულ საწვავზე, მაშინ წლიური ხარჯი იქნებოდა დაახლოებით 3 500 დოლარი, ანუ ყველა სხვა თანაბარ პირობებში 6-7-ჯერ მეტი.

გარდა აღნიშნულისა, ელექტრომობილებში წვეის ელექტრული ძრავების და ელექტრული ტრანსმისიის ჯამური მარგი ქმედების კოეფიციენტი 2,5 ჯერ მაღალია ავტომობილების თბური ძრავას და მექანიკური ტრანსმისიის ჯამურ მ.ქ.კ-ზე, რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ ენერგიის გარდაქმნის პროცესი ავტომობილებში მიმდინარეობს 2,5 ჯერ მეტი დანაკარგებით.

უნდა აღინიშნოს ელექტრომობილის შემდეგი უპირატესობები ავტომობილთან შედარებით:

- მავნე გამონაბოლქვის არარსებობა.
- მაღალი ეკოლოგიურობა იმის გამო, რომ არ ხმარობს ორგანულ საწვავს, ანტიფრიზებს, ზეთებს და მათ ფილტრებს.
- ტექნომსახურეობის სიმარტივე და სერვისულ მომსახურეობებს შორის მნიშვნელოვანი გარბენა.
- ავარიისას დაბალი ხანძარ და ფეთქებადი საშიშროება.
- კონსტრუქციის სიმარტივით მაღალი საიმედოობა და სავალი ნაწილის დიდი გამძლეობა.
- სააკუმულატორო ბატარეების საყოფაცხოვრებო ქსელიდან დამუხტვის შესაძლებლობა.
- იაფი ელექტროენერჯის (ჰიდრო და ატომურ სადგურებში მიღებული) გამოყენების შესაძლებლობა.
- ღამის საათებში სააკუმულატორო ბატარეების დამუხტვის გზით ე.წ. "ენერგეტიკული პიკების" მოხსნის შესაძლებლობა.
- მნიშვნელოვნად დაბალი ხმაურის დონე.
- სიჩქარეთა მთელ დიაპაზონში სვლის მაღალი სიმდოვრე.
- აკუმულატორების თანდამუხტვა რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში.
- ელექტროდინამიური დამუხრუჭების შესაძლებლობა, რაც განაპირობებს მექანიკური ფრიქციული (ხახუნის პრინციპზე მომუშავე) მუხრუჭების ხშირ არ გამოყენებას, შესაბამისად მათი ცვეთის შემცირებას და დამუხრუჭების პროცესის საიმედოობის გაზრდას.
- ე.წ. "მტორ-თვალი"-ის მეშვეობით ყველა თვალზე სრული ამძრავის გამოყენებით, გამავლობის და მანევრულობის გაზრდა.

19.4. ელექტრომობილების ნაკლი

- მიუხედავად აკუმულატორების კონსტრუქციის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესებისა, საუკუნე ნახევრის განმავლობაში ელექტრომობილმა ვერ შეძლო კონკურენცია გაეწია ავტომობილისათვის ორი პარამეტრის: ერთი გაწყობით განვლილი მანძილის და ღირებულების მიხედვით.
- აკუმულატორები, როგორც პირველადი ენერჯის წყარო, კარგად მუშაობენ ელექტრომობილების მდოვრე და უცვლელი (თანაბარი) სიჩქარით მოძრაობისას. მკვეთრი დაძვრის და გაქანების პირობებში მათში ენერჯის დანაკარგები დიდია, რაც ამცირებს გარბენებს. ამ უკანასკნელის გაზრდის მიზნით უნდა

გამოვიყენოთ სპეციალური სასტარტო სისტემები და რეკუპერაციული დამუხრუჭება (ეს უკანასკნელი საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ დაკარგული ენერჯის 25%-მდე).

- გარკვეულ პრობლემას წარმოადგენს მომწამლავი კომპონენტების (ტყვია, ლითიუმი, გოგირდმუხავა) შემცველი აკუმულატორების წარმოება და უტილიზაცია.
- სააკუმულატორო ბატარეის ენერჯის ნაწილი იხარჯება ელექტრომობილის დამხმარე საბორტო სისტემების (გათბობა, კონდიციონერება, განათება, საჰაერო კომპრესორები და ა.შ.) კვებაზე, რაც, რა თქმა უნდა, ამცირებს გარბენას.
- ელექტრომობილების მასიური ექსპლუატაციის პირობებში აუცილებელი ხდება სააკუმულატორო ბატარეის დამუხრუჭავი ინფრასტრუქტურის (ე.ი. ავტოდაამუხრუჭავი სადგურების) შექმნა.
- ელექტრომობილების მასიური დანერგვის შემთხვევაში, ბატარეის საყოფაცხოვრებო ქსელიდან დამუხრუჭვის პირობებში, მნიშვნელოვნად გაიზრდება ენერჯეტიკული სისტემის გადატვირთვა, რაც აუცილებლად მოახდენს ზეგავლენას ელექტრომომარაგების ხარისხზე (ძაბვის დანაკარგების გაზრდა, სისწირეების ვარდნა, ლოკალური გამორთვები).
- სააკუმულატორო ბატარეის დამუხრუჭვისათვის გაცილებით ხანგრძლივი დროა საჭირო (რამდენიმე საათი), ვიდრე ავტომობილის ორგანული საწვავით გაწეობის დროს (რამდენიმე წუთი).
- ერთჯერადი დამუხრუჭვით გაცილებით ნაკლებია გარბენი, ვიდრე გამოყენებული შიგაწვისძრავიანი ავტომობილით, ერთი გაწეობის საწვავით.

მაგალითად: 24კვტ.სთ ტევადობის მქონე ლითიუმის სააკუმულატორო ბატარეით, მოძრაობის საშუალო პარამეტრებით (სიჩქარე-60-90კმ/სთ-ში, ახლო განათების მაშუქებით, სალონის გათბობის და კონდიციონერების გარეშე) გარბენა შეადგენს 160კმ-ს.

თუ იქნება სალონის კონდიციონერება ან გათბობა, ხშირი დაძვრა გაჩერებებით, სიჩქარე 100 კმ/სთ-ზე მეტი, მაშინ გარბენა თითქმის ორჯერ მცირდება და შეადგენს 80 კმ-ს.

ლითიუმის აკუმულატორების მაღალი ღირებულება (მაგალითად 24 კვტ.სთ ენერჯოტევადობის სააკუმულატორო ბატარეის ღირებულება შეადგენს 6 000-9 000 აშშ დოლარს).

დაბალი ღირებულების ტყვია გოგირდმუხავას შემცველი ბატარეა, წონით 400 კგ, უზრუნველყოფს 80 კმ გარბენას.

ზემონათქვამიდან ჩანს, რომ პირველ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იზრდება

ელექტრომობილის ღირებულება, ხოლო მეორე შემთხვევაში ასევე მნიშვნელოვნად იზრდება მისი მასა.

- გარემოს დაბალი ტემპერატურის უარყოფითი ზეგავლენა აკუმულატორის მახასიათებელზე (ტევადობის შემცირება).
- სააკუმულატორო ბატარეის ტევადობის მნიშვნელოვანი შემცირება ასაკის ზრდასთან ერთად.

19.5. თანამედროვე მიღწევები

2010 წლის მაისის თვეში ელექტრულ წვეაზე გადაყვანილმა იაპონურმა ავტომობილმა “Daihatsu Miva EV”-მ ერთი დამუხტვით გაიარა 1 003 კმ. ამავე წლის აგვისტოში ელექტრომობილმა “Venturi jamais Contente”-მ ლითიუმ-იონური აკუმულატორებით, აშშ-ს იუტას შტატში მარილიანი ტბის ფსკერზე დაამყარა სიჩქარის რეკორდი 515 კმ/სთ-ში.

2010 წლის ოქტომბერში, “აუდი A-2“-ის ბაზაზე შექმნილმა ელექტრომობილმა, რეალური მოძრაობის პირობებში (საზოგადოებრივი მოხმარების მაგისტრალზე, ყველა დამხმარე მოწყობილობის, მათ შორის გათბობის მუშაობის პირობებში) მანძილი მიუნხენიდან-ბერლინამდე (605 კმ) გაიარა 55 კვტ სიმძლავრის ძრავით და 115 კვტ.სთ. ტევადობის ლითიუმ-პოლიმერული (“kalibri-ს) ტიპის სააკუმულატორო ბატარეის ერთჯერადი დამუხტვით, საშუალო სიჩქარით 90 კმ/სთ. ფინიშის შემდეგ ბატარეაში შენარჩუნებული იყო საწყისი ენერჯის 18%, ანუ 21 კვტ.სთ. აღსანიშნავია, რომ “kalibri-ის ტიპის აკუმულატორების რესურსი 500 000 კმ-ს შეადგენს.

19.6. პერსპექტივა

ელექტრომობილების სფეროში ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ 2 005 წლისთვის ელექტროტრანსპორტის გაყიდვების ინდუსტრიამ, ე.წ. პიბრიდული მანქანების ჩათვლით, შეადგინა 31,1 მილიარდი დოლარი. დღევანდელი პროგნოზით ეს ციფრი 2 015 წლისთვის გაიზრდება 227 მილიარდ დოლარამდე, ანუ 7-ჯერ.

სერიოზული მუშაობა მიდის ისეთი სააკუმულატორო ბატარეის შექმნაზე, რომელსაც ექნება მცირე დამუხტვის დრო (15 წუთამდე). უკანასკნელ წლებში წარმატებით გამოიცადა სააკუმულატორო ბატარეები $Li_4Ti_5O_{12}$ – ელექტროდების ბაზაზე, რომელთა დამუხტვის დრო 10-15 წუთია.

მრავალმხრივი მუშაობა მიდის კვების წყაროებად აკუმულატორების ნაცვლად კონდენსატორების გამოყენების მიზნით. კონდენსატორები იმუხტებიან დიდი დენებით

მცირე დროში, აქვთ მაღალი (95%-ზე მეტი) ენერგოეფექტურობა და ძალზე დიდი დამუხტვა განმუხტვის რესურსი (ასეულობით ათასი). აღნიშნული სუპერკონდენსატორების საცდელი ნიმუშების ხვედრითი ენერგოტევადობაა 32 ვტ.სთ/კგ. შედარებისთვის ტყვია-გოგირდმუავიანი აკუმულატორებისათვის ხვედრითი ენერგოტევადობა 30-40 ვტ.სთ/კგ-ია.

19.7. წვეის ძრავები

ელექტრომობილებზე, ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, გამოიყენებოდა მხოლოდ მუდმივი დენის მიმდევრობითაგზნებიანი წვეის ძრავები. ეს განპირობებული იყო ამ ძრავების მნიშვნელოვანი ღირსებებით. კერძოდ:

- ბუნებრივი რეგულირებადი მახასიათებლით ეს ძრავა ყველაზე კარგად პასუხობს სატრანსპორტო ამოცანებს. მოძრაობის დროს დატვირთვის გაზრდისას (მაგალითად, როულ პროფილზე გადასვლისას) მცირდება სიჩქარე, რაც ავტომატურად იწვევს დენის და შესაბამისად წვეის ძალის გაზრდას.
- დაძვრის მომენტში ეს ძრავები ანვითარებენ დიდ მბრუნებელ მომენტს. მართლაც მომენტი $M = C\Phi I$; თავის მხრივ დაძვრისას მაგნიტური ნაკადი პროპორციულია აგზნების გრაგნილში გამავალი დენის, რომელიც იგივე ღუზის დენია. ანუ $C\Phi = KI$, ე.ი. მბრუნებელი მომენტი $M = KI^2$ დენის კვადრატის პროპორციულია.
- ამ ტიპის ძრავებს აქვთ კონსტრუქციულად უფრო უკეთესი მასა-გაბარიტული მაჩვენებლები.
- ამ ტიპის ძრავებს ახასიათებთ უფრო მაღალი კომუტაციური მდგრადობა, რადგან აგზნების გრაგნილის მაგნიტომამოძრავებელი ძალის ცვლილებისას, პრაქტიკულად ერთდროულად იცვლება ღუზის რეაქციის მაგნიტომამოძრავებელი ძალა, რის გამოც კომპენსირდება ღუზის გრაგნილში რეაქტიული ე.მ.ძ., სტაბილიზირდება ნაპერწკლიანობა კოლექტორზე.
- სხვა ტიპის ძრავებთან შედარებით მაღალი საიმედოობა.
- სხვა ძრავებთან პარალელურ რეჟიმში მუშაობისას, დატვირთვის გადანაწილების უნარი ხელოვნური ღონისძიებების გარეშე.

წვეის ძრავაში და მთლიანად სისტემაში დანაკარგების შემცირების მიზნით ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ უფრო ხელსაყრელია დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას გამოყენება. ეს შესაძლებელი გახდა დამოუკიდებელი აგზნების გრაგნილების საკვებად ეფექტური ნახევარგამტარული რეგულა-

ტორების შექმნით. ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესებასთან ერთად, ასეთი ძრავების გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა მთელი რიგი ფუნქციონალური უპირატესობების წარმოჩენა. კერძოდ:

- უმჯობესდება ელექტრომობილების მართვა, განსაკუთრებით ელექტრული დამუხრუჭების რეჟიმში.
- ფართოვდება სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონი. მიიღწევა დამყარებული სიჩქარის უფრო მაღალი სტაბილურობა, დაძვრის და გაქანების უკეთესი დინამიკა.

ენერჯის დანაკარგების მნიშვნელოვანი შემცირება მიიღწევა ღუზის მომჭერებზე ძაბვის იმპულსური რეგულატორის და აგზნების დენის რეგულატორის შეთანხმებული მუშაობით. სიჩქარის რეგულირების დიაპაზონის $\frac{2}{3}$ ზონაში, რეგულირება ხდება აგზნების დენის რეგულირებით. ამ დროს ღუზის მომჭერებზე ძაბვა მაქსიმალურია, ძაბვის რეგულატორი მუშაობს გაქვინთვის ზონაში და მისი მ.ქ.კ-ი აღწევს 0.95-0.97.

მუდმივი დენის ძრავების ძირითადი ნაკლია:

- კოლექტორი-ჯაგრისების კვანძის არსებობა, რაც აძვირებს ძრავას ღირებულებას და ზრდის მის საექსპლუატაციო ხარჯებს.
- ცვლადი დენის ძრავებთან შედარებით დიდი მასა-გაბარიტული მაჩვენებლები.

19.8. ჰიბრიდული ავტომობილები

დღეისათვის ელექტრომობილების ფართოდ დანერგვას, ძირითადად, ზღუდავს ორი ფაქტორი:

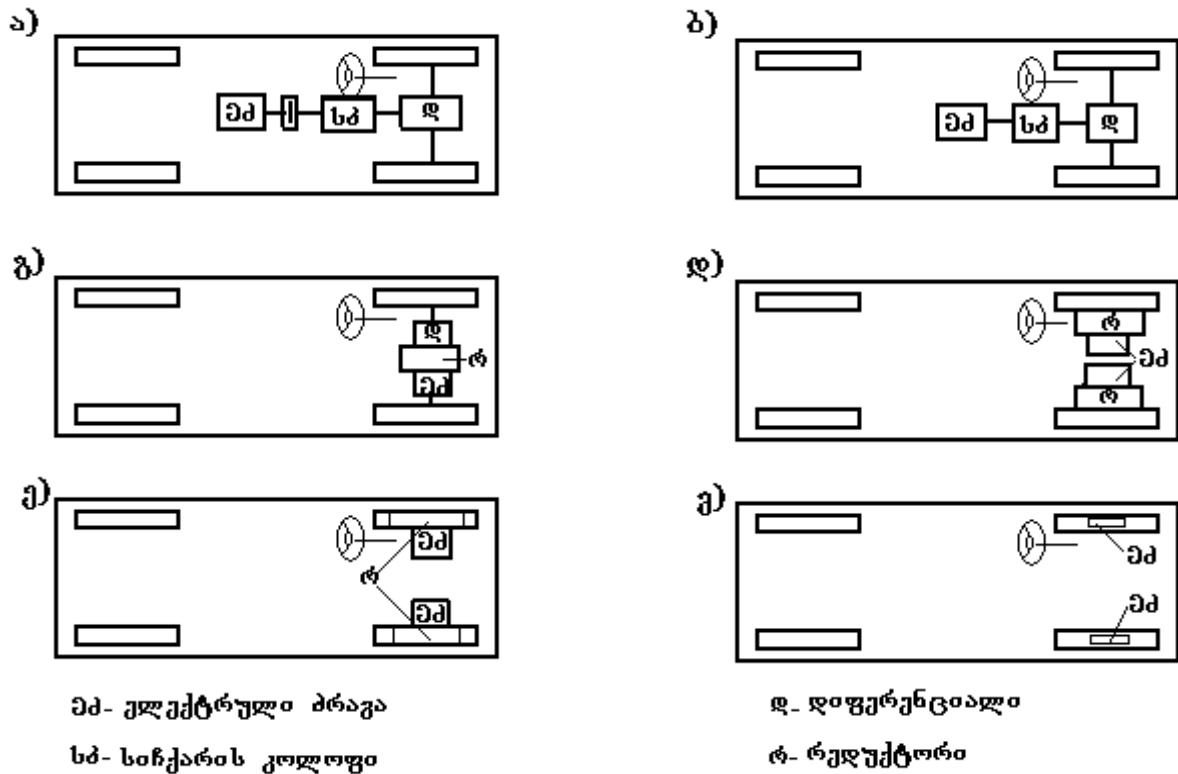
ა) სააკუმულატორო ბატარეის დამუხტვის პროცესის ხანგრძლივობით გამოწვეული სირთულე. სხვაგვარად, სააკუმულატორო ბატარეაში ენერჯის განთავსებისათვის საჭიროა გაცილებით ხანგრძლივი დრო (ყველაზე კარგ შემთხვევაში, რამდენიმე საათი), ნაცვლად ორგანული საწვავით ავტომობილის გაწყობისთვის საჭირო რამდენიმე წუთისა.

ბ) სააკუმულატორო ბატარეაში ერთჯერადი დამუხტვით განთავსებული ენერჯით მნიშვნელოვნად ნაკლები გარბენი, იგივე მონაცემების მქონე ავტომობილის გარბენთან შედარებით.

შექმნილი მდგომარეობიდან საშუალებდო გამოსავალია ე.წ. “ჰიბრიდული” (ავტომობილის და ელექტრომობილის სინთეზი) ავტომობილის შექმნა, კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით.

19.9. ელექტრომობილების ელექტრული ამძრავების კონსტრუქციული შესრულების შესაძლო ვარიანტები

ელექტრომობილების ელექტროამძრავების კონსტრუქციული შესრულების რამდენიმე ვარიანტი მოცემულია 19.2 ნახაზზე.



ნახ. 19.2. წვეის ელექტროამძრავის ვარიანტები.

19.2 ა ნახაზზე ნაჩვენებია წვეის ელექტრული ამძრავი, რომელიც შედგება ელექტრული ძრავისაგან ემ, გადაბმულობისაგან, სიჩქარეთა კოლოფისაგან სპ და დიფერენციალისაგან დ. გადაბმულება გამოიყენება ელექტროძრავას და წამყვანი თვლების დროებითი განცალკავებისათვის. სიჩქარეთა კოლოფი სპ უზრუნველყოფს გადაცემის სხვადასხვა რიცხვს, თვლებზე მბრუნავი მომენტის რეგულირებისათვის. დიფერენციალი დ მექანიკური მოწყობილობაა, რომელიც პლანეტარული მექანიზმის გამოყენებით უზრუნველყოფს ელექტრომობილის მოძრაობას მრუდეებში.

19.2 ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტრომობილის ელექტროამძრავი, ელექტრო ძრავას სიჩქარის დიდი დიაპაზონით. ეს სქემა არათუ ამსუბუქებს და ამარტივებს მექანიკურ გადაცემას, არამედ არ მოითხოვს გადაცემის საფეხურების გადართვას.

19.2 გ ნახაზზე მოცემულია წვეის ელექტრული ამძრავი, რომელშიც ელექტრული წვეის ძრავა, გადამცემი რედუქტორი და დიფერენციალი განთავსებული და გაერთიანებულია ერთ კორპუსში.

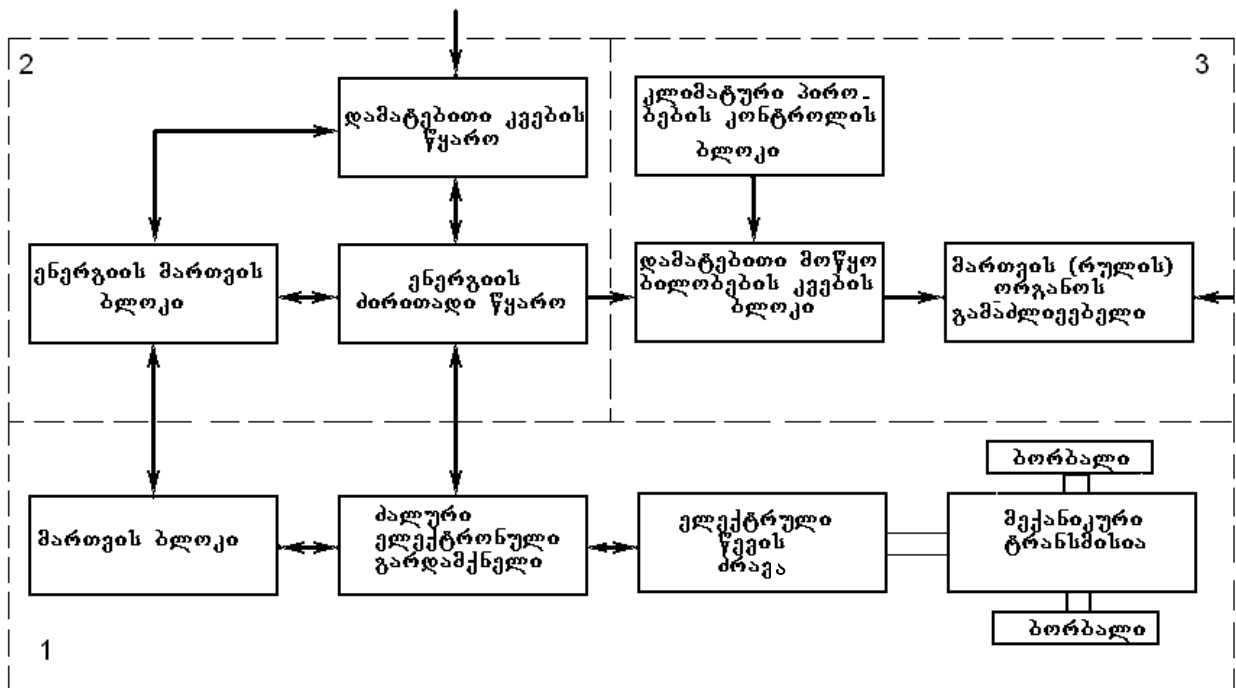
19.2 დ ნახაზზე მოცემულია სქემა, სადაც მექანიკური გადაცემა არ გვაქვს და ის შეცვლილია ცალ-ცალკე ბორბალთან დაკავშირებული ორი ელექტრული ძრავით.

192 ე ნახაზზე მოცემულია წვეის ელექტროამძრავი, სადაც წვეის ძრავა ჩასმულია თვალში.

19.2 ვ ნახაზზე მოცემულია სქემა, სადაც ელექტრო წვეის ძრავასა და თვალს შორის არ არსებობს შუალედური მექანიკური მექანიზმი და წამყვანი თვალი დასმულია უშუალოდ წვეის ძრავას როტორის ღერძზე. ასეთი სქემა მოითხოვს, რომ წვეის ძრავას ჰქონდეს დიდი მამბრუნი მომენტი და მისი მასა იყოს გარესორებული.

19.10. ელექტრომობილის წვეის ელექტროამძრავის ფუნქციონალური სქემა

ელექტრომობილის წვეის ელექტროამძრავის ფუნქციონალური სქემის საფუძვლად შეიძლება მივიღოთ 19.3 ნახაზზე მოცემული სქემა, რომელიც შეიცავს სამ ძირითად კვანძს: წვეის ელექტროამძრავის ძალურ ნაწილს, ენერგეტიკულ ბლოკს და დამხმარე მოწყობილობის ბლოკს. ელექტროამძრავის ძალური ნაწილი შეიცავს ელექტრონული მართვის ბლოკს, ძალურ ელექტრონულ ბლოკს, ელექტრულ მანქანას, მექანიკურ ტრანსმისიას და წვეილთვალს.



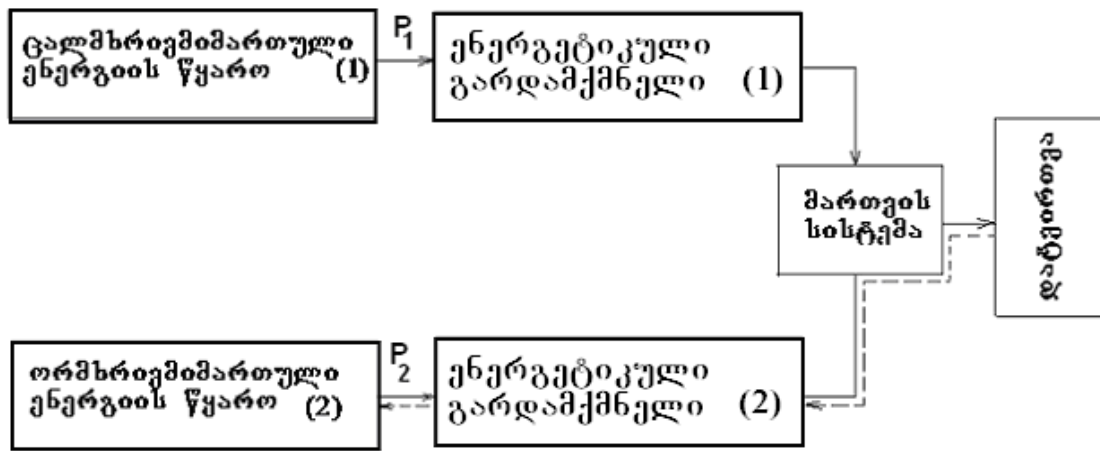
ნახ. 19.3. ელექტრომობილის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა:
 1- წვეის ელექტრული ამძრავის ძალური წრედი, 2- ენერგეტიკული ბლოკი, 3- დამხმარე მოწყობილობის ბლოკი.

ენერგეტიკული ბლოკი შეიცავს ენერჯის ძირითად წყაროს, ენერჯის დამატებით წყაროს და ენერჯის მართვის ბლოკს.

დამხმარე მოწყობილობის ბლოკში შედის ელექტრული კვების ბლოკი, მართვის (საჭის) გამაძლიერებელი ბლოკი და კლიმატური პირობების მართვის ბლოკი.

19.11. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონირების ზოგადი პრინციპები

კომბინირებული ენერგეტიკული წყაროებით აღჭურვილ სატრანსპორტო საშუალებაში, ძალური გადაცემა ენერგიას იღებს არა უმეტეს ორი წყაროდან. იხ. სტრუქტურული სქემა (ნახ. 19.4).



ნახ. 19.4. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი ავტომობილის სტრუქტურული სქემა.

წარმოდგენილი სტრუქტურული სქემის მიხედვით დატვირთვა ენერგიას იღებს სხვადასხვა კომბინაციით; კერძოდ:

1. დატვირთვა კვებას იღებს მხოლოდ ენერგიის პირველ წყაროდან (თბური ძრავა), რაც საკმარისია სატრანსპორტო საშუალების მოძრაობაში მოსაყვანად; ამ დროს სააკუმულატორო ბატარეა [ენერგიის მე-2 წყარო] განმუხტულია ან დამუხტულია და გამორთული.
2. დატვირთვა კვებას იღებს მხოლოდ ენერგიის მე-2 წყაროდან (საკუმულატორო ბატარეა). ამ დროს თბური ძრავა პირველ გამორთულია. ეს რეჟიმი გამოიყენება ისეთ ადგილებში, სადაც მავნე გამონაბოლქვების არსებობა მკაცრადაა ლიმიტირებული (მაგალითად დასახლებული ადგილები).
3. დატვირთვა ენერგიას იღებს პირველ და მე-2 წყაროდან. ეს ხერხი წარმოადგენს მომხმარებლის სიმძლავრით კვების ჰიბრიდულ ხერხს და გამოიყენება, როდესაც მომხმარებელი მოითხოვს დიდ სიმძლავრეს (მაგალითად, მკვეთრი დაძვრისას, ან რთულ პროფილზე მოძრაობის დროს).

4. რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმი, როდესაც მოძრავ სატრანსპორტო საშუალების კინეტიკური ენერჯის ხარჯზე გამომუშავდება ელექტრული ენერჯია და დაგროვდება სააკუმულატორო ბატარეაში.
5. ენერჯის პირველი წყარო ამოდრავებს სატრანსპორტო საშუალებას და ერთდროულად მუხტავს სააკუმულატორო ბატარეას (2).
6. ენერჯის პირველი წყარო მუხტავს სააკუმულატორო ბატარეას და ეს უკანასკნელი კვებას წვეის ძრავებს.

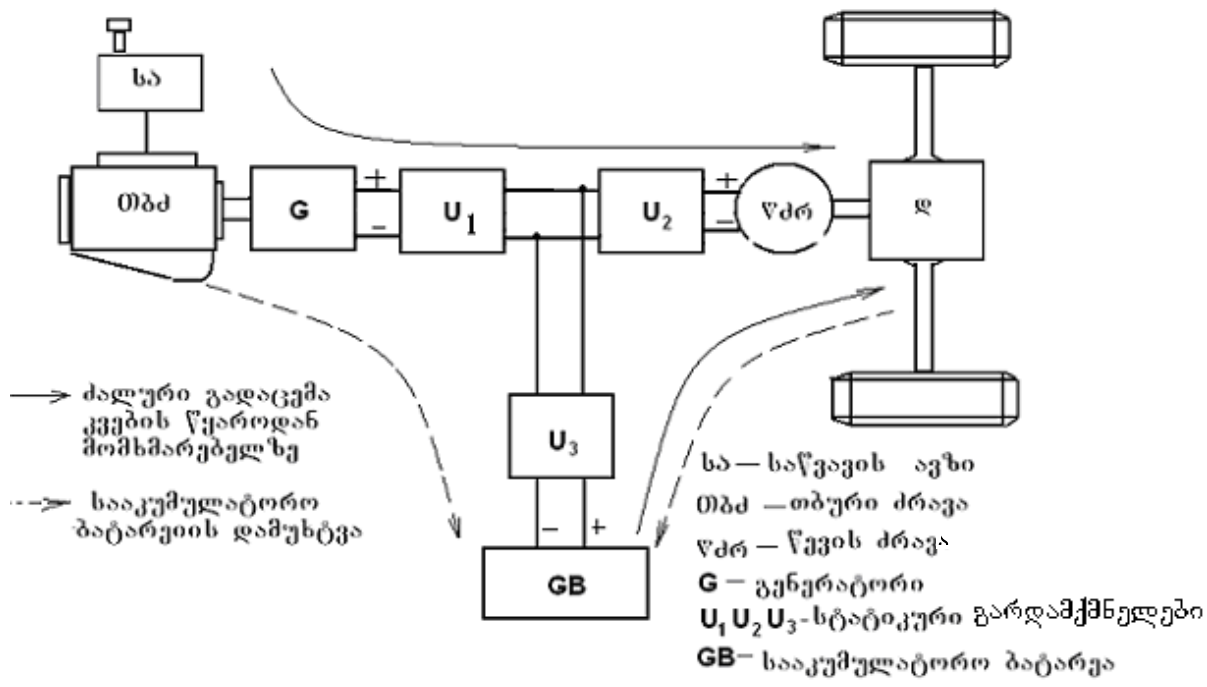
19.12. კომბინირებული ენერჯეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავის კლასიფიკაცია

ტრადიციულად, კომბინირებული ენერჯეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავი კლასიფიცირდება ორ ძირითად სტრუქტურულ სქემად: მიმდევრობითი და პარალელური.

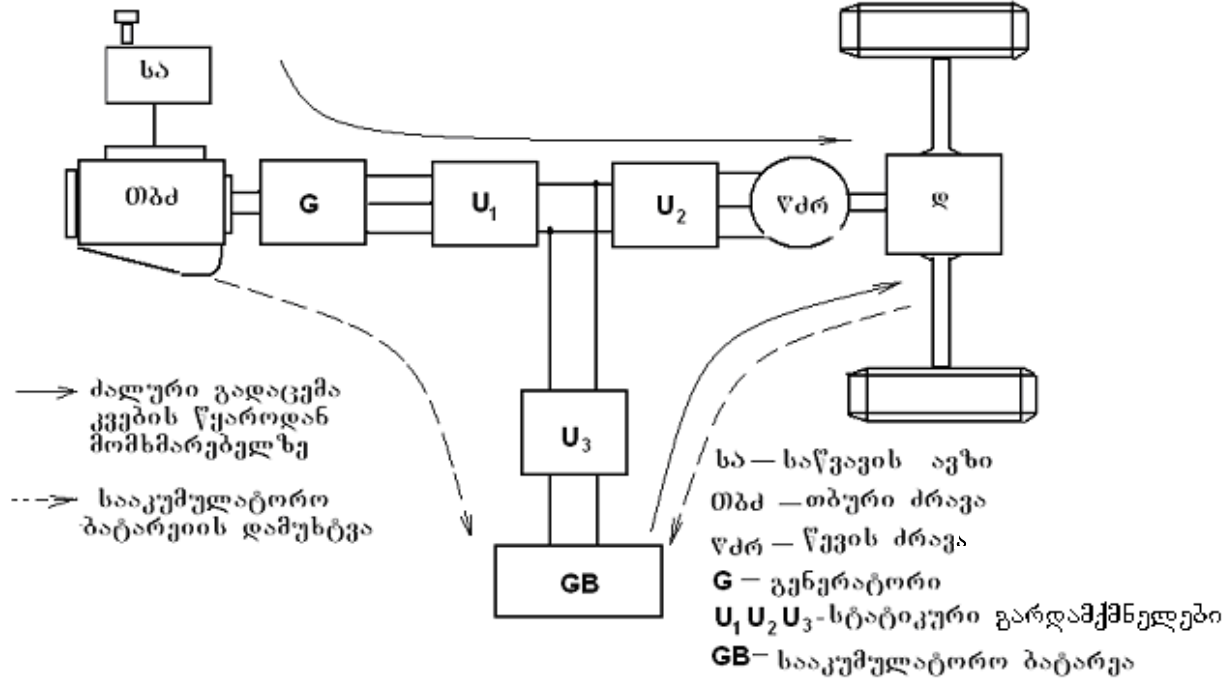
19.12.1. კომბინირებული ენერჯეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი მიმდევრობითი სტრუქტურული სქემა

მიმდევრობითი სტრუქტურული სქემის ძირითადი პრინციპია ენერჯის წყაროსა (თბური ძრავა) და წამყვან თვლებს შორის მექანიკური კავშირის არარსებობა. ამ დროს თბური ძრავას მიერ შექმნილი მექანიკური ენერჯია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერჯიად (გენერატორის მეშვეობით). შემდეგ ეს ელექტრული ენერჯია წვეის ელექტრული ძრავას მეშვეობით კვლავ გარდაიქმნება მექანიკურ ენერჯიად. სქემა შეიცავს ენერჯის ორ წყაროს – თბურს (შიგაწვეის ძრავა-გენერატორი) და ელექტრულს (საკუმულატორო ბატარეა).

თბურ ძრავას მოძრაობაში მოჰყავს მუდმივი დენის ელექტრო გენერატორი (ნახ. 19.5) ან სამფაზა ცვლადი დენის სინქრონული გენერატორი (ნახ. 19.6). აღნიშნული გენერატორები ცალკე ან კვების მეორე წყაროსთან (საკუმულატორო ბატარეასთან) ერთად კვებავენ წვეის ელექტრულ ძრავს. პირველ შემთხვევაში მუდმივი დენის წვეის ძრავას (ნახ. 19.5), ხოლო მეორე შემთხვევაში სამფაზა ასინქრონულ წვეის ძრავას (ნახ. 19.6). სისტემა **თბური ძრავა-გენერატორი წარმოადგენს ერთმიმართულეზიან ენერჯის წყაროს**. წვეის ელექტრული ძრავა დამუხრუჭების რეჟიმში მუშაობს, როგორც გენერატორი (მოძრავი სატრანსპორტო საშუალების კინეტიკური ენერჯის ხარჯზე) და გამომუშავებული ელექტროენერჯით კვებავენ ენერჯის მეორე წყაროს (საკუმულატორო ბატარეას) (ნახ. 19.5, ნახ. 19.6).



ნახ. 19.5. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით ალტურვილი მიმდევრობითი სქემა, მუდმივი დენის წვევის ელექტრული ამძრავით.



ნახ. 19.6. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით ალტურვილი მიმდევრობითი სქემა, სამფაზა ცვლადი დენის წვევის ელექტრული ამძრავით.

ელექტრული გენერატორი G წვევის ელექტრულ ძრავას ($ვძრ$) უკავშირდება ორი ელექტრონული U_1 და U_2 გარდამქმნელის საშუალებით. მეორე კვების წყარო GB (სააკუმულატორო ბატარეა) ორმომართულებიანია და წვევის ელექტრულ ძრავას უკავშირდება U_3 ელექტრონული გარდამქმნელით.

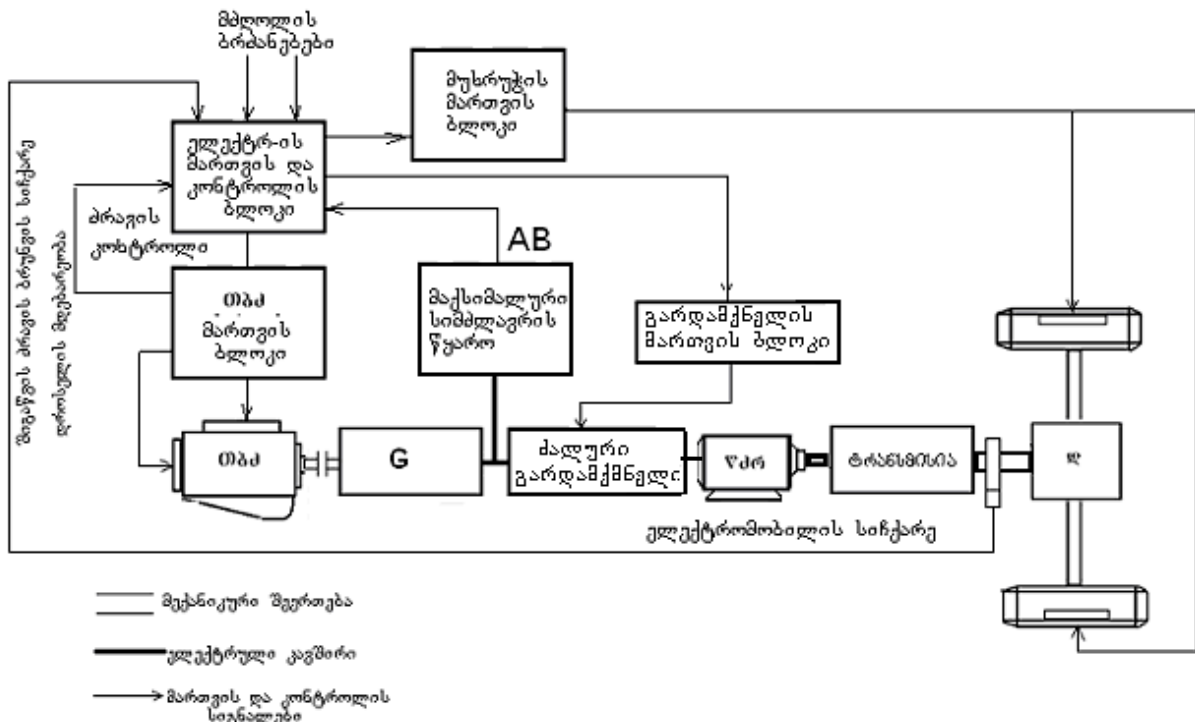
ელექტრომობილების წვეის ელექტრული ამძრავის მიმდევრობითი სქემის ძირითადი უპირატესობებია:

1. თბური ძრავა მექანიკურად განმხოლოებულია წამყვანი თვლებისაგან და შეუძლია იმუშაოს მაქსიმალური ეფექტურობის (ოპტიმალური) რეჟიმში.
2. შესაძლებელს ხდის მაღალსიჩქარიანი (მცირეგაბარიტიანი) შიგაწვის ძრავების გამოყენებას.
3. მნიშვნელოვნად ამარტივებს ტრანსმისიის კინემატიკურ სქემას.
4. განაპირობებს მართვის კანონების (მოთხოვნების) რეალიზაციის სიმარტივეს.

მიმდევრობითი სქემის ნაკლს შეიძლება მივაკუთვნოთ ენერგიის ორმაგი გარდაქმნა, შესაბამისად მაღალი დანაკარგები და ელექტრომოწყობილობის დიდი მასა-გაბარიტული მაჩვენებლები.

19.12.1.1. კომბინირებული ენერგეტიკული დანადგარით აღჭურვილი მიმდევრობითი სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა

კომბინირებული ენერგეტიკული დანადგარით აღჭურვილი მიმდევრობითი სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა მოცემულია 19.7 ნახაზზე.



ნახ. 19.7. კომბინირებული ენერგეტიკული დანადგარით აღჭურვილი, მიმდევრობითი სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა.

გარდა ძალური ნაწილისა, ფუნქციონალური სქემა შეიცავს ელექტრომობილის მართვის და კონტროლის ბლოკს, თბური და ელექტრული წვეის ძრავების მართვის ბლოკებს და სქემის ცალკეული ელემენტების კონტროლის ბლოკებს.

ელექტრომობილის მართვის და კონტროლის ბლოკი წარმოადგენს მთელი სისტემის მთავარ, ცენტრალურ ბლოკს, რომელზეც მიეწოდება მძღოლის მიერ გაცემული მართვის სიგნალები, თბური ძრავას და ელექტრული წვეის ძრავას მუშაობის მაკონტროლებელი სიგნალები, სააკუმულატორო ბატარეის დამუხტვის და ელექტრომობილის სინქარის შესატყვისი სიგნალები. ცენტრალური ბლოკიდან მართვის სიგნალები მიეწოდება თბური ძრავას, მართვის და ძალური სტატიკური გარდამქმნელის მართვის ბლოკებს.

იმის გამო, რომ თბური ძრავა განმხოლოებულია წამყვანი თვლებისაგან და მისი ბრუნთა რიცხვი და მბრუნე მომენტი უშუალოდ არაა დამოკიდებული დატვირთვის რეჟიმზე, ამიტომ მართვის სისტემის საშუალებით აირჩევა თბური ძრავას მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმი, საწვავის მინიმალური ხარჯის და მავნე გამონაბოლქვების მინიმალური მოცულობის მიხედვით.

1. ჰიბრიდულ რეჟიმში მუშაობისას, **თბური ძრავა-გენერატორი და სააკუმულატორო ბატარეა AB** უზრუნველყოფენ ელექტრული წვის ძრავას ერთობლივ კვებას. ამ დროს თბური ძრავას და სააკუმულატორო ბატარეის სიმძლავრეები იკრიბება,

$$P = P_M + P_{AB} = P_W,$$

სადაც, P არის მძღოლის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე.

P_M – თბური ძრავას მიერ გაცემული სიმძლავრე.

P_{AB} – სააკუმულატორო ბატარეის მიერ გაცემული სიმძლავრე.

P_W – მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალების დასაძლევად საჭირო სიმძლავრე.

2. ნორმალურ საგზაო პირობებში **თბური ძრავადან** მუშაობის რეჟიმში, სააკუმულატორო ბატარეა გამორთულია და ელექტრომობილის მართვა მდგომარეობს **თბური ძრავა-გენერატორის** სიმძლავრის ისეთ მართვაში, რომ დაცული იყოს პირობა:

$$P = P_M = P_W.$$

3. თუ **თბური ძრავადან** მუშაობის რეჟიმში, ერთდროულად ხდება სააკუმულატორო ბატარეის დამუხტვა, მაშინ თბური ძრავას მიერ გაცემული სიმძლავრე

$$P_M = P + P'_{AB}, \quad P = P_W,$$

სადაც, P'_{AB} არის სიმძლავრე, რომელიც მიაქვს სააკუმულატორო ბატარეის დამუხტვას.

4. **ელექტრული დამუხრუჭების (რეკუპერაციის)** რეჟიმში, წვეის ძრავა მუშაობს გენერატორულ რეჟიმში და მოძრავი ელექტრომობილის კინეტიკური ენერჯის ნაწილი იხარჯება სააკუმულატორო ბატარეის დამუხტვაზე.

5. თუ მოძრაობა მიმდინარეობს დასახლებულ პუნქტში, სადაც არ დაიშვება გამონაბოლქვი აირები, მაშინ გამოირთვება შიგაწვის ძრავა და მოძრაობა გრძელდება სააკუმულატორო ბატარეიდან გაცემული სიმძლავრის ხარჯზე,

$$P = P_{AB} = P_W.$$

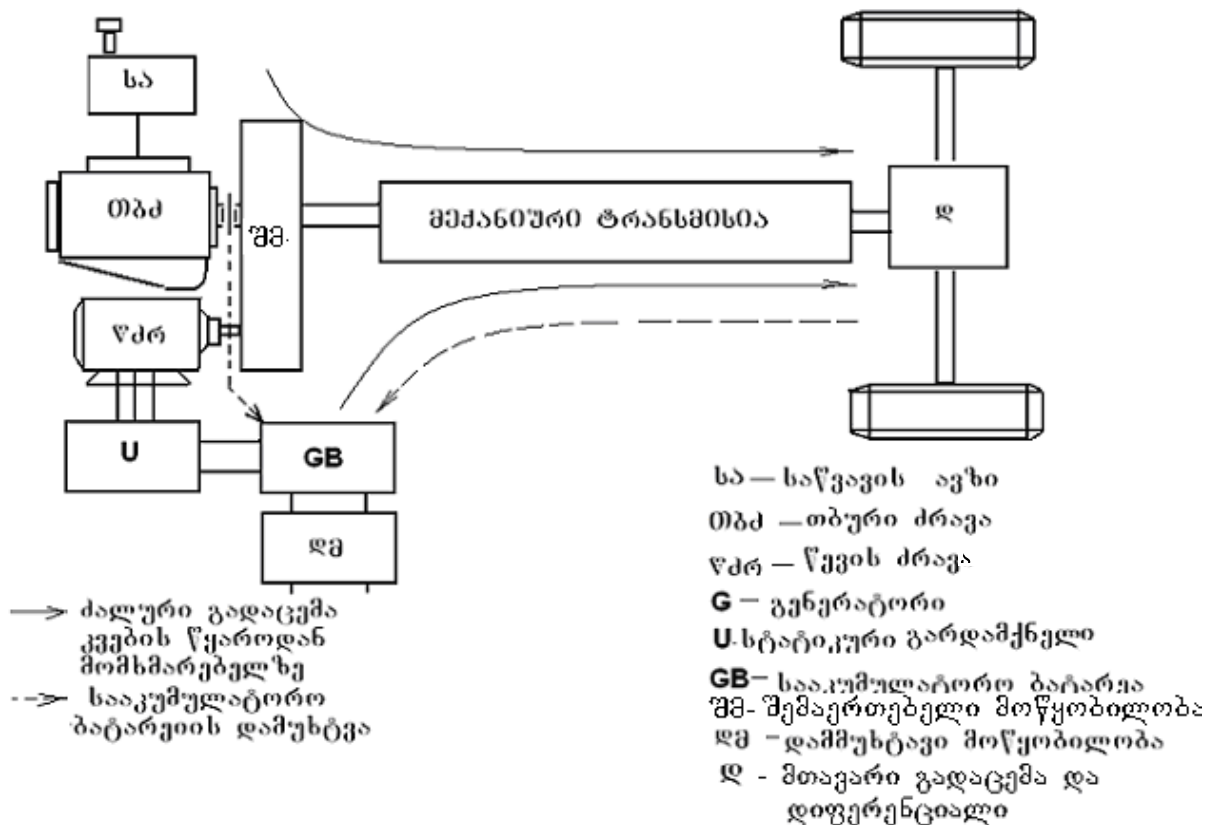
19.12.2. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი პარალელური სტრუქტურული სქემა

პარალელური სტრუქტურული სქემისათვის დამახასიათებელია ორი დამოუკიდებელი წრედის არსებობა: ერთი წრედით ენერგია თბური ძრავიდან წამყვან თვლებს გადაეცემა მექანიკურად ისე, როგორც ჩვეულებრივ ავტომობილში. მეორე პარალელური წრედი დაფუძნებულია ელექტროამძრავის გამოყენებაზე, როდესაც ელექტრული წვეის ძრავა (წძრ) შემკრები მოწყობილობის (შმ) საშუალებით ეხმარება თბურ ძრავას და დამატებით ენერგიას აწვდის დატვირთვის (ნახ. 19.8).

პარალელური სქემის ძირითადი უპირატესობებია:

1. გენერატორის უქონლობა.
2. წვეის ძრავას შედარებით მცირე სიმძლავრე.
3. თბური ძრავას სიმძლავრის მრავალჯერადი გარდაქმნების თავიდან აცილება.

ყოველივე ზემოჩამოთვლილი ზრდის ამძრავის ეფექტურობას, მაგრამ მექანიკური კავშირი თბურ ძრავასა და თვლებს შორის მიმდევრობით სქემასთან შედარებით. მთლიანობაში მნიშვნელოვნად ართულებს ამძრავის მართვას.

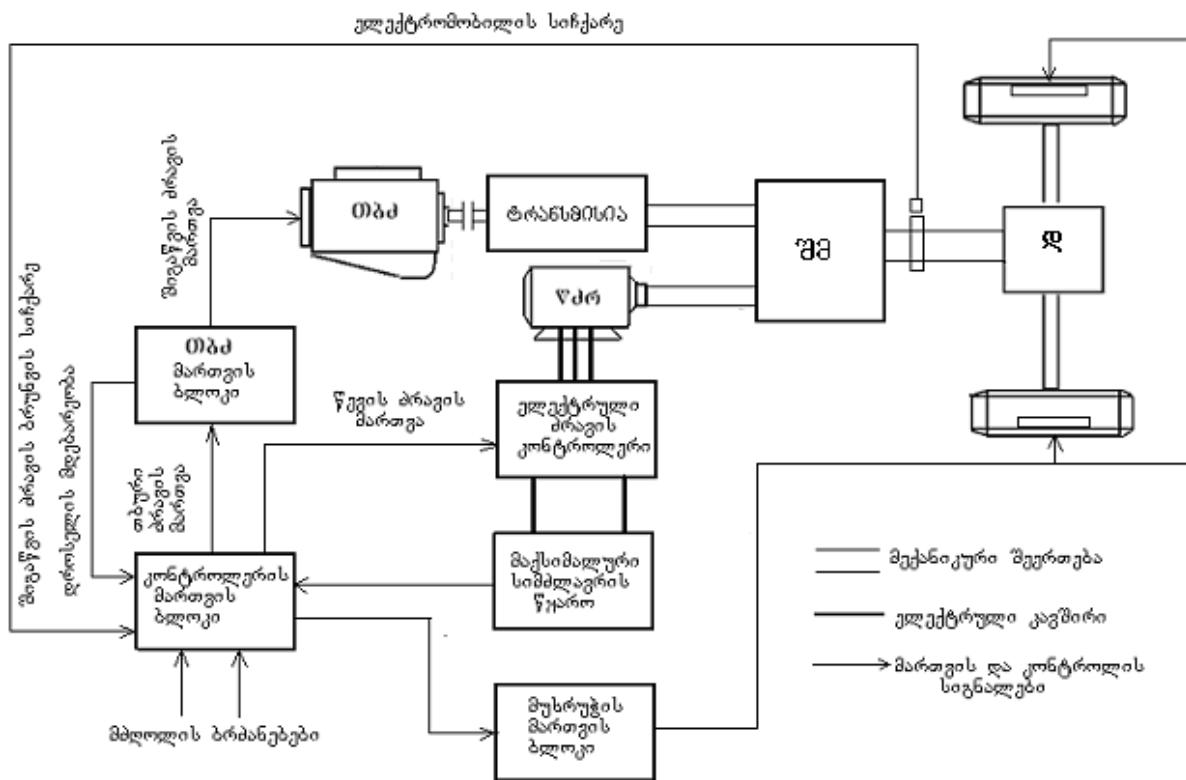


ნახ. 19.8. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავის პარალელური სქემა.

19.12.2.1. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი პარალელური სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა

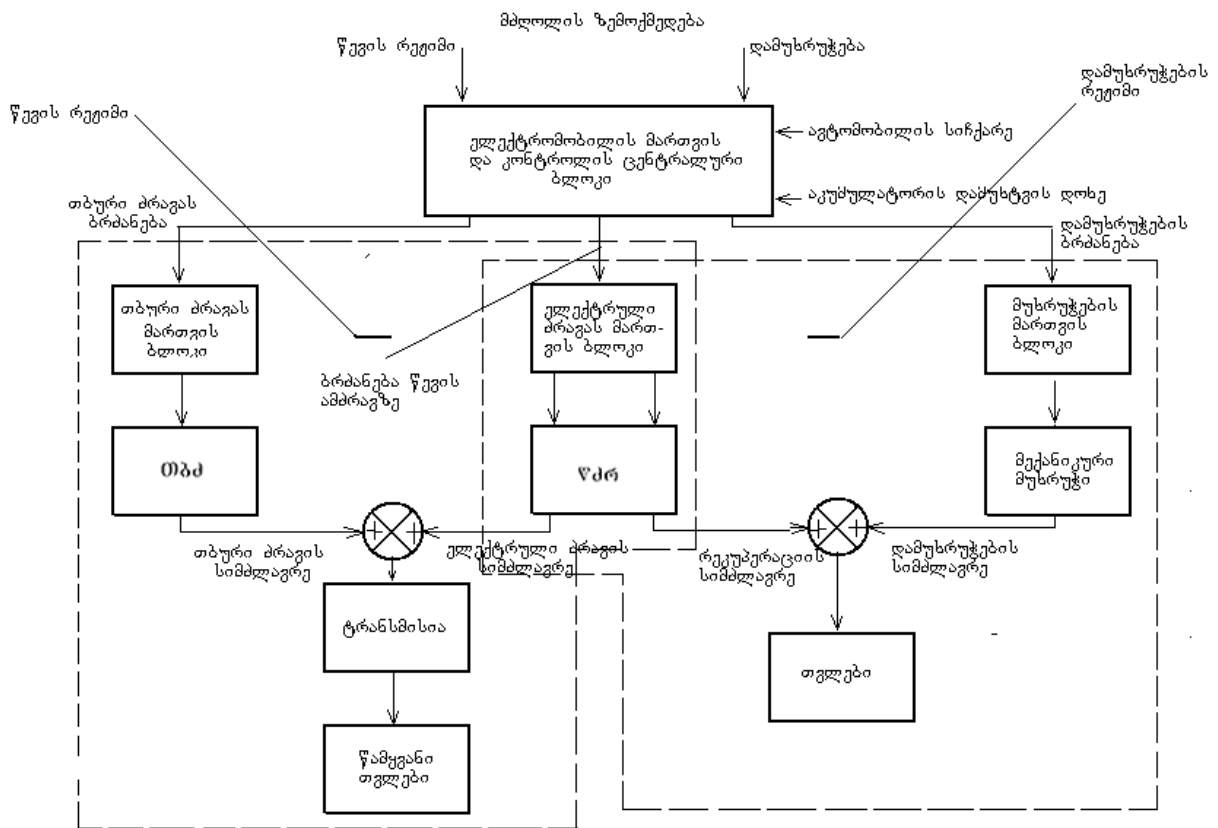
19.9 ნახაზზე მოცემულია ელექტრომობილის ელექტრული ამძრავის პარალელური სტრუქტურის ფუნქციონალური სქემა, რომელიც ძალური ნაწილის ელემენტების (თბური ძრავა, ელექტრული წვეის ძრავა, ტრანსმისია, თბური ძრავას და ელექტრული ძრავას სიმძლავრეების გამაერთიანებელი მოწყობილობა შმ) გარდა, შეიცავს მართვის სისტემის ცალკეულ ბლოკებს. კერძოდ: თბური და ელექტრული წვეის ძრავებს მართვის ბლოკებს, მაქსიმალური სიმძლავრის წყაროს.

განსხვავებით მიმდევრობითი სტრუქტურული – ფუნქციონალური სქემიდან, პარალელური სქემა შეიცავს შემკრებ მოწყობილობას შმ-ს, რომელიც ახდენს ტრანსმისიიდან და წვეის ელექტრული ძრავადან გამომავალ სიმძლავრეების შეკრებას.



ნახ. 19.9. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი, პარალელური სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა.

19.10 ნახაზზე მოცემულია კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი პარალელური სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის მართვის სქემა. სისტემა შეიცავს მართვის ბლოკების ორ დონეს. მაღალი დონე (პირველი დონე) შეიცავს ელექტრომობილის მართვის და კონტროლის ცენტრალურ ბლოკს, რომელშიც ხდება დაბალი დონის მართვისათვის სიგნალების ფორმირება და გაგზავნა.



ნახ. 19.10. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავის მართვის სისტემა

დაბალი (მეორე) დონის ბლოკებს მიეკუთვნება თბური ძრავას და ელექტრული წვეის ძრავას მართვის ბლოკები, აგრეთვე მექანიკური დამუხრუჭების ბლოკი.

ცენტრალურ ბლოკში მართვის სიგნალების ფორმირება ხდება მძღოლის ბრძანებების და დაბალი დონის ბლოკებიდან მიღებული უკუკავშირის სიგნალების საფუძველზე.

XX თავი

მაღალსიჩქარიანი მიწისზედა სატრანსპორტო სისტემები

20.1. მაღალსიჩქარიანი მიწისზედა ტრანსპორტის შექმნის პრობლემები

მაღალსიჩქარიან სატრანსპორტო სისტემებს მიაკუთვნებენ სატრანსპორტო საშუალებებს, რომელთა სიჩქარე აღემატება 300-400 კმ/სთ-ს. იმისათვის, რომ გადაილახოს მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი მკვეთრად გაზრდილი წინააღმდეგობის ძალები და რეალიზებული იქნეს ასეთი სიჩქარეები, საჭიროა გაცილებით დიდი სიმძლავრეები და წვეის ძალები, ვიდრე დღეისათვის არსებულ მოძრავ შემადგენლობებს გააჩნიათ. ბგერის სიჩქარემდე მოძრავ სახმელეთო სატრანსპორტო საშუალებებისათვის გაითვალისწინება მხოლოდ გარემომცველი ჰაერით განპირობებული მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა W_3 . რაც შეეხება საკისრებში გორვის ხახუნით განპირობებულ წინააღმდეგობის ძალას, სიმცირის გამო ის შეგვიძლია უგულებელყოთ. თავის მხრივ, გარემომცველი ჰაერით გამოწვეული მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალა განისაზღვრება როგორც

$$W_3 = \alpha S V^2, \quad (20.1)$$

სადაც, α არის გარემოვლის კოეფიციენტი.

S – მოძრავი შემადგენლობის განივი კვეთის ფართი, მ²-ში.

V – მოძრაობის სიჩქარე, კმ/სთ-ში.

ამ პირობებში, ჩაჭიდების წვეის ძალის სრული გამოყენების შემთხვევაში, დამყარებული სიჩქარისათვის, მოძრაობისადმი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალა ტოლი იქნება ჩაჭიდების ხვედრითი ძალის,

$$f_{\text{ჩაჭ.}} = w_3, \text{ ანუ } f_{\text{ჩაჭ.}} = \alpha S V^2. \quad (20.2)$$

აქედან გამომდინარე მაღალი სიჩქარეების რეალიზაციისთვის საჭირო ხვედრითი სიმძლავრე ტოლი იქნება

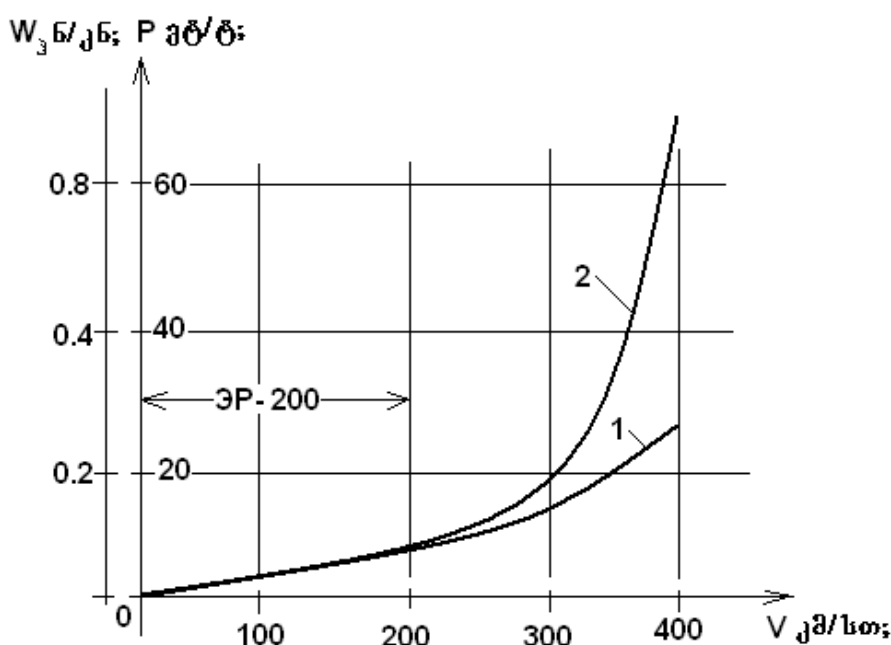
$$P = f_{\text{ჩაჭ.}} V = \alpha S V^2 V = \alpha S V^3 \text{ ვტ/ტ.} \quad (20.3)$$

გამოდის, რომ სიჩქარის ორჯერ გაზრდისათვის, საჭიროა სიმძლავრე გაიზარდოს 8-ჯერ. იმ შემთხვევაშიც კი, თუ ჩაჭიდების კოეფიციენტი სიჩქარის ზრდისას მნიშვნელოვნად შემცირდება, მოთხოვნილი სიმძლავრე უნდა გაიზარდოს დაახლოებით 6-ჯერ. მაგალითად, თუ ЭР 200 ელექტრომატარებლის კონსტრუქციული სიჩქარისათვის 200 კმ/სთ, რეალიზდება ხვედრითი სიმძლავრე 12 კვტ/ტ-ზე, მაშინ სიჩქარის 400 კმ/სთ-მდე გაზრდისათვის საჭიროა ხვედრითი სიმძლავრე გაიზარდოს

$$12 \cdot 6 = 72 \text{ კვტ/ტ-მდე}$$

სრული სიმძლავრე კი იქნებოდა 62 000 კვტ.

20.1 ნახაზზე მოცემულია 14 ვაგონიანი ЭР 200 ელექტრომატარებლისათვის მოძრაობისადმი ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალის დამოკიდებულება სიჩქარეზე (1-მრუდი) და მოთხოვნილი ხვედრითი სიმძლავრის დამოკიდებულება სიჩქარეზე (2-მრუდი). ასეთი სიმძლავრეების რეალიზება რკინიგზის ტრადიციული წვეის სახეობებით ძალზე რთულია, რადგან სიჩქარეების ზრდისას მკვეთრად ეცემა ბორბალსა და რელსს შორის ჩაჭიდების წვეის ძალა. ამიტომ წარმოიშვა წვეის ისეთი ახალი სახეობის შექმნის იდეა, რომელიც გამოირიცხავს უშუალო კონტაქტს ბორბალსა და რელსს შორის.



ნახ. 20.1

ძირითადი სირთულე მდგომარეობს წვეის მეტნაკლებად საიმედო და ეკონომიური სახეობის შერჩევაში, რომელიც უზრუნველყოფდა მოძრაობის უსაფრთხოებას. ასეთ შემთხვევაში განმსაზღვრელია ორი ფაქტორი:

1. რამდენადაა გადაჭრილი უბორბლო ეკიპაჟის “ჩამოკიდების” პრობლემა, ანუ სხვაგვარად ეკიპაჟის შენარჩუნება “მოტივტივე” მდგომარეობაში, მოძრაობის ნულთან სიჩქარის დროს. მოძრაობის პროცესში ეს იწოდება “ლევიტაციად”, ანუ სხვაგვარად “ლივლივად” (მაგალითად, როგორც დიდი ფრინველი ლივლივებს ცაში).

2. როგორ გადაიჭრება წვეის ძალის შექმნის და რეგულირების პრობლემა.

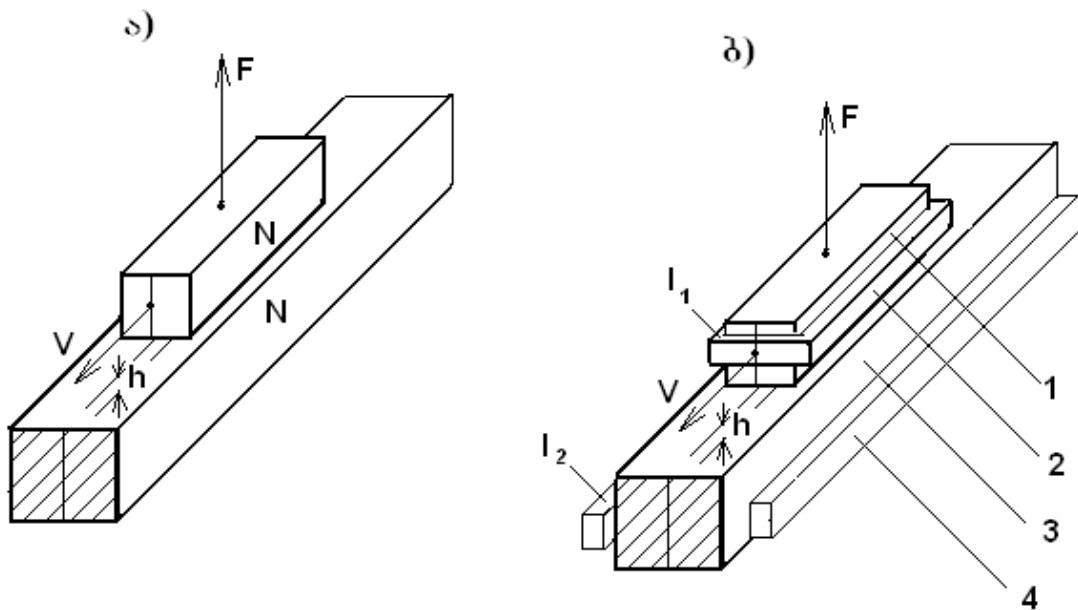
აღნიშნული პრობლემის ერთ-ერთ მიმართულებად ითვლება საჰაერო ბალიშზე მოძრავი ეკიპაჟის შექმნა (აშშ, ინგლისი, საფრანგეთი). როგორც ასეთი ეკიპაჟების გამოცდებმა აჩვენა, ისინი ხასიათდებიან:

- “ჩამოკიდებულ” მდგომარეობის განმსაზღვრელი ამწევი ძალის, შუბლური წინააღმდეგობის ძალასთან თანაფარდობის ძალიან დაბალი მნიშვნელობით.
- სასარგებლო დატვირთვის დაბალი კოეფიციენტი.
- ვენტილატორების ხმაურის მაღალი დონით.
- ძალური დანადგარიდან სიმძლავრის მოხსნის სირთულით.

ზემოჩამოთვლილის გამო, მატარებლები საჰაერო ბალიშებზე აღარ განიხილება, როგორც მაღალსიჩქარიანი მიწისზედა ტრანსპორტის პერსპექტიული სახეობა.

საჰაერო ბალიშებზე შესრულებული ეკიპაჟების ზემოჩამოთვლილი ნაკლოვანებისაგან თავისუფალია მაგნიტური ჩამოკიდებით და წვევის ძალის შესაქმნელად ხაზური შესრულების წვევის ძრავებით აღჭურვილი ეკიპაჟები.

მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე ეკიპაჟებში, შესაძლებელია ჩამოკიდების სამი ვარიანტი: მუდმივი მაგნიტების გამოყენებით, ელექტრომაგნიტური ჩამოკიდებით და ელექტროდინამიური ჩამოკიდებით.



ნახ. 20.2

მუდმივი მაგნიტების გამოყენებით ეკიპაჟის ჩამოკიდება ეფუძნება ერთნაირპოლუსიანი მაგნიტების ურთიერთგანზიდვის პრინციპს, რომელთაგან ერთი განთავსებულია საგალ გზაზე, ხოლო მეორე მოძრავ ეკიპაჟზე (ნახ. 20.2 ა, ნახ. 20.3 ა). დღეისათვის არ არსებობს ისეთი სიმძლავრის მუდმივი მაგნიტები, რომლებსაც შეუძლიათ აწიონ და გზიდან 20-30 მმ სიმაღლეზე აწეულ მდგომარეობაში დაიჭირონ მრავალტონიანი ეკიპაჟი.

ელექტრომაგნიტების გამოყენების შემთხვევაში (ნახ. 20.2 ბ, ნახ. 20.3 ბ.) შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც მიზიდვის, ასევე განზიდვის პრინციპები ეკიპაჟზე

დამავრებული ელექტრომაგნიტურ სისტემასა (გულარა 1, კოჭი 2) და ფოლადის სავალ ნაწილზე განთავსებულ ელექტრომაგნიტურ სისტემას (ფოლადის ზოლი 3, კოჭი 4) შორის. მიზიდვის პრინციპის გამოყენება ხასიათდება არამდგრადობით, რადგან ელექტრომაგნიტებს შორის ღრეხოს ცვლილებისას, ამ ღრეხოს კვადრატის უკუპროპორციულად მცირდება მიზიდულობის ძალა. ასეთ შემთხვევაში მდგრადობის შესანარჩუნებლად აუცილებელი ხდება, ჩამოკიდების სიმაღლის და გვერდითი გადაადგილების კომპენსაციისთვის ავტომატური რეგულირების სისტემის გამოყენება, რაც ართულებს და არასაიმედოს ხდის მის მუშაობას.

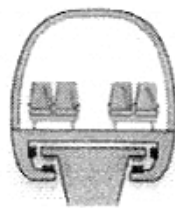
ლევიტაციის სახეობები

ა) ინდუქტიური



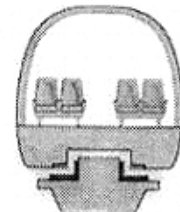
მულტიპლ მაგნიტებზე

ბ) ელექტრომაგნიტური

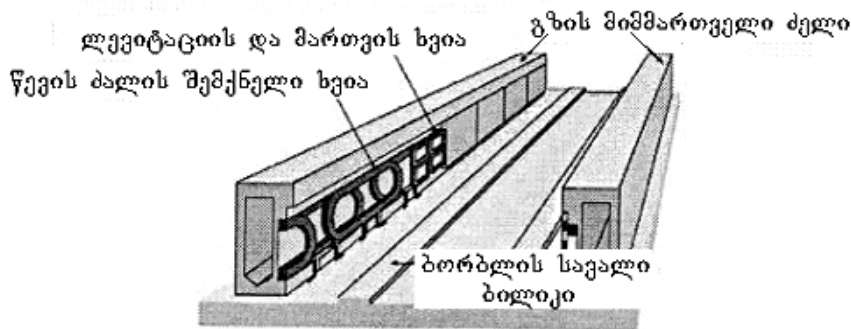


ელექტრომაგნიტებზე

გ) ელექტროდინამიური



ზეგამტარ ელექტრომაგნიტებზე



ნახ. 20.3

დინამიური ჩამოკიდების შემთხვევაში გამოიყენება განმზიდი ძალების ურთიერთქმედება, რომლებიც წარმოიშვება კონტურებში გამავალი დენების ურთიერთშემხვედრი მიმართულებით გავლისას. ერთი კონტური განთავსებულია მოძრავ ეკიპაჟზე, ხოლო მეორე წარმოადგენს სავალი გზის სექციას, რომელიც ამ აღებულ მომენტში იმყოფება ეკიპაჟის ქვეშ (ნახ. 20.3 გ). მოძრავი შემადგენლობის ეკიპაჟზე განთავსებულ კონტურში გამავალი დენის ზემოქმედებით სავალ ნაწილზე განთავსებულ კონტურში დაინდუქტირდება დენი, რომელიც კონტურის მიერ შექმნილ მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის განმზიდ ძალას, რომელიც განაპირობებს ეკიპაჟის აწევას გზის სავალ ნაწილს ზემოთ.

გზის პორიზონტალურ კონტურებში წარმოიშვება დენები, რომლებიც წარმოქმნიან ამწევ ძალას ყოველთვის, როდესაც მათ თავზე გაივლის ეკიპაჟზე განთავსე-

ბული კონტური. გზის სავალ ნაწილზე განთავსებული ვერტიკალური კონტურები ჰქმნიან დამაბრუნებელ ძალებს, ყოველთვის, როდესაც ეკიპაჟი გადაიხრება გზის ღერძის მიმართ. ე.ი. ელექტროდინამიური ჩამოკიდების სისტემა მდგრადია, როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური მიმართულებით (ამ საკითხს დაწვრილებით განვიხილავთ ქვემოთ).

რაც უფრო მაღალია მოძრაობის სიჩქარე, მით უფრო დიდი სიდიდის დენი დაინდუქტირდება სავალ გზაზე განლაგებულ კონტურებში და მით უფრო დიდი იქნება ამწევი ძალა (ამწევი ძალა კონტურებში გამავალი დენების ნამრავლის პროპორციულია). მაგრამ მცირე სიჩქარეების დროს, დენების სიმცირის გამო ამწევი ძალა არ იქნება საკმარისი ეკიპაჟის ასაწევად. ჩამოკიდების ასეთი სისტემის მნიშვნელოვან ნაკლად ითვლება ის, რომ საჭირო ხდება არსებული ტრადიციული საშუალებებით ეკიპაჟის დაძვრა და გაქანება იმ სიჩქარემდე, რომელზეც ხდება ეკიპაჟის მოწყვეტა გზის სავალ ნაწილიდან (არსებული სისტემებისათვის აღნიშნული სიჩქარე 60-150 კმ/სთ-ია).

ამწევი ძალის წარმოქმნასთან, ერთდროულად, წარმოიქმნება გრივალური დენებით განპირობებული მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის მაგნიტური ძალა. არსებულ სისტემებში წინააღმდეგობის ეს ძალა 0–20 კმ/სთ სიჩქარის დიაპაზონში იზრდება სიჩქარის პროპორციულად, ხოლო სიჩქარის შემდგომი ზრდისას მცირდება მის უკუპროპორციულად. ამწევი მაგნიტური ძალის ფარდობას მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის მაგნიტურ ძალასთან უწოდებენ **მაგნიტური ჩამოკიდების ხარისხის კოეფიციენტს**, ხოლო მაგნიტური ამწევი ძალის ფარდობას მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის მაგნიტურ და აეროდინამიკურ ძალებთან, უწოდებენ **ჩამოკიდების ხარისხის სრულ კოეფიციენტს**.

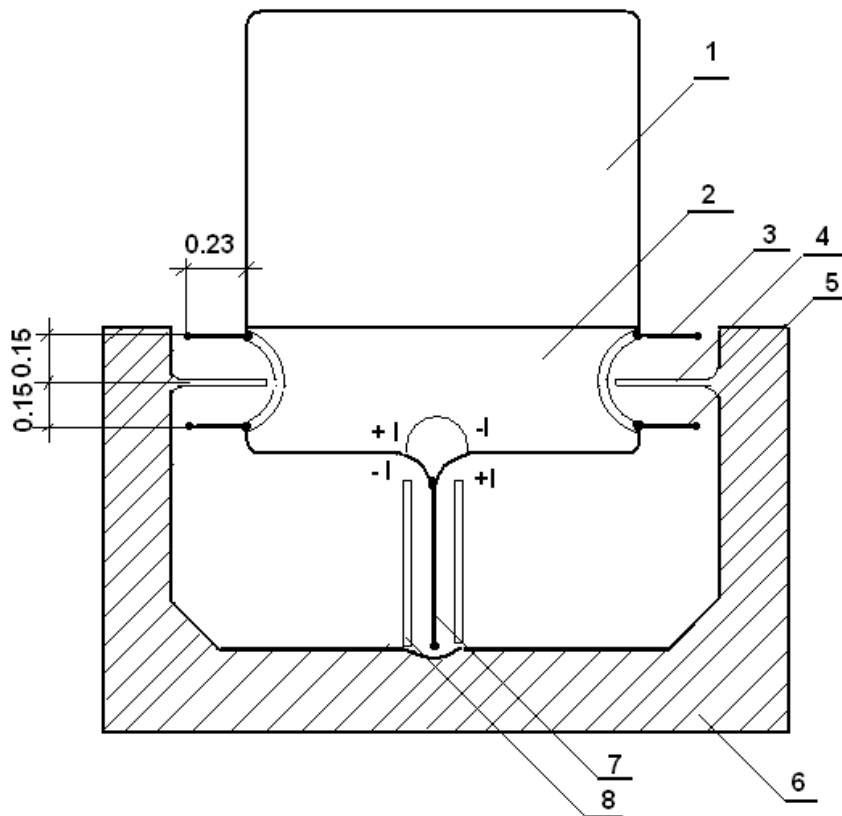
მაგნიტური ჩამოკიდების არსებული სისტემებისათვის, ჩამოკიდების ხარისხის სრული კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენს 20-40-ს. ეს მაჩვენებელი წარმოადგენს სისტემის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პარამეტრს. რაც მაღალია მისი მნიშვნელობა, მით უფრო სრულყოფილია სისტემა და მით უფრო უკეთესია მისი ტექნიკურ ეკონომიკური მაჩვენებლები.

იმისათვის, რომ ელექტროდინამიკურ სისტემაში გვქონდეს რაც შეიძლება დიდი ამწევი ძალა, საჭიროა ეკიპაჟზე განთავსებულ კონტურში გვქონდეს რაც შეიძლება დიდი დენი (ასეულობით კილოამპერი). დღეისათვის, ტექნიკის თანამედროვე დონისათვის ეს შეუძლებელია ზეგამტარების გამოყენების გარეშე, ანუ ე.წ. **“კრიოსტატების”** გამოყენების გარეშე, რომლებიც იძლევიან შესაძლებლობას მივიღოთ დაბალი ტემპერატურები (4-15°K) და ე.წ. **“გაყინული”** მაგნიტური ველი, რომელიც

არ მოითხოვს მუდმივ თანკვებას და გამორიცხავს ზეგამტარებში დანაკარგების არსებობას. “გაყინული” მაგნიტური ველი მიიღება ზეგამტარი მაგნიტის აგზნების გრაგნილის დამოკლებით. ასეთი ელექტრომაგნიტი თავისი თვისებით მუდმივი მაგნიტის მსგავსია. ეს კი საშუალებას იძლევა არ გამოვიყენოთ ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან დამზადებული გულარა და მივიღოთ მაქსიმალური მაგნიტომამოძრავებელი ძალა, რომელიც არ იქნება შეზღუდული ფოლადის მაგნიტური გაჯერებით. ამ მიზნით მოძრავ ეკიპაჟზე განათავსებენ კონტურებს ზეგამტარი მაგნიტებით, ხოლო სავალ გზაზე განათავსებენ ჩვეულებრივ პასიურ კონტურებს.

ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების დროს, ჩამოკიდების სიმაღლის რეგულირება ხდება ზეგამტარი მაგნიტების დენის სიდიდეზე ზემოქმედებით, რაც უფრო მარტივია, ვიდრე ელექტრომაგნიტურ ჩამოკიდების შემთხვევაში.

არსებობს მაგნიტური ჩამოკიდების ე.წ. “ნულოვანი ნაკადის” ვარიანტი. ანუ ამ შემთხვევაში გზის ნებისმიერი სექციის რეზულტირებული (ჯამური) ნაკადი 0-ის ტოლია. 20.4 ნახაზზე: 1-ვაგონის სამგზავრო სალონი; 2-დრმა გაციების სისტემა; 3-ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების ზედა ზეგამტარი მაგნიტი; 4-მაგნიტური ჩამოკიდების სისტემის “ნულოვანი” მაგნიტური ნაკადის ალუმინის კონტური; 5- მაგნიტური ჩამოკიდების სისტემის ქვედა ზეგამტარი მაგნიტი; 6-სავალი გზის ფუნდამენტი; 7-სავალი პასიური კონტურის კოჭი; 8-ხაზური სინქრონული ძრავის ზეგამტარი მაგნიტი.

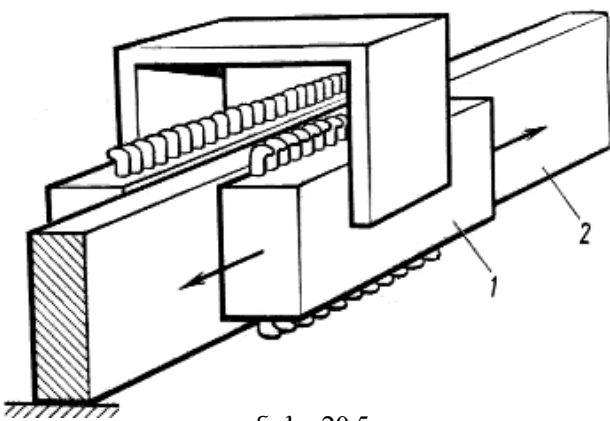


ნახ. 20.4

თუ ასეთ სისტემაში ეკიპაჟი გადაიწვევა სიმეტრიის დერძიდან რაიმე გარეშე შემაშფოთებელი ფაქტორის (მაგალითად, ძლიერი ქარის) ზემოქმედებით, მაშინ წარმოიქმნება გაუკომპენსირებელი მაგნიტური ნაკადი და დენი, რომლებიც განაპირობებენ მაგნიტურ ძალას, რომელიც სისტემას დააბრუნებს საწყის მდგომარეობაში. ამ სისტემის ნაკლი მდგომარეობს ეკიპაჟის მაგნიტური სისტემის სირთულეში (დაწვრილებით განვიხილავთ ქვემოთ).

საკმაოდ პერსპექტიული ჩანს მაგნიტური ჩამოკიდების ის სისტემები, რომლებშიც ერთი და იგივე ზეგამტარი მაგნიტები ქმნიან როგორც ამწევ, ასევე წვევის ძალას. ასეთი სისტემების ნაკლია ლევიტაციის სისტემის გრიგალური დენებით შექმნილი მაგნიტო მამოძრავებელი ძალების ზეგავლენა წვევის ძალის შემქმნელ გრაგნილზე.

მაგნიტური ჩამოკიდების პირველ სისტემებში წვევის ძალების შესაქმნელად გამოყენებული იყო ხაზური ასინქრონული ძრავები. ასეთი ძრავა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც მსახველზე გაჭრილი და გაშლილი ასინქრონული ძრავას სტატორი და როტორი. მასში წარმოიშვება არა მბრუნავი, არამედ განმბრბენი მაგნიტური ველი, ხოლო მბრუნავი მომენტის ნაცვლად წვევის ძალა. ხაზური ძრავა შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც უსასრულო სიდიდის რადიუსის მქონე ჩვეულებრივი სამფაზა ძრავა (ნახ. 20.5). სტატორის გრაგნილს 1-ჩვეულებრივ განათავსებენ მოძრავ ეკიპაჟზე, ხოლო როტორს წარმოადგენს საგზაო სალტე – 2, რომელიც სრულდება, როგორც მართკუთხა ფორმის სალტე, რომელიც განთავსებულია გზის დერძის გასწვრივ. სტატორის მაგნიტური ნაკადის და როტორში დაინდუქტირებული დენის ურთიერთქმედებით, ეკიპაჟი განუწყვეტლივ გადაადგილდება გზის გასწვრივ.



ნახ. 20.5

იმის გამო, რომ სტატორის გრაგნილი, რომელიც განთავსებულია ეკიპაჟზე არაა უწყვეტი და აქვს სასრულო ზომები, ჩვეულებრივი ასინქრონული ძრავასაგან განსხვავებით მაგნიტური ნაკადის განაწილება ხაზური ძრავას შესასვლელზე და გამოსასვლელზე არაა ერთგვაროვანი. ამის მიზეზია მაგნიტური წრედის ერთი

ნახევრიდან (სტატორი) მეორეში (როტორში) ღრეჩოს გარეშე მაგნიტური ძალხაზების გავლა. ამ მოვლენას, რომელიც ქმნის პულსირებულ განაპირა ნაკადებს, უწოდებენ “კიდურა ეფექტს”. კიდურა ეფექტის არსებობა აუარესებს ხაზური ძრავას ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. კერძოდ, ამცირებს ძრავას მ.ქ.კ-ის და სიმძლავრის კოეფიციენტის $\cos\phi$ -ს მნიშვნელობებს.

მოძრაობის რეჟიმის შეცვლა, ანუ მოძრაობის სიჩქარის და წვეის ძალის რეგულირება, შეიძლება განხორციელდეს ან ე.წ. “ხისტი” პროგრამით, რომლის დასახვაც ხდება სახაზო საღებების განიკვეთების სპეციალური შერჩევით, ან ე.წ. “დრეკადი” პროგრამით, როდესაც იცვლება ხაზური ძრავას სტატორზე მოდებული ძაბვა, ან სიხშირე, (ჩვეულებრივი ასინქრონული ძრავების მსგავსად). ამ პროგრამების პრაქტიკული გამოყენება რთულდება იმით, რომ რთულდება ხაზური ასინქრონული ძრავას აბსოლუტური სრიალის ჩაზომვა. ამიტომ, პრაქტიკისათვის დასაშვებ კრიტერიუმად შეგვიძლია ავიღოთ მოძრაობისადმი მაგნიტური წინააღმდეგობის ძალის მინიმალური მნიშვნელობა ან მისი ვერტიკალური მდგენელი.

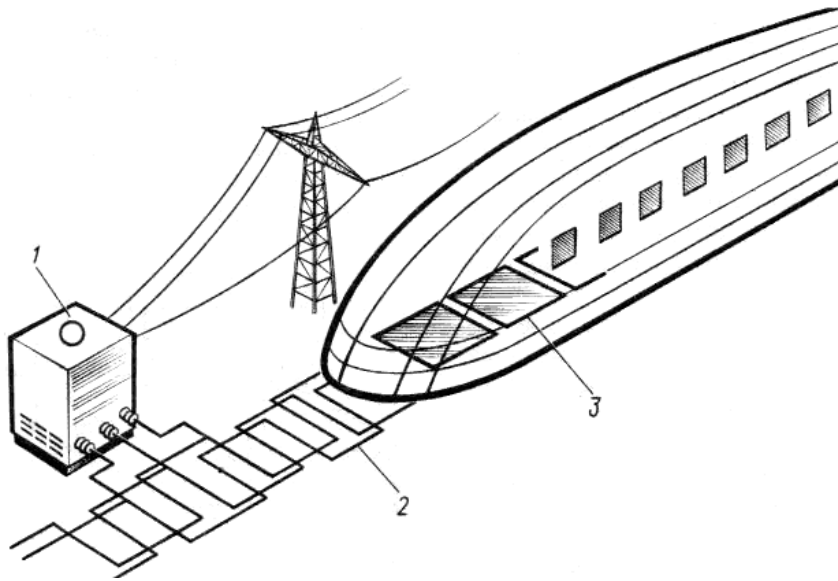
ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებად ითვლება ასინქრონული ძრავების ისეთი სისტემა, როდესაც როტორის წრედში გამოყენებულია ენერჯის დამაგროვებელი (კონდენსატორები). ასეთი სისტემის ელექტრომაგნიტური მახასიათებლები პრინციპულად განსხვავდება ჩვეულებრივი ასინქრონული ძრავას მახასიათებლებიდან. როტორის წრედში ჩართული კონდენსატორის ტევადობის შერჩევით მახასიათებელს შეგვიძლია მივცეთ სასურველი ფორმა.

ხაზური ასინქრონული ძრავათი აღჭურვილ სისტემაში შედარებით ადვილია რეკუპერაციული დამუხრუჭების განხორციელება. ამ დროს ენერჯის ეკონომიის ეფექტურობა იზრდება სიჩქარის ზრდასთან ერთად. მაგრამ ამავდროულად სერიოზული სირთულეები იქმნება სტატორის და როტორის გრაგნილებს შორის არსებული მცირე ღრეხოს გამო. თუ გავზრდით საჰაერო ღრეხოს, მკვეთრად ეცემა სისტემის მ.კ.კ და სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\phi$. მეორე მხრივ მრუდეებში მოძრაობისას წარმოქმნილი რხევების პირობებში მოძრაობის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად, აუცილებელია საჭირო სიდიდის ღრეხოს არსებობა.

სინქრონული ძრავების გამოყენების შემთხვევაში, განსაკუთრებით რთულ პრობლემას წარმოადგენს მაღალი სიჩქარეების დროს, მოძრავი შემადგენლობის დიდი სიმძლავრის ელექტროენერჯით მომარაგება. უშუალოდ მატარებელზე ავტონომიური ენერჯის წყაროს განთავსება საზოგადოდ ცნობილი ნაკლულოვანებების გამო მიზანშეუწონელია. გამოსავლად რჩება სამსადენიანი საკონტაქტო ქსელის, ან სამფაზა საკონტაქტო რელსების გამოყენება, რაც, რა თქმა უნდა, მნიშვნელოვნად ართულებს და აძვირებს სისტემას.

აღნიშნული ნაკლულოვანებისაგან თავისუფალია **სინქრონული ხაზური ძრავით** აღჭურვილი სისტემა. ასეთ სისტემაში, რომლის კვება ხდება გარდამქმნელებით აღჭურვილ 1 – წვეის ქვესადგურიდან (ნახ. 20.6). ჩამოკიდებას უზრუნველყოფს მოძრავ ეკიპაჟზე განთავსებული მძლავრი ზეგამტარებით შექმნილ მაგნიტურ

ველსა და საგზაო ზოლის ორივე მხარეს განთავსებულ პასიურ კონტურებში დაინდუქტირებულ დენებს შორის ურთიერთქმედება.



ნახ. 20.6

წვეის ძალა წარმოიქმნება მოძრავ ეკიპაჟზე განთავსებულ, მძლავრი ზეგამტარი მაგნიტებით შექმნილ, მაგნიტურ ველსა და გზის გასწვრივ განლაგებულ 2-სამფაზა წვეის გრაგნილში გამავალ დენებს შორის წარმოქმნილი ურთიერთქმედებით. წვეის გრაგნილი იკვებება 1-ქვესადგურებიდან და დაყოფილია 5-10 კმ სიგრძის უბნებად, რომლებიც კვებას იღებენ მსოლოდ მასზე ეკიპაჟის გადავლის შემთხვევაში, რაც მნიშვნელოვნად ამადლებს სისტემის მ.ქ.კ-ს. წვეის გრაგნილს ასრულებენ იგივე ბიჯით, როგორც ეკიპაჟზე განთავსებულ ზეგამტარი მაგნიტების კონტურებს. ამის შედეგად ეკიპაჟი მოძრაობს წვეის გრაგნილის განმრბედ მაგნიტო მამოძრავებელი ძალის ფაზაში, რაც იძლევა მატარებელთა სინქრონული მოძრაობის შესაძლებლობას. ეს კი თავის მხრივ, აიოლებს მატარებელთა მოძრაობის ავტომატიზაციის საკითხებს, რომელიც მნიშვნელოვანია მოძრაობის უსაფრთხოებისათვის.

საზური სინქრონული ძრავების გამოყენების შემთხვევაში ზემოთ ნახსენები “კიდური ეფექტი” უმნიშვნელოა, რადგან ეკიპაჟზე განთავსებული ზეგამტარი მაგნიტების კონტურების და საგზაო კონტურების გრაგნილების გრძივი ზომები გაცილებით დიდია მათ განივკვეთებზე. გაშლილი წვეის გრაგნილი, რომელიც განლაგებულია უსასრულო სიგრძის გზის გასწვრივ, ასევე არ იწვევს “კიდური ეფექტის” წარმოქმნას. ასეთი სისტემის მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ის, რომ ეკიპაჟზე განთავსებული ზეგამტარი მაგნიტები მონაწილეობენ, როგორც ამწვეი ძალის, ასევე წვეის ძალის შექმნაში.

საზური სინქრონული ძრავების გამოყენება, ამავედროულად, ხსნის მაღალი სიჩქარით მოძრავი ეკიპაჟის ელექტრო ენერგიით მომარაგების პრობლემას. გზის

გასწორებულ განლაგებულ სამფაზა წვეის გრაგნილის კვება ხდება წვეის ქვესადგურ-რიდან ყოველგვარი პრობლემების გარეშე (ნახ. 20.6)

20.2. ეკიპაჟის ზეგამტარი მაგნიტები

მაღალსიჩქარიანი მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე სატრანსპორტო საშუალების პრაქტიკული რეალიზაცია შესაძლებელია მხოლოდ ზეგამტარი მაგნიტების გამოყენებით, რომლებიც ღრმა გაციების პირობებში ქმნიან ძლიერ მაგნიტურ ველს (ინდუქციით 1,5-3 ტესლა). გამაციებელ აგენტად გამოიყენება ჰელიუმი. მოწყობილობას, რომელიც უზრუნველყოფს ზეგაციებას (დაახლოებით 4,2 კელვინამდე) კრიოსტატი ეწოდება. კრიოსტატები, რომლებიც განთავსებულია მოძრავ ეკიპაჟზე, ქმნიან ამწვევ ძალას, რომელიც დაახლოებით 4K ტემპერატურის მქონე მაგნიტიდან უსაფრთხოდ გადაეცემა 300K ტემპერატურის მქონე ეკიპაჟს. იმისათვის, რომ ხანგრძლივად იქნეს შენარჩუნებული ე.წ. “გაყინული” მაგნიტური ველი, აუცილებელია კრიოსტატებს ჰქონდეთ უმნიშვნელო თბური დანაკარგები.

საორიენტაციოდ თვლიან, რომ თბური დანაკარგები წყვილ შემომყვანებზე შეადგენს 2 ვტ/1000 აძ. ამ პირობებში 120 მგზავრიან ტევადობის ეკიპაჟისათვის, ზეგამტარი მაგნიტების გაციებისათვის იხარჯება დაახლოებით 1 400 – 1 500 ვტ სიმძლავრე. რადგან 1 ვტ სიმძლავრე 4K ტემპერატურაზე ეკვივალენტურია ოთახის ტემპერატურაზე 1 000 ვტ სიმძლავრის, ამიტომ მთელი მატარებლის ზეგამტარების გასაციებლად საჭირო იქნება სიმძლავრე 1,4–1,5 მგვტ, რაც შეადგენს მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალის დაძლევაზე დახარჯული სიმძლავრის 20-30%-ს.

ზეგამტარი მაგნიტების გრაგნილების მასალად შეიძლება გამოყენებული იყოს ნაიობია-ტიტანის (NbTi), ნაიობია-ციროკონიის (NbZr), ნაიობია-ტიტან-ციროკონიის შენადნობი. მაგნიტების იძულებით გაციების სისტემაში, გამოყენებულია ღრუ მაგნიტო გამტარები, რომლებშიც ცირკულირებს 4.2K ტემპერატურის და 0.2 მპა წნევის მქონე ჰელიუმი.

მაგნიტური ჩამოკიდების სატრანსპორტო სისტემებში, ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას წარმოადგენს სამგზავრო სალონის ეკრანირება მძლავრი მაგნიტური ფანტვის ნაკადების ზემოქმედებისაგან და, ასევე, თვით ზეგამტარი მაგნიტების მიერ შექმნილ მაგნიტურ ველების ეკრანირება, სხვა დამხმარე მოწყობილობების მუშაობის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადების ზემოქმედებისაგან.

ჩვეულებრივ თვლიან, რომ სამგზავრო სალონში ინდუქციის დონე არ უნდა აღემატებოდეს 0.005 ტესლას. სინამდვილეში დღეისათვის განხორციელებულ

პროექტებში ინდუქციის დონემ შეიძლება შეადგინოს გაცილებით მეტი (0.03 – 0.05 ტესლა) მნიშვნელობა. აღნიშნულის გამო მაგნიტური ველების მავნე ზემოქმედების შესამცირებლად, გათვალისწინებული უნდა იყოს სამგზავრო განაკვეთების ეკრანირება.

მძლავრი მაგნიტური ველების მავნე ზემოქმედების შემცირების მიზნით, იყენებენ **პასიურ და აქტიურ** ეკრანირებას.

პასიური ეკრანი წარმოადგენს სამგზავრო სალონის იატაკზე განთავსებულ 2სმ სისქის, ზეგამტარ მასალისაგან დამზადებულ მეტალის ფილას, რომელიც სამგზავრო სალონის მასას ზრდის 10 ტონით, რის გამოც მისი გამოყენება მიზანშეუწონელია.

უფრო მიზანშეწონილია აქტიური ეკრანირება, რომლის პრინციპი ეფუძნება ძირითადი ნაკადის კომპენსირების პრინციპს, რისთვისაც სპეციალურად შესრულებულ ზეგამტარ მაგნიტს ათავსებენ ძირითადი მაგნიტის ქვეშ. უნდა აღინიშნოს, რომ მაკომპენსირებელი მაგნიტი, გარდა სამგზავრო სალონისა, ამავე დროს მაგნიტურ ველს ამცირებს თავისი მოქმედების მთელ სივრცეში. ამიტომ აუცილებელი ხდება ძირითადი ზეგამტარი მაგნიტების მაგნიტური ნაკადების გაძლიერება. ამის გაკეთება შესაძლებელია ზეგამტარების რაოდენობის 30%-ით გაზრდით, რის გამოც ეკიპაჟის მასა იზრდება 2-3 ტონით, რაც მისაღებია.

სატრანსპორტო საშუალებების აღნიშნული სისტემების შემდგომი განვითარება მდგომარეობს მსუბუქი ელექტრომაგნიტების შექმნაში, ელექტროენერჯის ხარჯის შემცირებაში და უსაფრთხო მოძრაობის მართვის საიმედოობის ამაღლებაში.

20.3. პრაქტიკულად რეალიზებული მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე სისტემები

დღეისათვის მსოფლიოში პრაქტიკულად დანერგილია მაგნიტური ჩამოკიდების ორი ტიპის სისტემა: იაპონური სისტემა **MagLe (ML)** – ინგლისური სიტყვების **Magnetic Levitation** (მაგნიტური ლევიტაცია) აბრევიატურა და გერმანული სისტემა **Transrapid**. ორივე სისტემისათვის საერთოა ის, რომ შემადგენლობის მოძრაობას უზრუნველყოფს **გრძივი სინქრონული ელექტრული წვეის ძრავები**. რაც შეეხება ამწვეი ძალების და სტაბილიზაციის (მდგრადობის) განმაპირობებელი ძალების წარმოქმნის საკითხებს, ისინი პრინციპულად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. გერმანულ სისტემაში, ამ მიზნით, გამოყენებულია **ელექტრომაგნიტური** ჩამოკიდება, ხოლო იაპონურში – ჩამოკიდების **ელექტროდინამიკური** სისტემა. ამ სისტემების პრაქტიკული რეალიზების საშუალებას იძლევა თანამედროვე საგარდამქმნელო და მიკროპროცესო-

რული ტექნიკის მაღალი დონე, რაც მთავარია ზეგამტარობის ეფექტის გამოყენება, რომლის გარეშეც შეუძლებელი იქნებოდა ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების პარამეტრების რეალიზება.

20.3.1. ელექტროდინამიკური ლევიტაციის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი

მაღალსიხქარიანი მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე სატრანსპორტო სისტემისათვის ელექტროდინამიკური ლევიტაციის ტექნოლოგია პირველად შემოთავაზებული იყო ჯ.პაუელის და გ.დენბის (აშშ) მიერ და მას საფუძვლად დაედო **ლენცის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის** პრინციპი. კერძოდ:

თუ მუდმივი მაგნიტური ველის წყაროს გადავადგილებთ მასიური პლასტინის ან არამაგნიტური დენგამტარი მასალისაგან დამზადებულ მოკლედ შერთულ კონტურების მიმართ, მაშინ მათში დაინდუქტირდებიან დენები, რომლებიც მათ წარმოქმნიელ მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედებით წარმოქმნიან ძალებს, რომლებიც ცდილობენ შეეწინააღმდეგონ კონტურებში აღნიშნული მაგნიტური ველის მიერ დენების დაინდუქტირებას.

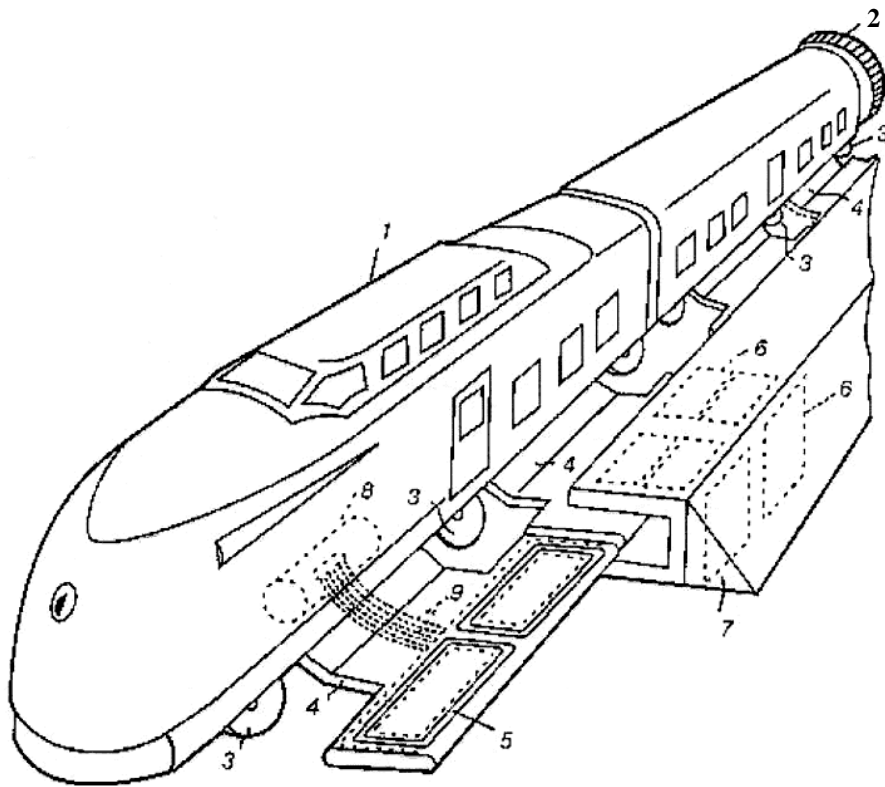
ერთი ჯგუფი აღნიშნული ძალებისა ცდილობს "გამოაძევოს" მაგნიტური ველის შემქმნელი წყარო (პირობითად ვთქვათ ვაგონი, რომელზეც განთავსებულია ელექტრომაგნიტი) დენგამტარი კონტურების ზონიდან და ამგვარად უზრუნველყოს მისი ჩამოკიდება. მათი ტოლქმედი აღინიშნება F_L სიმბოლოთი (ინგლისური ტერმინიდან **Levitation force**).

ძალების მეორე ჯგუფი ეწინააღმდეგება მაგნიტური ველის წყაროს (ამ შემთხვევაში ვაგონის) გადაადგილებას, აღიქმება, როგორც ელექტროდინამიკური სამუხრუჭო ძალა და აღინიშნება F_D -თი (ასევე ინგლისური ტერმინის **Dra force**) სიმბოლოთი.

ჯ.პაუელის და გ.დენბის მიერ შემოთავაზებული წინადადების არსი მდგომარეობდა იმაში, რომ მუდმივი მაგნიტური ველის წყაროდ გამოყენებული ყოფილიყო **ზეგამტარი მაგნიტები**, რომლებიც განთავსდებოდა მოძრავ მატარებელზე, რომელთა მეშვეობით გზის გასწვრივ განლაგებულ ალუმინისაგან დამზადებულ მოკლედ შერთულ კონტურებში დაინდუქტირდებოდა დენები.

20.7 ნახაზზე მოცემულია ასეთი ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების და გვერდითი გადაადგილების სტაბილიზაციის სისტემით აღჭურვილი ორვაგონიანი მატარებლის გამოსახულება.

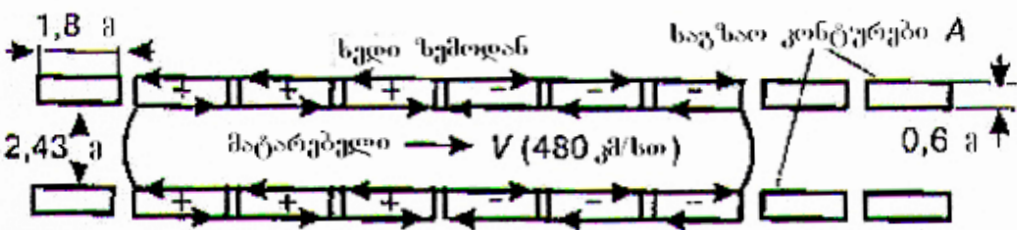
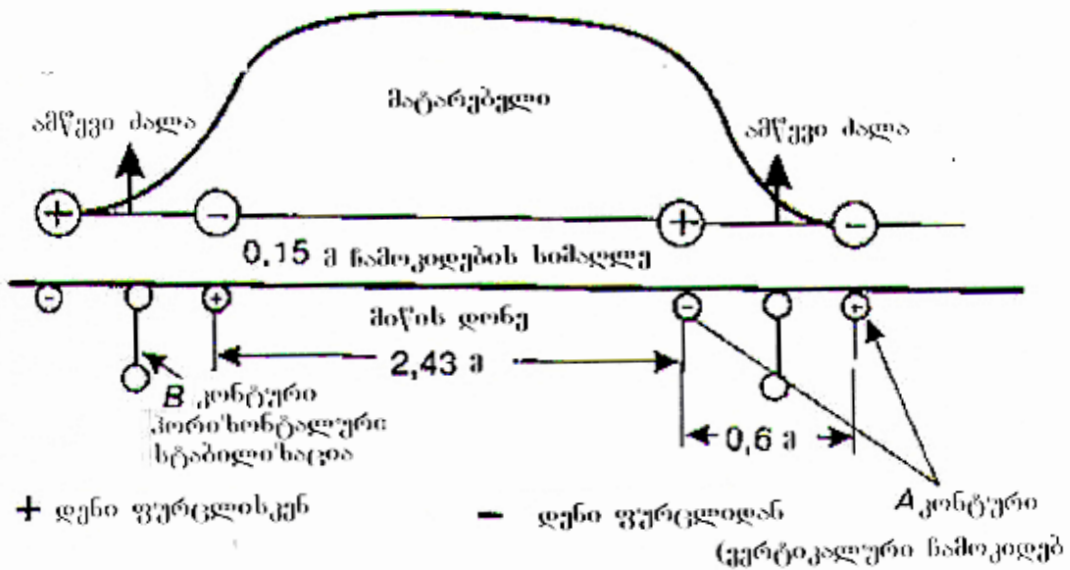
1-მატარებლის დაძვრას და დასახულ სიჩქარემდე (70-130 კმ/სთ) საზოგადოებრივ გადაადგილებას უზრუნველყოფს ტურბოსრახნული 2 ძრავა. უძრავ მდგომარეობაში ან დაბალ სიჩქარეებზე (სიჩქარე ნაკლებია 70 კმ/სთ-ზე) მანამ, სანამ არ მუშაობს ელექტროდინამიკური ჩამოკიდება, მატარებელი გზის ვაკისს ეყრდნობა 3 თვლით. მატარებლის ორთავე მხარეს (4) კრიოსტატებში განთავსებულია ზეგამტარი (5) ელექტრომაგნიტები. 70 კმ/სთ სიჩქარის გადაჭარბებისას, (7) გზის ვაკისში განთავსებულ 6-მოკლედშერთულ კონტურებში დაინდუქტირდება გრიგალური დენები, რომლებიც (5) ზეგამტარი მაგნიტების დენებთან ურთიერთქმედებით ქმნიან ამწევ (ჩამოკიდების) ძალას, რომელიც ვაგონს იჭერს გზის მიმართ აწეულ, ფიქსირებულ, გაწონასწორებულ მდგომარეობაში. ზეგამტარი მაგნიტები დამზადებულია II სახეობის (NbTi; Nb₃Sn) ზეგამტარებისაგან. ისინი ცივდებიან (8) რეფრეკტორიდან (9) მიღების საშუალებით 5,6K ტემპერატურამდე. ასეთი მაგნიტები 33-700 კილოამპერ დენის გავლისას, ქმნიან ისეთ მაგნიტურ ველს, რომელიც საკმარისია 30 ტონიანი ვაგონის 0,3 მეტრ სიმაღლეზე ჩამოსაკიდებლად.



ნახ. 20.7. ორვაგონიანი მატარებელი ელექტროდინამიკური ჩამოკიდებით.

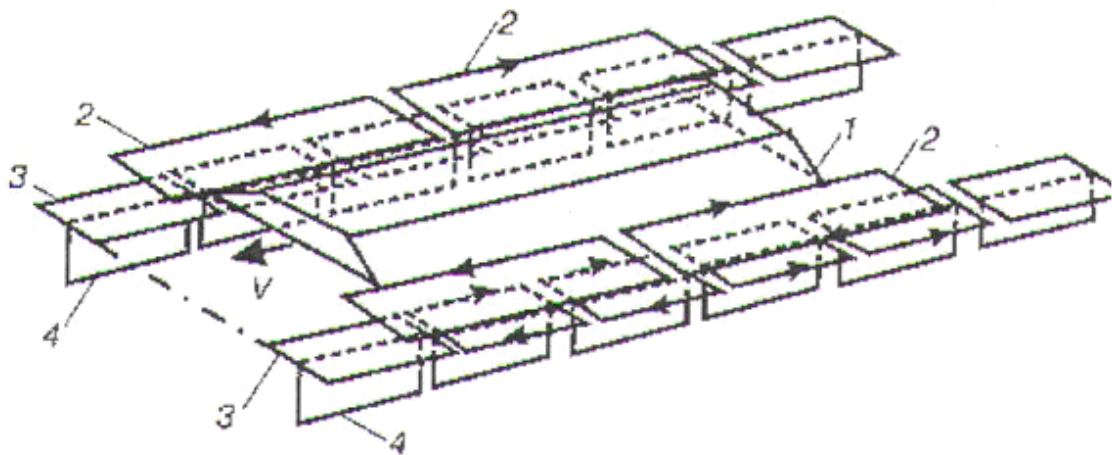
20.8 ნახაზზე მოცემულია ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების და გვერდითი სტაბილიზაციის ერთ-ერთი პირველი კონცეპტუალური სქემა. 1-მატარებელზე, ორთავე მხარეს, განთავსებულია ორ-ორი წყვილი ზეგამტარი მაგნიტები (სამატარებლო კონტურები) 2-სამატარებლო და საგზაო კონტურებს შორის ინდუქტიური

ა)



+ მატარებლის მაგნიტის მაგნიტური ნაკადი ფურცლისკენ
 - მატარებლის მაგნიტის მაგნიტური ნაკადი ფურცლიდან
 ⇌ დენი საგზაო კონტურში

ბ)



ნახ. 20.8. ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების და სტაბილიზაციის ერთ-ერთი ვარიანტის კონცეფცია.

კავშირის გაზრდის მიზნით, შერეულ ზეგამტარ მაგნიტებს აქვთ ურთიერთსაწინააღმდეგო პოლარობა. V-მიმართულებით მატარებლის მოძრაობისას, ზეგამტარი მაგნიტები გზის ორთავე მხარეს, ორ-ორ მწყრივად ჰორიზონტალურად განლაგებულ საგზაო მოკლედშერთულ 3-კონტურებში, აინდუქტირებენ დენებს. საგზაო

კონტურების გრძივი ზომები ნაკლებია სამატარებლო კონტურების გრძივი ზომებზე, ხოლო ორთავე კონტურების განივი ზომები ერთნაირია. საგზაო კონტურებში დაინდუქტირებული დენები წარმოქმნიან მაგნიტურ ველს, რომლის ურთიერთქმედება სამატარებლო კონტურების დენებთან ქმნის ამწვევ ძალას, რომელიც უზრუნველყოფს აწეულ მდგომარეობაში "ჩამოკიდებას".

საგზაო კონტურებში დენების დაინდუქტირება ხდება მხოლოდ დროის იმ მონაკვეთში, როდესაც მატარებელი იმყოფება ამ კონტურების თავზე. მატარებლის წინ და უკან მდებარე კონტურებში დენები არაა. ამწვევი ძალის სიდიდე დამოკიდებულია სამ ძირითად ფაქტორზე: 1—ზეგამტარი მაგნიტების მაგნიტომამოძრავებელ ძალაზე; 2—საგზაო კონტურებში დაინდუქტირებული დენების სიდიდეზე; 3—სამატარებლო და საგზაო კონტურებს შორის მანძილზე.

სამატარებლო და საგზაო კონტურებს შორის ელექტროდინამიკური კავშირი განაპირობებს ჩამოკიდებას, რომელიც უზრუნველყოფს მატარებლის გაწონასწორებულ მდგომარეობაში მდგრადობას ვერტიკალურ სიბრტყეში, როდესაც ამწვევი ძალა გაწონასწორებულია მატარებლის წონით. თუ წონასწორობის მდგომარეობიდან რაიმე მიზეზით მატარებელი დაიწევს ქვემოთ გზის მიმართულებით, მაშინ შემცირდება მანძილი (დრეჩო) სამატარებლო და საგზაო კონტურებს შორის, გაძლიერდება მაგნიტური კავშირი მათ შორის, შესაბამისად გაიზრდება საგზაო კონტურში დაინდუქტირებული დენის სიდიდე, ამწვევი ძალა და მატარებელი დაუბრუნდება გაწონასწორებულ პირვანდელ მდგომარეობას. ანალოგიური მსჯელობით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ კონტურებს შორის შემთხვევით მანძილის (დრეჩოს) გაზრდისას, ჩამოკიდების ძალა შემცირდება და მატარებელი დაბრუნდება პირვანდელ წონასწორულ მდგომარეობაში. ჩამოკიდების ასეთ სისტემას უწოდებენ **ნორმალურ-ნაკადურ სისტემას**. საგზაო კონტურებში დენების დაინდუქტირება ხდება მხოლოდ დროის იმ მონაკვეთში, როდესაც მატარებელი იმყოფება ამ კონტურების თავზე. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ მატარებლის წინ და უკან მდებარე კონტურებში დენები არაა. ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მდგრადობას უზრუნველყოფს მატარებელზე განთავსებულ ზეგამტარ მაგნიტებსა და გზის გასწვრივ ორმწკრივად განლაგებულ **4**—ვერტიკალურ საგზაო კონტურებს შორის ურთიერთქმედება. გვერდითი სტაბილიზაციის საგზაო კონტურებს აქვს იგივე სიგრძე, რაც ჩამოკიდების საგზაო კონტურებს და განლაგებულნი არიან ამ უკანასკნელის შუა ზონაში, გზის გასწვრივ (იხ. ნახ. 20.8 ბ).

სანამ მატარებლის და გზის გრძივი ღერძები ემთხვევა ერთმანეთს, მანამ ნაკად-შებმა სამატარებლო კონტურებსა და ვერტიკალურ საგზაო კონტურებს შორის

იქნება 0-ის ტოლი. მე-4-ე კონტურებში დენები არ დაინდუქტირდება და შესაბამისად გვერდითი მასტაბილიზირებელი ძალა არ წარმოიქმნება.

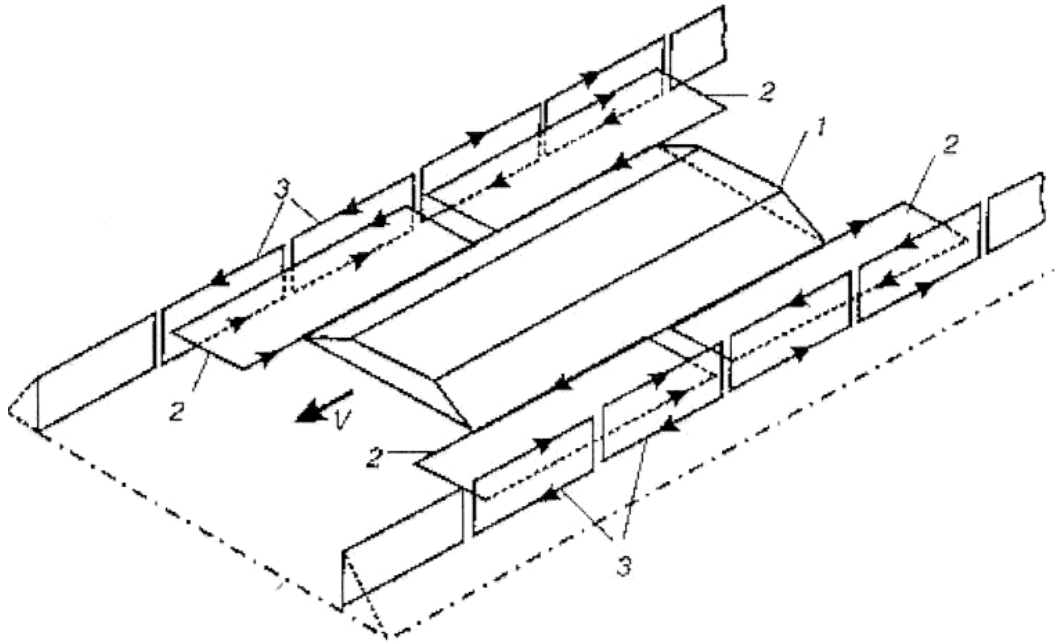
თუ რაიმე მიზეზით მატარებელი ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, საგზაო ღერძის მიმართ გადაადგილდება რომელიმე განივი მიმართულებით, მაშინ გვერდითი სტაბილიზაციის საგზაო ვერტიკალურ კონტურებში დაინდუქტირდება ე.მ.ძ, შესაბამისად დენები და წარმოიქმნება მაგნიტური ველები, რომლებიც სამატარებლო კონტურების მაგნიტურ ველებთან ურთიერთქმედებით წარმოქმნის მართულ ძალას F_G (**guidance force**), რომელიც მატარებელს დააბრუნებს პირვანდელ წონასწორობაში. ამგვარად ჰორიზონტალური დამაბრუნებელი ძალა უზრუნველყოფს მატარებლის დაჭერას გზის ღერძზე, მისი ამ მდგომარეობიდან ნებისმიერი შემაშფოთებელი ზემოქმედებით (ქარი, მრუდე და ა.შ.) განპირობებული გადაადგილების შემთხვევაში.

განსხვავებით “ჩამოკიდების” საგზაო კონტურებიდან, რომლებშიც დენები ინდუქტირდება განუწყვეტლივ, ჰორიზონტალური სტაბილიზაციის კონტურებში დენების დაინდუქტირება ხდება მხოლოდ მატარებლის და გზის სიმეტრიის ღერძების ერთმანეთისგან წანაცვლების შემთხვევაში.

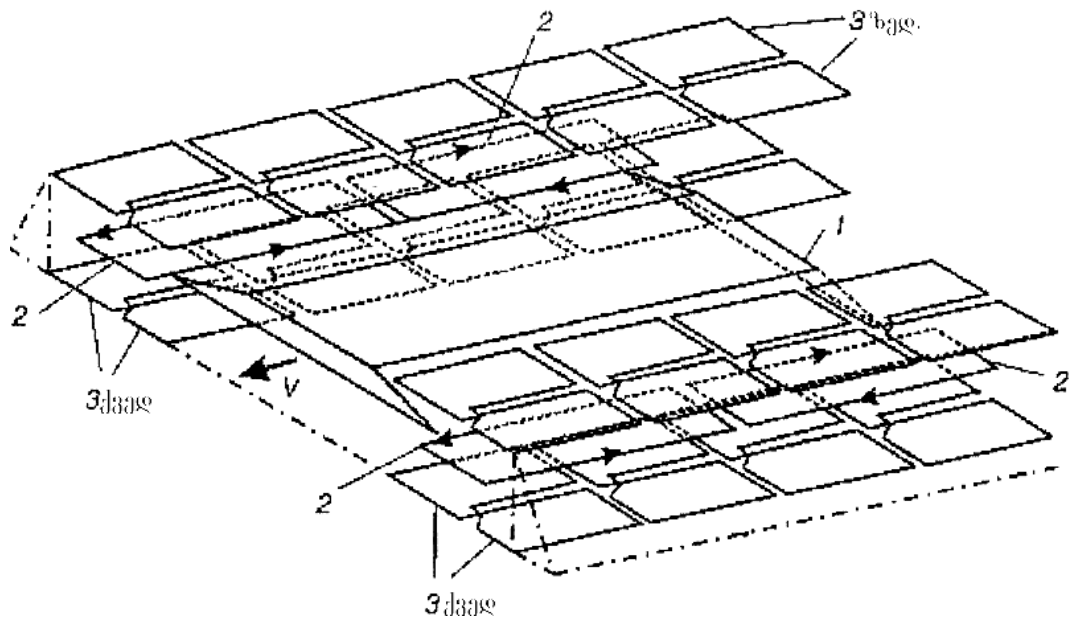
20.8 ნახაზზე მოყვანილია ჩამოკიდების და სტაბილიზაციის აღნიშნული სისტემის პარამეტრები, მატარებლისათვის, რომლის სიგრძეა 30,5 მ; მასაა 27,3 ტ, მოძრაობს გზიდან 0,15 მ სიმაღლეზე. სამატარებლო ზეგამტარ კონტურის მაგნიტო მამოძრავებელი ძალა ტოლია 3 000 ამპერის. მატარებლის წანაცვლებისას გზის სიმეტრიის ღერძის მიმართ 7,5 სმ-ით, წონასწორობაში დამაბრუნებელი წარმოქმნილი ძალის სიდიდე დაახლოებით მისი მასის, ანუ 27 ტონის ტოლია.

20.9 ნახაზზე და 20.10 ნახაზზე მოცემულია ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების და გვერდითი სტაბილიზაციის უფრო დეტალური სქემები. აქ “ჩამოკიდებას” უზრუნველყოფს (1) მატარებელზე ჰორიზონტალურად განთავსებული სამატარებლო ზეგამტარი (2) კონტურების და ვერტიკალურად განთავსებული (3) საგზაო კონტურების ურთიერთქმედება. ამწევი (ჩამოკიდების) ძალის წარმოქმნის პროცესი ზემოთ აღწერილი გვერდითი მასტაბილიზირებელი ძალის წარმოქმნის ანალოგიურია.

თუ სამატარებლო ზეგამტარი მაგნიტები განთავსებულია ვერტიკალური საგზაო მაგნიტების ცენტრალურ ჰორიზონტალურ ხაზზე, მაშინ ამ უკანასკნელში (ვერტიკალურ საგზაო კონტურებში) გადის ნულოვანი ნაკადი და მათში დენები არ დაინდუქტირდება. შესაბამისად სამატარებლო და საგზაო ვერტიკალური კონტურების ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი ელექტროდინამიკური ძალა ნულის ტოლი იქნება. იმ შემთხვევაში თუ კონტურები გადაადგილდება ცენტრალური ჰორიზონ-



ნახ. 20.9. სამატარებლო და საგზაო მაგნიტების ორთოგონალური ორიენტაციით ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების სქემა.



ნახ. 20.10. გვერდითი სტაბილიზაციის ნულ-ნაკადური სქემა.

ტალური ხაზის მიმართ, მაშინ საგზაო კონტურებში დაინდუქტირდება დენები, რომლებიც სამატარებლო ზეგამტარ მაგნიტებთან ურთიერთქმედებით ქმნიან ამწვევ (ჩამოკიდების) ძალას. მატარებლის გვერდითი სტაბილიზაციისთვის აქ გამოიყენება ნულ-ნაკადიანი სისტემა. (1) მატარებლის ორივე მხარეს, სამატარებლო ზეგამტარი მაგნიტების 2-ის ზემოთ და ქვემოთ განთავსდება საგზაო კონტურები 3 ზედ. და 3 ქვედ. (ნახ. 20.10) ყოველი კონტური შესრულებულია ორი მართკუთხა მარყუჟის მსგავსად, რომლებიც შეერთებულია “8” ციფრის მსგავსად. (ნახ. 20.10, 20.11.) თუ სამატარებლო კონტურების გრძივი სიმეტრიის ღერძი გადის საგზაო კონტურების

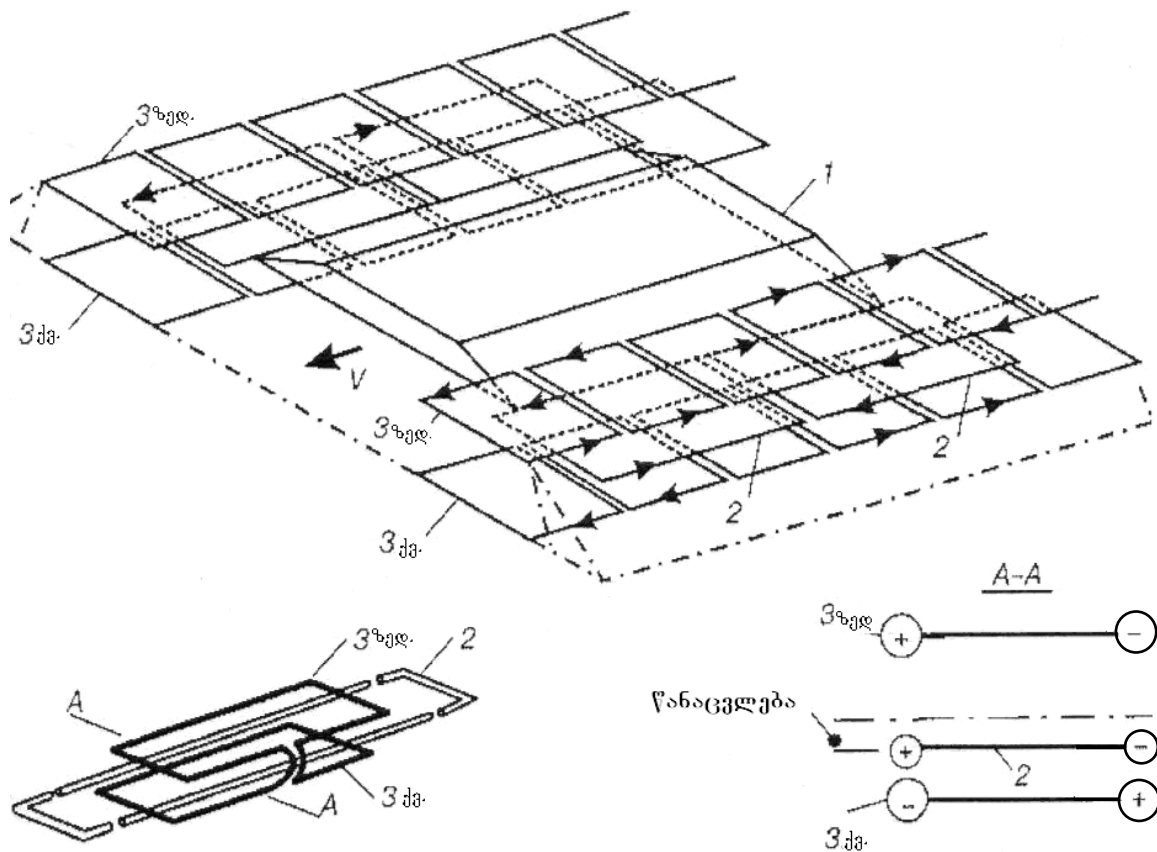
სიმეტრიის ღერძის ვერტიკალურ სიბრტყეზე, მაშინ საგზაო კონტურების ორივე მარყუჟში დაინდუქტირდება ერთი სიდიდის და სხვადასხვა ნიშნის (მიმართულების) ელექტრო მამოძრავებელი ძალა. მ.შ. სანამ მატარებლის განივი მდებარეობის სიმეტრიის ღერძი, ემთხვევა გზის სიმეტრიის ღერძს, მანამ საგზაო კონტურებში დენები არ ინდუქტირდება. თუ მატარებელი რაიმე მიზეზით წანაცვლდება (გადაადგილდება) ჰორიზონტალურ სიბრტყეში რომელიმე მიმართულებით, მაშინ ჰორიზონტალური მასტაბილიზირებელი კონტური, რომლის მხარესაც მოხდა გადაადგილება, მიიღებს მძლავრ მაგნიტურ კავშირს, ვიდრე მისი საპირისპირო კონტური. ე.ი. საგზაო კონტურებში მოხდება ელექტრომამოძრავებელი ძალის დისბალანსი, რაც გამოიწვევს საგზაო კონტურებში დენის გავლას. ამ დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი, სამატარებლო ზეგამტარ მაგნიტებთან ურთიერთქმედებით წარმოქმნის ძალას, რომელიც მატარებელს დააბრუნებს საწყის მდებარეობაში. 20.11 ნახაზზე მოცემულია ნულ-ნაკადიანი სისტემის განსხვავებული ვარიანტი. 1-მატარებლის ორთავე მხარეს, გზის გასწვრივ, ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, განთავსებული საგზაო კონტურები შედგება ორი: ზედა (3 ზედ) და ქვედა (3 ქვედ) ნახევრებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია ისე, რომ დაინდუქტირებული დენების მიმართულება ურთიერთსაწინააღმდეგოა. ე.ი. თუ სამატარებლო კონტური განთავსებულია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში საგზაო კონტურის ნახევრებს, შორის შუაში, მაშინ მათ შორის ნაკადშებმა ნულის ტოლია.

თუ რაიმე მიზეზით შემცირდება ამწვევი (ჩამოკიდების) ძალა, მაშინ მატარებელი სიმძიმის ძალის წყალობით გადაადგილდება ქვემოთ, შესაბამისად შეიცვლება საგზაო კონტურების ზედა და ქვედა ნახევრებში ნაკადშებმა, რაც გამოიწვევს საგზაო კონტურებში დენის დაინდუქტირებას, რომელიც სამატარებლო კონტურების მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედებით უზრუნველყოფს მატარებლის ჩამოკიდებას სამატარებლო კონტურების სიმეტრიის ღერძის ოდნავ ქვემოთ.

თუ სამატარებლო ზეგამტარი კონტური გადაადგილდება ჰორიზონტალურ სიმეტრიის სიბრტყის ზემოთ, მაშინ საგზაო კონტურებში დაინდუქტირებული დენის მიმართულება ისეთია, რომ სამატარებლო კონტურზე მოედება ქვემოთ მიმართული ძალა და მატარებელს გადაადგილებს ქვემოთ, პირვანდელ მდგომარეობაში.

გამოდის, რომ სამატარებლო კონტურზე ყოველთვის მოქმედებს სიმეტრიის სიბრტყეზე დამაბრუნებელი ძალა.

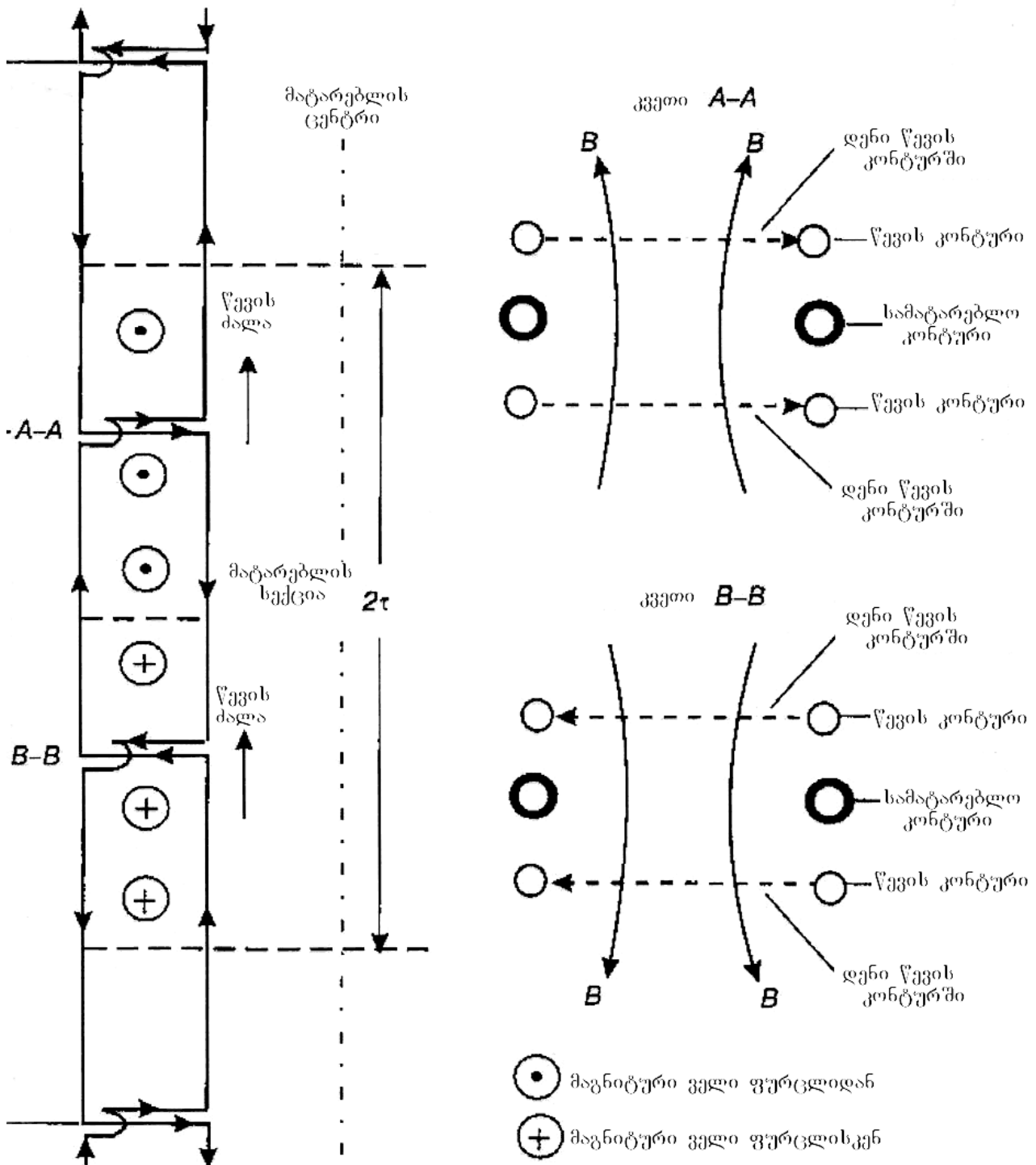
სწორედ ასეთ სისტემასთან შეხამებული მუშაობის შესაძლებლობით იყო წამოყენებული **საზური სინქრონული ძრავა** მატარებლის ხაზოვანი გადაადგილებისათვის, ჯ.პაუელის და გ.დენბის მიერ.



ნახ. 20.11. ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების ნულ-ნაკადიანი ვარიანტი

საზური სინქრონული ძრავას გამოყენების პირველი სქემური ვარიანტი მოცემულია 20.12 ნახაზზე. როგორც ზემოთ ვნახეთ, სამატარებლო ზეგამტარი მაგნიტები ემსახურება მატარებლის ელექტროდინამიკური ჩამოკიდების და სტაბილიზაციის პროცესებს. მათ, აგრეთვე, შეუძლიათ საზოვანი სინქრონული ძრავას ინდუქტორის (როტორის) როლის შესრულება.

თუ ნულ-ნაკადიანი ჩამოკიდების სისტემაში საგზაო კონტურების ზემოთ და ქვემოთ განვითავსებთ გარკვეული წესით შესრულებულ დამატებით გრაგნილებს, მაშინ მათ შეიძლება ეუწოდოთ საზური სინქრონული ძრავას ღუზის გრაგნილი, სხვაგვარად წვეის კონტური. განსახილველ ვარიანტში გამოყენებულია ორმაგი ტალღური გრაგნილი, რომლის პირდაპირი და უკუსექციები შესრულებულია სამატარებლო ზეგამტარი კონტურების საპოლუსო დანაყოფის წ-ს ტოლი ბიჯით. თუ წვეის კონტურს მივაწვდით f სიხშირის ცვლად დენს, მაშინ ეს დენი სამატარებლო ზეგამტარ მაგნიტებთან ურთიერთქმედებით, წარმოქმნის წვეის (მამოძრავებელ) ძალას F_p (**propulsion force**), რომელიც ინდუქტორის მაგნიტური ველის და ღუზის გრაგნილის დენის გარკვეული ინტენსივობისას, განაპირობებს



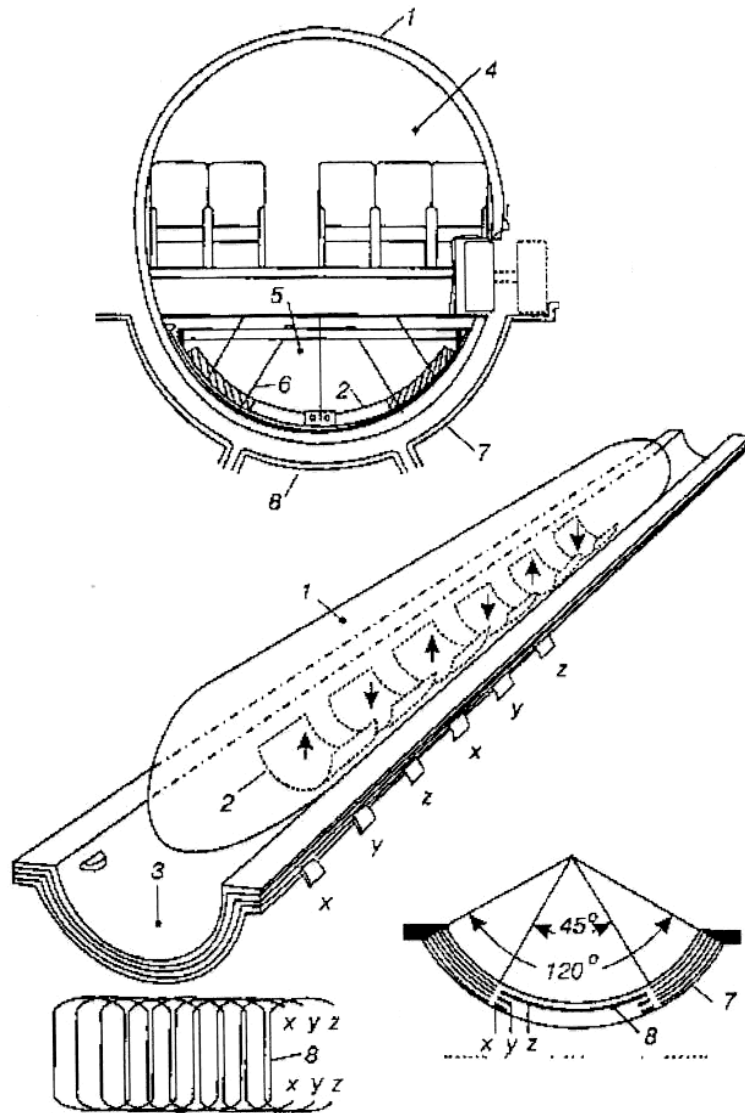
ნახ. 20.12. ხაზური სინქრონული ძრავის სქემური გამოსახვა.

მატარებლის გადაადგილებას $V = 2Zf$ სინქარით. მიუხედავად იმისა, რომ წვევის კონტური და ჩამოკიდების კონტურები ერთმანეთს ეხებიან, ისინი ისეა შესრულებული, რომ მათ შორის ურთიერთინდუქტიურობა 0-ის ტოლია. ამიტომ, ჩამოკიდების ამწვევი ძალის შემქმნელ კონტურებში, წვევის ძალის შემქმნელ კონტურებიდან არ ინდუქტირდება არავითარი დენები. აღწერილი სისტემა განაპირობებს ხაზური სინქრონული ძრავების გამოყენების დიდ უპირატესობას. კერძოდ: ერთი მხრივ

წვეის ძალის შესაქმნელად, მატარებელზე გარედან ენერჯის მიწოდება საჭირო არაა. მეორე მხრივ წვეის კონტურები იკვებება შედარებით მცირე დენებით, რაც ამცირებს კარგებს და ამადლებს ძრავის მარგი ქმედების კოეფიციენტს.

20.3.2. პროექტები, საცდელი ნიმუშები

ჯ.პაუელის და გ.დენბის იდეები პირველად რეალიზებული იქნა “Magneplan“-ს პროექტში (ნახ. 20.13). ამ პროექტის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ცილინდრული ფორმის ვაგონი, რომელზეც მუდმივი (უცვლელი) ბიჯით, მონაცვლეობითი პოლარობით განთავსებულია ელიფსური ფორმის ზეგამტარი მაგნიტები, დრეკადალა ჩამოკიდებული ცილინდრული ფორმის რკინაბეტონის მიმართველებზე და გადაადგილდება ელექტროდინამიკური გზით.



ნახ. 20.13. “Magneplane-ს” პროექტი:

- 1-ფიუზელაჟი, 2- ზეგამტარი მაგნიტი, 3- გზის სტრუქტურა, 4- სალონი,
- 5-კრიოსტატი, 6-წვევა; 7- ჩამოკიდების და მიმართველების ფურცელი,
- 8- საზური სინქრონული ძრავას ღუზა.

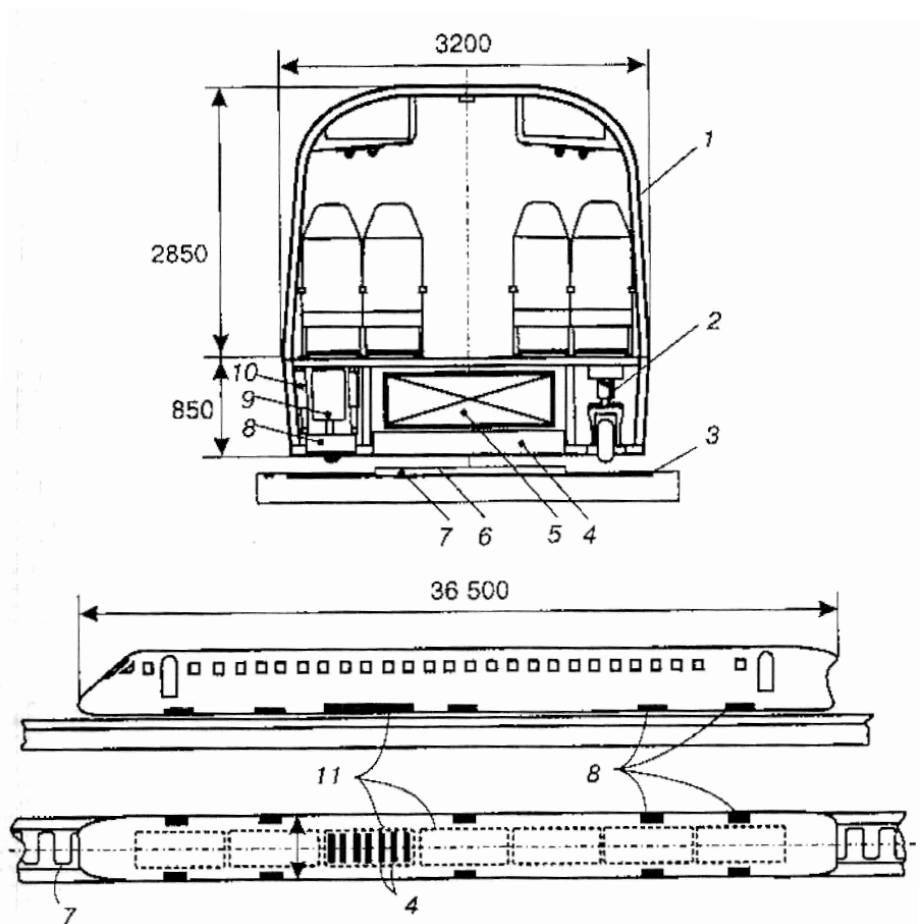
ვაგონად გამოყენებულია “ბონგ 707”-თვითმფრინავის ფიუზელაჟი. მისი სიგრძეა 50 მეტრი, ტევადობა – 140 მგზავრი, მასა 44,8 ტ, ვაგონის იატაკის ქვემოთ 120° გრადუსიანი სექტორის გასწვრივ, 2,75მ ბიჯით განთავსებულია 16 ცალი ელიფსური ფორმის ბრტყელი კოჭი. ყოველი კოჭი დაყენებულია მასიურ ალუმინის გულარაზე, რომელიც აკომპენსირებს ფიუზელაჟის ვაკუუმურ ნაკვეთურში ტიხრების კარკასებზე დამაგრებულ წვეარების ელექტროდინამიკური განმრჯენების ძალებს ($2 \cdot 10^6$ ნ). რეკომენდებულია ერთფენიანი გრაგნილები შესრულდეს ღრუ სადენებით. სადენი დამზადებულია ალუმინით, სტაბილიზირებულ და უჟანგავი ფოლადით არმირებულ ნიობია-ტიტანის შენადნობით. სადენს აქვს მართკუთხა კვეთი $2,5 \times 1,25$ სმ, 1 სმ დიამეტრის ხვრელით, რომელშიც ცირკულირებს ზეკრიტიკული ტემპერატურის ჰელიუმი. კოჭის 18 000 ამპერი მუშა დენით აგზნებისას $1,25 \times 10^6$ ამპერ მაგნიტომამოძრავებელ ძალის მნიშვნელობამდე; დაგროვილი ენერგია მიახლოებით ტოლი იქნება 10^6 ჯოულის. 100 მ/წმ (360 კმ/სთ) სიჩქარის და გზასა და კოჭებს შორის 25 სანტიმეტრიანი ღრეხოს შემთხვევაში, ამწევი ძალა ტოლი იქნება $5 \cdot 10^5$ ნ = 50 000 კგ=50 ტ-ის.

სავალი გზა წარმოადგენს 4 მ დიამეტრის, 120° სექტორის ფორმის ცილინდრულ სხეულს, რომლის ცენტრში გაკეთებულია 45° კუთხის მქონე ჭრილი. ჭრილის ორივე მხარეს განთავსებულია ჩამოკიდების და სტაბილიზაციის ფურცვლოვანი საგზაო ღარები. სექტორის ჭრილში, ცენტრის გასწვრივ განთავსებულია ხაზური სინქრონული ძრავის ღუზის ორმაგ ტალღურ გრაგნილიანი მრავალფაზა სისტემა. ღეროები გათვლილია თითოეულ ფაზაზე 1 600 ამპერ საშუალოკვადრატულ დენის მნიშვნელობაზე. გრაგნილის ბიჯი აირჩევა 100 მ/წმ სინქრონული სიჩქარის და მკვებავი ძაბვის (60 ჰერცის) სიხშირის შესაბამისად.

ზეგამტარი ელექტრომაგნიტის ელიფსური ფორმა განაპირობებს ვაგონის ღერძის ქვეშ მაგნიტური ველის მკვეთრად გამოხატულ მაქსიმუმს ე.წ. “მაგნიტურ კილს”. წვეის გრაგნილის მრავალფაზა ცვლადი დენის წყაროდან კვებისას წარმოიშვება განმრბელი მაგნიტური ველის ტალღა, რომელიც ურთიერთქმედებს რა ვაგონის “მაგნიტურ კილთან”, წარმოქმნის წვეის ძაღას.

სინქრონულობის მისაღწევად, ვაგონის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაცია მიეწოდება ენერგიის მარეგულირებელ ორგანოს, რომელიც აუცილებლობის შემთხვევაში ცვლის წვეის დენის სიხშირეს, ფაზას ან ამპლიტუდას (იმის მიხედვით რეგულირების რა სახეობა გამოიყენება).

ერთდროულად ხაზური სინქრონული ძრავა წარმოქმნის ცვალებადი სიდიდის ვერტიკალურ ძაღას, რომელიც შეიძლება გამოყენებული იყოს ვაგონის რხევითი მოძრაობის ჩასაქრობად.



ნახ. 20.14 პროექტი Maglev-canada-პირველი ვარიანტი:

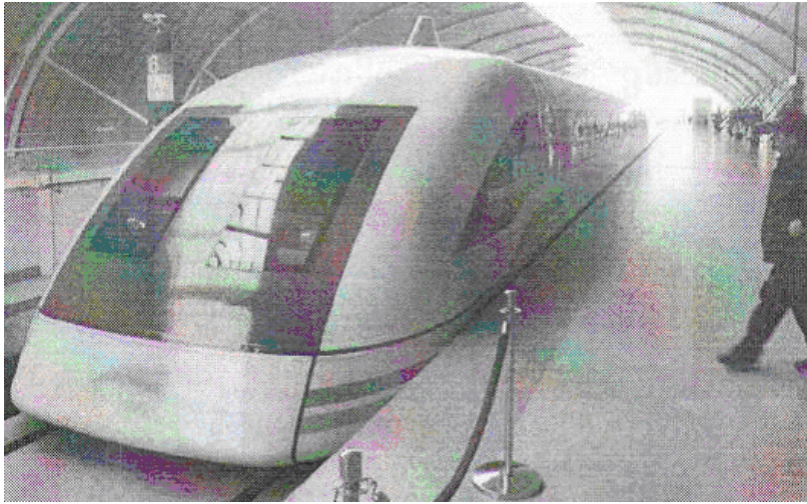
- 1 – ვაგონი, 2 – ჩამოკიდების ბორბალი, 3 – ჩამოკიდების საგზაო ფურცელი,
- 4 – სინქრონული ძრავას და მიმართულების ზეგამტარი მაგნიტი, 5 – რეფრიჟერატორი, 6 – სტაბილიზაციის კონტური, 7 – სინქრონულ ძრავას ღუზის გრაფილი,
- 8 – ჩამოკიდების ზეგამტარი მაგნიტი, 9 – ჰელიუმის კონტეინერი, 10 – მეორადი ჩამოკიდება, 11 – საზური სინქრონული ძრავას ზეგამტარის მაგნიტების ბლოკი.

გარდა აღნიშნულისა, “მაგნიტური კილი” განაპირობებს ცენტრისკენულ ძალის წარმოქმნას და ამ გზით უზრუნველყოფს მდგრადობის გარანტიას. ვაგონის გრძივი ღერძის გასწვრივ დრეკადი შემობრუნების შესაძლებლობა, საშუალებას იძლევა ტრასის არაწრფივ მონაკვეთებზე მდგრადი მოძრაობა განვახორციელოთ მინიმალური რადიუსის მქონე მრუდეებში. ამისათვის საჭიროა განვი დახრის მქონე მიმართველი დარი განვათავსოთ ვაგონის დახრის კუთხის ტოლი კუთხით, მრუდის რადიუსის შესაბამისად.

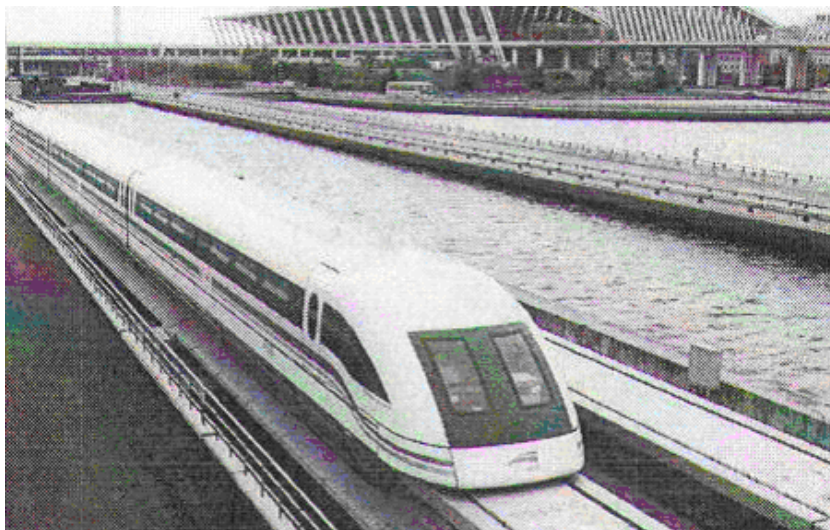
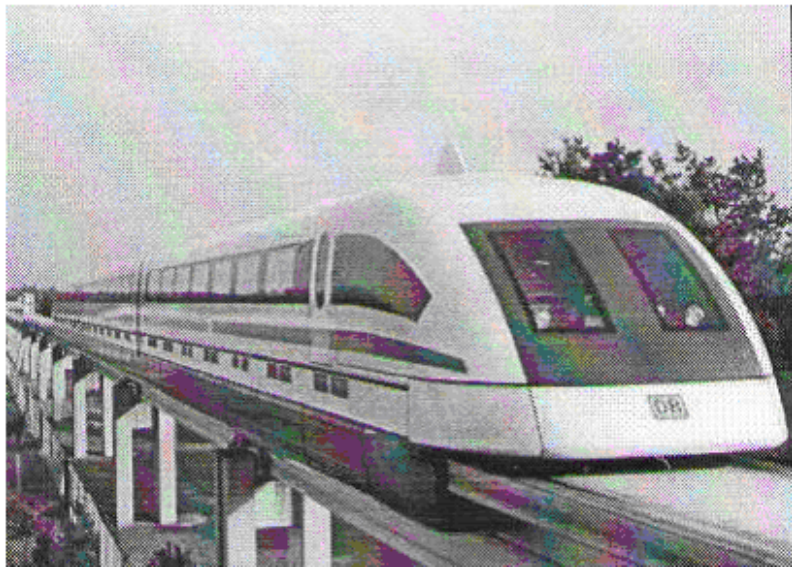
“Magneplane”-ს პროექტის მიხედვით, წუთში ორვაგონიანი მატარებლის 100 მ/წმ-ში სიჩქარით მოძრაობისათვის, მკვებავი მოწყობილობიდან მოხსნილი სიმძლავრე შეადგენს არანაკლებ 6 მეგავატს.

გერმანული საწარმოს Siemens AG, ThyssenKrupp შეილობილმა კომპანიამ Transrapid-მა ჩინეთის მთავრობის შეკვეთით შანხაი-პუდუნ-ის აეროპორტის უბანზე (სიგრძე 30კმ) შეასრულა ჩქაროსნული მაგისტრალის მშენებლობა (საექსპლუატაციო სიჩქარე

450კმ/სთ), გერმანული წარმოების მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე სამ ვაგონიანი მატარებლებისათვის (ნახ. 20.14, 20.15).

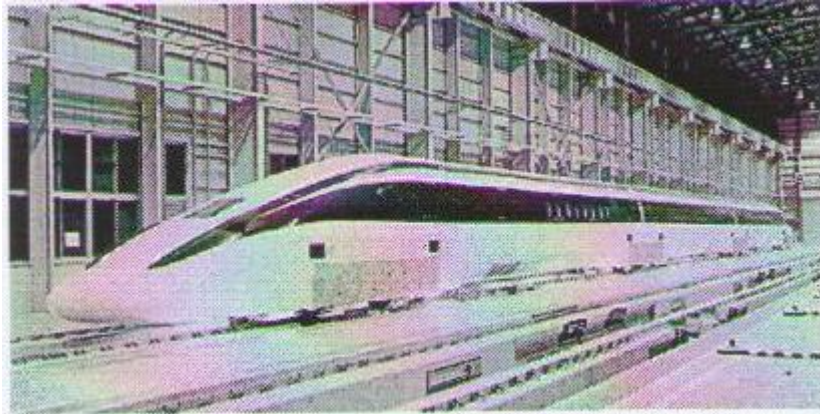


ნახ. 20.14

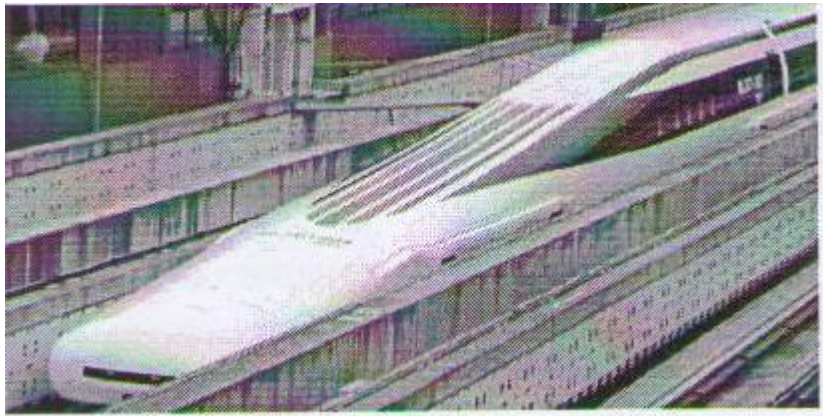


ნახ. 20.15

სამუშაოები დასრულდა და უბანი ექსპლუატაციაში შევიდა 2002 წელს. ის დღესაც წარმატებით ფუნქციონირებს. უფრო მეტიც, დაგეგმილია მაგისტრალის სიგრძის გაზრდა 176 კმ-მდე, ქალაქ ხანჩოუმდე.



ნახ. 20.16



ნახ. 20.17

იაპონიაში იამანის პროექტურაში შექმნილ საცდელ მაგისტრალზე, Chubu HSST Development Corpor. კომპანიის მიერ შექმნილმა მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე MLX01-901 სერიის მატარებელმა, 2003 წელს მგზავრებით დასახლებულმა, აჩვენა სიჩქარე 581 კმ/სთ-ში (ნახ. 20.17).

1. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н. Теория электрической тяги. Изд-во «Транспорт», 1983. 320 с.
2. Минов Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей. Москва, «Транспорт», 1965. 266 с.
3. Тиристорное управление электрическим подвижным составом постоянного тока. Под ред. В.Е. Розенфельда. Москва, изд-во «Транспорт», 1979. 240 с.
4. Тулупов В.Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава. Москва, изд-во «Транспорт», 1976. 308 с.
5. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог: Теория работы электрооборудования. Электрические схемы. Учебник для вузов. 4-ое издание, Москва, «Транспорт», 1980. 471 с.
6. Тихменев Б.Н., Кучумов В.А. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. Изд-во «Транспорт», 1988. 310 с.
7. Осипов С.И., Миронов К.А., Ревич В.И. Основы локомотивной тяги. Изд-во «Транспорт», 1979. 434 с.
8. Слепцов А.С., Долаберидзе Г.П., Тулупов В.Д., Савина Т. Электрический транспорт. Изд-во «Академия», 2008. 460 с.
9. Кузьмин В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги. (Учебник) изд-во «Высшее профессиональное образование», Москва, 2005. 443 с.
10. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Госэнергоиздат, часть II, 1958. 646 с.
11. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. Госэнергоиздат, 1951. 374 с.
12. Карипидис С.И. Динамика нелинейных систем тягового электропривода постоянного тока. Изд-во «Технический университет», Тбилиси, 2012, 314 с.
13. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Москва, «Транспорт», 1985.
14. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Справочник (тяговые расчеты). Изд-во «Транспорт», Москва. 1987.
15. Зевеке Г.В. и др. Основы теории цепей. Из-во «энергия». 1965.

სარჩევნი

წინასიტყვაობა	3
შესავალი	5
ელექტრული წვევის განვითარების მოკლე ისტორია	5
I თავი. ტრანსპორტის მოძრაობის თეორიული საფუძვლები	13
1.1. ტრანსპორტის დანიშნულება და სახეობები	13
1.2. ბორბალი და მისი ფუნქცია	13
1.3. ტრანსპორტის მოძრაობის თავისებურებები	15
1.4. სატრანსპორტო მოძრაობის კინემატიკის და დინამიკის საფუძვლები	20
1.4.1. მატარებლის მოძრაობის მექანიკის ძირითადი ცნებები, სიდიდეები, აღნიშვნები და განზომილებები	20
1.4.2. სტატიკა და დინამიკა	22
1.4.3. მოძრაობა კორიზონტალურ ზედაპირზე	25
1.4.4. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალები	27
1.4.5. მოძრაობა დახრილ ზედაპირზე	28
1.5. მამოძრავებელი ძალა და მისი შექმნის საფუძვლები სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებებისათვის	30
1.6. მატარებლის მოძრაობის მექანიკის მოდელი	33
1.7. სარელსო გზა და მისი თავისებურებანი	36
II თავი. ცნობები ელექტრული წვევის სახეობების შესახებ	38
2.1. სარელსო ტრანსპორტის წვევის სახეობები	38
2.2. წვევის ძრავა, ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მთავარი კვანძი	40
2.3. როგორ მუშაობს წვევის ძრავა?	42
2.4. მუდმივი დენის წვევის ძრავების ძირითადი კვანძები	47
2.5. მუდმივი დენის წვევის ძრავების პარამეტრები	50
2.6. მუდმივი დენის წვევის ძრავების მახასიათებლები	54
2.7. უკოლექტრორო წვევის ძრავები და მათი თავისებურებები	58
2.8. ასინქრონული წვევის ძრავები და მათი მახასიათებლები	60
2.9. ელექტრომოდრავი შემადგენლობის ძირითადი მოწყობილობები	64
2.9.1. ემშ-ს ელექტრული მოწყობილობა	65
2.9.2. პნევმატური მოწყობილობა	67
2.9.3. მექანიკური მოწყობილობა	67
2.10. ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მართვის სისტემები	67
2.11. ელექტრული წვევის თანამედროვე და პერსპექტიული სახეობები	69
2.12. მატარებელზე მომქმედი ძალები	73
2.13. მატარებლის მოძრაობის რეჟიმები	73

III თავი. წვევის ძალა და მისი რეალიზაცია	75
3.1. ბორბლიან ტრანსპორტზე წვევის ძალის წარმოქმნის მექანიზმი	75
3.2. წვევითვალის არტახების რელსთან ჩაჭიდებაზე მომქმედი ფაქტორები	77
3.2.1. არტახისა და რელსის მასალა და მათი ზედაპირების მდგომარეობა	77
3.2.2. ბორბლების გაცურება	77
3.2.3. წვევის ძრავების მახასიათებლების სიხისტის გავლენა ჩაჭიდების წვევის ძალის რეალიზაციაზე	78
3.2.4. წვევის ძრავების შეერთების სქემის გავლენა	79
3.3. ელექტრომავლის წვევითი თვისებების ამამაღლებელი ღონისძიებები	81
IV თავი. მატარებლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალები	84
4.1. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალთა კლასიფიკაცია	84
4.2. მატარებლის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალები	86
4.3. მოძრავი შემადგენლობის მოძრაობისადმი ძირითადი წინააღმდეგობის ძალების გაანგარიშება	88
4.4. მატარებლის მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალები	90
4.4.1. ქანობით გამოწვეული მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა	90
4.4.2. მრუდეებით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა	91
4.4.3. ქარით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა	94
4.4.4. გვირაბებით გამოწვეული მოძრაობისადმი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა	95
4.4.5. სამგზავრო მატარებლებში ვაგონქვეშა გენერატორების მუშაობით წარმოქმნილი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა	97
4.4.6. მატარებლის დაძვრით გამოწვეული დამატებითი წინააღმდეგობის ძალა	96
4.5. მატარებლის მოძრაობისადმი სრული წინააღმდეგობის ძალა	97
4.6. ღონისძიებები მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების შესამცირებლად	98
V თავი. სამუხრუჭო ძალა და მატარებელთა დამუხრუჭება	100
5.1. ზოგადი ცნობები დამუხრუჭების სისტემების შესახებ	100
5.2. სამუხრუჭო სისტემების კლასიფიკაცია	102
5.3. მექანიკური დამუხრუჭება	103
5.4. სამუხრუჭო ძალის წარმოქმნის მექანიზმი	105
5.5. წვევის ძირითადი კანონი დამუხრუჭების რეჟიმისათვის. თვალის ჩასოღვა	107
5.6. მატარებლის სამუხრუჭო ძალის გაანგარიშება	109
VI თავი 6. მუდმივი დენის ელექტრომავლის წვევის მახასიათებლები	112
6.1. მუდმივი დენის წვევის ძრავების კლასიფიკაცია და ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგება	112

6.2. მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების აგება გრაფო-ანალიზური მეთოდით	113
6.3. ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი	117
6.4. წვევის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშება კომპიუტერული პროგრამით	121
6.5. მიმდევრობით აგზნებიანი წვევის ძრავას თავისებურებები	124
6.6. მუდმივი დენის ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა წყვილთვალის ფერსოს მიმართ	125
6.7. წვევის ძრავას მახასიათებლების გადათვლა რელუქტორის გადაცემის რიცხვის და წყვილთვალის დიამეტრის ცვლილებისას	127
6.8. ელექტროძრავის წვევის მახასიათებლები და მათი აგება	128
6.9. შეზღუდვები წვევის მახასიათებლებზე	130
VII თავი. მუდმივი დენის კონტაქტორულ-რეოსტატული მართვის მქონე ელექტროძრავი შემადგენლობის ამუშავება და სინქარის რეგულირება	133
7.1. მუდმივი დენის წვევის ძრავას ამუშავების პროცესი	133
7.2. წვევის ძრავას მდოვრე რეოსტატული ამუშავება	135
7.3. საფეხურისებრივი რეოსტატული ამუშავება	139
7.4. სინქარის რეგულირება	140
7.4.1. სინქარის რეგულირება ძაბვის რეგულირებით	141
7.4.2. სინქარის რეგულირება მაგნიტური ნაკადის რეგულირებით	143
7.5. ძრავას ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა ძრავას მომჭერებზე ძაბვის ცვლილებისას	145
7.6. ელექტრომექანიკური მახასიათებლების გადათვლა მაგნიტური ნაკადის (მაგნიტური ველის) შესუსტებისას	148
7.7. სინქარის ცვლილების პროცესი ძრავას მომჭერებზე ძაბვის ცვლილებისას და მაგნიტური ველის შესუსტებისას	152
VIII თავი. მუდმივი ძაბვის მდოვრე რეგულირება	156
8.1. ძაბვის მდოვრე რეგულირება ელექტრომანქანური გარდამქმნელებით	156
8.2. მუდმივი ძაბვის მდოვრე იმპულსური რეგულირება	158
8.3. მუდმივი დენის წვევის პერსპექტიული ელექტროაძრავი	163
8.4. დამოუკიდებელაგზნებიანი წვევის ძრავების მქონე მუდმივი დენის ელექტროძრავი შემადგენლობაზე სინქარის იმპულსური რეგულირება	165
IX თავი. ერთფაზა ცვლადი-მუდმივი დენის ელექტროძრავი შემადგენლობის წვევის რეჟიმი	170
9.1. წვევის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის რეგულირების ხერხები	170
9.2. გამართული დენის პულსაცია	173
9.3. არამართვადი გამმართველის გარე მახასიათებელი	174

X თავი. ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობის წევის ძრავების მომჭერებზე ძაბვის მდოვრე რეგულირება	178
10.1. სქემების კლასიფიკაცია და მათი ანალიზი	178
10.2. დატვირთვის დენის პულსაცია	183
10.3. მმართველი გამმართველის გარე მახასიათებელი	184
10.4. კომბინირებული რეგულირება	187
10.5. ცვლადი დენის პერსპექტიული ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობა	190
XI თავი. ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობა ასინქრონული წევის ძრავებით	193
11.1. ზოგადი ცნობები	193
11.2. ასინქრონული ძრავას მუშაობის პრინციპი და ძირითადი მახასიათებლები	194
11.3. ასინქრონული ძრავას ექვივალენტური ჩანაცვლების სქემა	195
11.4. მექანიკური მახასიათებლის განტოლება	197
11.5. ასინქრონული ძრავების ბრუნთა რიცხვის რეგულირების ხერხები	199
11.6. ასინქრონული მანქანების სამუხრუჭო რეჟიმები	203
11.7. სამფაზა ინვერტორის ძაბვის და სიხშირის ეკონომიური რეგულირების მეთოდი	207
XII თავი. ელექტრული დამუხრუჭება	214
12.1. ზოგადი ცნობები ელექტრული დამუხრუჭების შესახებ	214
12.2. მუდმივი დენის ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობის რეოსტატული დამუხრუჭება	215
12.2.1. რეოსტატული დამუხრუჭება წევის ძრავების თვითაღზნებით	216
12.2.2. რეოსტატული დამუხრუჭება წევის ძრავების დამოუკიდებელი აგზნებით	224
12.3. ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობის რეოსტატული დამუხრუჭება	225
12.4. მუდმივი დენის კონტაქტორულ-რეოსტატული ელექტრომოდრაჟი შემადგენლობის რეკუპერაციული დამუხრუჭება	228
12.4.1. ზოგადი ცნობები რეკუპერაციული დამუხრუჭების შესახებ	228
12.4.2. რეკუპერაციული დამუხრუჭების სისტემა მასტაბილიზირებელი რეზისტორით	232
12.4.3. რეკუპერაციული დამუხრუჭების სისტემა ამგზნები მანქანის უკუ აგზნებით	233
12.5. მუდმივი დენის ელექტრომაგვლების რეკუპერაციული დამუხრუჭების პრაქტიკული სქემები	236
12.5.1. სქემის დაცვა აგარიულ რეჟიმებში	238
12.5.2. მბრუნავ გარდამქმნელიანი მუდმივი დენის ელექტრომაგვლების რეკუპერაციული მახასიათებლების ანალიზური გამოსახულებები .	239
12.5.3. BJI-15 ელექტრომაგვლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების სქემა	241
12.5.4. BJI-15 ელექტრომაგვლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების ავტომატური მართვის სისტემა (რდამს)	245

12.6. ერთფაზა-მუდმივი დენის ელექტრომოძრავი შემადგენლობის რეკუპერაციული დამუხრუჭება	247
12.7. რეკუპერაციულ-რეოსტატული დამუხრუჭება	252
12.8. ელექტრული დამუხრუჭება მდოვრე იმპულსური რეგულირებით	254
12.8.1. რეკუპერაციული დამუხრუჭება	254
12.8.2. რეოსტატული დამუხრუჭება	256
12.9. ელექტრომაგნიტური სარელსო დამუხრუჭება	259
XIII თავი. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება	262
13.1. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ზოგადი სახე	262
13.2. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ანალიზი	266
13.3. მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის მიზანი და ხერხები	268
13.4. მოძრაობის სიჩქარის გრაფიკული გაანგარიშება	272
13.5. მოძრაობის მრუდეების გაანგარიშება გრაფიკული მეთოდით	272
13.5.1. სიჩქარის მრუდის აგების თანმიმდევრობა	275
13.5.2. მატარებლის სვლის დროის გრაფიკული გაანგარიშება	278
13.6. მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ანალიზური მეთოდი	281
13.7. წვეის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდის მაგალითები	286
13.8. მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების რიცხვითი ინტეგრირება	290
XIV თავი. წვეის გაანგარიშება	293
14.1. წვეის გაანგარიშების მიზანი	293
14.2. პროფილის გასწორება	294
14.2.1. გასწორება პროფილში	294
14.2.2. გასწორება გეგმაში	296
14.3. მატარებლის წონის განსაზღვრა	297
14.3.1. ზოგადი ცნობები	297
14.3.2. შემადგენლობის წონის განსაზღვრა საანგარიშო ქანობზე დამყარებული სიჩქარის პირობით	298
14.3.3. შემადგენლობის წონის განსაზღვრა მატარებლის კინეტიკური ენერჯის გათვალისწინებით	300
14.4. შემადგენლობის წონის შემოწმება ადგილიდან დაძვრაზე	300
14.5. შემადგენლობის წონის შემოწმება სასადგურე ლიანდაგებში მატარებლის განთავსებაზე	301
14.6. სატვირთო მატარებლების უნიფიცირებული წონების დადგენა	302
XV თავი. სამუხრუჭო გაანგარიშებები	304
15.1. სამუხრუჭო გაანგარიშებების პრინციპი და ნორმატიული მონაცემები	304

15.2. სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა	305
15.3. მოძრაობის დასაშვები სიჩქარის განსაზღვრა	308
15.4. მატარებლის სამუხრუჭო საშუალებების განსაზღვრა	309
XVI თავი. ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლები და მოხმარებული დენის მრუდეები	311
16.1. მუდმივი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლები	311
16.2. ცვლადი დენის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის დენის მახასიათებლები	317
16.3. ელექტრომოდრავი შემადგენლობის მიერ მოხმარებული დენის მრუდეები	322
XVII თავი. წვევის ძრავების გახურება	325
17.1. ზოგადი ცნობები ელექტრული მანქანების გახურების შესახებ	325
17.2. წვევის ძრავების გახურების გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი	326
17.3. წვევის ძრავების გახურების გაანგარიშების გრაფიკული მეთოდი, ტემპერატურული მრუდეების ბადის გამოყენებით	331
XVIII თავი. ელექტროენერგიის ხარჯის გაანგარიშება	335
18.1. მატარებელთა წვევაზე დახარჯული ელექტროენერგიის გრაფონალიზური გაანგარიშება	335
18.2. წვევაზე დახარჯული ელექტროენერგიის ხარჯის გრაფიკული გაანგარიშება	337
18.3. მატარებელთა წვევაზე ელექტროენერგიის ხარჯის ანალიზური გაანგარიშება	340
18.3.1. ზოგადი ცნობები	340
18.3.2. მოძრაობისადმი წინააღმდეგობის ძალების დაძლევაზე დახარჯული ენერგია	341
18.3.3. ენერგიის დანაკარგები მუხრუჭებში	342
18.3.4. ენერგიის დანაკარგები ძრავაში და გარდამქმნელებში	343
18.3.5. ენერგიის დანაკარგები ასამუშავებელ რეოსტატებში	343
18.4. ელექტრული ენერგიის სრული ხარჯის გაანგარიშება	344
18.5. ელექტროენერგიის ეკონომია	345
XIX თავი. ელექტრომობილი	348
19.1. ზოგადი ცნობები ელექტრომობილების შესახებ	348
19.1.1. ძრავა-რეგულატორი	348
19.1.2. სააკუმულატორო ბატარეა	349
19.2. ისტორია	340
19.3. ელექტრომობილების უპირატესობა	350
19.4. ელექტრომობილების ნაკლი	351
19.5. თანამედროვე მიღწევები	353

19.6. პერსპექტივა	353
19.7. წვეის ძრავები	354
19.8. ჰიბრიდული ავტომობილები	355
19.9. ელექტრომობილების ელექტრული ამძრავების კონსტრუქციული შესრულების შესაძლო ვარიანტები	356
19.10. ელექტრომობილის წვეის ელექტროამძრავის ფუნქციონალური სქემა	357
19.11. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონირების ზოგადი პრინციპები	358
19.12. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი წვეის ელექტრული ამძრავის კლასიფიკაცია	359
19.12.1. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი მიმდევრობითი სტრუქტურის სქემა	359
19.12.1.1. კომბინირებული ენერგეტიკული დანადგარით აღჭურვილი მიმდევრობითი სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა	361
19.12.2. კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი პარალელური სტრუქტურული სქემა	363
19.12.2.1 კომბინირებული ენერგეტიკული მოწყობილობით აღჭურვილი პარალელური სტრუქტურის წვეის ელექტრული ამძრავის ფუნქციონალური სქემა	364
XX თავი. მაღალსიჩქარიანი მიწისზედა სატრანსპორტო სისტემები	365
20.1. მაღალსიჩქარიანი მიწისზედა ტრანსპორტის შექმნის პრობლემები	366
20.2. ეკიპაჟის ზეგამტარი მაგნიტები	375
20.3. პრაქტიკულად რეალიზებული მაგნიტური ჩამოკიდების მქონე სისტემები	376
20.3.1. ელექტროდინამიკური ლევიტაციის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი	377
20.3.2. პროექტები, საცდელი ნიმუშები	386
ლიტერატურა	391



სერგო ივანეს ძე კარიბიძის დაიბადა 1935 წელს (საქართველო, წალკის რაიონი, სოფელი ბეშთაშენი). ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სრული პროფესორი, ელექტრული ტრანსპორტის კათედრის გამგე, სახელმწიფო პრემიის ლაურეატი. გამოქვეყნებული აქვს 100-ზე მეტი სამეცნიერო სტატია, საქართველოს და ყოფილ საბჭოთა კავშირის ცნობილ ტექნიკურ ჟურნალებში. არის ორი მონოგრაფიის და ერთი სახელმძღვანელოს ავტორი. უშუალოდ ს.კარიბიძის ხელმძღვანელობით 1977 წელს დამუშავდა და წარმოებაში დაინერგა მსოფლიოში პირველი კოქსმქრობი ელექტრომაგალი **ЭК-14**, ტირისტორული მართვით და სიჩქარის ავტომატური რეგულირების სისტემით.

1985-1989 წლებში მისი ხელმძღვანელობით **БЛ-10, БЛ-11 და БЛ-15** მაგისტრალურ ელექტრომაგვლებზე მბრუნავი **НБ-436А** გარდამქნელის ნაცვლად, შეიქმნა და დაინერგა რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმის ავტომატური რეგულირების სისტემა, სტატიკური ტირისტორული გარდამქნელის ბაზაზე.

2000 წელს ს.კარიბიძის ხელმძღვანელობით მოდერნიზაცია გაუკეთდა მუდმივი დენის **ЭР-2** სერიის ელექტრომატარებლებს. სიჩქარის კონტაქტორულ-რეოსტატული რეგულირების სისტემა შეიცვალა იმპულსური რეგულირების სისტემით (12 ელექტრომატარებელი), რომლებიც დღესაც წარმატებით მუშაობენ საქართველოს რკინიგზაზე.



ჯონდო კალისტრატეს-ძე სანიკიძე დაიბადა 1945 წელს (საქართველო, ვანის რაიონი სოფ. მიქელეფონი). 1969 წელს წარჩინებით დაამთავრა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სატრანსპორტო ფაკულტეტი “**ელექტრული წევა და წევის დანადგარების ავტომატიზაციის**” სპეციალობით, ხოლო 1974 წელს საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ასპირანტურა. არის ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი.

ტექნიკურ უნივერსიტეტში 45 წელზე მეტი ხნის მუშაობის განმავლობაში გამოქვეყნებული აქვს 50-მდე სამეცნიერო ნაშრომი, არის 7 დაპატენტებული გამოგონების და ერთი სახელმძღვანელოს ავტორი. წლების განმავლობაში წარმატებით მიჰყავს სალექციო კურსები საბაკალავრო და სამაგისტრო პროგრამებით გათვალისწინებულ ისეთ სპეციალურ დისციპლინებში, როგორებიცაა: **ელექტრული წევის საფუძვლები, რკინიგზის ელექტრომომარაგების სისტემები და მათი ავტომატიზაცია, ელექტრომომარაგი შემადგენლობა და მატარებელთა წევა, ელექტრული ტრანსპორტი და სხვა.**

2000-2002 წლებში სერბიის დედაქალაქ ბელგრადში და მის შემოგარენში ხელმძღვანელობდა ამერიკელების მიერ დაბომბილი ენერგეტიკული ობიექტების აღდგენით სამუშაოებს.

2004-2007 წლებში მისი უშუალო მონაწილეობით და ხელმძღვანელობით საქართველოს რკინიგზის თბილისის სამგზავრო სალოკომოტივო დეპოში ჩამოყალიბდა **იმპულსური ტექნიკის ლაბორატორია**, რომელმაც მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა საქართველოს რკინიგზაზე თანამედროვე იმპულსური მართვის მქონე ელექტრომატარებლების დანერგვის საქმეში.

დღეისათვის წარმატებით განაგრძობს პედაგოგიურ საქმიანობას, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტში ასოცირებული პროფესორის თანამდებობაზე.