

აიპ - საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი

მაკა ცერცვაძე

მუდმივმაგნიტებიანი ამპრავი

მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანებისთვის

აგროინჟინერიის დოქტორის

ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი

დ ი ს ე რ ტ ა ც ი ა

სპეციალობა 0415: სოფლის მეურნეობის წარმოების ელექტრიფიკაცია

სამეცნიერო ხელმძღვანელი. ტექნიკის

მეცნიერებათა დოქტორი,

სრული პროფესორი

ალექსანდრე დიდებულიძე

2011 წელი

სარჩევი

შესავალი;

1. მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანების წვევის ელექტრიფიცირებული ამძრავების და მათი ელემენტების განვითარების მიმოხილვა;

1.1. სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანები ელექტრიფიცირებული ამძრავებით;

1.2. მუდმივი მაგნიტები და მაგნეტიზმი. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავების კონსტრუქციების მიმოხილვა;

2. მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის მუშაობის პრინციპი;

2.1. მუდმივ მაგნიტებიანი ძრავას კონსტრუქცია;

2.2 მუდმივი მაგნიტების მახასიათებლები;

2.3. მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავისათვის მაგნიტური მასალის შრეჩევა;

2.4. მუდმივი მაგნიტის შემცველი მაგნიტური წრედი;

2.5. მაგნიტური ძრავას მაგნიტური წრედის ანგარიში;

მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის ექსპერიმენტული კვლევა;

3.1. მაგნიტების ურთიერთქმედების ძალების განსაზღვრა;

3.2. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას მუშაობის რეჟიმების ექსპერიმენტული კვლევა;

4. ამძრავის თეორიული კვლევა;

4.1. მუდმივი მაგნიტების ენერგეტიკული მაჩვენებლები;

4.2. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას მაგნიტური ველის ანალიზი;

4.3. დაპროექტების სტადიაზე ამპრავის საიმედოობის გაანგარიშება და საიმედოობის ამაღლების ღონისძიებათა დასახვა;

4.4. ამპრავის ენერგეტიკული მაჩვენებლები;

4.5. მაგნიტური ძრავას თბური გარდამავალი პროცესები;

4.6. ამპრავის ეკონომიკური მაჩვენებლები;

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები;

ლიტერატურეს სია;

დანართები.

შესავალი

თემის აქტუალობა. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარებისა და სასურსათო უსაფრთხოების სტრატეგია ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების ძირითად მიმართულებებს, ეკონომიკური რეფორმების შესახებ მიღებულ საბაზისო და უწყებრივ დოკუმენტებს ემყარება, ითვალისწინებს გარდამავალ პერიოდში ჩამოყალიბებულ ტენდენციებს, საქართველოში სასოფლო-სამეურნეო წარმოების ისტორიულ ტრადიციებს, უცხოეთის გამოცდილებას, ეკონომიკური რეფორმების შემდგომ ეტაპზე გასახორციელებელ ღონისძიებებს და ცალკეული რეგიონების სპეციფიკას.

თანამედროვე მსოფლიოში, როდესაც გლობალიზაცია და ეკონომიკური აქტივობა პრაქტიკულად შლის ქვეყნებს შორის საზღვრებს, ხოლო საერთაშორისო ვაჭრობა მიმდინარეობს უაღრესად მკაცრი კონკურენციის პირობებში, სახელმწიფოს ამოცანაა შექმნას ხელშემწყობი პირობები, რომლებიც გარანტირებულად უზრუნველყოფენ მოქალაქეთა ღირსეული საქმიანობის უფლებას. სოფლის მეურნეობაზე ყველაზე ძლიერად მოქმედებს საერთაშორისო ბაზრის რყევები, რის გამოც აღნიშნულ სფეროს ესაჭიროება განსაკუთრებული მზრუნველობა და ყურადღება. სოფლის მეურნეობა ერთნაირად მოითხოვს მომხმარებლის, მწარმოებლის, ფერმერის, მკვლევარისა თუ სახელმწიფოს ერთობლივ ძალისხმევასა და მხარდაჭერას. ამ მხრივ განსაკუთრებული მნიშვნელობა სახელმწიფოს ენიჭება, რისთვისაც მეცნიერულ კვლევებზე დაყრდნობითა

და ინოვაციებით სწორედ სახელმწიფომ უნდა მოახდინოს ამ სფეროს წარმართვა და რეგულირება.

მდგრადი სოფლის მეურნეობის განვითარება მოითხოვს ახალი, ეკონომიკურად ეფექტიანი, ექსპლუატაციაში საიმედო და ეკოლოგიურად სუფთა ავტომატიზებული სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანების დამუშავებას, რომლებიც აღჭურვილნი იქნებიან შესაბამისი წვევის და ძალური ამძრავებით. ასეთ მობილურ მანქანებში სულ უფრო ფართო გამოყენებას მიიღებს სპეციალური ელექტრიფიცირებული კვანძები, მ.შ. მუდმივი მაგნიტებით აღჭურვილი ძალური და მართვის კვანძები. ამჟამად დიდი ყურადღება ეთმობა კვლევით სამუშაოებს ფხვნილოვანი მეტალურგიის მეთოდებით მიღებული მუდმივი მაგნიტების ძალურ ტექნიკაში გამოსაყენებლად, რისი ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულება არის მათი ელექტრომექანიკურ სისტემაში დანერგვა. მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანების გენერატორებში, მცირე სიმძლავრის დამხმარე ელექტროძრავებში, მაგნიტურ ამწე მექანიზმებში და ა. შ. ამრიგად ძალურ დანადგარებში მათი გამოყენება არ არის უცხო.

მუდმივი მაგნიტებიანი («მაგნიტური») ძრავების შექმნაზე ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მრავალი მეცნიერი და კონსტრუქტორი მუშაობდა. ასეთი მანქანების შექმნის მცდელობებიდან აღსანიშნავია მე-XIX საუკუნეში კანადელი უესლი გარის, ხორვატი ნიკოლა ტესლას მაგნიტური ძრავების საინტერესო კონსტრუქციები, ხოლო მე-XX საუკუნეში – აშშ-ს მეცნიერების მაიკ ბრედის («პერენდევი»), ჰოვარდ ჯონსონის, ჩინელი ვანგ ჩუნ ჰოს (ვანგ შენის), იაპონელი კოჰეი მინატოს, რუსეთელების ვ. დუდიშევის, ვ. შკონდინის, ა. კალინინის, ე. შინტეკოვის

და სხვათა ნამუშევრები თუმცა დღემდე ასეთმა ძრავებმა პრაქტიკული გამოყენება ვერ მოიპოვეს.

თანამედროვე პირობებში ამ საკითხის მიმართ ინტერესი იზრდება, რაც უკავშირდება როგორც ორგანული საწვავის გაძვირებას, ასევე ეკოლოგიურ პრობლემებს. ამის გამო აქტუალური ხდება ენერჯის ახალი, ეკოლოგიურად სუფთა წყაროების გამოყენებაზე აგებული თანამედროვე ტექნოლოგიების ათვისება, რის მაგალითს წარმოადგენს მუდმივი მაგნიტების გამოყენებაზე აგებული ძრავებისადმი ინტერესის გაზრდა, რომელთა შექმნაში მნიშვნელოვანი პროგრესი გაპირობებულია ახალი მაგნიტური მასალების მოპოვებით და ამგვარი ძრავების კონსტრუქციის გამარტივების მიმართულებით საგრძნობი მიღწევები.

ამავე დროს, მუდმივ მაგნიტებიანი ძრავების და ამ ძრავების ბაზაზე ავტომატიზებული ამძრავების შექმნის საკითხის მიმართ ინტერესი იზრდება.

კვლევის მიზნები და ამოცანები. შეიქმნას მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანებისთვის განკუთვნილი მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის კონსტრუქცია, დამუშავდეს ძრავას მეცნირულად დასაბუთებული თეორია, მისი რეგულირების და მართვის სისტემა, ჩატარდეს ამძრავის მუშაობის რეჟიმების ანალიზი და შესწავლილ იქნეს საექსპლუატაციო, ენერგეტიკული და ეკონომიური მაჩვენებლები, დაისახოს ამძრავის შემდგომი გაუმჯობესების პერსპექტიული მიმართულებები. ამ მიზნების შესასრულებლად დასმულია შემდეგი ამოცანები:

ა) მსოფლიოს მკვლევართა მიერ აქამდე დამუშავებული მაგნიტური ძრავების კონსტრუქციების შესწავლა, მათი ნაკლოვანებების დადგენა და ამ ნაკლოვანებათა აღმოფხვრის მიმართულებათა დასახვა;

ბ) ახალი მაგნიტური ძრავას კონსტრუქციის დამუშავება, დაპატენტება, კონსტრუქციული ელემენტების შერჩევა, მაკეტისა და ექსპერიმენტული ნიმუშის დაპროექტება და დამზადება;

გ) მაგნიტური ძრავას მაკეტის მუშაობის ექსპერიმენტული კვლევა; ძრავში გამოყენებული მაგნიტების მაგნიტური ველის განაწილების შესწავლა;

დ) ამძრავის ენერგეტიკული მახასიათებლების და საექსპლუატაციო საიმედოობის დადგენა;

ე) დამუშავებული მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის და არსებული კონსტრუქციების ამძრავების ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი;

ვ) კვლევის შედეგების საფუძველზე სათანადო დასკვნების და რეკომენდაციების გაკეთება.

კვლევის მეთოდოლოგია, მიდგომები: მაგნიტური ძრავის ბაზაზე შექმნილი ამძრავის გამოცდის და ექსპერიმენტული კვლევების უმეტესობა სპეციალური და ჩვეულებრივი ელექტრული მანქანებისა და გამოცდის და კვლევების ანალოგიურია. ამძრავის ექსპერიმენტული კვლევებისათვის აწყობილ იქნა სპეციალური სტენდი, რომელიც აღიჭურვა შესაბამისი გამზომი ხელსაწყოებით.

ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილ იქნა ძრავას ელექტრული და ელექტრომექანიკური მახასიათებლები, შესწავლილ იქნა მექანიკური და თბური გარდამავალი პროცესები.

ამძრავის საიმედოობის მაჩვენებლების და ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობის გაანგარიშება ჩატარდა უახლესი მეთოდიკების გამოყენებით.

კვლევის ობიექტი: მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ბაზაზე შექმნილი და სასოფლო-სამეურნეო მობილური აგრეგატებისათვის განკუთვნილი ეკოლოგიურად სუფთა ამძრავი.

მეცნიერული სიახლე: დამუშავებულია ენერგოდამზოგი მაგნიტური ძრავა და ამძრავი მის ბაზაზე, რომელიც განსხვავდება არსებული ანალოგიური ამძრავებისგან იმით, რომ უზრუნველყოფს უკეთეს ენერგეტიკულ და ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგად დასაბუთებულია ამძრავის მუშაობისუნარიანობა და შერჩეულია მუშაობის რეჟიმი, დადგენილია ამძრავის წევითი, ენერგეტიკული და ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები.

კონსტრუქცია და სქემა დაცულია საქართველოს პატენტით № 4094 გამოგონებაზე “მაგნიტური ძრავა”, საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი, №8, 2007. 2011 წლის 27 აპრილს საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნულ ცენტრში შეტანილია განაცხადი № 12207/01 ახალ გამოგონებაზე: ”კომბინირებული მაგნიტური ძრავა” პატენტის მისაღებად.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება: თანამედროვე პირობებში ამ ნამუშევრის, ასევე, როგორც ნებისმიერი გამოყენებითი კვლევის პრაქტიკულ ღირებულებას პირველ რიგში განსაზღვრავს შექმნილი მოწყობილობის – მაგნიტური ძრავას წარმოებაზე ლიცენზიების გაყიდვიდან შემოსავლის მიღება.

სამუშაოს ბენეფიციარები (ის უწყებები და პირები, ვინც ისარგებლებენ მიღებული შედეგებით): სამუშაოს შედეგის პოტენციური ბენეფიციარებია კერძო სექტორში – მობილური ტექნიკის მწარმოებელი კომპანიები, აგრეთვე მკვლევარები და კვლევითი ინსტიტუტები – სამეცნიერო შედეგებით და შემოთავაზებული ინოვაციის შემდგომი სრულყოფის და წარმოებაში გამოყენების მიზნით.

სამუშაოს აპრობაცია: სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის დოქტორანტთა სამეცნიერო კონფერენციებზე, აგრეთვე საერთაშორისო კონფერენციაზე “აგრობიომრავალფეროვნების დაცვა და სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარება”, თბილისი, 2010 წლის ნოემბერში.

პუბლიკაციები: დისერტაციის ძირითადი მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 7 სამეცნიერო შრომა, რომელთაგან 2 წარმოადგენს საქართველოს პატენტს გამოგონებაზე; ამ ნაშრომებიდან 3 შესრულებულია თანაავტორების გარეშე:

1. ცერცვაძე რ., ცერცვაძე მ., ცერცვაძე გ. მაგნიტური ძრავა. საქართველოს პატენტი №4094, საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი, №8, 2007.
2. ცერცვაძე მ. მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანებისათვის განკუთვნილი წევის მაგნიტური ძრავისათვის მაგნიტური მასალის შერჩევა. სამეცნიერო შრომათა კრებული საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, ტომი 3, №1 (50), 2010. 90-92გვ.

3. ცერცვაძე მ. მაგნიტური ძრავას ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო შრომათა კრებული, საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, ტომი 3, №3 (52), 2010. – 68-71გვ.
4. Didebulidze A., Tsertsvadze M., Tsertsvadze R. The Drive Unit with Permanent Magnets for use in the Mobile Agricultural Machinery. Materials of the International Conference: “Conservation of the Agrobiodiversity and Sustainable Development of Agriculture”, Tbilisi, 2010. – 337-339pp.
5. დიდებულიძე ა, ცერცვაძე მ. სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისათვის განკუთვნილი მაგნიტური ძრავას ენერგეტიკული რეჟიმების ანალიზი. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი” თბილისი, ტომი 1(39), 2011. – 171-172გვ.
6. ცერცვაძე მ. სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისთვის განკუთვნილი მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის საიმედოობის მაჩვენებლები. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტომი 4, №2 (55), თბილისი, 2011. - 68-72გვ.

მოსალოდნელი შედეგები. დამუშავებულ და გამოკვლეულ იქნა მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანებისთვის განკუთვნილი მცირეგაბარიტიანი მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავი, რომელიც არსებულ ამძრავებთან შედარებით ხასიათდება უკეთესი ენერგეტიკული, ეკოლოგიური და ეკონომიკური მაჩვენებლებით.

სამუშაოს მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნებისა და რეკომენდაციის, გამოყენებული ლიტერატურის

სიისგან და დანართებისაგან. ნაშრომი გადმოცემულია 145 ნაბეჭდ გვერდზე და მოიცავს 50 ნახაზს, 11 ცხრილს და 7 დანართს. გამოყენებული ლიტერატურის სია მოიცავს 119 დასახელებას, მათ შორის 91 არის შესრულებული უცხოურ ენებზე.

1. მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანების წევის ელექტრიფიცირებული ამძრავების და მათი ელემენტების განვითარების მიმოხილვა

1.1. სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანების ელექტრიფიცირებული ამძრავები

საწარმო პროცესების ელექტრიფიკაცია და ავტომატიზაცია წამყვან როლს ასრულებს საქართველოს ეკონომიკის ყველა დარგის განვითარებაში და ტექნიკის პროგრესის ერთ-ერთ მთავარ მიმართულებას წარმოადგენს, ხოლო ელექტრიფიცირებული ამძრავი განსაზღვრავს შრომის ძალური ელექტროშეიარაღების დონეს. სოფლის მეურნეობაში საწარმო პროცესების ავტომატიზაცია ვითარდება ორი ძირითადი – მობილური და სტაციონარული პროცესების ელექტრიფიკაციის მიმართულებით.

ამჟამად მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში, მათ შორის საქართველოშიც, წარმოიქმნა ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებასთან დაკავშირებული ნეგატიური ეკოლოგიური პრობლემები, რომელთა ერთ-ერთი მთავარი გამომწვევი მიზეზია შიგაწვის ძრავების მავნე გამონაბოლქვები. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შემცირების პრობლემა დიდი ხანია გასცდა ცალკეული სახელმწიფოს საზღვრებს და საერთაშორისო სახე მიიღო. თუ ზემოთ აღნიშნულიდან ერთად, გავითვალისწინებთ, რომ ნავთობის მსოფლიო რესურსები შეზღუდულია, მიზანშეწონილად უნდა ჩაითვალოს ეკოლოგიურად სუფთა ელექტრომაგნიტური და მუდმივმაგნიტებიანი ძრავების შექმნა.

მობილური სასოფლო სამეურნეო აგრეგატების ელექტრიფიკაცია ითვალისწინებს ერთის მხრივ სამრეწველო ელექტრულ ენერჯიას ძრავებისათვის, ხოლო მეორეს მხრივ კი – ელექტრული სიმძლავრის ასართმევად საიმედო სქემის შექმნას აქტიური მუშა მექანიზმებისა და სასოფლო სამეურნეო მანქანებისთვის ენერჯიის უზრუნველსაყოფად; მაგალითად, ტრაქტორის ელექტრიფიკაცია შესაძლებელს ხდის მის სამართავად ავტომატიზაციის საშუალებების გამოყენების და ტრაქტორის შრომას ამსუბუქებს.

დღეს მეცნიერთა წინაშე წამოჭრილი ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა ისეთი მობილური ელექტრიფიცირებული მანქანების ამძრავების კვლევა, რომლებიც განკუთვნილია მემცენარეობის, მეცხოველეობის, მეღორაყვამისა და ირიგაციისათვის, მობილური მანქანებისა და აგრეგატებისათვის, სადაც ნახევრადგამტარული კომპუტატორები და გარდამქნელები გამოიყენება, აგრეთვე ელექტრომექანიკური გადაცემის (ტრანსმისიის) და ძრავების ბრუნვის სინქრონიზაციის, მაგალითად, მუშა ელექტრული ლილვის სისტემების კვლევა.

ამ საკითხს საკმაოდ გრძელი ისტორია აქვს. პირველი ელექტრომობილები შეიქმნა XIX საუკუნის სამოცდაათიანი წლების ბოლოს, და მაშინ შიგაწვის ძრავები ჯერ არ უწევდნენ ელექტრომობილებს სერიოზულ კონკურენციას. XX საუკუნის დასაწყისისათვის ამერიკის შეერთებული შტატების მობილური მანქანების 38% აღჭურვილი იყო ელექტროძრავებით, 40% - ორთქლის ძრავებით და მხოლოდ 22% ბენზინის ძრავებით. მობილური სასოფლო სამეურნეო პროცესების ელექტრიფიკაციის მცდელობა თითქმის მას შემდეგ დაიწყო, რაც პირველი ელექტრული მანქანების პრაქტიკული გამოყენება მოხდა. ჯერ კიდევ 1879

წელს, საფრანგეთში შრეტიენმა და ფელიქსმა სცადეს საბაგირო წევის განხორციელება ელექტრული ჯალამბარის გამოყენებით, თუმცა უშედეგოდ. საბჭოთა ხელისუფლებამ რუსეთში 1922 წელს დაიწყო მუშაობა საბაგირო წევით ელექტროგუთნის შექმნაზე, მაგრამ ეს სამუშაოები, რომლებიც ოცდაათიან წლებშიც გრძელდებოდა, სამრეწველო ნიმუშის შექმნით არ დასრულებულა [104].

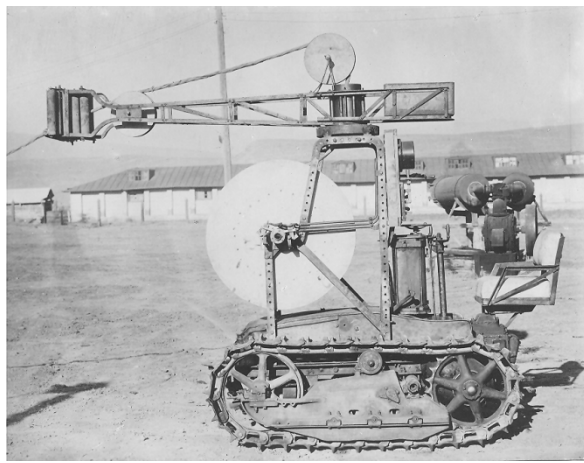


ნახ. 1-1. ა.დიდებულის (უფროსის), კ.ამირაჯიბის და ვ.მანველის კონსტრუქციის თვლიანი ელექტროტრაქტორი

ელექტროტრაქტორების პირველი ნიმუშები XX საუკუნის ოციანი წლების დასასრულს გამოჩნდა: შოტლანდიაში (მაკდოუელი), იტალიაში (საჩეროდოტი) და ახალ ზელანდიაში (კემპი). 1930 წელს პროფესორთა ა.დიდებულის, კ.ამირაჯიბის და ინჟინერ ვ.მანველის მიერ აიგო ელექტროტრაქტორი საკაბელო კვებით ამერიკული ტრაქტორის “ფორმონის” [82] ბაზაზე (ნახ. 1-1). ელექტროტრაქტორის წევა ხორციელდებოდა სამფაზიანი ფაზურროტორიანი ასინქრონული ძრავის გამოყენებით, რომლის სიმძლავრე 15 კვტ-ს არ აღემატებოდა, ხოლო ბრუნვის სიხშირე $n=960$ ბრ/წთ. ტრაქტორი ავითარებდა 1,4 ტ წევის ძალას, მისი გადაადგილების სიჩქარის v რეგულირება 2,3-დან 10კმ/სთ-მდე

ხორციელდებოდა ამამუშაველ-მარეგულირებელი რეოსტატების გამოყენებით.

შემდგომშიც გაგრძელდა სამუშაოები ელექტროტრაქტორების საცდელი ნიმუშების შესაქმნელად და დამზადდა მუხლუხა ტრაქტორი სიმძლავრით 20 კვტ, რომელიც ასევე კაბელით იკვებებოდა ცვლადი დენის წყაროდან (ნახ. 1-2).



ნახ. 1-2. ა. დიდებულის (უფროსის) კონსტრუქციის მუხლუხა ელექტროტრაქტორი.

ოცდაათიანი წლების დასაწყისში, საბჭოთა კავშირში ინჟინერმა დანილჩენკომ შეიმუშავა ელექტროტრაქტორები წვეის ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავით, რომლის სიმძლავრე იყო 40 კვტ და შემდგომში კრასნოვმა – 20 კვტ. 1935 წელს ჩატარდა ზემოაღნიშნული ელექტროტრაქტორების სავლე კვლევები [87], და დადგინდა მათი არსებითი ნაკლოვანებები, რომლებიც პირველ რიგში დაკავშირებული იყო კაბელის დაბალ საიმედოობასთან, რის გამოც შეუძლებელი გახდა ამ ტრაქტორების ფართოდ გამოყენება სასოფლო-სამეურნეო წარმოებაში.

1936 წელს გამოიცადა კ.ლისტოვის კონსტრუქციის ელექტროტრაქტორები. ცდები წარმატებით ჩატარდა და 1937 წელს დაპროექტდა და აიგო ორი ელექტროტრაქტორი 4T3-60-ის ბაზაზე, რომლებიც გამოიცადა საწარმოო პირობებში. აგრეგატი შედგებოდა თვით ტრაქტორისაგან და გადასატანი სატრანსფორმატორო ქვესადგურისაგან. წევა ხორციელდებოდა 44 კვტ სიმძლავრის სამფაზიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული როტორიანი ძრავით 500 ვ ძაბვით, ბრუნვის სინქრონული სიჩქარით 750 ბრ/წთ. ამ კონსტრუქციაში სიჩქარის რეგულირება მექანიკურად ხდებოდა [94].

შემდგომი სამუშაოების შედეგად, რომელიც მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ ტარდებოდა, შეიქმნა ელექტრიფიცირებული აგრეგატები კაბელით კვებით – ტრაქტორების, მარცვლეულის კომბაინების და ა.შ. საბოლოოდ დადასტურდა აგრეთვე ელექტროამძრავის გამოყენების ეფექტიანობა ტრაქტორის წევისათვის და აქტიური მუშა ორგანოების სამართავად. 1949 წელს ელექტროტრაქტორთა 3T-5 პირველი საცდელი პარტია დამზადდა, რომლებიც სსრკ სხვადასხვა ზონაში დაიგზავნა სამუშაოდ. ამ ტრაქტორებზე დაყენებული ძრავების სიმძლავრე შეადგენდა 38 კვტს, $n = 960$ ბრ/წთ. ტრაქტორები კაკვზე 3,3 ტ წვეის ძალას ავითარებდნენ I სიჩქარეზე, და 1,5 ტონას – მე-IV სიჩქარეზე. 3T-5 ტრაქტორის კაკვზე სასარგებლო სიმძლავრე შეადგენდა 45,6 კვტ (ელექტროგადამცემ ხაზებში დანაკარგების გათვალისწინებით). მუშაობაში ტრაქტორებმა კარგი წევითი თვისებები, წვეის ელექტროძრავების საიმედოობა და თბურ ტრაქტორებთან შედარებით ეკონომიურობა გამოამჟღავნა, მაგრამ ექსპლუატაციასთან დაკავშირებულმა პრობლემებმა და კაბელის არსებობის გამო მობილურობის შეზღუდვამ განაპირობეს ამ

ელექტროტრაქტორის მცირე გავრცელება და შემდგომ წარმოებიდან ამოღება.



ნახ. 1-3. ელექტროტრაქტორი XT3-12.

1952 წელს ხარკოვის სატრაქტორო ქარხანამ (უკრაინა) დაიწყო XT3-12 ტიპის ელექტროტრაქტორების წარმოება (ნახ. 1-3), რომლებიც მუშაობდნენ ქვეუნის სხვადასხვა მეურნეობებში. ამ ტრაქტორებმა ასევე ფართე გამოყენება ვერ ნახეს, სულ გამოშვებული იყო 32 ტრაქტორი.

გარდა ყოფილი საბჭოთა კავშირისა, ანალოგიური სამუშაოები ტარდებოდა და დღესაც ტარდება სხვა ქვეყნებში. 1960 წლიდან 1970-იან წლებამდე ამერიკის შეერთებულ შტატებში “ახალი იდეის” (GE Elec-Trak “New Idea”) დასახელებით აწარმოებდნენ მცირეგაბარიტიან ელექტროტრაქტორებს [34], ნახ. 1-4, რომლებიც აღიჭურვებოდა საკიდი და მისაბმელი სასოფლო-სამეურნეო მანქანების და აპარატების შლეიფით; ენერჯის წყაროდ ამ კონსტრუქციაში გამოყენებულ იქნა აკუმულატორთა ბატარეა. ამ ტრაქტორებმა ფართო გამოყენება ვერ ნახეს.



ნახ. 1-4. ელექტროტრაქტორი N”New Idea”

ამავე პერიოდში აშშ-ში ფირმა Allis-Chalmers-ის მიერ ასევე შეიქმნა მცირეგაბარიტიანი ელექტროტრაქტორი, რომლის ავტორი იყო რონ ხოზლა (Ron Khosla); სტივ ჰეკოროტი (Steve Heckeroth) აშშ-ში მუშაობდა იაპონური ფირმა Q ”Yanmar”-ის ბაზაზე ელექტროამბრავით აღჭურვილი ტრაქტორის მოდიფიცირებაზე (ნახ. 1-5), რომელშიც გამოყენებული იყო 36 ვ ძაბვაზე მომუშავე მუდმივი დენის შერეული აგზნებიანი ძრავა. ამ ტრაქტორების წარმოება შეიზღუდა რამდენიმე ეგზემპლარით.

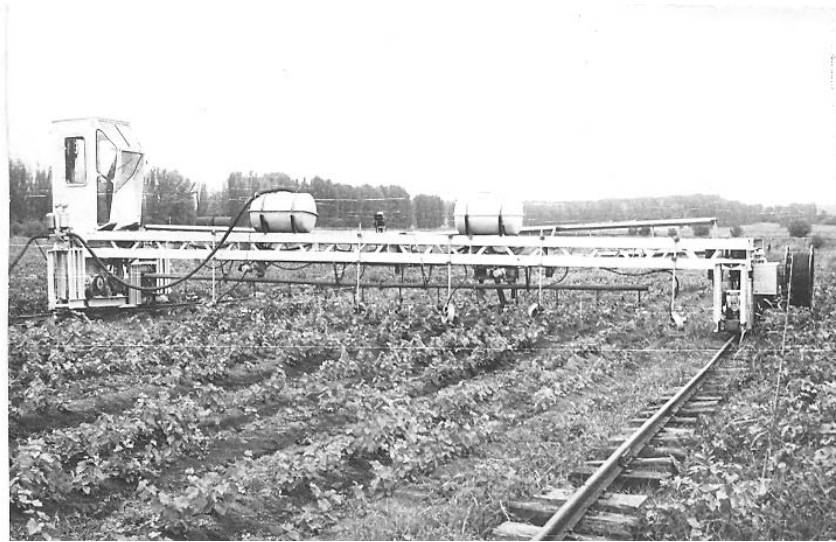


ნახ. 1-5. ფირმა ”იანმარის” ტრაქტორის ბაზაზე შექმნილი ელექტროტრაქტორი

1980-იან წლებში აშშ-ში, სამხრეთ დაკოტას უნივერსიტეტის სპეციალისტებმა კანადური Versatile 160 მოდელის სერიული ტრაქტორის ბაზაზე შექმნეს მეცხოველეობასა და სათბურებისათვის განკუთვნილი ელექტროტრაქტორი, რომელიც აღჭურვილია ორი 30 კვტ სიმძლავრის ელექტროძრავით. ერთი ძრავა გამოიყენება ჰიდროსისტემის და სიმძლავრის ართმევის ლილვის ამძრავში, ხოლო მეორე – წვეის ძრავის სახით. ერთი ტონა მასის მქონე და 54 ვ ძაბვის აკუმულატორთა ბატარეის ტევადობა საკმარისია ექვსსაათიანი მუშაობისათვის; მათი ხანგამძლეობა 4 წელიწადს შეადგენს. ძრავას შეუძლია 4 წუთის განმავლობაში 66 კვტ სიმძლავრის უზრუნველყოფა. ელექტროტრაქტორი საბაზო მოდელთან შედარებით უზრუნველყოფს 40%-ია ეკონომიას, ერგონომიული და ეკოლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესებას [33].

მეოცე საუკუნის სამოცდაათიან წლებში საქართველოს კამირაჯიბის სოფლის მეურნეობის მექანიზაციისა და ელექტრიფიკაციის ინსტიტუტში ვ.მეტრეველის და შ.ჭელიძის ხელმძღვანელობით შეიქმნა ელექტროტერასიორი მთის ფერდობებზე სამუშაოდ, ხოლო ოთხმოციან წლებში ასევე ვ.მეტრეველის ხელმძღვანელობით საქართველოს აგრარულ უნივერსიტეტში ტარდებოდა სამუშაოები საკაბელო კვების ხიდური ელექტრიფიცირებული აგრეგატების შესაქმნელად, რომელთა წვეის ძრავებად გამოყენებული იყო მუშა ელექტრული ლილვის სქემით ჩართული ორი სამფაზიანი ასინქრონული ფაზურროტორიანი ძრავა ჯამური სიმძლავრით 2,8 კვტ; აგრეგატი 1988-1991 წლების განმავლობაში კარგი ეკონომიკური შედეგებით მუშაობდა ქანდის (მცხეთის რ-ნი) სანერგე

მეურნეობაში (ნახ. 1-6); სამწუხაროდ, 1992 წლიდან ეს სამუშაოები შეწყვეტილ იქნა.



ნახ. 1-6. ელექტრიფიცირებული ხიდური აგრეგატი ვაზის სანერგეში



ნახ. 1-7. ელექტრიფიცირებული მონორელსური ტრანსპორტიორი

1980-იან წლებში ჩვენს უნივერსიტეტში შეიქმნა ფერდობებზე მუშაობისათვის განკუთვნილი მონორელსური ტრანსპორტიორი მუდმივი

დენის ამბრავით, რომლის ექსპლუატაციამ აჭარის მაღალმთიანეთში დაადასტურა კონსტრუქციის მუშაობისუნარიანობა (ნახ. 1-7) [3].

ყოველივე ზემომოყვანილი მეტყველებს, რომ საქართველოში არსებობს სასოფლო-სამეურნეო ელექტრიფიცირებული მობილური აგრეგატების შექმნის მდიდარი ტრადიციები.



ნახ. 1-8. Беларус-3023 ტიპის ელექტროტრაქტორი

2010 წელს მინსკის სატრაქტორო ქარხანამ (ბელარუსი) დაიწყო ელექტროტრაქტორების წარმოება, რომლებიც აღჭურვილია Detroit Diesel ან Deutz 220 კვტ სიმძლავრის შიგაწვის ძრავებით. ძრავას მოძრაობაში მოჰყავს ასინქრონული გენერატორი, რომელიც კვებავს წევის ელექტროძრავებს. ელექტროტრანსმისიის მქონე ტრაქტორის საწვავის ხარჯი 15-20%-ით ნაკლებია, ვიდრე ტრაქტორებში, რომლებშიც გამოყენებულია კლასიკური მექანიკური გადაცემა [114].

1.2. მუდმივი მაგნიტები და მაგნეტიზმი. მაგნიტური ძრავების

კონსტრუქციათა მიმოხილვა

ტრადიციული მეთოდებით ელექტროენერჯის წარმოება განიცდის კრიზისულ პერიოდს. ბოლო წლებში ნავთობზე მსოფლიო ფასების სწრაფი ზრდა და ხშირი ცვალებადობა ამცირებს პლანეტის მოსახლეობის მსყიდველობით უნარს და იწვევს პროდუქციის წარმოების საყოველთაო კლებას. ენერჯის ალტერნატიული გენერაციის არსებულ მეთოდებს არ შეუძლიათ მნიშვნელოვნად იმოქმედონ სამომხმარებლო ფასების ზრდაზე, რომ არაფერი ვთქვათ ელექტროენერჯის წარმოებაზე მოსახლეობის მზარდ მოთხოვნაზე. მსოფლიოს მკვლევართა მრავალწლიანი კვლევები ადასტურებენ, რომ ენერჯის წყაროს სახით შეიძლება მუდმივი მაგნიტის გამოყენება. ეს არის ენერგეტიკული რესურსების უნიკალური, ამოუწურავი წყარო, და მისი გამოყენებით შეიძლება მივიღოთ პრაქტიკულად უფასო ენერჯია დედამიწის ნებისმიერ წერტილში, ნებისმიერ დროს და ნებისმიერი რაოდენობით. ენერჯის თვითღირებულება, დანახარჯების ამოგების შემდგომ პერიოდი იქნება ტოლი მომსახურებასა და რემონტზე, აგრეთვე ხახუნზე და სხვა შედარებით მცირე დანაკარგების ღირებულებისა.

მუდმივი მაგნიტები ბოლო პერიოდში ფართოდ გამოიყენება ეკონომიკაში, რასაც მნიშვნელოვნად ხელი შეუწყო მიღწეულმა პროგრესმა მაღალკოერციტიული შენადნობების და ნაერთების სამრეწველო ათვისებაში მიღწეულმა პროგრესმა, რამაც შედეგად იქონია

გაუმჯობესებული ენერგეტიკული და მასა-გაბარიტული მაჩვენებლების მქონე ელექტრული მანქანების შექმნა.

მაგნიტები (ბერძნული მაგნეტის, წარმოიშვა Magnetis Lithos-ისგან. რაც ნიშნავს „ქვა მაგნესიიდან“ – უძველესი ქალაქიდან მცირე აზიაში) კაცობრიობისათვის ჯერ კიდევ ჩვენი წელთაღრიცხვის დადგომამდე იყო ცნობილი. ბერძნებმა ბუნებრივი მაგნიტები მაგნესიის მთიან რაიონში (სიპილის და მაგნესას მთებში) იპოვეს. უძველეს დროში მაგნიტი სხვადასხვანაირად იწოდებოდა: „დამცავი ქვა“, „ჰერკულესის ქვა“ და ა.შ. თითოეულ სახელწოდებაში ერთ-ერთი იმ მრავალ საოცარ თვისებათაგანი აისახებოდა, რომლებიც ამ ბუნებრივ მინერალს, უფრო ზუსტად კი რკინის ოქსიდს გააჩნდა.

ისტორიისთვის უცნობია, თუ როდის იქნა ადამიანის მიერ პირველად შენიშნული მაგნიტური მოვლენები, თუმცა ცნობილია, რომ პირველი მუდმივი მაგნიტი – ბუნებრივი მაგნიტური მასალა გამოიყენებოდა პრიმიტიულ კომპასებში ჩინეთში ჯერ კიდევ 4000 წლის წინ, დაახლოებით 900 წლის წინ კი დაფიქსირდა ის ფაქტი, რომ რკინა შეიძლება დამაგნიტდეს მაგნიტთან კონტაქტისას და დაიწყოს რკინისა და ნაწრობი ნახშირბადიანი ფოლადის გამოყენება კომპასის ნემსების დასამზადებლად.

კომპასი რჩებოდა ერთადერთ მოწყობილობად, რომელშიც პრაქტიკულად იყენებდა მუდმივ მაგნიტებს, სანამ XIX საუკუნეში მოხდა ელექტრობასა და მაგნეტიზმს შორის კავშირის აღმოჩენები. ამ აღმოჩენებმა საფუძველი დაუდეს ელექტრობის ერას და მუდმივი მაგნიტები ნახშირბადის ფოლადებისაგან გამოყენებულ იქნა სტაბილური მაგნიტური ველების შესაქმნელად ელექტრულ გამზომ ხელსაწყოებში.

ინგლისელი მეცნიერი უილიამ ჯილბერგი იყო ერთ-ერთი პირველთაგანი, რომელმაც ივარაუდა, რომ მაგნიტი თვით დედამიწაა. თავისი ვარაუდის შესამოწმებლად ჯილბერტმა დამაგნიტებული რკინისაგან დიდი გლობუსი ააგო და უწოდა „პატარა დედამიწა“, შემდეგ მისი მაგნიტური პოლუსები გეოგრაფიული პოლუსების ადგილას მოათავსა. გლობუსთან კომპასის მიტანისას მის ყველა წერტილში, პოლუსების გარდა, კომპასის ისარი უჩვენებდა ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ მიმართულებას.

XIX საუკუნეში ამერიკის შეერთებულ შტატებში დედამიწის მაგნეტიზმის მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ კანადის ჩრდილოეთით დაახლოებით 73° ჩრდილო განედის და 96° დასავლეთის გრძედთან წერტილში ნემსის ჩრდილოეთის პოლუსი მიმართული იყო ზუსტად ქვემოთკენ, რაც იმაზე მიანიშნებდა, რომ დედამიწის ჩრდილოეთის მაგნიტური პოლუსი უშუალოდ ამ წერტილში მდებარეობს. დედამიწის სამხრეთის მაგნიტური პოლუსი ანტარქტიდაშია 72° სამხრეთ განედსა და 155° აღმოსავლეთ გრძედზე. მაგნიტურ პოლუსებს შორის მანძილის ნახევარზე განლგებულ წერტილებზე მაგნიტური ეკვატორი გადის. აღსანიშნავია, რომ მაგნიტური პოლუსები მოძრაობენ (2009 წელს ჩრდილოეთის პოლუსის მოძრაობის სიჩქარე შეადგენდა 69 კმ-ს წელიწადში), და 2004 წლის მონაცემებით ჩრდილოეთის მაგნიტური პოლუსის კოორდინატები იყო ჩრდილო განედის $82^{\circ}07'$ და დასავლეთ გრძედის $114^{\circ}04'$, ხოლო სამხრეთის მაგნიტური პოლუსის კოორდინატები შეადგენდა სამხრეთი განედის $63^{\circ}05'$ და აღმოსავლეთ გრძედის $138^{\circ}00'$.

კაცობრიობის შემდგომი პროგრესის შედეგად გაჩნდა ხელოვნური მაგნიტები – ანუ მაგნიტები ფერომაგნიტური ნივთიერებების ბაზაზე. ამ

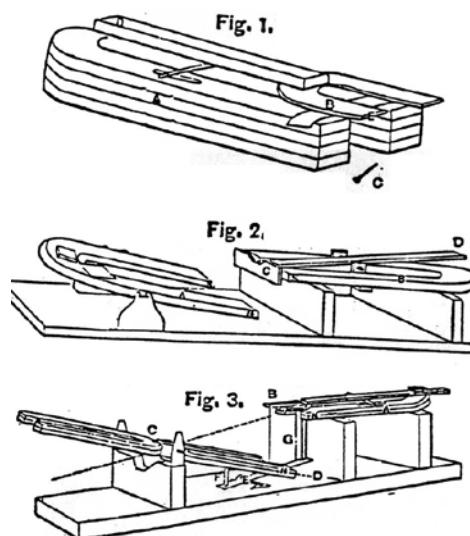
მაგნიტებს შეუძლია მათზე 5000-ჯერ მეტი მასის მქონე ტვირთის შეკავება. შედარებისათვის, ბუნებრივი მაგნიტი, რომელიც ესტონეთის ქალაქ ტარტუში ინახება, წევს 40 კგ მასის მქონე ტვირთს მაშინ როდესაც მისი საკუთარი მასა მხოლოდ 13 კგ-ს შეადგენს [112, 79].

მრავალი მკვლევარის და გამომგონლის ამოცანას წარმოადგენს მაგნიტური ძრავის მარტივი და საიმედო კონსტრუქციის შექმნა, რომელსაც ექნება გაუმჯობესებული წევის მახასიათებლები. ამ კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს, პირველ რიგში, მუდმივი მაგნიტების და აგრეთვე ელექტრომაგნიტების მაგნიტური ველის ენერჯის მოძრაობის მექანიკურ ენერჯიაში ეფექტიანი გარდაქმნა, ეკოლოგიურად სუფთა ტექნიკური საშუალებების არსენალის გაფართოვება.

ცნობილია, რომ მუდმივი მაგნიტები აკუმულირებს მაგნიტური ველის მნიშვნელოვან ფარულ ენერჯიას. მაგნიტური ძრავების და გენერატორების შემქმნელთა მიზანს წარმოადგენს ამ ფარული ენერჯიის გარდაქმნა სხვა სახის ენერჯიად, მაგალითად მუდმივად მბრუნავი მაგნიტური როტორის მექანიკურ ენერჯიად, ან ელექტრულ ენერჯიად. აქ გასათვალისწინებელია, რომ თუ ქვანახშირი დაწვისას გამოყოფს ერთ გრამზე 33 ჯოულ ენერჯიას, ნავთობის, რომლის მარაგი იწურება და რომლის ფასი სისტემატურად ძვირდება, ერთი გრამი მასის წვისას გამოიყოფა 44 ჯოული ენერჯია, ხოლო ერთი გრამი ურანი კი 43 მილიარდ ჯოულ ენერჯიას იძლევა, მუდმივი მაგნიტის ერთი გრამი თეორიულად (თუ მარგი ქმედების კოეფიციენტს 100%-ის ტოლად ჩავთვლით) შეიცავს 17 მილიარდ ჯოულ ენერჯიას. რა თქმა უნდა ენერჯიის ჩვეულებრივი წყაროების მსგავსად მაგნიტის მარგი ქმედების კოეფიციენტიც ას პროცენტზე ნაკლებია, ხოლო, მაგალითად, ფერიტის მაგნიტის ხანგამძლეობა 70 წლამდე აღწევს. ამავე დროს უკვე

არსებობს ძვირადღირებული სერიული სამრეწველო მუდმივი მაგნიტები იშვიათმიწებიანი ლითონებისგან, რომლებიც ათჯერ უფრო ძლიერნი და შესაბამისად უფრო ეფექტიანები არიან. აგრეთვე აღსანიშნავია, რომ პრობლემას არ წარმოადგენს ძალადაკარგული მუდმივი მაგნიტის ძლიერ მაგნიტურ ველში ხელახალი დამაგნიტება. ბევრი მეცნიერი მიიჩნევს, რომ მუდმივ მაგნიტში ენერგია უწყვეტად გარედან ან ეთერიდან (ფიზიკური ვაკუუმიდან) მოედინება. სხვა მკვლევარები კი ამტკიცებენ, რომ ეს უბრალოდ მუდმივი მაგნიტის მასალის დამაგნიტებით არის გამოწვეული, თუმცა აქ ჯერ კიდევ გაურკვევლობაა [117].

მუდმივმაგნიტებიანი ძრავების შექმნაზე ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მრავალი მეცნიერი და კონსტრუქტორი მუშაობდა. პირველი ასეთი ძრავა დაპატენტებულ იქნა კანადელი მკვლევარის უესლი ვ. გარის მიერ ჯერ კიდევ 1877 წელს აშშ-ში (აშშ პატენტი № 190.206) და 1879 წელს კანადაში [44] (ნახ. 1-9).

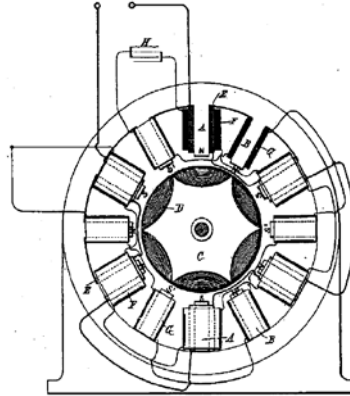


ნახ. 1-9. უ. გარის ელექტრომაგნიტური ძრავა

ელექტრომაგნიტურ ძრავაში A და B არის ორი ჰორიზონტალური მუდმივი მაგნიტი, რომლებიც მოთავსებულია ერთმანეთის პარალელურად, მცირე დაშორებით, თანაც თითოეულის დადებითი პოლუსი მეორეს უარყოფითი პოლუსის პირისპირ მდებარეობს. C აღნიშნავს ელექტრომაგნიტს, რომელიც დასმულია მოძრავი რხევითი კოჭას ერთ ბოლოში D და თავისი საპირისპირო დაბოლოება გააჩნია, შეერთებულია ბარბაცას საშუალებით E, მუხლებთან ბერკეტის ბორბალზე D, რომელიც დამაგრებულია მთავარ წამყვან ლილვზე G, ის რომ მაგნიტის და კოჭას ვიბრაციის ლილვი მოძრაობაში მოყავს. ელექტრომაგნიტის დაბოლოება C გაბრტყელებულია და მუდმივ მაგნიტებს შორის A და B არის მოთავსებული. ნაწილები ისეა განლაგებული რომ თავისუფალია ვიბრაციისათვის და კოჭის დაბოლოებას D ზევით და ქვევით ამოძრავებს. მაგნიტი C შეერთებულია ნებისმიერი სახის შესაბამის ბატარეასთან; მაგრამ მაგნიტსა და ბატარეას შორის დენის წარმომქმნელია ჩართული H, რომელიც ელექტრო დენს მიმართულებას უცვლის და მაგნიტის პოლარულობას ცვლის მოძრაობის თითოეული ვიბრაციის დასრულებისას, რის შედეგადაც მაგნიტი C მონაცვლეობით განიზიდება მაგნიტის A მიერ და მიიზიდება მაგნიტის B მიერ, შემდეგ მიიზიდება A მიერ და განიზიდება B მიერ, ისე რომ განუწყვეტლად მოძრაობს ზევით და ქვევით მათ შორის. ელექტრომაგნიტის ვიბრაციას კოჭა D მოძრაობაში მოყავს, რომელსაც რიგრიგობით, ბარბაცასა და მუხლებიან ბერკეტს შორის, მოძრაობაში მოყავს ლილვი რომელზეც ბორბალია მოთავსებული.

ამ გამოგონებას მოჰყვა ცნობილი ხორვატი მეცნიერის ნიკოლა ტესლას მიერ დამუშავებული და 1891 წელს დაპატენტებული ძრავა (იხ. ნახ. 1-10) [73]. ნ. ტესლას განცხადებით, სამყარო გაჟღენთილია

ელექტრული და ელექტრომაგნიტური ენერგიით; თანამედროვე მეცნიერების აზრითაც, სამყაროს 60% გამოსხივებული ფარული ენერგიაა, ასე რომ მუდმივი მაგნიტები მხოლოდ ამ ენერგიის ფოკუსირებას ახდენენ და მის გამტარ არხად გვევლინებიან [108].



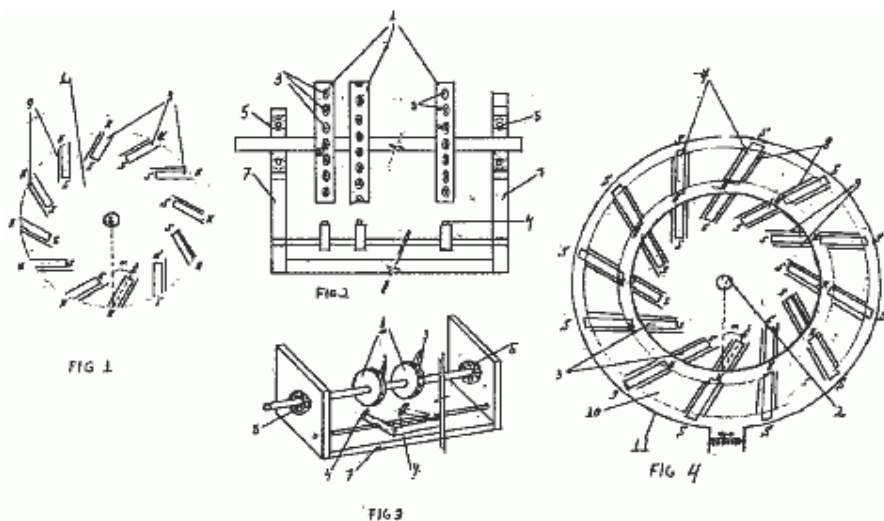
ნახ. 1-10. ნიკოლა ტესლას მაგნიტური ძრავა.

ნიკოლა ტესლას მიერ შემოთავაზებული ძრავის მსგავსად, მხოლოდ რამოდენიმე მუდმივი მაგნიტური ელექტროძრავი-გენერატორი შეიქმნა, ე.ი. სუფთა მაგნიტური ძრავები, სადაც ენერგია მუდმივი მაგნიტის მიერ აკუმულირებული მაგნიტური ველიდან წარმოიშვება, და არა გარედან ამოწურვადი მიწოდების საშუალებით.

თუმცა, საკუთარი მაგნიტური ძრავას პირველი კონსტრუქცია მაიკლ ბრედიმ (M.J.Brady) ჯერ კიდევ 1969 წელს შემოგვთავაზა და დღეისათვის არსებობს მუდმივი მაგნიტების ენერგიის გამოყენებაზე დაფუძნებული მაგნიტური ძრავების მისი მრავალი პატენტი და კონსტრუქცია. მაგრამ, მათი მუშაობისუნარიანობა ჯერ კიდევ დასამტკიცებელია. მართალია, ამ მაგნიტური ძრავების სერიული წარმოება დაიწყო შვეიცარიულმა ფირმამ "Perendev Energy Power GmbH", მაგრამ ამ კონსტრუქციების დახვეწა დღეს გრძელდება დაბალი ენერგეტიკული მაჩვენებლების გამო (არც ის არის

გამორიცხული, რომ ეს სამუშაოები გასაიდუმლოებულია, რადგან ამგვარი ძრავების სერიული წარმოება ნაკლებად სასურველია სანავთობო კორპორაციებისათვის). მიუხედავად ამისა, მიმდინარეობს მაგნიტური ძრავების ახალი კონსტრუქციების თეორიის და პრაქტიკის განვითარება და პირველ რიგში ეს ეხება მცირეხარჯიან შეთავსებულ მაგნიტურ-ელექტრომაგნიტურ ძრავებს.

ელექტრომაგნიტური ძრავა "პერენდევ" – კლასიკური ელექტრომაგნიტური ძრავა როტორზე მუდმივი მაგნიტით და კომპენსატორით [64]. ეს ძრავა ვერ მუშაობს კომუტაციის პროცესის გარეშე მუდმივი მაგნიტიანი როტორის დაჭერის მკვდარი წერტილების გავლის ზონებში. მასში შესაძლებელია ორი სახის კომუტაციის განხორციელება – მექანიკურის და ელექტრომაგნიტურის (რომლებიც როტორის "დაჭერის წერტილის" გავლის საშუალებას იძლევა). პირველი ავტომატურად იწვევს ამოცანის დაყვანას რგოლისებრ ვარიანტზე (და ზღუდავს ბრუნვის სიჩქარეს და შესაბამისად სიმძლავრესაც), ხოლო მეორე კი უფრო დაბლა. ამ ძრავას "მუდმივი ძრავის" რეჟიმში მუშაობის უნარი არ შესწევს.





ბ

ნახ. 1-11. 100 კვტ სიმძლავრის ელექტრომაგნიტური ძრავა “პერენდევი”:

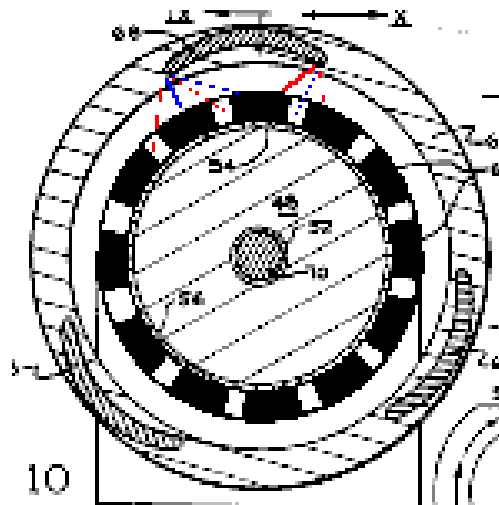
ა) კონსტრუქცია; ბ) ფოტოსურათი.

100 კვტ სიმძლავრის მაგნიტური ძრავა, რომელიც მუშაობის ხანგრძლივ რეჟიმში აწვითარებს მაქსიმალურ მექანიკურ გამომავალი სიმძლავრეს $P_{მექ} = 90$ კვტ და რომელსაც შეუძლია იმუშაოს გენერატორული დამუხრუჭების რეჟიმში, არსებობს ორი სახის: ოთხ- ან რვაპოლუსიანი. ნომინალური დატვირთვის პირობებში მისი გადამეტხურების ტემპერატურა $\tau_{გაბ}$ არ აღემატება 40°C . ეს ძრავა შეიქმნა სპეციალურად საზღვაო კატარღებისათვის და ქალაქის ავტომანქანებში გამოსაყენებლად.

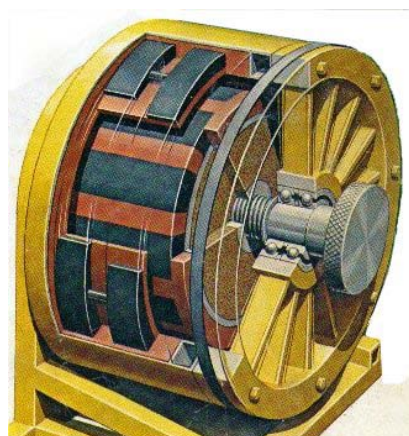
იგი ასევე შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვა მანქანების ამძრავში. 100 კვტ სიმძლავრის ძრავა არის 300 კილოვატიანი სისტემის მოდიფიკაცია, რომელიც შეიქმნა მსუბუქი თვითმფრინავებისა და ჰიბრიდული ავტომანქანებისთვის. ძრავას მასაა 1250 კგ, ხოლო გაბარიტები – $1,2 \times 1,2 \times 1,4$ მ [115].

მაგნიტური ძრავას რამდენიმე კონსტრუქცია 1979-1995 წლებში შექმნა ამერიკელმა მეცნიერმა ჰოვარდ ჯონსონმა (იხ. ნახ. 1-9ა და 1-9ბ),

რისთვისაც მან მოათავსა მუდმივი მაგნიტები როტორზე და მაგნიტების მეორე ჯგუფი კი სხვადასხვა შუალედებით – სტატორზე. საჭირო იყო მხოლოდ სტატორის მოძრაობაში მოყვანა და როტორი დაუყოვნებლივ იწყებდა ბრუნვას. როგორც აღნიშნულია ჰ.ჯონსონის პატენტებში, მუდმივი მაგნიტების გამოყენების შედეგად, გენერატორი გამოიმუშავებს მის ლილვზე მიწოდებულ მექანიკურ ენერგიაზე უფრო მეტ ელექტროენერგიას [51, 52, 53].



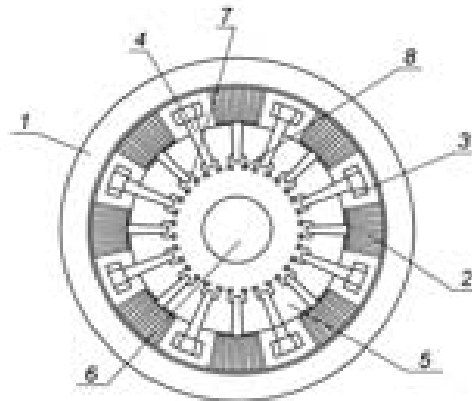
ა.



ბ.

ნახ. 1-12. ჰოვარდ ჯონსონის მაგნიტური ძრავას სქემა (ა) ფოტოსურათი (ბ).

ვ. დუდიშევის მაგნიტურ - მექანიკური ძრავების კონსტრუქციული დახვეწის შემთხვევაში სრულიად შესაძლებელი გახდება მათი "მუდმივი ძრავების" რეჟიმში მუშაობა [38].



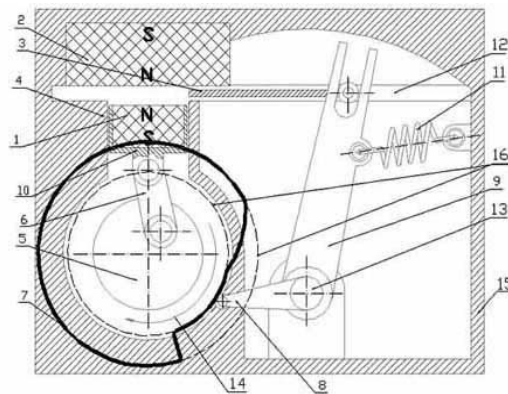
ნახ. 1-13. ე. შინტეკოვის ძრავა

ე. შინტეკოვის ძრავა [105] მუშაობს შემდეგი თანმიმდევრობით. მბრუნავ როტორზე 5 სამაგრებში 4 ჩამაგრებულ ელექტრომაგნიტებს 3 შეუძლიათ მოძრაობა უძრავი მუდმივი მაგნიტების 2 არხებში. ელექტრული დენის დენასართმევის 8 ელემენტებზე კომუტატორის გავლით მიწოდებისას აღიგზნება ელექტრომაგნიტური ველი და ელექტრომაგნიტი 3 შეიზიდება მუდმივი მაგნიტის 2 არხში, ასე რომ ელექტრომაგნიტის 3 და მუდმივი მაგნიტის 2 პოლარობა ერთმანეთის საწინააღმდეგოა. ელექტრომაგნიტი 3, რომელსაც მინიჭებული აქვს არხის შესასვლელში აჩქარება მაგნიტური ველების ურთიერთქმედების შედეგად, განაგრძობს მოძრაობას და უახლოვდება მუდმივი მაგნიტის გამომავალ ნახვრეტს, მაგრამ ისე, რომ ელექტრომაგნიტის მკვეთრ დამუხრუჭებას ადგილი არა აქვს. კონსტრუქციულად უზრუნველყოფილია პირობა, რომლის დროსაც ავტომატურად ელექტრონული ან მექანიკური

კომპუტატორის მეშვეობით ელექტრომაგნიტებს 3 მიეწოდება საწინააღმდეგო პოლარობის დენი, რის შედეგად მუდმივი მაგნიტი 2 გამოაგდებს თავისი სიღრუვიდან ელექტრომაგნიტს 3, რადგან იცვლება ელექტრომაგნიტის 3 პოლარობა და ელექტრომაგნიტის 3 და მუდმივი მაგნიტის 2 ურთიერთქმედი მაგნიტური ველები ამ მონაკვეთზე ერთსახელა არიან. ელექტრომაგნიტის 3 როტორთან 5 და ლილვთან 6 შემდგომი გადაადგილება უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტის 3 წრეწირზე მყოფ შემდეგ მუდმივ მაგნიტთან 2 მიახლოებას. ურთიერთქმედი ელექტრომაგნიტის 3 და მუდმივი მაგნიტის 2 ერთსახელა პოლუსების მიახლოებებისას ადგილი აქვს ელექტრომაგნიტის 3 პოლარობის შემდეგ შეცვლას, და ელექტრომაგნიტი 3 განაგრძობს თავის მოძრაობას. აღწერილი პროცესი უწყვეტად მეორდება როტორზე 5 დამაგრებული ყოველი ელექტრომაგნიტისათვის.

ა.კალინინის ძრავა [91] წარმოადგენს ნაკლებად მუშაობის უნარიან უკუქცევით-წინსვლით მაგნიტურ ძრავას მბრუნავი მაგნიტური ეკრანით, რომელშიც დახვეწას მოითხოვს ზამბარის კომპენსატორის კონსტრუქციული გადაწყვეტა. ძრავას მუშაობა მსგავსია ორტაქტიანი შიგაწვის ძრავას მუშაობისა. როდესაც დგუში (იხ. ნახ. 1-14) იმყოფება ზედა მდგომარეობაში, ხოლო საფარი ჯერ არ არის გახსნილი, დგუში გადის ზედა მკვდარ წერტილს ინერციის ძალების ზემოქმედებით. მუშტა აძლევს საბიძგებელას მობრუნების საშუალებას, ხოლო ზამბარის ძალა იწვევს საფარის მკვეთრ გახსნას, რის შედეგად მაგნიტები აღმოჩნდებიან ერთმანეთის პირისპირ და ახლო მანძილზე. განმზიდი მაგნიტური ძალა გადაადგილებს დგუშს ქვედა მდგომარეობაში. დგუშის მოძრაობის საწყის მონაკვეთზე საფარის წინააღმდეგობა ძალზე მცირეა, რადგან მუშტას

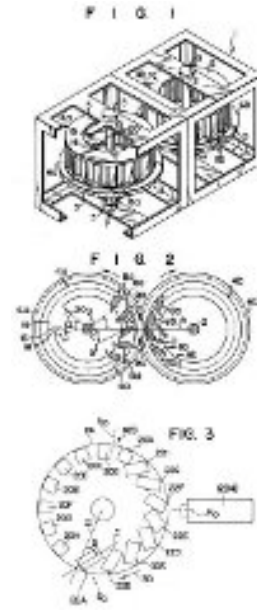
რადიუსი უცვლელი რჩება, რის შედეგად საფარი არ გადაადგილდება და წინააღმდეგობა საბიძგებელას დაწნევის გორვის ხახუნის კოეფიციენტზე ნამრავლის ტოლია. დგუშის მოძრაობის ენერგიის აკუმულირებას ახდენს ლილვის მქნევარა (ნახაზზე არ არის ნაჩვენები) და დგუში იწყებს სიჩქარის მომატებას. დგუშის ქვედა მკვდარ წერტილთან მიახლოებისას მუშტას პროფილი იცვლება და იწყებს საბიძგებელას მობრუნებას. საფარი თანდათანობით გადაადგილდება და გადაფარავს ზედა მაგნიტს. ქვედა მკვდარი წერტილის გავლის შემდეგ საფარი საბოლოოდ იკეტება და მუშტას პროფილი ისევ უცვლელი რჩება. საფარის ზემოქმედების წინააღმდეგობა ისევ მცირდება და დგუში მქნევარაში დაგროვილი ენერჯიის ენერჯიის ზემოქმედებით მოძრაობს ზევით და აღწევს ზედა მდებარეობას, რის შემდეგაც ციკლი მეორდება.



ნახ. 1-14. ა.კალინინის მაგნიტური ძრავა [91].

მინატოს მაგნიტური ძრავა წარმოადგენს მუდმივი მაგნიტიანი როტორის მქონე ელექტრომაგნიტური ძრავის კლასიკურ ვარიანტს. მისი ელექტრომაგნიტური კომპენსატორი უზრუნველყოფს მაგნიტური როტორის მიერ "დაჭერის წერტილის" გავლას (მინატოს მიხედვით

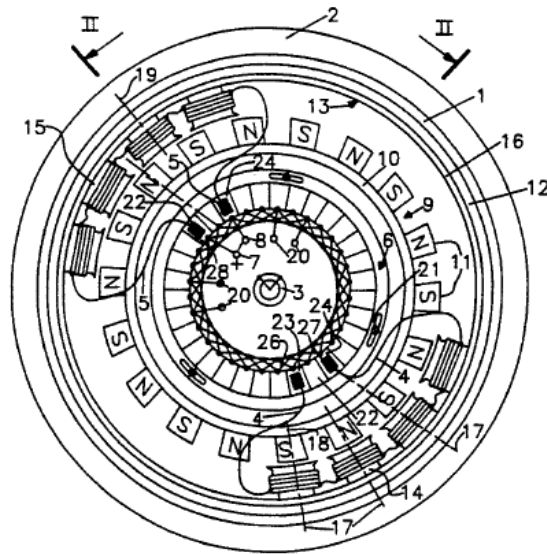
"კოლაფსის წერტილის" გავლას). ფაქტიურად ეს არის ელექტრომაგნიტური ძრავა მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით, მაქსიმალურად მიღწეული მარგი ქმედების კოეფიციენტი უახლოვდება 100%-ს. "მუდმივი მაგნიტური ძრავის" რეჟიმში მუშაობის უნარი მას არ შესწევს [61].



ნახ. 1-15. კოპეი მინატოს მაგნიტური ძრავა

ვანგ შენმა ჩინეთში დააპროექტა და დაამზადა 5 კვა სიმძლავრის ელექტროგენერატორი, რომელშიც გამოიყენა მუდმივი მაგნიტები და მასში საწვავი საერთოდ არ გამოიყენება. 2008 წლის აპრილში ორმა ასეთმა გენერატორმა წარმატებით მიიღო მონაწილეობა ჩინეთის მთავრობის სავალდებულო ექვსთვიან საცდელ შესამოწმებელ პროგრამაში „საიმედოობა და უსაფრთხოება“, ხოლო 2010 წელს მოხდა მისი საჯაროდ დემონსტრირება შანხაის მსოფლიო გამოფენაზე და 70 მილიონ მნახველს მის მუშაობისუნარიანობაში დარწმუნების შესაძლებლობა ჰქონდა [108].

ვ.შკონდინის მიერ დამუშავებულია მაგნიტური ძრავ-გენერატორი [68], რომელიც მუშაობს მუდმივი მაგნიტების განზიდვის ძალებით (კომპენსატორის გარეშე). ძრავა კონსტრუქციულად რთულია, აქვს კოლექტორულ-მუსიანი კვანძი, მისი მქკ 70-80%-ია. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას რეჟიმში მუშაობის უნარი მას არ შესწევს.



ნახ. 1-16. ვ.შკონდინის ძრავა

ადამის მაგნიტური ძრავ-გენერატორი არსებითად წარმოადგენს ყველაზე სრულყოფილ ელექტრომაგნიტურ ძრავ-გენერატორს ჩვენთვის ცნობილ ასეთ ძრავებს შორის, რომელიც მუშაობს შკონდინის ძრავ-ბორბლის მსგავსად მხოლოდ მუდმივი მაგნიტების ელექტრომაგნიტების ბოლოებიდან განზიდვის ძალების ხარჯზე, მაგრამ ეს ძრავა-გენერატორი კონსტრუქციულად გაცილებით მარტივია. ფაქტიურად მისი მქკ შეიძლება 100%-ს მიუახლოვეს მხოლოდ იმ პირობით, თუ ელექტრომაგნიტის გრაგნილების კომუტაცია მოხდება მხოლოდ დამუხტული

კონდენსატორის მოკლე და მაღალინტენსიური იმპულსით. მულტივიმაგნიტებიანი ძრავას რეჟიმში მუშაობის უნარი არ შესწევს [108].

2. მულტივიმაგნიტებიანი ამძრავის მუშაობის პრინციპი და კონსტრუქცია

2.1. მაგნიტური ძრავას კონსტრუქცია

ჩვენს მიერ საქართველოში დაპატენტებული [21] მაგნიტური ძრავა დამუშავებულია ადრე შექმნილი ამ ტიპის ძრავების (იხ. პარაგრაფი 1.2) დადებითი და უარყოფითი თვისებების, აგრეთვე მათში არსებული შესაძლებლობების ანალიზის საფუძველზე.

მულტივიმაგნიტებიანი ძრავა შეიძლება იყოს გამოყენებული სხვადასხვა სახის, როგორც მობილურ ისე სტაციონარულ დანადგარებში ამძრავად. ერთსახელა პოლარობის მაგნიტების განზიდვა, ხოლო სხვადასხვა პოლარობის მქონე მაგნიტების ერთმანეთთან მიზიდვა გამოიყენება სასარგებლო მუშაობის მისაღებად. ძრავას მუშაობა ეყრდნობა მომქმედ ფიზიკურ კანონებს და ძრავას ბრუნვას იწვევს მულტივი მაგნიტების ურთიერთმქმედი ველების პოტენციური ენერჯის ლილვის ბრუნვის კინეტიკურ ენერჯიაში გარდაქმნა. მაგნიტური ძრავა ხასიათდება მაგნიტური გამონაბოლქვების უქონლობით და უხმაურობით, რაც ხელს უწყობს გარემოს მძიმე ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

მაგნიტური ძრავას ტექნიკური შედეგია მულტივი მაგნიტების კინეტიკური ენერჯიების სასარგებლო მუშაობად გამოყენება. განხილულ შემთხვევაში მულტივი მაგნიტების დამზადება არ მოითხოვს დიდ სიზუსტეს. დაბალი სიმძლავრის ელექტრო ძრავას და მარტივი

ელექტრული სქემის საშუალებით ხდება მაგნიტური ძრავის ამუშავება, ძალოვანი ლილვის ბრუნთა რიცხვის გაზრდა, შემცირება და გაჩერება, რაც აუცილებელია მობილური მანქანებისთვის.

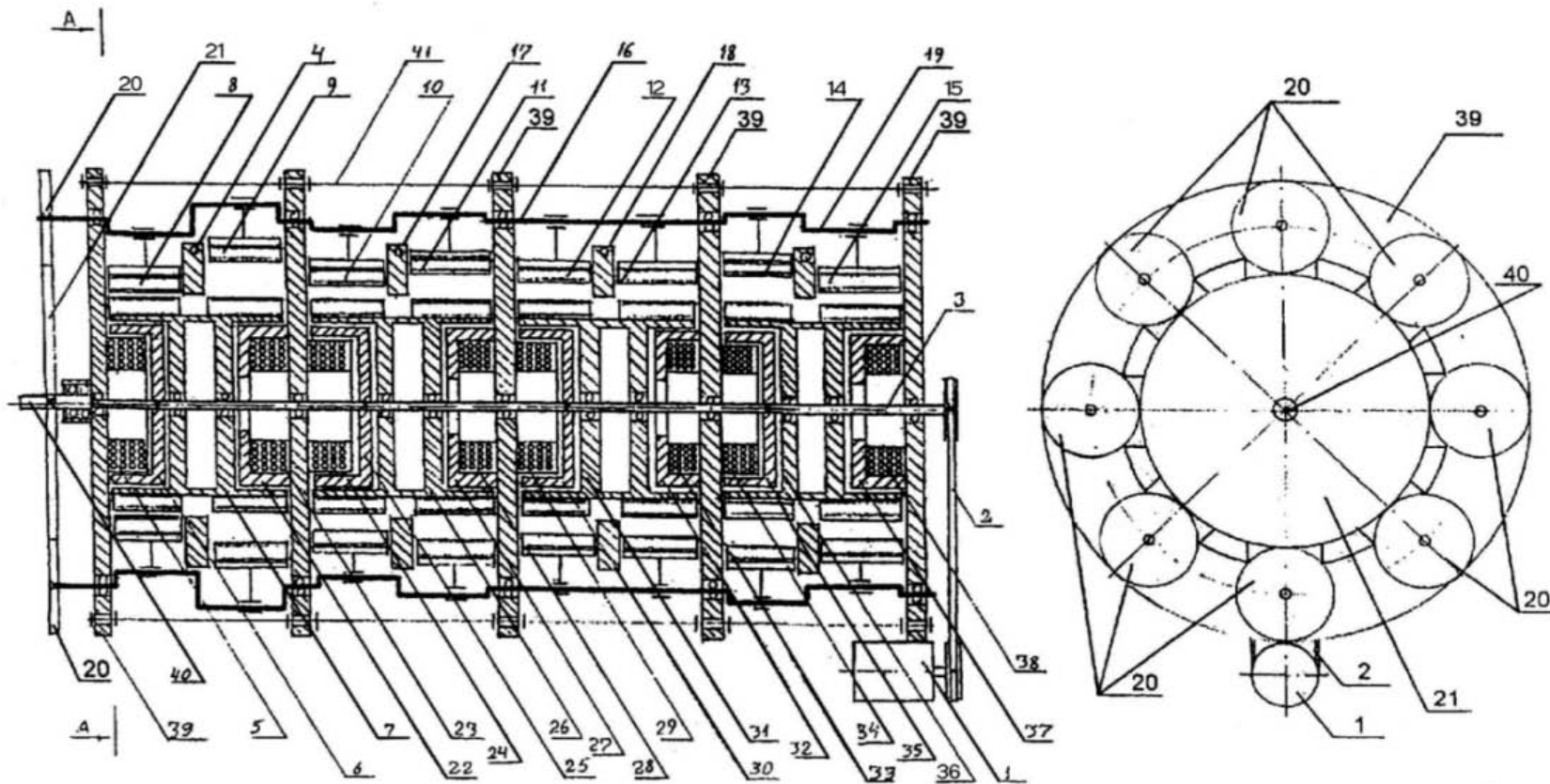
მაგნიტური ძრავა (ნახ. 2-1) შეიცავს მართვის მექანიზმს, საყრდენ ელემენტებს 39, საყრდენი ელემენტების ცენტრალურ ნაწილში განთავსებულ ლილვს 3, რომლის ერთ ბოლოსთან კინემატიკურად დაკავშირებულია ამძრავი 1. მაგნიტური ძრავა აღჭურვილია აგრეთვე საყრდენი ელემენტების პერიფერიურ ნაწილში განლაგებული მუხლა ლილვებით 16. მუხლა ლილვების ყოველ მუხლთან დაკავშირებულია უკუქცევით-წინსვლითი გადაადგილების შესაძლებლობების მქონე მუდმივი მაგნიტი, რომელსაც გააჩნია საყრდენ ელემენტებს შორის განლაგებული დოლის გარე ზედაპირზე უძრავად დამაგრებულ მუდმივ მაგნიტთან ურთიერთობის შესაძლებლობა. მუხლა ლილვების ერთი მხრიდან დასმულია კბილანა 20, რომელიც მოდებაში იმყოფება გამოსავალ ლილვზე 40 ხისტად დასმულ კბილა თვალთან 21.

მაგნიტური ძრავი შედგება დისკური სახის საყრდენებისაგან 39 (ნახ. 2-1 და 2-2) რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია გამბჯენი ღეროებით 41 დისკური საყრდენების ცენტრში ჩასმულია საკისრები, რომლებშიც გადის ცენტრალური ლილვი 3. იგი მოძრაობაში მოდის სოლურ-ღვედური გადაცემით 2. მუდმივი დენის ამძრავის 1 (ნახ. 2-1) ცენტრალურ ლილვზე 3 (ნახ. 2-1 და 2-2) დასმულია ხისტად მბრუნავი დოლები 6, 25, 30, 35, ხოლო მბრუნავი მაგნიტების დოლები 7, 26, 31, 36 დასმულია საკისრებით.

მბრუნავი მაგნიტების გარშემო დისკურ საყრდენებში საკისრებით ჩამონტაჟებულია რვა მუხლა ლილვი, მათ შორის კუთხე არის 45° ,

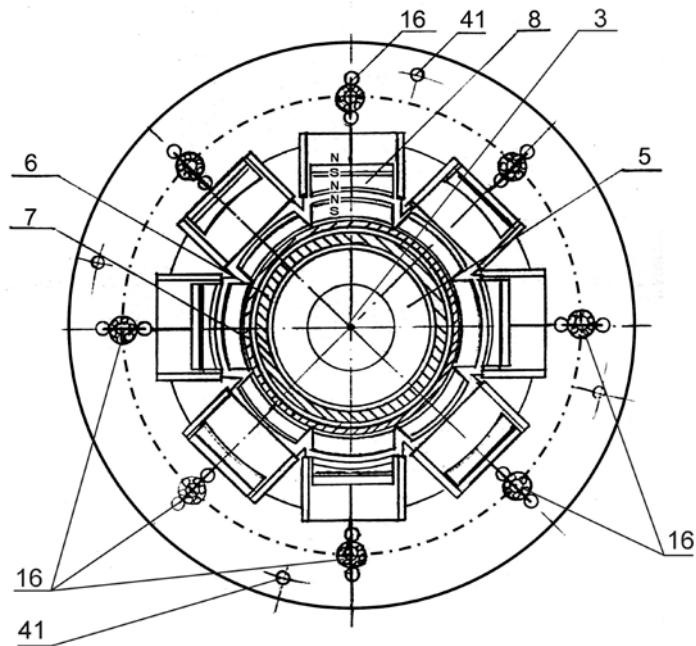
თითოეული ლილვი შედგება რვა მუხლისაგან და ისინი ბარბაცას საშუალებით სახსრულად დაკავშირებულია სწორხაზობრივად მოძრავ მაგნიტებთან, ხოლო მაგნიტები მოთავსებულია მიმმართველებში. რვა მუხლა ლილვის დაბოლოებაზე ხისტად დამაგრებულია კბილანა 20, რომელიც მოდებში იმყოფება ძალოვან ლილვზე 40 ხისტად დასმულ კბილანასთან 21. ამის გამო მუხლა ლილვის მოძრაობა გადაეცემა ძალოვან ლილვზე ხისტად დასმულ კბილანას 21 და ძალოვანი ლილვი 40 იწყებს ბრუნვით მოძრაობას.

მაგნიტური ძრავას ძალოვანი ლილვის 40 ბრუნვითი მოძრაობის დაწყებამდე ძრავაში არსებული ყველა მუდმივი მაგნიტი ერთმანეთთან არის გაწონასწორებულ მდგომარეობაში.

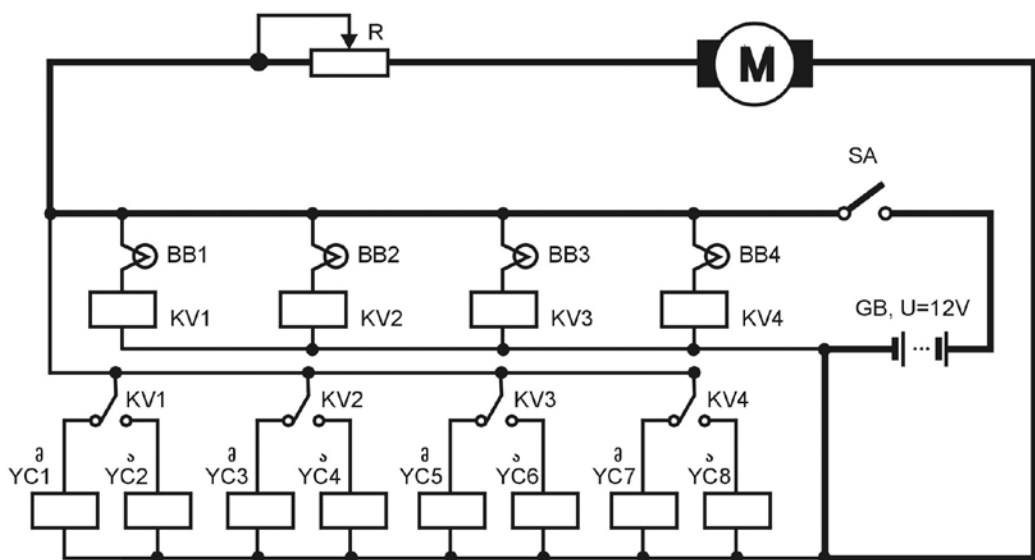


ნახ. 2-1. მაგნიტური ძრავას პრინციპული სქემა.

1 - მუდმივი დენის ძრავა; 2 - სოლურ-ღვედური გადაცემა; 3 - ცენტრალური ლილვი; 4, 17, 18, 19 - გადამწოდები; 5, 24, 29, 34 - მბრუნავი დოლების ელექტრომაგნიტური ქუროები; 23, 28, 33, 38 - მბრუნავი მაგნიტების სამუხრუჭე ელექტრომაგნიტური ქუროები; 16 - მუხლა ლილვები; 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 - სწორხაზობრივად მოძრავი მუდმივი მაგნიტები; 6, 7, 25, 26, 30, 31, 35, 36 - მბრუნავი დოლები; 39 - დისკური სახის საყრდენები; 22, 27, 32, 37 - ელექტრომაგნიტური ქუროს დამჭერი (აცენტრებს ქუროს დოლში); 40 - ძალოვანი ლილვი; 41 - გამბრჯენი ღეროები; 20 - კბილანები; 21 - ცენტრალური კბილანა.

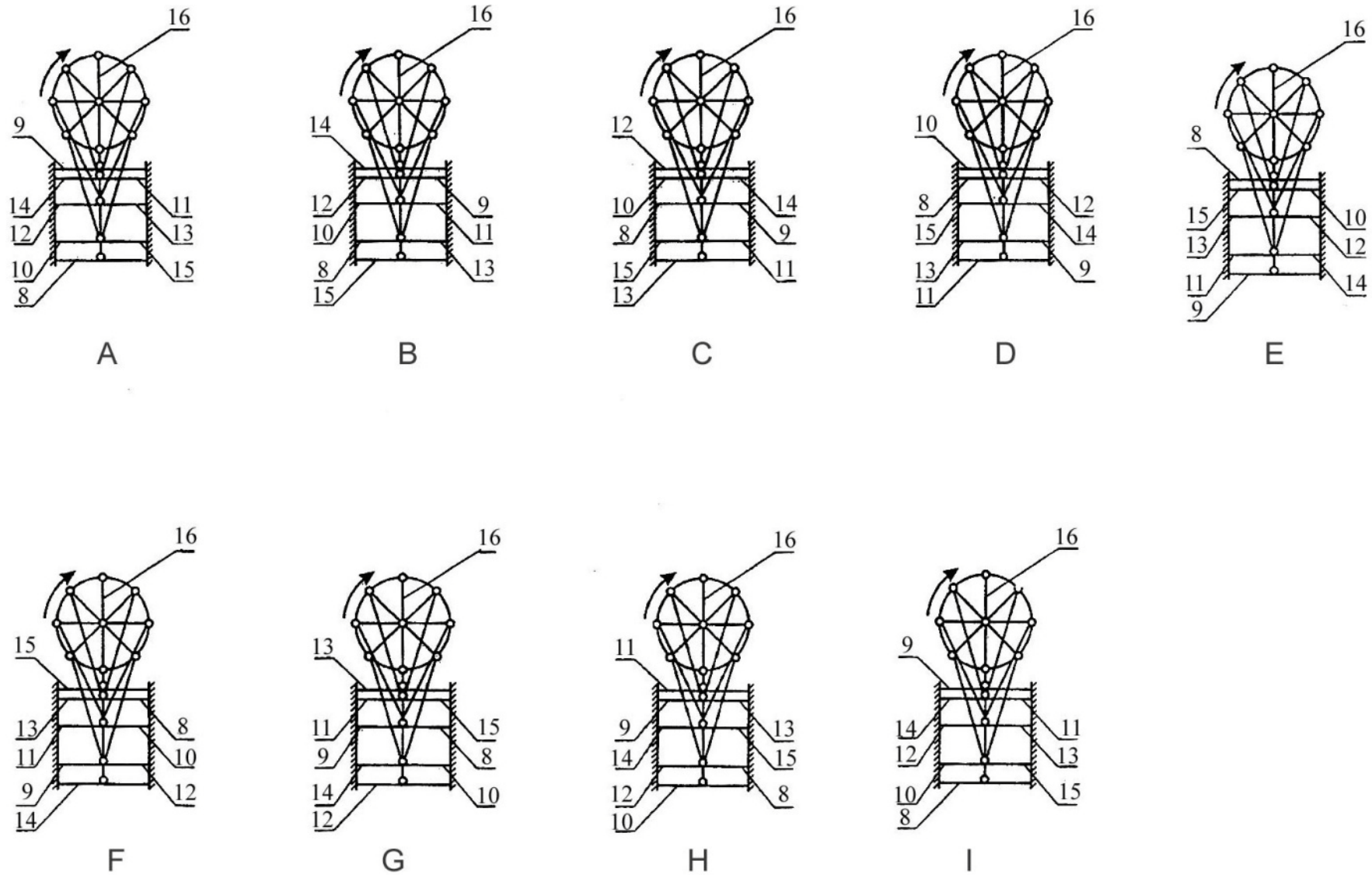


ნახ. 2-2. პრინციპული სქემა, ხედი A-A ჭრილში (იხ. ნახ. 2-1).



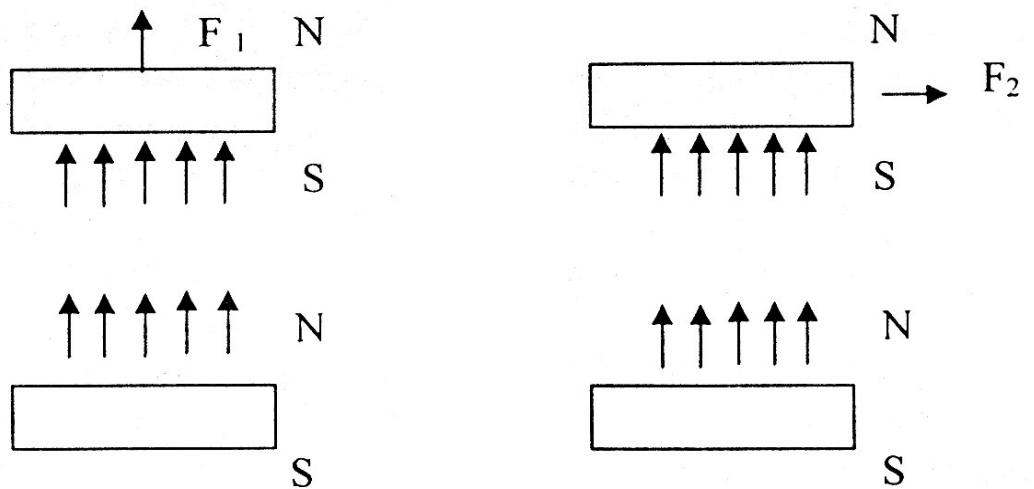
ნახ. 2-3. მაგნიტური ძრავას ელექტრული სქემა.

BB1-BB4 გადამწოდები (იხ. ნახ.); KV1-KV4 – ძაბვის რელეები; KYC1 “მ”, YC3 “მ”, YC5 “მ” და YC7 “მ” - სამუხრუჭე ელექტრომაგნიტური ქუროები; YC2 “ა”, YC4 “ა”, YC6 “ა” და YC8 “ა” - აძვრის ელექტრომაგნიტური ქუროები; GB – აკუმულატორთა ბატარეა.



ნახ. 2-4. მუხლა ლილვის 16 (A, B, C, D, F, G, H, I) და მასთან დაკავშირებული მუდმივი მაგნიტების 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 (A, B, C, D, F, G, H, I) კინემატიკური სქემა.

ერთმანეთთან მიზიდული სხვადასხვა პოლუსიანი მაგნიტების ერთმანეთისგან დაშორებაზე მაგნიტური ნაკადის ძალწირების მიმართულებით იხარჯება 2-ჯერ მეტი ძალა (ვარიანტი A), ვიდრე მაგნიტური ძალწირების მართობულად მუდმივი მაგნიტების გაშორებაზე (ვარიანტი B), რაც გამოისახება შემდეგნაირად:



A ვარიანტი B ვარიანტი

ნახ. 2-5. მართობულად და პარარელურად გაშორიშორების სქემები

$$F_2 = 0,5 F_1.$$

ჩვენს შემთხვევაში მაგნიტურ ძრავში არის გამოყენებული მუდმივი მაგნიტების 64 წყვილი, ე.ი. სულ 128 მუდმივი მაგნიტი. აქედან, 64 მუდმივი მაგნიტი სწორხაზობრივად მოძრაობს და ბარბაცას საშუალებით სახსრულადაა დაკავშირებული მუხლა ლილივებთან, ხოლო დანარჩენი 64 მუდმივი მაგნიტი დასმულია იმპულსურად მოძრავ დოლებზე.

მაგნიტურ ძრავას მუშაობის პროცესში ყოველთვის საჭიროა ერთმანეთთან მიზიდული რვა წყვილი მაგნიტის დაშორება (B ვარიანტ -ის მიხედვით).

მუდმივი მაგნიტების ერთმენეთისაგან გაშორებას და მაგნიტურ ძრავაში არსებული სხვადასხვა წინაღმდეგობის დაძლევაზე იხარჯება რვა წყვილი მუშა მდგომარეობაში მყოფი მუდმივი მაგნიტის ენერგია. აქედან გამომდინარე, სასარგებლო მუშაობის მისაღებად გამოიყენება მუდმივი მაგნიტების 48 წყვილი, ანუ 96 მუდმივი მაგნიტის ენერგია.

მაგნიტური ძრავას მუშაობის აღსაწერად მიზანშეწონილია ერთი მუხლა ლილვის მუშაობის ციკლის განხილვა, ხოლო დანარჩენი შვიდი ლილვის მუშაობა აღწერილი ლილვის ანალოგიური იქნება.

მაგნიტური ძრავას ძალოვანი ლილვი 40 (ნახ. 2-1) ბრუნვას იწყებს, როდესაც ჩართვება ამომრთველი SA, რითაც ძაბვა მიეწოდება მაგნიტური ძრავას ელექტრულ სქემას. მუდმივი დენის ძრავას 1 (ნახ. 2.1) M M(ნახ. 2-3) ამუშავების შედეგად, სოლლვედური გადაცემით 2 (ნახ. 2-1) ბრუნვით მოძრაობაში მოდის ცენტრალურ ლილვი 3 (ნახ. 2-1 და 2-2) და ბრუნვას იწყებენ დოლები 6, 25, 30, 35 (ნახ. 2-1), რომლებიც ხისტად დასმულნი არიან ცენტრალურ ლილვზე 3 (ნახ. 2-1 და 2-2). SA ამომრთველის ჩართვისთანავე ძაბვა მიეწოდება გადამწოდებს 4, 17, 18, 9 (ნახ. 2-1, BB1, BB2, BB3, BB4 ნახ. 2-3) და KV ძაბვის რელეების კონტაქტების გავლით ელექტრომაგნიტურ ქუროებს YC.

ელექტრომაგნიტურ ქუროზე 23, 28, 33, 38 (ნახ. 2-1) YC1, YC4, YC6, YC8 (ნახ. 2-3) ძაბვის მიწოდებით მბრუნავი მაგნიტების დოლები 7, 26, 31, 36 (ნახ. 2-1) დამუხრუჭებულია.

იმოქმედებს რა გადამწოდზე 4 (ნახ. 2-3) BB1 (ნახ. 2-3) მუდმივი მაგნიტის 9 (ნახ. 2-1, 2-2) მაგნიტური ველი, ძაბვა მოეწოდება რელეს KV1 (ნახ. 2.3), გაითიშება ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV1 (ნახ. 2-3), მბრუნავი მაგნიტების დოლი 7 (ნახ. 2-1, 2-2) განთავსდებოდა მუხრუჭებისაგან, ჩაირთვება ნორმალურად ღია კონტაქტი KV1 (ნახ. 2-3), რის გამოც ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 5 (ნახ. 2-1) YC1 (ნახ. 2-3). მბრუნავი დილი 6 (ნახ. 2-1, 2-2) დამაგნიტდება და წარიტაცებს მბრუნავი დოლის მაგნიტებს 7 (ნახ. 2-1, 2-2) ამ დოლის 45⁰-ზე შემობრუნების შედეგად, მუხლა ლილვთან 16 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4, A-I), დაკავშირებული მუდმივი მაგნიტების 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4-A-I) პირდაპირ დადგება მისივე პოლარობის მქონე მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4-A) განზიდვას და გადაადგილდება ცენტრიდან, ხოლო მუდმივი მაგნიტი 9 (ნახ. 2-1, 2-4-A) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის საწინააღმდეგო პოლარობის მაგნიტი, რის გამოც მუდმივი მაგნიტი 9 (ნახ. 2-1, 2-4-A) მიიზიდება და გადაადგილდება ცენტრისაკენ, იწყებს რა მუდმივი მაგნიტი 9 (ნახ. 2-1, 2-4-A) გადაადგილებას ცენტრისკენ, გადამწოდს 4 (ნახ. 2-1) BB1 (ნახ. 2-3) მოეხსნება მაგნიტური ველის გავლენა და კვება შეუწყდება რელეს KV1 (ნახ. 2-3), რის გამოც გაითიშება ნორმალურად ღია კონტაქტი KV1 (ნახ. 2.3) ამის გამო გაითიშება ელექტრომაგნიტური ქურო 5 (ნახ. 2-1) YC1 (ნახ. 2-3) მოხდება მბრუნავი დოლის 6 (ნახ. 2-1, 2-2) განმაგნიტება, რაც გამოიწვევს მბრუნავი დოლის 7 (ნახ. 2-1, 2-2) მაგნიტური ველისაგან განთავისუფლებას. შეწყდება მბრუნავი მაგნიტების დოლის 7 (ნახ. 2-1, 2-2) ბრუნვითი მოძრაობა.

შეუწყდება რა კვება რელეს KV1 (ნახ. 2-3) ჩაირთვება მისი ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV1 (ნახ. 2-3) და ამით ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 23 (ნახ. 2-1) YC2 (ნახ. 2-3), მაგნიტდება სამუხრუჭე დოლი 22 (ნახ. 2-1), რაც გამოიწვევს მბრუნავი დოლის 7 (ნახ. 2-1, 2-2) დამუხრუჭებას. ამ დროისათვის მბრუნავი მაგნიტების დოლი შემობრუნებული იქნება 45⁰-ით.

ამომრთველის SA (ნახ. 2-3) ჩართვისას ირღვევა წონასწორობა და მუხლა ლილვი 16 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4 A-I) იწყებს ბრუნვას.

მუხლა ლილვის 16 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4 A-I) წონასწორობიდან გამოსვლისთანავე მუდმივი მაგნიტი 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4 A-I) და მუდმივი მაგნიტის 9 (ნახ. 2-1, 2-4 A-I) გარდა სასარგებლო მუშაობას თავიანთ მეწყვილეებთან აგრძელებს მუდმივი მაგნიტები 10, 15 (ნახ. 2-1, 2-4 A-I).

მიაღწევს რა ქვედა მკვდარ წერტილს მუდმივი მაგნიტი 15 (ნახ. 2-1, 5), ხოლო ზედა მკვდარი წერტილს მუდმივი მაგნიტი 14 (ნახ. 2-1, 2.4-B) გადამწოდი 19 (ნახ. 2-1) BB4 (ნახ. 2-3) აწვდის ძაბვას რელეს KV4 (ნახ. 2-3). ამის გამო ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV4 (ნახ. 2-3) გაითიშება და ჩაირთვება ნორმალურად ღია კონტაქტი KV4 (ნახ. 2-3) რის გამოც ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 34 (ნახ. 2-1) YC 7 (ნახ. 2-3) და დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 35 (ნახ.2-1), რაც წარიტაცებს მბრუნავი მაგნიტების დოლს 36 (ნახ. 2-1), მბრუნავი მაგნიტების დოლი 36 (ნახ. 2-1) შემობრუნდება რა 45⁰-ით, მუდმივი მაგნიტის 14 (ნახ. 2-1, 2-4-B) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 14 (ნახ. 2-1, 2-4-B) მიზიდვას და ცენტრისკენ გადაადგილებას. ამ დროს მუდმივი მაგნიტის 15 (ნახ. 2-1, 2-4-B) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის მქონე მაგნიტი, რაც გამოიწვევს

მუდმივი მაგნიტის 15 (ნახ. 2-1, 2-4-B) განზიდვას და გადაადგილებას ცენტრიდან.

მიაღწევს რა ქვედა მკვდარ წერტილს მუდმივი მაგნიტი 13 (ნახ. 2-1, 2-4-C) ხოლო მუდმივი მაგნიტი 12 (ნახ. 2.1, 2.4-C) ზედა მკვდარ წერტილს, გადამწოდით 18 (ნახ. 2-1) BB3 (ნახ. 2-3) მიაწვდის ძაბვას რელეს KV3 (ნახ. 2-3). ამის გამო ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV3 (ნახ. 2-3) გაითიშება და ჩაირთვება ნორმალურად ღია კონტაქტი KV3 (ნახ. 2-3), რის გამოც ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 29 (ნახ. 2-1) YC 6 (ნახ. 2.3), დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 30 (ნახ. 2-3) და წარიტაცებს მბრუნავი მაგნიტების დოლს 31 (ნახ. 2-1) 45°-ზე, მუდმივი მაგნიტის 12 (ნახ. 2-1, 2-4-C) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მაგნიტი, რის გამოც მუდმივი მაგნიტი 12 (ნახ. 2-1, 2-4-C) მიიზიდება და გადაადგილდება ცენტრისაკენ, ხოლო ამ დროს მუდმივი მაგნიტი 12 და მუდმივი მაგნიტი 13 (ნახ. 2-1, 2-4-C) განიზიდება და გადაადგილდება ცენტრიდან.

მალწევს რა მუდმივი მაგნიტი 11 (ნახ. 2-1, 2-4-D) ქვედა მკვდარ წერტილს, ხოლო მუდმივი მაგნიტი 10 (ნახ. 2-1, 2-4-D) - ზედა მკვდარ წერტილს, მისი მაგნიტური ველის მოქმედებით გადამწოდი 17 (ნახ. 2-1) YC2 (ნახ. 2-3) მიაწვდის ძაბვას რელეს KV2 (ნახ. 2-3). ამის გამო ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV2 (ნახ. 2-3) გაითიშება, ძაბვა შეუწყდება სამუხრუჭე ქუროს 28 (ნახ. 2-1) YC4 (ნახ. 2-3) და მბრუნავი მაგნიტის დოლი განთავისუფლდება მუხრუჭისაგან. რელეს KV2 (ნახ. 2-3) ძაბვის მიწოდებით ჩაირთვება მისი ნორმალურად ღია კონტაქტი KV4 (ნახ. 2-3), რის გამოც ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 24 (ნახ. 2-1) YC7 (ნახ. 2.3), დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 25 (ნახ. 2-1) და წარიტაცებს

მბრუნავი მუდმივი მაგნიტების დოლს 26 (ნახ. 2-1) შემობრუნდება რა მბრუნავი მუდმივი მანიტების დოლი 26 (ნახ. 2-1) 45⁰-ზე, მუდმივი მაგნიტი 10 (ნახ. 2-1, 2-4-D) პირდაპირ დადგება მისი საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მუდმივ მაგნიტთან, რის გამოც მუდმივი მაგნიტი 10 (ნახ. 2-1, 2-4-D) მიიზიდება და გადაადგილდება ცენტრისაკენ. ამავე დროს მუდმივი მაგნიტის 11 (ნახ. 2-1, 2-4-D) პირდაპირ დადგება მისივე პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, ამის გამო მუდმივი მაგნიტი 11 (ნახ. 2-1, 2-4-D) განიზიდება და გადაადგილდება ცენტრიდან, მიაღწევს რა მუდმივი მაგნიტი 9 (ნახ. 2-1, 2-4-E) ქვედა მკვდარ წერტილს, ხოლო მუდმივი მაგნიტი 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4-E) ზედა მკვდარ წერტილს. ამ დროს მუხლა ლილვი 16 (ნახ. 2.1, 2.2, 2.4-A-I) შემობრუნებული იქნება 180⁰-ით. იმყოფება რა მუდმივი მაგნიტი 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4 A-I) ზედა მკვდარ წერტილში, მისი მაგნიტური ველი იმოქმედებს გადამწოდზე (ნახ. 2-1) BB4 (ნახ. 2-3). იგი მიაწვდის ძაბვას რელეს KV1 (ნახ. 2-3), რის გამოც ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV1 გაითიშება და ძაბვა შეუწყდება სამუხრუჭე ქუროს 23 (ნახ. 2-1) YC1 (ნახ. 2-3), დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 6 (ნახ. 2-1, 2-2) და წარიტაცებს მბრუნავი მაგნიტების დოლს 7 (ნახ. 2-1, 2-2) შემობრუნდება რა მბრუნავი მაგნიტების დოლი 7 (ნახ. 2-1, 2-2, 2.4-E), მუდმივი მაგნიტის 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4-E) 45⁰-ით პირდაპირ დადგება მისი საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 8 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4-E) მიიზიდავს და გადაადგილდება ცენტრისაკენ. ამავე დროს მუდმივი მაგნიტი 9 (ნახ. 2-1, 2-4-E) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის მქონე მაგნიტი. რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 9 (ნახ. 2-1, 2-4-E) განიზიდვას და გადაადგილებს ცენტრიდან. მიაღწევს რა მუდმივი მაგნიტი 14 (ნახ. 2-1, 2.4-F) ქვედა მკვდარ წერტილს,

ხოლო მუდმივი მაგნიტი 15 (ნახ. 2-1) ზედა მკვდარ წერტილს, მისი მაგნიტური ველი იმოქმედებს გადამწოდზე 19 (ნახ. 2-1), BB4 (ნახ. 2-3) მიაწვდის ძაბვას რელეს KV4 (ნახ. 2-3), ამის გამო ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV4 (ნახ. 2.3) გაითიშება, ძაბვა შეუწყდება სამუხრუჭე ელექტრომაგნიტურ ქუროს 38 (ნახ. 2-1) YC1 (ნახ. 2-1), განთავისუფლდება მუხრუჭებისაგან მბრუნავი მუდმივი მაგნიტების დოლი 36 (ნახ. 2-1) რელე KV4 (ნახ. 2-3) ძაბვის მიწოდებით ჩაერთვება ნორმალურად ღია კონტაქტი KV4 (ნახ. 2-3), რის გამოც ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 34 (ნახ. 2-1) YC7 (ნახ. 2-3), დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 36 (ნახ. 2-1). იგი წარიტაცებს მბრუნავი მაგნიტების დოლს 36 (ნახ. 2-1) მბრუნავი მაგნიტის დოლი 36 (ნახ. 2-1) შემობრუნდება რა 45⁰-ით მუდმივი მაგნიტის 14 (ნახ. 2-1, 2-4-F) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 14 (ნახ. 2-1, 2.4-F) განზიდვას და გადაადგილებას ცენტრიდან. ამ დროს მუდმივი მაგნიტის 15 (ნახ. 2-1, 2-4-F) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 15 (ნახ. 2-1, 2-4-F) მიზიდვას და გადაადგილებას ცენტრისაკენ.

მიაღწევს რა ქვედა მკვდარ წერტილს მუდმივი მაგნიტი 12 (ნახ. 2-1, 2-4-G), ხოლო ზედა მკვდარ წერტილს მუდმივი მაგნიტი 13 (ნახ. 2-1, 2-4-G), მისი მაგნიტური ველი იმოქმედებს გადამწოდზე 18 (ნახ. 2-1) BB3 (ნახ. 2-3), რის გამო ძაბვა მიეწოდება რელეს KV3 (ნახ. 2-3), გაითიშება ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV3 (ნახ. 2-3), ამიტომ ძაბვა შეუწყდება სამუხრუჭე ქუროს 33 (ნახ. 2.1) YC3 (ნახ. 2-3) და მბრუნავი მუდმივი მაგნიტების დოლი განთავისუფლდება მუხრუჭებისაგან.

რელე KV3-ზე (ნახ. 2-3) ძაბვის მიწოდებით ჩაირთვება ნორმალურად ღია კონტაქტი KV3 (ნახ. 2-3), ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 29 (ნახ. 2.1) YC5 (ნახ. 2-3), რის გამოც დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 30 (ნახ. 2-1), იგი წარიტაცებს მბრუნავი მუდმივი მაგნიტის დოლს 31 (ნახ. 2-4-G), შემობრუნდება რა მბრუნავი მაგნიტების დოლი 31 (ნახ. 2-4-G) 45⁰-ით, მუდმივი მაგნიტის 12 (ნახ. 2-1, 2-4-G) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 13 (ნახ. 2-1, 2-4-G) განზიდვას და გადაადგილებას ცენტრიდან. ხოლო ამ დროს მუდმივი მაგნიტის 13 (ნახ. 2-1, 2-4-G) პირდაპირ დადგება საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 13 (ნახ. 2-1, 2-4-G) მიზიდვას და გადაადგილებას ცენტრისკენ.

მიაღწევს რა ქვედა მკვდარ წერტილს მუდმივი მაგნიტი 10 (ნახ. 2- 1, 2.4-H), ხოლო მუდმივი მაგნიტი 11 ზედა მკვდარ წერტილს, მისი მაგნიტური ველი იმოქმედებს გადამწოდზე 17 (ნახ. 2-1) BB2 (ნახ. 2-3). იგი მიაწვდის ძაბვას რელეს KV2 (ნახ. 2-3). ამის გამო, ნორმალურად ჩაკეტილი კონტაქტი KV2 (ნახ. 2-3) გაითიშება და გამოირთვება სამუხრუჭე ქურო 28 (ნახ. 2-1), მუხრუჭებისგან განთავისუფლდება მბრუნავი მაგნიტური მაგნიტების დოლი 26 (ნახ. 2-1). რელეზე KV2 ძაბვა მიეწოდება ელექტრომაგნიტურ ქუროს 24 (ნახ. 2-1) YC3 (ნახ. 2-3), რის გამოც დამაგნიტდება მბრუნავი დოლი 25 (ნახ. 2-1) და წარიტაცება მბრუნავი მაგნიტების დოლი 26 (ნახ. 2-1). შემობრუნდება რა მბრუნავი მაგნიტების დოლი (ნახ. 2-1) 45⁰-ზე, მუდმივი მაგნიტის 10 (ნახ. 2-1, 2-4-H) პირდაპირ დადგება მისი პოლარობის მქონე მუდმივი მაგნიტი, რაც გამოიწვევს განზიდვას და გადაადგილებას ცენტრიდან. ამავე დროს მუდმივი

მაგნიტის 11 (ნახ. 2-1, 2-4-H) პირდაპირ დადგება საწინააღმდეგო პოლარობის მქონე მაგნიტი, რაც გამოიწვევს მუდმივი მაგნიტის 11 (ნახ. 2-1, 2-4-H) მიზიდვას და გადაადგილებას ცენტრისკენ. მიაღწევს რა მუდმივი მაგნიტი 8 (ნახ. 2-1, 2-4-I)-ზედა მკვდარ წერტილს, ამ დროისთვის მუხლა ლილვი 16 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4 A-I) შემობრუნებული იქნება 360°-ზე, მუხლა ლილვის 16 (ნახ. 2-1, 2-2, 2-4 A-I) ბრუნვის გაგრძელებისთვის მუდმივი მაგნიტების მოძრაობის ციკლი მეორდება [21].

ელექტრულ სქემაში (ნახ. 2-3) გამოყენებულია ტაილანდის კომპანიის CONCH-ის სიახლოვის მილისებრი უკონტაქტო გადამწოდი TS-0801-NA (ნახ. 2-6), რომელიც მუშაობს 10-დან 30 ვოლტამდე მუდმივ ძაბვაზე, ხოლო მასში გამავალი დენი არ უნდა აღემატებოდეს 10მა. გადამწოდის მუშაობის მაქსიმალური სიხშირე არ უნდა აღემატებოდეს 1,5კჰც, იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს -20-დან +70°C ტემპერატურაზე როდესაც ტენიანობა არ აღემატება 95%-ს, რაც სრულიად საკმარისია სასოფლო-სამეურნეო აგრეგატებში მისი გამოყენებისათვის [118].



ნახ. 2-6. გადამწოდი TS-0801-NA

მაგნიტური ძრავას ექსპერიმენტული ნიმუშის ელექტრული სქემა ძირითადად შესრულებულია საკონტაქტო ელემენტების (რელეების) გამოყენებით, რაც მკვეთრად აუარესებს ძრავას საიმედოობის მაჩვენებლებს (იხ. თავი 4.3). საქარხნო ნიმუშში გამოყენებული იქნება ნახევარგამტარული უკონტაქტო საკომუტაციო ელემენტები, რაც გამოიწვევს საიმედოობის მაჩვენებლის შესამჩნევ გააუმჯობესებას.

2.2. მუდმივი მაგნიტების მახასიათებლები

მაგნეტიზმი წარმოადგენს მოძრავი ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედების ფორმას, რომელიც ხორციელდება დისტანციურად მაგნიტური ველის მეშვეობით. ელექტრობასთან ერთად, მაგნეტიზმი არის ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედების ერთ-ერთი გამოვლინება. კვანტური თეორიის თვალსაზრისით, ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება გადაიტანება უმასო ბოზონის – ფოტონის მიერ.

მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედების ხასიათის და შიდა მაგნიტური სტრუქტურის მიხედვით ნივთიერებები დაიყოფა:

მაგნიტურად მოუწესრიგებელ ნივთიერებებად, რომლებსაც განეკუთვნებიან:

➤ დიამაგნეტიკები, რომლებშიც მოლეკულებს არ გააჩნიათ საკუთარი მაგნიტური მომენტი, ხოლო მასალის მაგნიტური მოქცევა განისაზღვრება ფარადეს ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონით, რომლის შესაბამისად მოლეკულური დენები ნივთიერებაში ცვალებადობს

ისეთნაირად, რათა მოხდეს ნივთიერებაში მაგნიტური ნაკადის ცვლილების კომპენსაცია;

➤ პარამაგნეტიკები, რომლებსაც გააჩნიათ საკუთარი არანულოვანი ლოკალური მაგნიტური მომენტი, რომელიც ორიენტირებულია მაგნიტური ველის გასწვრივ;

მაგნეტიკებად, ე.ი. შორეული მაგნიტური რიგის მქონე ნივთიერებებად. მათგან ჩვენს შემთხვევაში გამოსაყოფია ფერომაგნეტიკები, რომლებშიც ურთიერთქმედების შედეგად ენერგეტიკულად მომგებიანი ხდება მასალის მაკროსოპიულ ზონებში - დომენებში ატომების ან მოლეკულების პარალელური ორიენტაცია.

ფერომაგნეტიკები თავის მხვრივ ორ ძირითად ჯგუფად დაიყოფა: პირველ ჯგუფს მიეკუთნება მაგნიტურბილი მასალები, რომლებიც ადვილად მაგნიტდება, თუმცა დამამაგნიტებელი ძალის გაქრობის შემთხვევაში მცირედ ან სრულიად არ ინარჩუნებს მაგნეტიზმს. მეორე ჯგუფს მიეკუთნება მაგნიტურსალი მასალები, რომლებიც უფრო ძნელად მაგნიტდება, თუმცა დამამაგნიტებელი ძალის გაქრობისას ინარჩუნებენ ნარჩენ მაგნეტიზმს და გარკვეულ მდგრადობას ამჟღავნებენ გარე განმამაგნიტებელი ზემოქმედებების მიმართ. ამ მასალებს მუდმივი მაგნიტები ეწოდება [69].

თანამედროვე მუდმივი მაგნიტები მზადდება სპეციალური შენადნობებისაგან, რომლებიც აღმოჩენილ იქნა მაგნიტური თვისებების გამოკვლევის შედეგად. დღეისათვის მაგნიტური მასალების ყველაზე ცნობილი ოჯახებია:

- ალნიკო – ალუმინი–ნიკელი–კობალტი, AlNiCo;
- სტრონციუმის ფერიტები, SrO6Fe2O3;

- ნეოდიუმი–რკინა–ბორი, NeFeB;
- სამარიუმი–კობალტი, SmCo.

ფაქტორები, რომლებიც მუდმივი მაგნიტის ძალაზე ახდენს ზეგავლენას, არის გახურება, რადიაცია, ძლიერი ელექტრული დენებისა და სხვა მაგნიტების არსებობა მაგნიტის ახლოს, მაღალი ტენიანობა (ნეოდიუმი – რკინა – ბორის მაგნიტებისათვის, როდესაც ისინი სპეციალური დაფარვის გარეშე გამოიყენება). მაგნიტური მასალების წვეის ძალაზე დარტყმები და ვიბრაცია ზეგავლენას პრაქტიკულად არ ახდენს, სანამ მაგნიტი ფიზიკურად არ დაიშლება, ამიტომ მუდმივი მაგნიტების მობილურ მანქანებში გამოყენება სრულიად შესაძლებელია. თუ მაგნიტს სხვა მაგნიტების ძალწირებისგან და მაღალი ტემპერატურისაგან მოშორებით ვამყოფებთ და სხვა ფაქტორებსაც გამოვრიცხავთ, ის თავის მაგნეტიზმს პრაქტიკულად სამუდამოდ შეინარჩუნებს. თანამედროვე მაგნიტური მასალები, დროთა განმავლობაში, მაგნიტური თვისებების მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილს კარგავენ; მაგალითად, სამარიუმი – კობალტისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტები კარგავენ 1%-ზე ნაკლებს 10 წლის განმავლობაში. თუმცა, მუდმივი მაგნიტების 80°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გახურებისას იწყება მათი მაგნიტური თვისებების დაკარგვა და ამ ტემპერატურის ხანგძლივად შენარჩუნებისას ან მისი მნიშვნელოვნად გაზრდისას შესაძლებელია მაგნიტების სრული განმაგნიტება, მაგრამ მაგნიტების ზოგიერთი ტიპი, მაგალითად სამარიუმი – კობალტის მაგნიტები, გაცილებით უფრო მაღალ ტემპერატურულ წინააღმდეგობას ავლენენ [50, 37, 54, 66, 67].

თუ მაგნიტური მასალა არ იქნება დაზიანებული გადაჭარბებული გახურებით, მაგნიტი, რომელიც თავისი მაგნიტური თვისებების ნაწილი

დაკარგა, შეიძლება კვლავ დამაგნიტდეს თავდაპირველ მდგომარეობამდე, ხოლო თუ მაგნიტი დამზადებისას სრულად იქნა დამაგნიტებული (ანუ მაგნიტური გაჯერების მდგომარეობამდე), მისი რეალურად უფრო ძლიერად დამაგნიტება აღარ შეიძლება.

1970-1980 წლებში SmCo და NdFeB საფუძველზე მიღებული იქნა მასალა გაუმჯობესებული თვისებებით, ე.წ. იშვიათმიწა მაგნიტები. დღეისათვის ყველაზე ძლიერად ითვლება იშვიათმიწა მაგნიტები, კერძოდ კი ნეოდიუმი-რკინა-ბორის (NdFeB) შეცხოვრილი მაგნიტები. მაღალ ტემპერატურაზე ექსპლუატაციისას (150°C და მეტი) მომავალში სამარიუმ – კობალტის (SmCo) მაგნიტები შეიძლება NdFeB მაგნიტებზე ძლიერი აღმოჩნდეს (იმისდა მიხედვით თუ როგორია მაგნიტური სისტემის პარამეტრები) [97, 63, 109].

მაგნიტური ტექნოლოგიის დარგში დასმული ამოცანების გადასაჭრელად ფირმა „ერგა“ გვთავაზობს ყველაზე მაღალენერგეტიკულ და მძლავრ მუდმივ იშვიათმიწა მაგნიტებს NeFeB შენადნობის ბაზაზე აქსიალური და რადიალური დამაგნიტების უნიკალური ტიპ-ზომებით [107, 101].

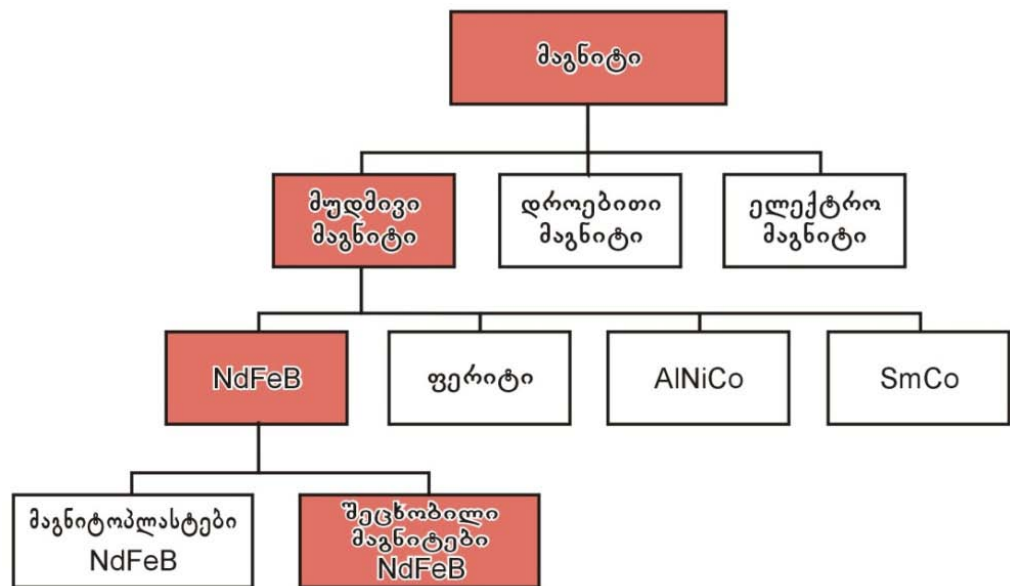
ლითონების ბაზაზე დამზადებული ყველა მაგნიტი გამტარია. ვინაიდან ალუმინი, კობალტი და ნიკელი ლითონებია, მათ საფუძველზე შეცხოვრილი მაგნიტები ელექტრული დენის გამტარებია. რაც შეეხება მაგნიტოპლასტებს, სხმული მაგნიტოპლასტები თავისი თვისებებით უფრო იზოლატორებთანაა ახლოს, რადგან დაწნეხილი მაგნიტოპლასტების წინაღობა დაახლოებით 1 ომია სანტიმეტრზე. საბოლოო ჯამში, მაგნიტოპლასტის უნარი გაატაროს ელექტრული დენი დამოკიდებულია პოლიმერული შემავსებლის რაოდენობაზე და მოდებული ძაბვის

სიდიდეზე. თუკი მაგნიტურ სისტემაში აუცილებელია, რომ მაგნიტს გამტარიანობა ჰქონდეს, მაშინ საჭირო იქნება მაგნიტის ზედაპირის გამტარი მასალით დაფარვა [110, 40].

მუდმივმა მაგნიტებმა ბოლო 20 წლის მანძილზე მიიღეს განსაკუთრებით ფართო გამოყენება სხვადასხვა დარგში და ეკონომიკურად განვითარებულ ქვეყნებში მათი წლიური წარმოება კილოტონებში იანგარიშება. მუდმივი მაგნიტი წარმოადგენს დეტალს სპეციალური მაგნიტურსალი მასალისგან, რომელიც ელექტრომაგნიტის მეშვეობით დამაგნიტების შემდეგ პრაქტიკულად შეუზღუდავი დროით ინარჩუნებს მაგნიტურ ველს. თანამედროვე ქიმიისა და მეტალურგიის პროგრესის შედეგად შექმნილი მუდმივი მაგნიტები თავისი მასითა და გაბარიტებით უფრო მცირენი არიან ექვივალენტური პარამეტრების მქონე ელექტრომაგნიტებთან შედარებით, რის გამოც მუდმივი მაგნიტები სულ უფრო ხშირად ცვლიან ელექტრომაგნიტებს, მაგალითად ელექტროძრავებში; აქ ძირითად შეზღუდვას წარმოადგენს მუდმივი მაგნიტის ფასი და ნაკადის Φ , ვბ, რეგულირების სირთულე [107, 36, 35].

დღეს მაგნიტები კომპონენტია ისეთი მოწყობილობების, როგორცაა ელექტრული ძრავები (პირველ რიგში, საავტომობილო), ხმამაღლამოლაპარაკეები, კომპიუტერები, კომპაქტ-დისკების აღწარმოების მოწყობილობები, მიკროტალღური ღუმელები და სხვა. მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება აგრეთვე სხვადასხვა გადამწოდებში, გამზომ ხელსაწყოებში და ასევე მძლავრ საწარმოო დანადგარებში (წევის ელექტრომაგნიტები) რკინის ან ფოლადის დეტალების ასაწევად; აღსანიშნავია, რომ მუდმივმა მაგნიტმა შეიძლება მიიზიდოს და აწიოს მის მასაზე მრავალჯერ უფრო მძიმე ფოლადის დეტალი. არსებობს მაგნიტების

დიდი ნაირსახეობა თვისებების მუდმივობის, გამოყენებული მაგნიტური მასალების, წარმოების ტექნოლოგიების მიხედვით, თუმცა არსი ერთია:



ნახ. 2-7. თანამედროვე მაგნიტების კლასიფიკაცია

მაგნიტური მასალები დაიყოფება შემდეგ ძირითად სახეებად:

ფერიტები (ანუ კერამიკული მაგნიტები) – ამჟამად არსებული ყველაზე პოპულარული მუდმივი მაგნიტებია. ისინი იწარმოება ბარიუმის ან სტრონციუმის ფერიტისა და რკინის ოქსიდის კომბინაციით და ამჟღავნებს მაღალ კოერციტიულ ძალას H_c , რაც მეტყველებს კარგ წინააღმდეგობაზე განმაგნიტების მიმართ. ფერიტებისგან დამზადებულ მუდმივ მაგნიტებს ახასიათებთ სხვა მაგნიტებთან შედარებით დაბალი ფასი, რაც განაპირობებს მათ წარმატებულ გამოყენებას იქ, სადაც არ არის მაღალი მოთხოვნები მაგნიტური ველის სიდიდის მხრივ, მაგალითად, სამაცივრო ტექნიკაში - მაცივრების კარების საკეტებში და ა.შ.

ფერიტებს მაღალი კოროზიამედეგობა გააჩნია და მდგრადად მუშაობს ტემპერატურების დიაპაზონში -40°C -დან $+250^{\circ}\text{C}$ -მდე, როდესაც

მაქსიმალური ენერჯის $W_{\text{ავს}}$ დიაპაზონი იმყოფება 1,1 – 4,5 მეგაერგის ზღვრებში. მისი ფასის ფარდობითი მაჩვენებელი არის 5 (იხ. ნახ. 2-7).

ალნიკოს (AlNiCo) მაგნიტები ამჟღავნებენ ნარჩენი მაგნიტური ინდუქციის B_r მაღალ მნიშვნელობას, შესანიშნავად მუშაობენ მაღალ ტემპერატურაზე, საკმარისად დიდი მაქსიმალური ენერჯის მნიშვნელობა გააჩნიათ, თუმცა მათი მთავარი ნაკლოვანებაა დაბალი კოერციტიული ძალა H_c , რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ მასალისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტი შედარებით ადვილად განმაგნიტდება. ეს მუდმივი მაგნიტი იწარმოება ალუმინის, ნიკელის და კობალტის შენადნობებისაგან სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების დამატებით და შეიძლება იყოს როგორც სხმული, ასევე შეცხობილი. ალნიკოს სხმული მაგნიტები შეიძლება დამზადდეს ისეთი რთული ფორმებით, რაც სხვა მასალების გამოყენებით შეუძლებელია. ალნიკოს შეცხობილი მაგნიტები ჩვეულებრივსამებრ მცირე ზომებით არის შეზღუდული.

ალნიკოს მაგნიტები სხვა სახის მაგნიტებთან შედარებით ყველაზე უფრო თერმოსტაბილურია და შეიძლება გამოყენებულ იქნეს თვისებების საგრძნობი გაუარესების გარეშე 500-600°C-მდე ტემპერატურებზე. მაგნიტის მაქსიმალური ენერჯის დიაპაზონი არის $W_{\text{ავს}} = 1,4 - 7,5$ მეგაერგი (ანუ 0,14 - 0,75 ჯოული), ხოლო ფასის ფარდობითი ინდექსი არის 30.

სამარიუმ-კობალტის (SmCo) მაგნიტები, რომლებიც იშვიათმიწა მაგნიტების მეორე თაობას განეკუთვნება, არამარტო მაქსიმალური ენერჯის დიდი მნიშვნელობით და შესაბამისი ძალით გამოირჩევა, არამედ საუკეთესო ტემპერატურული მახასიათებლით იშვიათმიწა მაგნიტური მასალების ოჯახში. მათ შეუძლია 350°C-მდე ტემპერატურაზე მუშაობა, აქვს საუკეთესო ტემპერატურული მდგრადობა და კოროზიული მედეგობა

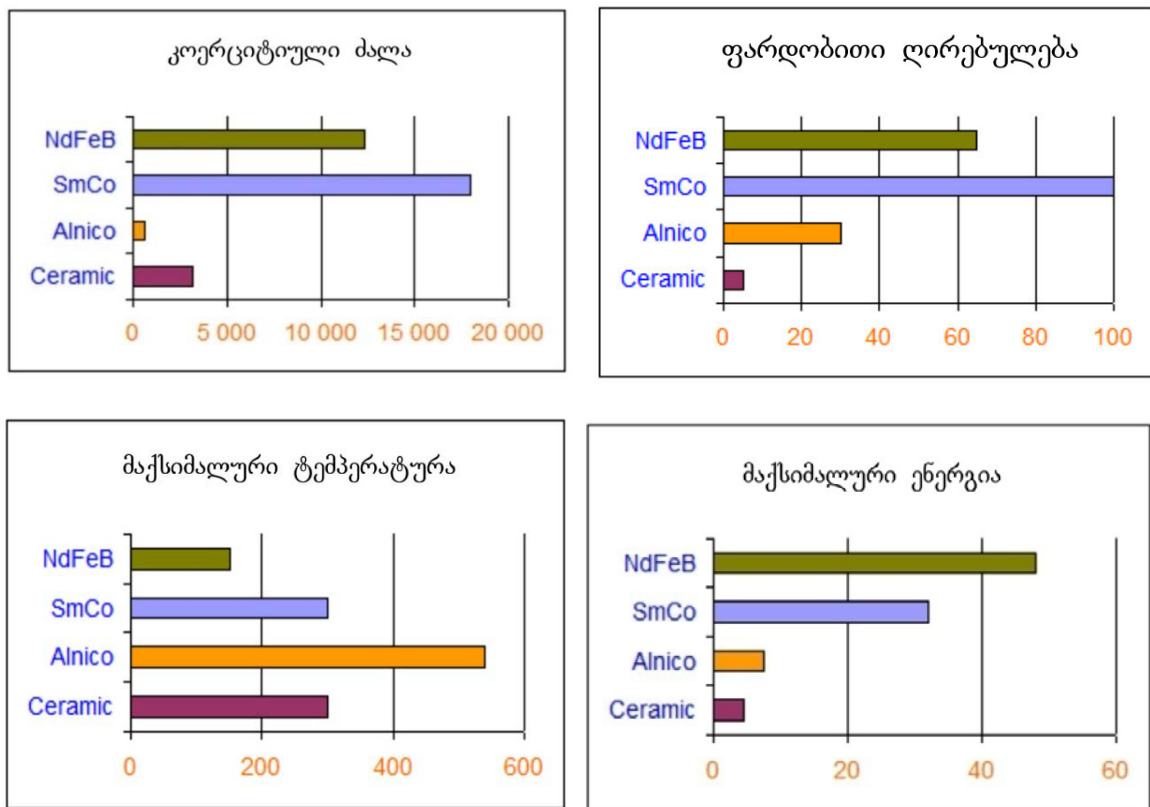
სხვა იშვიათმიწა მასალებთან შედარებით. მაქსიმალური ენერგიის დიაპაზონი – 1,8 - 3,2 ჯოული, ფასის ფარდობითი ინდექსი: 100.

ნეოდიუმ-რკინა-ბორის (NdFeB) ე.წ. ნეოდიმის მაგნიტები, ანუ იშვიათმიწა მაგნიტების მესამე თაობა, გამოირჩევა ნარჩენი მაგნიტური ინდუქციის, კოერციტიული ძალის, მაქსიმალური ენერგიის და წარმადობა/ფასის ფარდობის ყველაზე დიდი მნიშვნელობებით. ამ მასალისგან ადვილია სხვადასხვა ფორმის და ზომის მაგნიტების მიღება და ამიტომ ფართოდ გამოიყენება ავიაციაში, ელექტრონიკაში, მეტროლოგიაში, სამედიცინო ინსტრუმენტებში და ა.შ. განსაკუთრებით მიესადაგება მაღალეფექტიანი კომპაქტური და მსუბუქი მოწყობილობების შემუშავებას. მაქსიმალური ენერგიის დიაპაზონი - 0,1 - 4,8 ჯოული, ფასის ფარდობითი ინდექსი აღწევს 65-ს.

ნახ. 2-8-ზე წარმოდგენილი დიაგრამები გვაძლევს მაგნიტური მასალების ოჯახთა ყველაზე გავრცელებულ მახასიათებელს. სხვადასხვა მწარმოებელთა კონკრეტული მაგნიტების მახასიათებლები შეიძლება განსხვავდებოდეს წარმოდგენილისაგან. მიუხედავად ამისა, დიაგრამები გვიჩვენებს ზოგად თანაფარდობას მაგნიტური მასალების ოჯახებს შორის [113, 54, 29, 30, 32].

დადებით თვისებად ითვლება ის, რომ ალნიკოს გააჩნია მაღალი მექანიკური სიმკვრივე, მაგნიტური თვისებების სტაბილურობა ტემპერატურულ ფართო დიაპაზონში, დამაგნიტების შევსების მაღალი მაჩვენებლით, მაგრამ ალნიკოს მაგნიტები ხასიათდებიან დაბალი ძალის კოეფიციენტით.

ფერიტის მაგნიტების მასალა ხასიათდება ძალის მაღალი კოეფიციენტით, მაგრამ მექანიკურად მტვრევადია, რთულია დამუშავებაში, ძლიერაა დამოკიდებული მაგნიტური თვისებების ტემპერატურაზე.



ნახ. 2-8. მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად გამოყენებული ზოგიერთი მასალის მაჩვენებელთაშედარება (კოერციტიული ძალა – ა/მ, ტემპერატურა – °C-ში, ხოლო ენერგია – მეგაერგებში).

იშვიათმიწა მაგნიტები, რომლებიც დამოკიდებულია SmCo შენადნობზე, ხასიათდება მაღალი მაგნიტური მახასიათებლებით, თერმული სტაბილურობით, აგრეთვე მდგრადობით. ძირითადი ნაკლი ამ ტიპის მაგნიტებისა – SmCo-ის მაღალი ფასი, რის გამოც ამ მაგნიტების გამოყენება გაძნელებულია. მიუხედავად ამისა SmCo მაგნიტების გამოიყენება კომპიუტერის მყარი დისკისათვის და მუდმივი დენის ელექტრულ ძრავებში.

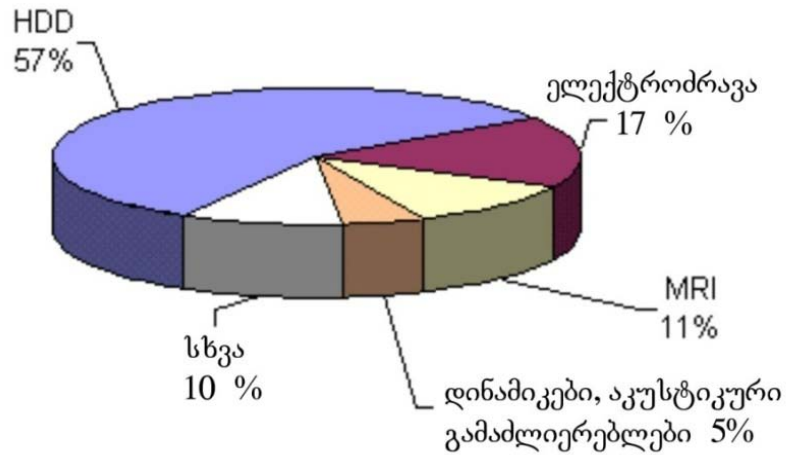
მაგრამ ყველაზე პერსპექტიული დღეისათვის არის შენადნობი NdFeB (Neo magnets ან Super magnets) თავისი მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლების გამო; თეორიული გაანგარიშებებით მისთვის $(BH)_{max} = 64$ კჯ/მ³. შენადნობი ხასიათდება მაღალი დასაშვები ტემპერატურით, რომელიც შეადგენს 160-170°C, იმ მარკისათვის რომლის სამუშაო ტემპერატურა არის 80°C. მაგრამ დღეისათვის გამოყენება ისეთი მარკის NdFeB მაგნიტი, რომლის სამუშაო ტემპერატურა არის 200°C, რაც იძლევა მათი გამოყენების პერსპექტივას ელექტროძრავებში. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტია ამ მაგნიტების დაბალი ფასი (იხილეთ ცხრილი № 2.1) [80, 76, 23, 78].

ცხრილი № 2.1. სხვადასხვა მასალისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტების ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრები

მაგნიტის მასალა	(BH) _{მაქს}	B _r	H _c	1 კგ ფასი	(BH) _{მაქს} ერთეულის ფასი
	კჯ/მ ³	ტესლა	ა/მ	დოლარი	დოლარი
მაგნიტოპლასტები	12,7	0,173	2000	5 - 10	3.1 – 6.2
კერამიკა	23,8	0,40	2400	1 – 2.5	0.3 – 0.85
ალნიკო	71,6	1,35	1400	44.1	4.3
SmCo	152	1,05	9200	250 – 500	12.5
NdFeB შეცხოვრილი	398	1,42	12500	70 - 150	1.4 – 3.7

SmCo-ის მაგნიტის გამოჩენა იყო ნამდვილი მეცნიერული მიღწევა მუდმივ მაგნიტებში, მაგრამ მათ მაინც დაუთმეს ადგილი ფერიტებს და ალნიკოს თავისი მაღალი ფასის გამო. დღეისათვის, ყველაზე იაფი და პრაქტიკული არის NdFeB, მათ ნაკლად ითვლება მაგნიტიზმის

ნაწილობრივი დაკარგვა ექსპლუატაციის დროს 150 - 200⁰ C –ზევით და კოროზიით დაზიანების გამო.



ნახ. 2-9. NdFeB მაგნიტების გამოყენების პროცენტული წილები მსოფლიო ტექნიკის ბაზარზე.

ნახ. 2-9-ზე წარმოადგენილია NdFeB მაგნიტების გამოყენების პროცენტული წილები მსოფლიო ტექნიკის ბაზარზე. როგორც დიაგრამიდან გამომდინარეობს, კომპიუტერულ ტექნიკაში გამოყენებული მყარი მაგნიტური დისკების (HDD) შემდეგ მუდმივი მაგნიტების ყველაზე მნიშვნელოვანი გამოყენება ხდება ელექტროძრავებში, რომლებშიც ძირითადად გამოიყენება ფერიტის მუდმივი მაგნიტები. დიდი წილი ბაზარზე უკავია მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიაში (MRI) სენსორებს, ისინი გამოიყენება აგრეთვე აკუსტიკაში და სხვადასხვა მექანიზმების პარამეტრების კონტროლისთვის და სხვ.

არსებობს რამოდენიმე მიზეზი, თუ რატომ არის მოხერხებული NdFeB-ისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტების გამოყენება:

➤ NdFeB მუდმივი მაგნიტები იშვიათი $(BH)_{max}$ მნიშვნელობით, ანუ ექმნიან ჰაერის ჭრილში მაგნიტურ ნაკადს, მაქსიმალური სიმკვრივით;

➤ შეცხოვრილი მუდმივი მაგნიტები NdFeB ხასიათდებიან მინიმალური მასით და ზომით მაგნიტური ენერჯის ერთეულზე, რაც შესაძლებლობას გვაძლევს შეიქმნას მინიატურული და მსუბუქი მოწყობილობა;

➤ ფასი ამ მასალების მცირეა და არსებობს მომავალში მისი შემცირების ტენდენცია [111, 47, 56].

ანიზოტროპული მაგნიტები. ყველა ფოლადი და დისპერსიურად გამყარებადი შენადნობების უმეტესობა მაგნიტური თვალსაზრისით იზოტროპულია, ანუ მათი მაგნიტური თვისებები ერთნაირია ყველა მიმართულებით. მიუხედავად ამისა, მუდმივი მაგნიტებისათვის საუკეთესო შენადნობები და ზოგიერთი ახალი შენადნობი ანიზოტროპულია, ანუ მათი გამნიტური თვისებები ოპტიმალურია გარკვეული ერთი მიმართულებით. მაგნიტების წარმოების პროცესში ეს მიიღწევა დომენების ორიენტაციით, მარცვლების ორიენტაციით ან ორივე მათგანის ორიენტაციით.

აქედან გამომდინარე, მაგნიტების დამზადებისას ანიზოტროპული შენადნობებისათვის აუცილებელია დამაგნიტების საბოლოო მიმართულების ცოდნა რათა საჭირო ორიენტაცია, რომელიც დამზადების პროცესში იქმნება, შეესაბამებოდეს მაგნიტის გამოყენებით მოთხოვნილ მიმართულებას.

მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება თანამედროვე მეცნიერების, წარმოების და ყოფაცხოვრების ყველა დარგში. მუდმივი მაგნიტებისათვის ახალი მძლავრი შენადნობების მიღებამ საშუალება მოგვცა, რომ მათთვის

გამოყენების ისეთი სფეროები მოგვეძებნა, რომლებიც ადრე ტექნიკურად მიუღებელი იყო მაგნიტური ფოლადის მცირე სიმკვრივის გამო.

მუდმივი მაგნიტის ძირითადი ფუნქცია მათს გარშემო მაგნიტური ველის უზრუნველყოფაა. მაგნიტური ველი შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელექტრონების ნაკადის გზის შესაცვლელად გამტარში ან ვაკუუმში და ამგვარად ელექტრული ენერჯიის მექანიკურად გარდაქმნა. როდესაც ელექტრონების ნაკადი მყარ გამტარში გადის, მაგნიტური ველის მოქმედება ცვლის ელექტრონების გზას და ქმნის გამტარის წანაცვლებას. ამ ეფექტის გამოყენების ტიპიური მაგალითებია ხმამაღლამომავარაკეები, ელექტროძრავები და გამზომი და სარეგისტრაციო ხელსაწყოები.

როდესაც ელექტრონების ნაკადი აირში ან ვაკუუმში გადაადგილდება, მაგნიტური ველი უშუალოდ გადახრის ელექტრონებს (ან სხვა ელექტრულად დამუხტულ ნაწილაკებს) თავდაპირველი გზიდან.

ამ ეფექტის გამოყენების ტიპიური მაგალითებია რკალჩამქრობები, მაგნეტრონები, იონების ხაფანგები და მაფოკუსირებელი მოწყობილობები სატელევიზიო და სხვა ელექტრონულ-სხივურ მილაკებში.

მაგნიტური ველი, რომელიც მუდმივი მაგნიტის მიერ იქმნება, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე ელექტრონების ნაკადის შესაქმნელად ან მექანიკური ენერჯიის ელექტრულად გარდასაქმნელად. ჩვეულებისამებრ ამას ადგილი აქვს გენერატორებში, მაგნიტოფონებში და მიკროფონებში.

მუდმივი მაგნიტებისათვის ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს მდგრადობა პრაქტიკულად მისი ყველა სახის გამოყენების შემთხვევაში. თავდაპირველი დამაგნიტების შემდეგ მუდმივი მაგნიტის მიზიდვის ძალაზე ზეგავლენას ახდენს დროთა განმავლობაში ძირითადი მაგნიტური

თვისებების ცვლილება სხვადასხვა ტემპერატურაზე, ასევე ნარჩენი მაგნეტიზმის ცვლილება დროის, ტემპერატურის, ვიბრაციის, დარტყმების, ფანტვის და სხვა ფერომაგნიტურ სხეულებთან კონტაქტის მაგნიტური ველების მიხედვით. ნაწრობი ფოლადები მაგნიტური თვისებების შესამჩნევ ცვლილებას ამჟღავნებენ გამოწრობიდანვე. ეს ხდება სტრუქტურის ნელი ცვლილების გამო, რომელიც ოთახის ტემპერატურაზე შეიძლება უსასრულოდ დიდხანს გაგრძელდეს. ეს ეფექტი შეიძლება დაჩქარდეს ხელოვნური დაძველებით 100°C ტემპერატურაზე რამდენიმე საათის განმავლობაში. ამ შემთხვევაში შემდგომი შესამჩნევი ცვლილებები ოთახის ტემპერატურაზე არ ხდება.

დისპერსიულად გამყარებული შენადნობები მუდმივი მაგნიტებისათვის პრაქტიკულად არ ცვლიან მაგნიტურ თვისებებს, რომლებიც მასალის სტრუქტურულ ცვლილებებს უკავშირდება გარემოს ტემპერატურაზე. ეს აიხსნება მათი თერმული დამუშავების ბუნებით, რომელიც ძალიან დიდ სტრუქტურულ მდგრადობას წარმოქმნის. მიუხედავად ამისა, თუ თერმული დამუშავებისას საბოლოო ტემპერატურა მაგნიტების მუშა ტემპერატურას უახლოვდება, მაშინ ორივე შემთხვევაში სტრუქტურული ცვლილებები მოხდება მაგნიტური თვისებების შესაბამისი შემცირებით.

ტემპერატურის, დარტყმების და ფანტვის ველების ზეგავლენა.

უშუალოდ დამაგნიტების შემდეგ, მუდმივ მაგნიტებში გამოყენებულ ყველა მასალაში ხდება ნარჩენი მაგნეტიზმის თვითნებური ვარდნა. მაგნიტური თვისებების დაკარგვა ზოგჯერ აღწევს 2%-ს, ამასთან უმეტესი ნაწილი ხდება დამაგნიტებიდან პირველ წუთებში.

მაგნიტში ვიბრაციის ან დარტყმების შედეგად წარმოქმნილი დამაბულობები იწვევს მაგნიტურ არამდგრადობას დომენების, რომლებიც არამდგრად მდგომარეობას იკავებს, ორიენტაციის შეცვლით. მიუხედავად ამისა, შედეგად მიიღწევა მდგრადი მდგომარეობა და შემდგომი ვიბრაცია და დარტყმები იმავე ძალით არ ახდენს შემდგომ ზეგავლენას. ამ შემთხვევაში იტყვიან, რომ მაგნიტი სტაბილიზირებულია ვიბრაციის და დარტყმების მიმართ.

კონტაქტი ფერომაგნიტურ სხეულებთან. მაგნიტის სხვა ფერომაგნიტურ სხეულებთან კონტაქტის საზიანო ზეგავლენა ბოლომდე არ არის ახსნილი. მიუხედავად ამისა, უეჭველია, რომ ასეთი კონტაქტი ცვლის მაგნიტის მაგნიტური ნაკადის გავრცელებას და მრავალჯერადი გამეორებისას შეიძლება შეამციროს თავდაპირველი დამაგნიტება 50%-მდე. ზოგ შემთხვევაში მაგნიტის ზედაპირის სხვა ფერომაგნიტურ სხეულებთან უშუალო კონტაქტისგან დასაცავად გამოიყენება დამცავი არამაგნიტური გარსაცმები.

გამოყენების უმეტეს შემთხვევებში მუდმივი მაგნიტი საკმარისად სტაბილიზირებული იქნება თუ მას მუშა პირობებში რამდენჯერმე მოვათავსებთ. მაშინ მუდმივ მუშა რეჟიმში მისი მაგნიტური თვისებები არ შემცირდება. თუ მუშა რეჟიმი არ არის მუდმივი, მაშინ მაგნიტისათვის დადგენილი უნდა იყოს ზღვრული შესაძლო სამუშაო პირობები. მაგნიტების მაქსიმალური მდგრადობისათვის გამზომ ხელსაწყოებში, ან იმ შემთხვევებში, როცა მაგნიტისაგან ნაკადის მკაცრად მოცემული მნიშვნელობა მოითხოვება, საჭიროა ნაწილობრივი განმაგნიტება ცვლადი ან მუდმივი ველით. ამასთან განმაგნიტებელი ველი უნდა აღემატებოდეს შესაძლო განმაგნიტებელ ველს მუშა რეჟიმში. შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ

მაგნიტები, რომლებმაც ჯეროვანი სტაბილიზაციის პროცესი გაიარეს, მდგრადი იქნება დროში თუ მათი ცვლილებისას მუშა რეჟიმი არ გამოვა დადგენილი საზღვრებიდან.

მაღალი სიმძლავრის მაგნიტების წარმოების პროცესი ტექნოლოგიურად ძალზე რთულია. ფხვნილისებრი მაგნიტური მასალა განსაზღვრულ ტემპერატურაზე და წინასწარ დადგენილი დროის განმავლობაში შეიცხობა სასურველი ფორმის მისაღებად. ეს პროცესი შემდგომში მდგრადად განსაზღვრავს მასალის თვისებებს. მასალა უკვე შეცხობის დროს შეიძლება გაიჭიმოს სასურველი მიმართულებით. შემდგომ ხორციელდება დამაგნიტება ძლიერ გარე ველში.

ყველა მაგნიტოგამტარი მასალა, დაწყებული ნახშირბადოვანი ფოლადებისაგან 4 კა/მ რიგის კოერციტიული ძალით და 800 ჯ/მ³ მაქსიმალური სასარგებლო ენერგიით და დამთავრებული მრავალკომპონენტური შენადნობებით 60 კა/მ რიგის კოერციტიული ძალით და 26400 ჯ/მ² ენერგიით, შეიძლება იქნეს გამოყენებული მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად. ზოგ შემთხვევაში გამოიყენება ისეთი მასალები, რომლებიც განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობის კოერციტიულ ძალას ($H_c = 400$ კა/მ-მდე) ფლობენ, თუმცა ისინი სხვა მასალებს სასარგებლო ენერგიის სიდიდის მხრივ ჩამორჩებიან. ამა თუ იმ მასალის შერჩევას განაპირობებს მუდმივი მაგნიტის დანიშნულება და მის მიმართ წაყენებული მოთხოვნები, ასევე ეკონომიკური და ტექნოლოგიური მოსაზრებები. ნებისმიერ შემთხვევაში ცხადია, რომ მაგნიტს უნდა ჰქონდეს მინიმალური ზომები (მასა) და ღირებულება, თუმცა ბევრ შემთხვევაში ეს ორი მოთხოვნა ერთმანეთის შეუთავსებელია. გარდა ამისა, თითოეული მათგანის გათვალისწინებით საჭიროა იმის გათვალისწინებაც, თუ როგორ

აისახება ეს იმ მოწყობილობის სხვა დეტალებზე, რომელშიც მუდმივი მაგნიტი შედის.

მასალის შერჩევასა საჭიროა აგრეთვე მექანიკური სიმტკიცის და განმამაგნიტებელი ველების მიმართ წინააღმდეგობის საკითხების გათვალისწინებაც, თუ ამ უკანასკნელს ადგილი ექნება.

მასალები, რომლებიც მუდმივი მაგნიტებისათვის გამოიყენება, მათი დამზადების ხერხების მიხედვით შეიძლება ექვს ძირითად ჯგუფად დაიყოს: ა) ჭედადი მასალები; ბ) დეფორმირებადი მასალები; გ) მასალები სხმული მაგნიტებისათვის; დ) მასალები მეტალოკერამიკული მაგნიტებისათვის; ე) ზოგიერთი სპეციალური მასალა კეთილშობილი ლითონების ბაზაზე [28, 32, 62, 72, 74].

ძირითადი მაგნიტურსალი მასალების მონაცემები, რომლებიც ჩამოთვლილ ჯგუფებს მიეკუთვნება და მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად გამოიყენება, მოყვანილია (ცხრილში 2.2).

ცხრილში 2.2-ზე მოყვანილია მუდმივი მაგნიტების ფარდობითი სიგრძეების მნიშვნელობები მოცემული დამამაგნიტებელი ძალის დროს, განივი კვეთების ფარდობითი სიდიდეები მაგნიტური ნაკადის მოცემული მნიშვნელობის დროს და მუდმივი მაგნიტის მასის ფარდობითი მნიშვნელობები სასარგებლო ენერჯის ერთეულზე განმამაგნიტების მრუდის ოპტიმალურ წერტილში მუშაობისას (მაქსიმალური სასარგებლო ენერჯის წერტილში).

ცხრილი 2.2. მუდმივი მაგნიტების შედარებითი მონაცემები მათი სხვადასხვა მაგნიტურსალი მასალებისაგან შესრულებისას

მუდმივი მაგნიტის მასალა	მუდმივი მაგნიტის ფარდობითი სიგრძე	მუდმივი მაგნიტის განივი კვეთის ფარდობითი სიდიდე	ფარდობითი მასა სასარგებლო ენერჯის ერთეულზე
ქრომირებული ფოლადი	11	1,6	17
ვოლფრამის ფოლადი	10	1,4	14
კობალტის ფოლადი	6,5	1,7	10
ალუმინი-ნიკელ-კობალტის შენადნობი	1	1	1
ალუმინი-ნიკელის შენადნობი	1,5	3,5	4
ბარიუმის ოქსიდის მაგნიტი	0,35	3,6	0,8

მუდმივი მაგნიტისაგან მოსალოდნელი მახასიათებლების მისაღებად ის სათანადოდ უნდა იქნეს დამაგნიტებული, ანუ უნდა შეიქმნას გარკვეული კონფიგურაციის და საჭირო სიდიდის დამაგნიტების ველი. დამაგნიტებას ახორციელებენ როგორც წესი სპეციალურ დამამაგნიტებელ აპარატებში, რომლებიც მუდმივი დენის ელექტრომაგნიტებს წარმოადგენს. ზოგჯერ ამისათვის იყენებენ მოწყობილობებს, რომლებიც ძლიერი ველების ადძვრის შესაძლებლობას იძლევა დიდი სიდიდის მუდმივი ან ცვლადი დენის იმპულსების ხარჯზე.

დამაგნიტების ამა თუ იმ ხერხის და ამისათვის მოწყობილობის შერჩევა განპირობებულია მაგნიტის ფორმითა და დანიშნულებით.

იმისათვის, რათა მუდმივ მაგნიტს მაქსიმალური ენერჯია ჰქონდეს, ის უნდა დამაგნიტდეს გაჯერებამდე. ამისათვის საჭირო მაგნიტური ველის დამაბულობა თეორიულად უსასრულობის ტოლი უნდა იყოს. ნარჩენი

ინდუქციის და კოერციტიული ძალის ზღვრული მნიშვნელობები პრაქტიკულად მიიღწევა მაგნიტური ველის ისეთი დამაბულობის დროს, რომელიც მასალის კოერციტიულ ძალას ხუთჯერ აღემატება.

მოწყობილობების, სადაც მუდმივი მაგნიტები გამოიყენება, მუდმივი მახასიათებლების შესანარჩუნებლად ამ მაგნიტების თვისებების ცვლილება დამაბულობის შემდეგ მინიმალური უნდა იყოს. ეს ცვლილებები შეიძლება მოხდეს გარე მაგნიტური ველების ზემოქმედებით, ტემპერატურის ცვლილებით, მექანიკური რყევით და ა.შ. [71, 74].

ამ ზემოქმედებათა საზიანო შედეგები ორი სახის შეიძლება იყოს. მასალის სტრუქტურის დარღვევის შემთხვევაში (სტრუქტურული დამბულობისას) მაგნიტური თვისებების აღდგენა შესაძლებელია მხოლოდ განმეორებითი თერმული დამუშავებით. იმ შემთხვევაში, თუ მაგნიტური თვისებების ცვლილება მხოლოდ გარე ფაქტორებით არის გამოწვეული, მაგნიტური თვისებების აღდგენა შესაძლებელი ხდება ხელმეორე დამაბულობით.

მუდმივი მაგნიტის მახასიათებლების მუდმივობის მისაღწევად საჭიროა მისი თვისებების სტაბილიზაციის ჩატარება მისი დამბულობის ყველა შესაძლო სახეობის გათვალისწინებით, იქნება ეს მაგნიტური თუ სტრუქტურული, გამომდინარე მოცემულ მოწყობილობაში მუდმივი მაგნიტის მუშაობის პირობებიდან.

მაგნიტების სტაბილიზაცია ყველაზე უფრო ხშირად ხდება ტემპერატურის ზემოქმედებით, ასევე განმამაგნიტებელი ველის მოდებით, რომელიც სიდიდით უნდა აღემატებოდეს მუშაობის პროცესში აღძრულ მაქსიმალურად შესაძლებელ ველებს [78].

2.3. მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავისათვის მაგნიტური მასალის შერჩევა

მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის კონსტრუირებისას პირველი ნაბიჯია მუდმივი მაგნიტების მასალის შერჩევა, რა დროსაც ძირითადი ყურადღება ექცევა შემდეგ პარამეტრებს:

- ნარჩენი მაგნიტური ინდუქცია B_r
- კოერციტიული ძალა H_c ;
- ენერგეტიკული ნამრავლი $(BH)_{max}$;
- ტემპერატურული კოეფიციენტები;
- დამამაგნიტებელი ძალა;
- თბური გაფართოება;
- მოცულობა და წონა;
- ღირებულება.

ეს პარამეტრები არ არის პრიორიტეტების მიხედვით დახარისხებული, ვინაიდან კონკრეტული გამოყენების დროს დგინდება რომელი მათგანია უფრო მნიშვნელოვანი. არსებობს აგრეთვე სხვა პარამეტრებიც, რომლებსაც მეორადი მნიშვნელობა გააჩნია. ისინი ზეგავლენას ახდენს მუდმივ მაგნიტებიანი ამძრავას პარამეტრებზე, რომლებიც შეიძლება უგულვებელვყოთ თუ კონსტრუქციის მთავარი მიზნები კმაყოფილდება.

ნარჩენი მაგნიტური ინდუქცია B_r . ეს სიდიდე წარმოადგენს განმაგნიტების მახასიათებლების გადაკვეთას ორდინატთა ღერძთან. ეს არის ნაკადის სიმკვრივის სიდიდე მაგნიტის ზედაპირზე როდესაც ის

მაგნიტურად სრულყოფილი გარემოთია გარშემორტყმული. ნარჩენი მაგნიტური ინდუქციის ფაქტიური სიდიდე, რომლის დროსაც მოწყობილობა მუშაობს, ნაკლებია B_r –ზე სხვადასხვა სიდიდით, რაც დამოკიდებულია მუშა წერტილზე განმაგნიტების მახასიათებლებზე.

მაქსიმალურ წერტილზე მუშაობისათვის საჭირო ღრეჩოს სიგანეს მაქსიმალურად ამცირებენ და იყენებენ საუკეთესო მაგნიტურ მასალას. მიუხედავად ამისა, ძალზე სასურველი იქნება თუ გამოვიყენებთ მაღალ ნაკადის სიმკვრივის მქონე მაგნიტს მაშინაც კი, როცა ზემოაღნიშნული კონსტრუქციული პარამეტრები ოპტიმიზირებულია. ეს კეთდება იმისათვის, რათა მაქსიმალურად გაიზარდოს ძრავას საჭირო ღრეჩოს ნაკადის სიმკვრივე. მუდმივ მაგნიტებიან ძრავებში წარმოქმნილი მაბრუნე მომენტი $M_{\text{მაბრ}}$ პირდაპირ პროპორციულია ნარჩენი მაგნიტური ინდუქციისა B_r :

$$M_{\text{მაბრ}} = c_1 B_r \quad (2.1)$$

აქედან გამომდინარე, დიდი B_r , რომელიც მიიღწევა ახალ მუდმივ მაგნიტებში, ამ მასალების მეტად მიმზიდველს ხდის და ქმნის ძრავების მაბრუნე მომენტის გაზრდის შესაძლებლობას მათი ზომის არსებითი ცვლილების გარეშე. მიუხედავად იმისა, რომ B_r ზომების გაზრდა ბრუნვის მომენტის შესაბამის გაზრდას იწვევს, B_r -ს და ბრუნვის მომენტს შორის არ არის წრფივი დამოკიდებულება და ცოეფიციენტი c_1 წარმოადგენს ცვლად სიდიდეს, რისი მიზეზია იმ მაგნიტური წრედის არაწრფივობა, რომელმაც ნაკადი უნდა გაატაროს [31]. მიუხედავად ამისა, მაღალი B_r მქონე მასალაზე ხელმისაწვდომობას უპირატესობა ენიჭება იმ სარგებელთან შედარებით, რაც ძრავას კონსტრუქციის ოპტიმიზაციას ახლავს თან.

კოერციტიული ძალა H_c ეს სიდიდე არის იმ გარე მაგნიტური ველის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა მაგნიტის სრული განმაგნიტებისათვის და B_r სიდიდის ნულამდე დასაყვანად.

ბუნებრივია, რომ რაც უფრო დიდია H_c , მით უფრო ძნელი ხდება მაგნიტის სრული განმაგნიტება. ამით ისეთი მაგნიტის მასალა, როგორცაა NdFeB, რომელსაც მაღალი H_c გააჩნია, ძლიერ მედეგი ხდება გარე ველების, როგორებიცაა ძრავებში მოკლედ ჩართვის დენებით ან საწყისი დენებით წარმოქმნილი ველები, განმამაგნიტებელი ზემოქმედების მიმართ.

ენერგეტიკული ნამრავლი $(BH)_{max}$ ეს პარამეტრი მიიღება სიდიდის და სიდიდის გამრავლებით თითოეული მუშა წერტილისთვის განმაგნიტების მახასიათებლებზე და ამ ნამრავლის მაქსიმალური სიდიდის შერჩევით. ვინაიდან მაგნიტური მასალების უმეტესობას მსგავსი მახასიათებლები გააჩნია, ანუ დაახლოებით 45° -იანი დახრილობა, ენერგეტიკული ნამრავლის მაღალი მნიშვნელობა შეიძლება გაგებულ იქნეს როგორც სიდიდეების B_r და H_c მაღალი მნიშვნელობები. მასალები, რომელთა მახასიათებლებიც არაწრფივია ან სხვა დახრილობა გააჩნია ამ განზოგადებიდან გამოირიცხება. მიუხედავად ამისა, ზოგიერთი დასკვნა შეიძლება შეეხოს ამ პარამეტრს, როცა იშვიათ მიწა და ფერიტის მაგნიტების გამოყენება ხდება, რომლებიც ძრავებში უმეტესწილად გამოიყენება.

დადგენილ იქნა [32], რომ ერთი მაგნიტის პოლუსის ნაკადი Φ იზრდება ენერგეტიკული ნამრავლიდან კვადრატული ფესვის პროპორციულად

$$\Phi = C_2 \sqrt{(BH)_{max}} \quad (2.2)$$

მუდმივი მაგნიტის პოლუსის ნაკადი Φ_p ზეგავლენას ახდენს ძრავას მაბრუნ მომენტზე ასევე, როგორც B_r . მაგალითად, ისეთი მუდმივი მაგნიტის გამოყენების უპირატესობა, რომლის $(BH)_{max}$ 25%-ით მეტია, ვიდრე სხვა იშვიათმიწა მაგნიტებისა, შეადგენს 12%-ს. მაგნიტის მოცემული მოცულობისათვის, მაბრუნ მომენტი იცვლება ენერგეტიკული ნამრავლის კვადრატის პროპორციულად [49]:

$$M_{აბრ} = c_3(BH)_{max}^2 . \quad (2.3)$$

კონკრეტულ ძრავაში მაგნიტური მასალის რაოდენობის განსაზღვრისას მაღალენერგეტიკულ მასალას ყოველთვის ენიჭება უპირატესობა. აღმოჩნდა, რომ მაგნიტის საჭირო მოცულობა $(BH)_{max}$ ნამრავლის სიდიდის ზრდის საწინააღმდეგოდ იცვლება მაქსიმალურ ენერგეტიკული ნამრავლის წერტილზე მუშაობისას

$$V_{მაგ} = c_4 \sqrt{(BH)_{max}} , \quad (2.4)$$

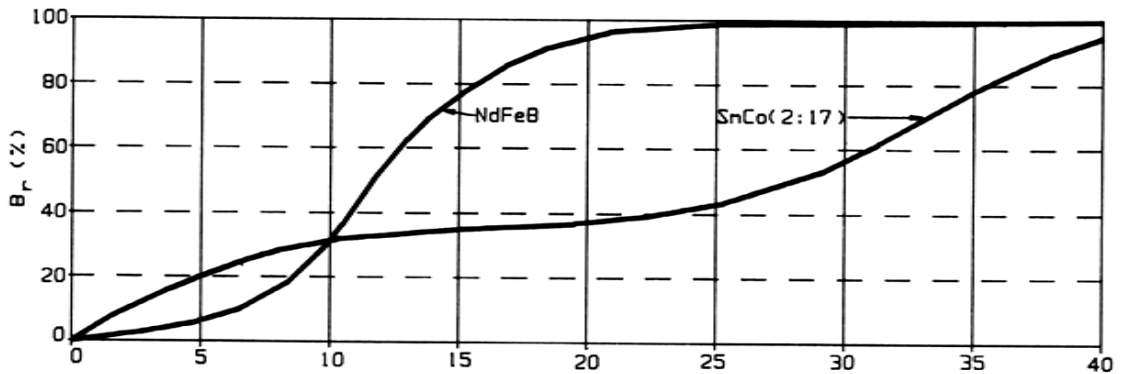
ამიტომ, გარდა იმისა, რომ სხვა იშვიათმიწა მასალებთან შედარებით ნაკლები რაოდენობის მასალის გამოყენებით ღირებულება მცირდება, ამ მასალის გამოყენებით ძრავას მთლიანი წონაც მცირდება და შესაძლებელი ხდება უფრო მაღალი კუთრი სიმძლავრის მიღწევა ძრავებში.

ტემპერატურული კოეფიციენტები: მაგნიტურ მასალებს აქვს კონკრეტული სიდიდეები იმ კოეფიციენტებისა, რომლებიც აღწერს ტემპერატურის ზეგავლენას სიდიდეებზე და განმაგნიტების მახასიათებლებზე. მაგნიტის მახასიათებლები შეიძლება მოცემული იყოს ერთ ტემპერატურაზე (ჩვეულებისამებრ 20°C-ზე) და კონსტრუქტორმა უნდა გაითვალისწინოს მახასიათებლებზე მუშა ტემპერატურების დიაპაზონის ზეგავლენა. მაგალითად, მასალებში NdFeB ნაკადის სიმკვრივე ვარდება 0,12%-ით ყოველ ერთ გრადუს ცელსიუსზე (ანუ 100°C-ის

დიაპაზონში 12%-ით იცვლება), ხოლო კოერციტიული ძალა კი ვარდება 0,58%-ით ყოველ ერთ გრადუს ცელსიუსზე (ანუ 100°C-იან დიაპაზონში 58%-ით იცვლება). ეს სიდიდეები მნიშვნელოვანი ხდება მაღალ ტემპერატურებზე თუ შევადარებთ სხვა იშვიათ მიწა მაგნიტებს (შესაბამისად, 0,09%/°C და 0,12%/°C), თუმცა შეიძლება მისაღები იყოს ამ მასალის გამოყენების შედეგად. კობალტიანი ნეოდიმუმის მაგნიტების გარკვეულ ფორმებს შეიძლება ჰქონდეს დაბალი კოეფიციენტები 0,07%/°C [41] და ამიტომ უფრო მეტად ხელსაყრელია მაღალ ტემპერატურებზე გამოსაყენებლად.

დამამაგნიტებელი ძალა – რეკომენდებული დამამაგნიტებელი ძალა წარმოადგენს გარე მაგნიტურ ძალას, რომელიც მასალას უნდა მოედოს მის სრულად გასაჯერებლად. ამის შემდეგ მასალა მუდმივი მაგნიტი ხდება და განმაგნიტების მახასიათებლებზე ექნება მუშა წერტილი, რომელიც განისაზღვრება გარშემორტყმული მაგნიტური წრედით. მაგნიტურ მასალას დამამაგნიტებელი ძალის ერთი კონკრეტული სიდიდე, რაზეც მითითება შეიძლება გაკეთდეს, არ გააჩნია. ეს უფრო დამამაგნიტებელი ძალის სიდიდეთა დიაპაზონია, რომელიც გაჯერების სხვადასხვა დონეს იძლევა. ეს ნაჩვენებია ნახ. 2-12-ზე იმ მასალისათვის, რომელიც აქ მაგალითის სახით გამოიყენება. ზოგ შემთხვევაში შეუძლებელია ძალზე დიდი ძალის გამომუშავება 100%-იანი დამაგნიტების უზრუნველყოფის მიზნით, მაგალითად შეზღუდული სივრცის გამო. მიუხედავად ამისა, მნიშვნელოვანი გაჯერების პროცენტული მაჩვენებლის მიღწევა შეზღუდული ძალის რაოდენობის პირობებში კვლავაც შესაძლებელი შეიძლება აღმოჩნდეს. NdFeB მასალას სხვა იშვიათმიწა მაგნიტებთან შედარებით უპირატესობა ენიჭება რადგან გაჯერების იმავე პროცენტული

მაჩვენებლის მისაღწევად ძალის ნაკლები სიდიდეს საჭიროებს. სხვა იშვიათმიწა მასალებში გაჯერების ზრდის სისწრაფე გაცილებით აღემატება NdFeB მაგნიტებისას, რაც ავიწროებს დასაშვები ძალის დიაპაზონს [39, 64, 106, 45].



ნახ. 2-10. დამაგნიტების მრუდები $B_r=f(F)$, გადაღებული მაგნიტის მწარმოებლის მიერ სხვადასხვა მასალისათვის; B_r - პროცენტებში, F - კილოერსტედტებში.

ცნობილია, რომ მუდმივი მაგნიტების ერთსახელა პოლუსები ერთმანეთთან მიახლოებისას განიზიდებიან, ხოლო სხვადასხვა ნიშნის მქონე პოლუსები ერთმანეთს მიიზიდავს. ამ ძალებს აღნიშნულ ძრავში ვიყენებთ სასარგებლო მუშაობის მისაღებად. ჩვენს შემთხვევაში მუდმივი მაგნიტები არ მოითხოვს ზედაპირების დამუშავების დიდ სიზუსტეს.

მაგნიტური ძრავას დამუშავების ერთერთ ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს ენერგეტიკულად და ეკონომიკურად ოპტიმალური მუდმივი მაგნიტების შერჩევა და შემდეგ მათი კონსტრუქციული პარამეტრების დაზუსტება. ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში აუცილებელია მუდმივი მაგნიტის მოცემულ სისტემაში მუშაობის პირობების გულმოდგინედ გაანალიზება, და ის თავისებურებები, რომლებიც ახასიათებს ამა თუ იმ

კონსტრუქციულ გადაწყვეტას, აუცილებელია მხედველობაში იქნეს მიღებული მუდმივი მაგნიტის გაანგარიშების და მასალის შერჩევის დროს.

განმაგნიტების მრუდის $B=f(H)$ დამოკიდებულების და ამ დამოკიდებულებიდან გამომდინარე ფერომაგნიტური მასალების პარამეტრების სირთულის გამო ყველაზე ხელსაყრელად ითვლება ყოველი კონკრეტული მასალისათვის ექსპერიმენტულად მიღებული მისი ძირითადი მონაცემების ცხრილის სახით მოყვანა. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა მასალისთვის მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები ნათლად ავლენს, რომ განმაგნიტების მრუდეები პრაქტიკისათვის საკმარისი სიზუსტით აღიწერება ტოლფერდა ჰიპერბოლებით ასიმპტოტებით, რომლებიც B და H ღერძების პარალელურნი არიან, და თუ გავითვალისწინებთ, რომ მრუდმა უნდა გაიაროს B_r და H_c წერტილებზე, მიიღება განმაგნიტების მრუდის ანალიტიკური გამოსახულება [97]:

$$B_0 = B_r(H_c - H_0) / (H_c - aH_0). \quad (2.5)$$

აქ ინდექსი “0” აღნიშნავს, რომ განსახილველი წერტილი იმყოფება განმაგნიტების მრუდზე, ხოლო ამოზნექილობის კოეფიციენტი a ამ განტოლებაში უდრის:

$$\alpha = \frac{B_r}{B_a} = \frac{H_c}{H_a} \quad (2.6)$$

სადაც B_a და H_a არის მანძილები ჰიპერბოლის ასიმპტოტებიდან კოორდინატთა საწყისამდე.

ჩვენს მიერ ჩატარდა საქართველოს და მეზობელი ქვეყნების ბაზრებზე ხელმისაწვდომი მაგნიტური მასალების მონაცემების შედარება,

კერძოდ კი ვადარებდით მათ ნარჩენ მაგნიტურ ინდუქციას B_r , (ტლ), კოერციტიულ ძალას შემაგნიტების მიხედვით H_c , (კა/მ), მაქსიმალურ ენერგეტიკულ ნამრავლს $(BH)_{max}$, (კჯ/მ³) და აგრეთვე მაქსიმალურ სამუშაო ტემპერატურას T , °C. ძირითადად შედარება ტარდებოდა სტრონციუმის ფერიტის, ბარიუმის ფერიტისა, ალნიკოსა (AlNiCo) და ნეოდმი-რკინა-ბორისათვის (NdFeB). უნდა აღინიშნოს, რომ NdFeB ბაზაზე დამზადებული მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური ენერგია დაახლოებით 10-ჯერ აღემატება სტრონციუმის და ბარიუმის ფერიტისგან დამზადებული მაგნიტების შესაბამის პარამეტერს, ხოლო მაგნიტური თვისებების სტაბილურობის ვადა 15 წელს აღწევს (ფერიტებთან იგი არ აღემატება 5 წელს). იშვიათმიწათა ლითონებისგან დამზადებული მაგნიტები იმავე ზომების შენარჩუნების შემთხვევაში ხასიათდებიან მაგნიტური ენერგიის მაღალი მნიშვნელობებით, ე.ი. მაგნიტური ენერგიის მნიშვნელობის პროპორციულად იზრდება მაგნიტური ნაკადი, მაბრუნე მომენტი ან წევის ძალა, ხოლო ძრავის სიმძლავრის მუდმივი მნიშვნელობის შენარჩუნებისას შესაბამისად მცირდება მისი გაბარიტები და მასა. ზოგიერთ შემთხვევაში მძლავრი მაგნიტების გამოყენება შესამჩნევლად ამცირებს ელექტრული ენერგიის ხარჯს. კოროზიის საწინააღმდეგო ზედაპირი შეიძლება იყოს შესრულებული ცინკის, ნიკელის, ქრომის ან ოქსიდირების მეთოდით. მაგრამ NdFeB-ს ბაზაზე მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური თვისებები მკვეთრად უარესდება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, რაც მათ ნაკლოვან მხარეს წარმოადგენს. ყოველივე ზემოაღნიშნულის საფუძველზე, ჩვენ პირველადი მაკეტის დამზადების დროს გამოყენებული ალნიკო შევცვალეთ ნეოდმი-რკინა-ბორის ბაზაზე დამზადებული მუდმივი მაგნიტებით, რომლებიც ხასიათდება ფასისა და ხარისხის ოპტიმალური

შეფარდებით, კერძოდ კი აღნიშნულ ძრავში ვიყენებთ მუდმივ მაგნიტებს, რომელთა მარკა არის AMT&C EN40 (იხ. ცხრილი 2.3) [108, 97].

ცხრილი 2.3. თანამედროვე მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური პარამეტრები

მასალა	მარკა	B_r , ტლ	H_{cJ} , კა/მ	$(BH)_{max}$, კჯ/მ ³	T_{max} , °C
ბარიუმის ფერიტი	8БИ230	0,20-0,22	220-230	7,5-8,5	250
	30БА170	0,40-0,42	160-170	30-32	250
სტრონციუმის ფერიტი	28CA270	0,38-0,40	220-230	28-30	250
FeCrCo	25X15КЮБИ	0,8-1,0	24-34	7,0-8,0	450
	25X15КЮБА	1,20-1,38	45-55	32-42	450
AlNiCo	ЮНДК35Т5	0,75-0,85	110-124	36-40	550
	ЮНДК35Т5БА	1,02-1,12	120-132	72-96	550
	ЮН13ДК25БА	1,25-1,40	44-60	36-64	550
SmCo ₅	КС37	0,86-0,92	>2000	140-166	250
Sm ₂ Co ₁₇	КС25Д5Ц2	1,06-1,14	>1760	220-240	300
NdFeB	AMT&C EN40	1,24-1,26	955-1592	287-302	80
	МАЕР33HsLs	1,14-1,18	>2150	255-270	200
	МАЕР33HsS	1,08-1,12	>1450	230-250	150

ჩატარებული კვლევების შედეგად დასაბუთებულია, რომ სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისათვის ყველაზე ხელსაყრელია ნეოდიმ-რკინა-ბორის NdFeB მასალისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტები, რომლებიც ხასიათდება ფასისა და ხარისხის ოპტიმალური შეფარდებით, თუმცა ამ მაგნიტებისათვის არსებობს გარკვეული შეზღუდვა მაქსიმალური მუშა ტემპერატურის თვალსაზრისით [23], რადგან NdFeB მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური თვისებები სწრაფად უარესდება, როდესაც გარემოს ტემპერატურა აღემატება 130°C, თუმცა ამ მაგნიტებს შეუძლიათ მუშაობა 220°C–მდე ტემპერატურაზე; კიურის ტემპერატურა დამოკიდებულია მაგნიტის მარკაზე და იმყოფება 310-340°C დიაპაზონში [119].

2.4. მუდმივი მაგნიტის შემცველი მაგნიტური წრედი

თუ მაგნიტური წრედი შედგება მუდმივი მაგნიტისგან, საჰაერო ღრეჩოსგან და მაღალი მაგნიტური შეღწევადობის მქონე გულარისგან, გულარის წინააღმდეგობა ჰაერისა და მუდმივი მაგნიტის წინააღმდეგობებთან შედარებით შეიძლება უგულებელვყოთ, რაც მოგვცემს ქვემოთ მოყვანილ ჩანაცვლების სქემას. რადგან წრედში ჩამოყალიბებული მდგომარეობა შეიძლება გამოსახულ იქნეს გრაფიკულად, და ამ დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჩვეულებრივად მუდმივი მაგნიტის მახასიათებლები მოყვანილია მომხმარებლის ათვლის მიმართულებით, ასე რომ, საჰაერო ღრეჩოსთვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გენერატორული სისტემა და მაშასადამე,

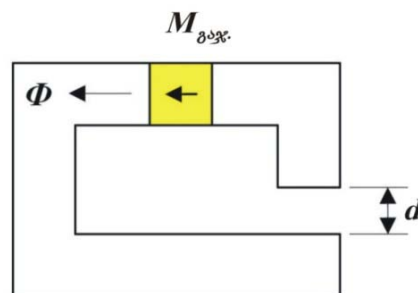
$$\theta = R_L \Phi \quad (2.7)$$

საჰაერო ღრეჩოს წრფე გამომდინარეობს ისეთი სახის, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 2-15-ზე. ეს გრაფიკული კონსტრუქცია შესაძლებელია გამოვსახოთ ან დიაგრამის საშუალებით, რომელიც მოგვცემს დამოკიდებულებას $\Phi = f(\theta)$, ან როგორც უშუალოდ მუდმივი მაგნიტის მასალის მახასიათებელი H -გან დამოკიდებულებაში. პირველ შემთხვევაში სწორხაზობრივი მახასიათებლების ნაზრდები განისაზღვრება მაგნიტის წინალობის მეშვეობით. უკანასკნელ შემთხვევაში ჯერ მიზანშეწონილია შემოვიღოთ მათი დამაგნიტებულობების განაყოფი

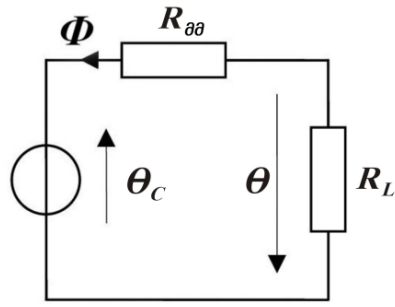
$$\alpha = \frac{R_{\theta\theta}}{R_l} = \frac{A_L l_{\theta\theta}}{A_{\theta\theta} l_L}, \quad (2.8)$$

რომელიც გვაძლევს საჰაერო ღრეჩოს წრფის ზრდას მუდმივი მაგნიტის მასალის მახასიათებლის ზრდასთან შედარებაში.

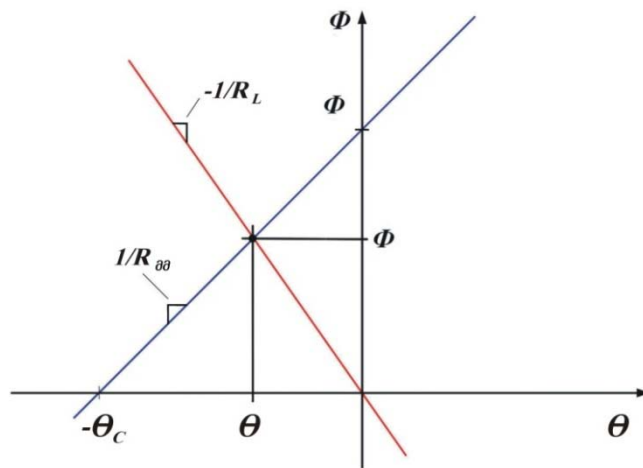
ექსტრემალური შემთხვევები: როდესაც $\alpha = \infty$ მაშინ ნაკადი იქნება $\Phi = \Phi_r$, და მაგნიტომამოძრავებელი ძალა $\theta = 0$. თუ გვაქვს დიდი საჰაერო ღრეჩო მაგნიტთან შედარებით, ე.ი. $\alpha = \infty$ მაშინ იქნება $\theta = \theta_c$ და ნაკადი $\Phi = 0$.



ნახ. 2-11. მაგნიტური წრედი მუდმივი მაგნიტით



ნახ. 2-12. მუდმივი მაგნიტისა და საჰაერო ღრეჩოსგან შემდგარი მაგნიტური წრედის ჩანაცვლების სქემა



ნახ. 2-13. მაგნიტისა და ჰაერის წინაღობათა მახასიათებლების გადაკვეთა [47,101].

2.5. მაგნიტური ძრავას მაგნიტური წრედის ანგარიში

მუდმივი მაგნიტების შემცველი მაგნიტური წრედის ანგარიშში იგულისხმება შესაბამისი მასალისგან (ჩვენს მიერ შერჩეულია NdFeB, იხ. პარაგრაფი 2.3) დამზადებული როგორც თავად მაგნიტის, ასევე მაგნიტური წრედის ცალკეული უბნების ზომების განსაზღვრა, რაც აუცილებელია:

1. ძრავას კონკრეტულ ნაწილში მაგნიტური ნაკადის Φ , ვბ, მოცემული სიდიდის განსაზღვრისათვის;
2. საჰაერო ღრეჩოში δ , 15-25 მ, ველის დაძაბულობის H , ა/მ, წინასწარ დავალებული სიდიდის უზრუნველსაყოფად.

რთული მათემატიკური დამოკიდებულებები, რომლებიც არსებობს მუდმივი მაგნიტის პარამეტრებს, მის ფორმასა და გეომერიულ ზომებს, მასალის მაგნიტურ თვისებებსა და გარე მაგნიტურ ველს შორის არის იმის მიზეზი, რომ დღემდე, მუდმივი მაგნიტების შემცველი მაგნიტური წრედების ანგარიშების მეთოდები არ არის სრულყოფილი, და უპირველეს ყოვლისა ეს ეხება მუდმივმაგნიტებიან მანქანებს, რომლებიც მუშაობენ დინამიკურ რეჟიმებში (ამუშავება, დატვირთვის სიდიდის და მუშაობის დროის ცვალებადობა, გამორბენი ან დამუხრუჭება, აგრეთვე ძრავას ტემპერატურის ცვალებადობა). ამის გამო, ჩვენ შევჩერდით ჩვენს მიერ დამუშავებული მაგნიტური ძრავას მიახლოებით, მაგრამ სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანების წევის ამძრავის ანგარიშის პრაქტიკული მიზნებისათვის სრულიად მისაღებ მეთოდზე.

მუდმივმაგნიტებიანი მაგნიტური წრედის ანგარიშს საფუძვლად დავუდეთ განმაგნიტების მრუდი. ამისათვის ვეცადეთ მიგველო ამ მრუდის ანალიტიკური გამოსახულება, რაც მკვეთრად გააადვილებს შემდგომი ანგარიშის მსვლელობას.

მაგნიტურსალი მასალის განმაგნიტების მრუდისათვის სამართლიანია განტოლება

$$B = \frac{B_r (H_c - H)}{H_c - \alpha H} , \quad (2.10)$$

რომელიც წარმოადგენს ტოლფერდა ჰიპერბოლის განტოლებას სწორკუთხა კოორდინატებში ცენტრით, რომელიც მდებარეობს ჰიპერბოლის ასიმპტოტებიდან $B'\alpha = B_r / \alpha$ და $H'\alpha = H_c / \alpha$ მანძილებზე.

განტოლება 2.10-ში B და H წარმოადგენენ მიმდინარე კოორდინატებს, ხოლო კოეფიციენტი α ახასიათებს განმაგნიტების მრუდის ამოზნექილობას და სიდიდით ყოველთვის ნაკლებია 1-ზე, თანაც რაც ნაკლებია α , მით ნაკლებია მრუდის ამოზნექილობა. როდესაც $\alpha=0$ -ს, განმაგნიტების მრუდი იქცევა წრფედ, ხოლო როდესაც $\alpha=1$ -ს, ვღებულობთ სწორკუთხედს. სიდიდე განისაზღვრება, როგორც შეფარდება

$$\alpha = \frac{B_r}{B_s} \quad (2.11)$$

და მას ნარჩენ კოეფიციენტს უწოდებენ. α -ს მნიშვნელობა განისაზღვრა განმაგნიტების ექსპერიმენტული მრუდიდან.

მუდმივი მაგნიტის გარე მაგნიტური ველის ენერგია მჟღავნდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც მაგნიტს აქვს გარე მაგნიტური წრედი, რომლის გამტარებლობა არ უდრის უსასრულობას. თუ მაგნიტს აქვს გარე მაგნიტური წრედი გარკვეული სიდიდის საჰაერო ღრეჩოთი δ მაშინ გარე მაგნიტურ წრედში მაგნიტური ნაკადის შესანარჩუნებლად საჭიროა თავისუფალი დამამაგნიტებელი ძალა, რომელსაც ავითარებს თავად მუდმივი მაგნიტი. ამ დროს ინდუქცია მაგნიტში მცირდება B_r სიდიდიდან რაღაც B_d სიდიდემდე, რომელსაც შეესაბამება მაგნიტური ველის დამაბულობა H_d . მაგნიტის დამამაგნიტებელი ძალა

$$F_d = H_d l \quad (2.12)$$

და იხარჯება მაგნიტური ნაკადის გარე წრედში გასატარებლად. მუშა წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება α კუთხით, B_d ინდუქციის

სიდიდით, მაგნიტის ფორმითა და ზომებით, აგრეთვე გარე მაგნიტური წრედის გამტარებლობით. α კუთხის ტანგენსი და, მაშასადამე, B_d სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს მუდმივი მაგნიტის ნაკადის Φ_d -ს სიდიდის და მისი სრული დამამაგნიტებელი ძალის H_d -ს გათვალისწინებით ფორმულიდან

$$tga_0 = \frac{\Phi_d}{F_d} = \frac{B_d S_g}{H_d l_g} = G_0 \quad (2.13)$$

სადაც S_g არის მაგნიტის განივი კვეთი, მ², l_g – მაგნიტის სიგრძე, მ, ხოლო G_0 – გარე მაგნიტური წრედის გამტარებლობა, სიმენსი, ფანტვის გამტარებლობის ჩათვლით. ამ გამოსახულებიდან ვღებულობთ

$$\frac{B_d}{H_d} = \frac{G_0 l_g}{S_g} = g_0 \quad (2.14)$$

სადაც g_0 არის მთელი მაგნიტური წრედის (შიგა და გარე) დაყვანილი გამტარებლობა. თუ ვიცით G_0 და მაგნიტის ზომები, tga_0 მეშვეობით ადვილია B_d -ს და H_d -ს განსაზღვრა.

თუ დავადგენთ განმაგნიტების ფაქტორს N -ს,

$$tg \alpha = \frac{B_d}{H_d} = 0,4\pi 10^{-6} \left(\frac{4\pi}{N} - 1 \right) \quad (2.15)$$

და საბოლოოდ (2.14)-ის და (2.15)-ის გათვალისწინებით ვღებულობთ

$$g_0 = \frac{B_d}{H_d} = 0,4\pi 10^{-6} \left(\frac{4\pi}{N} - 1 \right) \quad (2.16)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ g_0 და N არ არიან დამოკიდებულები გარე მაგნიტური წრედის გამტარებლობაზე და მაგნიტის ზომებზე.

ენერგია, რომელსაც მუდმივი მაგნიტი ავითარებს გარე სივრცეში ზოგად შემთხვევაში განისაზღვრება გამოსახულებით

$$A_v = \int_v \frac{HB}{2} dv \quad (2.17)$$

კერძო შემთხვევაში, როდესაც B და H მუდმივი სიდიდეებია, მუდმივი მაგნიტის მოცულობითი ენერგია

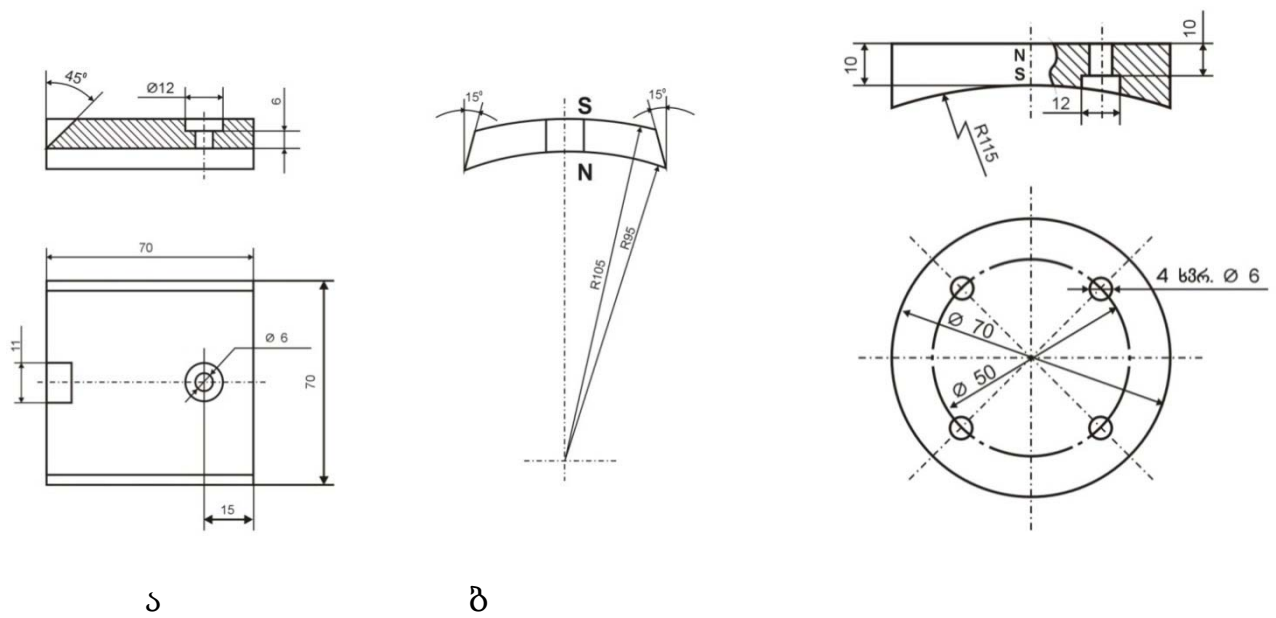
$$A_v = \frac{HB}{2} V, \quad (2.18)$$

სადაც V არის მუდმივი მაგნიტის მოცულობა, მ³.

A_v სიდიდის გაანგარიშება ზოგად შემთხვევაში მაგნიტის არაერთგვაროვანი მაგნიტური მდგომარეობის გამო ძალზე გართულებულია, რის გამოც B და H სიდიდეების ანგარიში ჩვენს მიერ ტარდებოდა მაგნიტის ნეიტრალური მდგომარეობისათვის. ამ დროს მიღებულ იქნა დაშვება, რომ მუდმივი მაგნიტის ყველა განივ კვეთში შენარჩუნებულია B და H იგივე მნიშვნელობები, რაც ნეიტრალურ განივ კვეთში.

იმისათვის, რათა ენერგიის თვალსაზრისით შეგვედარებინა სხვადასხვა მაგნიტები, ვისარგებლეთ ხვედრითი მაგნიტური ენერგიის ცნებით

$$A = \frac{A_v}{V} = \frac{BH}{2}, \text{ ჯოული/მ}^3. \quad (2.19)$$



ნახ. 2-14. (ა) ოთხკუთხედი მუდმივი მაგნიტი; (ბ) მრგვალი მუდმივი მაგნიტი

3. ამპრავის ექსპერიმენტული კვლევა

3.1. მაგნიტების ურთიერთქმედების ძალების განასაზღვრა მათ შორის არსებული მანძილების მიხედვით

ფაქტორები რომლებიც მოქმედებენ მაგნიტის ძალაზე, არის გაცხელება, რადიაცია, ძლიერი ელექტრული დენი მაგნიტის ახლოს, მაღალი ტენიანობა. NeFeB მაგნიტისათვის დამცავი ზედაპირის გარეშე, დარტყმა და ვიბრაცია არ ახდენს ზეგავლენას მაგნიტის სიძლიერეზე, სანამ არ ხდება მაგნიტის ფიზიკური დანგრევა, აქედან გამომდინარე მუდმივი მაგნიტის გამოყენება მობილური მანქანებში სრულიად შესაძლებელია, თუ მაგნიტი დაცული იქნება სხვა მაგნიტისაგან, მაღალი ტემპერატურისაგან და სხვა ფაქტორებისაგან, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებენ მაგნიტზე, ის ინარჩუნებს თავის მაგნიტიზმს პრაქტულად მუდმივად. თანამედროვე მაგნიტური მასალები კარგავენ თავის უმნიშვნელო ნაწილს თვისებებისას; მაგალითად, სამარიუმი-კობალტი SmCo 1%-ზე ნაკლებს 10 წლის განმავლობაში, მაგრამ 80°C-ზე კარგავს მაგნიტურ თვისებებს და შეიძლება საერთოდ განმაგნიტდეს, თუმცა ზოგჯერ მაგნიტები უძლებენ უზომოდ მაღალ ტემპერატურას. თუ მაგნიტური მასალა არ იყო დაზიანებული მაგნიტის გახურებით, რომლებაც დაკარგეს თავისი თვისებები ნაწილობრივ, შეიძლება ისევ დამაგნიტდეს პირველად მდგომარეობამდე. თუ დამზადებისას იყო სრულიად დამუხტული, ანუ მიაღწია მაგნიტურ მაქსიმუმს, მაშინ რეალურად უფრო ძლიერი დამუხტვა შეუძლებელია, თუ მაგნიტი პლასტია, შეიძლება მისი დაპრესვა (ე.ი მისი მოცულობის შემცირება და დამაგნიტების გაზრდა).

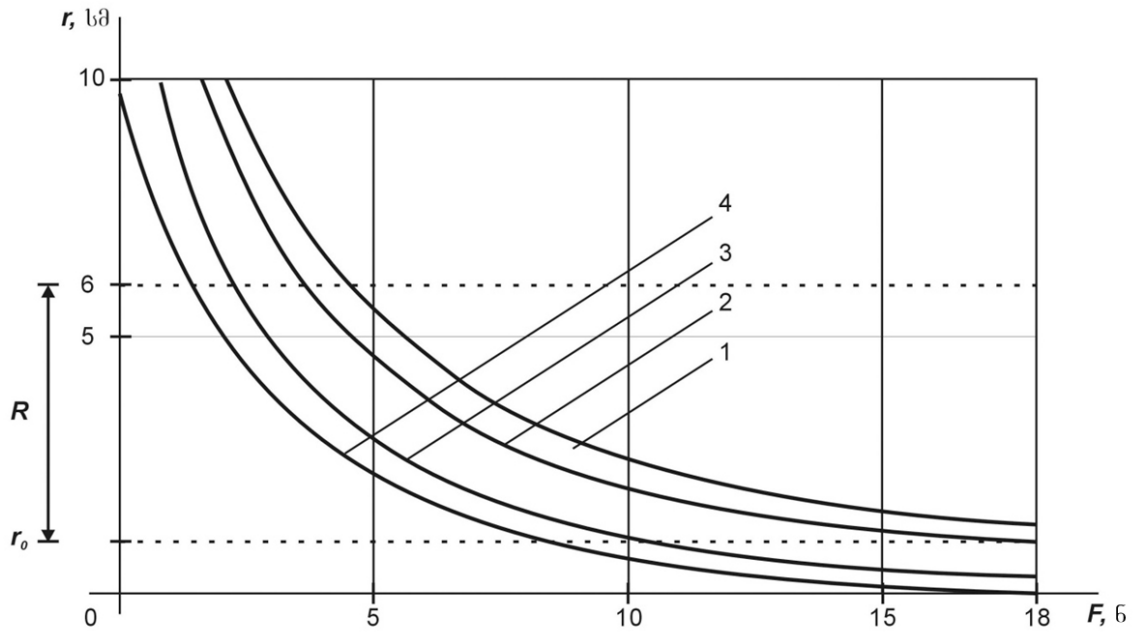
დღეისათვის ყველაზე ძლიერი მაგნიტია NeFeB, ანუ შეცხოვნილი მაგნიტი. მაღალი ტემპერატურის ექსპლუატაციის (150°C და ზევით) SmCo მაგნიტები შეიძლება იყოს უფრო ძლიერი ვიდრე NeFeB.

მუდმივი მაგნიტების ენერჯის გამოყენება წარმოადგენს აქტუალურ თემას თანამდეროვე ტექნიკაში. ჩვენს შემთხვევაში მუდმივი მაგნიტების ენერჯიას ვიყენებთ, როგორც მექანიკურ ენერჯიას, რაც მიიღება მუდმივი მაგნიტების მიზიდვა – განზიდვის ხარჯზე, მაგნიტის ენერჯის გარდაქმნით მექანიკურ მოძრაობად, კერძოდ ბრუნვით მოძრაობად. მიუხედავად იმისა, რომ მუდმივი მაგნიტების მიზიდვა – განზიდვით მიიღება მცირე ენერჯია, მათი შეკრებით შეიძლება მივიღოთ დიდი ენერჯია, რაც გამოყენებულია მაგნიტურ ძრავში [106].

განვიხილოთ მაგნიტურ ძრავაში გამოყენებული NeFeB მუდმივი მაგნიტის მახასიათებლები:

- ნარჩენი მაგნიტური ინდუქცია $B_r < 1,26$ ტესლა;
- დამაგნიტების ძალა $H_c < 1600$ კა/მ;
- ენერგეტიკული ნამრავლი $BH_{max} < 302$ კჯ/მ³;
- სამუშაო ტემპერატურა $T_{max} < 80^\circ\text{C}$.

მაგნიტური ძრავას კონსტრუქციაში, სწორხაზობრივად მოძრავი მუდმივი მაგნიტების დიამეტრია 70 მმ, ხოლო მბრუნავი მაგნიტების ზომებია 70X70მმ. თუ ავლნიშნავთ $r_0 + r$ –ით საშუალო მანძილს მაგნიტებს შორის, მაგნიტურ ძრავში $r_0 = 10$ მმ, და რადგან მუხლა ლილვის მუხლის სიმაღლე 25 მმ, $r = 25$ მმ, მანძილი იქნება $r_0 + r = 35$ მმ. ეს ის მანძილია, სადაც უნდა გავზომოთ მაგნიტების ურთიერთქმედების საშუალო ძალა $F_{საშ}$ (მიზიდვა – განზიდვა), რომელიც მაგნიტურ ძრავაში აღმოჩნდა 55 ნ ტოლი.



ნახ. 3-1. მაგნიტების ურთიერთქმედების ძალების განასაზღვრა მათ შორის არსებული მანძილების მიხედვით

1. ელექტრომაგნიტის ურთიერთქმედება მუდმივ NeFeB მაგნიტთან; 2. NeFeB მუდმივი მაგნიტის ურთიერთქმედება NeFeB მეორე მუდმივ მაგნიტთან; 3. AlNiCo მუდმივი მაგნიტის ურთიერთქმედება NeFeB მუდმივ მაგნიტთან; 4. AlNiCo მუდმივი მაგნიტის ურთიერთქმედება AlNiCo მეორე მუდმივ მაგნიტთან. აქ R – მბრუნავი მუდმივი მაგნიტის და სწორხაზობრივად მოძრავ მუდმივ მაგნიტს შორის მაქსიმალური მანძილი (ზედა მკვდარი წერტილი); r_0 – მბრუნავი მუდმივი მაგნიტის და სწორხაზობრივად მოძრავ მუდმივ მაგნიტს შორის მინიმალური მანძილი (ზედა მკვდარი წერტილი); მაგნიტებს შორის მინიმალური მანძილი 1 სმ; მაგნიტებს შორის საშუალო მანძილი 3,5 სმ; მაგნიტის რკალის სიგრძე R .

3.2. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას მუშაობის რეჟიმების

ექსპერიმენტული კვლევა

ძრავას მაკეტის დამზადების შემდეგ ექსპერიმენტული კვლევის ჩასატარებლად აწყობილ იქნა ლაბორატორიული სტენდი (ნახ. 3-2), რომელშიც მაგნიტური ძრავას M ლილვზე დატვირთვის მოსადებად გამოყენებული იქნა $S_g = 20$ კვა ნომინალური სიმძლავრისა, $U_{გწ} = 230$ ვ ნომინალური ძაბვის და $n_{გმაყს} = 1500$ წთ¹ ბრუნვის მაქსიმალური სიჩქარის მქონე OC-71-Y2 IM 1001 ტიპის სამფაზა, სინქრონული გენერატორი G . ექსპერიმენტების დროს ხდებოდა ისეთი ელექტრული სიდიდეების გაზომვა, როგორც არის დენი, ძაბვა, ელექტრული სიმძლავრე, გრაგნილების და რეოსტატის აქტიური წინაღობა, რისთვისაც გამოიყენებოდა მაღალი სიზუსტის კლასის მქონე ხელსაწყოები, თანაც გასაზომი სიდიდეების მნიშვნელობები იმყოფებოდა სკალის 20-80 %-ის ზღვრებში.

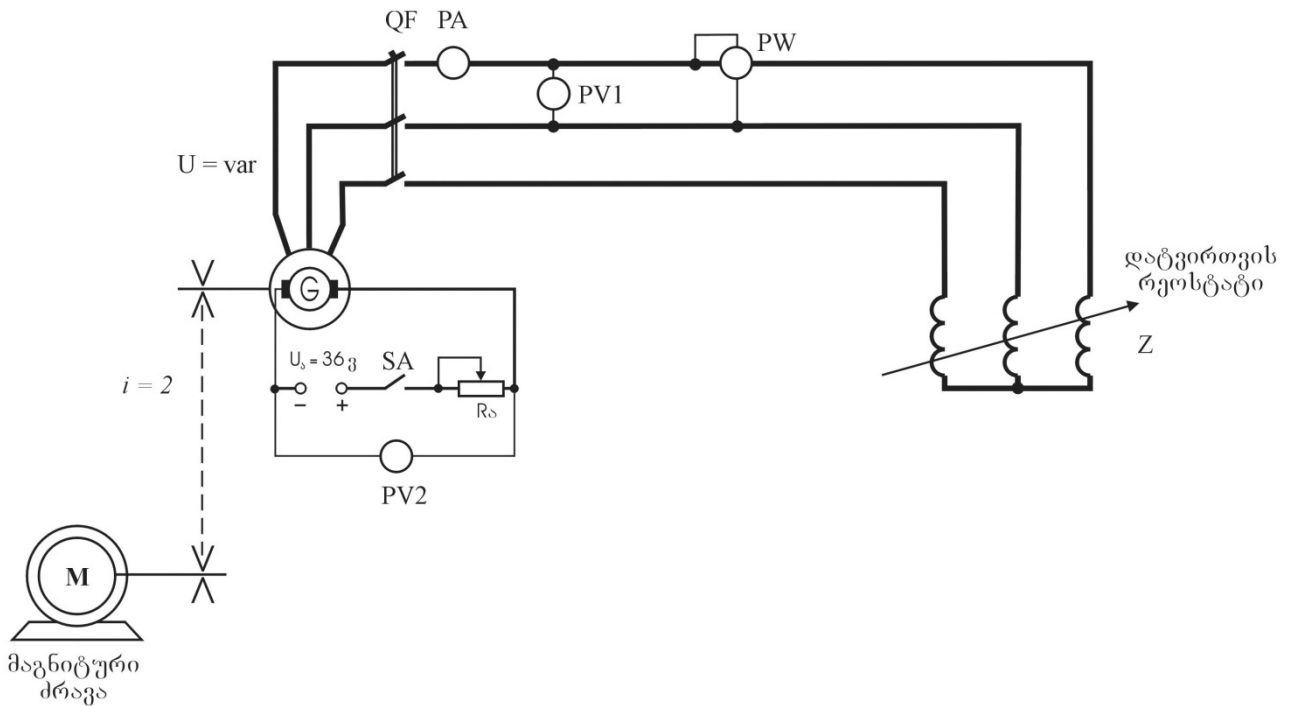
ანათვლები აიღებოდა ყველა ხელსაწყოდან ერთდროულად. ცდების დროს ბრუნვის სიხშირის გასაზომად გამოიყენებოდა Prova-RM1500 ტიპის სტრობოსკოპიული ტაქომეტრი. ცვლადი დენის წრედში გაზომვების ჩასატარებლად ჩართული იქნა $\Xi 8022$ ტიპის ვატმეტრი PW და ამპერმეტრი PA , აგრეთვე $\Xi 8021$ ტიპის ვოლტმეტრი PV . გენერატორის აგზნების გრაგნილი მიერთებული იყო $U_a = 36$ ვ მუდმივი ძაბვის წყაროზე, UR_a რეოსტატის საშუალებით ტარდებოდა გენერატორის ძაბვის U_g რეგულირება. მუდმივი დენის წრედში გაზომვებისათვის გამოყენებულ იქნა M42100 ტიპის ვოლტმეტრი PV . იმისათვის, რათა გამორიცხულ იქნეს სრიალი, მაგნიტური ძრავიდან გენერატორის ბრუნვით მოძრაობაში

მოყვანას ვაწარმოებდით $i=2$ გადაცემის რიცხვის მქონე ჯაჭვური გადაცემით.

მაგნიტური ძრავი მუშაობს შემდეგნაირად: მაგნიტური ძრავას ძირითადი ჩამრთველის ჩართვით ბრუნვას იწყებს მუდმივი დენის ძრავა, რომელიც აბრუნებს ცენტრალურ ლილვს, ბრუნვით მოძრაობაში მოდიან ელექტრომაგნიტური ქუროები, რომლებიც ცენტრალურ ლილვზე ხისტად არიან დასმულნი. მეორე ჩამრთველის ჩართვით ძაბვა მიეწოდება მაგნიტური ძრავის ელექტრულ სქემას და გადამწოდებს, რომლებიც საჭირო შემთხვევაში გადართავენ ელექტრომაგნიტურ ქუროებს, რის შედეგადაც საჭირო დროს დაბრუნდება მბრუნავი მაგნიტების დოლი, რომელიც მოდებაშია ელექტრომაგნიტურ ქუროსთან, შეიცვლება მბრუნავი მაგნიტების პოლარობა სწორხაზობრივად მოძრავი მაგნიტების მიმართ, ე.ი მოხდება განზიდულ მგომარეობაში მყოფი მუდმივი მაგნიტების მიზიდვა, ხოლო მიზიდულ მდგომარეობაში მყოფი მუდმივი მაგნიტები განეზიდებიან, რის გამოც მუდმივ მაგნიტებთან ბარბაცებით დაკავშირებული მუხლა ლილვები იწყებენ ბრუნვით მოძრაობას, მუხლა ლილვები ძალოვან ლილვთან დაკავშირებულნი არიან კბილანური გადაცემით, აქედან გამომდინარე ძალოვან ლილვზე ჯამდება მუხლა ლილვების ბრუნვის მომენტები.

მაგნიტური ძრავას პირველი ამუშავება ხდებოდა $n = 300$ წთ⁻¹ ბრუნვის სიხშირით, გარდამავლი პროცესების დამთავრების შემდეგ, გენერატორის ღუზაზე მიეწოდებოდა ძაბვა $U = 36$ ვ, შედეგად ვლებულობდით მის გამომავალ მომჭერებზე სიმეტრიულ ძაბვას; ხაზური ძაბვა $U = 93$ ვ, თითოეულ ფაზაში დენის ძალა $I = 43$ ა, და შესაბამისად, სრული სიმძლავრე $S=U =4$ კვტ. გენერატორის ძალოვანი მხარე

დატვირთულია აქტიური წინაღობით R , რომელიც ვარსკვლავურად არის ჩართული ქსელში. ცდის შედეგად მიღებული ანათვლები მოყვანილია № 3.1 ცხრილის პირველ სტრიქონში.

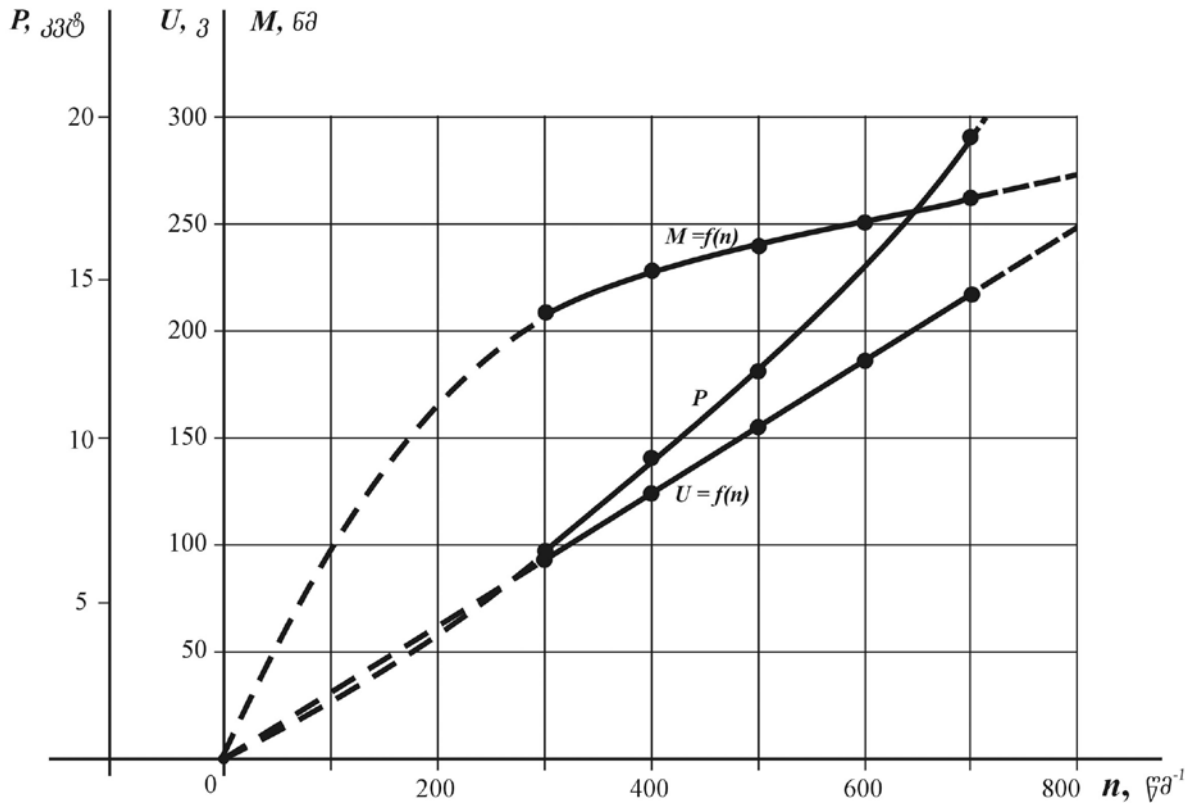


ნახ. 3-2. ექსპერიმენტული სტენდის სქემა

ცხრილი № 3.1. ამძრავის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები

ძრავას ბრუნვის სიჩქარე, $n_{ძრ}$	გენერატორის ბრუნვის სიჩქარე, $n_{გენ}$	გენერატორის ხაზური ძაბვა, U	დენის ძალა, I	აქტიური სიმძლავრე, P	სრული სიმძლავრე, S	მომენტი, M
წთ ⁻¹	წთ ⁻¹	ვოლტი	ამპერი	კვტ	კვა	ნმ

300	600	90...93	43... 45	3,8	4,0	121
400	800	120...124	45	5,4	5,6	134
500	1000	155	46	7,0	7,2	134
600	1200	186...189	49	8.9	9.2	142
700	1400	217	52	11,2	11,4	153



ნახ. 3-3. ძრავას ელექტრომექანიკური და მექანიკური მახასიათებლები

შემდეგ ანალოგიური მიმდევრობით ჩატარდა ცდები ბრუნვის სიხშირის $n_{ძრ} = 400 \dots 700$ წმ⁻¹ დიაპაზონისათვის. მიღებული შედეგების საფუძველზე ჩატარდა მაგნიტური ძრავას ლილვზე დაყვანილი მახრუნის მომენტის გაანგარიშება ფორმულით

$$M = 9550P/\eta \text{ გად } n_{ძრ}, \text{ ნმ}, \quad (3.1)$$

სადაც $\eta_{გად} = 0,95$ არის ჯაჭვური გადაცემის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, გენერატორის მიერ განხორციელებული სრული სიმძლავრე იანგარიშება ფორმულით

$$S = \sqrt{3} UI, \text{ კვა.} \quad (3.2)$$

ცხრილისა და ანგარიშის მონაცემების საფუძველზე აგებულ იქნა ექსპერიმენტული მრუდეები, რომლებიც მოყვანილია ნახ. 3-2-ზე. როგორც გამომდინარეობს მრუდეების ანალიზიდან, ბრუნვის სიხშირის განხილულ დიაპაზონში მაგნიტური ძრავა მუშაობს თითქმის მუდმივი, ოდნავ მზარდი მომენტიტ, რომელი იცვლება 120-დან 150 ნმ-მდე ზღვრებში, ანუ მომენტის ცვალებადობის დიაპაზონი იმყოფებოდა 25%-ის ზღვრებში. დამუშავებული პროგრამის და კვლევების ფორმულირებული მიზნის საფუძველზე ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა ცდებმა დაამტკიცა მაგნიტური ძრავას მაკეტის მუშაობისუნარიანობა და მოხდა ძრავაში მიმდინარე ფიზიკური პროცესებზე წარმოდგენათა დაზუსტება.

დადგენილი იქნა, რომ მაგნიტური ძრავას მუშა თვისებები შეესაბამება მოთხოვნებს. ამავე დროს გამოვლინდა კონსტრუქციის დასახვეწად აუცილებელი შემდგომი სამუშაოების მიმართულებანი, კერძოდ: სწორხაზობრივად მოძრავი მაგნიტის ზედა მკვდარ წერტილში გადამწოდის სწორი დარგულირება, რადგანაც მუდმივი მაგნიტების მოძრაობა ზედა მკვდარ წერტილში აღწევს ნულს, ამავდროულად გადამწოდის სიგნალი უნდა მიეწოდოს ზუსტად იმ მომენტში, როცა მუდმივი მაგნიტი იმყოფება ზედა მკვდარ წერტილში. ე.ი სწორხაზობრივად მოძრავი მუდმივი მაგნიტის მოძრაობა არის ნულის ტოლი, რადგან გადამწოდის ჩართვა მუდმივი მაგნიტის მოძრაობის გაჩერებამდე იწვევს მბრუნავი მაგნიტების დაძვრას შედარებით დიდი

კუთხით, რის გამოც მბრუნავი მაგნიტების და სწორხაზობრივად მოძრავი მაგნიტების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა, რაც იწვევს ძრავაში ენერჯის კარგვას [22].

4. ამპრავის თეორიული კვლევა

4.1. მუდმივი მაგნიტების ენერგეტიკული მაჩვენებლები

მუდმივი მაგნიტი წარმოადგენს წინასწარ დამაგნიტებულ ფერომაგნიტულ სხეულს, რომელსაც გააჩნია მნიშვნელოვანი ნარჩენი დამაგნიტებულობა M და რომელიც მაგნიტური ენერჯის წყაროს წარმოადგენს. იმისათვის, რათა გამოვიყენოთ მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური ენერჯია, მუდმივი მაგნიტების შემცველი მაგნიტური წრედები უნდა იყოს ღია, გაწყვეტილი, ე.ი. მათ უნდა გააჩნდეთ გარკვეული ზომის საჰაერო ღრეჩო. მაგრამ საჰაერო რღეჩო ამცირებს მუდმივი მაგნიტის ინდუქციას (და დამაგნიტებას). საჰაერო ღრეჩოს არსებობა თავისუფალი პოლუსების გამო ქმნის შიდა განმამაგნიტებელ ველს H_d , რომელიც ამცირებს ინდუქციას მაგნიტის შიგნით მნიშვნელობამდე B_d , რომელიც განსაზღვრავს მუდმივი მაგნიტის საჰაერო ღრეჩოში შექმნილი მაგნიტური ველის დაძაბულობას. იგი დამოკიდებულია მუდმივი მაგნიტის ფორმაზე, მასალის კოერციტიულ ძალაზე H_c და განმამაგნიტების მრუდის ფორმაზე. თავის მხრივ, მაგნიტურსალი მასალების თვისებები ხასიათდებიან განმამაგნიტების მრუდით, რომელიც წარმოადგენს ზღვრული ჰისტერეზისული მარყუჟის მონაკვეთს. რაც უფრო მეტია კოერციტიული ძალა H_c და მასალის ნარჩენი მაგნიტური ინდუქცია B_r , ე.ი. რაც უფრო მაგნიტურსალია მასალა, მით უკეთესია მუდმივი მაგნიტი. ინდუქცია მუდმივ მაგნიტში შეიძლება გაუტოლდეს უდიდეს ნარჩენ ინდუქციას B_r -ს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მაგნიტოგამტარი შეკრულია.

მუდმივი მაგნიტისადმი წაყენებული უმნიშვნელოვანესი მოთხოვნა მდგომარეობს იმაში, რათა მიღებულ იქნეს მაქსიმალური მაგნიტური ენერგია W_{mag} მუშა ღრეჩოში, რომელიც ტოლია

$$W_{mag} = B_d H_d V_d / 2, \quad (4.1)$$

სადაც V_d – მაგნიტის მოცულობა, მ³.

ხვედრითი, ე.ი. მაგნიტის მოცულობის ერთეულზე მოსული მაგნიტური ენერგია საჭაერო ღრეჩოში განისაზღვრება განმაგნიტების მრუდზე მუშა წერტილის მდებარეობით:

$$W_d = B_d H_d / 2. \quad (4.2)$$

რაც უფრო მცირეა მაგნიტის სიგრძე და დიდია საჭაერო ღრეჩო, მით დიდია პოლუსების განმაგნიტებელი მოქმედება და მცირეა B_d . შეკრული მაგნიტის შემთხვევაში ენერგია უდრის 0-ს, რადგან ასეთ შემთხვევაში $H_d=0$. თუ ღრეჩო მაგნიტის პოლუსებს შორის ძალზე დიდია, ენერგია ასევე მიისწრაფის ნულისკენ, რადგან ასეთ შემთხვევაში $B_d=0$. მუდმივი მაგნიტის მოქმედება ყველაზე მაღალეფექტიანია, ე.ი. მუდმივი მაგნიტის მიერ შექმნილი გარე ველი ხასიათდება უდიდესი მაგნიტური ენერგიით, როდესაც მაგნიტის მუშა წერტილს აქვს კოორდინატები B_d და H_d , და მაგნიტის მდგომარეობა შეესაბამება განმაგნიტების მრუდის წერტილს, რომელშიც აღინიშნება ნამრავლის $(BH)_{max}$ მაქსიმალური მნიშვნელობა. ასეთ შემთხვევაში მასალის მოცულობის ერთეულის მაგნიტური ენერგია W_{mag} აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. მაქსიმალური ენერგია საჭაერო ღრეჩოში W_{mag} მით უფრო დიდია, რაც მეტია ნარჩენი ინდუქცია, კოერციტიული ძალა და მასალის განმაგნიტების მრუდის ამოხნეკილობის კოეფიციენტი a

$$a = (BH)_{max.} / 2Br Hc. \quad (4.3)$$

მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურსალი მასალის თვისებების დასახასიათებლად იყენებენ დამოკიდებულებებს $B_M = \mu_0 M = f(H)$ ან $B = f(H)$, სადაც H არის გარე მაგნიტური ველის დაძაბულობა. ხოლო μ_0 - ვაკუუმის მაგნიტური შეღწევადობა და B - მაგნიტური ინდუქცია. თუ ცნობილია ამ დამოკიდებულებებიდან ერთერთი, მეორე მიიღება დამოკიდებულებებიდან

$$B = \mu_0 (M + H) = \mu_0 (\chi H + H) = \mu_0 (\chi + 1)H = \mu_0 \mu H, \quad (4.4)$$

სადაც χ არის მასალის მაგნიტური ამთვისებლობა, ხოლო μ - ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობა, და $\mu_a = \mu_0 \mu$ - აბსოლუტური მაგნიტური შეღწევადობა.

დამოკიდებულებები $B_M = \mu_0 M = f(H)$ და $B = f(H)$ წარმოადგენენ შესაბამისად დამაგნიტებულობის და ინდუქციის ჰისტერესისულ მრუდეებს (ნახ. 4-1). ტექნიკური გაანგარიშებებისათვის გამოიყენება მახასიათებელი $B=f(H)$. ასეთ შემთხვევაში მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურსალი მასალის თვისებები ხასიათდება ჰისტერეზისის ზღვრული მარყუჟით, რომელიც მიიღება მასალის გაჯერების მდგომარეობამდე დამაგნიტებით. ამ დროს ძირითადი მნიშვნელობა აქვს ჰისტერეზისის ზღვრული მარყუჟის ნაწილს, რომელიც მეორე კვადრანტში მდებარეობს და რომელსაც განმაგნიტების მრუდი ეწოდება (ნახ. 4-1-ის მეორე კვადრანტი). მუდმივ მაგნიტების დამაგნიტებულობა M მუშაობის ჩვეულებრივ დიაპაზონში შეესაბამება სრულ გაჯერებას და იქ პრაქტიკულად მუდმივი რჩება.

$$M = M_{გაჯ} = const. \quad (4.5)$$

ეს ნიშნავს, რომ ამ დიაპაზონში გვაქვს დიფერენციალური ფარდობითობითი შეღწევადობა

$$\mu_r = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} = 1, \quad (4.6)$$

მუდმივ მაგნიტს მისი მაგნიტური წინააღმდეგობის თვალსაზრისით აქვს ისეთივე მახასიათებლები, როგორც ჰაერსა ან ვაკუუმს. დამაგნიტების გაჯერების ტიპური სიდიდე NeFeB-სათვის

$$MM_{გაჯ} = 1,2 - 1,4 \text{ ტესლა}, \quad (4.7)$$

ხოლო SmCo-სათვის იგი უფრო მცირეა და არ აღემატება 0,9 ტესლას, მაშინ, როდესაც ფერიტებისათვის მცირდება 0,4 ტესლამდე.

შედეგად ნარჩენი მაგნიტური ინდუქციისათვის ვღებულობთ:

$$B_r = M_{გაჯ} . \quad (4.8)$$

კოერციტიული ძალისთვის გვაქვს

$$H_c = \frac{M}{\mu_0} . \quad (4.9)$$

შენარჩუნებული რჩება, რადგან ადვილი დამაგნიტების ღერძი ემთხვევა როგორც ტექსტურის მიმართულებას, ასევე დამამაგნიტებელი ველის მიმართულებას. ამის შედეგად ანიზოტროპული მასალების ნარჩენი დამაგნიტებულობა უახლოვდება გაჯერების დამაგნიტებულობას.

მუდმივი მაგნიტები, როგორც მაგნიტური ველის წყაროები, ხასიათდება შემდეგი პარამეტრებით [84, 102]:

1. *გაჯერების ინდუქცია B_s* და მისი შესაბამისი *მაგნიტური ველის დაძაბულობა H_s* . ეს სიდიდეები ახასიათებს მუდმივი მაგნიტის მასალის ე.წ. ტექნიკური დამაგნიტების მდგომარეობას, რომლის დროსაც დომენების დამაგნიტებულობის ყველა ვექტორი (მაგნიტური მომენტები) ორიენტირებულია გარე მაგნიტური ველის პარალელურად;
2. *ნარჩენი ინდუქცია B_r* - ინდუქცია, რომელიც წარმოიქმნება მაგნიტურსალი მასალისგან დამზადებულ მაგნიტში, რომელიც წინასწარ დამაგნიტებული იყო ტექნიკურ გაჯერებამდე, მას შემდეგ, რაც მოიხსნება დამამაგნიტებელი ველი. B_r -ის მნიშვნელობა თანამედროვე მაგნიტებში იმყოფება 1,5 ტესლამდე ზღვრებში, და რაც მეტია B_r , მით უკეთესია მუდმივი მაგნიტი;
3. *ინდუქციის მიხედვით კოერციტიული ძალა H_c* - განმამაგნიტებელი ველის დაძაბულობა, რომლის დროსაც ინდუქცია მაგნიტში ნულის ტოლი ხდება. რაც უფრო დიდია H_c , მით უფრო გამძლეებულია მაგნიტის განმამაგნიტება. თანამედროვე მუდმივ მაგნიტებში H_c აღწევს 100 კა/მ, ხოლო ნეოდიმის ბაზაზე დამზადებულ NeFeB მაგნიტებში - 1100 კა/მ-საც კი (იხ. ნახ. 4-3);
4. *დამაგნიტებულობის მიხედვით კოერციტიული ძალა H_{cm}* - განმამაგნიტებელი ველის დაძაბულობა, რომლის დროსაც წინასწარ

დამაგნიტებული მასალის დამაგნიტებულობა მცირდება ნულამდე. დამაგნიტებულობის მიხედვით კოერციტიული ძალა ყოველთვის აღემატება ინდუქციის მიხედვით კოერციტიულ ძალას, ე.ი. $H_{cm} > H_c$ (ნახ.). მაგნიტურსაღ მასალებს მიეკუთვნება მასალები, რომელთათვის $H_{cm} \geq 1000$ ა/მ;

5. მუდმივი მაგნიტის *მაგნიტური შეღწევადობა* μ_a განისაზღვრება მასალის გარკვეულ წერტილში ინდუქციის ამავე წერტილში მაგნიტური ველის დაძაბულობასთან შეფარდებით, თანაც $\mu_a = \mu_0 \mu$. თანამედროვე მუდმივ მაგნიტებს ახასიათებთ მცირე $\mu = 5 \dots 25$, მაშინ, როდესაც ელექტროტექნიკური ფოლადისთვის იგი აღწევს $\mu = (50 \dots 300) 10^3$;

6. *მაქსიმალური ხვედრითი მაგნიტური ენერგია* W_{max} – ეს არის ის მაქსიმალური ენერგია, რომელიც შეიძლება განავითაროს მუდმივი მაგნიტის მოცულობის ერთეულმა გარე სივრცეში. მაგნიტის ხვედრითი მაგნიტური ენერგია განისაზღვრება გამოსახულებით

$$W = 1/2BH, \quad (4.10)$$

სადაც H და B წარმოადგენენ განმამაგნიტებელი ველის დაძაბულობას და მის შესაბამის ინდუქციას.

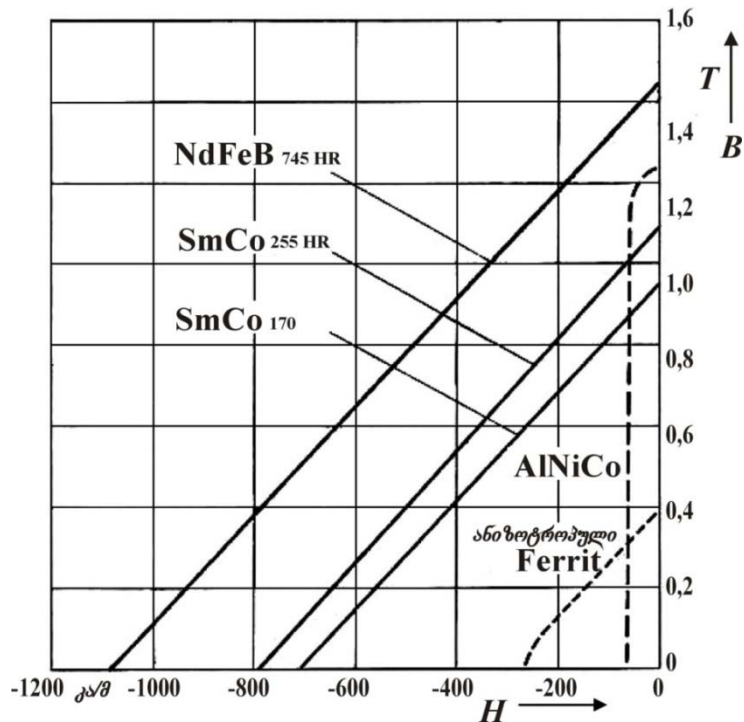
7. *მაგნიტური დაბრუნების კოეფიციენტი*. თუ ჰისტერეზისის ზღვრულ მარყუჟის ნებისმიერ წერტილზე, მაგალითად, განმამაგნიტების მრუდის ზღვრებში, ე. ი. მეორე კვადრანტში, შევცვლით მაგნიტში ველის დაძაბულობის H მონოტონურ ცვლილებას ციკლურით, დამოკიდებულება $B = f(H)$ შემოწერს კერძო ციკლის მარყუჟს, რომლის კონფიგურაცია დამოკიდებულია წერტილის მდებარეობაზე და დაძაბულობის ცვლილების სიდიდეზე. პრაქტიკულ გაანგარიშებებში კერძო ციკლის უმნიშვნელო და სიმრუდის გამო მას ჩვეულებრივად ცვლიან დაბრუნების წრფით (მონაკვეთი

DL, ნახ. 4-2), ხოლო ამ წრფის აბსცისთა ღერძის მიმართ დახრას ლებულობენ დაბრუნების კოეფიციენტის ρ_B ტოლად:

$$\rho_B = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \operatorname{tg} \beta \approx \mu_r \quad (4.11)$$

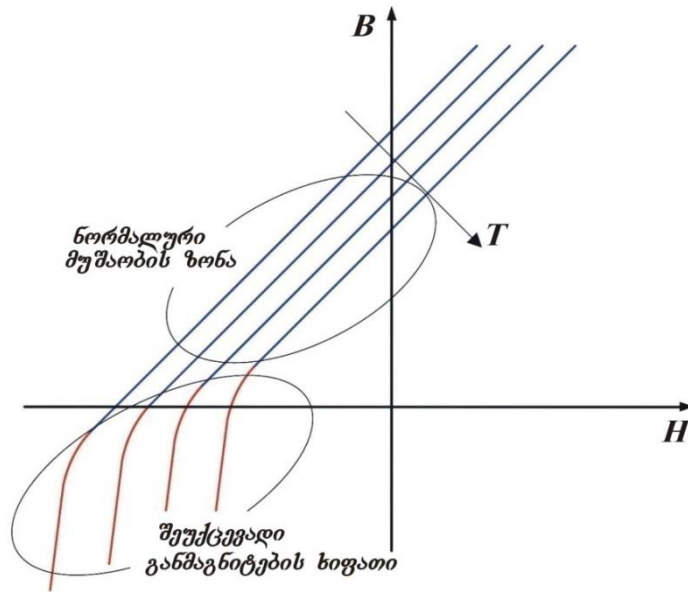
სადაც μ არის დაბრუნების, ან რევერსიული შეღწევადობა.

დაბრუნების წრფეების დახრილობა და, შესაბამისად მაგნიტური დაბრუნების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია განმაგნიტების მრუდზე დაბრუნების D წერტილის მდებარეობაზე. ინდუქციის გაზრდასთან ერთად დაბრუნების წრფეები უფრო დამრეცი ხდება და დაბრუნების კოეფიციენტი მცირდება, მაგრამ ეს შემცირება უმნიშვნელოა, რის გამო საკმარისი მიახლოებით შეიძლება ρ_B ჩავთვალოთ მუდმივად, რომელიც ტოლია ამ კოეფიციენტის სიდიდისა მაგნიტის ენერჯის მაქსიმუმის წერტილში. ამგვარად, შეიძლება მივიღოთ, რომ დაბრუნების კოეფიციენტი უდრის მხების დახრას განმაგნიტების მრუდის მიმართ წერტილში $B = B_r$, ($\rho_B = \operatorname{tg} \beta$).

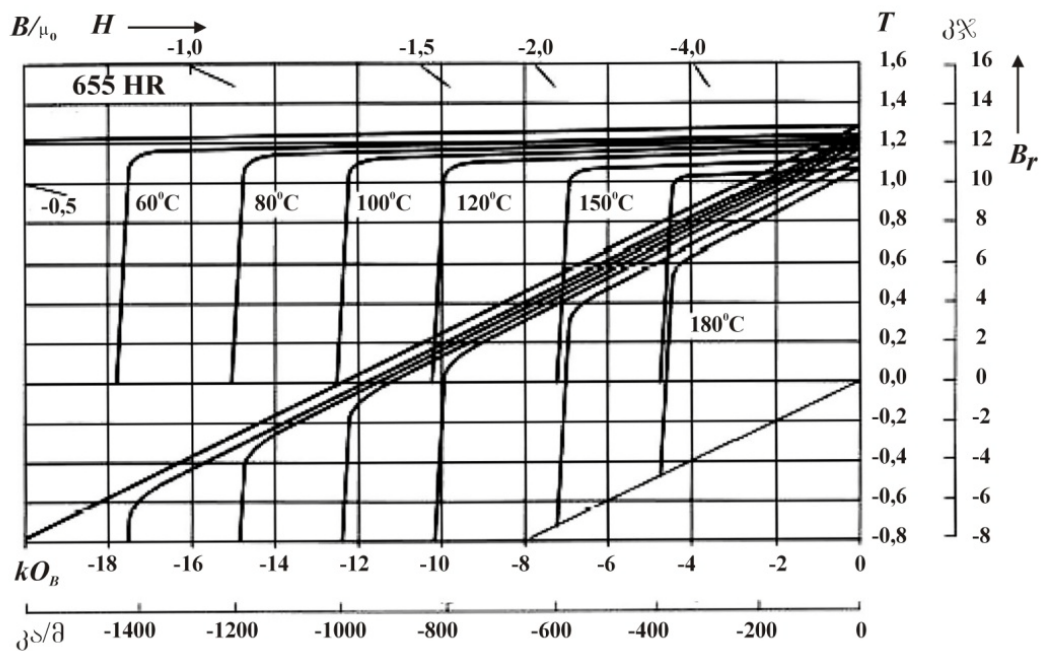


ნახ. 4-3. მუდმივი მაგნიტების სხვადასხვა მაგნიტური მასალების მახასიათებლები შექცევად დიაპაზონში. წყარო: Vakuumschmelze (ვაკუუმური შენადნობები)

მუდმივი მაგნიტების დამაგნიტების მახასიათებლები ძალზედ არიან დამოკიდებული ტემპერატურაზე და დამაგნიტება ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად მცირდება. თუ არ ხდება მაქსიმალური ტემპერატურის გადააჭარბება, გაცივების შემდეგ მასალა კვლავ უბრუნდება საწყის დამაგნიტებას. საბოლოოდ ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად შეუქცევადი დამაგნიტების მრუდის “მუხლი” ინაცვლებს მარჯვნივ და ზევით, ასე რომ დაზიანების რისკი იზრდება.



ნახ. 4-4. დამაგნიტების მახასიათებლის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (1. მუშაობის ნორმალური ზონა; 2. შეუქცევადი განმაგნიტების ხიფათი)



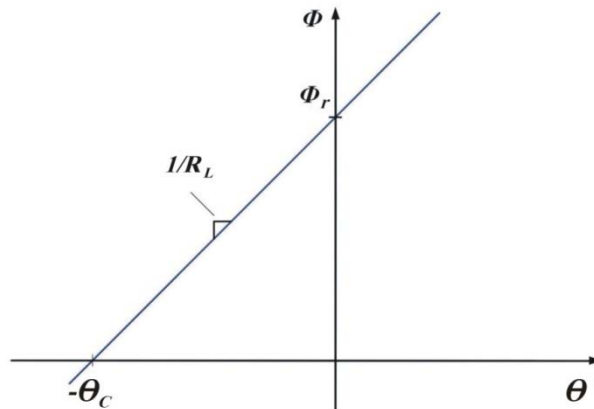
ნახ. 4-5. მაგნიტური ინდუქციის და დამაგნიტების ველის დამახლოებისგან დამოკიდებულებები NdFeB – მასალისათვის, ტემპერატურული მახასიათებლები (წყარო: ვაკუუმური შენადნობები)

მუდმივი მაგნიტის მასალისგან დამზადებული ელემენტისთვის, რომლის განივი კვეთის ფართობია $S_{\theta\theta}$ ხოლო სიგრძე $l_{\theta\theta}$, ერთგვაროვანი (ჰომოგენური) ველის თაობაზე მიღებული დაშვების შემთხვევაში მაგნიტური ნაკადის Φ მაგნიტომამოძრავებელ ძალაზე θ დამოკიდებულებისათვის, მასალის მახასიათებლის მასშტაბის შეცვლის შედეგად გამომდინარეობს

$$\Phi = S_{\theta\theta} B, \quad \theta = l_{\theta\theta} H \quad (4.12)$$

ასეთივე ხერხით შესაძლებელია განისაზღვროს ნარჩენი მაგნეტიზმის ნაკადი Φ_r და კოერციტიული მაგნიტომამოძრავებელი ძალა θ_c

$$\Phi = S_{\theta\theta} B_r, \quad \theta = l_{\theta\theta} H_c. \quad (4.13)$$



ნახ. 4-6. Φ მაგნიტური ნაკადის θ მაგნიტომამოძრავებელ ძალაზე (მმძ) დამოკიდებულება

დამაგნიტების მახასიათებლის შექცევადი არესათვის ნაკადის დამოკიდებულება ნაკადსა და მაგნიტომამოძრავებელ ძალას შორის იქნება

$$\theta = R_{\theta\theta} (\Phi - \Phi_r) \quad (4.14)$$

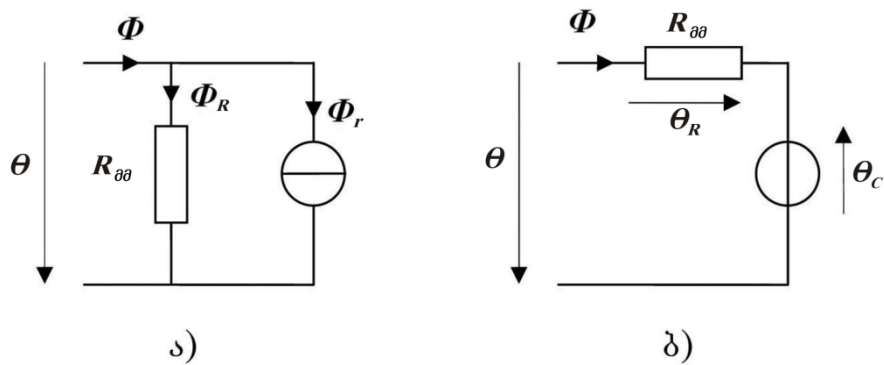
ან

$$\Phi = \frac{\theta + \theta_c}{R_{\theta\theta}}, \quad (4.15)$$

ამასთანავე,

$$R_{\theta\theta} = \frac{\theta_c}{\Phi_r} = \frac{l_{\theta\theta}}{\mu_0 S_{\theta\theta}} \quad (4.16)$$

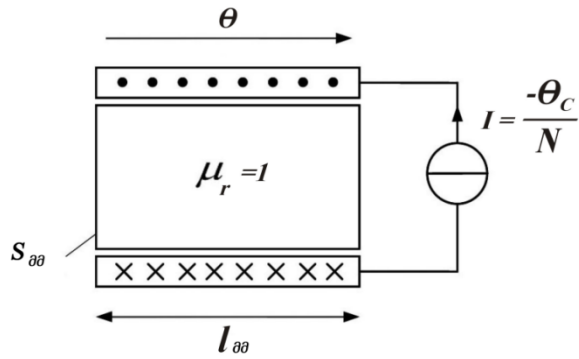
არის მაგნიტის მაგნიტური წინააღმდეგობა. ეს განტოლებები შეიძლება განხილულ იქნეს ჩანაცვლების მაგნიტური სქემის სახით ან ნაკადის წყაროთი Φ და პარალელურად ჩართული შიდა წინააღმდეგობით $R_{\theta\theta}$ (ნახ. 4-7, ა), ან ნაკადის წყაროთი Φ და მიმდევრობით ჩართული შიდა წინააღმდეგობით $R_{\theta\theta}$ (ნახ. 4-7, ბ).



ნახ. 4-7. მუდმივი მაგნიტის ჩანაცვლების სქემები

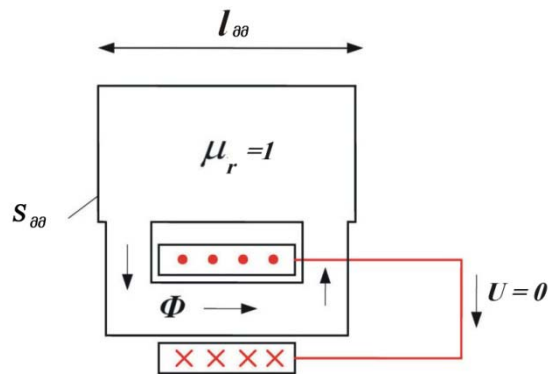
ჩანაცვლების სქემა 4-7, ბ შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ჰაერის გულარას და N ხვიას მქონე ელექტრომაგნიტი, რომელშიც გადის მუდმივი დენი

$$I = \frac{\theta_c}{N} \quad (4.15)$$



ნახ. 4-8. ჰაერის გულარიანი კოჭა მუდმივი დენით I როგორც მუდმივი მაგნიტის ექვივალენტი

ჩანაცვლების სქემა 4-7, ა ჰაერის წინააღობის ელემენტის სახით, რომლის პარალელურად ჩართულია მოკლედ შერთული კოჭა, რომელიც ატარებს Φ მაგნიტურ ნაკადს, ნაკლებად წარმოსახვითია.



ნახ. 4-9. ჰაერის ელემენტი პარალელურად ჩართული მოკლედ შერთული კოჭით, როგორც მუდმივი მაგნიტის ჩანაცვლების სქემა

ჰისტერეზისის დროს შემაგნიტების მახასიათებლებით შექმნილი ფართობები შეიძლება ინტერპრეტირებულ იქნეს როგორც შესრულებული მუშაობა, მაგრამ მათი უბრალო ინტეგრირება გავლილ გზაზე დამოუკიდებელ ენერგიებად შეუძლებელია, რადგან შეუქცევადი პროცესების დროს, განსაკუთრებით კი ჰისტერეზისის მარყუჟის სრული

შემოვლის დროს, შესრულებული გარე მუშაობა იკარგება გადამაგნიტების დანაკარგებზე. მაგრამ მახასიათებლის შექცევად არეში იგი არის ერთმნიშვნელოვანი. აქ ენერგია შეიძლება იდენტიფიცირებულ იქნეს, თანაც ამომავალი წერტილი (ინტეგრირების მუდმივა) შეიძლება შერჩეულ იქნეს ნებისმიერ ადგილას. შიგა ენერგია არის

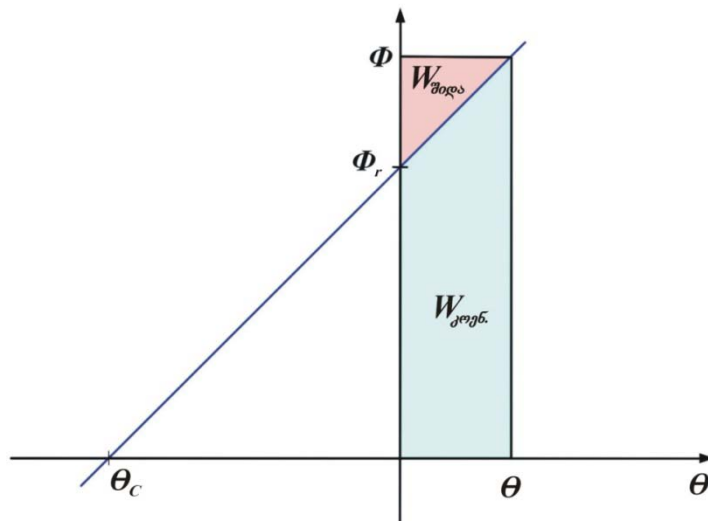
$$W_{შიგა} = \frac{I}{2}(\Phi - \Phi_r)\theta = \frac{R_{\theta\theta}}{2}(\Phi - \Phi_r)^2 \quad (4.17)$$

ხოლო კოენერგია მაშინ უდრის

$$W_{კოენ} = \Phi\theta - \frac{I}{2}(\Phi - \Phi_r)\theta = \frac{I}{2}(\Phi + \Phi_r)\theta = \frac{R_{\theta\theta}}{2}(\Phi^2 - \Phi_r^2) \quad (4.18)$$

ამასთანავე, გამოყენებულ იქნა აღნიშვნა

$$\theta = R_{\theta\theta}(\Phi - \Phi_r) \quad (4.19)$$

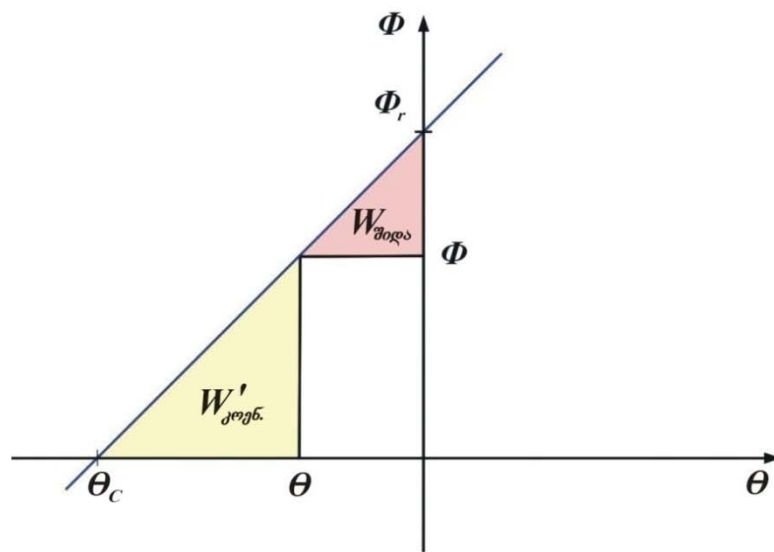


ნახ. 4-10. მუდმივი მაგნიტების შიგა ენერგია და კოენერგია

რადგან ფარდობითი მუდმივას შერჩევა გარკვეული ენერგიის დროს თავისუფალია, შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს აგრეთვე შეცვლილი კოენერგია

$$W'_{კოენ} = W_{კოენ} + \frac{I}{2}\Phi_r\theta_c = \frac{I}{2}\Phi(\theta + \theta_c), \quad (4.20)$$

რომელიც საწყისისგან განსხვავდება მხოლოდ გარკვეული მუდმივი სიდიდით. იგი შეიძლება ინტერპრეტირებულ იქნეს როგორც იმ სამკუთხედის ფართობი, რომელიც განლაგებულია $-\theta_c$ წერტილიდან ამომავალი შემაგნიტების მრუდის ქვეშ. ორივე ენერჯის ინტერპრეტაცია ჩვეულებრივ სამუშაო დიაპაზონში $-\theta \ll 0$ მდებარე წერტილისთვის გვაძლევს შემდეგ სურათს



ნახ. 4-11. შიგა ენერჯია და მოდიფიცირებული კოენერჯია

ამ ენერჯიების გამოსახულებების შედარება ზემოაღნიშნული ჩანაცვლების სქემების (ა) და (ბ) ვარიანტებთან გვაძლევს, რომ ნაკადის წყაროს შემცველი ჩანაცვლების სქემისათვის შიგა ენერჯია

$$W_{შიდა} = \frac{1}{2}(\Phi - \Phi_r)\theta = \frac{1}{2}\Phi_r\theta = \frac{\theta^2}{2R_{\theta\theta}}, \quad (4.21)$$

შეიძლება ინტერპრეტირებულ იქნეს როგორც $R_{\theta\theta}$ ფიქტიური წინაღობის ენერჯია, მაშინ, როდესაც ძაბვის წყაროს შემცველი ჩანაცვლების სქემა (ბ) ფიქტიური წინაღობის $R_{\theta\theta}$ ენერჯის სახით კოენერჯიას გვაძლევს.

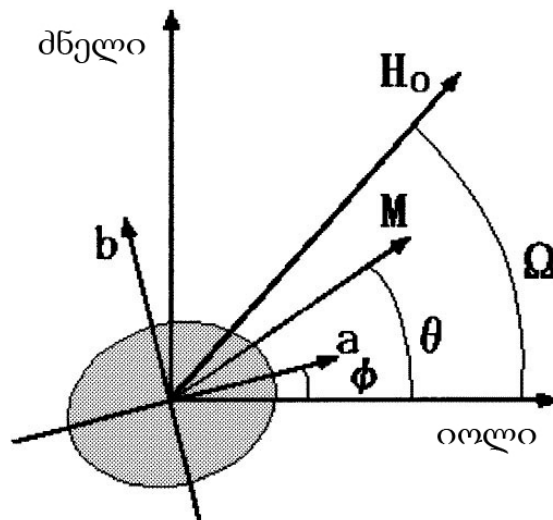
$$W_{\text{ჯოგე}} = \frac{1}{2} \Phi(\Phi + \Phi_c) = \frac{1}{2} \Phi \theta_R = \frac{1}{2} R_{\text{მმ}} \Phi^2 \quad (4.22)$$

ენერჯიის $W_{\text{ჯოგე}}$ გაანგარიშება, რომელსაც მუდმივი მაგნიტი ავითარებს გარე სივრცეში, ზოგად შემთხვევაში არაერთგვაროვანი მაგნიტური მდგომარეობის პირობებში გართულებულია. ამის გამო ჩვეულებრივად ენერჯიის გაანგარიშება ხდება B და H მნიშვნელობებისათვის, რომლებიც შეესაბამება მაგნიტის ნეიტრალურ განივ კვეთს. ამ დროს დებულობენ დაშვებას, რომ მაგნიტის სხვა განივ კვეთებში შენარჩუნებული იქნება B და H იგივე მნიშვნელობები, რაც მათ ნეიტრალურ განივ კვეთში გააჩნიათ. ცხადია, რომ B_r და H_c წერტილებისათვის მაგნიტის მიერ განვითარებული ენერჯია ნულის ტოლი იქნება.

4.2. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას მაგნიტური ველის ანალიზი

ზოგადად მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური თვისებების ახსნა ხდება მასალებში მაგნიტური ველის დაძაბულობის H ვექტორსა და დამაგნიტების M ვექტორს შორის დამოკიდებულების საფუძველზე. იმ მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური ველის ანალიზი, რომლებიც ერთლერძიანი ანიზოტროპიის მქონე მაგნიტურსალი მასალისგანაა დამზადებული, მოითხოვს დიდი რაოდენობით მონაცემებს დამაგნიტების ორგანზომილებიანი მრუდებიდან, ვინაიდან ასეთ მასალაში M და H ვექტორები ყოველთვის არაა ერთმანეთის პარალელური. გარდა ამისა, ანალიზს ართულებს ის, რომ ძლიერი ანიზოტროპიის მქონე მაგნიტურსალი NdFeB შენადნობში შეუძლებელია M ვექტორის შიგა განაწილების პირდაპირი გაზომვა შემთხვევითი მიმართულებით და ეს

განაწილება უნდა ჩაითვალოს უცნობ სიდიდედ. [42]-ში განხილულია მაგნიტური ველის ანალიზის მეთოდი, რომელიც მხოლოდ ორი სახის მონაცემებს მოითხოვს დამაგნიტების მრუდიდან, რომლებიც მაგნიტურსალი მასალის იოლი და ძნელი დამაგნიტების მიმართულებებით იზომება (ნახ.4-12).



ნახ. 4-12. ვექტორული დამოკიდებულების განსაზღვრა.

როდესაც გარე მაგნიტური ველის დამაბულობის H_0 ვექტორი აღძრავს M ვექტორს, მოცულობითი თავისუფალი ენერგია გამოისახება როგორც

$$W_{\omega} = \int_0^M H_0 dM - MH_0 \quad (4.23)$$

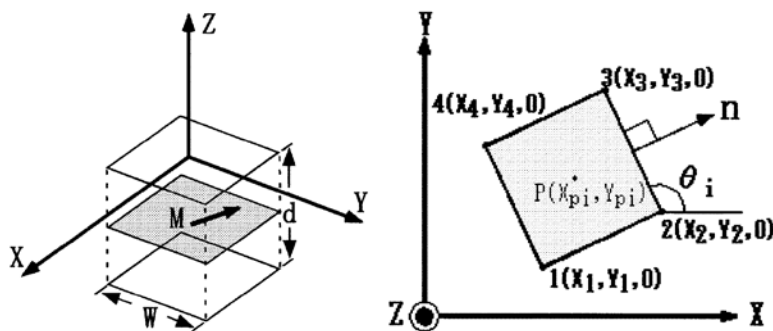
თავისუფალი ენერგიის გაანგარიშებისას საჭიროა ვექტორის $M=f(H_0)$ მახასიათებელი, რომელიც მოიცავს მასალის ფორმის ეფექტსაც. ამიტომ ეს მრუდი მიღებულ უნდა იქნეს ყოველ ელემენტზე და განმაგნიტების ფაქტორის გათვალისწინებით. ის შეიძლება გამოსახულ იქნეს შემდეგნაირად:

$$W_{\omega} = -\frac{1}{2} H_d M + \int_0^M H_{eff} dM - MH_0 = -\frac{1}{2} H_d M + \int_0^{M_e} H_e dM_e + \int_0^{M_h} H_h dM_h - MH_0 \quad (4.24)$$

სადაც H_d განმაგნიტების ველის ვექტორია, ხოლო H_{eff} - ეფექტური ველის ვექტორი, ინდექსები "e" და "h" წარმოადგენს შესაბამისად დამაგნიტების იოლი და ძნელი მიმართულებების მაგნიტური ველის მდგენელებს.

გამოსახულების (4.24) გასაანგარიშებლად საჭირო $M=f(H_{eff})$ მახასიათებელი, რომელიც აისახება ორი $M_e=f(H_e)$ და $M_h=f(H_h)$ მრუდით. განმაგნიტების ფაქტორის ძირითადი ღერძები აღინიშნება როგორც a და b ღერძები. ნახ. 4-12-ზე ნაჩვენებია ძირითადი სფეროიდალური მაგნიტური სხეული ერთგვაროვან ეფექტურ ველში H_{eff} , რომლის საკუთარი ენერგია U გამოისახება შემდეგნაირად:

$$W_{\omega} = \frac{1}{2\mu_0} \left[(N_a + (N_b - N_a) \sin^2(\theta - \varphi)) M^2 + \frac{1}{2\mu_0} \left[\frac{1}{x_e} + \left(\frac{1}{x_h} - \frac{1}{x_e} \right) \sin^2 \theta \right] M^2 - MH_0 \cos(\Omega - \theta) \right] \quad (4.25)$$



ნახ. 4-13. მართკუთხა ელემენტი.

სადაც χ_e და χ_h წარმოადგენს შესაბამისად იოლი და ძნელი მიმართულებების მაგნიტურ ამთვისებლობას. N_a და N_b ($N_a < N_b$) წარმოადგენს განმაგნიტების კოეფიციენტს a-ღერძზე და b-ღერძზე. Ω \square θ და φ გამოისახება ისე როგორც ნახ. 4-12-ზეა ნაჩვენები.

a-ღერძი ადგენს φ კუთხეს ადვილი ღერძიდან. ჯამური ენერგია მინიმუმამდე მცირდება შემდეგი პირობებით: $dW_{\omega}/dM=0$, $dW_{\omega}/d\Omega=0$, დამაშინ მიიღება, რომ

$$\left[(N_a + (N_b - N_a) \sin^2(\theta - \varphi)) \right] + \left[\frac{1}{\chi_e} + \left(\frac{1}{\chi_h} - \frac{1}{\chi_e} \right) \sin^2 \theta \right] M - H_0 \cos(\Omega - \theta) = 0, \quad (4.26)$$

$$\frac{M}{2\mu_0} (N_b - N_a) \sin^2(\theta - \varphi) + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\chi_h} - \frac{1}{\chi_e} \right) M \sin 2\theta - H_0 \sin(\Omega - \theta) = 0, \quad (4.27)$$

ორი სახის დამაგნიტების მრუდის $M_e=f(H_e)$ და $M_h = f(H_h)$ გამოყენებით შეიძლება ამ ორი ტოლობის ამოხსნა. ეს მრუდები შეიძლება მიღებულ იქნეს ორი მიმართულების, "e" და "h", გაზომვით. ამიტომ, ზემოაღნიშნულ პროცედურაში შეიძლება ანალიზი ჩატარდეს საწყისი დამაგნიტების პროცესს. ტოლობა (4.27) წარმოადგენს სთონერ-უოლფარტის ტოლობას ორი სახის ანიზოტროპიული ველით: ფორმის მაგნიტური ანიზოტროპიის ველით და შიდა ანიზოტროპიული ველით.

4.3. დაპროექტების სტადიაზე ამძრავის საიმედოობის გაანგარიშება და საიმედოობის ამაღლების ღონისძიებათა დასახვა

თანამედროვე ტექნიკის ერთ-ერთ თავისებურებად მიჩნეულია ის გარემოება, რომ წლითიწლობით იზრდება ცალკეული სამუშაოების ელექტრომექანიზაციის და ავტომატიზაციის კუთრი წილი და მანქანათა სირთულის დონე. ბუნებრივია, ასეთ პირობებში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მანქანათა ხარისხობრივ მაჩვენებლებს, რომელთა შორის საიმედოობის მაჩვენებლები ფუნქციონირების, ეკონომიურობის და უსაფრთხოების მაჩვენებლებთან ერთად უმნიშვნელოვანესია მანქანის ხარისხობრივი შეფასების დროს.

სასოფლო-სამეურნეო მანქანათა არასაკმარისი საიმედოობა აქვეითებს მათი გამოყენების ეფექტიანობას, რაც განპირობებულია სეზონურობის პირობებში სამუშაო დროის მოცდენებით და მწარმოებლურობის შემცირებით აღდგენაზე დროის დანაკარგების გამო, ხოლო ცალკეული დეტალების და კვანძების ზედმეტი საიმედოობა ასევე არ იძლევა დადებით ეფექტს, ვინაიდან, იგი მართალია ამაღლებს მთლიანად მანქანის ან კომპლექსის მწარმოებლურობას, მაგრამ ამასთან ზრდის მის თვითღირებულებას მასალის გადახარჯვის ან დამატებითი ტექნოლოგიური ოპერაციების ჩატარებისათვის საჭირო დანახარჯებით. ამ პარაგრაფში განიხილება სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისთვის განკუთვნილი და საქართველოს პატენტით [21] დაცული მაგნიტური ძრავას ბაზაზე შექმნილი ამძრავის საიმედოობის გამოკვლევა.

სწრაფად განვითარებადი ტექნიკური პროგრესის ამოცანებიდან გამომდინარე, სულ უფრო აქტუალური ხდება მანქანათა და

მოწყობილობათა საიმედოობის ამაღლების საკითხი. საიმედოობის თეორიის თანამედროვე მდგომარეობა შესაძლებელს ხდის ანგარიშის საფუძველზე განისაზღვროს დეტალების და მთლიანად მანქანის საიმედოობის დადგენილი დონის უზრუნველყოფის ეფექტიანი გზები მანქანის დაპროექტების სტადიაზეც კი [6, 8, 9, 20].

საიმედოობის ეკონომიკურად და ტექნიკურად მიზანშეწონილი დონის მიღწევა სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანის ჩვენს მიერ დამუშავებული მაგნიტური ამპრავისათვის შესაძლებელია საიმედოობის ნორმირებული მაჩვენებლების შერჩევისა და მათი რეგლამენტირების საფუძველზე, ძრავის გამოყენების რეჟიმების, გარემოს პირობების და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით.

ელექტრომექანიკური სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლების ნომენკლატურისა და რიცხობრივი შეფასებისათვის სარგებლობენ იმ კრიტერიუმებით, რომლებიც ყველაზე უფრო სრულად წარმოაჩენენ ობიექტის საიმედოობის ძირითად თვისებებს და მახასიათებლებს მანქანის მუშაობის პროცესში. მუდმივმაგნიტებიანი ამპრავისათვის საიმედოობის საზომად ჩვენს მიერ მიღებულია მისი მუშაობის მტყუნებათა ინტენსიურობა λ . საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასება შესრულებულია სტატისტიკური მეთოდების და მიახლოებითი გამოთვლების გამოყენების გზით.

მანქანების კონსტრუირების პროცესში ინფორმაციები უმნიშვნელოვანესია. ამასთან ობიექტის წინასწარ დასახული საიმედოობის მაჩვენებლების მიღწევას განაპირობებს გაანგარიშებების სიზუსტე და გამოყენებული მეთოდების მართებულობა.

ამრიგად, ახალი ობიექტის დაპროექტების დროს მხოლოდ ანალიზური დამოკიდებულებების საშუალებით შეიძლება საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრა და კავშირის დამყარება საიმედოობის მაჩვენებლებსა და ისეთ პარამეტრებს შორის, რომლებიც ობიექტურად ახასიათებენ მანქანის კონსტრუქციას, დამზადების ტექნოლოგიას და ექსპლუატაციის პირობებს. ამისთვის კი საჭიროა ანალოგიურ ობიექტებზე არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადების საფუძველზე ემპირიული გზით მიღებული კანონზომიერებათა ცოდნა. სავსებით ბუნებრივია, რომ ასეთი გზით აღებული საიმედოობის მაჩვენებლები ხშირად განსხვავდებიან რეალურისაგან. საინჟინრო პრაქტიკაში უკანასკნელნი წინასწარ დასახულთან შედარებით უფრო მცირეა, რაც ძირითადად გამოწვეულია კონსტრუქციული დათმობით, მასალების შეცვლით, მომსახურების დაბალი დონით, ექსპლუატაციის უფრო მკაცრი პირობებითა და რეჟიმით, რასაც ხშირად ადგილი აქვს პრაქტიკაში.

მტყუნებათა ინტენსიურობა, რომელიც საკმაოდ მცირე დროის ინტერვალს შეესაბამება (მცირე ნამუშევარი Δx), ტოლია

$$\bar{\lambda}(x) = \frac{\Delta r}{\Delta x N} = \frac{\Delta N}{\Delta x N}, \quad (4.28)$$

სადაც Δr – მტყუნებათა რაოდენობა Δx ნამუშევარზე; ΔN – ნაკეთობის მტყუნებათა რაოდენობა Δx ნამუშევარზე; N – მუშაუნარიანი ნაკეთობების რაოდენობა განსახილველი ნამუშევრის დაწყებამდე.

საბოლოოდ მიიღება

$$f(x) = \frac{dP(x)}{dx}. \quad (4.29)$$

ამ თანაფარდობის ჩასმით გამოსახულებაში $\lambda(x) = \frac{f(x)}{P(x)}$ და ცვლადების განცალკევების შედეგათ ვღებულობთ:

$$\lambda(x)dx = \frac{dP(x)}{P(x)} = d[\ln P(x)] . \quad (4.30)$$

ტოლობის (4.30) ინტეგრირებითა და იმის გათვალისწინებით, რომ $P(0) = 1$, ვპოულობთ უმტყუნებლო მუშაობის ალბათობას [45]:

$$P(x) = \exp \left[- \int_0^x \lambda(\xi) d\xi \right] . \quad (4.31)$$

ჩატარებულმა მივხამ საშუალება მოგვცა მიგველო მუდმივმაგნიტებიანი ძრავის ბაზაზე შექმნილ ავტომატიზებულ ამძრავში გამოყენებული ელემენტების მტყუნებათა ინტენსიურობის სტატისტიკური სიდიდეები λ_i ექსპლუტაციის სხვადასხვა პირობებში; საიმედოობის შესაფასებლად მტყუნებათა ინტენსიურობა აღებულია ლიტერატურიდან ობიექტურ სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით [86, 45, 116] (ცხრილი № 4.1).

მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის, როგორც რთული ელექტრული სისტემის ფუნქციონირება დამოკიდებულია მის შემადგენელ ნაწილთა საიმედო მუშაობაზე. ამასთან დაკავშირებით მიზანშეწონილია შემდეგი ძირითადი კრიტერიუმის გამოყენება:

- დროის მოცემულ შუალედში დანადგარის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა $P(t)$;
- მტყუნებათა ინტენსივობა $\lambda(t)$;
- მტყუნებათა ალბათობა $Q(t)$;
- პირველ მტყუნებამდე საშუალო ნამუშევარი $T_{სშ}$.

მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ბაზაზე მომუშავე ამძრავის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრა გამოსახულებიდან:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad , \quad (4.32)$$

სადაც $P_i(t)$ – i -იური ელემენტის t დროში განმავლობაში უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა.

მაშინ მტყუნებათა ალბათობა

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (4.33)$$

უეცარ მტყუნებათა ინტენსიურობის დროს, როდესაც $\lambda = \text{const}$, სისტემის საშუალო ნამუშევარი პირველ მტყუნებამდე

$$T_{\text{სშ}} = \frac{1}{\lambda} \text{ სთ.} \quad (4.34)$$

ცხრილი № 4.1. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავის ამძრავის საიმედოობის სტატისტიკური მონაცემები.

ელემენტის დასახელება	რაოდენობა	მტყუნებათა ინტენსივობა $\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ სთ}^{-1}$		
		ზედა ზღვარი	საშუალო მნიშვნელობა	ქვედა ზღვარი
მუდმივი მაგნიტი	128	7,11	5,65	2,02
მუხლა ლილვი	32	0,2	0,008	0,02
ბარბაცა	64	-	5,5	-
სოლურ-ღვედური გადაცემა	1	4,3	2,18	0,087
კბილანური გადაცემა	1	-	10	-
ბურთულა საკისარი	175	1,72	0,875	0,035
ფარი სასაკისრე	2	0,14	0,087	0,035
მუდმივი დენის ძრავა, 2,8კვტ	1	-	9,36	-
რელე	4	-	0,85	-
გადამწოდი	4	-	0,2	-
ამომრთველი	1	2,75	0,138	0,045
რელსტატი	1	0,19	0,13	0,07
ელექტრომაგნიტური ქურო	8	-	1,4	-
აკუმულატორთა ბატარეა	1	-	1,5	-

მომჭერი	72	0,0009	0,0005	0,0003
სადგარი	1	0,98	0,10	0,035
შეერთება მირჩილვით	32	0,005	0,004	0,0002
შეერთება ჭანჭიკური	64	0,19	0,05	0,002

ამძრავის მუშაობათა მტყუნება, როგორც შემთხვევითი მოვლენა, ხასიათდება დროში განაწილების სხვადასხვა კანონით. ჩვენს შემთხვევაში შევჩერდით ექსპონენციალური განაწილების კანონზე, რომელიც სამართლიანია ელექტრომექანიკურ სისტემათა უმეტესობისთვის [110]:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.35)$$

$$T_{საშ} = \frac{1}{\lambda} \text{ სთ}$$

ცხრილი № 4.1–ის გათვალისწინებით ვღებულობთ მტყუნებათა ინტენსიურობის საშუალო სიდიდეს

$$\lambda = N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 + \dots + N_n \lambda_n = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \text{ სთ}^{-1} \quad (4.36)$$

$$\lambda = (128 \cdot 5,65 + 32 \cdot 0,008 + 64 \cdot 5,5 + 1 \cdot 2,18 + 1 \cdot 10 + 175 \cdot 0,875 + 2 \cdot 0,0087 + 1 \cdot 9,36 + 4 \cdot 0,85 + 4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,138 + 1 \cdot 0,13 + 8 \cdot 1,4 + 1 \cdot 1,4 + 72 \cdot 0,0005 + 1 \cdot 0,10 + 32 \cdot 0,04 + 64 \cdot 0,05) \cdot 10^{-6} \text{ სთ}^{-1} = 1160 \cdot 10^{-6} \text{ სთ}^{-1},$$

ხოლო საშუალო ნამუშევარი პირველ მტყუნებამდე იქნება

$$T_{საშ} = \frac{10^6}{1160} = 862 \text{ სთ.}$$

ამძრავის უმტუნებო მუშაობის ალბათობის (კონსტრუქციის საიმედოობის) დინამიკა ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

$$P(0) = 1;$$

$$P(200) = e^{-\frac{200}{862}} = e^{-0,23} = \frac{1}{1,26} = 0,79;$$

$$P(400) = e^{-\frac{400}{862}} = e^{-0,46} = \frac{1}{1,59} = 0,62;$$

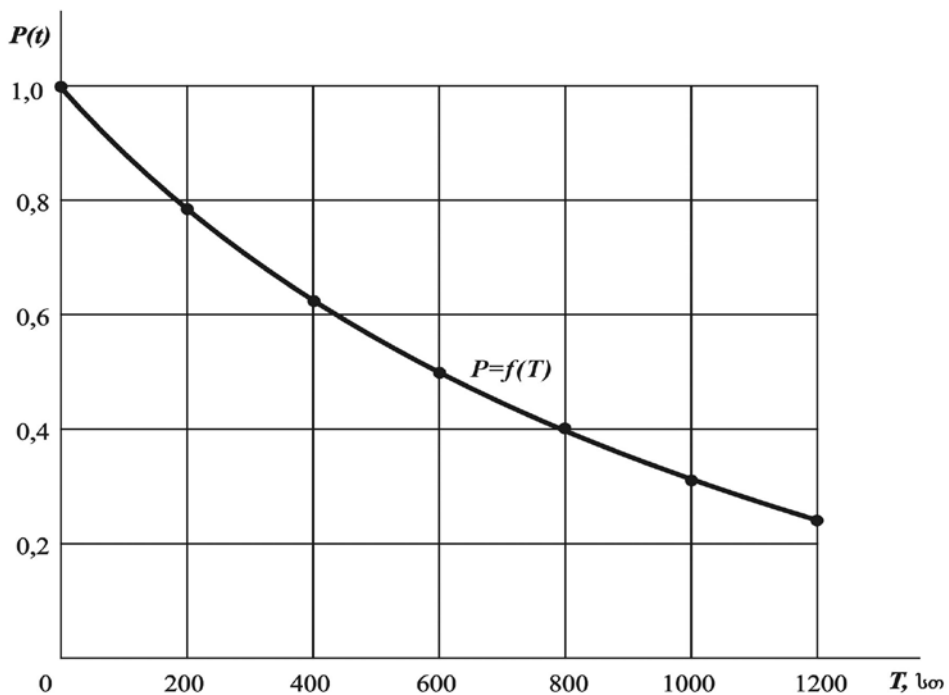
$$P(600) = e^{-\frac{600}{862}} = e^{-0,69} = \frac{1}{2,0} = 0,50; \quad (4.37)$$

$$P(800) = e^{-\frac{800}{862}} = e^{-0,92} = \frac{1}{2,50} = 0,40;$$

$$P(1000) = e^{-\frac{1000}{862}} = e^{-1,16} = \frac{1}{3,3} = 0,31;$$

$$P(1200) = e^{-\frac{1200}{862}} = e^{-1,39} = 0,25.$$

ანგარიშის საფუძველზე აგებულ იქნა განსახილველი ამბრავის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის დინამიკის ამსახველი დიაგრამა (ნახ. 4-14).



ნახ. 4-14. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ბაზაზე ამძრავის უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის დინამიკა.

პარალელურად, ექსპერიმენტულ ნიმუშზე დაკვირვების შედეგად დადგენილ იქნა, რომ მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ბაზაზე შექმნილი ამძრავის მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი არის ისეთი მოძრავი ნაწილი, როგორცაა ბარბაცა. საკისრების მტყუნება აღინიშნებოდა იშვიათად. ბარბაცის დაზიანების დასაწყისში ამძრავში მკვეთრად მატულობს ხმაურის დონე (იწყება ე.წ კაკუნი); ამის გათვალისწინებით, ამძრავს უნდა გააჩნდეს სათადარიგო ბარბაცები; დაზიანებული ბარბაცის გამოცვლას ადგილზევე ჭირდება 20 წუთამდე დრო. რაც შეეხება მუდმივ მაგნიტებს, რადგან ტემპერატურული ცვლილების ზეგავლენა ამ შემთხვევაში უმნიშვნელოა, აგრეთვე ადგილი არ აქვს მექანიკური დარტყმებს (ისინი ერთმანეთს უახლოვდებიან, მაგრამ მექანიკური კონტაქტი არ არის, ე.ი მაგნიტები ერთმანეთს არ ეჯახებიან), მათი მწყობრიდან გამოსვლა ექსპერიმენტში არ აღინიშნებოდა.

ჩატარებულია სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისათვის განკუთვნილი მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის საიმედოობის მაჩვენებლების დაპროექტების სტადიაზე გაანგარიშება თანამედროვე სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით და ანგარიშის შედეგად დადგინდა, რომ საიმედოობის სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე მუდმივ მაგნიტებიანი ამძრავისთვის საშუალო ნამუშევარი მტყუნებაზე შეადგენს 1,1 თვეს (0,86 ათას საათს), ხოლო მტყუნებათა ინტენსივობა აღწევს 11 მტყუნებას წელიწადში. პარალელურად, ექსპერიმენტულ ნიმუშზე დაკვირვების შედეგად დადგენილ იქნა, რომ მუდმივ

მაგნიტებიანი ამძრავის მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი არის ისეთი მოძრავი ნაწილი, როგორცაა ბარბაცა მექანიზმი [49].

4.4. ამძრავის ენერგეტიკული მაჩვენებლები

მუდმივმაგნიტიანი ძრავების ძირითადი უპირატესობებია:

- აგზნების გრაგნილის და მოძრავი კონტაქტის არარსებობა;
- შედარებით მცირე მასა და გაბატონებები. მუდმივი მაგნიტის მიერ განვითარებული ენერგია პროპორციულია მაგნიტის მოცულობისა, ე.ი. მისი ზომების მესამე ხარისხისა, ხოლო ელექტრომაგნიტის მიერ განვითარებული ენერგია პროპორციულია გულარის განივი კვეთის აგზნების განივ კვეთზე ნამრავლისა, ე.ი. წრფივი ზომების მეოთხე ხარისხისა

$$P \sim \Phi I w = (B Q_{Fe}) (j q w) = B j Q_{Fe} Q_{Cu} , \quad (4.38)$$

სადაც B არის ინდუქცია განივ კვეთში, j - აგზნების გრაგნილში დენის სიმკვრივე, w - გრაგნილის ხვიათა რიცხვი, Q_{Fe} - პოლუსის გულარის განივი კვეთის ფართი და Q_{Cu} – აგზნების გრაგნილის კვეთი.

- მაგნიტური ნაკადის მუდმივობა და მისი დამოუკიდებლობა ტემპერატურის, ქსელის ძაბვისა ან ბრუნვის სიხშირისგან.
- მცირე გადამეტხურება გარემოს ტემპერატურასთან შედარებით და გაცივების კარგი პირობები.

ამავე დროს, მუდმივი მაგნიტებს ახასიათებს ნაკლოვანებები, რომლებსაც განეკუთვნება მათი უმეტესობის მასალის დამუშავების სირთულე, მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად გამოყენებული

მასალების დიდი ნაწილის (კობალტი, ვოლფრამი, ტიტანი და ა.შ.) დეფიციტურობა და სიძვირე, მაგნიტური ნაკადის რეგულირების პრაქტიკულად შეუძლებლობა [95].

ზემომოყვანილის გათვალისწინებით, საქართველოს აგრარულ უნივერსიტეტში 30 წლის განმავლობაში ტარდება სამუშაოები ელექტრომაგნიტური ძრავების შესაქმნელად, რომელთა კონსტრუქციებში გამოყენებულია მექანიკური და ფერომაგნიტური რეზონანსების მოვლენები და რომლებიც დაცულია 16 ქვეყნის ოცდაათამდე პატენტით, აგრეთვე მუდმივი მაგნიტების ენერგია [35, 36, 21]. ბოლო პერიოდში შექმნილია მაგნიტური ძრავა, რომლის სიახლე დაცულია საქართველოს პატენტით [21], შეირჩა მისი კონსტრუქციული მასალები [23], დამზადდა ამ ძრავას ქარხნული მაკეტი და ჩატარდა მისი ექსპერიმენტული კვლევები სპეციალურად აწყობილ ლაბორატორიულ სტენდზე, რომლებმაც დაამტკიცა ახალი კონსტრუქციის მუშაობისუნარიანობა [22]. ამავე დროს, ექსპერიმენტების შედეგად გამოაშკარავდა ძრავას ნაკლოვანი მხარეები, პირველ რიგში კი ეს ეხება სიჩქარის რეგულირების სირთულეს, და დაისახა ამ ნაკლოვანებების აღმოფხვრის გზები.

ჩატარებული სამუშაოების შედეგად შესაძლებელი გახდა ახალი მაგნიტური ძრავას ცალკეული ტექნიკური პარამეტრების არსებული სერიული ძრავების შესაბამის პარამეტრებთან და მახასიათებლებთან შედარების ჩატარება (იხ. ცხრილი № 4.2) და კონსტრუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების შეფასება.

ცხრილი № 4.2. სხვადასხვა წევის ძრავების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

პარამეტრი	აღნიშვნა	განზომილება	ექსპერიმენტული მაგნიტური ძრავა	მაგნიტური ძრავა “Perendev”	ავტომობილის შიგა წვის ძრავა	ელექტროძრავა 5AM250M4	სატრაქტორო ძრავა MT3 12-21
ნომინალური მექანიკური სიმძლავრე	P_n	კვტ	100	100	95	90	96
ამძრავის მასა	m	ტ	0,150	0,35	0,15	0,485	0,65
გარბენი	L	კმ	100	100	100	100	-
საწვავის/ენერჯის ხვედრითი ხარჯი	L	ლარი/კმ	0,05	0	0,16	0,15	-
ფასი	C	ლარი	30700	110000	10000	7000	16800

ძრავას გამოყენების ეკონომიკური ეფექტიანობის მაჩვენებლად მიღებული იქნა შეფარდება

$$\varepsilon = \frac{A}{D}, \quad (4.39)$$

სადაც A – ძრავას გამოყენების შედეგად მიღებული ეკონომიკური ეფექტია, ხოლო D ის დანახარჯები, რომლებიც უკავშირდება ამ ეფექტის მიღებას.

ანალიზის დროს ყურადღება დაეთმო შესადარებელი ობიექტების შერჩევას. ასეთ ობიექტებად შერჩეულ იქნა მსოფლიო პრაქტიკაში გამოყენებული ნიმუშები (სულ ხუთი) – პირველ რიგში მაგნიტური ძრავა “Perendev” (გერმანია), აგრეთვე ავტომობილის შიგა წვის ძრავა Opel, 5AM250M4 (Siemens) ტიპის ელექტროძრავა მართვისა და დაცვის აპარატებით და MT3 12-21 მარკის ტრაქტორის ძრავა; ყველა განხილული ძრავას ნომინალური სიმძლავრე P_n იმყოფება 90 – 100 კვტ ზღვრებში, თუმცა მასა m და გაბარიტული მაჩვენებლები, აგრეთვე ფასები ძალზე

განსხვავდება ერთმანეთისგან; ასევე დიდ ზღვრებში ვარირებს 1 კმ მანძილის გასავლელად საჭირო საწვავის ან ენერჯის ფასი ლარებში L .

აქვე აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მაგნიტური ძრავების მაღალი ფასი გაპირობებულია მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად გამოყენებული ენერგეტიკულად მაღალეფექტიანი NdFeB მასალისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტების სიძვირით, თუმცა არსებობს მუდმივი მაგნიტების ფასის შემცირებისკენ ტენდენცია.

სხვადასხვა მობილური აგრეგატის ამძრავების შედარებისთვის განხილულ იქნა აგრეთვე ენერჯის ხვედრითი ხარჯი აგრეგატის ძრავას გადაადგილებაზე

$$C = \frac{W}{mL_c}, \text{ კვტსთ/ტკმ}, \quad (4.40)$$

სადაც m არის ამძრავის ჯამური მასა, კგ; L_c – მობილური აგრეგატის საანგარიშო გარბენი, კმ; W – ენერჯის მოხმარება, კვტსთ.

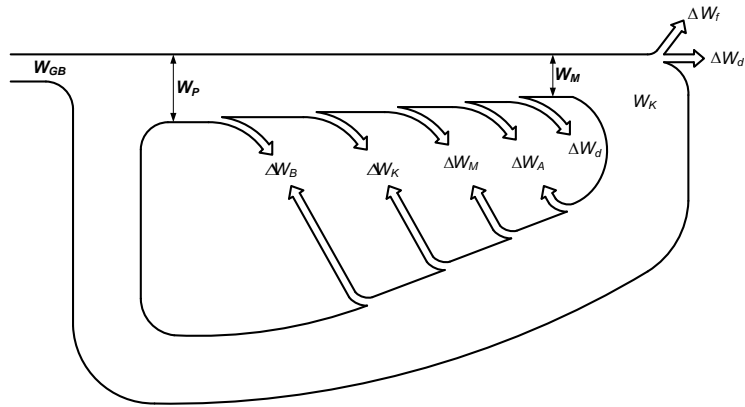
ცნობილია, რომ ბენზინი, როგორც ენერჯის წყარო, ხასიათდება მაღალი ხვედრითი მახასიათებლებით, კერძოდ 1 კგ ბენზინი მოიცავს 11,6 კვტსთ ელექტროენერჯიას [8], მაგრამ თბური ძრავების მქც მხოლოდ 25 – 30%-ს შეადგენს, რის გამოც საწვავის საწყისი ხვედრითი ენერჯის დაახლოებით 3 კვტსთ/კგ სასარგებლოდ გამოიყენება მექანიკური ენერჯის სახით. ამავე დროს აკუმულატორების მქც მაღალია, ხოლო 100 კვტ სიმძლავრის ელექტრული ძრავების მქც 90-95%-ს აღწევს; კიდევ უფრო მაღალი არის მაგნიტური ძრავას მქც. ამ გარემოებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ახალი წვევის სისტემების განვითარების პერსპექტივების შეფასების დროს. ამავე დროს ელექტრული და მაგნიტური

წევის სისტემები ხასიათდება ენერჯის გაცილებით მცირე დანაკარგებით თბურ, მ.შ. შიგაწვის ძრავებთან შედარებით.

წევის სისტემების ენერგეტიკის კვლევას საფუძვლად უდევს ენერჯის ბალანსის მეთოდი. განსახილველი წევის სისტემა შედგება შემდეგი ენერგეტიკული მოდულისგან, რომლებიც ახორციელებენ ენერჯის მიმდევრობით გარდაქმნას. ესენია აკუმულატორთა ბატარეა GB , კონტროლერი K (მართვის მოწყობილობა ძალური გარდამქნელის ჩატვლით, თუ კი ასეთი არსებობს), წევის ძრავასგან M და ტრანსმისიისგან A . ზოგადი სახით ენერგეტიკული დიაგრამა მოყვანილია ნახ. 4-15-ზე. ეს დიაგრამა ასახავს ენერჯის ბალანსის განტოლებას:

$$W_{GB} + W_P = \Sigma \Delta W = \Delta W_{GB} + \Delta W_K + \Delta W_M + \Delta W_A + \Delta W_f + \Delta W_d, \quad (4.41)$$

სადაც W_{GB} არის აკუმულატორთა ბატარეის ენერჯია; W_P – მუდმივ მაგნიტებში დაგროვილი მაგნიტური ენერჯია, ΔW - ენერჯის დანაკარგები, მ.შ. წევის სისტემის მოდულებში – ბატარეაში (ΔW_{GB}), კონტროლერში (ΔW), ძრავასა (ΔW_M) და ტრანსმისიაში (ΔW_A), აგრეთვე ენერჯის დანაკარგების მდგენელები მოძრაობის დროს, რომლებიც იხარჯება გორვის ხახუნზე ΔW_f და აეროდინამიკური დანაკარგები ΔW_d . გარდა ამისა, ნახ. 4-15-ზე ნაჩვენებია მოძრაობისთვის საჭირო ენერჯია $W_{მძრ}$ და მოძრაობის დროს დაგროვილი კინეტიკური ენერჯია $W_{კინ}$.



ნახ. 4-15. ენერჯის ბალანსის დიაგრამა

ნახაზ 4-15-ზე მოყვანილი ენერჯეტიკული დიაგრამის ზედა შტო ასახავს მობილური აგრეგატის მოძრაობის რეჟიმს, რომლის დროს ენერჯის ხარჯის ყველა მდგენელი იფარება ბატარეის ენერჯის მეშვეობით, ხოლო ქვედა შტო პირობითად გვიჩვენებს ენერჯის გზას და მის დანაკარგებს ენერჯის მუდმივი მაგნიტისთვის დაბრუნების დროს. ამგვარად, ამძრავში მოქმედებს ერთდროულად ენერჯის გადაცემის ორი მიმართულება – წევის რეჟიმი და რეკუპერაციის რეჟიმი.

ძირითადი რეჟიმის გარდა არსებობს სხვა ენერჯეტიკული რეჟიმებიც. თუ ბატარეის ენერჯია არ მოიხმარება, ე.ი. $W_{GB} = 0$, მაშინ მოძრაობის დროს ენერჯის დანახარჯების დაფარვა ხდება დაგროვილი ენერჯის ხარჯზე, და 4.41 გამოსახულების მაგივრად ვღებულობთ

$$\Delta W_f + \Delta W_{\text{ფ}} = W_{\text{ინ}} . \quad (4.42)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ ენერჯის ბალანსის განტოლებები 4.41 და 4.42 არის ინტეგრალური, ე.ი. ამ განტოლებებში ენერჯის გაცვლის პროცესები განიხილება დროის გარკვეული მონაკვეთისთვის.

ენერჯის ბალანსის გარდა ზოგიერთ შემთხვევაში მიღებულია სიმძლავრის ბალანსის განხილვა, მაგრამ სასოფლო-სამეურნეო აგრეგატის

ექსპლუატაციის პირობები ხასიათდება მოძრაობის რეჟიმების ციკლური ცვალებადობით, რის გამოც უპირატესობა უნდა მივანიჭოთ ენერჯის ბალანსს.

4.5. მაგნიტური ძრავას თბური გარდამავალი პროცესები

სიმძლავრე, რომელიც შეიძლება განავითაროს ძრავმა მასზე მაგნეზემოქმედების გარეშე, განისაზღვრება მისი მაქსიმალური მაბრუნე მომენტით და გახურებით. ამას უნდა შეესაბამებოდეს ძრავას ნაწილების მექანიკური სიმტკიცე და მასალების თბომედეგობა. ამის შესაბამისად იანგარიშება ლილვები, საკისრები და მაგნიტების გამაგრება. მაგრამ ძრავას მიერ გასანვითარებელი სიმძლავრისათვის მაინც გადამწყვეტია გახურება. მუშაობის პროცესში ძრავას გახურება განპირობებულია თბური დანაკარგებით, ფოლადში ჰისტერეზისზე და გრიგალურ დენებზე დანაკარგებით და აგრეთვე ხახუნზე და ვენტილაციაზე დანაკარგებით.

მაგნიტური ძრავას მუშაობისას სითბოს უწყვეტი გამოყოფის შედეგად მისი ტემპერატურა მატულობს და აღემატება გარემოს ტემპერატურას, და რომ არ ხდებოდეს თბოგაცემა, მისი ტემპერატურა მიაღწევდა უსასრულოდ დიდ მნიშვნელობას. სინამდვილეში კი ძრავას ზედაპირიდან სითბოს გაფანტვის გამო ტემპერატურის მატება გარკვეული ზღვრული მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ წყდება; ამას ადგილი აქვს, როდესაც ძრავას ზედაპირიდან გარემოში გაცემული სითბოს რაოდენობა გაუტოლდება ძრავაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობას.

ძრავას გახურების ზღვრული ტემპერატურა იზღუდება ძირითადად NeFeB მაგნიტებისთვის მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურით,

რომელიც $\tau_{\text{ახ}} = 80^{\circ}\text{C}$ ტოლად აიღება და შეირჩევა აგრეთვე ძრავას ხანგამძლეობიდან (დაახლოებით 10 წელი) გამომდინარე. ასევე, 95°C ტემპერატურაზე ზევით არ უნდა გახურდეს ძრავას საკისრები და ეს ტემპერატურა იზღუდება საპოხი მასალის ხარისხობრივი მაჩვენებლებით, პირველ რიგში კი მისი სიბლანტით.

ძრავას მუშაობის დროს ხდება მისი გახურება ენერჯის დანაკარგების ხარჯზე. მუშაობის დასაწყისში გამოყოფილი სითბოს დიდი ნაწილი მიდის თვით ძრავას ტემპერატურის მომატებაზე, ხოლო მცირე - გადაეცემა გარემოს, ხოლო ტემპერატურის მომატებასთან ერთად იზრდება გარემოზე გაცემული სითბოს რაოდენობა და რომელიღაც განსაზღვრული ტემპერატურის დროს, ძრავას შემდგომი გახურება შეწყდება და მთელი გამოყოფილი სითბო გადაეცემა გარემოს.

ტემპერატურის ყოველგვარი ცვლილება დაკავშირებულია ძრავას თბური ენერჯის მარაგის ცვლილებებზე, რის შედეგადაც წარმოიშვება თბური გარდამავალი პროცესი.

რადგანაც ძრავა წარმოადგენს სხვადასხვა თბოგაცემისა და თბოტევადობის ერთობლიობას, ხოლო სითბოს წყაროები არათანაბრადაა განაწილებული ძრავაში, რაც ართულებს თბურ გაანგარიშებებს, გაანგარიშებებში შემოგვაქვს დაშვებები, კერძოდ:

1. ძრავას ვიხილავთ როგორც ერთგვაროვან სხეულს დიდი შიგა თბოგამტარობით (ამის შედეგად ძრავას ყველა ნაწილს დროის ნებისმიერ მომენტში აქვს ერთნაირი ტემპერატურა);
2. გარემოს ტემპერატურა გახურების პროცესში უცვლელი რჩება;
3. თბოგაცემა, თბოტევადობა და დანაკარგები არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე.

რადგან ძრავას ტემპერატურა არც ისე დიდია, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ მის ნაწილებს შორის თბოგადაცემა და გარემოში გამოყოფა წარმოებს კონვექციითა და თბოგამტარობით. გახურების პროცესის ასეთი იდეალიზაციის შედეგად, მიიღება მარტივი დიფერენციალური განტოლებები, რომლებიც აღწერენ თბურ გარდამავალ პროცესებს. მიღებული დაშვებების შესაბამისად თბური ბალანსის განტოლება ღებულობს სახეს:

$$\Sigma \Delta P dt = A \pi dt + C d\tau, \text{ ჯოული} \quad (4.43)$$

სადაც $\Sigma \Delta P$ – ძრავაში სითბოს სახით გამოყოფილი დანაკარგები, ვტ; A – ძრავას თბოგაცემა, ჯ/°C წმ; τ – ძრავას ტემპერატურის გადამეტება გარემოს ტემპერატურასთან შედარებით, °C; C – ძრავას თბოტევადობა, ანუ სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა ძრავას ტემპერატურის ერთი გრადუსით გაზრდისათვის, ჯ/°C.

თუ გავყოფთ განტოლების ორივე მხარეს $A dt$ -ზე, მივიღებთ პირველი რიგის არაერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებას

$$T_{\delta} \frac{d\tau}{dt} + \tau = \tau_{\text{ღაშ}} \quad (4.44)$$

სადაც $\tau_{\text{ღაშ}} = \Sigma \Delta P / A$ გადამეტებულების ტემპერატურის დამყარებული მნიშვნელობა, °C, ხოლო T_{δ} – გახურების დროის მუდმივია წამებში. გახურების დროის მუდმივას ფიზიკური არსის დასადგენად, გავამრავლოთ C/A წილადის მრიცხველი და მნიშვნელი $\tau_{\text{ღაშ}}$ -ზე, მაშინ

$$T_{\delta} = \frac{C \tau_{\text{ღაშ}}}{A \tau_{\text{ღაშ}}} = \frac{C \tau_{\text{ღაშ}}}{\Sigma \Delta P}, \text{ წმ} \quad (4.45)$$

ან $\Sigma \Delta P T_{\delta} = C \tau_{\text{ღაშ}}$ რაც ნიშნავს, რომ ძრავაში T_{δ} დროში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა უდრის C თბოტევადობის მქონე ძრავას $\tau_{\text{ღაშ}}$

ტემპერატურამდე გასახურებლად. მაგრამ ამ ბოლო გამოსახულებაში არ არის ის სიტბო, რომელიც რეალურ პირობებში უნდა გადაეცეს გარემოს. ამის გამო, გახურების დროის მუდმივა T_{θ} განისაზღვრება როგორც დრო, რომლის განმავლობაშიც მოცემული დატვირთვის პირობებში ძრავას ტემპერატურა მიაღწევდა $\tau_{\text{დაბ}}$ მნიშვნელობას, რომ არ არსებობდეს სიტბოს გარემოში გაცემა. სიტბოგაცემის არსებობის პირობებში T_{θ} დროში ძრავას გადამეტხურება აღწევს $\tau = 0,632\tau_{\text{დაბ}}$ მნიშვნელობას, ხოლო დამყარებულ მნიშვნელობას პრაქტიკულად აღწევს $t = (3 \dots 4)T_{\theta}$ დროის შემდეგ. 4.43 განტოლების ამონახსნი $t=0$,

$\tau = \tau_0$ საწყისი პირობებისათვის იქნება

$$\tau = \tau_{\text{დაბ}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\theta}}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_{\theta}}}, \quad (4.46)$$

და თუ დროის საწყის მომენტში ძრავის გადამეტხურება გარემოსთან შედარებით ნულის ტოლია, ე.ი $\tau_0 = 0$, მაშინ

$$\tau = \tau_{\text{დაბ}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\theta}}} \right) \quad (4.47)$$

აქაც გახურების პროცესი $t = (3 \dots 4)T_{\theta}$ დროის შემდეგ მთავრდება.

თბურ ანგარიშს ვიწყებთ ძრავას სტატორის და როტორის სიტბოგაცემის ფართობების განსაზღვრიდან; სტატორის გარე კორპუსის სიგრძე (იხ. დანართი № 7) $L = 900$ მმ, ხოლო როტორის დოლის სიგრძე $l = 824$ მმ.

რაც შეეხება მაგნიტური ძრავას თბოტევადობას, ვლებულობთ დაშვებას, რომ ძრავა დამზადებულია მთლიანად ფოლადისგან, რომლისთვისაც ხვედრითი თბოტევადობა $c = 500 \text{ ვტ/კგ}^{\circ}\text{C}$. ვლებულობთ

$$C = cm = 500 \times 210 = 105.10^3 \text{ ვტ/}^{\circ}\text{C} . \quad (4.48)$$

ძრავას როტორის ზედაპირის წრფივი სიჩქარე

$$v = \frac{\pi}{60} D_{\text{რ}} n_{\text{რ}} = \frac{\pi}{60} 0,56 \cdot 700 = 20,5 \text{ მ/წმ} . \quad (4.49)$$

4.49 გამოსახულებაში $D_{\text{რ}} = 560$ მმ არის მაგნიტური ძრავას როტორის (დოლის) დიამეტრი, ხოლო $n_{\text{რ}} = 700$ ბრ/წთ არის დოლის ბრუნვის ნომინალური სიხშირე.

ძრავას თბოგაცემისთვის ვლებულობთ $A = 32 \text{ ვტ/წმ.მ}^2$. მაშინ ძრავას გადამეტხურების დამყარებული ტემპერატურა ნომინალურ რეჟიმში

$$\tau_{\text{ლაზყ}} = \frac{P_{\text{რ}}}{A} = \frac{1200}{32} = 37,5^{\circ}\text{C} \quad (4.50)$$

ეს ტემპერატურა ემატება გერემოს სტანდარტულ მაქსიმალურ ტემპერატურას, რომელიც მიღებულია 40°C ტოლად, და გამოდის, რომ ხანგრძლივად ნომინალურ რეჟიმში მუშაობისას ძრავას ტემპერატურა არავითარ შემთხვევაში არ მიაღწევს NeFeB ტიპის მაგნიტებისთვის ზღვრულ დასაშვებ ტემპერატურას, რომელის 80°C ტოლია.

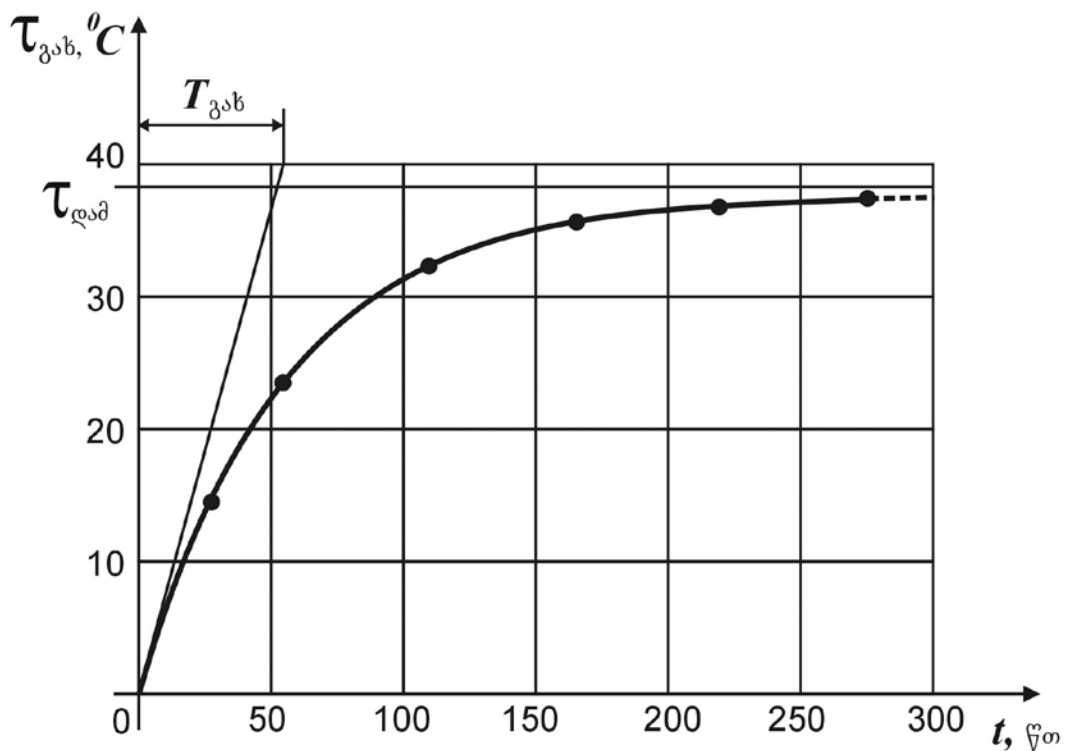
რაც შეეხება მაგნიტური ძრავას გახურების დროის მუდმივას $T_{\text{ბ}}$, იგი მიიღება გამოსახულებიდან

$$T_{\text{ბ}} = \frac{C}{A} = \frac{105000}{32} = 3280 \text{ წმ} = 55 \text{ წთ} . \quad (4.51)$$

მიღებული მონაცემების საფუძველზე ვავსებთ 4.3 ცხრილს და ვაგებთ ძრავას ნომინალურ რეჟიმში გახურების გარდამავალი პროცესის ამსახველ მრუდს $\tau = f(t)$.

ცხრილი № 4.3. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას გახურების მრუდის მონაცემები

t/T_{δ}	0	0,5	1	2	3	4	5
$t, \text{წთ}$	0	27,5	55	110	165	220	275
$1 - e^{-\frac{t}{T}}$	0	0,394	0,632	0,865	0,951	0,982	0,993
$\tau_{\text{გახ}}, \text{°C}$	0	14,8	23,7	32,4	35,7	36,8	37,2



ნახ. 4-16. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას გახურების მრუდი

აღსანიშნავია, რომ ექსპერიენტული კვლევების დროს ძრავას გახურების ტემპერატურის დინამიკა ამჟღავნებდა მსგავს ტენდენციას.

4.6. ამბრავის ეკონომიკური მაჩვენებლები

მაგნიტური ამბრავის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შეფასებისათვის ვისარგებლეთ სტანდარტული მეთოდით, რომელიც კომპლექსური მიდგომის მეშვეობით მეტად ზუსტად განსაზღვრავს ამბრავის ეფექტიანობას. სწორედ ამ ობიექტურად აუცილებელი ეკონომიკური პროცესებიდან გამომდინარე, საანგარიშო-კონსტრუქციული მეთოდის გამოყენებით, წლიური დაყვანილი დანახარჯების *დაფ* გამოთვლების საფუძველზე, განვახორციელეთ საწარმოო პირობებში მომუშავე მუდმივმაგნიტებიანი ამბრავის ეკონომიკური ეფექტიანობის დაზუსტება.

ცხრილი № 4.4. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ხარჯთაღრიცხვა

№	დასახელება	რაოდ.	ერთეულის თანხა (ლარში)	სულ თანხა
1	ბლოკი საყრდენი დისკით	4	1000	4000
2	დისკური საყრდენი	1	500	500
3	ბარბაცა	64	60	3840
4	მუხლა ლილვის დამჭერი	40	20	800
5	მბრუნავი დოლი	4	200	800
6	მუხლა ლილვი	32	120	3840
7	კბილანა	8	90	720
8	დიდი კბილანა	1	150	150
9	სოლურ-ღვედური გადაცემის შკივი	1	40	40
10	გამბრჯენი ღერო	4	20	80
11	მუდმივი მაგნიტი (NdFeB, მარკა-AMT&C EN40)	128	105	13440

12	ბურთულა საკისარი (მარკა- 6007RS)	40	6	240
13	ბურთულა საკისარი (მარკა- 6906RS)	64	5	320
14	ბურთულა საკისარი (მარკა- 6200RS)	64	3	192
15	ბურთულა საკისარი (მარკა- 52082)	1	30	30
16	ელექტრომაგნიტური ქურო	8	117	936
17	გადამწოდი (TS-0801)	8	75	600
18	რელე (მარკა – PC 901.3747)	4	3	12
19	მუდმივი დენის ძრავა (2,8 კვტ)	1	160	160
	ჯამი			30700

ამძრავის სახარჯთაღრიცხვო ღირებულების განსაზღვრის განსაზღვრის შემდეგ, რომელიც შეადგენს $K = 30700$ ლარს (იხ. ცხრილი № 4.3), აუცილებელია აგრეთვე შემდეგი დანარიცხების გათვალისწინება :

- ტრანსპორტირებაზე - 8%;
- სასაწყობო დანახარჯებზე - 1%;
- დაყენებასა და მონტაჟზე - 10%;
- ამუშავებასა და რეგულირებაზე - 1%.

ამ დანარიცხების გათვალისწინებით, ვღებულობთ :

$$K' = 1,20 K = 36840 \text{ ლარი.}$$

თუ მივიღებთ მაგნიტური ამძრავის გამოსადეგობის ვადას $T_{გაშ} = 10$ წელიწადს, საამორტიზაციო დანახარჯებისთვის მივიღებთ:

$$A = K'/T_{გაშ} = 3684,00 \text{ ლარი.}$$

ამძრავში ელექტროენერგიის დანახარჯების წლიური ღირებულება $H_{ელ}$ განისაზღვრება ფორმულით:

$$H_{ელ} = C_{ელ} \cdot \Delta W, \quad (4.52)$$

სადაც ΔW – აგრეგატში წლის განმავლობაში ელექტროენერჯის დანახარჯები, კვტსთ; $C_{ელ} = 0,13$ ლარი/კვტსთ – 1 კვტ/სთ ელექტროენერჯის ღირებულება, ანუ ტარიფი. საქართველოს ენერჯეტიკის და წყალმომარაგების მარეგულირებელი კომისიის მიერ დადგენილი ელექტრული ენერჯის ტარიფი განსხვავებულია რეგიონებისა და ელექტროენერჯის გამანაწილებელი კომპანიების მიხედვით, რაც არ იძლევა სრულფასოვანი ეკონომიკური გაანგარიშების შესაძლებლობას, ამიტომ გამოთვლებში გამოვიყენეთ საშუალო შეწონილი ღირებულება. ვღებულობთ

$$H_{ელ} = \Delta P_{წ} T_{მუშ} C_{ელ} = 1,2 \times 1400 \times 0,13 = 218,40 \text{ ლარი.}$$

დანარიცხები ელექტრომონტორის ხელფასზე იანგარიშება ერთი მონტორის მიერ ერთი დანადგარის წლიური საექსპლუატაციო მომსახურების (სერვისის) ნორმატიული მონაცემებიდან (შეზეთვა, ტექნიკური მომსახურება, მიმდინარე რემონტი) მტყუნებაზე ნამუშევრის (860 სთ), აგრეთვე სოციალურ დაზღვევაზე და დამატებით ხელფასზე დანარიცხების გათვალისწინებით და აიღება $E=88.00$ ლარის ტოლად.

წლიური დაყვანილი დანახარჯების $S_{დაყვ}$ საბოლოოდ დასადგენად, გამოთვლის შედაგად ვღებულობთ, რომ

$$S_{დაყვ} = A + H_{ელ} + E = 3990.40 \text{ ლარი.}$$

როგორც ზემომოყვანილი გამოთვლებიდან გამომდინარეობს, მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავი წლიური საექსპლუატაციო ხარჯები საკმაოდ მაღალია, და ამ ხარჯებში გადამწყვეტი როლი სწორედ საამორტიზაციო დანახარჯებს ენიჭება.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია შემდეგი სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტა:

1. შესწავლილ იქნა მსოფლიოს მკვლევართა მიერ აქამდე დამუშავებული მაგნიტური ძრავების კონსტრუქციები, დადგენილ იქნა მათი გავრცელების შემზღუდავი ნაკლოვანებები და დაისახა ამ ნაკლოვანებათა აღმოფხვრის მიმართულებები. ლიტერატურის წყაროების და პატენტების ანალიზის საფუძველზე დადგენილ იქნა შემოთავაზებული კონსტრუქციული შესრულების უპირატესობები არსებულ ანალოგებთან შედარებით.

2. შექმნილია მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ორიგინალური კონსტრუქცია, რომელიც დაცულია 2007 წელს მიწიჭებული საქართველოს პატენტით №4094. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავების არსებული კონსტრუქციებისგან ეს ძრავა ანალოგიური ძრავებისგან განსხვავდება უკეთესი ენერგეტიკული და ეკონომიკური მაჩვენებლებით.

3. სხვადასხვა თანამედროვე მასალისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტების ენერგეტიკული, მასა-გაბარიტული და ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარების საფუძველზე შერჩეულ იქნა სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანების მუშაობის პირობებისათვის ყველაზე ხელსაყრელი ნეოდმი-რკინა-ბორის NdFeB მასალისგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტები, რომლებიც ხასიათდება ფასისა და ხარისხობრივი მაჩვენებლების ოპტიმალური შეფარდებით, უძლებს ვიბრაციას და დარტყმებს. ამავე დროს ნაჩვენებია, რომ ამ მაგნიტების გამოყენებისთვის

არსებობს გარკვეული შეზღუდვა მაქსიმალური მუშა ტემპერატურის თვალსაზრისით და შეზღუდული კოროზიამდეგობა.

4. დამუშავებული საანგარიშო-საპროექტო დოკუმენტაციის საფუძველზე დამზადებულ იქნა მუდმივმაგნიტიანი ძრავას მაკეტი, ხოლო შემდეგ საქარხნო ექსპერიმენტული ნიმუში და დასაბუთებულია მისი მუშაობისუნარიანობა. ...

5. დამუშავებული პროგრამის და კვლევების ფორმულირებული მიზნის საფუძველზე ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა ცდებმა დაადასტურა, რომ მაგნიტური ძრავას მუშა თვისებები შეესაბამება მოთხოვნებს. პარალელურად, ცდებმა გამოავლინა კონსტრუქციის დასახვეწად აუცილებელი შემდგომი სამუშაოების მიმართულებანი, კერძოდ, რომ სწორხაზობრივად მოძრავი მაგნიტის ზედა მკვდარ წერტილში გადამწოდის სწორი დარეგულირება, რადგანაც მუდმივი მაგნიტების მოძრაობა ზედა მკვდარ წერტილში აღწევს ნულს, ამავდროულად გადამწოდის სიგნალი უნდა მიეწოდოს ზუსტად იმ მომენტში, როდესაც მუდმივი მაგნიტი იმყოფება ზედა მკვდარ წერტილში, ე.ი სწორხაზობრივად მოძრავი მუდმივი მაგნიტის მოძრაობა არის ნულის ტოლი, რადგან გადამწოდის ჩართვა მუდმივი მაგნიტის მოძრაობის გაჩერებამდე იწვევს მბრუნავი მაგნიტების დაძვრას შედარებით დიდი კუთხით, რის გამოც მბრუნავი მაგნიტების და სწორხაზობრივად მოძრავი მაგნიტების ცენტრები ერთმანეთს არ ემთხვევა, რაც იწვევს ძრავაში ენერჯის კარგვას. ამძრავის ჩატარებული კვლევები ხელს შეუწყობს იმ კანონზომიერებათა დადგენას, რომლებიც გამოდგება მისი შემდგომი ოპტიმიზაციის პროცესს.

6. ლაბორატორიულმა ცდებმა საშუალება მოგვცა მოგვეხდინა ძრავაში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებზე წარმოდგენათა დაზუსტება. დადგენილ იქნა ეკოლოგიურად სუფთა ახალი ტიპის მუდმივ მაგნიტებიანი ამძრავის მუშაობის პრინციპი, კონსტრუქცია და ელექტრული სქემა, ხოლო ექსპერიმენტულმა კვლევამ დაადასტურა, რომ მაგნიტური ძრავას მექანიკური მახასიათებელი შეესაბამება წაყენებულ მოთხოვნებს.

7. ჩატარებულია სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისათვის განკუთვნილი მუდმივ მაგნიტებიანი ამძრავის საიმედოობის მაჩვენებლების დაპროექტების სტადიაზე გაანგარიშება თანამედროვე სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით და ანგარიშის შედეგად დადგინდა, რომ საიმედოობის სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე მუდმივ მაგნიტებიანი ამძრავისთვის საშუალო ნამუშევარი მტყუნებაზე შეადგენს 1,1 თვეს (0,86 ათას საათს), ხოლო მტყუნებათა ინტენსივობა აღწევს 11 მტყუნებას წელიწადში. პარალელურად, ექსპერიმენტულ ნიმუშზე დაკვირვების შედეგად დადგენილ იქნა, რომ მუდმივ მაგნიტებიანი ამძრავის მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი არის ისეთი მოძრავი ნაწილი, როგორცაა ბარბაცა.

8. შესწავლილ იქნა მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას თბური გარდამავალი პროცესები და დადგენილ იქნა, რომ ნომინალური დატვირთვით ხანგრძლივ რეჟიმში მუშაობისას ძრავას გადამეტხურების ტემპერატურა არ აღემატება დასაშვებს და $37,5^{\circ}\text{C}$, ხოლო გახურების დროის მუდმივა 55 წუთს უდრის.

9. შედგენილია მუდმივმაგნიტებიანი ძრავის ბაზაზე შექმნილი ამძრავის ხარჯთაღრიცხვა და ეკონომიკური ანგარიშის შედეგად

დადგენილია წლიური საექსპლუატაციო ხარჯები, რომლებიც 3990.40 ლარს აღწევს, რაც წარმოადგენს დღევანდელ პირობებში ამ ამძრავის გამოყენების ძირითად შემზღუდავ ფაქტორს.

ლიტერატურის სია

1. ბეგიაშვილი ვ., დარჩია ბ., მახარაძე გ. ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილება. გამომცემლობა "უნივერსალი", თბილისი, 2006. – 450 გვ.
2. დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ. ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი. საქართველოს პატენტი № 227, "საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" № 2, 1995.
3. ბერიძე ნ., დანელია რ., ნათენაძე თ., სიმონიშვილი თ. ხაზურ-ბიჯურ ელექტროამძრავიანი სამთო მონორელსური ტრანსპორტის წევის პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდოლოგია. საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო სამეურნეო უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომათა კრებული. თბილისი, ტ. 2008.– გვ. –.
4. დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ., მაისაშვილი ლ. ტრანსპორტიორის ვიბროამძრავის დრეკადი ელემენტების შერჩევა და გაანგარიშება. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XXIX. თბილისი, 2004. გვ. 132–136.
5. დიდებულიძე ა., ცერცვაძე მ. სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისათვის გაკუთვნილი მაგნიტური ძრავას ენერგეტიკული რეჟიმების ანალიზი. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტი" თბილისი, ტომი 1(39), 2011.- გვ. 171-172.

6. დიდებულიძე ა., წულაძე ი. ელექტრომოწყობილობის ექსპლუატაცია. თბილისი, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 1991. – 94 გვ.
7. ვაშაკიძე ა. ალგორითმიზაცია და დაპროექტება. თბილისი, საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტი, 1991. – 56 გვ.
8. კაციტაძე ჯ., სარჯველაძე ნ., ძირკვაძე ე., ხიზანიშვილი ა. მანქანების ტექნიკური სერვისი. თბილისი, 2008. – 285 გვ.
9. კაციტაძე ჯ., სარჯველაძე ნ., სასოფლო-სამეურნეო ტექნიკის საიმედოობისა და რემონტისშემდგომი რესურსის გაზრდა. თბილისი, 1996. – 199 გვ.
10. კორახაშვილი ა. რისკები და გარანტიები საქართველოს სოფლის მეურნეობაში. გამომცემლობა “სამკალი”, თბილისი, 2005. – 327 გვ.
11. ლაოშვილი დ. პ. ელექტრომომარაგების სისტემების საიმედოობა. თბილისი, გამომცემლობა “მერკური”, 1993. – 241 გვ.
12. მაისაშვილი ლ. კუთხითრხევადი ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავის საიმედოობა. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XXXVI. თბილისი, 2006. –171-173 გვ.
13. მახარობლიძე რ., იაშვილი თ. სოფლის მეურნეობის წარმოების მექანიზაციის განვითარების თანამედროვე მსოფლიო ტენდენციები, თბილისი, 2000.
14. მერაბიშვილი პ. ელექტროტექნიკის საფუძვლები. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2005. – 317 გვ.
15. მეტრეველი ვ., ჭელიძე შ., დიდებულიძე ა. ავტომატიზებული ელექტროამძრავი სოფლის მეურნეობაში. თბილისი, “განათლება”, ნაწ. 2, 1982. – 255 გვ.

16. მიდელაშვილი ე. ელექტრომაგნიტური ვიბრობუნკერის საიმედოობის გამოკვლევა. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ. XVII. თბილისი, 2002. - 238-242 გვ.
17. მიდელაშვილი ე. მეღვინეობის ტექნოლოგიური პროცესებისათვის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული დანადგარების დამუშავება და მათი მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია (მონოგრაფია). სსაუ, თბილისი, 2010. - 140 გვ.
18. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., კუპატაძე მ. ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა. საქართველოს პატენტი № 49, "საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" № 1, 1994, - 151 გვ.
19. შაფაქიძე ე., ნატროშვილი დ. სასოფლო-სამეურნეო მანქანები. თბილისი, საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, 2010. - 236 გვ.
20. შილაკაძე მ. მექანიკური მოწყობილობების საიმედოობის საფუძვლები. თბილისი, საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2009. - 400 გვ.
21. ცერცვაძე რ., ცერცვაძე მ., ცერცვაძე გ. მაგნიტური ძრავა. საქართველოს პატენტი № 4094, საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი, №8, 2007.
22. ცერცვაძე მ. მაგნიტური ძრავას ექსპერიმენტული კვლევა. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტომი 3, №3 (52). საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, თბილისი, 2010. - 68-71 გვ.
23. ცერცვაძე მ. მობილური სასოფლო-სამეურნეო მანქანებისათვის განკუთვნილი წევის მაგნიტური ძრავისათვის მაგნიტური მასალის შერჩევა. საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, თბილისი, ტომი 3, №1 (50), 2010. გვ. 90-92.

24. ცერცვაძე მ. სასოფლო-სამეურნეო მობილური მანქანებისთვის განკუთვნილი მუდმივმაგნიტებიანი ამძრავის საიმედოობის მაჩვენებლები, საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტომი 4, №2 (55), თბილისი, 2011. – 68–72გვ.
- 25.ჯავახიშვილი გ. სამფაზა უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბროამძრავი სოფლის მეურნეობაში. საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო უნივერსიტეტი, თბილისი, 2008. – 110გვ.
- 26.Bertsche B., Lechner G. Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau: Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten. 3. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2004. – 188 S.
- 27.Böcker J. Mechatronik und elektrische Antriebe. Skript zur Vorlesung. Universität Paderborn, 2011. – 131 S.
- 28.Bozorth R.M. Permanent Magnet Handbook. Crucible steel Company of America, Pittsburg USA. 1963, - 240 pages.
- 29.Buschow K.J.S. Permanent Magnet Materials and Their Applications,- Trans Tech Publications, Ltd., Switzerland, 1998.
- 30.Buschow K.H.J. Magnetism and processing of permanent magnet XIII International Workshop on Rare-Earth Magnets and their materials, in: K.H.J. Buschow (Ed.), Handbook of Magnetic Materi- Applications Birmingham, UK, 1994, p. 87.
- 31.Buschow K.H.J., Wohlfarth F. Ferromagnetic Materials: A Handbook on the Properties of Magnetically Ordered Substances E.P. North-Holland, Netherlands, 1990.

32. Campbell P. Permanent Magnet Materials and their Application (Cambridge Studies in Magnetism). Cambridge Univ. Press, 1996. – 220 pages.
33. Christianson L., Alcock R., Froehlich D., Hellickson M. Electric tractor. US Patent # 4,662,472, May 5, 1987.
34. Coate J. EVs Can Bring RE to the Field. The Natural Farmer, Northeast Organic Farming Association (NOFA). September, 2005. – 5 pages.
35. Dobrzański L.A., Drak M., Ziębowicz B. Materials with specific magnetic properties. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, #17, 2006. Pages 37-40.
36. Dormidontov A., Lukin A., Shabalina E., Szymura S. The influence of external factors on service properties of NdFeB magnets. 14th International Conference on Permanent Magnets, Suzdal, Russia, 22-26 September 2003.
37. Dormidontov A., Sergeev S., Perevoshchikov P., Sergeev K. Magnetic systems on the base of Nd-Fe-B magnets for broad-band amplifier klystrons. 14th International Conference on Permanent magnets, Suzdal, Russia, 22-26 September 2003.
38. Dudyshev V.D. Magneto-Electrical Field generator. RF Patent Bureau Resolution for Patenting dated 28.10.2004, requested patent # 2004129231 4.10.2004.
39. Ebeling R., Ervens W. High quality permanent magnet materials improve drive performance. PCIM, July 1991, p. 49
40. El-Moneim A.A. Passivity and its breakdown of sintered NdFeB-based magnets in chloride containing solution, Corrosion Science, 46 (2004) .
41. England T.R. Improved servo motor performance with neodymium iron boron magnets. 27th IEEE machine tools industry conference, 1995

42. Enokizono M., Takahashi S., Kiyohara T. Magnetic Field Analysis of Permanent Magnet Motor with Magnetoanisotropic Materials NdFeB. IEEE Transactions on Magnetics, vol. 39, # 3, May 2003.- pp. 1373 – 1376.
43. Furlani E.P. Permanent Magnet and Electromechanical Devices. San Diego, CA: Academic, 2001.
44. Gary Wesley. Improvement on Magneto Electric Machines. Canadian Patent # 10,239 March 13, 1879.
45. Goble W.M. Getting Failure Rate Data. Principal Partner, exida.com LLC, 2002. – 7 pages.
46. Gogue G.P., Stupak J.J. Radially oriented magnet rings. Intelligent motion conference, Irvine, CA, October 1993, 244 pp.
47. Hanselman D. Brushless Permanent Magnet Motor Design The Writer's Collective, 2003
48. Hartman Emil T. Permanent magnet propulsion system. US Patent # 4,215,330. July 29, 1980.
49. Huang H., Anderson W.M., Fuchs E.F. High-power density and high efficiency motors for electric vehicles applications. ICEM '90, Cambridge, MA, August 1990
50. Jiles D.C. Recent advances and future directions in magnetic materials. Acta Materialia, 51 (2003)
51. Johnson Howard. Permanent magnet motor. US Patent # 4,151,431. April 24, 1979, 4,151, 431
52. Johnson Howard. Magnetic force generating method and apparatus. US Patent # 4,877,983. October 31, 1989.

53. Johnson Howard. Magnetic propulsion system. US Patent # 5,402,021. March 28, 1995.
54. Kaneko Y. Highest performance of NdFeB magnet over 55 MGOe, IEEE Trans. Magn., vol. 36, pp. 3275–3278, Sep. 2000.
55. Ksowreli R., Didebulidze A., Gasseev A. Electromagnetic Oscillation Motor. US Patent # 4885487, 12.05.1989.
56. Kumada M. et al. Development of Tesla permanent magnet. Proc. 2001 Particle Accelerator Conf., Chicago, IL, 2001.
57. Mildrum H. F. Umana G. M. Elevated temperature behavior of sintered Nd-Fe-B Type magnets, IEEE Trans. Magn., vol. 24, pp. 1623–1625, Mar. 1988.
58. Miller T.J.E. Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives Oxford Science Publications, 1989 .
59. Minato Kohei. Magnetic Rotation Apparatus. US Patent # 4,751,486. June 14, 1988.
60. Mitchell P. Corrosion protection of NdFeB magnets, IEEE Trans. Magn., vol. 26, pp. 1933–1935, Sep. 1990.
61. Minato Kohei. Magnetic Rotating Apparatus. US Patent # 5,594,289. January 14, 1997.
62. Moskowitz L. Permanent Magnet Design and Application Handbook, 2nd ed. Malabar FL: Krieger, 1995.
63. Parker R.J. Advances in Permanent Magnetism. Wiley, New-York, 1990 – 365 pages.
64. Perendev "Permanent Magnet machine", Word Intellectual Property Organization International Bureau. International Publication Date: May 4, 2006, W02002/045333

65. Sebastian T. Temperature effects on torque production and efficiency of PM motors using NdFeB magnets. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 31, pp. 353–357, Mar./Apr. 1995.
66. Semones B.C. High energy density rare earth cobalt magnets and DC servomotors: A valuable union. *Proc. of 6th international workshop on REC-PM and their applications*, Vienna, Austria, 1982, p.9
67. Semones B.C. Volumetric improvements in high energy magnet motors. *Intermag.*, St. Paul, MN, April 1985 .
68. Shkondin V. Independent-Drive Wheel for a wheel-mounted vehicle. US Patent # 5,164,623. Nov.17, 1992.
69. Shmitz N., Novotny D. *Introductory Electromechanics*. The Ronald Press Company, New York, 1965. – 336 pages.
70. Schröder D. *Elektrische Antriebe – Grundlagen*. Springer Verlag, 4. erweiterte Auflage, 2009. – 742 S.
71. Stekly Z. J. J. Large scale applications of permanent magnets, [*IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 10, pp. 873–878, Mar. 2000.
72. Strnat K.J. Modern permanent magnets for application in electro-technology. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 78, No. 6, June 1990, pp. 923 – 46 s.
73. Tesla Nikola. Electromagnetic Motor. US Patent # 464,666. December 8, 1891.
74. Thopson M.T. Practical Issues in the Use of NdFeB Permanent Magnets in Maglev, Motors, Bearings, and Eddy Current Brakes. *IEEE* 97, No. 11, November 2009.
75. Trout S.R., Zhilichev Y. Effective use of neodymium iron boron magnets, case studies, in *Proc. 1999 Electr. Insul. Conf. Electr. Manuf. Coil Winding Conf.*, Cincinnati, OH, Oct. 26–28, 1999.

76. Tseung Lawrence. Theory and Prototypes of Various Magnetic Motors. 2007. – 48 pages.
77. Wang Shum Ho. An Energy Machine (5KW Electricity Generator). China Patent # 91205280.5, March 30, 1991.
78. Zern A., Seeger M, Broun J., Kronmuller H, On Rare-Earth Magnets and their Applications, Dresden, Germany, Mater. 184 (1998) 89. Vol. II, 1998, 887 p.
79. Zewatsky M. What Drives Global Hybrid Sales? R.L.Polk&Co, 2010.
80. Zezulka V., Straka P. Methods of assembling large magnetic blocks from NdFeB magnets with a high value of $(BH)_{\max}$ and their influence on the magnetic induction reached in an air gap of a magnetic circuit, Apr. 2008.- 485–491 pp.
81. Адамия Р. Ш. Динамика машин. – Тбилиси: «Мецниереба», 1999. – 399 стр.
82. Амираджиби К.М., Дидебулидзе А.И. Электротрактор. Сравнение свойств электротрактора с теплотрактором. «Электрификация сельского хозяйства», Москва, 1931, № 3
83. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф., Ларионов А.Н. Электрические машины с постоянными магнитами. Москва: Энергия, 1964. – стр.
84. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. – Москва: Высшая школа, 1990.- 226 стр.
85. Гольдберг О.Д., Гурий Н.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. – Москва: «Высшая школа», 1984. – 481 стр.

86. Гурин В.В, Замятин В.М., Попов А.М. Детали машин и основы конструирования. Томск. Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 427 с.
87. Дмитриев И.И. Результаты сравнительных испытаний четырех советских электротракторов кабельного питания. «Электрификация сельского хозяйства», Москва, 1936, № 1.
88. Ермолин И., Жерихин И. Надежность электрических машин. – Ленинград: «Энергия», 1976. – 248 стр.
89. Захаров О.Г. Испытания электрических изделий. – Москва: «Высшая школа», 1987. – 247 стр.
90. Иванов–Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. – Москва: «Высшая школа», 1989. – 311 стр.
91. Калинин А.А. Магнитный двигатель. Патент Российской Федерации № 34826, 10.12.2003. Бюллетень № 34, 2003.
92. Кацитадзе Дж.В. Исследование процессов с применением статистических методов. Известия аграрной науки, Тбилиси, 2008. – стр. 34-39.
93. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. – Москва: «Высшая школа», 1988. – 322 стр.
94. Листов П.Н. Экспериментальная работа электротракторов. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», Москва, 1938, № 7.

95. Лифанов В.А. Расчет электрических машин малой мощности с возбуждением от постоянных магнитов. Издание второе. Челябинск. Издательский центр ЮУрГУ. 2010. – 164 стр.
96. Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности. – Москва. Высшая школа, 2002. – 512 стр.
97. Магниты и магнитные системы. www.magn-ms.ru
98. Махароблидзе Р.М. Оптимизация динамических процессов в сельскохозяйственных машинах. – Москва: «Агропромиздат», 1991. – 156 стр.
99. Минский тракторный завод выпустил машину «Беларус-3023», которая оснащается электромеханической трансмиссией. 10.10.2010
<http://www.autocentre.ua/news/Komavto/32209.html>
100. Ормоцадзе Д. Е., Ксоврели Р. И., Кочиев Г. В. Устройство для управления электромагнитным вибратором. А.С. СССР №873379, Бюллетень Изобретений №38, 1981.
101. Постоянные магниты. НПО “Эрга”, Калуга, 2006. – 8 стр.
102. Пятин Ю.М. Постоянные магниты.– Москва: Энергия, 1980.
103. Рипс Я. А., Савельев Б.А. Анализ и расчёт надёжности систем управления электроприводами. – Москва: «Энергия», 1974. – 248 стр.
104. Сазонов Н.А. Принцип канатной тяги и электропахота. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», Москва, 1938, № 12.
105. Шинтеков Е. Электромагнитный двигатель. 12 февраля 2008.
<http://www.sonel.ru/ru/biblio/article/electromagnetic-propulsion/>
106. <http://www.consult-g2.com/papers/paper17/paper.html> 9/5/2007

107. <http://emcomag.ru/>
108. <http://www.free-energy-info.co.uk/Chapt1.html>
109. <http://www.goudsmitmagnetics.nl/fileadmin/goudsmit>
110. www.neomagnetics.com
111. <http://www.ndfeb.ru/articles/perm-mag.ntm>
112. www.tulamagnit.ru
113. http://www.valter.ru/Magnets4/mag_4_27.htm
114. <http://www.autocentre.ua/news/Komavto/32209.html>
115. <http://www.perendev-power.com/>
116. http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/ARM/Fault_Table.html
117. <http://www.ntpo.com/>
118. <http://www.siaminstrument.com>.
119. <http://permanentmagnets.ru/NdFeB.htm>

დანართები



ს ა ქ ა რ თ ვ ე ლ ო
ინფლექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი «საქპატენტი»

პატენტი

P 4094

გამომგონება:

მაგნიტური ძრავა

აპენდემფლოგული:

რომან ცერცვაძე, მაკა ცერცვაძე, გიორგი ცერცვაძე

ავტორი:

რომან ცერცვაძე, მაკა ცერცვაძე, გიორგი ცერცვაძე

ქალაქია:

2005-12-29 - დან

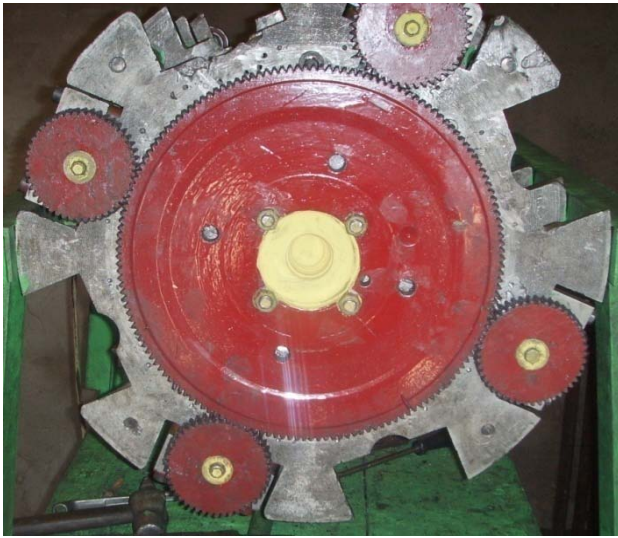


Handwritten signature

ლავით გაგუნია
გენერალური დირექტორი

თბილისი

დანართი 1. საქართველოს პატენტი № 4094.



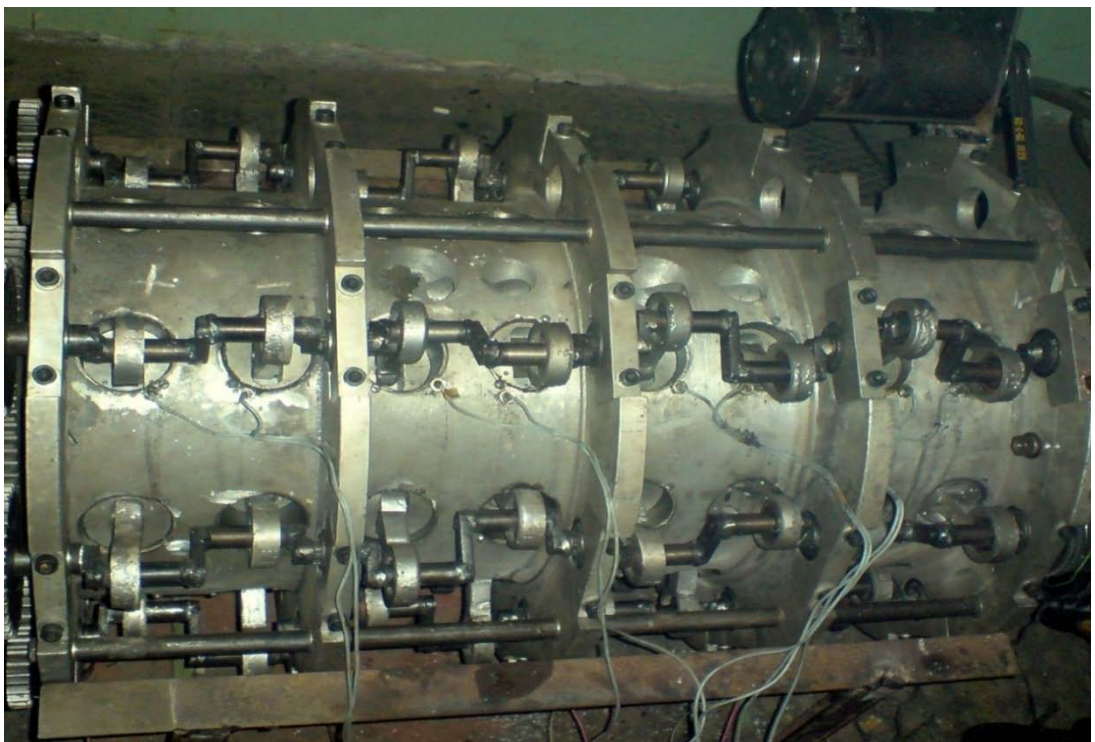
დანართი 2. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას მაკეტი – (წინხედი)



დანართი 3. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას მაკეტი – (გვერდხედი)

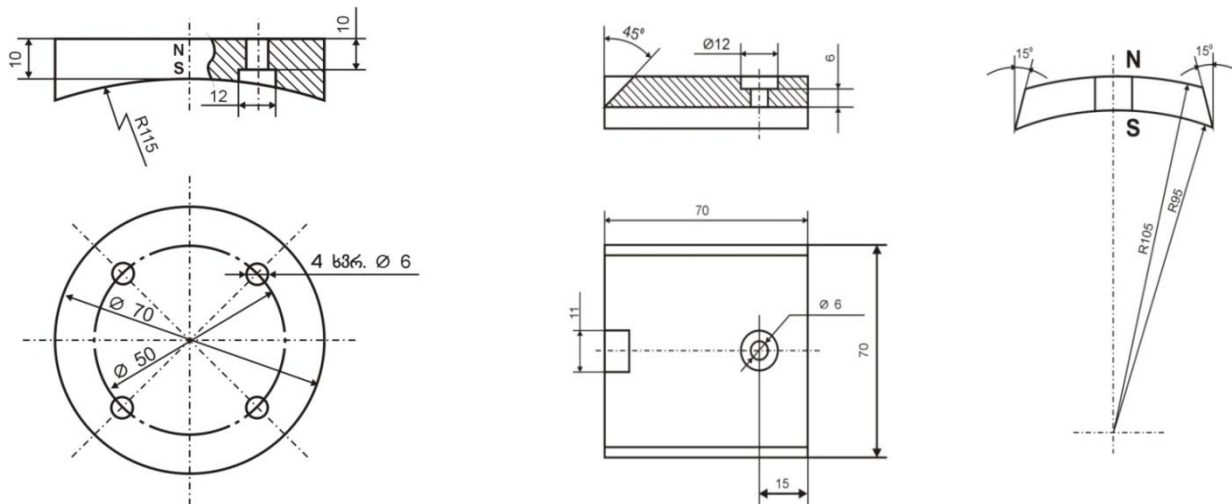


დანართი 4. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ექსპერიმენტული ნიმუში (წინხედი)



დანართი 5. მუდმივმაგნიტებიანი ძრავას ექსპერიმენტული ნიმუში (გვერდები)

დანართი 6. მულმივი მაგნიტები



ნახ. 1 მრგვალი მულმივი მაგნიტი ნახ. 2 ოთხკუთხედი მულმივი მაგნიტი

მულმივი მაგნიტის წონა:

- ერთი მრგვალი მულმივი მაგნიტის წონა 450 გრ
- ერთი ოთხკუთხედი მულმივი მაგნიტი წონა 400 გრ

მულმივმაგნიტებიან ძრავაში გამოყენებული 64 ცალი მრგვალი მაგნიტი – 25600 გრ = 25 კგ.

მულმივმაგნიტებიან ძრავაში გამოყენებული 64 ცალი ოთხკუთხედი მაგნიტი – 28800 გრ = 28 კგ.

მულმივი მაგნიტების საერთო წონა – 53 კგ.

მულმივი მაგნიტის ზომები:

მრგვალი მულმივი მაგნიტის დიამეტრი – 70 მმ

მრგვალი მულმივი მაგნიტის საშუალო სისქე – 10 მმ

მრგვალი მუდმივი მაგნიტის მოცულობას ვანგარიშობთ ფორმულით

$$V = Sd = \frac{\pi D^2}{4} d$$

$$V = Sd = \frac{\pi D^2}{4} d = \frac{3,14 \cdot 4900}{4} \cdot 10 = 38500 \text{ მმ}^3 = 38,5 \text{ სმ}^3$$

- ოთხკუთხედი მუდმივი მაგნიტის ზომებია – 70 მმ X 70 მმ
- საშუალო სისქე 10 მმ
- ოთხკუთხედი მუდმივი მაგნიტის მოცულობა არის

$$70 \text{ მმ} \times 70 \text{ მმ} \times 10 \text{ მმ} = 49\ 000 \text{ მმ}^3 = 49 \text{ სმ}^3.$$

დანართი 7. მულტივიზმაგნიტებიანი ძრავას გეგმარი

