

## პლატონ მანჯავიძე

ახალი უკონტაქტო ინდუქციური გარდამქმნელების  
აგების პრინციპები მუდმივი მაგნიტის ენერჯის  
გამოყენებით

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივნისი 2008 წ.

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მანჯავიძე პლატონის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ახალი უკონტაქტო ინდუქციური გარდამქმნელების აგების პრინციპები მუდმივი მაგნიტის ენერჯის გამოყენებით” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის “ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი”

სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

### თარიღი

ხელმძღვანელი: ო.ლაბაძე

რეცენზენტი: კ.კამკამიძე

რეცენზენტი: ი.ნარდაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2008 წ.

ავტორი: “მანჯავიძე პლატონი”

დასახელება: “ახალი უკონტაქტო ინდუქციური გარდამქმნელების აგების პრინციპები მუდმივი მაგნიტის ენერჯის გამოყენებით”

ფაკულტეტი : “ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი”

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: 20.06.2008

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

დასაბუთებულია სამუშაოს აქტუალობა, განსაზღვრულია მიზანი და ფორმულირებულია დისერტაციაში განხილული გადასაწყვეტი სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანები.

ჩატარებულია კონტროლისა და გაზომვის ტექნიკის არსებული პრინციპების, საშუალებების, ხერხების და მეთოდების შედარებითი ანალიზი. დადგენილია ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების გამოყენების პერსპექტიულობა.

მოყვანილია ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაცია და მათი ღირსება-ნაკლოვანებების ანალიზი.

ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ სიჩქარეების გარდამსახეში მუდმივი მაგნიტის ენერჯის გამოყენება მაგნიტური გამტარის გარეშე პერსპექტიულია.

მოყვანილია ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების (იპგ) კლასიფიკაცია კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით. შედგენილია ცდომილებების წყაროების კლასიფიკაცია იმ შემთხვევისთვის, როცა აღმზნები გრაგნილის როლს ასრულებს მუდმივი მაგნიტი.

შეფასებულია ინდუქციური გარდამქმნელების მეტროლოგიური მახასიათებლები. დადგენილია, რომ  $5 \cdot 10^{-4}$  ტლ ინდუქციის მაგნიტური ველის გავლენას შემოაქვს ცდომილება არაუმეტეს 0,2%.

განხილულია კუთხური გადაადგილების და სიჩქარის სამკოორდინატული პირველადი გარდამქმნელის თეორიული საფუძვლები და აგების პრინციპები. დასაბუთებულია, რომ სფერული ფორმის მუდმივი მაგნიტის ველის კვაზიკოსინუსოიდალობა იძლევა იმის საშუალებას, რომ მისი უმნიშვნელო მობრუნების შემთხვევაშიც კი ჩაკეტილ კონტურში აღძრას ემმ, ვინაიდან იწვევს ნაკადშემბულობის ცვლილებას.

დამუშავებულია სამკუთხედის ფართობის პოვნის განზოგადებული კოორდინატული მეთოდი იმ შემთხვევისათვის, როდესაც  $R$  რადუსიან სფეროზე განთავსებული გრაგნილებისგან შემდგარი კონტური არ მიეკუთვნება სფეროს დიდ წრეს, რაც იძლევა საშუალებას სფეროზე სამი კოორდინატის ცოდნის შემთხვევაში გამოვიანგარიშოთ ფართობის სიდიდე, რომელიც ემმ პირდაპირპროპორციულია..

კერძო შემთხვევისათვის, იგივე ამოცანა გადაჭრილია ურთიერთ-ინდუქციურობის ცვლილების დადგენის გზით, როცა სფერული ფორმის მაგნიტი ჩანაცვლებულია წრიული ფორმის მუდმივ დენიანი კონტურით.

ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა, რომ ღრუ ნახევარსფეროს ორ გამზომ კონტურში დამატებითი სექციების შემოტანით, პერიმეტრზე განთავსებული გამზომი კონტურის გარდა, გარდამქმნელის მაქსიმალური მგძნობიარობა გაიზარდა საშუალოდ 1,5-ჯერ და შეადგინა 27 [მვ/°].

განხილება ორხედური ინდიკატორების აგების ფიზიკური საფუძვლები, პრინციპები და ხედური ინფორმაციის შეცვლის მართვის თავისებურებანი.

დამუშავებულია ორხედური ინდიკატორი მწკრივში განლაგებული ღრუ ცილინდრული ფორმის მქონე და რადიალურად დამაგნიტებული მაგნიტების გამოყენებით.

მწკრივად განლაგებული მონაცვლე პოლუსების მქონე ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტები უზრუნველყოფენ ინდიკატორის ელემენტების მდგრად მდგომარეობას მართვის იმპულსის მოხსნის შემდეგ და ამიტომ საიმედოდ ინარჩუნებენ წინა ინფორმაციას მაშინაც კი, როცა ინდიკატორზე მოქმედებს ვიბრაცია.

გამოკვლეულია ასეთი სისტემის მართვის თავისებურებანი და დადგენილია, რომ იმპულსური მართვისას ადგილი აქვს მიღევად რხევებს, რომლებიც გამოწვეულია მრავალმრიცხოვანი პარამეტრების გავლენით.

შედგენილია მართვადი იმპულსური ზემოქმედების შედეგად გამოწვეული მოძრაობის დაზუსტებული განტოლება, რომელიც ითვალისწინებს ძირითად მოქმედ ფაქტორებს: ბრუნვის ელექტრომაგნიტურ, მშრალი ხახუნის, სიბლანტის და ფირფიტის გრეხის ძალის მომენტებს.

რხევების რიცხვის შესამცირებლად შემოთავაზებულია მართვის რამდენიმე მიდგომა.

მოყვანილია მცირე სიმძლავრიანი, აქსიალურად დამაგნიტებული ტორის ფორმის მუდმივი მაგნიტის შემცველი, მრავალფენოვანი გენერატორის აგების პრინციპი. დასაბუთებულია მათი პერსპექტიულობა მძიმე მრეწველობაში უქმად მბრუნავი ღერძების მექანიკური ენერჯის ელექტრულ ენერჯიაში გარდამსაქმნელად.

გენერატორის აგების ორიგინალური პრინციპი, მისი აღმგზნები და უძრავად განთავსებული კოჭების მომჭერების შეერთება იძლევა საშუალებას, რომ გენერატორი გამოვიყენოთ როგორც დენის ან როგორც ძაბვის წყარო.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად შედეგებზე გამოქვეყნებულია 14 სამეცნიერო სტატია, აპრობაცია გავლილია 3 საერთაშორისო კონფერენციაზე, მიღებულია 3 პატენტი და შედგენილია სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს 2 ანგარიში.

## SUMMARY

The actuality of the work is proved, the aims are determined and the considered solvable scientific-technical tasks in the dissertation are formulated.

The comparative analysis of the existing principals, means and methods of control and measuring technique is carried out. The prospect of using electromagnetic initial transducers is determined.

The classification of the electromagnetic initial transducers and the analysis of their merits and demerits are given.

On the basis of the analysis the use of the constant magnetic energy without a magnetic conductor in the speed transducer is determined to be perspective.

The classification of the inductive initial transducers by the design feature is given. The classification of the sources of errors for the case when the constant magnet acts like an excitation winding is made up.

The metrological characteristics of inductive transducers are estimated. It is determined that the influence of the field with the magnetic induction of  $5 \cdot 10^{-4}$  Tc gives not more than 0,2% of errors.

Theoretical footings and principles for constructing a three dimensional initial transducer of angular movement and velocity are considered. It is proved that the quasi-cosinusoidality of the magnetic field of a spherical form makes possible to actuate electromotive force (emf) in the closed circuit in case of its insignificant angular rotation, since it causes changes of magnetic linkage.

Devised is the generalized coordinate method for determining a triangle area for the case when on the sphere of R radius is placed the contour made of winding not belonging to the big circle of sphere giving the possibility in case when three coordinates are known to calculate the value of the area, which is in direct proportion to the emf.

For the special case the same problem is solved by determining the changes of mutual induction, when a constant magnet is substituted by the contour with direct current.

By the experiment it is determined that by introducing additional sections in two measuring contours of hollow semisphere, besides the contour placed along the perimeter, the maximum sensitivity of the transducer was increased 1.5 times on average and made  $27 \text{ mB}^0$ .

The physical footings of constructing a two-sided indicator are considered, the principles and peculiarities of control are substituted by the visual information.

The two-position indicator using ranked hollow cylindrical by form and radially magnetized magnets is developed.

Hollow cylindrical by the form and radially magnetized magnets ranked with the variable polarity provide steady state of the indicator elements after cutting off a control impulse and therefore securely preserve the previous information even when the vibration effects on the indicator.

The peculiarities of such control system are investigated, and it is determined that when impulse control damped vibrations stipulated by the influence of numerous parameters take place.

The specified equation of motion caused by the influence of the control impulse, which takes into account the principal acting factors: moments of force - electromagnetic rotation, dry friction, moment of viscosity, torsion, is made.

Some methods of control are proposed for minimizing a number of vibrations.

The principle of constructing a multi-layer generator of low power consisting of axially magnetized constant magnet of a torus form is given. The prospect of its use in heavy industry for converting the mechanical energy of the idle rotating axle into the electrical energy is proved.

The original principle of the generator construction, its excitation and connection of the ends of fixed coils gives possibility to use the generator as a source of current or power.

The basic results of the dissertation work were published in 14 scientific papers, they were approbated on 3 international conferences, 3 patents were taken out and 2 scientific-research reports were made.

## სარჩევი

ნახაზების ნუსხა.

დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები.

შესავალი..

**I თავი. სამუშაოს აქტუალობა, მიზანი და კვლევის ამოცანები.**

- 1.1. სამუშაოს აქტუალობა და მიზანი.
- 1.2. არსებულ მაკონტროლებელ მოწყობილობათა ანალიზი.
- 1.3. ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაცია კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით.
- 1.4. ხაზოვანი და კუთხური სიჩქარის ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების ცდომილებების ანალიზი.
- 1.5. კვლევის ამოცანები.

**II თავი. კუთხური გადაადგილების სამკოორდინატული პირველადი არდამქმნელის თეორიული საფუძვლები და აგების პრინციპები.**

- 2.1. მაგნიტური ველის სამი ორთოგონალური მდგენელის გამოთვლის გამოსახულებები.
- 2.2. სამკოორდინატული ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელის აგების პრინციპი.
- 2.3. ნახევარსფერული ფორმის ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების მგრძნობიარობის გაზრდის გზები.
- 2.4. ურთიერთინდუქციურობა საერთო ცენტრის მქონე წრიულ და სფერულ ზედაპირებზე ბრტყელპარალელურად განლაგებულ ნახევარწრეწირულ კონტურებს შორის.
- 2.5. შედეგები II თავის მიხედვით.

**III თავი. ორხედური ინდიკატორების ფიზიკური საფუძვლებისა და აგების პრინციპების დამუშავება.**

- 3.1. უკონტაქტო ორხედური ინდიკატორის აგების ფიზიკური საფუძვლები.
- 3.2. ინდიკატორის აგების პრინციპი და კონსტრუქციული თავისებურებანი.
- 3.3. მწკრივად განლაგებულ მაგნიტებზე დინამიური ძალების მოქმედების გამოთვლა.
- 3.4. ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტების მოძრაობის დინამიური განტოლების შედგენა.
- 3.5. პრიზმული ფორმის მაგნიტებზე აგებული ორპოზიციური დინამიური ობიექტის უკონტაქტო მართვის თავისებურებანი.
- 3.6. ინდიკატორის შესრულების კონკრეტული მაგალითი.
- 3.7. შედეგები III თავის მიხედვით.



**IV თავი. მეორადი გარდამქმნელებისათვის მცირე სიმძლავრიანი, მუდმივი მაგნიტების შემცველი გენერატორის დამუშავება.**

- 4.1 გენერატორის აგების ფიზიკური საფუძვლები და თავისებურებანი.
- 4.2 გენერატორის მაკეტის მოქმედების ფუნქციონალური სქემა.
- 4.3 გენერატორის გამომავალი სიგნალის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა.
- 4.4 შედეგები IV თავის მიხედვით.

**დასკვნა.**

**გამოყენებული ლიტერატურა.**

- დანართი 1. ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლის პროგრამები გარდამქმნელის გამომავალი მახასიათებლის დასადგენად და სტაციონალური მაგნიტური ველის ინდუქციის გამოთვლის ბლოკ-სქემა.
- დანართი 2. ძირითადი ექსპერიენტალური გამოკვლევების ცხრილები და მიღებული მახასიათებლები.
- დანართი 3. დამუშავებული პირველადი გარდამქმნელების კონსტრუქციული თავისებურებანი.
- დანართი 4. დამუშავებული მაკეტების ფოტოსურათები.

# ნახაზების ნუსხა

## თავი 1

- 1.1. ელექტრომაგნიტური გარდამქმნელების კლასიფიკაცია .....22
- 1.2. ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაცია  
კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით .....24
- 1.3. ცდომილებების წყაროების კლასიფიკაცია .....27

## თავი 2

- 2.1. ნახევარსფეროს ფორმის მაგნიტის ზედაპირზე მაგნიტური  
ველის განაწილების სახე.....39
- 2.2. სფერული ფორმის მაგნიტის ზედაპირზე მაგნიტური ველის  
განაწილების სახე.....39
- 2.3. მაგნიტური ველის დამაბულობის განაწილების რიცხობრივი  
მნიშვნელობები ზედეპირიდან დ მანძილით დაშორებით.....39
- 2.4. ორი მიმდევრობით შეერთებული ნახევარკალით შედგენი-  
ლი იდენტური გამზომი კონტურების შესრულების სქემა .....43
- 2.5. სამი მიმდევრობით შეერთებული ნახევარკალით შედგენი-  
ლი იდენტური გამზომი კონტურების შესრულების სქემა.....43
- 2.6. აღმზნები რგოლის მობრუნების შემთხვევაში ე.მ.ძ.-ს  
მიმართულებები თითოეულ გამზომ ხვიაში.....44
- 2.7. გამზომ გრაგნილის თითოეულ ნახევარკალში ე.მ.ძ.-ბის  
ზედდების სქემა .....44
- 2.8. სამკოორდინატული გადამწოდის ფუნქციონალური სქემა.....45
- 2.9. დიდი რადიუსის სამი იდენტური ნახევარკალური ფორმის  
გრაგნილების განთავსება სფეროს ზადაპირზე..... 51
- 2.10. მუდმივი მაგნიტის  $\varphi$  კუთხით წანაცვლებისას ნახევარკა-  
ლური ფორმის გრაგნილების მიერ მაგნიტური ძალწირების  
გადაკვეთით მიღებული ფართობი ..... 51
- 2.11. R რადუსიან სფეროზე განთავსებული ნახევარკალური  
ფორმის კონტურის სიბრტყე არ გადის სფეროს ცენტრზე ..... 53
- 2.12. სფერული სამკუთხედის ზოგადი ფორმა ..... 53
- 2.13. სფერული სამკუთხედის ფართობის განსაზღვრის ზოგადი  
სქემა.....56
- 2.14. სფერული სამკუთხედის ფართობის პროექცია X  
სიბრტყეზე.....56
- 2.15. საერთო ცენტრის მქონე წრეწირული და სფერულ ზეაპირზე  
ბრტყელპარალელურად განლაგებული ორი ნახევარწრე  
წირული კონტურები ..... 61
- 2.16. კონტურების პროექციები X სიბრტყეზე..... 61

## თავი 3

- 3.1. ღრუ ცილინდრული ფორმის შედგენილი მაგნიტები .....64
- 3.2. ორი სრული ნახევარკალიდან შედგენილი ღრუ ცილინ

დრული ფორმის მაგნიტის მაგნიტური ველის სახე.....	65
3.3. ორი ერთმანეთისაგან იძულებით დაშორებული ღრუ ცილინ- დრული ფორმის მაგნიტებს შორის მაგნიტური ველის სახე.....	65
3.4. მწკვივში განლაგებულ ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტე- ბის დინამიკა გარე მაგნიტური ველის ზემოქმედების დროს...	68
3.5. მზრუნავი მაგნიტის გეომეტრიული პარამეტრები.....	68
3.6. მმართავი ელექტრომაგნიტის მაგნიტოგამტარის ბუნუკების დახრის კუთხის განსაზღვრის მეთოდის სქემა.....	70
3.7. მაგნიტოგამტარის ბუნუკების საშვალო ხაზის სიგრძის განსაზღვრის მეთოდის სქემა.....	70
3.8. სექციონირებული ორხედური ინდიკატორის ფუნქციონალური სქემა.....	72
3.9. ორხედური ინდიკატორის კონსტრუქციული სქემა.....	72
3.10. ორხედური ინდიკატორის დინამიური მართვის ელექტრული სქემა.....	72
3.11. მაგნიტის დიპოლის სახით წარმოდგენა.....	76
3.12. ორი ღრუ ცილინდრული ფორმის და რადიალურად დამაგ- ნიტებულ მაგნიტებზე მოქმედი ძალები.....	76
3.13. მაგნიტებზე ძალების მოქმედების მახასიათებელი.....	77
3.14. გარე მაგნიტური ზემოქმედების მოხსნისას მექანიკური რხევე ბის ხასიათის სახე.....	77
3.15. ორხედური ინდიკატორის სისტემა ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტებით.....	80
3.16. მართვის იმპულსების დიაგრამები.....	80
3.17. ორხედური ინდიკატორის ადაპტური მართვის სისტემა რადიალურად დამაგნიტებული ოთკუთხა პრიზმის ფორმის მაგნიტებით.....	89
3.18. ადაპტური მართვის იმპულსების დიაგრამები.....	89
3.19. მოძრაობის დიაგრამები.....	91

#### თავი 4

4.1. ტოროიდალური ფორმის აქსიალურად დამაგნიტებული მაგ ნიტის მაგნიტური ველის სივრცული განაწილება.....	97
4.2. მაგნიტოგამტარის პოლუსური ბუნუკების გეომეტრიული ფორმები.....	97
4.3. მაგნიტოგამტარის ჭრილის კონფიგურაცია.....	98
4.4. ორი უძრავი არამაგნიტური დისკოების შემცველი და მათზე სიმეტრიულად განთავსებული ელექტრომაგნიტები აღმზნები კოჭებით და ორი მოძრავი ტოროიდალური ფორმის მაგნიტე ბი თანხვდენილად მიმართული დამაგნიტებით.....	98
4.5. ორი უძრავი არამაგნიტური დისკოების შემცველი და მათზე სიმეტრიულად განთავსებული ელექტრომაგნიტები აღმზნები კოჭებით და ორი ტოროიდალური ფორმის მოძრავი მაგნიტები საპირისპიროდ მიმართული დამაგნიტებით.....	98
4.6. გენერატორის ფუნქციონალური სქემა.....	100

4.7. გენერატორის ჩანაცვლების სქემა.....	100
4.8. გენერატორში გამოყენებული მაგნიტის ზედაპირული პოტენ- ციალის განაწილება.....	100
4.9. გენერატორის მაგნიტური გულარის ბუნუკებს შორის ველის გადანაწილება როცა $d=0$ .....	104
4.10. გენერატორის გამომავალი სიგნალის ცვლილება მაგნი- ტური გულარის ბუნუკებს შორის მანძილის ცვლილებისას.....	104
4.11. ექსპერიმენტული გამომავალი მახასიათებელი ელექტრომა გნიტის გამჭოლი ნაკადის ინტენსიობის შემცირებისას .....	105
4.12. ექსპერიმენტული გამომავალი მახასიათებელი ბრუნვთა რიცხვის გაზრდისას .....	105

## დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

აგ	-	აღმგზნები გრაგნილი
გგ	-	გამზომი გრაგნილი
მგ	-	მეორადი გარდამქმნელი
მმ	-	მუდმივი მაგნიტი
მს	-	მაგნიტური სისტემა
იპგ	-	ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელი
ემმ	-	ელექტრომაგნიტური ემპირიული ძალა
მრმ	-	მარგისტრირებული მოწყობილობა
მ.ქ.კ.	-	მარგი ქმედების კოეფიციენტი
უპგ	-	ურთიერთინდუქციური პირველადი
გარდამქმნელი		
ჰრგ	-	ჰარმონიული რხევების გენერატორი
$\vec{H}$ [ა/მ]	-	მაგნიტური ველის დაძაბულობა
$\vec{B}$ [ტლ]	-	მაგნიტური ინდუქცია
$M$ [ჰნ]	-	ურთიერთინდუქციურობა
$L$ [ჰნ]	-	ინდუქციურობა
$\epsilon_0$ [ვ]	-	თვითინდუქციის ემმ
$f$ [ჰც]	-	კუთხური სიხშირე
$\omega$ [ჰც]	-	ციკლური სიხშირე
$W$ [ჯალ]	-	ხვიათა რიცხვი
$K$ [%]	-	მ.ქ.კ.
$E$ [ვ/მ]	-	მგრძნობიარობა
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [ჰნ/მ]	-	უნივერსალური მაგნიტური მუდმივა

## შესავალი

თანამედროვე პირობებში ფრიად მნიშვნელოვანია მეცნიერებისა და ტექნიკის ისეთი მიღწევების გამოყენება, როგორებიცაა სამრეწველო დანადგარების სწრაფი განახლება, ახალი ხელსაწყოების, პროგრესული ტექნოლოგიებისა და მოქნილი წარმოებების დანერგვა, ვინაიდან შედეგად მიიღება დიდი ეკონომიური და სოციალური ეფექტი.

ინფორმატიკის, ავტომატიკის, გამოთვლითი ტექნიკის და ხელსაწყოთმშენებლობის დარგების განვითარება წარმოუდგენელია თანამედროვე მაღალეფექტური და საიმედო გარდამქმნელების შექმნის გარეშე. ამიტომ, პერსპექტიულია ლოკალური და დინამიური მართვის ობიექტების აღჭურვა ინფორმაციის უკონტა, ასევე მართვის საშუალებების დამუშავება და წარმოებაში მათი შემდგომი გამოყენება (დანერგვის სახით) მკაცრი ტექნოლოგიური რეჟიმების შესანარჩუნებლად.

ამ თვალსაზრისით, არსებული ტექნიკური საშუალებების სრულყოფა და ახალი გარდამქმნელების დამუშავება, მათი საექსპლუატაციო მახასიათებლების გაუმჯობესება და ელექტრომაგნიტური (კერძოდ, ინდუქციური) გარდამქმნელების ახალი ფუნქციური შესაძლებლობების გამოკვლევა და შემდგომი მიზანმიმართული გამოყენება წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას. ტექნიკის რიგი წარმოებისათვის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენენ პირველადი გარდამქმნელები, რომლებიც საიმედოობით, მგრძობიარობით, პარამეტრის პირდაპირი კონტროლის მეთოდით და აგების სიმარტივით აკმაყოფილებენ წარმოების მზარდ მოთხოვნებს. ამ მოთხოვნებს გარკვეული თვალსაზრისით აკმაყოფილებს ინდუქციური გარდამქმნელები განაწილებული პარამეტრებით, რომლებშიც მაგნიტური ენერჯის წყაროდ გამოიყენება მუდმივი მაგნიტები.

მაკონტროლებელ პირველად გარდამქმნელებში, მაბრუნებელი საშუალებების შექმნასა ან მექანიკური ენერჯის გარდაქმნაში მუდმივი ენერჯის წყაროს გამოყენება, ერთის მხრივ, გვაძლევს მოხმარებული ენერჯის მკაცრად შემცირებისა, და, მეორეს მხრივ, -უკონტაქტო და ამიტომ

საიმედო გარდამქმნელების და უმარტივესად მართვადი ხელსაწყოების დამზადებისა და მათი პრაქტიკაში ფართო გამოყენების საშუალებას.

დისერტაცია ეძღვნება კუთხური სიჩქარის მაკონტროლებელი ახალი გაუმჯობესებული პირველადი გარდამქმნელის ფიზიკური საფუძვლების და აგების პრინციპების დამუშავებას, აგრეთვე სხვადასხვანაირად დამაგნიტებული ტოროიდალური ფორმის მუდმივი მაგნიტების მიერ შექმნილი ველის გავლენის გამოკვლევას მაბრუნებელი ელექტრომაგნიტური საშუალებების და მექანიკური ენერჯის მეორად გარდაქმნელებში მცირე სიმძლავრიანი ელექტრული ენერჯის წყაროს შესაქმნელად.

ასეთი გარდამქმნელები აიგება პრინციპულად ახალ ტექნიკურ გადაწყვეტაზე და გამოირჩევიან ორიგინალობითა და უნივერსალობით.

*სამუშაოს მიზანს* შეადგენს მაღალი საექსპლუატაციო-ფუნქციონალური და მეტროლოგიური მახასიათებლების მქონე კუთხური გადაადგილების ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელის აგების პრინციპების, კონსტრუქციისა და თეორიული საფუძვლების დამუშავება და ტოროიდალური ფორმის მუდმივი მაგნიტების მიერ შექმნილი ველის გავლენის გამოკვლევა მაბრუნებელი ელექტრომაგნიტური საშუალებების და მექანიკური ენერჯის მეორად გარდაქმნელებში მცირე სიმძლავრიანი ელექტრული ენერჯის წყაროს შესაქმნელად.

დასახული მიზნების მისაღწევად გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

1. მოყვანილია კუთხური გადაადგილების და სიჩქარის კონტროლის ელექტრომაგნიტური და ასევე ინდუქციურ საშუალებების და მათი ცდომილებების ანალიზი; ექსპერიმენტალურად და თეორიულად დადგენილია ინდუქციური სამკოორდინატული ნახევარსფერული გარდამქმნელების კონსტრუირების შესაძლებლობა, მიზანშეწონილობა და ფუნქციონირების პრინციპები;

2. დამუშავებულია სხვადასხვა მოცულობითი ფორმის მქონე გარდამქმნელების პროექტირების თეორიული საფუძვლები, გამომავალი პარამეტრის ანგარიშის მეთოდები, ალგორითმები და პროგრამები;
3. შედგენილია მოძრაობის განტოლება, რომელიც ასახავს მწკრივში მონაცვლე პოლარობით განლაგებული ღრუ ცილინდრული ფორმის სიმეტრიის ღერძის გარშემო მბრუნავ მაგნიტებზე მოქმედი გარე მართვადი იმპულსების მიერ გამოწვეული დინამიური ძალების ზემოქმედებას;
4. ჩატარებულია გარე ძალების მიერ გამოწვეული რხევების დემფირების საშუალებების ანალიზი და შემოთავაზებულია მისი ნაწილობ-რივი ან სრული კომპენსირების რამდენიმე ხერხი;
5. შესწავლილია ტოროიდალური ფორმის მუდმივი მაგნიტების მიერ შექმნილი ველის გადანაწილება რთული კონფიგურაციის მქონე მეორადი გარდამქმნელების მაგნიტოგამტარებში და დადგენილია მექანიკური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნის გამომავალი სიმძლავრის გაზრდის გზები;
6. ექსპერიმენტულად განსაზღვრულია დამუშავებული გარდამქმნელების სტატიკური მახასიათებლები და მგრძობიარობა, აგრეთვე სხვა საექსპლუატაციო მაჩვენებლები.

სამუშაოს შესრულების პროცესში გამოყენებული იყო კვლევის ანალიზური, რიცხვითი და ექსპერიმენტული მეთოდები. ანალიზური მეთოდები დამყარებული იყო ელექტროტექნიკის ზოგადი თეორიისა და პირველადი გარდამქმნელების თეორიის დებულებებზე. რიცხვითი მეთოდები გამოყენებულ იქნა ინდუქციური გარდამქმნელის ძირითადი საპროექტო სიდიდეების გამოთვლების ჩასატარებლად ეგმ-ზე. ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა აქტიური ექსპერიმენტის მეთოდების გამოყენებით.



დისერტაციაში გადმოცემული დებულებების უტყუარობა დადასტურდა თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების თანხვედნით.

*მიღებული შედეგების სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:*

- დადგენილია კუთხური გადაადგილების ახალი ინდუქციური ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების შექმნის შესაძლებლობა და მიზანშეწონილობა, ხოლო ორიგინალური სქემოტექნიკური გადაწყვეტილების გამოყენებით მიღებულია სამი ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი, სიჩქარის პროპორციული, გამომავალი სიგნალები;
- შედგენილია მწკრივში მონაცვლე პოლარობით განლაგებული ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტების მოძრაობის განტოლება და მიღებულია გარე მოქმედი ძალების მოქმედების მოხსნის შემდეგად გამოწვეული მიღევადი რხევების ნაწილობრივი ან სრული დემფირების რამდენიმე ხერხი;
- შესწავლილია ტოროიდალური ფორმის მუდმივი მაგნიტების მიერ შექმნილი ველის გადანაწილება გარდაქმნელების პროფილირებულ მაგნიტოგამტარებში და გამოკვლეულია მექანიკური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნის გამომავალი სიმძლავრის გაზრდის გზები;
- ექსპერიმენტულად განსაზღვრულია დამუშავებული გარდამქმნელების სტატიკური მახასიათებლები და მგრძობიარობა.
- დამუშავებულია აღნიშნული პირვედი გარდამქმნელის კონსტრუქციათა ძირითადი საპროექტო პარამეტრების რიცხვით-ანალიზური მეთოდები და მათი გამოთვლის ალგორითმები და პროგრამები.

ჩატარებული კვლევის პროცესში დადგენილი ტექნიკური გადაწყვეტების სიახლე დადასტურებულია საქართველოს პატენტებით გამოგონებებზე: პატენტი **1624**, საქპატენტის საინფორმაციო ბიულეტენი 3, 1999წ.; პატენტი **2609**, საქპატენტის საინფორმაციო ბიულეტენი 21,

2001 წ.; პატენტი 3220, საქპატენტის საინფორმაციო ბიულეტენი 17, 2003 წ.

**ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დამუშავებულია:**

1. სამკოორდინატული ინდუქციური ელექტრომაგნიტური გარდამქმნე-ლი. მის ღრუ ნახევარსფეროზე ურთიერთორთოგონალურად განთავსებულია საზომ-საკონტროლო, სპეციალური ფორმით დახვეული, სამი გალვანურად დამოუკიდებელი გამზომი გრაგნილი. თითოეულ გამზომ გრაგნილში ნაკადშებმის ცვლილებით მიიღწევა სიგნალის ცვლილება. მიღებული სიგნალის სიდიდე მობრუნების სიჩქარის პროპორციულია;
2. იმპულსებით მართვადი ორხედური ინდიკატორი. მისი თითოეული ელემენტი შედგება ღრუ ცილინდრული ფორმის რადიალურად დამაგნიტებული მაგნიტისაგან და მასში ჩაშენებული ბრტყელი ფირფიტებისაგან. მწკრივში განთავსებისას ელემენტები ქმნიან სიბრტყეს, რომლებზეც დატანილია ხედური ინფორმაცია. ხედური ინფორმაციის შეცვლას უზრუნველყოფს საპირისპირო პოლარობის მართვის იმპულსი, რომლის მოხსნის შემდეგ სისტემა მყარად ინარჩუნებს ახალ მდგომარეობას შიდა მაგნიტური ველის გავლენის გამო.
3. მუდმივ მაგნიტებზე აგებული მეორადი გენერატორი, რომლის მაგნიტური ძალწირები იკვრება სიმეტრიის ღერძის გარეთ მდებარე მაგნიტოგამტარის სამუშაო ღრეჩოში. გენერატორი განკუთვნილია წარმოებაში უქმად მბრუნავ ღერძებზე დასამაგრებლად და აკუმულირებული ენერჯის წყაროს შესავსებად. გენერატორის არამაგნიტური და, მაგალითად, როლგანგის მბრუნავი ღერძის შესაბამისი ბოლოები შეერთებულია ოლდგეიმის მუფტის გამოყენებით.

*დამუშავებული გარდამქმნელების გამოყენება მრეწველობაში  
საშუალებას მოგვცემს:*

- ფიქსირებულ დიაპაზონში მართვის ობიექტების მოძრავი ნაწილების გადაადგილებისას მოვახდინოთ კუთხური სიჩქარის პირდაპირი კონტროლი და გავზარდოთ მიღებული სიგნალის საიმედოობა. დამუშავებული სამკოორდინატული გარდამქმნელი ეფექტურად შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც მარეგისტრირებელი მოწყობილობა მართვის, რეგულირებისა და კონტროლის სისტემებში;
- ვაწარმოთ დამუშავებული ორხედური ინდიკატორის იმპულსური მართვა წინდაწინ განსაზღვრულ დროის მოკლე შუალედებში და ამით უზრუნველვყოთ როგორც დინამიური ცვალებადი ინფორმაციის მიწოდება (მაგალითად, საგზაო-სატრანსპორტო საშუალებებისათვის), ასევე ელემენტი სარეკლამო მომსახურებისათვის. აღსანიშნავია, რომ ინდიკატორის აგების პრინციპიდან გამომდინარე მართვადი იმპულსის მოხსნის შემდეგ ის არა მარტო ცვლის ფირფიტების ორ სხვადასხვა მხარეს წინდაწინ დატანილ ხედურ ინფორმაციას, არამედ ინარჩუნებს მას სხვა პოლარობის მართვადი იმპულსის მოსვლამდე და ამიტომ შუალედებში არ მოიხმარს ძვირადღირებულ ელექტროენერგიას.
- გამოვიყენოთ წარმოებაში უქმად მბრუნავი ღერძები მეორადი მოხმა-რების ელექტრული ენერგიის შესაქმნელად (აკუმულატორები, გასათბობი მოწყობილობები, დაბალი ენერგიის მომხმარებელი სავენტილაციო კვანძები და სხვა)
- გარდა ამისა, პრაქტიკული ღირებულება გააჩნია პირველადი გარდამქმნელის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებს, თეორიული კვლევის შედეგების საფუძველზე დამუშავებულ მის პარამეტრთა ანგარიშის მეთოდის, ალგორითმებსა და პროგრამებს.

დამუშავებული გარდამქმნელების გამოყენებიდან მიღებული ეკონომიკური ეფექტი ვერ დაითვლება შედარების ბაზის უქონლობის გამო

**დაცვაზე გასატანი საკითხებიდან მნიშვნელოვანია:**

- ინდუქციური ელექტრომაგნიტური ნახევარსფერული სამკოორდინატული პირველადი გარდამქმნელების ფიზიკური საფუძვლები და აგების პრინციპები;
- ღრუ ნახევარსფეროზე, გაღვანურად დამოუკიდებელი, გამზომი გრაგნილების ურთიერთგანთავსების სქემა და გრაგნილების დახვევის მეთოდიკა;
- ორხედური ინდიკატორის ფუნქციონირების პრინციპი;
- მიღწეადი რხევების დემფირების საშუალებების ანალიზი;
- მეორადი გენერატორის აგების ფიზიკური საფუძვლები;
- ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგების ანალიზი.

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილი ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული დებულებანი წარდგენილ და განხილულ იქნა თეზისების სახით 2004 წელს სუდაკში ჩატარებულ მე-17 სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე “გაზომვის, კონტროლისა და მართვის სისტემების გადამწოდები და ინფორმაციის გარდამქმნელები” და მოხსენების სახით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ა.ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტში საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე “მართვისა და ენერგეტიკის პრობლემები” PCPE-2004 და საქართველოს ტექნიკურ ყნივერსტიტეტში ჩატარებულ საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე “ინფორმაციული ტექნოლოგიები მართვაში” ITC`07.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად შედეგებზე გამოქვეყნებულია 14 სამეცნიერო სტატია, 3 პატენტი გამოგონებაზე და შედგენილია სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს 2 ანგარიში.

დისერტაცია შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნის გამოყენებული ლიტერატურული წყაროების ნუსხისა და 4 დანართისაგან. ნაშრომის ძირითადი ტექსტი გადმოცემულია 114 გვერდზე, აქედან 24 გვერდზე

მოყვანილია 45 სქემა და გრაფიკი. გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა შედგება 82 ლიტერატურული წყაროსაგან, ხოლო დანართს უკავია 28 გვერდი.

## **თავი I. სამუშაოს აქტუალობა, მიზანი და კვლევის ამოცანები**

### **1.1. სამუშაოს აქტუალობა და მიზანი**

პერსპექტიული, საექსპლუატაციოდ მოსახერხებელი, ეფექტური, დაბალფასიანი და ადვილად გასაწყობი ხელსაწყოების შექმნა და მათი წარმოების გაფართოება სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ჩასატარებლად, ასევე მათი, როგორც საინფორმაციო წყაროს რთულ ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოყენება სადღეისოდ წარმოადგენს მეტად აქტუალურ ამოცანას.

ზემოთ ჩამოთვლილი ამოცანების გადასაჭრელად აუცილებელია მაღალი სიზუსტის მქონე პირველადი გარდამქმნელების დამუშავება, რაც მოითხოვს არა მარტო მათი ფიზიკური საფუძვლებისა და პრინციპების დამუშავებას, არამედ გარდამქმნელებში წარმოებული მოვლენების ღრმა შესწავლას, მათ მათემატიკურ აღწერას, გამომავალი მახასიათებლების გაწვრივებას მუდმივი მაგნიტის ველის სივრცული განაწილების შესწავლის გზით და გამზომი კონტურების კონფიგურაციის განსაზღვრას ემპირიული ან ფიზიკური მოდელირების გამოყენებით.

### **1.2. არსებული მაკონტროლებელი მოწყობილობათა ანალიზი**

არსებული პირველადი გარდამქმნელების ფუნქციონირების პრინციპების, მათი ფიზიკური საფუძვლების ანალიზის ჩატარებამ გვიჩვენა, რომ ცნობილი გარდამქმნელები განსხვავდებიან კონსტრუქციის სირთულით, რთული კინემატიკური კავშირებით, დიდი ენერგოტევადობით და მასა-გაბარიტული მაჩვენებლებით. მათ შორის ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელები არიან ადვილად გადასაწყობი, დაბალფასიანი, ექსპლუატაციაში მოქნილი, და ამიტომ, უფრო პერსპექტიული.

ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების სისტემატიზაციისათვის, მეტროლოგიური და საექსპლუატაციო მახასიათებლების

შეფასების კრიტერიუმებისათვის იყენებენ სხვადასხვა საკლასიფიკაციო ნიშნებს.

მოყვანილი კლასიფიკაციის შესაბამისად (ნახ. 1.1) პირველად გარდამქმნელებს განასხვავებენ მოძრავი ნაწილით, ფიზიკური პარამეტრის ცვლილებით, მაგნიტური ენერჯის წყაროს ზემოქმედებით და მოხსნილი საინფორმაციო წყაროს მიხედვით.

მოძრავი წყაროს მიხედვით არსებობს პირველადი გარდამქმნელები მოძრავი მაგნიტით, ეკრანით, გრაგნილით, მოკლედჩართული ხვით, გულარით და პროფილირებული მაგნიტოგამტარით.

ფიზიკური პარამეტრის ცვლილების მიხედვით არსებობენ ინდუქტიური, ინდუქციური და ტრანსფორმატორული გარდამქმნელები.

ინდუქტიური გარდამქმნელები აწარმოებენ სიჩქარის გარდაქმნას ინდუქტიურობის ცვლილებაში. ინდუქტიური გარდამქმნელები მრავალგვარია: ცვლადი საჰაერო ღრეზოთი; გადანაწილებული პარამეტრით; კბილოვანი გარდამქმნელები; ვინტის სახის მქონე გარდამქმნელები და სხვები [1].

ინდუქციურ გარდამქმნელებს მიეკუთვნება გარდამქმნელები, რომლებშიც გამზომ გრაგნილებში აღძრული ელექტრომომოძრავებელი ძალა წარმოადგენს მაგნიტური ნაკადის ნაკადშეზღვევის ცვლილების სიჩქარეს [2].

ინფორმაციის აღრიცხვის ფიზიკური ხერხებიდან პერსპექტიულად ითვლება მაგნიტური და ფერომაგნიტური (ბარკაუზენის ეფექტის საფუძველზე) ხერხები. მაგნიტური გარდამქმნელები ჩაკეტილი მაგნიტური ზოლოვანი ფურცლით, ან მაგნიტური ბარაბნით, რომელზეც დატანილია ნაჭდევი, გამოირჩევიან დიდი გარჩევისუნარიანობით. დატანილი ნაჭდევის სიმკვრივე ერთ მილიმეტრზე შეადგენს რამდენიმე ათეულს. მიღწეულია ნაჭდევის დატანა 3 კუთხური წამის ერთეულის ოდენობით [3]. მაგნიტური გარდამქმნელების ნაკლოვანება გამოიხატება

იმაში, რომ მგძნობიარე ელემენტს გარე მაგნიტური ველის გავლენით შემოაქვს ცდომილება.

ზოგ სამუშაოებში [4,5] შეთავაზებულია ბარკაუზენის ნახტომების თვლა, ფერომაგნიტური მასალების გადამაგნიტების დროს (რკინა, ნიკელი, პელმალაი).

გადამაგნიტების სიჩქარის გაზრდისას 0.11-დან 1.24-მდე ნახტომების რიცხვი მცირდება 45%-მდე. ბარკაუზენის ეფექტის გამოყენებით შესაძლოა აიგოს გარდამქმნელების ორი ჯგუფი: ფერომაგნიტის სივრცული გადამაგნიტებით და ფერომაგნიტის გადამაგნიტებით დროში ცვლადი მაგნიტური ველით. ამგვარი გარდამქმნელების ცდომილება განპირობებულია არაცალსახა შედეგებით, გამომავალი მახასიათებლების არაწრფივობით, გაძლიერების არასტაბილურობით, მაგნიტური ველის ფლუქტუაციით, გარე მაგნიტური ველების და ტემპერატურის ცვლილების მაღალი მგძნობიარობით.

კუთხური გადაადგილების სიჩქარის სიგნალი, შეიძლება მიღებული იყოს ადგილმდებარეობის გარდამქმნელების [7,8] გამოყენებით, თუ მოვახდენთ სიგნალის შემდგომ დაფერენცირებას. ადგილმდებარეობის განმსაზღვრელი გარდამქმნელების ცდომილება განპირობებულია მოქმედების პრინციპით და გარდამქმნელების შემადგენელი ელემენტებით.

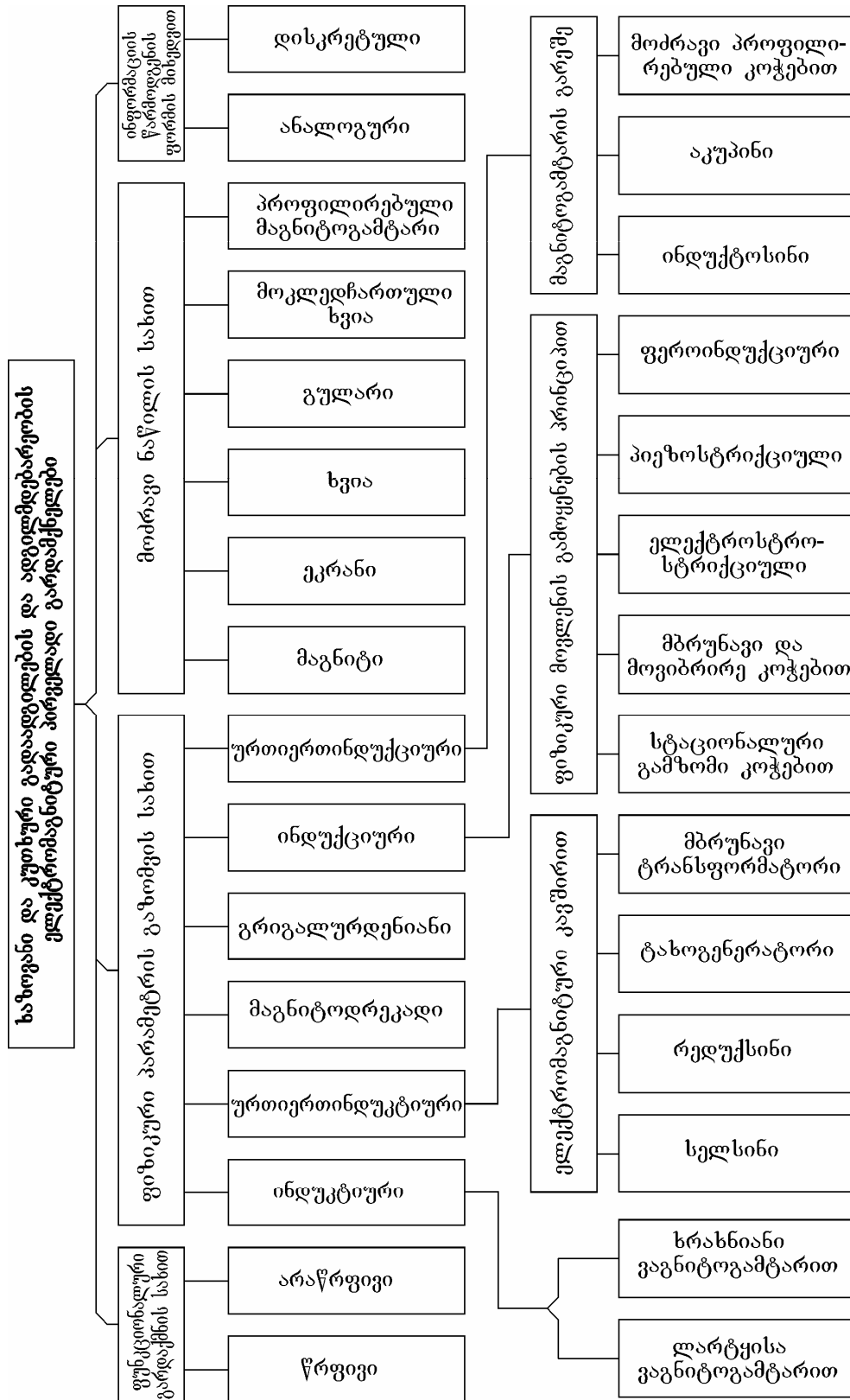
მაღალი სიზუსტის თვალსაზრისით შეგვიძლია ავლნიშნოთ ტრანსფორმატორული და მაგნიტოელექტრული გარდამქმნელები [9]. ტრანსფორმატორულს მიეკუთვნება გარდამქმნელები ფერომაგნიტის გარეშე (ინდუქტოსინები და აკუპინები) და ელექტრომაგნიტური კავშირებით (სელსინები, რედუსინები და ბრუნვითი ტრანსფორმატორები), ამასთან სელსინებს არ გააჩნიათ გაზომვის მაღალი სიზუსტე. ბრუნვითი ტრანსფორმატორები მექანიკური რედუქციით გამოიყენებიან ანალოგურ სისტემებში.



კუთხური სიჩქარის გარდამქმნელებში შესაძლებელია ჩვეულებრივი მუდმივი ან ცვლადი დენის გამოყენება. ამ გარდამქმნელებში ელექტრომამოძრავებელი ძალა აღწევს დიდ მნიშვნელობებს სიჩქარის დაბალი მნიშვნელობის დროს, რაც იძლევა სიზუსტის ამაღლების საშუალებას გაზომვისას 0-დან 400 ბრ/წთ-მდე. უნდა აღინიშნოს, რომ ტახოგენერატორების ცდომილებები დაკავშირებულია დუზის რეაქციის კბილოვან ხარვეზებთან, ინერციულობასთან გაშვების რეჟიმში, კოლექტორის მუსის გავლენასთან, რთულ კინემატიკურ კავშირებთან.

მაგნიტური ენერჯის წყაროს ზემოქმედებით ცნობილი ბრუნვითი პარამეტრების ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელები პირობითად შეგვიძლია დავყოთ შემდეგ ზემოქმედების სახეებად: მუდმივი მაგნიტი, ელექტრომაგნიტი და კონტური დენით.

ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების გამომავალი მახასიათებელი დამოკიდებულია მაგნიტურ სიბლანტესა და ჰისტერეზისზე, კვების წყაროს სიხშირესა და ტემპერატურაზე. ყველა ჩამოთ-



ნახ. 1.1. ეპგ კლასიფიკაცია

ვლილი ხარვეზი ამცირებს ელექტრომაგნიტური გარდამქმნელების ეფექტურობას მაგნიტური გულარის გამოყენების გამო.

პერსპექტიულად მიგვაჩნია გარდამქმნელში მუდმივი მაგნიტის ენერგიის გამოყენება მაგნიტური ველის გამტარის გარეშე, რაც ერთის მხრივ, გამორიცხავს მაგნიტური სიბლანტესა და ჰისტერეზისს და მეორე მხრივ, ამცირებს მასა-გაბარიტულ მაჩვენებლებს. ამ გარდამქმნელების ძირითად ნაკლოვანებად შეიძლება ჩათვალოს გამომავალი სიგნალის დაბალი სიმძლავრე, რაც ადვილად გამოსარიცხია მაღალი სიზუსტის გამაძლიერებლის გამოყენებით.

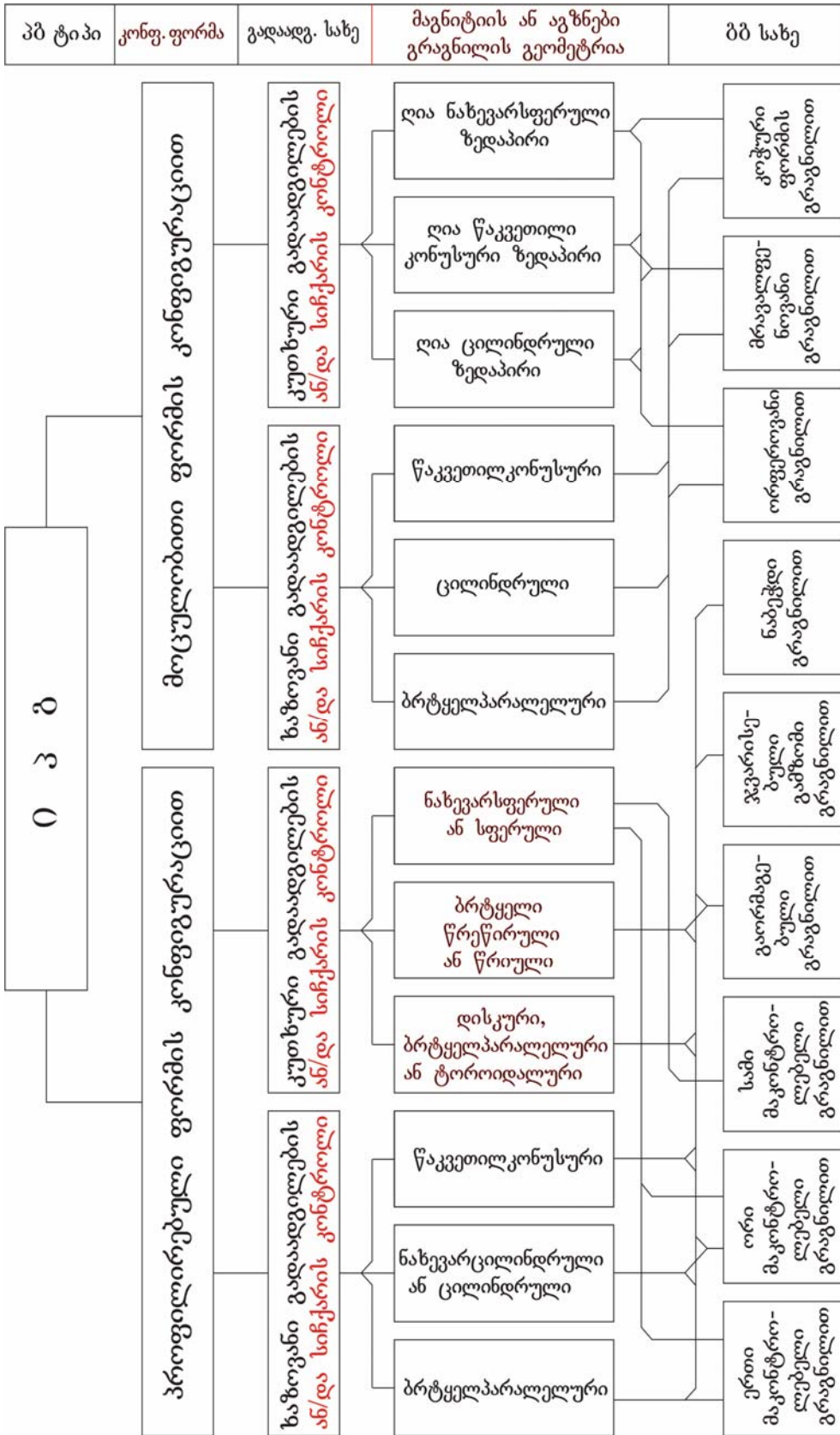
### **1.3 ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაცია კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით**

მექანიკური პარამეტრების მაკონტროლებელი გადამწოდების ურთიერთშედარებამ ფუნქციონირების პრინციპის მიხედვით გვიჩვენა, რომ გამომავალი მახაიათებლის სტაბილურობის, ინფორმაციული სიგნალის დამუშავების სწრაფქმედების, მგრძობიარობისა და სხვა მეტროლოგიური პარამეტრების თვალსაზრისით, შედარებით პერსპექტიულს წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური ურთიერთინდუქციური პირველადი გარდამქმნელები.

ცნობილია, რომ მეორად გარდამქმნელთა საშუალებების გამოყენებით ინდუქტოსინებიდან ინფორმაციული სიგნალის მიღება შესაძლებელია ყოველი 2 მკმ-ის შემდეგ, რაც წარმოადგენს პირველადი გარდამქმნელის ბიჯს. გარჩევისუნარიანობის გაზრდა ტექნოლოგიური სირთულეების გამო ჯერჯერობით შეუძლებელია. ამიტომ მაღალი მგრძობიარობის მქონე საშუალო სიხშირიანი პირველადი გარდამქმნელები, საშუალებას გვაძლევს მკვეთრად გავზარდოთ გარჩევისუნარიანობა. ასეთი გარდამქმნელები დამუშავებულია ა.ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტში.

იპგ-ის კლასიფიკაცია კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით მოყვანილია ნახ. 1.2.

მექანიკური პარამეტრების კონტროლის არსებული პირველადი გარდამქმნელები იყოფა გარდამქმნელებად პროფილირებული და მოცულობითი ფორმის მქონე გრაგნილებით, ხოლო თითოეული მათგანი, თავის



ნახ. 1.2. ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაცია კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით

მხრივ – წრფივი და კუთხური გადაადგილების მაკონტროლებელ საშუალებებად. კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით პროფილირებული უპგ იყოფა ბრტყელპარალელურ, ცილინდრულ და წაკვეთილკონუსურ გარდამქმნელებად, ხოლო კუთხური პროფილირებულები – ბრტყელ-პარალელურ, დისკურ და ნახევარსფერულ გარდამქმნელებად.

ხაზოვანი გადაადგილების მაკონტროლებელი მოცულობითი უპგ-ები იყოფა ბრტყელპარალელურ, ცილინდრულ და წაკვეთილკონუსურ გარდამქმნელებად, ხოლო კუთხური მოცულობითი უპგ-ები – ნახევარცილინდრულ, წაკვეთილ ნახევარკონუსურ, ნახევარ ან მეოთხედსფერულ გარდამქმნელებად.

გამზომი გრაგნილების ფორმის ან რაოდენობის მიხედვით უპგ იყოფა ერთ-, ორ-, სამ-, გაორმაგებულ, ჯვრისებურ, ნაბეჭდ, ორფენოვან, მრავალფენოვან და კოჭურ გამზომ გრაგნილებიან გარდამქმნელებად.

უპგ-ებში შესაძლებელია შემოვიტანოთ გაღვანურად განმხოლოებული როგორც გამზომი, ასევე აღმგზნები დამატებითი გრაგნილები უკუკავშირის ორგანიზაციის მიზნით მრავალბმული ავტომატური მართვის სისტემებისათვის.

განსახილველი გარდამქმნელების ღირსებას წარმოადგენს გაწყობისა და გადაწყობის შესაძლებლობა პირველადი გარდამქმნელის დაუშლელად, ასევე მხოლოდ მეორადი გრაგნილის პროფილის კონფიგურაციის ან მოცულობითი ფორმის ცვლილებით.

#### **1.4. ხაზოვანი და კუთხური სიჩქარის ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების ცდომილებების ანალიზი**

ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების (იპგ) კლასის ცდომილებების წყაროების კლასიფიკაცია ანალოგიურია ურთიერთინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაციისა [10-14] იმ განსხვავებით, რომ ამგზნები გრაგნილის როლს ასრულებს მუდმივი მაგნიტი ან მუდმივდენიანი კოჭა. ნახ.1.3 მოყვანილი კლასიფიკაციის მიხედვით ზოგადად განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

**ა) ცდომილებების ძირითადი და დამატებითი წყაროები.**

ძირითადი ცდომილებების წყაროები თავს იჩენენ მაშინ, როცა იპგ ფუნქციონირებს ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში (სტაბილური ელექტრული პარამეტრები: დენი, ძაბვა, სიხშირე; უცვლელი ტემპერატურა; კვების სინუსოიდალურობა; დატვირთვის უცვლელობა და ა.შ.).

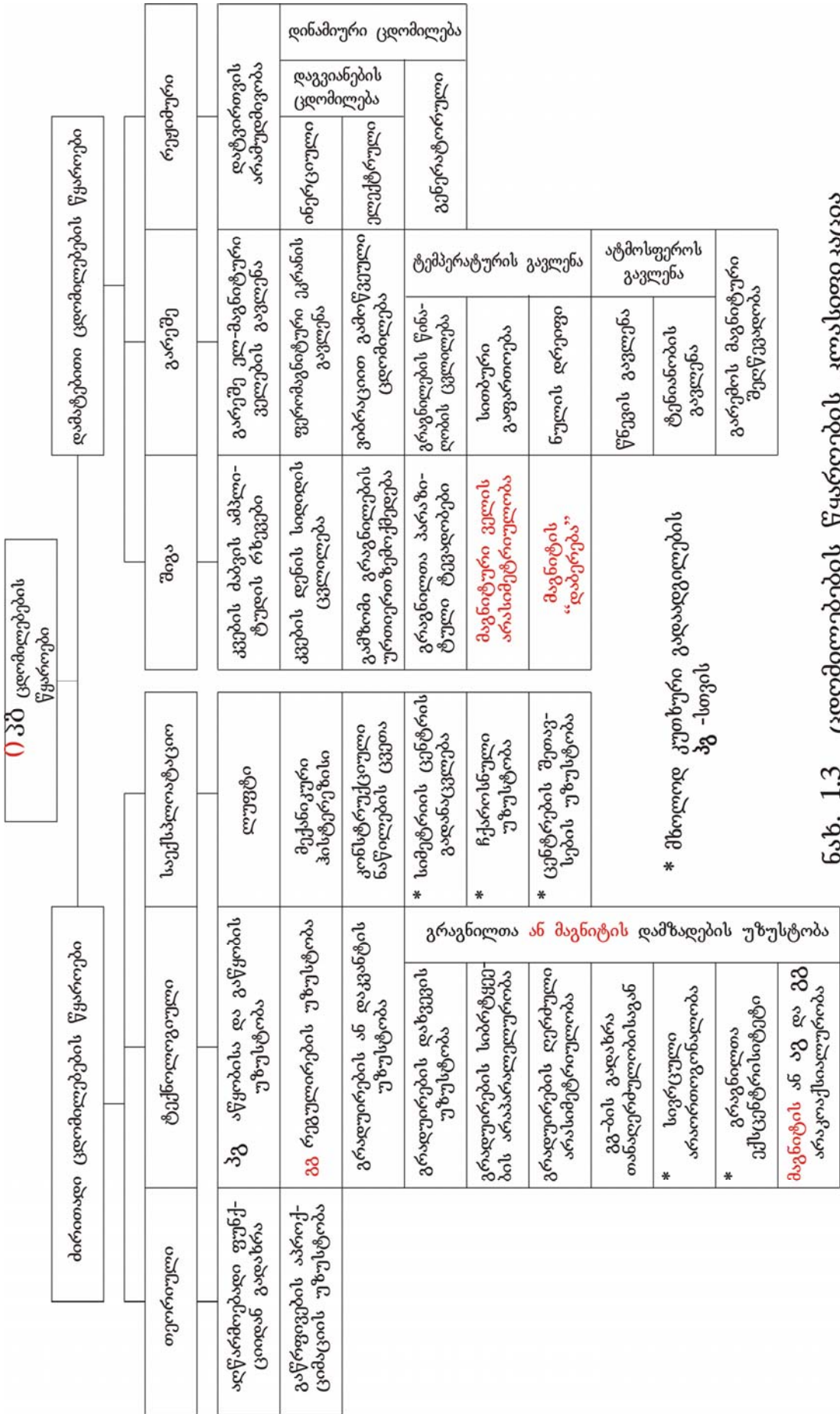
**ძირითადი ცდომილებების წყაროებია** თეორიული, ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო ცდომილებები.

თეორიული ცდომილებები, როგორც წესი, წარმოიქმნება მაშინ, როცა არასრულად აისახება კანონზომიერებები, რომლებიც საფუძვლად უდევს ფიზიკურ მოვლენას, რის საფუძველზეც აიგება გარდამქმნელები. ზოგ შემთხვევაში ჩვენ გააზრებულად უგულებელვყოფთ სრული სურათის ასახვისათვის ყველა წვრილმანი ფაქტორის გათვალისწინებას, რითაც გამორიცხულია გარდამქმნელის მახასიათებლის გამოთვლის გადატვირთვა, მაგრამ შემოტანილია უმნიშვნელო ცდომილება. თეორიულ ცდომილებებს მიეკუთვნება გაწრფივების აპროქსიმაციის უზუსტობა, გამოწვეული რთული მათემატიკური გამოსახულებების ჩანაცვლებით უფრო მარტივი გამოსახულებებით. მეორადი გარდამქმნელების გამოყენების შესაძლებელია ისეთი შესწორების შეტანა, რომლებიც გაითვალისწინებს თეორიულ ცდომილებების გათვალისწინებით უზრუნველყოფს გამოძალი მახასიათებლის გაწრფივებას.

ტექნოლოგიური ცდომილებები [15] განპირობებულია გარდამქმნელის კონსტრუქციული პარამეტრების გადახრით გამოთვლილი მნიშვნელობისაგან. მათ რიცხვს მიეკუთვნება აწყობის და გაწყობის, რეგულირების, გრადუირების ანუ დაქვანტვის და გრაგნილთა დახვევის უზუსტობები, გრაგნილების სიბრტყეების არასიბრტყეობა, თითოეული გრაგნილის დერძული არასიმეტრიულობა, გგ-ების გადახრა თანადერძულობისაგან, კუთხური გადაადგილების უპგ-თვის სივრცული არაორთოგონალობა, გრაგნილთა ექსეცენტრისიტეტი და აგ-ს და გგ-ის არაკოაქსიალურობა.

საექსპლუატაციო ძირითადი ცდომილებები გამომჟღავნდება გარდამქმნელის ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში და მათი ზემოქმედება შეუძლებელია გათვალისწინებული იყოს სტატიკური და დინამიური მახასიათებლების დადგენისას. მათ მიეკუთვნება უპგ-ის მოძრავი და უძრავი ნაწილების კონსტრუქციულ დეტალებს შორის ლუფტი, მექანიკური ჰისტერეზისი, კონსტრუქციული დეტალების ცვეთა, გამომავალი მახასიათებლის განმეორებადობა მოძრავი ნაწილის პირდაპირი და





**ნახ. 1.3** ცდომილებების წყაროების კლასიფიკაცია

უკუ გადაადგილებისას, სიმეტრიის ღერძის გადანაცვლება, ჩქაროსნული უზუსტობა და ცენტრების შეთავსების უზუსტობა.

დამატებითი ცდომილებების წყაროებია შიდა, გარე და რეჟიმული ცდომილებები.

შიდა ცდომილებებს მიეკუთვნება კვების ძაბვის ამპლიტუდის რხევები, კვების დენის სიდიდის ცვლილება, კვების სიხშირის არასტაბილურობა, კვების ძაბვის სინუსოიდალურობის ხარისხი, გამზომი გრაგნილების ურთიერთზემოქმედება და გრაგნილთა პარაზიტული ტევადობები.

დამატებითი ცდომილებების გარე წყაროები გამოვლინდება მაშინ, როცა ადგილი აქვს გარე ფაქტორების არასტაბილურობას. მათ შორისაა გარე ელექტრომაგნიტური ველის ფერომაგნიტური ეკრანის და აგრესიული გარემოს გავლენა, ვიბრაციით გამოწვეული ცდომილება, ტემპერატურის გავლენა (გრაგნილების წინაღობის ცვლილება, სითბური გაფართოება), წნევა, ტენიანობა და გარემოს მაგნიტური შეღწევადობა.

დამატებითი ცდომილებების რეჟიმული წყაროები თავს იჩენენ გარდამქმნელების ფუნქციონირების დროს დატვირთულ ან დინამიურ რეჟიმში მუშაობისას. რეჟიმული ცდომილებები იყოფა დატვირთვის არამუდმივ და დინამიურ ცდომილებებად, რომელიც დაგვიანების ცდომილების მიხედვით იყოფა ინერციულ ელექტრულ და გენერატორულ ცდომილებებად.

**ბ) ძირითადი ცდომილებების წყაროების წარმოშობის ანალიზი და მათი შემცირების გზები.**

მაკონტროლებელ და საზომ ტექნიკაში პგ-ის გამომავალი მახასიათებელი სასურველია წარმოადგენდეს წრფეს. ხშირ შემთხვევაში ის მიახლოებით წრფივია. ამიტომ ძირითადი ცდომილებები განპირობებულია ხაზოვანი ფუნქციიდან გადახრით. გადახრა შესაძლებელია შეფასებული იყოს მრავალი მეთოდით [15,16] მათ რიცხვს მიეკუთვნება: ფიქსირებული წერტილების მეთოდი, რომელშიც

მაკონტროლებელი სიდიდის საწყის და საბოლოო წერტილებზე ავლებენ წრფეს და ანგარიშობენ წრფიდან მაქსიმალური გადახრის შეფარდებას გამომავალი სიდიდის უდიდეს მნიშვნელობასთან; კვადრატული გადახრის მინიმუმის მეთოდი, ანუ დეტერმინებული ხაზოვანი ფუნქციის გატარება ისე, რომ მისი საწყისი წერტილი გადიოდეს ნულზე, რომლის დროსაც გადახრების კვადრატების ჯამი მინიმალურია; დაშვებათა მინიმუმის მეთოდი, რომლის დროსაც გადახრების კვადრატების ჯამი მინიმალურია, მაგრამ არ მოითხოვება ის, რომ გამომავალი მახასიათებელი გადიოდეს ნულ წერტილზე.

უპგ-ში არაწრფივობის ხარისხი [16] შეფასებულია შემდეგნაირად

$$\gamma_{\text{არაწრფ.}} = \sum_{n=1}^{\infty} \left( -\frac{2\delta}{\theta+1} \right)^n, \quad n \in N \quad (1.1)$$

სადაც  $\delta = \frac{\Delta M}{M}$  ურთიერთინდუქციის ფარდობითი ცვლილებაა,

რომელიც სიდიდეების  $\frac{\Delta x}{x}$  და  $\theta = \frac{Z_{\text{გაზ}} Z_{\text{აბღ}}}{\omega^2 M^2}$  პროპორციულია.

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ცდომილების შესამცირებლად აუცილებელია  $\theta$ -ს გაზრდა ანუ გამზომი და აღმგზნები გრაგნილების წინაღობების გაზრდა და W-ისა და M-ის შემცირება.

ძირითადი ცდომილებების ტექნოლოგიური წყაროების წარმოშობის მიზეზებია არა მარტო გრაგნილების დამზადების [14], სივრცული გრაგნილების არასიბრტყეობა, არამედ რეგულირების უზუსტობაც. აწყობის და რეგულირების დროს ბრტყელი გრაგნილები შესაძლოა განთავსდეს ცერად ან დაკარგონ ღერძული სიმეტრიულობა. მაშინ ურთიერთინდუქციურობის ცვლილების ნაზრდი ამ კუთხით პირდაპირპროპორციული გახდება ყველა ამ შემთხვევაში.

$$\gamma \equiv \delta + \varepsilon\omega = \frac{\Delta M \cdot \varepsilon \cdot \omega}{M} \quad (1.2)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ *M*-ის ან გრაგნილებს შორის ბმის კოეფიციენტის გაზრდისას შემცირდება ასეთი ცდომილება. მაშასადამე გგ-ის და აგ-ის ხვეების რიცხვი უნდა გაიზარდოს.

კუთხური გადაადგილების ერთ-, ორ- და სამკოორდინატული ურთიერთინდექციური პგ-ის გამომავალ მახასიათებელზე მოქმედებს გრაგნილთა სივრცული არაორთოგონალურობა, გრაგნილთა ექსცენტრისიტეტი და შესაძლო არაკოაქსიალურობა. ვინაიდან გრაგნილთა სივრცული ურთიერთ უკონტაქტო განთავსება მოითხოვს მაღალი სიზუსტის მქონე დანადგარების გამოყენებას.

ცალკე გამოყოფილი გრადუირების ან დაქვანტვის უზუსტობა მიეკუთვნება სისტემურ ცდომილებას, მაგრამ სკალის შედგენისას ადგილი აქვს შემთხვევით ფაქტორს. ამ ცდომილებების განაწილების კანონი შეესაბამება ექსპონენციალურ კანონს [17].

საექსპლუატაციო ცდომილებები გამომდინარეობს იმ დაუძლეველი ტექნოლოგიური უზუსტობიდან, რომლებიც გამოაშკარავდება პგ-ის კონსტიტუციის აწყობის დროს. მათ რიცხვს მიეკუთვნება ლუფტი, რაც წარმოადგენს მექანიკური გადაადგილების მაკონტროლებელი საშუალებების ცდომილების ძირითად წყაროს. რა თქმა უნდა, ლუფტი სხვადასხვა სახისაა, მაგრამ ტექნიკურ ლიტერატურაში მიიჩნევენ, რომ ისინი ღებულობენ დისკრეტულ საპირისპირო ნიშნის მნიშვნელობას. მათი მნიშვნელობები დამოკიდებულია კონკრეტულ კონსტრუქციულ შესრულებაზე. თუ წარმოვიდგენთ მმართველი ღერძიდან გადახრას, როგორც სივრცულ სიდიდეს, მაშინ ლუფტი დაიშლება სამ მდგენელად: გრძივი, განივი, ჰორიზონტალური და განივი ვერტიკალური. ბოლო ორი სიდიდე გაცილებით მცირეა, ვიდრე გრძივი ლუფტი, ვინაიდან კალიბროვანი ღერძი და მათზე მოძრავი კონსტრუქციის ნაწილი მაღალი სიზუსტით მზადდება. გრძივი ლუფტი კი დამოკიდებულია ობიექტის მაკონტროლებელ ორგანოსთან კინემატიკური კავშირის სიხისტეზე. თუ გრძივი ლუფტის სიდიდეს გავყოფთ გარდამქმნელის

გადაადგილების მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე, მივიღებთ გრძივი გადაადგილების ცდომილებას. ანალოგიურად გამოითვლება მექანიკური ჰისტერეზისით გამოწვეული ცდომილება, ვინაიდან მისი სიდიდე დამოკიდებულია კინემატიკური კავშირის ტექნიკურ შესრულებაზე და ამ კავშირის სიხისტეზე. პგ-ის მოძრავი ნაწილის ჩამორჩენის ან წინსწრების სიდიდის შეფარდება მაქსიმალურ კონტროლირებად სიდიდესთან განსაზღვრავს მექანიკური ჰისტერეზისით გამოწვეულ ცდომილებას. გგ-ის ბრტყელპარალელური შესრულება ამცირებს მექანიკური ლუფტით შემოტანილ ცდომილებას იმიტომ, რომ აგ-ის წანაცვლებისას ჯამური გამომავალი სიდიდე უმნიშვნელოდ იცვლება [18].

მოძრავი ნაწილების ურთიერთხახუნი იწვევს დეტალების ცვეთას, რის შედეგადაც იზრდება განივი ლუფტის სიდიდე. ამ სიდიდის შესამცირებლად ისე უნდა შეირჩეს კონსტრუქციული მასალები, რომ, ერთის მხრივ, ცვეთა დავიდეს მინიმუმზე და მეორეს მხრივ, არ უშლიდეს მაგნიტური ველის ნაკადის გავრცელებას და შესაბამის გადანაწილებას.

კუთხური გადაადგილების პგ-ში გრაგნილების სიმეტრიის ცენტრის გადანაცვლება იწვევს აგ-ის მაგნიტური ველის მაგნიტური ძალწირების სიმკვრივის შეცვლას გგ-ის ურთიერთსაპირისპირო უბნებში. იმ შემთხვევაში, თუ ნაკადშემომის გაზრდა და შემცირება რიცხობრივად ერთმანეთის ტოლია (რაც შეუძლებელია), მაშინ ცდომილებას ადგილი არ ექნება. ზოგადად ცდომილების გამოსათვლელი ფორმულაა:

$$\gamma_{o \rightarrow o_1} = \frac{|\Delta\psi_1 - \Delta\psi_2|}{\psi_{\text{მაქს}}} \quad (1.3)$$

სიჩქარის ცვლილებაზე დამოკიდებულ უზუსტობას ადგილი აქვს დინამიურ რეჟიმში მომუშავე პგ-ში. უპგ-ში ფიქსირებული კუთხური გადაადგილებით დიდი სიჩქარეების განვითარებას ადგილი არა აქვს. ამიტომ დამატებითი შექმნილი ემმ-ის სიდიდე უმნიშვნელოა.

აგ-ის და გგ-ის ცენტრების შეთავსების უზუსტობა განპირობებულია მოძრავი და უძრავი ნაწილების სივრცული განლაგებით. ამ მიზეზით გამოწვეული ცდომილება შესაძლებელია უგულვებლევყოთ ორი ნაწილის ერთ პლატფორმაზე განთავსებით და მათი ცენტრების შეთავსებით აქტიური ექსპერიმენტის გამოყენების გზით.

**გ) დამატებითი ცდომილებების წყაროების წარმოშობის ანალიზი და მათი შემცირების გზები.**

დამატებითი ცდომილებები წარმოიშობა უპგ-ის მუშაობის პირობების ნომინალურისაგან გადახრისას.

მოყვანილ კლასიფიკაციის (ნახ. 1.3.) მიხედვით დამატებითი ცდომილებების წყაროები იყოფა შიგა, გარე და რეჟიმულ წყაროებად.

შიგა ცდომილების წყაროებიდან ძირითადად მივიჩნევთ კვების წყაროს პარამეტრებს (დენი, ძაბვა და სიხშირე). იმ შემთხვევაშიც კი, თუ გამოვიყენებთ ფერორეზონანსურ სტაბილიზატორებს [19], კვების წყაროს ძაბვის სიდიდის ცვლილება შეიძლება შემცირდეს  $\pm 3\%$ -მდე. ამ სიდიდის ზემოქმედების შესამცირებლად უნდა გავზარდოთ გარდამქმნელის მგრძობიარობა, რომლის დროსაც გამომავალი სიგნალის ერთსა და იმავე ცვლილებას შეესაბამება უფრო მცირე გადაადგილება.

გაცილებით მეტი ცდომილება შემოაქვს კვების ძაბვის არასინუსოიდალურობას. ეს იწვევს მაღალი რიგის ჰარმონიკების ზემოქმედებას გამომავალ სიგნალზე. ამ მიზეზით გამოწვეული ცდომილებისაგან თავის დასაღწევად მიზანშეწონილია ცვლადი დენი გარდაქმნათ მუდმივად და შემდეგ ისევ გადავიდეთ ცვლადი დენის წყაროზე სინუსოიდის გაუმჯობესებული ხარისხით.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ კვების წყაროს სიხშირის ცვალებადობას შემოაქვს ცდომილება, რომელიც განისაზღვრება [15, 20]

$$\gamma_{\omega} = \frac{\Delta\omega}{\omega} \cdot \frac{1}{1 + \varphi_{\text{აღმ}}^2}, \quad (14)$$

სადაც  $\varphi_{\text{აღმ}} = \frac{\omega L_s}{R_s}$  აგ-ში ფაზათა წანაცვლებაა.

როგორც ჩანს (1.4), ფარდობითი ცდომილების  $\gamma_{\omega}$  შესამცირებლად სიხშირის  $\omega$  გაზრდასთან ერთად შესაძლებელია ვიმოქმედოთ ფაზათა წანაცვლების სიდიდის გაზრდაზე, რაც მიიღწევა აღმგზნები გრაგნილის აქტიური წინააღობის შემცირებით და ინდუქტიური წინააღობის გაზრდით.

გამზომი გრაგნილის ურთიერთქმედებით გამოწვეული ცდომილებები მცირე გავლენას ახდენს საინფორმაციო სიგნალის ფორმირებაზე. ეს ფაქტი გამომდინარეობს იმ მოსაზრებიდან, რომ გრაგნილებში ინდუცირებული სიგნალების სიმძლავრე დაახლოებით 10-ზე მეტჯერ მცირეა აგ-ის სიგნალის სიმძლავრეზე, ხოლო თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ მაგალითად, ბრტყელპარალელური გარდამქმნელის კონსტრუქციისას თვით გგ-ებს შორის მანძილი 2-ჯერ აღემატება აგ-სა და გგ-ს შორის მანძილს, მაშინ გგ-ის ურთიერთხემოქმედება შემცირდება 100-ზე მეტჯერ. მაშასადამე, რაც უფრო დავაშორებთ ერთმანეთისაგან გგ-ებს ცდომილება შემცირდება.

პარაზიტული ტევადობები წარმოიშობა არსებული ტევადური კავშირებით. ისინი წარმოადგენენ მცირე სიდიდის ცდომილებების წყაროს, ვინაიდან უპგ-ები ფუნქციონირებენ დაბალ სიხშირულ დიაპაზონში. სიხშირის გაზრდასას პარაზიტული ტევადობები იჩენენ თავს, რაც სპეციალური შესწავლის საგანია.

დამატებითი ცდომილებების გარეშე წყაროების ანალიზი კლასიფიკაციის მიხედვით გვიჩვენებს, რომ ცდომილებებზე გავლენას ახდენს გარეშე ელექტრომაგნიტური ველი და ფერომაგნიტური ეკრანის მექანიკური ვიბრაცია და ტემპერატურა, ატმოსფერული პარამეტრები და გარემოს მაგნიტური შეღწევადობები. გარეშე ელექტრომაგნიტური ველის, ფერომაგნიტური ეკრანის და მექანიკური ლუფტების გავლენა შესაძლებელია ნაწილობრივ გავაკომპენსიროთ გგ-ის თანამიმდევრულ-

თანხვედრილი შეერთებით და ორწყვილად დახვეული მავთულის გამოყენებით. [15] ანგარიშში მოყვანილი გამოკვლევების მიხედვით დადგენილია, რომ  $5 \cdot 10^{-4}$  ტლ ინდუქციის მაგნიტური ველის გავლენას შემოაქვს ცდომილება, რომელიც არ აღემატება 0,2%. ვიზრაციის და ტემპერატურის ცვლილების გავლენა შესაძლებელია შეფასდეს [17] მოყვანილი ორიგინალური ფორმულებით, რომელიც განსაზღვრავს ტემპერატურაზე დამოკიდებული ნებისმიერი პარამეტრის ფარდობით ცდომილებას:

$$\gamma_{\Pi} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\delta \varepsilon}{\delta M} \cdot \frac{\delta M}{\delta \Pi} \cdot \frac{\delta \Pi}{\delta T} \cdot \Delta T \quad (1.5)$$

სადაც  $\Pi$  სიმბოლოში იგულისხმება აგ-ის  $\mathbf{r}$  და გგ-ის  $\mathbf{R}$  წინააღობები, ჰაერის მაგნიტური გამტარობის  $\mathbf{q}$  და მაგნიტური ეკრანის მაგნიტური გამტარობის  $\mathbf{g}$  ან სხვა ტემპერატურაზე დამოკიდებული პარამეტრი.

რა თქმა უნდა, გრაგნილების გაფართოების კოეფიციენტი განსხვავდება ფუძეშრის გაფართოების კოეფიციენტისაგან, რაც ცვლის გრაგნილების გეომეტრიულ ფორმებს და ამის გამო წარმოადგენს ცდომილების წყაროს. ამიტომ, მავთულის და ფუძეშრის გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტები უნდა იყოს მიახლოებით ტოლი.

ტემპერატურის გავლენამ შეიძლება გამომავალი მახასიათებლის მგრძნობიარობა ან გაზარდოს ან შეამციროს. ეს ცდომილება [17] მონაცემებით შეიძლება შეადგენდეს  $0,1 \pm 1\%$ -მდე ყოველი  $1^{\circ}\text{K}$ -ისათვის. იგივე მიზეზით შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს ნულის დრეიფს, რომელიც იგივე მონაცემებით  $0,01 \pm 0,1\%$  შეადგენს ყოველ  $10^{\circ}\text{K}$ -ისათვის. ჩვენი გამოკვლევით) ადგილი აქვს ორივე სიდიდის ერთდროულ ცვლილებას.

რაც შეეხება ატმოსფერული (წნევის და ტენიანობის ცვლილება) და გარემოს მაგნიტური შეღწევადობის გავლენების ზემოქმედებას, უნდა აღინიშნოს, რომ მათი წვლილი საერთო ცდომილების სიდიდეში უმნიშვნელოა და ამიტომ არ განვიხილავთ.



### რეჟიმული დამატებითი ცდომილებების წყაროები.

მათ რიცხვს მიეკუთვნება დატვირთვის არამუდმივობა, დინამიური დაგვიანების ცდომილებანი (ინერციული და ელექტრული) და გენერატორული ცდომილება.

პირველადი გარდამქმნელი იტვირთება მეორადი გარდამქმნელით, რომელიც შეიცავს გამაძლიერებლებს, გამართვის ელემენტებს და სხვა არასტაბილურ გარდამქმნელებს, რომლებიც დატვირთვის არამუდმივობას განსაზღვრავენ და ამიტომ შემოაქვთ ცდომილება, რომელიც შეიძლება შემცირდეს აქტიური ელემენტების (მაგალითად, გამაძლიერებლის) ნულის დრეიფის და მახასიათებლის სტაბილიზირებით.

### დ) დინამიური ცდომილებების წარმოშობის წყაროები.

ზოგადად დინამიური ცდომილებები განისაზღვრება როგორც სხვაობა დინამიურ და სტატიკურ რეჟიმში მიღებულ გამომავალი მახასიათებლების სიდიდეების შორის [19] და განისაზღვრება გადახრების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობით.

დინამიური დაგვიანების ცდომილებები დაკავშირებულია გარდამქმნელის ინერციულობასთან და გარდაქმნის ელექტრულ სქემებში გარდამავალ პროცესებთან. ინერციულობა ძირითადად დაკავშირებულია მაგნიტოგამტარის არსებობასთან, რომელსაც შემოაქვს მაგნიტური ჰისტერეზისი. უპგ-ში მაგნიტოგამტარი გამორიცხულია, მაგრამ გგ-ების არსებობას შემოაქვს ინდუქტიურობა, რაც იწვევს სიგნალის გარდაქმნის დროის ზრდას. თუ გავითვალისწინებთ, ერთის მხრივ, რომ ელექტრომაგნიტური ტალღა ვრცელდება სინათლის სიჩქარით, და მეორეს მხრივ, რომ სიხშირის გაზრდასთან ერთად მცირდება სიგნალის გარდაქმნის და გაჯერების დრო, მაშინ ცხადი გახდება, რომ დინამიური დაგვიანების ცდომილებები მცირე სიდიდეებს წარმოადგენენ.

ზოგადად თუ მაგნიტურ ველში  $L$  კონტური მოძრაობს  $v$  სიჩქარით, მაშინ მაქსველის მეორე განტოლება შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით [21]:

$$\varepsilon = \phi_L (E + [\vec{v} \cdot \vec{B}]) dJ \quad (6)$$

სადაც  $\phi_L EdJ$  - ტრანსფორმატორული ემპ-ია, რომელიც განპირობებულია დროში მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით;  $\phi_L[\vec{v} \cdot \vec{B}]dJ$  - გენერატორული ემპ, რომელიც განპირობებულია მაგნიტურ ველში კონტურის მოძრაობით  $v$  სიჩქარით.

(6)-დან გამომდინარეობს, რომ რეზულტირებული ემპ შედგება ორი მდგენელისაგან, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ წანაცვლებულია  $90^\circ$ -ით (ეს გამოწვეულია მეორე მდგენელში შემავალი ვექტორული ნამრავლით). პირველი შესაკრები განსაზღვრავს სტატიკურ მახასიათებელს, მეორე კი – დინამიურს. დინამიურ რეჟიმში მომუშავე გარდამქმნელების ანალიზისათვის ვიყენებთ ან დიფერენციალური განტოლებების შედგენის და მათი ანალიზის მეთოდს ლაპლასის გარდაქმნის გამოყენებით (იშვიათად), ან სიხშირულ მეთოდს ფურიეს გარდაქმნის გამოყენებით, რომელიც ხშირად გამოიყენება გარდამქმნელების და მაკონტროლებელ-საზომი ხელსაწყოების ანალიზისათვის. გენერატორული ცდომილებები შესწავლილია [17, 21, 22, 23, 25] და ამიტომ ავლნიშნოთ მხოლოდ, რომ მათ შესამცირებლად აუცილებელია გარდამქმნელის სიხშირის გაზრდა.

#### ე) გარდამქმნელის საერთო ცდომილება.

გადაადგილების მთელ კონტროლირებად დიაპაზონში ადიტიურად (ჯამურად), მულტიპლიკაციური (გარდაქმნის სიდიდის პროპორციული) და კვადრატული (გარდაქმნის სიდიდის კვადრატის პროპორციული) ცდომილებების სიდიდეები იცვლება ისე, რომ ჯამური ცდომილება გაცილებით ნაკლებია ცალ-ცალკე აღებული ცდომილებების ალგებრულ ჯამზე იმიტომ, რომ ზოგი ცდომილება ურთიერთკორელირებულია და მათი მნიშვნელობა საპირისპირო ნიშნისაა.

ცდომილების ზუსტი მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის იყენებენ  $n$ -მეთოდს, მაგრამ პრაქტიკაში მისი გამოყენება შეზღუდულია, ვინაიდან პარამეტრის ცვლილების სარწმუნო საზღვრების კორექტული აჯამვისათვის აუცილებელია ინტეგრირების ოპერაციის ჩატარება.

ამიტომ ბევრი ტექნიკური გაზომვისათვის საკმარისია კვადრატული სარწმუნო საზღვრების უბრალო აჯამვა [25].

ალბათობის თეორიიდან ვიცით, რომ დისპერსია წარმოადგენს შემთხვევითი სიდიდეების მნიშვნელობის გაბნევის ზომას მისი საშუალო მნიშვნელობისაგან. ამიტომ დისპერსიის თვისებები შესაძლებელია მორგებული იყოს ცდომილებების გამოთვლის დროს. ორი შემთხვევითი სიდიდის ჯამის დისპერსია [26, 27, 28, 29]

$$D(\xi_1 + \xi_2) = D(\xi_1) + D(\xi_2) + 2\text{cov}(\xi_1, \xi_2), \quad (1.7)$$

სადაც  $\text{cov}(\xi_1, \xi_2) = \rho(\xi_1, \xi_2)\sqrt{D(\xi_1) \cdot D(\xi_2)}$  - შემთხვევითი სიდიდეების მნიშვნელობების კორელაციაა;  $\rho(\xi_1, \xi_2)$  - კორელაციის კოეფიციენტი.

ვინაიდან შემთხვევითი სიდიდის  $\xi$  საშუალო კვადრატული გადახრა  $\sigma$  დისპერსიის კვადრატის ტოლია, ამიტომ

$$\sigma(\xi_1 + \xi_2) = \sqrt{\sigma(\xi_1)^2 + \sigma(\xi_2)^2 + 2\rho(\xi_1, \xi_2)\sigma(\xi_1) \cdot \sigma(\xi_2)}. \quad (1.8)$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ

მაშინ ზოგადად წყვილ-წყვილად აღებულ სიდიდეებს შორის საშუალო კვადრატული გადახრა გამოითვლება ზოგადი გამოსახულებით:

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} \sigma(\xi_i)^2 + \sum_{i=j=n_1+1}^{n_2} (\sigma(\xi_i) + \sigma(\xi_j)) + \sum_{i=j=n_2}^n |\sigma(\xi_i) - \sigma(\xi_j)|}, \quad (1.9)$$

სადაც  $i \in [1, n_1]$  არაკორელირებული სიდიდეების რაოდენობაა,  $i \in [n_1 + 1, n_2]$  - მკაცრად ხაზოვანი დადებითად კორელირებული სიდიდეების რაოდენობათა ნუმერაცია,  $i \in [n_2 + 1, n]$  - მკაცრად ხაზოვანი უარყოფითად კორელირებული სიდიდეების რაოდენობათა ნუმერაცია.

ალბათობის თეორიიდან გამომდინარე ეს წესი შეიძლება გამოვიყენოთ არა მარტო შემთხვევითი, არამედ სისტემატური ცდომილებების დასადგენად.

იპგ-ში მნიშვნელოვანი ცდომილებები განპირობებულია ტემპერატურის ცვლილებით და სიხშირული ტევადობით. მათი

კომპენსაცია მნიშვნელოვნად შეამცირებს ცდომილებების რიცხვით მნიშვნელობებს.

### 1.5 კვლევის ამოცანები

1. თეორიულად და ექსპერიმენტალურად დადგინდეს ინდუქციური ტიპის გარდამქმნელების კონსტრუირების შესაძლებლობა, მიზანშეწონილობა და ფუნქციონირების პრინციპები;
2. შესწავლილ იქნას მაგნიტური ველის გადანაწილება მოცულობითი (სფერული, ღრუ ცილინდრული და ტოროიდალური) ფორმის მაგნიტების ზედაპირებზე და მათ მიმდებარე არეებში.
3. შეიქმნას სამკოორდინატული ინდუქციური ტიპის გარდამქმნელი, რომელიც უზრუნველყოფს სამივე დამოუკიდებელ არხში ე.მ.ძ. აღძვრას, რომლებიც განსაზღვრავენ მაგნიტური ვექტორის ადგილმდებარეობის ცვლილების სიჩქარეს.
4. დადგინდეს მოძრაობის განტოლება, რომელიც ასახავს მწკრივში განლაგებული ღრუ ცილინდრული ფორმის სიმეტრიის ღერძის გარშემო მბრუნავ მაგნიტებზე მოქმედი გარე მართვადი იმპულსების მიერ გამოწვეული დინამიური ძალების ზემოქმედებით;
5. ჩატარდეს გარე ძალების მიერ გამოწვეული რხევების დემფირების საშუალებების ანალიზი და დადგინდეს მისი ნაწილობრივი ან სრული კომპენსირების გზები;
6. შესასწავლილ იქნას ტოროიდალური ფორმის მუდმივი მაგნიტების მიერ შექმნილი ველის გადანაწილება ისეთი ტოპოლოგიის მქონე მაგნიტოგამტარებში, რომელიც უზრუნველყოფენ, ერთის მხრივ, ინტენსიური ველის შექმნას და მეორე მხრივ, ამცირებენ მაგნიტური ველის ძალწირების

7. ექსპერიმენტალულად განისაზღვროს დამუშავებული გარდამქმნელების სტატიკური მახასიათებლები და მგრძობიარობა, აგრეთვე სხვა საექსპლუატაციო მაჩვენებლები.

## II თავი. კუთხური გადაადგილების სამკოორდინატული პირველადი გარდამქმნელის თეორიული საფუძვლები და აგების პრინციპები

### 2.1. მაგნიტური ველის სამი ორთოგონალური მდგენელის გამოთვლის გამოსახულებები

ფარადეის მიერ 1831 წელს აღმოჩენილი ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა მდგომარეობს იმაში, რომ ნებისმიერ ჩაკეტილ კონტურში მაგნიტური ნაკადის ცვლილებისას, იმ ზედაპირზე, რომელიც შემოსაზღვრულია ამ კონტურით, აღიმკრება ელექტრომომძრავებელი ძალა, რომლის სიდიდე მაგნიტური ნაკადის ცვლილების პროპორციულია

$$\varepsilon = -k \frac{d\Phi}{dt}$$

სადაც  $k$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი. SI სისტემაში  $k=1$ .

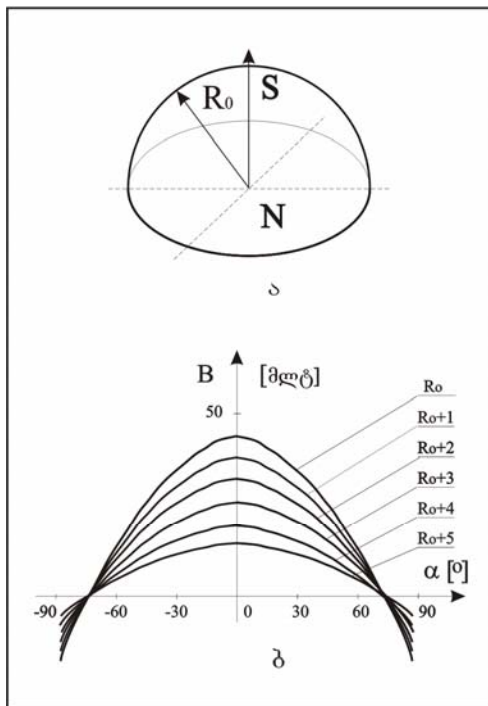
მინუსი “-“ ლენცის წესის მიხედვით განაპირობებს ე.მ.ძ.-ის გარე მაგნიტური ნაკადის ცვლილების საპირისპირო მიმართულებას.

ზოგადად, სტაციონალურ მაგნიტურ ველში მაგნიტური ნაკადი  $\Phi = (\vec{B} \cdot \vec{S}) \cos \alpha$  ორი ვექტორის სკალარული ნამრავლის ტოლია, სადაც  $\alpha$  კუთხე  $\vec{B}$  ვექტორსა და  $S$  ფართობის ნორმალს (ან სიბრტყის პერპენდიკულარული ვექტორს) შორის კუთხეა.

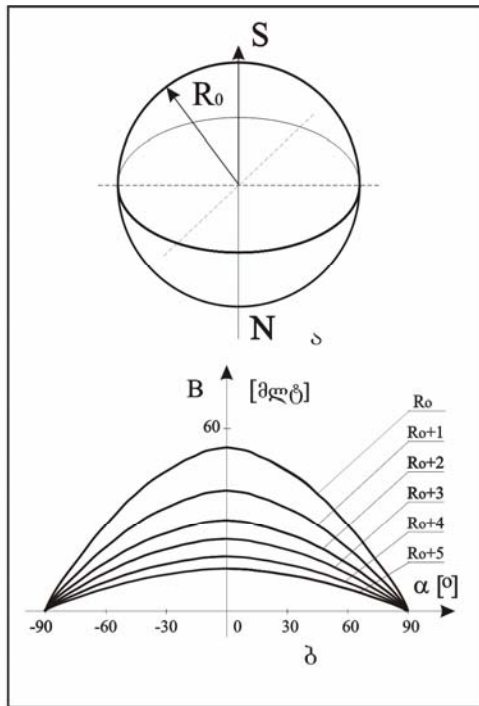
იმ შემთხვევაში, როცა მაგნიტის ფორმა წარმოადგენს ნახევარსფეროს, ან სრულ სფეროს, მაგნიტური ველის გადანაწილება კოსინუსოიდის ფორმას იღებს (ნახ. 2.1).

თუ ნახევარსფეროს ფორმის მაგნიტებში გასაგები მიზეზების გამო ფუძეში ველის მიმართულება პირობითად უარყოფითია, სფეროს ფორმის მაგნიტებში - პოლუსებს შორის დიამეტრულ სიმეტრიულ სიბრტყის პერიმეტრზე მაგნიტური ველის პოტენციალი უდრის ნულს (ნახ. 2.2). ცხადია, რომ მაგნიტური ველის თითოეული მდგენელი პროპორციული იქნება შესაბამის კოორდინატებზე პროექციებისა:

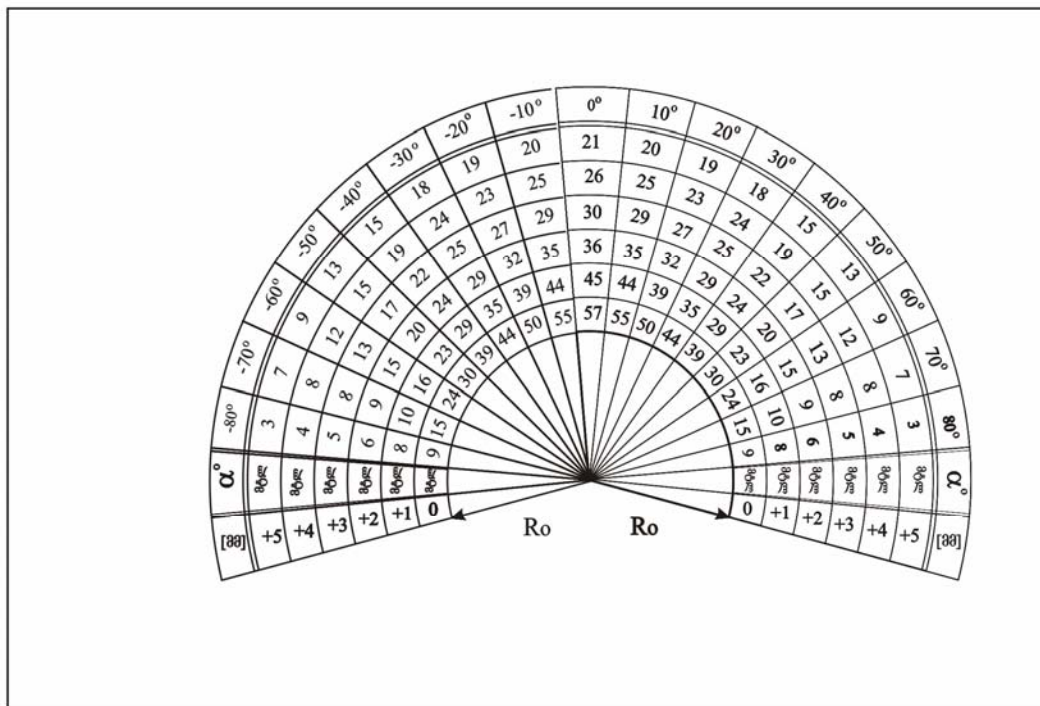
$$\left\{ \begin{array}{l} B_I = B \cdot \cos \alpha \\ B_{II} = B \cdot \cos \beta \\ B_{III} = B \cdot \cos \delta \\ -90^0 \leq \alpha, \beta, \delta \leq 90^0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} R \neq const \\ B = F(\alpha, \beta, \delta) \\ B = B_0 \cos \Theta \\ -90^0 \leq \Theta \leq 90^0 \end{array} \right.$$



ნახ. 2.1



ნახ. 2.2



ნახ. 2.3

$$\text{ანუ } \begin{cases} B_I = B_\varrho \cos \Theta \cdot \cos \alpha \\ B_{II} = B_\varrho \cos \Theta \cdot \cos \beta \\ B_{III} = B_\varrho \cos \Theta \cdot \cos \delta \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} -90^\circ \leq \alpha, \beta, \delta \leq 90^\circ \end{array} \right.$$

როგორც ვხედავთ, ორივე შემთხვევაში (ნახ. 2.1.ა და 2.2.ა) მაგნიტური ველის ინდუქცია თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობებს ( $-90^\circ$ -დან  $90^\circ$ -მდე არეში) იღებს იმ შემთხვევაში, როცა გაზომვებს ვაწარმოებთ მაგნიტების ზედაპირზე. ზედაპირიდან დაცილებისას მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილება მნიშვნელოვნად მცირდება. მაშასადამე, რაც უფრო ახლოს განლაგდებიან გამზომი გრაგნილები მაგნიტის ზედაპირთან, მით უფრო ინტენსიური ველის არეში აღმოჩნდებიან (ნახ. 2.3).

## 2.2. სამკოორდინატული ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელის აგების პრინციპი

ვინაიდან დამაგნიტების ღერძის მიმართ სფერული ფორმის მუდმივი მაგნიტის ზედაპირის მაგნიტური ველის გადანაწილებას აქვს სიმეტრიული ფორმა, ამიტომ ველი არაერთგვაროვანია. ეს გარემოება იძლევა საშუალებას აღმგზნები სფეროს უმნიშვნელო მოზრუნების შემთხვევაშიც კი (პირობით ჩაკეტილ) კონტურში აღძრას ინდუქციის ელექტრომამომრავებელი ძალა (ე.მ.ძ.), ვინაიდან იწვევს ნაკადმებმულობის ცვლილებას. ექსპერიმენტალურად გამოკვლეული იყო გამზომ კონტურებში აღძრული ე.მ.ძ. გაზრდის კონსტრუქციული ხერხები. ექვს არ იწვევს ის, რომ სფეროს ზედაპირზე კონტურების და მათში შემავალი გრაგნილი ხვიების რიცხვის გაზრდით მიიღწევა სასურველი შედეგი. თუ ცნობილ სამკოორდინატულ ურთიერთინდუქციულ გარდამქმნელში [30] პირველი გამზომი კონტური განთავსებულია ნახევარსფეროს ფუძის პერიმეტრზე, ხოლო ორი სხვა (ფორმით იდენტური კონტური) შესრულებულია პირობითი რვიანის სახით, მაშინ ახალ გარდამქმნელში იცვლება სფერულ



ზედაპირზე ამ ორი გამზომი კონტურების განთავსების ტოპოლოგია. ამასთან პირველი კონტურის კონფიგურაცია არ იცვლება ვინაიდან განთავსებულია ნახევარსფეროს ფუძის პერიმეტრზე და მისი გამომავალი სიგნალის გაზრდა შესაძლებელია კონტურში შემავალი ხვიების რიცხვის გაზრდით. ნახ. 2.4 და ნახ. 2.5-ზე მოყვანილია იდენტური კონტურების შესრულების სქემა. ისრები მიუთითებს გამზომი კონტურების დახვევის მიმართულებას. ერთ შემთხვევაში (იხ. ნახ. 2.4) გამზომი კონტურის შემადგენელი ორი იდენტური ნაწილი განთავსებულია სფეროს ზედაპირზე მისი სიმეტრიის OX ღერძის მიმართ სიმეტრიულად  $d$  მანძილზე, ხოლო მეორე შემთხვევაში (იხ. ნახ. 2.5) გამზომი კონტური შედგენილია სამი ნაწილისაგან რომლითაგან ერთი ცენტალურია და განთავსებულია სიმეტრიის OX ღერძის გასტრვივ და მეორე და მესამე იდენტური ნაწილები განთავსებულია წინა ნახატზე მოყვანილ სურათის ანოლოგურად. დანართში დ.2 მოყვანილია ექსპერიმენტალური მონაცემები და შესაბამისი გრაფიკები, რომლებიდან ჩანს, რომ ნახ. 2.5-ზე მოყვანილი სქემით დამზადებული გამზომი კონტური 4-ჯერ გაზდილ გამომავალ სიგნალს იძლევა.

ნახ. 2.6-ზე ნაჩვენებია ე.მ.ძ.-ს მიმართულებები თითოეულ გამზომ ხვიაში აღმეზნები რგოლის მობრუნების შემთხვევაში. დრუ ნახევარსფეროს ფუძის პერიმეტრზე დახვეულ 1–2 გრაგნილში (იხ.ნახ. 2.7 და 2.8) აღძრული ე.მ.ძ.  $\varepsilon_{III}$  ერთი მიმართულებისაა და არა თუ არ კომპენსირდება, არამეტ ორჯერ ძლიერდება. მეორე 1–3 და მესამე 1–4 გრაგნილებში სიგნალის სიდეები გამოითვლება კონტურის თითოეულ მონაკვეთში ინდუცირებული სიგნალების არითმეტიკული ჯამის სახით:

$$\varepsilon_I = 4 \cdot (\varepsilon' - \varepsilon') + 2 \cdot (\varepsilon'^* - \varepsilon'^*) + \varepsilon_1 + \varepsilon_3 + \varepsilon_5 = \varepsilon_1 + \varepsilon_3 + \varepsilon_5 \text{ და}$$

$$\varepsilon_{II} = 4 \cdot (\varepsilon'' - \varepsilon'') + 2 \cdot (\varepsilon''^* - \varepsilon''^*) + \varepsilon_2 + \varepsilon_4 + \varepsilon_6 = \varepsilon_2 + \varepsilon_4 + \varepsilon_6 .$$

ამიტომ, როგორც ვხედავთ პარაზიტული სიგნალები  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon'^*$  და  $\varepsilon''$ ,  $\varepsilon''^*$  მთლიანად აკომპენსირებენ ერთანეთს, ხოლო  $\varepsilon_1$  ;  $\varepsilon_2$  ;  $\varepsilon_3$  ; და  $\varepsilon_4$  ;  $\varepsilon_5$  ;  $\varepsilon_6$  ,

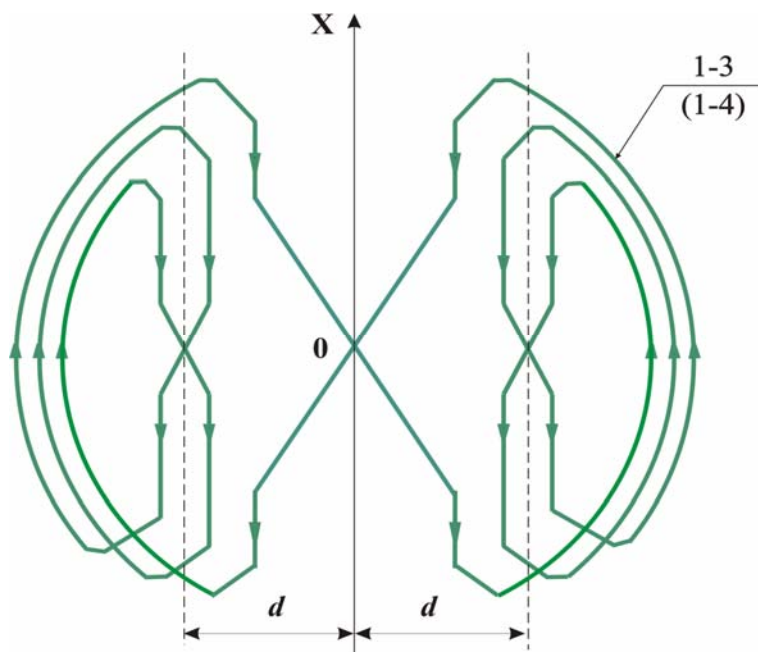
რომლებიც აღიძვრებიან თითოეულ ნაჩვენებ უბანზე – შესაბამისად იკრიბება.

შესაძლებელია პირველად გარდამქმნელში მაგნიტი ჩავანაცლოთ წრეწირული ტოროიდალური ფორმით დამზადებულ აღმგზნები კონტურით და მასში გავატარებთ მუდმივი დენი. ამ შემთხვევაში მაგნიტური ველი ვერ შეაღწევს ნახევარსფეროს შიგნით ვინაიდან აღძრულ ველს არ გააჩნია მაგნიტური ველის გამტარი თუნდაც თვით მაგნიტის სახით. ამიტომ ვერ მივიღებთ ნახ. 2.1, 2.2 და 2.3 მოყვანილ მაგნიტური ძალწირების სასურველ გადანაწილებას გარდა იმ შემთხვევისა როცა გამოვიყენებთ დიდი სიდიდის დენს ან შევამცირებთ გარდამქმნელის გაბარიტულ ზომებს.

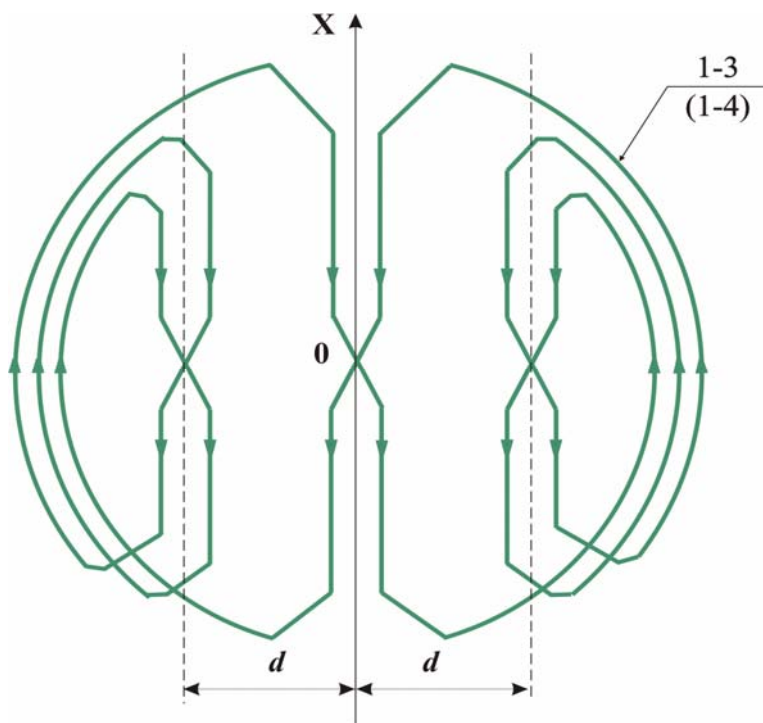
სამკოორდინატული გადამწოდის ფუნქციონალური სქემა მოყვანილია ნახ.2.8-ზე. ინდუქციური სამკოორდინატიანი გადამწოდის [30] პირველადი გარდამქმნელის აღმგზნებ რგოლს წარმოადგენს სიმეტრიული გეომეტრიული ფორმის მქონე და ღერძსიმეტრიულად დამაგნიტებული მუდმივი მაგნიტი (მოყვანილ შემთხვევაში  $R_0$  - რადიუსიანი სფერო). აღმგზნები რგოლი თავისი გარსაცმით მოთავსებულია ღრუ ნახევარსფეროს შიგნით, ისე რომ სფეროს და ღრუ ნახევარსფეროს ცენტრები ერთმანეთს ემთხვევიან. გადამწოდის პირველადი გარდამ-ქმნელი 1 კონსტრუქციულად შესრულებულია სფერული ფორმის მოძრავი მუდმივი მაგნიტისაგან 1-1 და სამ ურთიერთორთოგონალურად და უძრავად განლაგებულ (ამასთან, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელ) გამზომ გრაგნილებისა-გან 1-2, 1-3 და 1-4, რომლებიც დახვეული არიან სხვადასხვა ღრუ ნახევარსფერულ ზედაპირზე. პირველი გამზომი გრაგნილი 1-2 დახვეულია ღრუ ნახევარსფეროს ფუძის პერიმეტრზე. მეორე 1-3 და მესამე 1-4 გამზომი გრაგნილები შეიძლება შევასრულოთ არა მარტო სიმეტრიული რვიანის სახით, რომელიც სრულადაა აღწერილი [35], არამეტ ორი ან სამი კოჭების ერთობრიობისაგან შედგენილ

გრაგნილების სახით (იხ. ნახ. 2.4 და 2.5). მათი სიმეტრიის ღერძები ერთმანეთის მიმართ დაპრულია  $90^{\circ}$ -ით და განლაგებულია ნახევარსფეროზე პირ-ველ გამზომ გრაგნილთან ერთად ისე, რომ თითოეული ამ გრაგნილის ყველა უბანი ურთიერთორთოგონალურია სხვა გრაგნილის მიმართ.

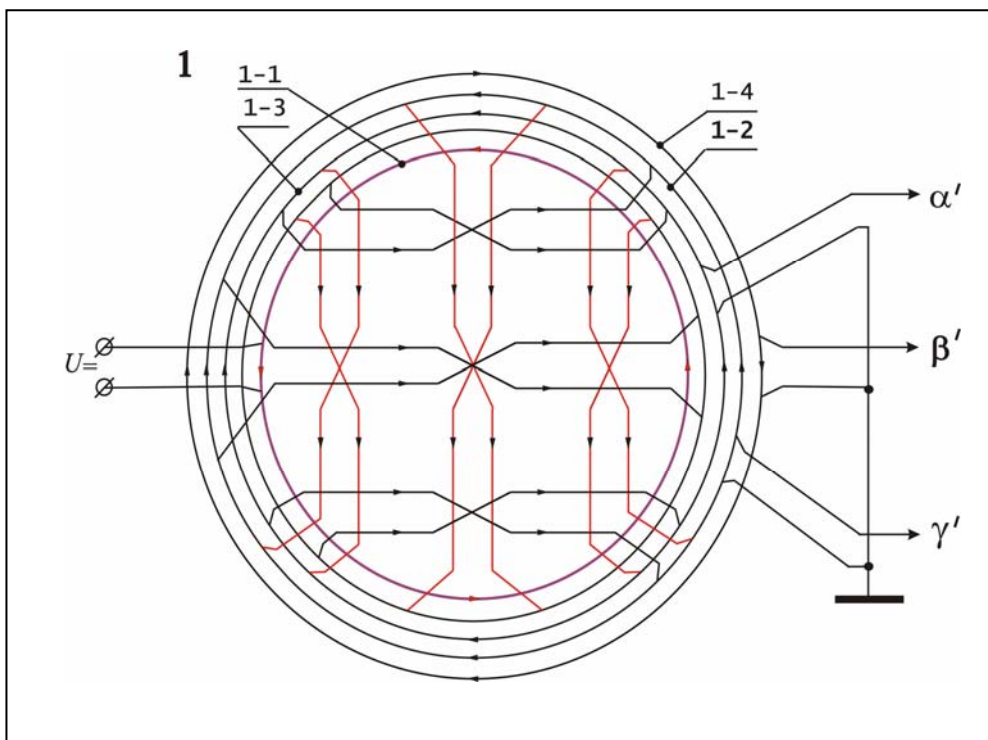
სქემოტექნიკურად ინდუქციური სამკოორდინატიანი გადამწოდი შეიცავს პირველად გარდამქმნელს 1 აღმზნები რგოლით 1-1 შესრულებულს სფერული ფორმის მუდმივი მაგნიტისაგან. ყოველი გამზომი გრაგნილების 1-2, 1-3 და 1-4 ბოლოები მიერთებული არიან ორპოზიციური დილაკების 2-1, 2-2 და 2-3 შესასვლელებთან შესაბამისად, ხოლო მეორე ბოლოები გაერთიანებული არიან და დამიწებული. ორპოზიციური დილაკების პირველი გამოსასვლელი შეერთებულია ანალოგური მანქანის 3 შესაბამის შესასვლელებთან (საჭიროების შემთხვევაში), ხოლო მეორე გამოსასვლელები ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელების 4-1, 4-2 და 4-3 პირველ შესასვლელებთან, რომლების მეორე



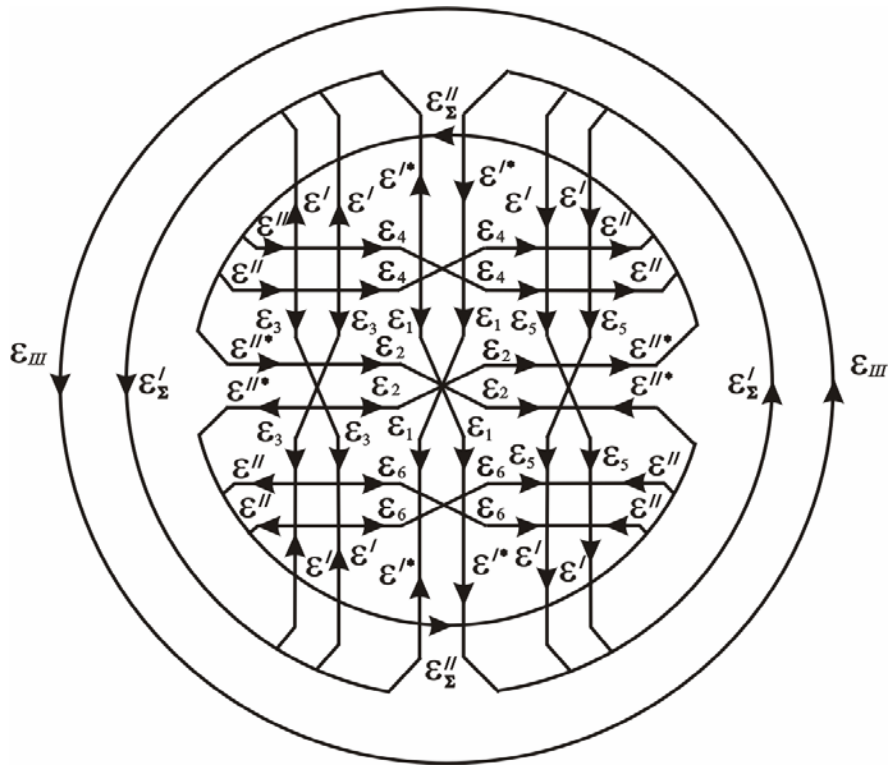
ნახ. 2.4. ორი მიმდევრობით შეერთებული ნახევარკალით შედგენილი იდენტური გამზომი კონტურების შესრულების სქემა



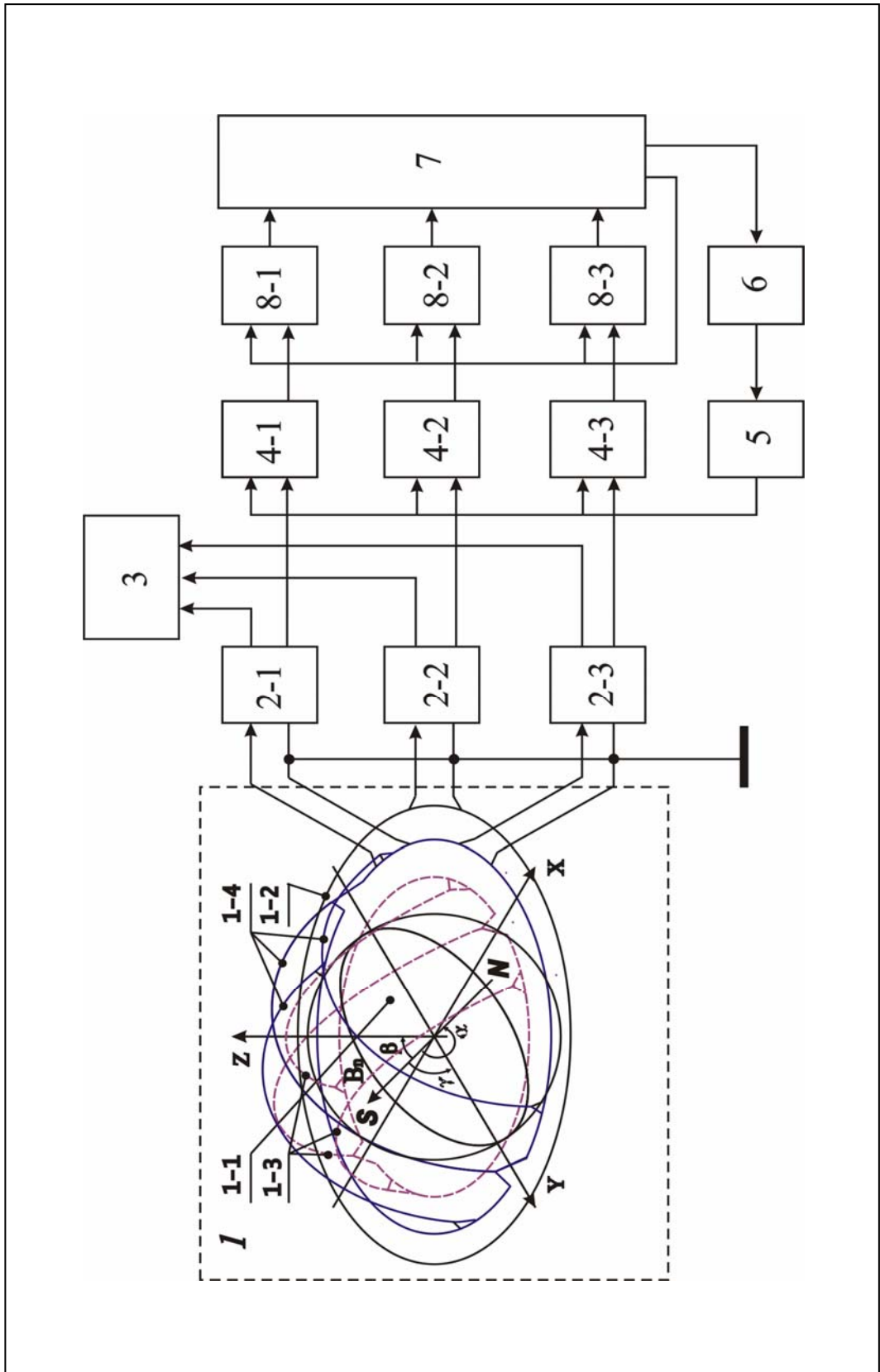
ნახ. 2.5 სამი მიმდევრობით შეერთებული ნახევარკალით შედგენილი იდენტური გამზომი კონტურების შესრულების სქემა



ნახ. 2.6 აღმზნები რგოლის მობრუნების შემთხვევაში ე.მ.ძ.-ს მიმართულებები ტითოეულ გამზომ სვიაში



ნახ. 2.7 გამზომ გრაგნილის თითოეულ ნახევარ რკალში ე.მ.ზ.-ების  
ზედღების სქემა



ნახ. 2.8 სამკოორდინატული გადაშლის ფუნქციონალური სქემა

შესასვლელები გაერთიანებული და შეერთებული არიან მმართავი სიგნალების მაფორმირებელთან 5, რომელიც მიერთებულია ტაქტური იმპულსების გენერატორთან 6, რომელიც შეერთებულია ელექტრულ გამომთვლელ მანქანის 7 გამშვებ გამოსასვლელთან. ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელების ამოსასვლელები მიერთებული არიან შესაბამის ოპერატულ-დამამახსოვრებელი მოწყობილობების 8-1, 8-2 და 8-3 საინფორმაციო შესასვლელებთან, ხოლო მათი მეორე შესასვლელები გაერთიანებული არიან ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ინფორმაციის ამოკითხვის გამოსასვლელთან, და 8-1, 8-2 და 8-3 გამოსასვლელები მიერთებული არიან ელექტრონულ გამომთვლელი მანქანის 7 შესაბამის შესასვლელებთან.

ინდუქციური სამკოორდინატიანი გადაძწოდი მუშაობს შემდეგნაირად: აღმგზნებ რგოლის 1-1 მუშაობის დროს თითოეულ გამზომ გრაგნილში 1-1, 1-2 და 1-4 აღიძვრება ე.მ.ძ., რომელიც მიეწოდება 2-1, 2-2 და 2-3 დილაკების მეშვეობით ან პირდაპირ ანალოგურ გამომთვლელ მანქანას 3, ან ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანას, იმის მიხედვით, თუ რომელ მანქანასთან უწევს მუშაობა ოპერატორს. მაგნიტის მოძრაობის დროს ინფორმაციული სიგნალი იცვლება, ხოლო გაჩერებისას – განულდება, ამიტომ ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის 7 გამშვები გამოსასვლელიდან ტაქტური იმპულსების გენერატორზე 6 მიეწოდება სიგნალი, რომელიც აძლევს იმპულსების მიწოდების უფლებას სიგნალების მაფორმირებელზე 5. ეს უკანასკნელი კი რთავს ანალოგურ-ციფრულ გარდამქმნელებს 4-1, 4-2 და 4-3. ინფორმაცია უკვე ციფრული ფორმით მიეწოდება ოპერატულ-დამამახსოვრებელ მოწყობილობებს 8-1, 8-2 და 8-3, რომლებშიც ინფორმაცია ინახება ელექტრონული გამომთვლელი მანქანიდან ინფორმაციის ამოკითხვის გამოსასვლელიდან იმპულსის მიღებამდე. ეგმ-ში ინფორმაციის გადატანის შემდეგ ოპერაცია მეორდება. სივრცული კოორდინატების მიღწევისას აღმგზნები რგოლის იძულებითი გადაადგილება შეწყდება.

გადამწოდის სიზუსტე დამოკიდებულია ღრუ ნახევარსფეროს და სფერული ფორმის აღმგზნები რგოლის დამზადების სიზუსტეზე, ნახევარსფერულ ზედაპირზე ღარაკების განლაგების სიზუსტეზე და ნახევარსფეროს და სფეროს ცენტრების შეთავსებაზე სივრცეში.

ინფორმაციული სიგნალის დონე განისაზღვრება შექმნილი მაგნიტური ველის სიდიდით, რომელიც დამოკიდებულია მაგნიტური ფხვნილის დისპერსიაზე, თვით მასალაზე და დამაგნიტების ტექნოლოგიურ პროცესზე.

დამაგნიტებაზე ელექტრული ენერგიის ხარჯის შემცირების თვალსაზრისით მიზანშეწონილია სფერული მაგნიტი დამზადდეს ორი იდენტური ნახევარსფეროსაგან, რომლებიც დამაგნიტებულია ერთნაირად, ხოლო ფუძის მიმართ საპირისპირო მიმართულებით.

ძვირად ღირებული მაგნიტური ფხვნილის ეკონომიის თვალსაზრისით ნახევარსფეროები უნდა შესრულდეს ღრუ ფორმის სახით, ხოლო ზედაპირული მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილების შენარჩუნებისათვის ნახევარსფეროების ღრუ ფორმა წარმოადგენს სიმეტრიულ ნახევარელიფსოიდს, რომლის უდიდესი ღერძი განლაგებულია და ემთხვევა ნახევარსფეროს ფუძის სიმეტრიის ღერძს და ნაკლებია მის დიამეტრზე.

აღმგზნები რგოლის ღრუ ნახევარსფეროს შიგნით მოთავსება განაპირობებს მაგნიტური ენერგიის გაფანტვის შემცირებას და მაგნიტური ველის ცვლილების მაქსიმალურ გამოყენებას საინფორმაციო სიგნალის ფორმირებისათვის.

ინდუქციური გადამწოდი არ შეიცვლის გამოსასვლელ მახასიათებლებს, თუ მოძრავი ელემენტები იქნებიან ნახევარსფერო გამზომი გრაგნილებით, ხოლო უძრავი ელემენტი—აღმგზნები რგოლი ან/და მაშინაც კი, როცა ნახევარსფერო და სფერო იქნება მოძრავი.

ინდუქციური გადამწოდი ანალოგურ გამოთვლით მანქანებში გამოიყენება პირდაპირ, ხოლო მმბ-ში მათი გამოყენება ანალოგურ



ციფრული გარდამქმნელის გარეშე შეუძლებელია. ბოლო შემთხვევაში ეგმ-ში პერიოდულად უნდა მოდიოდეს სიგნალი რომელიც აღრიცხავს აცგ-ში ჩაწერილ და დამახსოვრებულ ინფორმაციას.

### 2.3. ნახევარსფერული ფორმის ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების მგრძობიარობის გაზრდის გზები

როგორც ავღნიშნეთ, სხვადასხვა ტიპის მყისიერი წრფივი და კუთხური სიჩქარეების პირდაპირი კონტროლის პირველად გარდამქმნელები-საგან [31,32,33] უკონტაქტობით, სწრაფქმედებით, მაღალი მგრძობიარობით, გამომავალი სიგნალის სიმძლავრით, ცალსახა დამოკიდებულებით შემავალ და გამომავალ სიდიდეებს შორის, გამომავალი მახასიათებელის ხაზოვნობით სიჩქარის კონტროლის დიდ დიაპაზონში, რეგულირებადობის განხორციელებლის შესაძლებლობით, კონსტრუქციის სიმარტივით, ავტონომიურობით (არ ესაჭიროება სპეციალური კვების წყარო), დაბალი მასა-გაბარიტული მაჩვენებლებით და მაღალი საიმედოობით გამოირჩევიან ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელები მუდმივი მაგნიტით.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით, მაგალითად, იაპონიაში მიღებულია მაგნიტები ისეთი მაგნიტური ველის ინდუქციით, რომელიც მრავალჯერ აღემატება სამარი-კობალტის შენადნობით მიღებულ მაქსიმალურ ინდუქციას და ზემოთ ჩამოთვლილ მაგნიტის გამოყენების ღირსებებს, მაშინ ცხადია, რომ ახლო მომავალ-ში შეიქმნება გარდამქმნელები, რომლებიც ფართო გამოყენებას ჰპოვებს არა მარტო მაკონტროლებელ და საზომ ტექნიკაში, არამედ მრე-წველობის მძიმე პირობებში და რეალურ დროში დინამიური ტექნოლო-გიური პროცესების სრული ან ნაწილობრივი ავტომატიზაციის განხორციელებისათვის.

პირველადი გარდამქმნელების გამომავალი მახასიათებლების მგრძნობიარობის გაზრდისათვის გარდა მაგნიტების მიერ მძლავრი მაგნიტური ველის ინდუცირებისა მნიშვნელოვანია მივაღწიოთ მაქსიმალურ ნაკადშემის მაგნიტური ველის ძალწირებსა და მოძრავ გამზომ გრაგნილებს შორის, რაც უმეტეს შემთხვევაში დამოკიდებულია გამზომო გრაგნილის კონფიგურაციაზე და მათ მიერ გადაკვეთილი მაგნიტური ძალწირების რიცხვზე. ეს რიცხვი შესაძლებელია გაიზარდოს თუ საშუალება გვექნება გამოვიყენოთ მრავალკონტურებით შექმნილი ისეთი გარდამქმნელები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გამომავალი, ინფორმაციის მატარებელი, სიგნალის მნიშვნელობის გაზრდას.

თუ მაგნიტურ ველში კონტური მოძრაობს  $\nu$  სიჩქარით, მაშინ მაქსველის მეორე განტოლების თანახმად კონტურში აღძრული ელექტრომაგნიტური ძალა (ემძ) შედგება ტრანსფორმატორული ემძ-ისა, რომლის წარმოქმნა განპირობებულია დროში მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით და გენერატორული ემძისაგან, რომელიც განპირობებულია მაგნიტურ ველში კონტურის  $\nu$  სიჩქარით მოძრაობით [33]. ვინაიდან მუდმივი მაგნიტი თანაბრად განაწილებული ველით ვერ აღძრავს ტრანსფორმატორულ ემძ-ას, მაშინ გენერატორული ემძ-ის გამოსათვლელი ზოგადი გამოსახულება შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით:

$$\varepsilon_g = [\vec{\nu} \cdot \vec{B}] dJ.$$

ამ გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ამ მდგენელში შემავალი  $\vec{\nu}$  და  $\vec{B}$  სიდიდეების ვექტორული ნამრავლი განსაზღვრავს დინამიურს მახასიათებელს. ვექტორული ნამრავლის განსაზღვრის თანახმად  $\varepsilon_g$  რიცხობრივად ტოლია  $\vec{\nu}$  და  $\vec{B}$  ვექტორების სიგრძეების მონაკვეთებისაგან შექმნილი პარალელოგრამის ფართობისა. გენერატორულ რეჟიმში მომუშავე გარდამქმნელების ზოგადი ანალიზისათვის გამოიყენება ან ლაპლასის დიფერენციალური განტოლებების შედგენის მეთოდი ან სიხშირულ მეთოდში ფურიეს გარდაქმნის გამოყენებით, რომელიც სიმარტივის გამო ხშირად გამოიყენება გარდამქმნელების და

მაკონტროლებელ-საზომი საშუალებების ანალიზისათვის. თითოეული მეთოდის გამოყენება დაკავშირებულია სირთულეებთან ვინაიდან მხოლოდ კერძო შემთხვევებში მიიღება ზოგადი ამონახსნის სახე.

არსებობს ანალიზის ჩატარების მარტივი გზა, რომლის გამოყენება იძლევა ხარისხობრივი სურათის გამოვლენის საშუალებას, რაც ნაწილობრივ ამარტივებს გამოკვლევებს პირველადი გარდამქმნელის კონსტრუქციულ თავისებურებების დადგენაში.

ცნობილია, რომ მაგნიტური ველის ნაკადშემზის სიჩქარის ცვლილება განაპირობებს ემძ-ის სიდიდეს. თუ ერთდროულად იცვლება გამჭოლი მაგნიტური ველის ნაკადი და განიკვეთის ფართობი, რომელსაც განჭოლავს ველი, მაშინ ემძ-ის გამოსათვლელად გამოიყენება ცნობილი გამოსახულებანი

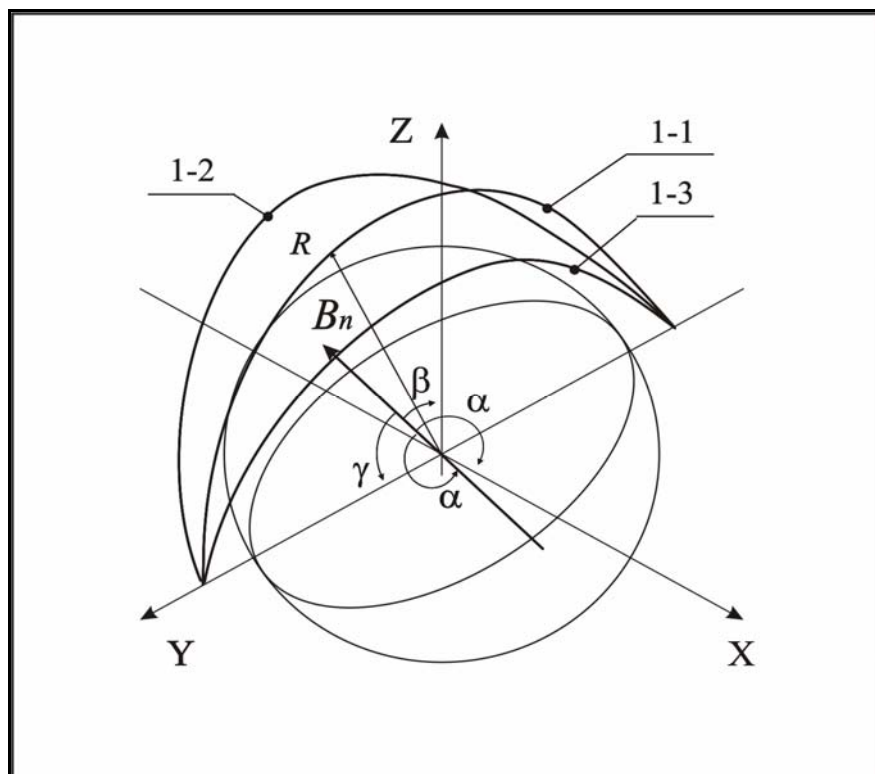
$$\varepsilon_{\text{ფ}} = -\frac{d\Psi}{dt} = -k \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -k \cdot \frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt} = -k \left( \frac{dB}{dt} \cdot S + \frac{dS}{dt} \cdot B \right)$$

ცხადია, ისმის კითხვა – როგორ ვაწარმოთ ორივე პარამეტრის ერთდროული ცვლილება, თუ ვიყენებთ მუდმივ მაგნიტს?

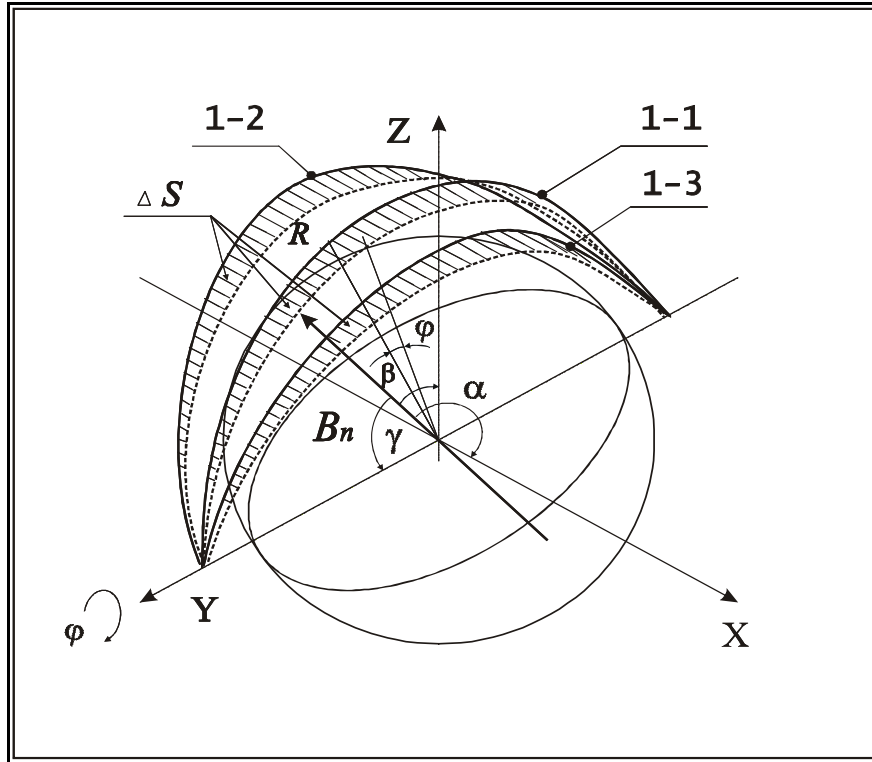
ექსპერიმენტით დადგენილია, რომ ნებისმიერი ფორმის მაგნიტს გააჩნია მკაფიოდ გამოხატული პოლუსები. მისი მაგნიტური ძალწირები შეკრულია. მაგნიტის კიდურებზე მაგნიტური პოტენციალის განაწილება სხვადასხვაა. ეს გარემოება განაპირობებს მის ზედაპირზე მაგნიტური პოტენციალის არაერთგვაროვან განაწილებას, რაც მოქმედებს რა მაგნიტური ველის გადანაწილებაზე სივრცეში არ იძლევა ერთგვაროვანი ველის შექმნის საშუალებას. ამ ამოცანის გადასაჭრელად იყენებენ სხვადასხვა ფორმის მაგნიტოგამტარებს და ფერომაგნიტურ მასალებს, რასაც შემოაქვს კონსტრუქციული სირთულეები. თუ ბრტყელპარალელური ფორმის მაგნიტის კვაზიერთგვაროვნობა მიიღწევა მისი ღერძულსიმეტრიული ცენტრალური ნაწილის და მაგნიტის განაპირა (კიდურა) არეების გამორიცხვის საშუალებით. სხვა მოცულობითი ფორმის მაგნიტებში ეს მიუღწევადია. მაგალითად,

რადიალურად დამაგნიტებულ ღრუ ცილინდრული და სფერული ფორმის მაგნიტების მაგნიტური ველის ინდუქციის მახასიათებელი წარმოადგენს კოსინუსოიდის ერთ და მისი სარკისებური ანარეკლის მეორე (პირვეკის მიმართ ღერძსიმეტრიულ) ნახევარპერიოდებს. ეს გარემოება იძლევა საშუალებას მაგნიტური ველის ინდუქცია წარმოვიდგინოთ  $B = B_0 \cdot \cos \alpha$ , სადაც  $-\pi/2 \leq \alpha \leq \pi/2$  სახით. ორივე შემთხვევაში ემძის მნიშვნელობის ცვლილება ძირითადად დამოკიდებულია გრაგნილების აქტიური ნაწილებისგან შემდგარი სტაციონალური ველით დაკავებულ გარემოში კონტურის მიერ გადაადგილების დროს გადაფარული მაგნიტური ძალწირების რაოდენობაზე. ანუ ემძის მნიშვნელობა კონტურის მიერ შემოფარგლულ ფართობის პროპორციულია.

განვიხილოთ სამი  $R$  რადიუსიანი ნახევარკალური ფორმის გრაგნილებისგან 1-1, 1-2 და 1-3 შემდგარი (იხ. ნახ. 2.9) გამზომი კოტურები რომლებიც განთავსებულია, მაგალითად, ნახევარსფერულ ზედაპირებზე. მის გეომეტრიულ ცენტში მოთავსებულია სფერული ფორმის მაგნიტი,



ნახ. 2.9. დიდი რადიუსის სამი იდენტური ნახევარკალური ფორმის გრაგნილების განთავსება სფეროს ზედაპირზე



ნახ. 2.10. მუდმივი მაგნიტის φ კუთხით წანაცვლებისას ნახევარკალური ფორმის გრაგნილების მიერ მაგნიტირუ ძალწირების გადაკვეთით მიღებული ფორმები

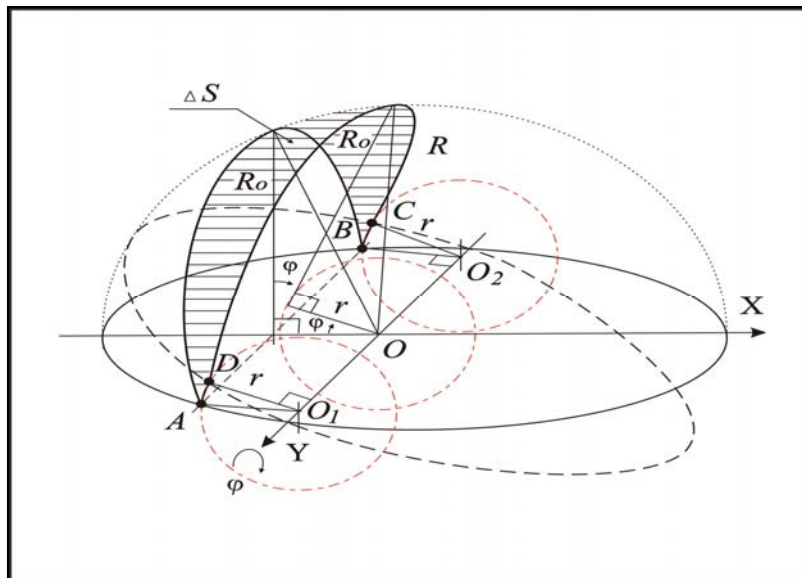
რომელიც დამაგნიტებელია რადიალურად. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი  $B_n$  დეკარტულ კოორდინატა ღერძებთან OX, OY და OZ შეადგეს  $\alpha, \beta$  და  $\gamma$  კუთხეებს შესაბამისად. გარე სფეროზე ერთმანეთის მიმართ უცვლელად მდებარე იდენტური და ერთი და იგივე მასალისგანან დამზადებული ლ რადიუსიანი ნახევარკალური ფორმის დიდი წრეების სიბრტყეებზე განთავსებული გრაგნილებისგან შემდგარი გამზომი კონტურები ერთეულ დროში წავანაცვლოთ  $\phi$  კუთხით (ნახ2.10)

ეს წანაცვლება გამოიწვევს თითოეული კონტურის მიერ  $\Delta S$  ფართობის შემოფარგლას, ანუ გადაკვეთს გარკვეული რაოდენობის მაგნიტურ ძალწირებს, რომლებიც შემობრუნების კუთხის პროპორციულია. ამ კერძო შემთხვევისათვის თითოეული  $\Delta S$  ფართობი გამოითვლება გამოსახულებით  $\Delta S = \phi R^2$ ,

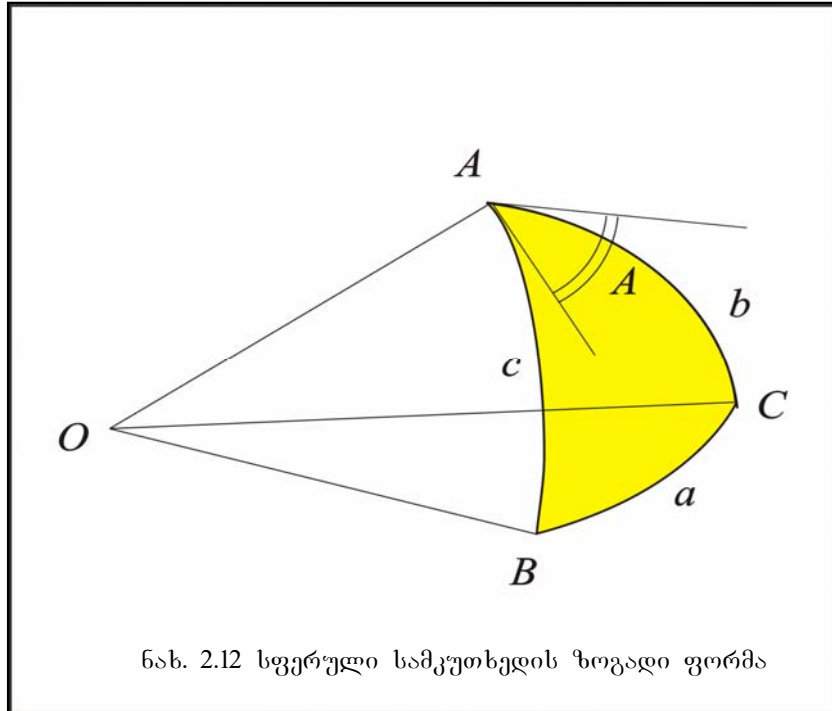
სადაც  $\varphi$  ორი დიდი წრეების სიბრტყეებს შორის ორწახნაგა კუთხეა. თუ გარე სფერულ ზედაპირზე განთავსდება  $n$  რაოდენობის ნახევარკალური ხვები, რომლებიც შეადგენენ გრაგნილს, მაშინ მათ მიერ გადაფარული ფართობი გამოიანგარიშება გამოსახულებით:  $\Delta S = n \cdot \varphi \cdot R^2$ . ცხადია, რომ ამ შემთხვევაში აღძრული ემმ-ის მნიშვნელობა გაიზრდება  $n$ -ჯერ, თუ გამზომი კონტურების სიგნალები არ იმოქმედებენ ერთმანეთზე.

განვიხილოთ ზოგადი შემთხვევა, როდესაც  $R$  რადუსიან სფეროზე განთავსებული გრაგნილებისგან შემდგარი კონტური არ მიეკუთვნება დიდ წრეს, ანუ კონტურის განთავსების სიბრტყე არ გადის სფეროს ცენტრზე (იხ. ნახ. 2.11). ამ შემთხვევაში სფერული ზედაპირის წანაცვლებისას  $R_0$  რადიუსის ნახევარკალების წვეროები შემოწერენ  $r$  რადიუსის წრეებს, ხოლო კონტურის მიერ შემოფარგლული ფართობი იქნება სფერულ ზედაპირზე განთავსებული ABCD მრუწირული ოთხკუთხედის ფართობის ტოლი. ფართობის განსაზღვრის ამოცანის გადასაჭრელად ამ ოთხკუთხედის ფართობის განსაზღვრისათვის ოთხკუთხედის ორი ნებისმიერი საპირისპიროდ მდებარე წვერო შევაერთოთ ერთმანეთთან. მივიღებთ ორ სფეროზე განთავსებულ სამკუთხედს.

თუ ამ სამკუთხედების რკალები (გვერდები) წარმოადგენენ დიდი წრეების ნაწილებს, მხოლოდ მაშინ სამკუთხედს უწოდებენ სფერულ



ნახ. 2.11 R რადიუსიან სფეროზე განთავსებული ნახევარ რკალური ფორმის კონტური სიბრტყე არ გადის სფეროს ცენტრზე



სამკუთხედს. ასეთი კერძო შემთხვევისათვის (იხ. ნახ. 2.12) დადგენილია, რომ ფართობი გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$S = R^2 \cdot (A + B + C - \pi) = \delta \cdot R^2,$$

თუ ამ სამკუთხედების რკალები (გვერდები) წარმოადგენენ დიდი წრეების ნაწილებს, მხოლოდ მაშინ სამკუთხედს უწოდებენ სფერულ სამკუთხედს. ასეთი კერძო შემთხვევისათვის (იხ. ნახ. 2.12) დადგენილია, რომ ფართობი გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$S = R^2 \cdot (A + B + C - \pi) = \delta \cdot R^2,$$

სადაც  $R$  სამწახნაგა  $OABC$  კუთხის რადიუსია,  $\delta$  – სფერული სამკუთხედის კუთხეების სიჭარბეა, ხოლო  $A, B$  და  $C$  კუთხეები ამ სამწახნაგა კუთხის ორწახნაგა კუთხეებია და იზომება რადიანებში. (ეს ფორმულა პირველად 1629 წელს გამოაქვეყნა ჰოლანდიელმა ა.ჯირარმა

და ცნობილია მისი სახელით). ყველა სხვა შემთხვევისათვის სფერულ ზედაპირზე განთავსებული ფართობის პოვნის კოორდინატული მეთოდის დადგენა გაამარტივებს საინჟინრო გამოთვლებს და მასთან დაკავშირებულ გამოკვლევებს.

დავუშვათ, რომ სივრცეში მოცემულია სფერო  $(x_0, y_0, z_0)$  ცენტრით და  $R$  რადიუსით (იხ. ნახ. 2.13), რომელიც განისაზღვრება ცნობილი განტოლებით:  $(z-z_0)^2 + (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = R^2$ .

ამ სფეროზე მდებარეობს სამი განსხვავებული წერტილი:

$$A = (x_1, y_1, z_1), \quad B = (x_2, y_2, z_2), \quad C = (x_3, y_3, z_3).$$

ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ გამოვთვალოთ აღნიშნულ წერტილებით შემოჭიმული სფერული სამკუთხედის ფართობი. ცხადია, რომ  $ABC$  სფერული სამკუთხედის პროექცია  $x \times y$  სიბრტყეზე არის ჩვეულებრივი სამკუთხედი  $A'B'C'$ , რომლის წვეროების კოორდინატები იქნება:  $A' = (x_1, y_1)$ ,  $B' = (x_2, y_2)$ ,  $C' = (x_3, y_3)$ .

$A'B'$ ,  $B'C'$  და  $A'C'$  წრფეები განისაზღვრება შესაბამის განტოლებებით:

$$y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x + \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{x_1 - x_2} = \alpha(x),$$

$$y = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} x + \frac{x_3 y_2 - x_2 y_3}{x_3 - x_2} = \beta(x),$$

$$y = \frac{y_1 - y_3}{x_1 - x_3} x + \frac{x_1 y_3 - x_3 y_1}{x_1 - x_3} = \gamma(x).$$

სფეროს განტოლებიდან ვღებულობთ, რომ:

$$z = z_0 \pm \sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2},$$

ამიტომ სამართლიანია ტოლობები:

$$\frac{\partial z(x, y)}{\partial x} = \pm \frac{x - x_0}{\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}},$$

$$\frac{\partial z(x, y)}{\partial y} = \pm \frac{y - y_0}{\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}}.$$



თუ  $A'B'C'$  სამკუთხედის არეს ავლნიშნავთ  $\sigma$ -თი, მაშინ ცნობილი დამოკიდებულობის თანახმად, საძიებელი  $S$  ფართობი გამოთვლება

ტოლობით: 
$$S = \iint_{\sigma} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial z(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z(x, y)}{\partial y}\right)^2} d\sigma .$$

მაშინ სამართლიანია ტოლობა:

$$S = \iint_{\Delta A'B'C'} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial z(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z(x, y)}{\partial y}\right)^2} dydx .$$

სადაც  $\sigma$  არე, ანუ  $\Delta A'B'C'$  გამოსახულია მე-2.14 ნახაზზე.

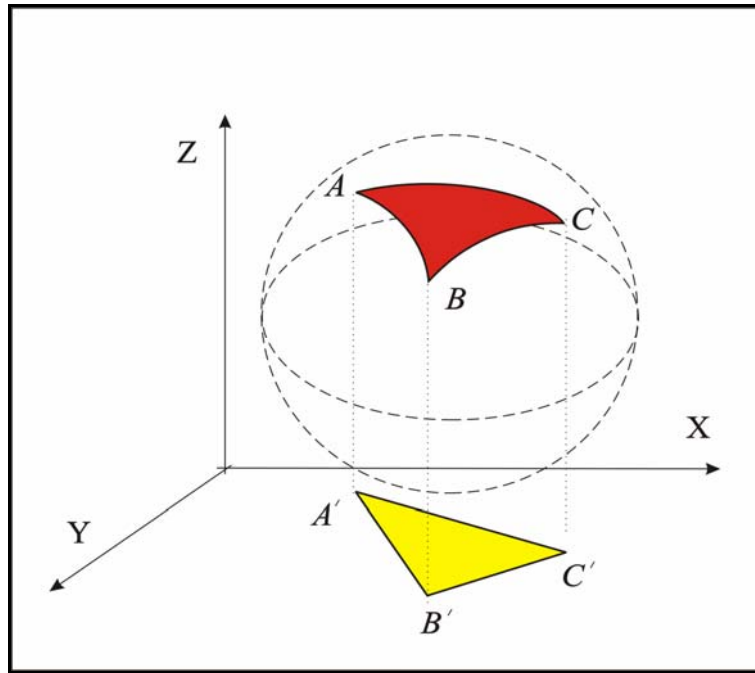
მარტივად შეიძლება შემოწმდეს, რომ სამართლიანია ტოლობა:

$$\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z(x, y)}{\partial y}\right)^2} = \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}} .$$

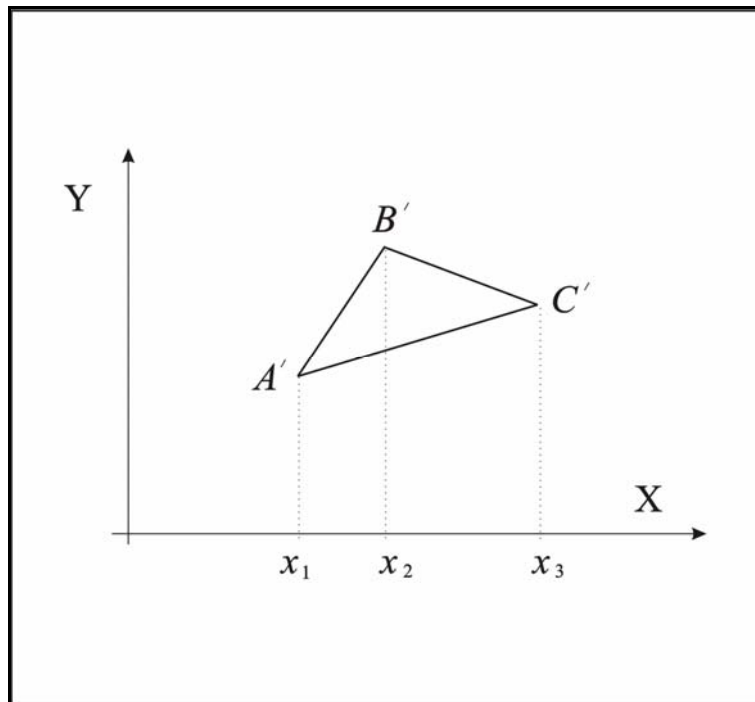
აქედან გამომდინარეობს, რომ:

$$\begin{aligned} S &= \iint_{\Delta A'B'C'} \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}} dydx = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \left( \int_{\alpha(x)}^{\gamma(x)} \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}} dy \right) dx + \int_{x_2}^{x_3} \left( \int_{\beta(x)}^{\gamma(x)} \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}} dy \right) dx \end{aligned}$$

ვინაიდან  $r^2 - (x - x_0)^2 = (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 > 0$ , ამიტომ  $x$  ცლადის ფუნქცია  $q(x) = \sqrt{r^2 - (x - x_0)^2}$  განსაზღვრულია კორექტულად. აღნიშნულის გათვალისწინებით, მუდმივის სიზუსტით სამართლიანია ტოლობა:



ნახ. 2.13 სფერული სამკუთხედის ფართობის განსაზღვრის ზოგადი სქემა



ნახ. 2.14. სფერული სამკუთხედის ფართობის პროექცია X სიბრტყეზე

$$\int \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x-x_0)^2 - (y-y_0)^2}} dy = r \int \frac{d\left(\frac{y-y_0}{q(x)}\right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{y-y_0}{q(x)}\right)^2}} = r \arcsin\left(\frac{y-y_0}{q(x)}\right)$$

ბოლო ტოლობიდან ვღებულობთ:

$$\int_{\alpha(x)}^{\gamma(x)} \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x-x_0)^2 - (y-y_0)^2}} dy = r \left( \arcsin\left(\frac{\gamma(x)-y_0}{q(x)}\right) - \arcsin\left(\frac{\alpha(x)-y_0}{q(x)}\right) \right),$$

$$\int_{\beta(x)}^{\gamma(x)} \frac{r}{\sqrt{r^2 - (x-x_0)^2 - (y-y_0)^2}} dy = r \left( \arcsin\left(\frac{\gamma(x)-y_0}{q(x)}\right) - \arcsin\left(\frac{\beta(x)-y_0}{q(x)}\right) \right).$$

საბოლოოდ საძიებელი  $S$  ფართობი ღებულობს სახეს:

$$S = r \int_{x_1}^{x_2} \left( \arcsin\left(\frac{\gamma(x)-y_0}{q(x)}\right) - \arcsin\left(\frac{\alpha(x)-y_0}{q(x)}\right) \right) dx +$$

$$+ r \int_{x_2}^{x_3} \left( \arcsin\left(\frac{\gamma(x)-y_0}{q(x)}\right) - \arcsin\left(\frac{\beta(x)-y_0}{q(x)}\right) \right) dx =$$

$$= r \int_{x_1}^{x_3} \arcsin\left(\frac{\gamma(x)-y_0}{q(x)}\right) dx - r \int_{x_1}^{x_2} \arcsin\left(\frac{\alpha(x)-y_0}{q(x)}\right) dx - r \int_{x_2}^{x_3} \arcsin\left(\frac{\beta(x)-y_0}{q(x)}\right) dx.$$

მიღებული ტოლობიდან გასაგებია, რომ  $S$  ფართობის რეალური რიცხვითი რეალიზაციისათვის აუცილებელია შემდეგი სახის განსაზღვრული ინტეგრალების გამოითვლა:

$$I = \int_a^b \arcsin\left(\frac{cx+d}{\sqrt{r^2 - (x-x_0)^2}}\right) dx,$$

სადაც  $a, b, c$  და  $d$  ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ცალსახად განისაზღვრებიან მოცემული  $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3$  და  $y_0$  სიდიდეებით. ეს კარგად ჩანს  $\alpha(x), \beta(x)$  და  $\gamma(x)$  ფუნქციათა სტრუქტურიდან. აღნიშნული მუდმივები არ არის დამოკიდებული  $z_1, z_2, z_3, z_0$  სიდიდეებზე, რადგან პროექტირების სიბრტყედ ჩვენ თავიდანვე ავირჩიეთ  $x \times y$ . ცხადია, რომ ანალოგიური შედეგის მიღება შეიძლება ნებისმიერი სხვა პროექტირების სიბრტყის შემთხვევაშიც. მართალია, ინტეგრალი  $I$  ელემენტარულია, ანუ შეიძლება მისი გამოთვლა

ანალიზურად, მაგრამ მისი ანალიზური სახე საკმაოდ რთულია. აღნიშნულის გათვალისწინებით, პრაქტიკული მოსაზრებებიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია *I* ინტეგრალის რიცხობრივი რეალიზაცია.

მიღებული შედეგი იძლევა საშუალებას მყისიერი სიჩქარის პირველადი გარდამქმნელების აგებისას წინდაწინ განვსაზღვროთ თუ რა რაოდენობის და სახის კონტურთა რიცხვი განლაგდება სფერულ ზედაპირზე და შემდეგ რიცხობრივი მეთოდების გამოყენებით გამოვთვალოთ არა მარტო *ემ*-ის რიცხობრივი მნიშვნელობა, არამედ განვსაზღვროთ მოცემული ტიპის გარდამქმნელების ტექნიკური მახასიათებლები – მგრძნობიარობა, ხაზოვანი გარდაქმნის დიაპაზონი და სხვა. ცხადია, რომ მგრძნობიარობის გაზრდა პირდაპირ დამოკიდებულია გამოყენებული მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ძალწირების სიმკვრივეზე და გამზომი გრაგნილების კონფიგურაციის ტოპოლოგიაზე, რაც უზრუნველყოფს მაქსიმალური ფართობის ნაზრდის მიღწევას.

#### **2.4. ურთიერთინდუქციურობა საერთო ცენტრის მქონე წრიულ და სფერულ ზედაპირებზე ბრტყელპარალელურად განლაგებულ ნახევარწრეწირულ კონტურებს შორის**

მოცულობითი ფორმის ურთიერთინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების გამომავალი სიგნალის და მგრძნობიარობის გაზრდა უკავშირდება აღმგზნებ და გამზომ კონტურებს შორის ურთიერთინდუქციურობის გაზრდას. ამ მიზნით მიმართვენ კონტურების რაოდენობის გაზრდას. მას, მართალია, შემოაქვს დამატებითი ცდომილება, მაგრამ გამომავალი სიგნალის რამდენიმე რიგით გაზრდა გაცილებით უფრო მნიშვნელოვანია.

განვიხილოთ დამატებითი კონტურის შემოტანის შემთხვევა პირველად გარდამქმნელში, რომლის აღმგზნებ და გამზომ კონტურებს

წარმოადგენენ შესაბამისად წრიული კონტური და მასთან საერთო ცენტრის მქონე სფერულ ზედაპირზე ბრტყელპარალელურად განლაგებული ნახევარწრეწირული კონტურები (ნახ. 2.15.)

ასეთ შემთხვევაში სუპერპოზიციის პრინციპის თანახმად საერთო ურთიერთინდუქციურობა ანუ ურთიერთინდუქციურობა  $l_1$  რკალსა და  $l_2$  და  $l_3$  რკალებს შორის ტოლი იქნება ორი შესაკრების ჯამისა [34-41]:

$$M = M_{12} + M_{13},$$

სადაც  $M$  არის საერთო ურთიერთინდუქციურობა, ხოლო  $M_{12}$  არის ურთიერთინდუქციურობა  $l_1$  წრიულ რკალსა და  $l_2$  რკალს შორის, ხოლო  $M_{13}$  - ურთიერთინდუქციურობა  $l_1$  და  $l_3$  ნახევარრკალს შორის.

ნახევარწრეწირული აღმგზნებ და გამზომ კონტურს შორის ურთიერთინდუქციურობა გამოითვლება ფორმულით [41,42]:

$$M_{l_1 l_2} = \frac{\mu_0 r R}{4\pi} \int_{\varphi_1=0}^{\pi} \int_{\varphi_2=0}^{\pi} \frac{A^* d\varphi_1 d\varphi_2}{B^* \cdot D}, \text{ სადაც}$$

$$A^* = E^* \sin \varphi_1 \cos(\varphi_2 + \varphi_3) \cos(\eta + \alpha) + \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \gamma \cos(\varphi_2 + \varphi_3) - \sin \varphi_1 \cos \alpha$$

$$E^* = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_2 \cos^2 \gamma}.$$

$$B^* = \sqrt{1 + \cos^2(\varphi_2 + \varphi_3) - 2E^* \cos(\varphi_2 + \varphi_3) \cos \eta},$$

$$D = \sqrt{R^2 + d^2 + r^2(E^{*2} + \sin^2 \varphi_2 \cos^2 \gamma) - 2R[d \cos \eta (\cos \alpha + \cos \mu) + r(\sin \varphi_2 \cos \gamma - E^* \cos(\eta + \alpha))] - 2dr[\cos \alpha \cos(\eta + \alpha) + \cos \lambda \sin(\eta + \alpha) - \cos \mu \sin \varphi_2 \cos \gamma]}.$$

ზემოთ მოყვანილ შემთხვევაში მიღებულია, რომ  $R$ -რადიუსიანი ნახევარწრეწირული რკალი უძრავია, ხოლო მეორე  $r$ -რადიუსიანი ნახევარწრეწირი განთავსებულია სფერული ფორმის გარსზე, რომლის ცენტრი შეთავსებულია  $R$ -რადიუსიანი ნახევარწრეწირული რკალის ცენტრთან და დახრილია  $\gamma$  კუთხით  $O'Z_0$  ღერძის მიმართ, რომელიც პარალელურია  $OZ$  ღერძისა.  $r$ -რადიუსიანი ნახევარწრეწირის სიბრტყე და მისი ცენტრი დაშორებულია კოორდინატთა სათავიდან  $d$  მანძილით. თვით  $d$  მონაკვეთი დახრილია კოორდინატთა ღერძებთან  $\tau, \lambda, \mu$  კუთხეებით.  $R$  და  $r$  რადიუსის მქონე ნახევარწრეწირების

მიმდინარე კოორდინატებია შესაბამისად  $A(x_1; y_1; z_1)$  და  $B(x_2; y_2; z_2)$ . ამ წერტილების თავისთავე ცენტრებთან შემაერთებული რადიუსები თავისთავე დიამეტრებთან შეადგენენ შესაბამისად  $\varphi_1$  და  $\varphi_2$  კუთხეებს.  $l_2$  ნახევარწრეწირის  $K_1L_1$  დიამეტრი დახრილია  $KL$  წრფის მიმართ  $\varphi_3$  კუთხით, რომელიც მდებარეობს  $r$ -რადიუსიანი ნახევარწრეწირისა და  $X_0O'Y_0$  სიბრტყეების გადაკვეთაზე. წრფე მობრუნებულია  $O'X_0 // OX$  ღერძების მიმართ  $\alpha$  კუთხით. პარალელური გადატანით  $OA // O'A'$  კუთხე  $r$  და  $R$  რადიუსებს შორის უდრის  $\beta$ .  $\varphi_3$  კუთხის  $0 \div \frac{\pi}{2}$  ცვლილებისას  $r$  რადიუსიან ნახევარწრეწირზე გამავალი სიბრტყე  $X'O'Y'$  სიბრტყეს გადაკვეთს გარდა იმ შემთხვევისა, როცა  $\varphi_3=0$ . ანუ როცა ნახევარწრეწირის დიამეტრი ბრუნავს  $X'O'Y'$  სიბრტყეში.

ჩვენ შემთხვევაში [42]  $\varphi OZ$  სიბრტყის პარალელურად შიდა სფერულ ზედაპირზე განლაგებულია ორი  $r_1$  და  $r_2$  რადიუსების მქონე ნახევარწრეწირული რკალები, რომლებიც აღნიშნულია შესაბამისად  $l_2$  და  $l_3$ . მათი ცენტრების დაშორება ნახევარსფეროთა საერთო ცენტრიდან უდრის შესაბამისად  $d_1$  და  $d_2$ :

ცხადია, რომ  $l_2$  და  $l_3$  რკალების  $r_1$  და  $r_2$  რადიუსები ცალსახადაა დამოკიდებული პატარა ნახევარსფეროს რადიუსსა და  $d_1$  და  $d_2$  მანძილებზე. ამ დამოკიდებულების განსასაზღვრავად განვიხილოთ აღნიშნული რკალების პროექციები  $XOY$  სიბრტყეზე (ნახ. 2.16):

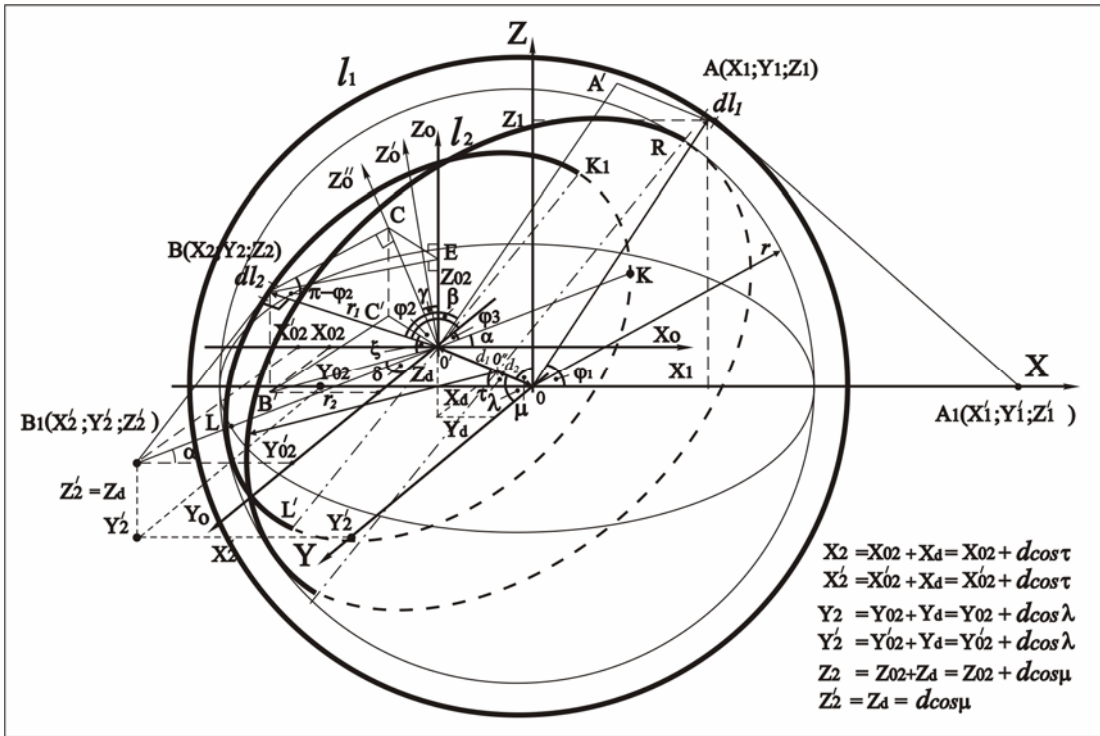
$$r_1 = \sqrt{r^2 - d_1^2}, \quad r_2 = \sqrt{r^2 - d_2^2}.$$

მაშასადამე, ჯამური ურთიერთინდუქციურობა

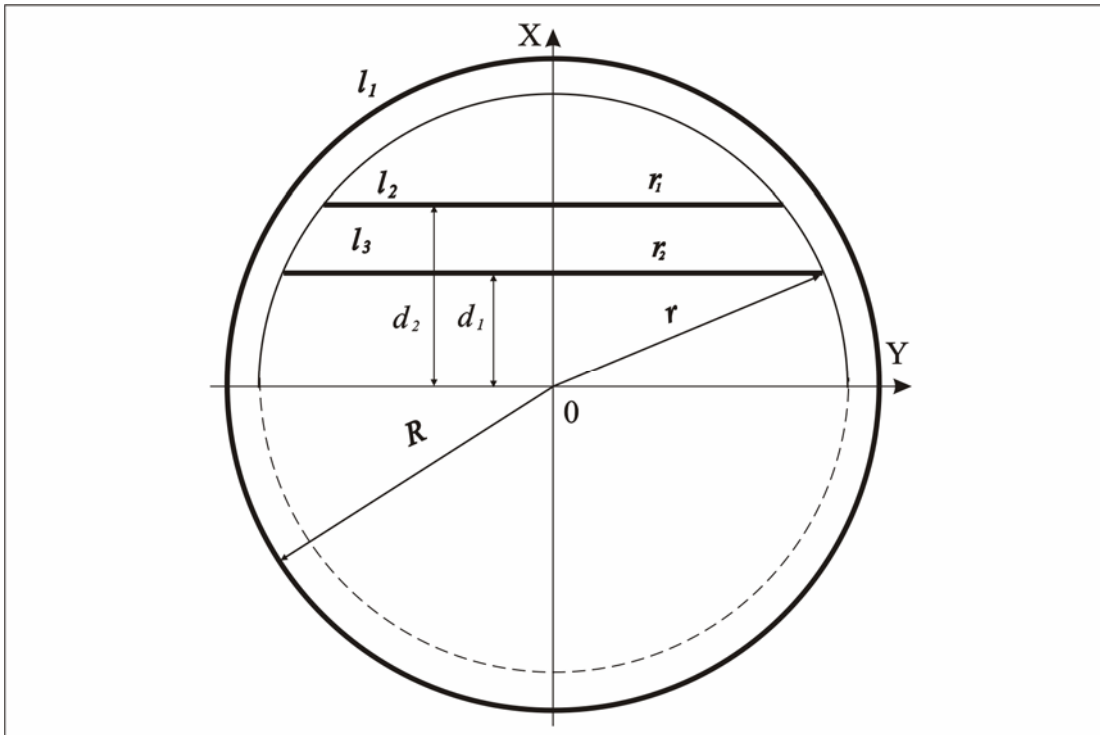
$$M = M_{l_1l_2} + M_{l_1l_3} = \frac{\mu_0 R}{4\pi} \int_{\varphi_1=0}^{2\pi} \int_{\varphi_2=0}^{\pi} \left( \frac{r_1 A_1^*}{B_1^* \cdot D_1} + \frac{r_2 A_2^*}{B_2^* \cdot D_2} \right) d\varphi_1 d\varphi_2.$$

მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ჯამური ურთიერთინდუქციურობა დამოკიდებულია  $R, d_1, d_2, \alpha, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \gamma, \lambda, \mu$  და  $\tau$  პარამეტრების სიდიდეებზე.

ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლის განხილული მიდგომით მიღებული შედეგი საშუალებას იძლევა სფერულ ზედაპირზე ოპტიმალურად განვალაგოთ გამზომი კონტურები ისე, რომ მივიღოთ მაქსიმალური გამომავალი საინფორმაციო სიგნალი.



ნახ. 2.15 საერთო ცენტრის მქონე წრეწირული და სფერულ ზედაპირზე ბრტყელპარალელურად განლაგებული ორი ნახევარწრეწირული კონტურები



ნახ. 2.16 კონტურების პროექციები X სიბრტყეზე



## 2.5. შედეგები II თავის მიხედვით

1. მოყვანილია სტაციონალური მაგნიტური ველის ინდუქციის სამი ორთოგონალური მდგენელის გამოთვლის გამოსახულებები სფერული და ნახევარსფერული ფორმის მაგნიტებისათვის.
2. გამოკვლეულია მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილება მაგნიტის ზედაპირზე და მის გარეთ მდებარე სივრცეში.
3. დასაბუთებულია, რომ დამუშავებული სამკოორდინატული პირველადი გარდამქმნელი სფერული ფორმის მქონე მუდმივი მაგნიტით მიეკუთვნება ინდუქციური გარდამქმნელების კლასს.
4. დამუშავებულია კუთხური სიჩქარის სამკოორდინატული ინდუქციური ნახევარსფერული ფორმის პირველადი გარდამქმნელის ფიზიკური საფუძვლები, მოქმედების პრინციპი რადიალურად დამაგნიტებული სფერული ფორმის მუდმივი მაგნიტის გამოყენებით, რომელიც უზრუნველყოფს ერთდროულად სამი გალვანურად დამოუკიდებელი სიგნალის მიღებას.
5. განხილულია გამზომ გრაგნილებში ელექტრომამომრავებელი ძალის სიდიდის განსაზღვრა მაგნიტური ძალწირების ნაკადშემბმის ცვლილების გაანგარიშების გზით. ამ მიზნით მიღებულია სფეროს ზედაპირზე მაგნიტური ძალწირების მიერ გადაკვეთილი ფართობის გამოსათვლელი ფორმულა, რომელიც იძლევა საშუალებას სფეროზე სამი კოორდინატის ცოდნის შემთხვევაში გამოვიანგარიშოთ ფართობის სიდიდე, რაც პირდაპირპროპორციულია ელექტრომამომრავებელი ძალისა.
6. მიღებულია საერთო ცენტრის მქონე წრეწირული სახის და სფერულ ზედაპირზე ბრტყელპარალელურად განლაგებული ნახევარწრეწირული კონტურებს შორის ურთიერთინდუქციურობის გამოსათვლელი განზოგადებული გამოსახულება კერძო შემთხვევისათვის, რაც გამოიყენება მგრძნობიარობის ცვლილების სიდიდის შესაფასებლად.

7. ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ დამატებითი ხვიების შემოტანით გარდამქმნელის მაქსიმალური მგძნობიარობა გაიზარდა საშუალოდ 1,5-ჯერ და შეადგინა 27 [მგ/0] .

### III თავი. ორხედური ინდიკატორების ფიზიკური საფუძვლებისა და აგების პრინციპების დამუშავება

#### 3.1. უკონტაქტო ორხედური ინდიკატორის აგების ფიზიკური საფუძვლები

მასობრივი და კოლექტიური სარგებლობის ინფორმაციის ასახვის მრავალი ხერხი არსებობს:

მექანიკური, ელექტრომექანიკური, ოპტიკური, ელექტრული და ელექტრომაგნიტური. ყველაზე სრულყოფილად მიიჩნევა ელექტრო-მაგნიტური მოვლენების გამოყენებით აგებული ინფორმაციის წყაროები ცვალებადი ნიშნით, ისეთი, როგორცაა ინდიკატორი [43,44], მატრიცული ინდიკატორული ხელსაწყო [45], ცვლადი საინფორმაციო ნიშანი [46,47], ტაბლო [48], მრავალფეროვანი ინდიკაციის ხელსაწყო [49], მაგნიტური ველის ზემოქმედების გამოყენების საშუალებით აგებული მბრუნავი ინდიკატორი [50-57].

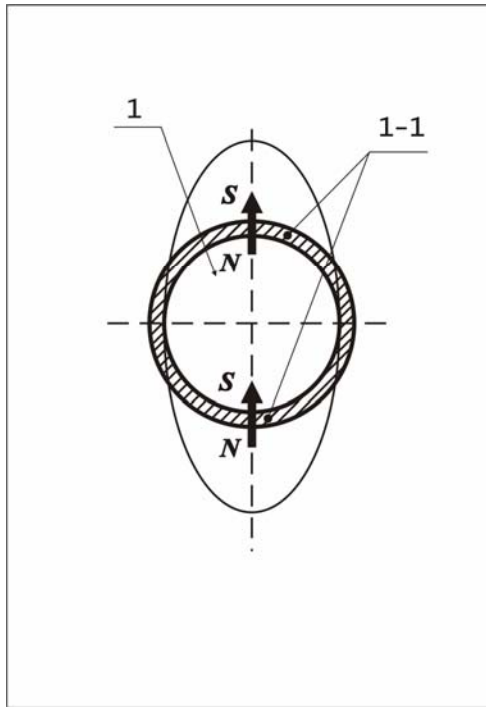
ორხედური ინდიკატორი გამოიყენება მართვადი საგზაო ნიშნების ასაგებად, რათა უზრუნველვყოთ უსაფრთხო მოძრაობა საავტომობილო გზაზე [58].

ინდიკატორის ელემენტი შედგება ღრუ ცილინდრული ფორმის რადია-ლურად დამაგრებული ერთი მუდმივი მაგნიტისგან მაინც, რომელშიც ჩაშენებულია მსუბუქი არამაგნიტური მასალისაგან დამზადებული ორმხრივი ინფორმაციული ელემენტი (მაგალითად: ფირფიტა, ფირფიტის სისტემა ან ღრუ ცილინდრი).

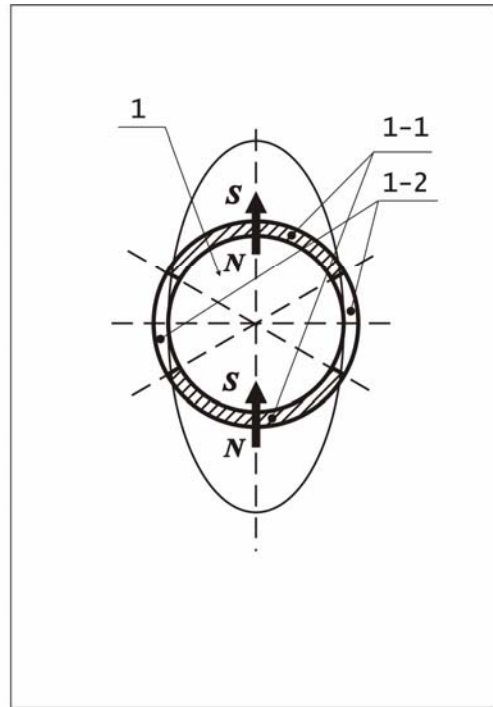
მუდმივ მაგნიტების თითოეული ღრუ ცილინდრული ფორმის მბრუნებული ელემენტი შედგენილია ოთხი ერთმანეთთან მჭიდროდ შეერთებული რგოლებისაგან (მაგალითად, წებოთი). ერთმანეთის მიმართ მოპირდაპირედ განლაგებული რგოლები იდენტური ფორმისაა და დამზადებულია ერთი და იგივე მასალისაგან, რომელთა შორის ერთი წყვილი რადიალურად დამაგნიტებული მაგნიტებია მეორე

წყვილი შესრულებულია არამაგნიტური მასალისაგან ნახ. 3.1 ა, ბ, გ და დ.

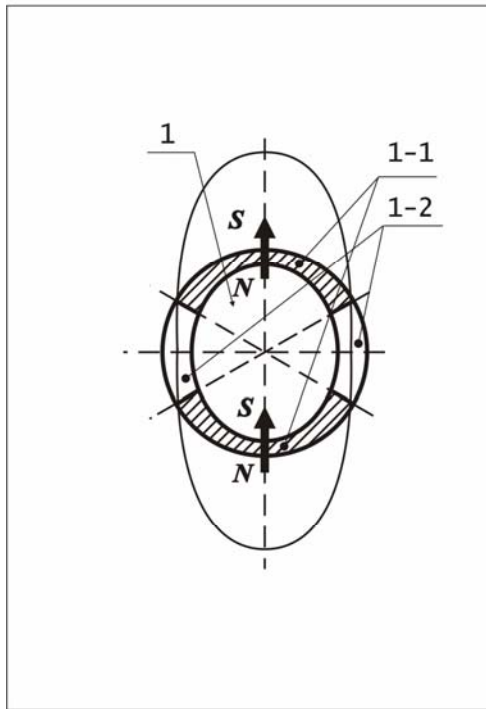
წყვილ-წყვილად და მოპირდაპირედ განლაგებული რგოლების სიმეტრიის დერძები ურთიერთმართობულია. ყველა ერთ მწკრივში განლაგებული H-სებრი ფორმის ელექტრომაგნიტების მაგნიტოგამტარის გვერდითი ტორსები ჩაზნექილი ფორმისაა, რომლის ჰორიზონტალური სიმეტ-



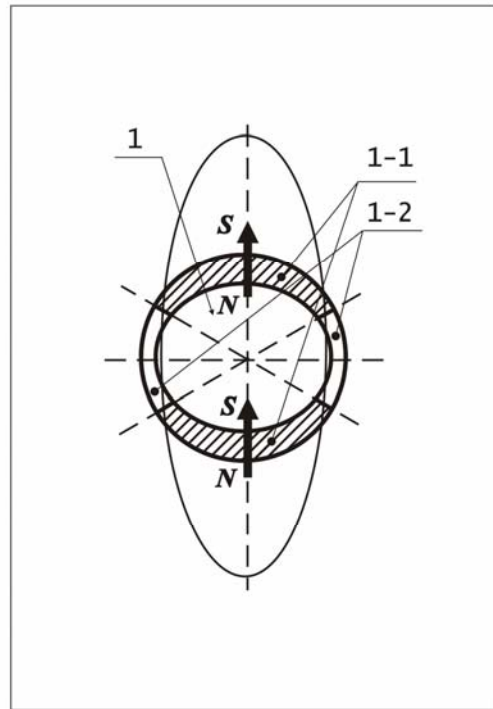
а)



б)

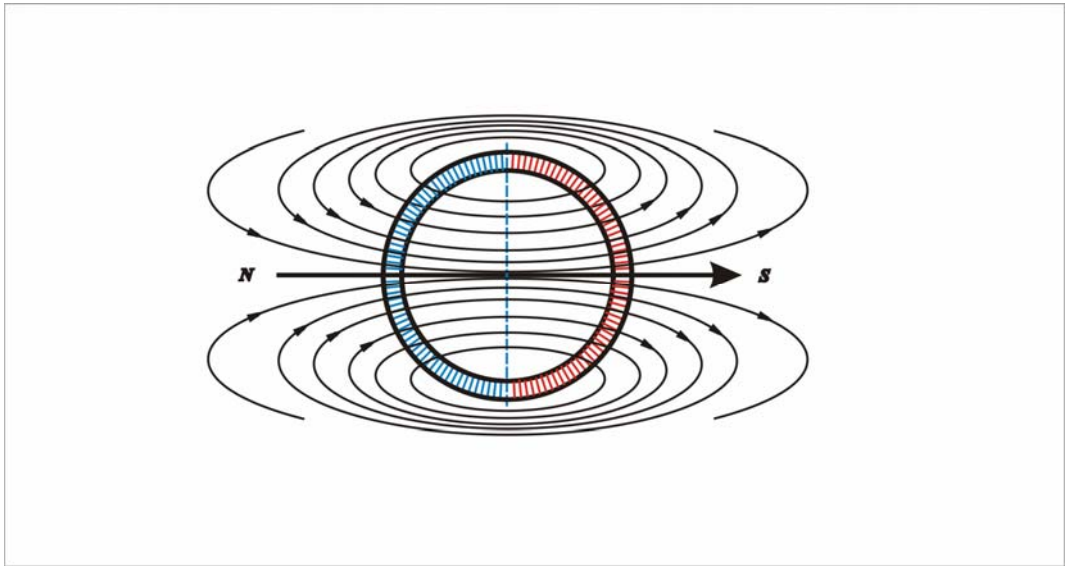


в)

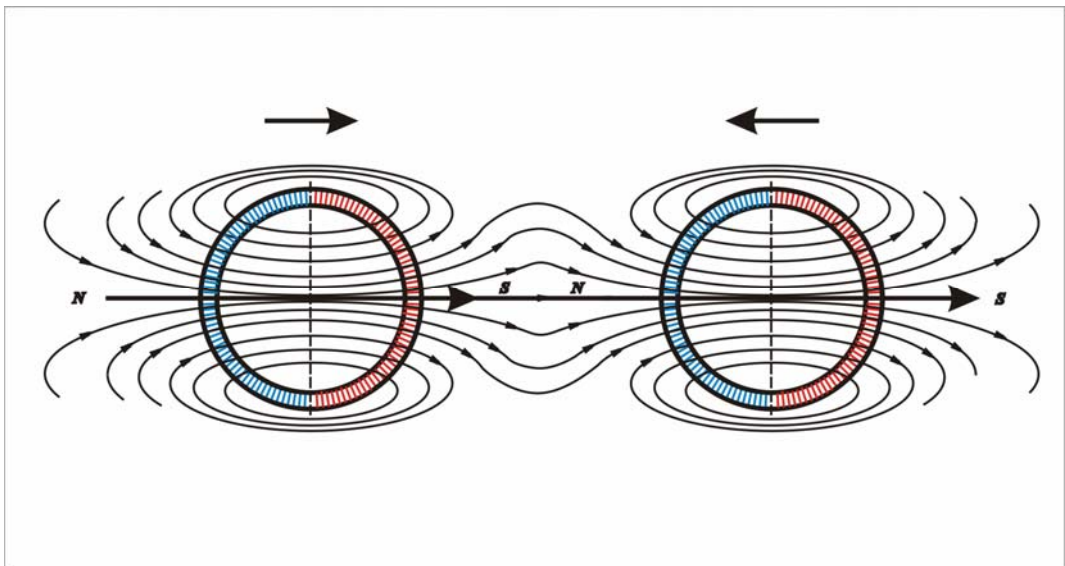


г)

рис. 3.1



ნახ. 3.2. ორი სრული ნახევარკალიდან შედგენილი ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტებს შორის მაგნიტური ველის სახე



ნახ. 3.3 ორი ერთმანეთისაგან იძულებით დაშორებული ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტებს შორის მაგნიტური ველის სახე

რიის ღერძი მართობულია ცილინდრული ფორმის მაბრუნებელი ელემენტის ვერტიკალური სიმეტრიის ღერძისადმი, ხოლო ჩაზნექილობის რადიუსი არანაკლებია მაბრუნებელი ელემენტის გარე რადიუსისა.

აღსანიშნავია, რომ თვით გარე ცილინდრული ფორმის ღრუ შედგენილი მაგნიტის შიგა კონფიგურაციის შეცვლით მიიღწევა სხვადასხვა ტექნიკური ამოცანის გადაჭრა.

თუ გვესაჭიროება რხევების რიცხვის შემცირება, მაშინ შიდა ნაწილს ვაძლევთ შეკუმშული ელიფსის ფორმას, რომლის ვერტიკალური დიდი ზომა და მასზე გამავალი სიმეტრიის ღერძი ემთხვევა მაგნიტების სიმეტრიის ღერძს, ხოლო ჰორიზონტალური სიმეტრიის ღერძი ემთხვევა არამაგნიტური რკალების სიმეტრიის ღერძს - მიიღება კვაზითანაბარგანაწილებული ველი (ნახ. 3.1 გ). ამ ველის ზემოქმედებით იზრდება დამუხრუჭების პერიოდი და ამიტომ მცირდება რხევების რიცხვი მმართველი იმპულსის მოხსნის შემდეგ.

თუ გვესაჭიროება სწრაფი რეაგირება, ინდიკაციის სიბრტყის ზუსტი დაყენება და მმართველი იმპულსის სიმძლავრის შემცირება, მაშინ შიდა ნაწილს ვაძლევთ გაშლილი ელიფსის ფორმას, რომლის ვერტიკალური მცირე ზომა და მასზე გამავალი სიმეტრიის ღერძი ემთხვევა მაგნიტების სიმეტრიის ღერძს, ხოლო ჰორიზონტალური სიმეტრიის ღერძი ემთხვევა არამაგნიტური რკალების სიმეტრიის ღერძს. მიიღება ვიწროდ მიმართული ველი გაზრდილი მაგნიტური პოტენციალით (ნახ. 3.1 დ). ეს იწვევს მმართველი იმპულსის ამპლიტუდის და ხანგრძლივობის და, მაშასადამე, მოხმარებული სიმძლავრის შემცირებას, დინამიური რხევების რიცხვის გაზრდას, რხევების სწრაფ მიღვეადობას, ხედური ინფორმაციის ცვლილებას და საინფორმაციო სიბრტყის ზუსტ დაყენებას.

ცალკე აღებული რადიალურად დამაგნიტებული ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტების გარე მაგნიტური ველის განაწილება მოყვანილია

ნახ. 3.2, ხოლო გეომეტრიული ფორმით იდენტურად დამზადებული ორი ცილინდრული ფორმის მაგნიტებს შორის მაგნუტური ველის გადანაწილება მოყვანილია ნახ. 3.3-ზე.

სტატიკურ მდგომარეობაში მწკვრივში მაგნიტებს შორის მდებარე ყველა H-სებრი გულარის ელექტრომაგნიტები დამატებით ასრულებენ არა მარტო ღრუ მაგნიტების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის გამტარების როლს, არამედ ამცირებენ გამოყენებული ღრუ მაგნიტების რაოდენობის რიცხვს ინდიკატორის ინფორმაციული ელემენტების ფირფიტების 5 განივი ზომის ორჯერ გაზრდით.

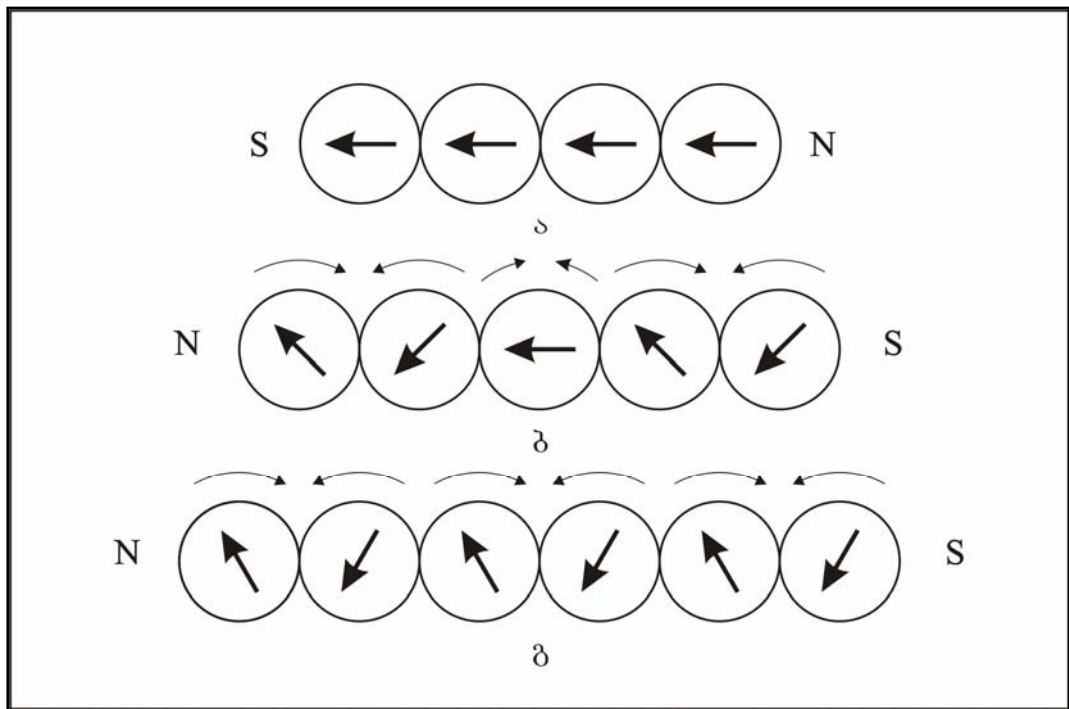
ინდიკატორის ელემენტების სამაგრებს აქვს იდენტური ზომები და ისინი დამზადებულია არამაგნიტური მასალისაგან (მაგალითად, ებონიტისაგან). პირველი სამაგრი ჩაშენებულია ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტში, მეორე სამაგრი კი ორმხრივი ინფორმაციული ელემენტის მეორე მხარეზეა განთავსებული.

მაგნიტის ბრუნვითი ღერძების ჩაშენებით მის სიმეტრიის ღერძის თანხვედნილი მიმართულებით იძლევა მწკრივად განლაგებული მონაცვლე პოლუსების მქონე ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტები ფირფიტების ხედური ნაწილების ერთ სიბრტყეში განთავსების საშუალებას (ნახ. 3.4ა).

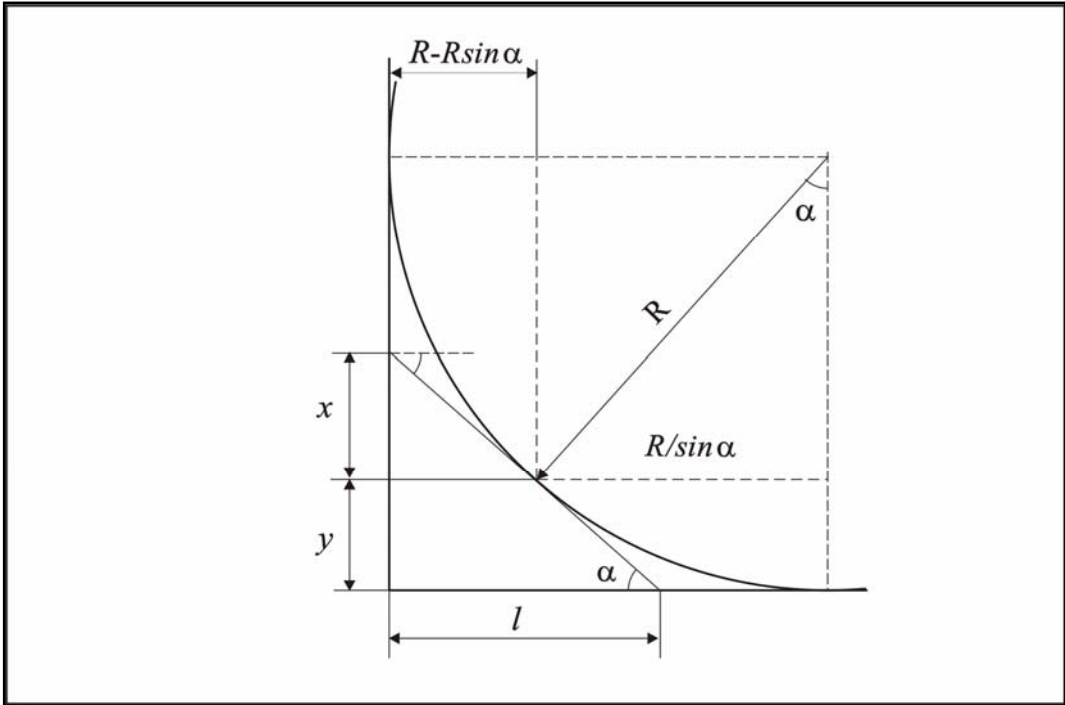
მაგნიტები დაიწყებენ ბრუნვას, როცა გარე მართვადი მაგნიტური ველის მიმართულება შეიცვლება საპირისპიროზე. მაგნიტების მობრუნების მიმართულებას განაპირობებენ კიდურა მაგნიტები. მაგნიტების ლუწი რაოდენობის განთავსება (ნახ. 3.4ა,გ) განპირობებულია იმით, რომ გარე მაგნიტური ველის ზემოქმედებით თითოეული მაგნიტი იწყებს მობრუნებას მეზობლად მდებარე მაგნიტის საპირისპირო მიმართულებით, ე.ი. მწკრივად განლაგებული მაგნიტები კენტ ადგილებზე ბრუნავენ ერთი მიმართულებით, ხოლო ლუწ ადგილებზე განლაგებული მაგნიტები – საპირისპირო მიმართულებით. სექციებში კიდურა მაგნიტები მოძრაობენ საპირისპირო მიმართულებით, ამიტომ შუაში განლაგებული



მაგნიტის მეზობელი მაგნიტები (როცა კენტი მაგნიტების რაოდენობაა) (ნახ. 3.4ბ) იბრუნებენ სხადასხვა მიმართულებით. ამ შემთხვევაში, სექციის შუაში განლაგებულ მაგნიტზე მოქმედებენ ურთიერთმაკომპენსირებელი განმზიდი მაგნიტური ძალები მეზობელი მაგნიტებიდან. ამიტომ, შუაში განლაგებული მაგნიტი განუსაზღვრელ მდგომარეობაშია, არ შემოტრიალდება და დაირღვევა ინფორმაციის სურათი, რაც მიზანშეწონილი არ არის. ე.ი. სექციას ან ინდიკატორს უნდა ჰქონდეს მაგნიტის ლუწი რაოდენობა.



ნახ. 3.4 მწკრივში განლაგებულ ორუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტების დინამიკა გარე მაგნიტური ველის ზემოქმედების დროს



ნახ. 3.5 მბრუნავი მაგნიტის გეომეტრიული პარამეტრები

გარე მაგნიტური ველის შექმნა და შესაბამისად ინდიკატორის მართვა შესაძლებელია ელექტრომაგნიტის გამოყენებით. ცხადია, რომ თვით ელექტრომაგნიტი არ უნდა აფერხებდეს ინდიკატორის ხედურ მხარეს. ამიტომ ის განთავსებულია ინდიკატორის ელემენტების უკან და შესრულებულია II-სებრი სახით დახრილი ბუნუკებით. ამ შემთხვევაში ელექტრომაგნიტის მაგნიტური ველის ძალწირები ინდიკატორის მაგნიტებში შევა რაღაც კუთხით, ვინაიდან კიდურა მაგნიტები ავალევენ მათ შორის მდებარე მაგნიტებს ბრუნვის მიმართულებას. განვიხილოთ ზოგიერთი გეომეტრიული თანაფარდობა. რაც გათვალისწინებულია ინდიკატორის აგებისას დავადგინოთ კიდურა მაგნიტებში სავარაუდო გარე მაგნიტური ველის მაგნიტური

ძალწირების შესვლის კუთხის დამოკიდებულება გეომეტრიულ პარამეტრებზე ( იხ. ნახ.3.5 ):

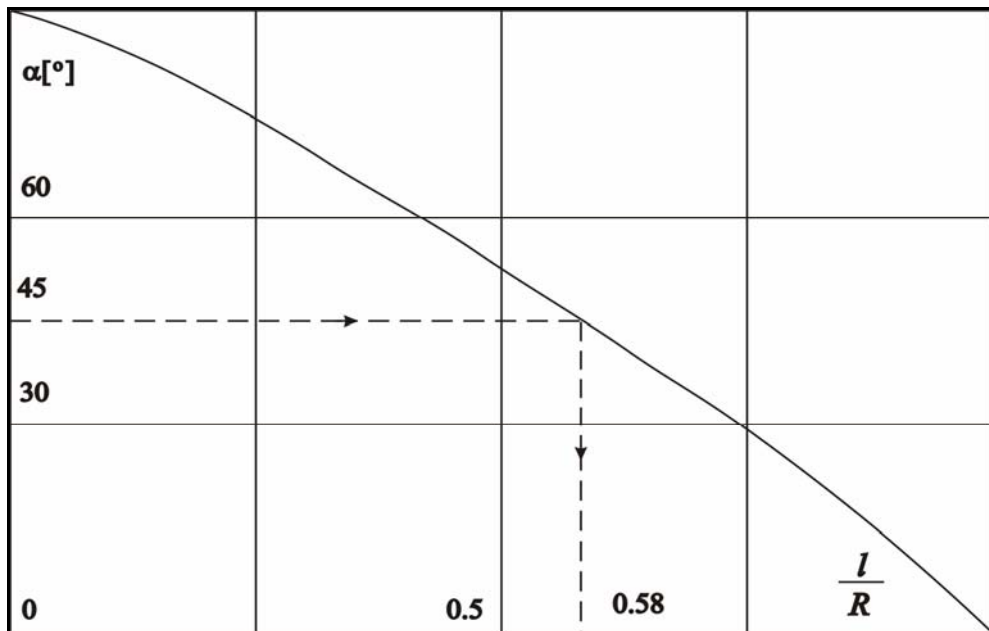
$$\left\{ \begin{array}{l} x = R \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (1 - \sin \alpha) \\ y = R \cdot (1 - \cos \alpha) \\ x + y = l \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{array} \right. \Rightarrow \frac{l}{R} = 1 - \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \alpha = 2 \operatorname{arctg} \left( 1 - \frac{l}{R} \right).$$

ამ შემთხვევისათვის ნახ.3.6 მოყვანილია გრაფიკი.

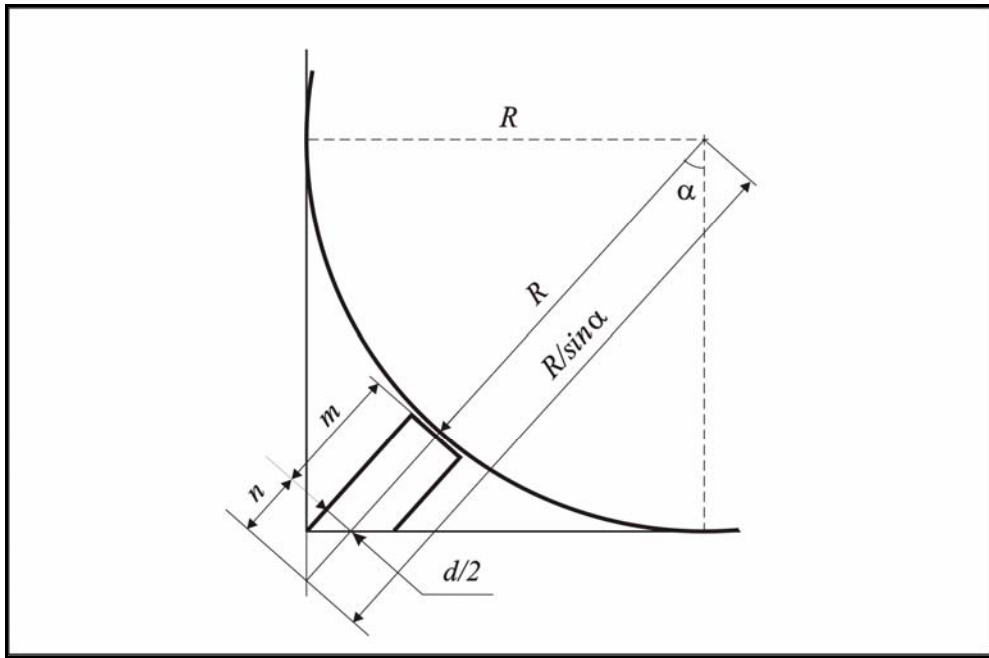
თუ II-სებრი სახის მაგნიტოგამტარის ბუნუკები ადგენენ  $\alpha$  კუთხეს, მაშინ ზოგადად ბუნუკების საშუალო ხაზის სიგრძე (იხ. ნახ.3.7 ) გამოითვლება გამოსახულებით:

$$\left\{ \begin{array}{l} m + n + R < \frac{R}{\sin \alpha} \\ n = \frac{d}{2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \end{array} \right. m < \frac{2R \cdot \cos \alpha \cdot (1 - \sin \alpha)}{\sin \alpha},$$

სადაც  $d$ -მაგნიტოგამტარის სისქეა.



ნახ. 3.6 მმართავი ელექტრომაგნიტის მაგნიტოგამტარის ბუნუკების კუთხის განსაზღვრის მეთოდის სქემა



ნახ. 3.7 მაგნიტოგამტარის ბუნუკების საშუალო ხაზის სიგრძის განსაზღვრის მეთოდის სქემა

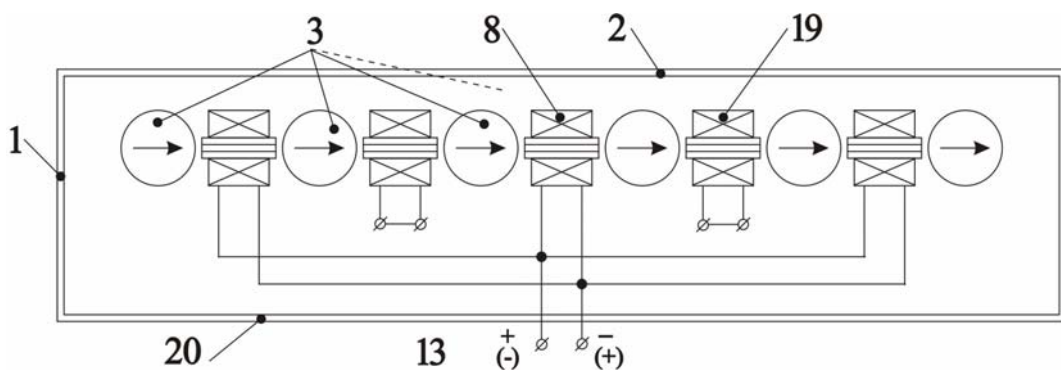
### 3.2 ინდიკატორის აგების პრინციპი და კონსტრუქციული თავისებურებანი

განვიხილოთ ინდიკატორის აგების პრინციპი და კონსტრუქციული თავისებურებანი. დიდი ან საშუალო ნიშნის ან სურათის მისაღებად მიზანშეწონილია მაგნიტები დავაჯგუფოდ სექციებიდ. ამიტომ მართვის კვანძი დაყოფილია და სექციონირებულია, ყოველ სექციაში შემავალი ინდიკატორის ელემენტები განლაგებულია მჭკრივად მონაცვლე პოლუსებით (ნახ. 3.8). თითოეული სექცია შესრულებულია ელექტრომაგნიტის სახით II-სებრი მაგნიტოგამტარით, რომელიც შემომწვდომია მაგნიტების ლუწი რაოდენობისა. სექციების მართვის გრაგნილები შეერთებულია ერთმანეთთან (მაგალითად: პარალელურად ან მიმდევრობით). მართვის ელექტრომაგნიტის საერთო გამოსასვლელები გადამრთველი ელემენტების მეშვეობით შეერთებულია

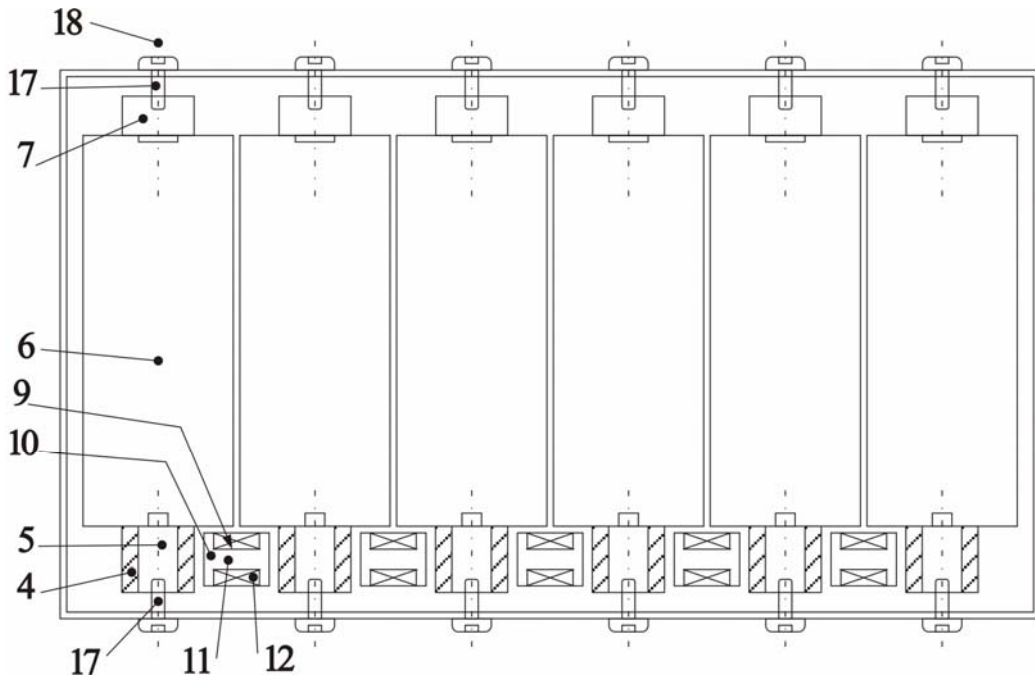
მუდმივი დენის წყაროსთან, ხოლო გადამრთველი ელემენტი შეერთებულია მართვის ლოგიკურ ელემენტთან. ამასთან, ინდიკატორის ელემენტების შემადგენელი ნაწილი უძრავადაა დამაგრებული ერთმანეთთან (მაგალითად წიბოთი) და შეადგენს მთლიან კონსტრუქციას, რომლის ტორსების მხრიდან ამოზურღულია.

ღერძულსიმეტრიული და სიღრმით ერთნაირი ღრუ ნახვრეტები. მათი მეშვეობით ინდიკატორის ელემენტები თავსდება ინდიკატორის კორპუსის მოპირდაპირე გვერდზე უძრავად განლაგებულ ბრუნვის ღერძზე. ინდიკატორის ელემენტების შემადგენელი ნაწილების განივი ზომები არ აღემატება ღერძებს შორის მანძილს, მაგნიტის და მეორე სამაგრი ელემენტის გრძივი ზომები ბევრად ნაკლებია ორმხრივი ინფორმაციული ელემენტის შესაბამის ზომებზე, ხოლო II-სებრი მაგნიტოგამტარის პოლუსების სიგანე არ აღემატება მუდმივი მაგნიტის გრძივ ზომას.

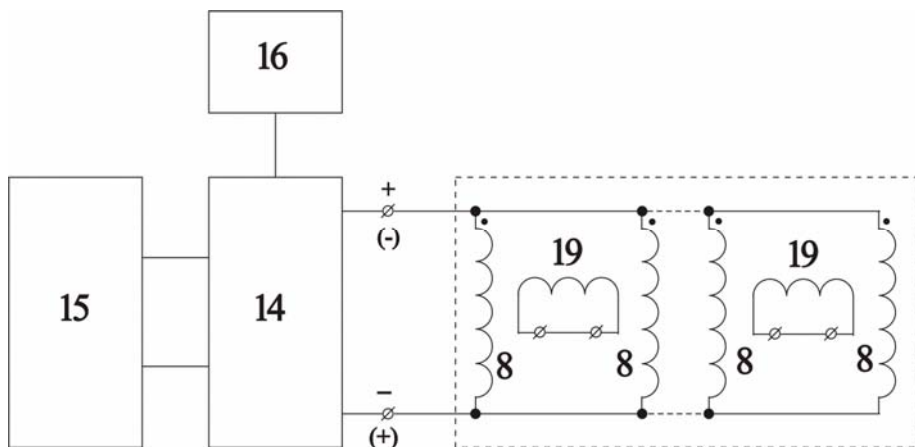
ელექტრომაგნიტის მოსაზღვრე სექციები ინდიკატორში განლაგებულია კორპუსის მოპირდაპირე გვერდზე; სექციები, მათ პოლუსებს შორის განლაგებულია მაგნიტებით, განთავსებულია ერთ სიბრტყეში; სექციების მართვის გრაგნილები შეერთებულია წყვილწყვილად პარალელურად, ხოლო წყვილები მიმდევრობით; პირველი და მეორე სამაგრების ზომები იდენტურია და დამზადებულია არამაგნიტური მასალისაგან



ნახ. 3.8 სექციონირებული ორხედური ინდიკატორის ფუნქციონალური სქემა



ნახ. 3.9 ორხედური ინდიკატორის კონსტრუქციული სქემა



ნახ. 3.10 ორხედური ინდიკატორის დინამიური მართვის ელექტრული სქემა

(მაგალითად: ებონიტი, ტექსტოლიტი, ორგანული მინა). თუ გარე მაგნიტური ველის მიმართულება ემთხვევა ინდიკატორის ელემენტების მაგნიტების ველის მიმართულებას, კიდურა მაგნიტებს გარდა სხვა მაგნიტები არ შემოტრიალდება. იმპულსის გავლის შემდეგ კიდურა მაგნიტები, თვით მაგნიტების ველის ზემოქმედებით, უბრუნდებიან საწყის მდგომარეობას, ე.ი. განლაგდებიან წრფის გასწვრივ, რომელიც ემთხვევა სექციებში განლაგებული მაგნიტების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ძალწირებს. თუ მიწოდებული სიგნალი საპირისპირო

პოლარობისაა, მაშინ, პრაქტიკულად, მყისად ყველა მაგნიტი შემოტრიალდება 180 გრადუსით, გარდა სექციებში კიდურა მაგნიტებისა, რომელთა შემობრუნების კუთხე ნაკლებია, ვინაიდან იმპულსის მოქმედების დროს გარე მაგნიტური ველი შედის მათში გარკვეული კუთხით ინდიკატორის ელემენტების სიმეტრიის ღერძის მიმართ. იმპულსის მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ კიდურა მაგნიტებს შორის განლაგებული მაგნიტები ქმნიან მათი სიმეტრიის ღერძებზე გამავალ სიბრტყეში საკუთარ ველს, რომელიც შემობრუნებს კიდურა მაგნიტებს, ე.ი. კიდურა მაგნიტების ადგილმდებარეობა თვითკორექტირდება.

იმ შემთხვევაში, თუ სექცია შედგება მხოლოდ ორი ინდიკატორული ელემენტისაგან, დენის იმპულსის მიწოდებისას ორივე ელემენტი შემობრუნდება, მაგრამ მათ შორის სხვადასხვა სახის პირველი მაგნიტური პოლუსები განლაგებულია ერთმანეთთან უფრო ახლოს, ვიდრე ამავე მაგნიტების მეორე პოლუსები. ამიტომ მართვადი იმპულსის მოხსნის შემდეგ ახლოს მდებარე პოლუსები მიიზიდებიან ერთმანეთისკენ და გამოსახულების სურათი არ შეიცვლება.

მწკრივად განლაგებული მონაცვლე პოლუსების მქონე ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტები უზრუნველყოფენ ინდიკატორის ელემენტების მდგრად მდგომარეობას მართვის იმპულსის მოხსნის შემდეგ და ამიტომ საიმედოდ ინარჩუნებენ წინა ინფორმაციას მაშინაც კი, როცა ინდიკატორზე მოქმედებს ვიბრაცია.

სექციების ერთმანეთზე გავლენის და მაგნიტოგამტარის პოლუსურ ბუნიკებში ველის გადანაწილების გამოსარიცხავად და, როგორც შედეგი, ინდიკატორის ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად, ელექტრომაგნიტის მოსაზღვრე სექციები განთავსებულია ინდიკატორის კორპუსის მოპირდაპირე გვერდებზე (ნახ. 3.8).

სექციების გრაგნილების წყვილ-წყვილად პარალელურად და ამ წყვილების მიმდევრობით შეერთება, ერთი მხრივ, გამორიცხავს ერთდროულად ორი გრაგნილის მწყობრიდან გამოსვლას, ხოლო მეორე

მხრივ, აჩქარებს ინდიკატორის ტექნოლოგიურ რემონტს. სექციების კენტი რაოდენობის შემთხვევაში გრაგნილები ან პარალელურად შეერთდებიან ან კომბინირებულად, ელექტრული დენის ოპტიმალური გადანაწილების გათვალისწინებით (ნახ. 3.10).

გარდამქმნელის ფუნქციონირებაზე შესაძლებელია იმოქმედოს მაგნიტის "დაძველების" მოვლენამ, რაც გამოწვეულია, ძირითადად, დროის და მექანიკური ვიბრაციის ზემოქმედების ფაქტორებით, მაგრამ ინდიკატორის ელემენტების მაგნიტების შემაგნიტება ხდება გარე მართვადი იმპულსების ზემოქმედებით. ტრანსპორტირებისას ან ხანგრძლივი შენახვისას დამაგნიტებულობა შეიძლება შემცირდეს, მაგრამ ინდიკატორის მუშაობის უნარის აღსადგენად საკმარისია გარე მუდმივი მაგნიტური ველის მოდება, რაც აგვაცილებს ინდიკატორის დაშლას და ღრუ მაგნიტების შეცვლას.

### **3.3. მწკრივად განლაგებულ მაგნიტებზე დინამიური ძალების მოქმედების გამოთვლა**

1785 წელს ფრანგი მეცნიერი შკულონი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ არსებობს მაგნიტური პოლუსები და მათი ურთიერთქმედება ელექტრული მუხტების ურთიერთქმედების ანალოგიური ფორმულით აღიწერება და დაიწყო ცალკეული მაგნიტური პოლუსების ძებნა. მაგრამ ამაოდ.

დღეისათვის ფიზიკაში არსებული არც ერთი თეორია არ ეწინააღმდეგება ცალკეული მაგნიტური მუხტის ან როგორც უწოდებენ მაგნიტური მონოპოლის არსებობას. ეს ჰიპოთეზა გამოთქვა ინგლისელმა მეცნიერმა დირაკმა (1931). ამიტომ მაგნიტურ მუხტს უწოდებენ დირაკის მონოპოლს.

ამგვარად, თუ მოვათავსებთ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში რაიმე ფორმის მაგნიტს, მაშინ დიდი მიახლოებით შეიძლება ითქვას, რომ გვაქვს «დიპოლი» (ნახ. 3.11), რომლის პოლუსებზე მოქმედებს წყვილძალა.



თუ რადიალურად დამაგნიტებული ღრუ ცილინდრის ფორმის მაგნიტს განვათავსებთ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, მაშინ უფრო გამართლებულია მაგნიტის დიპოლის სახით წარმოდგენა (ნახ. 3.11). გარე მაგნიტური ველის ზემოქმედებით ღრუ ცილინდრის ფორმის მაგნიტი (და მათზე უძრავად დამაგრებული ღერძები) იწყებს მობრუნებას თავისი ღერძის გარშემო იმ შემთხვევაში, თუ მის მიერ შექმნილი ველის მიმართულება ეწინააღმდეგება გარე მაგნიტური ველის მიმართულებას და მასზე ნაკლებია. ამ შემთხვევაში მაგნიტი მოძრაობს წყვილძალის მოქმედების მეშვეობით.

თუ კი ორ ერთნაირ ღრუ ცილინდრის ფორმის და რადიალურად დამაგნიტებულ მაგნიტებზე ვიმოქმედებთ გაცილებით მეტი სიდიდის გარე მაგნიტური ველით (ნახ. 3.12), მაშინ თითოეული მაგნიტი იწყებს ერთმანეთის მიმართ საპირისპირო ბრუნით მოძრაობას იმიტომ, რომ ერთნაირი მუხტის მქონე პოლუსები განიზიდებიან ერთმანეთისაგან, ხოლო საპირისპირო მუხტის მქონე პოლუსები - მიიზიდებიან. რა თქმა უნდა, თვით მაგნიტსაც გააჩნია მიზიდულობის ძალა, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია არა მარტო მაგნიტის შემადგენელ მასალასა და მისი დამზადების ტექნოლოგიაზე, არამედ შემობრუნების კუთხეზე. ამრიგად:

$$F_{1r} = F - F_1(\Theta) \quad \text{და} \quad F_{2r} = F + F_2(\Theta),$$

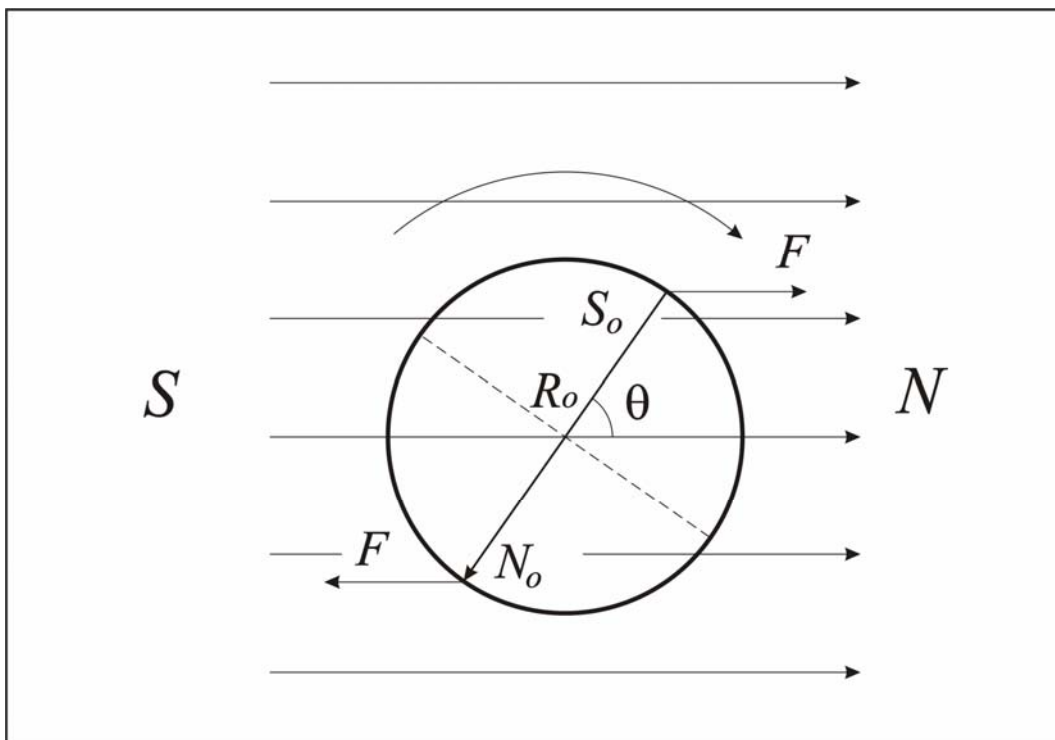
$$\text{სადაც} \quad F(\Theta) = f \frac{m^2}{(d + 2R(1 - \cos \Theta))^2} = f \frac{m^2}{\left(d + 4R \sin^2 \frac{\Theta}{2}\right)^2};$$

$R$  – მაგნიტური ცილინდრის რადიუსია;

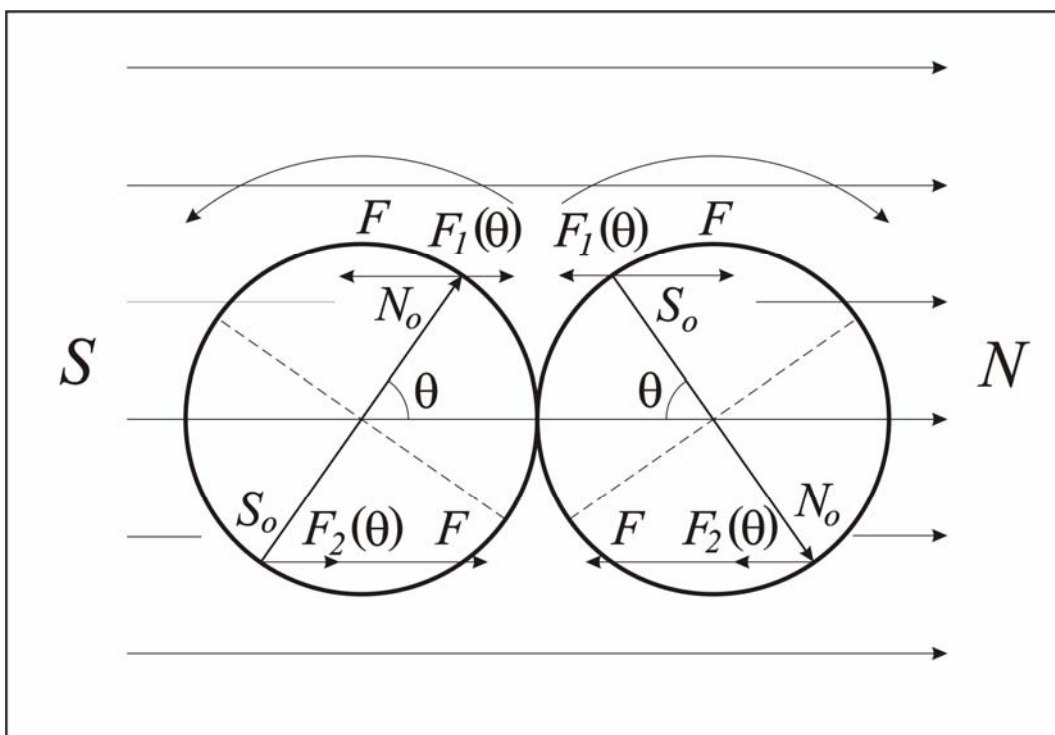
$d$  – ორ მაგნიტს შორის დაშორება;

$m$  – მაგნიტის მუხტია.

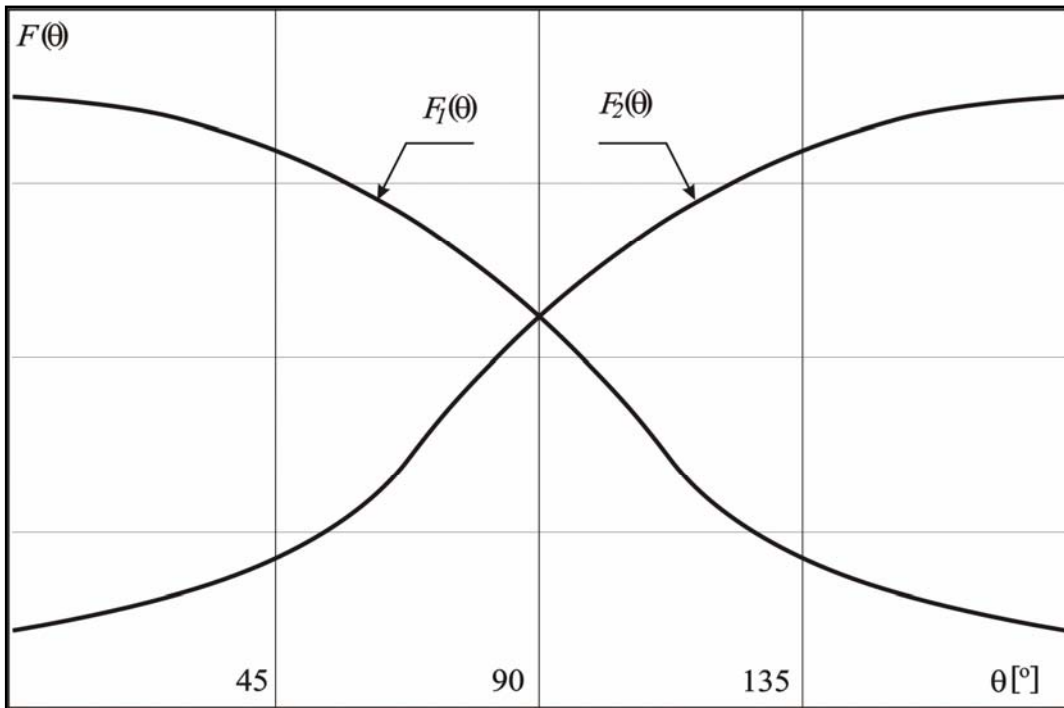
$F_1(\Theta)$  და  $F_2(\Theta)$  ცვლილების გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 3.13.



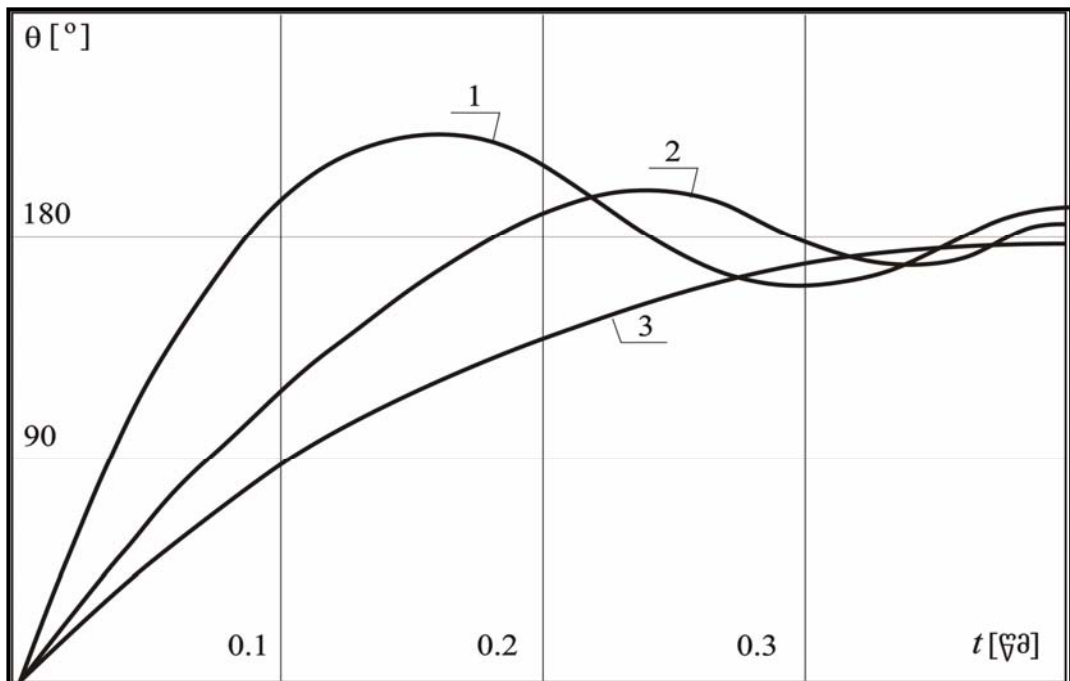
ნახ. 3.11 მაგნიტის დეპოლის სახით წარმოდგენა



ნახ. 3.12 ორი ღრუ ცილინდრული ფორმის და რადიალურად დამაგნიტებულ მაგნიტებზე მოქმედი ძალები



ნახ. 3.13 მაგნიტებზე ძალების მოქმედების მახასიათებელი



ნახ. 3.14 გარე მაგნუტური ზემოქმედების მოხსნისას მექანიკური რხევების ხასიათის სახე

ცხადია, რომ  $F_2 > F_1$  და ამიტომ ცილინდრული მაგნიტები მოძრაობენ თავიანთი ღერძების გარშემო არა თანაბარი კუთხური სიჩქარით, არამედ აჩქარებულად. ეს კი იძლევა გარე მაგნიტური ველის ზემოქმედების მოხსნის საშუალებას. მაშინაც კი, როცა  $\Theta = 90^\circ$ , ვინაიდან მაშინ აჩქარებულად მოძრავი ღრუ ცილინდრები ინერციის გავლენით გააგრძელებენ მოძრაობას და გაცდებიან  $90^\circ$ -იან ზღვარს შემდეგ კი იმოდრავებენ  $F_2(\Theta) > F_1(\Theta)$  ძალის მეშვეობით.

თუ კი გარე მაგნიტური ძალის ზემოქმედება გაგრძელდება უფრო დიდ ხანს და შეწყდება  $\Theta > 90^\circ$  კუთხის გავლის შემდეგ მაგნიტები და მასზე დაშენებული ფირფიტები დაიწყებენ მექანიკურ მილევად რხევებს (იხ.ნახ. 3.13). რაც უფრო დიდია გარე მაგნიტური ველის დაძაბულობა, მით უფრო მეტია გარდამავალი რხევების რიცხვი (ნახ. 3.12, 3.13).

იმისათვის, რომ რხევების რიცხვი შევამციროთ, ან მთლიანად უგულებელვყოთ, საჭიროა გარე მაგნიტური ველის იმპულსის ისეთი ფორმირება, რომ მაგნიტები  $180^\circ$ -ით შემობრუნებისას ერთმანეთს მიუახლოვდნენ დაბალი ხაზოვანი სიჩქარით, რაც შესაძლებელია არა მარტო საპირისპირო პოლარობის იმპულსის მოკლე დროში მიწოდებით, არამედ სხვა სქემოტექნიკური ხერხების გამოყენებით.

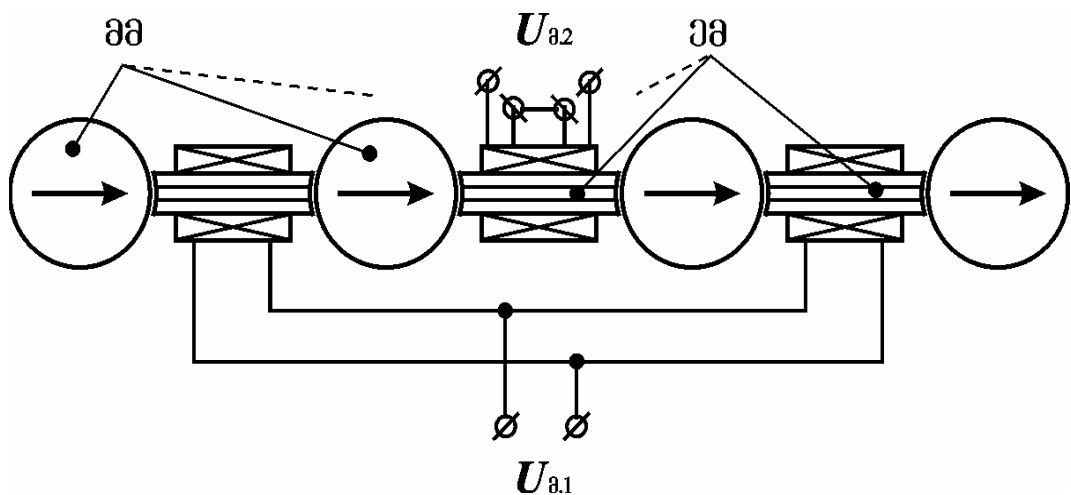
### **3.4 ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტების მოძრაობის დინამიური განტოლების შედგენა**

ჩავატაროდ მწკრივში განლაგებული მაგნიტების იძულებითი მობრუნებით გამოწვეული დინამიური რხევების დემფირების საშუალებების ანალიზი ნახ. 3.15.-ზე მოყვანილი მუდმივი მაგნიტებით და ელექტრომაგნიტებით შემდგარი სამართავი სისტემის საშუალებით [56]. სისტემაში შემავალი ელემენტების სიბრტყეები განლაგდებიან ერთ სიბრტყეში იმის გამო, რომ როგორც მმართავი ელმაგნიტების გულარები და მბრუნავი მუდმივი მაგნიტები დაშენებული ფირფიტებით განლაგებულია ერთი წრფის გასწვრივ. მბრუნავ მუდმივ

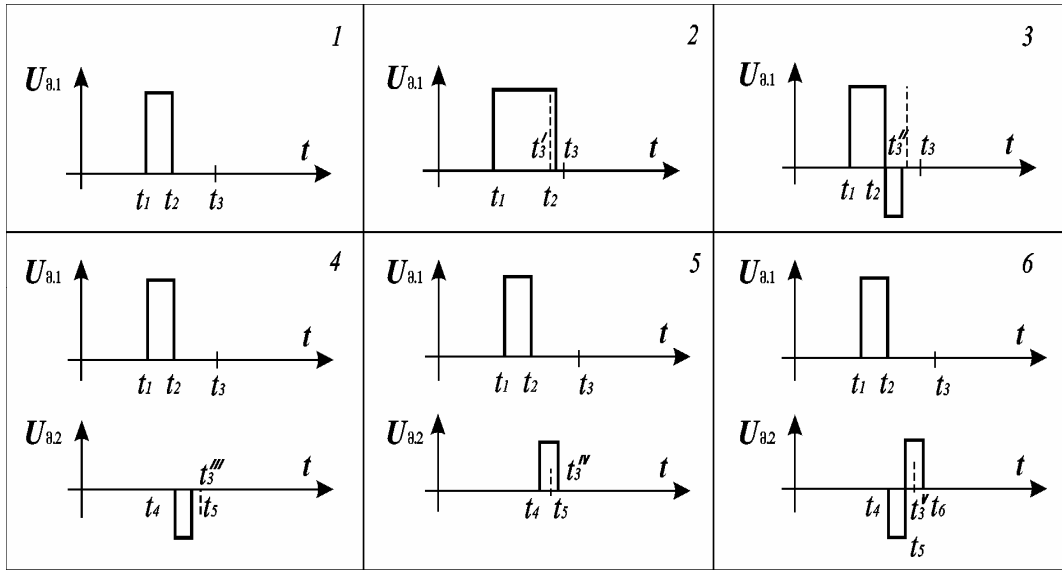
მაგნიტებს აქვთ ღრუ ცილინდრული ფორმა. მაგნიტები დამაგნიტებულა რადიალურად. ღრუ ნაწილში ჩაშენებულია ერთი სამაგრი ელემენტი. ერთი და მეორე სამაგრი ელემენტები მობრუნების ღერძებით შეერთებულია ერთმანეთთან მსუბუქი არამაგნიტური მასალისაგან დამზადებული ფირფიტით. მაგნიტები განლაგებულია მწკრივად მონაცვლე პოლუსებით. მართვის კვანძი (ზოგ შემთხვევაში კვანძები) წარმოადგენს პარალელურად შეერთებულ იდენტურ ელექტრომაგნიტებს. თითოეული ელექტრომაგნიტი შეიცავს H-სებრ მაგნიტოგამტარს, რომლის პოლუსურ ბუნიკებს შორის განლაგებულია მუდმივი მაგნიტები, ელექტრომაგნიტის მაგნიტოგამტარის გულარის ფუძეზე განთავსებულია გრაგნილი. მართვის ელექტრომაგნიტის წყვილ-წყვილად და მათ შორის მიმდევრობით შეერთებული სექციების გრაგნილების საერთო გამოსასვლელები გადამრთველი ელემენტის მეშვეობით მიერთებულია მუდმივი დენის წყაროსთან. რიგში განლაგებულ მაგნიტებს და იდენტურ ელექტრომაგნიტებს შორის კენტ ადგილებზე მოთავსებულია მართვადი ელექტრომაგნიტები, ხოლო ლუწზე – ელექტრომაგნიტები მოკლედ ჩართული და დამატებითი გრაგნილებით.

გარე ძალების ზემოქმედებამდე სისტემის ელემენტები ერთმანეთის მიმართ უძრავად არიან განთავსებული. მმართველი სიგნალის მიწოდებისას ძაბვა მუდმივი დენის წყაროდან (მაგალითად, იმპულსის სახით) მიეწოდება ელექტრომაგნიტების გრაგნილებს H-სებრი მაგნიტოგამტარის პოლუსების ბუნიკებით, იქმნება მიმართული მაგნიტური ველი. თუ გარე მაგნიტური ველის მიმართულება ემთხვევა ღრუ მაგნიტების ველის მიმართულებას, მაგნიტები არ შემოტრიალდება. იმპულსის გავლის შემდეგ მაგნიტები, საკუთარი მაგნიტების ველის ზემოქმედებით, უბრუნდებიან საწყის მდგომარეობას, ე.ი. განლაგდებიან წრფის გასწვრივ, რომელიც ემთხვევა მაგნიტების მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ძალწირებს. თუ მიწოდებული სიგნალი საპირისპირო

პოლარო-ბისაა, მაშინ პრაქტიკულად მყისიერად ყველა მაგნიტი შემოტრიალდება  $180^{\circ}$  გრადუსით. იმპულსის მიწოდების შეწყვეტის შემდეგ მაგნიტები მათი სიმეტრიის ღერძებზე გამავალ სიბრტყეში ქმნიან საკუთარ ველს, რომელიც შემოაბრუნებს ყველა არასიმეტრიულად განლაგებულ მაგნიტებს, ე.ი. მაგნიტების ადგილმდებარეობა თვითკორექტირდება. მაშასადამე მჭკრივად განლაგებული მონაცვლე პოლუსების მქონე დრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტები და მათ შორის განთავსებული ელექტრომაგნიტები H-სებრი ფორმის მაგნიტოგამტარით უზრუნველყოფენ მბრუნავი



ნახ. 3.15. ორხედური ინდიკატორის სისტემა დრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტებით



ნახ. 3.16. მართვის იმპულსების დიაგრამა

ელემენტების მდგრად მდგომარეობას მართვის იმპულსის მოხსნის შემდეგ და ამიტომ საიმედოდ ინარჩუნებენ წინა მდგომარეობას მაშინაც კი, როცა ინდიკატორზე მოქმედებს ვიბრაცია.

ცნობილია, რომ ნებისმიერი მბრუნავი სისტემის სტატიკური და დინამიური მდგომარეობა აღიწერება ერთი ძაბვების და ერთი მომენტების განტოლებებით [2,3,55]. ზუსტი აღწერისათვის გასათვალისწინებელია მბრუნავი სისტემის კონსტრუქციული თავისებურებანი, რომლებიც სრულად განსაზღვრავენ მათზე მოქმედი მომენტების ბუნებას და რაოდენობას. ამ თვალსაზრისით გარე მმართველი იმპულსური ველის ზემოქმედებისას ერთ მწკრივში მონაცვლე პოლუსებით განლაგებულ და მობრუნების ღერძის მქონე მუდმივ მაგნიტებზე და მათში სიმეტრიულად უცვლელად ჩაშენებულ და გარეთ აღმართულ ბრტყელ არამაგნიტურ ფირფიტების ელემენტებზე (ნახ. 3.9.) მოქმედებენ არა მარტო თვით მაგნიტებით შექმნილი მაგნიტური

ველით გამოწვეული მაგნიტური ძალით, არამედ დამამუხრუჭებელი დინამიური ძალები, რომლებიც ქმნიან დამატებით დასაძლევ მომენტებს. ამ ძალების და შესაბამი მომენტების გათვალისწინებით:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi}{dt} + R_L I = U \\ \Sigma I_i \frac{d^2\beta}{dt^2} + D \frac{d\beta}{dt} + (M_{შშ.} + M_{სიბ.} + M_{გრ.}) \text{sign}\left(\frac{d\beta}{dt}\right) = M_{ელმ} \end{cases}, \quad (3.1)$$

სადაც  $\Psi$  – ელექტრომაგნეტის და მაგნიტური სისტემის ნაკადშეზღვევა,

$R_L$  – ინდუქციური კოჭის აქტიური წინაღობაა,

$I_i$  – მოძრავი სისტემის ცალკეული ელემენტების ინერციის მომენტებია,

$\beta$  – მუდმივი მაგნიტის მქონე მოძრავი სისტემის მო ბრუნების კუთხეა,

$D$  – საჰაერო ხახუნის კოეფიციენტი,

$M_{შშ.}$  – მშრალი ხახუნის მომენტი,

$M_{სიბ.}$  – სიბლანტის ხახუნის მომენტი,

$M_{გრ.}$  – ფირფიტის გრეხის ძალის მოქმედებით გამოწვეული ხახუნის მომენტი,

$M_{ელმ}$  – ელექტრომაგნიტური ბრუნვის მომენტი.

სისტემის მეორე განტოლებაში შემოტანილი სიბლანტის და ფირფიტის გრეხითი ძალების ზემოქმედებით გამოწვეული ხახუნის მომენტები, თავს იჩენენ მხოლოდ მბრუნავი ელემენტების მობრუნების დროს. სიბლანტის ხახუნის მომენტები განპირობებულია ფირფიტაზე დრეკადი ძალის ზემოქმედებით, რაც იწვევს სიბლანტის ხახუნის ძალას, რომელიც რიცხობრივად ტოლია [59]

$$F_{ს.სიბ.} = \eta \cdot V \cdot l,$$

სადაც  $\eta = \frac{F_{ს.სიბ.}/S}{v/h}$   $[6 \cdot \frac{\text{წმ}}{\text{გ}^2}]$  - სიბლანტის ხახუნის კოეფიციენტი;

$l$  და  $h$  – ფირფიტის სიგანე და სიმაღლეა, შესაბამისად;

$\varpi$  – ფირფიტის მობრუნების სიჩქარეა;



$\nu/\gamma$  – წანაცვლებითი დეფორმაცია;

$S$  – ფირფიტის ზედაპირის ფართობია.

ჩვენ შემთხვევაში, როცა ფირფიტა ტრიალებს მობრუნების ვერტიკალური სიმეტრიული ღერძის გარშემო, მაშინ  $F_{s,bsb} = \eta \cdot V \cdot l / 2$  ვინაიდან ძალა ხაზოვნად მცირდება ფირფიტის ნაპირიდან სიმეტრიის ღერძამდე. სიბლანტის კოეფიციენტი დამოკიდებულია გარემოს ტემპერატურაზე. სითხის გაცხელებისას სიბლანტე მცირდება, ხოლო აირის გაცხელებისას კი იზრდება, ვინაიდან იმსხრევა წყალბადური კავშირებით შექმნილი კლასტორები. მაგალითად, 20° C აირისათვის

$$\eta \cdot 10^{-3} = 0,018, \text{ ხოლო } 40^\circ \text{ ურდის } 0,019 \left[ 6 \cdot \frac{\sqrt{\theta}}{g^2} \right].$$

ფირფიტის გრეხითი ძალების ზემოქმედებით გამოწვეული ხახუნის მომენტი განპირობებულია სამაგრებით, ვინაიდან პირველი სამაგრი ჩაშენებულია ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტში, მეორე სამაგრი კი ფირფიტის მეორე ბოლოშია განთავსებული. ამგვარად მივიღეთ კონსოლი, რომლის ორივე საპირისპიროდ განთავსებული წვეროები წარმოადგენენ ბრუნვის ღერძებს, მაგრამ მხოლოდ ერთ ბოლოზე (სადაც განლაგებულია მაგნიტი) მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა. ამიტომ ფირფიტა იგრიხება და ქმნის დამატებით ხახუნის მომენტს.

ჰუკის კანონის თანახმად მოძრავი ფირფიტის გრეხითი ძალის მიერ გამოწვეული ხახუნის მომენტი

$$M_{gr} = GJ_p \frac{d\varphi}{dz},$$

სადაც  $G$  – ფირფიტის ძვრის მოდულია,

$J_p$  – კვეთის ინერციის პოლარული მომენტია,

$\frac{d\varphi}{dz}$  – ფირფიტის გრეხის ფარდობითი კუთხეა  $Z$  ღერძის მიმართ.

თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ელექტრომაგნიტური

ენერგია ტოლია 
$$M_{\text{elm}} = -\frac{1}{2} \Psi \frac{dI}{d\beta} = -\frac{1}{2} LI \frac{dI}{d\beta}, \quad (3.2)$$

და მართვა წარმოებს მხოლოდ ერთი სახის მმართველი ელექტრომაგნიტებით, მაშინ ელექტრომაგნიტი-მაგნიტი სისტემის დინამიკის განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\sum_{i=1}^n I_i \frac{d^2 \beta}{dt^2} + D \frac{d\beta}{dt} + M_{\Sigma} \text{sign} \left( \frac{d\beta}{dt} \right) = -\frac{1}{2} LI \frac{dI}{d\beta} . \quad (3.3)$$

ცხადია, იმისათვის, რომ რხევების რიცხვი შევამციროთ, ან მთლიანად გამოვრიცხოთ, საჭიროა გარე მართვადი მაგნიტური ველის იმპულსის ისეთი ფორმირება, რომ მაგნიტები 180<sup>0</sup>-ით შემობრუნებისას ერთმანეთს მიუახლოვდნენ დაბალი ხაზოვანი სიჩქარით. ამ ამოცანის გადაჭრა შესაძლებელია განხორციელდეს სხვადასხვა ხერხის გამოყენების საშუალებით (იხ. ნახ. 3.14). მართვის თვალსაზრისით შესაძლებელია მართვა ვაწარმოოთ ერთი ან ორი მართვადი ელექტრომაგნიტებით და მოკლედ ჩართული ელექტროდემფერის გამოყენებით და დროში წანაცვლებული მოქმედებით. თუ გამოვიყენებთ კომბინირებულ მართვას, მაშინ მიზანშეწონილი იქნება დინამიკის განტოლება ჩაიწერა შემდეგი სახით

$$\sum_{i=1}^n I_i \frac{d^2 \beta}{dt^2} + D \frac{d\beta}{dt} + M_{\Sigma} \text{sign} \left( \frac{d\beta}{dt} \right) = \begin{cases} -\frac{1}{2} L_1 I_1 \frac{dI}{d\beta}, & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2 \\ -\frac{1}{2} L_2 I_2 \frac{dI}{d\beta}, & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4 \end{cases} .$$

მოყვანილი დინამიკის განტოლებები ამოიხსნება რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით, კერძოდ რუნგე-კუტას მეთოდით.

ნახ. 3.16 მოყვანილი იმპულსური მართვის ხერხებიდან ჩანს, რომ მართვადი იმპულსის მიწოდებისას, როცა ველების მიმართულება არ ემთხვევა ერთმანეთს, ერთად შეკრული მაგნიტი და ფირფიტა, რომლებსაც გააჩნიათ ინერციის მომენტი, იწყებენ აჩქარებულ მოძრაობას, ვინაიდან მათზე მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა. მართვადი იმპულსის მოქმედება წყდება იმ მომენტში, როცა ელემენტი მობრუნებულია არანაკლებ 90<sup>0</sup>-ით. შემდეგ ფირფიტები ბრუნავენ ინერციით. შეძენილი მობრუნების იმპულსი იმდენად დიდია, რომ

შემდეგ მოქმედი თვით ღრუ მაგნიტების მიზიდულობის ძალა ვეღარ უზრუნველყოფს ფირფიტების გაჩერებას 180<sup>0</sup>-ით შემობრუნებისას. ამიტომ ადგილი აქვს მიღევად რხევებს. ცხადია, რომ რაც უფრო დიდია გარე მაგნიტური ველის დამაბულობა და მამასადამე მობრუნებაზე გადაცემული ენერგია, მით უფრო მეტია გარდამავალი რხევების ამპლიტუდა და მიღევადი რხევების რიცხვი. რხევების რიცხვის და დაწყნარების დროის შესამცირებლად გამოყენებულია დემფერი ელექტრომაგნიტის სახით, მოკლედ ჩართული გრაგნილით და მათზე განთავსებული მეორე მართვადი გრაგნილით. ელექტრომაგნიტური დემფერი ქმნის მაგნიტების მიერ H-სებრ გულარში აღძრული ველის რხევების სიხშირის ტოლ ცვალებადი ნაკადის საპირისპირო ნაკადს. ვინაიდან ლენცის წესით ჩაკეტილ კონტურში აღძრული ემპ-ს მიმართულება ეწინააღმდეგება გარე მაგნიტური ველის ცვლილებას. ელექტრომაგნიტური დემფერის გამოყენებით ორჯერ მცირდება რხევების რაოდენობა და ამპლიტუდა. თუ გამოვიყენებთ დამატებით მეორე მმართვად გრაგნილს, რომლის დანიშნულებაა ელექტრომაგნიტურ დემფერში აღძრული ემპ-ის გაძლიერება, მაშინ რხევების რიცხვი მკაცრად შემცირდება და შეიძლება ერთი რხევის ტოლი გახდეს, რაც მისაღებია.

### **3.5. პრიზმული ფორმის მაგნიტებზე აგებული ორპოზიციური დინამიური ობიექტის უკონტაქტო მართვის თავისებურებანი**

ხედური ინფორმაციის ამსახველი კონსტრუქციის გაბარიტების გაზრდისას იზრდება ღრუ ცილინდრული ფორმის რადიუსის დიამეტრი, რაც მიზანშეწონილი არ არის, ვინაიდან მნიშვნელოვნად იზრდება არა მარტო ძვირად ღირებული მაგნიტური ფხნილის ხარჯი, არამედ მბრუნავი მაგნიტის ინერციულობა. ამიტომ მიზანშეწონილია ღრუ ცილინდრული მაგნიტები შეიცვალოს სხვა ფორმით (მაგალითად, ვიწრო განიკვეთის მქონე პრიზმით, რომელიც დამაგნიტებელია ზომით უდიდესი წახნაგის პარალელურ სიბრტყეში მდებარე პრიზმის

სიმეტრიის სიბრტყის გასწვრივ), ხოლო მწკრივში განლაგებულ მაგნიტებს შორის მოთავსდეს იდენტური ფორმის, ზომის და ელექტრული პარამეტრების მქონე ელექტრომაგნიტები ძირითადი და დამატებითი გრაგნილებით. ძირითადი გრაგნილები წარმოადგენენ მართვის სისტემის მბრუნავი მაგნიტების მამოძრავებელ ელემენტს, ხოლო დამატებითი ასრულებენ ძირითადად მბრუნავი კონსტრუქციის ადგილმდებარეობის განმსაზღვრელ მგძნობიარე ელემენტს და ზოგ შემთხვევაში დამატებითი (დამხმარე) სიმძლავრის მიმწოდებლის ან მცირე ამპლიტუდის მექანიკური რხევების დემფირების როლს, შესაბამისად. თითოეული ელექტრომაგნიტის ეს ორი გამიჯნული ფუნქცია ხელს უწყობს დასმული ამოცანის გადაწყვეტას.

მართვის სისტემის ფუნქციონალური სქემა მოყვანილია ნახ.3.17.-ზე. მართვის განხორციელების შემსრულებელ ელემენტებს შეადგენს მწკრივში განლაგებული რადიალურად დამაგნიტებული პრიზმის ფორმის მუდმივი მაგნიტები (მმ) და მათ პოლუსებს შორის მოთავსებული მმართავი ელექტრომაგნიტები (ემ) [69]. ადგილმდებარეობის მიხედვით მუდმივ მაგნიტებს, ისევე როგორც ელექტრომაგნიტებს აქვთ დაფიქსირებული ადგილი. ამ ადგილის ცენტრში ვერტიკალურად განლაგებულ ღერძზე ხისტად დამაგრებულია მმ, რომელსაც თავისუფალი მოძრაობის ორი მიმართულება გააჩნია და მოყვანილ შემთხვევაში მათ შეუძლიათ იმოძრაონ საათის ისრის თანხვედნილი ან საპირისპირო მიმართულებით. მბრუნავი მაგნიტის შემცველი კონსტრუქცია (შემდგომში, მბრუნავი კონსტრუქცია) შედგება რამდენიმე ნაწილისაგან. ხახუნის შემცირების მიზნით ერთი, საყრდენის წაწვეტებული ბოლოს წვერო ეყრდნობა ვერტიკალურ მდგომარეობაში უძრავად განთავსებულ დამჭერ მოწყობილობაში მოთავსებულ საყდენს, ხოლო მისი მეორე ბოლოს თავზე, რომელიც ამავდროულად მეორე ხახუნის უბანს წარმოადგენს, მაგრდება მოძრავი (ხედური ინფორმაციის განთავსებისათვის განკუთვნილი) ფირფიტის ერთი ბოლო. ამიტომ

მზრუნავ ღერძს მის ვერტიკალურად დამჭერ მოწყობილობასთან გააჩნია ორი შეხების და ამიტომ ორი ხახუნის უბანი. მესამე ხახუნის უბანს ქმნის ფირფიტის მეორე ბოლო, რომლის სიმეტრიის ღერძის გაგძელებზე მოთავსებულია მეორე ბრუნვის ღერო, რითაც ეს ინარჩუნებს სასურველ მდგომარეობას გარე ჩარჩოში. ემ-ის გულარები განლაგებულია რადიალურად დამაგნიტებული მაგნიტების დამაგნიტების მიმართულების გასწვრივ. ასეთი სახით (ერთ მწკრივში) განთავსებული მონაცვლე პოლარობის მქონე მაგნიტები და ელექტრომაგნიტები ქმნიან ელემენტთა ერთობლიობას (სისტემას). მუდმივი მაგნიტებით შექმნილი ველი ვრცელდება რა ელექტრომაგნიტების გულარებში, იკვრება სისტემის გარეთ, ანუ სისტემა წარმოადგენს პირობითად ერთ მაგნიტს. ამიტომ ასეთი სახით შედგენილი სისტემა ვერ შეიცვლის ადგილმდებარეობას გარე ძალების მიზანმიმართული ან შემთხვევითი ზემოქმედების დროს და სტატიკაში სისტემის თითოეული ელემენტი ერთმანეთის მიმართ ინარჩუნებს მდგრად უძრავ მდგომარეობას.

განვიხილოთ, თუ როგორ იმოქმედებს მმართველი ელექტრომაგნიტის მიერ შექმნილი გარე მაგნიტური ველი სისტემის მზრუნავი კონსტრუქციის ადგილმდებარეობაზე. ცხადია, რომ, თუ მმართავი იმპულსური სიგნალი გაივლის ელექტრომაგნიტის მართვის გრაგნილებში და შექმნის მუდმივი მაგნიტების მიერ შექმნილი ველის თანხვედნილად მიმართულ ველს, სისტემა შეინარჩუნებს საწყის მდგომარეობას, ხოლო საპირისპირო შემთხვევაში სისტემაში შემავალი მუდმივი მაგნიტები პრაქტიკულად მყისიერად შემობრუნდებიან 180 გრადუსით. მმართავი იმპულსის მოხსნის შემდეგ სისტემა შეინარჩუნებს ახალ მდგრად მდგომარეობას იმ შემთხვევაშიც კი, როცა სისტემაზე მოქმედებს ვიბრაცია.

ცნობილია, რომ თუ ელექტრომაგნიტი შეიცავს რამდენიმე დამოუკიდებულ გრაგნილს ნებისმიერი მზრუნავი სისტემის სტატიკური

და დინამიური მდგომარეობა აღიწერება ერთი ან რამდენიმე ძაბვების და ერთი მომენტების განტოლებებით [55,56,59,60,64,69].

ამიტომ, სისტემის მოძრაობის დაზუსტებული მოძრაობის აღწერისათვის გათვალისწინებულია მბრუნავი კვანძების ელექტრული, მაგნიტური და კონსტრუქციული თავისებურებანი, რომლებიც სრულად განსაზღვრავენ მათზე მოქმედი მომენტების ბუნებას და რაოდენობას. მაგალითად, ელექტრომაგნიტის მმართველი და დამატებითი გრაგნილების არსებობა იწვევს მეორე განტოლების შემოტანას, ხოლო ჯამური ინერციის მომენტების სრული აღწერა და დამამუხრუჭებელი დინამიური ძალების ადიტიური მდგენელების რიცხვის გაზრდა და მათ მიერ შექმნილი დამატებითი დასაძლევი მომენტების გათვალისწინებით განტოლებათა სისტემა (3.1) დაიწერება შემდეგი დაზუსტებული სახით:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi_1}{dt} + R_{L_1} I_1 = U_1 \\ \frac{d\Psi_2}{dt} + R_{L_2} I_2 = U_2 \\ \sum_{i=1}^n \frac{d^2\beta}{dt^2} + D \frac{d\beta}{dt} + \left( \sum_{j=1}^m M_{\text{მშრ. } j} + M_{\text{ბობ.}} + M_{\text{გრ.}} \right) \text{sign} \left( \frac{d\beta}{dt} \right) = \sum_{k=1}^p M_{\text{ელმ. } k} \end{array} \right. , \quad (3.4)$$

სადაც  $\Psi_1$  – ელექტრომაგნიტის მმართველი გრაგნილის და მაგნიტისგან შედგენილი მბრუნავი კონსტრუქციის ნაკადშებმა,

$\Psi_2$  – ელექტრომაგნიტის დამატებითი გრაგნილის და მაგნიტისგან შედგენილი მბრუნავი კონსტრუქციის ნაკადშებმა,

$R_{L_1}$  – ელექტრომაგნიტის მმართველი გრაგნილის აქტიური

წინა-

ღობა,

$R_{L_2}$  – ელექტრომაგნიტის დამატებითი გრაგნილის აქტიური

წინა-

ღობა,

$I_i$  – მოძრავი კონსტრუქციის შემადგენელი ცალკეული  $i$ -ური

ელემენტის ინერციის მომენტი,

$\beta$  – მუდმივი მაგნიტის მქონე მოძრავი სისტემის მობრუნების

კუთხე,

$U_{\alpha 1}$  – ელექტრომაგნიტის მართვის გრაგნილზე მიწოდებული ძაბვის სიდიდე,

$U_{\alpha 2}$  – ელექტრომაგნიტის დამატებით გრაგნილზე მიწოდებული ძაბვის სიდიდე,

$D$  – საჰაერო ხახუნის კოეფიციენტი,

$M_{შრ,j}$  – მოძრავი კონსტრუქციის  $j$ -ური უბნის მშრალი ხახუნის

მომენტი,

$M_{სიბ}$  – გარემოს სიბლანტის ხახუნის მომენტი,

$M_{გრ}$  – ფირფიტის გრეხის ძალის მოქმედებით გამოწვეული ხახუნის მომენტი,

$M_{ელმ,k}$  –  $k$ -ური გრაგნილის მიერ შექმნილი ელექტრომაგნიტური

ბრუნვის მომენტი.

თითოეული მომენტის ფიზიკური აზრი მოყვანილია § 3.4.-ში.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ თითოეული ერთგრაგნილიანი ელექტრომაგნიტის ელექტრომაგნიტური ენერგია შექმნის ელექტრომაგნიტურ მომენტს, რომელიც, ზოგადად გამოიანგარიშება გამოსახულებით (3.2),

ხოლო თითოეული  $k$ -ური მაგნიტის  $180^0$ -ით შემობრუნების მართვა წარმოებს მის პოლუსებთან განლაგებული ორი  $k$ -ური და  $k+1$ -ური თითო-თითო მართვადი გრაგნილის შემცველი ელექტრომაგნიტებით,

მაშინ ელექტრომაგნიტი-მაგნიტი-ელექტრომაგნიტი სისტემის დინამიკის განტოლება (3.3)-დან განსხვავებით ჩაიწერება შემდეგი სახით

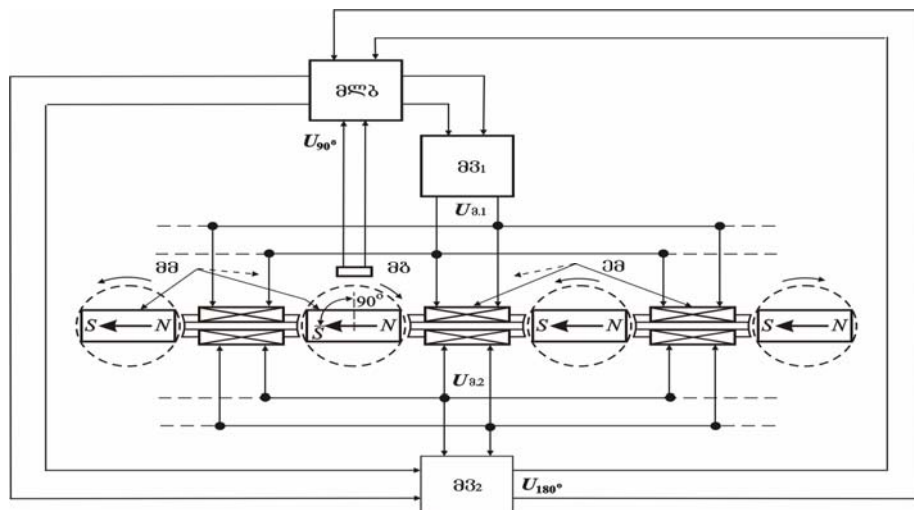
$$\sum_{i=1}^n I_i \frac{d^2 \beta}{dt^2} + D \frac{d\beta}{dt} + M_{\Sigma} \text{sign} \left( \frac{d\beta}{dt} \right) = -\frac{1}{2} (L_{1,k} I_{1,k} + L_{1,k+1} I_{1,k+1}) \frac{dI}{d\beta} . \quad (3.5)$$

იმ შემთხვევაში, თუ ელექტრომაგნიტები აღჭურვილია დამატებითი გრაგნილებით, რომლებიც შესაძლოა გამოყენებულ იქნენ როგორც ერთობლივ, ასევე დამოუკიდებელი მართვის დროს, მაშინ მოძრაობის კომბინირებული მართვის დინამიკის განტოლებათა (3.5) სისტემა მიიღებს შემდეგ (3.6) სახეს:

$$\sum_{i=1}^n I_i \frac{d^2 \beta}{dt^2} + D \frac{d\beta}{dt} + M_{\Sigma} \text{sign} \left( \frac{d\beta}{dt} \right) = \begin{cases} -\frac{1}{2} (L_{1,k} I_{1,k} + L_{1,k+1} I_{1,k+1}) \frac{dI}{d\beta}, & \text{როცა } t_1 \leq t \leq t_2; \\ -\frac{1}{2} (L_{2,k} I_{2,k} + L_{2,k+1} I_{2,k+1}) \frac{dI}{d\beta}, & \text{როცა } t_3 \leq t \leq t_4; \\ -\sum_{k=N}^{N+1} \frac{1}{2} (L_{1,k} I_{1,k} + L_{2,k} I_{2,k}) \frac{dI}{d\beta}, & \text{როცა } t_5 \leq t \leq t_6. \end{cases}$$

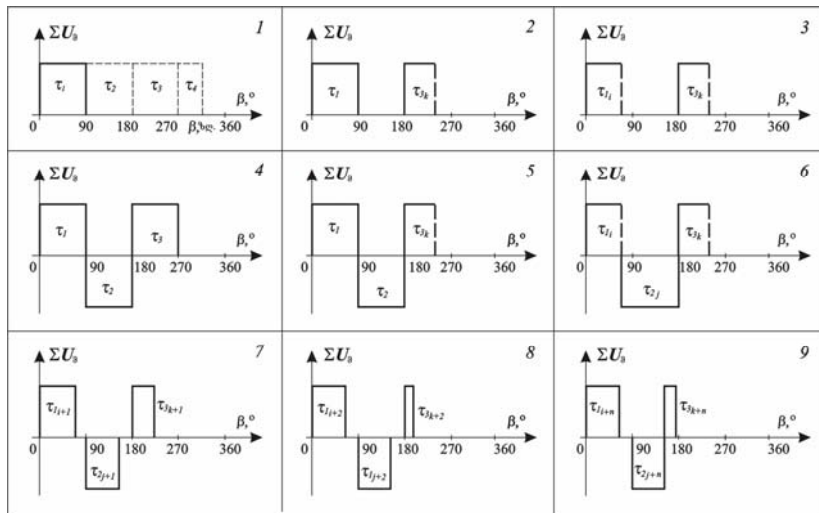
შედგენილი დინამიკის განტოლებები ამოიხსნება იგივე რუნგე-კუტას რიცხვითი მეთოდით.

მოყვანილი დროში წანაცვლებული ზემოქმედებების გამოყენებით შესაძლოა განვახორციელოთ ხისტი მართვა თვითკორექტირებით. ამ ამოცანის გადასაჭრელად დამატებით ვიყენებთ მაგნიტომგრძნობიარე გარდამქმნელს (მგ), რომელიც მაგნიტის მობრუნების  $90^{\circ}$  კუთხეს აკონტროლებს (იხ. ნახ.3.17) და მოკლედ შერთულ დამატებით გრაგნილს,





ნახ. 3.17. ორხედური ინდიკატორის ადაპტური მართვის სისტემა რეალურად დამაგნიტებული ოთხკუთხა პრიზმის ფორმის მაგნიტებით



ნახ. 3.18. მართვის იმპულსის დიაგრამა

რომელსაც შეუძლია აკონტროლოს არა მარტო  $180^{\circ}$ -ზე მობრუნება, არა მედ მიღევადი რხევების რიცხვის მაფორმირებლის როლი შეითავსოს. საჭიროებისას ეს გრაგნილი გამოიყენება რხევების დემფირებისას, თუ მას მიმდევრობით და თანხვედნილად შევართებთ მმართველ გრაგნილს ან დამოკიდებლად ვამუშავებთ ლოგიკურად გამართლებული ფუნქციის შესასრულებლად.

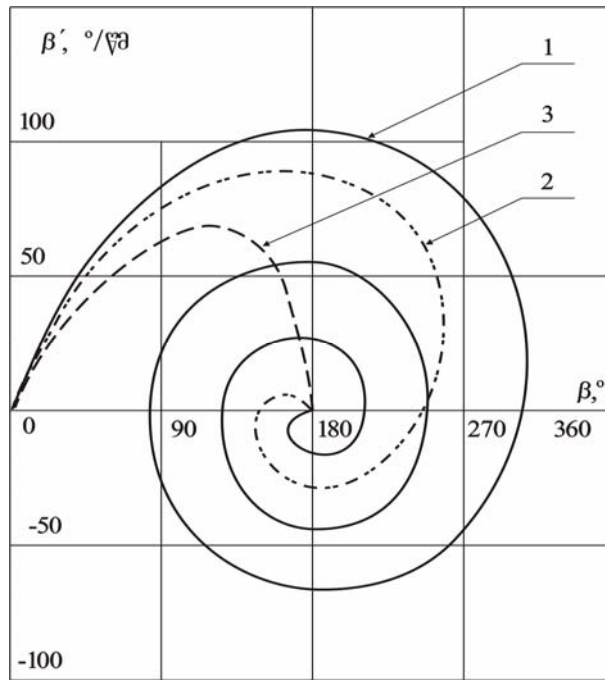
ნახ. 3.18-ზე მოყვანილი იმპულსური მართვის მიდგომის განხორციელების ეტაპები:

I ეტაპი (1-3) – ტარდება მართვის ობიექტის შესწავლა (დგინდება მოხმარებული სიმძლავრის სიდიდის ზღვრული მნიშვნელობა და მიღებული რხევების ამპლიტუდა, რიცხვი და გამყარების დრო);

II ეტაპი (4-6) – დგინდება მართვის პარამეტრების მისაღები პარამეტრები (სიმძლავრის სიდიდე, მართვის იმპულსის მოქმედების უდიდესი მნიშვნელობა და ხანგრძლივობა, მართვადი და დამატებითი გრაგნილების გადართვის მომენტები და ხანგრძლივობა);

III ეტაპი (7-8) – მართვის სისტემის გაწყობა, გაშვება და ფუნქციონირება.

მოყვანილ ეტაპებს შეესაბამება ნახ. 3.19. –ზე მოყვანილი შესაბამისი გრაფიკები. პირველი ეტაპის გრაფიკიდან (იხ. ნახ. 3.19., გრაფიკი 1) ჩანს, რომ ნებისმიერ შემთხვევაში პროცესი მიღევადია, ვინაიდან თუ 0-180<sup>0</sup>-მდე სისტემის თითოეულ ბრუნვის კონსტრუქციაზე მოქმედებს ამაჩქარებელი განზიდვის ძალა, ამ კუთხის გადალახვის შემდეგ იგივე ძალა მოქმედებს საპირისპიროდ, ანუ ამუხრუჭებს ბრუნვის სიჩქარეს, ვინაიდან ადგილი აქვს მიზიდულობის ძალის მოქმედებას იმიტომ, რომ მაგნიტების პოლუსებმა შეიცვალეს ადგილმდებარეობა. ამიტომ, თუ სამართავ ობიექტს მივაწოდებთ ნებისმიერი ხანგრძლივობის მქონე იმპულსს, იგი აუცილებლად შეასრულებს თავის ფუნქციას – მოძრავ კონსტრუქციებს შეუცვლის პოზიციას, მაგრამ დაიხარჯება დიდი ოდენობის ელექტრული ენერგია და დრო, ამასთან ადგილი ექნება არასასურველ (ზოგ შემთხვევაში კი მიუღებელ) დიდი ამპლიტუდის მქონე რხევებს.



ნახ. 3.15. მოძრაობის დიაგრამა

მეორე ეტაპის გრაფიკი (იხ. ნახ. 3.19., გრაფიკი 2) შეესაბამება შემთხვევას, როცა სამართავი მბრუნავი კონსტრუქცია მობრუნებისას გადალახავს  $90^{\circ}$ -იან კუთხეს და მართვის გრაგნილი გადაირთვება საპირისპირო პოლარობაზე. ამით პოლარობაშეცვლილი ელექტრომაგნიტის მიერ შექმნილი ველი უკვე ამუხრუჭებს ინერციით მოძრავ მბრუნავ კონსტრუქციას. მაგრამ, ეს დამუხრუჭების დროის შუალედი არ უნდა გადასცდეს  $180^{\circ}$ -იან კუთხის ზღვარს, ვინაიდან საპირისპირო შემთხვევაში (გადაცდენისას) დაიწყება არასასურველი აჩქარებითი მოძრაობა. უკეთესია  $180^{\circ}$ -იანი ზღვარის გადალახვის შემდეგ სისტემა ისევ გადაირთოს და დაბრუნდეს ისევ პირველი იმპულსის პოლარობაზე.

მბრუნავი კონსტრუქციის შემცირებულ სიჩქარეს ისევ სჭირდება დამამუხრუჭებელი ძალა და ეს მიზიდულობის ძალაა. ასეთი მართვით მცირდება რხევების რიცხვი, მაგრამ ენერგიის ხარჯი მაინც დიდია, ვინაიდან მოძრაობის მმართავი იმპულსები ერთმანეთს ენაცვლებიან და ამიტომ მართვის ხანგრძლივობა დიდია. ეს კი პირდაპირ დაკავშირებულია ენერგიის ხარჯის გაზრდასთან.

მისაღებია ისეთი მართვა (ნახ. 3.17 და ნახ. 3.19 მე-3 გრაფიკი), როცა უზრუნველსაყოფია უმცირეს დროში სისტემის გადაყვანა ერთი მდომარეობიდან მეორეში, მოხმარებული სიმძლავრის ხარჯის მინიმუმამდე დაყვანა და რხევების რიცხვის გამორიცხვა.

მესამე ეტაპზე ვიყენებთ მეორე ეტაპზე მიღებულ შედეგებს, როგორც მართვის იმპულსების საწყისი დროების სიდიდეებს. ინტერვალების ციკლური თანმიმდევრული და ყოველ მომდევნო ციკლში იტერაციული შემცირებით (გაზრდით) ვაღწევთ ნახ. 3 მე-3 მოყვანილ მმართავი გრაფიკის სახეს. მართვის ლოგიკური ბლოკი (მლბ) (ნახ. 1) ყოველ მომდევნო მმართავი ოპერაციის ჩატარების შემდეგ იმახსოვრებს დროის ინტერვალებს, სტატისტიკური მეთოდებით ამუშავებს მათ, საზღვრების ინტერვალის შემცირების (გაზრდის) აუცილებლობას და მართვის განხორციელებისათვის ავალებს მავალელებს (მვ<sub>1</sub> და მვ<sub>2</sub>) მოახდინონ დროის ინტერვალების შეცვლა. მას შემდეგ, რაც მოთხოვნილი პირობები იქნება დაკმაყოფილებული და მისი მდგრადობის საზღვრები, განსაზღვრული ლოგიკური ბლოკი წყვეტს ფუნქციონირებას და მართვის პროცესი გადაეცემა მავალელებს იმ დროის დადგომამდე, როდესაც მბრუნავი კონსტრუქცია არ მობრუნდება 180<sup>0</sup>-თ ან ვერ გადალახავს 90<sup>0</sup>-იან ზღვარს. ამ შემთხვევაში დაირღვევა ინფორმაციის მიწოდების თანმიმდევრობა მგ მაგნიტომგძნობიარე გარდამსახიდან და ელექტრომაგნიტის მოკლედ შერთული დამატებითი გრაგნილიდან. ეს ნიშნავს იმას, რომ მბრუნავმა კონსტრუქციამ (სხვადასხვა მიზეზების გამო) ვერ გადალახა 90<sup>0</sup>-იანი შემობრუნების კუთხე და საჭიროა სისტემის საწყის მდგომარეობაში დაბრუნება და ხელახალი მართვის იმპულსის ფორმირება ერთი იტერაციული ბიჯით გაზრდილი ხანგძლივობით. თუ შეტანილმა ცვლილებამ არ გამოიღო სასურველი შედეგი, მაშინ პირველი მმართავი იმპულსის დროის ინტერვალის გაზრდის ბიჯი მიმდევრობით ორით, სამით, ოთხით და ა.შ. იზრდება სასურველი შედეგის მიღწევამდე. ხოლო შემდეგ ობიექტის მართვის

იმპულსების ხანგძლივობა ინტერვალები ხელახლა დგინდება მომდევნო მასივის სახით დაგროვებული ინფორმაციის სტატისტიკური დამუშავების გზით.

### 3.6. ინდიკატორის შესრულების კონკრეტული მაგალითი და ტექნიკური პარამეტრები

დამუშავებული მართვის სისტემის ტექნიკური პარამეტრებია:

<i>კონსტრუქციული</i>		<i>ელექტრული</i>	
- კორპუსის კედლის სისქე	30 მმ	- სადენის დიამეტრი	0,13 მმ
- ინდიკატორის ხედური ინფორმაციის ამსახველი ფირფიტის ზომები	750x40x2,5 მმ	- ელექტრომაგნიტის გრაგნილების ხვიათა რიცხი	2700
- მაგნიტის ზომები	4x6x12 მმ	- დენის საშუალო მნიშვნელობა	0,8 ა
- მაგნიტოგამტარის გულარის დიამეტრი	3 მმ	- კვების ძაბვა	24 ვ
- ინდიკატორის მბრუნავი კონსტრუქციის რიცხვი	19	- მართვის იმპულსის სიმძლავრე	400 ვტ
- ელექტრომაგნიტის რაოდენობა	18		
- ინდიკატორის გაბარიტული ზომები	780x780x50 მმ		

კომბინირებული უკონტაქტო მართვის გამოყენებით მიიღწევა რხევების სრული ავტომატური დემფირება, რაც უზრუნველყოფს არა მარტო გარდამავალი პროცესების თავიდან აცილებას და მნიშვნელოვნად ამცირებს მოხმარებული ელექტროენერგიის ხარჯს, არამედ გაზრდის ასეთი სისტემის სწრაფქმედებას და ორხედური ინფორმაციის შეცვლის საიმედოობას.

### 3.7. შედეგები III თავის მიხედვით

1. დამუშავებულია მწკრივში განლაგებული და რადიალურად დამაგნიტებული ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტების გამოყენების საშუალებით ორხედური ინდიკატორის აგების ფიზიკური საფუძვლები და მოქმედების პრინციპი.
2. გამოკლეულია ღრუ ცილინდრული ფორმის მაგნიტებიდან შემდგარი ბრტყელპარალელური სისტემის დინამიური რხევების დემფირების საშუალებები. მოყვანილია მოკლედჩართული ელექტრომაგნიტით დაკავშირებული რადიალურად დამაგნიტებული და ბრუნვის უძრავი ღერძის მქონე მაგნიტებზე მოქმედი ძალების თავისებურებანი და იმპულსური მართვის ხერხები.
3. შედგენილია მართვადი იმპულსური ზემოქმედების შედეგად გამოწვეული მოძრაობის განტოლება, რომელიც ითვალისწინებს ძირითად მოქმედ ფაქტორებს. ნაჩვენებია, რომ სისტემაში ერთდროულად დამატებითი მოკლედჩართული ხვიის შემცველი ელექტრომაგნიტის შეტანა და დამატებითი მართვის განხორციელება ადემფირებს გარდამავალი პროცესის რხევებს და ამცირებს როგორც მათ რიცხვს, ასევე მათ ამპლიტუდას, რაც ამცირებს “დამშვიდების” დროს მართვის ზემოქმედების მოხსნის შემდეგ.
4. დასაბუთებულია ღრუ ცილინდრული მაგნიტებიდან შემდგარი სისტემის უნარი შეინარჩუნოს ხედური ინფორმაცია მექანიკური ზემოქმედების მოქმედების მოხსნის შემდეგ.
5. დამუშავებული ინდიკატორის გამოკვლევები იძლევა საშუალებას დავადგინოთ, რომ ის: აფართოებს ფუნქციურ შესაძლებლობებს გაბარიტული ზომების მრავალჯერ გაზრდის მეშვეობით და ორი ნახატის, ან ფერის, ან ცვალებადი საგზაო ნიშნის ინდიკაციით; ამცირებს ელექტროენერჯის, მაგნიტური ფხვნილის და ხვიების

#### IV თავი. მეორადი გარდამქმნელებისათვის მცირე სიმპლავრიანი, მუდმივი მაგნიტის შემცვლელი გენერატორის დამუშავება

ცნობილი წყაროების [60-78] მონაცემების შესწავლის საფუძველზე და ადრინდელმა გამოკვლევებმა [79-82] გვიჩვენა, რომ ბრტყელპარალელური (დისკური) ფორმის მაგნიტების ზედაპირზე (სადაც  $D > h$ ) მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილება არათანაბარია და ამიტომ კვაზისტაციონარული ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის მიღება წარმოადგენს რთულ ტექნიკურ ამოცანას.

მაგნიტური ველის ინტენსიობა მცირდება აქსიალურად დამაგნიტებული მაგნიტური დისკოს გარე ზედაპირიდან სიმეტრიის ღერძისაკენ (ნახ. 4.1). ამიტომ შიგა ნაწილის გამოყენება მაგნიტური ენერჯის გამოყენების თვალსაზრისით, არაეფექტურია. ამ გარემოებამ დისკოს ფორმის მაგნიტი შეგვაცვლევინა ტორის ფორმის მაგნიტით. ამიტომ, პრაქტიკულად, რადიო და საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში იყენებენ აქსიალურად დამაგნიტებულ მართკუთხა კვეთის მქონე ტორის ფორმის მაგნიტებს.

ცნობილია, რომ მრეწველობაში, მაგალითად, საგლინო, მილსაგლინო და სხვა სახის დგანებში, სადაც დასამუშავებელი მასალის (ბლიუმების, სლიაბების, მილების) იძულებით გადაადგილებისას ერთი წერტილიდან მეორეში, მომდევნო ტექნოლოგიური ოპერაციის ჩატარების მიზნით, იხარჯება მექანიკური ენერჯია. ამ ენერჯის შესამცირებლად იყენებენ როლგანგებს, რომლებიც პასიური ელემენტის როლს ასრულებენ მასალის გადაადგილებისას, ვინაიდან არავითარ ენერჯიას არ მოიხმარენ, ხოლო მასალის გავლის შემდეგ უქმად ტრიალებენ. ასევე უქმად ტრიალებენ რკინიგზის და მანქანის ბორბლები და ბევრი სხვა. მათი მექანიკური ენერჯია მხოლოდ ზოგ შემთხვევაში გარდაიქმნება ელექტრულ ენერჯიად. თუ გავითვალისწინებთ ამ გარემოებებს, მაშინ მიზანშეწონილად მივიჩნევთ

მცირეგაბარიტული გენერატორის შექმნას, რომელიც ამ დანაკარგს შეავსებს და ამასთან არ იმოქმედებს უარყოფითად მბრუნავი ნაწილების ძირითად დანიშნულებაზე, ექნება დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა. ამიტომაც გარდამქმნელს მეორადი გენერატორის სახელს ვუწოდებთ.

#### 4.1. გენერატორის აგების ფიზიკური საფუძველი და თავისებურებანი

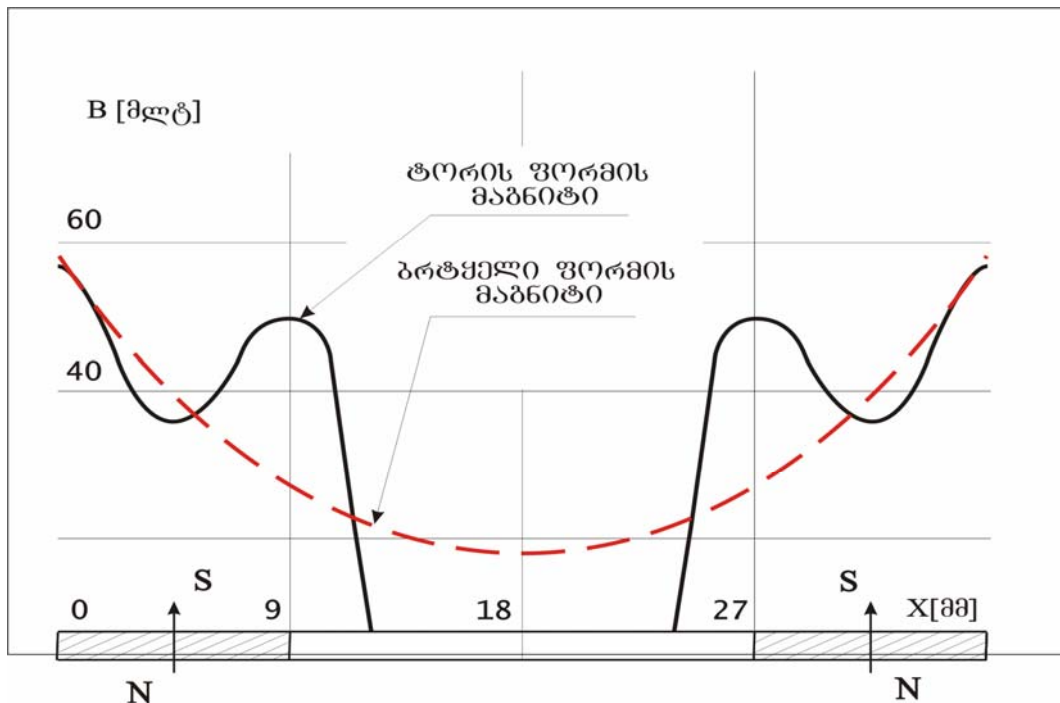
მუდმივი მაგნიტის შემცველი გენერატორების აგების მრავალი ხერხი არსებობს, ხოლო ფიზიკური საფუძვლები ერთი და იგივეა. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, თუ რა ხერხით იქნება აღძრული ე.მ.ძ. ცნობილია, რომ მაგნიტური ველის ნაკადუმბმის სიჩქარის ცვლილება განაპირობებს ე.მ.ძ.-ს სიდიდეს (თავი 2.1). თუ გამჭოლი მაგნიტური ველის ნაკადი და ამასთან განიკვეთის ფართობი, რომელსაც განჭოლავს ველი, ერთდროულად იცვლება, მაშინ ე.მ.ძ.-ს გამოსათვლელად გამოიყენება თავი 2.3-ში მოყვანილი ფორმულა.

ინდუქციის ცვლილება მიიღწევა მაგნიტოგამტარის მაგნიტური გამტარობის ცვლილებით. ეს კი მიიღება მაგნიტური პოლუსებისა (ნახ. 4.2ა) და აღმზნები კოჭების (ნახ. 4.2ბ) თუნდაც ერთნაირი ან განსხვავებული რაოდენობის გამოყენებით, პოლუსების წანაცვლებით ერთმანეთის მიმართ, მისი კონფიგურაციით და პოლუსებს შორის საჰაერო ღრეჩოს (ღუზას) არსებობით, რომელიც განაპირობებს მაგნიტური პოტენციალის ისეთ განაწილებას, რომ მათ შორის ველი არაერთგვაროვანი ხდება.

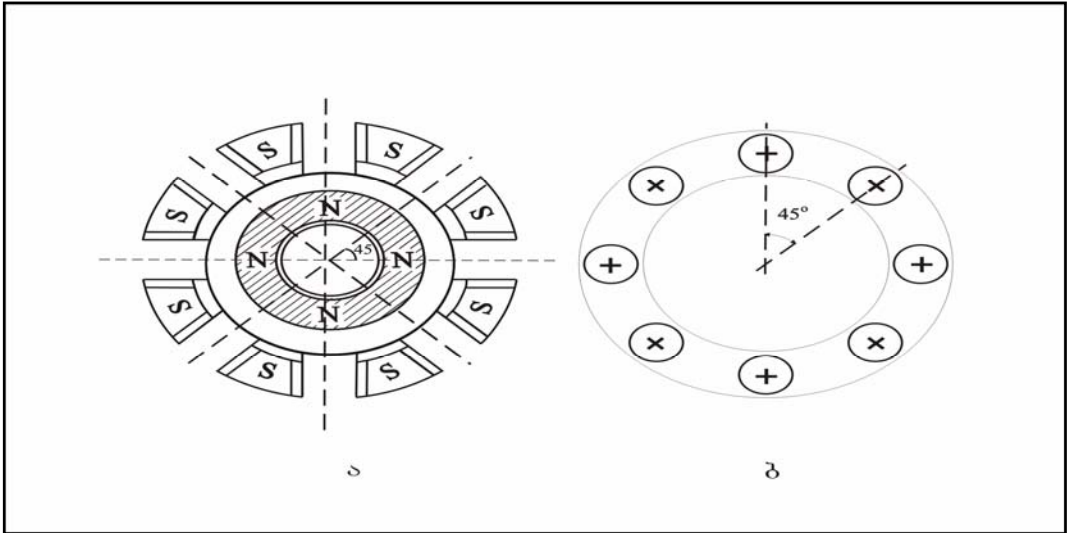
მაგნიტოგამტარის კონფიგურაცია ჭრილში (ნახ. 4.3 ა და ბ) წარმოადგენს უბან-უბან (1-2; 2-3-4; და 4-5) წრფივი განტოლებების გამოყენებით ოპტიმიზირებული რკინიდან დამზადებულ ელემენტებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ არა მარტო გამოყენებული მასალის, არამედ მაგნიტის მაგნიტური ველის ენერჯის დაკარგვის მინიმიზაციას, აღმზნები კოჭის განიკვეთის ფართობი განპირობებულია დისკური პროფილირებული (ნახ. 4.3ბ) ფორმის მაგნიტოგამტარის პოლუსური



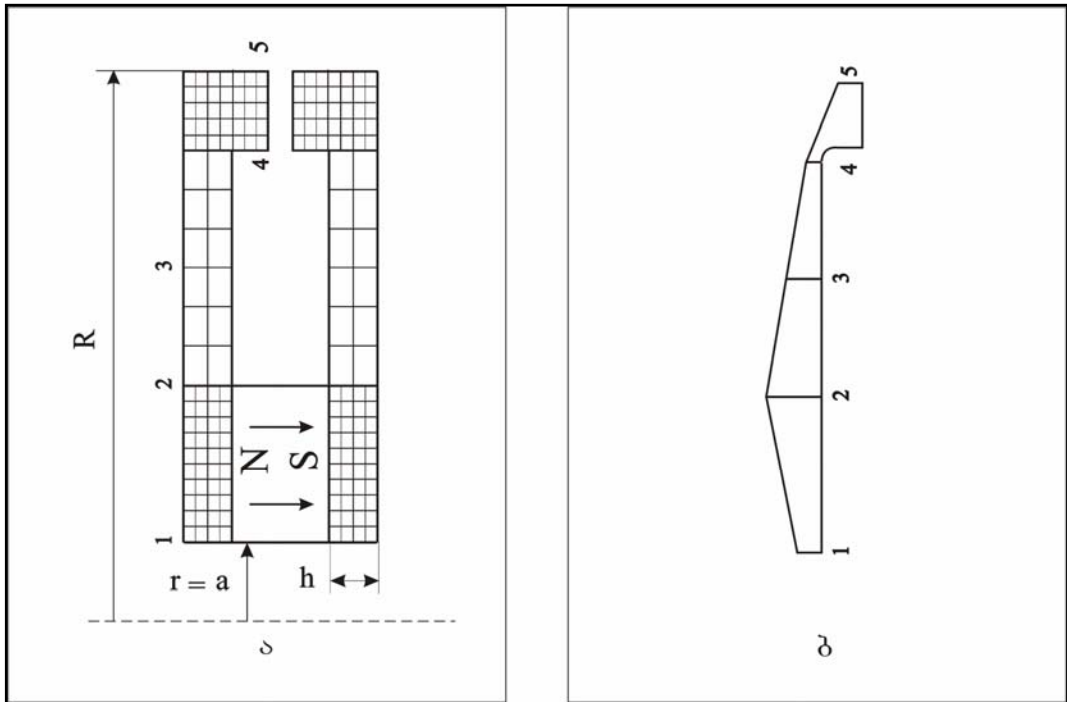
ბუნუკების გეომეტრიული ზომებით (ნახ. 4.2ა). ორ მრგვალ დისკური პროფილირებული ფორმის პოლუსებს შორის განთავსებულია აღმზნები კოჭები. ეს კოჭები თავისი მაგნიტოგამტარით მოთავსებული არიან არამაგნიტური (მაგალითად, ტექსტოლიტი) დისკოს ფორმის სათავსოებში (ნახ. 4.2ბ) და წანაცვლებული არიან ერთმანეთის მიმართ  $45^{\circ}$  (ამ კერძო შემთხვევაში). არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველის გადაკვეთის დროს იცვლება ნაკადუმბმა პოლუსურ ბუნუკებს და აღმზნებ კოჭებს შორის, რაც დადგენილია სამეცნიერო კვლევებით, რომლებიც ჩატარებული იყო



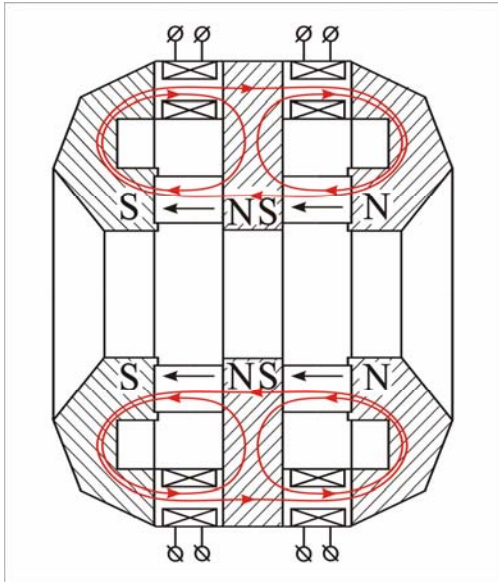
ნახ. 4.1. ტოროიდალური ფორმის აქსიალურად დამაგნიტებული მაგნიტის მაგნიტური ველის სივრცული განაწილება



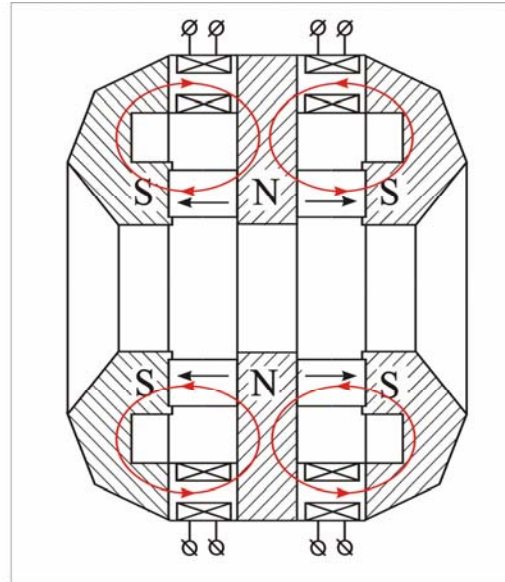
ნახ. 4.2 მაგნიტოგამტარის პოლუსური ბუნუკების გეომეტრიული ფორმები



ნახ. 4.3 მაგნიტოგამტარის ჭრილის კონფიგურაცია



ნახ. 4.4



ნახ. 4.5

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტში და მოყვანილია [29, 79-81].

ვინაიდან მოძრავი მაგნიტური ველი, დროის რეალურ მომენტში, ვერ შეაღწევს აღმზნები კოჭის პოლუსის მთელ ფართობში. ამიტომ ადგილი აქვს ფართობის ცვლილებას.

მაშასადამე, თუ აქსიალურად დამაგნიტებულ ტორის ფორმის მაგნიტს განვათავსებთ ორი იდენტური პროფილირებული კონფიგურაციის მქონე მაგნიტოგამტარს შორის, რომლებიც განლაგებული არიან ერთმანეთის მიმართ სარკისებურად, ხოლო მათ პოლუსურ ბუნეკებს შორის საჰაერო ღრეჩოში მოვათავსებთ არამაგნიტურ დისკოს დიამეტრალურად განლაგებული აღმზნები კოჭებით, მაშინ მივიღებთ ცნობილ გენერატორს [29].

მაგნიტოგამტარის კონფიგურაცია ისეთია, რომ მაგნიტის მაგნიტური ძაღწირები განთავსებულია მაგნიტოგამტარში და შეკრულია მხოლოდ იმ კოჭების მეშვეობით, რომლებიც იმყოფებიან გენერატორის პოლუსებს შორის.

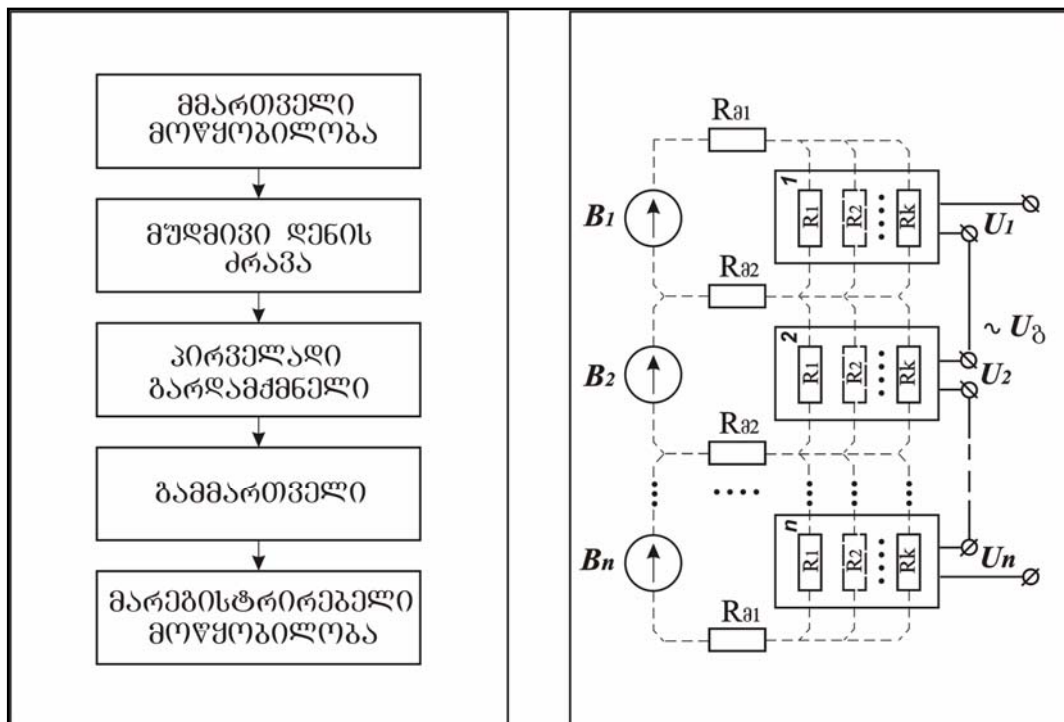
გენერატორის ასეთ შესრულებას აქვს თავისებურებანი:

1. მაგნიტური ველის იძულებით იკვრება მაგნიტის გარეშე;
2. მოქმედების დროს ადგილი აქვს  $B$  და  $S$  ერთდროულ ცვლილებას;
3. მაგნიტის ენერგიას ემატება მზრუნავი სხეულის ენერგია, ვინაიდან გამომავალი სიგნალი დამოკიდებულია ბრუნვის სიჩქარეზე.

ცნობილი გენერატორის გამომავალი სიგნალი მცირე სიმძლავრისაა. დავადგინეთ, რომ სიგნალის სიმცირე დამოკიდებულია ძირითადად მაგნიტის მაგნიტური ველის სიდიდეზე, მაგნიტოგამტარის გაბარიტულ ზომებზე, პოლუსური ბუნუკების და აღმზები კოჭების განთავსების მაქსიმალურად შესაძლო რაოდენობაზე და მაგნიტური ენერგიის დაკარგვის მინიმიზაციაზე.

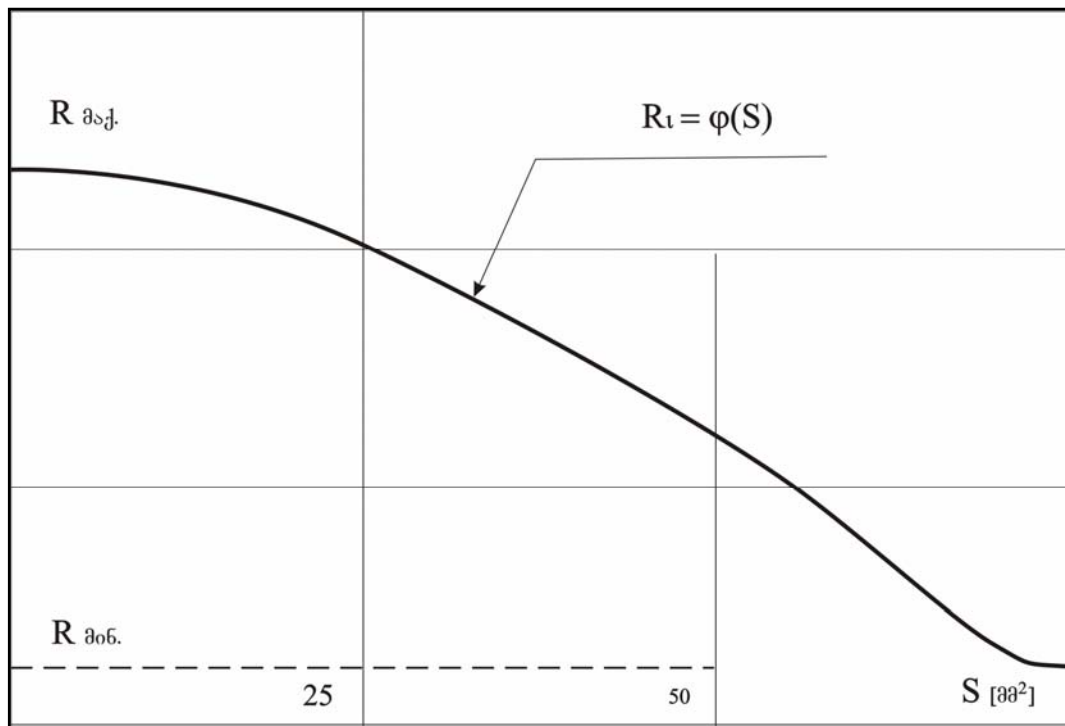
ამ თვალსაზრისით მიზანშეწონილად მივიჩნით გამოგვეკვლია ზემოთ აღნიშნული ტიპის გენერატორის გამომავალი სიგნალის სიმძლავრის გაზრდის გზები კონსტრუქციული სიახლის შემოტანის მეშვეობით.

მაგნიტოგამტარის ბუნიკებს შორის საჭაერო ღრეჩოში შესაძლებელია მოვათავსოთ ორი (ნახ. 4.4 და 4.5), სამი (დანართი 3, ნახ. დ3.1



ნახ. 4.6

ნახ. 4.7



ნახ. 4.8 გენერატორში გამოქენებული მაგნიტის ზედაპირული პოტენციალის განაწილება

და დ.3.2. ა და ბ შესრულების ვარიანტები) ან რამდენიმე სიმეტრიულად განლაგებული ალგმზნები კოჭებით შემდგარი არამაგნიტური დისკოები, და მათ შორის განვითავსოთ იგივე მასალისაგან დამზადებული მაგნიტოგამტარები, მაშინ მივიღებთ გენერატორების სხვადასხვა კონსტრუქციებს. განსხვავება მდგომარეობს არა მარტო არამაგნიტური დისკოების რიცხვში, არამედ მაგნიტების განთავსების ხერხშიც.

კერძოდ, თუ ტოროიდალური ფორმის მაგნიტების დამაგნიტების ველი თანხვედნილადაა მიმართული (ნახ. 4.4), მაშინ ორივე მაგნიტის მაგნიტური ძალწირები ერთმანეთს “ეჯახება” გენერატორის შუა ადგილზე მდებარე მაგნიტოგამტარში, მხოლოდ გარე, ბუნუკების შემცველ მაგნიტოგამტარებში, თანხვედნილადაა მიმართული. მაგნიტების ასეთი განთავსება იძლევა საშუალებას გავზარდოთ კოჭებში გამავალი მაგნიტური ძალწირების რიცხვი, რაც აისახება გამომავალი სიგნალის სიდი-

დეზე. თუ კი მაგნიტების დამაგნიტების ველი საწინააღმდეგოდაა მიმართული (ნახ. 4.5), მაშინ ორივე მაგნიტის მაგნიტური ძალწირები თან- ხვდენილადაა მიმართული გენერატორის შუა ადგილზე მდებარე მაგნიტოგამტარში, მხოლოდ გარე, ბუნუკების შემცველ მაგნიტოგამტარებში თანხვდენილადაა მიმართული. ამ შემთხვევაში ორივე მაგნიტის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველები დამოუკიდებლად მოქმედებენ აღმზნებ კოჭებზე, და ამიტომ გამომავალი სიგნალი იზრდება თითქმის ორჯერ, ვინაიდან მოსალოდნელია შუაში მდებარე მაგნიტოგამტარის გაჯერება. ამას თუ დავუმატებთ იმას, რომ ერთი და იგივე პოლუსის მაგნიტების ტორსების ერთმანეთთან განთავსება ერთი ღერძის გასწვრივ პრაქტიკულად შეუძლებელია, ვინაიდან განზიდვის ძალები არ იძლევა ამის საშუალებას, მაშინ შეიძლება დავასკვნათ, რომ ასეთი ტიპის გენერატორის აგება იქნება დაკავშირებული პრაქტიკულ სირთულეებთან.

მე-4 დანართში (ნახ. დ.4.2, დ.4.3) მოყვანილი სამი ტოროიდალური ფორმის მაგნიტიდან შემდგარი გენერატორების შედგენის ხერხიდან გამომდინარეობს, რომ ზემოთ მოყვანილი ორი ტოროიდალური ფორმის მაგნიტისაგან შემდგარ გენერატორებთან შედარებით გაცილებით მეტი კომბინაციის შესაძლებლობა არსებობს. ეს გარემოება იძლევა სხვადასხვა გამომავალი სიმძლავრეების მიღების საშუალებას.

## 4.2. გენერატორის მაკეტის მოქმედების ფუნქციონალური სქემა

ნახ. 4.6-ზე მოყვანილია გენერატორის ფუნქციონალური სქემა.

უძრავ მდგომარეობაში გენერატორი (ნახ. 4.4) არ გამოიმუშავებს ე.მ.ძ.-ს. მისი იძულებითი მოძრაობა მოხერხდება გარე ძალების მეშვეობით. მაგალითად, მუდმივი დენის ძრავით, რომლის ბრუნვის სიჩქარე შეგვიძლია ვარეგულიროთ კვების ბლოკით ან მმართველი მოწყობილობით. ვინაიდან აღმზნები კოჭა ახდენს გარე მაგნიტური ველის ნაკადის დიფერენცირებას, ხოლო ნაკადი ხან იზრდება, ხან კი

კლებულობს, მაშინ გამომავალი სიგნალი ორპოლარული იქნება. ამიტომ ამ სიგნალის გამართვა აუცილებლობას წარმოადგენს, რაც შესრულებულია ორნახევარპერიოდული გამმართველით. სიგნალის ამპლიტუდა ფიქსირდება მარეგისტრირებელი მოწყობილობით.

#### 4.3. გენერატორის გამომავალი სიგნალის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა

ორ მეზობლად განლაგებულ მაგნიტოგამტარებს შორის, რომელთაგანაც ერთ-ერთს რვა იდენტური პოლუსური ბუნუკი აქვს, ხოლო მეორე წარმოადგენს ერგვაროვან დისკს, მოვათავსოთ რვა აღმზნები კოჭას შემცვლელი დისკო (ნახ. 4.2). ცხადია, რომ ყველა რვა კოჭაში ერთდროულად აღიმგრება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი ე.მ.ძ., ვინაიდან პოლუსები და კოჭების რაოდენობა ერთნაირია. მაშასადამე ჯამური ე.მ.ძ. იქნება ერთ კოჭაში აღმრული ე.მ.ძ.-ის ნამრავლი რვაზე. ამ სისტემას დავუმატოთ მეორე რვა აღმგზნები კოჭას შემცვლელი დისკო და მეორე, პირველის მიმართ იდენტურ, მაგრამ სარკისებურად დამზადებულ მეორე რვა პოლუსური ბუნუკის მქონე მაგნიტოგამტარს. მიღებული სისტემა იძლევა საშუალებას თითქმის ორჯერ გავზარდოთ გამომავალი სიგნალი.

იმ შემთხვევაში, როცა დისკოებში განვითავსებთ აღმგზნები კოჭების ნაკლებ რაოდენობას, მაგალითად, ექვსს, მაშინ მაგნიტოგამტარები რვა ბუნუკებს ორი საპირისპირო პოლუსის ქვეშ შორის აღმოჩნდება არანაკლებ ორი აღმგზნები კოჭა. ამ შემთხვევაში მაგნიტური ველი სწრაფად გადანაწილდება გარე მაგნიტოგამტარში, ვინაიდან სხვა საჭაერო ღრეჩოში მაგნიტურ ძალწირებს დიდი წინაღობა აწყდება. ცხადია, რომ მაგნიტური სისტემის მოძრაობისას, საპირისპიროდ განთავსებულ კოჭებში აღმრული ე.მ.ძ. დროში არ ემთხვევა ერთმანეთს, მაგრამ გადანაწილებული მაგნიტური ძალწირების ნაკადის სიმკვრივე პოლუსურ ბუნუკებს შორის განთავსებულ აღმგზნებ კოჭაში იზრდება

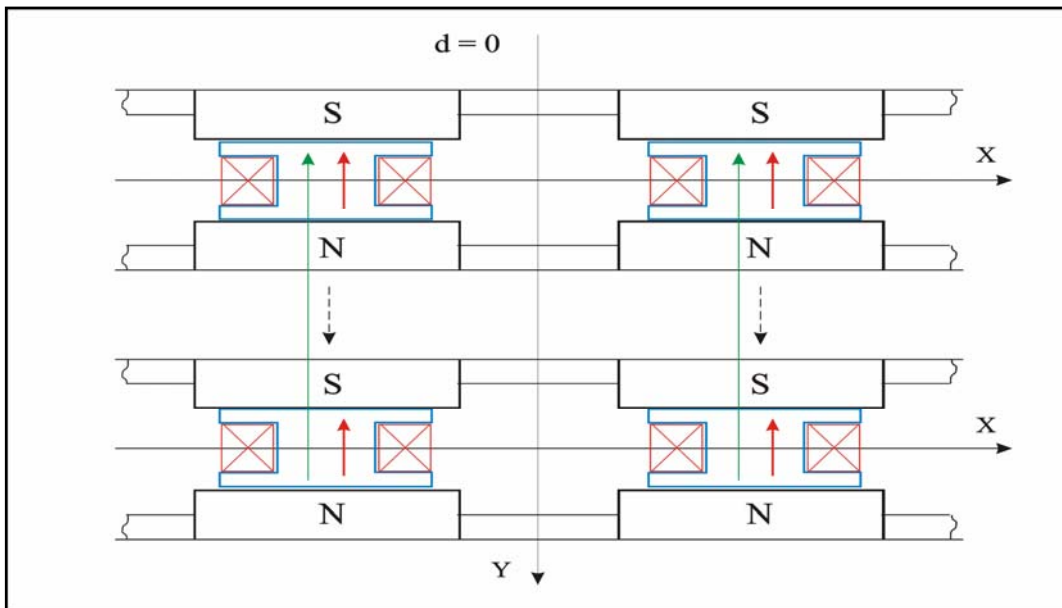
და ამიტომ თითოეულ კოჭაში დროის ერთეულში მეტი ენერგია გამომუშავდება.

გენერატორის ჩანაცვლების სქემა მოყვნილია ნახ. 4.7-ზე. ენერგიის წყარო (მუდმივი მაგნიტი) ჩანაცვლებულია დენის წყაროთი. ორი იდენტური მაგნიტოგამტარის წინაღობა ამ სქემაზე მიმდევრობით არის ჩართული, ვინაიდან წარმოადგენენ მაგნიტური ველის გამტარს და გამანაწილებელს, ხოლო კოჭები წარმოადგენილია როგორც ცვლადი მაგნიტური წინაღობა ( $R_1-R_6$ ). კოჭების პარალელური შეერთება პირობითია. შესაძლებელია კოჭების მიმდევრობითი და კომბინირებული შეერთება. ცილინდრული ფორმის გამტარები (იხ. დანართი 3, ნახ. დ. 3.5.), რომელზეც დახვეულია კოჭები ლითონისაგან არის დამზადებული. ვინაიდან ნაკადშემბის ცვლილება განაპირობებს ე.მ.ძ.-ს სიდიდეს, ამიტომ ადგილი აქვს ცილინდრული ფორმის გამტარის მაგნიტური წინაღობის ცვლილებას ( $R_{აქ}-R_{მინ}$ ) ნახ. 4.7ბ. ექვს კოჭიან გენერატორში, როცა პოლუსების რიცხვი რვის ტოლია, ორი საპირისპირო კოჭის მაგნიტოგამტარის წინაღობა ერთმანეთის ტოლია, ხოლო სხვები (წყვილ-წყვილად) იცვლიან თავის მნიშვნელობას და როცა აღწევენ უმცირეს მნიშვნელობას, მაშინ ე.მ.ძ. უდიდესია.

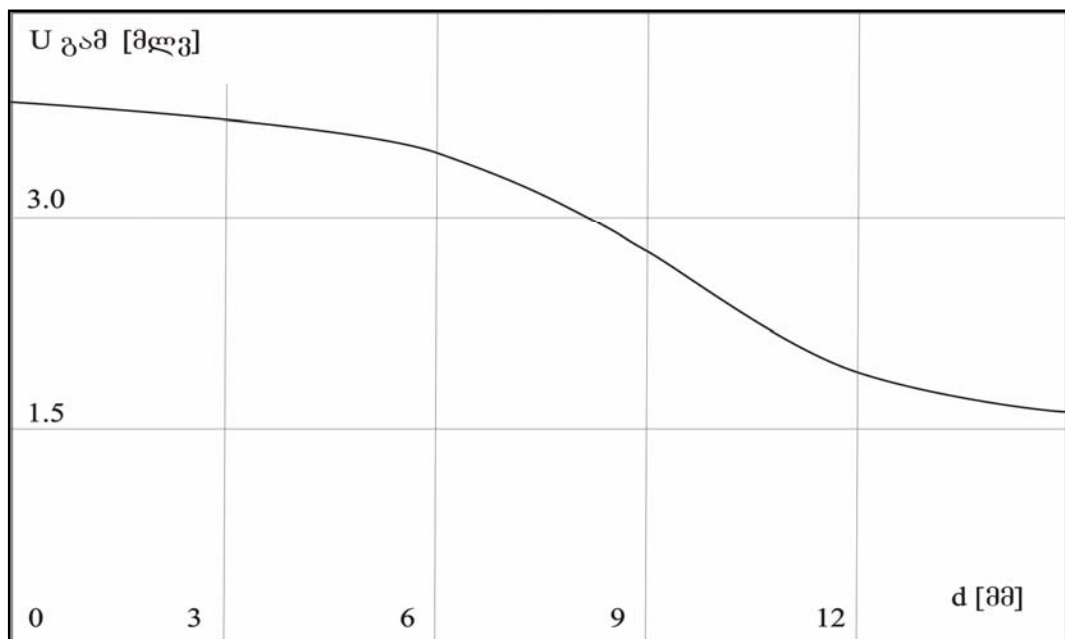
გენერატორში გამოყენებული მაგნიტის ზედაპირული პოტენციალის განაწილება შეესაბამება ნახ. 4.8-ზე მოყვანილ გრაფიკს. ტორის ფორმის მაგნიტს, რომელიც დამაგნიტებულია აქსიალურად, არ აქვს ექვიპოტენციური ზედაპირი. მაგნიტის გარეთ და ტორის შიგნით მაგნიტის მაგნიტური პოტენციალი სწრაფად კლებულობს და ტორის ცილინდრში აღწევს 5 მილიტესლას. როცა მაგნიტს მოვათავსებთ ორ მაგნიტოგამტარს შორის (ნახ. 4.5) პოლუსების ბუნუკებზე ველის პოტენციალი ერთნაირია და უდრის 20 მლტლ.-ს, ხოლო მეზობელ ბუნუკებს შორის საჰაერო ღრეჩოში იცვლება 10-დან 15 მლტლ.-მდე (ნახ. 4.9). თუ მაგნიტოგამტარების პოლუსებს ვამოძრავებთ ერთმანეთის



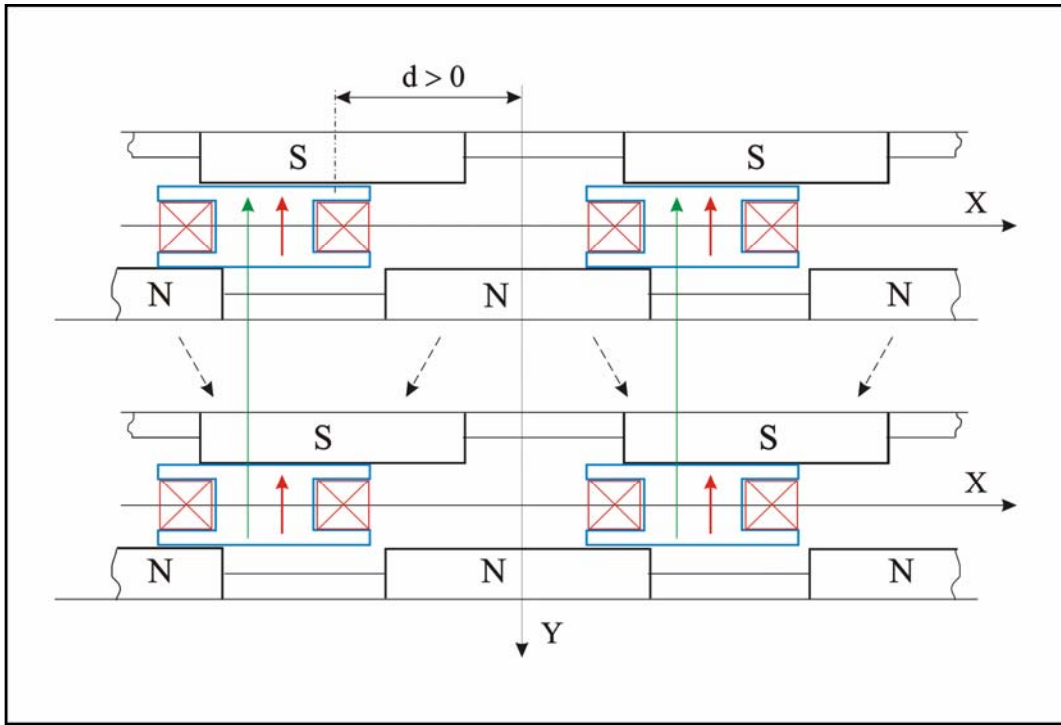
მიმართ, მაშინ მაგნიტური ველის სურათი შეიცვლება (ნახ. 4.10). ველი გახდება



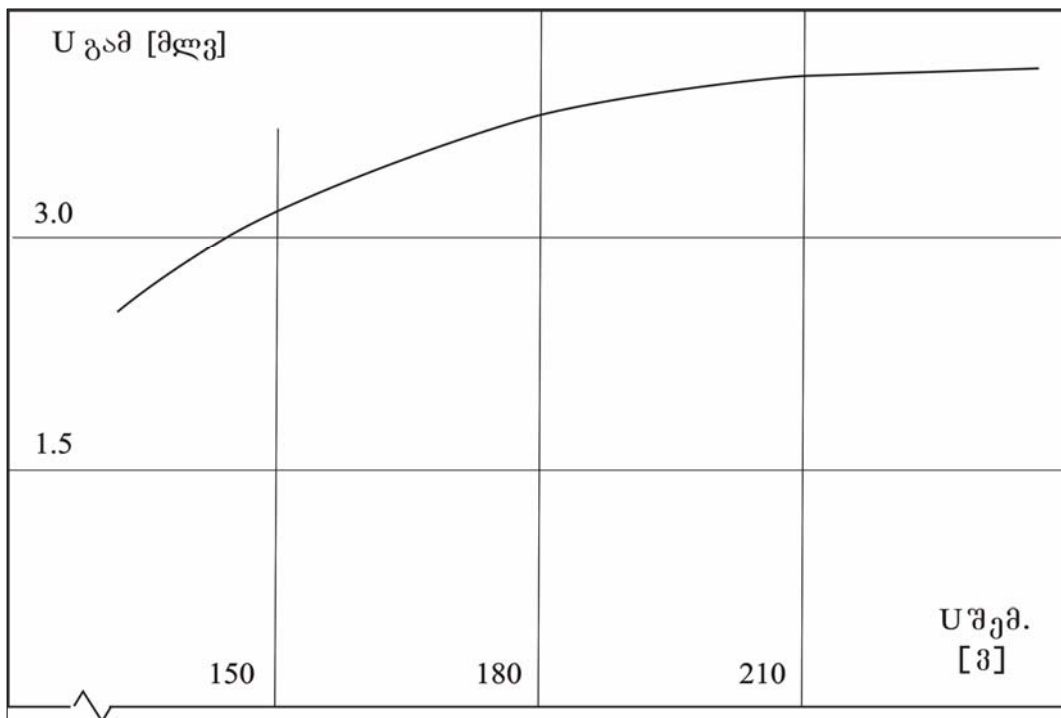
ნახ. 4.9. გენერატორის მაგნიტური გულარის ბუნებებს შორის ველის გადანაწილება როცა  $d=0$



ნახ. 4.10. გენერატორის გამომავალი სიგნალის ცვლილება მაგნიტური გულარის ბუნუკებს შორის მანძილის ცვლილებისას



ნახ. 4.11 ექსპერიმენტალური გამომავალი მახასიათებელი ელექტრომაგნიტის გამჭოლი ნაკადის ინტენსიობის შემცირებისას



#### ნახ. 4.12 ექსპერიმენტული გამოცხადი მახასიათებელი ბრუნთა რიცხვის გაზრდისას

ერთგვაროვანი, ხოლო მაგნიტური ძალწირები გადანაწილდებიან მეზობლად მდებარე პოლუსებს შორის.

იმ შემთხვევაში, როცა გენერატორი ერთი და იგივე კუთხური სიჩქარით ბრუნავს, ხოლო სარკისებურად განლაგებულ ორ მაგნიტოგამტარის პოლუსების ცენტრებს შორის მანძილს ვცვლით  $d$  სიდიდით, მაშინ იცვლება კოჭებში აღძრული ე.მ.ძ., რაც შეესაბამება სინამდვილეს. ჩვენ ვამცირებთ გამჭოლი ნაკადის ინტენსივობას ე.ი. მცირდება აღძრული ე.მ.ძ. (ნახ. 4.11). იგივე მიზეზით მცირდება ე.მ.ძ.-ის სიდიდე ბრუნთა რიცხვის შემცირებისას (ნახ. 4.12).

#### 4.4. შედეგი IV თავის მიხედვით

1. შემოთავაზებულია მრავალფენოვანი ადვილად გადასაწყობადი ერთნაირი ან განსხვავებული რაოდენობის იდენტური კოჭებისაგან შედგენილი ელექტრული გენერატორის აგების პრინციპი.
2. გენერატორის ორიგინალობა მდგომარეობს იმაში, რომ მაგნიტური ველის ნაკადი იკვრება არა ტოროიდალური ფორმის და აქსიალურად დამაგნიტებული მაგნიტის შიგნით, არამედ გარეთ. ეს იძლევა დიდი რაოდენობის აღმგზნები გრაგნილების განთავსების საშუალებას გარეთ გატანილ მაგნიტურ პოლუსებს შორის.
3. დადგენილია, რომ შემოთავაზებული გენერატორის კონსტრუქციაში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას რამდენიმე ფენოვანი უძრავი კოჭებით შედგენილი და არამაგნიტური მასალისაგან დამზადებული დისკოები. ასეთი გადაწყვეტია იძლევა საშუალებას მაქსიმალურად გამოვიყენოთ მბრუნავი ნაწილის მიერ განვითარებული კინეტიკური ენერგია, ხოლო აღმგზნები კოჭების შეერთების მიხედვით გენერატორი ჩავრთოთ ან როგორც დენის ან როგორც ძაბვის წყარო.

4. დამუშავებული გენერატორი შეიძლება გამოყენებულ იქნას არა მარტო უქმად მოძრავი ნაწილების მექანიკური ენერჯის გარდასაქმნელად (როლგანგები, ქარის აგრეგატები, რკინიგზის და ავტომობილის ბორბლები და სხვა), არამედ მას შეუძლია შეასრულოს სპეციალური ამოცანები. მაგალითად, იმპულსების მრავალარხიანი მიწოდება მანქანის ანთების ან მართვის ავტომატიზირებულ სისტემაში კომპუტატორის უკონტაქტო ჩართვისას.

## დასკვნა

1. ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების კლასიფიკაციის საფუძველზე დადგენილია, რომ მაგნიტოგამტარის გარეშე დამზადებული ურთიერთინდუქციური იპგ-ებიდან ძირითადად განიხილება გარდამქმნელები მოძრავი პროფილირებული კოჭებით. ეს გარდამქმნელები დამზადების მხრივ ტექნოლოგიურია, პრაქტიკულია, შეუძლიათ იმუშაონ წარმოების მძიმე პირობებში და ტექნიკური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლებით არ ჩამოუვარდებიან ამავე ტიპის ისეთ საზღვარგარეთულ ნიმუშებს, როგორებიც არიან ინდუქტოსინები და აკუპინები.
2. განხილულია ელექტრომაგნიტური ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების აგების ფიზიკური საფუძვლები და კონსტრუირების ზოგადი პრინციპები. ამ პრინციპების გამოყენებით (ურთიერთინდუქციურობის ცვლილებაზე დაყრდნობით) ჩატარებულია იპგ-ების კლასიფიკაცია კონსტრუქციული ნიშნის მიხედვით.
3. ცდომილებების წყაროების კლასიფიკაციის საფუძველზე გააანალიზებულია იპგ-ების ძირითადი და დამატებითი ცდომილებების წყაროების წარმოშობის მიზეზები და მათი შემცირების გზები, და დინამიური ცდომილებების წარმოშობის წყაროები. მოყვანილია გარდამქმნელის საერთო ცდომილების გამოსათვლელი გამოსახულება.  
გამოკვლევებით დადგინდა, რომ ურთიერთინდუქციურობის მნიშვნელოვანი ცვლილება და, მაშასადამე, მგრძნობიარობის გაზრდა მიიღწევა პროფილირებული გრაგნილების ტოპოლოგიის ან ხვიათარიცხვის ცვლილებით.  
ხაზოვანი გადაადგილების ბრტყელპარალელური ფორმის პროფილირებული გრაგნილებით აღჭურვილ იპგ-ში მგრძნობიარობა შეადგენს 30[მვ/მმ], ხოლო მოცულობითი (კერძოთ,სფერული) ფორმის

- იპგ-ში (პირობითი რვიანის სახით დახვეულ გამზომი გრაგნილებით) საშუალოდ – 15 [მვ/°].
4. დასაბუთებულია, რომ მაგნიტური ენერჯის გამოყენებით მიზანშეწონილია შეიქმნას სხვადასხვა სახის და დანიშნულების გარდამქმნელები. სფერული, ღრუ ცილინდრული და ტოროიდალური (მართკუთხა კვეთის მქონე) ფორმის კონფიგურაციის მაგნიტებისათვის ჩატარებულია მაგნიტური ველის ინდუქციის განაწილების გამოკვლევა მაგნიტის ზედაპირზე და მის გარემოცვაში. მიღებული შედეგების გათვალისწინებით ჩამოყალიბებულია ახალი ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელების აგების ფიზიკური საფუძვლები.
  5. მოყვანილია ურთიერთინდუქციურობის გამოსათვლელი ფორმულები. მიღებულია მოცულობითი ფორმის კოაქსიალურად განლაგებულ ორ ღრუ სფერულ ზედაპირზე შეთავსებული ცენტრებით შიგა და გარე სფეროზე განთავსებული პირველის პარალელურ სიბრტყეებზე ერთმანეთის მიმართ წანაცვლებული, ხოლო მეორის უდიდესი რადიუსის მქონე ნახევარკალური ფორმის კონტურებს შორის ურთიერთინდუქციურობის გამოსათვლელი განზოგადოებული ფორმულა, რომელიც, ერთის მხრივ, იძლევა გარდამქმნელის სტატიკური მახასიათებლის დადგენის საშუალებას, ხოლო მეორეს მხრივ საშუალოდ 1,5 ჯერ ზრდის მგძნობიარობას. დამატებითი ხვების შემოტანით გარდამქმნელის მაქსიმალურმა მგძნობიარობამ შეადგინა 27 [მვ/°] .
  6. დამუშავებულია კუთხური სიჩქარის სამკოორდინატული ინდუქციური ნახევარსფერული ფორმის პირველადი გარდამქმნელის მოქმედების პრინციპი რადიალურად დამაგნიტებული სფერული ფორმის მუდმივი მაგნიტით, რომელიც უზრუნველყოფს ერთდროულად სამი გალვანურად დამოუკიდებელი სიგნალის მიღებას.
  7. მწკრივში განლაგებული რადიალურად დამაგნიტებული ღრუ ცილინდრული და პრიზმული ფორმის მაგნიტების გამოყენების საშუალებით

8. განხილულია ამ მაგნიტებისაგან შემდგარი ბრტყელპარალელური სისტემის დინამიური რხევების დემფირების საშუალებები.
9. მოყვანილია ელექტრომაგნიტის გულარით დაკავშირებული რადიალურად დამაგნიტებული და ბრუნვის უძრავი ღერძის მქონე დრუცილინდრულ და პრიზმისებურ მაგნიტებზე მოქმედი ძალების თავისებურებები და იმპულსური მართვის ხერხები.
10. შედგენილია მოძრაობის განტოლება, რომელიც ითვალისწინებს ძირითად მოქმედ ფაქტორებს. ნაჩვენებია, რომ სისტემაში დამატებითი მოკლედჩართულ ხვიათა მართვის შეტანა და დამატებითი მართვის განხორციელება ადემფირებს გარდამავალი პროცესის რხევებს და ამცირებს როგორც რხევების რიცხვს, ისე მათ ამპლიტუდას, ხოლო, აქედან გამომდინარე - ამცირებს “დამშვიდების” დროს მართვის ზემოქმედების მოხსნის შემდეგ.
 

დასაბუთებულია სისტემის უნარი შეინარჩუნოს ხედური ინფორმაცია მექანიკური ზემოქმედების მოხსნის შემდეგ. შემოთავაზებულია კვების მცირე სიმძლავრის მრავალფენოვანი ერთნაირი ან განსხვავებული რაოდენობის იდენტურად დამზადებული კოჭებისაგან შედგენილი გენერატორის აგების პრინციპები მეორადი ელექტრონული გარდამქმნელებისათვის.
10. დადგენილია, რომ იპგ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მრეწველობის მძიმე პირობებში არა მარტო ტექნოლოგიური პარამეტრების კონტროლისათვის, არამედ ტექნოლოგიური რეჟიმების გასაწყობად ამცი და უკუკავშირის არხის შესაქმნელად.
11. გარდამქმნელების აგების პრინციპებიდან გამომდინარე დამუშავებულია რეალურ დროში მომუშავე მოქმედი მაკეტები:
  - ა) უკონტაქტო ნახევარსფერული ფორმის სამკოორდინატული მაკონტროლებელი გარდამქმნელი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს

- ადგილმდებარეობის, კუთხური სიჩქარის, დინამიური მბრუნავი მომენტის და სხვა სახის პირველად გარდამქმნელად;
- ბ) უკონტაქტო ორხედური ინდიკატორი გაფართოებული ფუნქციურ შესაძლებლობებით რომელიც: ამცირებს ელექტროენერგის, მაგნიტური ფხვნილის და ხვიების მავთულის ხარჯს ახალი სქემოტექნიკური გადაწყვეტილების მეშვეობით;
- გ) მცირე სიმძლავრის გენერატორი, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას არა მარტო უქმად მოძრავი ნაწილების მექანიკური ენერჯის გარდასაქმნელად (როლგანგები, ქარის აგრეგატები და სხვა მოძრავი ღერძების), არამედ სპეციალური ამოცანების შესასრულებლად. მაგალითად, იმპულსების მრავალარხიანი მიწოდებისას ავტომობილის ათების სისტემაში ან კომუტატორის უკონტაქტო ჩართვისას მართვის ავტომატიზირებულ სისტემაში.



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Осадчий Е.П., Тихонов И.И. и др. Проектирование датчиков для измерения механических величин. - М. Машиностроение, 1980 г. с.480.
2. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. – Киев: Виша школа. 1980 г., с. 170-211.
3. Андрущук В.В. Магнитная запись в прецизионных датчиках скорости и угла. Изв. вузов. Электротехника. 1975 г. №12, с. 1121-1228.
4. Долбаещеков А.К., Ломаев Г.В., Мерзляев Ю.М. Тахометр на основе эффекта Барклауза. //Измерительная техника, 1975 г., №7, с. 54-55.
5. Ломаев Г.В., Мерзляев Ю.М. Тахогенератор с частотно-импульсным датчиком, основанном на эффекте Барклауза. // Приборы и системы управления. 1975 г., №5.
6. Левшина Е.С., Новицкий П.В.Электрические измерения физических величин. М. Энергоатомиздат, 1983 г., с. 390.
7. Алексеев Н.К.Класификация и сравнение датчиков углового положения ротора. В сб. электрические машины и аппараты. Чебоксары, 1976 г., №5, с.3-19.
8. Нинидзе К.В., Ивашкевич Э.Д. и Лабадзе О.С. Способ безконтактного измерения скорости подвижного объекта и устройство для его осуществления. А.С. СССР 823204. – Оpub. в Б.И., 1987 г., №15.
9. Солых В.Я. и др Измерительные преобразователи контроля и рекомендация в числовом программном управлении станками.- ЦНИИТЭН приборостроения, 1974 г., с. 69.
10. Преобразователи с распределенными параметрами для автоматики и информационно-измерительной техники. Запиров М.Ф. – М. Энергия. 1969., с. 177.
11. Белый В.И. Вопросы теории, расчета и проектирования электромагнитных преобразователей нелнейной магнитной цепью и распределенными параметрами. - Ульяновск. 1969 г., с. 277.
12. Расчет и испытания систем с постоянными магнитами. Коган-Далин В.В., Комаров Е.В. - М. Энергия. 1977 г., с.247.
13. Электрическое моделирование. - Тетельбаум И.М. М., Физматгиз, 1959 г., с. 319.
14. ლაბაძე ო., ცერცვაძე მ., კუბლაშვილი გ., მანჯავიძე პ., ხაზოვანი და კუთ ხური გადაადგილებების ურთიერთინდუქციური პირველადი გარ-დამქმნელების ცდომილებების ანალიზი. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. 9, 2005 წ. გვ. 152-158.
15. Андреев Э.В. Исследование технологических погрешностей индуктосина. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – М.: МИРЭА, 1971 г.

16. Разработка и исследование первичных преобразователей перещеня Рук. этапа. Лабадзе О.С. Отчет о НИР, ГР № 81044222, Инв. №0284.0066494. Тбилиси: ИСУ АН ГССР, 1984г. 135 с.
17. Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин. Перевод с немецкого. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.
18. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – Киев: Вища школа, 1976 г. – 430 с.
19. Лабадзе О.С., Талахадзе В.А., Габисония Г.В., Гвилава В.И. Взаимоиндуктивные перичные преобразователи линейных перемещений для систем автоматического управления станками. Материалы школы передового опыта “Применение систем автоматического регулирования при обработке металлов резанием”. ДСП. – Выборг, СКТБ “ГАЛС”, 1985 г., с.32 – 33.
20. Срибнер Л.А. Точность индуктивных преобразователей перемещений..– М.: Машиностроение, 1975 г. – 105 с.
21. Лабадзе О.С., Талахадзе В.А., Гвилава В.И., Церетели К.Н. Об одном принципе построения инвариантного по частоте тока возбуждения первичного преобразователя перемещению. АН ГССР, ИСУ, Труды XXV:1. Теория и устройства систем управления. Тбилиси, Мецниереба, 1987, с. 189-200.
22. Андреев Ю.А., Абрамзон Д. Преобразователь тока для измерения без разры - ва цепи.– Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1979. – 144 с.
23. Куликовский Л.Ф., Зарипов М.Ф. Индуктивные преобразователи перемещений с распределенными параметрами. – М.-Л.: Энергия, 1966 г., с. 72.
24. Измерительные преобразователи с частотным выходом: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 1991. 61 с.
25. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы.– Киев: Вища школа, 1980 г. – 557 с.
26. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений. Пер. с нем. - М. Энерго- атомиздат, 1988 г. – 88 с.
27. Корицкий А.В., Сафонов Л.Н., Алексеев В.С., Суриков А.М. Вопросы теории линейного индуктосина. Труды МИРЭА. М.: Изд.: , МИРЭА , вып. 62, 1979 г., с.34-36.
28. Воднев В.Т., Наумович А.Ф., Наумович Н.Ф. Математический словарь высшей школы: Общ. часть. Под ред. Богданова Ю.С. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. –57 с.
29. ლაბაძე ო. მექანიკური პარამეტრების ახალი უკონტაქტო ელექტრო- მაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების აგების პრინციბის დამუშავება. სადოტორო დისერტაცია. 2003 წ., გვ.176, 214-216.
30. ლაბაძე ო., მანჯავიძე პ. ინდუქციული სამკოორდინატული გადამწოდი. ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი

31. Саломатин В.И. Бесконтактные измерители линейных и угловых скоростей. - М.: Энергия, 1974. -152с.
32. Богданова Н.А. Разработка и исследование измерительных преобразователей с постоянными магнитами. -Уфа, 1975. -123с.
33. Степанов Н.Н. Сферическая тригонометрия. 2 изд., Л.— М., 1948;
34. Калантаров М.Н. Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. (Справочная книга). – Энергоатомиздат, 1986г.
35. ლაბაძე ო., ცერცვაძე მ., კუბლაშვილი გ., მანჯავიძე პ. ურთიერთინდუქციურობა კუთხური გადაადგილების სამკოორდინატულ ნახევარსფერულ პირველად გარდამქმნელში. საქართველოს მეცნ. აკად. მოამ- ბე. 1 (ტომი 156). 1997წ. გვ. 90-93.
36. ლაბაძე ო., კუბლაშვილი გ., მანჯავიძე პ. ცერცვაძე მ.. “მართვის სისტემებისათვის ახალი ელექტრომაგნიტური ურთიერთინდუქტოტევადური პირველადი გარდამქმნელის შექმნა და კვლევა, თეორიული საფუძვლებისა და აგების პრინციპების დამუშავება”. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტი. სამეცნიერო კვლევების ანგარიში. თბილისი, 26.12.1997 წ., - 74 გვ.
37. ლაბაძე ო., ცერცვაძე მ., კუბლაშვილი გ., მანჯავიძე პ. ურთიერთინდუქციურობა შეუღლებულუბნებიან ბრტყელპარალელურ ამოზნექილ კონტურებს შორის. საქართველოს მეცნ. აკად. მოამბე. 3 (ტომი 157). 1998წ. გვ.462-465.
38. ლაბაძე ო., ცერცვაძე მ., კუბლაშვილი გ., მანჯავიძე პ. წესიერი მოცულობითი ფორმის გარდამქმნელების ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლის და ზუსტებული მეთოდი. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. 6, 2002წ. გვ. 109-113.
39. Лабадзе О.С., Манджавидзе П.Ш. Полусферический трёхкоординатный индукционный первичный преобразователь угловых перемещений. Всероссийская конференция с участием зарубежных специалистов. ”Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления” ” ДАТЧИК 2004, с.127-128.
40. Лабадзе О.С., Манджавидзе П.Ш., Церцвадзе М.З., Кублашвили Г.Ш. Концепция развития взаимоиндуктивных первичных преобразователей для систем управления. Международная конференция РСРЕ-2004. Институт систем управления АН Грузии им.А.Элиашвили. 2004 г., №8, с.221-225.
41. ლაბაძე ო. საერთო ცენტრის მქონე სფერული ფორმის გარსებზე განთავსებული ნახევარწერტიური რკალების

42. ლაბაძე ო, მ.ცერცვაძე, პ.მანჯავიძე. ურთიერთინდუქციურობა საერთო ცენტრის მქონე წრიულ და სფერულ ზედაპირებზე ბრტყელპარალელურად განლაგებულ ნახევარწრეწირულ კონტურებს შორის. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. №9, 2005 წ. გვ. 165-167.
43. Поляничко А.Л. Индикатор. А.С. СССР 466524.–Опуб.в Б.И. №17, 1975 г.
44. Поляничко А.Л., Поляничко О.Л., Шаульский А.В., Шикирявый В.К. и Душко Р.С. Индикатор. А.С. СССР 647707.– Опуб. в Б.И. №6, 1979 г.
45. Поляничко А.Л., Шаульский А.В., Поляничко Ю.А. Матричное индикаторное устройство. А.С. СССР 940215. – Опуб. в Б.И. №24, 1982 г.
46. Патент США 4825205. Опуб. Р.Ж. "Изобретение стран мира", №2, выпуск 120, 1990 г.
47. Василюк П.П., Корпенко В.В., Левченко Е.Н., Кинк А.Э. Сульженко Г.Н. Табло. А.С. СССР 873267. – Опуб. в Б.И. №38, 1981 г.
48. Ласло Ягиша, Шандор Иодал и Иозеф Мандшу (ВНР). Устройство для многоцелевой индикации. А.С. СССР 427536.– Опуб. в Б.И. №17, 1975 г.
49. Патент Японии 1-22620. Опуб. Р.Ж. "Изобретение стран мира", №2, выпуск 120, 1990 г.
50. Акопян Г.Р., Лабაძე ო.С. Индикатор. Патент РФ 2024960.– Опуб. в Б.И. №24, 1994 г.
51. აკოპიანი გ., ლაბაძე ო.საქართველოს პატენტი 601.ინდიკატორი. გამოქვეყნებულია გამოგონებათა ოფიციალურ ბიულეტენში. 1, 1997წ.
52. ლაბაძე ო., აკოპიანი გ., ლაბაძე გ., მანჯავიძე პ., აკოპიანი ნ. ინდიკატორი. ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი” პატენტი 1624 განცხადებულია 08.05.1996 წ., გამოქვეყნებულია 29.01.1999 წ., სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური საიფორმაციო ბიულეტენი 1999წ., 1(41) გვ.52-53.
53. ლაბაძე ო., პ.მანჯავიძე. უკონტაქტო ორხედური ინდიკატორის აგების ფიზიკური საფუძვლები. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. 1999წ. გვ. 109-112.
54. ლაბაძე ო., მანჯავიძე პ., ცერცვაძე მ. “მართვის სისტემებისათვის მრავალკონტურიანი გარდამქმნელების შექმნა და კვლევა, თეორიული საფუძვლებისა და აგების პრინციპების დამუშავება მუდმივი მაგნიტის ენერჯიის გამოყენებით”. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტი. სამეცნიერო კვლევების ანგარიში. თბილისი, 26.12. 2000 წ., 124 გვ.

55. ლაბაძე ო., მანჯავიძე პ. ერთ სიბრტყეში მწკრივად განლაგებულ მაგნიტებზე დინამიური ძალების მოქმედების ანალიზი. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. 5, 2001 წ. გვ. 95-97.
56. ლაბაძე ო., მანჯავიძე პ. ინდიკატორი. ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი” პატენტი 3220. განცხადებულ- ღია 16.01.2002 წ., გამოქვეყნებულია 10.09.2003 წ., სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური საიფორმაციო ბიულეტენი 2003 წ., 17, გვ. 12 .
57. ლაბაძე ო., აკოპიანი გ., ლაბაძე გ., აკოპიანი ნ.. ორმხრივი ინდიკატორი. ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი “საქპატენტი” პატენტი 1242. განცხადებულა 20.05.1993 წ., გამოქვეყნებულია სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური საიფორმაციო ბიულეტენში 1997 წ., 10.
58. Васильев А.П., Фримтштейн М.И. Управление движением на автомобильных дорогах.– М.: Транспорт, 1979 г., с. 176-178.
59. Суорц К. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Э. Пер. с англ. В 2-х т.Т.1.– М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1986.- 400 с. (с.382-385).
60. Яворский Б.М., Детлаф А.А.Справочник по физике для инженеров и студентов вузов.– М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1965.-822 с. (с.267-272).
61. Нейман Л.Р., Демирчян К.С.Теоритические оснивы электротехники. Т.1. – Л.:Энергоиздат, 1981 г., с. 536.
62. Методы и средства измерений. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П.– М.: Издатель-ский центр «Академия», 2003. – 336 с.
63. Гусев Г.Г., Дубинин В.В., Кургузов В.В. и др. Исследование цепи при нали-чии переменных индуктивных связей в отсутствие потерь. - Труды Москов- ского энергетического института, 1979, вып.432, с.40-43.
64. Алиев И.К., Гусев Г.Г., Медников Б.А. Математическая модель управления устройством обратимой передачи электромагнитной энергии. – Труды Московского энергетического института, 1983, вып.618, с.32-37
65. Минц М.Б. Развитие теории, методов расчета и конструирования и промышленная реализация магнитоэлектрических измерительных устройств высокой чувствительности. Автореферет докторской диссертацию Киев, 1987 г., (28-29 с.),- 40 с.
66. Алексеев А.Г., Корнев А.Е.– Магнитные эластомеры. Изд-во «Химия», 1987г., с. 168-172
67. Крагальский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ.– М.:1977г.
68. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. - М.:1977г.

69. მანჯავიძე პ. მწკრივში განლაგებული მაგნიტების იძულებითი მობრუნებით გამოჭედილი დინამიური რხევების დემფირების სავალეების ანალიზი. საქართველოს მეცნ. აკად. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომები. 9, 2005 წ., გვ.168-171.
70. ლაბაძე ო., მანჯავიძე პ., გვიკნაძე შ. ორპოზიციური დინამიური ობი-ექტის უკონტაქტო მართვის პრინციპები, თავისებურებანი და პრობლე მები. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “ინფორმაციული ტექ-ნოლოგიები მართვაში,” ITC`07, საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 10-12.2007წ., ტომი 1, გვ.65-70.
71. Савельева Г.П. и др. Постоянные магниты. Справочник. Пер. с английского, п/р Казарновского. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963 г.
72. Белевцев А.Т. Постоянные магниты в приборостроении.– М. 1966 г.
73. Балагуров В.А. Постоянные магниты. – М. 1972 г.
74. Альтман А.Б. и др. Постоянные магниты. Справочник. Под ред. Пятина Ю.М. - М., «Энергия», 1971, 376 с.
75. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я. Магнитные кристаллы в технике. - М., «Знание», 1974, 62 с.
76. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. XIУ Всесоюзное совещание (Москва, сентябрь, 1972 г.) . Рефераты докладов. М., «Наука», 1972 г., 404 с.
77. Ураксеев М.А. Анализ и синтез функциональных элементов систем управления с распределёнными магнитными параметрами. Автореферат докторской диссертации. - Москва, 1980 г., 48 с.
78. Зайнутдинова Л.Х. Разработка и исследование магнитоупругих монолитных трансформаторных преобразователей механических усилий. Автореферат кандидаткой диссертации. - Уфа, 1980 г., -24 с.
79. Аркольд Р.Р. Расчёт и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами.– М., Энергия, 1969 г.
80. Лабაძე ო.ს., აბურჯანია ი.შ. Метод оптимизации топологии магнитопровода первичного измерительного преобразователя с постоянным магнитом. // Измерительная техника. – 1992 г №11, с. 50-51.
81. Лабაძე ო.ს., აბურჯანია ი.შ., გვილავა ვ.ი. К вопросу расчета магнит-ных систем со стационарными полями. АН Грузии, труды ИСУ, 1997 г., с. 73-75.
82. Исследование электромагнитных первичных преобразователей угловых перемещений и влияние топологии магнитопровода на однородность и интенсивность магнитного поля в воздушном зазоре. Отчет о НИР, ГР №01.86.0012124, Инв. №02.8.90047367. Тбилиси: ИСУ АН ГССР, 1989. Рук. темы Лабაძე ო.ს.

დ ა ნ ა რ თ ი      1

ურთიერთინდუქციის გამოთვლის ძირითადი პროგრამები  
გარდაქმნელის გამომავალი მახასიათებლის დასადგენად და  
სტაციონალური მაგნიტური ველის ინდუქციის გამოთვლის ბლოკ-  
სქემა

დანართი 1.1

შრტიმერთინდუქციურობის გამოთვლის პროგრამები  
დანართი 1.1.1  
შრტიერთინდუქციურობის გამოთვლისათვის კოაქსიალურ  
ნახევარწრეწირულ რკალებს შორის

```
DECLARE FUNCTION simps2!(a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION simps1!(fi1!, a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION f1!( fi1!, fi2!)

DIM SHARED d, R, delt, mu0, alpha, halpha, n, PI

PI = 3.141592
d = 0
R = .038
delt = .73
mu0 = 1.2566E-06
alpha = 0
n = 10
CLS
FOR i = alpha TO alpha + PI STEP PI / 18
  rez = simps2(i, i+ PI, n) * mu0 * delt * R * R / 4 / PI
  PRINT USING "Alpha=####.### M1=#.####^^^"; I /
PI * 180; rez
NEXT i
END

FUNCTION f1 (fi1,fi2)
  f1 = COS(fi2 - fi1) / SQR(d * d + R * R * ((1 + delt *
delt) - 2 *
delt * COS(fi2-fi1)))
END FUNCTION

FUNCTION simps1 (fi1, a, b, n)

s = 0
s1 = 0
s2 = 0
```



```
s = f1(fi1, a)+ f1(fi1, b)
h = (b - a) / 2 / n
```

```
FOR i = 1 TO 2* n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s1=s1 * 4
```

```
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s2 = s2 * 2
```

```
s = (s + s1 + s2) * h / 3
```

```
simps1 = s
```

```
FUNCTION simps2 (a, b, n)
```

```
END FUNCTION
```

```
s = 0
s1 = 0
s2 = 0
```

```
s = simps1(a, 0, PI, n) + simps1(b, 0, PI, n)
h = (b - a) / 2 / n
```

```
FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1+simps1(a + h * i, 0, PI, n))
NEXT i
s1 = s1 * 4
```

```
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + simps1(a + h * i, 0, PI, n))
NEXT i
s2 = s2 * 2
```

```
s = (s + s1 + s2) * h / 3
```

```
simps2 = s
```

```
END FUNCTION
```

ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლისათვის სიმეტრიის ღერძის მიმართ მოზრუნებულ ნახევარწრეწირულ რკალებს შორის

```

DECLARE FUNCTION simps2!(a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION simps1!(fi1!, a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION f1!( fi1!, fi2!)
DIM SHARED d, R, delt, mu0, alpha, n, PI
DIM SHARED betha

PI = 3.141592

d = 0
R = .038
delt = .73
mu0 = 1.2566E-06
alpha = 0
n = 10

CLS

FOR betha = 0 TO PI / 2 STEP PI / 18
  rez = simps2(0, PI, n) * mu0 * delt * R * R / 4 / PI
  PRINT USING "Betha =###.### M2=#.###^ ^^";
betha / PI * 180; rez
NEXT betha
END

FUNCTION f1 (fi1,fi2)
  f1 = COS(fi1) * COS(fi2) + SIN(fi1) * SIN(fi2) *
COS(betha) / SQR(d * d + R *
R * (1 + delt * delt - 2 * delt * COS(fi1) * COS(fi2) *
COS(betha) + SIN(fi1) *
SIN(fi2)) - 2 * R * d * COS(fi2) * SIN(betha)))
END FUNCTION

FUNCTION simps1 (fi1, a, b, n)

s = 0
s1 = 0
s2 = 0

s = f1(fi1, a)+ f1(fi1, b)
h = (b - a) / 2 / n

FOR i = 1 TO 2* n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s1=s1 * 4

```

```

FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + f1(fi1,a + h * i)
NEXT i
s2 = s2 * 2

s = (s + s1 + s2) * h / 3

simps1 = s
END FUNCTION

FUNCTION simps2 (a, b, n)

s = 0
s1 = 0
s2 = 0

s = simps1(a, 0, PI, n)+simps1(b, 0, PI, n)
h = (b - a) / 2 / n

FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1+simps1(a + h * i, 0, PI, n)
NEXT i
s1 = s1 * 4
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + simps1(a + h * i, 0, PI, n)
NEXT i
s2 = s2 * 2

s = (s + s1 + s2) * h / 3

simps2 = s

END FUNCTION

```

ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლისათვის წანაცვლებულ  
ღერძებიან რკალებს შორის

```

DECLARE FUNCTION simps2!(a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION simps1!(fi1!, a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION f1!( fi1!, fi2!)
DIM SHARED d, R, delt, mu0, alpha, n, PI
DIM SHARED betha

PI = 3.141592
d = 0
R = .038
delt = .73
mu0 = 1.2566E-06
alpha = 0
n = 10

CLS
FOR betha = 0 TO PI * 2 STEP PI / 18
    rez = simps2(PI / 4, 3 / 4 * PI, n, n) * mu0 * delt * R *
R / 4 / PI
    PRINT USING "Gamma =###.### M3=#.###^^^";
betha / PI * 180; rez
NEXT betha
END

FUNCTION f1 (fi1,fi2)
    f1 = COS(fi1) * COS(fi2) * COS(betha) + SIN(fi1) *
SIN(fi2) / SQR(d * d + R *
R * (1 + delt * delt - 2 * delt * COS(fi1) * COS(fi2) +
SIN(fi1) *SIN(fi2)) *
COS(betha)) - 2 * R * d * COS(fi2) * SIN(betha)))
END FUNCTION

FUNCTION simps1 (fi1, a, b, n)

s = 0
s1 = 0
s2 = 0

s = f1(fi1, a)+ f1(fi1, b)
h = (b - a) / 2 / n

FOR i = 1 TO 2* n - 1 STEP 2
    s1 = s1 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s1=s1 * 4

```

```

FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + f1(fi1,a + h * i)
NEXT i
s2 = s2 * 2

s = (s + s1 + s2) * h / 3

simps1 = s

END FUNCTION

FUNCTION simps2 (a, b, n)

s = 0
s1 = 0
s2 = 0

s = simps1(a, PI / 4, 3 / 4 * PI, n)+simps1(b, PI / 4, 3 / 4
* PI, n)
h = (b - a) / 2 / n

FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1+simps1(a + h * i, PI / 4, 3 / 4 * PI, n)
NEXT i
s1 = s1 * 4

FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + simps1(a + h * i, PI / 4, 3 / 4 * PI, n)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3

simps2 = s

END FUNCTION

```

ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლისათვის  
ბრტყელპარალელურ ნახევარწრიულ ფირფიტებს შორის

```

DECLARE FUNCTION simps2!(a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION simps1!(fi1!, a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION f1!( fi1!, fi2!)
DIM SHARED bg, d, rls, Rbs, mu0, alpha, n, PI
DIM SHARED p1, p2
DIM SHARED r1(0 TO 3), Rb(0 TO 3)

PI = 3.141592
d = .004
bg= .0015
rls= .026
Rbs = .036
mu0 = 1.2566E-06
alpha = 0
n = 3

CLS
FOR i = 0 TO 3
  rl(i) = rls + i * bg
  Rb(i) = Rbs + i * bg
NEXT I
FOR alpha = 0 TO PI STEP PI / 18
  rez = 0
  FOR p1 = 0 TO 3
    FOR p2 = 0 TO 3
      rez = rez + simps2(0, PI, n)
    NEXT p2
  NEXT p1
  rez = rez * mu0 / 4 / PI
  PRINT USING "Alpha =###.### M4=#.###^~^~";
alpha / PI * 180; rez
NEXT alpha
END

FUNCTION f1 (fi1,fi2)
  f1 = r1(p1) * Rb(p2) * COS(fi1 - fi2) / SQR(d * d +
r1(p1) * r1(p1) + Rb(p2) *
Rb(p2) - 2 * r1(p1) * Rb(p2) * COS(fi1 - fi2))
END FUNCTION

FUNCTION simps1 (fi1, a, b, n)
  s = 0
  s1 = 0
  s2 = 0
  s = f1(fi1, a)+ f1(fi1, b)
  h = (b - a) / 2 / n

```

```

FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s1 = s1 * 4
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3
simps1 = s
END FUNCTION

```

```

FUNCTION simps2 (a, b, n)
  s = 0
  s1 = 0
  s2 = 0
  s = simps1(a, alpha, alpha + PI, n) + simps1(b, alpha,
alpha + PI, n)
  h = (b - a) / 2 / n

```

```

FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + simps1(a + h * i, alpha, alpha + PI, n)
NEXT i
s1 = s1 * 4
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + simps1(a + h * i, alpha, alpha + PI, n)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3
simps2 = s

```

```

END FUNCTION

```

ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლისათვის კოაქსიალურ  
ნახევარცილინდრულ ზედაპირებს შორის

```

DECLARE FUNCTION simps2!(a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION simps1!(fi1!, a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION f1!( fi1!, fi2!)
DIM SHARED bg, d, rls, Rbs, mu0, alpha, n, PI
DIM SHARED p1, p2
DIM SHARED r1(0 TO 3), Rb(0 TO 3)

PI = 3.141592
d = .004
bg= .0015
r11= .026
Rbb = .036
mu0 = 1.2566E-06
alpha = 0
n = 3

CLS
FOR i = 0 TO 3
  R1(i) = i * bg
  Rb(i) = i * bg
NEXT i
FOR alpha = 0 TO PI STEP PI / 18
  rez = 0
  FOR p1 = 0 TO 3
    FOR p2 = 0 TO 3
      rez = rez + simps2(0, PI, n)
    NEXT p2
  NEXT p1
  rez = rez * mu0 / 4 / P
  PRINT USING "Alpha =###.### M5=#.###^ ^ ^ ^";
alpha / PI * 180; rez
NEXT alpha

END

FUNCTION f1 (fi1,fi2)
  f1 = r11 * Rbb * COS(fi1 - fi2) / SQR((r1(p1) - Rb(p2)
) * ( r1(p1) - Rb(p2) + r11 * r11
+ Rbb * Rbb - 2 * r11 * Rbb * COS(fi1 - fi2))
END FUNCTION
FUNCTION simps1 (fi1, a, b, n)
s = 0
s1 = 0
s2 = 0
s = f1(fi1, a)+ f1(fi1, b)

```



$h = (b - a) / 2 / n$

```
FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s1 = s1 * 4
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3
simps1 = s
END FUNCTION
```

```
FUNCTION simps2 (a, b, n)
  s = 0
  s1 = 0
  s2 = 0
  s = simps1(a, alpha, alpha + PI, n) + simps1(b, alpha,
alpha + PI, n)
  h = (b - a) / 2 / n
```

```
FOR i = 1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + simps1(a + h * i, alpha, alpha + PI, n)
NEXT i
s1 = s1 * 4
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + simps1(a + h * i, alpha, alpha + PI, n)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3
```

simps2 = s

END FUNCTION

ურთიერთინდუქციურობის გამოთვლისათვის  
მართკუთხა კვეთის მქონე კოჭებს შორის

```

DECLARE FUNCTION simps2!(a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION simps1!(fi1!, a!, b!, n!)
DECLARE FUNCTION f1!( fi1!, fi2!)
DIM SHARED bg, d, mu0, alpha, n, PI, r11, Rbb
DIM SHARED p1, p2
DIM SHARED r1(0 TO 3), Rb(0 TO 3)
DIM SHARED dk(0 TO 3), cs(0 TO 3)
PI = 3.141592
d = .004
bg= .0015
r11= .026
Rbb = .036
mu0 = 1.2566E-06
alpha = 0
n = 3
CLS
FOR i = 0 TO 3
  r1(i) = r11 + i * bg
  Rb(i) = Rbb + i * bg
  dk(i) = i * bg
  cs(i) = i * bg
NEXT i
FOR alpha = 0 TO PI STEP PI / 18
  rez = 0
  FOR p1 = 0 TO 3
  FOR p2 = 0 TO 3
  FOR p3 = 0 TO 3
  FOR p4 = 0 TO 3
  rez = rez + simps2(0, PI, n)
  NEXT p4
  NEXT p3
  NEXT p2
  NEXT p1
  rez = rez * mu0 / 4 / PI
  PRINT USING "Alpha =###.### M0=#.###^";
alpha / PI * 180; rez
  NEXT alpha
END
FUNCTION f1 (fi1,fi2)
  f1 = r1(p1) * Rb(p2) * COS(fi1 - fi2) / SQR((dk(p3) -
cs(p4) ) * (dk(p3) - cs(p4)) +
  r1(p1) * r1(p1) + Rb(p2) * Rb(p2) - 2 * r1(p1) *
Rb(p2) * COS(fi1 - fi2)
END FUNCTION
FUNCTION simps1 (fi1, a, b, n)
s = 0
s1 = 0

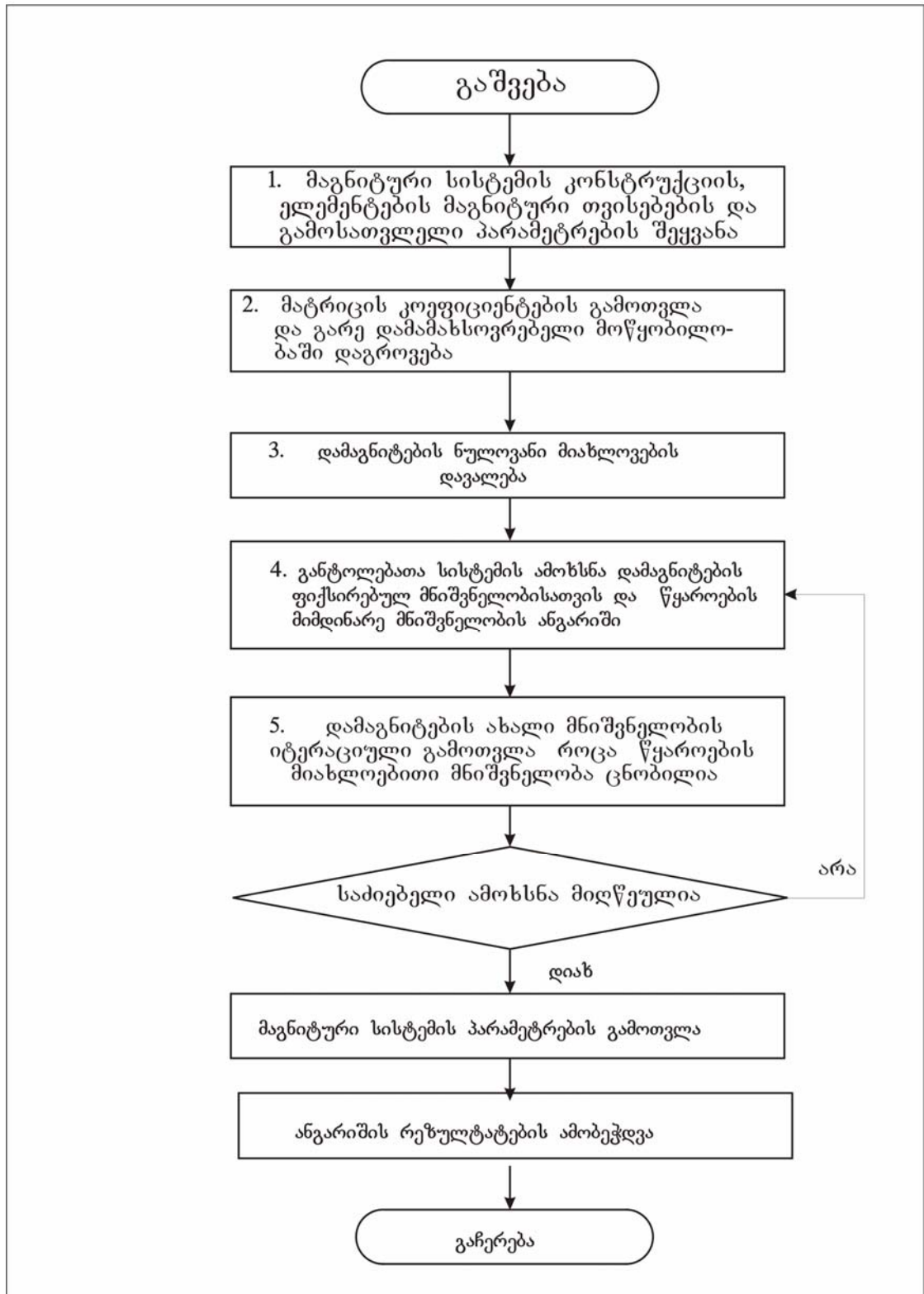
```

```

s2 = 0
s = f1(fi1, a)+ f1(fi1, b)
h = (b - a) / 2 / n
FOR i = 1 TO 2* n - 1 STEP 2
  s1 = s1 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s1=s1 * 4
FOR i = 2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + f1(fi1, a + h * i)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3
simps1 = s
END FUNCTION
FUNCTION simps2 (a, b, n)
s = 0
s1 = 0
s2 = 0
s = simps1(a, alpha, alpha + PI, n)+simps1(b, alpha,
alpha + PI, n)
h = (b - a) / 2 / n
FOR i=1 TO 2 * n - 1 STEP 2
  s1 = s1+simps1(a + h * i, alpha, alpha + PI, n)
NEXT i
s1 = s1 * 4
FOR i=2 TO 2 * n - 2 STEP 2
  s2 = s2 + simps1(a + h * i, alpha, alpha + PI, n)
NEXT i
s2 = s2 * 2
s = (s + s1 + s2) * h / 3
simps2 = s
END FUNCTION

```

### მაგნიტური სისტემის გამოთვლის ბლოკ-სქემა



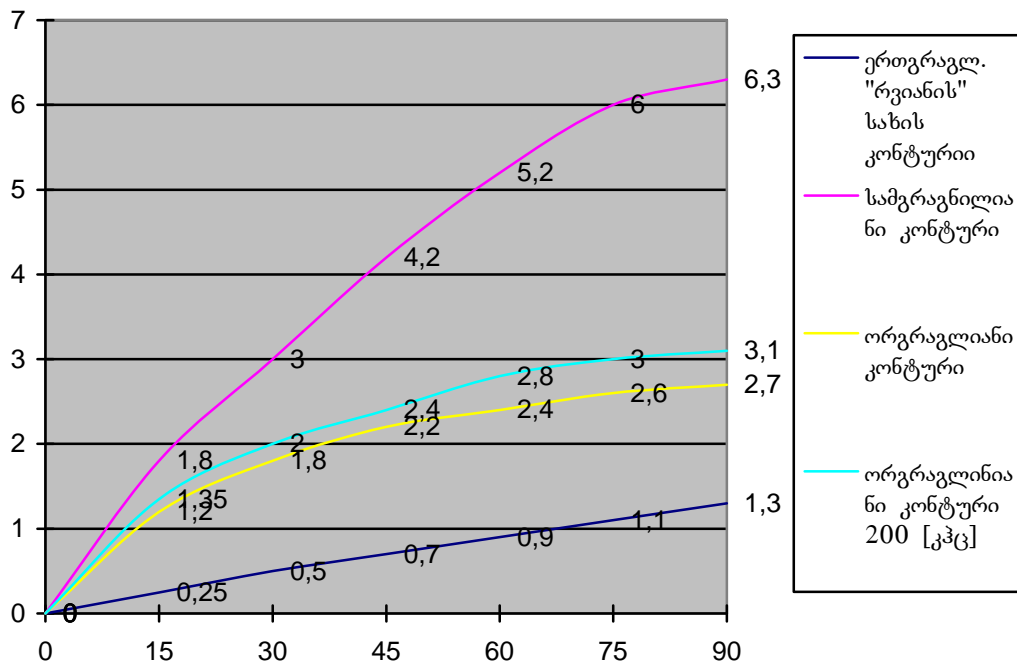
## დანართი 2.

ძირითადი ექსპერიენტალური გამოკვლევების ცხრილები  
და მიღებული მახასიატებლები

ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები

აღმუხნებ გრაგნილზე მოდებული სიგნალის პარამეტრები:

ძაბვა  $U_{შეს.} = 10$  [ვ]  
 სიხშირე  $f_{შეს.} = 80$  [კჰც]

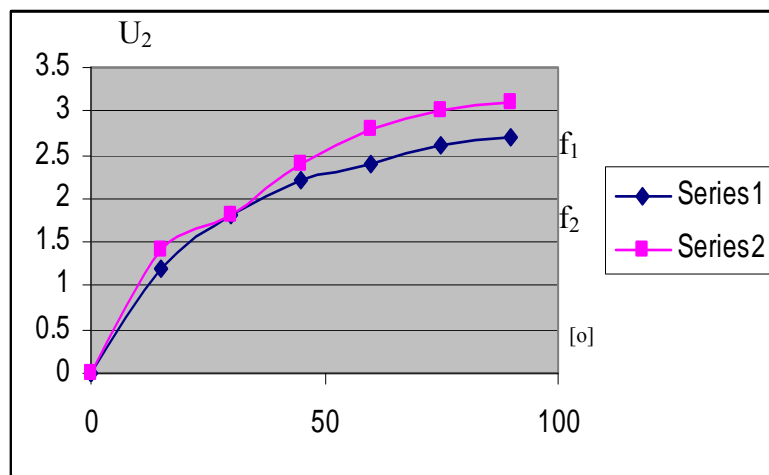


ნახ. დ. 2.1 ერთ- , ორ- და სამ- გრაგლიანი კონტურების ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგები

პირველადი გარდამქმნელის კვების სიხშირის გავლენის  
ექსპერიმენტალური გამოკვლევა

ცხრილი დ.2.1.

მობრუნების კუთხე [o]	აღმგზნებ გრაგნილზე $f_1 = 80[\text{კჰც}]$ ; $U_{\text{შეს}} = 10[\text{ვ}]$	აღმგზნებ გრაგნილზე $f_2 = 200[\text{კჰც}]$ ; $U_{\text{შეს}} = 10[\text{ვ}]$
	გამზომ გრაგნილში მიღებული $U_{\text{გამ.}} [\text{ვ}]$	გამზომ გრაგნილში მიღებული $U_{\text{გამ.}} [\text{ვ}]$
0	0	0
15	1.2	1.4
30	1.8	1.8
45	2.2	2.4
60	2.4	2.8
75	2.6	3
90	2.7	3.1



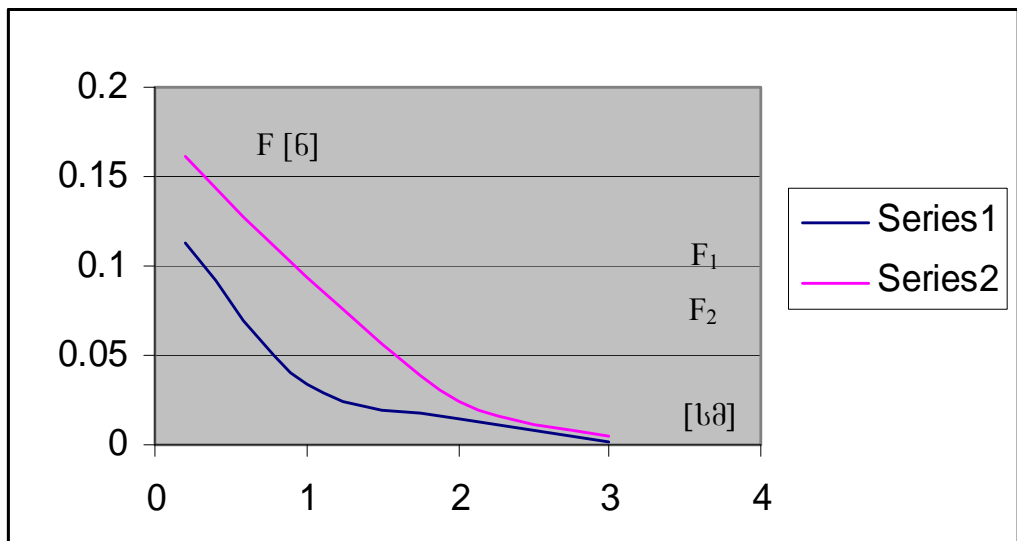
ნახ. დ.2.2. კვების სიხშირის გავლენა გამოძავალ სიგნალის  
სიდიდეზე

დანართი 2.3.

რადიალურად დამაგნიტებული ღრუ ცილინდრული ფორმის  
 მაგნიტების მიზიდულობის ძალის დამოკიდებულება მათ სიმეტრიის  
 ღერძებს შორის მანძილზე

ცხრილი დ.2.2.

დაშორება მაგნიტებს შორის [სმ]	მაგნიტის წონა 3,9 [მლგრ]	მაგნიტის წონა 5,5 [მლგრ]
	ზემოქ- მედების ძალა $F_1$ [ნ]	ზემოქ- მედების ძალა $F_2$ [ნ]
0.2	0.11368	0.1617
1	0.0343	0.0931
2	0.0147	0.0245
3	0.00196	0.0049

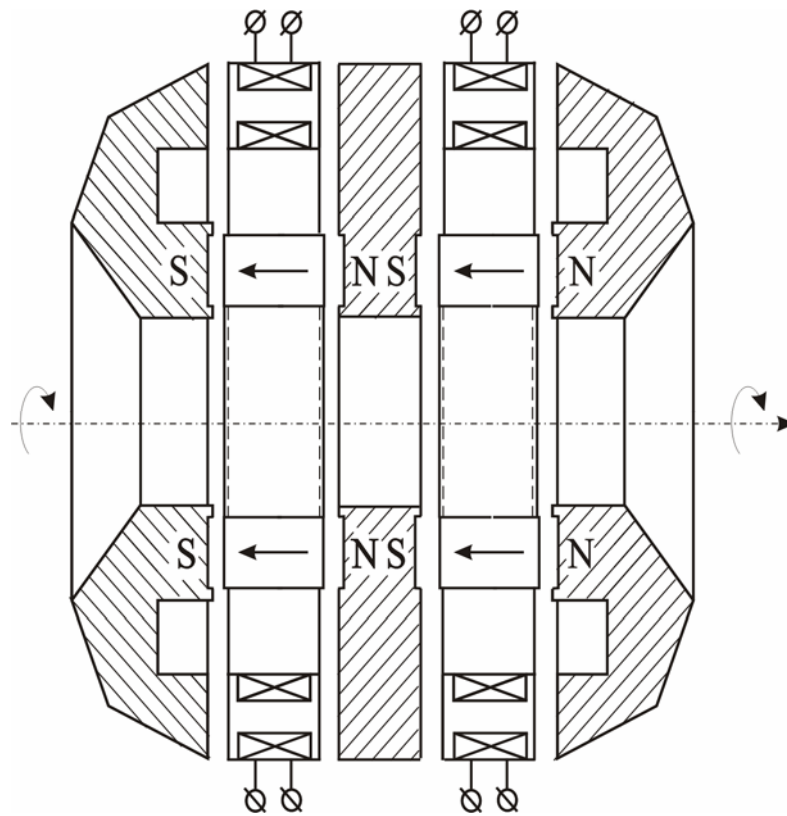


ნახ. დ.2.3. მაგნიტების ურთიერთზემოქმედების დამოკიდებულება მათ ცენტრებს შორის მანძილზე

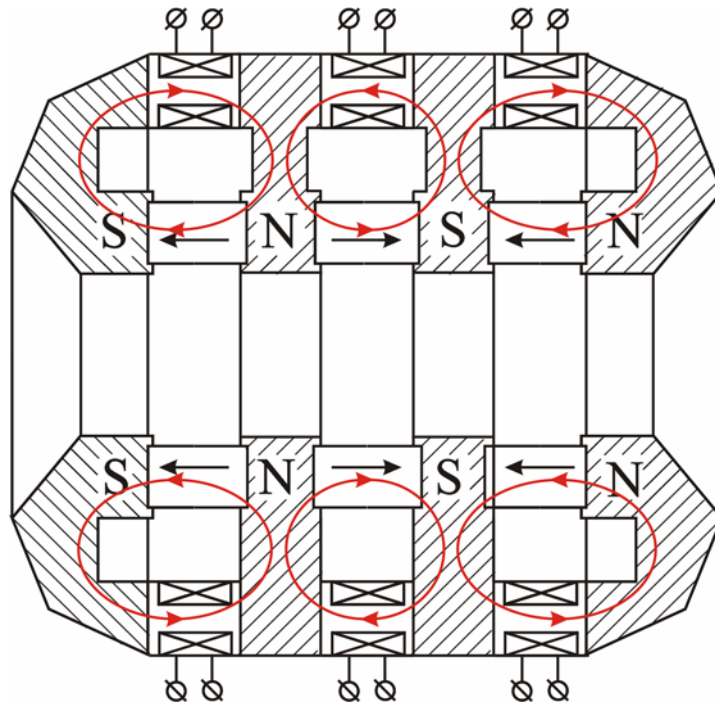


### დანართი 3.

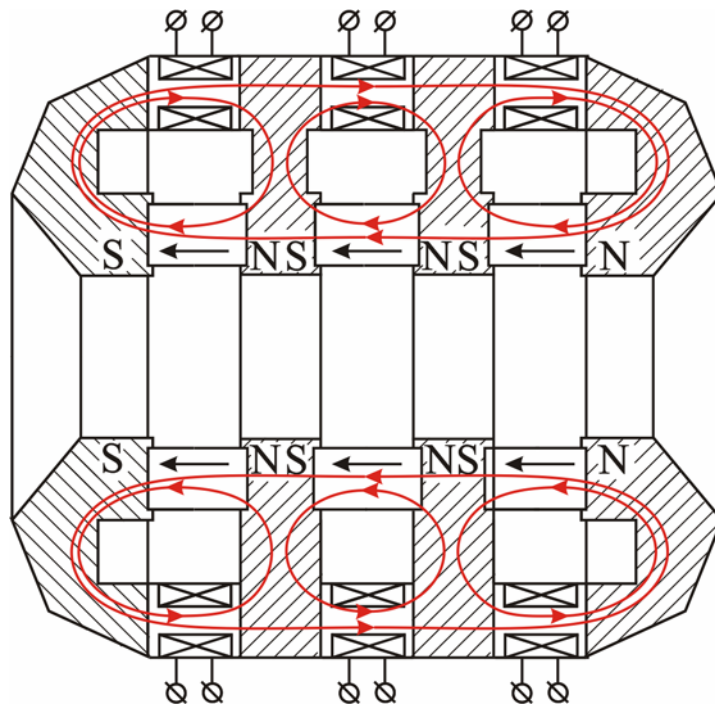
დამუშავებული პირველადი გარდამქმნელების  
კონსტრუქციული თავისებურებანი



ნახ. დ.3.1. ორფენოვანი გენერატორის კონსტრუქცია

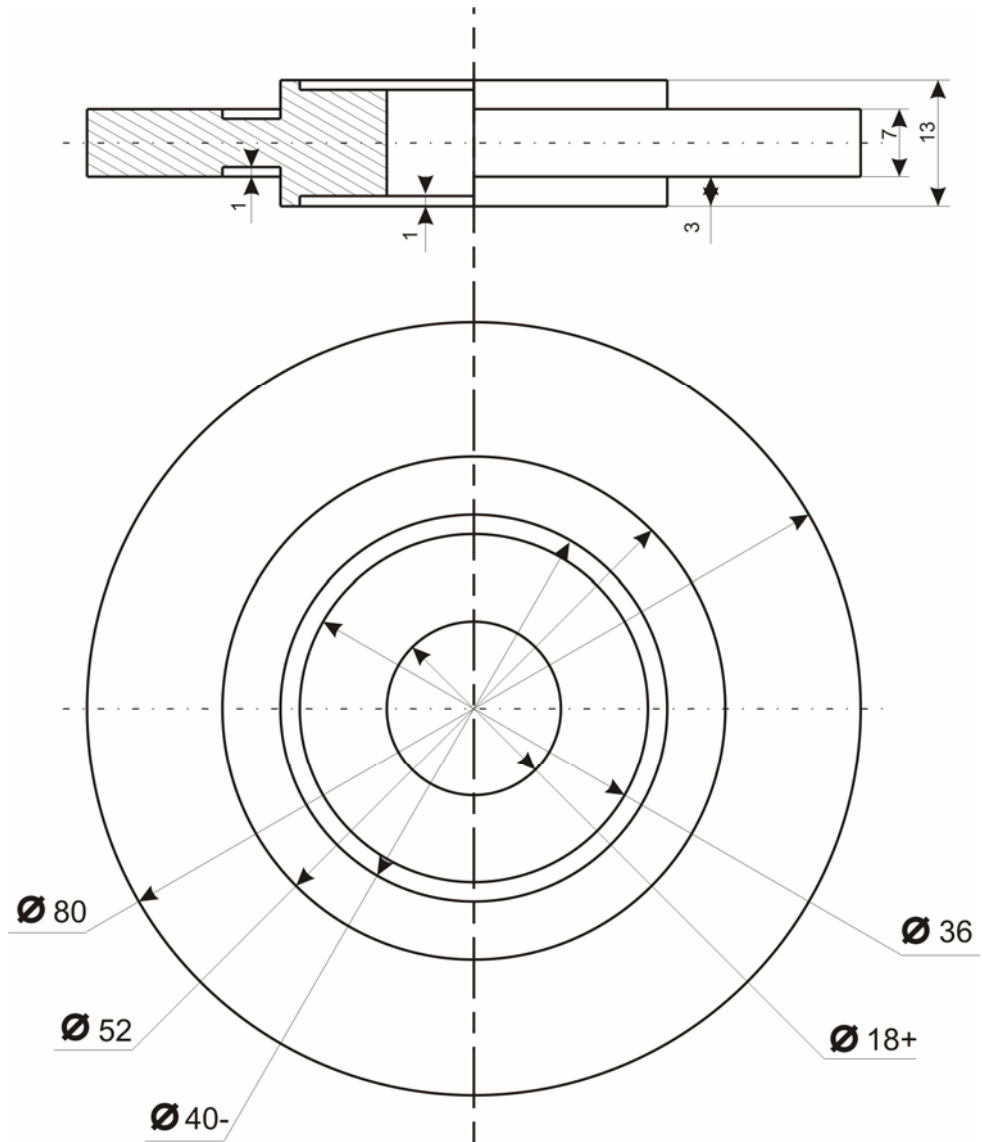


ნახ. დ.3.2. სამფენოვანი გენერატორის კონსტრუქცია (ვარიანტი ა)

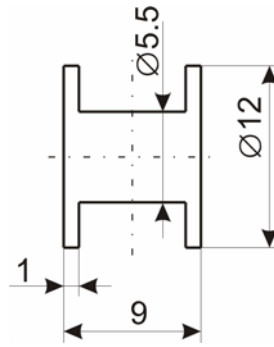


ნახ. დ.3.3. სამფენოვანი გენერატორის კონსტრუქცია

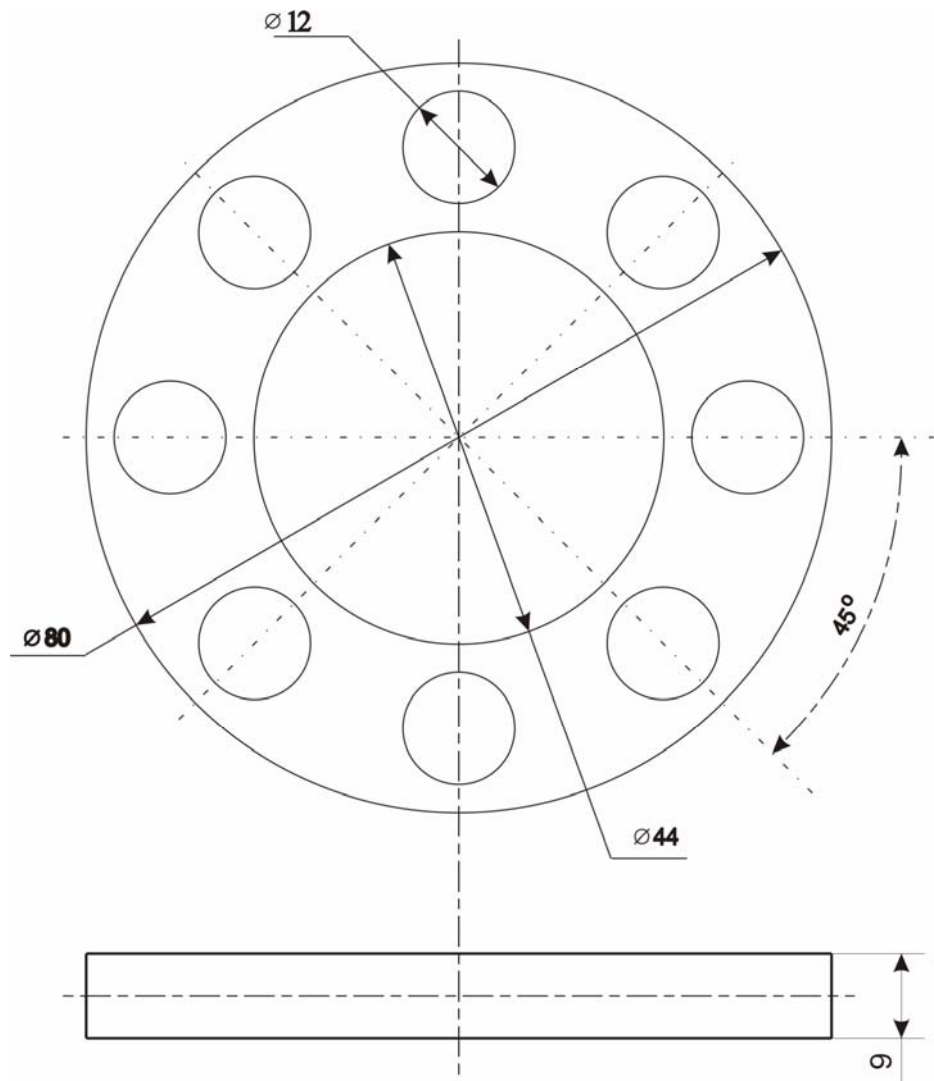
(ვარიანტი ბ)



ნახ. დ.34. გენერატორის ფენებს შორის განთავსებული  
მაგნიტოგამტარის კონსტრუქცია



ნახ. დ.3.5. ელექტრომაგნიტის კოჭის მაგნიტოგამტარი



ნახ. დ.3.6. ფენებში ელექტრომაგნიტური კოჭების განთავსება  
არამაგნიტურ მასალაში (მაგალითად, ტექსტოლიტი)

**დანართი 4.**

დამუშავებული მაკეტების ფოტოსურათები

ინდუქციური სამკორდინატული პირველადი ბარდამქმნელი



ფოტო დ. 4.1.1. განსხვავებული პოლიარობის ნახევარსფერული ფორმის მაგნიტები



ფოტო დ. 4.1.2. სფერული ფორმის მაგნიტი



ფოტო დ. 4.13 გამზომი კონტურები



ფოტო დ. 4.14 ინდუქციური პირველადი გარდამქმნელის



# მაკეტი

დანართი 4.2.

ორკონიციური ინდიკატორის მაკეტი



ფოტო დ. 4.2.1. ინდიკატორის ერთი ხედი



ფოტო დ. 4.2.2. ინდიკატორის მეორე ხედი

დანართი დ. 4.3.

მეორადი გენერატორის მაკეტი

