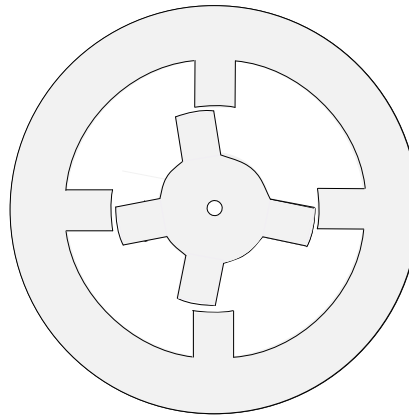
საქართველოს სოფლის მეურნეობის
მეცნიერებათა აკადემია
GEORGIAN ACADEMY OF
AGRICULTURAL SCIENCES

ალექსანდრე დიდებულიძე
გელა ჯავახიშვილი

კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მექატრონული სისტემების გამოყენება სოფლის მეურნეობაში

(რეკომენდაცია)



თბილისი
2024

საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია

GEORGIAN ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES

ალექსანდრე დიდებულიძე
გელა ჯავახიშვილი

კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მექატრონული სისტემების გამოყენება სოფლის მეურნეობაში

(რეკომენდაცია)

თბილისი
2024

UDK (უაკ) 62-752, 633.2.031, 621.31
დ-453

ავტორები:

ალექსანდრე დიდებულიძე – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი

გელა ჯავახიშვილი – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს უნივერსიტეტის პროფესორი

რეცენზენტი:

ედიშერ მიდელაშვილი – ტექნიკის დოქტორი, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის პროფესორი

რედაქტორი:

ჯემალ კაციტაძე – ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი

საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა „აგრო“

ISBN 978-9941-8-7366-9

სარჩევი

ნახაზების ნუსხა..... 4

1. კუთხით რხევითი რეზონანსული ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავების კონსტრუქციების განვითარება 10

2. რეგულირებადი კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავები 30

3. კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავების დრეკადი ელემენტების შერჩევა 38

4. აგრარულ წარმოებაში კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების გამოყენება 45

4.1. მცირე კუთხით რხევითი გადაადგილების ბრუნვით მოძრაობაში გარდამქნელი..... 47

4.2. ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო..... 51

4.3. ღვინომასალის ვიბრაციული დამუშავება 54

4.4. ვიბრაციული ელექტროსაპარსი..... 59

5. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების ექსპერიმენტული კვლევები 61

ლიტერატურა 63

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1-1. კუთხით რხევითი პირველი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა..... 11
ნახ. 1-2. რვაპოლუსიანი კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა [პატენტები 1, 21] 15
ნახ. 1-3. კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავის ჩანაცვლების სქემა..... 17
ნახ.1-4. კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავა დამატებითი პოლუსებით [პატენტი 13] 21
ნახ.1-5. ვიბრაციული ძრავის ძაბვის *U*, დენებისა *i* და მაბრუნი მომენტის *M* ცვლილების გრაფიკები *t* დროის ფუნქციაში..... 25
ნახ. 1-6. სამფაზიანი კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა [პატენტი 7]..... 27
ნახ. 1-7. სამფაზიანი კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავას მართვის ელექტრული სქემა..... 29
ნახ. 1-8. ვიბროძრავის ძაბვებისა U და დენების i დროში t ცვალებადობის გრაფიკები..... 30
ნახ. 2-1. კუთხით რხევითი ოთხპოლუსიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუდმივი დენით შემაგნიტებით [პატენტები 19, 22]..... 32
ნახ. 2-2. მაგნიტური ნაკადის *Φ* დროში *t* ცვალებადობა .. 33
ნახ. 2-3. კუთხით რხევითი რვაპოლუსიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუდმივი დენის შემაგნიტებით [პატენტი 15] 35
ნახ. 3-1. გაჭრილი ზამბარა ხრახნული კილოთი..... 41

ნახ. 3-2. ხრახნული კილოს მქონე სამი გაჭრილი ზამბარისთვის დრეკადობის კოეფიციენტი (სიხისტე) 43
ნახ. 3-3. ზამბარების თავისუფალი რხევების სიხშირეები 44
ნახ. 4-1. კუთხით რხევითი გადაადგილების დაბალსიჩქარიან ბრუნვით მოძრაობაში გარდამქნელი [პატენტი 4]..... 49
ნახ. 4-2. საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის სამთო სოფლის მეურნეობის ინსტიტუტის ხიდური ელექტრიფიცირებული აგრეგატის მუშაობა სოფელ ქანდის სანერგეში 52
ნახ. 4-3. ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო [პატენტი 11]..... 53
ნახ. 4-4. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ბუნკერული დანადგარი კუთხით რხევითი ამგზნებით [პატენტი 9] ... 57
ნახ. 4-5. ვიბრაციული ელექტროსაპარსი [პატენტი 10]..... 60
ნახ. 5-1. საგამოცდო სტენდის ელექტრული სქემა 62

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ვიბრაციული ტექნოლოგიები სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში, რადგან ისინი სამუშაო პროცესების მნიშვნელოვანი გააქტიურების შესაძლებლობას იძლევიან. ამ ტექნოლოგიების ეფექტიანობა დიდწილად განისაზღვრება ვიბრაციული მექატრონული სისტემების ტექნიკური მახასიათებლებით, რაც განაპირობებს ვიბრაციული ძრავების კონსტრუქციების, აგრეთვე მართვის სისტემების მუდმივ გაუმჯობესებას ელექტრომექანიკური ნაწილის ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების დამუშავებისა და მართვაში ელექტრონიკის უახლესი მიღწევების გამოყენების გზით.

ვიბრაციის სისტემებში ელექტრომაგნიტური ტიპის ვიბრაციული ძრავების გავრცელებას ხელს უწყობს მათი უდავო უპირატესობები, რაც მოიცავს მაღალ საიმედოობას, კონსტრუქციის სიმარტივეს და სამრეწველო ელექტრული ქსელიდან მუშაობის შესაძლებლობას. მათი მექანიკური სისტემები, როგორც წესი, ორმასიანი რხევით სისტემებს წარმოადგენენ. მექანიკურ რეზონანსთან ახლო რეჟიმში მუშაობა ქსელიდან მოხმარებული ელექტრული ენერგიის დატვირთვაში მექანიკური ვიბრაციების ენერგიად ძალზე ეფექტიანად გარდაქმნის საშუალებას იძლევა, ხოლო იმ ნაკლოვანებებს შორის, რომლებიც ზღუდავენ ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების ტექნიკური და ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებას, უნდა აღინიშნოს ცვალებადი დატვირთვით

მუშაობისას რეზონანსული რეჟიმის უზრუნველყოფის სირთულე, რაც გავლენას ახდენს რხევითი სისტემის საკუთარ სიხშირეზე, ასევე, საჭიროების შემთხვევაში, ამ სიხშირის დავალებული კანონის შესაბამისად ოპერატიული რეგულირების შეუძლებლობა.

ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების რხევითი სისტემების მუშაობის თეორიას და ვიბრაციული მოწყობილობების შემუშავებას მიეძღვნა მრავალ მეცნიერთა ნაშრომები, მათ შორის აუცილებელია დავასახელოთ აწ გარდაცვლილი მეცნიერების მიხეილ ხვინგიას, ვალერიან მეტრეველის, კონსტანტინე დიდებულიძის, რობიზონ ქსოვრელის, გურამ ბეროზაშვილის, შოთა ნემსაძის და სხვათა ნამუშევრები.

კუთხით რხევით ელექტრომაგნიტურ ვიბრომძრავებში კუთხითი რხევითი მოძრაობა უშუალოდ მიიღება და არაა საჭირო გადაცემის მექანიზმები (დებალანსები, კულისები), რაც ხშირ შემთხვევაში საშუალებას იძლევა ერთ კომპლექსში გავაერთიანოთ შემსრულებელი ორგანო და ვიბრომძრავა. ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავები ხასიათდებიან მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით, რადგან მათში შესაძლებელია ეფექტიანად გამოვიყენოთ ელექტრომაგნიტური და მექანიკური რეზონანსების მოვლენები; მათი მთავარი ნაკლოვანი მხარეა დიდი ლითონტევადობა და შესაბამისად მასა.

ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების გამოყენების დადებითი ეფექტი ძლიერდება,

როდესაც ვიბრაციული ძრავა მექანიკურ რეზონანსთან ახლო რეჟიმში მუშაობს, ხოლო ფერორეზონანსის პირობებში მუშაობისას ეს ეფექტი მკვეთრად იზრდება. სწორედ ასეთი რეზონანსული კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრომაგზნებების სხვადასხვა კონსტრუქციის შექმნა იყო საქართველოს აგრარულ უნივერსიტეტში ჩვენი კოლექტივის (ვ.მეტრეველი, რ.ქსოვრელი, ა.დიდებულიძე, გ.ჯავახიშვილი, ლ.მაისაშვილი, ე.მიდელაშვილი, ა.გასეევი, მ.კუპატაძე, ქ.ჭიპაშვილი და სხვ.) მრავალწლიანი კვლევების მიზანი. აქ განიხილება ამ ვიბროძრავების კონსტრუქციების განვითარების ისტორია, მათი ელემენტების გაანგარიშება, ვიბროძრავების (ვიბრაციის ამგზნებების) მართვა და ის მანქანა-მექანიზმები, რომლებშიც ისინი გამოიყენება.

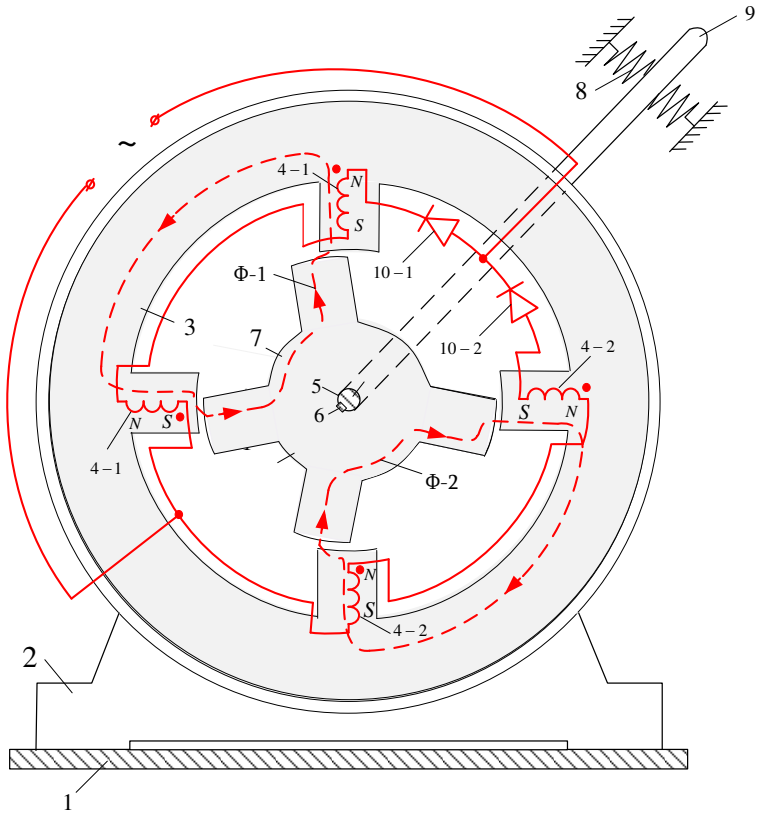
ჩვენი კოლექტივის მიერ დამუშავებული კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავების კონსტრუქციები დაცულია 31 პატენტით ან საავტორო მოწმობით, მათ შორის 1986-1991 წლებში 18 პატენტი იყო გაცემული საზღვარგარეთის 12 ქვეყნისა (ავსტრალია, ამერიკის შეერთებული შტატები, ბრაზილია, გაერთიანებული სამეფო, გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკა, გერმანიის ფედერაციული რესპუბლიკა, ევროკავშირი, ინდოეთი, იტალია, კანადა, რუსეთის ფედერაცია, საფრანგეთი, ფინეთი, ჩეხოსლოვაკია) და ევროკავშირის მიერ. მომზადდა სალიცენზიო პასპორტი და წარმოებდა მოლაპარაკებები ლიცენზიის გაყიდვაზე. ვიბროძრავების საცდელი ნიმუშების დამზადებასთან დაკავშირებულ სამუშაოებს ახორციელებდა

ცხინვალის ქარხანა „ელექტროვიბრომანქანა“ (დირექტორი ამირან გასეევი), მათი ექსპონირება მოხდა ლაიპციგის, ბუდაპეშტის, ბუქარესტის, ხოშიმინისა და მოსკოვის საერთაშორისო ბაზრობებზე. საქართველოს დამოუკიდებლობის აღდგენის შემდეგ, 1994 წლიდან კუთხით რხევით ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ ძრავებზე და ამ ძრავებით აღჭურვილ სასოფლო-სამეურნეო მანქანებზე გაცემულია ჩვენი ქვეყნის 7 პატენტი, დამზადდა რამდენიმე მანქანის საცდელი ნიმუში. პარალელურად მიმდინარეობდა სამუშაოები უკუქცევით წინსვლითი ვიბრატორების, მ.შ. სამფაზიანი ვიბრატორების კონსტრუქციების სრულყოფის მიმართულებითაც, რომლებსაც მიეძღვნება საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის რეკომენდაციების რამდენიმე შემდეგი გამოცემა.

ვიბრაციულ ძრავებთან დაკავშირებული საკითხები შესულია ალექსანდრე დიდებულიძის (1991 წელი), რობიზონ ქსოვრელის (1994 წელი) და გელა ჯავახიშვილის (2006 წელი) ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხის მოსაპოვებელ ნაშრომებში, ლასიკო მაისაშვილის (1990 წელი) და კახა მაჭავარიანის (1999 წელი) ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის მოსაპოვებელ ნაშრომებსა და ედიშერ მიდელაშვილის მიერ 2011 წელს დაცულ სადოქტორო დისერტაციაში.

1. კუთხით რხევითი რეზონანსული ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავების კონსტრუქციების განვითარება

საქართველოს სასოფლო სამეურნეო ინსტიტუტში (ამჟამად: აგრარული უნივერსიტეტი) 1979-1983 წლებში დამუშავებული და ცხინვალის ქარხანა „ელექტროვიბრომანქანაში“ დამზადებული პირველი კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის (ნახ. 1-1) მოქმედების პრინციპი აგებულია იმ ფაქტორზე, რომელსაც ჩვეულებრივ, ბრუნვითი მოძრაობის ელექტრულ მანქანებში ებრძვიან - ღუზის (ან, ელექტრული მანქანების შექცევადობის კანონის გათვალისწინებით, შესაბამისად, სტატორის) მაგნიტური წრედის ექსტრემალური ასიმეტრიის გამოყენებაზე.



ნახ. 1-1. კუთხით რხევითი პირველი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა [პატენტები 18, 26]

ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა (ნახ. 1-1) შედგება ჩარჩოზე 1 თათებით 2 დამაგრებული ოთხპოლუსა სიმეტრიული ცხადპოლუსა სტატორისაგან 3, რომლის პოლუსებზე დახვეულია გრაგნილი - ორი პარალელური შტოთი 4-1, 4-2. სტატორის შიგნით

ლილვზე 5 განთავსებულია ოთხპოლუსა, გარშემოწერილობით არასიმეტრიული, ხოლო სარკისებურად სიმეტრიული ღუზა 7. სიმეტრიის ღერძს წარმოადგენს ჭოკი 9, რომლის ერთი ბოლო დამაგრებულია სოგმანით 6 ლილვზე 5, ხოლო მეორე კი დრეკად ელემენტებზე 8.

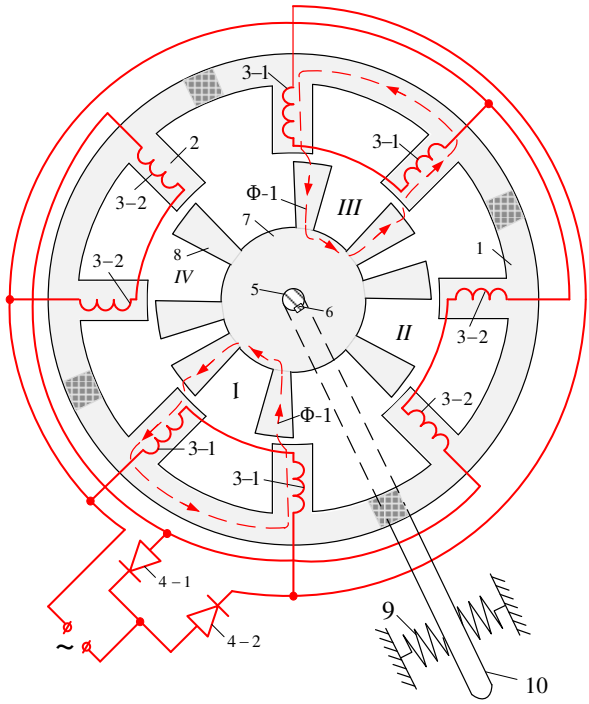
ვიბროძრავის მოქმედების პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ცვლადი დენის ერთ ნახევარპერიოდში კვებას ღებულობს სტატორის გრაგნილის ერთი პარალელური შტო 4-1, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში მეორე პარალელური შტო 4-2. შედეგად მაგნიტური წრედის კონტურებში აღიძვრება შესაბამისი მაგნიტური ნაკადები ***Ф-1*** და ***Ф-2*** , რომლებიც წარმოქმნიან ცვლად მომენტს, რომლის მეშვეობით ადგილი აქვს ღუზის 7 კუთხით რხევას, რომელიც ექვემდებარება ჰარმონიულ კანონს. ამასთან მომენტის არსებობის ერთ-ერთ პირობას ვიბროძრავის მუშაობისას წარმოადგენს ღუზის პოლუსების არასიმეტრიული განაწილება, რომლებიც დაძრულია პოლუსის სიგანის ნახევრით.

პირველი ვიბროძრავის უარყოფით მხარეს წარმოადგენდა ლილვის ვერტიკალური პერიოდული რხევები და შესაბამისად, ამით გამოწვეული საკისრების დაბალი ხანგამძლეობა. ამ მოვლენის შესასუსტებლად შემოთავაზებული იქნა რვაპოლუსიანი ვიბროძრავის კონსტრუქცია (ნახ. 1-2), რომელშიც ფანტვის მაგნიტური ნაკადების შესამცირებლად სტატორში გათვალისწინებული იქნა არამაგნიტური

ჩანართები (ნახაზ 1-2-ზე დაშტრიხულია). ამ ვიბრომძრავაში გვაქვს სიმეტრიის ორი ღერძი, რომლებიც გადიან არამაგნიტური ჩანართების შუაზე, ხოლო სტატორის გრაგნილი შესრულებულია ისეთი სახით, რომ მკვებავი ძაბვის ყოველ ნახევარპერიოდში მუშაობს პოლუსთა ორ-ორი წყვილი, რომლებიც დაძრულნი არიან წრეწირის ნახევარი სიგრძით, რაც საშუალებას იძლევა ავიცილოთ პარაზიტული ცალმხვრივი რადიალური მიზიდულობები, რომლებიც იწვევენ ლილვის გაღუნვას და საკისრების სწრაფ ცვეთას, ასევე იზრდება მარგი ქმედების კოეფიციენტი, ე.ი. მიიღწევა საიმედოობის და ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაზრდა. ვიბრომძრავა დამზადდა მოდელის სახით; ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდებმა დაადასტურა მსგავს კონსტრუქციასთან შედარებით მარგი ქმედების კოეფიციენტის 4%-ანი ზრდა, ამავე დროს კუთხითი რხევების მომენტი იზრდება 15%-ით, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი ***cosφ*** – 3%-ით.

ვიბრაციული ძრავა (ნახ. 1-2) შედგება კორპუსში განთავსებული სტატორისგან 1, რომლის თანაბრად განაწილებულ რვა პოლუსზე 2, მოთავსებულია სტატორის გრაგნილის ორი პარალელური შტოს კოჭები 3-1, 3-2, ღუზისგან 7 პოლუსებით 8, ლილვისა 5 და სოგმანისგან 6, რომელზეც ხისტად დამაგრებულია ჭოკი 10 დრეკადი ელემენტებით 9, აგრეთვე ნახევრადგამტარებისგან 4-1 და 4-2. ვიბრომძრავის ღუზა მაქსიმალურად ასიმეტრიულია – თუ ჭოკს მივიღებთ სიმეტრიის ღერძად, მისგან მარჯვნივ მდებარე ღუზის ორი პოლუსი დაძრულია სტატორების მოპირდაპირე

პოლუსების მიმართ ნახევარი პოლუსის სიგანით ***b/2*** საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ხოლო შემდეგი ორი პოლუსი – საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით; პირიქით, ჭოკის მარცხვნივ მდებარე ღუზის ორი პოლუსი დაძრულია სტატორების მოპირდაპირე პოლუსების მიმართ ნახევარი პოლუსის სიგანით ***b/2*** საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო შემდეგი ორი პოლუსი – საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით; სწორედ ღუზის ასიმეტრიის და სტატორის გრაგნილის სპეციალური სქემით შესრულების გამო ვღებულობთ ღუზის კუთხით რხევებს, რომელთა ამპლიტუდები დამოკიდებულია მუშა ორგანოს ჭოკზე დამაგრების ადგილზე.

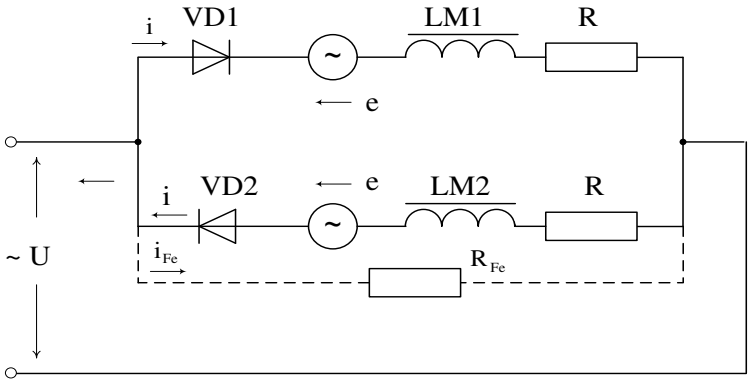


ნახ. 1-2. რვაპოლუსიანი კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა [პატენტები 1, 21]

ვიბრომძრავა მუშაობს შემდეგნაირად:წრედზე ცვლადი $U = U_m \sin \omega t$ ძაბვის მოდების შედეგად, ძაბვის ერთ ნახევარპერიოდში პირველ და მესამე კონტურებში გაივლის i_1 დენი (ერთმანეთთან მიიზიდებიან I და III კონტურის პოლუსები), ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში მეორე და მეოთხე კონტურებში 4-2-ის გავლით – i_2 დენი (ერთმანეთთან მიიზიდებიან II და

IV კონტურის პოლუსები), რაც საბოლოოდ იწვევს ღუზის კუთხით რხევით მოძრაობას. რვაპოლუსიანი კონსტრუქცია პრაქტიკულად გამორიცხავს ლილვის გაღუნვას, ხოლო ფანტვის ნაკადების შესამცირებლად მაგნიტური წრედის კონტურებს შორის სტატორის უღელში მოთავსებულია არამაგნიტური ჩანართები (ნახაზზე დაშტრიხულია).

ელექტრომაგნიტური პროცესები მოყვანილი კონსტრუქციების კუთხით რხევით ელექტრომაგნიტურ ვიბრომძრავებში უფრო ძნელად ექვემდებარება თეორიულ კვლევას, ვიდრე ამას ადგილი აქვს ბრუნვითი მოძრაობის ელექტრულ მანქანებში ეს გარემოება აიხსნება იმით, რომ კუთხით რხევით ელექტრომაგნიტურ ვიბრომძრავებში გამოყენებულია ის ფიზიკური პრინციპები და ეფექტები, რომლებსაც ჩვეულებრივ ელექტრულ მანქანებში უგულვებელყოფენ ან ებრძვიან კიდეც – მისი კონსტრუქცია შესრულებულია ასიმეტრიის გამოყენებაზე, მანქანა მუშაობს ნიშანცვლადი მომენტისა და შესაბამისად სიჩქარის პირობებში, ე.ი. ყოველთვის იმყოფება ელქრომექანიკურ გარდამავალ რეჟიმში. ეს სირთულეები ძლიერდება იმითაც, რომ ვიბრომძრავა ძალზე მგრძნობიარეა გეომეტრიული ზომების დაცვის მიმართ, ხოლო რეზონანსული რეჟიმის მიღწევა მისი დრეკადი ელემენტების პერიოდულ გაწყობას მოითხოვს.



ნახ. 1-3. კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის ჩანაცვლების სქემა

ნახაზ 1-3-ზე მოყვანილია ვიბრომძრავის ჩანაცვლების სქემა, რომლის ორი პარალელური შტო აბსოლუტურად იდენტურია. გახსნილი VD1 ან VD2 (4-1 და 4-2 ნახ. 1-2-ზე) ნახევრადგამტარი ელემენტის შემთხვევისათვის გვაქვს:

$$\boldsymbol{U = iR + e;} \qquad (1.1)$$

აქ $\boldsymbol{e = e' + e''}$, სადაც $\boldsymbol{e' = \frac{d\psi}{dt}}$ - ტრანსფორმაციის ე.მ.ძ., ხოლო $\boldsymbol{e'' = \frac{d\psi}{dS}}$- უკუქმედების ე.მ.ძ., $\boldsymbol{\Psi}$ - ნაკადთგადაბმულობა, $\boldsymbol{S}$ - საჰაერო ღრეჩოს მუშა ფართობი, ხოლო $\boldsymbol{R}$ არის პარალელური შტოს აქტიური წინაღობა. რადგანაც პარალელური შტოების წინააღმდეგობებს $\boldsymbol{R}$ ერთნაირი მნიშვნელობა აქვთ, განტოლება (1.1)-ში მას ინდექსი არა აქვს მინიჭებული.

კოჭას ნაკადთგადაბმულობა

$$\psi = iL(\theta) + \sum_{\mu=1}^{n} i_{\mu} M_{\mu} + \psi cosp\theta, \qquad (1.2)$$

სადაც i - ვიბროძრავის გრაგნილის პარალელური შტოს დენია, M_{μ} - ურთიერთინდუქციურობა, θ - საწყისი მდგომარეობიდან (როდესაც სტატორისა და ღუზის შესაბამისი პოლუსები მაქსიმალურად დაშორებულნი არიან) მობრუნების კუთხე.

ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავის ინდუქციურობა L იცვლება ღუზის კუთხური მდებარეობის შეცვლასთან ერთად და შეიძლება ჩაწერილ იქნას როგორც

$$L = w^2\lambda = L_1 + L_2 \sin\theta ,$$

სადაც w - გრაგნილის პარალელური შტოს ხვიათა რიცხვია, λ - მუშა საჰაერო ღრეჩოს მაგნიტური გამტარებლობა, ხოლო Θ - ღუზის საწყისი მდგომარეობიდან მობრუნების კუთხეა.

ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავის კონსტრუქცია მოიცავს მაგნიტურად რბილი მასალებისგან დამზადებულ შედარებით მასიურ ელემენტებს, კერძოდ, სტატორი და ღუზა დამზადებულია 0,5 მმ სისქის ფოლადისგან. თუ ასეთ პირობებში ვიბროძრავის მაგნიტური ველი შედარებით მაღალი სიხშირით (50 ჰც) იცვლება, მუშა მახასიათებლებზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას გრიგალური დენები მოახდენენ. ასეთ შემთხვევაში მათი გათვალისწინება შეიძლება i დენისა და R_{Fe} წინააღმდეგობის ჩანაცვლების სქემაში პარალელური შტოს სახით შემოღებით, თანაც მათი

მნიშვნელობები უნდა იყოს ფოლადში გრიგალური დენებისგან დანაკარგების პროპორციული და მათი განსაზღვრა ემპირიულად ხდება. ფაქტორებს, რომელთა უგულველყოფა შეიძლება, მიეკუთვნება ღუზის ექსცენტრისიტეტი და ხახუნი. ეს ასახავს კონსტრუქტორთა მისწრაფებას შეასრულონ ვიბრაციული ძრავები ხახუნზე ენერგიის მინიმალური დანაკარგებით.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ დენის ერთ პარალელურ შტოში გავლის შემთხვევაში მაგნიტური წრედი გაჯერებულია, ხოლო მეორე შტოს მაგნიტური წრედი უჯერია, სამართლიანია დაშვება, რომ აღნიშნულ მაგნიტურ სისტემებს არ ექნებათ მაგნიტური ურთიერთკავშირი, და ურთიერთინდუქციურობა M_μ შეიძლება ნულის ტოლად მივიღოთ.

მომენტების განტოლება შეიძლება მივიღოთ გრაგნილის სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლებიდან; ეს განტოლება ჩაიწერება, როგორც

$$ui = \frac{dW_f}{dt} + i^2R + m\frac{d\theta}{dt}, \qquad (1.3)$$

სადაც ui არის ქსელიდან მოხმარებული სიმძლავრე, i^2R - სიმძლავრის თბური დანაკარგები, dW_f/dt - მაგნიტური ველის ენერგიის W_f დროში t ცვლილება, ხოლო $md\theta/dt$ მექანიკური სიმძლავრე.

ცნობილია, რომ მაგნიტური ველის ენერგია

$$W_f = \frac{i^2}{2}L;$$

თუ განტოლება (1.3)-ში ჩავსვავთ გამოსახულება (1.1)-ს, მივიღებთ

$$\boldsymbol{i}\frac{\boldsymbol{d\psi}}{\boldsymbol{dt}} = \frac{\boldsymbol{dW_f}}{\boldsymbol{dt}} + \boldsymbol{m}\frac{\boldsymbol{d\theta}}{\boldsymbol{dt}}, \qquad (1.4)$$

რომლიდანაც მომენტისათვის ვღებულობთ

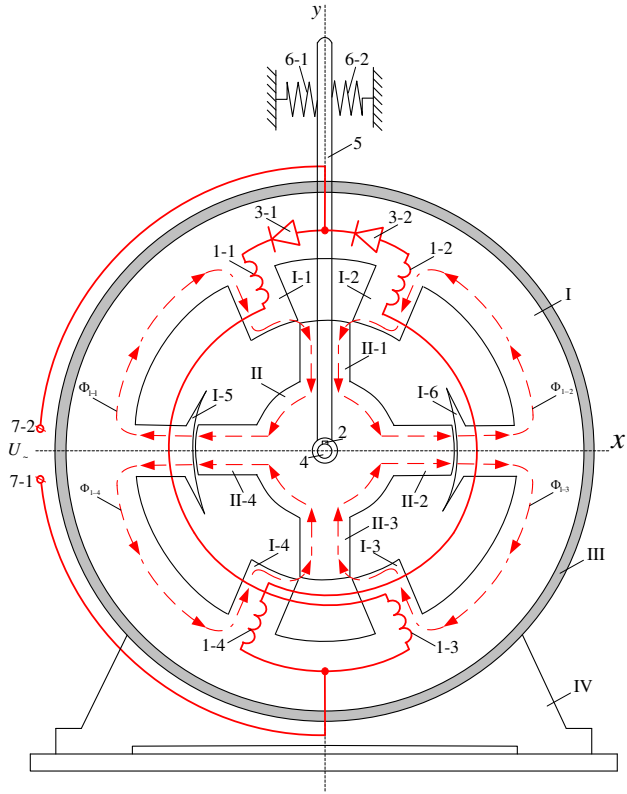
$$\boldsymbol{m} = \boldsymbol{i}\frac{\boldsymbol{d\psi}}{\boldsymbol{d\theta}} - \frac{\boldsymbol{dW}}{\boldsymbol{d\theta}}\ , \qquad (1.5)$$

ხოლო თუ გამოსახულება (1.5)-ში ჩავსვავთ გამოსახულება (1.2)-ს და გავითვალისწინებთ, რომ მაგნიტური ველის ენერგია

$$\boldsymbol{W_f} = \frac{\boldsymbol{i^2 L}}{\boldsymbol{2}}\ , \qquad (1.6)$$

მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ ვიბრომძრავის მომენტის განტოლებას

$$\boldsymbol{m} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{2}}\boldsymbol{i^2}\frac{\boldsymbol{dL}}{\boldsymbol{d\theta}} - \boldsymbol{pi\psi sinp\theta}. \qquad (1.7)$$



ნახ.1-4. კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავა დამატებითი პოლუსებით [პატენტი 13]

ზემოთ განხილულ ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავებისგან სრულიად განსხვავებულ კონსტრუქციას წარმოადგენს ნახ. 1-4-ზე მოყვანილი ძრავა დამატებითი პოლუსებით, რომლის ოთხპოლუსიანი

ღუზა სიმეტრიულია. შემოთავა-ზებული ელექტრო-მაგნიტური ვიბრაციული ძრავა (ნახ. 1-4) შედგება ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან აწ-ყობილი სტატორისა I და ღუზისაგან II. სტატორის I-1, I-2, I-3 და I-4 პოლუსებზე შესაბამისად მოთავ-სებულია 1-1, 1-2, 1-3 და 1-4 იდენტური გრაგნილები. ამასთან 1-1, 1-3 და 1-2, 1-4 გრაგნილი ერთმანეთთან მიმდევრობითაა ჩართული. სტატორი შეიცავს აგ-რეთვე ორ დამატებით 1-5 და 1-6 პოლუსს. სტატორის 1-1 და 1-2 გრაგნილთან მიმდევრობით ჩართულია 3-1 და 3-2 ნახევრადგამტარი დიოდი. სტატორის გრაგ-ნილების 1-3, 1-4 და ნახევრადგამტარი დიოდების 3-1, 3-2 შეერთების წერტილები მიერთებულია მომჭე-რებთან 7-1, 7-2. ღუზა დასმულია ლილვზე 4, რო-მელზეც სოგმანით 2 ხისტად მიერთებულია ბერკეტის 5 ერთი მხარე, ხოლო მეორე მხარე დრეკადი სისტემის ზამბარებს 6-1 და 6-2 შორის. სტატორი მოთავსებულია კორპუსში III, რომელიც ხისტადაა დამაგრებული დგარზე IV.

სტატორი და ღუზა სიმეტრიულნი არიან მათ ცენტრზე გავლებული ვერტიკალური y და ჰორი-ზონტალური x ღერძის მიმართ. სტატორის დამა-ტებითი პოლუსების ფორმა ისეთნაირადაა შერჩეული, რომ ღუზის კუთხით რხევითი მოძრაობისას, ღუზის ჰორიზონტალურ და სტატორის დამატებით პოლუ-სებს შორის მყისა მუშა ფართის და საჰაერო ღრეჩოს სიდიდე უცვლელია. ნახ. 1-5-ზე ნაჩვენებია ძაბვის $\boldsymbol{U}$ (ა), დენის $\boldsymbol{i}$ (ბ, გ, დ) და მომენტის $\boldsymbol{M}$ (ე) ცვლილების გრაფიკები დროის ფუნქციაში.

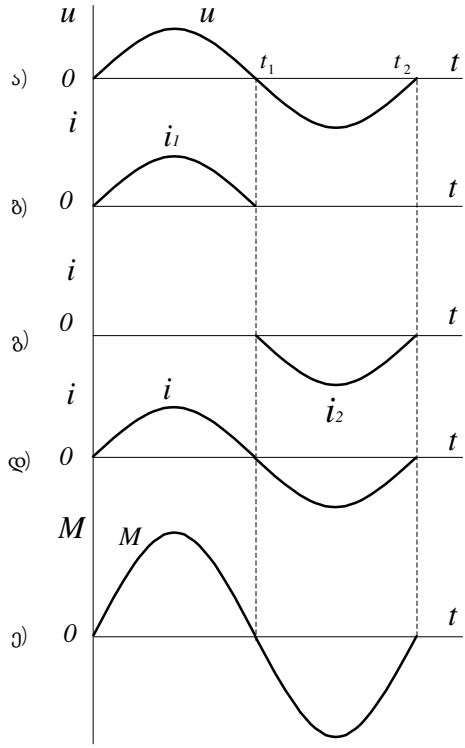
ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუშაობს შემდეგნაირად, როდესაც მომჭერები 7-1 და 7-2 მიერთდება ცვლადი დენის ქსელთან, დროის მონაკვეთში 0-დან t_1- მდე (ნახ. 1-5, ბ), i_1 დენი გაივლის შტოში, სადაც მიმდევრობით მიერთებულია 3-1 ნახევრადგამტარი დიოდი, 1-1 და 1-3 გრაგნილები. ამ დროს წარმოიქმნება მაგნიტური ნაკადი Φ_{1-1} და Φ_{1-3}, რომლებიც შესაბამისად სტატორის I-1 პოლუსის, დამატებითი პოლუსის I-5 და ღუზის II-1 და II-4 პოლუსის და სტატორის I-3 პოლუსის, დამატებითი პოლუსის I-6 და ღუზის II-2 და II-3 პოლუსის გავლით, სტატორის I-1 და I-3 პოლუსი ერთნაირი ძალით იზიდავს ღუზის ვერტიკალურ II-1 და II-3 პოლუსს, ხოლო ჰორიზონტალური პოლუსი II-2 და II-4 გადაადგილდება სტატორის დამატებითი I-5 და I-6 პოლუსის მიმართ ისე, რომ მათ შორის გადაფარვის მუშა ფართის მყისა მნიშვნელობა ყოველთვის მუდმივი სიდიდეა. რის შედეგადაც ადგილი აქვს ღუზის მოძრაობას საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ დროს შეიკუმშება ზამბარა 6-1, ხოლო 6-2 გაიჭიმება.

შემდეგ ნახევარპერიოდში, დროის მონაკვეთში t_1-დან t_2-მდე (ნახ. 2, გ), i_2 დენი გაივლის იმ შტოში, რომელშიც მიმდევრობით მიერთებულია 3-2 ნახევრადგამტარი დიოდი, 1-2 და 1-4 გრაგნილები და შედეგად წარმოიქმნება მაგნიტური ნაკადები Φ_{1-2} და Φ_{1-4}, რომლებიც შესაბამისად სტატორის I-2 პოლუსის, დამატებითი პოლუსის I-6 და ღუზის II-1 და II-2 პოლუსის და სტატორის I-4 პოლუსის, დამატებითი

პოლუსის I-5 და ღუზის II-3 და II-4 პოლუსის გავლით, სტატორის I-2 და I-4 პოლუსი ერთნაირი ძალით იზიდავს ღუზის ვერტიკალურ II-1 და II-3 პოლუსს, ხოლო ჰორიზონტალური პოლუსი II-2 და II-4 გადაადგილდება სტატორის დამატებითი I-5 და I-6 პოლუსის მიმართ ისე, რომ მათ შორის გადაფარვის მუშა ფართის მყისა მნიშვნელობა ყოველთვის მუდმივი სიდიდეა. რის შედეგადაც ადგილი აქვს ღუზის მოძრაობას საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ამ დროს შეიკუმშება ზამბარა 6-2, ხოლო 6-1 გაიჭიმება.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე მკვებავი ქსელის ერთ ნახევარპერიოდში ღუზა მოძრაობს საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ე. ი. ადგილი აქვს კუთხით რხევით მოძრაობას. ამასთან რხევის სიხშირე ტოლია მკვებავი ცვლადი დენის სიხშირისა, ხოლო ქსელში გამავალი დენის ძალა i სიმეტრიულია (ნახ. 1-5, ა).

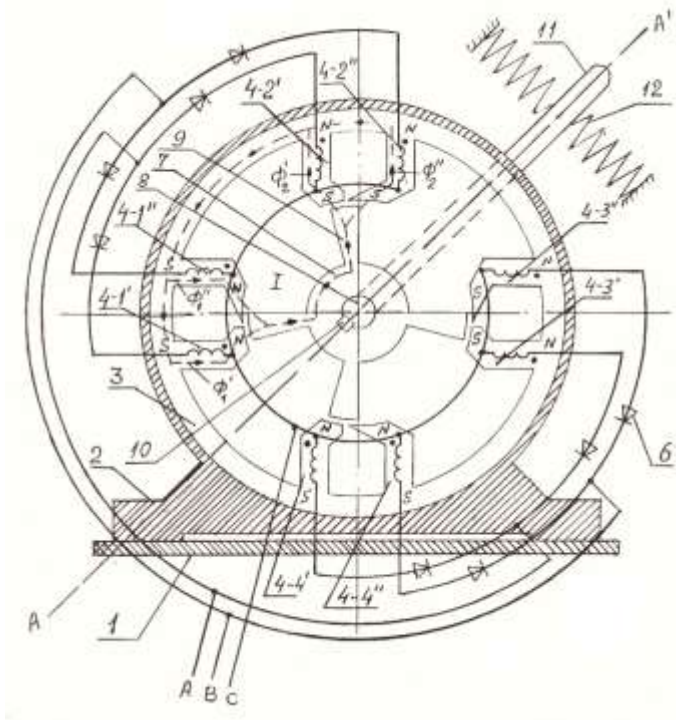
ასეთი სქემით ელეტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავის შესრულება უზრუნველყოფს მკვებავი ქსელის სიმეტრიულ დატვირთვას, ენერგეტიკული და საექსპლოატაციო მაჩვენებლების ამაღლებას.



ნახ.1-5. ვიბრაციული ძრავის ძაბვის ***U***, დენებისა ***i*** და მაბრუნი მომენტის ***M*** ცვლილების გრაფიკები ***t*** დროის ფუნქციაში

ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის რხევების სითანაბრისა და ნიშანცვლადი მომენტის გაზრდისა და სიმეტრიულობის მისაღწევად დამუშავებული იქნა სამფაზიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის კონ-სტრუქცია, რომელიც ხასიათდება წინა კონსტრუქ-

ციებთან შედარებით გაუმჯობესებული ენერგეტიკული მაჩვენებლებითაც (ნახ. 1-6). ეს ვიბრატორი შეიცავს ჩარჩოზე 1 დამაგრებულ კორპუსს 2 ცილინდრული ოთხ ორად გახლეჩილი პოლუსიანი სტატორით 3 მასზე განთავსებული გრაგნილებით 4, რომლებიც იკვებებიან სამფაზიანი ცვლადი დენის წყაროსგან გამმართველების 6 გავლით, აგრეთვე წინა კონსტრუქციების მსგავს ოთხპოლუსიან არასიმეტრიულ ღუზას 7, რომლის პოლუსები წყვილწყვილად დაძრულნი არიან სიმეტრიის ღერძის მიმართ საწინააღმდეგო მიმართულებით პოლუსის სიგანის ნახევარზე. სტატორის ყოველი პოლუსი გახლეჩილია ორ მიმზიდ 4-1′, 4-2′, 4-3′, 4-4′ და შემზიდ 4-1′′, 4-2′′, 4-3′′, 4-4′′ ნახევარპოლუსებად, რომელთა იდენტური კოჭები 5 ჩართულია სხვადასხვა ფაზის ძაბვაზე. ძრავის ღუზა 7, რომელსაც გააჩნია ოთხი პოლუსი 9, დამაგრებულია ლილვზე 8 და დაკავშირებულია სტატორთან საკისრებით (ნახაზზე არაა ნაჩვენები). ძრავის ლილვზე 8 სოგმანის 10 საშუალებით დამაგრებულია ბერკეტი 11 დრეკადი ელემენტებით 12, რომლებსაც გაუდენურებული სტატორის შემთხვევაში მოჰყავთ ღუზა 7 ნახაზზე ნაჩვენებ ნეიტრალურ მდგომარეობაში.



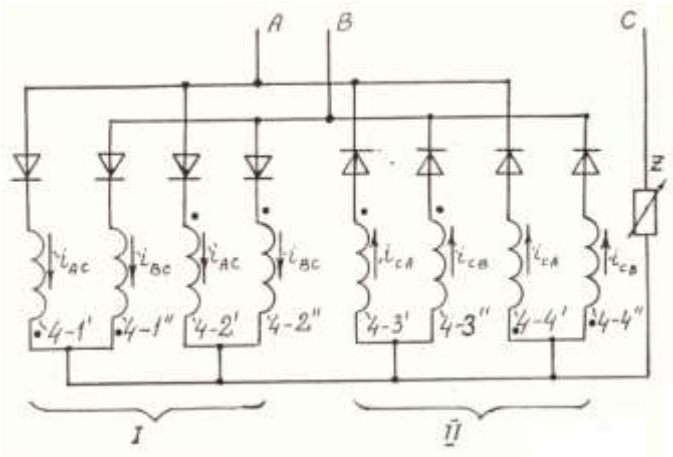
ნახ. 1-6. სამფაზიანი კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავა [პატენტი 7]

ამ კონსტრუქციის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სტატორის ყოველი გახლეჩილი პოლუსი შედგება მიმზიდი და შემზიდი ნახევრისგან, რომლებზეც დახვეულია იდენტური კოჭები; ეს კოჭები ჩაირთვებიან სხვადასხვა ხაზურ ძაბვებზე თანხვდენილად მიერთებული გამმართველების საშუალებით. მიმზიდის ნახევარპოლუსის სიგანე უდრის ღუზის პოლუსის სიგანისა, ხოლო შემზიდი ნახევარპოლუსი

უფრო განიერია. ნახევარპოლუსების კოჭები ჩართულია ორმაგი ვარსკვლავის სქემით, თანაც ერთი გახლეჩილი პოლუსის კოჭები ჩართულნი არიან ურთიერთშემხვედრად, ხოლო ნახევარპოლუსების პოლაროზა ერთნაირია.

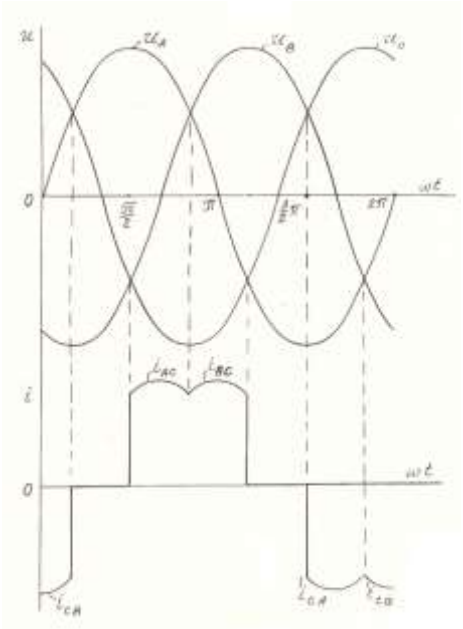
ასეთი სქემით ვიბრომძრავის შესრულება უზრუნველყოფს იმას, რომ ყოველი რხევის დასაწყისში ჯერ სტატორის მიმზიდი ნახევარპოლუსი მიიზიდავს ღუზის შესაბამის პოლუსს, ხოლო შემდეგ ამუშავდება შემზიდი ნახევარპოლუსი, რაც უზრუნველყოფს წევის ძალის გაზრდას.

სტატორის ერთი პოლუსის ნახევარპოლუსები ჩართულია სხვადასხვა ხაზურ ძაბვაზე ნახ. 1-7-ზე მოყვანილი სქემის თანახმად. სტატორისა და ღუზის ამგვარი შესრულების გამო ვიბრომძრავაში შეიქმნება ორი კონტური I და II შესაბამისი მაგნიტური ნაკადებით Φ, რომლებიც განლაგებულია სიმეტრიის ღერძის A-A' საწინააღმდეგო მხარეებზე. კუთხური რხევების ამპლიტუდის რეგულირებისათვის საერთო ფაზაში ჩართულია მარეგულირებელი წინაააღმდეგობები Z (ნახ. 1-7). ნახ. 1-8-ზე ნაჩვენებია ვიბრომძრავის ძაბვებისა U და დენების i დროში ცვალებადობის გრაფიკები. ამ ნახაზიდან გამომდინარეობს, რომ ძაბვის უარყოფითი ნახევარტალღის შემთხვევაში დენი გადის მაგნიტური წრედის სტატორის ნახევარპოლუსების 4-1 და 4-2 კოჭებში, ხოლო ძაბვის U დადებითი ნახევარტალღისას - შესაბამისად მაგნიტური წრედის 4-3 და 4-4 კოჭებში.



ნახ. 1-7. სამფაზიანი კუთხით რხევითი ელექტრო-მაგნიტური ვიბროძრავას მართვის ელექტრული სქემა

ეს ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა მუშაობს შემდეგნაირად. სტატორის გრაგნილის კოჭები 5 ჩაირთვება სამფაზიანი ცვლადი დენის წყაროზე A, B, C. კოჭების მიმდევრობით გამმართველების 6 ჩართვის გამო დენი კოჭებში გადის მხოლოდ მაშინ, როდესაც ხაზური ძაბვა $U_{AB} > U_{BC}$ (I კონტურისათვის) ან $U_{CA} > U_{CB}$ (II კონტურისათვის), რის შედეგად მორიგეობით მუშაობენ სათანადო კონტურების ჯერ მიმზიდი ნახევარპოლუსები 4-1′, 4-2′, 4-3′, 4-4, ხოლო შემდეგ შემზიდი ნახევარპოლუსები 4-1′′, 4-2′′, 4-3′′, 4-4′′ შესაბამისად, რის გამოც ადგილი აქვს ვიბროძრავის ღუზაზე მომქმედ ნიშანცვლად მომენტს და ღუზა იწყებს რხევას მკვებავი ქსელის ძაბვის სიხშირით.



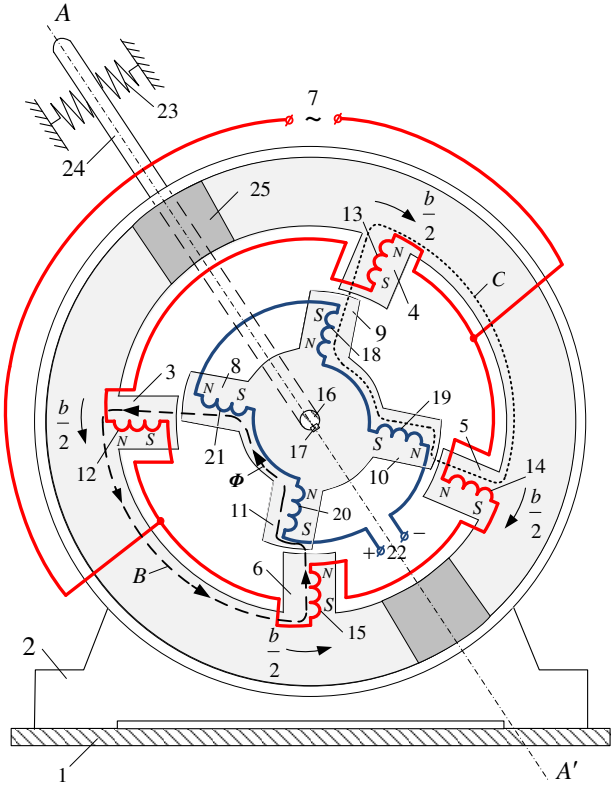
ნახ. 1-8. ვიბროძრავის ძაბვებისა U და დენების i დროში t ცვალებადობის გრაფიკები.

2. რეგულირებადი კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავები

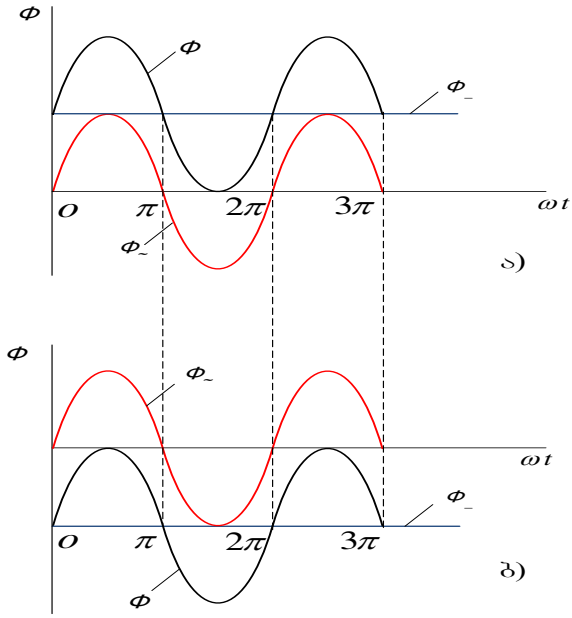
რხევის ამპლიტუდის რეგულირების, ენერგეტიკული (მ.ქ.კ. და სიმძლავრის კოეფიციენტი), მექანიკური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით დამუშავებული იქნა ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუდმივი დენის წყაროდან შემაგნიტებით, რომელიც აერთიანებს ზემოაღნიშნული კონსტრუქციების დადებით თვისებებს და

ამავე დროს იძლევა ვიბრაციის ამპლიტუდის კონტროლის საშუალებას. ამ კონსტრუქციაში ტექნიკური შედეგი მიიღწევა, ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავის სტატორის და ღუზის პოლუსებზე შესაბამისად ცვლადი და მუდმივი დენის გრაგნილების კოჭების განლაგებისა და ელექტრული შეერთების სქემის ხარჯზე, რომლებიც ერთობლიობაში ქმნიან ცვლად საპოლუსო სისტემას; მუდმივი დენის გრაგნილების მომჭერებზე ძაბვის ცვლილებით (ნახ. 2-1). ეს ვიბრაციული ძრავა მოიცავს ჩარჩოზე 1 თათების 2 მეშვეობით დამაგრებულ ოთხპოლუსიან არასიმეტრიულ $A - A'$ სიმეტრიის ღერძის მიმართ სარკისებულად ანარეკლილ და პოლუსის სიგანის ნახევარზე ***b/2*** დაძრულ სტატორს მასზე დახვეული გრაგნილით, რომელიც ორი პარალელური შტოსგან შედგება. თითოეული შტო მოიცავს ორ მიმდევრობით დაკავშირებულ კოჭას (12, 13 და 14, 15). ვიბრაციულ ძრავაში მიმდებარე სტატორის პოლუსები (3, 4), რომლებიც ქმნიან ერთ წყვილს, დაძრულია საპირისპირო მიმართულებით, ხოლო მიმდებარე პოლუსები (5, 6), რომლებიც ქმნიან მეორე წყვილს, ერთმანეთის მიმართ არიან დაძრულნი ღუზის შესაბამისი პოლუსების (8, 9 და 10, 11) სიმეტრიის ღერძების მიმართ მანძილით, რომელიც ტოლია პოლუსის სიგანის b ნახევრის. სტატორის პოლუსები და ცვლადი დენის გრაგნილის თითოეული შტო მიიღება სტატორის მიმდებარე პოლუსების შესაბამის წყვილზე (3, 4 და 5, 6) და მუდმივი დენის გრაგნილის კოჭები (18, 19 და 20, 21) დაკავშირებულია მიმდევრობით, ღუზის მიმდებარე პოლუსებზე (9, 10 და 8, 11) კოჭების წყვილი (18, 19 და 20, 21)

შემხვედრად. ფანტვის ნაკადების შესამცირებლად და ძრავის ეფექტიანობის გაზრდის მიზნით, სტატორის უღელი მზადდება ორი არამაგნიტური ჩანართით 25.



ნახ. 2-1. კუთხით რხევითი ოთხპოლუსიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუდმივი დენით შემაგნიტებით [პატენტები 19, 22].



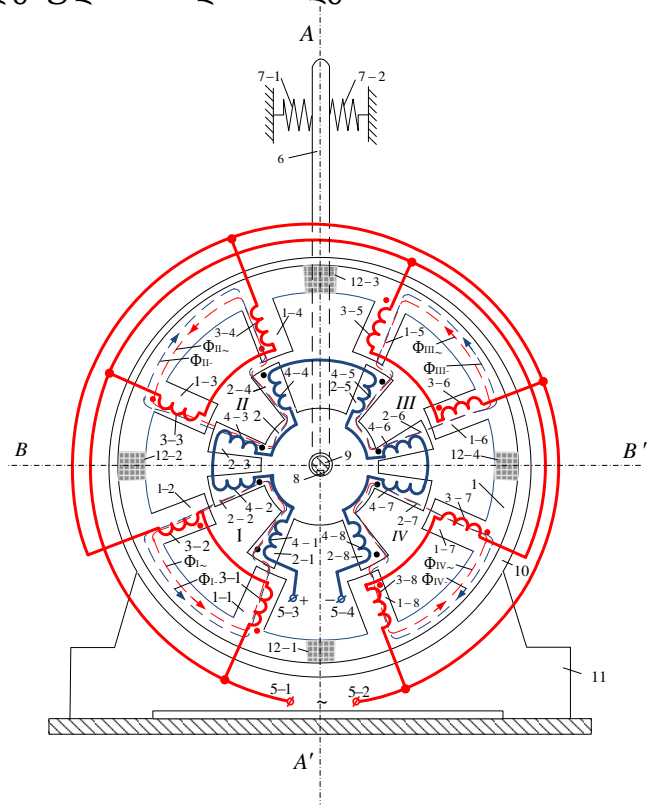
ნახ. 2-2. მაგნიტური ნაკადის ***Φ*** დროში ***t*** ცვალებადობა

ამ კონსტრუქციას ახასიათებდა იგივე ნაკლოვანი მხარეები, რაც წინა თავში განხილულ ოთხპოლუსიანი ვიბრაციული ძრავების კონსტრუქციებს. აქედან გამომდინარე დამუშავდა და 2024 წელს დაპატენტებული იქნა კუთხით რხევითი რვაპოლუსიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუდმივი დენით შემაგნიტებით [15]. შემოთავაზებული ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა (ნახ. 2-3) შედგება ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან აწყობილი სტატორისა 1 და ღუზისგან 2.

სტატორის 1-1 და 1-2, 1-3 და 1-4, 1-5 და 1-6, 1-7 და 1-8 პოლუსებზე შესაბამისად მოთავსებულია 3-1 და 3-2, 3-3 და 3-4, 3-5 და 3-6, 3-7 და 3-8 ცვლადი დენის იდენტური გრაგნილების კოჭები. ამასთან 3-1, 3-2-თან, 3-3, 3-4-თან, 3-5, 3-6-თან და 3-7, 3-8-თან მიმდევრობითაა ჩართული. ღუზის 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7 და 2-8 პოლუსებზე შესაბამისად მოთავსებულია 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7 და 4-8 ერთმანეთთან მიმდევრობით ჩართული მუდმივი დენის იდენტური გრაგნილების კოჭები.

ცვლადი და მუდმივი დენის გრაგნილის კოჭები 3-1 და 4-1, 3-2 და 4-2, 3-5 და 4-5, 3-6 და 4-6 დახვეულია თანხვდენილად, ხოლო 3-3 და 4-3, 3-4 და 4-4, 3-7 და 4-7, 3-8 და 4-8 შემხვედრად, აქედან გამომდინარე მუდმივი დენის გრაგნილების კოჭები 4-1, 4-2 და 4-5, 4-6 ერთმანეთის მიმართ თანხვდენილად, ხოლო მათ მიმართ 4-3, 4-4 და 4-7, 4-8 შემხვედრადაა ჩართული, რაც უზრუნველყოფს მუდმივი დენის მომჭერებზე თვითინდუქციის ე.მ.ძ.-ის კომპენსირებას. 3-1 და 3-8 კოჭების საწყისები მიერთებულია ცვლადი დენის 5-1, 5-2 მომჭერებთან, ხოლო 4-1 და 4-8 კოჭების საწყისები მუდმივი დენის მომჭერებთან 5-3, 5-4. ბერკეტის 6 ერთი მხარე მოთავსებულია დრეკადი სისტემის ზამბარებს 7-1, 7-2 შორის, ხოლო მეორე მხარე სოგმანით 8 მიერთებულია ლილვთან 9, რომელზეც დასმულია ღუზა. სტატორი მოთავსებულია კორპუსში 10, რომელიც ხისტადაა დამაგრებული დგარზე 11. სტატორი დაყოფილია არამაგნიტური მასალით 12-1, 12-2, 12-3, 12-4 ოთხ

სეგმენტად, შედეგად მიიღება მაგნიტური გამტარის ოთხი I, II, III, IV კონტური. სტატორი და ღუზა სიმეტრიულია არამაგნიტურ ღრეჩოების ცენტრებზე გავლებული AA' და BB' ღერძის მიმართ.



ნახ. 2-3. კუთხით რხევითი რვაპოლუსიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუდმივი დენის შემაგნიტებით [პატენტი 15]

ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა მუშაობს შემდეგნაირად, როდესაც მომჭერები 5-1, 5-2 მიუერთდება ცვლადი დენის ქსელს, სტატორის პოლუსებზე მოთავსებული კოჭების მიერ წარმოიქმნება ცვლადი მაგნიტური ნაკადი, რომელიც ერთნაირი ძალით იზიდავს ღუზის პოლუსებს, რის გამოც ადგილი არა აქვს რხევით მოძრაობას. მას შემდეგ, რაც მომჭერები 5-3 და 5-4 მიუერთდება მუდმივი ძაბვის ქსელს, ღუზის პოლუსებზე განთავსებული კოჭების მიერ წარმოიქმნება მუდმივი მაგნიტური ნაკადი, სტატორის და ღუზის პოლუსებზე ცვლადი და მუდმივი დენის გრაგნილის კოჭების დახვევის მიმართულებები და ელექტრული შეერთების სქემები უზრუნველყოფს იმას, რომ ცვლადი დენის ერთ-ერთი ნახევარპერიოდის განმავლობაში მაგნიტური გამტარის I და III კონტურში ცვლადი და მუდმივი დენის ნაკადებს $\Phi_{I\sim}$-სა და Φ_{I-}-ს, $\Phi_{III\sim}$-სა და Φ_{III-}-ს ერთნაირი მიმართულება აქვს, II და IV კონტურში კი $\Phi_{II\sim}$-სა და Φ_{II-}-ს, $\Phi_{IV\sim}$-სა და Φ_{IV-}-ს ერთმანეთის საწინაღმდეგო, ამ შემთხვევაში სტატორის პოლუსები 1-1, 1-2, 1-5 და 1-6 შესაბამისად მიიზიდავენ ღუზის 2-1, 2-2, 2-5 და 2-6 პოლუსებს, ხოლო პოლუსები 1-3, 1-4, 1-7 და 1-8 შესაბამისად განიზიდავენ 2-3, 2-4, 2-7 და 2-8 პოლუსებს, რის შედეგადაც ადგილი აქვს ღუზის გადაადგილებას საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ დროს შეიკუმშება ზამბარა 7-1, ხოლო 7-2 გაიჭიმება. ცვლადი დენის მეორე ნახევარპერიოდის განმავლობაში მაგნიტური გამტარის I და III კონტურში ცვლადი და მუდმივი

დენის ნაკადებს $\Phi_{I\sim}$-სა და Φ_{I-}-ს, $\Phi_{III\sim}$-ს Φ_{III-}-ს ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულება აქვს, II და IV კონტურში $\Phi_{II\sim}$-სა და Φ_{II-}-ს, $\Phi_{IV\sim}$-სა და Φ_{IV-}-ს კი ერთნაირი, ამ შემთხვევაში სტატორის პოლუსები 1-1, 1-2, 1-5 და 1-6 შესაბამისად განიზიდავენ ღუზის 2-1, 2-2, 2-5 და 2-6 პოლუსებს, ხოლო პოლუსები 1-3, 1-4, 1-7 და 1-8 შესაბამისად მიიზიდავენ 2-3, 2-4, 2-7 და 2-8 პოლუსებს, რის შედეგადაც ადგილი აქვს ღუზის გადაადგილებას საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ამ დროს შეიკუმშება ზამბარა 7-2, ხოლო 7-1 გაიჭიმება.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე მკვებავი ქსელის ერთ-ერთ ნახევარპერიოდში ღუზა საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით გადაადგილდება. ე.ი. ადგილი აქვს კუთხით რხევით მოძრაობას. ამასთან რხევის სიხშირე ტოლია მკვებავი ცვლადი დენის სიხშირისა.

ამგვარად, შემოთავაზებულია ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავა, რომელშიც კუთხით რხევითი მოძრაობა, ენერგეტიკული, მექანიკური და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესება მიიღწევა სტატორის და ღუზის პოლუსებზე ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მუდმივი და ცვლადი დენის გრაგნილების განლაგებითა და ელექტრული შეერთების სქემით, რაც უზრუნველყოფს ნიშანცვლადი მომენტის სიმეტრიულობას და რხევის ამპლიტუდის რეგულირებას.

3. კუთხით რხევითი ვიბრაციული ძრავების დრეკადი ელემენტების შერჩევა

დამუშავებულ ელექტრომაგნიტურ კუთხით რხევებიან ორ ვიბრაციულ მანქანაში დრეკადი ელემენტები აძლიერებენ და აგენერირებენ ელექტრომაგნიტური ამგზნებიდან მუშა ორგანოზე გადაცემულ ძირითად რხევებს. სხვადასხვა მანქანა-მექანიზმებში დრეკად ელემენტებად გამოყენებული იქნა მრგვალი განივი კვეთის მქონე ცილინდრული ხრახნული ზამბარები, ფირფიტოვანი რესორები და განაჭერი ზამბარები ხრახნული კილოთი. ამ უკანასკნელთა დადებით თვისებას წარმოადგენს ყველა მიმართულებით ერთნაირი განივი სიხისტის მახასიათებლები, მაშინ, როდესაც რესორებს აქვთ მინიმალური სიხისტე მუშა რხევების მიმართულებით.

დრეკადი ელემენტების შერჩევისას გამოვდიოდით დებულებიდან, რომ იძულებითი რხევების სიხშირე $\omega_{იძ}$ მოცემულია, ხოლო თავისუფალი რხევების სიხშირე ω_0 რეგულირდება დავალებული შესაბამისად $\xi = \omega_{იძ}/\omega_0$, რის შემდეგაც განისაზღვრებოდა საჭირო სიხისტე და გეომეტრიული ზომები.

ნახ. 3-1-ზე მოყვანილია გამოყენებული დრეკადი სისტემის კონსრუქცია, რომელშიც M მასის მდებარეობა x ღერძის გასწვრივ რეგულირდება მიჭერის მეშვეობით; მაშინ ერთეული სიხისტე x ღერძის მიმართულებით

$$K_x = \sum_{j=1}^{n_0} K_{xj} , \qquad (3.1)$$

სადაც ***Kxj*** - ზამბარის ხვედრითი განივი სიხისტეა, ხოლო ***n₀*** - ზამბარების საერთო რაოდენობა. ერთეული სიხისტე გრეხისას უდრის

$$K_{\varphi_1} = \frac{EJ}{\pi Di} = \frac{Gd^4(1+\mu)}{32Di}\ , \qquad (3.2)$$

სადაც ***E*** = 2,01.10^{11} ნ/მ^2 (პა) – განივი დრეკადობის (იუნგის) მოდული ნაწრთობი ფოლადის 20^{o}C ტემპერატურაზე, ***D*** - ხვიის საშუალო დიამეტრი, მ, ***i*** - მუშა ხვიათა რიცხვი, ***d*** - მავთულის დიამეტრი, მ; ***μ*** - განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი (პუასონის), რომელიც ფოლადისთვის არის 0,27; ***G*** - ძვრის მოდული (განივი დრეკადობის), რომელიც რაოდენობრივად უდრის მხებ ძაბვას, რომელიც იწვევს ფარდობით ძვრას იმ სიბრტყეებს შორის, რომლებზეც მოდებულია ეს ძაბვა ***G=E/2(1 + μ)***; ფოლადისთვის ***G*** = 0,805.10^{11} ნ/მ^2; ***J*** - განივი კვეთის ინერციის ეკვატორული მომენტი, კგმ^2.

P₀ ღერძული ძალით შეკუმშული ზამბარის განივი და გრეხის ბრუნვაზე სიხისტე

$$K_{r_1} = \frac{2EJH_0K_0}{H_0^c f_0^2 \pi Di(2+\mu)}\ ; \qquad (3.3)$$

$$f_r^2 = \frac{\left(1+\frac{P_0}{B_{\text{слв}}}\right)}{1-K_1\left(\frac{P_0^2H^2}{B_{\text{пов}}B_{\text{слв}}}+\frac{P_0H^2}{B_{\text{пов}}}\right)} + K_2\frac{B_{\text{пов}}}{B_{\text{слв}}H^2}\ , \qquad (3.4)$$

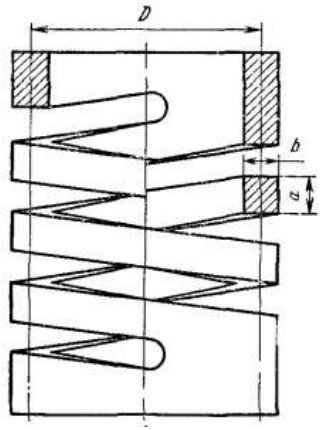
სადაც H_0 და H - ზამბარის საწყისი და სამუშაო სიმაღლეებია, მ, a = 1 ... 2 - დემფირების პარამეტრია. ჩასმის შემდეგ ვღებულობთ

$$f_r^2 = \frac{(1-0{,}615m_0)^a}{(1-m_0)^B[1-K_B\rho^2 m_0(1-0{,}615m_0)]} + \frac{K_4}{\rho^2} \quad , \qquad (3.5)$$

სადაც $m_0 = \frac{\Delta_0}{H_0}; m = \frac{\Delta_1}{H_1}$; აქ Δ_0 и Δ_1- ზამბარის თავისუფალი ბოლოს წინასწარი და მუშა გადაადგილებებია, მ. აქ შემოღებულია აღნიშვნები $\rho = \frac{H_0}{D}$;

$B_{\text{сдв}} = \frac{8B_{\text{из}}H}{\pi D^3 i}$; $B_{\text{пов}} = \frac{2B_{\text{из}}H}{\pi Di(2+\mu)}$ $B_{\text{из}} = EJ$. ფორმულა (3.5) სამართლიანია მხოლოდ მრგვალი მავთულისთვის.

ჩვენ მიერ დამუშავებული ვიბრომანქანების კონსტრუქციებში გამოყენებული იყო განაჭერი ზამბარები ხრახნული კილოთი (ნახ. 3-1), რომლებიც წარმოადგენენ ღრუ ცილინდრს მასში ამოჭრილი და ტორსებამდე არმისული ხრახნული კილოებით, გაანგარიშება წარმოებს ხვიების მართკუთხა კვეთის მქონე ხრახნული ზამბარების მეთოდიკის შესაბამისად; განხილული ზამბარებისთვის ხვიების რაოდენობა $i = 3$. ზამბარა ხისტად უერთდებოდა ვიბრომანქანის კონსტრუქციების დეტალებს და ამიტომ წარმოადგენდა ერთობლიობას აქტიურ და რეაქტიულ მასებთან, რითაც მიიღწეოდა ტორსული ხვიის უწყვეტი მუშაობა, დემფირების შემცირება, ხმაურის დონის დადაბლება და ზუსტი დაცენტრება. გამოყენებული ზამბარების გეომეტრიული ზომები მოყვანილია ცხრილში 3.1.



ნახ. 3-1. გაჭრილი ზამბარა ხრახნული კილოთი

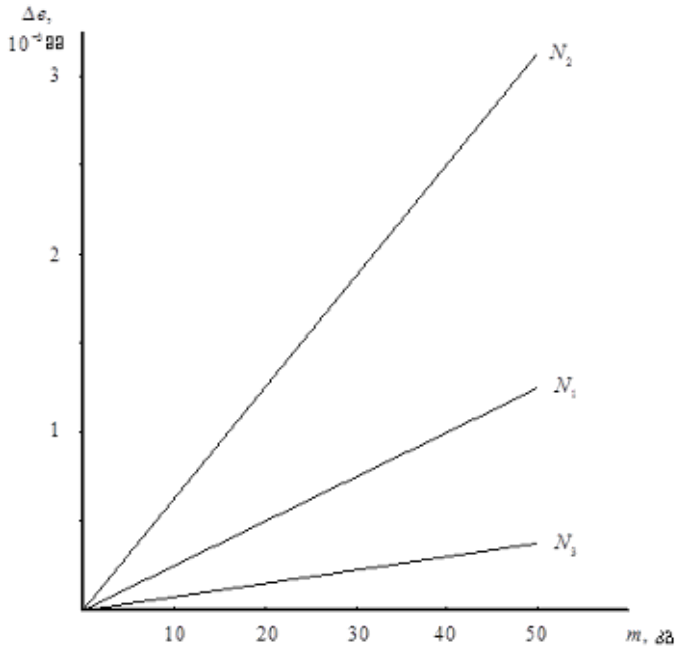
ხრახნული კილოს მქონე სამი გაჭრილი ზამბარისთვის დრეკადობის კოეფიციენტი (სიხისტე) განისაზღვრებოდა სტენდზე, ზამბარის აბსოლუტური წაგრძელების Δe მიხედვით (ნახ. 3-2).

ცხრილი 3.1. ზამბარების გეომეტრიული ზომები

ზამბარის ტიპი	სიმაღლე ***H***, მმ	დიამეტრი ***D***, მმ	განივი კვეთი, მმ	ხვიათა რაოდენობა
გაჭრილი ხრახნული კილოთი *N1*	112	74	12x10	3
იგივე, *N2*	112	74	12x 8	3
იგივე, *N3*	112	74	15x13	3
ცილინდრული ხრახნული	224	64	8	11

$$K = \frac{F}{\Delta e}\ ,\quad \text{ნ/მ}, \qquad (3.6)$$

სადაც $\boldsymbol{F = mg}$ არის მადეფორმირებელი ძალა, ნ.



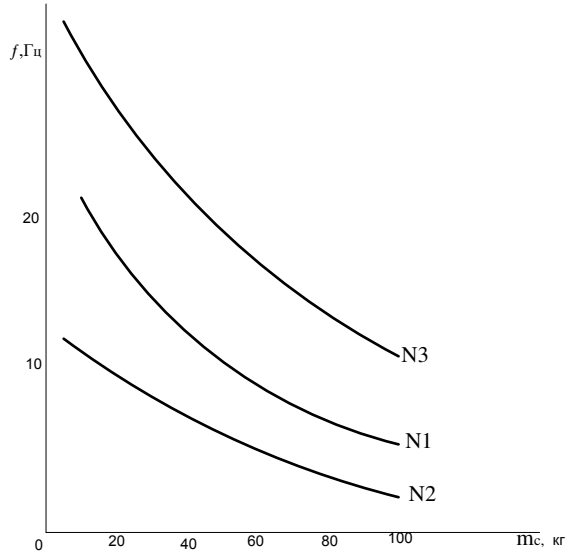
ნახ. 3-2. ხრახნული კილოს მქონე სამი გაჭრილი ზამბარისთვის დრეკადობის კოეფიციენტი (სიხისტე)

შემდეგ ჰუკის კანონის დაცვის პირობის გათვალისწინებით განისაზღვრებოდა ზამბარის რხევების პერიოდი

$$T = 2\Pi\sqrt{\frac{m_c}{k_c}}, \quad \text{წმ}, \tag{3.7}$$

და ზამბარის თავისუფალი რხევების სიხშირისთვის გვაქვს ω_0 - $f = \frac{1}{T}$, ჰც. გაანგარიშებების შედეგები სამი

განხილული ტიპის ზამბარებისთვის მოყვანილია ნახ. 3-3-ზე.



ნახ. 3-3. ზამბარების თავისუფალი რხევების სიხშირეები

4. აგრარულ წარმოებაში კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების გამოყენება

სასოფლო-სამეურნეო წარმოების განვითარება წარმოუდგენელია მაღალ-მწარმებელური ტექნოლოგიური მანქანა-დანადგარების გარეშე, რომლებიც ხშირ შემთხვევაში რთულ მექანიკურ რხევით სისტემებს წარმოადგენს. ვიბრაციის სასარგებლო გამოყენებას საფუძვლად უდევს თავისებური, ზოგჯერ სრულიად პარადოქსალური მოვლენები, რომლებიც უკავშირდებიან არაწრფივ მექანიკურ სისტემებში რხევების მიმდინარეობას. ის ხელს უწყობს პროცესებისა და რეაქციების გააქტიურებას ქიმიურ და ფიზიკურ ტექნოლოგიებში.

ვიბრაციული ტექნოლოგიის ცნება შედარებით ცოტა ხნის წინ, მეოცე საუკუნის 60-იან წლებში, აღმოცენდა ვიბრაციის საწარმოო პროცესები გამოყენების განვითარების შედეგად. ეს ცნება ასახავს პროცესებს, რომლებიც დაფუძნებულია ვიბრაციების გამოყენებაზე და რომლებიც გავლენას ახდენენ დამუშავების ობიექტზე, როგორც უშუალო, ასევე (უფრო ხშირად) დამუშავების გარემოზე და სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე ინსტრუმენტებზე.

სოფლის მეურნეობასა და კვების მრეწველობაში მარცვლეულის დასახარისხებლად გამოიყენება ვიბრაციული დანადგარები (ვიბრაციული საცრები და სეპარატორები), ხდება ზედმეტი ტენის მოცილება და

გრანულირებული პროდუქტების დამზადება. ნიადაგის დამამუშავებელ მანქანებში მუშა ორგანოზე ვიბრაციის ზემოქმედება იწვევს წევის წინააღმდეგობის შემცირებასა და ნიადაგის დამუშავების ხარისხის გაუმჯობესებას. სულ უფრო ხშირად გამოიყენება ვიბრაციული ტრანსპორტი – ნაყარი და ფხვიერი მასალების მიმართული გადაადგილების პროცესი, რომელსაც იწვევს ვიბრაციული მანქანების ტვირთმზიდი ორგანოების ვიბრაცია. ვიბრაციულ სატრანსპორტო საშუალებებს მიეკუთვნება ვიბრაციული კონვეიერები, ტრანსპორტიორები, ვიბრაციული ტუმბოები წყლის მცირე სიმაღლეზე დასაჭირხნად, დოზატორების ვიბრაციული მკვებავები, ვიბრაციული ბუნკერები და ა.შ.

შესრულებული სამუშაოს ბუნების მიხედვით, ყველა ვიბრაციის პროცესი შეიძლება დაიყოს განზოგადებულ ტექნოლოგიურ სფეროებად:

- ვიბრაციის ზემოქმედება ნაყარ და დისპერსიულ სისტემებზე;
- ვიბრაციული ელემენტების შეყვანა ნიადაგში, მასალაში, კლდეში;
- დეფორმაცია და დაჭრა;
- მასალების დამსხვრევა და დაფქვა;
- სხვადასხვა სახის ნივთიერებების ან მასალების გამოყოფა (ჭუჭყი და ა.შ.), რეცხვა, გაწმენდა.

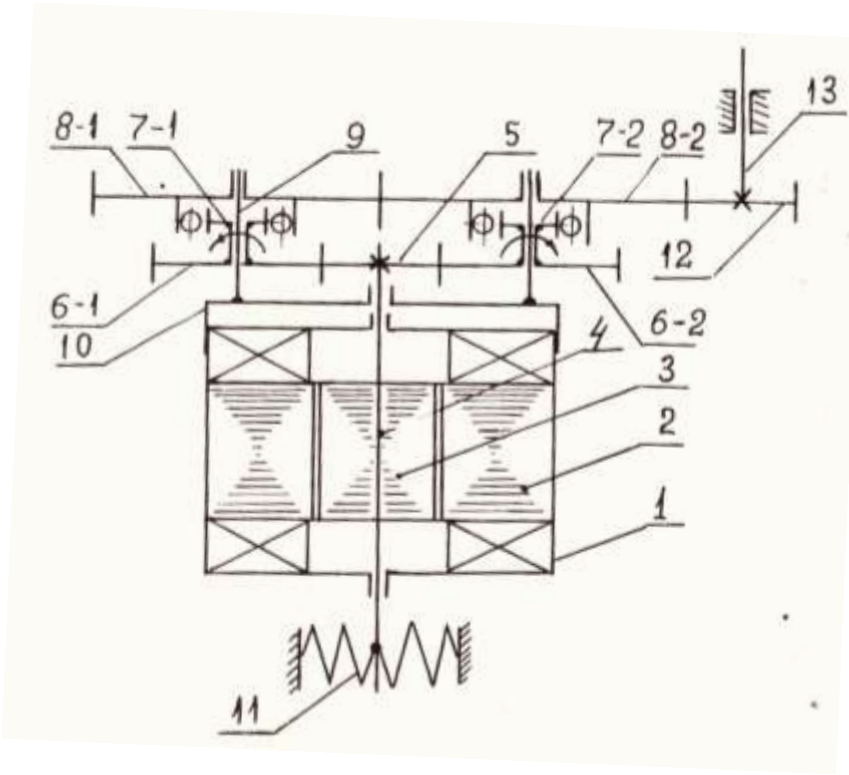
ამ დროს ისეთი ტექნოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტა, როგორიცაა ნაყარი და მრავალფაზიანი მასალის გამოყოფა (სეპარაცია), დეფორმაცია და მიკროჭრა, დაშლა და მსხვრევა, მექანიკური და ფიზიკურ-

მექანიკური პროცესების ეფექტიანობის გაზრდა, ვიბრო-თხევადი ფენის შექმნა, გადაადგილება და ტრანსპორტირება, ფრაქციებად დაყოფა.

4.1. მცირე კუთხით რხევითი გადაადგილების ბრუნვით მოძრაობაში გარდამქნელი

შემოთავაზებულ მოწყობილობაში (ნახ. 4-1) კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა გამოიყენება ბრუნვის ულტრადაბალი სიხშირეების მისაღებად და სიჩქარის უსაფეხურო რეგულირებისათვის. მოწყობილობა მანამდე არსებულებისგან განსხვავდება კონსტრუქციის საიმედოობითა და მაღალი მქკ-თი, აგრეთვე შემცირებულია ლითონტევადობა; ის შეიცავს ვიბროძრავას 1, რომელიც შედგება სტატორისა 2 და ღუზისგან 3, ამასთან ვიბროძრავის ლილვზე 4 ხისტად დასმული წამყვანი კბილა თვალი 5 მოდებაშია ორ სხვადასხვა ლილვზე დასმულ საშუალედო კბილა თვლებთან 6-1 და 6-2, რომელთა მორგვები წარმოადგენენ ურთიერთსაწინააღმდეგო გასასწრებ ქუროებს 7-1 და 7-2 და მათი მეშვეობით საშუალედო კბილთვლები დაკავშირებულია მოდებაში მყოფ ამყოლ კბილა თვლებთან 8-1 და 8-2, რომელთაგან ერთ-ერთი მოდებაშია სიმძლავრის ამრთმევი ლილვის 13 კბილანასთან 12. მოწყობილობის საცდელი ნიმუში დამზადდა თბილისის ჩარხმშენებელ ქარხანაში და გამოიცადა საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტის ლაბორატორიაში; გამოცდებმა გამოამჟღავნეს მისი მუშაობის უნარიანობა.

გარდამქნელი მუშაობს შემდეგი თანმიმდევრობით: რხევითი მომენტი ვიბროძრავის ლილვზე 4 წამყვანი კბილანის 5 საშუალებით რიგრიგობით მიეწოდება ორ საშუალედო კბილა თვალს 6-1 და 6-2, რომელთა მორგვები შესრულებულია მარჯვენა 7-1 და მარცხენა 7-2 გასასწრები ქუროების სახით, რომლებიც დაკავშირებულია ორ ერთნაირ მოდებაში მყოფ ამყოლ კბილა თვალთან 8-1 და 8-2. გასასწრები ქუროების 7 ისრებით ნაჩვენები მიმართულებით მობრუნებისას ისინი ჩაისოლებიან და წარმოებს ვიბროძრავის 1 რხევის მომენტის იმპულსის კბილანების 8 გავლით სიმძლავრის ამრთმევ ლილვზე 13 გადაცემა, ხოლო გასასწრები ქუროები 7 ისრებით ნაჩვენები მიმართულების საწინააღმდეგოდ შემობრუნებისას ამოირთვება.



ნახ. 4-1. კუთხით რხევითი გადაადგილების დაბალსიჩქარიან ბრუნვით მოძრაობაში გარდამქნელი [პატენტი 4]

გასასწრები ქუროები 7 და ამრიგად, ვიბროძრავის 1 ლილვის 4 რხევას ერთი პერიოდის განმავლობაში თანმიმდევრულად გადაეცემა რხევების მომენტის ერთი იმპულსი პირველ ამყოლ თვალს 8-1 და მეორე იმპულსი - მეორე ამყოლ თვალს 8-2, თანაც ორი პარალელური მარჯვენა 7-1 და მარცხენა 7-2 180-

გრადუსიანი ძვრის კუთხით მომუშავე გასასწრები ქუროს არსებობა წარმოადგენს აღნიშნული გარდამქნელის მუშაობის აუცილებელ პირობას, ამცირებს სიმძლავრის ამრთმევი ლილვის 13 ბრუნვის არათანაბრობას იმის გამო, რომ ამყოლი თვლები 8-1 და 8-2 ბრუნავენ ურთიერთსაწინაარმდეგო მიმართულებით დატვირთვა შეიძლება მიეერთდეს ნებისმიერ კბილა თვალს 8, რის შედეგად იცვლება გარდამქნელი სიმძლავრის ამრთმევი ლილვის 13 ბრუნვის მიმართულება. ამრიგად, როგორც გამომდინარეობს 4-1 ნახაზიდან, გარდამქნელის სქემის ცვლით შეიძლება განვახორციელოთ ლილვის 13 მოძრაობა ნებისმიერი კანონით ორთავე მიმართულებით თანაბარსიჩქარიანი ბრუნვიდან ბერკეტზე 14 გადაცემულ ნიშანცვლად რხევებამდე, თანაც ლილვის 13 ბრუნვის სიხშირე $\boldsymbol{n}$ დამოკიდებულია გარდამქნელის ლილვის 4-1 ნიშანცვლადი რხევების ამპლიტუდასა $\boldsymbol{A}$ და სიხშირეზე $\boldsymbol{f}$. ანალიზურად ეს დამოკიდებულება გამოისახება ფორმულით

$$\boldsymbol{n} = \frac{\boldsymbol{fA}}{\boldsymbol{60\,\pi i_1 i_2}}, \qquad (4.1)$$

სადაც i_1 – გადაცემის ფარდობაა კბილანასა 5 და საშუალო კბილა თვალს 6 შორის, ხოლო i_2 – გადაცემის ფარდობაა ამყოლ კბილა თვალსა 8 და სიმძლავრის ამრთმევი ლილვის 13 კბილანას შორის. მოყვანილი გამოსახულებიდან გამომდინარეობს სიმძლავრის ამრთმევი ლილვის 13 ბრუნვის სიხშირის $\boldsymbol{n}$ ორთავე

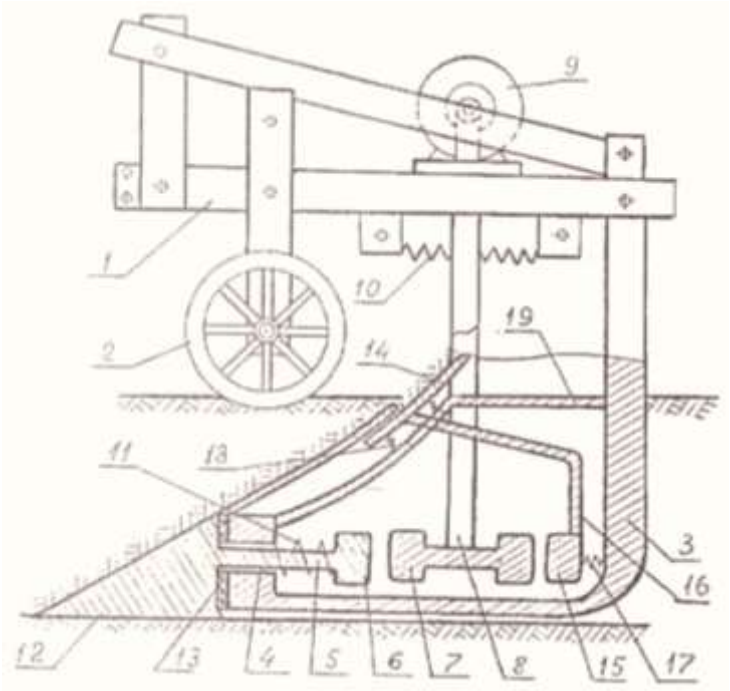
მიმართულებით დიდ დიაპაზონში უსაფეხურო რეგულირების, განსაკუთრებით კი ძალზე დაბალი ბრუნვის სიხშირეების მიღების შესაძლებლობა.

4.2. ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო

კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავით აღჭურვილი ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო განკუთვნილი იყო საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტში (ამჟამად აგრარული უნივერსიტეტი) სამთო სოფლის მეურნეობის ინსტიტუტში (დირექტორი აკადემიკოსი ვ.მეტრეველი) შექმნილი და რუსთავის ამწემშენებელ ქარხანაში (დირექტორი ა. სირაძე) დამზადებული ხიდური ელექტრიფიცირებული აგრეგატისათვის, რომელიც 1989-1991 წლებში იმყოფებოდა ექსპლუატაციაში მცხეთის რაიონის სოფელ ქანდას მეურნეობაში (ნახ. 4-2).

ნახ. 4-2. საქართველოს სახელმწიფო სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის სამთო სოფლის მეურნეობის ინსტიტუტის ხიდური ელექტრიფიცირებული აგრეგატის მუშაობა სოფელ ქანდის სანერგეში

ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო (ნახ. 4-3) შეიცავს ჩარჩოზე 1 დამაგრებულ საყრდენ თვალს 2, დგარს 3 თათიანი საფხვიერებლით 12, ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ ძრავას 9 ღუზითა და სტატორით, აგრეთვე უროს 7, ამასთან იგი აღჭურვილია დამატებითი საფხვიერებლით 14, რომელიც დრეკადი ელემენტების 17 და 18 საშუალებით უკავშირდებიან დგარს 3, ხოლო ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა 9 ხისტად დამაგრებულია ჩარჩოზე 1, ამასთან ღუზა ჭოკით 8, დაკავშირებულია უროსთან 7 და ურთიერთქმედებს მჭრელი თათის 12 და დამატებითი ზედაპირული 14 გამაფხვიერებლის გრდემლთან 6 და 15.



ნახ. 4-3. ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო [პატენტი 11]

ნიადაგდამამუშავებელი მუშა ორგანო მუშაობს შემდეგნაირად: ვიბროძრავის 9 ჩართვისას ჭოკის 8 საშუალებით რხევა გადაეცემა უროს 7, რომელიც ვიბროძრავის მიერ აღძრული რხევის ერთ-ერთი ტაქტის დროს დაეჯახება გრდემლს 6, რომელიც ხისტადაა დაკავშირებული მჭრელ თათთან, შედეგად ეს უკანასკნელი შეიჭრება ნიადაგის ფენაში. ვიბროძრავის რხევის მეორე ტაქტისას ურო 7 ეჯახება დამატებითი

ზედაპირული გამაფხვიერებლის გრდემლს 15, რომელიც უზრუნველყოფს ნიადაგის ზედა ფენის დამატებითი გამაფხვიერებლის 14 მოძრაობას. ამ ნიადაგდამამუშავებელი აქტიური ვიბრაციული მუშა ორგანოს მუშაობისას, ნიადაგი მჭრელი თათისა და გამაფხვიერებლის ზემოქმედებით ფხვიერდება მთელ სიღრმეზე და შედეგად იზრდება ნიადაგის ეროზიული მდგრადობა, ხოლო ვობროძრავის რხევის ორივე ტაქტის გამოყენება ამაღლებს ნიადაგდამამუშავებლის ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს.

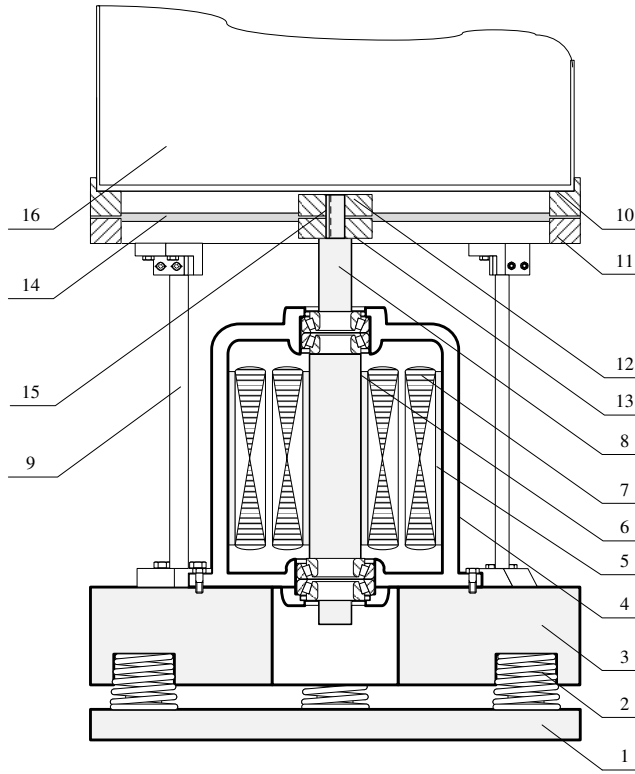
4.3. ღვინომასალის ვიბრაციული დამუშავება

ღვინომასალების წარმოების ტექნოლოგია ითვალისწინებს ღვინის და საბრენდე სპირტების მრავალწლიან დაძველებას. ეს ხანგრძლივი პროცესი იწვევს დანაკარგებს, რაც მწარმოებელი კომპანიებისათვის არახელსაყრელია, ამიტომ დაძველების პროცესის ხანგრძლივობის მინიმიზაციისა და ამავე დროს კონკურენტუნარიანი მაღალი ხარისხის პროდუქციის მიღების მიმართულებით მრავალი მკვლევარი მუშაობს. შემუშავებულია რიგი მეთოდებისა, რომლებიც შესაძლებლობას გვაძლევენ მივიღოთ ბუნებრივად დაძველებული ღვინო და საბრენდე სპირტი შემჭიდროებულ ვადებში. ამ მეთოდების ერთ-ერთი ჯგუფი ითვალისწინებს ღვინომასალების დაძველების პროცესების დაჩქარებას ელექტროფიზიკური ზემოქ-

მედების (მექანიკური რხევები, ულტრაბგერა, ინფრაწითელი დასხივება, ელექტრომაგნიტური ველი, მაღალი სიხშირის დენი და სხვ. გამოყენებით.

შევჩერდეთ მექანიკური რხევების, კერძოდ კი დაბალსიხშირიანი ვიბრაციის გამოყენებაზე. ღვინომასალებისა და საბრენდე სპირტების ვიბრაციული დამუშავების ეფექტიანობა დამოკიდებულია იმ პროცესების საფუძვლიან ცოდნაზე, რომლებიც მიმდინარეობენ ღვინის წარმოების პროცესში (ბუნებრივი დაძველების დროს) – ელექტროფიზიკური ზემოქმედებით ფიზიკურ-ქიმიური რეაქციების დაჩქარება და მაღალხარისხოვანი საბრენდე სპირტებისა და ღვინოების წარმოება ნაკლებ დროში, მინიმალური დანახარჯებით. ამასთან, დაძველების ხანგრძლივი დროის შემცირება და დურდოზე დუღილის რთული პროცესის გამარტივება, თვისობრივად და ხარისხობრივად ახალი სტილის წითელი ნახევრადტკბილი და ნახევრადმშრალი ღვინოებისა და მშრალი ღვინოების წარმოება, არ არღვევს პროდუქტის კომპონენტთა ჰარმონიულ თანაწყობას. ამ მიმართულებით მეღვინეებთან ერთად კვლევების ჩასატარებლად შეიქმნა ვიბრაციული მოწყობილობა - ბუნკერული დანადგარი (ნახ. 4-4), რომელიც შეიცავს სადგარს 1, მადემპფირებელი ზამბარებით 2, რომელთა მეშვეობით მასზე დრეკადად დამაგრებულია ფილა 3, ხოლო, თავის მხრივ, ფილაზე ხისტადაა დაყენებული კუთხური რხევების ვიბროამგზნების კორპუსი 4, რომელშიც მოთავსებულია უძრავი სტატორი 5 და მოძრავი ღუზა 6 აგზნების გრაგნილებით 7. თავის მხრივ, მოძრავი

ღუზა მოთავსებულია საკისრებიან ლილვზე 8, ხოლო ფილაზე ხისტად დამაგრებულია საყრდენი, რომელიც შესრულებულია ვერტიკალური დრეკადი ელემენტების 9, მასზე ჰორიზონტალურად დამაგრებული, ერთმანეთის ქვეშ განლაგებული, ზედა 10 და ქვედა 11 რგოლების, ზედა 12 და ქვედა 13 დისკოების და მათ შორის მოთავსებული დრეკადი ელემენტების 14 სახით. საყრდენი დაყენებულია დანადგარის ლილვის გარშემო გარკვეული კუთხით შემობრუნების შესაძლებლობით. ზედა და ქვედა დისკოები სოგმანის 15 საშუალებით ხისტადაა ასევე დამაგრებული ლილვზე, რომელიც ჰორიზონტალური დრეკადი ელემენტების საშუალებით უკავშირდება ზედა და ქვედა რგოლებს. ზედა რგოლზე დაყენებულია რეზერვუარი 16. ქვედა რგოლზე დამაგრებულია ვერტიკალური დრეკადი ელემენტები, რომლებიც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია ფილასთან.



ნახ. 4-4. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ბუნკერული დანადგარი კუთხით რხევითი ამგზნებით [პატენტი 9]

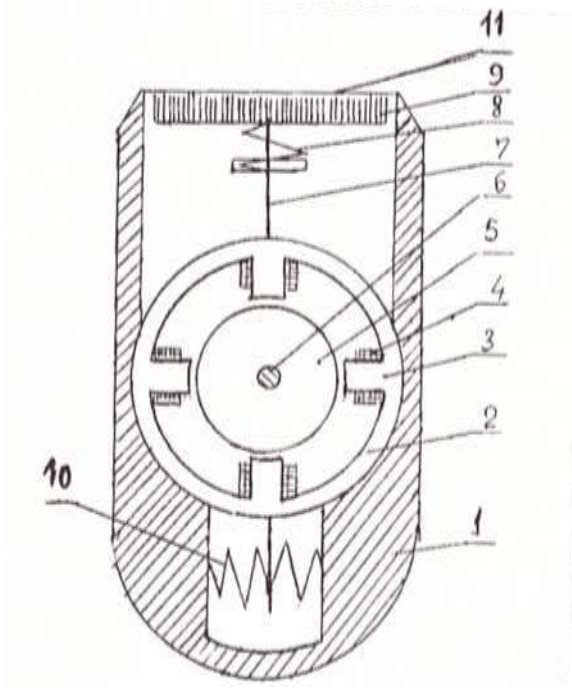
დანადგარი მუშაობს შემდეგი თანმიმდევრობით: რეზერვუარში დასამუშავებელი მასალის ჩატვირთვის შემდეგ ხდება კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავის ჩართვა, რის შემდეგაც მოძრავ

ღუზას, ლილვისა და საყრდენის საშუალებით, მოძრაობაში მოდის რეზერვუარი და, შესაბამისად, მასში ჩატვირთული ღვინომასალა. რეზერვუარის ხრახნულ-რხევითი მოძრაობა მიიღება აგზნების გრაგნილებში ცვლადი ან იმპულსური დენის გავლის შემთხვევაში, რომელსაც კუთხით-რხევად მოძრაობაში მოყავს ღუზა და ლილვი, რაც იწვევს ვერტიკალური დრეკადი ელემენტების 9 ნეიტრალური (ვერტიკალური) მდგომარეობიდან გადახრას გარკვეული კუთხით, მაგალითად მარჯვნივ, და აიძულებს ჰორიზონტალურ დრეკად ელემენტებს 14 გადაიხაროს გარკვეული კუთხით β ნეიტრალური (ჰორიზონტალური) მდგომარეობიდან ქვემოთ. რხევის მიმართულების შეცვლა, ე.ი. ღუზის მობრუნება მარცხნივ, განაპირობებს დრეკადი ელემენტების მოძრაობას საწინააღმდეგო მიმართულებით; კერძოდ, როდესაც ვერტიკალური დრეკადი ელემენტები 9 უბრუნდება საწყის მდგომარეობას და შემდეგ გადაიხრება ნეიტრალური მდგომარეობიდან α კუთხით ანუ საწინააღმდეგო მიმართულებით, ამ დროს ჰორიზონტალური დრეკადი ელემენტები 14 მოძრაობენ ქვევიდან ზევით მანძილით $x = \omega t l$, სადაც l - ვერტიკალური დრეკადი ელემენტის სიგრძეა, მ; შედეგად, დროის t იმ მომენტში მიაღწევს ნეიტრალურ მდგომარეობას, როდესაც ვერტიკალური დრეკადი ელემენტები 9 დაიკავებენ საწყის – ნეიტრალურ მდგომარეობას და შემდეგ გადაიხრება ისევ ქვედა მიმართულებით კუთხით. მაშასადამე, ღუზის კუთხური რხევები მარჯვენა და მარცხნენა მიმართულებით იწვევს ჰორიზონტალური დრეკადი ელემენტების, ზედა

10 და ქვედა 11 რგოლებისა და რეზერვუარის სინქრონულ რხევით მოძრაობას, კერძოდ, ხრახნულ მოძრაობას.

4.4. ვიბრაციული ელექტროსაპარსი

საპარსი (ნახ 4-5) შეიცავს კორპუსში 1 მოთავსებულ უძრავ დანას 11, სტატორისა 2 და ღუზისგან შემდგარ კუთხით რხევით ელექტრომაგნიტურ ვიბრომძრავასა და მასთან დაკავშირებულ უკუქცევითი მოძრაობის შესაძლებლობის მქონე მოძრავ დანას 9. კორპუსში განლაგებულია დრეკადი ელემენტები 10 და ელექტრომაგნიტური ვიბრომძრავის ღუზაზე ხისტად დამაგრებული ჭოკი 7, რომელიც, ერთის მხრივ, დაკავშირებულია მოძრავ დანასთან ხოლო მეორეს მხრივ – დრეკად ელემენტებთან, რომლებსაც გააჩნიათ ჭოკის მიმართ გადაადგილებისა და ფიქსაციის შესაძლებლობა.



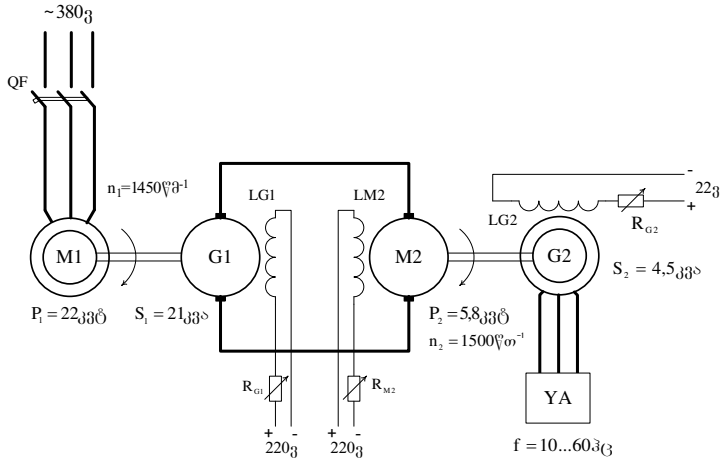
ნახ. 4-5. ვიბრაციული ელექტროსაპარსი [პატენტი 10]

საპარსის ქსელში ჩართვისას დენი, გაივლის რა ვიბრომძრავის სტატორის 2 პოლუსების 3 კოჭებში 4, ქმნის მაბრუნ მომენტს, რაც იწვევს მისი ღუზის 5 გარკვეული სიხშირით რხევებს და უზრუნველყოფს ჭოკისა 7 და მასთან დაკავშირებული მოძრავი დანის 9 რხევით მოძრაობას. ამასთან, დრეკადი ელემენტები 10 ჭოკის 7 კუთხით რხევითი მოძრაობის საშუალებით იწყებენ ჰარმონიულ რხევით მოძრაობას და შედეგად დრეკადი ბჯენის 8 საშუალებით მოძრავი დანის 9

უძრავ დანასთან 10 ურთიერთქმედებით ხორციელდება ჭრის პროცესი.

5. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული ძრავების ექსპერიმენტული კვლევები

დამუშავებული ვიბრაციული მანქანების ამძრავის კვლევები ტარდებოდა საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტში შექმნილ სპეციალურ საგამოცდო სტენდზე (ნახ. 5-1). სტენდის სქემაში მოკლედშერთულროტორიან ასინქრონულ ძრავას M1 მოძრაობაში მოჰყავს მუდმივი დენის გენერატორი G1, რომლიდანაც ძაბვა მიეწოდება დამოუკიდებელ აგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავას M2, რომლის ლილვი ხისტად დაკავშირებულია სინქრონული გენერატორის G2 ლილვთან. რეოსტატების წინაღობების R1, R2, და R3 რეგულირებით ხორციელდება სინქრონული გენერატორის ძაბვის U ამპლიტუდის ცვლილება 0 ... 250 ვმდე დიაპაზონში და აგრეთვე სიხშირის f რეგულირება 10...60 ჰც ფარგლებში. სტენდში გამოყენებული ელექტრული მანქანების სიმძლავრეები შერჩეულია ისე, რომ უზრუნველყოფილია საკვლევი დანადგარების მდგრადი მუშაობა სინუსოიდალური ცვლადი დენის სიხშირის რეგულირების მთელ დიაპაზონში.



ნახ. 5-1. საგამოცდო სტენდის ელექტრული სქემა

ლიტერატურა

1. დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ. ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი. საქართველოს პატენტი #227, „საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" #2, 1995.
2. დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ. კუთხითრხევადი რეზონანსული ელექტრომაგნიტური ვიბრომანქანის მუშა მახასიათებლები. საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. 11, 2003, გვ. 240-244.
3. დიდებულიძე ა. ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ ამგზნებში ენერგიის გარდაქმნის პროცესი. კონფერენცია „აგრარიკოს მეცნიერთა კვლევის შედეგების კომერციალიზაცია", შრომების კრებული. ქუთაისი, 2013. – გვ. 17-23.
4. მეტრეველი ვ., ჭელიძე შ., დიდებულიძე ა., ქსოვრელი რ. მცირე კუთხით რხევითი გადაადგილების ბრუნვით მოძრაობაში გარდამქნელი. საქართველოს პატენტი #673. „საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" #5, 1997, 7 გვ.
5. მიდელაშვილი ე. მეღვინეობის ტექნოლოგიური პროცესებისათის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული დანადგარების დამუშავება და მათი მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია. სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტი, თბილისი, 2010. – 140 გვ.
6. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა. კუთხითრხევადი ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნების ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშებისათვის. აგრარული

მეცნიერების პრობლემები, ტომი XXXVII, თბილისი, 2006, გვ. 139-142.
7. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., კუპატაძე მ., ქსოვრელი ნ. ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავა. საქართველოს პატენტი #49, „საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" #1, 1994, გვ.151.
8. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., მიდელაშვილი ე. კუთხითრხევადღუზიანი ორტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბროძრავის თირისტორული მართვა. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, ტომი XXIV, თბილისი, 2003, გვ. 93 – 96.
9. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., მიდელაშვილი ე., ქსოვრელი ზ. ვიბრაციული მოწყობილობა. საქართველოს პატენტი #2082, „საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" #3, 2000.
10. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., ქსოვრელი ზ. ვიბრაციული ელექტროსაპარსი. საქართველოს პატენტი #2084, „საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" #3, 2000.
11. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., ჭიპაშვილი ქ. ნიადაგდამამუშავებელი ვიბრაციული მუშა ორგანო. საქართველოს პატენტი #1563, „საქპატენტის ოფიციალური ბიულეტენი" #14, 1997.
12. ქსოვრელი რ., დიდებულიძე ა., ჭიპაშვილი ქ. ნამყენების ამოსაღები ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული კავი. საქართველოს სახ. აგრარული უნივერსიტეტის შრომები, თბილისი, 1993, გვ. 37-42.
13. ჯავახიშვილი გ. ელექტრომაგნიტური ვიბრატორი. საქრთველოს პატენტი #5978 გამოქვეყნებულია

„სამრეწველო საკუთრების ოფიციალურ ბიულეტენში“, #15, 2013, გვ. 8.
14. ჯავახიშვილი გ., დიდებულიძე ა. კუთხით რხევითი ელექტრომაგნიტური ვიბრატორის მუშაობის პრინციპი. ჟურნალი „ენერგია“, სერია: „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, #3(107), თბილისი, 2023. - გვ. 63 – 67.
15. ჯავახიშვილი გ., დიდებულიძე ა. კუთხით რხევითი რვაპოლუსიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა. საქრთველოს პატენტი # 16203, გამოქვეყნებულია „სამრეწველო საკუთრების ოფიციალურ ბიულეტენში“, # 20 (623), 2023, გვ. 7.
16. Didebulidze A. Operating Regimes of the Electromagnetic Oscillation Motor. Materials of the International Conference „Innovative technologies for sustainable and secure development of the agricultural sector”, Tbilisi, 2013. - pp. 376-379.
17. Didebulidze A., Javakhishvili G. Theoretical Principles of Electromagnetic Oscillation Motor with Asymmetrical Stator. „Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences”, vol 17, #2, 2023. – pages 35-42.
18. Metreveli V., Xovreli R., Didebulidze A., Chelidze S., Maisashvili L. Electromagnetic Vibrator. Canadian Patent #1202662, 1986, UK Patent #2157093, 1986, Patent of Chekhoslovakia #255533, 1987, Patent of India #160927, 1987, Patent of GDR #253746, 1988, Patent of FRG #3390536, 1988, Patent of France #2556148, 1987, Patent of Australia # 570651, 1988, Patent of Brazil #

8307751, 1988, Patent of Italy #1195562, Patent of Bulgaria #64345, 1989.
19. Xovreli R., Didebulidze A., Kochiev V., Gasseev A. Electromagnetic Oscillation Motor. US Patent #4885487, 12.05.1989, Euroropatent #0282589, 21.09.1988, Patent of Canada #1285596, 1991, Patent of India #163519, 1990, Patent of Australia #606853, 1991, Patent of Brazil #8607205, 1988, Patent of Finland #882201, 1988.
20. Дидебулидзе А., Ксоврели Р., Маисашвили Л. Выбор и расчет упругих элементов вибропривода с угловыми колебаниями. „Проблемы аграрной науки", том 27, Тбилиси, 2004. – стр. 145 – 148.
21. Дидебулидзе А.К., Ксоврели Р.И. Электромагнитный вибратор. Авторское свидетельство СССР # 1820460, "Бюллетень изобретений" # 21, 1993.
22. Ксоврели Р.И., Дидебулидзе А.К., Кочиев В.Х., Гассеев А.Ф. Электромагнитный вибродвигатель. Авторское свидетельство СССР # 1462451, „Бюллетень изобретений" # 8, 1989.
23. Ксоврели Р.И., Дидебулидзе А.К., Маисашвили Л.А., Чипашвили К.П. Влияние нелинейностей на динамику электромагнитного вибратора. Сборник: „Обоснование параметров сельскохозяйственной техники", Грузинский сельскохозяйственный институт, Тбилиси, 1987, стр. 104-110.
24. Ксоврели Р.И., Дидебулидзе А.К., Маисашвили Л.А. Экспериментальные исследования электромагнитного вибратора с угловыми колебаниями якоря.

Труды Грузинского сельскохозяйственного института, Тбилиси, 1988, стр. 120-125.
25. Метревели В.И., Ксоврели Р.И., Дидебулидзе А.К., Маисашвили Л.А. Определение оптимальных режимов работы электромагнитного вибратора. „Техника в сельском хозяйстве", Москва, #6, 1989, стр. 36-38.
26. Метревели В.И., Ксоврели Р.И., Дидебулидзе А.К., Челидзе Ш.В., Маисашвили Л.А. Электромагнитный вибратор. Авторское свидетельство СССР # 1040573, „Бюллетень изобретений" #19, 1986.
27. Метревели В.И., Ксоврели Р.И., Дидебулидзе А.К., Челидзе Ш.В., Маисашвили Л.А. Электромагнитный вибратор. Авторское свидетельство СССР # 1469532, „Бюллетень изобретений" #12, 1989.