

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ტექ. მეცნ. კანდიდატი ზორის დალუნდარიძე

ელექტრული მანქანების მოკლე კურსი

(ელექტრონული ვერსია)

თბილისი 2017

## სარჩევი

წინასიტყვაობის მაგიერ .....	3
I. ელექტრომექანიკის რაობა. ელექტრული მანქანების სახეები.....	4
II. მუდმივი დენის მანქანები.....	9
III. ტრანსფორმატორები.....	49
IV. ცვლადი დენის მანქანების ზოგადი საკითხები.....	66
V. ასინქრონული მანქანები.....	79
VI. სინქრონული მანქანები.....	97
გამოყენებული ლიტერატურა.....	117

## წინასიტყვაობის მაგიერ

წინამდებარე ნაშრომში შეკუმშული ფორმით გადმოცემულია ენერჯის ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების თეორიის ელემენტები, იმ მინიმალური მოცულობით, რომელიც აუცილებელია განსახილავი მასალის გაგებისათვის. უფრო მეტი ყურადღება გამახვილებულია მოვლენების ფიზიკურ მხარეზე, ხოლო მათემატიკური აპარატი უმრავლეს შემთხვევებში წარმოდგენილია მზა შედეგის სახით მათემატიკური მტკიცებულებების და ფორმულათა გამოყვანის გამოტოვებით. ასეთმა მიდგომამ საშუალება მოგვცა მნიშვნელოვნად შეგვემცირებინა კურსის მოცულობა და ის გაგვხადა იოლად გასაგები და ასათვისებელი ბაკალავრიატის სტუდენტისათვის. კურსში ტრადიციული თანამიმდევრობით განხილულია ელექტრომექანიკის ძირითადი კანონები და პრინციპები მუდმივი დენის მანქანების (როგორც ყველა გარდამქმნელთა შორის, შედარებით უფრო მარტივის) მაგალითზე, იმ აუცილებელი მინიშნებით, რომ ისინი ანალოგიურად შეიძლება განხილული იყონ ნებისმიერი სახეობის ელექტრომექანიკური გარდამქმნელის საფუძველზე.

ნაშრომში განხილულია ელექტრული მანქანების ოთხივე ძირითადი სახეობა: მუდმივი დენის მანქანები, ტრანსფორმატორები, ასინქრონული მანქანები, სინქრონული მანქანები. ასინქრონული და სინქრონული მანქანების წინ მოცემულია ცვლადი დენის მანქანების თეორიის ზოგადი საკითხების განხილვა. ავტორის აზრით კურსი ყველაზე მოკლევადიანია აქამდე ამ საგანში ქართულ ენაზე შექმნილ ყველა სახელმძღვანელოს შორის. ავტორი მასალის გადმოცემისას შეეცადა რთული ფიზიკური პროცესები და მეცნიერული დასკვნები ჩამოეყალიბებინა სამეცნიერო პოპულარულ ენაზე, რაც მისი აზრით შეუმსუბუქებს სტუდენტს მასალაში გარკვევას და გაუიოლებს მის დახსომებას. ამავე დროს მასში განხილული საკითხების სიღრმე და სპექტრი, მოვლენათა ფიზიკური მხარის სრულყოფილად გაშუქების ფონზე სრულიად პასუხობს ამ დისციპლინაში ბაკალავრიატის კურსდამთავრებულისათვის საჭირო ცოდნის მაღალ დონეს. ავტორი დიდი გულისხმიერებით განიხილავს ყველა შენიშვნას (მათ შორის შენიშვნის ავტორთან ერთად) და ყველა საქმიანი და კონსტრუქციული მათგანი გათვალისწინებული იქნება კურსის მომდევნო რედაქციებში. სახელმძღვანელო გათვალისწინებულია ძირითადად ენერჯეტიკის ფაკულტეტის ბაკალავრიატის სტუდენტებისათვის. ის ასევე დახმარებას გაუწევს სხვა ტექნიკური დარგების ბაკალავრიატის სტუდენტებს, ხოლო ზოგიერთი ძნელად გასაგები მათემატიკური მსვლელობების გამოტოვებით - სპეციალური ელექტროტექნიკური მომზადების უქონელ მკითხველთა ფართო ფენას. თქვენი შენიშვნები და წინადადებები გთხოვთ მოგვაწოდოთ ელექტრონული ფოსტის მისამართზე: [bdagundaridze@gmail.com](mailto:bdagundaridze@gmail.com)

# I. ელექტრომექანიკის რაობა. ელექტრული მანქანების სახეები

ელექტრომექანიკა არის ტექნიკური მეცნიერების დარგი, რომელიც შეისწავლის ენერჯის ისეთ გარდამქმნელებს, რომელთა მოქმედების პრინციპი დამყარებულია ელექტრული ან მაგნიტური ველების ურთიერთქმედებაზე. ზოგადი ელექტრომექანიკა კი, თავის მხრივ, შეისწავლის ამ გარდაქმნის ზოგად კანონზომიერებებს ნებისმიერი სახეობის ელექტრომექანიკურ გარდამქმნელებში. ენერგეტიკულ დანადგარებში ურთიერთსამოქმედოთ გამოიყენება მხოლოდ მაგნიტური ველები, რადგან ელექტრულ ველთან შედარებით ერთი და იგივე მასა-გაბარიტის პირობებში მათი სიმძლავრე მრავალ ასეულჯერ და ათასეულჯერ მეტია. ამ ურთიერთქმედების მთავარი მონაწილე - ძირითადი მაგნიტური ველი შეიძლება შექმნილი იყოს როგორც მუდმივი მაგნიტით, ასევე ელექტროდენის საშუალებით. პირველ შემთხვევაში გარდამქმნელს ეწოდება მუდმივი მაგნიტებიანი, ხოლო მეორეში ელექტრომაგნიტურ აგზნებიანი ელექტრული მანქანა. აქვე უნდა განიმარტოს, რომ ენერჯის ელექტრომექანიკური გარდაქმნელის მაგიერ ხშირად გამოიყენება სინონიმი-ტერმინი ელექტრული მანქანა.

## ელექტრომექანიკის ძირითადი კანონები.

1. ფარადეის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი: მაქსველის ფორმულირებით გამტარ კონტურის გამჭოლავი მაგნიტური ნაკადის ყოველი ცვლილებისას კონტურში აღიძვრება ინდუქციის ელექტრომომძრავებელი ძალა (ემძ), რომლის სიდიდე მხოლოდ ნაკადის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია, ნიშანი კი ამ ცვლილების ნიშნის საპირისპიროა. ანუ თუ ნაკადი იმატებს, ემძ დადებითია, თუ იკლებს - უარყოფითი. თუ კონტური ელექტრულად ჩაკეტილია, მაშინ მასში ეს ემძ გამოიწვევს ელექტრულ დენს. ფარადეის ფორმულირებით ნებისმიერი  $I$  სიგრძის ელექტროგამტარის მაგნიტურ ველში განივად გადაადგილებისას ამ გამტარის ბოლოებზე გაჩნდება ემძ, რომლის სიდიდე მაგნიტური ინდუქციის, გამტარის სიგრძისა და გამტარის მოძრაობის სიჩქარის ნამრავლის ტოლია. ორთავე ეს ფორმულირება ერთმანეთის იდენტურია.

$$E = - d\phi / dt = B l v,$$

სადაც  $E$  არის გამტარში აღძრული ელექტრომომძრავებელი ძალა (ემძ), ვოლტებში;  $\phi$  არის მაგნიტური ნაკადი, ვებერებში;  $t$  დრო, წამებში;  $B$  ინდუქციაა, ტესლებში;  $l$  გამტარის სიგრძეა, მეტრებში;  $v$  გამტარის მოძრაობის სიჩქარეა, მ / წმ;

2. **სრული დენის კანონი.** მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორის წირული ინტეგრალი ნებისმიერ ინტეგრების კონტურზე ამ კონტურის მიერ შემოსაზღვრულ ზედაპირში გამავალი სრული დენის ტოლია:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I.$$

სადაც  $I$  აღნიშნავს დენს, ამპერებში;  $d\vec{l}$  ინტეგრების კონტურის ელემენტარული უბნის სიგრძეა, მეტრებში; ელექტრულ მანქანებში სრული დენში იგულისხმება აგზნების კოჭაში გამავალი დენების ჯამი, რომელიც ყოველ ხვიაში მათი მიმდევრობითი შეერთების გამო ერთიდაიგივეა და სიდიდით უდრის ხვიების რიცხვის  $w$ -სა და მათი დენის  $i$  - ს ნამრავლს. ამ ნამრავლს ამპერხვიების რიცხვსაც და დამამაგნიტებელ ძალასაც უწოდებენ. მისი გავლენით გარემოში (მის მიერ შემოსაზღვრულ კონტურში და კონტურს გარეთ) აღიძვრება მაგნიტური ნაკადი. თუ გარემო, სადაც აღიძვრება მაგნიტური ნაკადი მთლად ფერომაგნიტურია, მაშინ მასში ამპერხვიების (დამაგნიტების რეაქტიული სიმძლავრის) კუთრი დანახარჯი ჰაერთან შედარებით გარემოს მაგნიტური განვლადობის კოეფიციენტის უკუპროპორციულია, ანუ რამდენიმე ასეული  $\div 800$  ათას ჯერ ნაკლებია.

3. **ამპერის კანონი.** მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან ელექტროგამტარზე მოქმედებს მექანიკური ძალა, რომელიც მაგნიტური ინდუქციის, გამტარის დენისა და გამტარის სიგრძის ტოლია.

$F = B I l$ , სადაც  $F$  არის ძალა, ნიუტონებში;  $I$  არის დენი, ამპერებში;  $l$  („ელ“) არის გამტარის სიგრძე, მეტრებში.

როგორც ფარადეის, ასევე ამპერის კანონი ასახავენ ელექტრომაგნიტური და მექანიკური მოვლენების მჭიდრო ურთიერთკავშირს, რომელიც საფუძვლად დაედო მსოფლიოს ეკონომიკურ განვითარებას. უნდა შევნიშნოთ, რომ ამპერის ძალა ასეულ და ათასეულჯერ აღემატება კულონურ ძალას, რის გამოც ენერგეტიკულ დანადგარებში სწორედ ამპერის ძალა გამოიყენება.

გამტარში ინდუქტირებული დენის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით, ხოლო მოქმედი ძალის მიმართულება მარცხენა ხელის წესით: გაშლილი მარჯვენა ან მარცხენა ხელი უნდა ვიგულისხმოთ მაგნიტურ ველში ისე, რომ ხელის გული უყურებდეს ჩრდილო პოლუსს (ანუ ძალწირები შედიოდნენ მასში), ოთხი თითის მიმართულება ემთხვევა დენის მიმართულებას, ხოლო გაშლილი ცერი გვიჩვენებს მექანიკური სიდიდის (ძალის ან სიჩქარის) მიმართულებას. ანუ ოთხი თითი ყოველთვის ასოცირდება ელექტრულ სიდიდეებთან, ხოლო ცერი მექანიკურ სიდიდეებთან.

ემპ-ის, ასევე მექანიკური სიდიდეების მიმართულება განისაზღვრება ლენცის წესითაც: გამტარ კონტურში ინდუქტირებული დენის მიმართულება ყოველთვის ეწინააღმდეგება მის გამომწვევ მიზეზს.

ელექტრომექანიკა ეყრდნობა ასევე სამ მთავარ პრინციპს:

1. **ენერჯის ყოველ გარდაქმნას თან ახლავს აუცილებელი დანაკარგები.** უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტრომექანიკური გარდამქმნელები ამ მხრივ ყველაზე უნაკლონი არიან: მათი მქკ 99 % -ზე მეტიც კი შეიძლება იყოს.
2. **ყველა ელექტრული მანქანა შექცევადია,** ანუ აუცილებლად აქვს გენერატორული და ძრავული რეჟიმი. თუმცა როგორც წესი მათ ამზადებენ ერთი გარკვეული რეჟიმისათვის, რადგან ამ შემთხვევაში მათ აქვთ უკეთესი მაჩვენებლები. ეს პრინციპი ამ კანონების აღმოჩენიდან მოგვიანებით იქნა დაფიქსირებული და ცხადად მიუთითებს ფარადეისა და მაქსველის კანონების იგივეობაზე, თუმცა დღემდე ორივე კანონი ცალ-ცალკე განიხილება, რაც განპირობებულია მათი კონკრეტიზაციით ანუ პირდაპირი მისადაგებით ელექტრული ენერჯის მექანიკურში (ამპერის კანონი) და მექანიკური ენერჯის ელექტრულში (ფარადეის კანონი) გარდაქმნისადმი. ანუ ენერჯის ერთიანი, ელექტრო-მექანიკური გარდაქმნის კანონი დაყოფილია ორ ქვე კანონად. სრულიად პირობითია მექანიკურ სიდიდეთ ამ კანონებში არაერთიდაიგივე დასახელების ვექტორების ძალის და სიჩქარის გამოყენებაც. ერთიანი კანონისათვის საჭიროა, რომ მოვლენის ელექტრული და მექანიკურ მხარე გამოისახებოდეს თითო სიდიდით. ამჯერად ეს სიდიდეები ორთავე კანონში სხვადასხვაა: ამპერისეულში- დენი და ძალა, ფარადეისეულში - ემპ და სიჩქარე. ცხადია რომ ერთიან კანონში უპრიანია იყოს თითო სიდიდე სიმძლავრის (ენერჯის) ცალკეული სახისათვის.. მაგ. ელექტრულისათვის ელექტრული სიმძლავრე, ხოლო მექანიკურისათვის მექანიკური სიმძლავრე და კანონი ჩამოყალიბდეს ასე: **მაგნიტურ ველში ჩაკეტილი კონტურის მოძრაობისას ადგილი აქვს მიწოდებული ენერჯის გარდაქმნას: მექანიკურისას - ელექტრულში ან ელექტრულისას-მექანიკურში.** ერთიანი კანონის აღიარება საქმეს საკმაოდ ამარტივებს: ზოგად ელექტრომექანიკაში ორის ნაცვლად რჩება ერთი კანონი და სამის ნაცვლად ორი ფუძემდებლური პრინციპი. ცხადია, რომ ამ გარდაქმნას ახორციელებს ელექტრომაგნიტური მომენტი, რომელიც ენერჯის გარდაქმნის მიმართულების შეცვლისას თვითონაც იცვლის მიმართულებას: გენერატორში ის დატვირთვაა, ხოლო ძრავაში წამყვანი. ის ყოველთვის ლილვზე მოდებული მექანიკური მომენტის საპირისპიროა: გენერატორის შემთხვევაში ის ეწინააღმდეგება წამყვან მომენტს, ხოლო ძრავას შემთხვევაში- ასამოდრავებელი მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტს. სხვაობა, რომელიც უცილობლად ახლავს ენერჯიების სახეობის შეცვლას, წარმოადგენს ენერჯის სახეცვლილებით (გარდაქმნით) გამოწვეულ დანაკარგს- გარდაქმნის ე. წ. „საფასურს“. შექცევადობის აღნიშნულ პრინციპი ხასიათდება ავტომატიზმით. ერთადერთი

გამონაკლისი, სადაც ენერჯის სახეობის შეცვლა ავტომატურად არ ხდება სერიესული მუდმივი დენის მანქანაა. ამ მანქანაში ღუზისა და აგზნების გრაგნილის მიმდევრობით შეერთებულ ნაწილში, თუ არ მოხდა ღუზის ან აგზნების გრაგნილის საწყისისა და ბოლოს ურთიერთშენაცვლება, სიმძლავრის გარდაქმნის მიმართულების შეცვლა თავისთავად არ მოხდება. ამ ცვლილებისათვის საჭიროა ღუზის ან აგზნების გრაგნილის საწყისისა და ბოლოს ურთიერთ შენაცვლება. ამის გარეშე ელექტრომაგნიტური მომენტი ვერ შეიცვლის ნიშანს, რაც ბლოკავს ენერჯის გარდაქმნის მიმართულების შეცვლას. ანუ ეს მანქანა ავტომატურად ვერ ახდენს სიმძლავრის გარდაქმნის მიმართულების შეცვლას. ყველა სხვა მანქანა თავისუფალია ამ „ანომალიისაგან“. სიცხადისათვის ენერჯის გარდაქმნის მიმართულების შეცვლის პროცესი შეიძლება წარმოვიდგინოთ 5 ეტაპად შემდეგნაირი სქემით: მაგ.: ელექტრული ენერჯის მექანიკურში გარდაქმნის მიმართულების შეცვლა ანუ ძრავული რეჟიმიდან გენერატორული რეჟიმში გადასვლა, ე.ი. მექანიკური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნის ინიცირება ხდება: (1) ასამოძრავებელი მექანიზმის მხრიდან წინააღმდეგობის მომენტის დანულებით ან დამტვირთავი მექანიზმის მთლად მოშორებით, რის გამოც (2) მიწოდებული ანუ მოხმარებული (პირველადი) ელექტრული სიმძლავრის მოხმარება მცირდება დანაკარგების სიმძლავრის დონემდე, ამის შემდეგ (3) ლილვზე ვაწოდებთ მექანიკურ, წამყვან (გარდასაქმნელ) სიმძლავრეს, რომელიც უკვე ხდება პირველადი, (4) თავდაპირველად ის თავის თავზე იღებს დანაკარგების დაფარვას, ხოლო შემდგომ (5) ლილვზე მიწოდებული მექანიკური სიმძლავრის მომატებით დანაკარგების სიმძლავრეს გადარჩენილი მექანიკური სიმძლავრის ნაწილი გვამღევს გარდაქმნილი მექანიკური სიმძლავრის მაგიერ უკვე ელექტრულ სიმძლავრეს.

3. ენერჯის გარდაქმნის მიზნით განიხილება მხოლოდ სივრცეში ერთმანეთის მიმართ არამბრუნავი ველების ურთიერთმოქმედება, რომლებიც მხოლოდ გარდამავალ რეჟიმში შეიძლება წანაცვლდნენ ერთმანეთის მიმართ. დამყარებულ რეჟიმში ეს ველები უძრავნი არიან ერთმანეთის მიმართ - მათით წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური მომენტი და სიმძლავრე ნიშანუცვლელია და ახორციელებს ენერჯის მიზნობრივ გარდაქმნას. ერთმანეთის მიმართ მოძრავი ველების ურთიერთქმედება განიხილება მხოლოდ გარდამავალ რეჟიმებში და ამ დროს აღძრული ნიშანცვლადი ელექტრომაგნიტური მომენტი იწვევს ენერჯის არასასურველ რყევას ქსელსა და მანქანას შორის და არ მონაწილეობს ენერჯის მიზნობრივ გარდაქმნაში.

**ელექტრული მანქანების კლასიფიკაცია.** ენერჯის ელექტრომექანიკური გარდამქმნელები ანუ ელექტრული მანქანები იყოფიან შემდეგ (მათ შორის ოთხ

ძირითად)

სახეებად:

**მუდმივი დენის მანქანები**, სადაც ენერჯის გარდაქმნა ხორციელდება ინდუქტორის უძრავ ველსა და მბრუნავი ღუზის გრაგნილში გამავალ მუდმივი დენის უძრავ მაგნიტურ ველს შორის ურთიერთქმედებით. ღუზის წრედი, როგორც ინდუქტორის აგზნებისა ჩვეულებრივი მუდმივი დენის წრედებია.

**ტრანსფორმატორები**, სადაც ენერჯის გარდაქმნა ხორციელდება ერთმანეთის მიმართ გაღვანურად განცალკევებულ გრაგნილების ველებს შორის ურთიერთქმედებით, რომელშიც ერთერთი ცვლადი დენით იკვებება და ქმნის ძირითად ველს, სხვებში კი ინდუქტირდება ცვლადი დენი, რომელიც ასევე ქმნის ინდუქციურებული დენების ველს. აქ ყველა გრაგნილის წრედი ცვლადი დენის წრედია.

**ასინქრონული მანქანები**, რომლებშიც ენერჯის გარდაქმნა ხორციელდება ცვლადი დენის ქსელის ძაბვაზე მიერთებული უძრავი გრაგნილით შექმნილ მბრუნავ მაგნიტურ ველსა და მის მიერვე ინდუქციურებული ცვლადი ელექტროდენის მბრუნავ ველს შორის ურთიერთქმედებით. ძირითადი ველი და როტორი მოძრაობენ ასინქრონულად. მთავარ გრაგნილის და ასევე ინდუქციურებული დენის წრედები ცვლადი დენის წრედებია.

**სინქრონული მანქანები**, რომლებშიც ენერჯის გარდაქმნა ხორციელდება ინდუქტორის ბრუნვის გამო მბრუნავი ველსა და უძრავ გრაგნილებში ამ ველის ბრუნვით ინდუქციურებული ცვლადი დენებით შექმნილ ასევე მბრუნავ ველს შორის ურთიერთქმედებით. ინდუქტორი და ინდუქციურებული დენების მბრუნავი ველი ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ სინქრონულად, ცვალებადი შეიძლება იყოს მხოლოდ მათ შორის არსებული გეომეტრიული კუთხე. ინდუქტორის გრაგნილის წრედი მუდმივი დენის წრედია, ხოლო უძრავი გრაგნილების წრედები ცვლადისა.

**ორმაგი კვების მანქანები**, სადაც უძრავ და მოძრავ გრაგნილებს მიეწოდება გარკვეული სიხშირის ცვლადი ძაბვები და როტორის სიჩქარე უძრავ და მოძრავ ნაწილების სიხშირეთა სხვაობის ტოლია

**ცვლადი დენის კოლექტორული მანქანები**, სადაც ინდუქტორიც და ღუზაც ერთავე ცვლადი დენის წრედებია.

**უმფორმერები** (სიხშირის გარდამსახები), სადაც უძრავი ნაწილი იკვებება ერთი სიხშირით, ხოლო მოძრავი ნაწილის სიხშირე დამოკიდებულია მისი მოძრაობის სიხშირეზე.

**სელსინები**, რომელთა დანიშნულებაა მოძრავ და უძრავ გრაგნილებს შორის არსებული გეომეტრიული კუთხის გადაცემა შორ მანძილზე მექანიკური კავშირის გარეშე.

მოქმედების პრინციპის მიხედვით ელექტრული მანქანები შეიძლება დავეყოთ ორ ყუფად:

პირველი - როცა ურთიერთმოქმედი ველები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელნი



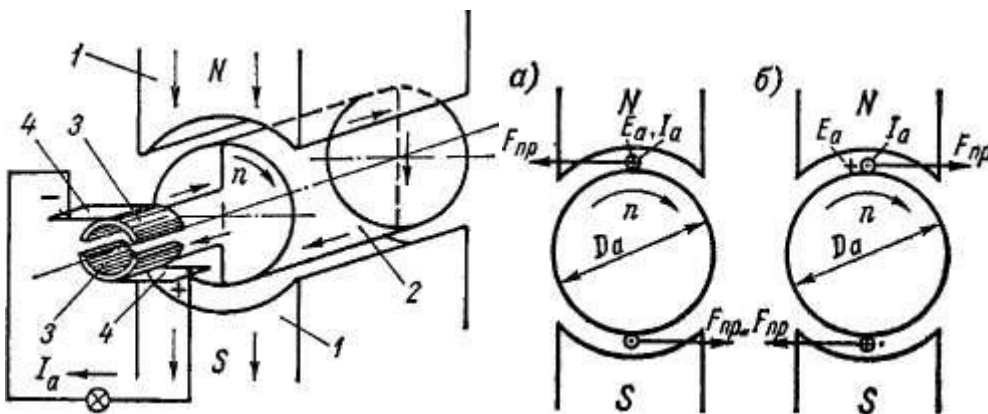
არიან; ამ ჯგუფს განეკუთვნება მუდმივი დენის, სინქრონული, ორმაგი კვების, კოლექტორული მანქანები, უმფორმერები, სელსინები მეორე - როცა ერთერთი ურთიერთმოქმედი ველი ძირითადი ველის მიერ არის აღძრული. ამ ჯგუფისა არიან ტრანსფორმატორები, ასინქრონული მანქანები, კოლექტორული მანქანებიდან რეპულსიური ძრავა. სიმძლავრის მიხედვით ელექტრული მანქანები იყოფიან:

1. მიკრომანქანები - 0,5 კილოვატამდე;
2. მცირე სიმძლავრის მანქანები - 0,5 – 20 კილოვატამდე;
3. საშუალო სიმძლავრის მანქანები - 20 – 250 კილოვატამდე;
4. დიდი სიმძლავრის მანქანები - 250 კილოვატზე მეტი.

## II. მუდმივი დენის მანქანები

მუდმივი დენის მანქანის მოქმედების პრინციპი

ნახ. 1-1 -ზე წარმოდგენილია უმარტივესი კონსტრუქციის მუდმივი დენის (მდმ) მანქანა,



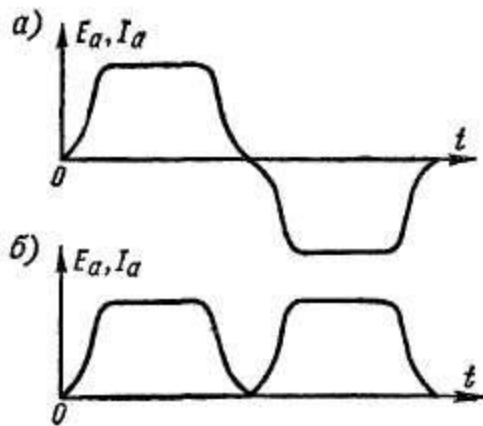
ნახ. 1-1. (მარჯ.) უმარტივესი მუდმივი დენის მანქანა

ნახ. 1-2. (მარცხ.) უმარტივესი მუდმივი დენის მანქანის მუშაობა გენერატორულ რეჟიმში (ა) და ძრავულ რეჟიმში (ბ)

ხოლო ნახ. 1-2 -ზე მისი სქემა ღერძულ მიმართულებაში. უძრავი ნაწილი ამ სქემაში წარმოადგენს ინდუქტორს. ის შედგება პოლუსებისაგან 1 და ფოლადის წრიული უღლისაგან, რომელზეც პოლუსებია დამაგრებული (სქემაზე ნაჩვენები არაა). ინდუქტორის დანიშნულებაა ყველა მანქანაში ძირითადი მაგნიტური ნაკადის შექმნა.

მანქანის მბრუნავი ნაწილი შედგება ლილვზე დამაგრებულ ცილინდრული ღუზისაგან 2 და კოლექტორისაგან 3. ღუზა აკრეფილია იზოლაციის ფენით დაფარული ფურცლოვანი ფოლადის ნატვიფრისაგან, რომლებიც საიმედოთ არიან დამაგრებული ლილვზე. ამ სქემაზე უმარტივესი გრაფილია გამოსახული და ის შედგება ერთი ხვიისაგან, რომლის ბოლოებიც ორ კოლექტორულ ფირფიტაზეა მიმაგრებული, მათზე მიბრჯენილია ორი ნახშირის მუსა 4, რომლებიც აერთებენ ღუზის ხვიას გარე წრედთან. ძირითადი მაგნიტური ნაკადი ნორმალურ მანქანებში იქმნება ალგუნების გრაფილით, რომელიც მოთავსებულია პოლუსებზე და იკვებება მუდმივი ელექტროდენით. მაგნიტური ნაკადი გამოდის ჩრდილო პოლუსიდან გაივლის საჰაერო შუალედს, ღუზას, საჰაერო შუალედს, ჩრდილო პოლუსს, ინდუქტორის უღელს და ბრუნდება ჩრდილო პოლუსში (გაიხსენეთ მაგნიტური ძაღწირები, ელექტრული ძაღწირებისაგან განსხვავებით) ყოველთვის ჩაკეტილი წირებია, ამ უბნების მაგნიტურ წინააღმდეგობათა და გრაფილის ომური წინაღობის გადალახვაზე იხარჯება აგუნების ამპერხვიები. განვიხილოთ გენერატორული რეჟიმი. დაუშვათ ღუზა მოძრაობაში მოდის საათის მიმართულებით, მაშინ ღუზის გამტარებში ინდუქტირდება ემძ, რომლის მიმართულება განისაძღვრება მარჯვენა ხელის წესით, ნახ. 1-3. რადგან მაგნიტური ნაკადი დროში არ იცვლება, ამიტომ ემძ აღიძვრება მხოლოდ მისი ბრუნვითი მოძრაობის ხარჯზე და ეწოდება ბრუნვის ემძ ხვიის ემძ

$$E_a = 2e_{np} = 2Blv. \quad (1-1)$$



ნახ. 1-4. უმარტივესი მანქანის ემძ-ს და დენის მრუდები ლაზაში (ა) და გარე წრედში (ბ)

ეს ემძ ცვლადი მიმართულებისაა, რადგან ხვიის გვერდები რიგრიგობით გაირბენენ ხან ჩრდილოეთ და ხან სამხრეთ პოლუსის ქვეშ. რაც შეეხება მის სიდიდეს ისიც (მუდმივი უბნის გარდა) ცვალებადია, და იმეორებს მაგნიტური ინდუქციის საჰაერო ღრეჩოს გასწვრივ ცვლილების მრუდის ფორმას(ნახ. 1-4, ა). ემძ-ს სიხშირე f კი ერთ წყვილზე მეტი პოლუსიანი მანქანის შემთხვევაში

$$f = P n,$$

1-

2

სადაც  $P$  წყვილ პოლუსთა რიცხვია (განხილულ შემთხვევაში  $P = 1$ , მანქანა ორპოლუსაა) ;  $n$  ბრუნთა რიცხვია წამებში. თუ გარე წრედი ჩართულია ელექტრულ დატვირთვაზე, მაშინ ღუზის გრაგნილში გაივლის ცვლადი დენი  $I_a$  (ნახ. 1-4, (ა), რომელიც გარე წრედში იქნება მუდმივი მიმართულების, ოღონდ პულსირებული სიდიდის ნულოვანი მნიშვნელობის მომენტებითაც, ნახ. 1-4, (ბ). მუდმივი ამ დენის მიმართულება იმის გამოა, რომ ერთი და იგივე მუსასთან კონტაქტი აქვს მხოლოდ იმ კოლექტორულ ფირფიტას, რომლის პოლარობაც ამ მუსასთან მისი კონტაქტის მთელი დროის განმავლობაში ყოველთვის ერთი და იგივეა, ხოლო შემდეგში უკვე მეორე მოკონტაქტე ფირფიტა ხდება იგივე პოლარობის და ა. შ. როცა ფირფიტის პოლარობა იწყებს ჯერ ნულოვან მნიშვნელობის გავლას და შემდეგ იცვლება საპირისპიროთი, ის უკვე გასცდება აღნიშნულ მუსას და მეორე მუსას დაეკონტაქტება. ამრიგად კოლექტორი წარმოადგენს დენის ერთგვარ (მექანიკურ) გამმართველს, რომელიც გამართავს ღუზის ცვლად დენს. ასეთი პულსირებული, თუმცა კი მუდმივი მიმართულების, დენი ნაკლებად გამოსადეგია პრაქტიკული მიზნებისათვის. პრაქტიკულად უპულსაციო დენის მისაღებად გამოიყენება უმარტივესის ნაცვლად უფრო რთული გრაგნილი და კოლექტორი ( ერთის ნაცვლად ბევრი სხვადასხვა ღრმულებში მოთავსებული ხვიები და სათანადოთ იმდენივე რაოდენობის კოლექტორული ფირფიტები). ამის წყალობით ღუზის ძაბვის მაქსიმუმი წარმოადგენს დროში ერთმანეთისაგან დაძრულ აღნიშნული მრუდების მაქსიმუმთა ჯამს, ხოლო მუსა თვითეულ ფირფიტასთან კონტაქტშია ღუზის არა მთელი ნახევარი შემობრუნების განმავლობაში არამედ ხანმოკლე დროში, როცა მრუდის ამპლიტუდა მაქსიმალურია. რის გამოც მრუდის ჩავარდნილი (ნულოვანი) უბანი მუსასთან აღარ გვექნება. ასეთი ნულოვანი უბანი შენარჩუნდება მუსიდან  $1 / 4$  შემობრუნების მანძილზე და თუ მუსებს აქ გადმოვიტანთ, მაშინ ემყოველთვის ნულის ტოლი იქნება. ღუზის მომჭერებზე ძაბვა  $U_a$  ნაკლები იქნება  $E_a$ - ზე ღუზის ხვიაში ძაბვის ვარდნის  $I_a R_a$  სიდიდით:

$$U_a = E_a - I_a R_a.$$

1-3

ღუზის ხვიის გვერდებზე, რომლებშიც გადის დენი და მოთავსებულნი არიან მაგნიტურ ველში იმოქმედებენ ამპერის ძალები, (ნახ. 1-2,ა)

$$F = B I_a l,$$

1-4

რომელთა მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით (ნახ. 1-3,ბ). ეს ძალები შექმნიან მექანიკურ მაბრუნ მომენტს  $M_{\text{მმ}}$ , რომელსაც ეწოდება ელექტრომაგნიტური მომენტი

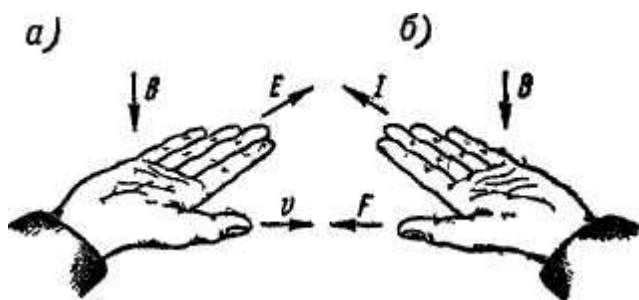


Рис. 1-3. მარჯვენა (ა) და მარცხენა (ბ) ხელის წესი

$$M_{\text{EM}} = B I a l Da,$$

1-5

სადაც  $Da$  ღუზის დიამეტრია. როგორც ნახ. 1-2 დან გამომდინარეობს გენერატორულ რეჟიმში ეს მომენტი მიმართულია ღუზის ბრუნვის საწინააღმდეგოდ და დამამუხრუჭებელია.

**მდმ-ის შექცევადობა.** ახლა განვიხილოთ ძრავული რეჟიმი. თუ იგივე მანქანაზე მუსებზე მივიყვანთ მუდმივ დენს გარე წყაროდან. მაშინ ღუზის გამტარებზე იმოქმედებენ ამპერის ძალები და გაჩნდება ელექტრომაგნიტური მომენტი  $M_{\text{EM}}$ , რომელიც იგივე ფორმულით იანგარიშება, რომელითაც გენერატორულ რეჟიმში. თუ ეს მომენტი დასძლევს მექანიკურ წინააღმდეგობას, მაშინ ღუზა დაიწყებს ბრუნვას და განავითარებს მექანიკურ სიმძლავრეს. მომენტი  $M_{\text{EM}}$  ამ დროს მიმართულია ღუზის ბრუნვის მხარეს, ანუ წარმოადგენს მაბრუნ მომენტს. თუ გვინდა რომ მანქანის პოლუსების პოლარობა არ შევცვალოთ და გენერატორისა და ძრავის ბრუნვის მიმართულებები ერთნაირი დარჩეს, მაშინ მომენტის მიმართულება, მაშასადამე ღუზის დენის მიმართულება ძრავში უნდა იყოს საპირისპირო გენერატორის მიმართ. ძრავულ რეჟიმშიკოლექტორი გარდაქმნის ქსელიდან მოწოდებულ მუდმივ დენს გრაგნილისთვის ცვლად დენად და ამრიგად მუშაობს როგორც დენის მექანიკური ინვერტორი. თუ ღუზაში დენი მუდმივი მიმართულების იქნებოდა, მაშინ ის შემობრუნდებოდა მანამდე, სანამ ღუზის პოლუსი ველის საწინააღმდეგო პოლუსთან არ მივიდოდა. ამ მდებარეობის მიღწევის შემდეგ ღუზა მეტად აღარ მობრუნდებოდა. მისი შემდგომი მობრუნებისათვის ღუზის მაგნიტური ველის პოლარობა უნდა შეიცვალოს საპირისპიროთი, რისთვისაც დენის მიმართულების შეცვლაა საჭირო. ეს შეცვლილი მიმართულების დენი ღუზის ჩრდილო პოლუსს გადააქცევს სამხრეთად და სამხრეთს ჩრდილოეთად. ამის გამო ღუზის და ველის ერთმანეთთან ახლო მდგომი სხვადასხვასახელა პოლუსები კვლავ ერთსახელა გახდებიან და განიზიდებიან. ერთდროულად სხვადასხვასახელა პოლუსები კი მიიზიდებიან. ყოველი ნახევარი შემობრუნების შემდეგ კვლავ საჭიროა ღუზის მაგნიტური პოლარობის შეცვლა და ა.შ. ძრავულ რეჟიმშიც ღუზის გამტარები ისევე მოძრაობენ მაგნიტურ ველში და ღუზის ხვიაში ინდუქტირდება ემმ  $E_a$ , რომლის სიდიდეც

გამოისახება იგივე ფორმულით:  $E_a = 2 B l v$ . ამ ემმ-ის მიმართულება ძრავულ რეჟიმში (ნახ.1-2,ბ) ისეთივეა, როგორც გენერატორში (ნახ.1-2, ა). ამრიგად ძრავში ღუზის ემმ მიმართულია დენისა და მოდებული ძაბვის საწინააღმდეგოდ, ამიტომ ამ ემმ-ს საწინააღმდეგო ემმ ეწოდება. ძირითადად სწორედ ეს ემმ ზღუდავს ღუზაში გამავალ დენს, რომელიც სასარგებლო დენია და ზუსტად იმდენი იხარჯება, რამდენიც საჭიროა სასარგებლო მექანიზმის სამუშაოდ. ამუშავების მომენტში როცა  $V = 0$ ,  $E_a = 0$  და მოდებული ძაბვა მარტო ომური ვარდნით წონასწორდება, რის გამოც დენი  $30 \div 50$  ჯერ მეტია ნომინალურზე. ამრიგად ძრავის ღუზაზე მოდებული ძაბვა წონასწორდება ძირითადად  $E_a$  ემმ-თიხლო ღუზის ხვიაში ძაბვის ომური ვარდნის წილი ათეულჯერ მცირეა: საბოლოოდ

$$U_a = E_a + I_a r_a.$$

1-6

$U_a$  -ს ტოლობათა შედარებიდან ჩანს, რომ გენერატორში  $U_a < E_a$ , ხოლო ძრავში  $U_a > E_a$ .

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარეობს ელექტრომექანიკის ერთერთი მთავარი პრინციპი, რომ მუდმივი დენის მანქანას შეუძლია იმუშაოს როგორც ძრავად ისე გენერატორად. ეს თვისება აღმოაჩნდა ყველა სახის ელექტრულ მანქანას და მას შექცევადობის პრინციპი ეწოდება. მდმ-ის გენერატორული რეჟიმიდან ძრავულში გადასასვლელად და პირუკუ, თუ პოლუსების, მუსების პოლარობას და ბრუნვის მიმართულებას არ ვცვლით საკმარისია მხოლოდ დენის მიმართულების შეცვლა ღუზაში. ამიტომ ასეთი გადაყვანა ძალიან იოლად შეიძლება მოვახდინოთ, თვით ავტომატურადაც კი. განვიხილოთ ენერჯის გარდაქმნა ძრავულ და გენერატორულ რეჟიმებში. მანქანის მბრუნავ ლილვზე ორთავე რეჟიმში მუდმივი სიჩქარის დროს მოქმედებენ მომენტები:

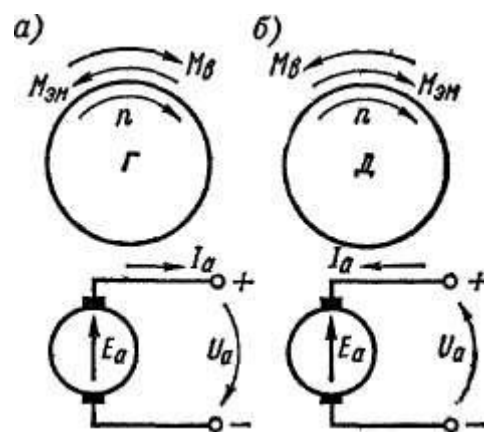


Рис. 1-5. ემმ-ს, დენის და მომენტების მიმართულებები მდ გენარატორში (ა) და ძრავში (ბ)  $r$  ნიშნავს გენერატორს,  $d$ - ძრავს

$M_B$  - მექანიკური ამძრავის მომენტი, რომელსაც ის ანიჭებს მოძრავ სისტემას (წამყვანი მომენტი)

$M_M$  - მუშა (სასარგებლო) მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტი

$M_{Tp}$  - საკისრებში, ჰაერთან და კოლექტორთან ხახუნის ძალების მამუხრუჭებელი მომენტი;

$M_c$  - მაგნიტურ წრედში ჰისტერეზისული და გრიგალური დენებით გამოწვეული კარგვებით გაჩენილი მამუხრუჭებელი მომენტი. უნდა შევნიშნოთ, რომ ჰისტერეზისული და გრიგალური (ფუკოს) დენებით გამოწვეული კარგვების მექანიკური მომენტები ელექტრომაგნიტური ბუნებისანი არიან.

გენერატორულ დამყარებულ რეჟიმში ელექტრომაგნიტური მომენტის სიდიდე, ანუ მომენტების ის მდგენელი, რომელიც წარმოიქმნება ინდუქტორის და ლუზის ველების ურთიერთქმედების შედეგად  $M_{\Sigma M} = M_B - M_{Tp} - M_c$ , (1-7a)

ეს ტოლობა ნიშნავს რომ მექანიკურმა ამძრავმა უნდა გადალახოს სამი გვარის მამუხრუჭებელი მომენტი, რომელთა შორის მხოლოდ ერთი- ელექტრომაგნიტური, ანუ მექანიკური ენერჯის მიზნობრივად გარდაქმნილი ნაწილის მომენტია სასარგებლო.

ძრავულ დამყარებულ რეჟიმში ელექტრომაგნიტური მომენტის სიდიდე

$$M_{\Sigma M} = M_M + M_{Tp} + M_c \quad 1-7 \text{ ბ}$$

ანუ ელექტრული ძრავის მიერ განვითარებულმა მომენტმა, რომელიც ელექტრომაგნიტური ბუნებისაა უნდა ამუშაოს სასარგებლო მექანიზმი, ამას გარდა დასძლიოს ზემოთ ნახსენები მამუხრუჭებელი მომენტები.

ელექტრომაგნიტური მომენტის მიერ განვითარებულ  $P_{\Sigma M}$  სიმძლავრეს უწოდებენ ელექტრული მანქანის ელექტრომაგნიტურ სიმძლავრეს. მექანიკიდან ცნობილია, რომ

$$P_{\Sigma M} = M_{\Sigma M} \Omega, \quad 1-8, \text{ სადაც}$$

$$\Omega = 2 \pi n \quad 1-9 \quad \text{წარმოადგენს}$$

კუთხურ სიჩქარეს. თუ ტოლობა 1-8 -ში შევიტანთ  $M_{\Sigma M}$  ის (1-5 -დან) და  $\Omega$  (1-9

დან) და  $V = \Omega D_a / 2 = \pi D_a n$  მნიშვნელობებს:  $P_{\Sigma M} = B I_a 1 D_a 2 \pi n = 2 B 1 V I_a$

ტოლობა 1-1 დან  $E_a = 2 B l v$  ანუ

$$P_{\text{EM}} = E_a I_a \quad 1-10$$

ამგვარად ღუზის შიგნით ღუზის  $E_a$  ემმ -სა და  $I_a$  დენის ზემოქმედებით ვითარდება შინაგანი ელექტრული სიმძლავრე

$$P_a = E_a I_a \quad 1-11$$

1-10 და 1-11 ტოლობები იდენტურია, ე.ი. ღუზის შიგა ელექტრული სიმძლავრე უდრის ელექტრომაგნიტური მომენტის მიერ განვითარებულ სიმძლავრეს, რაც ასახავს ელექტრული ენერჯიის მექანიკურში (ძრავულ რეჟიმში) და მექანიკური ენერჯიის ელექტრულში (გენერატორულ რეჟიმში) გარდაქმნის ფიზიკურ პროცესს. ამგვარად პირველადი მექანიკური ამძრავის მექანიკური სიმძლავრე, რომელსაც ის აწვითარებს გენერატორის ლილვზე მექანიკური და მაგნიტური კარგების გამოკლებით გარდაიქმნება ღუზის გრაგნილის ელექტრულ სიმძლავრეში. ეს ელექტრული სიმძლავრე ამ გრაგნილში დანაკარგების გამოკლებით მიეწოდება გარე ელექტრულ ქსელს. ძრავში კი ელექტრული სიმძლავრე, რომელიც ღუზას მიეწოდება გარე ქსელიდან იხარჯება ნაწილობრივ ღუზის გრაგნილში ომური კარგების სახით დანარჩენი კი გარდაიქმნება მაგნიტური ველის სიმძლავრეში. ეს უკანასკნელი - მექანიკურ სიმძლავრეში, რომელიც ხახუნის კარგების და მაგნიტური კარგების სიმძლავრის მექანიკური ექვივალენტის გამოკლებით ხმარდება სასარგებლო (მუშა) მექანიზმს. **მაბრუნე მომენტების განტოლებას**, მაგ. გენერატორული რეჟიმისათვის, დამყარებულ რეჟიმში მუშაობისას ( $n = const$ ) აქვს სახე:

$$M_{\text{ზ}} = M_0 + M_{\text{EM}}$$

აქ

$$M_0 = M_{\text{ტრ}} + M_{\text{ცდ}}$$

მაბრუნე მომენტი, რომელიც შეესაბამება უქმ სვლას და შეიცავს ხახუნის ( $M_{\text{ტრ}}$ ) და მაგნიტური დამატებითი კარგებისგან წარმოქმნილ ( $M_{\text{ცდ}}$ ) მდგენელებს.

არადამყარებულ რეჟიმში, როცა  $n \neq const$ , მბრუნავი სისტემის ინერციულობის გამო ჩნდება დინამიური მომენტი

$$M_{\text{დინ}} = J \frac{d\Omega}{dt},$$

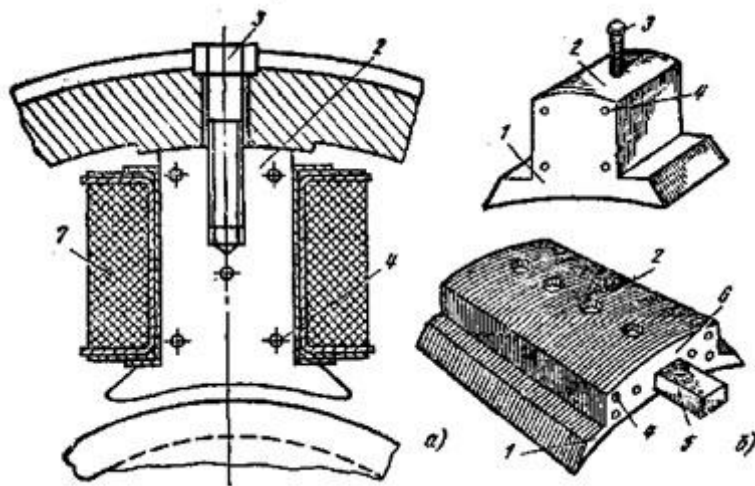
სადაც  $J$  - მბრუნავი სისტემის ინერციის მომენტი;  $\Omega$  - კუთხური სიჩქარე. დინამიური მომენტი ასახავს იმ მომენტს, რომელიც იხარჯება მბრუნავი სისტემის ასაჩქარებლად (მაგ. გაშვების დროს) და ამ დროს ის ეწინააღმდეგება წამყვანი ძრავას მომენტს. შენელებული მოძრაობის დროს ეს მომენტი ეხმარება წამყვან ძრავს შეინარჩუნოს სიჩქარე (მაგ. გაჩერების დროს). აღნიშნულის გამო არადამყარებულ, ანუ გარდამავალ რეჟიმისათვის მბრუნვი მომენტების განტოლებას ექნება სახე:

$$M_B = M_0 + M_{\text{ფმ}} + M_{\text{დინ}}$$

### თანამედროვე მულტივი დენის მანქანის კონსტრუქცია

მრეწველობაში გამოყენებული მდმ წარმოადგენს სრულყოფილ მანქანას, სადაც აღმოფხვრილია უმარტივესი მდმ-ის ყველა სისუსტე და ნაკლოვანება.

უძრავი ნაწილი - ინდუქტორი, შედგება პოლუსებისა, რგოლური ფორმის ულისაგან, აგზნების გრაგნილისაგან, საკონტაქტო მოწყობილობის- ტრავერსსაგან, წინა და უკანა სასაკისრე ფარებისაგან. ნახ.1-6 მოცემულია მთავარი პოლუსის ნახაზი.



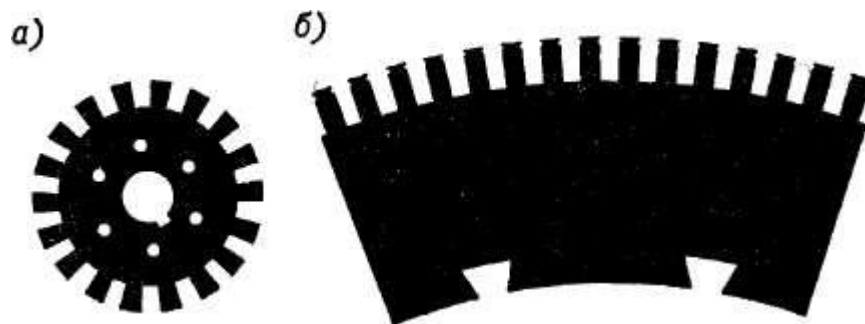
ნახ. 1-6. მდმ-ის მთავარი პოლუსები: უშუალოდ დგარზე დამაგრებით (ა) და სპეც. ღეროში დამაგრებით- მარჯვენა ნახ., (ბ): 1- პოლუსის დაბოლოება; 2-პოლუსის მაგნიტოგამტარი; 3-სამაგრი ჭანჭიკი; 4- მოქლონი; 5-ღერო; 6-შემკვრელი (ნაპირა) ფურცელი; 7-გრაგნილი

მანქანის პოლუსი შედგენილია 0,5 – 2 მმ ელექტროტექნიკური ფოლადის ნატვიფრი ფურცლებისაგან, რომლებიც შეკრულია ერთ მთლიან დეტალად მოქლონების ან



ელექტრომედულების ნაკერების საშუალებით. საჰაერო ღრეჩოს ცუდი მაგნიტური გამტარობის გამო პოლუსის დაბოლოება რამდენადმე ფართოა პოლისის სიფართესთან შედარებით. ზურგის მხრიდან მას აქვს ხრახნიანი ნახვრეტები, რითაც მაგრდება ინდუქტორზე. მუშა რეჟიმში მანქანის ამ ნაწილში მაგნიტური ნაკადი არ იცვლება, ამიტომ ფურცლების იზოლირება საჭირო არაა. პოლუსთა რაოდენობა ლუწია. მათზე მოთავსებულია იზოლირებული სპილენძისაგან დამზადებული გრაგნილი, რომელიც შეიძლება რამდენიმე ნაწილად იყოს დაყოფილი (გაგრილების მიზნით). ეს გრაგნილები მიმდევრობით არიან შეერთებული ჩრდილო და სამხრეთი პოლუსების მონაცვლეობით. აგზნებაზე დახარჯული სიმძლავრე მთელი სიმძლავრის 0,5 – 3 % ს შეადგენს. მიკრომანქანების გარდა გვაქვს აგრეთვე დამატებითი პოლუსები გრაგნილითურთ, რომლებიც რამდენიმეჯერ უფრო ვიწროა მთავარ პოლუსთან შედარებით და თავსდება მთავარ პოლუსებს შორის. საშუალო და დიდ მანქანებში მთავარ პოლუსებზე გათვალისწინებულ ღრმულებში თავსდება მსხვილი კვეთის საკომპენსაციო გრაგნილი, რომელიც დამატებითი პოლუსის მსგავსად ღუზის წრედთან არის მიმდევრობით შეერთებული. დიდ მანქანებში უღელი ფოლადის სხმულისაგან მზადდება და დგარის ფუნქციასაც ასრულებს.

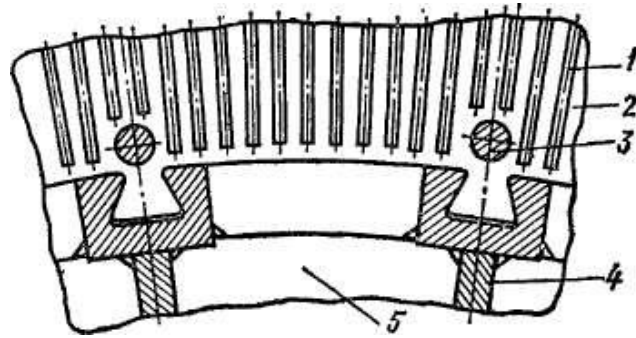
ღუზა აკრეფილია 0,5 მმ სისქის ნატვიფრი ელექტროტექნიკური ფოლადის იზოლირებული მრგვალი ფურცლებისაგან ან საერთო დისკოს ცალკეული სეგმენტებისგან ნახ. 1-7.



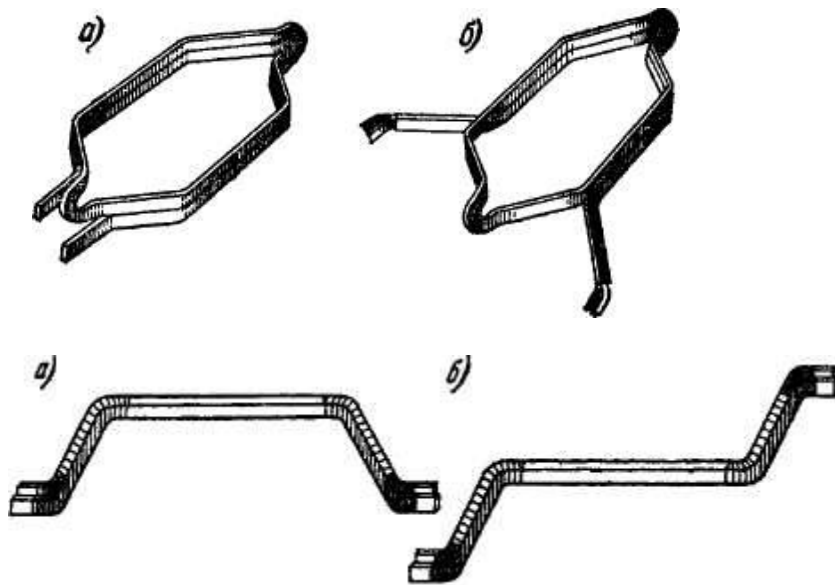
ნახ.1-7. ღუზის დისკო (a) და სეგმენტი (ბ)

ღუზა მუშაობისას იმყოფება ცვლად მაგნიტურ ველში, ამიტომ მისი ფურცლები დაფარულია იზოლაციით. არსებითია არა მთლიანად ფურცლის იზოლირება ლილვისაგან, არამედ ფურცლებისა ერთმანეთის მიმართ. ფურცლები ფუძის მხრიდან იზოლირებული არ არიან, ამიტომ მთავარია ფურცლების გარეთა ტორსის ურთიერთ იზოლირება, რადგან საკმარისია ფუკოს დენების გზა არ იყოს ჩაკეტილი მოკლედ. ამიტომ გარეთა ტორსულ ზედაპირზე დაუშვებელია შედუღების ნაკერის ან მეტალის სოლების გამოყენება. მცირე მანქანებში ფურცლები ლილვზე დაწნებილია, ხოლო დიდ მანქანებში მაგრდება ე.წ. „მერცხლის კუდიტ“ ( ნახ. 1-8). ღუზის კბილოვან ნაწილში გათვალისწინებულ ღრმულებში ათავსებენ ღუზის გრაგნილის ცალკეულ

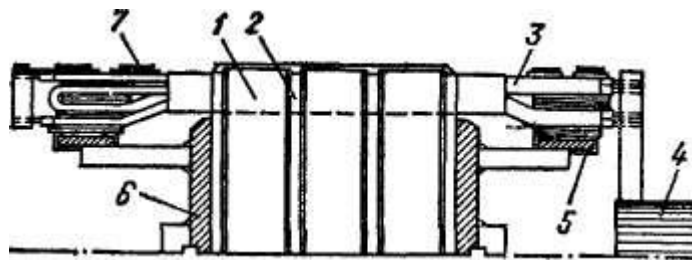
დაფორმებულ სექციებს ან მიკრომანქანების შემთხვევაში უშუალოდ ახვევენ მავთულს წინდაწინ იზოლირებულ ღრმულებში.



ნახ. 1-8. ღუზის ფურცლის სეგმენტების დამაგრება: 1- სავენტილაციო გამბრჯენები; - ფოლადის ფურცელი; 3- მომჭიმავი ჭანჭიკი; 4- სამაგრი წიბო; 5- ღუზის ფურცელი



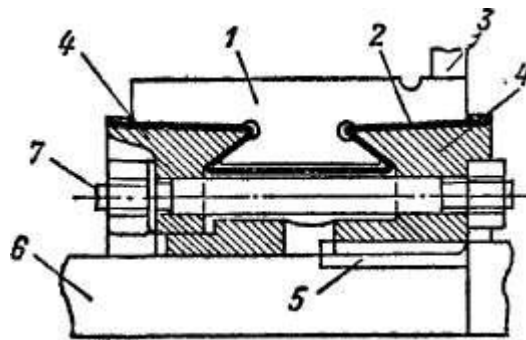
ნახ.1-9 . ღუზის კოჭების ხედი: ზედა ერთ და მრავალხვევიანი სექციები ა) ყულფური; ბ) ტალღური ; ქვედა გაჭრილი (ნახევარ) სექციები ა) ყულფური; ბ) ტალღური



ნახ.1-10. ღუზა გრაგნილითურთ. 1-ღუზის ფურცლოვანი გულა; 2-არტახი; 3-გრაგნილის შუბლური ნაწილი; 4-კოლექტორი; 5-გრაგნილის დამჭერი; 6-დამჭიმი დისკო.

სექციების ბოლოები მიერჩილება ან მიდუღდება კოლექტორულ ფირფიტებს. გრაგნილი მცირე მანქანების ღრმულეებში სოლებით მაგრდება, ხოლო დიდში საარტახე რგოლებით ნახ. 1-10.

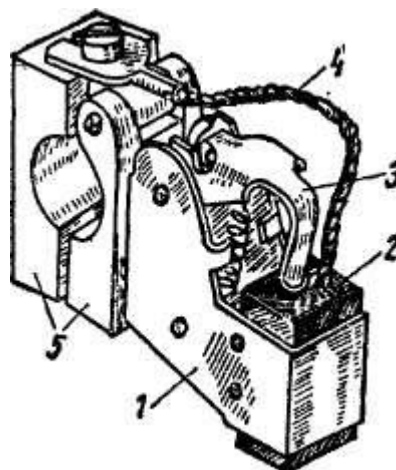
**მანქანის კოლექტორი** (ნახ.1-11) წარმოადგენს ცალკეული სეგმენტური პროფილის სპილენძისაგან ნატვიფრ ფირფიტებისა და მათშორისი საიზოლაციო მიკანიტის ფურცლებისაგან შეკრულ მრგვალი ფორმის დეტალს. მცირე მანქანებში ფირფიტებს და მათ შორის მიკანიტის იზოლაციას პლასტმასის დაწნეხვითაც ამთლიანებენ.



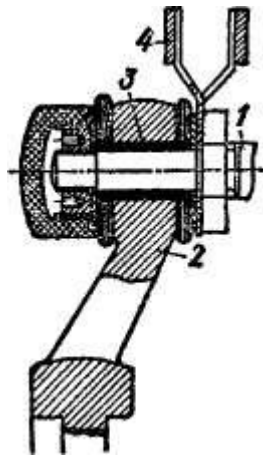
ნახ. 1-11. კოლექტორი: 1-სპილენძის ფირფიტა; 2 მიკანიტის მანჟეტა; 3-მამლისკუდა; 4- მოჭიმი დისკი; 5-სოგმანი; 6-ლილვი

კოლექტორის ცილინდრული ზედაპირისგან დენის ასარინებლად მანქანას აქვს მოწყობილობა ტრავერსა მუსეების დამჭერით. ტრავერსა მაგრდება უკანა სასაკისრე ფარზე. იგი დაცენტრილი კოლექტორის მიმართ.

კოლექტორი და საკონტაქტო სისტემა მდმ-ის უმნიშვნელოვანესი და ე.წ. „სუსტი ადგილია“, რომელთა გამართულ მუშაობაზეა დამოკიდებული მანქანის საიმედო მუშაობა. ეს კვანძი მოითხოვს სისტემატურ თვალყურსა და მოვლას, მუსეების პერიოდულ ცვლას და კოლექტორის ზედაპირის პერიოდულ გადახეხვას.



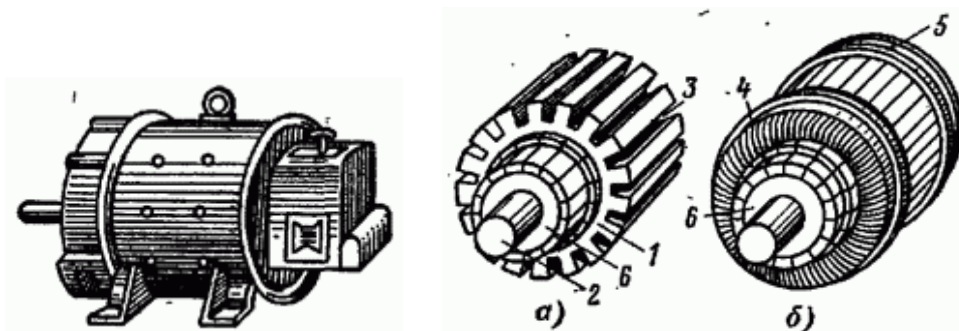
ნახ.1-12 . მუსების დამჭერი: 1-ბუდე; 2-მუსა; 3-დამწოლი ზამბარა; 4- მოქნილი კაბელი; 5- თითზე დასამაგრებელი ხუნდები



ნახ.1-13. სამუსე თითის მიმაგრება ტრავერსაზე: 1- თითი; 2-ტრავერსა; 3-იზოლაცია; 4- დენსადენი სალტე.

წინა და უკანა სასაკისრე ფარები მაგრდება ინდუქტორზე და უზრუნველყოფენ ღუზის ზუსტ დაცენტრებას ინდუქტორის გამოჩარხვის ზედაპირის მიმართ. საჭაერო შუალედი - ღრეჩო ღუზასა და ინდუქტორს შორის მილიმეტრის მეათედებიდან (მცირე მანქანებში) სანტიმეტრამდეა. მანქანის დამამაგნიტებელი სიმძლავრე ღრეჩოს სიდიდის პროპორციულია და გაეკუთვნება დანაკარგებს. მიკრომანქანებში ელექტრომაგნიტური აგზნების ნაცვლად იყენებენ მუდმივ მაგნიტებს, რომლებიც არ მოითხოვენ ელექტრულ კვებას. ასეთ მანქანებს მუდმივმაგნიტიანი მანქანები ეწოდებათ (Permanent Magnet Machine). ასეთი მანქანის მახასიათებლები ჩამოუვარდებათ აგზნების მქონე მანქანებისას.

ნახ 1-14 გამოსახულია 1,5 კილოვატი სიმძლავრის, 220 ვოლტის, 1500 ბრ/წთ ელექტროძრავის საერთო ხედი, ღუზა დაუხვეველი (ა) და ღუზა გრაგნილითურთ (ბ)



ნახ. 1-14. მუდმივი დენის მანქანის ხედი; მისი უგრაგნილო და გრაგნილიანი ღუზა

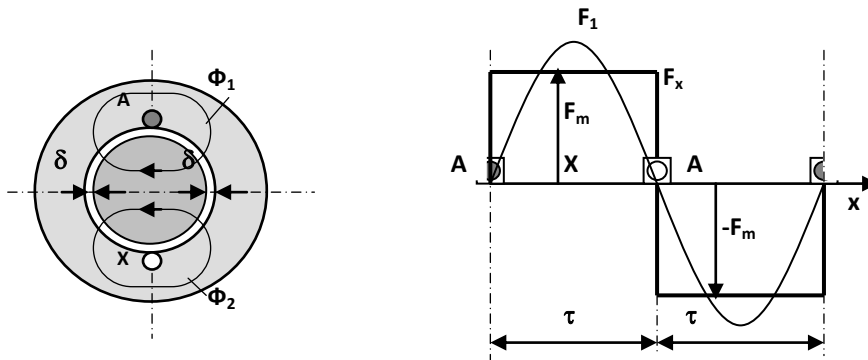
მდმ 10 მეგავატამდე სიმძლავრით მზადდება ერთი ღუზით, 1000 ვოლტ ძაბვაზე, ხოლო უფრო მძლავრი რამდენიმე ღუზით. ელმავლებისთვის გამოიყენება 1500 ვოლტიანი ძრავები.

## ინდუქტორის მაგნიტური ველი.

წარმოვიდგინოთ, რომ ღუზა გლუვზედაპირიანია (არა აქვს ღრმულები და კბილები). ასეთ შემთხვევაში საჰაერო ღრეჩოში პოლუსების აგზნების გრაგნილის კოჭებში გამავალი მუდმივი დენი ქმნის მართკუთხა ფორმის დამამაგნიტებელ ძალას, რომლის სიდიდე იანგარიშება სრული დენის ფორმულით

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I.$$

აქ  $H$  მაგნიტური ველის დამაბულობის ვექტორია;  $dl$  - ჩაკეტილი  $l$  (ლათინური ასო „ელ“) წირის, რომლის შიგნითაც განიხილება ველის დამაბულობის ვექტორის სიდიდე, უსასრულოდ მცირე ნაწილია;  $\Sigma$  - ყველა იმ დენის ალგებრული ჯამია, რომელიც გადის  $l$  ჩაკეტილ წირზე (მის გასწვრივ). პოლუსის გრაგნილის კონტურის გარეთ რაიმე დენი არ გვაქვს ამიტომ ამ ტოლობის ორივე ნაწილი ნულის ტოლია. პოლუსის დენიანი გრაგნილის ჩაკეტილ კონტურის გასწვრივ მის მარჯვნივ, როცა ჩაკეტილ  $l$  („ელ“) წირს ვამოძრავებთ კოჭის მეორე გვერდისკენ, ყველა დენის ალგებრული ჯამი ანუ მაგნიტური ველის დამაბულობა უკვე არა ნულია, არამედ უდრის სრულ დენს, ანუ  $W$  ხვიათა რიცხვისა და აგზნების  $I$  დენის ნამრავლია ( $WI$ ). სიმარტივისათვის აგზნების კოჭის სისქეს ნულად მივიჩნევთ და ვთვლით, რომ ყველა ეს ჯამური დენი ამ წირზეა თავმოყრილი. რეალურ შემთხვევაში დენი განაწილებულია თანაბრად აგზნების კოჭის მთელ სისქეზე და საჰაერო ღრეჩოს გასწვრივ კონტურის შემომსაზღვრელი წირის მიერ კოჭის სისქის გასწვრივ გადაადგილებისას მასში თანდათან შემოვა დენები (0-დან -წირის შეხების მომენტში კოჭის გარე ზედაპირთან, მაქსიმალურ  $-WI$  რაოდენობამდე, როცა ინტეგრების კონტური ეხება კოჭის უკვე შიგა კონტურს). კონტურის შემდეგი გადაადგილებით კოჭის მეორე გვერდითი კონტურის შეხებამდე დენის რაიმე ცვლილება არ ხდება, ამიტომ დამამაგნიტებელი ძალა მუდმივია. კოჭის გვერდის შეხების შემდგომ თანდათან შეგვხვდება საწინააღმდეგო მიმართულების დენები და კონტურის კოჭის გვერდით გარე საზღვართან შეხებისას ყველა დენი, რაც კოჭის კონტურის ამ გვერდამდე გადიოდა ამ გვერდის საპირისპირო დენებით გაბათილდება ( $=0$ ) და დამამაგნიტებელი ძალაც ისევ ნულს გაუტოლდება. ამრიგად პოლუსის დამამაგნიტებელი ძალის, რომელიც ტოლია ველის დამაბულობის ნამრავლისა მაგნიტური ძალწირის განსახილველი უზნის სიგრძეზე (მაგ. ღრეჩოს უზნის  $\delta$  სიგრძეზე) დიაგრამა მთელი პოლუსის გასწვრივ წარმოადგენს მართკუთხედს, რომლის სიმაღლეა  $W I \delta$ , ხოლო სიგანე კოჭის გვერდების ცენტრებს შორის მანძილი.

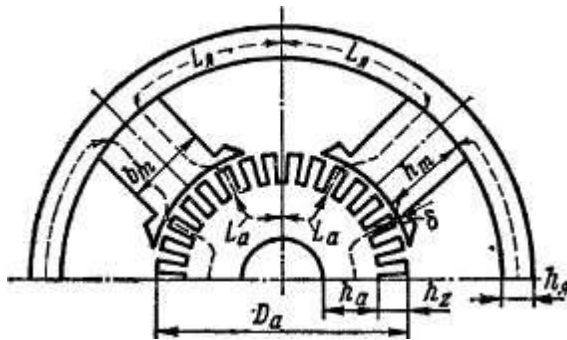


ნახ. 2.13. აგზნების კოჭის დ  $\mu$  სივრცული დიაგრამა (სივრცული განაწილება)

მეორე პოლუსის ქვეშ კი გვექნება იგივე მართკუთხედი, ოღონდ შებრუნებული ნიშნით. ნახაზზე გამოსახული ინდუქტორი მხოლოდ ერთი კოჭისაგან შედგება. საჭაერო ღრეჩო გაჭრილია A-X ღერძზე ღრეჩოს მხოლოდ A მსახველზე და გაშლილია სიბრტყეზე. A წერტილი არის ათვლის დასაწყისი და ასევე დიაგრამის ბოლოც, სათანადოთ ბოლოებზე ჩანს აგზნების ჩვენსკენ მომართული დენიანი ხვიის ნახევრები, ნახაზზე ორ ადგილას დასმულია ღრეჩო-  $\delta$ -ს სიდიდის გამომსახავი ზომის ხაზები. დიაგრამის მარცხენა ნაწილი გამოსახავს დმ-ს ერთი პოლუსის ქვეშ (ღერძის მარჯვენა მხარეს), მარჯვენა ნაწილი დმ-ს მეორე პოლუსის ქვეშ (ღერძის მარცხენა მხარე). მეორე პოლუსისთვის მოცემული ნახაზის ეს დიაგრამა იცვლის მხოლოდ ნიშანს, რადგან პოლუსები ერთნაირია და დენიც მხოლოდ მიმართულებითაა პოლუსების მიმართ საპირისპირო, ხოლო დამკვირვებლის მიმართ ერთი და იგივეა. ასევე დამამაგნიტებელი ძალებიც სიდიდით ერთნაირია და ნიშნით კი საპირისპირო. ამ ნახაზზე  $F_1$  მართკუთხა მრუდის პირველ ჰარმონიკაა. მათემატიკური სიმკაცრის პოზიციიდან რეალურად ამ მართკუთხედების ნაცვლად ტრაპეციები იქნება, ანუ ვერტიკალური გვერდების ნაცვლად იქნება ოდნავ დახრილი ფერდები კოჭის სისქის გამო, რადგან ჯამური დენი ნახტომით კი არა, არამედ წრფივად გაიზრდება 0 დან  $W I \delta$ -მდე და ასევე წრფივად დანულდება. ნახაზი გამოსახავს მხოლოდ ერთი კოჭის მიერ შექმნილ ველს, ანუ მთელი აგზნება მხოლოდ ერთ და დიამეტრალურ კოჭას შეიცავს და ამის გამო დადებითი და უარყოფითი მართკუთხედები მობმული არიან ერთმანეთზე. რეალურ მანქანაში კი, სადაც უმრავლეს შემთხვევებში ინდუქტორი რიცხობრივად  $2 P$  პოლუსისაგან შედგება, ეს დადებითი და უარყოფითი მართკუთხედები ერთმანეთის გაგრძელება კი არ არიან არამედ მათ შორის არის ნულოვანი უბანი, რადგან ორ მეზობელი პოლუსის კოჭებს შორის მდებარეობს გრაგნილით დაუკავებელი ნეიტრალური შუალედი. სათანადოთ ამ შუალედში არანაირი სრული დენი არ გვაქვს და დამამაგნიტებელი ძალაც ნულის ტოლია.

### დმ-ის მაგნიტური წრედის ანგარიშის ელემენტები

მაგნიტური წრედის ანგარიში ნიშნავს მანქანის მაგნიტურ წრედში მოცემული ნაკადის გატარებისათვის საჭირო დამამაგნიტებელი ძალის სიდიდის განსაზღვრას. დამამაგნიტებელი ძალა იხარჯება მანქანის მაგნიტური წრედის სხვადასხვა უბნების მაგნიტურ წინააღმდეგობათა გადალახვაზე, რომელთაგან უდიდეს წილს (60-80%) შეადგენს სააერო ღრეჩოს წინააღმდეგობა. დანარჩენი ნაწილი ხმარდება პოლუსების, ინდუქტორის უღლის, ღუზის კბილოვანი ნაწილის და ღუზისზურგის მაგნიტურ წინააღმდეგობათა გადალახვას. მანქანის დაგეგმარებისას მაგნიტური წრედის ელემენტების გეომეტრიულ ზომებს განსაზღვრავენ მოცემული მაგნიტური ნაკადის სიდიდის მიხედვით. მაგნიტურ წრედს ანგარიშობენ სრული დენის კანონის საფუძველზე იმ გამარტივებით, რომ წირული ინტეგრალის ნაცვლად მაგნიტურ წრედს ყოფენ ერთგვაროვან უბნებად (იხ ნახ. 2-1). გეომეტრიულად პოულობენ ყოველი უბნის საშუალო ძალწირს, მის სიგრძეს და სარგებლობენ წირული ინტეგრალის მიახლოებით ექვივალენტური ფორმულით, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: მაგნიტური წრედის თვითეული უბნის დამამაგნიტებელი ძალთა ჯამი უდრის ამ უბნების გარშემო ცირკულირებად სრულ დენს, ანუ აგზნების ერთი საერთო დენისა და მთელ ხვიათა რიცხვის ნამრავლს.



ნახ. 2-1. მდმ-ის მაგნიტური წრედი მისი ერთგვაროვანი უბნებით

წრედის ფერომაგნიტური და საჰაერო უბნების გადალახვაზე დახარჯული დამამაგნიტებელი ძალა უდრის ამ უბნების მაგნიტური დაძაბულობის ნამრავლს თვითეულის საშუალო სიგრძეზე.

$$2F_{\delta} + 2F_z + 2F_a + 2F_m + 2F_{\pi} = 2F_B = 2\omega_B i_B, \quad (2-26)$$

ანუ

$$2H_{\delta}\delta + 2H_z h_z + 2H_a L_a + 2H_m h_m + 2H_{\pi} L_{\pi} = 2\omega_B i_B, \quad 2-2a$$

ამ ფორმულებში (იხ. აგრეთვე ნახ. 2-1) ასო და ინდექსი  $\delta$  შესაბამისად საჰაერო ღრეჩოს და ამ უბანს ესადაგება; ასო  $h$  უბნის სიგრძეს აღნიშნავს; ინდექსები:  $z$  - კბილის უბანს;  $a$  - ღუზის ზურგს;  $m$  - პოლუსის უბანს;  $\pi$  - უღლის უბანს  $B$  - აგზნების გრავნილს. ფერომაგნიტური უბნის მაგნიტური ველის დაძაბულობა  $H$  ძლიერაა

დამოკიდებული, როგორც მაგნიტურ ინდუქციაზე, ასევე თვით მასალაზე, ამიტომ დმ-ს ფიზიკის ფორმულით გამოთვლა აქ შესაძლებელი არაა. ყოველი ფერომასალისთვის მის ფიზიკურ მონაცემებში მოცემულია მისი ინდუქციის სიდიდის დამოკიდებულება მაგნიტურ ველის დაძაბულობაზე ამ მასალის ერთეული სიგრძისათვის. რაც შეეხება თვით ინდუქციის მნიშვნელობებს, მათი სარეკომენდაციო სიდიდეები მაგნიტური წრედის სხვადასხვა უბნებისათვის დადგენილია ემპირიული დაკვირვებების საფუძველზე. ასე განსაზღვრავენ თვითეული უბნის დამამაგნიტებელ ძალას. საჭიერო ღრეჩოსთვის კი, რადგან მისი განვლადობა მუდმივია, დმ-ს ანგარიშობენ ფიზიკის ცნობილი ფორმულით

$$F_{\delta} = \frac{k_{\delta} B_{\delta}}{\mu_0} \quad (2-13)$$

სადაც  $\mu_0$  ვაკუუმის დიელექტრული განვლადობაა, კოეფიციენტი  $K_{\delta}$  -ლუზის არა გლუვი და კბილოვანი ზედაპირის გასათვალისწინებლად ექვივალენტურად „გაზრდილი“ საჭიერო ღრეჩოს კოეფიციენტია და მისი მნიშვნელობა მდმ-ში მერყეობს  $K_{\delta} = 1,1 \div 1,8$ . გაუჯერებელი მაგნიტური წრედი მაგნიტური მასალის დიდ ხარჯვას იწვევს, ამიტომ გაჯერების კოეფიციენტს (იხ. ნახ. 2.16), რომელიც იანგარიშება ფორმულით

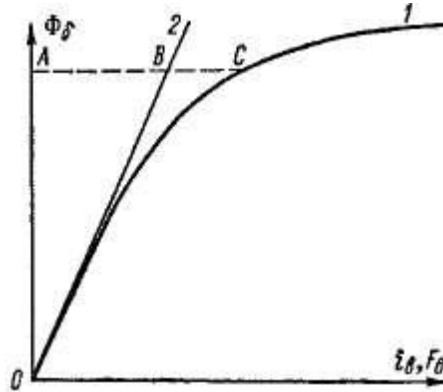
$$k_{\mu} = \frac{AC}{AB} = 1 + \frac{BC}{AB},$$

იღებენ 1,2 – 1.35, ზოგჯერ 1,7- 2,0 საც კი.

ზოგჯერ ფერომაგნიტური უბნის დამამაგნიტებელი სიმძლავრე ( მაგ. ტრანსფორმატორებში) ჯობია განისაზღვროს ამ მასალის ფიზიკური მასის საფუძველზე, ანუ მისი მასის ნამრავლით კუთრი დამამაგნიტებელი სიმძლავრეზე. 1 კგ ფერომაგნიტურ მასალაში მოცემული ინდუქციის აღძვრისათვის საჭირო დამამაგნიტებელი სიმძლავრე, ანუ კუთრი დამამაგნიტებელი სიმძლავრე სხვადასხვა ინდუქციებისათვის მოცემულია მასალის სასერტიფიკატო ცხრილებში. ცალკეული უბნების დამამაგნიტებელ ძალთა გამოთვლის შემდეგ მათი შეჯამებით ვიღებთ აგზნების გრაგნილის დამამაგნიტებელ ძალას -  $w \times Ib$ , რომელიც საჭიროა საჭიერო ღრეჩოში ნომინალური ნაკადის აღძვრისათვის. დენის სიმკვრივეს აგზნების სპილენძის გრაგნილში იღებენ 2,5 – 4 ამპ. კვადრატულ მმ-ზე, ხოლო ალუმინის გრაგნილში 20 % -ით ნაკლებს. ხვიათა რიცხვს განსაზღვრავენ აგზნების გრაგნილის მკვებავი ძაბვის მიხედვით იმ პირობით, რომ გრაგნილის ომური წინაღობა გრაგნილის მუშა ტემპერატურის დროს აბალანსებდეს მასზე მოდებულ ძაბვას და აღძრავდეს გრაგნილში დასაშვების ტოლ დენის ძალას.



ნახ. 2-11 წარმოდგენილია მდმ-ის მაგნიტური მახასიათებელი ანუ დამაგნიტების მრუდი (დამოკიდებულება აგზნების ამპერ ხვეიბსა ან აგზნების დენისა ერთის მხრივ და საჰაერო ღრეჩოს ნაკადსა ან ინდუქციას შორის მეორე მხრივ.



ნახ. 2-16. მდმ მანქანის მაგნიტური მახასიათებელი

დასაწყისში მახასიათებელი წრფივია, რადგან ამ დროს  $\mu$  მაქსიმალური და მუდმივია. ამ რეჟიმში ფერომაგნიტური უბნების დმ უმნიშვნელოა და პრაქტიკულად მარტო ღრეჩოზე მოდის მთელი დმ. ამ წრფივი უბნის გაგრძელება ასახავს დამოკიდებულებას ნაკადსა ან ინდუქციასა და ღრეჩოს დმ-ს შორის. მაგნიტური წრედის გაჯერება ხასიათდება გაჯერების კოეფიციენტით  $K_{\mu} = F_B / F_{\delta} = AC / AB = 1 + BC / AB$

გაუჯერებელი მაგნიტურ წრედიანი მანქანა დიდი გაბარიტებისაა მასალის არაეფექტური გამოყენების გამო, ხოლო ზადმეტად გაჯერებული მანქანა კი არაეკონომიურია დიდი აგზნების დენისა და მძლავრი გრაგნილის გამო. მასალის უკეთ გამოყენებისათვის უმჯობესია მისი ზომიერად გაჯერებული მდგომარეობის არჩევა ნომინალურ რეჟიმში. მიჩნეულია, რომ მასალის ოპტიმალური გაჯერების დონეა დამაგნიტების მრუდის გაჯერების მუხლის ცოტა ზემოთ (C წერტილი) შესაბამისი ინდუქციის მნიშვნელობა. ჩვეულებრივ  $K_{\mu}$  იღებენ ტოლს 1,2 – 1,35. ზოგიერთ უბანზე  $K_{\mu}$  შეიძლება 1,8 ტოლიც ყოს.

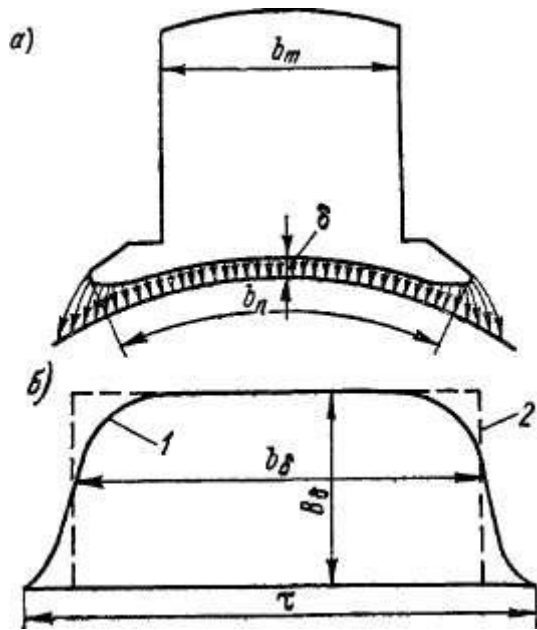
მაგნიტურ წრედს ანგარიშობენ ინდუქციის რამდენიმე მნიშვნელობისათვის დიაპაზონში 0 დან 1.15 B $\delta$  და ამ მონაცემებით აგებენ მანქანის დამაგნიტების მრუდს (ნახ. 2-11). ქვემოთ ცხ. 2 -1 მოცემულია ინდუქციის დასაშვები მნიშვნელობები სხვადასხვა უბნებისთვის:

ცხრ. 2-1. ინდუქციის რეკომენდებული სიდიდეები, გამოსახული ტესლებით მდმ-ში

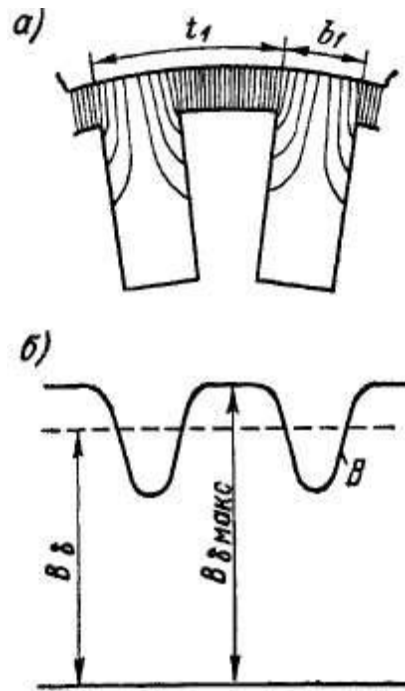
ღუზის გულა	1-1,5
კბილის უმცირეს კვეთაში	1,8 – 2,5
პოლუსი	1,2 – 1,8
უღელი ფოლადის	1,1 – 1,2
უღელი თუჯის სხმულის	0,5 – 0,7
საჰაერო ღრეჩო	0,5 – 1

**მდმ-ის ემმ-ს ფორმა, სიდიდე და ელექტრომაგნიტური მომენტი**

ყოველ სექციაში ღუზის ბრუნვისას ინდუქტირებული ემმ-ის დროში ცვლილების მრუდი გარკვეულ მასშტაბში იმეორებს ღრეჩოში მაგნიტური ინდუქციის სივრცეში ცვლილების მრუდის ფორმას, რომელიც ნახ. 2.14- ზეა გამოსახული. თუ ღუზის გრაგნილი დენით დატვირთული არაა (უქმი სვლა) ამ შემთხვევაში ეს მრუდი იმეორებს  $B_{\delta}$  მრუდს გარკვეულ მასშტაბში (ნახაზზე ნაჩვენებია არაა).



ნახ. 2.14 მაგნიტური ინდუქციის მრუდის სივრცეში პოლუსის გასწვრივ განაწილების დიაგრამა გლუვზედაპირიანი ღუზის შემთხვევაში



ნახ. 2.15 ღრმულისმიერი ჩავარდნები ინდუქციის მრუდში ღრმულებიანი ღუზის შემთხვევაში

ფარადეის კანონის საფუძველზე მდმ-ისათვის დადგენილია შემდეგი მარტივი თანაფარდობანი:  $E_a = (p N / a) \times (\Phi_{\delta} n) = C_e \Phi_{\delta} n$  ( $a$ - გრაგნილის პარალელურ შტოთა რიცხვია) , სადაც  $C_e = p N / a$ , ყოველი მოცემული მანქანისათვის მუდმივი სიდიდეა და არ არის დამოკიდებული ინდუქციის მრუდის ფორმაზე

$M_{\Sigma M} = (1 / 2\pi) \times (N I_a / 2 a) \times (2 p \Phi_{\delta}) = C_M \Phi_{\delta} I_a$ , სადაც  $C_M = N p / 2\pi a$ , ასევე მუდმივია ყოველი მოცემული მანქანისათვის და არაა დამოკიდებული მაგნიტური ინდუქციის მრუდის ფორმაზე.

ელექტრომაგნიტური მომენტისათვის ამ ტოლობებისგან გამომდინარე აგრეთვე მიიღება

ორი თანაბარმნიშვნელოვანი ფორმულა:  $P_{\Sigma M} = E_a I_a = M_{\Sigma M} \Omega$  , სადაც  $\Omega = 2\pi n$ .

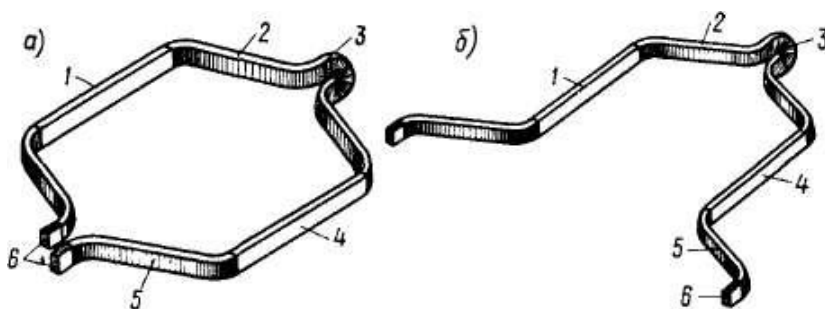
ღუზის გრაგნილი, ღუზის რეაქცია, კომუტაცია

ღუზის გრაგნილი მუდმივი დენის მანქანის უმნიშვნელოვანესი ელემენტია. მას მოეთხოვება:

ქონდეს საკმარისი ელექტრული, მექანიკური, თერმული სიმტკიცე 15-20 წლის განმავლობაში, კომუტაციის დამაკმაყოფილებელი პირობები. მასალების ხარჯი იყოს მინიმალური, რაც შეიძლება მარტვი და იაფი დამზადების ტექნოლოგია.

თანამედროვე მანქანებში ღუზის გრაგნილი თავსდება სათანადო ღრმულებში, რომლებიც ღუზაზე გარედან არიან მოთავსებული და მას დოლური გრაგნილი (საკრავი ინსტრუმენტის - დოლის დამჭიმ თოკებთან ანალოგიით) ეწოდება. რგოლური გრაგნილი კი, მისი 2-ჯერ დაბალი ეფექტურობის ამჟამად მხოლოდ საილუსტრაციო ნახაზებში- და იხმარება, რადგან იოლად წარმოსადგენია მისი მაგნიტური ველის მიმართულება. შემდგომ ტექსტში გრაგნილი ნიშნავს დოლურ გრაგნილს (სიტყვა დოლური ყველგან გამოშვებულია).

გრაგნილები იყოფიან ორ ჯგუფად: - ყულფური და ტალღური. გრაგნილის ძირითადი ელემენტია სექცია - გრაგნილის ერთი ან რამდენიმე ხვია, რომლის ორთავე გამომყვანი მიერთებულია კოლექტორულ ფირფიტებზე. ჩვეულებრივ ყველა სექციას აქვს ერთნაირი ხვიათა რიცხვი. სქემებზე სექცია ყოველთვის ერთი ხვით არის გამოსახული. ყულფური გრაგნილის სექციის გამომყვანები მეზობელ კოლექტორულ ფირფიტებზეა მიერთებული, ხოლო ტალღურისა არამეზობელ ფირფიტებზე. შუბლური ნაწილების მოხერხებულად განლაგების, ასევე გრაგნილის სიმეტრიულობის თვალსაზრისით ღრმულებში გრაგნილი ორ ფენად თავსდება. ანუ ყოველი სექცია ერთი მხარით დევს ღრმულის ფსკერზე, მეორე მხრით კი ღრმულის ზედა.



ნახ.2.12 ყულფური (მარცხ.) და ტალღური (მარჯ.) გრაგნილის მზა სექციები

ნახევარში. გამონაკლისს წარმოადგენს მანქანური დახვევის (მიკრო სიმძლავრის ძრავების) გრაგნილები, სადაც ნახევარი გრაგნილის სექციები ორივე მხრით ღრმულის ფსკერზე არიან, ხოლო მეორე ნახევარი ღრმულის ზედა ნაწილში. სექციები ერთმანეთთან მ იმდევრობით არიან შეერთებული ( ყოველ ფირფიტაზე ორი

გამომყვანია დასმული- ერთი სექციის ბოლო და შემდგომის დასაწყისი). მთელი გრაგნილი კი წარმოადგენს თავის თავზე ჩაკეტილ უწყვეტ კონტურს. იმის გამო, რომ ყოველ ფირფიტაზე ორი ბოლოა მიერთებული, ხოლო სექციას კი 2K ბოლო აქვს, ამიტომ ყოველთვის სექციების რაოდენობა K უდრის ფირფიტების რაოდენობას S  $K=S$

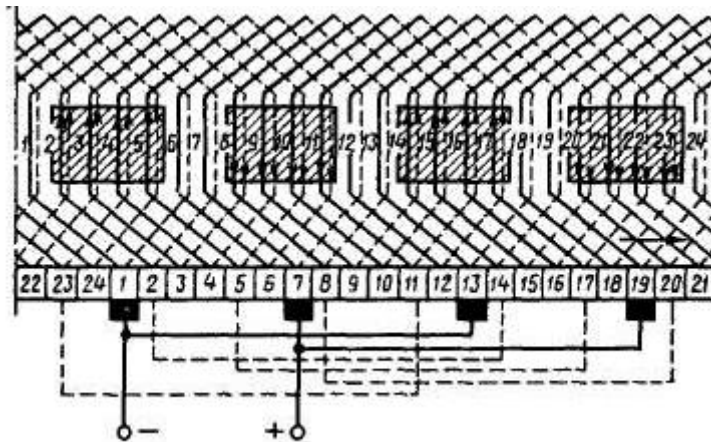
ღუზის დენის პულსაციის შესამცირებლად, აგრეთვე მეზობელ ფირფიტებს შორის ძაბვის შესამცირებლად, რომელიც საჭიროა დამაკმაყოფილებელი კომუტაციის მისაღწევად საჭირო ხდება ფირფიტების ანუ სექციების რიცხვის გაზრდა. მაგ. 110÷220 ვ-ის დროს  $K/2P = 12 \div 35$ , სადაც 2P მანქანის პოლუსთა რაოდენობაა. რადგან ღუზაში ღრმულთა დიდი რაოდენობა იზოლაციის დიდი წილის გამო არახელსაყრელია, ღრმულთა რაოდენობის გაზრდის ნაცვლად ზრდიან სექციების რაოდენობას, (ანუ მარტივი ყულფური ან ტალღური გრაგნილის ნაცვლად იყენებენ რთულ გრაგნილებს) ე.ი. ღრმულში სიგანეზე (ფენაში) ათავსებენ რამდენიმე m სექციის გვერდს -  $U_{\pi}$  (სიმაღლეზე ისეცაა სექციების 2 გვერდი).  $U_{\pi}$ -ს ღრმულში ელემენტარულ ღრმულთა რიცხვი ქვია, ხოლო m-ს -გრაგნილის სვლათა რაოდენობა (ხრახნულ კუთხვილთან ანალოგიით). ე.ი.  $K=S= U_{\pi}Z$ . მანქანებში 60-70 ამპერ დენამდე გრაგნილის მავთულად მრგვალი კვეთის იზოლირებულ მავთულებს იყენებენ, უფრო მეტ დენზე კი მართკუთხა კვეთისას. დიდი კვეთის დროს, როცა სექციაში ერთი ხვიაა, გრაგნილს ეწოდება ღეროვანი. მართკუთხა კვეთის შემთხვევაში ღრმულიც მართკუთხა ფორმისაა და მასში ათავსებენ წინასწარ ფორმამიცემულ სექციას. კბილის ფუძის ძლიერ გაჯერების ასაცილებლად ცდილობენ კბილი იყოს სიმაღლეში ერთნაირი კვეთის, ღრმული ამ დროს იქნება ტრაპეციული ფორმის. ღრეჩოს მაგნიტური წინაღობის შესამცირებლად ჯობია კბილთა თავები რაც შეიძლება მეტი სიგანისა იყოს ასეთ ღრმულს ნახევრად დაკეტილი ქვია და კბილის თავებს შორის დარჩენილ ნაპრალებში ხვებს დებენ (ჩაყრიან“) სათითაოდ. ღეროიან გრაგნილის დროს კბილი აღარ გამოდის თანაბარი კვეთის და ღრმულია თანაბარი კვეთის, ღრმულის გახსნის ზომა კი ღეროს ზომაზე ოდნავ მეტია. ღრმულების რაოდენობას, რომელსაც შემოუვლის სექცია ეწოდება მთავარი ანუ პირველი წილობითი ბიჯი  $y_1$ .

$$\boxed{y_1 \approx \tau = \pi D_a / (2p)} \quad (5.1)$$

აქ:  $\tau$  არის საპოლუსო დანაყოფი;  $D_a$  - ღუზის გარე დიამეტრი. თუ  $y_1$  უდრის საპოლუსო დანაყოფს, მაშინ ბიჯს დიამეტრული ეწოდება, ხოლო თუ ნაკლებია, მაშინ შემოკლებული.

**მარტივი ყულფური გრაგნილი** შეიძლება იყოს გადაჯვარედინებული და გადაუჯვარედინებელი. მეორეში სპილენძის ხარჯი ცოტა მეტია, ამიტომ უმჯობესია პირველი მათგანი. გარდა ამისა მათი განმასხვავებელი ნიშანია აგრეთვე მუსების საწინააღმდეგო პოლარობა. გრაგნილის სქემას გამოსახავენ ჩაწყობილი გრაგნილის

ღუზის ცილინდრის მსახველზე წარმოსახვითი გაჭრით და მისი გაშლით სიბრტყეზე. პოლუსებს შორის ზუსტად შუაში მოთავსებულ წრფეებს გეომეტრიული ნეიტრალი ეწოდება. ამ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის მრუდი გადის თავის ნულოვან მნიშვნელობას და იცვლის ნიშანს.



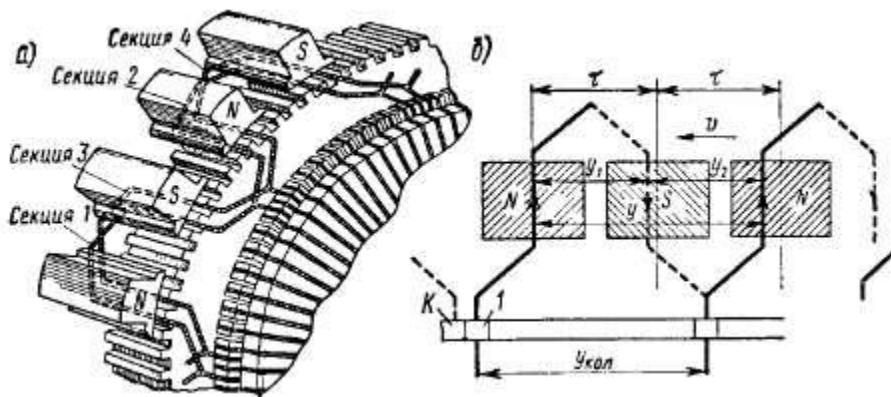
ნახ.3. ყულფური გრაგნილის სქემა:  $2P=4$ ;  $Z=K=24$ . პუნქტირებით აღნიშნულია გამათანაბრებელ შეერთებათა დაყენების ადგილი.

მუსების დაყენება უნდა მოხდეს იმ ანგარიშით, რომ მისით გადაფარულ ფირფიტებზე მყოფი სექცია იმყოფებოდეს ნეიტრალეებზე ან მათ შორის სიმეტრიულად, რადგან ამ დროს მათში არის მინიმალური ემმ.

**გამათანაბრებელი შეერთებანი.** ღუზის გრაგნილი ყოველთვის შედგება როგორც მინიმუმ 2 (ან 2-ის ჯერადი რაოდენობის) პარალელურ შტოთაგან. ამ შტოთა ომური წინაღობა მცირეა, ამიტომ მათი ემმ-თა მცირე სხვაობამაც კი შეიძლება დიდი გამათანაბრებელი დენი გამოიწვიოს, რაც გადატვირთავს როგორც მუსებს, ასევე ზედმეტი ემმ-ს მქონე შტოს. არადა იმ მიზეზთა რაოდენობა, რომელიც იწვევს ემმ-თა ამ დისბალანსს საკმაოა; მაგ.: ღრეჩოს არაერთნაირობა სხვადასხვა პოლუსებს ქვეშ, ღუზის გულას მასალის არაერთგვაროვნება და სხვა საწარმოო გადახრები. ამ დისბალანსის გასათანაბრებლად აყენებენ გამათანაბრებელ შეერთებებს ნახ. 3.

**რთული ყულფური გრაგნილები** ანუ მრავალსვლიანი გრაგნილები გამოიყენებიან დიდი დენების დროს, როცა ერთსვლიანი გრაგნილის შტოები ვერ უზრუნველყოფენ დიდი დენის გატარებას. ამ გრაგნილში ერთმანეთის გვერდიგვერდ თავსდება მეორე, მესამე და ა.შ.  $m$  რაოდენობის იგივე (ერთსვლიანი) მარტივი გრაგნილი. ეი პარალელურად გვერდიგვერდ რამდენიმე მარტივი გრაგნილი. ცხადია მუსებიც ამ შემთხვევაში უნდა იყოს მეტი განივი ზომის, რათა მან მოიცვას ყველა პარალელური სვლის გრაგნილი. ერთსვლიან (მარტივ) გრაგნილში მუსა1 დან 2-მდე ფირფიტას გადაფარავს, 2 სვლიანში 2-დან 3 ფირფიტას და აშ. იგივე პრინციპით აიგებიან და იგივე მიზანს ემსახურებიან რთული ტალღური გრაგნილებიც.

**ტალღური გრაგნილი.** ამ შემთხვევაშიც სექციები კვლავ მიმდევრობით არიან შეერთებული, ოღონდ მათი გამომყვანები ერთმანეთის მეზობელ ფირფიტებს კი არ უერთდება, არამედ ისე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები, ანუ მათ შორის კოლექტორის ცილინდრული ზედაპირის წრეხეხაზე არის კუთხე, ტოლი ორი საპოლუსო დანაყოფისა. მეორე სექციის დახვევისას უვე მისი გამომყვანები მოხვდება: საწყისი - პირველი სექციის ბოლოს კოლექტორულ ფირფიტაზე, ხოლო ბოლო თუ მანქანა ოთხპოლუსაა პირველი სექციის საწყისის გვერდით მარჯვნივ ან მარცხნივ. სათანადოთ აქაც გვაქვს გადაჯვარედინებული ან გადაუჯვარედინებელი გრაგნილი. გრაგნილის ამ ნაწილს ქვია ერთი შემოვლა და ოთხპოლუსა მანქანაში ის ორ სექციის ჩალაგებას და ბოლოების კოლექტორთან მიერთებას გულისხმობს, ხოლო  $2p$  პოლუსა მანქანაში -  $2p$  სექციისას.

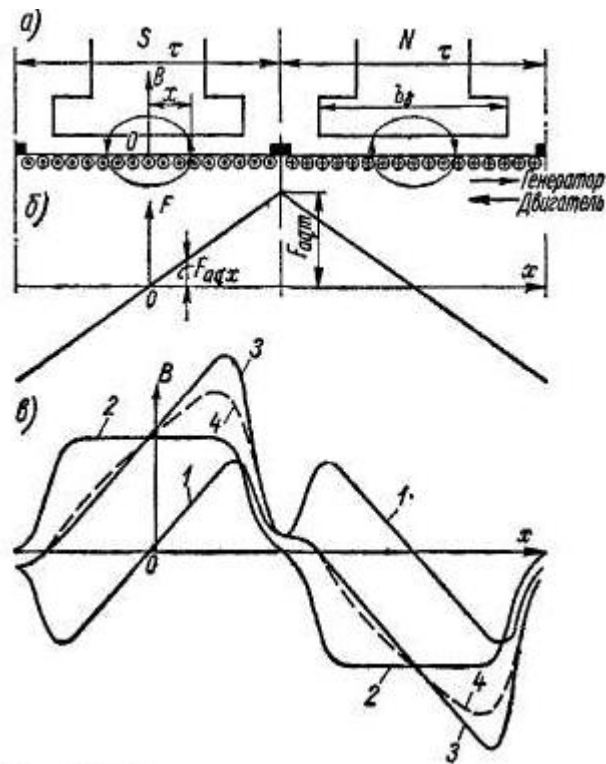


ნახ. 4. ტალღური გრაგნილის წარმოქმნის პრინციპი

აქაც ყულფურ გრაგნილთან ანალოგიით გრაგნილი შეიძლება იყოს მარტივი (ერთსვლიანი) და რთული (მრავალსვლიანი). უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტრომაგნიტურ ასპექტში ტალღური და ყულფური გრაგნილები იდენტური არიან.

გენერატორულ რეჟიმში ღუზის დატვირთვის დროს ღუზაში გამავალი დენი ქმნის ღუზის საკუთრივ მაგნიტურ ველს, ანუ **ღუზის რეაქციას** (ნახ. 2.17.) მრგვალი რგოლები აქ ღუზის გრაგნილის აქტიურ მხარეებს გამოსახვენ, თანაც ჯვარი რგოლის შიგნით ნიშნავს დენის მიმართულებას ჩვენგან, ხოლო წერტილი რგოლის შიგნით ჩვენსკენ. ასეთი ამპერხვეებისაგან წარმოიშობა  $F_{ax}$  ღუზის რეაქციის დამამაგნიტებელი ძალა (ეს ტერმინი მიესადაგება გენერატორულ რეჟიმს), ანუ ღუზის საკუთრივ მაგნიტური ველის დმ (ეს ტერმინი უპრიანია ძრავული რეჟიმისათვის, სადაც მკვებავი ძაბვა წარმოშობს ღუზის მაგნიტურ ველს, რომელიც ურთიერთმოქმედებსძირითად მაგნიტურ ველთან და წარმოშობს ელექტრომაგნიტურ მომენტს), რომელიც მისი გაუკომპენსირებლობის შემთხვევაში გამოიწვევს რეზულტური ნაკადის  $B_{\delta}$  ინდუქციის მრუდის ცვლილებას უქმ სვლის  $B_{\delta}$  მრუდთან შედარებით. ღუზის რეაქციით გაამოწვეული მაგნიტური ველის ღერძი პოლუსების ღერძის განივადაა მიმართული, ამიტომ მას ჩვეულებრივ განივი რეაქცია

ეწოდება იმდენად, რამდენადაც ზოგ შემთხვევებში (მუსების წანაცვლებისას გეომეტრიული ნეიტრალიდან ) რეაქციას შეიძლება ქონდეს გასწვრივი შემდგენიც, რომლის ღერძი პოლუსების ღერძს ემთხვევა ანუ გასწვრივადაა და ემთხვევა ან აწინააღმდეგება ძირითად ნაკადს.



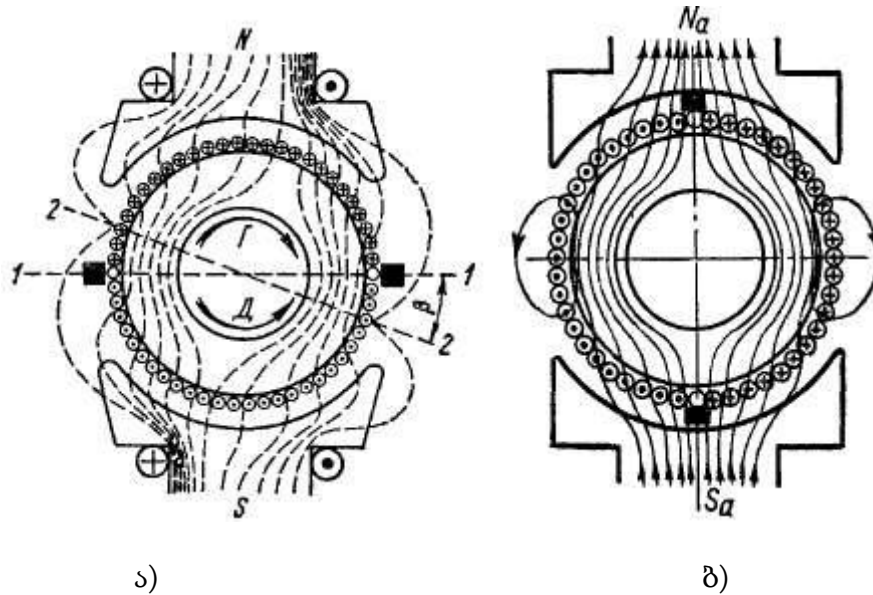
ნახაზი 2.17 ლუზის განივი რეაქციის საილუსტრაციოდ: a) ინდუქტორის საჰაერო ღრეჩოს განფენილი ჭრილი, მუსები ნეიტრალზეა; ნ) ლუზის ამპერხვიებით შექმნილი წრფივი დამამაგნიტებელი ძალის ამპერხვიების გრაფიკი, (ამპერხვიების სიდიდე  $\Sigma i = W \times i_B$  . ამ ფორმულით ლუზის რეაქციის დმ წრფივად იცვლება საჰაერო ღრეჩოს გასწვრივ (მაქსიმალურია მთლიან მუსასთან), მინიმალური- ნახევარ მუსებთან. B) ინდუქციების მრუდები: 1 საკუთრივ ლუზის რეაქციით გამოწვეული; 2 საკუთრივ პოლუსებით გამოწვეული; 3 ჯამური ინდუქცია, როცა მანქანა გაუჯერებელველიანია; 4 ჯამური მრუდი, როცა მანქანა გაჯერებულველიანია.

ნახაზზე აღებულ იდეალურ შემთხვევაში (3) ეს მრუდი საშუალო მნიშვნელობით არ იცვლება, რადგან რამდენითაც ერთ ნაწილში ის მცირდება, იმდენით მეორე ნაწილში იმატებს. ამას ადგილი აქვს გაუჯერებელ მაგნიტურ ველიან მანქანაში. რეალურად მანქანა, როგორც წესი, გაჯერებულველიანია, ამიტომ ინდუქციის გადიდების ხარისხი ყოველთვის ჩამორჩება შემცირების ხარისხს და საშუალო ინდუქციაც გარკვეულად მცირდება. გარდა ამისა რეზულტური ველის მაგნიტური (ფიზიკური) ნეიტრალი გადაინაცვლებს მანქანის გეომეტრიული ნეიტრალიდან გარკვეული  $\beta$



კუთხით გენერატორულ რეჟიმში ბრუნვის მიმართულებით, ხოლო ძრავულ რეჟიმში ბრუნვის საპირისპიროდ.

რეზულტური მაგნიტური ველის შემცირების, ანუ ღუზის ძაბვის შენარჩუნების, ასევე მაგნიტური ველის სივრცული დიაგრამის დამახინჯების თავიდან ასაცილებლად, რომელიც მნიშვნელოვანია მეტადრე გენერატორისათვის მდმ-ში ითვალისწინებენ

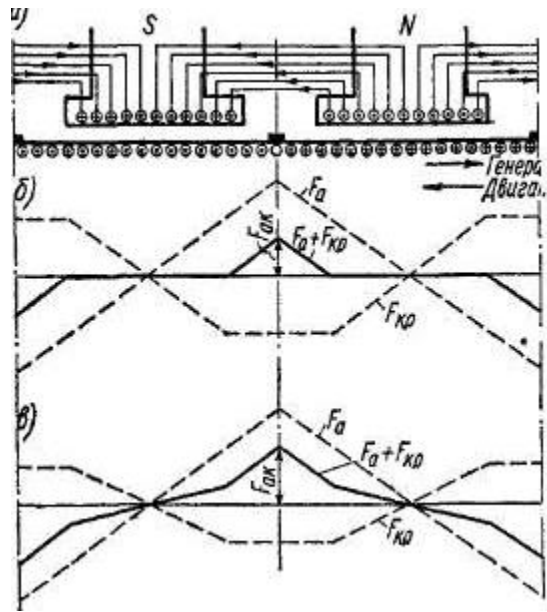


ნახ. 2.18 რეზულტური მაგნიტური ველი მუსების გეომეტრიულ ნეიტრალზე მდებარეობისას- (ა); გასწრივი ანუ გრძივი რეაქციის ველი- (ბ)

**საკომპენსაციო გრაგნილს**, რომელიც თავსდება ძირითად პოლუსებზე ამ მიზნით დატანებულ ღრმულებში და მასში გამავალ დენს აქვს ღუზის დენის ტოლი სიდიდე, ოღონდ საპირისპირო მიმართულება, რითაც მიიღწევა რეაქციის სრული კომპენსაცია დატვირთვის ფართო და დამაკმაყოფილებელი სპექტრში. აღნიშნულის საილუსტრაციოდ ქვემოთ მოცემულია ნახაზი (2.20) ამრიგად საკომპენსაციო გრაგნილი აღადგენს ინდუქტორის დაიტვირთავი რეჟიმის მაგნიტური ინდუქციის მრუდის ფორმასა და სიდიდეს.

საკომპენსაციო გრაგნილები გამოიყენება მძლავრ და სწრაფბრუნვიან მანქანებში 400 ვოლტზე მეტი ძაბვის და წყვილ პოლუსზე 100 კვტ-ზე მეტი სიმძლავრის დროს.

რადგან ღუზის გრაგნილის სექციები სხვადასხვა ღრმულებშია მოთავსებული ემმ-თა დროში ცვლილების მრუდებიც ერთმანეთისაგან დაძრული იქნება დროში 360/2P კუთხით და მიუხედავად იმისა, რომ გრაგნილი ჩაკეტილია თავის თავზე გრაგნილის რეზულტური ემმ-ს უმთავრესი შემადგენელი ნაწილი - პირველ ჰარმონიკათა ჯამი კონტურში დროის ყოველ მომენტში უდრის ნულს. საგულისხმოა, რომ ეს მრუდები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან სინუსოიდასაგან (ნახევარპერიოდის შუა  $\approx 2/3$  უბანი



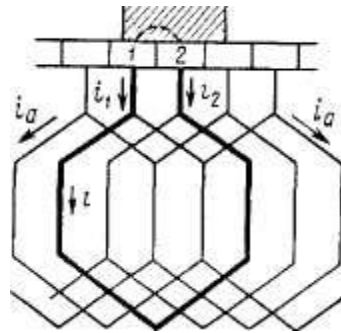
ნახ. 2.20. საკომპენსაციო გრაგნილის განლაგება a). ბ) დ.დ.-თა დიაგრამები ღუზის რეაქციის  $F_a$ , საკომპენსაციო გრაგნილის  $F_{ko}$  და ჯამური  $F_a + F_{ko}$  ღუზის და საკომპენსაციო გრაგნილების წირულ დატვირთვათა ტოლობისას; ბ) იგივე დიაგრამები წირულ დატვირთვათა უტოლობისას.

პრაქტიკულად სიდიდით მუდმივია, რადგან იგივე ფორმა აქვს, როგორც მაგნიტური ინდუქციის სივრცულ დიაგრამას. ცხადია ბიჯის შემოკლება მოსპობს სათანადო ჰარმონიკას (მე-5, მე -7 ან ორთავე, ხოლო სხვა კენტი ჰარმონიკები ცირკულირებენ ღუზის შიგნით ჩაკეტილ კონტურში და მათი ინდუქციური ბუნების გამო იწვევენ მცირეოდენ კარგვებს.

რადგან სექციის მხარეები ყოველთვის ურთიერთ საწინააღმდეგო პოლუსის ქვეშ არიან მოქცეული, ხვიის ემპ უდრის გვერდების ემპ-თა ვექტორულ სხვაობას, ხოლო  $W$  ხვიათა რიცხვის მქონე სექციისა  $-W$  გამრავლებული ამ სხვაობაზე. გრაგნილის ბიჯის შემოკლება ასინქრონული მანქანების ანალოგიით აქაც ხელსაყრელია, რადგან იძლევა სპილენძის ეკონომიას და ამცირებს ან სრულიად სპობს ზოგ მათგანს, ხოლო ამ შემოკლებით გამოწვეული შემცირება ინდუქციის მრუდის ზემოთაღნიშნული ფორმის გამო უმნიშვნელოა, რადგან უმნიშვნელოდ მცირდება სექციის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის მაქსიმუმი. ცხადია ბიჯის შემოკლება მიზანშეწონილია იმ დონემდე, როცა სექციის სიგანე უთანაბრდება სტატორში ინდუქციის მრუდის მართკუთხა ნაწილის სიგანეს.

**კომუტაცია.** ელექტრომანქანათმშენებლობის განვითარების მთელი ისტორიის მანძილზე კომუტაცია ყოველთვის იყო აქტუალური. დღესდღეობითაც, მიუხედავად ელექტრონული ტექნიკის ბოლოდროინდელი ნახტომისებური განვითარებისა მან ვერ მოგვცა კომუტაციის გამოსადევი რაიმე ეფექტური ტექნიკური გადაწყვეტა. პაქტიკა გვიჩვენებს, რომ კოლექტორმუსის კონტაქტი, სულ ცოტა, ხანგრძლივი დროით მაინც დარჩება ელექტრომანქანათმშენებლობის პრაქტიკაში. გრაგნილის

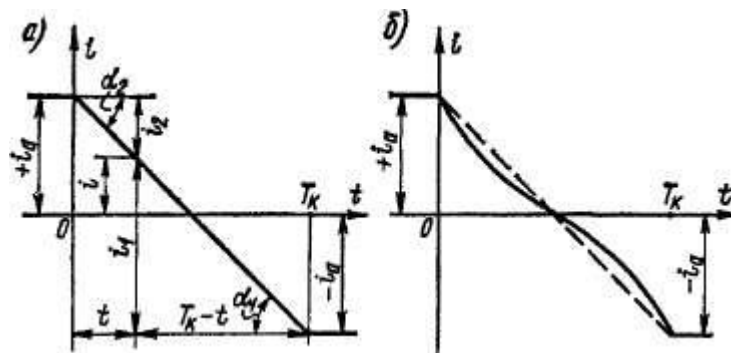
(კოლექტორის) მოძრაობისას ფირფიტები სრიალებენ მუსის ქვეშ და მაშინ როცა მუსა გადაფარავს ორ ფირფიტას, ამ დროს ადგილი აქვს ამ ფირფიტებზე მიერთებული სექციის მოკლედ ჩართვის პროცესს, რომელიც გრძელდება მანამ, სანამ მუსა ეხება 1 და 2 კოლექტორულ ფირფიტას. როცა ფირფიტა 1 გასცდება მუსას ამ მყისიერ მომენტიდან მოკლე შერთვა აღნიშნულ სექციაში აღარ არის. სამაგიეროდ ამ დროს მოკლედ შერთულია უკვე მომდევნო სექცია. გადაადგილებისას რიგრიგობით მოკლდება ყველა სექცია ან ორი სექცია. ნახაზზე აღნიშნულ მომენტში დამოკლებულია 1; 2 ფირფიტებზე მიერთებული სექცია და 2; 3 ფირფიტებზე მიერთებული სექცია. იგივე ხდება ყოველ მუსასთან.



ნახ. 2.21. კომუტირებადი სექციების მოკლე შერთვის პროცესი

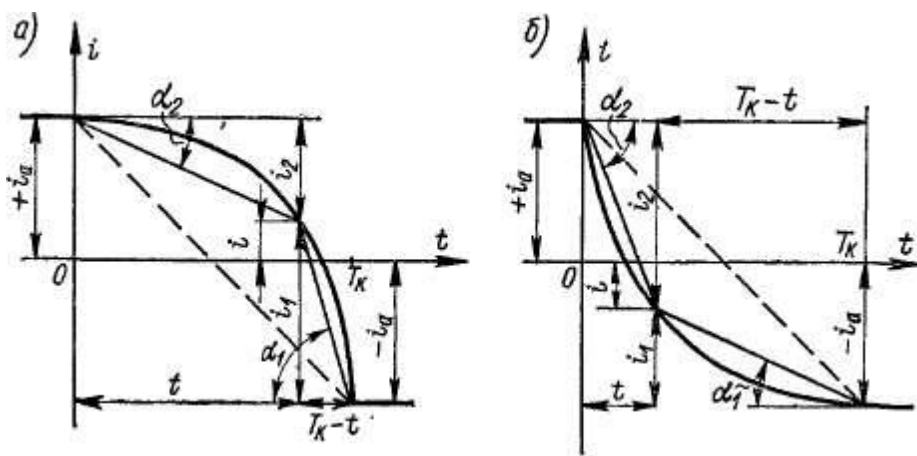
უნდა აღინიშნოს, რომ მუსების განლაგება ნეიტრალზე ან მასგან ოდნავ წანაცვლებით გამომდინარეობს მანქანის მოქმედების პრინციპიდან და მისი ეს მდებარეობა ყველაზე მოხერხებულია ღუზის სექციების საკომუტაციოდ. ის რომ კონსტრუქციულად მანქანებში მუსები მდებარეობენ პოლუსის ღერძზე არამც და არამც არ ნიშნავს მათ მდებარეობას ველის ღერძზე. რგოლური გრაგნილის, ასევე დოლური გრაგნილის ზოგ კონსტრუქციებში მუსები კონსტრუქციულადაც დგანან ნეიტრალზე. სიმეტრიულ გამომყვანებიანი ტალღური და ყულფური გრაგნილის პირობებში მათი გამომყვანი აქტიური გამტარიდან დაძრულია 90 გრადუსით, რის გამოც კონსტრუქციულად მუსების მდებარეობა ემთხვევა პოლუსების ღერძს. კომუტაციისას მოკლედ შერთვის მხოლოდ ის სექციები, რომლების მდებარეობენ ნეიტრალზე ან მასთან ახლოს, მათი გამჭოლი ნაკადი მაქსიმალურია, ხოლო მათი ემმ ნულთან ახლოსაა, ამიტომ გამართულ მდგომარეობაში მყოფი მანქანისთვის ეს „მოკლე შერთვები“ მნიშვნელოვან ნაპერწკლიანობას ვერ იწვევენ, თუმცა ზღუდავენ კოლექტორიანი მანქანის ზღვრულ სიმძლავრეს, რომელიც მან შეუძლია განავითაროს მუშაობის ხანმოკლე (გადატვირთვის) რეჟიმში. ამის გათვალისწინებით კომუტაციის პირობების გაუმჯობესება მეტად მნიშვნელოვანია კოლექტორული მანქანისათვის. როგორც ცნობილია ნებისმიერ მოსრიალე კონტაქტს, მით უმეტეს როცა წრედში დაგროვილია მაგნიტური ველის ენერგია, მისი გათიშვისას მაგნიტური ველის ენერგიის ქრობის გამო ეს ენერგია გამოიყოფა მოკონტაქტე ელემენტების კონტაქტის გაწყვეტის ადგილზე გაჩენილ საჭაერო შუალედში ნაპერწკლის სახით, რომელიც გარკვეული სიმძლავრის ზემოთ აუარესებს მოსრიალე ზედაპირების მდგომარეობას,

როგორც შედეგი ადიდებს საკონტაქტო წინაღობას და აძლიერებს თავდაპირველ ნაპერწკლიანობას. მიუხედავად ამისა კოლექტორული მანქანის სწორი დაგეგმარებით (კომუტაციის მოვლენის სათანადო დონეზე შესწავლის და ამის ბაზაზე გაკეთებული დსკვნების გათვალისწინების საფუძველზე) შესაძლებელია კოლექტორული მანქანის ნორმალური ექსპლუატაცია ათწლეულების მანძილზე. კოლექტორული მანქანის ნორმალური ექსპლუატაციის მაჩვენებელია კოლექტორის ზედაპირის მდგომარეობა, რომელიც ნორმალურად სუსტი სარკული ბრწყინვით ხასიათდება და მას „პოლიტურა“ ეწოდება კომუტაციის მდგომარეობის დასახასიათებლად სტანდარტი განასხვავებს კომუტაციის სხვადასხვა კლასებს, რომელთაგან ნორმალურია 1; 1 ¼ კლასები : ამ დროს ნაპერწკლიანობის ვიზუალური სურათია ნაპერწკლიანობის საერთოდ არარსებობიდან (ბნელი კომუტაცია), სუსტი წერტილოვანი ნაპერწკლიანობა მუსის მცირე ნაწილზე, ან მეტ ნაწილზე. ასეთი დონის ნაპერწკლიანობა ხელს უწყობს კოლექტორის ზედაპირის ბუნებრივი სარკული სუსტი ბრწყინვის შენარჩუნებას და მიუთითებს მანქანის სრულ ტექნიკურ გამართულობაზე. გადატვირთვის ან სხვა ფაქტორების შედეგად შესაძლოა კოლექტორის ამ მდგომარეობის ხანმოკლე დაკარგვა, რომელიც ამ მდგომარეობის მაპროვოცირებელი მოვლენის შეწყვეტის შემდგომში გარკვეული პერიოდის მუშაობის შედეგად კვლავ აღიდგენს ზედაპირის ნორმალურ მდგომარეობას. თუ ასეთი აღდგენა არ მოხდა ამ შემთხვევაში შესაძლოა ან პერიოდულად მეორდებოდეს აღნიშნული გადახრა, ან საქმე გვექონდეს მანქანის გარკვეულ უწყესივრობასთან, რომელიც აღმოუფხვრელობის შემთხვევაში აუცილებლად მიგვიყვანს მანქანის მწყობრიდან სრულ გამოსვლამდე. კომუტაციის დროს ადგილი აქვს გრაგნილის ნაწილებში დენის მიმართულების შეცვლას საპირისპიროთი ( იხ. ნახ.) ანუ  $+i_a$  და  $-i_a$  -მდე.



ნახ. ღუზის დენის ცვლილების მრუდი გრაგნილის კომუტირებად ნაწილში: a) წრფივი    ბ) მრუდხაზოვანი. სწორხაზოვანი კომუტაცია იდეალურ კომუტაციად ითვლება, ხოლო მრუდხაზოვანი რეალურად. სწორხაზოვანი კომუტაციის დროს კოლექტორული ფირფიტის მუსასთან მოკონტაქტე ზედაპირის ფართობის შემცირების კვალობაზე ღუზის დენი თანაბრად იკლებს, ხოლო მისი სიმკვრივე მოკონტაქტე ზედაპირზე უცვლელია თითქოს და მუსები მოძრაობდეს მთლიან

ცილინდრულ და არა ფირფიტებისაგან შემდგარ ზედაპირზე, ამიტომაც ეს მიიჩნევა იდეალურ კომუტაციად. რელურ შემთხვევაში ღუზის მთავარ დენს ემატება აგრეთვე სექციის მოკლე შერთვით გამოწვეული დამატებითი დენი, გამოწვეული სექციაში აღძრული რეაქტიული ემმ-თი და შედეგად კომუტაცია ხდება ან აჩქარებული (როცა უფრო მეტ დენის სიმკვრივეს ადგილი აქვს მუსის შემრბენ ნაწილში) ან შენელებული (როცა მეტ დენის სიმკვრივეს ადგილი აქვს მუსის გამრბენ ნაწილში). ჩვეულებრივი წრედების კომუტაციიდან ცნობილია, რომ წრედის ჩართვისას ნაპერწკლიანობა (უქმ სვლაზე მომუშავე გაჯერებულ მაგნიტურ გულარიანი ტრანსფორმატორის შემთხვევის გარდა) უფრო ნაკლებია, ვიდრე განრთვისას. კომუტაციის დროს მუსის შემრბენი მხარე წარმოადგენს კონტაქტის ჩართვის ექვივალენტს, ხოლო გამრბენი-განრთვისას, ამიტომ დაჩქარებული კომუტაცია



ნახ. შენელებული (a) და დაჩქარებული (ბ) კომუტაცია

კონტაქტის ჩართვასთან ასოციაციით) მიუხედავად დენის სიმკვრივის მომატებისა ნაპერწკლიანობას მნიშვნელოვნად ვერ აძლიერებს, მაშინ, როცა შემცირებული სიმკვრივე მუსის გამრბენ მხარეზე კონტაქტის გათიშვასთან ასოციაციით ნაპერწკლიანობას მნიშვნელოვნად ამცირებს. აღნიშნულის გამო მსუბუქად აჩქარებული კომუტაცია მიიჩნევა კეთილსასურველ გარემოებად სწორხაზოვანთან შედარებით, ხოლო შენელებული კომუტაცია - დამანქანის ელექტრომაგნიტური ნაწილის გამართულობისას მამძიმებელ გარემოებად. მანქანის ელექტრომაგნიტური ნაწილის გამართულობისას მუსების ნაპერწკლიანობა შეიძლება გამოწვეული იყოს მექანიკური მიზეზებითაც; ეს მიზეზებია კოლექტორის ზედაპირის ცვეთისმიერი უთანაბრობა, მუსების არასაკმაო მიხეხვა კოლექტორზე, კოლექტორის რადიალური ცემა (თუ ის აჭარბებს 0,1-0,2 მმ-ს), ზოგი კოლექტორული ფირფიტის გამოშვება კოლექტორის ცილინდრული ზედაპირიდან, ფირფიტებსშორისი ქარსის სადების გამოშვება, მუსების ჩასოლვა ან გაძნელებული მოძრაობა მუსის ბუდეში, მუსის ვიბრაცია, მუსის ბუდეში დიდი ღრეჩოთი (0,2-0,3 მმ) ჯდომა, მეტისმეტი დაშორება მუსის ბუდისა კოლექტორიდან (მეტი 2-3 მმ-ზე), მუსების ზამზარის ზედმეტი ან არასაკმაო ძალა. უნდა აღინიშნოს, რომ გადიდებული ნაპერწკლიანობა მხოლოდ ერთ

ან რამდენიმე მუსაზე (არა ყველაზე) მიუთითებს მანქანის ელმაგნიტური ნაწილის გამართულობაზე და მეტყველებს ნაპერწკლიანობის მექანიკურ მიზეზებზე. მანქანის მუშაობისას შესაძლოა შემთხვევები, როცა ნაპერწკლიანობა აღიძვრება არამარტო მუსასთან ახლოს, არამედ მუსებსშორის ზედაპირზეც ანუ კოლექტორულ ფირფიტებს შორის. ამას ეწოდება პოტენციალური ნაპერწკლიანობა და შესაძლოა წარმოიშვას კოლექტორის ზედაპირზე ნახშირის (დენგამტარი) მტვერით დაჭუჭყიანებისას და ფირფიტებსშორისი ძაბვის გადიდებისას მძიმე რეჟიმის შედეგად. ეს წარმოადგენს მოკლედ ჩართვას და თუ გამართულია დაცვა მანქანა სწრაფად ამოირთვება წრედიდან ისე, რომ კოლექტორი ვერ ასწრებს დაზიანებას. თუ კოლექტორმა რაიმე მიზეზით მიიღო დაზიანება, აუცილებელია მისი დაზიანების აღმოფხვრა. მცირედი ხანმოკლე ფერის შეცვლა, ასევე ახალი მუსების არასაკმაო მიხეხვა აღდგება თავისთავად მანქანის მუშაობისას, ხოლო დანარჩენი ცვლილებები აუცილებელია აღმოფხვრას. დაგეგმარების ეტაპზე მანქანის კომუტაციის გასაუმჯობესებლად მხედველობაში მიიღება დამატებითი დენის ყველა გამომწვევი მიზეზი:

**თვითინდუქციის ემმ**

$e_L = -L \, di/dt$  აქ  $L$  კომუტირებადი სექციის საკუთარი ინდუქციურობაა;  $i$  ღუზის დენია. როგორც აღვნიშნეთ ის ნიშანს იცვლის ანუ აბსოლუტური ცვლილება არის  $2 \, i$  სექციის მოკლედ შერთულ პერიოდის განმავლობაში. **ურთიერთინდუქციის ემმ**

$e_M = -M \, di/dt$  აქ  $M$  მეზობელი, ერთდროულად კომუტირებად სექციასთან ურთიერთ ინდუქციურობაა. **ემმ ღუზის (განივი) რეაქციისგან** (ანუ იმ ნაკადისაგან, რომელიც იქმნება ძირითადი ველისა და ღუზის ველის ზედდებისაგან კომუტაციის ზონის ნაწილში). როგორც ვიცით ამ ზონაში მთავარი ველის ნაკადი მცირეა, რადგან მას აქვს მცირე ღრეჩოში გავლის იოლი გზა. ღუზის რეაქციის ველი კი უმთავრესად ჰაერში იკვრება. ყველა ზემოთაღნიშნული ემმ-თაგან ეწინააღმდეგებიან ღუზის დენის შეცვლას ანუ ანელებენ კომუტაციას. დაბოლოს უმრავლეს შემთხვევებში კომუტაციის ყველა ამ შენელების მიზეზთა აღმოსაფხვრელად საჭირო ხდება კომუტაციის ზონაში ხელოვნურად შევქმნათ საწინააღმდეგო მიმართულების მაგნიტური ნაკადი, რომელიც არამარტო გააკომპენსირებს ამ ემმ-ებს, არამედ შექმნის კომუტაციის (დამატებით) ამაჩქარებელ ემმ-ს. ამ ემმ-ს ეწოდება **გარე ველის მაკომუტირებელი ემმ**. ნორმალური კომუტაციის პირობების შექმნის მიზნით მანქანის დაგეგმარების სტადიაზე მიმართავენ შემდეგ ზომებს:

**მაკომუტირებელი ემმ-ს შექმნა**, რომელიც შეიძლება მიღწეული იქნას, როგორც დამატებითი პოლუსების დაყენებით, ასევე მუსების წანაცვლებით გეომეტრიული ნეიტრალისაგან. დამატებითი პოლუსები თავსდება ძირითად პოლუსებს შორის და ის რამდენჯერმე მცირე სიგანისაა ძირიდად პოლუსზე. იმისათვის, რომ ამ პოლუსის ველმა შექმნას საჭირო მიმართულების ემმ მთავარი პოლუსის ბრუნვის მიმართულებით მომდევნო დამატებითი პოლუსის პოლარობა უნდა იყოს

საპირისპირო გენერატორულ რეჟიმში და პოლარობის თანხვედნილი ძრავულ რეჟიმში. იმისათვის, რომ მანქანის სხვადასხვა სიდიდით დატვირთვისას ყოველთვის ხდებოდეს ექვივალენტური მაკომუტირებელი ემმ-ს შექმნა დამატებითი პოლუსის დამამაგნიტებელი ძალა უნდა იყოს დენის პროპორციული. ამიტომ მის გრაგნილს აერთებენ ღუზის გრაგნილის მიმდევრობით და დამატებითი პოლუსის გრაგნილისათვის შესაბამისად იღებენ სათანადო კვეთის სპილენძის გამტარს. გრაგნილის ხვიათა რიცხვს კი ანგარიშობენ საჭირო საწინააღმდეგო ემმ-ის სიდიდის მიხედვით. სააერო ღრეჩოს სიდიდე დამატებით პოლუსებისთვის აიღება 1,5-2 -ჯერ მეტი საერთო ღრეჩოზე, რათა რეზულტური მაგნიტური ინდუქციის მრუდმა შეიძინოს კომუტაციისათვის საჭირო გეომეტრიული ფორმა. მეორეს მხრივ დიდი ღრეჩო ადიდებს ფანტვას, რაც ამცირებს მაკომუტირებელ ემმ-ს. ამიტომ დიდ მანქანებში ღრეჩოს ორად ყოფენ, ანუ ჩვეულებრივ ღრეჩოს დამატებით პოლუსსა და ღუზას შორის უმატებენ კიდევ ღრეჩოს დიამაგნიტური სადების დატანებით პოლუსსა და ინდუქტორის უღელს შორის. დამატებითი პოლუსები გამოიყენებიან 0,3 კვტ. სიმძლავრეზე ზევით. მათი გამოყენება იმდენ მარაგს ქმნის, რომ შესაძლებელი ხდება მნიშვნელოვნად გადიდდეს მანქანის წირული დატვირთვა და მანქანა გახდეს კომპაქტური ზომების მქონე და შემცირდეს მათი ღირებულება.

**მუსების წანაცვლება გეომეტრიული ნეიტრალიდან.** მანქანის სიმძლავრის 0,3 კვტ-ის ქვევით დამატებით პოლუსებს არ იყენებენ, არამედ მაკომუტირებელ ველს ქმნიან მუსების დაძვრით გეომეტრიული ნეიტრალისგან, რის წყალობითაც მაკომუტირებელ ველის შექმნას აკისრებენ რეზულტურ მაგნიტურ ველს. იმისათვის, რომ ამ ველს ქონდეს სწორი მიმართულება აუცილებელი და საკმარისია გენერატორში მუსები მობრუნდეს ბრუნვის თანხვედნილად, ხოლო ძრავში ბრუნვის საპირისპიროდ. მიმდევრობით აგზნებიან მანქანებში ამ გზით მიიღწევა კომუტაციის გაუმჯობესება დატვირთვის ფართო დიაპაზონში. თუ მანქანის ნაკადი მუდმივია, მაშინ კომუტაციის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება მიიღწევა არჩეულ ერთ გარკვეულ დატვირთვაზე და რაც მეტია დატვირთვის განსხვავება მოცემულისაგან, მით ნაკლებია კომუტაციის გაუმჯობესების ეფექტი. მუსების გადახრის სიდიდეს განსაზღვრავენ ვიზუალურად არჩეულ მაქსიმალურად ხშირად მოსალოდნელ დატვირთვაზე მიღწეული მინიმალური ნაპერწკლიანობის მიხედვით.

**რეაქტიული ემმ-ს შემცირების გზები.** იმ სიდიდეთაგან, რომლებიც განსაზღვრავენ რეაქტიული ემმ-ს მნიშვნელობას მისი შემცირებისათვის ხელმისაწვდომია მხოლოდ სექციათა შორის ურთიერთინდუქციის სიდიდის შემცირება მთავარი ბიჯის ერთ კბილურ დანაყოფით შემცირებით. ამ შემთხვევაში მეზობელი სექციების თითო გვერდი თავსდება სხვადასხვა ღრმულში, რაც ამცირებს მათ შორის მაგნიტურ კავშირს. ყულფურ გრაგნილებში შეფარდებას K/p ირჩევენ კენტ რიცხვს, რადგან ამ დროს მეზობელი პოლუსების მომცველი სექციების კომუტაცი დაძვრულია დროში ნახევარ კოლექტორულ დანაყოფზე. ურთიერთინდუქციას ასევე ამცირებს ღრმულის

სიმაღლის შემცირება, ღუზის გრაგნილის მართკუთხა მავთულის სიმაღლის გადიდება. განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მანქანის მუსების მახასიათებლების სწორ შერჩევას: მძიმე კომუტაციის პირობებში უმჯობესია სალი გრაფიტის მუსები გადიდებული გარდამავალი წინააღმდეგობით, თუმცა ამ დროს იზრდება ელექტრული და მექანიკური კარგვები კონტაქტში. მუსები დიდი დახრის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლით სასურველია მუსის გამრბენ ნაწილში დენის სიმკვრივის შემცირების მიზნით კომუტაციის ნაკლებად მძიმე პირობებში. სპილენძ-გრაფიტის მუსები, რომლებსაც ახასიათებთ მცირე გარდამავალი წინააღმდეგობა გამოიყენებიან მხოლოდ 30 ვოლტზე და უფრო ნაკლები ძაბვის მანქანებში.

უნდა აღინიშნოს ასევე, რომ საკომპენსაციო გრაგნილის არსებობა მანქანაში გარდა მისი მთავარი დანიშნულებისა შესამჩნევად ამსუბუქებს კომუტაციის პირობებსაც.

## მუდმივი დენის ძრავები

მუდმივი დენის ძრავები (მდძ) პოულობენ ფართო გამოყენებას მრეწველობაში და ტრანსპორტში, როცა საჭიროა დიდი გამშვები მომენტი და ბრუნთა რიცხვის ღრმა რეგულირება. აგზნების გვარობის მიხედვით ისინი იყოფიან **დამოუკიდებელ, პარალელურ (შუნტურ), მიმდევრობით (სერიეს) და შერეულ (კომპაუნდურ)**

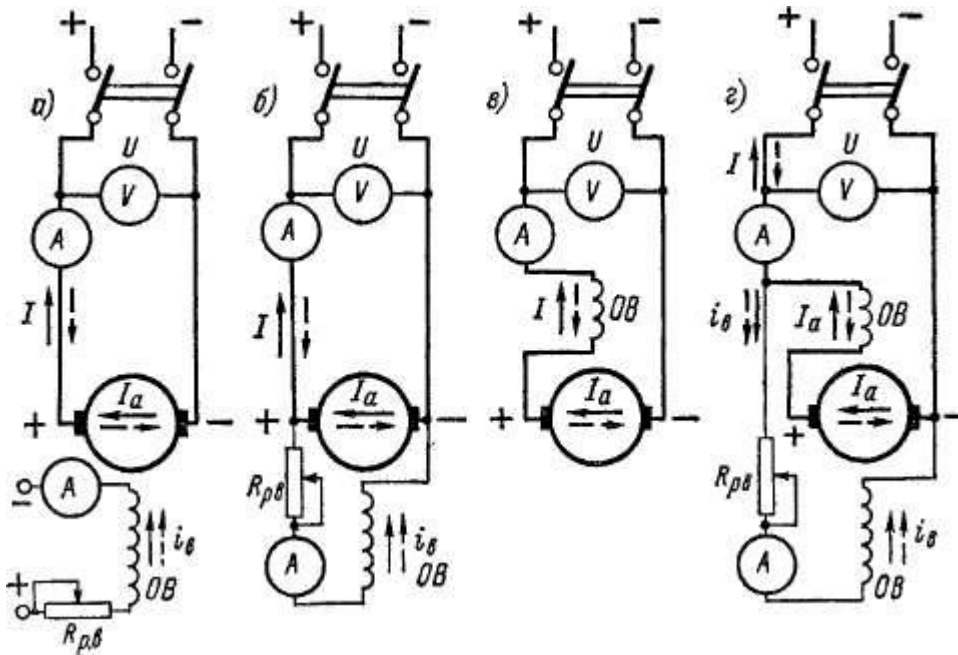
აგზნებიან ძრავებად. იხ. ნახ 10.1. მდძ-ს ელექტრომაგნიტური მომენტი  $M_{\text{მ}} =$

$P_{\text{მ}} / \Omega = 2 \pi n$  სადაც  $\Omega = 2 \pi n$  არის კუთხური სიჩქარე, თუ სიმძლავრე კვტ-ებშია

მოცემული, მაშინ

ფორმულა ასეთია:  $M_{\text{მ}} = 975 P_{\text{მ}} / n$ .



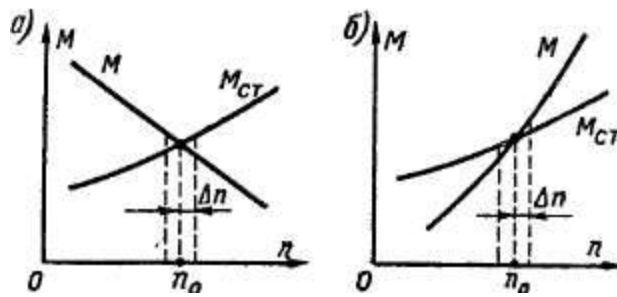


ნახ. 10.1. მდმ სქემები: (ა) დამოუკიდებელი ; (ბ) პარალელური; (ვ) მიმდევრობითი; (რ) შერეული აგზნებით. მთლიანხაზიანი ისრები უჩვენებს დენის მმართულებას გენერატორულ რეჟიმში, პუნქტირანი- ძრავულ რეჟიმში.

**ძრავის მუშაობის მდგრადობა.** ძრავის ექსპლუატაციის პერიოდში ხშირად წარმოიშობიან სხვადასხვა სახის გადახრები (ე.წ. „შეშფოთებები“), რომლებიც იწვევენ დამყარებული (წონასწორობის) რეჟიმიდან გამოსვლას. ძრავის მდგრადობის ქვეშ გულისხმობენ მის უნარს დაუბრუნდეს წონასწორობის მდგომარეობას, როცა ასეთი გადახრები გაქრება. თუ ასეთი მცირე გადახრები იწვევენ ძრავას პარამეტრების დიდ ცვლილებას ან წარმოშობენ მათ მუდმივ რყევებს, მაშინ ძრავის მუშაობა არასტაბილურია და მიუღებელი. ასეთივე რამ შეიძლება დაემართოს გენერატორებსაც.

ძრავას მუშაობის მდგრადობა სრულადაა განსაზღვრული ძრავას მექანიკური მახასიათებლითა და სასარგებლო მუშა მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტის მრუდით. ნახ. 10. მ -ზე გამოსახულია ეს მრუდები:

თუ აგრეგატის სიჩქარე მცირე შემთხვევითი ცვლილებისას მოიმატებს, მაშინ მექანიზმის წინააღმდეგობა მეტი გახდება ძრავის მომენტზე და ძრავი შენელებს. თუ სიჩქარე მოიკლებს, მაშინ ძრავის მომენტი გადააჭარბებს მექანიზმის მომენტს და ძრავა აჩქარდება. აქედან გამომდინარეობს, რომ (ა) შეუღლება სტაბილურია. მეორე შემთხვევაში სიჩქარის ცოტაოდენი მომატება იწვევს ძრავის მომენტის გადამეტებას წინააღმდეგობის მომენტზე, ამიტომ სიჩქარე კვლავ მოიმატებს და შეიძლება მოხდეს



ნახ. 10. მ: ძრავის და მუშა მექანიზმის მდგრადი ( a ) და არამდგრადი ( ბ ) შეუღლების შემთხვევები

ავარია; ასევე შემცირებისას იგი კვლავ შემცირდება და შეიძლება დავიდეს ნულამდე. ანუ ასეთი შეუღლება არამდგრადია. ზოგადად მდგრადობის კრიტერიუმი ასე გამოისახება

$$\boxed{\frac{dM}{dn} < \frac{dM_{cr}}{dn}} \quad (10-14)$$

აქ: მომენტი უინდექსოდ ძრავის (მამოძრავებელი) მომენტი; მომენტი ინდექსით - მუშა მექანიზმის (მამუხრუჭებელი) მომენტი. (1-6) ტოლობიდან ( $U_a = E_a + I_a r_a$ );

$$I_a = (U_a - E_a) / r_a, \text{ სადაც } E_a = C_e \Phi \delta n \quad \text{ამ ტოლობებიდან } n = (U_a - I_a r_a) / C_e \Phi \delta \quad (10-8)$$

ეს ტოლობა გვადლევს ბრუნთა რიცხვის დამოკიდებულებას ლუზის დენისაგან  $n = f(I_a)$ . და ეწოდება სიჩქარული მახასიათებელი. თუ  $n$  -ის ფორმულაში შევიტანთ  $I_a$  -ს მნიშვნელობას ფორმულიდან  $M_{\text{მ}} = C_M \Phi \delta I_a$ ,

მივიღებთ

$$\boxed{n = \frac{U}{c_e \Phi \delta} - \frac{R_a M}{c_e c_M \Phi \delta^2}} \quad (10-9)$$

ეს ფორმულა გვადლევს დამოკიდებულებას  $n = f(M)$  და მას ეწოდება მექანიკური მახასიათებელი. რადგან მომენტი და დენი პროპორციული სიდიდეებია, ამ მრუდებს სხვადასხვა მასშტაბში ერთმანეთს ამთხვევენ, ანუ მათ ერთავეთ გამოსახავენ ერთი მრუდით. საერთოდ ეს მახასიათებელი ყველა ძრავის უმთავრესი მახასიათებელია.

**მდბ-ების გაშვება.** ძრავას გაშვების მთავარი საკითხია საკმარისი მექანიკური მომენტის უზრუნველყოფა და გაშვები დენის სახიფათო ზღვრამდე შეზღუდვა. მნიშვნელოვანია ყოველთვის გვახსოვდეს შემდეგი: გარდა სერიესული ძრავისა ყველა

ძრავის გასაშვებად ჯერ უნდა ჩაირთოს აგზნების გრაგნილი, რათა აგზნების დენმა მოასწროს დამყარება, ხოლო რამდენიმე წამის შემდეგ ჩაირთოს ღუზის გრაგნილი. ხანმოკლე გაჩერებების დროს და არაავტომატური მართვისას სჯობს აგზნების გრაგნილი არც გაითიშოს. ძრავის გათიშვისას აგზნების გრაგნილი (შუნტური კოჭა) კი არ უნდა ამოირთოს ქსელიდან, არამედ უნდა დარჩეს ჩაკეტილი ღუზაზე, რაც გამორიცხავს აგზნების მრავალხვიან გრაგნილში (შუნტურ კოჭაში) თვითინდუქციის მაღალი ძაბვის გაჩენას, რამაც შეიძლება დააზიანოს გრაგნილი. ძრავის ბრუნვის მიმართულების შესაცვლელად საკმარისია ან ღუზაზე შევცვალოთ ძაბვის პოლარობა ან აგზნების გრაგნილზე.

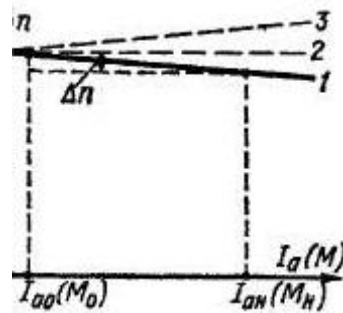
შესაძლოა მდმ-ების გაშვების (ანუ ღუზაზე ძაბვის მიწოდების) სამი ხერხი: პირდაპირი გაშვება, როცა ღუზა პირდაპირ ირთვება ქსელის ძაბვაზე; გაშვება გამშვი რეოსტატით, როცა ღუზის წრედში მიმდევრობით, დენის შეზღუდვის მიზნით შეყვანილია გამშვი რეოსტატი, დასაწყისში ეს რეოსტატი მაქსიმალურ წინაღობაზეა დაყენებული და ჩართვის მერე ნელა ანულებენ წინაღობას; შემცირებული ძაბვით გაშვება, როცა ნომინალურის ნაცვლად ღუზას აწვდიან ბევრჯერ შემცირებულ ძაბვას, ხოლო ჩართვის შემდეგ ნელ-ნელა ამაღლებენ ნომინალურამდე. პირდაპირი გაშვებისას ჩართვის მყისიერი დენი ღუზის ემმ-ს ნულოვანი მნიშვნელობის გამო განისაზღვრება მოდებული ძაბვისა და მხოლოდ ღუზის ომური წინაღობის ფარდობით, რის გამოც ის ნომინალურ დენზე  $50 \div 10$  -ჯერ მეტია. ამიტომ ეს მეთოდი მხოლოდ რამდენიმე ასეულ ვატ სიმძლავრის ძრავებში გამოიყენება, სადაც ჯერადობის რიცხვი  $4 \div 6$  - მდეა და გაშვებაც  $1 \div 2$  წამამდე გრძელდება. მეტ სიმძლავრეებზე სადღეისოდ უფრო გავრცელებულია ძაბვის შემცირების მეთოდი, რომელიც ხორციელდება ძაბვის ტირისტორულ რეგულატორების საშუალებით. მათითვე შესაძლოა ძაბვის შეგულისრება შემცირების მიმართულებით უდანაკარგოდ. გამშვი რეოსტატებით გაშვება იწვევს დანაკარგებს, მეტადრე თუ გაშვება ხშირად ხდება.

**ბრუნვის რეგულირება.** აგზნების სახეობების მიხედვით (10-8) ტოლობის საფუძველზე მიიღებიან ნაირგვარი მექანიკური (სიჩქარული) მახასიათებლები:

**შუნტურ და დამოუკიდებელაგზნებიანი ძრავისათვის** სიჩქარულ მახასიათებელს, როცა ღუზის წრედში დამატებითი წინაღობა არაა ჩართული ეწოდება ბუნებრივი მახასიათებელი, იხ. (10-9).

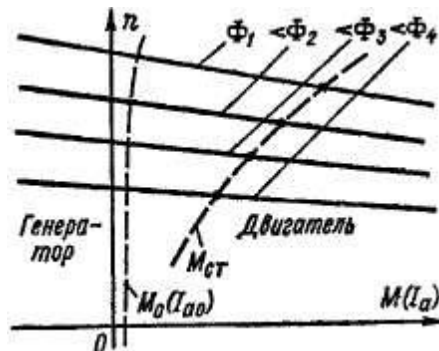
ამ დროს მუდმივია მკვებავი ძაბვა და აგზნების დენი. იცვლება დატვირთვის მომენტი რასაც მოჰყვება სიჩქარის ცვლილება. თუ სათანადო ტოლობას გავანალიზებთ დატვირთვის გადიდებისას წილადის მრიცხველი შემცირდება. ღუზის რეაქციის გამო ნაკადიც, ანუ მნიშვნელოვან შემცირდება; გააჩნია რომელი უფრო მეტად მცირდება და აქ შეიძლება იყოს რამდენიმე ვარიანტი: იხ. ნახ.10.2. როცა სიჩქარე იკლებს (1); როცა არ იცვლება (2); როცა იმატებს (3). ამ უკანასკნელ

შემთხვევაში მანქანას აქვს გაზრდილი მიდრეკილება არამდგრადი მუშაობისაკენ, რადგან ზოგჯერ მუშა მექანიზმის მამუხრუჭებელი მომენტი მუდმივია. ასეთ მექანიზმთან ამ მახასიათებლიანი ძრავის შეუღლება წინასწარ უზრუნველყოფს არამდგრადობას ანუ აგრეგატის დიდ სიჩქარეზე გაქანებას და ავარიას. თუ კი მექანიზმის მომენტი მნიშვნელოვნად იზრდება სიჩქარის გაზრდისას (უფრო მეტად ვიდრე მახასიათებელი (3), მაშინ ასეთი შეუღლება მდგრადია და თუ ეს შეუღლება გამორიცხავს მის შემთხვევით მოშლას, მაშინ აგრეგატი მდგრადია. აღნიშნულიდან გამომდინარე ცდილობენ მანქანა დააპროექტონ მახასიათებელით 1. ასეთი მახასიათებლისას სიჩქარის ცვლილება უქმი სვლიდან ნომინალურ დატვირთვამდე შეადგენს  $2 \div 8 \%$  და მახასიათებელს ეწოდება ხისტი.



ნახ. 10.2. შუნტური მდბ-ს მექანიკური მახასიათებელი

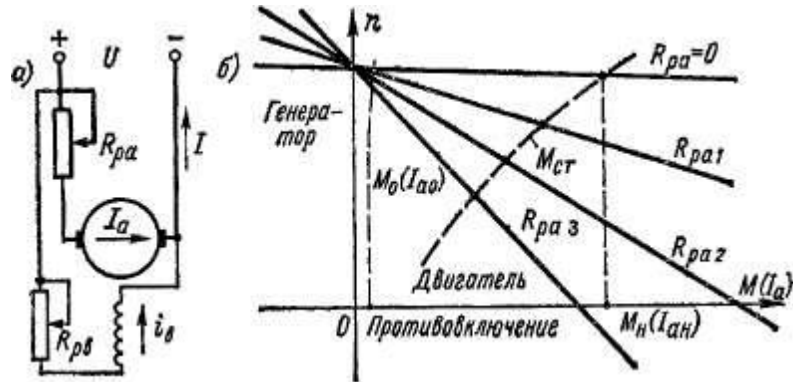
მახასიათებლის მიხედვით თუ მას ავაგებთ  $U = \text{const}$ , მაგრამ აგზნების დენის შემცირებული მნიშვნელობებისათვის, მივიღებთ მახასიათებელთა ოჯახს (ნახ. 10.3)



ნახ. 10.3. მექანიკური მახასიათებლები სხვადასხვა აგზნების დენებისათვის

ნახ.-ზე  $M_0$  უქმი სვლის (სტატიკური) მომენტია;  $M_{ст}$  მუშა მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტია. ამ მრუდის გადაკვეთა მექანიკურ მახასიათებლებთან გვაძლევს წონასწორობის წერტილებს, სადაც ძრავი მუშაობს დამყარებულ რეჟიმში (მუდმივი სიჩქარით). როგორც ვხედავთ ნაკადის (აგზნების) შემცირებით შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა ბრუნთა რიცხვები. საერთო დანიშნულების ძრავების სიჩქარე ამ გზით შეგვიძლია ვარეგულიროთ ფარგლებში 1: 2, სპეციალურ ძრავებში კი შეიძლება მივიღოთ 1:5 და 1:8, ოღონდ დიაპაზონის გაზრდა ართულებს და აძვირებს მანქანას.

თუ ღუზის წრედში შევიყვანთ დამატებით წინაღობას, მაშინ ფორმულიდან ჩანს, რომ ბუნებრივი ხისტი მახასიათებლის მაგიერ მივიღებთ „რბილ“ მახასიათებლებს ნახ. 10.4.



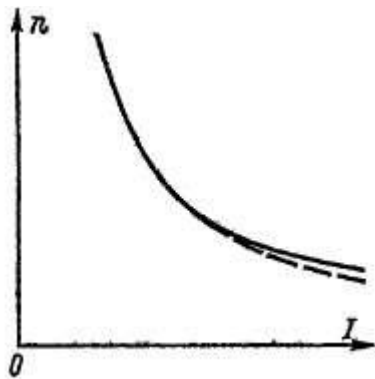
ნახ. 10.4. სიჩქარის რეგულირება ღუზაში დამატებითი წინაღობით

ამ მახასიათებლების გადაკვეთა მექანიზმის წინააღმდეგობის მომენტთან გვაძლევს ძრავის მუშაბის წონასწორულ წერტილებს, საიდანაც ჩანს, რომ სიჩქარეები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან, ანუ ხდება სიჩქარის რეგულირება. ამ მეთოდით შეიძლება სიჩქარის რეგულირება დიდ დიაპაზონში. უნდა გვახსოვდეს, რომ ეს მეთოდი არაეკონომიურია დამატებით წინააღობაში დიდი დანაკარგების გამო.

თუ აგზნების გრაფილზე ძაბვას არ შევამცირებთ, ხოლო ღუზაზე შევამცირებთ ასეთ ძრავას სინამდვილეში ეწოდება დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავა, რომელიც მცირედ განსხვავდება შუნტურისაგან, მაშინ მივიღებთ ბუნებრივ მახასიათებელთა ოჯახს ნახ.10.2 ნაჩვენები არაა. ეს მრუდები განლაგდებიან მთავარი მახასიათებლის 1 ქვემოთ მის თითქმის პარალელურად (ზრდადი დახრით). ეს მეთოდი არეგულირებს დიდ დიაპაზონში და ყველაზე ეკონომიურია, თუმცა საჭიროებს ძაბვის რეგულირებად წყაროს. ასეთ რეგულირებას ძველად ახორციელებდნენ რეგულირებადი ტრანსფორმატორების ძაბვის გამართვით. ამჟამად ახორციელებენ ერთფაზა ან სამფაზა სტანდარტული ქსელიდან ტირისტორული სქემით, ანუ ძაბვის იმპულსური რეგულირებით, რაც აიოლებს ამ მეთოდის გავრცელებას.

სერიეს ძრავისათვის მექანიკურ მახასიათებელს აქვს ჰიპერბოლური ხასიათი, რბილია (ნახ. 10.5. ). როგორც ვიცით ამ ძრავასი ღუზის დენი გადის აგზნებაშიც. ამიტომ მომენტი  $M$  პროპორციულია დენის კვადრატის და ძრავის გამშვი მომენტი ყველა არსებულ ძრავების მომენტზე მეტია. მახასიათებლის სირბილის გამო ამ ძრავისთვის ნაკლებად საშიშია გადატვირთვაც, ანუ ძრავა იოლად „მოერგება“ მას. სერიეს ძრავის გაშვება მიკროსიმძლავრის ძრავის გარდა უქმ სვლაზე არ შეიძლება, რადგან მომენტის სიმცირის გამო მოხდება ძრავას ე.წ. „გაქცევა“, რაც დააზიანებს მას.

ასევე დაუშვებელია მისი დატვირთვა ღვედური გადაცემით. ძრავის ლილვზე უნდა მუდმივად არსებობდეს (0,2÷ 0,25) ნომინალური სიმძლავრის ტოლი დატვირთვა.



$$n = \frac{U - R_a I}{c_e k_{\Phi} I}; \quad (10-19)$$

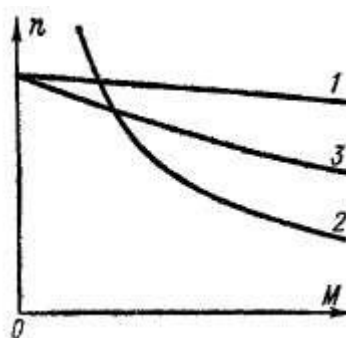
$$n = \frac{1}{c_e} \frac{c_m U}{k_{\Phi} V M} - \frac{R_a}{c_e k_{\Phi}}; \quad (10-20)$$

$$M = c_m k_{\Phi} I^2 = \frac{c_m \Phi_b^2}{k_{\Phi}}. \quad (10-21)$$

ნახ. 10.5 სერიეს ძრავას ბუნებრივი სიჩქარული მახასიათებელი და სათანადო ფორმულები.

სიჩქარის რეგულირება ყველაზე ღრმა და ეკონომიურია ძაბვის რეგულირების მეთოდით, მისაღებია აგზნების დაშუნტების მეთოდიც. უნდა გვახსოვდეს, რომ (მახასიათებლის ჰიპერბოლური ხასიათიდანაც ჩანს, რადგან ის არ კვეთავს ორდინატას) ამ ძრავს ბრუნთა რიცხვის მომატებისას არ შეუძლია გენერატორულ რეჟიმში ავტომატური გადასვლა. ამისათვის აუცილებელია აგზნების მომჭერების ადგილების ურთიერთ შეცვლა.

**კომპაუნდური ძრავისათვის**, რომელსაც აქვს შუნტურიც და სერიესული გრაგნილიც ამ უკანასკნელის შემხვედრი ჩართვისას მიიღება მახასიათებელი ნახ. 10.2 (3), რომელიც არასტაბილურობისკენაა განწყობილი, ამიტომ ამ სქემას არ იყენებენ. თანხვედრი ჩართვისას კი მიიღება მახასიათებელი შუალედური შუნტურსა და სერიესულ ძრავებს შორის (ნახ. 10.6. ) ძრავის. სიჩქარის რეგულირება შესაძლებელია ყველა მეთოდით, რომლებიც, გამოიყენებიან შუნტურ და სერიესულ ძრავებში. ამ ძრავის გადაყვანა



ნახ. 10.6. ბუნებრივი მახასიათებლები: 1- შუნტური; 2- სერიესული; 3- კომპაუნდური

გენერატორულ რეჟიმში ჩვეულებრივად (ავტომატურად ხდება), ამიტომ ის მოხერხებულია ელექტრული წევისათვის სერიულ ძრავას ნაცვლად.

**მუდმივი დენის გენერატორები.** ძრავებისაგან განსხვავებით სპეციალურ შემთხვევების გარდა მათი, როგორც მუდმივი ძაბვის წყაროს კონკურენტული სტატიკური ალტერნატიული წყაროების ფართო გავრცელების გამო სადღესოდ შეზღუდულია. ეს წყაროები იკვებებიან ცვლადი 50 ჰც სხშირის სამფაზა ქსელისაგან დენის გამართვის და ფილტრაციის გამოყენებით პრაქტიკულ საჭიროებათა უმრავლეს შემთხვევებში მიიღწევა პულსაციის დამაკმაყოფილებელი დონე. გენერატორების უმთავრესი მახასიათებელია გარე მახასიათებელი - ღუზის ძაბვის მის დატვირთვაზე (დენზე) დამოკიდებულების მრუდი.

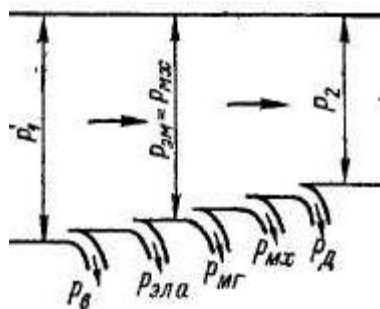
მდმ-ის გამომყვანების მარკირება

საბჭოთა და რუსული წარმოების მდმ-ისათვის მიღებულია აღნიშვნები:

Я1—Я2—ღუზა, K1— K2—საკომპენსაციო გრაგნილი, Д1—Д2—დამატებითი პოლუსების გრაგნილი, С1—С2 — აგზნების სერიეს გრაგნილი , III1 — III2 — აგზნების შუნტური გრაგნილი .

### მდმ-ის კარგვები და მარგი ქმედების კოეფიციენტი

მუდმივი დენის მანქანის ენერგოდიანგრამა ძრავულ რეჟიმში მოცემულია ნახ.10.7. კარგვები იყოფიან ძირითად და დამატებით კარგვებად. ძირითადი კარგვები დაკავშირებულია მანქანაში ენერგიის გარდაქმნის პროცესთან, ხოლო დამატებითი კარგვები განპირობებულია სახვადასხვა მეორად მოვლენებთან. ძირითადი კარგვები იყოფიან მექანიკურ, მაგნიტურ, ანუ ფოლადის და ელექტრულ კარგვებად. მექანიკური კარგვებია: კარგვები საკისრებში, კარგვები მუსებისა და კოლექტორის ხახუნზე,



ნახ. 10.7. მდმ-ის ენერგოდიანგრამა ძრავულ რეჟიმში

სავენტილაციო და ჰაერთან ხახუნის კარგვები. საკისრის კარგვები ყველაზე მცირეა გორვის საკისრებისთვის. ანდა აღინიშნოს, რომ ეს კარგვები დამოკიდებულია შემხეთისტემპერატურაზე, მანქანის სიჩქარეზე, ხოლო არაა დამოკიდებული მანქანის

დატვირთვაზე. მუსების და კოლექტორის კარგვებიც დამოკიდებულია მანქანის სიჩქარეზე და არა დატვირთვაზე.სავენტილაციო კარგვები დამოკიდებულია მცირედაა დამოკიდებული მანქანის გარემოს ტემპერატურაზე, მანქანის შიგა ჰაერის ტემპერატურაზე, ხოლო მანქანის ბრუნთა რიცხვზე დამოკიდებულია მესამე ხარისხში. თუ მანქანას აქვს დამოუკიდებელი ვენტილაცია ( აუცილებელია ბრუნთა რიცხვის ღრმა რეგულირების დროს ), მაშინ ეს კარგვები უდრის, დამხმარე ვენტილატორის სიმძლავრეს დამატებული ჰაერთან ხახუნის კარგვები. მდმ- ში  $10 \div 500$  კვტ სიმძლავრის ფარგლებში ეს კარგვები შეადგენენ ნომინალური სიმძლავრის  $2 \div 0,5$  %.

მაგნიტური კარგვები შედგებიან ჰისტერეზისული და ფუკოს დენების კარგვებისაგან, რომელიც გამოწვეულია ღუზის ბრუნვისას ფოლადის გულას ნაკადის სიდიდისა და მიმართულების ცვლილებით. ეს კარგვები მანქანის სათანადო უბნის ინდუქციის კვადრატისა ასევე ბრუნვის სიხშირისა და 50 -ს ფარდობის 1,3 ხარისხისა.

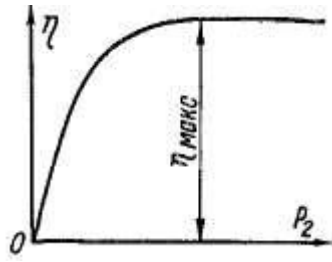
ელექტრული კარგვები წარმოადგენენ დანაკარგებს გრაგნილის ომურ წინაღობაში. ასეთი წრედი ნორმალურ მდმ-ში ორია: ღუზისა და აგზნებისა. ისინი მნიშვნელოვნად არიან დამოკიდებული გრაგნილების ტემპერატურებზე. ღუზის კარგვები დატვირთვის კვადრატის პროპორციულია, ხოლო აგზნებისა არაა დამოკიდებული მასზე. ელექტრულ კარგვებს ეკუთვნის მუსა კოლექტორის კონტაქტის ელექტრო კარგვები, რომლებიც ტოლია ამ წყვილში ძაბვის ვარდნისა და დენის ნამრავლისა, ამდენად ესეც დამოკიდებულია დატვირთვაზე. დამატებით კარგვებს განეკუთვნება მეორადი მოვლენებით გამოწვეული კარგვები: მაგ. ღუზის დატვირთვის კვალობაზე მაგნიტური ნაკადი არათანაბრად გადანაწილდება სხვადასხვა კბილებში. საკომპენსაციო გრაგნილის არსებობის შემთხვევაში ეს კარგვები პრაქტიკულად არ არსებობენ. მათვე განეკუთვნება ასევე ღუზის კბილოვანი აგებულების გამო მაგნიტური ნაკადის პულსაციით გამოწვეული კარგვები. კომუტაციის დროს სექციების დამოკლების შედეგად წარმოიშობა გარკვეული კარგვები- რმლებიც განეკუთვნებიან დამატებით კარგვებს. მაგალითისათვის მდმ 500 კვტ-სთვის ეს კარგვები მთელი კარგვების პროცენტებში შეადგენენ: მექანიკური- 8; მაგნიტური- 23; ელექტრული - 56; დამატებითი -13.

$$\text{სრული კარგვები } P_{\Sigma} = P_{MX} + P_{MГ} + P_{\text{ЭЛ}} + P_{\text{Д}}$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ) როგორც ცნობილია  $\eta = P_2 / P_1$ . 7-1

მისი სიდიდე მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული მდმ-ის სიმძლავრეზე:  $10 \div 1000$  კვტ-ს ფარგლებში ის იცვლება 0,85 დან 0,95 მდე. მიკრომანქანებში ის ძალზე მცირეა: 10 ვტ-ის სიმძლავრის მანქანაში  $\eta$  მხოლოდ  $30 \div 40$  % შეადგენს. მქკ დამოკიდებულია მანქანის დატვირთვაზე. ნახ.7.1 -ზე მოცემულია ეს დამოკიდებულება.





ნახ.7-1 მქკ-ს დამოკიდებულება სიმძლავრეზე

თუ გავითვალისწინებთ:  $P_2 = P_1 - P_{\Sigma}$  მივიღებთ

$$\eta = 1 - P_{\Sigma} / P_1 \text{ ან } \eta = 1 - P_{\Sigma} / P_2 + P_{\Sigma} \quad 7-2$$

მქკ-ს გამოსათვლელად ექსპერიმენტული გზით მიზანშეუწონელია 7-1 ფორმულა, რადგან შეიცავს ერთმანეთთან მიახლოებულ სიდიდეებს. ამას გარდა ექსპერიმენტშიც მათი განსაზღვრა დიდ ცდომილებასთანაა დაკავშირებული. ეს ჯამში იძლევა უფრო დიდ ცდომილებას. ამ შემთხვევაში უმჯობესია 7-2 ფორმულების გამოყენება.

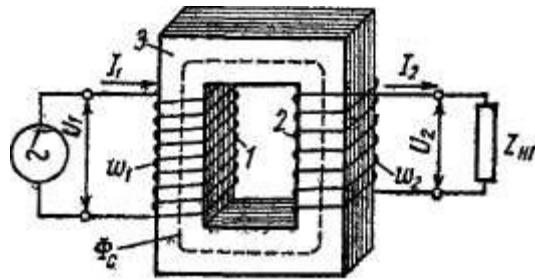
### III. ტრანსფორმატორები

ტრანსფორმატორი (ტრ-ი) არის ენერჯის სტატიკური, ელექტრომაგნიტური გარდამქმნელი აპარატი, რომელიც გარდაქმნის ელექტრულ ძაბვისა და დენის სიდიდეს. უმარტივესი ტრ-ი წარმოადგენს ჩაკეტილ ფოლადის ფურცლებისაგან აკრებილ ჩარჩოს, რომელსაც აქვს ელექტრული იზოლაცია და ამ უკანასკნელზე განლაგებულია გალვანურად ერთმანეთისაგან იზოლირებული ორი სხვადასხვა გრაგნილი შემდეგი მონაცემებით: პირველადი გრაგნილი: ხვიათა რიცხვი  $W_1$ , მოდებული ძაბვა  $U_1$  (პირველადი), დენი  $I_1$  (პირველადი); მეორადი გრაგნილი: სათანადოდ  $W_2$ ,  $U_2$ ,  $I_2$ . პირველად გრაგნილზე მოდებულია ძაბვა  $U_1$ , რომელიც ამ გრაგნილში იწვევს დენს  $I_1$ . მეორადი გრაგნილი ჩართულია დატვირთვის წინაღობაზე  $Z_d$ , რომელშიც ცირკულირებს დენი  $I_2$ . როგორც ვხედავთ ამ გრაგნილებს შორის ელექტრული (გალვანური) კავშირი არ არსებობს, მაგრამ მაინც ხდება სიმძლავრის გადაცემა მეორადიდან პირველად გრაგნილში. ცხადია ეს გადაცემა ხდება მაგნიტურტი ველის მეოხებით, რომელიც აღიძვრება ფოლადის გულარაში პირველადი ან და მეორადი გრაგნილების ერთობლივი ქმედების შედეგად (ფოლადის გულარაც სწორედ ამ დანიშნულებით გამოიყენება, რათა მაგნიტური ველი იყოს ძლიერი; ფარდობითი (სიცარიელესთან შედარებით) მაგნიტური განვლადობა  $\mu = 5\ 000 \div 100\ 000$ . ამ რეზულტური ველის ნაკადი აღინიშნება ბერძნული  $\Phi$  სიმბოლოთი. დანაკარგების შემცირების მიზნით გულარა აკრებილია ცალკეული

0,1 – 0,5 მმ ფურცლებისაგან. 150 ჰერცი სიხშირის დროს საკმარისი სისქეა 0,5 მმ , ხოლო უფრო მაღალ სიხშირეებზე 0,35 ; 0,2 ; 0,1 ; 0,05 მმ. 100 000 ჰერცის დროს დანაკარგების გამო ფოლადის გულარა სრულიად მიუღებელი ხდება და ტრანსფორმატორს ამზადებენ უფოლადო გულარით (საჰაერო ტრანსფორმატორი). აღნიშნულ და უფრო მეტ სიხშირეებზე მცირე სიმძლავრეების დროს წარმატებით გამოიყენება ფერიტული გულარები, რომელთაც აქვთ დიდი ელექტრული კუთრი წინაღობა და დამაკმაყოფილებელი ფარდობითი მაგნიტური განვლადობის კოეფიციენტი (1000).

თუ ფერომაგნიტურ გულარიან ტრ-ის პირველად გრაგნილზე მოდებულია სინუსოიდურად ცვლადი ძაბვა, მაშინ აღძრული მაგნიტური ნაკადიც სინუსოიდურად იცვლება, ანუ გამოისახება ფორმულით

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t.$$



ნახ. 12-1. ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი

თუ ორ გრაგნილს შორის ინდუქციური კავშირი იდეალურია (ანუ მთელი ნაკადი, რომელიც შებმულია პირველად და მეორად გრაგნილებთან უკლებლივ განჭოლავენ ორთავე გრაგნილს, გრაგნილების აქტიური წინაღობები ნულია, ხოლო ფოლადში კარგვები ნულია ასეთ ტრ-ს ეწოდება იდეალური ტრ-ი და ასეთ შემთხვევაში სამართლიანია ქვემოთ მოყვანილი თანაფარდობანი.რეზულტური მაგნიტური ნაკადი, რომელიც სიმარტივისათვის ჩავთვალოთ, რომ დროში იგივე ფორმულით იცვლება, როგორითაც პირველადი ნაკადი, აღძრავს პირველად და მეორად გრაგნილში ელექტრო მამოძრავებელ ძალას (ემძ)  $e_1$  და  $e_2$ , რომელთა მყისა მნიშვნელობები შემდეგნაირად გამოისახება

$$e_1 = - d (W_1 \Phi_m \sin \omega t) / dt = - \omega W_1 \Phi_m \cos \omega t ;$$

$$e_2 = - d (W_2 \Phi_m \sin \omega t) / dt = - \omega W_2 \Phi_m \cos \omega t .$$

აქ  $\omega$  წრიული სიხშირეა,  $\omega = 2 \pi f$ , ხოლო  $f$  პირველადი ძაბვის და სათანადოთ ნაკადის ცვლილების სიხშირეა.

ამ ემმ -თა მოქმედი მნიშვნელობები

$$E_1 = \omega W_1 \Phi_m / \sqrt{2}; \quad E_2 = \omega W_2 \Phi_m / \sqrt{2}$$

ამ ტოლობებში  $\omega$ -ს მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ

$$E_1 = \pi \sqrt{2} f W_1 \Phi_m = 4,44 f W_1 \Phi_m; \quad (1-1)$$

$$E_2 = \pi \sqrt{2} f W_2 \Phi_m = 4,44 f W_2 \Phi_m;$$

ზემოთაღნიშნულ დაშვებათა გამო  $U_1 = E_1$ ;  $U_2 = E_2$ , ამიტომ

$$U_1 / U_2 = E_1 / E_2 = W_1 / W_2 . \quad (1-2)$$

ფარდობას  $W_1 / W_2 = k$  (1-3)

ეწოდება ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი და გვიჩვენებს რამდენჯერ მეტია პირველადი ემმ, ძაბვა მეორადებზე და რამდენჯერ ნაკლებია პირველადი დენი მეორადზე. ეს უკანასკნელი გამომდინარეობს პირველადი და მეორადი სიმძლავრეების ტოლობიდან, რადგან ტრ-ი არ გარდაქმნის სიმძლავრეს, რომლებიც იდეალურ ტრ-ებში ტოლია

$$U_1 I_1 = U_2 I_2, \text{ ხოლო აქედან } I_2 / I_1 = U_1 / U_2 = W_1 / W_2 = k \quad (1-4)$$

ამრიგად იდეალურ ტრ-ში პირველადი და მეორადი ძაბვები პროპორციულია მათი ხვიათა რიცხვებისა, ხოლო დენები უკუპროპორციულია ხვიათა რიცხვებისა. სხვანაირად რამდენჯერაც მეორადი ძაბვა ნაკლებია (მეტია) პირველადზე, იმდენჯერ მეორადი დენი მეტია (ნაკლებია) პირველადზე. რეალურ ტრ-ებში ზემოთ აღნიშნული თანაფარდობანი რამდენადმე უზუსტოა, მაგრამ ფერომაგნიტურ გულარიან ტრ-ებში ნომინალურ დატვირთვისთან მიახლოებულ პირობებში ეს ცდომილება შედარებით მცირეა და პრაქტიკაში ეს თანაფარდობანი შეუფერხებლად გამოიყენებიან.

**ტრ-ის სახეები.** ტრ-ები შეიძლება იყონ: : **ორ და მრავალგრანულია. ერთფაზა და**

**სამფაზა; გალვანურად იზოლირებული და არაიზოლირებული (ავტოტრ-ი); ძალური, გამანაწილებელი, შემთანხმებელი, განმამხოლოებელი; საერთო და სპეცდანიშნულების.**

გამანაწილებელი ტრ-ების ნომინალური მონაცემებ გამოსახულია ფარზე; მასში შედიან: სრული სიმძლავრე; პირველადი და მეორადი ხაზური ძაბვები; ხაზური დენები; სიხშირე; ფაზათა რიცხვი; შეერთების სქემა და ჯგუფი; მშ ძაბვა; მუშაობის რეჟიმი; გაგრილების სახეობა.

სამფაზა ტრანსფორმატორებს აერთებენ **ვარსკვლავად ან სამკუთხედად. ვარსკვლავად შეერთებას მიმართავენ:**

მაღალი ძაბვით ელ ენერჯის გადაცემისას, რადგან ნულის დამიწებისას მიწის მიმართ იქნება 1,73 ჯერ ნაკლები ძაბვა ხაზურთან შედარებით, რაც იძლევა იზოლაციის ღირებულების შემცირებას;

განათების ქსელებში მომხმარებელს აერთებენ ფაზურ ძაბვაზე, რადგან დაბალ ძაბვაზე ვარვარების ნათურებს აქვთ უფრო მეტი განათებულობა;

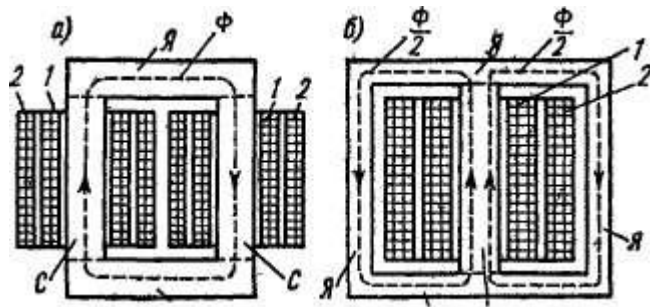
რიგ შემთხვევებში პატარა დენების დროს გრაგნილის დამზადება დიდი ხვიათა რიცხვის გამო უფრო ეფექტურია დაბალ ძაბვაზე (ვარსკვლავად);

იძლევა ორი სხვადასხვა სიდიდის ძაბვის (ფაზურის და ხაზურის) მიღების საშუალებას, რაც საკმაოდ მნიშვნელოვანი უპირატესობაა.

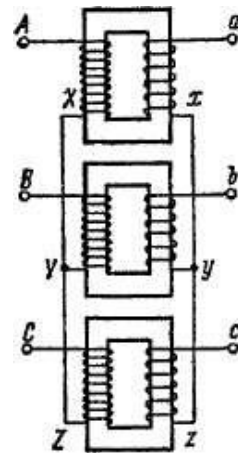
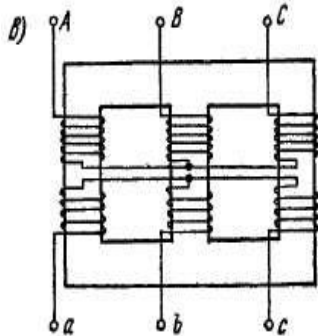
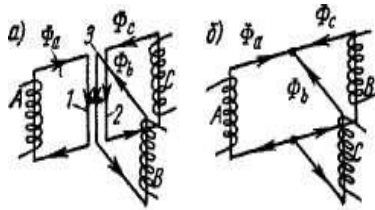
სამკუთხა შეერთებას იყენებენ ტრ-ის მუშაობის პირობების გაუმჯობესებისათვის, რადგან ამ დროს ითრგუნება მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა ტრ-ის მუშაობაზე, განსაკუთრებით არასიმეტრიულ რეჟიმებში.

**ტრ-ის შეერთების ჯგუფს ანუ ფაზირებას მნიშვნელობა აქვს მათი პარალელურად მუშაობისათვის, სადაც საჭიროა, რომ პარალელურ გრაგნილების ძაბვებს ქონდეთ ერთნაირი სიდიდე და ფაზა, ანუ ტრ-ებს ქონდეთ ერთნაირი ჯგუფი. შეერთების ჯგუფს გამოსახვენ საათთან ანალოგიით, სადაც მაღალ ძაბვის ვექტორს ამთხვევენ წუთების ისარს და აფიქსირებენ მას 12 -იან ციფრზე, ხოლო დაბალი ძაბვისას საათების ისარს და მას არ აფიქსირებენ. თუ ეს ვექტორები (ისრები) ერთმანეთს ემთხვევა ასეთ ჯგუფს ეწოდება ნულოვანი (ადრე ეწოდებოდა 12). თუ ვექტორები ერთმანეთის საპირისპიროა ასეთს ეწოდება 6 ჯგუფი. ცხადია, რომ ერთფაზა ტრ-ში შეიძლება არსებობდეს მხოლოდ 0 და 6 ჯგუფი, ხოლო სამფაზაში- ფაზათა ერთმანეთთან დაძვრის კუთხის (120 გრად.), დასაწყისებისა და ბოლოების შენაცვლების, ფაზათა ურთიერთ შენაცვლების და ფაზურსა და ხაზურ ძაბვას შორის არსებული (30 გრად.) კუთხის არსებობის წყალობით არსებობს 12-ივე ჯგუფი, ანუ მაღალ და დაბალ ძაბვის ვექტორებს შორის შეიძლება იყოს 30 გრადუსის ჯერადი ყოველი კუთხე. არევიდარევის აცილების მიზნით შემოღებულია სტანდარტი, რომლის თანახმად ტრ-ს შეიძლება ქონდეს ოთხიდან რომელიმე ჯგუფი:  $Y/Y_0 -0$ ,  $\Delta/Y_0 -11$ ,  $Y/\Delta -11$  და  $Y_0/\Delta -11$ . ინდექსი 0 ნიშნავს ნულოვანი სადენის მომჭერის გარეთ გამოყვანას, ხოლო ტირეს მომდევნო რიცხვები უჩვენებენ ჯგუფს. სამფაზა ტრ-ის მაღალი ძაბვის გრაგნილის გამომყვანები აღინიშნება შემდეგნაირად: საწყისები A; B; C, ბოლოები X; Y; Z; დმ გრაგნილისა: საწყისები a; b; c, ბოლოები x; y; z**

**ტრ-ს მაგნიტოგამტარები.** მაგნიტოგამტარები იყოფიან: ღეროვნად და ჯავშნოვნად



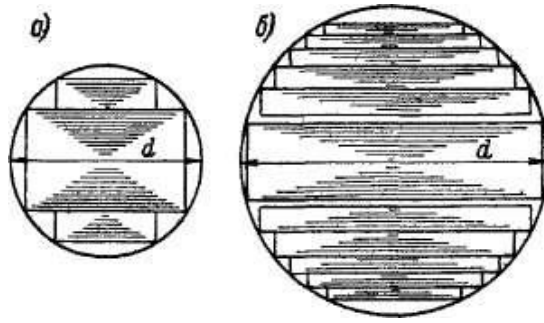
ნახ. 12-2. ღეროვანი ა) და ჯავშნიანი ბ) ტრ-ი



ნახ. 12-3,4 სამი ერთფაზა ტრ-იდან ერთი სამფაზა ტრ-ის წარმოქმნა

ნახ. 12-5. ერთფაზა ტრ-ების ჯგუფი

სამფაზა სისტემაში შეიძლება გამოვიყენოთ სამი ერთფაზა ტრ-ების ჯგუფი ან ერთი სამფაზა ტრ-ი. სამფაზა ტრ-ი ჯგუფთან შედარებით იაფი და კომპაქტურია, რადგან საგრძნობლად გამარტივებული გულა აქვს: დროის ნებისმიერ მომენტში სამივე ფაზის ნაკადთა ჯამის ნულთან ტოლობის გამო ერთფაზა სამი გულა შეიძლება გავაერთიანოდ და მათგან ამოვიღოთ სამი ღერო და განვალაგოთ დარჩენილი სამი ღერო ერთ სიბრტყეში, მაშინ ყოველი ღეროს მაგნიტური ნაკადი შეიკვრება დანარჩენი ორის გავლით. გულარის კვეთის წრიულობისათვის ღეროს ყოფენ ერთნაირ სიგანის მქონე ფურცლებიან არაერთნაირ სისქის მქონე სექციებად ამ სექციების კვეთის მართკუთხედის მომვლები წირის წრეწირთან მაქსიმალური შეთავსების (დამთხვევის) პრინციპით.



ნახ. 12-9. გულას ღეროს სექციებად დაყოფა.

**ზეთით გაგრილება** უზრუნველყოფს ტრ-ის კონსტრუქციის სიიარსეს და კომპაქტურობას. ზეთი არა მხოლოდ გამაგრილებელი აგენტია, არამედ საუკეთესო იზოლაციის მასალაა და მნიშვნელოვან ეკონომიას გვაძლევს საჭირო იზოლაციის მაგიერ მისი გამოყენება საიზოლაციო შუალედების ზომების შემცირების ხარჯზე. საჭირო შუალედების ზეთით შევსება მრავალჯერ ზრდის ტრ-ის იზოლაციის ელექტრულ სიმტკიცეს.

### ტრ-ის უქმი სვლა

უქმ სვლაზე პირველადი გრაგნილი ჩართულია მკვებავ სინუსოიდურ ძაბვაზე, ხოლო მეორედი გათიშულია. ამ შემთხვევაში მოდებული ძაბვა წონასწორდება გრაგნილის აქტიურ წინაღობაზე ძაბვის ვარდნით და ინდუქციის საწინააღმდეგო ემძთი:

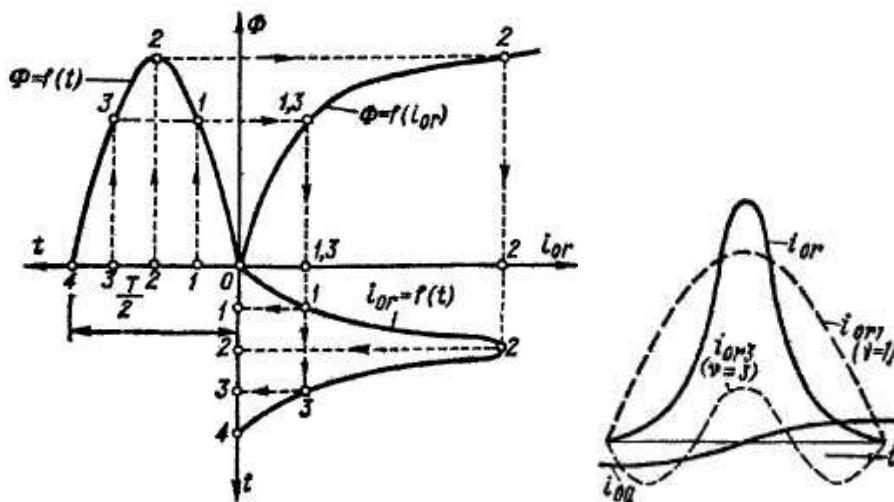
$$u = r_i + (-e) = r_i + W \frac{d\Phi}{dt}$$

თუ აქტიური მდგენელის სიმცირის გამო მას ვუგულვებელვყოფთ, მაშინ

$$u = W \frac{d\Phi}{dt}$$

ეს ნიშნავს, რომ რაკი მკვებავი ძაბვა სინუსოიდურია და ის უდრის ინდუქციის საწინააღმდეგო ემძ-ს, ე.ი. ემძ-ც სინუსოიდურია. რაკი ეს ემძ მიღებულია მაგნიტური ნაკადის გაწარმოებით (ცვლილებით დროში), მაშასადამე თავად ნაკადიც სინუსოიდურია (ზემოთ აღნიშნული დაშვების  $r_i = 0$  საფუძველზე). იმის გამო, რომ ფერომაგნიტური გულარას დამაგნიტების მრუდს გარდა წრფივი უბნისა აქვს გაჯერების უბანიც, ხოლო ტრ-ის მუშაობა მხოლოდ წრფივ უბანზე ეკონომიურად არაეფექტურია, ცხადია გაჯერების გამო ნაკადის სინუსოიდური მრუდის მაქსიმუმის უბანში ნაკადის ამ მნიშვნელობათა მისაღწევად დამაგნიტების დენის უფრო მეტი მნიშვნელობები იქნება საჭირო, ვიდრე მინიმუმის უბანში, ანუ დამაგნიტების დენი სინუსოიდის ნაცვლად გამოვა უფრო მახვილი (სიმაღლეში წაგრძელებული და სიგანეში დავიწროებული, იხ. ნახ. 7.1 და 7.2. ასეთი მრუდის დაშლა ფურიეს მწკრივებად გვაძლევს კენტ ჰარმონიკათა სპექტრს. მაგ. III ჰარმონიკა შეიძლება იყოს პირველის 30 %, Y -15% და ა.შ. სამფაზა ტრ-ში შეერთებით  $\Delta / Y$  ასევე პირველადის

ყველა ფაზაში გვექნება ჰარმონიკათა სპექტრი, ოღონდ რადგან პირველთან შედარებით მესამე და მისი ჯერადი ჰარმონიკების პერიოდი სამჯერ და მის ჯერადჯერ მცირეა, ამ ჰარმონიკათა საწყისი ფაზები გრაგნილის სხვადასხვა ფაზებში ერთმანეთის ტოლია და ისინი ერთმანეთს ემთხვევიან, ანუ სამკუთხედი მათთვის მოკლედ შერთული კონტურია. ხაზური ძაბვა კი, რომელიც ფაზური ძაბვების სხვაობაა ამ ჰარმონიკების მიერ ერთმანეთის გაბათილების გამო მათ აღარ შეიცავს. სამაგიეროდ სამკუთხედში ცირკულირებენ სამის რიგის ჰარმონიკები. თუ ტრ-ი არის ვ/ს სქემისა, მაშინ სამის რიგის ჰარმონიკები ფაზებში ერთმანეთს აბათილებენ და ვერ იარსებებენ. ამის გამო თავად დამაგნიტების დენი გახდება სინუსოიდური, ხოლო ნაკადი პირიქით გაბრტყელებული (ბლაგვი) სინუსოიდა, ანუ მასში გაჩნდება კენტი, მათ შორის მესამე რიგის ჰარმონიკები და მეორად მხარეზე



ნახ.7. 1. დამაგნიტების დენის ფორმის დამახინჯება ტრანსფორმატორში :

ნახ. 7.2 დამაგნიტების დენის დამახინჯებული ფორმა(მთლიანი), პირველი და მესამე ჰარმონიკები (პუნქტირით)

გაჩნდება სამის რიგის ჰარმონიკების ძაბვა- სამჯერ მეტი სიდიდის, ვიდრე ნაკადშია. სამაგიეროდ, რადგან მეორადი გრაგნილი სამკუთხედათაა ჩართული ეს ჰარმონიკები დამოკლდებიან ამ გრაგნილების სამკუთხედში და თითქმის სულ გააკომპენსირებენ მათ წარმომშობ მიზეზს (ნაკადის მესამე რიგის ჰარმონიკებს). შედეგად ნაკადი ისევ გახდება სინუსოიდური. ამრიგად საკმარისია ტრ-ის რომელიმე გრაგნილი მაინც იყოს ჩართული სამკუთხედად, რომ ნაკადის მრუდი არ დამახინჯდეს. რაც შეეხება დამოკლებულ მესამე და მის ჯერად ჰარმონიკების დენს ის სუფთა რეაქტიულია და კარგვები რომელსაც ისინი იწვევენ გრაგნილის აქტიურ წინაღობაში ხშირად მოსათმენია იმ სარგებლობის გათვალისწინებით, რაც მათ მოაქვთ. თუ ტრის ორთავე გრაგნილი ვარსკვლავადაა ჩართული და ტრ-ი სამღეროიანია მაშინ მესამე ჰარმონიკის რიგის ნაკადები ღეროებით ვერ შეიკვრება და იკვრებიან ტრის ავზით და სამაგრი ფოლადის დეტალებით და იწვევენ დამატებით კარგვებს; ნაკადის მრუდი

ბლავგია და ძაბვები შეიცავენ მნიშვნელოვან სიდიდის მესამე რიგის ჰარმონიკებს, ხოლო ერთფაზა ტრ-ების ჯგუფის შემთხვევაში ისინი იკვრებიან ძირითად ნაკადთან ერთად, მაგრამ ამახინჯებენ ფაზურ ძაბვებს.

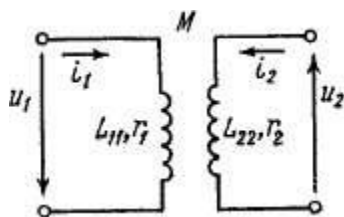
**ტრ-ის ძაბვების განტოლებები.** გულაში მაგნიტურ კარგებს თუ ვუგულებელვყოფთ პირველად და მეორად გრაგნილკებისათვის ომის კანონის საფუძველზე სამართლიანია შემდეგი ორი განტოლება:  $u_1 = r_1 i_1 - e_1$ ;  $u_2 = e_2 - r_2 i_2$ . თუ

$$e_1 = - \left( L_{11} \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \right)$$

გავითვალისწინებთ,

$$e_2 = - \left( L_{22} \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \right),$$

და შევიტანთ მათში



$$u_1 = r_1 i_1 + L_{11} \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt};$$

$$u_2 = - r_2 i_2 - L_{22} \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}.$$

(14-13)

ნახ.14-2. ერთფაზა ორგრაგნილა ტრ-ის სქემა

რადგან ტრ-ებში ძაბვები და დენები მცირედ განსხვავდებიან სინუსოიდური ფუნქციებისაგან მიზანშეწონილია კომპლექსური მეთოდის გამოყენება, ანუ სიდიდეების ფიზიკური მნიშვნელობების ნაცვლად განიხილავენ მათ კომპლექსურ გამოსახულებებს, ხოლო ფიზიკურ სიდიდეებზე დაბრუნებისას სარგებლობენ კომპლექსურ რიცხვების ელემენტარული თეორიით. კომპლექსური მეთოდი გარდა იმისა რომ ძლიერ ამარტივებს გამოთვლებს, ასევე საშუალებას იძლევა ტრის დიფერენციალური განტოლებები შევცვალოთ ჩვეულებრივი ალგებრული განტოლებებით, ხოლო პერიოდული ფუნქციის წარმოებული და ინტეგრალი მივიღოთ პირველყოფილი ფუნქციის სათანადოთ გამრავლებით ან გაყოფით წრიულ სიხშირე -  $\omega$  -ზე. ყოველივე ამის გათვალისწინებით ტრ-ისთვის ფიზიკურ სიდიდეების განტოლებათა ნაცვლად მიიღება კომპლექსურ სიდიდეთა განტოლებები. კომპლექსურ ვექტორებს აღნიშნავენ ლათინური დიდი ასოებით, რომელთაც თავზე აქვთ წერტილი (მაგ.  $\dot{u}$  - ძაბვის ვექტორის კომპლექსური გამოსახულება), არს და წარმოსახვით ნაწილებს უწერტილოდ, ხოლო წარმოსახვით ნაწილებს სიდიდის წინ მდგომი  $j$  მამრავლით. ამ მიზნით 14-13 განტოლებებში უნდა შევიტანოთ მათი ქვემოთ ნაჩვენები მნიშვნელობები

$$u_1 = \sqrt{2} U_1 e^{j\omega t}; \quad u_2 = \sqrt{2} U_2 e^{j\omega t};$$

$$i_1 = \sqrt{2} I_1 e^{j\omega t}; \quad i_2 = \sqrt{2} I_2 e^{j\omega t}$$



და დიფერენცირების შემდეგ შევკვეცოთ საერთო მამრავლზე, რის შემდეგაც მივიღებთ ტრ-ის ძაბვების განტოლებებს კომპლექსურ ფორმაში:

$$\begin{cases} U_1 = r_1 I_1 + jx_{11} I_1 + jx_{12} I_2 \\ -U_2 = r_2 I_2 + jx_{22} I_2 + jx_{12} I_1 \end{cases} \quad (14-14)$$

სადაც  $x_{11} = \omega L_{11}$ ;  $x_{22} = \omega L_{22}$ ;  $x_{12} = \omega M$  არიან გრაგნილების სრული თვით და ურთიერთინდუქციის წინააღმდეგობები. ამ განტოლებების საფუძველზე შესაძლებელია ტრ-ების მუშაობის გამოკვლევა, მათი დენების გაანგარიშება.

ტრ-ის შენაცვლების სქემა

1. ტრ-ის გრაგნილების დიდი ურთიერთ განსხვავება აუხერხულებს და ართულებს ტრ-ის თეორიას, რომელიც საგრძნობლად მარტივდება თუ ტრ-ის პირველადი და მეორადი გრაგნილებს ერთნაირი ხვიათა რიცხვი აქვთ (ანუ არ ხდება ძაბვის შეცვლა, რისთვისაც საკუთრივ არსებობს თვით ტრ-ი). წარმოვიდგინოთ, რომ ტრ-ის რეალური მეორადი გრაგნილი  $W_2$  ხვიათა რიცხვით შევცვალოთ წარმოსახვითი ანუ დაყვანილი გრაგნილით, რომლის ხვიათა რიცხვი  $W'_2 = W_1$ , ხოლო ზომები და ფორმა შევინარჩუნეთ რეალური გრაგნილისა). ე.ი. მეორად გრაგნილის ხვიათა რიცხვი შეიცვალა  $k = W'_2 / W_2 = W_1 / W_2$  -ჯერ.  $k$  არის ტრანსფორმაციის ან დაყვანის კოეფიციენტი. ასეთი დაყვანა გამოიწვევს მეორადი ძაბვის და ემპ-ს შეცვლას  $k$  -ჯერ, ანუ  $E'_2 = kE_2$ ;  $U'_2 = kU_2$ . იმისათვის, რომ არ შეიცვალოს სიმძლავრე დაყვანის შედეგად ნებისმიერ რეჟიმში დაცული უნდა იყოს პირობა

$U'_2 \times I'_2 = U_2 \times I_2$  ;  $I'_2 = I_2 / k$  ;  $I'_2 W'_2 = I_2 W_2$ . დაყვანამ არ უნდა გამოიწვიოს ელექტრომაგნიტური ასპექტის რაიმე გველილება, ანუ დაყვანილ გრაგნილს უნდა ქონდეს დასაყვანის ნაირი ფანტკა, სწორედ ამიტომ ფორმა და გეომეტრიული ზომები არ უნდა შეიცვალოს. ეს ნიშნავს, რომ ყველა ხვების ჯამური კვეთი ისეთივე უნდა იყოს. ეს კი მაშინ მოხდება, თუ ხვების შემცირებისას სათანადოთ გავადიდებთ მათ განივკვეთს. ამიტომ  $r'_2 = k^2 r_2$ ;  $x'_2 = k^2 x_2$ . დაყვანილ სიდიდეებს აღნიშნავენ - ' („შტრიხ“) სიმბოლოთი.

გარდა ამისა ხშირად მიმართავენ ე.წ. ფარდობით სიდიდეებს (მაგ. მშ ძაბვის ფარდობითი მნიშვნელობა, რომელიც უდრის ფიზიკური მნიშვნელობის განაყოფს ნომინალურ ძაბვაზე და ა. შ. ) აღნიშნავენ სიმბოლო \* -ით („ასტერიქსი“

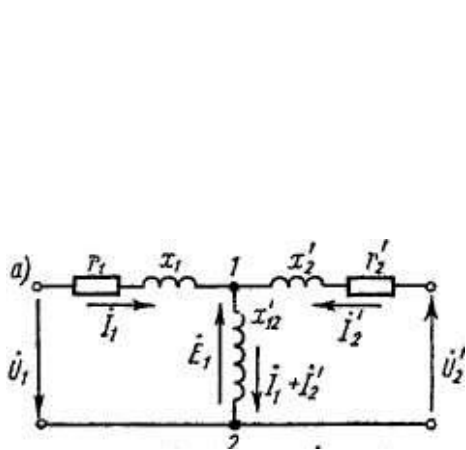
2. პირველადი და მეორადი გრაგნილების სრული ინდუქციურობებიდან ცალკე გამოყოფენ მათ ფანტკით შემდგენებს  $S_1$  ,  $S_2$  , თანაც ეს გამოყოფა ხდება იმ ანგარიშით, რომ დარჩენილ ინდუქციურობათა ნაწილები  $L_{11} - S_1$ ;  $L_{22} - S_2$  შეესაბამებინან ინდუქციურად დაკავშირებულ წრედებს სრული მაგნიტური კავშირით ( $c=1$ )

3. ინდუქციურად დაკავშირებული წრედებიდან გადადიან მხოლოდ გალვანურად დაკავშირებულ ელექტრულ წრედებზე, რაც ასევე მნიშვნელოვნად ამარტივებს გამოთვლებს და თვალსაჩინოს ხდის ტრანსფორმატორის მუშაობის ფიზიკურ პროცესს. ყოველივე ამის გათვალისწინებით და მრავალჯერადი მათემატიკური გარდაქმნების გზით (აქ არ განვიხილავთ) მიიღება დაყვანილგრაგნილიანი ტრ-ის ძირითადი განტოლებები:

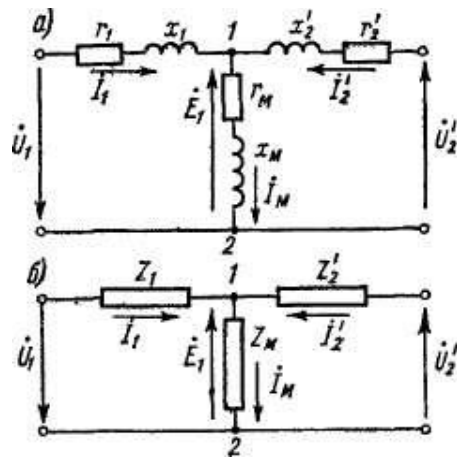
$$U_1 = r_1 I_1 + j x_1 I_1 + j x'_{12} (I_1 + I_2);$$

$$-U_2 = r'_2 I_2 + j x'_2 I_2 + j x'_{12} (I_1 + I_2). \quad (14-15)$$

აქ  $I_m = I_1 + I_2$  დენი ქმნის რეზულტურ დამამაგნიტებელ ძალას. ასეთნაირი მათემატიკური გარდაქმნების გზით მიღებულ ამ განტოლებებს შეესაბამება უკვე ინდუქციური კავშირის უქონელი, პირველადი და მეორადი, უკვე გალვანურად დაკავშირებული წრედების ელექტრული სქემა ( T-ს მაგვარი სქემა), სადაც არ გვაქვს არავითარი ინდუქციურად დაკავშირებული გრაგნილები და ურთიერთინდუქცია, არამედ ინდუქციის ემმ-ების ნაცვლად გვაქვს მხოლოდ კომპლექსური წინაღობები. ამრიგად ტრ-ის ანგარიში მთლიანად დაიყვანება ჩვეულებრივ, ურთიერთინდუქციის უქონელ ელექტრულ სქემის ანგარიშზე. ცხადია ასეთი სქემით ტრ-ის აბსოლუტური ჩანაცვლება შეიძლება და უდაოა, რომ ამ სქემის გააზრება გაცილებით იოლია ვიდრე ურთიერთინდუქციის მქონე სქემის გააზრება. თუ ვუგულებელვყოფთ დამამაგნიტების დენს (მისი სიმცირის გამო და მისით გამოწვეულ კარგვებს, მაშინ ამ სქემის ნაცვლად



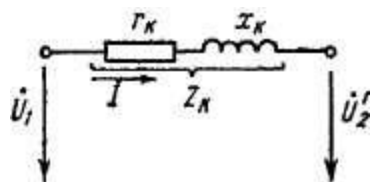
ნახ. 14-3. ტრ-ის შენაცვლების სქემა



ნახ.14-4. ტრ-ის შენაცვლების სქემები

მაგნიტური კარგვების გაუთვალისწინებლად

მაგნიტური კარგვებით



ნახ. 14-6. გამარტივებული შენაცვლების სქემა

მივიღებთ გამარტივებულ სქემას (ნახ. 14-6). ეს სქემა გამომდინარეობს წინამდებარე სქემისგან, რაგან  $Z_m \gg Z_1 = Z_2$  დაშვებით  $Z_m = \infty$  (უსასრულობას). აქ  $Z_k = Z_1 + Z_2$ ;  $r_k = r_1 + r_2$ ;  $x_k = x_1 + x_2$  იწოდებიან მოკლე შერთვის სათანადოთ სრულ, აქტიურ, ინდუქტიურ წინაარმდეგობად. ძალურ ტრ-ებში  $Z_k^* = 0,05 - 0,15$

უქმი სვლის და მოკლე შერთვის ცდები

ამ ცდების შედეგად ხდება ტრ-ის შენაცვლების სქემის ანუ ტრ-ის პარამეტრების ექსპერიმენტული განსაზღვრა. უქმი სვლის ცდის დროს ტრ-ის პირველადი გრაგნილი ჩართულია სინუსოიდურ ძაბვაზე, ხოლო მეორადი გრაგნილი გათიშულია. ზომავენ პირველად ძაბვას, დენს, სიმძლავრეს და მეორად ძაბვას. ცდის შედეგებით ანგარიშობენ უქმი სვლის სრულ, აქტიურ და ინდუქტიურ წინააღობებს, ასევე ტრანსფორმაციის და სიმძლავრის კოეფ-ტებს: ერთფაზა ტრ-ებისთვის

$$z_0 = \frac{U_0}{I_0}; \quad r_0 = \frac{P_0}{I_0^2};$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}, \quad (14-60) \quad k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad (14-61)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 I_0}. \quad (14-62)$$

სამფაზა ტრ-ებისათვის პირველადის ვარსკვლავად შეერთებისას

$$z_0 = \frac{U_{0\Delta}}{\sqrt{3} I_{0\Delta}}; \quad r_0 = \frac{P_0}{3 I_{0\Delta}^2}; \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}, \quad (14-63)$$

სამკუთხა შეერთებისას

$$z_0 = \frac{\sqrt{3} U_{0\Delta}}{I_{0\Delta}}; \quad r_0 = \frac{P_0}{I_{0\Delta}^2}; \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}, \quad (14-64)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U_{0\Delta} I_{0\Delta}}. \quad (14-65)$$

მოკლე შერთვის ცდისას მეორად გრაგნილის მომჭერებს მოკლედ აერთებენ, ხოლო პირველად გრაგნილზე ისეთი მრავალჯერ შემცირებული ძაბვა მიეწოდება, რომლის დროსაც დენი დამოკლებულ გრაგნილში უტოლდება ტრ-ის ნომინალურ დენს.

$$z_k = \frac{U_k}{I_k}; \quad r_k = \frac{P_k}{I_k^2};$$

ერთფაზა ტრ-ში

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}. \quad (14-72)$$

სამფაზა-ში პირველადის ვარსკვლავად შეერთებისას

$$z_k = \frac{U_{k, \text{წ}}}{\sqrt{3} I_{k, \text{წ}}}; \quad r_k = \frac{P_k}{3 I_{k, \text{წ}}^2}; \quad x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad (14-73)$$

სამკუთხა შეერთებისას:

$$z_k = \frac{\sqrt{3} U_{k, \text{წ}}}{I_{k, \text{წ}}}; \quad r_k = \frac{P_k}{I_{k, \text{წ}}^2}; \quad x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad (14-74)$$

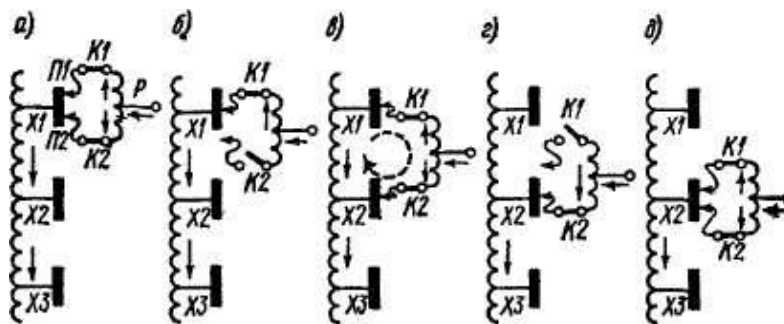
ზემოთაღნიშნული მოკლე შერთვის ძაბვა  $u_k$  ტრ-ის მეტად მნიშვნელოვანი პარამეტრია. აღსანიშნავია, რომ ფიზიკური არსით მისი სიდიდე ახასიათებს ტრის პირველადი გრაგნილიდან მეორადში გარდაქმნილპარამეტრებიანი სიმძლავრის გადაცემის პროცესის სრულყოფას. მას გამოსახავენ დაყვანილის სახით და 100 გამრავლებულს, ანუ %-ებში. ეს მოკლე შერთვა არ უნდა აგვერიოს რეალურ მოკლე შერთვაში, რომლის დროსაც დენი აღწევს 10-15 ნომინალურ მნიშვნელობას და წარმოადგენს ავარიულ რეჟიმს, თუმც კი მისი სწრაფი ამორთვის შემთხვევაში ტრ-ი ვერ ასწრებს გახურებას ან სხვანაირ დაზიანებას.

აღსანიშნავია ასევე, რომ უქმი სვლის კარგვები პრაქტიკულად გამოსახავენ მაგნიტურ კარგვებს (რადგან ამ დროს ნაკადი ნომინალურია, ხოლო დენი ძალზე მცირე), მოკლე შერთვის კარგვები კი ელექტრულ კარგვებს (გრაგნილების აქტიურ წინაღობებში, რადგან დენი ამ დროს ნომინალურია, ხოლო ნაკადი 10-15 -ჯერ მცირეა ნომინალურზე.).

### ტრ-ის ძაბვის რეგულირება

დატვირთვისას ტრ-ის ძაბვა მცირედით იცვლებამისი სიდიდე დამოკიდებულია დენის სიდიდეზე, დატვირთვის ხასიათზე ( ტევადური, ინდუქციური, აქტიური, შერეული) და მოკლე შერთვის ძაბვაზე. რაც მცირეა მშ ძაბვა მით მცირეა ძაბვის ცვლილება. მისი ცვლილება (შემცირება) მაგ. 180 კვა სიმძლავრის, მეორადი 400 ვ ძაბვით, ნომინალური დენის და ინდუქციური დატვირთვის ( $\cos \varphi = 0,8$ ) დროს  $\Delta u = 5\%$ . ძაბვის ცვლილება დიდად არის დამოკიდებული დატვირთვის ხასიათზე. თუ დატვირთვა სუფთა ინდუქციურია, მაშინ ძაბვის შემცირება მაქსიმალურია, რადგან ინდუქციური მეორადი დენი დამაგნიტების დენის პრაქტიკულად საპირისპირო ნიშნისაა. თუ დატვირთვა ტევადური ხასიათისაა, მაშინ ძაბვა კი არ დადაბლდება არამედ იმატებს (დატვირთვის აქტიური და ტევადური წინააღმდეგობის მიხედვით), მით მეტად, რაც უფრო ტევადურია დენი. ეს იმის გამოა, რომ მეორადი ტევადური დენი ფაზით თითქმის ემთხვევა დამაგნიტების დენს და კი არ განამაგნიტებს გულას, არამედ დამატებით ამაგნიტებს. როგორც წესი პრაქტიკაში უფრო ხშირად ადგილი აქვს ძაბვის დადაბლებას. დატვირთვის ხასიათის და სიდიდის ცვლილების გამო მკვებავ ხაზში და საკუთრივ ტრ-ში ძაბვის ცვლილების

გამო საჭირო ხდება ტრ-ს ძაბვის რეგულირება გარკვეულ ფარგლებში. რეგულირებას ახორციელებენ ტრის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის ცვლილებით, ანუ აკეთებენ დამატებით გამომყვანებს სხვადასხვა ხვიათა რიცხვებისგან. ძაბვის გადართვას ახორციელებენ დატვირთვის ქვეშ სპეციალური გადამრთველების საშუალებით, რომელიც ისეა მოწყობილი, რომ არც დენის წრედს წყვეტს და არც გამომყვანი კონტაქტების მოკლედ შერთვას ახდენს. ამ მიზნით გადამრთველი კონტაქტი ორი ქვეკონტაქტისაგან შედგება, რომელთა შორის ჩართულია დენშემზღუდავი დროსელი, ხოლო ამ დროსელის შუაწერტილიდან გამოდის კონტაქტი, რომლიდანაც იკვებება ტრ-ის დატვირთვა (ქსელი), იხ. ნახ.15-8. ა ) ნახაზზე გამოსახულია დამყარებული მუშაობის რეჟიმი, როცა მოძრავ კონტაქტის ორივე ქვე კონტაქტი მიერთებულია X1 გამომყვანზე. X2 - ზე გადასართავად კონტაქტები იწყებენ მოძრაობას ქვევით; ჯერ გაითიშება K2 კონტაქტი ( ნახ.ბ), შემდეგი გადაადგილებისას K2



ნახ. 15-8. ტრ-ის ძაბვის რეგულირება დატვირთვის ქვეშ.

კონტაქტი გადმოვა X2 კონტაქტზე (ნახ.ბ). ამ გარდამავალ რეჟიმში ტრ-ის დატვირთვა არ წყდება და იკვებება როგორც K1, ასევე K2 კონტაქტიდან, ხოლო ტრ-ის გადასართავი სექცია მოკლე შერთვის ნაცვლად დამოკლებულია გადამრთველის დროსელზე, რომლის ინდუქციური წინაღობა ზღუდავს მოკლე შერთვის დენს მის დასაშვებ მნიშვნელობამდე. დატვირთვის დენისათვის, რომელიც ამ კონკრეტულ მომენტში ორი მდგენელისაგან შედგება აღნიშნული დროსელი არ წარმოადგენს რეაქტიულ წინაღობას, რადგან ეს დენები დროსელის გრაგნილში მათი შემხვედრი მიმართულების გამო ქმნიან ურთიერთ საწინააღმდეგო მაგნიტურ ნაკადებს და ამის გამო საწინააღმდეგო ემპ არ წარმოიშობა, არამედ არსებობს მხოლოდ მცირედი ძაბვის დავარდნა გრაგნილის ომურ წინაღობაზე. გადამრთველის კონტაქტის შემდგომი გადაადგილებით მიიღწევა ჯერ -K1-ის გათიშვა და შემდგომ ორთავე K1, K2 ქვეკონტაქტების დაჯდომა X2 კონტაქტზე, ანუ ახალ დამყარებულ რეჟიმში. ამრიგად ასეთი გადამრთველი ტრანსფორმატორს გადართავს დენის გაუწყვეტლად, დატვირთვაზე გადართვის რეჟიმში ძაბვის შეუმცირებლად და ამავე დროს კომპუტირებადი სექციის დაუმოკლებლად. ამ პრინციპზე აგებული გადამრთველი ძაბვას თავად გადართავს ავტომატური სქემის საშუალებით, რომლის გამწოდი რეაგირებს ტრ-ის დატვირთვის ძაბვის ცვლილებაზე. მისი გარკვეული სიდიდით,

რომელიც შეგვიძლია შევარჩიოთ, ცვლილებისას ავტომატურად მოხდება ახალი სექციის შემოყვანა ან პირიქით გაყვანა დატვირთვის წრედიდან ანუ ძაბვის მომატება ან მოკლება დატვირთვის მომჭერებზე.

**ტრ-ების პარალელური მუშაობა** სადისტრიბუციო სისტემებში აუცილებელია როგორც მათი მუშაობის დარეზერვებისათვის, ასევე ქვესადგურების მცირე დატვირთვების დროს ტრ-ების ნაწილის ამორთვის გზით ენერჯის კარგების შესამცირებლად. ტრ-ების პარალელური მუშაობისათვის აუცილებელია ტრ-ებს ქონდეთ: 1. გრაგნილების შეერთების ერთიდაიგივე ჯგუფი; 2. ერთნაირი მაღალი და დაბალი ძაბვა; 3. ერთნაირი მშ ძაბვა. შეერთების ჯგუფის ერთნაირობის მოთხოვნას განაპირობებს დაბალი ძაბვების ფაზების თანხვედნის აუცილებლობა. ყველაზე მინიმალური შესაძლო განსხვავებაც კი მათი ფაზებისა არის 30°, რომელიც დაუტვირთავადაც კი პარალელური შეერთებისას მოგვცემდა ნომინალურზე 5-ჯერ მეტ მარტო გათანაბრების დენს. იგივე გათანაბრების დენით არის გამოწვეული ძაბვების ტოლობის მოთხოვნა. რაც შეეხება მშ ძაბვის ტოლობას იგი განპირობებულია ტრ-ებს შორის დატვირთვის პროპორციული განაწილების მოთხოვნით, მაშინაც კი, როცა ტრ-ები სხვადასხვა სიმძლავრისაა. განსხვავება მშ ძაბვებისა დასაშვებია საშუალო მშ ძაბვიდან არაუმეტეს 10 %-ისა.

**ავტოტრანსფორმატორი.** თუ ტრ-ებში პირველად და მეორად გრაგნილებს შორის არსებობს გალვანური კავშირი, მაშინ ასეთ ტრ-ს ავტოტრანსფორმატორი (ატრ-ი) ეწოდება. ასეთი ტრ-ის მთავარი ღირსებაა სიმარტივე და ეკონომიურობა. ენერჯის გადაცემა ხორციელდება როგორც მაგნიტური გზით, ასევე გალვანურადაც, მაგნიტური ველის მონაწილეობის გარეშე. ჩვენს მიერ განხილული ყველა კანონზომიერება სამართლიანია მხოლოდ მაგნიტური გზით გადაცემულ სიმძლავრეებისათვის. ხოლო გალვანური გზით გადაცემული სიმძლავრე არის ფაქტობრივად ზედმეტი (მუქთი) სიმძლავრე, რომელიც აქვს ტრანსფორმატორს თავისთავად. ე. ი. საერთო სიმძლავრე მეტია მაგნიტურზე და შეგვიძლია მაგნიტური სიმძლავრე შევამციროთ იმ დონემდე, რომ საერთო სიმძლავრე გაუტოლდეს ჩვენთვის საჭირო სიმძლავრეს. ქვემოთ მოცემულია მაგნიტური და საერთო სიმძლავრეების შეფარდების დამოკიდებულება ტრ-ის კოეფიციენტისაგან

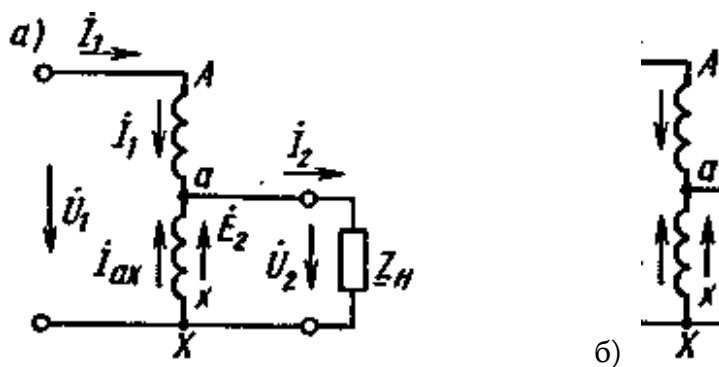
K 1,0 1,25 1,5 1,75 2,0 2,5 3,0 4,0 5,0

$p_m/p$  0 0,2 0,33 0,43 0,5 0,6 0,67 0,75 0,8

ატრ-ს შეუძლია აამაღლოს ან დაადაბლოს ძაბვა. ყველაზე უფრო მეტ ეკონომიას ის იძლევა როცა ტრ-ის კოეფიციენტი = 0,5 ან 2. ამ დროს ნახევარი სიმძლავრე მაგნიტურია,

მეორე ნახევარი კი „მუქთი“. ე.ი. მუქთი სიმძლავრის ხარჯზე შეგვიძლია გამოვიყენოთ ორჯერ ნაკლები სიმძლავრის ტრ-ი. ატრ-ს უარყოფითი ის აქვს, რომ

დაბალ მხარეზეც საჭიროებს მაღალი ძაბვის შესაბამის იზოლაციას, და დაბალი ძაბვის მხარეზეც უსაფრთხოების მხრივ საქმე გვაქვს მაღალ ძაბვასთან. ატრ-ში ნამეტი სიმძლავრე ჩნდება იმის ხარჯზე, რომ მაღალ და დაბალ მხრის (გრაგნილების) დენები (პრაქტიკულად)  $\approx$  ურთიერთსაწინააღმდეგოა და ტრ-ის გრაგნილების საერთო ნაწილის (ამ შემთხვევაში პირველადის ნაწილიცაა და მთელი მეორადიც) დენის მოქმედი მნიშვნელობა  $I_{ax} = I_2 - I_1$ . ანუ მეორადი წრედის დენზე ნაკლებია პირველადი დენით. მაგ. თუ მეორადი დენია 10ა, ხოლო პირველადი -5ა (შემთხვევა, როცა  $k = 2$ ), საერთო ნაწილის დენი =5 ა. მაშინ, როცა მეორად გრაგნილში 5ა დენია მეორად ქსელში 10ა დენია, ანუ პირველადის 5 ა დენი მთლად გადმოვიდა (გალვანურად) მეორად ქსელში და მას დაემატა კიდევ 5ა მაგნიტური გზით გადმოსული (ურთიერთინდუქციის) დენი. თუ ატრ-ის მაგიერ გვექნებოდა ჩვეულებრივი ტრ-ი (გრაგნილებით A, X და კიდევ ცალკე a,x), მაშინ პირველადი დენი იქნებოდა 5ა, მეორადი დენი 10 ა -მეორად ქსელშიც და მეორად a,x ნაწილშიც. ამრიგად გვექნებოდა შემდეგი გრაგნილები:  $w_1/2 +$  მიმდევრობით  $w_1/2$  (ანუ ორივე პირველადი)- 5 ამპერიანი და დამატებით კიდევ მეორადი  $w_2=w_1/2 -10$  ამპერიანი ახლა კი გვაქვს:  $w_1/2 +$  მიმდევრობით  $w_1/2 - 5$  ამპერიანი და მეორადი არ გვაქვს საერთოდ და მის მაგიერ მეორად ქსელს ვკვებავთ პირველადის ერთერთი ნახევრიდან, რომელიც იგივე კვეთისაა, როგორც საერთოდ პირველადი . აი ეს არის მუქთი, გალვანურად გადაცემული სიმძლავრის დანამატი, რომელიც  $k = 2$  -ის დროს მაგნიტური გზით გადაცემული სიმძლავრის ტოლია. იგივე თანაფარდობანი არსებობენ ამამაღლებელ ატრ-შიც (მაგ. თუ ვკვებავთ ნახ-15.1a ზე გამოსახულ ატრ-ს მეორადი მხრიდან). როცა  $k \neq 2$ . (მაგ.  $k = 4$ ), მაშინ მუქთი სიმძლავრე იქნება არა იმდენივე, რაც ინდუქციური, არამედ მისი ნახევარი. გამომყვანი ამ დროს გაკეთდება პირველადის ბოლო მეოთხედი ნაწილის დასაწყისიდან, და რადგანაც მეორადი ქსელის დენი 4-ჯერ მეტია (20 ა), ხოლო დენი გრაგნილის საერთო ნაწილში  $=(20-5)a=15a$  ე.ი 3-ჯერ მეტია პირველად დენზე (5ა).ასეთ შემთხვევაში გრაგნილის ეს ნაწილი უნდა გაძლიერდეს, ანუ მისი კვეთი 5ა -იანი ნაწილის კვეთის ტოლი კი აღარ იქნება, არამედ უნდა გაიზარდოს 4-1=3 -ჯერ. ამრიგად  $k = 2$  - თან შედარებით მუქთი სიმძლავრე იმდენივე კი აღარ იქნება, არამედ  $1/4$  და საჭირო სიმძლავრის მისაღებად ინდუქციით გადაცემული სიმძლავრე უნდა გავზარდოთ  $1/4$ -ით, რაც განხორციელდება გრაგნილის მეოთხედის კვეთის სამჯერ გადიდებით.



ნახ. 15-1. ავტოტრანსფორმატორის სქემა: ა) - დამადაბლებელი; ბ) - ამამაღლებელი; (მომჭერები A, X- გამოსავალი =  $U_2$ , მომჭერები a, X - შესავალი =  $U_1$ )

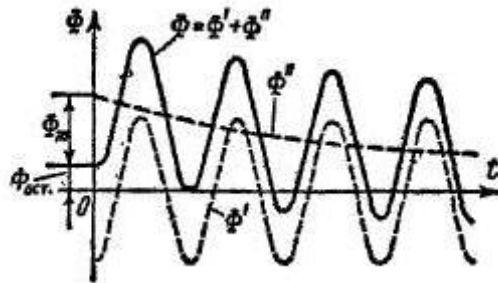
**ტრ-ის პრაქტიკული გაანგარიშების შესახებ.** ტრ-ის ზემოთგანხილული კონსპექტი ექვემდებარება მათემატიკურად მკაცრ (ხშირად წინასწარ დასაშვებად მიჩნეულ მცირე ცდომილებებიან) სტილში გადმოცემულ სასწავლო მასალას. პრაქტიკულ საქმიანობაში, სადისტრიბუციო და ფართო წარმოების ტრ-ების გარდა (იქ სადაც ტრ-ის მქვ-ს არ აქვს გადამწყვეტი მნიშვნელობა, ასეთი მაგალითი უამრავია) ახდენენ ტრ-ის კონსტრუქციისა და გაანგარიშების მნიშვნელოვან გამარტივებას. ცხადია ასეთ ტრ-ს არ ექნება მაქსიმალურად შესაძლო მქვ, არამედ აქ შესაძლოა წინა პლანზე იყოს წამოწეული სხვა პარამეტრი, მაგ მისი ღირებულება, წონის მინიმალურობა, სპილენძის წონის მინიმალურობა და ა.შ. იგივე შეიძლება ითქვას ტრ-ის აქტიური მასალის (ელექტროტექნიკური ფოლადისა და სპილენძის) პროექტირების სახელმძღვანელოებში მიღებულ რაოდენობრივ თანაფარდობაზე. ამ თანაფარდობას სადისტრიბუციო ტრ-ებში აქვს ერთი ოპტიმალური მნიშვნელობა, რაც სრულიად შეიძლება პრაქტიკულ შემთხვევებში არ იყოს დაცული და ეს პროპორცია იცვლებოდეს ფართო ფარგლებში. თუ წონის კრიტერიუმია განმსაზღვრელი მაშინ სპილენძის წონა შეიძლება უახლოვდებოდეს კიდევაც ფოლადის წონას, ან სპილენძი შეცვლილი იქნეს ექვივალენტური ალუმინით და ეს წონა უახლოვდებოდეს ფოლადის წონას. თუ სპილენძის წონაა მალიმიტირებელი, მაშინ მისი შეფარდება ფოლადის წონასთან მინიმალური შეიძლება იყოს და ა.შ.

სადისტრიბუციო ტრ-შიც და პრაქტიკაშიც, განსაკუთრებული შემთხვევების გარდა, მიზანშეწონილია ალუმინის გრაფილებიანი ტრ-ის გამოყენება, რადგან ასეთი ტრ-ი უფრო მსუბუქია, უფრო იაფია და ამას გარდა იქ სადაც ტრ-ის დაცულობა კრიმინალური ზემოქმედებისაგან არასაკმაოა, ის ნაკლებად იზიდავს კრიმინალურ ელემენტებს და უფრო ნაკლებ სარისკოა. როცა საჭიროა ტრ-ის მშ ძაბვა იყოს დიდი ანუ ნაკადის ფანტვა მინიმალური, მაშინ უკეთესია ფოლადის წონის შეფარდება სპილენძის წონასთან იყოს დიდი. რაც შეეხება ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს, გარდა გამზომი ტრ-ების შემთხვევისა, ყველგან შეგვიძლია მივიღოთ ტოლი  $w_1/w_2$ . თუ ტრ-ისთვის არსებითია მინიმალური დამაგნიტების დენი, მაშინ უკეთესია მისთვის ფოლადად გამოვიყენოთ ახალი ამორფული და ნანოკრისტალური მაგნიტური მასალა, რომელიც იძლევა მაგნიტური განვლადობის საშუალო მნიშვნელობას 100 000 ტოლს, რომელიც რამდენჯერმე აღემატება მასიურად გამოყენებულ ცივნაგლინი ფოლადის განვლადობას, დამაგნიტების დენი კი ამდენჯერვე ნაკლებია. ამავდროულად დაახლოებით ამდენჯერვე ნაკლებია მაგნიტური კარგვებიც.

**ტრ-ის ჩართვა ქსელზე.** პრაქტიკულად საინტერესოა შემთხვევა, როცა ტრ-ის ჩართვა ხდება მისი მეორადი გრაფილის გათიშული მდგომარეობისას, ანუ უქმ სვლაზე. როგორც ვიცით ნორმალური ტრ-ის მაგნიტური წრედი ეკონომიკურ მოსაზრებებიდან გამომდინარე პროექტდება მისი გაჯერებულ რეჟიმში მუშაობისათვის. ტრ-ის



გარდამავალი რეჟიმის ანალიზი უქმ სვლაზე მისი ჩართვისას გვიჩვენებს შემდეგს: გულას მაგნიტური ნაკადის ცვლილების მრუდი წარმოადგენს სინუსოიდას, რომლის სიმეტრიის ღერძი ასიმპტოტურად მიისწრაფვის აბსცისთა ღერძისაკენ (ნახ. 17-3.). ნაკადის მაქსიმუმი  $\approx 2$ -ჯერ აღემატება ნომინალურ ნაკადს. დამაგნიტების დენისა და ტრ-ის ნაკადის დამოკიდებულების მრუდის (უქმი სვლის მახასიათებლის)



ნახ. 17-3. ტრ-ის მაგნიტური ნაკადის ცვლილება მის არახელსაყრელ მომენტში ჩართვისას

გათვალისწინებით ნაკადის ამ ზომით გადიდებას (გაჯერების გამო) შეესაბამება დამაგნიტების დენის  $100 \div 150$  -ჯერ გაზრდას (დამაგნიტების მრუდიდან ნახ.7.1.  $\Phi = f(i_{ორ})$ , რაც რამდენჯერმე აღემატება ნომინალურ დენს. მისი ასეთი მნიშვნელობა შესაძლოა გრძელდებოდეს მილიწამების განმავლობაში, რომელიც წამის ნაწილებში შემცირდება უქმი სვლის დენის ნომინალურ მნიშვნელობამდე. ეს დენი ფაქტიურად არის დარტყმითი დენი. ამრიგად გარდა იმისა, რომ ტრ-ი უქმ სვლაზეა ჩართვის მყისიერი დენი ასეთი დიდი შეიძლება იყოს, ეს დენი სუფთად რეაქტიულია (ინდექსი  $or$ , ამიტომ იწვევს გადიდებულ ნაპერწკლიანობას და კონტაქტების გამლიერებულ ცვეთას მაკომუტირებელ აპარატებში, რადგან მაკომუტირებელი კონტაქტები სწორედ ამ დარტყმის დროს ახდენენ კომუტირებას. პარადოქსად აღიქმება ის, რომ დატვირთვაზე ჩართული ტრ-ის პირველადი გრაგნილის ჩართვის მომენტში დენის ასეთი დარტყმა არ წარმოიშობა. ანუ ტრ-ის ჩართვა მიზანშეუწონელია მისი მეორადი წრედის დაუტვირთობისას. უფრო უპრიანია მისი ჩართვა დატვირთულ მდგომარეობაში.

**ტრ-ის უეცარი მოკლე ჩართვა.** ტრ-ის მშ ორგვარია: გარე - მეორადი მომჭერების შემდეგ და შიგა - სადმე შესავალიდან გამოსავლამდე (უფრო ხშირად გრაგნილებში). ეს მოკლე შერთვები იმითაც განსხვავდებიან, რომ გარე მშ-დროს დენის პიკი ჩართვის მყისა დროისაგან დამოკიდებულებით (ანუ მკვებავი სინუსოიდური ძაბვის მრუდის მიმართ ჩართვის მომენტის მდებარეობით) შესაძლოა  $\approx 20$ -ჯერ, ხოლო დამყარებული მნიშვნელობა  $\approx 15$ -ჯერ აღემატოს ნომინალურ დენს. შიგა მშ-ს დროს დარტყმითი და დამყარებული დენი დიდი არ არის, რადგან მშ უბნის ძაბვა მცირეა, ამიტომ მშ საერთო სიმძლავრე მცირეა, ხოლო საერთო დენი = სიმძლავრე / საერთო მშ წინააღობაზე. მშ უბნის შიგნით ის ასეულ და მეტ-ჯერაც აღემატოს ნომინალურ დენს.

**გარე მშ-სას** ასეთ დარტყმით დენს ხანმოკლე რეჟიმში ნორმალურად დაპროექტებულმა ტრ-მა უნდა გაუძლოს რაიმე დაზიანების გარეშე. რაც შეეხება მაკომუტირებელ და დამცავ აპარატურის კონტაქტებს აპარატურას ვინაიდან ის ამ მომენტში კომუტირებას

ვერ ახდენს ასეთი დარტყმითი დენი არ იწვევს მის დაზიანებას ან გაძლიერებულ ცვეთას. თუ შემთხვევით კომუტირება დაემთხვა დარტყმითი დენის გავლის მომენტს, მაშინ მაკომუტირებელი აპარატის დაზიანება გარანტირებულია. მშ დამყარებული დენის მნიშვნელობა კი  $10 \div 15$  -ჯერ აღემატება ნომინალურ დენს და თუ დაცვის სისტემა უწყესივროა ასეთი დენი ათეულ წამებში გადაახურებს ტრ-ს. ნორმალური დაცვა მას ამორთავს წამის ნაწილებში და მისი აპარატურა გათვლილია ასეთი სიდიდის დენის ამორთვაზე.

**შიგა მოკლე ჩართვა**, ანუ ხვიებს შორისი გადაფარვა თუმცა დიდ დარტყმით ან დამყარებულ დენებს ვერ იწვევს, მაგრამ მაინც უფრო სახიფათოა, იმ მოსაზრებით, რომ შესაძლოა შიგა მოკლე შერთვისას ტრ-ის საერთო დენი მცირედ აღემატებოდეს ნომინალურს, ხოლო მშ უბანზე ის ასეულჯერ და მეტჯერ დიდი იყოს. ასეთ მდგომარეობაში დაცვა, რომელიც აწყობილია პირველად ან მეორად დენზე ვერ „შეამჩნევს“ გრაგნილის ნაწილის მშ-ს და ტრანსფორმატორის მშ უბანი დაზიანდება (გადახურდება).

## IV. ცვლადი დენის მანქანების ზოგადი საკითხები

გრაგნილის ემმ.

ცვლადი დენის მანქანის დაგეგმარებისას ცდილობენ გრაგნილში ინდუქტირებული ემმ-ის დროში ცვლილების მრუდის სინუსოიდასთან მაქსიმალურ მიახლოებას. როცა ემმ ინდუქტირდება მბრუნავი ველით, მაშინ დასახული მიზნის მისაღწევად საჭიროა, ამ ველის ინდუქციის სივრცეში განაწილების დიაგრამა მაქსიმალურად უახლოვდებოდეს სინუსოიდას, რადგან ცნობილია, რომ ემმ-ს დროში ცვლილების მრუდი გარკვეულ მასშტაბში იმეორებს ინდუქციის სივრცეში განაწილების მრუდს. ამ პრობლემის გადაჭრისათვის გამოიყენება სხვადასხვა ხერხები. მაგ. ცხადპოლუსა სინქრონულ გენერატორებში პოლუსების ბოლოები წრეწირის ფორმის ნაცვლად ნაპირებისკენ უფრო მცირე რადიუსზე გადადიან, ანუ ღრეჩო თანდათან იზრდება ( $\delta = 1 \div 2$ - ჯერ); საპოლუსო გადაფარვის კოეფ-ტი  $\alpha = 0,6 \div 0,75$ ;

ყველა მცდელობის მიუხედავად ზუსტი სინუსოიდა მაინც ვერ მიიღწევა, მაგრამ ძირითადად ეს მიახლება საკმარისია პრაქტიკული მიზნებისათვის.

**გამტარის, ხვიის და კოჭის ემმ.** გამტარის ემმ

$$e_{np} = E_{mnp} \sin \omega t,$$

$$E_{mnp} = B_{\delta} l_{\delta} v = 2f B_{\delta} l_{\delta} \tau$$

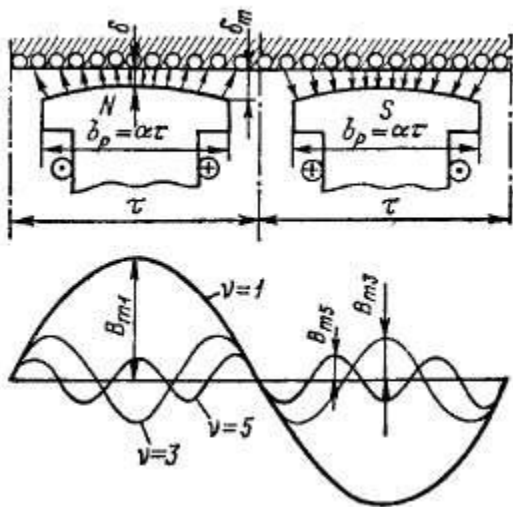
(20-1)

$$E_{\text{up}} = \frac{E_{m \text{ up}}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} f B_{\delta} l_{\delta} \tau,$$

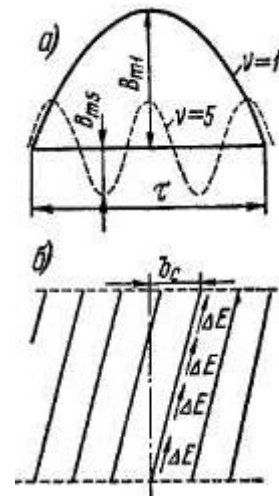
(20-2)

უნომრო ტოლობა გამტარის ემმ-ს მყისა მნიშვნელობას გამოსახავს; 20-1 -მის ამპლიტუდას; 20-2 მოქმედ მნიშვნელობას;

აქ  $l_{\delta}$  — მანქანის საანგარიშო აქტიური სიგრძეა;  $B_{\delta}$  - ინდუქცია;  $\tau$  - საპოლუსო დანაყოფი



ნახ. 20-1



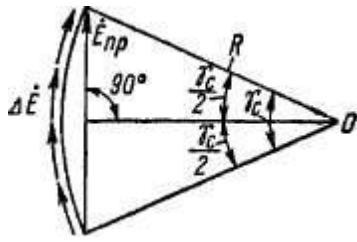
ნახ.20-2

ცხადპოლუსა სმ-ის აგზნების  
ველისინდუქციის განაწილება  
საჰაერო ღრეჩოში;  $B_{m1}$  —  
ღრეჩოში ველის ინდუქციის  
ძირითადი  
(პირველი)ჰარმონიკის  
ამპლიტუდაა.  $\nu$  ჰარმონიკის  
ჰარმონიკის რიგითი ნომრებია;

$$\gamma_c = \frac{b_c}{\tau} \pi,$$

**ღრმულების დახრა.** ზოგ შემთხვევაში მრუდის ფორმის გაუმჯობესებისთვის მიმართავენ ღრმულების დახრას ღრეჩოს ცილინდრის მსახველის მიმართ, ანუ ღრმული და კბილი ხრახნ-წირზეა აგებული (ცნობილია, რომ ცილინდრულ

ზედაპირზე წრფე მხოლოდ ერთადერთი, დახრის არმქონე ხაზი ანუ მსახველია. ყველა სხვა ხაზი ხრახნული წირებია) ნახ. 20-2.



ნახ. 20-3 გამტარის ემმ ღრმულის დახრილობისას

აქ  $\gamma_c$  დახრის კუთხეა;  $R$  ღრეჩოს რადიუსი. თუ დახრილ გამტარს წარმოვიდგენთ ბევრი ნაწილებისაგან შემდგარს, მაშინ თითოეული ნაწილის საშუალო წერტილის მდებარეობა სივრცეში (მაგნიტური ველის ღერძის მიმართ ერთმანეთისაგან დაძრული იქნება და ამ დროს ემმ -ს სიდიდე ტეხილის (რამდენიმე ნაწილის შემთხვევაში) ან რკალის ნაცვლად(ამ ნაწილების უსასრულოდ დიდი რაოდენობის შემთხვევაში) ქორდით განისაზღვრება, რაც ცოტათი ნაკლებია რკალზე. ამ შემცირების ხარისხს ღრმულის დახრის კოეფ-ტი ქვია

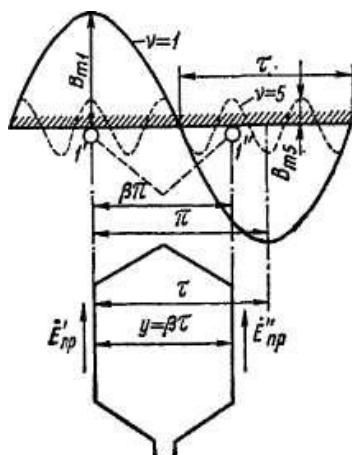
$k_d = k_c$  ;  $bc$  დახრის კათეტი, იხ. ნახ. 20.2

$$k_c = \frac{\sin\left(\frac{b_c \cdot \pi}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2}\right)}{\frac{b_c \cdot \pi}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2}}$$

(20-3)

უნდა აღინიშნოს, რომ ღრმულის დახრის კოეფიციენტი მხოლოდ მაშინ არსებობს თუ ველის ღერძის მიმართაა დახრილი ღრმული და არა ღრეჩოს მსახველის მიმართ.

**ბიჯის შემოკლება.** ხშირად ხვიების ბიჯი მავთულის ეკონომიისა და მრუდის სინუსოიდისთან მიახლოების მიზნით საპოლუსო დანაყოფზე მცირე (შემოკლებული) აიღება. ამ დროს ხვიის გვერდებს აქვთ ერთნაირი ემმ (მოქმედი მნიშვნელობა), მაგრამ მათ შორის კუთხე  $180^\circ$  ზე ნაკლებია, რაც ასევე იწვევს ემმ-ს შემცირებას ეს შემცირება ხასიათდება ბიჯის შემოკლების კოეფ-ტით  $k_y$ . ცხადია კოჭის ყველა ხვიების ემმ ტოლია და კოჭის ემმ = ხვიის ემმ გამრავლებული  $w$ .

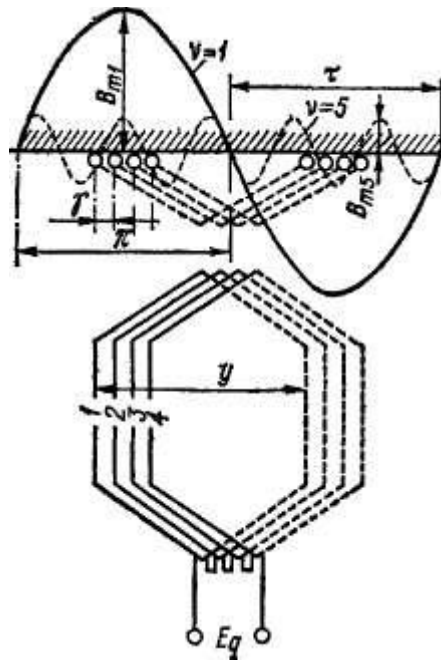


ნახ. 20-4. ხვიის გვერდების ემძ. ( $\tau$  საპოლუსო დანაყოფია)

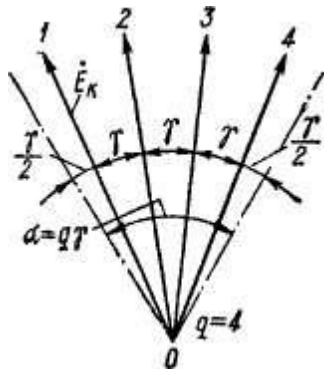
რადგან ხვიის გვერდებს შორის გეომეტრიული კუთხე  $180^\circ$  ან ცოტა ნაკლებია, ხვიის გვერდების ემძ-ს ვექტორებიც ერთმანეთის მიმართ ამავე კუთხით არიან დაძრული (ანუ საპირისპირონი ან საპირისპიროსგან ოდნავ დაძრულნი არიან). კონკრეტულად ამ ნახ. 20-4-ის მიხედვით შტრიხიანი ვექტორი ვერტიკალურად ქვევითაა მიმართული; 2-შტრიხიანი - გამტარებს შორის ბიჯით ( $\beta \tau$ ) დაძრულია შტრიხიანის ვექტორისგან; რადგან მარჯვენა და მარცხენა გამტარები ერთმანეთთან შეერთებული არიან ბოლოებით (ან საწყისებით) ხვიის ემძ უდრის მარჯვენა და მარცხენა გამტარების ვექტორების გეომეტრიულ სხვაობას, რომელიც ამ შემთხვევაში 2-ჯერ ნაკლები კუთხით არის გადახრილი ვერტიკალისაგან ვიდრე გაშლილ კუთხესა და ვექტორებს შორის კუთხეების სხვაობა. ბიჯის შემოკლების კოეფ-ტი ანუ შემოკლებულ და დიამეტრულ ბიჯიანი ხვიის ემძ-ების მოქმედ მნიშვნელობათა ფარდობა

$$k_y = \sin \frac{\beta \pi}{2} \quad (20-7)$$

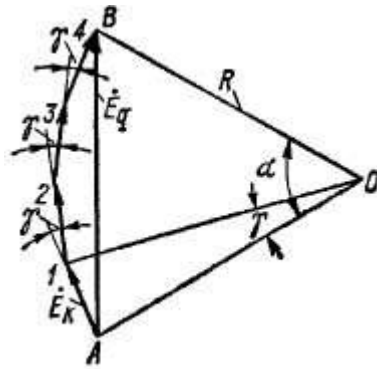
კოჭათა ჯგუფის ემძ. კოჭებს გრაგნილში განათავსებენ სხვადასხვა ღრმულებში, ანუ ამ კოჭათა ემძ-ის მრუდებიც ღრმში ერთმანეთისგან დაძრული იქნება (ნახ. 20-6, 20-7).



ნახ. 20-6. კოჭათა ჯგუფი მაგნიტურ ველში



ნახ. 20-7. კოჭათა ჯგუფის კოჭების ემბ-ები



ნახ. 20-8. კოჭათა ჯგუფის ჯამური ემბ

ამიტომ ჯამური ემბ წარმოადგენს მათ ვექტორულ ჯამს (ნახ.20-8). კოჭათა ჯგუფის ემბს მაქსიმალური მნიშვნელობის ფარდობას კოჭათა ემბ-ების მაქსიმალურ მნიშვნელობათა ალგებრულ ჯამთან ეწოდება გრაგნილის განაწილების კოეფიციენტი  $k_{გან} = k_p$

$$k_p = \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2q}}$$

(20-15)

ამიტომ საერთო გრაგნილის კოეფ-ტი წარმოადგენს ზემოთაღწერილ სამი კოეფ-ტის ნამრავლს.  $k_{გრ} = k_y k_d k_{გან}$

**ფაზის ემბ** შედგება კოჭათა ჯგუფის ემბ-თაგან. ეს ჯგუფები განლაგებული არიან სხვადასხვა პოლუსებს ქვეშ. ხშირად ეს ჯგუფები შეიცავენ ერთნაირ კოჭათა რიცხვს  $q$ . ამ ჯგუფების ემბ-ები ფაზით ან ემთხვევიან ან 180 გრადუსით განსხვავდებიან. ისინი შეიძლება შევაერთოთ მიმდევრობით (ემბ ები არითმეტიკულად აიჯამებიან) ან

პარალელურად (დენები არითმეტიკულად აიჯამებიან) ან შერეულად და ფაზის ემპ გამოისახება ფორმულით (ძირითადი ჰარმონიკისათვის)

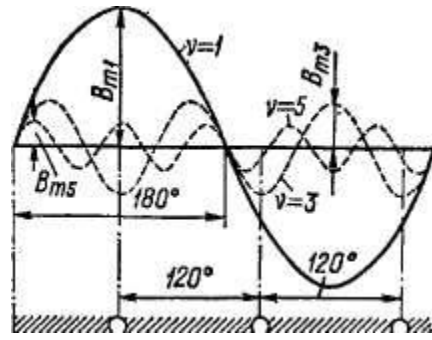
$$E = \pi \sqrt{2} f W k_{gr} \Phi_m = 4,44 f W k_{gr} \Phi_m$$

უნდა გვახსოვდეს, რომ ფაზის ხვევთა რიცხვში ყოველთვის იგულისხმება მიმდევრობით შეერთებული ხვევთა რიცხვი. ამრიგად მზრუნავ ელექტრულ მანქანებში ტრ-ებისაგან განსხვავებით (ტრ-ებში ექვივალენტურ ხვიათა რიცხვი უდრის არსებულ ხვიათა რიცხვს) გრაგნილის ექვივალენტური ხვიათა რიცხვი საგრძნობლად ( $k_{gr}$ -ჯერ) ნაკლებია რეალურ ხვიათა რიცხვზე  $k_{gr} = 0,7 \div 0,9$ . ეს შემცირება უფრო საგრძნობია კონცენტრულ გრაგნილებში მეტადრე დიდი  $q$ -ს შემთხვევაში.  $180^\circ$ - იანი ფაზური ზონის გრაგნილში (ჩვეულებრივი მდმ-ის ღუზის გრაგნილი) კი ის 0,62 შეადგენს.

### ემპ-ს მრუდის ფორმის გაუმჯობესება.

ემპს და დენების მრუდის განსხვავება სინუსოიდისაგან ნიშნავს მათში მაღალი რიგის ჰარმონიკების არსებობას, რომლებიც იწვევენ სხვადასხვა პრობლემებს. იმის გამო, რომ  $v$  რიგის ჰარმონიკისათვის საპოლუსო დანაყოფი  $\tau$  მცირეა პირველი ჰარმონიკის საპოლუსო დანაყოფთან შედარებით  $v$  -ჯერ მათთვის გრაგნილის კოეფიციენტები მნიშვნელოვნად უფრო მცირეა, ვიდრე პირველი ჰარმონიკისათვის. აღნიშნულისგან გამომდინარეობს მაღალი ჰარმონიკების ჩაქრობის გზები, ანუ ბიჯის შემოკლებით, გრაგნილის განაწილებით და ღრმულების დახრით შესაძლებელია მათი მნიშვნელოვნად შემცირება.

**სამის ჯერადი ჰარმონიკა.** მას ცალკე განვიხილავთ, რადგან სამფაზა გრაგნილებში ფაზური ძაბვები ერთმანეთისაგან  $120^\circ$  არიან დაძრული, მესამე ჰარმონიკისთვის კი ეს დაძვრა 3-ჯერ მეტი, ანუ  $360^\circ$  იქნება. მაშასადამე ისინი ფაზით ემთხვევიან ყველა ფაზებში და ვარსკვლავა შეერთების დროს ხაზური ძაბვა უდრის ფაზურ ძაბვების გეომეტრიულ სხვაობას და მესამე ჰარმონიკები ვერ იარსებებენ. სამკუთხა შეერთებისას კი გრაგნილების ჩაკეტილი კონტური მათთვის მოკლე ჩართვას წარმოადგენს და ისინი ცირკულირებენ შიგ გრაგნილში, წარმოადგენენ თითქმის სუფთა რეაქტიულ დენებს და იწვევენ გარკვეულ დანაკარგებს და გრაგნილის გახურებას, ამიტომ ამ მოტივაციით, განსხვავებით ტრანსფორმატორებისაგან) მანქანის გრაგნილის ჩართვა ჯობს ვარსკვლავად. ამრიგად როგორც სამკუთხა (იმიტომ რომ ისინი მოკლედ არიან ჩართული) ისე ვარსკვლავა (იმიტომ რომ ისინი აბათილებენ ერთმანეთს) შეერთების შემთხვევებში ხაზურ ძაბვებში არ გვაქვს მესამე ჰარმონიკები (ნახ. 20-10).



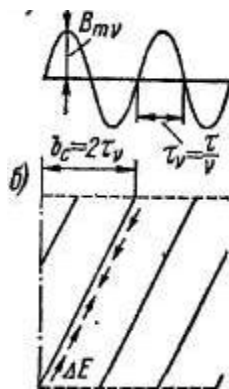
ნახ.20-10. ველის სივრცული ჰარმონიკების მდებარეობა

გრაგნილის ფაზათა მიმართ

მესამე ჰარმონიკები ასევე არ გვაქვს ერთფაზა გრაგნილებში  $120^\circ$  იან ფაზური ზონით, გრაგნილის კოეფიციენტის ნულოვანი მნიშვნელობის გამო. ამრიგად მანქანის დაგეგმარებისას უნდა ვეცადოთ ვებრძოლოთ სამის არაჯერად კენტ ჰარმონიკებს, მეტადრე მე-5, მე-7 ჰარმონიკებს. შევნიშნავთ, რომ რიგის რიცხვის ზრდასთან ერთად ჰარმონიკათა მოქმედი მნიშვნელობა რიგის კვადრატის უკუპრო-პორციულია. თუ გრაგნილის ბიჯს შევამცირებთ  $1/5, 1/7, 1/11$ - ით, მათთვის სათანადო გრაგნილის კოეფიციენტთა ნულოვან მნიშვნელობათა გამო შესაძლებელია ნებისმიერი რიგის ჰარმონიკის ჩახშობა. ცხადია იგივე შედეგს მივიღებდით ბიჯის დაგრძელებითაც. პრაქტიკაში მიმართავენ ბიჯის დამოკლებას  $1/6$  -თ, რადგან ამ დროს ერთდროულად ორივე (5 და7) ჰარმონიკები ჩახშობიან, თუმც კი არა აბსოლუტურად; გრაგნილის კოეფ-ტი მე-5-სთვის და მე-7-ს-თვის მიახლოებით ტოლია და  $=0,26$ . ე.ი. მათი ემპ-ების ამპლიტუდები 4- ჯერ მცირდებიან. ძირითადი ჰარმონიკა კი ამ დროს მცირდება უმნიშვნელოდ ( $k_y = 0,966$ ). გრაგნილის კოჭათა ჯგუფის სექციების განაწილების შედეგად თვით კოჭათა მაღალი ჰარმონიკები არ მცირდებიან, მაგრამ მათი აჯამვისას მათ შორის არის  $v$  -ჯერ მეტი კუთხე, ვიდრე პირველი ჰარმონიკისათვის, და ამის გამო 5,7, 11 ჰარმონიკათათვის გრაგნილის კოეფიციენტი 4 და მეტჯერ მცირეა პირველთან შედარებით. გარდა ზემოთ აღნიშნული ჰარმონიკებისა მანქანაში არსებობენ აგრეთვე კბილური რიგის ჰარმონიკები, რომელთა შესუსტება გრაგნილის კოეფიციენტების საშუალებით შეუძლებელია. მათი რიგია  $v_z = 6 q k \pm 1$ . ამ ტოლობაში  $k = 1, 2, 3, \dots$  თუ  $q = 1$ , მოყვანილი ტოლობიდან  $v_z = 5, 7, 11, 13, \dots$  ანუ ყველა ჰარმონიკა კბილური ბუნებისაა და მას ვერ შევასუსტებთ. თუ  $q = 2$ , მაშინ  $v_z = 11, 13, 23, 25, \dots$  არიან კბილური ბუნების. მიუხედავად ზემოთ აღნიშნულისა, როცა  $q$  იზრდება ამ ჰარმონიკთა შესუსტება მაინც ხდება, რადგან მათი რიგი იწყება უფრო დიდი რიცხვებიდან ( მაგ.  $q = 2$ , რიგი იწყება  $v_z = 11$  -დან,  $q = 3$ , რიგი იწყება 19-დან), ხოლო დიდი რიგის ჰარმონიკები გრაგნილში ისეც ძალზედ მცირე სიდიდისა არიან და გავლენას ვეღარ ახდენენ. ამ ბუნების ჰარმონიკების პირდაპირი და ეფექტურად შესუსტება შესაძლებელია მხოლოდ ღრმულების დახრით. ნახ. 20-2 და ფორმულიდან 20-29 გამომდინარეობს, რომ თუ  $b_c$  ავირჩევთ ისე, როგორც ამ ნახზზეა, მაშინ



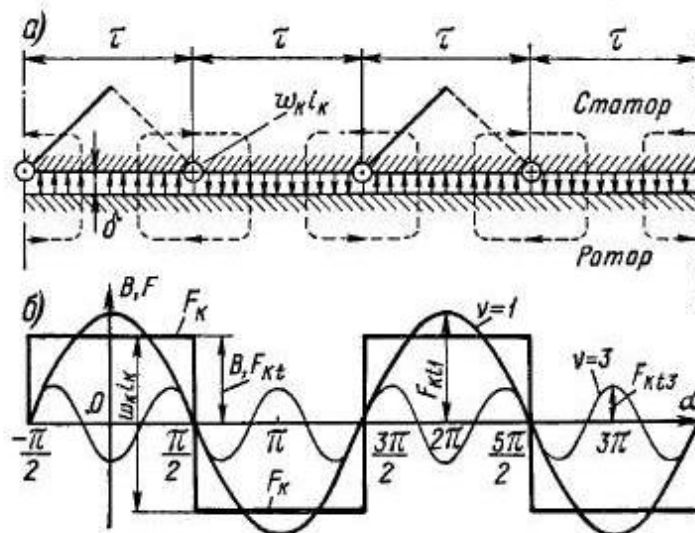
დახრილობის გრაგნილის კოეფიციენტი იქნება 0. პრაქტიკაში დახრას იღებენ ერთი კბილური დანაყოფის ტოლს.



ნახ. 20-12. შემთხვევა, როცა დახრის შედეგად  $\nu$  რიგის ჰარმონიკისთვის გრაგნილის კოეფიციენტი = 0

### ცვლადი დენის გრაგნილების დამამაგნიტებელი ძალა

მდმ-ის მაგნიტური ველის შესწავლისას განხილული გვექონდა აგზნების კოჭის და კოჭების დმ-ის დიაგრამა. ანალოგიური დიაგრამა გვაქვს ცვლადი დენის გრაგნილის ერთი სექციის დმ-ისთვისაც ანუ დიაგრამა წარმოადგენს მართკუთხედს, რომლის გვერდები ეყრდნობიან სექციის გვერდებს.



ნახ. 21.17. დამეტრულ ბიჯიანი კოჭების დმ და მაგნიტური ველი

რამდენიმე ასეთი განაწილებული სექცია (კოჭათა ჯგუფი) ქმნის უკვე ტრაპეციული ფორმის, ოღონდ საფეხუროვან დმ-ს, რომელიც უკვე მნიშვნელოვნად უახლოვდება სინუსოიდურ ფორმას, ანუ შეიცავს მაღალი რიგის ჰარმონიკებს შეზღუდული

რაოდენობით. თუ ასეთი კოჭებისაგან შემდგარ გრაგნილის ფაზაში გავატარებთ არა მუდმივ, არამედ სინუსურად ცვლად დენს, დმ-ს დიაგრამის ფორმა არ შეიცვლება, ოღონდ მისი ამპლიტუდა არ იქნება მუდმივი, არამედ დროში შეიცვლება სინუსური კანონით. ამ დიაგრამის ძირითადი (პირველი) ჰარმონიკის ამპლიტუდა შეიცვლება „პლუს“ მაქსიმალურიდან „მინუს“ მაქსიმალურამდე. თვით ჰარმონიკა სივრცეში (საჰაერო ღრეჩოში) განაწილებულია სინუსური კანონით, ღერძი ემთხვევა ფაზის (პოლუსების) ღერძს, ხოლო ნული კოჭის გვერდების შუა წერტილს. ეს ჰარმონიკა იცვლება ასევე დროშიც და ასევე სინუსურად: ღებულობს, როგორც ნულოვან, ისე მაქსიმალურ დადებით და უარყოფით მნიშვნელობებს. ასეთ ველს მფეთქარი მაგნიტური ველი ეწოდება. ამ ველის ღერძი სივრცეში უძრავია. თუ ათვლას ვაწარმოებთ კოჭის ღერძიდან და სივრცეში ღრეჩოს გასწვრივ გადაადგილებას აღვნიშნავთ  $\alpha$  ასოთი, ხოლო დროით კოორდინატას ჩვეულებისამებრ  $t$ -ასოთი მაშინ დმ-ის ძირითადი ჰარმონიკის მყისა მნიშვნელობისათვის ღრეჩოს ნებისმიერ  $\alpha$  კოორდინატის მქონე წერტილში გვექნება:  $F_1(t, \alpha) = F_{m1} \cos \omega t \cos \alpha$ . (21-1)

ტოლობაში პირველი კოსინუსი განპირობებულია ფუნქციის დროში სინუსური ცვალებადობის გამო, ხოლო მეორე სივრცეში (ღრეჩოს გასწვრივ) მისი სინუსური ცვალებადობის გამო. ფორმულაში შემავალ ორი სხვადასხვა არგუმენტიან კოსინუსების ნამრავლის მიმართ თუ გამოვიყენებთ ჯამის ნამრავლის ჯამად გარდაქმნის ფორმულას გვექნება:

$$F_{m1} \cos \omega t \cos \alpha = 1/2 [(F_{m1} \cos \omega t - \alpha)] + 1/2 [(F_{m1} \cos \omega t + \alpha)].$$

ფორმულა აფიქსირებს ელექტროტექნიკის აღიარებულ პრინციპს მფეთქარი მაგნიტური ველის ორი ურთიერთსაპირისპიროდ მსრბოლავი ნახევარველებისაგან მისი შედგენის შესახებ. ანუ სივრცეში უძრავი სინუსურად მფეთქარი მაგნიტური ველი (დმ, ნაკადი, ინდუქცია) ექვივალენტურია სივრცეში ორი ურთიერთსაპირისპიროდ მოძრავი ნახევარ მათგანისა. ცხადია დროის ნებისმიერ მომენტში მათი ალგებრული ჯამი გვამლევს უძრავ მაგნიტურ ველს. მათი ამპლიტუდა მუდმივია და ტოლია მფეთქარი ველის ამპლიტუდის ნახევრის. ბრუნვის წრიული სიჩქარე  $\omega = 2 \pi f$ , სადაც  $f$  ამ ველების ბრუნვის სიჩქარეა ბრ / წმ, ანუ მკვებავი სინუსოიდური დენის სიხშირეა (50 ჰც). რაც შეეხება მაღალი რიგის ჰარმონიკებს დაწვრილებითი მათემატიკური ანალიზის საფუძველზე დადგენილია:

ზოგადად ყოველი სიმეტრიული სამფაზა გრაგნილის კვებისას სინუსუიდური სამფაზა დენით და არამარტო ძირითადი არამედ ყველა პირდაპირი მიმართულებით მბრუნავ ველის ჰარმონიკებისთვის: ჰარმონიკების ჯამი, რომელთა ნომერია 1 ;7; 13; 19; ... სამმაგდებიან; 3 -ის ჯერადი ჰარმონიკების (3; 9; 15;...) ჯამი ნულია; ჰარმონიკების ჯამი, რომელთა რიგია 5; 11; 17;... ასევე ნულია;

უკუმიმართულებით მბრუნავ ველის ჰარმონიკებისათვის ყველა ჰარმონიკათა ჯამი გარდა 5; 11; 17;... ნულია, ხოლო ესენი სამმაგდებიან

საბოლოოდ სამფაზა სინუსოიდური ძაბვით კვებისას სამფაზა სიმეტრიული გრაგნილის მაგნიტური ველი შედგება მხოლოდ მბრუნავი ჰარმონიკებისგან, რომელთაგან პირდაპირი მიმართულებით ბრუნავენ ძირითადი; მე-7; მე-13; მე-19... უკუმიმართულებით ბრუნავენ 5; 11; 17;...ველის ყველა ჰარმონიკა როგორც პირდაპირი, ასევე უკუ მიმართულებით მბრუნავი იწვევენ მქკ-ს შემცირებას, ელექტრომაგნიტური მომენტის მრუდში ჩავარდნებს. საბედნიეროდ მათი სიდიდე უკუპროპორციულია ჰარმონიკთა რიგითი ნომრისა და ძირითადთან შედარებით ისინი მხოლოდ მცირე პროცენტს შეადგენენ. ამრიგად ელექტრული მანქანისათვის სასარგებლო ველია მხოლოდ ძირითადი ჰარმონიკა, რომლის ამპლიტუდა შეადგენს ყოველი ფაზის გრაგნილის ნახევარველის სამმაგ მნიშვნელობას ანუ:  $3/2 (Fm1)$

სწორედ ეს მოვლენა უდევს საფუძვლად ცვლადი დენის მბრუნავ ველიან (ასინქრონულ და სინქრონულ) ელექტრულ მანქანებს.

## ცვლადი დენის გრაგნილები

გრაგნილები იყოფიან ერთ და ორფენა გრაგნილებად. ერთფენა გრაგნილები გამოიყენებიან 10-15 კილოვატამდე სიმძლავრეებისას, ხოლო უფრო მეტ სიმძლავრეებზე გამოიყენებიან ორფენა გრაგნილები, რომელთაც ერთფენასთან შედარებით აქვთ შემდეგი უპირატესობა:

ბიჯის შემოკლების საშუალება ჰარმონიკათა ჩახშობისა და მავთულის ეკონომიის მიზნით;

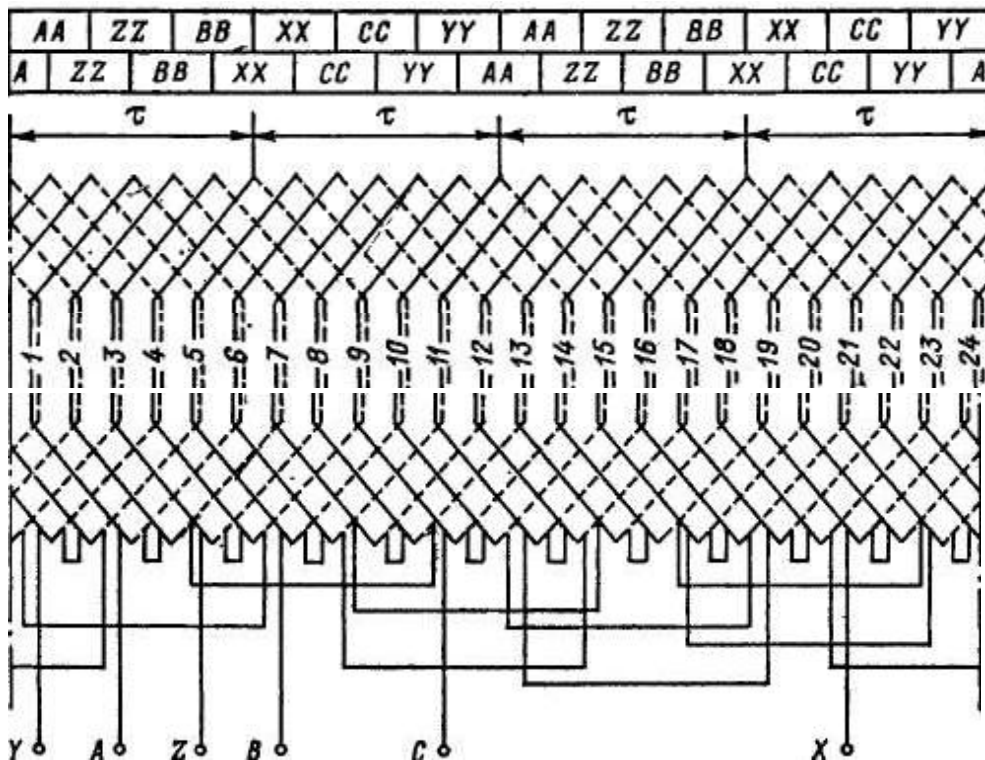
ყველა კოჭის ერთნაირი ზომა და ფორმა;

შუბლური ნაწილების იოლი განლაგება და მცირე ზომები;

ღუზის გრაგნილთა მსგავსად აქაც გვაქვს ყულფური და ტალღური გრაგნილები, რომლებიც ელექტრომაგნიტურ ასპექტში ერთნაირი არიან. ტალღური გრაგნილი გამოიყენება მხოლოდ მაშინ, როცა სექციაში არის ერთი ხვია (დეროვანი გრაგნილი). გრაგნილებში გვხვდება როგორც მთელი, ასევე წილადი რიცხვი კბილებისა პოლუსსა და ფაზაზე -  $q$ , რომელიც რიცხობრივად გამოხატავს თუ რამდენი ღრმული უკავია ფაზას ყოველი პოლუსის ქვეშ. როცა ეს რიცხვი ყოველ პოლუსის ქვეშ ერთნაირია, მაშინ  $q$  მთელია, როცა სხვადასხვაა, მაშინ წილადია.

$q = z / 2pm$ , სადაც  $m$  ფაზათა რაოდენობაა (ჩვეულებრივ  $m = 3$  ან იშვიათად  $m = 2$ ). ჩვენ განვიხილავთ უმთავრესად სამფაზა გრაგნილებს. გრაგნილის ბიჯი  $y$  ორფენა გრაგნილებში აიღება დიამეტრალურზე  $1/6$ -ით შემოკლებული, ანუ თუ გვაქვს

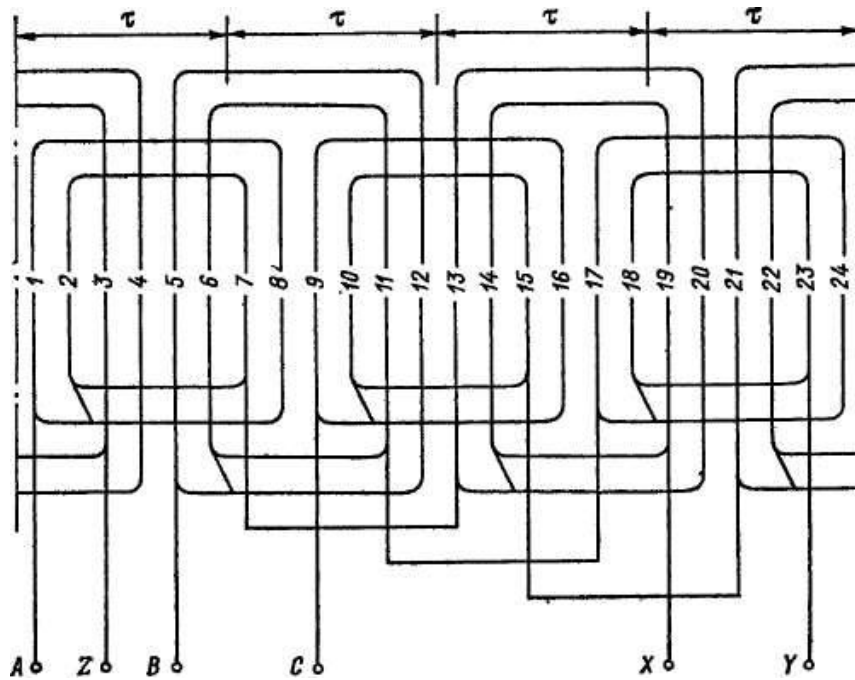
პოლუსზე 6 ღრმული და კბილი მაშინ ბიჯი იქნება  $6-1=5$ . ე.ი კოჭის კონტურში ექცევა 5 კბილი და ოთხი ღრმული. ასეთ შემთხვევაში  $q = 2$ , რადგან პოლუსის ქვეშ 6 ღრმულიდან თითო ფაზას მოუწევს 2 ღრმული. ანუ გრაგნილის მონაცემებია 4 პოლუსა, სამფაზა 24 კბილი, ბიჯი 5,  $q=2$ . ქვემოთ მოცემულია გრაგნილის ელ. სქემა:



ნახ.21.1 სამფაზა ორფენა ყულფური გრაგნილი  $Z = 24$ ,  $m = 3$ ,  $2p = 4$ ,  $q = 2$ ,  $y = 5$

კოჭათა ჯგუფების შეერთება ისე უნდა მოხდეს, რომ მათი ემპ აიჯამონ. რადგან ყოველი ჯგუფი სხვადასხვა პოლუსის ქვემოთაა, ამიტომ კოჭების ჯგუფის მეზობელ ჯგუფთან შეერთებისას დახვევის მიმართულება უნდა შეიცვალოს საპირისპიროთი. დასაწყისები კი მკაცრად უნდა განლაგდეს ერთმანეთს შორის 120 ელექტრული გრადუსით, რაც იმას ნიშნავს, რომ ყოველ დასაწყისს მაგნიტური ველის მრუდის მიმართ უნდა ექიროს 120 გრადუსით განსხვავებული მდებარეობა. თუ გრაგნილი ორპოლუსაა მაშინ ეს განსხვავება 120 გეომეტრიული გრადუსია, ხოლო თუ ოთხპოლუსაა, მაშინ მაგნიტური ინდუქციის ორი პერიოდი თავსდება ღრეჩოში და 120 გეომეტრიულ გრადუსში უკვე 240 ელექტრული გრადუსი ეტევა და ამიტომ გეომეტრიულად ისინი ერთმანეთთან 120-ის ნახევარით განსხვავდებიან. 6 პოლუსაზე კი 120-ის მესამედით. სქემაზე ამ გამოყვანებს შორის 4 -ჯერ  $15=60$  გეომეტრიული გრადუსია ანუ 120 ელ გრადუსი.

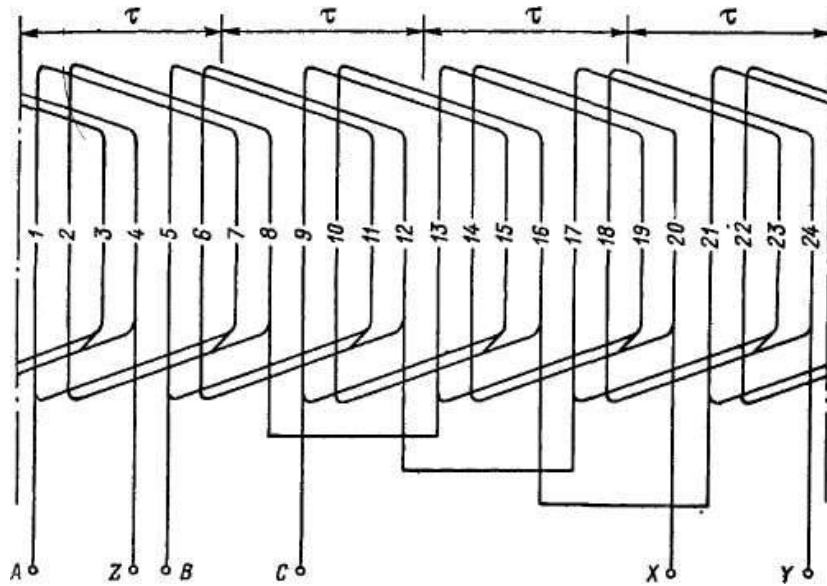
ერთფენა გრაგნილები.



ნახ. 21-8. სამფაზა ორსიბრტყეა კონცენტრული გრაგნილი:  $Z = 24$ ,  $2p = 4$ ,  $q = 2$

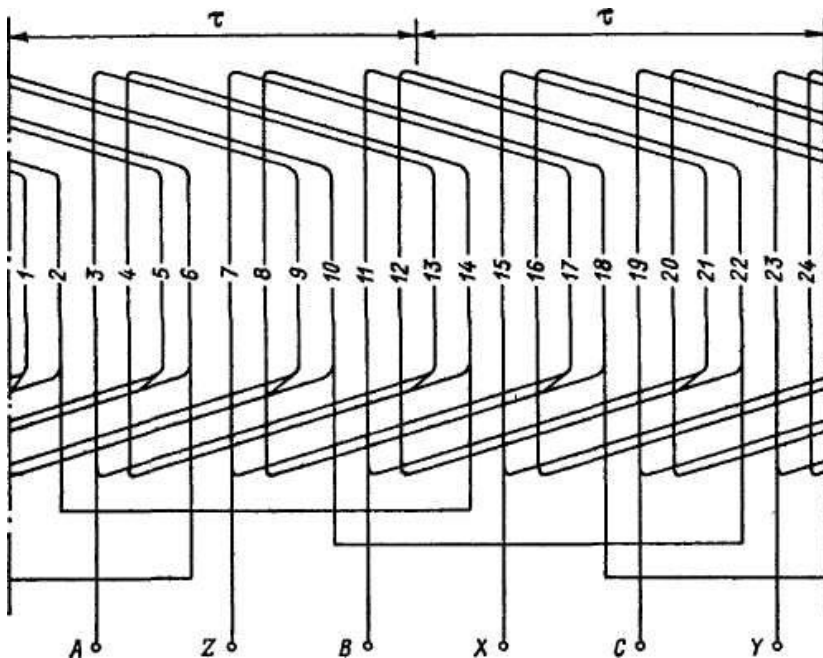
კონცენტრულ გრაგნილს მიუხედავად ზოგი კოჭის ბიჯის შემოკლებისა არაფერი აქვს საერთო შემოკლებულ ბიჯიან გრაგნილთან და მისი ექვივალენტური ბიჯი ყოველთვის დიამეტრულია. ერთფენა გრაგნილები ექვემდებარებიან მექანიზებული წესით დახვევას, რაც მათი საკმაოდ მნიშვნელოვანი უპირატესობაა. ამ გრაგნილებში ღრმულში მოთავსებულია მხოლოდ კოჭის ერთი გვერდი, ანუ თითო კოჭა იკავებს ორ ღრმულს, ამიტომ კოჭათა რაოდენობა = ღრმულთა რაოდენობის ნახევარს. თუ სულ 24 ღრმულია, მაშინ კოჭა იქნება 12 და თითოეულ ფაზას მოუწევს ოთხი კოჭა. ცხადია, რომ ვინაიდან გრაგნილები სივრცეში ერთმანეთს კვეთენ საჭიროა მათი შუბლური ნაწილების ორ ან სამ სიბრტყეში განლაგება. უფრო სიმეტრიულია ორ სიბრტყეში განლაგება, ანუ შიგა და გარე სიბრტყეებში. კოჭები ამ კონკრეტულ შემთხვევაში სქემის მიხედვით სიგრძით ოთხი ზომისაა, ხოლო სიგანით ორი ზომისა. ყოველი ჯგუფი შედგება დიდი დაპატარა კოჭისაგან და დიდი კოჭა გარედანაა განლაგებული კონცენტრულად პატარა კოჭაზე. ე. ი. გვაქვს სამი ორ კოჭიანი პატარა და სამი ორკოჭიანი დიდი ჯგუფი. ცხადია ჯერ ჩალაგდება დიდი ჯგუფები, შემდგომ მათი შუბლური ნაწილები გადაიწევა სტატორის გარეთა ზედაპირისაკენ, და განლაგდება ამგვარად ქვედა სიბრტყეში, შემდგომ ჩალაგდება პატარა ჯგუფები და მათ შუბლები დაიჭერენ წინდაწინ მათთვის განთავისუფლებულ ცარიელ სივრცეს. ჯგუფებს შორის შეერთებები და ფაზათა დასაწყისები ისევე განლაგებიან, როგორც ორფენა გრაგნილის დროს იყო განხილული.

შაბლონური გრაგნილები. ამ გრაგნილებს კონცენტრულთაგან განსხვავებით ერთნაირი



ნახ.21-14. სამფაზა მარტივი შაბლონური გრაგნილი  $Z=24$ ,  $2p=4$ ,  $q=2$

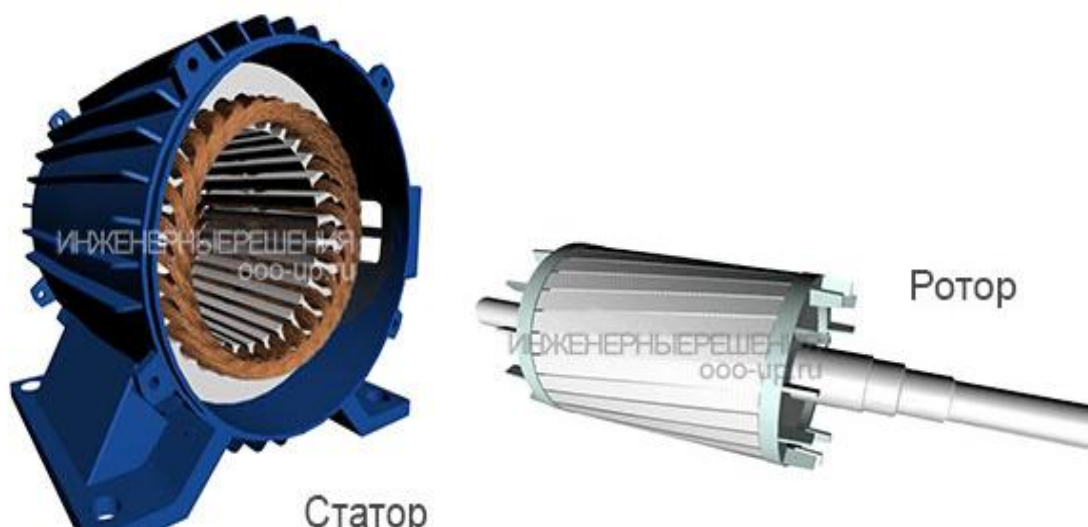
ზომის და ტრაპეციული ფორმის კოჭები აქვთ, რომლებიც ერთსა და იმავე შაბლონზე იხვევა, საიდანაც წარმოდგება მათი სახელი. ამ გრაგნილებიდან ზოგიერთში შესაძლებელი ხდება ბიჯის დამოკლება, რადგან კოჭების ბიჯი და თავად კოჭებიც ერთნაირია



ნახ. 21-16. სამფაზა ჯაჭვური გრაგნილის სქემა:  $Z=24$ ,  $2p=2$ ,  $q=4$ ,  $Y=9$

## V. ასინქრონული მანქანები

**კონსტრუქცია.** ასინქრონული ელექტრული მანქანის (შემდეგში აემ), ისევე როგორც ზოგადად ცვლადი დენის მანქანის, უძრავ ნაწილს სტატორი ეწოდება, ხოლო მოძრავს- როტორი. ორთავს გულარები აკრეფილია ელექტროტექნიკური ფოლადის მაიზოლირებელ დაფარვიანი ფურცლების ნატვიფრისაგან. ნახ. ა-1. როტორსა და სტატორს შორის მოქცეულია  $0,25 \pm 2$  მმ სიდიდის საჰაერო ღრეჩო, რომელიც უზრუნველყოფს როტორის ბრუნვის შესაძლებლობას სტატორის შიგნით. სტატორი



ნახ.ა-1. ასინქრონული მანქანის სტატორი გრაგნილით და ჩასხმული როტორი

შედგება კორპუსისა და გრაგნილიანი მაგნიტური გულარასაგან. გულარების ფურცლოვანი აგებულება და მათ შორის იზოლაცია საშუალებას გვაძლევს მინიმუმამდე დავიყვანოთ ჰისტერეზისული და გრიგალური დენებით გამოწვეული კარგვები, რომლებიც ჩნდებიან ველის ბრუნვის შედეგად მაგნიტოგამტარის სხეულში. სტატორის გრაგნილი ღრმულეებშია განთავსებული, ხოლო მაგნიტური ნაკადის გამტარ გზას ამ უბანზე ქმნიან კბილები, რომლებიც ღრეჩოს ფართობის გასადიდებლად ზედაპირზე ფართოვდებიან ღრმულეების დავიწროების ხარჯზე. როტორი შედგება გულასაგან შიგ ჩასხმული მოკლედშერთული გრაგნილით ე.წ. „ციყვის ბორბალი“ და ლილვისაგან. როტორის ფურცლები ჩვეულებრივ იზოლირებული არ არიან, რადგან ბუნებრივი ოქსიდური აკვით შექმნილი იზოლაცია როტორში დენების დაბალი სიხშირის გამო საკმარისია დანაკარგების შესამცირებლად. როტორი ბრუნავს სასაკისრე ფარებში მოთავსებულ საკისრებში, რომლებიც თავის მხრივ დასმული არიან სტატორის საამისო ცილინდრულ ზედაპირებზე (სასაკისრე ფარებზე). სტატორის გრაგნილი ჩვეულებრივ სამფაზაა და იკვებება სამფაზა ცვლადი დენით. როტორის გრაგნილი შეიძლება იზოლირებული



საგრაგნილე მავთულით იყოს დახვეული. ასეთია სამფაზა ფაზურ როტორიანი ძრავი. ფაზური

## ნახ.ა-2. აემ-ის უგრაგნილო სტატორი

როტორის ქონა ართულებს და აძვირებს ასინქრონულ ძრავს, ამიტომ ის მხოლოდ სპეციალურ შემთხვევებში გამოიყენება. ასინქრონული ძრავის უმთავრესი უპირატესობაა მოძრავი კონტაქტის და როტორში ხვიებიანი გრაგნილის უქონლობა და აქედან გამომდინარე კონსტრუქციული სიმარტივე,

რასაც ფაზური როტორიანი ძრავი სრულიად მოკლებულია.

**მოქმედების პრინციპი.** ასინქრონული, ისევე როგორც სინქრონული მანქანის მუშაობის პრინციპი დამყარებულია ბუნებრივად მზრუნავი მაგნიტური ველის ფენომენზე, რომელიც ავტომატურად იქმნება სტატორის გრაგნილის სამფაზა დენით კვებისას (იხ. ცვლადი დენის მანქანების ზოგადი საკითხები, ცვლადი დენის გრაგნილების დამამაგნიტებელი ძალები). მზრუნავი ველის წარმოქმნის ფენომენი ტრიგონომეტრიის ცნობილი იგივეობის გვერდის ავლით შეიძლება აიხსნას ფიზიკურადაც. უმარტივეს შემთხვევაში წარმოვიდგინოთ, რომ მანქანა ორპოლუსაა და თითო ფაზა თითო კოჭისაგან შედგება. ვთქვათ A-X ფაზაში დენი დადებითი და მაქსიმალურია. მაშინ მის მიერ შექმნილი დმ ასევე მაქსიმალურია და მიმართულია მარჯვნიდან მარცხნისკენ. დანარჩენ ფაზებში დენი ამ დროს A-X ფაზის დენის საპირისპირო მიმართულებისაა, სიდიდით ერთმანეთის ტოლია და მათი ჯამი უდრის A-X ფაზის დენს. მათით შექმნილი ველები სივრცეში ერთმანეთისაგან დაძრული არიან  $120^\circ$ -ით, A-X ფაზის ველის საპირისპიროდ, მაგრამ იმის გამო, რომ ამ ფაზის ბოლო მათ ისევ ბოლოებთანაა შეერთებული ველის მიმართულება შემხვედრია და მათი გეგმილები A-X ფაზის ველის მიმართულებას ემთხვევიან ანუ თითოეული მათი ვექტორის გეგმილი A-X ფაზის ღერძზე ამ ფაზის დმ-ის  $1/4$  - ია, ჯამური ველი კი მაქსიმალურ დენიანი ფაზის დმ-ს ღერძს ემთხვევა და მის  $3/2$  ს შეადგენს. ახლა განვიხილოთ მომენტი, როცა დენს დადებითი მაქსიმუმი აქვს B-Y ფაზაში. ანალოგიური მსჯელობით ამ მომენტისთვის ჯამური ველის მიმართულება ემთხვევა B-Y ფაზის საკუთრივი ველის დადებით ღერძს და სიდიდე მის  $3/2$ - ს შეადგენს. ანუ ამ დროის მანძილზე მაგნიტური ველის ღერძი შემობრუნდა  $120^\circ$  -ით. ანალოგიური მსჯელობის გაგრძელება გვიჩვენებს, რომ როცა C-Z ფაზაში ექნება დენს დადებითი მაქსიმუმი ჯამური ველის ღერძი დაემთხვევა ამ ფაზის დადებით ღერძს და სიდიდე იქნება ამ ფაზის ველის  $3/2$ . ამრიგად საზოგადოდ ჯამური ველის ვექტორის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა იმ ფაზის დადებით მიმართულების ღერძს, რომელშიც დენის მიმართულება დადებითი და სიდიდე მაქსიმუმი. ამ სახასიათო წერტილებს შორის ცხადია, რომ დმ-ის მიმართულება მყისიერად ვერ



გადახტება ერთი მდებარეობიდან მეორეზე არამედ დენის ჰარმონიული (სინუსური) ცვლილების ძალით თანმიმდევრულად და თანაბარი სიჩქარით გაივლის ამ შუალედს. ანუ სამფაზა გრაგნილი სამფაზა დენით კვებისას აჩენს მბრუნავ მაგნიტურ

$$n_1 = \frac{f_1 \cdot 60}{p}$$

ველს, რომლის ბრუნვის სიჩქარეა

სადაც  $f_1$  – დენის სიხშირეა ჰც- ებში;  $p$  – წყვილ პოლუსთა რიცხვია

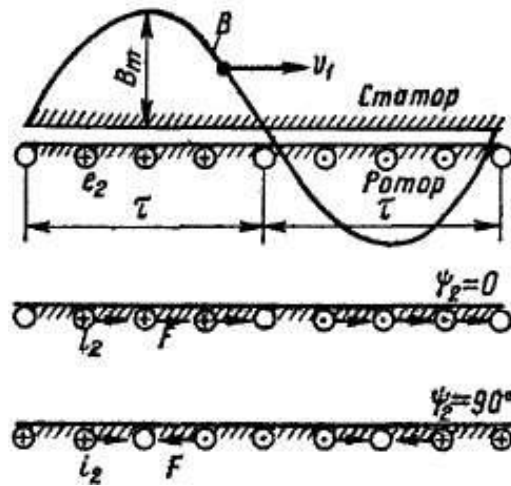
თუ დროს წამებში ვზომავთ, მაშინ  $n_1 = f_1 / p$ . მაგნიტური ველი ბრუნავს იმ მიმართულებით, როგორცაა ფაზების რიგითობა: თუ, მაგალითად, დადებითი მაქსიმუმი რაიმე მომენტში არის ერთ რომელიმე ფაზაში შემდეგ ველი გადაინაცვლებს მის მეზობელ იმ (მარჯვენა ან მარცხენა) ფაზისკენ, სადაც იქნება დენის მომდევნო დადებითი მაქსიმუმი. ბრუნვის მიმართულების შესაცვლელად საკმარისია ადგილები შევუცვალოთ ორ რომელიმე მკვებავ მავთულს ( შეგახსენებთ, რომ ძრავს სჭირდება მხოლოდ 3 მკვებავი მავთული). ველის ბრუნვის ხაზოვანი სიჩქარე საპაერო ღრეჩოში

$$v_1 = \pi D_a n_1 = 2p\tau \frac{f_1}{p} = 2\tau f_1. \quad (19-4)$$

50 ჰერცი სიხშირის

პირობებში წყვილ პოლუსთა რიცხვის ზრდით მიიღწევა ბრუნთა რიცხვები წუთებში: 3000; 1500; 100; 750; 600; 500; 375; 300; ...მბრუნავი ველი ბრუნვისას გადაკვეთს

როტორის გრაგნილს, მასში აღძრავს ემმ  $e_2$ , დენს  $i_2$ , რომლებიც ანალოგიით მუდმივი დენის მანქანის ლუზის რეაქციასთან ემმ-სა და დენს შორის ნულოვანი ფაზის შემთხვევაში ( $\psi=0$ ) შექმნიან ისეთ ველს, რომლის ღერძი  $90^\circ$  -ით ჩამორჩება მბრუნავ

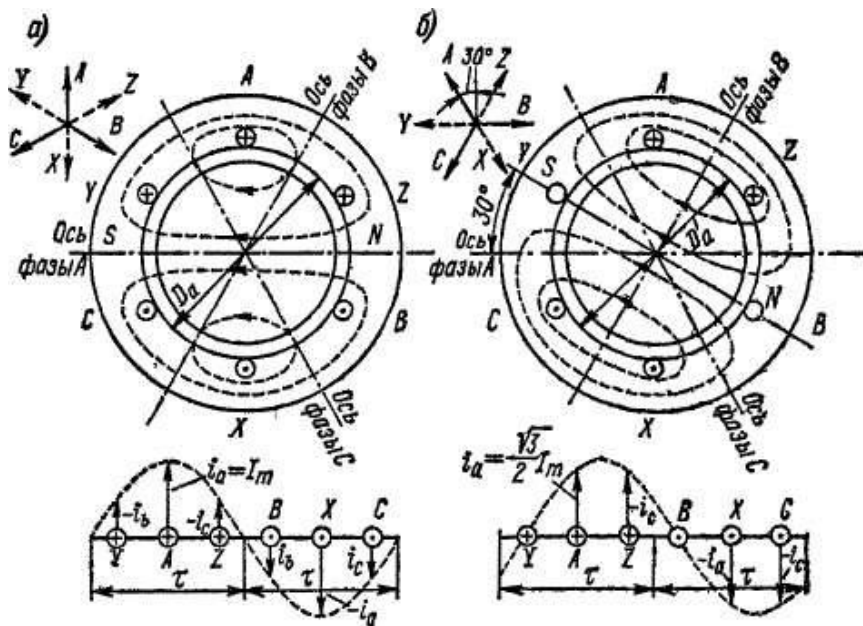


ველის ღერძს ნახ. ა-4. ნახ.ა-4. როტორის ღეროების დენები და მათზე მოქმედი ძალები, ( $\psi=0$  და  $\psi=90^\circ$  (კუთხე ემმ-სა და დენს შორის)

ასეთი კუთხით დაძრული ველი განაპირობებს მაქსიმალურ ელექტრომაგნიტურ მომენტის შექმნას. როდესაც ემმ-სა და დენს შორის ფაზა ( $\psi=90^\circ$ ) ეს ძალები მოქმედებენ ურთიერთსაპირისპირო მხარეს და ჯამური მომენტი = 0. როცა ფაზას აქვს მნიშვნელობა 0-სა და  $90^\circ$ -ს შორის მაშინ ასეთი ვექტორის დაშლა ორ ურთიერთპერპენდიკულარულ მდგენლად ( $\psi=0$ ) და ( $\psi=90^\circ$ ) გვაძლევს, რომ მხოლოდ მდგენელი ( $\psi=0$ ) მოგვცემს მაბრუნ მომენტს. მდგენელი ( $\psi=90^\circ$ ) მოგვცემს ნულოვან მომენტს. აქედან გამომდინარეობს დასკვნა, რომ მბრუნავი მომენტი იქმნება მხოლოდ დენის აქტიური მდგენელით, ანუ  $I_a = I \cos \psi$ . თუ ღეროების ჯამური მომენტი დასძლევს ლილვის წინააღმდეგობის მომენტს, მაშინ როტორი დაიწყებს ბრუნვას ველის მიმართულებით („აჰყვება ველს“) გარკვეული ჩამორჩენით  $n_2 < n_1$ ,

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

ანუ სრიალით სტატორის ველის მიმართ. როტორის გაშვების მყისიერ მომენტში ( $n_2 = 0$ ) სრიალი  $S = 1$ . თუ როტორი რაიმე გარეშე ძალის დახმარებით დაეწევა სტატორის ველს, ანუ  $n_2 = n_1$ , მაშინ  $S = 0$ , ამბობენ რომ როტორი ველის სინქრონულად ბრუნავს. ცხადია ამ დროს როტორში ემმ არ დაინდუქტირდება და მაბრუნ მომენტიც ვერ იარსებებს. ამიტომ ძრავულ რეჟიმში ყოველთვის  $0 < n_2 < n_1$ ; სათანადოთ  $1 > S > 0$ . როტორის ემმ-ს სიხშირე კი  $f_2 = S f_1$ . ამ სიხშირის დენით შექმნილი ველის (როტორის მიერ შექმნილი ველის) სიჩქარე დაემატება როტორის ბრუნვის სიჩქარეს და ჯამში გვაძლევს სტატორის ველის სიჩქარეს.



ნახ. ა-5. როტორის ღეროებში გამავალი დენები და მათზე მოქმედი ძალები

ანუ ეს ველები, მიუხედავად როტორის სრიალისა სტატორის ველის მიმართ, ბრუნავენ ერთნაირი სიჩქარით და ქმნიან ნიშანუცვლელ მაბრუნ მომენტს.

### ასინქრონული მანქანის თეორიის ელემენტები

განვიხილოთ სამფაზა სიმეტრიული გრაგნილიანი მანქანის სტატორის მხრიდან სიმეტრიულ სამფაზა ძაბვით კვების შემთხვევა დმ-ის მხოლოდ პირველი ჰარმონიკების გათვალისწინებით, როცა როტორი დამუხრუჭებულია. ასეთ პირობებში ცხადია, რომ მანქანა ემსგავსება სამფაზა ტრანსფორმატორს მოკლე შერთვის რეჟიმში, იმ განსხვავებით, რომ სამფაზა ტრანსფორმატორში არ გვაქვს მბრუნავი ერთიანი მაგნიტური ველები. აქ პირველადი და მეორადი გრაგნილები სამთავე ფაზისა ქმნიან საერთო მბრუნავ მაგნიტურ ნაკადებს, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ უძრავნი არიან და საჭაერო ღრეჩოს გადალახვით ერთობლივად ქმნიან ჯამურ მაგნიტურ ნაკადს. იმის გამო, რომ ფაზების დენები ქმნიან ერთობლივ მბრუნავ ველებს როტორის მდებარეობას სტატორის მიმართ არ აქვს რაიმე მნიშვნელობა. ტრანსფორმატორში პირველადი და მეორადი გრაგნილის ფაზები თავიანთი დმ-ებით უშუალოდ მოქმედებენ ერთმანეთზე, ხოლო მანქანაში ეს ფაზები ერთმანეთზე უშუალოდ კი არ ურთიერთმოქმედებენ, არამედ ე.წ. „შულედური რგოლის“ (საერთო ველის) მეოხებით. აქაც ტრანსფორმატორებთან ანალოგიით რეალური მანქანის მუშაობის ჩასანაცვლებლად გაღვანურად დაკავშირებული ელექტრული სქემით და ფიზიკური პროცესის შესწავლის გასამარტივებლად რეალურ მბრუნავ როტორს ცვლიან წარმოსახვითი უძრავი და ხვევებიანი როტორით, ანუ მბრუნავ მანქანას ანაცვლებენ დამუხრუჭებულ როტორიანი მანქანით. განსხვავება რეალურსა და დამუხრუჭებულ მანქანას შორის მხოლოდ ისაა, რომ დამუხრუჭებულ მანქანაში არ ხდება ელექტრომაგნიტური ენერჯის

მექანიკურში გარდაქმნა და მთელი ენერგია გამოიყოფა როტორის წრედში როტორის გრაგნილში და მასთან მიმდევრობით შეერთებულ წარმოსახვით წინააღმდეგობაში სითბოს სახით. მზრუნავ მანქანაში კი ჯამური მზრუნავი ველისგან როტორზე გადმოსული ელექტრომაგნიტური ენერგიიდან მხოლოდ მცირე ნაწილი გამოიყოფა სითბოს სახით და მხოლოდ როტორის გრაგნილში, ხოლო მეტი ნაწილი გადაეცემა მუშა მექანიზმს მექანიკური ენერგიის სახით. ასეთი ჩანაცვლების შემდეგ მეორადი ემმ-ის ფორმულა იღებს სახეს:

$$E_2 = \pi \sqrt{2} f_1 \omega_2 k_{o62} \Phi; \quad E_{2s} = \pi \sqrt{2} s f_1 \omega_2 k_{o62} \Phi$$

$$\dot{E}_{2s} = s \dot{E}_2. \quad (24-15)$$

ამ ფორმულებში  $f_1$  მკვებავი სიხშირეა;  $S$  - სრიალი;  $\omega_2$  - როტორის ფაზის ხვიათა რიცხვი;  $k_{o62}$  - ფაზის გრაგნილის კოეფიციენტი;  $\Phi$  - ღრეჩოს ჯამური მაგნიტური ნაკადია. მარცხენა და მარჯვენა ფორმულები განსხვავდებიან იმით, რომ  $f_1$  -ის მაგირ შემოდის  $S f_1$ , რაც გასაგებია, რადგან მეორადი სიხშირე  $f_2 = S f_1$ . როტორის გრაგნილის ომური წინაღობა სიხშირეზე მცირედაა დამოკიდებული ( დამოკიდებულია მხოლოდ ზედაპირული ეფექტის გამო) და ეს საგრძნობია ზედაპირული ეფექტის მნიშვნელოვანი გამოვლენისას. გამარტივების თვალსაზრისით მისი უგულვებელყოფა შესაძლებელია. ანუ როტორის აქტიური წინაღობა დამუხრუჭებულ რეჟიმში სიხშირეზე აღარ იქნება დამოკიდებული. რაც შეეხება ინდუქტიურ წინაღობას იგი ყველა რეჟიმში პირდაპირ პროპორციულია სიხშირისა ანუ სრიალისა.

$$Z_2 = r_2 + jX_{\sigma 2}; \quad Z_{2s} = r_2 + jS X_{\sigma 2}. \quad (24-16)$$

ანუ იმისათვის, რომ უძრავი როტორი ექვივალენტურად ასახავდეს მოძრავი როტორის გავლენას ჯამურ ველზე საჭიროა გარდა 24-15 ტოლობისა ასევე 24-16 პირობის შესრულება. როტორის (მეორადი) დენი ჩვეულებრივ ტოლია:

$$I_2 = \frac{\dot{E}_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{s \dot{E}_2}{r_2 + jS X_{\sigma 2}}, \quad I_2 = \frac{\dot{E}_2}{\frac{r_2}{s} + jX_{\sigma 2}}. \quad (24-18)$$

მარჯვენა ტოლობა მიღებულია შუა ტოლობის მარჯვენა ნაწილის მრიცხველისა და მნიშვნელის გაყოფით სრიალზე. ცხადია დენის ფორმულაში გამყოფი წარმოადგენს კომპლექსურ წინააღმდეგობას

$$Z_{2s} = \frac{r_2}{s} + jX_{\sigma 2} \quad (24-19)$$

ამ ფორმულებიდან გამომდინარეობს, რომ მოძრავი როტორიდან უძრავზე გადასვლისას მაგ. თუ  $S=0,05$ , მაშინ  $1/S = 20$ , ემმ იზრდება 20-ჯერ და იმდენჯერვე იზრდება წინააღობის აქტიური და ინდუქტიური მდგენლები. ანუ მოძრავი როტორის მაგიერ ვიხილავთ უძრავ როტორს, მისივე ემმ-თი, მისივე ინდუქტიური წინააღობით, ოღონდ აქტიური წინააღობა უნდა გავყოთ  $S$ -ზე.

ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე, რომელიც გადაეცემა როტორს, თუ როტორი უძრავი იქნებოდა მთლად დაიხარჯებოდა სითბოს გამოყოფაზე  $r_2$  წინააღობაში. რადგან რეალურად როტორი მოძრავია, ის ავითარებს მომენტს და მთელი ამ უძრავი როტორის კარგვების ნაწილი (მაგ.  $S=0,05$  -ის დროს სითბოს ის ნაწილი, რომელიც გამოიყოფა  $r_2 \frac{1-s}{s} = 19 r_2$  წინააღობაში, გარდაიქმნება შესაბამის მექანიკური სიმძლავრეში

$$P_{\text{მკ}} = m_2 I_2^2 r_{2x} = m_2 I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s} \quad (24-24)$$

ხოლო  $1r_2$  -ში გამოყოფილი ენერგია დარჩება როტორში სითბოს სახით. ფორმულაში  $m_2$  როტორის ფაზათა რიცხვია. თუ როტორიც სამფაზაა (ფაზურ როტორიან ძრავში) მაშინ  $m_2=3$ . ამრიგად სიმძლავრე, რომელიც გადაეცემა როტორს, ტოლია მის ფაზებში აქტიურ წინააღობაში გამოყოფილი სითბოსი და მას ეწოდება ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე და მზრუნავი როტორის შემთხვევაში ის როტორის კარგვების გამოკლებით ტოლია მექანიკური სიმძლავრისა ( $19 r_2$  -ში გამოყოფილი ენერგიისა) სიმძლავრის ის ნაწილი კი, რომელიც გამოიყოფა ნამდვილად სითბოს სახით როტორის რეალურ აქტიურ წინააღობაში  $1r_2$  ცხადია წარმოადგენს კარგვების როტორისეულ ნაწილს.

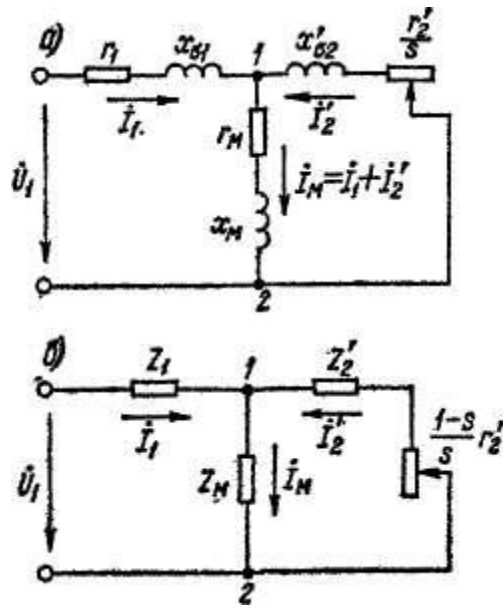
აემ-ის ძაბვათა განტოლებები და შენაცვლების სქემა. ტრანსფორმატორთან ანალოგიით მაგნიტური კარგვების უგულებელყოფისას და იმის გათვალისწინებით, რომ ტრ-ისაგან განსხვავებით მეორადი გრაგნილი აემ-ში ნორმალურად ყოველთვის დამოკლებულია ძაბვების განტოლებას სტატორისა და როტორის ერთი ფაზისათვის ექნება სახე:

$$U_1 = r_1 I_1 + jX_{\sigma 1} I_1 + jX_{r1} I_1 + jX_{r21} I_2 \quad (24-25)$$

$$0 = r_2 I_2 + jS X_{\sigma 2} I_2 + jS X_{r2} I_2 + jS X_{r12} I_1 \quad (24-26)$$

აქ:  $U_1$  პირველადი ფაზური ძაბვა;  $I_1, I_2$  პირველადი და მეორადი ფაზური დენებია;  $r_1, r_2$  პირველადი და მეორადი ფაზების აქტიური წინაღობებია;  $x_{\sigma 1}, x_{\sigma 2}$  ფანტვის ინდუქტიური წინაღობებია;  $x_{r1}, x_{r2}, x_{r12}, x_{r21}$  საკუთარი თვით და ურთიერთინდუქციური წინაღობებია. ტოლობებში ბოლო ორ წევრთა ჯამი შებრუნებული ნიშნით წარმოადგენენ სათანადო პირველად და მეორად თვითინდუქციე ემმ-ებს:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_1 &= -(jx_{r1}I_1 + jx_{r21}I_2); \\ \dot{E}_2 s &= s\dot{E}_2 = -(jsx_{r2}I_2 + jsx_{r12}I_1). \end{aligned} \right\} \quad (24-27)$$



ნახ. ა-6. აემ-ის შენაცვლების სქემები

ძაბვათა განტოლებებს შემდეგი სახე აქვთ:

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 I_1 + jx_{\sigma 1} I_1 + jx_{r1} (I_1 + I_2'), \\ 0 &= \frac{r_2'}{s} I_2' + jx_{\sigma 2} I_2' + jx_{r1} (I_1 + I_2'). \end{aligned} \quad 24-40$$

მამრავლი  $S$  აღრიცხავს რეალური მბრუნავი როტორის სიხშირის გავლენას უძრავ როტორთან შედარებით. თუ როტორის გრაგნილს შევცვლით ელექტრომაგნიტურად მისი ექვივალენტური ხვევებიანი გრაგნილით ისე, რომ მისი ხვიათა რიცხვი სტატორის გრაგნილის ხვიათა რიცხვის ტოლი იყოს, ხოლო გრაგნილის გეომეტრიას და მოცულობას (ფორმას) არ დავარღვევთ მაშინ მივიღებთ ე.წ. დაყვანილ გრაგნილიან აემ-ს, რომლის ამ განტოლებათა ბოლო ნაწილები შებრუნებული ნიშნით წარმოადგენენ თვითინდუქციის ემმ-ებს, რომლებიც გრაგნილის დაყვანის გამო ფორმალურად ტოლნი არიან. სათანადო შენაცვლების

სქემას მაგნიტური კარგების გათვალისწინებით აქვთ ნახ. ა-6.-ზე გამოსახული სახე. ორგზის დაყვანის შედეგად მბრუნავი მანქანა, მაშინაც კი, როცა მას მშ როტორი აქვს გამოისახება ტრანსფორმატორის ანალოგიური შენაცვლების სქემით. მთელ რეალურ განსხვავებას კი განასახიერებს მეორადი გრაგნილის წინაღობის მაგიერ მისი წინაღობის განაყოფი სრიალზე. შენაცვლების ბოლო სქემა განსხვავდება წინასაგან იმით, რომ როტორის გაერთიანებული წრედის წინაღობისგან როტორის მექანიკური სიმძლავრის შესაბამისი წინაღობის ნაწილი ცალკეა გამოყოფილი. შენაცვლების სქემის ანალიზი გვამღევს, რომ აემ-ის დამაგნიტების შტოს წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად ნაკლებია ტრ-ისაზე, რაც აიხსნება საჰაერო ღრეჩოს არსებობით. ასევე დამაგნიტების დენი და უქმი სვლის დენი გაცილებით მეტია ტრ-ისაზე და აღწევს ნომინალური დენის 30-40 %.

აემ-ის მუშაობის ძრავული რეჟიმი ( $1 > S > 0$ ). აემ ქსელიდან იღებს აქტიურ სიმძლავრეს:

$P_1 = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1$  (24-67) ამ სიმძლავრიდან ნაწილი იკარგება პირველადი გრაგნილის აქტიურ წინაღობაში:  $m=3$  ფაზათა რიცხვია

$$P_{\Sigma 1} = m_1 I_1^2 r_1, \quad (24-68)$$

და მაგნიტურ კარგებში

$$P_{M1} = m_1 I_M^2 r_M = \frac{m_1 E_1^2}{r_M} = \frac{m_1 U_{12}^2}{r_M}. \quad (24-69)$$

ამ კარგებს გადარჩენილი მთავარი ნაწილი გადაეცემა სტატორიდან როტორს მაგნიტური ველების ურთიერთქმედებით და ეს არის ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე

$$P_{\Sigma M} = P_1 - P_{\Sigma 1} - P_{M1} \quad (24-70)$$

$$P_{\Sigma M} = m_1 I_2^2 \frac{r_2'}{S} = m_2 I_2^2 \frac{r_2}{S}. \quad (24-71)$$

ამ სიმძლავრიდან ნაწილი  $P_{\Sigma 2}$  იკარგება როტორის გრაგნილში აქტიურ წინაღობაში

$$P_{\Sigma 2} = m_1 I_2^2 r_2' = m_2 I_2^2 r_2. \quad (24-72)$$

დიდი ნაწილი კი გარდაიქმნება მექანიკურ სიმძლავრედ

მექანიკური სიმძლავრე, რომელსაც გვამღევს ძრავი ლილვზე:

$$P_{\text{მხ}} = P_{\text{ფმ}} - p_{\text{ფ.12}} \quad (24-73)$$

$$P_{\text{მხ}} = m_1 I_2^2 r_2' \frac{1-s}{s} = m_2 I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s}. \quad (24-74)$$

ამ სიმძლავრიდან მცირედი ნაწილი - ხმარდება თვით როტორის მექანიკურ კარგვებს (საკისრებში, ვენტოლატორებში, საკონტაქტო რგოლებზე, როტორის ფოლადის მაგნიტური კარგვები, დამატებითი კარგვები მაღალი ჰარმონიკებისაგან და მათი გამოკლების შემდეგ რჩება სასარგებლო სიმძლავრე, რომელიც მოხმარდება მუშა მექანიზმს და რომლისთვისაც განკუთვნილია თვით ძრავა.

$$P_2 = P_{\text{მხ}} - p_{\text{მხ}} - p_{\text{რ}}. \quad (24-75)$$

ხოლო ჯამური კარგვები, სასარგებლო მექანიკური სიმძლავრე და მქც სათანადო

$$p_{\Sigma} = p_{\text{ფ.11}} + p_{\text{მრ}} + p_{\text{ფ.12}} + p_{\text{მხ}} + p_{\text{რ}}$$

$$P_2 = P_1 - p_{\Sigma}. \quad (24-76)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{p_{\Sigma}}{P_1}. \quad (24-77)$$

ტოლობებიდან 24-71; 24-72; 24-73 გამომდინარეობენ შემდეგი მნიშვნელოვანი თანაფარდობანი:

$$p_{\text{ფ.12}} = s P_{\text{ფმ}}, \quad (24-78)$$

$$P_{\text{მხ}} = (1-s) P_{\text{ფმ}}. \quad (24-79)$$

ანუ მაღალი მქც-ს მისაღებად საჭიროა სრიალი იყოს მინიმალური, რაც მაშინ მიიღწევა, როცა როტორის წრედის აქტიური წინაღობა მინიმალურია.

აემ-ის მუშაობის რეჟიმები. აემ-ში, როგორც მდმ-ში გვაქვს ძრავული- ( $S = 0 \div 1$ ); გენერატორული - ( $S = 0 \div -\infty$ ) და წინაღჩართვის (სამუხრუჭო) - ( $S = 1 \div \infty$ ). გენერატორული რეჟიმი მიიღწევა თუ აემ-ს ლილვზე მივანიჭებთ ბრუნვის მიმართულების გარე მომენტს, მაშინ ამ მომენტის სიდიდის გადიდებით გადიდდება აემ-ის, როგორც გენერატორის, მკვებავი ქსელისათვის მიწოდებული აქტიური სიმძლავრე, მაშინ როცა რეაქტიულ ანუ დამამაგნიტებელ სიმძლავრეს ის კვლავ ქსელიდან ღებულობს. აქტიური სიმძლავრის რეგულირება მხოლოდ მიწოდებული მომენტის რეგულირებით შეიძლება. სამუხრუჭო რეჟიმი გვაქვს მაშინ, როცა ძრავს გარე ძალის მოქმედებით, რომელიც აღემატება როტორის მებრუნ მომენტს



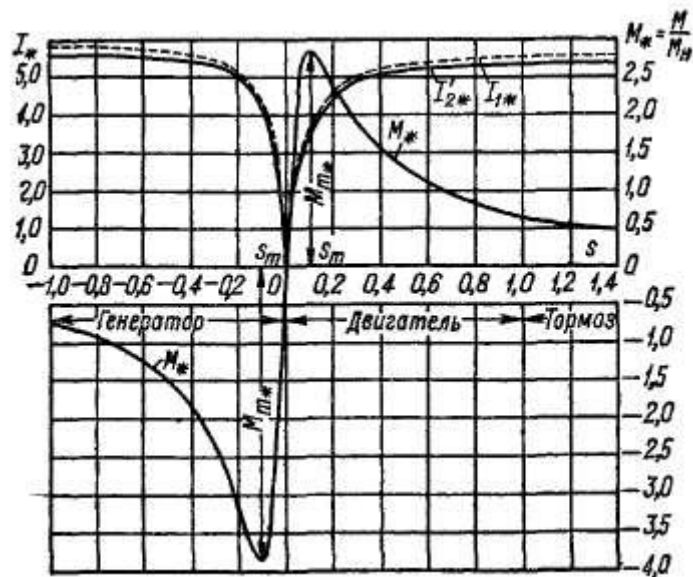
ვაბრუნებთ ბრუნვის საწინააღმდეგოდ. ასეთივე რეჟიმი ძრავის ავტომატური დამუხრუჭების მაგალითი, როცა მოძრავი ამძრავის სწრაფად გაჩერებისათვის ძრავის ველის მიმართულებას შეცვლიან და მოძრავი ამძრავის მექანიკური ინერციის ენერგია გამოიყოფა როტორის გრაგნილში კარგების სახით და სტატორიდან გადმოცემული ელექტრომაგნიტური სიმძლავრეც გამოიყოფა სტატორის გრაგნილში. ბრუნთა რიცხვის ნულთან მიახლოებისას ძრავის უკან დატრიალების აღსაკვეთად სტატორს სწრაფად ამორთავენ. აღნიშნულის გამო ეს რეჟიმი მეტად მძიმეა ძრავის გახურების თვალსაზრისით. ძრავის სწრაფი რევერსირების დროსაც, როცა ძრავის გაჩერებას არ ელოდებიან, ცხადია დასაწყისში ადგილი აქვს სამუხრუჭო რეჟიმს.

**ნამდვილი მშ რეჟიმი** ტრ-ისაგან განსხვავებით არ იწვევს ავარიულ დენებს და მიიღება დამუხრუჭებულ როტორიანი ძრავის ძალზე მცირე დროით უშუალო მიერთებით ქსელის ძაბვაზე. გრაგნილების დენი აღწევს ნომინალურის ( $5 \div 7$ ) მნიშვნელობას, რადგან ჩვეულებრივ აემ-ში მშ წინაღობის ფარდობითი მნიშვნელობა  $z_{k*} = 0,14 \div 0,2$ . ასეთი რეჟიმი, თუმცა კი ძალზე ხანმოკლეა, გვაქვს ძრავის ყოველ ჩართვისას, ხოლო რევერსისას გვაქვს გაცილებით მძიმე - ხანმოკლე სამუხრუჭო რეჟიმი.

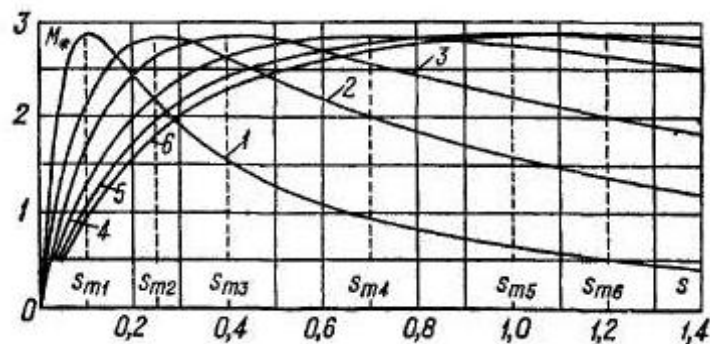
**აემ-ის დენი და ელექტრომაგნიტური მომენტი** გამოითვლება შენაცვლების სქემის საფუძველზე. აქ მოვიყვანთ მხოლოდ ამ სიდიდეთა გრაფიკებს სპილენძის დამოკლებულგრაგნილიან როტორის შემთხვევისათვის. ამასთანავე ავღნიშნავთ, რომ აემ-ის მომენტი პირდაპირპროპორციულია მკვებავი ძაბვის კვადრატის და მით მცირეა, რაც დიდია სტატორის აქტიური და ინდუქტიური წინაღობა. მომენტის მაქსიმუმის შესაბამის სრიალს ეწოდება კრიტიკული სრიალი. მომენტისა და დენების ასეთი თავისებური ფორმა განპირობებულია მეორად დენსა და მეორად ძაბვას შორის კუთხის

არსებობით, რომელის კოსინუსი ძლიერაა დამოკიდებული სრიალზე. ეს კუთხე მინიმალურია ძალიან დაბალ სიხშირეებზე ( $S = 5 \div 15$ ) %. გაზრდილ სიხშირეებზე დიდი ინდუქციური წინაღობის გამო (პროპორციულია სიხშირისა) და მცირედ ცვლადი აქტიური წინაღობის გამო კუთხე დიდია და კოსინუსი მცირე. რაც შეეხება მაქსიმალურ მომენტს ისიც მკვებავი ძაბვის კვადრატის პროპორციულია, და პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული როტორის წრედის წინაღობაზე, დიდი სიზუსტით უკუპროპორციულია ინდუქციური წინაღობისა, და გენერატორულ რეჟიმში ცოტათი მეტია ძრავულთან შედარებით. თუმცა მომენტის მაქსიმუმი არაა დამოკიდებული როტორის წრედის აქტიურ წინაღობაზე, სამაგიეროდ მისი მაქსიმუმის დადგომის სრიალი (კრიტიკული სრიალი) პროპორციულია ამ წინაღობისა. მაქსიმალური მომენტის ჯერადობა ნორმალური შესრულების აემ-ში  $k_m = 1,7 \div 3,0$  და კრიტიკული სრიალი  $s_m = 0,06 \div 0,15$ . მეორადი დენის ფარდობითი მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება მაქსიმალურ მომენტს სათანადოდ იცვლება  $2,5 \div 3,5$

ფარგლებში. ბუნებრივი და აქტიური წინაღობის სხვადასხვა მნიშვნელობათა შეყვანით როტორის წრედში მიღებული მრუდები მოცემულია ნახ. 25-3-ზე.



ნახ. 25-1 პირველადი და მეორადი დენების და მომენტის სრიალზე დამოკიდებულების მრუდები



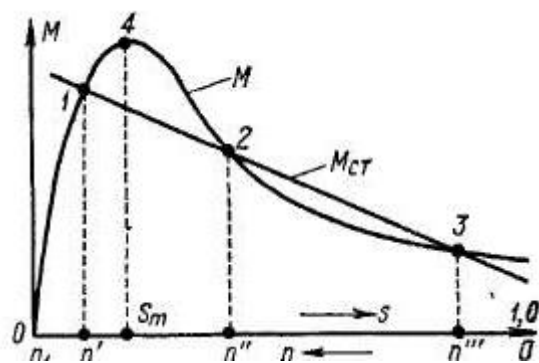
ნახ. 25-3. მომენტის მრუდების ოჯახი:  $M^*$  - ბუნებრივი); 2-6 წინაღობის შეყვანით.

მრუდების ოჯახი აგებულია შემთხვევებისათვის:  $r_2$  შედგება მხოლოდ როტორის გრავნილის წინაღობისაგან (მრუდი 1); + დამატებითი რეოსტატისაგან (ფაზური როტორიან ძრავაში, მრუდები 2 ÷ 6). ამ მრუდებს ეწოდება მექანიკური მახასიათებლები. ყველაზე უკეთესი მდგომარეობა ანუ მომენტის მაქსიმუმი არ აღემატება სამმაგ ნომინალურ მომენტს. გავიხსენოთ, რომ მდმ-ში მაქსიმალური მყისიერი მომენტი 20 და მეტჯერ აღემატება ნომინალურს, თუმც კი ამ ჯერადობას ჩვენ დიდი დენის გამო ხელოვნურად ვაქვეითებთ. აემ-ში კი ამ ჯერადობას სამზე მეტად ძალიანაც რომ მოვიწოდოთ, ვერ გავადიდებთ. ამგვარად მეორად დენსა და

ფაზას შორის კუთხე გვევლინება მაქსიმალური მომენტის შემზღვეველ ფაქტორად. ფაზური როტორიანი ძრავიც კი მაქსიმალური მომენტით და ამუშავების დენის სიმცირით მნიშვნელოვნად ჩამოუვარდება მდმ-ს, რადგან აემში თუ მეორადი წრედის კოსინუსი წინააღობის შეყვანით შეიძლება ავწიოთ ერთამდე, პირველადი ანუ მთელი ძრავის კოსინუსს ვერანაირად ვერ ავწევთ ერთამდე. ე.ი. მდმ-ში მთელი დენი სუფთად (კარგების გარდა) ხმარდება მაქსიმალურ მომენტს, ხოლო ასინქრონულში მაქსიმალურ მომენტს ხმარდება დენის მხოლოდ ნაწილი მაქსიმუმ 90 % (ისიც მძლავრ ძრავებში).

**აემ-ის გაშვება.** უმრავლეს შემთხვევებში გაშვებას (ამუშავებას) ახდენენ პირდაპირი მიერთებით ქსელზე. გაშვების დენი 5-7 ჯერ აღემატება ნომინალურს. გაშვებისთვის აუცილებელი პირობაა, რომ დატვირთვის მომენტის მახასიათებელი უნდა კვეთდეს ძრავის მექანიკურ მახასიათებელს მხოლოდ ერთ წერტილში მის აღმავალ უბანზე (ნახ.25.5). თუ გადაკვეთა ხდება სხვა უბანშიც, მაშინ ეს გამოიწვევს ძრავის „გაჩხერვას“ დაბალ ბრუნვებზე, რაც ტოლფასია იმისა, რომ ძრავი დარჩება რეალურად მოკლედ ჩართული და თუ დაცვა არაა გამართულ მდგომარეობაში რამდენიმე ათეულ წამში ის მწყობრიდან გამოვა გახურების გამო: თუ დაცვა არ იმოქმედებს, მაშინ ძრავი გადაიწვება და დაამოკლებს მთელ წრედს. თუ ძრავის დატვირთვა ცვალებადია, მაშინ შესაძლებელია, რომ მუშაობის დროს დატვირთვა გადაემეტოს მის მაქსიმალურ მომენტს და ძრავი გაჩერდება და ამ დროს გამოსცემს დამახასიათებელ „ზუზუნს“, ანუ ძრავი მოკლედაა ჩართული და დაცვამ ის უნდა ამორთოს. უნდა გვახსოვდეს, რომ ასინქრონული ძრავის სუსტი ადგილია მისი ამუშავება და მისთვის ყველაზე უკეთესია დატვირთვა თავიდანვე არ იყოს დიდი, ან უარეს შემთხვევაში **გარანტირებულად ნაკლები იყოს** ძრავის მინიმალურ მაბრუნ მომენტზე, რომელიც ხშირად გაშვების ( $t = 0$ ) დროს კი არ ემთხვევა, არამედ მდებარეობს  $S=1$  წერტილთან ახლოს ( $S \approx 4/5$  წერტილზე). ყოველივე ამასთან ერთად არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ აემ ყველაზე მარტივი, იაფი და საიმედო ძრავია, ამიტომ სადაც კი შესაძლებელია მხოლოდ ის უნდა იყოს გამოყენებული.

რაც შეეხება მექანიკურ მახასიათებლის ფორმას, ის ხისტია და დატვირთვის მომატებით სიჩქარე მცირედით იცვლება.



## 25.5. ასინრონული ძრავის მექანიკური (M) და წინააღმდეგობის მომენტის Mct მახასიათებლები (ძრავი „გაეჩხირება“ წერტილ 3-ზე)

ამუშავების მეორე მნიშვნელოვანი ფაქტორია ამუშავების დენის დიდი ჯერადობა, რაც, მართალია ხანმოკლე დროით, ზედმეტად ტვირთავს ქსელს და თუ ქსელის ომური წინაღობა არაა საკმარისად მცირე გაშვების დროის მანძილზე მნიშვნელოვნად დაადაბლებს ქსელის ძაბვას. ეს მოვლენა ზოგჯერ გვაიძულებს გავართულოთ გაშვების სქემა და მოვახდინოთ არა პირდაპირი გაშვება, ანუ შევზღუდოთ დენი რაიმე საშუალებით. ყველაფერი ეს კი უნდა მოხდეს იმის გათვალისწინებით, რომ აემ-ს ძაბვის ნომინალური სიდიდის დროსაც არა აქვს დიდი საწყისი მომენტი და მით უმეტეს, როცა შევზღუდავთ გაშვების დენს. დადაბლებული ძაბვა ცხადია იმდენ მინიმალურ მატრუნ მომენტს უნდა უზრუნველყოფდეს, რომ წინააღმდეგობის მომენტის მრუდი სადმე არ შეეხოს შეზღუდული ძაბვის შესაბამის მექანიკურ მახასიათებელს. გაშვების დროს დენის შეზღუდვის ხერხებიდან ყველაზე გავრცელებულია ნორმალურად სამკუთხად შეერთებული ძრავის გაშვების პერიოდის მანძილზე ვარსკვლავად შეერთებაზე გადართვა და ისეც სამკუთხედზე დაბრუნება. მატრუნი მომენტი და მოხმარებული დენი ამ დროს დადაბლდება 3 - ჯერ. თუ ძრავი უკვე ისეც ვარსკვლავადაა შეერთებული ან გვაქვს მხოლოდ სამი გამომყვანი, მაშინ დენი შეიძლება შეიზღუდოს ავტოტრანსფორმატორიდან მისი კვებით დადაბლებულ ძაბვაზე, მხოლოდ გაშვებისას. სხვა ხერხებმა ( რეოსტატით, რეაქტორით, ტირისტორული გამშვებით) ვერ ჰპოვეს დიდი გავრცელება.

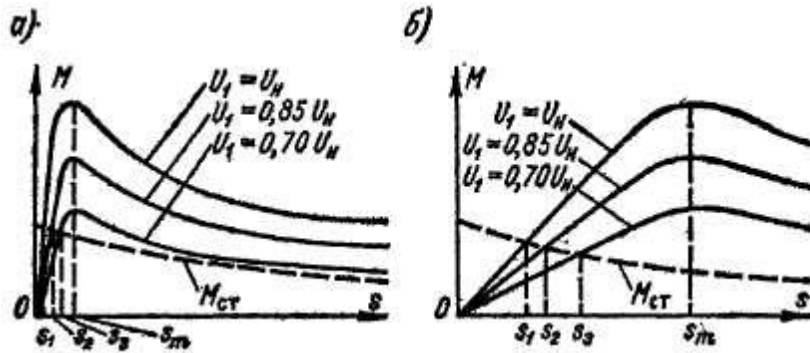
თუ ძრავი ფაზურროტორიანია, მისი გაშვება ყველაზე უკეთესია ქსელზე პირდაპირ მიერთებით, ხოლო მეორად (როტორის გრაგნილში) რეოსტატის შეყვანით. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ძრავს მთელი გაშვების პერიოდში განვავითარებინოთ თითქმის მაქსიმალური მატრუნი მომენტი , ხოლო დენი ამ დროს არ გადაემეტოს ორმაგ ნომინალურ დენს.

იმის გამო, რომ ქსელში ზოგჯერ შესაძლოა ძაბვის ხანმოკლე, მაგრამ მნიშვნელოვანი დადაბლება ან სულაც გამორთვა, თუ ძრავის გაშვება ავტომატიზებული არაა მაშინ აუცილებელია ნულოვანი დაცვის მოწყობა, რათა არ მოხდეს ძრავის თვითნებური უკონტროლებელი (განმეორებითი ჩართვა ძაბვის აღდგენისას).

**ბრუნთა რიცხვის რეგულირება** მშ როტორიან აემ-ში შესაძლებელია: 1. მკვებავი ძაბვის სიხშირის შეცვლით; 2. სტატორის გრაგნილის გადართვით პოლუსთა სხვა რიცხვზე; 3. ძაბვის შემცირებით მცირე ფარგლებშია შესაძლებელი და ის დამყარებულია მექანიკური მახასიათებლის ფორმის ცვლილებაზე. პირველი ხერხი ძვირია (ძრავის ფასის ტოლია ან მეტი), თუმცა ეს მეთოდი მაინც ვერ იძლევა დიდ გაშვების მომენტს ამიტომ მხოლოდ სტაბილურ დატვირთვების დროს გამოიყენება. გაშვების დენი ახლოა ნომინალურ დენტან. საერთოდ როცა პრაქტიკულად საჭიროა ძრავის კვების სიხშირის მცირეოდენი შეცვლა (მაგ. 50 /60-ზე ან პირიქით), საჭიროა

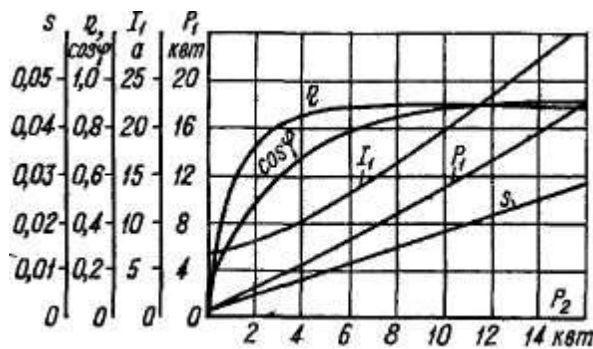
მკვებავი ძაბვის უკუპროპორციულად შეცვლაც. ეს კრიტერიუმი, რა თქმა უნდა, დაცულია პირველი ხერხის შესაბამის სიხშირის კონვერტორებში.

პოლუსთა რიცხვის შეცვლა შესაძლებელია მხოლოდ პროპორციით 1:2; 2 : 4; 4 : 8; 6: 12 და პირუკუ. სამი ან ოთხი სიჩქარის მისაღებად სტატორში უნდა გვექონდეს ორი გრაგნილი. ასეთი ძრავები მახასიათებლებით ჩამოუვარდებიან ერთსიჩქარიან ძრავს. მესამე ხერხის პრინციპი მოყვანილია ნახ. 28. 10. (ა). ამ პრინციპით რეგულირების საზღვრების გაფართოება შესაძლოა ისეთი ძრავის გამოყენებით, რომელსაც სპეციალურად მომეტებული წინაღობა აქვს როტორის მშ გრაგნილში (ბ).



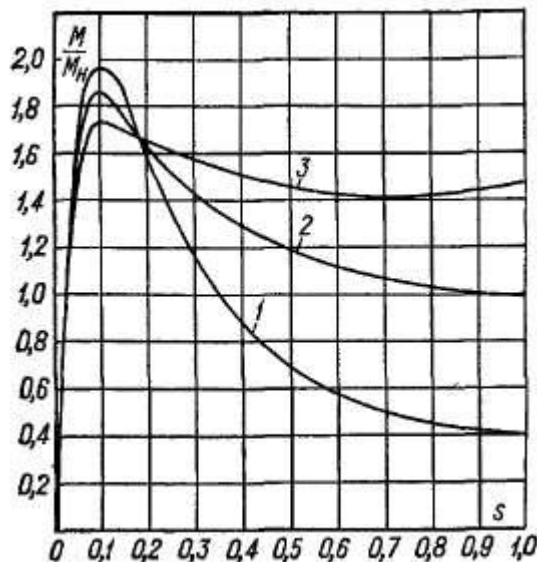
ნახ. 28.10. მესამე სიჩქარის ხერხით რეგულირება

პრაქტიკაში გამოყენებას პოულობს აგრეთვე ასინქრონული ძრავი ფაზური როტორით, რომელიც რთულია კონსტრუქციულადაც, ძვირიცაა და ოდნავ ნაკლებ საიმედოც, მაგრამ მდმ-თან შედარებით მეტი საიმედოა და ექსპლუატაციაში მარტივი. მაგ. ამწე მექანიზმებში, ხიდების აწევისას, აგრეთვე როგორც ძაბვის რეგულატორი, სიხშირის გარდამქმნელი და აშ. ფაზურ როტორიან მანქანაში შესაძლებელია როტორის წრედში რეოსტატის შეყვანა, რაც იწვევს მექანიკური მახასიათებლის მნიშვნელოვან ცვლილებას (ნახ. 25.3). ეს მახასიათებელი საშუალებას იძლევა გადაწყდეს: გამშვიდების სიდიდის პრობლემა; გამშვიდების მომენტის სიძვირის პრობლემა; ბრუნთა რიცხვის მესამე ხერხით რეგულირებისას სიჩქარის დიაპაზონის პრაქტიკულად შეუზღუდავად გაზრდა (იხ. ნახ. 28.10. (ბ). თუმც კი როტორის დამატებით წინააღობაში კარგვების ქონით, რაც ამცირებს მქკ-ს.



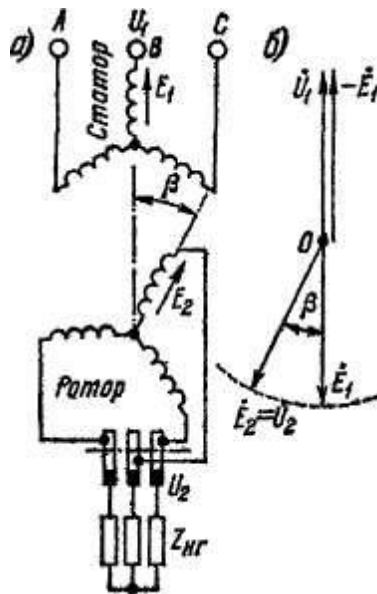
ნახ.26-13. აემ-ის მუშა მახასიათებლები

აემ-ის ნაკლოვანებათა აღმოფხვრის მიზნით ფაზურროტორიან ძრავზე გადასვლის გზაზე შუალედური ტექნიკური გადაწყვეტაა ე.წ. ღრმა ღრმულებიანი და ორმაგი ციყვის ბორბლიანი ძრავა. ამ შემთხვევაში როტორის ღრმულები ძალზე ღრმაა ან მასში ორი ციყვის ბორბლის ღეროა (სიმაღლეზე) მოთავსებული. გარე ციყვის ბორბალი ახლოა სტატორის გრაგნილთან, ხოლო შიგა შედარებით მოშორებულია, რის გამოც ფანტვის ნაკადები და სათანადო რეაქტიული წინაღობები ამ ორი ციყვის ბორბლისა ერთმანეთისაგან საკმაოდ განსხვავებულნი არიან. ქვედა მშ გრაგნილი მცირე ომური წინააღმდეგობის მასალისაგან მზადდება, ხოლო ზედა გადიდებული წინააღმდეგობის მასალისაგან. ამუშავების დასაწყისში, როცა როტორის დენის სიხშირე მაღალია (50 ჰერცთან ახლოა) დენის გამოდევნის ეფექტის გამო შიგა ღეროებში დენი ეკრანირებულია და დატვირთულია გარე ღეროები, ანუ მოძრაობის დასაწყისში როტორის წინაღობა გადიდებულია (ფაზური როტორის მსგავსად), რაც იწვევს მომენტის მრუდის დახრილობის შემცირებას ( მომენტის მრუდის დაბალ სიჩქარიანი ნაწილი გაცილებით მაღლაა, გამშვი მომენტი დიდია). სიჩქარის მომატების კვალობაზე სიხშირე იკლებს, გამოდევნის ეფექტიც მცირდება და მომენტის მაქსიმუმიც მცირედითაა ნაკლები ბუნებრივ მაქსიმუმზე (დენი უკვე ტვირთავს შიგა ღეროებს, იქ კი მცირე წინაღობა გვაქვს და მახასიათებელი იღებს თითქმის ბუნებრივ ფორმას. უბრალო ღრმა ღრმულების დროს გვაქვს საშუალოდ მდგომარეობა ბუნებრივსა და ორმაგ ღეროვან გრაგნილს შორის. სათანადო მრუდები მოყვანილია ნახ.27-4.- ზე. ასეთი აემ კონსტრუქციითაც მარტივია და რეგულირების თვისებაც გაფართოებული აქვს. ამ გადაწყვეტილების ნაკლია შედარებით დაბალი მქკ. გავიხსენოთ: ფაზური როტორის დროს შესაძლებელია აქტიური წინაღობის სრულიად ამორთვა, ამის გამო მისი მქკ ისეთივეა როგორც მშ როტორიანი ძრავისა.



ნახ. 27-4. სიჩქარის მრუდები: 1-ბუნებრივი; 2 ღრმაღრმულებიან გრაგნილში; 3 ორღეროიან გრაგნილში

ძაბვის რეგულირება ფაზურროტორიან აემ-ში ხორციელდება შემდეგი მარტივი სქემით:



როტორი დამუხრუჭებულია და შესაძლებელია მისი მხოლოდ  $180^\circ$  მდე მობრუნება, მაგ. ჭია გადაცემის საშუალებით. ამ დროს ცხადია ცვლება როტორის ემძ-ს ვექტორის ფაზაც. თუ მეორედ გრაგნილს ავტოტრანსფორმატორულად დავუკავშირებთ (მიმდევრობით შევაერთებთ სტატორის გრაგნილთან) და კვებას მივცემთ სტატორის მხრიდან მაშინ გამოძვალა ფაზური ძაბვა იქნება სტატორის ძაბვისა და როტორის ძაბვების ჯამის ტოლი. მისი მაქსიმუმი იქნება როცა ეს ვექტორები ფაზით ერთმანეთს ემთხვევიან, მინიმუმი კი როცა ფაზა საპირისპიროა და თუ ეს ძაბვები ტოლია, მაშინ ჯამური მინიმალური ძაბვა იქნება 0.

სიხშირის გარდასახვისათვის კი როტორს აბრუნებენ დამხმარე ძრავით ველის ან მის საპირისპირო მიმართულებით. ამ უკანასკნელის მიხედვით მივიღებთ შესაბამისად სტატორის სიხშირეზე მეტ ან ნაკლებ სიხშირეს. ასეთი გადაწყვეტა ამჟამადაც გამოიყენება 50/60 ; 60/50; 50 ან 60- დან 200 ან 400 ჰერცის მისაღებად. ამ ხერხით სიხშირის მდორე რეგულირებაც შეიძლება, თუ დამხმარე ძრავის ბრუნვათა რიცხვს მდორედ ვარეგულირებთ.

მიკრო სიმძლავრეების დროს 600 ვატზე დაბლა გამოყენებას პოულობს ერთფაზა ძაბვაზე მომუშავე ძრავები. არსებობს სხვადასხვა მარტივი სქემები: ორფაზა სიმეტრიულ გრაგნილიანი; ორფაზა არასიმეტრიულ გრაგნილიანი; ეკრანირებულ პოლუსებიანი და ა.შ. პირველი ორი სქემის დროს ორივე ფაზები მუშა გრაგნილებია, ანუ კონდენსატორის გამოყენებით ერთფაზა კვების ძაბვიდან მიიღება ორფაზა სისტემა. ხოლო მეორე სქემის დროს შეიძლება სუსტ გრაგნილიანი ფაზა მუშაობდეს მხოლოდ ამუშავების რეჟიმში. ამ დროს მეორე ფაზა შეიძლება მიიღებოდეს სუსტი გრაგნილის ხელოვნურად გადიდებული აქტიური წინაღობით. ეს გრაგნილი ავტომატურად ითიშება სიჩქარეზე გასვლისთანავე. ეკრანირებულ პოლუსებიანი

ძრავები კი ძალზე მცირე სიმძლავრეების დროს გამოიყენება; მათ მხოლოდ ერთი ფაზა აქვთ, ხოლო მეორე ფაზა მიიღება პოლუსის ნაწილის ირგვლივ მშ ხვიის მოთავსებით. მაგნიტური ნაკადი დაუეკრანებელ და დაეკრანებულ ნაწილებში ფაზით 40-70°-მდე განსხვავდებიან. ეს ხვია მუდამ მოკლედაა ჩართული, ამიტომ ამ ძრავს ყველაზე დაბალი მქკ აქვს (0,1 დან 0,25) მდე.

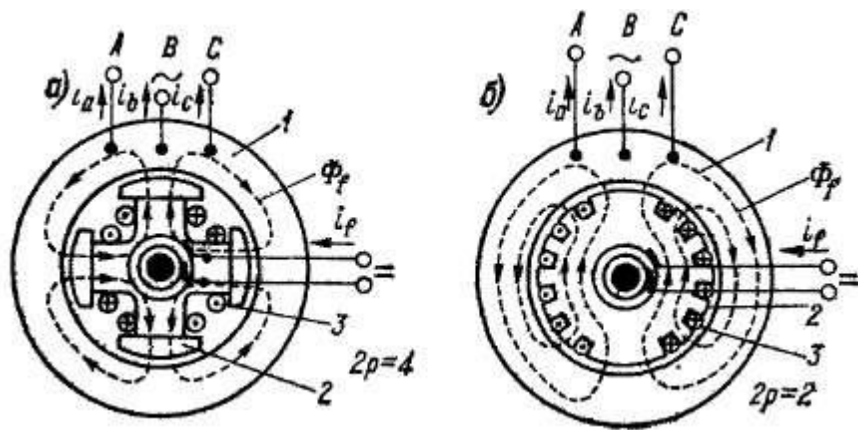
**ერთფაზა კვებაზე შეიძლება ვამუშაოთ ჩვეულებრივა სამფაზა ძრავაც.** პრობლემას ის ქმნის, რომ სამფაზა ძრავას ერთფაზა კვებისას არ აქვს საწყისი მბრუნე მომენტი, ხოლო ნულისაგან განსხვავებულ ნებისმიერი ნიშნიან სრიალზე უკვე იძენს მბრუნე მომენტს: თუ მას მაგ. ვუბიძგებთ შკივზე დახვეული ზონარის სწრაფო გამოწვევით, თუკი ჩვენს მიერ მინიჭებული სრიალის თანადი მბრუნე მომენტი მეტია წინააღმდეგობის მომენტზე, ის ამუშავდება ნაბიძგი მიმართულებით და იმუშავებს ხანგრძლივ რეჟიმში ოდნავ გაუარესებული მქკ-თი და განავითარებს სამფაზა სიმძლავრის ნახევარს. პრაქტიკულად მექანიკური ბიძგის ნაცვლად გამოიყენება მეორე დამხმარე ფაზის შექმნა კონდენსატორის გამოყენებით. იმისათვის, რომ ძრავმა მოგვცეს დაპირებული ნახევარი სიმძლავრე, გრაგნილზე მოდებული ძაბვა უნდა იყოს ნომინალური. ამის სარეალიზაციოდ საჭიროა გამოვიყენოთ 380/220 ძრავას სამკუთხა შეერთება და მივაწოდოთ ერთფაზა 220 ვ. სამკუთხედის ნებისმიერ ორ წვერზე. მესამე კი სათანადო ტევადობისა, ძაბვისა და მარკის კონდენსატორის გავლით მივაერთოთ 220-იან რომელიმე მომჭერზე. რევერსისათვის საჭიროა ეს კონდენსატორიანი მხარე გადმოვიტანოთ 220-იან მეორე მომჭერზე.

**აემ-ის მუშაობა გენერატორულ რეჟიმში** პრაქტიკაში იშვიათად გამოიყენება, რადგან ვერ უწევს კონკურენციას სინქრონულ გენერატორს. მის ამ რეჟიმში მუშაობას აქვს გარკვეული პერსპექტივა მხოლოდ მცირე ჰესების მოწყობისას, სადაც მას გარკვეულ პირობებში შეუძლია წარმატებით დაჯაბნოს სინქრონული ან სხვა გენერატორები.



## VI. სინქრონული მანქანები

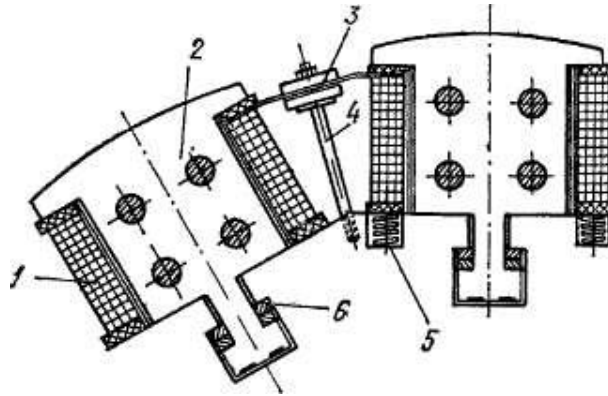
სინქრონულ მანქანაში მბრუნავი ველი და როტორი თანაბარი სიჩქარით და ერთნაირ ტაქტში ბრუნავენ, ამიტომაც მათ სინქრონული მანქანები (ს ე მ) ეწოდებათ. ნორმალურ სინქრონულ მანქანებში ბრუნავს როტორი (ამგზნები ნაწილი), ხოლო ძალური ნაწილი (ღუზა) სტატორზეა მოთავსებული, რათა თავიდან ავიცილოთ დიდი სიმძლავრეების გადაცემის გზაზე მოსრიალე კონტაქტის არსებობა. ს ე მ-ები გამოიყენება ძირითადად ელექტროენერგიის გენერატორებად, სადაც ისინი კონკურენციის გარეშეა და რეაქტიული ენერგიის კომპენსატორებად. შეზღუდული რაოდენობით ს ე მ-ები ძრავადაც გამოიყენება. ს ე მ-ის სტატორი იგივე აგებულებისაა, როგორც აემ-ისა. როტორი კი სრულიად განსხვავებულია და ბევრით წააგავს მდმ-ის ინდუქტორს, იმ განსხვავებით, რომ ეს ინდუქტორი მოძრავია და ამის გამო მისთვის აგზნების სიმძლავრის მისაწოდებლად გააჩნია 2 მოსრიალე საკონტაქტო რგოლი და დენის მიმყვანი მოწყობლობა. ს ე მ-ის როტორი კონსტრუქციულად ორი სახისაა: ცხადპოლუსებიანი ანუ ნელსვლიანი და არაცხადპოლუსა, ანუ სწრაფსვლიანი. როგორც ცნობილია ფორმულით  $f_1 = p \cdot n = p \cdot n_{PM} / 60$ , სადაც  $n_{PM}$  -როტორის ბრუნთა რიცხვია წუთებში, დაბალი სიჩქარის დროს გენერატორში სამრეწველო სიხშირის მისაღებად საჭიროა წყვილ პოლუსთა დიდი რაოდენობა, ამიტომ კონსტრუქცია ცხადპოლუსაა. მაღალ სიჩქარეებზე კი ამავე სიხშირის მისაღებად საკმარისია ერთი ან ორი წყვილი პოლუსი, ამიტომაც კონსტრუქცია არაცხადია.



ნახ. 19-8. ს ე მ-ის (ა) ცხადპოლუსა (ბ) არაცხადპოლუსა, მოწყობის პრინციპი

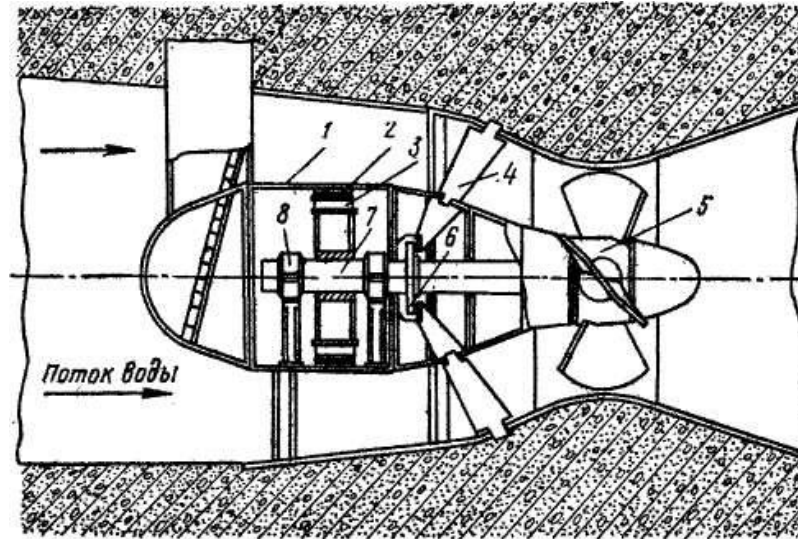
სტატორისა და როტორის ერთმანეთის მიმართ უძრავი ველები ურთიერთმოქმედებენ ერთმანეთზე და ქმნიან ჯამურ მბრუნავ მაგნიტურ ველს. სტატორის ველი, რომელიც ზემოქმედებს მთავარ (როტორის) ველზე, ს ე მ -ში

წარმოადგენს ღუზის რეაქციას (სტატორი ასრულებს ღუზის ფუნქციას), ( მდმ-ში რეაქციას ნაღდი ღუზა ქმნის). სინქრონულ მანქანასაც შეუძლია იმუშაოს, როგორც ძრავმა ან როგორც გენერატორმა. ცხადპოლუსა ს ე მ-ს აქვს გამოკვეთილი ფორმის გამოშვებული პოლუსები (ცხადად), ნახ. 19-8. პოლუსების გულა იკრიფება 1-2 მმ სისქის ფოლადის ფურცლებისაგან და მოიჭიმება სპეციალური ჭანჭიკების საშუალებით



ნახ. 19-10. ცხადპოლუსა ს ე მ-ის პოლუსები: 1-აგზნების გრაგნილი; 2-პოლუსის გულა პოლუსური დაბოლოებით და T-ს მაგვარი კუდიტ; 3- კოჭათაშორისი შეერთება და მისი დამაგრება- 4; 5-გრაგნილის დამწოლი ზამზარა; 6-სოლები

საშუალო და დიდ მანქანებში პოლუსებს ამაგრებენ ლილვის შვერილებზე ან ლილვის მილისაზე ან ისე როგორც ნახ. 19.10-ზეა. მცირე მანქანებში პოლუსები ჭანჭიკებით მაგრდება. აგზნების გრაგნილის კოჭებს ახვევენ ზოლოვანი შიშველი სპილენძისაგან წიბოზე დახვევის წესით და ხვიები ერთმანეთისაგან იზოლირდება საიზოლაციო სადებებით. სინქრონულ ძრავებში პოლუსურ დაბოლოებებზე დატანებულ ღრმულეებში თავსდება გამწვი გრაგნილის ღეროები გადიდებულ წინაღობიანი მასალისაგან (თუთბერი და სხვა), რომელიც ტორსში მიდუღდება საერთო ჩამკეტ რგოლთან (ციყვის ბორბლის მაგვარად). ამგვარი კონსტრუქცია, ოღონდ სპილენძისა, ხშირად გამოიყენება გენერატორებშიც და ასრულებს დამაწყნარებელი ანუ დემპფერული გრაგნილის მოვალეობას. ბოლო პერიოდში პოლუსები მასიური ფოლადის ნაჭედისაგან მზადდება და ამ შემთხვევაში დემპფერის მოვალეობას თვით მასიური პოლუსი ასრულებს, ხოლო პოლუსები ტორსებში ერთმანეთთან ფოლადისვე ზოლებით ერთდებიან. გენერატორებს 10-12 კილოვატამდე სიმძლავრით ზოგჯერ შებრუნებული კონსტრუქცია აქვთ - პოლუსები უძრავია, ხოლო ღუზა მბრუნავი სამი საკონტაქტო რგოლითა და მუსებით. ს ე მ-ის ღერძი ვერტიკალურია ან ჰორიზონტალური. ბოლო პერიოდში გამოიყენებას პოულობენ კაფსულის ტიპის გენერატორები, ნახ. 19-11.

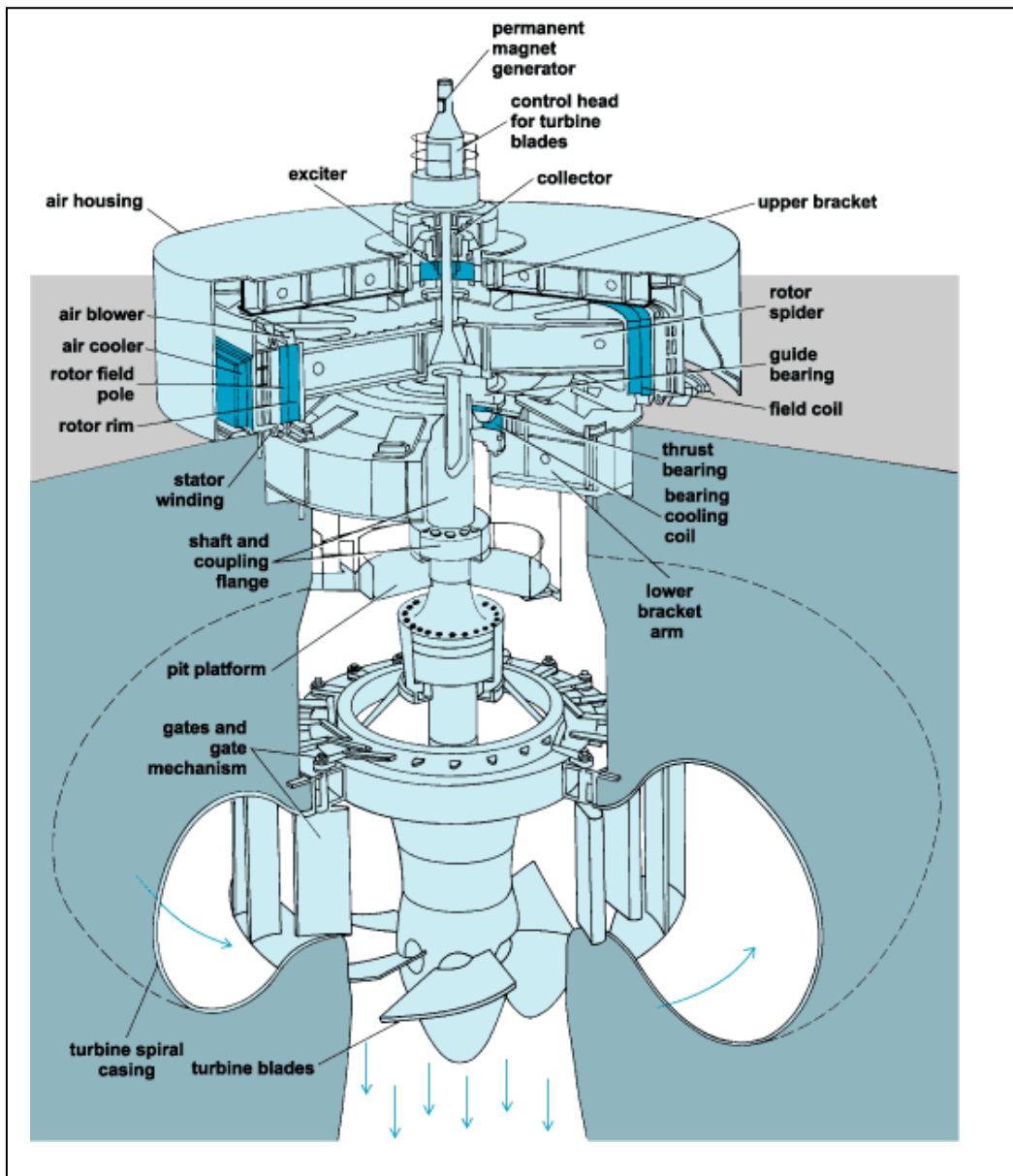


ნახ. 19. 11. კაფსულის ტიპის გენერატორი: 1- კაფსულა; 2-სტატორი; 3-როტორი; 4- მიმმართველი აპარატი; 5- ჰიდროტურბინის როტორი; 6 და 8 საკისარი; 7-ლილვი

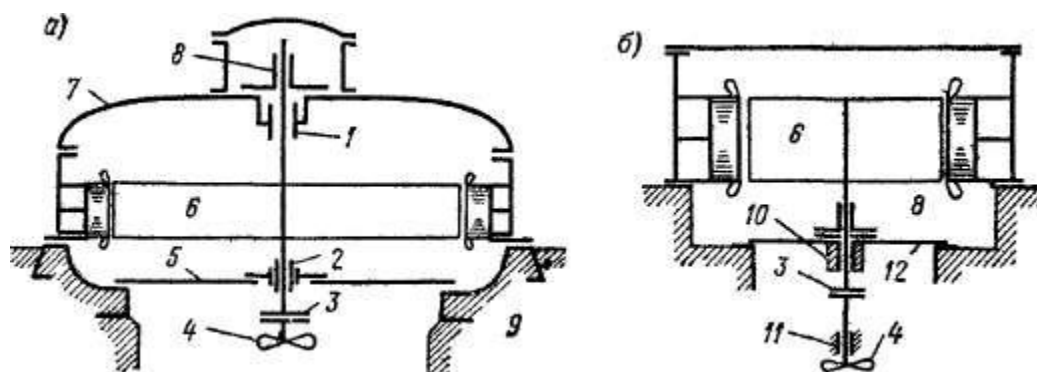
ეს კონსტრუქცია, რომელიც გამოიყენება რამდენიმე ათეულ მეგავატამდე სიმძლავრეზე, გამოიყენება დაბალი დაწნევის სადგურებში და საშუალებას გვაძლევს გავაუქმოთ სამანქანო განყოფილება, სადგური გამოდის კომპაქტური და იაფი.

საერთოდ წყლის ტურბინასთან დაწვეილებულ გენერატორს ჰიდროგენერატორი ეწოდება. მათ აქვთ ცხადპოლუსა კონსტრუქცია და რამდენიმე მეგავატამდე ჰორიზონტალური კონსტრუქციისა არიან.

**ვერტიკალური ჰიდროგენერატორები** (ნახ. 19-12) სმ-ის მნიშვნელოვანი კლასია, სიმძლავრე 500 მეგავატამდეა. ჰიდრო ტურბინებს როგორც წესი დაბალი (60-500) ბრუნის ახასიათებთ. სიჩქარე მით მცირეა, რაც მცირეა დაწნევა და მეტია წყლის ხარჯი. დაბალი სიჩქარის გამო ეს მანქანები უზარმაზარი და მასიურნი არიან, ამიტომ ძალზე რთული უზანა საყრდენი საკისარი, ანუ საქუსლე. მასზე აწვება მთელი მოძრავი მასა და მთელი წყლის ნაკადი. განსაკუთრებით მძიმე რეჟიმია ამუშავება და უფრო მძიმე გაჩერება. როგორც ცნობილია დაბალ სიჩქარეებზე და მით უმეტეს უძრაობისას მოსრიალე ზედაპირებს შორის ზეთის აპკი არ წარმოიქმნება და საქმე გვაქვს მშრალ ხახუნთან. დიდი ინერციის გამო ( რკინიგზის მოძრავ შემადგენლობის მსგავსად) წყლის გადაკეტვის შემდეგ გენერატორის დამუხრუჭება დიდხანს გრძელდება და მის შესამცირებლად დამატებითი მუხრუჭები გამოიყენება. იმისდა მიხედვით მაღლა თუ დაბლაა საქუსლე ეს მანქანები ორგვარია: დაკიდებული (საქუსლე მაღლა) და ქოლგისებური (საქუსლე დაბლა)



ნახ. 19-12. ვერტიკალური ჰიდროგენერატორი:



ნახ- 19-13. დაკიდებული (ა) და ქოლგისებრი (ბ) გენერატორის სქემა

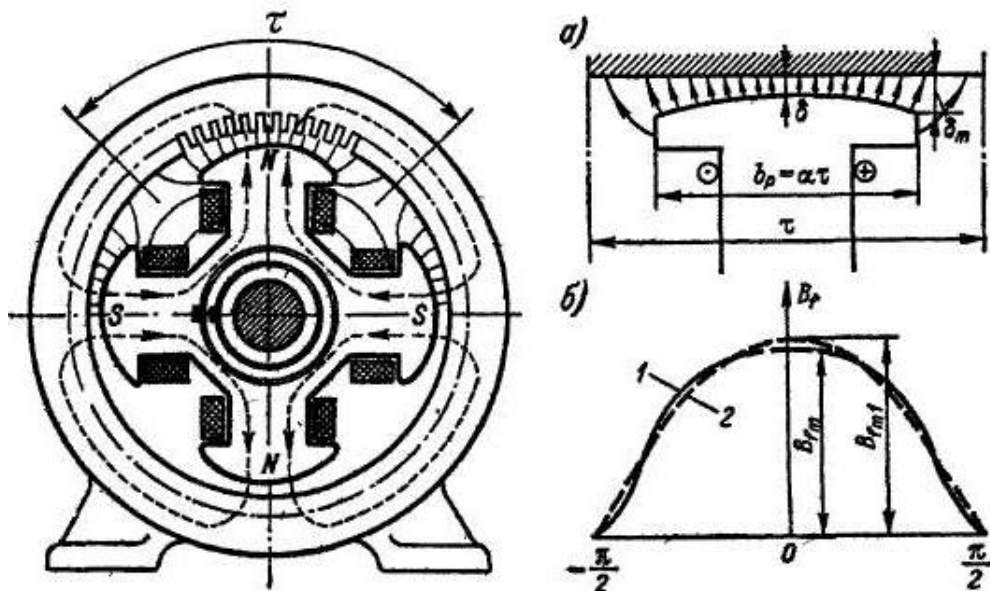
5- ქვედა ჯვარედინა; 7-ზედა ჯვარედინა; 8- საქუსლე; 9-ფუნდამენტი 10 მიმმართველი (რადიალური) საკისარი; 11 ტურბინის რადიალური საკისარი; 12- ქვედა ჯვარედინა

გენერატორის ავარიული ამორთვისას მისი სიჩქარე (დაუტვირთაობის გამო) ძლიერ იმატებს, რადგან დიდი მოძრავი წყლის მასის უეცარი გაჩერება შეუძლებელია (გამოიწვევს დიდი ძალის ჰიდროდარტემებს), ამ დროს მისი სიჩქარე წყლის ნელ-ნელა ჩაკეტვის პეროდში ასწრებს გაორმაგებას და მას გაქანების სიჩქარე ეწოდება, რაზეც გარკვეული მარაგის გათვალისწინებით იანგარიშება მოძრავი ნაწილის მექანიკური სიმტკიცე.

**არაცხად ს ე მ** -ებს აქვს ცილინდრული როტორი, მასიური ფოლადის ნაჭედისაგან. როტორში ამოდარულია ღრმულები აგზნების გრაგნილის მოსათავსებლად. ეს მანქანები 2 ან იშვიათად 4 პოლუსაა და 50 ჰერცის დროს მათ აქვთ 3000 ან 1500 ბრუნნი. ამ სიჩქარეების დროს არაცხადი მსხვილი მანქანების აგება მექანიკური სიმტკიცის შეზღუდულობის გამო შეუძლებელია. ეს მანქანებია ტურბოგენერატორები, რომელთა ამძრავი ორთქლის ტურბინებია. მათი სიმძლავრე 800 მეგავატამდეა, ხოლო როტორის დიამეტრი 1,4 მეტრამდეა. დიდი ცენტრიდანული ძალების გამო როტორის დიამეტრი შეზღუდულია 1,4 მეტრამდე, ამის საკომპენსაციოდ როტორის აქტიური ნაწილი ძალზე გრძელი გამოდის (8,5 მეტრამდე). ზღვრული სიმძლავრის გადიდებისათვის იძულებული არიან გაადიდონ დენის სიმკვრივე, და გაგრილების ინტენსიობა. როტორის გრაგნილი კონცენტრული ერთფაზაა და თავსდება ღრმულებში და ისოლება არამაგნიტური სოლებით (ფანტვის შესამცირებლად). როტორის ყოველ პოლუსის დაახლოებით ერთ მესამედზე ღრმულები არ არის და მას დიდი კბილი ეწოდება. შუბლური ნაწილები მაგრდება სალი რკალისმაგვარი არტახებით. 30 მეგავატამდე ტურბოგენერატორებს აქვთ ჩაკეტილი საჰაერო გაგრილება, უფრო მეტ სიმძლავრეებზე ატმოსფერულზე ცოტა მეტი წნევის (ჰაერის შეღწევის გამოსარიცხად) წყალბადით. 300 მეგავატზე ზევით გაგრილებას ახდენენ წყლით. ამისათვის წყალი ცირკულირებს თვით ღრუტანიან ხვიების შეგნით. ამ პრინციპზე მომუშავე ტურბოგენერატორების სიმძლავრე 2500 მეგავატამდეა.

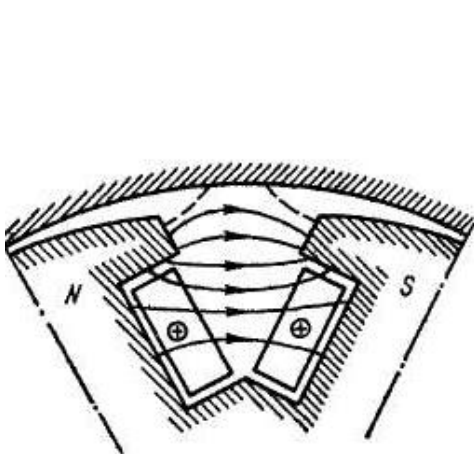
### ს ე მ-ის მაგნიტური ველი

**პოლუსების მაგნიტური ველი** იქმნება აგზნების გრაგნილით, რომელიც განჭოლავს სტატორის (ლუზის) სამფაზა გრაგნილს და ბრუნვისას მასში აინდუქტირებს ემძ.ს. ამ ველის ანგარიში მდმ-ის მაგნიტური ველის ანგარიშის ანალოგიურია. მაგრამ გვაქვს თავისებურებებიც.

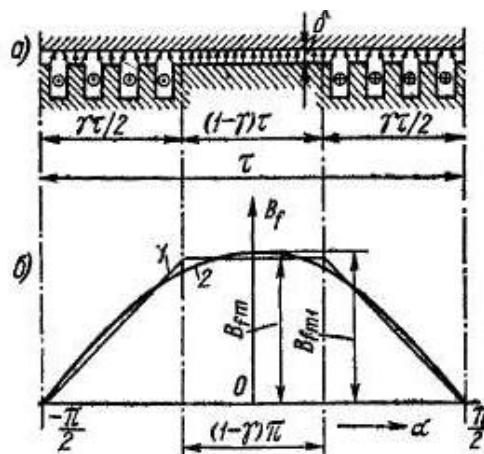


ნახ. 32-1. სინქრონული ცხადპოლუსა მანქანის მაგნიტური ველი (მარცხენა), ველის განაწილება ერთი პოლუსის ქვეშ (ა) სათანადო მრუდები (ბ); 1-ინდუქციის მრუდი; 2-პირველი ჰარმონიკა

ველის სინუსოიდურობის მოთხოვნა მდმ-ისგან განსხვავებით აქ უმნიშვნელოვანესი მოთხოვნაა. ცხადპოლუსა მანქანებში, სადაც გრავნილი შეყურსულია (ერთი კოჭაა), ველის „გასინუსოიდურების“ საშუალება გარდა საჭიერო ღრეჩოს პერიფერიებისკენ თანდათანობით გადიდებისა ( $\frac{\delta_m}{\delta} = 1 \div 2,5$ ) არა გვაქვს. ანუ ჩვენ დმ-ს ფორმას კი ვერ ვაუმჯობესებთ, არამედ ნაკადს და ინდუქციას ღრეჩოს მაგნიტური წინააღმდეგობის საშუალებით „გასინუსოიდურებთ“, რაც საბოლოო შედეგზე გავლენას არ ახდენს.



ნახ. 32-6. ცხადპოლუსა ს ე მ-ის მრუდი ფანტვის ველის სურათი



ნახ. 32-7. არაცხადპოლუსა ს ე მ-ის დმ-ის

არაცხადპოლუსა მანქანაში კი სადაც კოჭები კონცენტრული კონსტრუქციის არიან (გარეთა-დიდი, მომდევნო, საშუალო ... შიგა- პატარა) შესაძლებლობა გვაქვს გვქონდეს დმ-ის ტრაპეციული ფორმა, რომელიც მართკუთხა ფორმასთან შედარებით

მაღზე ახლოსაა სინუსოიდასთან (ნახ. 32-7). მრუდის ფორმის კოეფიციენტი  $k_f = \frac{B_{fm1}}{B_{fm}}$   
 $= 0,95 \div 1,15$ , სადაც  $B_{fm1}, B_{fm}$  – პირველი ჰარმონიკის და ძირითადი მრუდის  
 მაქსიმუმების ფარდობაა. ამ ველის პირველი ჰარმონიკა როტორის ბრუნვისას  
 $\omega_1 = \omega$  კუთხური სიჩქარით ღუზის ფაზებში აინდუქტირებს ემმ-ს

$$e = - \frac{d\Psi_{fad}}{dt} = \omega_1 M_{fad} i_f \sin \omega t.$$

სადაც  $i_f$  - აგზნების დენია ( ინდექსი “f “ ნიშნავს აგზნებას (field -ველი);  
 $\omega = 2 \pi f$  წრიული სიხშირეა. ამ ემმ-ს ამპლიტუდა და მოქმედი მნიშვნელობა

$$\left. \begin{aligned} E_m &= \omega_1 M_{fad} i_f = x_{fad} i_f, \\ E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{x_{fad}}{\sqrt{2}} i_f, \end{aligned} \right\} \quad (32-8)$$

$$x_{fad} = \omega_1 M_{fad} \quad (32-9)$$

-არის აგზნებისა და ღუზის გრაგნილების ურთიერთინდუქციის ინდუქციური  
 წინააღმდეგობა, ხოლო  $M_{fad} = \Psi_{fad} / i_f$  -სათანადოთ ურთიერთინდუქციის  
 კოეფიციენტი.

#### ღუზის რეაქციის ველი იქმნება

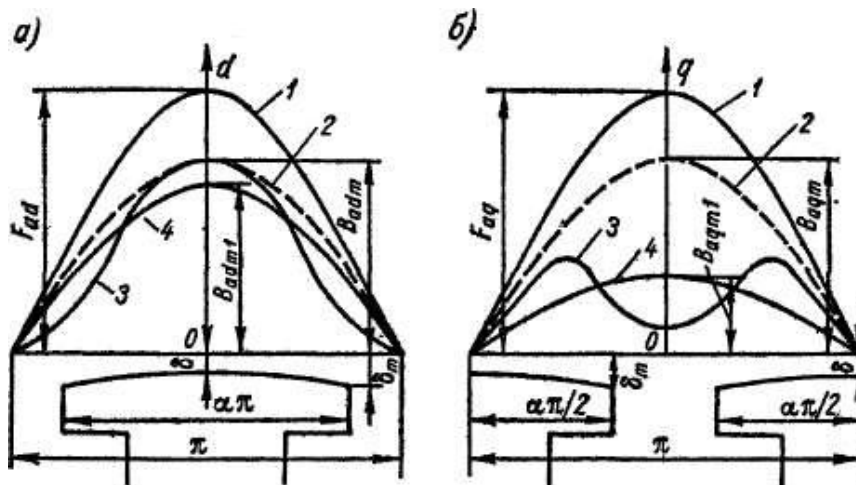
ღუზაში გამავალი დენის მიერ. ძრავულ რეჟიმში ეს დენი კვების ძაბვითაა  
 გამოწვეული, ხოლო გენერატორულში- დაინდუქტირებული ემმ-ის მიერ აღძრული  
 დენით. მდმ-ში მუსების ნეიტრალზე განლაგებისას ღუზის რეაქცია მთლიანად  
 განივია (მთავარი ველის მართობულია). ის ვერ აინდუქტირებს ღუზაში ემმ-ს, ამიტომ  
 მისი გავლენა მანქანის მახასიათებლებზე შედარებით სუსტია. ს ე მ-ში ღუზის  
 რეაქციას ხშირად აქვს მნიშვნელოვანი გასწვრივი მდგენელიც, რის გამოც მისი  
 გავლენა ს ე მ-ის მახასიათებლებზე გაცილებით მნიშვნელოვანია. ცხადპოლუსა  
 მანქანის ინდუქტორს გააჩნია სერიოზული მაგნიტური ასიმეტრია პოლუსების  
 გასწვრივი და განივი ღერძების მიმართულებით, რადგან განივ ღერძზე საჭაერო  
 ღრეჩო გაცილებით დიდი და არათანაბარია. ამიტომ ღუზის დმ, გასწვრივ ღერძის  
 მიმართულებით გაცილებით დიდი ნაკადს ქმნის, ვიდრე განივზე. როტორს ასევე  
 აქვს ელექტრული ასიმეტრიაც, რადგან აგზნების გრაგნილი მხოლოდ გრძივ ღერძზეა  
 განლაგებული და ქმნიან მხოლოდ გასწვრივ ნაკადს და თავად შებმული არიან  
 ღუზის მხოლოდ იმ ნაკადთან, რომელიც განივ შემდგენს წარმოადგენს. როტორის  
 ამგვარი ასიმეტრიების გამო წამოიჭრება ღუზის რეაქციის მოქმედება  
 განიხილებოდეს როგორც გასწვრივი, ასევე განივი მიმართულებითაც. ხსენებული  
 ანალიზის მეთოდი შემოიღო ფრანგმა ელექტროტექნიკოსმა ბლონდელმა და მას ორი  
 რეაქციის თეორია ანუ მეთოდი ეწოდა. ასეთი ანალიზი ცხადია ემყარება მაგნიტური  
 ველის გაუჯერებლობის დაშვებას. მდმ-ში ღუზის რეაქციაში განივი შემდგენის  
 გაჩენას იწვევდა მუსების გადაწევა გეომეტრიული ნეიტრალიდან. ს ე მ-ში ამას იწვევს  
 ღუზის ემმ-სა და დენს შორის კუთხე  $\Psi$ . თუ  $\Psi = 0$ , აქტიურ-ტევადური დატვირთვა),

მაშინ ღუზის რეაქცია სმ-ში სუფთა განივია. ასეთი რეაქცია ველის დამახინჯებას იწვევს და გაჯერების გამო პოლუსის ნახევარზე ველის გაძლიერება იმდენი ვერაა, რაც დასუსტება, ამიტომ რეალურად ეს რეაქცია ველის შემცირებასაც იწვევს. თუ  $\psi = 90^\circ$  (სუფთა ინდუქტიური დატვირთვა), მაშინ ღუზის რეაქციას მხოლოდ გასწვრივი შემდგენი აქვს, თანაც ძირითადი ველის საპირისპირო, ანუ ის სუფთად განმამაგნიტებელია. თუ  $\psi = -90^\circ$  (დატვირთვა სუფთად ტევადურია), მაშინ ღუზის რეაქცია კვლავ მხოლოდ გასწვრივია, ოღონდ ძირითადი ველის მიმართულებისაა (სუფთად დამამაგნიტებელია). აქ გვაქვს ანალოგია ტრანსფორმატორების მეორადი გრაგნილის დატვირთვის ხასიათთან (სუფთად ინდუქტიური- მეორადი დენი განმამაგნიტებელია; სუფთა ტევადური-მეორადი დენი დამამაგნიტებელია; სუფთა აქტიური - მეორადი დენი თითქმის არ ახდენს გავლენას დამაგნიტების ნაკადზე). ზოგად შემთხვევაში  $\psi$  შეიძლება იყოს ნებისმიერი, ამიტომ ღუზის დენს შლიან ორ (განივ და გასწვრივ) მდგენელად:

$$I_d = I \sin \psi; \quad (32-21)$$

$$I_q = I \cos \psi, \quad (32-22)$$

რომელთაგან “d” ქმნის გრძივ, ხოლო “q”- განივ რეაქციას.



ნახ.32-11. ცხადპოლუსა ს ე მ-ის ღუზის გასწვრივი (a) და განივი (ბ) რეაქციის ველები.

ეს დენები თავის მხრივ ქმნიან გრძივ  $\Phi_{ad}$  და განივ  $\Phi_{aq}$  რეაქციის ნაკადებს, რომლებიც ღუზისვე გრაგნილში აინდუქტირებენ გრძივ და განივი რეაქციის ემმ-ებს მოქმედი მნიშვნელობებით:

$$\begin{aligned} E_{ad} &= \pi \sqrt{2} f_1 \omega k_{o6} \Phi_{ad}; \\ E_{aq} &= \pi \sqrt{2} f_1 \omega k_{o6} \Phi_{aq}; \end{aligned} \quad (32-30)$$



ეს ემმ-ები გაჯერების უგულბელყოფისას პროპორციული არიან სათანადო გასწვრივ და განივ დენების, ანუ

$$E_{ad} = x_{ad} I_d; \quad E_{aq} = x_{aq} I_q, \quad (32-33)$$

პროპორციულობის კოეფიციენტები  $x_{ad}$ ;  $x_{aq}$  წარმოადგენენ ღუზის გრაგნილის საკუთარ ინდუქციურ წინააღმდეგობებს  $d$  და  $q$  ღერძების გასწვრივ.

არაცხადპოლუსა მანქანებში როტორის ცილინდრული კონსტრუქციის გამო ეს კოეფიციენტები ერთმანეთის ტოლია და ამ ორი აღნიშვნიდან შენარჩუნებულია მარტო ერთი  $-x_{ad}$ . რაც უფრო ძლიერია ღუზის რეაქცია, მით უფრო დიდია ეს ინდუქციური წინააღმდეგობები და მით უფრო მცირეა სტატიკური მდგრადობის მარაგი ს ე მ-ის მუშაობისას. სმ-ის დაპროექტებისას ამ კოეფიციენტების განმსაზღვრელი ფაქტორებიდან საჰაერო ღრეჩოს გარდა, (რომლის უკუპროპორციულიც არის ეს კოეფიციენტები) მათი ცვლილება მხოლოდ მცირე ფარგლებშია შესაძლებელი. ამიტომ ღუზის რეაქციის შესაზღვდავად სმ-ში იძულებული არიან სააერო ღრეჩო აიღონ უფრო მეტი, ვიდრე ეს სხვა მოსაზრებიდანაა დასაშვები. თუმცა ღრეჩოს გადიდება ნიშნავს აგზნების გრაგნილის გაძლიერებას, სპილენძის ხარჯის და ხშირად მანქანის გაბარიტების გადიდებასაც. ამ ფაქტორებმა ბიძგი მისცეს მანქანის გაგრილების უფრო ინტენსიურ მეთოდების გავრცელებას (გრაგნილების წყლითა და წყალბადით შინაგანი გაგრილება). ამ მეთოდებმა საშუალება მოგვცეს ხაზური დატვირთვა  $A$  გაგვედიდებინა რამოდენიმეჯერ ( $A = (5,0 - 6,5)10^4 \text{ a/M}$  დან - საჰაერო გაგრილების მანქანებში,  $A = (15 - 25) 10^4 \text{ a/M}$  -მდე).

ღუზის დმ-ის მრუდი გარდა პირველისა შეიცავს მაღალ ჰარმონიკებსაც, რომლებიც ასევე აინდუქტირებენ ღუზაში ემმ-ებს. მათი სიდიდე აღირიცხება ზემოთაღნიშნული  $x_{ad}$ ;  $x_{aq}$  წინააღმდეგობის გადიდებით, სათანადოთ

$$x_d = x_{ad} + x_{oa}; \quad x_q = x_{aq} + x_{oa}.$$

და

$$E_d = x_d I_d; \quad E_q = x_q I_q,$$

(32-43)

ს ე მ-ის ძაბვების განტოლება სიმეტრიული დატვირთვის დროს ცხადპოლუსა მანქანისათვის მიიღება ომის კანონის საფუძველზე სმ-ის გრაგნილის ფაზის მიმართ:

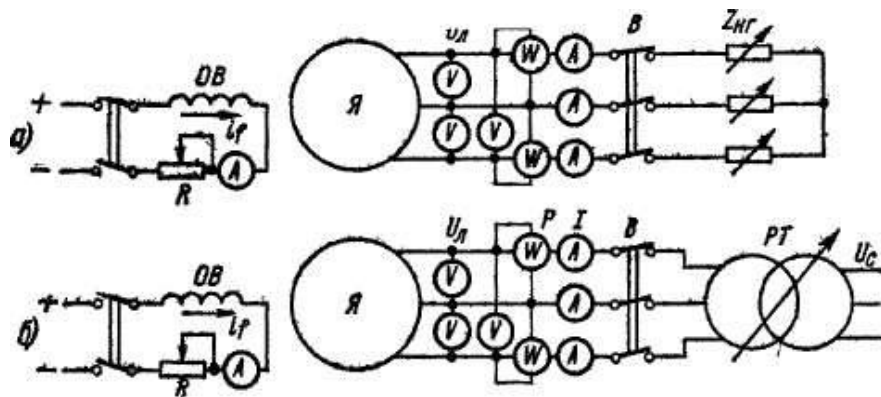
$$\dot{U} = \dot{E} - jx_d \dot{I}_d - jx_q \dot{I}_q - r_a \dot{I}.$$

$$\dot{E} = \dot{U} + r_a \dot{I} + jx_q \dot{I}_q + jx_d \dot{I}_d,$$

ან

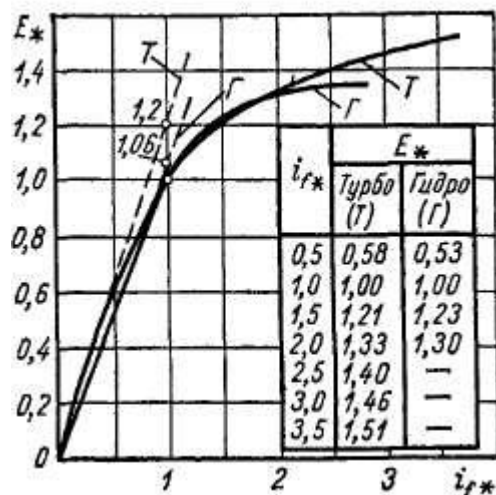
სახით. არაცხადპოლუსა მანქანაში, როგორც ზევით იყო აღნიშნული  $x_{ad}$ ;  $x_{aq}$  ს ტოლობის გამო გვაქვს ერთი მათგანი  $x_{ad}$  და  $x_d$ . სათანადოთ წევრი  $x_q$ -თი განტოლებაში აღარ იქნება.

ს ე მ-ის მახასიათებლები. მათ შორის ძირითადია მახასიათებელთა ჯგუფი, რომლებიც აკავშირებენ გენერატორის მომჭერების ძაბვას-  $U$  ლუზის  $I$ , აგზნების  $i_f$  დენებთან,  $f = f_H$  და  $\varphi = const$  პირობებში. მათი აგება შეიძლება გაანგარიშების ან ცდის გზით. შევნიშნავთ, რომ ეს მახასიათებლები ცხად და არაცხად პოლუსა ს ე მ-ებისათვის ძირითადად ერთნაირია. სათანადო ცდის ელექტროსქემა მოცემულია ნახ. 33-5-ზე:

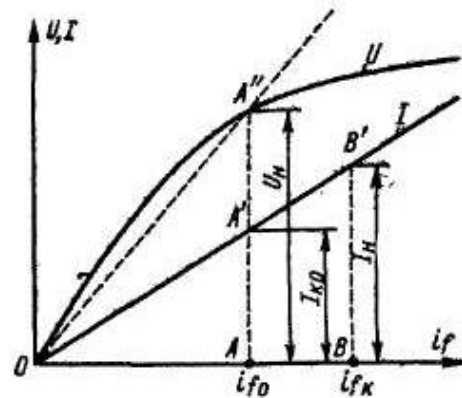
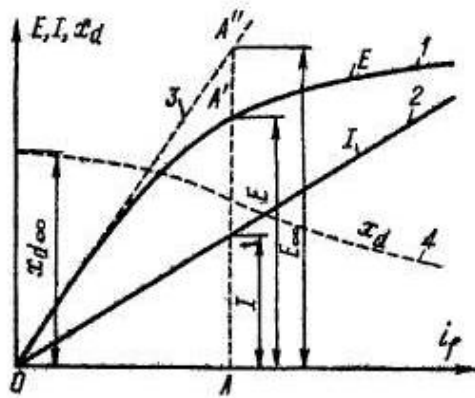


ნახ. 33-5. სინქრონული გენერატორის მახასიათებლების ცდით განსაზღვრა; ა)- რეგულირებადი დატვირთვით; ბ)- დატვირთვა ხორციელდება ქსელით შემათანხმებელი, რეგულირებადი ავტოტრ-ის საშუალებით.

ორივე შემთხვევაში აქტიური სიმძლავრე რეგულირდება ამძრავი ძრავის მომენტის რეგულირებით. ნ) სქემაში ძაბვის შეცვლას და ამ გზით  $\varphi$ -ს შეცვლას ახდენენ ტრის რეგულირებით. ს ე მ-ის გამოსავალი ძაბვის შემდგომი ამაღლებით ახდენენ მის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრის შემცირებას; დადაბლებით- გადიდებას. უქმი სვლის მახასიათებელს აქვს ყველა მანქანისათვის დამახასიათებელი სახე (ნახ33-6) (ინდექსი \* აღნიშნავს ფარდობით სიდიდეებს):



ნახ. 33-6. ტურბო და ჰიდრო გენერატორების ნორმალური უქმი სვლის მახასიათებელი

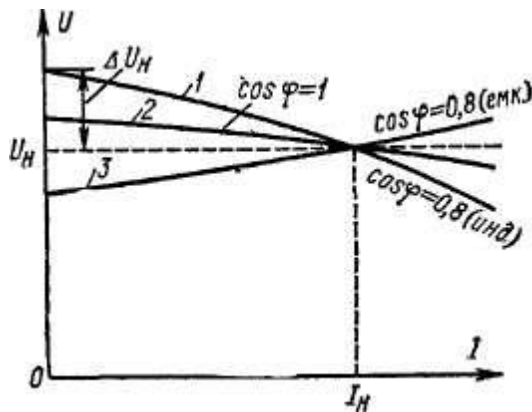


ნახ. 33-8. უქმი სვლის (1) და მშ (2) მახასიათებლები

ნახ. 39-9. მშმ-ს განსაზღვრა

მშ მახასიათებელს იღებენ ყველა ფაზების ერთიანი დამოკლებით; ადგენენ დამოკიდებულებას  $I = f(i_f)$ ,  $U = 0$ ;  $f = f_H$ . ღუზის აქტიური წინააღმდეგობის მრავალჯერ სიმცირის გამო რეაქტიულთან შედარებით ღუზის დენი ამ დროს პრაქტიკულად ინდუქციურია და  $\psi = 90^\circ$  და  $I_q = 0$ ,  $I_d = I$ . ღუზის რეაქცია ამ დროს სუფთად განმამაგნიტებელია. სმ-ის მნიშვნელოვანი პარამეტრია ე.წ. მოკლე შერთვის შეფარდება- მშმ:  $k_{შმ} = \frac{I_{k0}}{I_H}$ , ანუ ნომინალური ძაბვის შესაბამისი მშ დენის შეფარდება ნომინალურ დენთან. სხვა მანქანებისაგან განსხვავებით, სმ-ში დამყარებული მშ დენი როცა გენერატორის უქმი სვლის ძაბვა იყო ნომინალური ძაბვის ტოლი ცხადპოლუსა მანქანებში  $-k_{შმ} = 0,8 \div 1,8$ ; არაცხადპოლუსაში კი  $k_{შმ} = 0,4 \div 1,0$ . ეს პარამეტრი  $x_d$  - სთან ერთად განსაზღვრავს დატვირთვის ზღვრულ სიმძლავრეს, რომელიც შეუძლია განავითაროს გენერატორმა დამყარებულ რეჟიმში. რაც მეტია მშმ მით მეტია ზღვრული დატვირთვა. მშმ მით მეტია, რაც მეტია საჭაერო ღრეჩო. **გარე მახასიათებელი** წარმოადგენს გენერატორის ძაბვის დამოკიდებულების მრუდს დატვირთვის დენისაგან, ნომინალური სიხშირის, მუდმივი კოსინუსისა და მუდმივი აგზნების დენის დროს. ამისათვის აგზნების დენს არ ცვლიან, ხოლო ამპრაჟი ძრავის მომენტს საფეხურებით ცვლიან და ყოველი საფეხურისათვის ავტოტრ-ის ძაბვას ისე არეგულირებენ, რომ კოსინუსი დარჩეს უცვლელი. მახასიათებლების ოჯახი წარმოდგენილია ნახ. 33-10-ზე. აგზნების დენის მნიშვნელობა ყოველი მრუდისათვის ისეა შერჩეული, რომ ნომინალური დენის დროს ძაბვაც ნომინალურის ტოლი იყოს. აღსანიშნავია, რომ ნომინალური დენის, ნომინალური დატვირთვის, ნომინალური კოსინუსის ნომინალური სიხშირის დროს აგზნების დენის შესაბამის სიდიდეს ნომინალური აგზნების დენი ეწოდება. ამ მახასიათებლების ფორმა შემდეგნაირად აიხსნება: ფაზით ჩამორჩენილ დენის დროს რეაქცია გასწვრივისკენაა გადაწონილი და

განმაგნიტება ძლიერია, მახასიათებელი დახრილია. სუფთა აქტიური დატვირთვის დროს განმაგნიტების მდგენელი უფრო ცოტაა, მახასიათებელი უფრო ხისტია. წინგასწრებული დენის დროს რეაქცია უმთავრესად გასწვრივია, მაგრამ დამამაგნიტებელი და მახასიათებელი მზარდია. სინქრონულ გენერატორებს ჩვეულებრივად აპროექტებენ 0,8 -ის ტოლი კოსინუსის (ინდუქციური დენით) მნიშვნელობისათვის. ამ დროს ძაბვის ვარდნა უქმ სვლასთან შედარებით შეადგენს  $25 \div 35 \%$ . ტურბოგენერატორებში ეს ვარდნა უფრო დიდია, რადგან მათ უფრო დიდი  $x_d$  აქვთ.  $25 \div 35 \%$ . ეს ვარდნა უფრო უფრო დიდი  $x_d$  აქვთ.



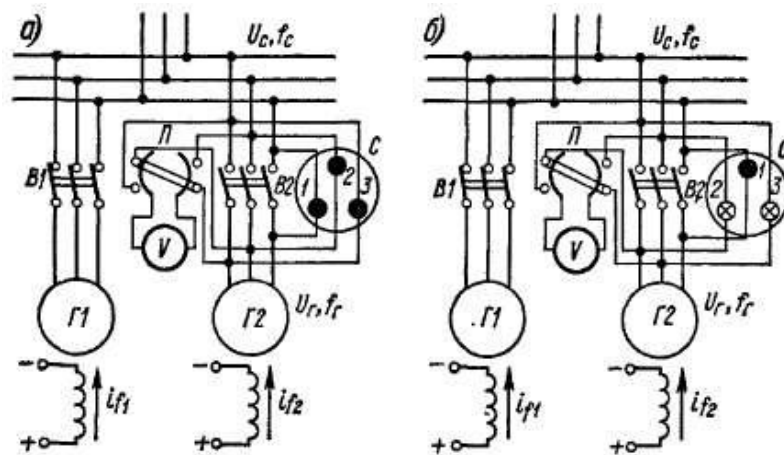
ტურბოგენერატორებში დიდია, რადგან მათ

ნახ. 33-10. სინქრონული გენერატორის გარე მახასიათებლები

### სინქრონული მანქანების პარალელური მუშაობა

ელექტროსადგურებში, როგორც წესი ერთდროულად ჩართულია რამდენიმე გენერატორი. ერთიანი ენერგოსისტემა კი ჩვეულებრივად წარმოადგენს პარალელურად მომუშავე ელექტროსადგურების დიდი რიცხვის ერთობლიობას. ასეთი ტექნიკური გადაწყვეტა საშუალებას გვაძლევს მნიშვნელოვნად გავადიდოთ ენერგომომხმარებელის ელექტროენერგიით მომარაგების საიმედოობა, მოვახდინოთ ენერგორესურსების მოხერხებული მანევრირება, დარეზერვების ოპტიმიზაცია და სხვა. პარალელურ მუშაობაზე გენერატორის მომზადებას და ჩართვას ეწოდება გენერატორის სინქრონიზაცია. ეს საჭიროა იმისათვის, რომ ვუზრუნველვყოთ გენერატორის მიერთება ქსელზე დენის დარტყმების, მექანიკური მბრუნე მომენტების დარტყმების თავიდან ასაცილებლად, რომეთაც შეუძლიათ გენერატორისა და მოწყობილობათა, აგრეთვე მთელი სისტემის მუშაობის დარღვევა თვით მის დაშლამდეც კი. სინქრონული გენერატორის სინქრონიზაციის პირობები შემდეგია: 1. გენერატორი წინდაწინ უნდა ავამუშაოთ უქმ სვლაზე; 2. გენერატორის ძაბვა უქმ სვლაზე უნდა გავათანაბროთ მისაერთებელი ქსელის ძაბვასთან; 3. გენერატორის სიხშირე უნდა გავუთანაბროთ ქსელის სიხშირეს ( $\pm 2 \%$ ); 4. გენერატორის ფაზების მიმდევრობა უნდა იყოს იდენტური ქსელის ფაზების მიმდევრობისა; 5. გენერატორის ძაბვის ფაზა უნდა უდრიდეს ქსელის ძაბვის ფაზას. აღნიშნული პირობების დაცვისას მიერთება მოხდება წყნარად და არ ექნება ადგილი

არავითარ დარტყმებს. ძაბვების ტოლობა მიიღწევა აგზნების დენის რეოსტატის რეგულირებით და კონტროლდება ვოლტმეტრით. ძაბვის სიხშირის და ფაზის რეგულირება მიიღწევა ამძრავი წყაროს სიმძლავრის რეგულირებით. ფაზების მიმდევრობის სისწორე უნდა შემოწმდეს გენერატორის პირველსავე უქმ სვლაზე ჩართვისას. ძაბვებს შორის ფაზას აკონტროლებენ ელექტრონათურებით, ნულოვანი ვოლტმეტრით ან სპეციალური სინქრონოსკოპით, ხოლო ავტომატურ სინქრონიზატორებში სპეციალური გამზომი ელემენტებით. არასწორი სინქრონიზაცია ყველაზე სახიფათო დარღვევაა:  $180^\circ$  -იანი ფაზათა განსხვავების დროს ჩართვა გამოიწვევდა გაორმაგებული ძალის უეცარ მოკლედ ჩართვას. დარტყმითი მომენტები და ძალები კი ოთხჯერ გაიზრდებოდნენ.

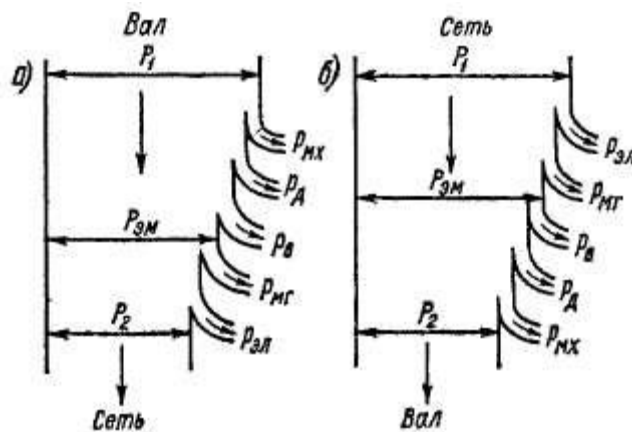


ნახ.35-2. გენერატორის სინქრონიზაციის სქემები: ა) ნათურების ჩაქრობაზე; ბ) შუქის ბრუნვაზე

ა) სქემის დროს ძაბვების გატოლების მომენტში ნათურები ქრებიან. როცა მიიღწევა ნათურების ჩაქრობის მომენტებს შორის პაუზა 4-5 წმ, მომდევნო ჩაქრობის დროს სწრაფად უნდა ჩავრთოთ ჩამრთველი. ბ) სქემის დროს ნათურები რიგრიგობით ინთებიან ისე, რომ შუქი ბრუნავს. თითო ნათურა კი მორიგეობით ქრება. ნათურა რომელიც ქრება უჩვენებს რომ ძაბვათა სხვაობა ამ დროს მინიმალურია და ასეთი ციკლების 4-5 წამში გამეორების დროს ნათურის ჩაქრობის მომენტში სწრაფად უნდა მოვახდინოთ ჩართვა.

უნდა შევნიშნოთ, რომ თუ მოხდა ისე, რომ ამ სქემაში ნათურები ყველა ერთად ხან ჩაქრა და ხან აინთო, ან წინა სქემაში მბრუნავი შუქი დაფიქსირდა, მაშინ ფაზების მიმდევრობაა საპირისპირო და აუცილებლად უნდა შეიცვალოს. ზოგ ქვეყნებში ნებადართულია გენერატორის ჩართვა მხოლოდ (3) და (4) პირობის დაცვით აუგზნებელი გენერატორის პირდაპირი მიერთება და იმწამსვე აგზნების ჩართვაც. მცირედი დარტყმების შემდეგ გენერატორი შეიზიდება სინქრონიზმში. **სინქრონული გენერატორის მუშაობა ქსელზე კომპენსატორად.** თუ აქტიური სიმძლავრე გენერატორს არ მიეწოდება მაშინ გენერატორი მუშაობს, როგორც ძრავა უქმ სვლაზე და აგზნების დენის მატებით, იმ სიდიდემდე, როცა მახასიათებლის

მიხედვით უქმი სვლის ძაბვა = ქსელის ძაბვას, გენერატორის დენი ნულია. აგზნების დენის შემდგომი მატებისას მისი ძაბვის ქსელის ძაბვაზე მეტობის გამო, გაჩნდება დენი, რომელიც ქსელისათვის იქნება ტევადური ხასიათის და ქსელს მიაწოდებს რეაქტიულ სიმძლავრეს. თუ აგზნების დენს შევამცირებთ, დენი ქსელისათვის გახდება ინდუქტიური და გენერატორი ქსელიდან მოიხმარს ასაგზნებ სიმძლავრეს. ასეთ რეჟიმს ეწოდება კომპენსატორული რეჟიმი. ამ დროს აქტიური სიმძლავრე არ გარდაიქმნება. ამ მეთოდით ზოგჯერ აუძეობენ დაბალ კოსინუსს, რათა განტვირთონ ხაზი ზედმეტი დენისაგან და კარგვებისაგან. ხშირად ამ მიზნით სტატიკური კონდენსატორების ბატარეაც გამოიყენება. ზემოთ დავინახეთ, რომ აგზნების დენის შეცვლა არ იწვევს აქტიური სიმძლავრის რაიმე ცვლილებას. იმისათვის, რომ გენერატორმა აიღოს თავის თავზე ქსელის დატვირთვის ნაწილი, ერთადერთი გზაა გავადიდოთ პირველადი ძრავის მაბრუნე მომენტი (აქტიური სიმძლავრე: მაგ წყლის ნაკადი, ორთქლის მიწოდება, საწვავის მიწოდება). ამ დროს გენერატორი აიღებს ქსელიდან პირველადი ძრავის მიერ გადაცემული მექანიკური სიმძლავრეზე კარგვებით ნაკლებ ტვირთს (ნახ. 35-7.)



ნახ. 35-7. ს ე მ-ის ენერგეტიკული დიაგრამა:

a) გენერატორის; б) ძრავის

თუ გენერატორის საერთო ქსელი შეზღუდული სიმძლავრისაა, მაშინ კონკრეტული გენერატორის გავლენა ქსელზე საგრძნობია. მაგ. ქსელი შედგება ორი ერთნაირი გენერატორისაგან: **რეაქტიული ტვირთი**. თუ ერთდროულად გავადიდებთ ორთავეს აგზნების დენებს, მაშინ ქსელის ძაბვა მოიმატებს და მოიმატებს მომხმარებელთა რეაქტიული სიმძლავრე, რომელიც აგზნების დენების ტოლობის დროს თანაბრად განაწილდება ორივე გენერატორზე. თუ მარტო ერთის აგზნების დენს გავადიდებთ, ძაბვა მოიმატებს უფრო ნაკლებად პირველი გენერატორი პროპორციულად მეტ რეაქტიულ ტვირთს აიღებს. თუ ძაბვამ არ უნდა მოიმატოს, მაშინ მეორის აგზნება უნდა შევამციროთ. ე.ი. რეაქტიული სიმძლავრის გადასანაწილებლად უნდა გადავანაწილოთ აგზნების დენები. მამასადამე ძაბვის მოსამატებლად ყველა გენერატორის აგზნება უნდა გავზარდოთ, ხოლო გადასანაწილებლად ზოგისა შევამციროთ, სხვებისა გავზარდოთ.

**აქტიური ტვირთი.** ყველა

გენერატორატორის პირველადი ძრავას სიმძლავრეებს თუ ერთდროულად გავადიდებთ, გაიზრდება ქსელის სიხშირე იმ სიდიდემდე, როცა მომხმარებლის მოხმარებული სიმძლავრე გაზრდილ სიხშირეზე (სიხშირის მომატებით ასინქრ. და სინქრ. ძრავების სიმძლავრე იზრდება) გაუტოლდება სისტემის გენერატორების პირველადი ძრავების ჯამურ სასარგებლო სიმძლავრეს. სიხშირე, რომ შევინარჩუნოთ უცვლელი, ამისათვის ზოგისა თუ გავადიდეთ პირველადი სიმძლავრე, სხვებისა უნდა შევამციროთ. თუ ყველა გენერატორის პირველად ძრავს მოვუკლებთ სიმძლავრეს, მაშინ საერთო სიხშირე დავარდება მანამ, სანამ ახალ შემცირებულ სიხშირეზე სისტემის გენერატორების პირველადი ძრავების ჯამური სიმძლავრე არ გაუტოლდება მომხმარებლების ჯამურ შემცირებულ სიმძლავრეს ( სიხშირის შემცირებით ასინ. და სინქრ. ძრავების სიმძლავრე კლებულობს). **სისტემაში გენერირებული აქტიური სიმძლავრის ნაკლებობისას სიხშირე დაიწყებს ვარდნას**, რაც დაარღვევს მომხმარებელთა ნორმალურ მუშაობას: დაბალი სიხშირე გაზრდის დამაგნიტების დენებს და ძრავების გრაგნილების ტემპერატურას, ხოლო მათი სიმძლავრე სიჩქარის მოკლების ხარჯზე შემცირდება. განუკითხაობის წლებში საქართველოში ადგილი ქონდა სიხშირის ვარდნებს 42 ჰერცამდეც კი. **გენერირებული რეაქტიული სიმძლავრის ნაკლებობისას** კი ძაბვა დაიწყებს დავარდნას და ასევე დაარღვევს მომხმარებელთა ნორმალურ მუშაობას: ძრავები მოითხოვენ მეტ დენს და გადახურდებიან. ამრიგად ორთავე სიმძლავრეთა ბალანსის შენარჩუნება მნიშვნელოვანი პირობაა სისტემის ნორმალური მუშაობისათვის. გეომეტრიულ კუთხეს როტორის პოლუსის ღერძსა და ველის ღერძს შორის ანუ ძაბვისა და ემ-ის ვექტორებს შორის ეწოდება დატვირთვის კუთხე  $\theta$ . როცა მანქანა არ გარდაქმნის რეაქტიულ სიმძლავრეს (უქმ სვლაზე),  $\theta = 0$ . გარდაქმნილი აქტიური სიმძლავრის ზრდის კვალობაზე ეს კუთხე იზრდება. მანქანის ელექტრომაგნიტური მომენტის დამოკიდებულება ამ კუთხეზე გამოისახება სინუსოიდით. მაქსიმალური მნიშვნელობას მომენტი იძენს 90 გრადუსზე. ხოლო ნულოვანს 0 და 180 გრადუსებზე. ანუ თუ მომუშავე ს ე მ-ს თანდათან მოვუმატებთ დატვირთვას ის ამ დატვირთვას აიღებს მანამ, სანამ  $\theta$  არ მიაღწევს 90 გრადუსს. ამ დროს გვაქვს ზღვრული სიმძლავრე, რომელიც აქვს ს ე მ-ს. დატვირთვის ოდნავი მომატებითაც როტორი მოსწყდება სტატორის ველის ღერძს და ერთი შემობრუნებით (360 °) გასრიალდება სტატორის ველის მიმართ და ველარ აჰყვება მას, ანუ ამოვარდება სინქრონიზმიდან. თუ დატვირთვის მომენტი ამ ერთი ბრუნით გასრიალების განმავლობაში მოასწრებს კრიტიკულზე დაბლა შემცირებას, როტორი კვლავ გაჰყვება ველს, წინააღმდეგ შემთხვევაში- გაჩერდება. ეს კრიტიკული მომენტი უნდა აღემატებოდეს ნომინალურს არანაკლებ

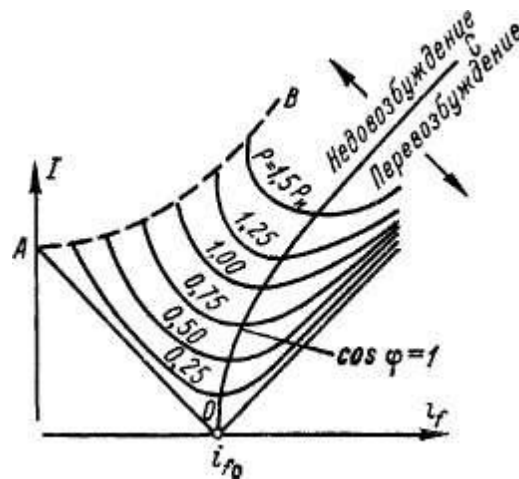
1,7

-ჯერ.

“**U** “-ს მაგვარი მრუდები წარმოადგენენ ღუზის დენის დამოკიდებულებას აგზნების დენზე, სხვადასხვა სიდიდის მუდმივი დატვირთვების დროს. თუ გენერატორისთვის ქსელის მიერ კოსინუსის კომპენსაციის ამოცანა არ დგას, მაშინ ცხადია, რომ მანქანისთვის ოპტიმალური რეჟიმია აგზნების დენის ის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ღუზის დენს აქვს მინიმალური მნიშვნელობა. რაკი ს ე მ-ს აქვს საშუალება ვარეგულიროთ აგზნება

(ანუ ძაბვა), შესაძლებელია მისი რეგულირებით მივაღწიოთ მანქანისთვის ოპტიმალურ რეჟიმს. სხვადასხვა დატვირთვების დროს მინიმალურ დენების შესაბამის წერტილების (ანუ ერთის ტოლი კოსინუსის) შემაერთებელი მრუდის მარცხნივ მანქანა „აგზნება ნაკლებია“ (ქსელიდან იღებს რეაქტიულ სიმძლავრეს), ხოლო მარჯვნივ „გადაგზნებულია“ ( ქსელს აწვდის რეაქტიულ სიმძლავრეს). თვით მრუდზე მოხმარებული დენი მინიმალურია და კოსინუსი ერთია. ანალოგიური მოვლენა ახასიათებს ასინქრონულ ძრავსაც: დატვირთვის სხვადასხვა მუდმივი მნიშვნელობისათვის არსებობს ისეთი კვების ძაბვა, რომლის დროსაც ასინქრონული ძრავას მოხმარებული დენი მინიმალურია. ცხადია ამ დროს კოსინუსი თუმცა კი ვერ გაუტოლდება ერთს, მაგრამ იქნება შესაძლო მაქსიმალური. აემ-ში მკვებავი ძაბვის მდორე რეგულირება შეუძლებელია, მაგრამ თუ ძრავა

ნაკლებადაა დატვირთული



ნახ.35-16. ს ე მ-ის U -ს მაგვარი მრუდები

მიმართავენ ძაბვის ნახტომისებურ რეგულირებას ძრავას სამკუთხედიდან ვარსკვლავზე გადართვით, რაც ძაბვას ამცირებს 3-ჯერ. თუ ამ ძაბვის დროს ძრავა დატვირთვას ეწევა, და დენი არ არის დასაშვებზე მეტი, მაშინ ამ დროს ძრავას აქვს მაქსიმალური კოსინუსი და მქკ.

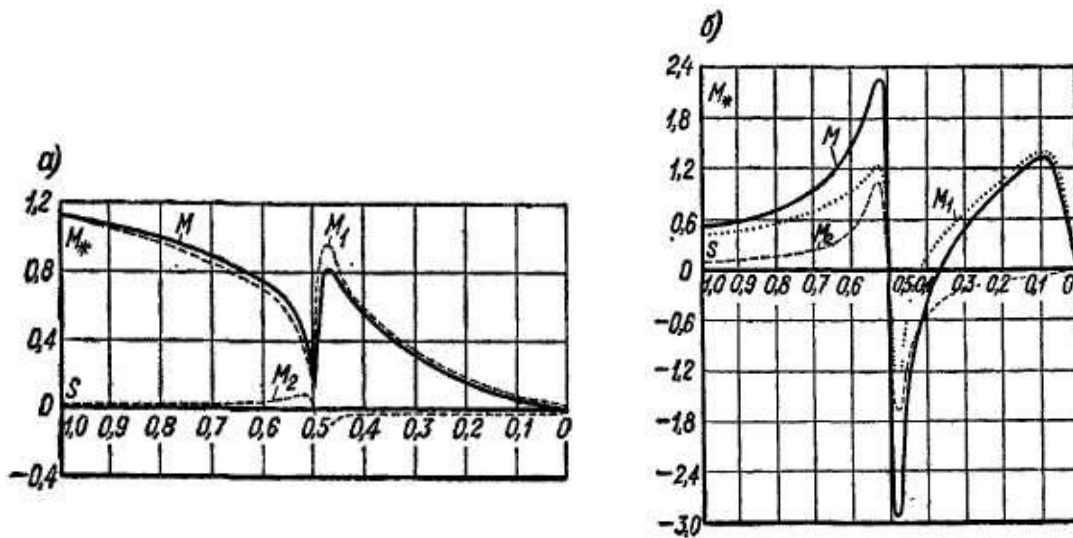
**ს ე მ-ის ასინქრონული რეჟიმები.** სინქრონული გენერატორის მუშაობისას რაიმე მიზეზით აგზნების შეწყვეტისას სმ, მომენტის მნიშვნელოვანი შემცირების გამო, ამოვარდება სინქრონიზმიდან და მისი სიჩქარე მოიმატებს. თუ ს ე მ ცხადპოლუსაა, მაშინ როტორის მაგნიტური ასიმეტრიის გამო ლუბის ველი ცდილობს მიაღებინოს როტორს მინიმალური მაგნიტური წინააღმდეგობის მდებარეობა, ანუ როტორის პოლუსის ღერძისა და ველის ღერძის თანხვედნილი მდგომარეობა. ამ მომენტის სიდიდე  $\approx 20\%$ -ს შეადგენს, და მას ეწოდება რეაქტიული მომენტი. ეს მომენტი ცხადია ვერ ეყოფა მანქანის დატვირთვას. თუ ს ე მ არაცხადპოლუსაა, მაშინ აგზნების დაკარგვისას მისი მომენტი თითქმის ნულია. სიჩქარის მომატებისას



სრიალი ნულს კი აღარ უდრის, არამედ ნაკლებია ნულზე და სინქრონული გენერატორი გადადის ასინქრონული გენერატორის რეჟიმში. ამ დროს სმ ავითარებს მნიშვნელოვან ასინქრონულ მომენტს. (თუ მანქანა ცხადპოლუსაა მაშინ ასინქრონული მომენტი ვითარდება დამაწყნარებელი გრაგნილების არსებობის და ასევე პოლუსის გულაში ფუკოს დენების არსებობის გამო. თუ სმ არაცხადპოლუსაა, მაშინ ასინქრონული მომენტი ვითარდება მასიური როტორის გულაში ფუკოს დენების შედეგად და ის გაცილებით მეტია ვიდრე ცხადპოლუსაში. ბრუნვის სიჩქარის გაზრდისას სრილის გარკვეული მნიშვნელობის დროს ასინქრონული მომენტის სიდიდე გაუტოლდება დატვირთვის მომენტის სიდიდეს და ბრუნვის სიჩქარის შემდგომი მომატება შეწყდება და მანქანა დარჩება ამ რეჟიმში. ამ რეჟიმში ტურბოგენერატორს შეუძლია განავითაროს ნომინალურის  $50 \div 70$  %, რაც ხშირად საკმარისია გენერატორის დატვირთვის დასაფარავად. ასეთ რეჟიმში სმ-ის მუშაობისათვის საჭირო რეაქტიულ სიმძლავრეს ის იღებს ქსელიდან, აქტიურს კი აწვდის მას. ამ რეჟიმში როტორის მასაში გაზრდილი კარგების გამო როტორის ტემპერატურა იმატებს. თუ ტემპერატურული რეჟიმი მანქანის მუშაობის საშუალებას იძლევა, დასაშვებია მხოლოდ ტურბოგენერატორის მუშაობა ამ რეჟიმში არაუმეტეს 30 წუთისა. ამ ხნის მანძილზე შესაძლებელია ან აგზნების სისტემაში უწყესივრობის აღმოფხვრა, ან მისი მიწოდება სარეზერვო ამგზნებიდან, ან შესაძლოა უწყესივრო გენერატორის ტვირთი გადანაწილდეს სადგურის სხვა გენერატორებზე, ან სულაც სხვა სადგურებზე. ეს მნიშვნელოვნად ზრდის ენერჯის მოწოდების საიმედოობას. ჰიდროგენერატორების შემთხვევაში ასინქრონული რეჟიმი დასაშვებია 15 წმ-ის განმავლობაში და თუ ამ დროში ვერ ხერხდება აგზნების აღდგენა, მაშინ გენერატორი უნდა ამოირთოს ქსელიდან.

**სინქრონულ ძრავებს** გაშვების მომენტში ასევე აქვთ ასინქრონული რეჟიმი, რადგან ისინი გაიშვებიან როგორც ასინქრონული ძრავები. მათი აგზნება ამ დროს ან დამოკლებულია ან ჩართულია  $5 \div 10$  -მაგ აგზნების გრაგნილის წინალობაზე. აგზნების გათიშვა დაუშვებელია მაღალი ძაბვის წარმოქმნის გამო, რომელიც დააზიანებს გრაგნილის იზოლაციას. საერთოდ ს ე მ-ში გამოირიცხებულია აგზნების დენის უკონტროლოდ სწრაფი ქრობა. ამ დროსაც წარმოიქმნება იზოლაციისთვის საშიში მაღალი ძაბვა. ასინქრონული გაშვების დროს მანქანის სრიალი იცვლება 1 დან 0,05 -მდე. სრილის ამ სიდიდის მიღწევის დროს ჩაირთვება აგზნების დენი და ძრავა შეიზიდება სინქრონიზმში. თუ გაშვების დროს აგზნება დამოკლებულია, რადგან აგზნების გრაგნილი ერთფაზა ანუ ერთღერძაა და არა სიმეტრიული, ამიტომ მისი ველის ზემოქმედებისას რეზულტური ველი ხდება არაწრიული, არამედ ელიფსური ფორმის. ეს ველი გარდა პირდაპირი ველისა შეიცავს უკუ ველსაც. ეს უკუ ველი მოკლედ შერთულ გამშვებ გრაგნილში წარმოქმნის დენებს, რომელთა სრიალი მაქსიმალურ მომენტს ავითარებს ნულთან ახლოს: მარცხნივ უარყოფითს და მარჯვნივ დადებითს. ძირითადი ველისთვის კი სრიალი ამ დროს 0,5 -ს უდრის. დადებითი მომენტი ეხმარება ძირითად მომენტს, ხოლო უარყოფითი აკლდება და

მნიშვნელოვნად ამცირებს მას და ძრავი შეიძლება გაეჩხიროს ამ ბრუნვებზე, რაც მოკლედ შერთვის რეჟიმს წარმოადგენს. აღსანიშნავია, რომ იგივე მოვლენას აქვს ადგილი, როცა რაიმე მიზეზით როტორის გრაგნილი ხდება არასიმეტრიული (მაგ. ციყვის ბორბლის რამდენიმე ღეროს ცუდი კონტაქტი, ფაზურ როტორიანში კი მაგ ერთი ფაზის ცუდი კონტაქტი ან კონტაქტის დაკარგვა, ან არასიმეტრიული დამატებითი წინაღობის შეყვანა).



ნახ. 29-16. ასინქრონული მანქანის მებრუნე მომენტის მრუდი. ა) - ასიმეტრიისას; ბ) ფაზის გაწყვეტისას როტორში.

ამ ეფექტს გერგესის ეფექტი ანუ ერთღერძა ჩართვა ეწოდება (ნახ. 29-16). თუ როტორის აქტიური წინაღობა გაზრდილია, მაშინ ეს ჩავარდნა ნაკლებადაა გამოკვეთილი, და მომენტი ინარჩუნებს შემცირებულ დადებით მნიშვნელობას. ფაზის გაწყვეტისას რეზულტური მომენტი იღებს უარყოფით მნიშვნელობას.

**სინქრონულ ძრავები** ასინქრონულთან შედარებით ფლობენ მნიშვნელოვან უპირატესობას: 1. შეუძლიათ არ მოიხმარონ ქსელიდან რეაქტიული სიმძლავრე და ქსელსაც კი მიაწოდონ ის; 2. მათი მომენტის მაქსიმუმი ძაბვის პირველი ხარისხის პროპორციულია და არა კვადრატისა, როგორც აემ-ში. ძაბვის დადაბლებისას ისინი ინარჩუნებენ დიდი გადატვირთვის უნარს. ქსელში ძაბვის დაწევისას მათ აგზნების გადიდებით შეუძლიათ ქსელს მიაწოდონ რეაქტიული სიმძლავრე და ამით აამაღლონ ქსელის ძაბვა. დიდი საჰაერო ღრეჩოს გამო მათი დამატებითი კარგვები უფრო მცირეა და მქვ უკეთესია ასინქრონული ძრავისაზე. ს ე მ-ის კონსტრუქციული სირთულისა და სიძვირის გამო ეს უპირატესობანი წონადი ხდებიან დიდ სიმძლავრეებზე 200-300 კვტ-ზე მეტი. ამიტომ ამ და მეტ სიმძლავრეებზე და იქ სადაც გაშვება ხშირი არაა, სიჩქარის რეგულირება საჭირო არაა, უპირატესობა ენიჭება ს ე მ-ს; მაგ. ძრავ-გენერატორებში, მძლავრ ტუმბოებში, ვენტლატორებში, კომპრესორებში, წისქვილებში, მსხვრევანებში და სხვა. გაშვების დენის შესაზღუდად გამოიყენება იგივე მიდგომა, როგორც აემ-ში. **სინქრონული მანქანის არასიმეტრიულ რეჟიმებს**

ადგილი აქვს გენერატორის ფაზების არასიმეტრიული დატვირთვისას სისტემის მხრიდან. ნულოვანი სადენი მცირე სიმძლავრის ს ე მ-ში არ გამოიყვანება, ხოლო დიდ სიმძლავრეებზე ის მიერთებულია დიდ წინაღობაზე ნულოვანი დაცვის უზრუნველსაყოფად. აღნიშნულის გამო ასიმეტრიისას ნულოვანი დენები მხედველობაში არ მიიღებიან, და განიხილებიან მხოლოდ პირდაპირი და უკუმიმდეგრობის დენები. უკუმიმდეგრობის დენების მიერ შექმნილი უკუ ველი როტორის მიმართ ბრუნავს  $S = 2$  სრიალით და მისი დენების სიხშირე  $= 2 f$ . ეს დენები იწვევენ: როტორში გადიდებულ კარგებს და მის გახურებას; აგზნების ნაკადისა და ამ ველების ურთიერთმოქმედებით წარმოიშობა ორმაგი სიხშირის ნიშანცვლადი მექანიკური მომენტები, რომლებიც იწვევენ ორმაგი სიხშირის ვიბრაციას. პულსირებადი რადიალური ძალები კი ცდილობენ როტორის სტატორზე მიზიდვას და განზიდვას 2-მაგი სიხშირით. აღნიშნულის გამო როტორში შეიძლება წარმოიშვას სხვადასხვა დეფექტები. ამ მიზეზთა გამო ს ე მ-ის მუშაობა დასაშვებია ფაზათა დენების მხოლოდ 10 % განსხვავებისას.

**სინქრონული მანქანის რყევები.** ს ე მ-ებს აქვს მიდრეკილება რყევებისადმი, რაც მდგომარეობს ლუზის ველის ღერძსა და როტორის პოლუსის ღერძებს შორისი დატვირთვის კუთხის  $\theta$  - პერიოდულ და ჰარმონიულ ცვლილებაში დადებითი მაქსიმუმიდან უარყოფით მაქსიმუმამდე, სინქრონულობის რეჟიმის დაურღვევლად. ამ რყევების სიხშირე 0,5 დან 2 ჰერცამდეა. ბრუნვათა რიცხვების საერთო ტოლობის ფონზე როტორის მყისა სიჩქარე სტატორის მიმართ მუდმივი კი არაა არამედ რხევების კანონზომიერებით იცვლება. რა თქმა უნდა არ ხდება როტორის გასრიალება ველის მიმართ  $90^\circ$  -ზეც კი. გარეგნულად ეს იწვევს სუსტ ქსელზე ან ავტონომიურად მომუშავე მანქანის ძაბვის რყევას აღნიშნული სიხშირით. მაგ. ავტორის გამოცდილებით 3 კვტ. სიმძლავრის გენერატორის ძაბვის რყევებმა მცირე დატვირთვისას შეიძლება შეადგინონ 15%. აღნიშნული რყევების მიზეზი იყო პირველადი დიზელის ძრავის არამდგრადი მუშაობა დიზელსაწვავის დაბალი ხარისხის გამო. ამგვარ რყევებს მიაკუთვნებენ იძულებით რყევებს. ეს რხევები უფრო სახიფათო მაშინაა, როცა მათი და სმ-ის საკუთარი რყევების სიხშირე ახლოს არიან ერთმანეთთან შესაძლო რეზონანსში ჩავარდნის გამო. ამ დროს მანქანა განიცდის დაბალი სიხშირის ვიბრაციებს და ვარდება სინქრონიზმიდან. ამ მიზეზთა გამო დიზელ-გენერატორები და კომპრესორები აღჭურვილნი არიან მქნევარებით, რომლებიც ამცირებენ რყევის ამპლიტუდას. ს ე მ-ს მასთან შეწყვილებული მექანიზმის გარეშეც აქვს მიდრეკილება თავისუფალი რყევებისადმი. რყევების დროს ყოველთვის აღიძვრება დამაწყნარებელი ძალა და რაც მეტია ეს ძალა, მით მალე მიიღვიან რყევები. რყევების საწინააღმდეგოდ ყველაზე ეფექტური საშუალებაა სრული დამაწყნარებელი გრაგნილის გამოყენება. სინქრონულ ძრავებში ასინქრონული გამვების მიზნით გამოიყენება გაცილებით მძლავრი მშ გრაგნილი, რომელიც გარდა ამუშავების ფუნქციისა ასრულებს სრული დამაწყნარებელი გრაგნილის მოვალეობასაც.

ს ს ე მ-ის გარდამავალი რეჟიმების ცნება. უფრო მეტი ინტენსიობის გარდამავალი რეჟიმები აღიძვრება უეცარი მოკლე შერთვის დროს ს ე მ-ის შიგნით ან გარეთ. გარეთა მოკლე ჩართვები ს ე მ-ის ექსპლუატაციის პრაქტიკაში არც თუ ისე იშვიათია. სარელეო დაცვა ამ დროს მანქანას სწრაფად ამორთავს ქსელიდან. მიუხედავად მისი ამორთვისა აგზნების დენის სწრაფი შემცირება დაუშვებელია აგზნების გრაგნილში დიდი ძაბვის დაინდუქტირების გამო. ამიტომ აგზნების დენის შემცირება უნდა მოხდეს მაქსიმალური და ამავე დროს დასაშვები სიჩქარით, რომლის დროსაც დაინდუქტირებული ძაბვის სიდიდე უსაფრთხოა მანქანის იზოლაციისათვის. აღნიშნულ პროცესს ველის ქრობა ეწოდება და მისი სიჩქარე რეგულირდება აგზნების დამამუნიტებელი ომური წინაღობის სიდიდით. აგზნების დენის ქრობის მუდმივა  $T_0 = \frac{L_f}{r_f}$ , წმ. სმ-ში  $T_0 = (2 \div 14)$  წმ. როცა აგზნების დამოკლებისას ს ე მ-ის საკუთარი დროის მუდმივით ველის ქრობა დაუშვებელია მაღალი ძაბვის დაინდუქტირების გამო, მას ამუნიტებენ  $r$  წინაღობაზე, რის დროსაც დაინდუქტირებული ძაბვის მაქსიმუმი მოიკლებს  $\frac{r}{r_f}$  -ჯერ. ცხადია არ შეიძლება ქრობის დიდ დროში გაწეღვა, რადგან მოკლე ჩართვის დროს მშ კონკრეტულ ადგილზე გამოიყოფა დიდი რაოდენობის სითბო, რომლის სიდიდე აგზნების დენის ქრობის დროის მუდმივას მიახლოებითი პროპორციულია: მას შეუძლია დაადნოს მავთული და ფოლადიც კი, რაც დიდად გაართულებს ს ე მ-ის რემონტს. გარე მოკლე ჩართვებიდან განასხვავებენ სიმეტრიულ და ასიმეტრიულ მოკლე ჩართვებს. აღსანიშნავია, რომ ს ე მ-ში ღუზის გასწვრივი რეაქციის გამო დამყარებული დენები დიდად არ აღემატებიან ნომინალურ დენებს, მაგრამ მათი დარტყმითი (მყისა) სიდიდე 20 -ჯერ შეიძლება აღემატებოდეს ნომინალურ დენს. ასეთ დარტყმით ძალებს შეუძლიათ გამოიწვიონ გრაგნილების მექანიკური დაზიანება, შუბლების გადახრა პერიფერიისაკენ, ღრმულიდან გამოსვლის ადგილზე იზოლაციის „მიჰყლეტვა“. ამიტომ მათ მნიშვნელობებს გამოითვლიან თეორიული მიახლოებითი ფორმულებით და ითვალისწინებენ ს ე მ-ის დაპროექტების ეტაპზე გრაგნილის საიმედო დამაგრების კონსტრუქციის განხორციელებით. რაც შეეხება ამ დენების თბურ მოქმედებას, ისინი ს ე მ-ისთვის საშიშნი არ არიან, მათი სწრაფი მიღებისა და დამყარებული მნიშვნელობის ნომინალურზე შედარებით მცირედი გადამეტების გამო.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. Вольдек А. И., Электрические машины, 2-е изд., Л., «Энергия», 1974
2. Вольдек А. И., Попов В. В. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы, Питер, 2008
3. Electromechanics and MEMS, by Nenad G., Tomas B. Jones, Cambridge University Press, February, 2013
4. Electromechanics: Principles, Concepts and Devices, 2 nd Edition, by James Harter