

ბ. ანანიაშვილი

ზოგადი ელექტროფიზიკის კურსი

ნაწილი I

ცვლადი დენის წრედები

(მასალის დაპროგრამებული გადმოცემა)

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური
განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია სახელმძღვა-
ნელოდ პედაგოგიური ინსტიტუტების სტუდენტებისათვის

სახელმძღვანელო შედგენილია პედაგოგიური ინსტიტუტების ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტებისათვის არსებული პროგრამის მიხედვით. იგი სრული კურსის პირველი ნაწილია. მასში განხილულია ცვლადი დენის ელექტრულ წრედებსა და ტრანსფორმატორებში მიმდინარე ძირითადი ფიზიკური პროცესები, გადმოცემულია გაიკლის ზოგიერთი მეოთხედი, აღწერილია ლაბორატორიული სამუშაოები კურსის აღნიშნული ნაწილიდან.

ითვალისწინებს რა დაპროგრამებულ გადმოცემას, სახელმძღვანელოში მოცემულ თეორიულ მასალას ერთვის დიდძალი სანიმუშო მაგალითები და ამოცანები, რომლებიც ამოხსნილია. ცოდნის განსამტკიცებლად აქვე მოცემულია დამოუკიდებელი ნაბრუნებისათვის გამიზნული მაგალითები და ამოცანები.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის — „ფიზიკისა და ზოგადი ტექნიკური დისციპლინების“ სპეციალობის სტუდენტებისათვის.

წ ი ნ ა ს ი ტ უ ვ ა ო ზ ა

პოლიტექნიკური სწავლების შემოღებამ გაზარდა სკოლისადმი მოთხოვნები ელექტროტექნიკისა და რადიოელექტრონიკის ზოგიერთი საკითხის სწავლების დროს. ამან კი, თავის მხრივ, განაპირობა სათანადო სპეციალობის მქონე მასწავლებელთა კადრების მომზადების აუცილებლობა აღნიშნულ დისციპლინებში. ამ საპატიო დავალების შესრულება მოითხოვს სათანადო სახელმძღვანელოს.

წინამდებარე სახელმძღვანელო წარმოადგენს სრული კურსის პირველ ნაწილს და ითვალისწინებს მასალის დაპროგრამებულ გადმოცემას. იგი შეიცავს ცნობებს ფიზიკურ პროცესებზე ცვლადი დენის წრედებისა და ტრანსფორმატორების თეორიიდან და შედგენილია ფიზიკისა და ზოგადი ტექნიკის სპეციალობებისათვის განკუთვნილი პროგრამის მიხედვით. მოცემული მასალის სიახლესა და თავისებურებას წარმოადგენს აგრეთვე თეორიული საკითხების გაშუქება სათანადო ლაბორატორიული სამუშაოების მეთოდური მითითებების თანდართვით.

ვითვალისწინებთ რა დაპროგრამებული სწავლებისათვის დამახასიათებელ დებულებებს, სახელმძღვანელოში მოცემულია მთელი რიგი საჭირო ღონისძიებები დამოუკიდებელი სწავლებისათვის, რაც ხელს უწყობს სტუდენტის მიერ ღრმა ცოდნისა და ჩვევების შექმნას.

სახელმძღვანელოში მოცემული მასალა იყოფა ადვილად დასაძლევ და ლოგიკურად დასრულებულ ნაწილებად, რომლებსაც დავალებები ეწოდება. აღნიშნული კურსი შედგება 25 დავალებისაგან. ყოველი დავალება ერთი და იმავე გეგმითაა დალაგებული და შეიცავს შემდეგ ნაწილებს:

1) დავალების შინაარსი;

2) შესასწავლი თეორიული მასალა (ცალკე პარაგრაფების მიხედვით), რომელიც გათვალისწინებულია დახსოვების მიზნით სხვადასხვა სახის შრიფტითაა წარმოდგენილი. დასკვნები და განმარტებები მოცემულია მსხვილი (შავი) შრიფტით, ახალი ტერმინები და ცნობები — კურსივით, ხოლო მთავარი ტოლობები მოქცეულია ჩარჩოში;

3) თეორიული მასალა, რომელსაც წინ უძღვის სათანადო სურათები და სანიმუშო მაგალითები. მეთოდური მოსაზრებებით მოტანილია დაწვრილებითი გათვლები;

4) მთავარ საკითხებზე სტუდენტთა ყურადღების გამახვილების მიზნით დავალების თეორიული ნაწილი ბოლოვდება მოკლე დასკვნებით;

5) სტუდენტთა მიერ გავლილი მასალის ცოდნის განმტკიცებისათვის დავალებას ბოლოში ერთვის დამოუკიდებელი სამუშაოებისათვის გამიზნული სავარჯიშო ამოცანები და მაგალითები;

6) დასასრულ. დავალების ბოლო ნაწილი შეიცავს საკონტროლო კითხვებს, რომელთა მიზანია სტუდენტთა მიერ ცოდნის თვითშემოწმება. საკონტროლო კითხვების პასუხები მოცემულია დავალების თეორიულ მასალაში.

ჩვენი აზრით, სახელმძღვანელოში მოცემულ დავალებათა მასალის შესწავლის დროს მიზანშეწონილია მეცადინეობის შემდეგი თანამიმდევრობა. დავალების გულმოდგინედ გაცნობის შემდეგ სტუდენტი შეუდგება თეორიული მასალის დამოუკიდებელ შესწავლას. მასალის შესწავლასთან ერთად, იგი ადგენს კონსპექტს, რომელშიც შეაქვს სიტყვიერი დასკვნები, განმარტებები, ზოგიერთი მტკიცება, დასკვნითი ტოლობები, ყველა სახის საჭირო გრაფიკული მასალა და სხვ. დავალების თეორიული მასალის დამუშავებისა და სავარჯიშო ამოცანების და მაგალითების დამოუკიდებლად გადაწყვეტის შემდეგ სტუდენტი იმეორებს შესწავლილ მასალას დავალების ბოლოს მოცემული მოკლე დასკვნების საშუალებით. ამის შემდეგ იგი გადადის მიღებული ცოდნის განმტკიცებაზე დავალების ბოლოს დასმულ საკონტროლო კითხვებზე პასუხის გაცემის გზით.

იმ შემთხვევაში, თუ სტუდენტს გაუჭირდება დასმულ კითხვებზე პასუხის გაცემა, იგი ხელახლა იწყებს დავალების უფრო ყურადღებით შესწავლას. წინა დავალების შეუსწავლელად მომდევნოზე გადასვლა მიზანშეწონილი და უეფექტოა.

შემენილი ცოდნის თვითშემოწმების მიზნით, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს დაპროგრამებული სწავლებისათვის განკუთვნილი რომელიმე ტიპის საკონტროლო მანქანა (თუკი ასეთი გააჩნია ინსტიტუტს). განსაკუთრებით, სასურველია დაპროგრამებული სწავლების ტექნიკურ საშუალებათა ფართოდ გამოყენება აღნიშნული საგნის საკონტროლო და საკოლოკვიუმო სამუშაოებში. როგორც 25-ე დავალების მასალებიდან დასტურდება, დაპროგრამებული მანქანური კონტროლი გამოსატანი პულტების მეშვეობით შესამჩნევად ზრდის როგორც მასწავლებლის, ისე სტუდენტის შრომის ნაყოფიერებას ლაბორატორიულ სამუშაოებში.

ზოგადი ელექტროტექნიკის აღნიშნული კურსი სტუდენტს იმ შემთხვევაში შეუწყობს ხელს მასალის საფუძვლიანად დაუფლებაში, თუ იგი თანმიმდევრულად შეისწავლის მოცემული დავალებების მასალას

და ზუსტად დაიცავს სახელმძღვანელოს მიერ რეკომენდებულ მეთოდურ მითითებებს.

წიგნი ქართულ ენაზე ელექტროტექნიკის დაპროგრამებული სახელმძღვანელოს შექმნის პირველი ცდაა. ამიტომ იგი დაზღვეული არ იქნება ნაკლოვანებებისაგან. ავტორი მადლობის გრძნობით მიიღებს შენიშვნებს.

თ ა ვ ი I

შესავალი

ამ თავში გაშუქებულია თანამედროვე ელექტროტექნიკის დარგები; მოცემულია ელექტროტექნიკის განვითარების მოკლე მიმოხილვა. აღნიშნული მასალა ყურადღებას ამახვილებს იმ ღვაწლმოსილ ფიზიკოსთა და ელექტროტექნიკოსთა წვლილზე, რომელთა გამოკვლევებმაც გადამწყვეტი როლი შეასრულეს ამ მეცნიერების განვითარებაში. ამავე თავში წარმოდგენილია მასალა ელექტრიფიკაციის მნიშვნელობაზე სახალხო მეურნეობის განვითარებისა და ჩვენს ქვეყანაში კომუნიზმის მატერიალურ-ტექნიკური ბაზის შექმნის საქმეში.

აღნიშნული მასალის ყურადღებით შესწავლა არა მარტო გაუფართოებს და გაუღრმავებს სტუდენტს ამ საგნისა და მისი თეორიული საფუძვლების ცოდნას, არამედ ხელს შეუწყობს მას შექმნილი ცოდნის პრაქტიკულ გამოყენებაში, საჭირო უნარ-ჩვევების გამომუშავებაში.

დავალბა 1

ელექტროტექნიკის საგანი. ელექტროტექნიკის განვითარების მოკლე მიმოხილვა. ელექტრიფიკაციის მნიშვნელობა სახალხო მეურნეობაში. მოკლე დასკვნები.

§ 1-1. ელექტროტექნიკის საგანი

ელექტროტექნიკა არის მეცნიერება, რომელიც შეისწავლის ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს და მათი პრაქტიკული გამოყენების საშუალებებს. ამასთან დაკავშირებით, მისი შესწავლის მთავარი მიმართულებებია ენერგეტიკა და ელექტრული კავშირი. რომლებიც თავის მხრივ, იყოფიან რიგ სპეციალურ დარგებად. ეს დარგებია:

თ ა ნ ა მ ე დ რ ო ვ ე ე ნ ე რ გ ე ტ ი კ ა , რომელიც ძირითადად ელექტროენერგეტიკას გულისხმობს და შეისწავლის ენერგიის წყაროების გამოვლენის, მისი წარმოების, ენერგიის გადაცემა-განაწილებისა და გარდაქმნის საკითხებს.

ელექტრული მანქანებისა და ტრანსფორმატორების მშენებლობა, რომელიც მრეწველობის ერთ-ერთი უდიდესი დარგია.

საქარხნო ელექტროენერგეტიკა, ანუ ელექტრული ამძრავები, რომლებიც თანამედროვე ფაბრიკა-ქარხნების მოწყობილობათა მართვის ძირითად საშუალებას წარმოადგენენ.

ელექტრული მზომლობა, რომელიც სახალხო მეურნეობის მეცნიერებისა და ტექნიკის თითქმის ყველა დარგისათვის ზუსტ გაზომვათა ძირითად საშუალებას წარმოადგენს.

რადიოტექნიკა და ელექტრონიკა, რომლებიც გამოეყო ელექტროტექნიკას დამოუკიდებელ დარგად და სულ უფრო ღრმად იჭრება ადამიანის საქმიანობის თითქმის ყველა სფეროში.

ელექტრული ავტომატიკა, რომელიც ელექტრონული ხელსაწყოების გამოყენებით ერთ-ერთ ძირითად საშუალებას წარმოადგენს თანამედროვე სისტემათა ავტომატური მართვისათვის.

ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების კვანძები, რომლებიც ელექტრული, მაგნიტური, ელექტრონული ხელსაწყოებისა და დანადგარებისაგან შედგებიან და მანქანის მთავარ ელემენტებს წარმოადგენენ.

ყველა ამ სპეციალური დარგისა და დისციპლინის ათვისებისათვის საჭიროა მათი საფუძვლის — ელექტროტექნიკის ცოდნა და შესწავლა.

§ 1-2. ელექტროტექნიკის განვითარების მოკლე მიმოხილვა

ელექტროტექნიკა თავის ისტორიულ სათავეებს უხსოვარი დროიდან იღებს. ცნობილია, რომ ჯერ კიდევ 2000 წლის წინათ ბერძენი ფილოსოფოსი თალესი აკვირდებოდა ელექტრულ მოვლენებს, რომლებიც ახსიათებდნენ ზოგიერთ საგნებს, მაგრამ ელექტროტექნიკის მეცნიერების საწყისად მაინც ითვლება 1600 წელი, როდესაც გამოქვეყნდა ინგლისელი ექიმის ვილჰელმ ჯილბერტის (1540—1603) ელექტრული და მაგნიტური მოვლენების პირველი თეორიული დასაბუთებანი. მასვე ეკუთვნის „ელექტრობის“ ტერმინის შემოღება, რომელიც წარმოებულა ბერძნული სიტყვიდან „ელექტრონი“, რაც ქარვას ნიშნავს.

პირველი პრაქტიკული ნაბიჯები ელექტროტექნიკაში გადაიდგა მხოლოდ XVIII საუკუნეში სწორედ იმ დროს, როდესაც რუსეთში მოღვაწეობდნენ გამოჩენილი მეცნიერები მიხეილ ვახილის ძე ლომოსოსოვი (1711—1765), აკადემიკოსი გეორგ ვილჰელმ რიჰმანი (1711—

1753) და ცოტა მოგვიანებით აკადემიკოსი ვასილ ვლადიმერის ძე პეტროვი (1761—1834). ლომონოსოვისა და რიჰმანის გამოკვლევებმა ინგლისელ ბენჯამენ ფრანკლინის (1706—1790) გამოკვლევებთან ერთად საფუძველი ჩაუყარა ატმოსფერული ელექტრობის შესწავლას და შესამჩნევი ბიძგი მიეცა ელექტროტექნიკის განვითარებას. განვითარების აღნიშნულ პროცესს ხელი შეუწყო აგრეთვე რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის წევრის ფრანც ულრიჰ ეპინიუსის (1724—1802) მიერ ელექტროსტატიკური ინდუქციისა და თერმოელექტრული ეფექტის მოვლენების აღმოჩენამ.

XVIII საუკუნის დასასრულს კიდევ უფრო ინტენსიური გახდა ელექტროტექნიკის შემდგომი განვითარება. აღმავლობის პროცესს ხელი შეუწყო იტალიელი ფიზიოლოგის ლ. გალვანისა და იტალიელი ფიზიკოსის ა. ვოლტას აღმოჩენებმა ელექტრობის გავლენის შესახებ ცოცხალ ორგანიზმზე და გალვანური ელემენტის შექმნის საკითხმა. ამ საქმეს დიდად შეუწყო ხელი აგრეთვე ფრანგი ფიზიკოსის შარლ ოგიუსტენ კულონის (1736—1806) მიერ ელექტრულ მუხტებსა და მანეტურ პოლუსებს შორის არსებულ ურთიერთქმედების ძალის კანონის აღმოჩენამ.

1802 წელს რუსმა ფიზიკოსმა ვასილ ვლადიმერის ძე პეტროვმა აღმოაჩინა ელექტრული რკალის მოვლენა და მოგვცა მისი პრაქტიკული გამოყენების წინადადებები.

1820 წელს დანიელმა ფიზიკოსმა ხ. ერსტედმა დაადგინა ელექტროდენის მაგნიტური ველის არსებობა და მისი მოქმედება მაგნიტურ ისარზე. იმავე წელს ფრანგმა ფიზიკოსმა ა. ამპერმა მოგვცა ელდენიანი გამტარების ურთიერთქმედების კანონი. იმავე წელს ფრანგი მეცნიერები: ბიო, სავარა და ლაპლასი ადგენენ ელექტრული დენის მაგნიტური ველის რაოდენობრივ თანაფარდობის კანონს.

ელექტრონიკის განვითარების განსაკუთრებულ ეტაპად ითვლება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის აღმოჩენა (1831 წ.), რომელიც წილად ხვდა დიდ ინგლისელ ფიზიკოსს მაიკლ ფარადეის (1791—1867). ეს აღმოჩენა საფუძველი გახდა შემდგომში ისეთი ელექტრული მოწყობილობების შექმნისა, როგორცაა ელექტრული გენერატორები, ტრანსფორმატორები და სხვ. ფარადეის მოსაზრებებზე ელექტროტექნიკაში ღირსეულად განავითარა მისმა თანამემამულემ, გამოჩენილმა ფიზიკოსმა ჯეიმს კლერკ მაქსველმა (1831—1879). მისმა ტრაქტატმა ელექტრობასა და მაგნიტიზმზე საბოლოოდ ჩამოაყალიბა ელექტრომაგნიტური თეორია.

დიდი წვლილი შეიტანეს ელექტროტექნიკის განვითარებაში ამ დროის შუალედში გერმანელმა ფიზიკოსებმა გეორგ ომმა (1787—1854) და გუსტავ რობერტ კირხჰოფმა (1824—1887). პირველმა 1827

წელს დაადგინა მუდმივი დენის წრედში მოქმედი დენის, ძაბვისა და წინაღობის რაოდენობრივი თანაფარდობა, ხოლო მეორემ 1845 წელს მოგვცა დენებისა და ელექტრომამოძრავებელი ძალების ურთიერთ-ქმედების კანონები პარალელურ და მიმდევრობით ელექტრულ წრედებში.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია რუსი მეცნიერების წვლილი ელექტროტექნიკის განვითარებაში მთელი XIX საუკუნის მანძილზე. რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის წევრმა ე. ლენცმა (1804—1865) დაადგინა ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენათა ურთიერთკავშირი, ხოლო 1833 წელს ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი. 1838 წელს ლენცმა აღმოაჩინა აგრეთვე ელექტროტექნიკის მეტად ღირსშესანიშნავი კანონზომიერება — ელექტრული მანქანების უკუქმედების კანონი. ინგლისელი ფიზიკოსის ჯეიმს პრესკოტ ჯოულისაგან (1818—1899) დამოუკიდებლად, მაგრამ მასთან ერთდროულად, მან 1842 წელს აღმოაჩინა ელექტროტექნიკის კიდევ ერთი ფუნდამენტური კანონი — ელექტროდენის სითბური მოქმედების კანონი.

1831 წელს რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა პ. შილინგმა შექმნა ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფის აპარატი, რამაც საფუძველი ჩაუყარა ელექტროტექნიკის ნაწილს — ელექტრულ კავშირს. 1834 წელს გამოჩენილმა რუსმა სწავლულმა და ელექტროტექნიკოსმა ბ. იაკობიმ (1802—1874) შექმნა მსოფლიოში პირველი ელექტრული ძრავა. მეტად დიდია დამსახურება რუსი ფიზიკოსის ა. გ. სტოლეტოვისა (1839—1896), რომელმაც დასაბამი მისცა მაგნიტური წრედების თეორიას.

მეტად მნიშვნელოვანია ის წვლილი, რომელიც XIX საუკუნის 70-იან წლებში ელექტროტექნიკისა და, კერძოდ, ელექტრული განათების საქმეში შეიტანეს რუსმა გამომგონებლებმა პ. ნ. იაბლოჩკოვმა (1847—1894) და ა. ნ. ლოდიგინმა (1847—1923). ამავე პერიოდში პ. ნ. იაბლოჩკოვმა და ი. ფ. უსაგინმა შექმნეს ტრანსფორმატორი.

ელექტროტექნიკის უდიდეს შენაძენს წარმოადგენს გამოჩენილი რუსი ინჟინერ-ელექტროტექნიკოსის მიხეილ ოსიპის ძე დოლივო-დობროვოლსკის მიერ (1862 — 1919) ცვლადი დენის სამფაზა სისტემის შექმნა და განხორციელება.

თვალსაჩინო ადგილი უკავია ელექტროტექნიკის განვითარებაში აგრეთვე რუსი მეცნიერების პეტრე ნიკოლოზის ძე ლებედევის (1866—1912) შრომებს და ალექსანდრე სტეფანეს ძე პოპოვის (1859—1906) მიერ გამოგონილ რადიოს. უკანასკნელმა საფუძველი ჩაუყარა თანამედროვე რადიოტექნიკას.

ასეთია დაახლოებით ელექტროტექნიკის განვითარების მოკლე ისტორია მის დასაწყის პერიოდში. რაც შეეხება ელექტროტექნიკის გან-

ვითარების შემდგომ პერიოდს, იგი განსაკუთრებით მაღალი ტემპით ხასიათდება ყველა მისი დარგისათვის.

§1-მ. ელექტრიფიკაციის მნიშვნელობა სახალხო მუშაობაში

ელექტროტექნიკური მეცნიერების განვითარება განსაკუთრებულად სწრაფი ტემპით წარიმართა დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის შემდეგ. ელექტროტექნიკა თავისი მიღწევებით აღიარებულ იქნა ზომავალი საზოგადოების განვითარების ერთ-ერთ საფუძვლად.

1920 წელს საბჭოების სრულად რუსეთის VIII ყრილობამ დაამტკიცა სახელმწიფო კომისიის მიერ შედგენილი რუსეთის ელექტრიფიკაციის გეგმა — ე. წ. გოელოს გეგმა, რომლის შედგენაზე მუშაობდა ვ. ი. ლენინის ხელმძღვანელობით შექმნილი კომისია. ამ კომისიაში მონაწილეობდნენ ცნობილი რუსი ინჟინერ-ენერგეტიკოსები: გ. კრეიჟანოვსკი, რ. კლასონი, მ. შატელინი, ტ. მაკაროვი და სხვები.

გოელოს გეგმა უახლოესი 10—15 წლის განმავლობაში ითვალისწინებდა 30 რაიონული ელექტროსადგურის მშენებლობას, რომელთა სიმძლავრე 1,5 მლნ კვტ-ს უდრიდა. გარდა აღნიშნულისა, გეგმა ითვალისწინებდა არსებული სადგურების რეკონსტრუქციას მათი სიმძლავრის 250,000 კვტ-ით გადიდებით.

გოელოს ელექტრიფიკაციის ეს გეგმა გადაჭარბებით შესრულდა 1934 წლისათვის: დადგენილების გამოტანიდან 14 წლის შემდეგ საბჭოთა კავშირის ელექტროსადგურების სიმძლავრემ 3,666 ათას კვტ-ს გადააჭარბა.

სამამულო ომის დაწყების წინ 1940 წელს საბჭოთა კავშირის ელექტროსადგურების გამომუშავებამ 50 მლრდ კვტ/სთ მიაღწია, რამაც ჭველი რუსეთის (1913 წლის) ელექტროენერჯის გამომუშავებას 25-ჯერ გადააჭარბა.

მიუხედავად იმ დიდი ზიანისა, რაც სამამულო ომის დროს განიცადა ჩვენმა ქვეყანამ, მისი ენერგეტიკა მაინც მაღალი ტემპით ვითარდებოდა. 1950 წლისათვის კავშირის ელექტროსადგურების გამომუშავებამ 92 მლრდ კვტ/სთ მიაღწია, რაც 1940 წელს გამომუშავებული ელექტროენერჯის 180 %-ზე მეტს შეადგენდა. ამ დროისათვის ელექტროსადგურების სიმძლავრე 19,6 მლნ კვტ-ს შეადგენდა. ნაცვლად 11,0 მლნ კვტ-ისა 1940 წელში.

ელექტრიფიკაციის შეუნელებელ ზრდას ადასტურებს აგრეთვე ჩვენი ქვეყნის ენერგეტიკის მაჩვენებლები მომდევნო წლებში. 1960 წელს ელექტროენერჯის გამომუშავებამ, კავშირის ელექტროსადგურ-

რეზერვზე 292 მლრდ კვტ/სთ მიადნია. ხოლო სიმძლავრემ — 66.7 მლნ კვტ-ს. მაღალი ენერგეტიკული მაჩვენებლებით ხასიათდება შემდგომში პერიოდი. ასე. მაგალითად, 1965 წელს ჩვენი ქვეყნის ელექტროსადგურებმა გამოიმუშავეს უკვე 520 მლრდ კვტ/სთ და მათი სიმძლავრე 113 მლნ კვტ-მდე ავიდა.

პარტიის პროგრამის მიხედვით ელექტროენერჯის ხვედრითი გამოიმუშაება კიდევ უფრო გაიზრდება. 1980 წელს გამოიმუშაება უნდა გადიდდეს ერთიორად და მეტად, ანუ 2700—3000 მლრდ კვტ/სთ-მდე, ხოლო ელექტროსადგურების სიმძლავრე — 540—600 მლნ კვტ-მდე. უკანასკნელი 20 წლის მანძილზე ნაეარაუდევია 200 თბოელექტროსადგურისა და 180 ჰიდროელექტროსადგურის აგება.

ელექტრიფიკაციის ამ აღმავლობასთან ერთად დიდი ყურადღება ექცევა ჩვენს ქვეყანაში ელექტროტექნიკურ მეცნიერებას. შექმნილია სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტების ფართო ქსელი.

§ 1-4. მოკლე დასაყვნები

1. ელექტროტექნიკის, როგორც მეცნიერების, ისტორია 2000 წელზე მეტს ითვლის. მაგრამ მის საწყისად მაინც 1600 წელი ანუ ჯილბერტის მიერ ელექტრომაგნიტური მოვლენების თეორიული დანახუთების წელი ითვლება.

2. ელექტროტექნიკის განვითარების საქმეში დიდი ღვაწლი მიუძღვის გამოჩენილ მეცნიერებს, უპირველეს ყოვლისა მაიკლ-ფარადეის (1791—1867), ჯეიმს კლერკ მაქსველს (1831—1879), შარლ ოგიუსტენ კულონს (1736—1806), ვოლტას, ამპერს (1775—1836), გეორგ ოჰმს (1787—1854), გუსტავ რობერტ კირხჰოფს (1824—1887) და სხვებს.

3. მსოფლიო მეცნიერებთან ერთად ელექტროტექნიკის განვითარებაში მეტად დიდი და ფასდაუდებელი წვლილი შეიტანეს გამოჩენილმა რუსმა მეცნიერებმა და ელექტროტექნიკოსებმა: მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვმა (1711—1765), გეორგ ვილჰელმ რიჰმანმა (1711—1753), ვასილ ვლადიმერის ძე პეტროვმა (1761—1834), ვ. ლენცმა (1804—1865), ბ. იაკობიმ (1801—1874), ა. გ. სტოლეტოვმა (1839—1896), ა. ნ. ლოდიგინმა (1847—1923), პ. ნ. იაბლოჩკოვმა (1847—1894), მ. თ. დოლივო-დობროვოლსკიმ (1862—1919), პ. ნ. ლებედევმა (1866—1912), ა. ნ. პოპოვმა (1859—1906) და სხვებმა.

4. ელექტროტექნიკის განვითარება სწრაფი ტემპით წარიმართა მხოლოდ დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის შემდეგ. ჩვენი ქვეყნის ელექტრიფიკაციას 1920 წლიდან საფუძვლად დაედო ვ. ი. ლენინის ე. წ. გოელროს გეგმა, რომლის შესრულებამ მოკლე ვადებში ერთი-ორად და მეტად გაზარდა ქვეყნის ენერგეტიკული აღზღრა-

ვილობა. 1965 წლისათვის კავშირის ელექტროსადგურების დადგენილ-
მა სიმძლავრემ 113 მლნ. კვტ-ს გადააჭარბა, ხოლო გამოიმუშავებამ —
520 მლრდ კვტ/სთ-ს.

1980 წლისათვის დადგენილი სიმძლავრე 540—600 მლნ კვტ-ს მი-
აღწევს. ელსადგურები წლიურად გამოიმუშავებენ 2700—3000 მლრდ
კვტ/სთ-მდე ელექტროენერგიას.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას შეისწავლის ელექტროტექნიკა?
2. საიდან იღებს თავის ისტორიულ საწყისს ელექტროტექნიკა?
3. დიდი რუსი მეცნიერის მიხეილ ვასილის ძე ლომონოსოვისა და აკადემიკოს
ვილჰელმ რიჰანის ატმოსფერული ელექტრობის შესწავლის მნიშვნელობა ელექ-
ტროტექნიკის განვითარების საქმეში.
4. რომელ წლებში მოღვაწეობდნენ მაიკლ ფარადეი და ჯეიმს კლერკ მაქსველი
და რა წვლილი შეიტანეს მათ ელექტროტექნიკის განვითარებაში?
5. გაიხსენეთ XIX საუკუნის მეცნიერები და მათი როლი ელექტროტექნიკის
განვითარების საქმეში.
6. რომელ წლებში მოღვაწეობდნენ რუსი ელექტროტექნიკოსები: პ. ნ. იაბ-
ლოჩკოვი, ა. ნ. ლოდიგინი, ი. ფ. უსაგინი და რა წვლილი შეიტანეს მათ ელექტრო-
ტექნიკის პრაქტიკული განვითარების საქმეში?
7. სად და როდის იქნა მიღებული გოელროს გეგმა და ვისი უშუალო ხელმძღვ-
ნელობით დამუშავდა იგი?
8. რა სიმძლავრეს და რა სახის ელექტროსადგურების მშენებლობას ითვალის-
წინებდა გოელროს გეგმა 10—15 წლის მანძილზე?
9. რა სიდიდეს მიიღწია ელექტროენერგიის გამოიმუშავებამ საბჭოთა კავშირში
1960 წელს და რას უდრიდა ელექტროსადგურების დადგენილი სიმძლავრე?
10. როგორ სიმძლავრეს და ელექტრულ გამოიმუშავებას ითვალისწინებს ჩვენი
ქვეყნის ელექტრიფიკაციის პერსპექტიული გეგმა 1980 წლისათვის?

თ ა ვ ი II

ერთფაზიანი ცვლადი დენი

ამ თავში განხილულია ერთფაზიანი ცვლადი დენის მიღების პრო-
ცესი და მისი ძირითადი მახასიათებლები; ერთფაზიანი ცვლადი დენის
წრედების თეორიული საფუძვლები და გათვლის მეთოდები, რაც
აუცილებელია „ელექტროტექნიკის“ მომდევნო თავების შესწავლისა-
თვის.

მოცემული მასალის შესწავლის დროს, უპირველეს ყოვლისა, კარ-
გად უნდა გაერკვეთ ცვლადი დენის წრედებისათვის დადგენილ ძირი-
თად ცნებებში, კერძოდ, დენისა და ძაბვის მყის ამპლიტუდურ, მოქ-
მედ და საშუალო მნიშვნელობებში. დიდი ყურადღება უნდა დაუთმოთ

ცვლადი დენის ინდუქციობისა და ტევადობის შემცველ წრედებს. რათა ნათელი წარმოდგენა შეგვექმნათ იმ ელექტრულ და მაგნიტურ პროცესებზე, რომლებიც მათში წარმოიშობიან. კარგად უნდა შეიყნოსოთ ის მიზეზები, რომლებიც აიძულებენ დენის ძალას ჩამორჩეს ან წინ გაუსწროს წრედის ძაბვას.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ამ თავში მოცემული ელექტრული წრედების გათვლის ვექტორული დიაგრამების მეთოდებს. რომლებიც არა მარტო აადვილებენ წრედების გათვლებს, არამედ თვალსაჩინოს ხდიან გათვლის პროცესებს.

შესწავლილი მასალის ცოდნის განმტკიცებისა და მისი პრაქტიკულად გამოყენების მიზნით საჭიროა შეასრულოთ მე-2 და მე-3 დავალებისათვის განკუთვნილი სავარჯიშო მაგალითები და ამის შემდეგ შეამოწმოთ მიღებული ცოდნის ხარისხი მოცემული საჭონტროლო კითხვებით.

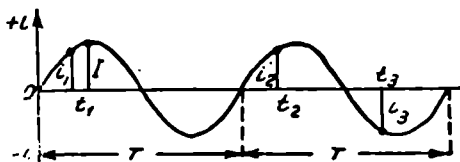
დავალება 2

ერთფაზიანი ცვლადი დენის მიღება, ცვლადი დენის ძირითადი მახასიათებლები: ამპლიტუდა, ხიხშირე, პერიოდი და ფაზა. დენისა და ძაბვის მუხის ამპლიტუდური, ფოკმედი და ხაზუალო მნიშვნელობები. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 2-1. ერთფაზიანი ცვლადი დენის მიღება

ცვლადი ელექტრული დენი ეწოდება ისეთ პერიოდულ დენს, რომლის ყოველი მნიშვნელობა მეორდება დროის (T) თანაბარ შუალედებში, სადაც T პერიოდია. ამასთან, ერთი ნახევარპერიოდის განმავლობაში დენს ერთი მიმართულება აქვს, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდის განმავლობაში — საწინააღმდეგო მიმართულება (ნახ. 1).

ამგვარად, ცვლადი ელექტრული დენი (ან ძაბვა) ისეთი ცვლადი სიდიდეა, რომელაც პერიოდულად იცვლის თავის მიმართულებას და სიდიდეს.



ნახ. 1. ცვლადი დენის გრაფიკი.

ცვლადი დენი მიიღება მაგნიტური ინდუქციის იმ კანონის შესაბამისად, რომელიც ამტკიცებს: თუ მაგნიტური ველის ძალწირებს კვეთს რაიმე გამტარი. მაშინ მასში აღიძვრება ელექტრომაგნიტური ძალა (ე. მ. ძ.). თუ გამტარი შეკრულ კონტურს წარმოადგენს, მასში გაჩნდება ინდუქციური დენი. აღძრული ე. მ. ძალა, როგორც ცნობილია, გამოისახება შემდეგი ტოლობით

$$e = B \cdot l \cdot v,$$

(1)

ე. ი. ე. მ. ძალა ერთ წამში უდრის: მაგნიტური ინდუქციის (B), გამტარის აქტიური სიგრძის (l) და გამტარის გადაადგილების სიჩქარის (v) ნამრავს. \int

აღძრული ე. მ. ძალა შეიძლება გამოისახოს, როგორც მაგნიტური ნაკადისა და დროის ფუნქცია, კარგად ცნობილი ტოლობით

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

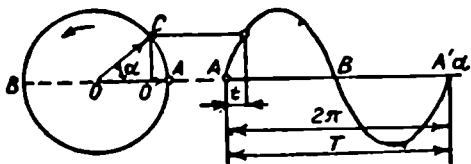
მანქანის კონსტრუქციული შესრულების მიხედვით ცვლად ე. მ. ძალას და ცვლად დენს შესაძლებელია ჰქონდეს სხვადასხვა პერიოდული მრუდების სახე, მის ყველაზე გავრცელებულ ფორმას თანამედროვე ცვლადი დენის მანქანებში წარმოადგენს სინუსოიდი, რომლის მიღების სქემა მოცემულია მე-2 ნახაზზე.

ესე გამტარს მოვითავსებთ ერთგვაროვანი სიმკვრივის მაგნიტურ არეში და ვაბრუნებთ წრიულად თანაბარი სიჩქარით (ω/ω), მასში აღძრული ე. მ. ძალა (e) იქნება

$$e = B \cdot l \cdot v' \cdot \sin \alpha.$$

ვინაიდან ამ ფარდობაში შემავალი B , l და v' მუდმივი სიდიდეებია, ამიტომ ე. მ. ძალის ცვალებადობის ხასიათი დამოკიდებულია მხოლოდ $\sin \alpha$ -ს ცვალებადობაზე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გამტარი განლაგებულია AB სიბრტყის პერპენდიკულარულად, ანუ როდესაც $\alpha = 90^\circ$ ან $\alpha = 270^\circ$, მაშინ $\sin \alpha = 1$ ან -1 და ე. მ. ძალა აღწევს



ნახ. 2. სინუსოიდური ცვლადი დენის ტალღური დიაგრამა

მაქსიმალურ (E_m) მნიშვნელობას

$$e = E_m \cdot \sin \alpha.$$

როდესაც $\alpha = 0^\circ$ ან $\alpha = 180^\circ$, მივიღებთ $\sin \alpha = 0$ და ე. მ. ძალა ნულის ტოლია

$$e = 0.$$

ამგვარად აღძრული ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობა დროის ნებისმიერ შუალედში ჩაიწერება შემდეგი ტოლობით

$$e = E_m \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

აქედან დავასკვნით, რომ ცვლადი დენის ე. მ. ძალა იცვლება სინუს-

სის კანონით და მისი ცვალებადობის გრაფიკი გამოისახება სინუსოიდით.

ისმება კითხვა: რა სახით უნდა იცვლებოდეს გამტარში ცვლადი დენის ძალა (i), თუ მის ბოლოებს შეეკრავთ გარეშე r წინაღობაზე?

ამ შემთხვევაში მასში გაივლის დენი, რომლის მყისი მნიშვნელობა, ომის კანონის თანახმად, იქნება

$$i = \frac{e}{r_0 + r} = \frac{E_m}{r_0 + r} \cdot \sin \alpha,$$

სადაც r_0 გამტარის წინაღობაა.

ვინაიდან ამ ტოლობაში შემავალი E_m , r_0 და r მუდმივი სიდიდეებია, ინდუცირებული დენის ცვალებადობის ხასიათიც, მსგავსად ე. მ. ძალისა, დამოკიდებულია $\sin \alpha$ -ზე. როცა $\sin \alpha = 1$, მაშინ ინდუცირებული დენი აღწევს თავის მაქსიმალურ I_m მნიშვნელობას.

$$I_m = \frac{E_m}{r_0 + r},$$

სოლო მისი მყისი მნიშვნელობა, ამ შემთხვევაში, გამოისახება შემდეგი ტოლობით

$$i = I_m \cdot \sin \alpha. \quad (4)$$

შესაბამისად, ძაბვის მყისი მნიშვნელობა (u) ასე ჩაიწერება

$$u = U_m \sin \alpha, \quad (5)$$

სადაც U_m ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობაა და უდრის

$$U_m = I_m \cdot r.$$

ამრიგად, დავასკვნით, რომ ინდუცირებული სინუსოიდური ე. მ. ძ. წარმოშობს ცვლად სინუსოიდურ დენს, ხოლო ეს უკანასკნელი განაპირობებს ცვლად სინუსოიდურ ძაბვას. $\}$

ამოვხსნათ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. ავაგოთ ერთგვაროვანი სიმკვრივის ველში მბრუნავ გამტარში აღძრული ე. მ. ძალის ცვალებადობის ტალღური დიაგრამა, როდესაც ე. მ. ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა $E_m = 100$ ვოლტია, ხოლო მისი მყისი მნიშვნელობები გამოითვლება სრული შემობრუნების $1/12$ ნაწილიდან.

ამოხსნა. ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობების გამოსარკვევად გამტარის ერთი შემობრუნების თორმეტივე შემთხვევისათვის α კუთხე გავყოთ 12 ნაწილად და მისი ყოველი $\frac{1}{12}$ ნაწილისათვის ტრიგონო-

მეტრიულ ცუნქციათა ცხრილიდან ამოვწეროთ სინუსის სათანადო მნიშვნელობები. მივიღებთ:

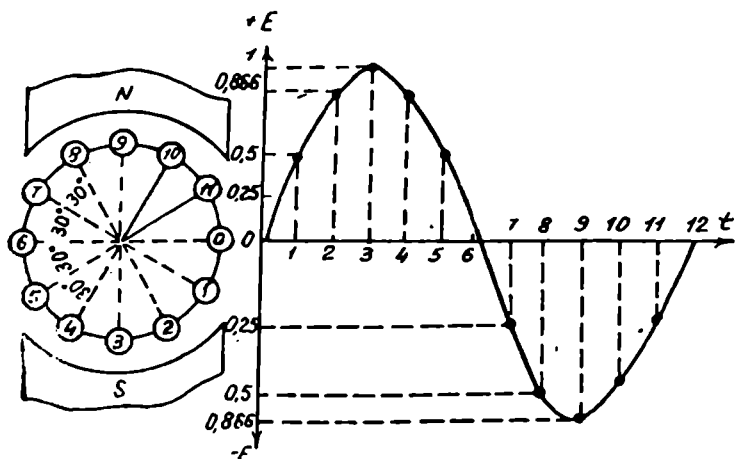
$\alpha = 0^\circ; 30^\circ; 60^\circ; 90^\circ; 120^\circ; 150^\circ; 180^\circ; 210^\circ; 240^\circ; 270^\circ; 300^\circ; 330^\circ; 360^\circ$.

და $\sin \alpha = 0; 0,5; 0,866; 1,0; 0,866; 0,5; 0; -0,5; -0,866; -1,0; -0,866; -0,5; 0$.

კუთხეებისა და მათი სინუსების მიხედვით გამოვთვალოთ შესაბამისი ელექტრომაგონარავებელი ძალები, ე. ი.

$e_1 = 0$	$e_4 = 100$	$e_7 = 0$	$e_{10} = 100$
$e_2 = 50$	$e_5 = 86,6$	$e_8 = 50$	$e_{11} = -86,6$
$e_3 = 86,6$	$e_6 = 50$	$e_9 = -86,6$	$e_{12} = 50$
			$e_{13} = 0$

აღნიშნული გათვლების შემდეგ გადავდივართ ე. მ. ძალის ცვალებადობის ტალღური დიაგრამის აგებაზე. ამისათვის აბსცისის ღერძზე გადავზომავთ გამტარის ერთი სრული შემობრუნების დროს (t), რომელსაც დავყოთ 12 თანაბარ ნაწილად, ე. $\frac{360}{12}$, ორდინატის ღერძზე კი გადავზომავთ ე. მ. ძალის შესაბამის 12 მნიშვნელობას. თუ მიღებული წერტილებიდან აღვმართავთ მართობებს, მათი გასვეთის წერტილებში მივიღებთ ე. მ. ძალის სათანადო მყის მნიშვნელობებს, რომლებზეც გაივლის მისი ტალღური დიაგრამა — სინუსოიდი (ნახ. 3).



ნახ. 3. ე. მ. ძალის ტალღური დიაგრამა (მაგალითისათვის).

§ 2-2. ცვლადი დენის ძირითადი მახასიათებლები

ცვლადი სინუსოიდური დენის ძირითად მახასიათებლებს მიეკუთვნება ცნებები: პერიოდი, ამპლიტუდა, სიხშირე და ფაზა.

პერიოდი ცვლადი დენის ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია და განისაზღვრება შემდეგნაირად: პერიოდი ეწოდება დროის იმ შუალედს (T), რომლის განმავლობაშიც ელექტრული სიდიდე იცვლება ერთი სრული ციკლით, ე. ი. ასრულებს ერთ სრულ რხევას.)

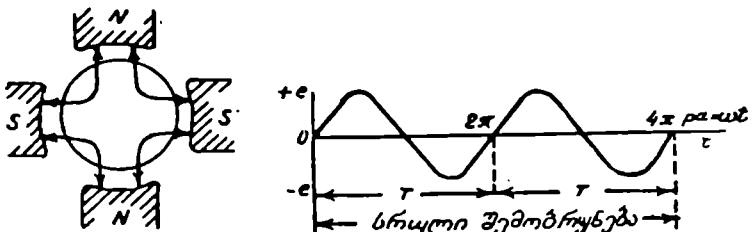
(ამპლიტუდა ელექტრული სიდიდის ის მყისიერი მნიშვნელობაა, როდესაც იგი თავის მაქსიმუმს აღწევს პერიოდის განმავლობაში.)

ფრიად მნიშვნელოვან ცნებას წარმოადგენს დენის სიხშირე (f), რომელსაც შემდეგნაირად განსაზღვრავენ: ცვლადი დენის სიხშირე ეწოდება პერიოდების რიცხვს ერთ წამში, ანუ პერიოდის შებრუნებულ სიდიდეს.

$$f = \frac{1}{T} \quad (6)$$

სიხშირის ერთეულს პერცი (პც) ეწოდება. მისი რიცხვითი გამოსახულება უდრის ერთ პერიოდს წამში.

როგორც მე-2 ნახაზიდან ჩანს, გამტარში აღძრული ე. მ. ძალა თავის ცვალებადობის ერთ სრულ ციკლს T დროის განმავლობაში და ერთ წყვილ მაგნიტურ პოლუსთა (N და S) ველში ასრულებს. თუ წყვილ პოლუსთა რიცხვს (p) გავზრდით, მაშინ ე. მ. ძალის ცვალებადობის სრული ციკლების ანუ პერიოდების რაოდენობა (გამტარის იგივე ერთი შემობრუნებისათვის) გაიზრდება. ასე, მაგალითად, 2 წყვილ ($p=2$) პოლუსთა შემთხვევისათვის გამტარის ერთი შემობრუნების დროს ე. მ. ძალა ორჯერ ასრულებს თავის ცვალებადობის სრულ ციკლს (ნახ. 4). ამავე წესით, 3 წყვილ პოლუსთა შემთხვევაში ($p=3$), ე. მ. ძალა სამჯერ აღწერს სინუსოიდს და ა. შ.



ნახ. 4. ე. მ. ძალის გრაფიკი ოთხპოლუსიანი გენერატორისათვის.

აქედან დავასკვნით, რომ გამტარში აღძრული ე. მ. ძალის ცვალებადობის სრულ ციკლთა ანუ ე. მ. ძალის პერიოდების რაოდენობა, გამტარის ერთი შემობრუნების დროს, მანქანის წყვილ პოლუსთა (p) რიცხვის ტოლია.

თუ გამტარის ბრუნთა რიცხვს n -ით აღვნიშნავთ, მაშინ აღძრული ე. მ. ძალის პერიოდების რაოდენობა ანუ სიხშირე იქნება

$$f = \frac{P \cdot n}{60} \text{ ჰც.} \quad (7)$$

ენიდან გამტარი მანქანაში მოძრაობს წრიულად და მას ახასიათებს კუთხური სიჩქარე

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60},$$

შესაძლებელი ხდება დენის სიხშირისა და კუთხური სიჩქარის ურთიერთ დაკავშირება

$$\omega = 2\pi f, \quad (8)$$

სადაც ω -ს ელექტრულ კუთხურ სიჩქარეს ანუ კუთხურ სიხშირეს უწოდებენ. აღნიშნული ფართობები საშუალებას იძლევიან დროის ერთეულები გამოვსახოთ კუთხური ერთეულებით და პირიქით

$$\alpha = \omega t = 2\pi f t = 2\pi f \frac{t}{T},$$

საიდანაც

$$t = T \cdot \frac{\alpha}{2\pi}. \quad (9)$$

(ცვლადი დენის სიხშირე, რომელსაც გამოიმუშავენ ელექტროსადგურები ყველა სახელმწიფოში, სტანდარტიზებულია კანონით. ჩვენი ქვეყნის ელექტროქსელების დენის სიხშირე დადგენილია 50 ჰც-ით, ხოლო ამერიკის შეერთებულ შტატებში—60 ჰც-ით.)

ფაზის ცნებაც ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელია ცვლადი დენის სისტემისათვის) მართლაც, თუ დავაკვირდებით მე-2 ნახაზზე მოტანილ ტალღურ დიაგრამას, ადვილად შევამჩნევთ, რომ ცვლადი ე. მ. ძალის (e) ყოველ მყის მნიშვნელობას ახასიათებს არა მარტო საკუთარი სიდიდე, რომელიც განისაზღვრება E_m და $\sin \alpha$ მნიშვნელობით აღებული პერიოდის ფარგლებში, იგი დამოკიდებულია აგრეთვე

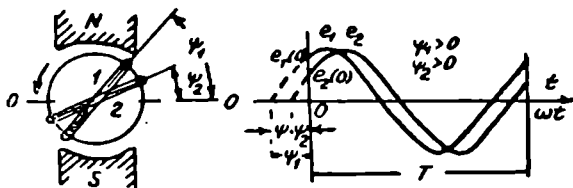
ადგილმდებარეობაზე, რომელსაც ფაზა ეწოდება. ე. მ. ძალის ერთი და იგივე მნიშვნელობა (როგორც სიდიდით, ისე ნიშნით) ერთი სრული სინუსოიდის ფარგლებში გვხვდება ორჯერ მრუდის სხვადასხვა წერტილში ანუ ამ მრუდის ფაზებში.

ამრიგად, დავასკვნით, რომ (რხევითი პროცესის სხვადასხვა სტადიებს (მატება, გავლანულზე ან მაქსიმუმზე და ა. შ.), რომლებსაც სინუსოიდური ფუნქციები აღწერენ, ფაზები ეწოდება.)

რხევითი პროცესის ფაზა გარკვეულ t მომენტში განისაზღვრება $(\omega t + \varphi)$ კუთხით, რომელსაც ფაზური კუთხე ეწოდება. აქედან გამომდინარე, ცვლადი ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობაც, შესაბამისად, შემდეგი ტოლობით განისაზღვრება

$$|e = E_m \sin(\omega t + \varphi)| \quad (10)$$

ფ კუთხეს, რომელიც განსაზღვრავს ფაზის საწყისს ($t=0$), საწყისი ფაზა ეწოდება. ორი სინუსოიდური სიდიდის საწყისი ფაზების (φ_1 და φ_2) სხვაობას ფაზათა ძვრას ან ფაზათა ძვრის კუთხეს უწოდებენ (ნახ. 5).



ნახ. 5. ცვლადი e_1 და e_2 ე. მ. ძალების ურთიერთგადახრის გრაფიკი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, φ_1 და φ_2 საწყისი ფაზების კუთხეები ანუ საწყისი ფაზებია, ხოლო φ ფაზათა ძვრის კუთხეა. ამრიგად,

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2.$$

აქედან გამომდინარეობს: (თუ ორი სინუსოიდური სიდიდეს ერთნაირი საწყისი ფაზა აქვს, მაშინ თავის ნულოვან და ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს ისინი ერთდროულად აღწევენ და ამიტომ მათ ფაზით თანხვედნილ სინუსოიდურ სიდიდეებს უწოდებენ.)

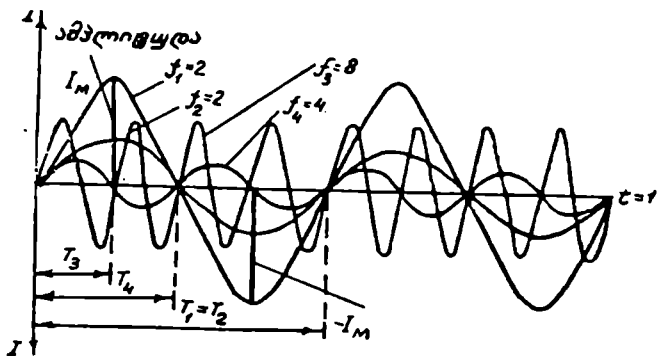
თუ ზემოთ მოყვანილი (e_1, e_2) ე. მ. ძალებიდან ერთ-ერთი, მაგალითად e_1 , აღრე აღწევს თავის ნულოვან ან დადებით ამპლიტუდურ

მნიშვნელობას, ϵ_1 — ე. მ. ძალა წინ უსწრებს ϵ_2 -ს, ე. ი. ϵ_2 ჩამორჩება ϵ_1 -ს.

ახლა გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითების გამოყენებაზე.

მაგალითი 1. ავაგოთ 4 სხვადასხვა აპლიტუდის ($I_{m_1}, I_{m_2}, I_{m_3}, I_{m_4}$) და პერიოდების (T_1, T_2, T_3, T_4) სინუსოიდური დენების ტალღური დიაგრამები, რომელთა სიხშირეები, შესაბამისად, ტოლია: $f_1=2$ ჰც, $f_2=2$ ჰც, $f_3=8$ ჰც და $f_4=4$ ჰც.

ამოხსნა. თუ კოორდინატთა სისტემის პორიზონტალურ ღერძზე გადავზომავთ დროის (T_1, T_2, T_3, T_4) მონაკვეთებს, ხოლო ვერტიკალურ ღერძზე — დენის ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს ($I_{m_1}, I_{m_2}, I_{m_3}, I_{m_4}$), შესაძლებელი გახდება f_1 სიხშირის მქონე დენის ტალღური დიაგრამის აგება. დიაგრამა წარმოადგენს მრუდს, რომელიც 1 დროის შუალედში შემოხაზავს 2 სრულ სინუსოიდს. ანუ ისეთ მრუდს, როგორც ეს ნაჩვენებია მე-6 ნახაზზე.



ნახ. 6. სხვადასხვა ამპლიტუდისა და სიხშირის დენების ტალღური დიაგრამები (მაგალითისათვის).

ანალოგიურად გამოიხაზება ადგილზე ღერძთა სისტემაში შედარებით უფრო მცირე ამპლიტუდის მქონე (f_2 სიხშირის) დენის მრუდიც, რომელმაც უნდა შემოხაზოს 1 დროის მონაკვეთში აგრეთვე 2 სრული სინუსოიდი.

ვინაიდან I_{m_3} დენის სიხშირე $f_3=8$ ჰც-ს, იგი დროის იმავე შუალედში მოგვეცემს უკვე 8 სრულ სინუსოიდს. ანალოგიურად I_{m_4} დენისათვის, რადგან $f_4=4$ ჰც-ს, მივიღებთ ოთხ სრულ სინუსოიდს.

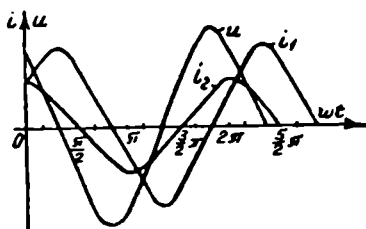
მაგალითი 2. განსაზღვრეთ ცვლადი დენის სიხშირე და კუთხური სიხშირე, თუ გენერატორი შეიცავს ორ წყვილ პოლუსს ($p=2$) და მისი გრაგნილის ბრუნთა რიცხვი $n=1500$ ბრ/წთ.

ამოხსნა. ვსარგებლობთ რა უკვე ცნობილი ტოლობით (7), ადვილად გამოვთვლით სიხშირეს

$$f = \frac{2 \cdot 1500}{60} = 50 \text{ ჰც.}$$

მაგალითი 3. ააგეთ მასშტაბში დენებისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობების ტალღური დიაგრამები, თუ $i_1 = 1,5 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$,

$$i_2 = 2,5 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \text{ და } u = \\ = 150 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{6}\right).$$



ნახ. 7. დენისა და ძაბვის ტალღური დიაგრამები მე-2 მაგალითისათვის.

ამოხსნა. ტალღური დიაგრამების აგებას ვიწყებთ კოორდინატთა ღერძების აგებით. მასშტაბის გათვალისწინებით აბსცისთა ღერძზე გადავზომავთ კუთხური სიჩქარეების მნიშვნელობებს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — დენისა და ძაბვის სიდიდეებს (ნახ. 7).

§ 2-8. დენისა და ძაბვის მყისი, ამპლიტუდური, ფორმული და საშუალო მნიშვნელობები

ცვლადი დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობები, როგორც აღვნიშნეთ, ეწოდება დროის ნებისმიერ შუალედში აღებულ დენისა და ძაბვის სიდიდეებს. ასე, მაგალითად, სინუსოიდური დენის მყისი მნიშვნელობა ნებისმიერ დროის შუალედში, მე-10 ტოლობის შესაბამისად, გამოითვლება ფორმულით

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_1). \quad (11)$$

სინუსოიდური ძაბვის მყისი მნიშვნელობა

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_2). \quad (12)$$

ამრიგად, დენისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობები შეიძლება ასე განვსაზღვროთ: ცვლადი დენისა და ძაბვის უდიდეს (მყის) მნიშვნელობებს, რომლებსაც ადგილი აქვთ პერიოდის განმავლობაში, მაქსიმალურ

რი ანუ ამპლიტუდური მნიშვნელობები ეწოდება.

რაც შეეხება მოქმედი და საშუალო მნიშვნელობების ცნებებს, მათი თავისებურებების გარკვევისათვის საჭიროა დამატებითი განმარტებები.

ელექტრულ სიდიდეთა მოქმედი ეფექტური მნიშვნელობების სტანდარტის შესაბამისად აღინიშნებიან: ე. მ. ძალა E , დენები I და ძაბვები U . ცვლადი დენის წრედებისათვის განკუთვნილ ამპერმეტრებისა და ვოლტმეტრების სკალებზე ყოველთვის აღინიშნება დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები.

საერთოდ, ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა მუდმივი დენის ისეთ ეკვივალენტურ მნიშვნელობას ეწოდება, რომელიც პერიოდის განმავლობაში გამტარში იმავე რაოდენობის სითბოს გამოყოფს, რამდენსაც ცვლადი დენი. მოქმედი მნიშვნელობა ნაკლებია დენის ამპლიტუდურ მნიშვნელობაზე და გამოითვლება ამპლიტუდური და მოქმედი დენების მიერ შესრულებულ მუშაობათა თანაფარდობებიდან.

ცვლადი დენის მუშაობა dW დროის უსასრულოდ მცირე dt მონაკვეთში შეიძლება გამოისახოს დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობებით:

$$dW = u i dt;$$

ვინაიდან

$$i = \frac{u}{R} \quad \text{და} \quad u = i \cdot R,$$

ჩაწეროთ

$$dW = R \cdot i^2 \cdot dt.$$

მთელი პერიოდის განმავლობაში კი მუშაობა (W) გაითვლება ბოლო ტოლობის ინტეგრებით

$$\boxed{W = R \int_0^T i^2 dt.} \quad (13)$$

თუ აღნიშნულ ტოლობაში შევიტანთ დენის მყის მნიშვნელობას, ე. ი.

$$i = I_m \cdot \sin \omega t,$$

მაშინ

$$W = I_m^2 \cdot R \int_0^T \sin^2 \omega t dt.$$

თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ $\sin^2 \omega t$ -ს მნიშვნელობას

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t),$$

მივიღებთ

$$w = \frac{I_m^2 \cdot R}{2} \left(\int_0^T dt - \int_0^T \cos 2\omega t dt \right).$$

ამ ტოლობის მეორე ინტეგრალი, როგორც ვხედავთ, ნულის ტოლია და ამიტომ უკანასკნელი გამოსახულება ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\boxed{w = \frac{I_m^2 \cdot R \cdot T}{2}} \quad (14)$$

მოქმედი დენისათვის, ადრე ჩამოყალიბებული პირობიდან, დენის მუშაობა w შეიძლება წარმოვიდგინოთ მოქმედი მნიშვნელობების საშუალებით

$$\boxed{w = I^2 \cdot R \cdot T} \quad (15)$$

ბოლო ტოლობების გათვალისწინებით მივიღებთ თანათარლობას

$$I^2 \cdot R \cdot T = \frac{I_m^2 \cdot R \cdot T}{2},$$

საიდანაც მოქმედი მნიშვნელობა

$$\boxed{I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m} \quad (16)$$

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა (I) მისი ამპლიტუდური (I_m) სიდიდის 0,707 ნაწილს შეადგენს.)

ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობის ანალოგიურად გამოისახება ცვლადი დენის ე. მ. ძალის და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები:

$$\sqrt{E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot E_m} \quad (17)$$

$$\sqrt{U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m} \quad (18)$$

ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა შეიძლება აგრეთვე ჩაიწეროს შემადგენელ სიდიდეთა მნიშვნელობებითაც, რაც მე-13 და მე-15 ტოლობებიდან გამომდინარეობს

$$I^2 \cdot R \cdot T = R \cdot \int_0^T i^2 \cdot dt,$$

საიდანაც

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}. \quad (19)$$

ანალოგიურად მივიღებთ ე. მ. ძალის და ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობებსაც

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt} \quad (20)$$

და

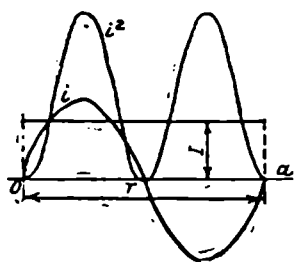
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}. \quad (21)$$

აღნიშნულ კანონზომიერებათა საფუძველზე უფლება გვქმნება დავსკვნათ, რომ ცვლადი დენის ელექტრული სიდიდეების მოქმედი მნიშვნელობები (E , I და U) წარმოადგენენ მათ საშუალო კვადრატულ მნიშვნელობებს.)

ცვლადი დენის ელექტრულ სიდიდეთა მოქმედი მნიშვნელობების ფიზიკური არსის ნათელსაყოფად განვიხილოთ შესაბამისი გრაფიკები (ნახ. 8).

ნახაზიდან ჩანს, რომ i^2 -ის მრუდსა და აბსცისის ღერძს შორის მოთავსებული

ფართობი $\int_0^T i^2 dt$ ინტეგრალს წარმოადგენს, ხოლო T — ფუძეზე აგებული მართკუთხედის ფართობის ტოლია, რომლის სიმაღლეს დენის მოქმედი მნიშვნელობა (I) შეადგენს.



ნახ. 8. ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობის გრაფიკი.

რადგან ცვლადი დენისა და ძაბვის საშუალო მნიშვნელობებს საკმაოდ ფართოდ იყენებენ

ელექტროტექნიკურ გათვლებში, საჭიროა ამ ცნებების გააზრება. ვინაიდან ცვლადი სინუსოიდური სიდიდეების საშუალო მნიშვნელობები ერთი სრული პერიოდის შუალედში ნულის ტოლია, ამიტომ ელექტროტექნიკაში სინუსოიდური სიდიდეების საშუალო მნიშვნე-

ლობის გამოსათვლელად მიმართავენ სინუსოიდის ნახევარი პერიოდის გრაფიკის განხილვას (ნახ. 9).

გეომეტრიულად დენის საშუალო მნიშვნელობა (I_s) ნახევარი პერიოდის განმავლობაში

$$I_s = \frac{S_{\pi}}{\pi},$$

სადაც S_{π} ნახევარტალის ფართობია, ხოლო π — ნახევარპერიოდის ფუძე. საწყისიდან α მანძილზე აღებული უსასრულოდ მცირე dS ფართობისათვის, რომლის სიმაღლეა i , შეიძლება დაიწეროს

$$dS = i d\alpha.$$

დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობით გამოსახული ფართობის ეს ელემენტარული ნაწილი ასე ჩაიწერება

$$dS = I_m \sin \alpha d\alpha,$$

ხოლო ნახევარპერიოდის მთლიანი ფართობი S_{π} (0-დან π -მდე) იქნება

$$S_{\pi} = I_m \int_0^{\pi} \sin \alpha d\alpha = I_m [-\cos \alpha]_0^{\pi}$$

ან

$$S_{\pi} = 2I_m.$$

თუ ფართობის ამ მნიშვნელობას შევიტანთ I_s -ს გამოსახულებაში. მივიღებთ ცვლადი დენის საშუალო მნიშვნელობას

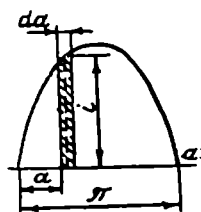
$$\boxed{I_s = \frac{2}{\pi} I_m = 0,637 \cdot I_m} \quad \checkmark \quad (22)$$

(ანალოგიურად, ე. მ. ძალისა და ძაბვის საშუალო მნიშვნელობები იქნება)

$$\boxed{E_s = \frac{2}{\pi} E_m} \quad \checkmark \quad (23)$$

და

$$\boxed{U_s = \frac{2}{\pi} U_m} \quad \checkmark \quad (24)$$



ნახ. 9. სინუსოიდური დენის საშუალო მნიშვნელობის გათვლა.

ამ პარაგრაფში განხილული საკითხებისათვის ამოცხნათ სანიმუშო მაგალითები.

მაგალითი 1. როგორი იქნება ცვლადი დენის წრედში ჩართული ამპერმეტრის ჩვენება, თუ დენის მაქსიმალური ანუ ამპლიტუდური მნიშვნელობა 21,5 ამპერის ტოლია?

ამოხსნა. ამპერმეტრის ჩვენების გამოსათვლელად მივმართავთ ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობის გამოსახულებას (16), საიდანაც

$$I = 0,707 \cdot I_m = 0,707 \cdot 21,5 = 15,2 \text{ ა.}$$

მაგალითი 2. ცვლადი დენის ქსელში ჩართული ვოლტმეტრი გვიჩვენებს 127 ვ-ს. განსაზღვრეთ, რას უნდა უდრიდეს ამ ქსელისათვის ძაბვის ამპლიტუდური და საშუალო მნიშვნელობები?

ამოხსნა. ძაბვის მაქსიმალური ანუ ამპლიტუდური მნიშვნელობა გამოითვლება ცნობილი (18) ტოლობიდან

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U = 1,41 \cdot 127 = 179,07 \text{ ვ.}$$

ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის გასათვლელად კი ვსარგებლობთ (24) ტოლობით, ე. ი.

$$U_s = 0,637 \cdot U_m = 0,637 \cdot 179,07 = 114,05 \text{ ვ.}$$

§ 2-4. ვექტორული დიაგრამები

სინუსოიდურ სიდიდეებს ელექტროტექნიკაში გამოსახავენ სინუსოიდების ან მბრუნავი ვექტორების საშუალებით. გამოსახვის პირველი ხერხი, რომელიც ზემოთ განვიხილეთ, საშუალებას იძლეოდა გამოგვეთვალა ამპლიტუდა, საწყისი ფაზა და პერიოდი, ე. ი. სინუსოიდური სიდიდეების ძირითადი მახასიათებლები.

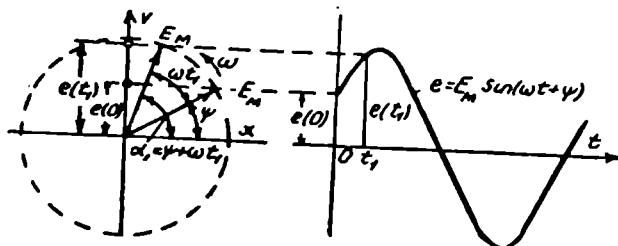
იმ შემთხვევაში, როდესაც სინუსოიდურ სიდიდეს წარმოვიდგენთ მბრუნავი ვექტორის საშუალებით, ვექტორის სიგრძე გარკვეულ მასშტაბში ასახავს ამ სიდიდის ამპლიტუდას; კუთხე ვექტორსა და აბსცისის ღერძის დადებით მიმართულებას შორის უდრის საწყის ფაზას, ხოლო ვექტორის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე კუთხური სიხშირის ტოლია.

სინუსოიდური სიდიდის მყისი მნიშვნელობები ამ შემთხვევაში განისაზღვრება მბრუნავი ვექტორის (რადიუს-ვექტორის) პროექციებით ორდინატთა ღერძზე.

მაგალითად, თუ საჭიროა გამოისახოს ე. მ. ძალა, რომლის საწყისი კუთხე $\varphi = 0$, აბსცისთა ღერძის დადებითი მიმართულებით, არჩეულ მასშტაბში გადავზომავთ ვექტორს, რომელიც წარმოადგენს ე. მ. ძალის E_m ამპლიტუდას.

დადებითი მიმართულებით ა კუთხური სიჩქარით ამ ვექტორის პროექციები ორდინატთა ღერძზე დროის შესაბამისი მომენტისათვის ბრუნვის დროს (ნახ. 10) გამოსახვენ ე. მ. ძალის მყის მნიშვნელობებს, ე. ი.

$$e = E_m \cdot \sin \omega t.$$



ნახ. 10. სინუსოიდური დენის და ე. მ. ძალის ვექტორული დიაგრამა.

თუ ე. მ. ძალის რადიუს-ვექტორი საწყის მომენტში წანაცვლებულია პორიზონტალიდან გარკვეული φ კუთხით, მაშინ ამ ვექტორის პროექცია ორდინატთა ღერძზე შეიცვლება და მისი მყისი მნიშვნელობა გამოსახება სხვა კუთხის სინუსით (ნახ. 10), ე. ი.

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi).$$

ე. მ. ძალის რადიუს-ვექტორის ანალოგიურად შეიძლება ჩაიწეროს დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობები

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_1)$$

და

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_2).$$

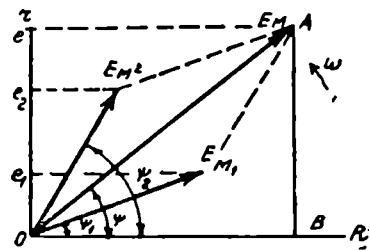
მაშასადამე, ვექტორს ან ვექტორთა ერთობლიობას, რომლებიც გამოსახავენ ერთი (ტოლი) სიხშირის სინუსოიდურ სიდიდეებს, ვექტორული დიაგრამები ეწოდება.

ვექტორული დიაგრამების გამოყენება ელექტროტექნიკაში მნიშვნელოვნად ამარტივებს ელექტრულ სიდიდეთა შეკრებისა და მათი მდგენელების გამოთვლის ოპერაციებს. ასეთ დიაგრამებში ვექტორული ჯამი მათზე აგებული პარალელოგრამის დიაგონალის ტოლია. აღნიშნულ ჯამს მივიღებთ ერთ-ერთი შესაკრები ვექტორის პარალელური გადტანით დიაგრამის ცენტრიდან მეორე ვექტორის ბოლოზე (ნახ. 11).

ვექტორების გეომეტრიული შეკრების დროს ელექტრულ სიდიდეთა ამპლიტუდური ან მოქმედი მნიშვნელობების შესაკრებების თავზე აღნიშნავენ წერტილს ან გაუსვამენ ხაზს. ცვლადი დენის ვექტორების ასეთი აღნიშვნა გამოწვეულია იმით, რომ განასხვავონ ისინი ვექტორებისაგან, რომლებსაც ახასიათებთ გარკვეული მიმართულება სივრცეში (სიჩქარე, ძალა და სხვ.).

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყენებაზე.

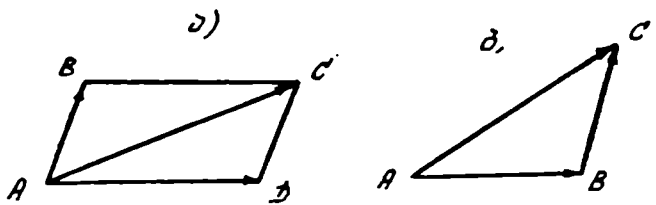
მაგალითი. ავაგოთ ვექტორული დიაგრამები და შევკრიბოთ ერთ შემთხვევაში ორი E_1 და E_2 ე. მ. ძალების მოქმედი მნიშვნელობები პარალელოგრამის წესით, როდესაც ისინი წანაცვლებული არიან ძვრის $\varphi_1 = 75^\circ$ კუთხით.



ნახ. 11. ე. მ. ძალების შეკრება ვექტორულ დიაგრამაზე.

მეორე შემთხვევაში შევკრიბოთ E_3 და E_4 სამკუთხედის წესით, როდესაც ეს ვექტორები წანაცვლებულია ურთიერთის მიმართ $\varphi_2 = 85^\circ$ -ით.

ამოხსნა. პირველ შემთხვევაში ავაგებთ \vec{E}_1 და \vec{E}_2 ვექტორების დიაგრამას, რისთვისაც A წერტილიდან გადავზომავთ AD პორიზონტალური მიმართულებით \vec{E}_1 ე. მ. ძალას, ხოლო მასთან $\varphi_1 = 75^\circ$ კუთხით, AB მიმართულებით, — \vec{E}_2 ე. მ. ძალას. ამის შემდეგ ვახდენთ E_1 და E_2 ვექტორების გეომეტრიულ შეკრებას მათზე $ABCD$ პარალელოგრამის აგების საშუალებით, საიდანაც ჯამური ე. მ. ძალა $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ (ნახ. 12).



ნახ. 12. ე. მ. ძალის ვექტორების შეკრება (მაგალითისათვის).
 ა—პარალელოგრამის წესით, ბ—სამკუთხედის წესით.

\vec{E}_3 და \vec{E}_4 გეომეტრიული შეკრებისათვის სამკუთხედის წესით, A წერტილიდან AB მიმართულებით გადავზომავთ \vec{E}_3 -ს, ხოლო B წერტილიდან φ_2 კუთხის წანაცვლებით ავაგებთ \vec{E}_4 ვექტორს BC მიმართუ-

ლებით. A და C წერტილების შემაერთებელი მონაკვეთი იქნება საძიებელი ჯამური $\vec{E} = \vec{E}_3 + \vec{E}_4$ ვექტორი (ნახ. 12).

1/ § 2-5. მთავარი დასკვნები

1. ცვლად ელექტრულ დენს (ან სხვა ელექტრულ სიდიდეს), რომლის მიმართულება და სიდიდე პერიოდულად სინუსის კანონით იცვლება, სინუსოიდური დენი ეწოდება.

2. დროის ნებისმიერ შუალედში აღებული ცვლადი დენის (ან სხვა ელექტრული სიდიდის) მნიშვნელობას მისი მყისი მნიშვნელობა ეწოდება.

3. დენის (ან სხვა ელექტრული სიდიდის) ტალღური დიაგრამა ეწოდება იმ გრაფიკულ გამოსახულებას, რომელიც ასახავს დენის მყის მნიშვნელობას, როგორც დროის ფუნქციას.

4. ცვლადი დენის ძირითად მახასიათებლებს მიეკუთვნება: პერიოდი, ამპლიტუდა, სიხშირე და ფაზა.

პერიოდი ეწოდება დროის იმ მნიშვნელობას, რომლის განმავლობაში ელექტრული სიდიდე ასრულებს ერთ სრულ რხევას ანუ სინუსოიდს.

ამპლიტუდა ეწოდება ელექტრული სიდიდის იმ მყის მნიშვნელობას, როდესაც იგი აღწევს თავის მაქსიმუმს.

დენის სიხშირე რიცხობრივად წარმოადგენს პერიოდების რაოდენობას წამში.

ფაზა ეწოდება რხევის პროცესის იმ სტადიას, რომლებსაც აღწერს სინუსოიდური ფუნქცია.

5. ცვლადი დენის (ან სხვა ელექტრული სიდიდის) მოქმედი ანუ ეფექტური მნიშვნელობა ეწოდება მუდმივი დენის ისეთ ეკვივალენტურ სიდიდეს, რომელიც პერიოდის განმავლობაში გამტარში გამოიყოფს ცვლადი დენის ტოლფარდ სითბოს. ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა ნაკლებია მის ამპლიტუდურ მნიშვნელობაზე

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m.$$

6. ცვლადი დენის (და E , U) მოქმედი ან ეფექტური მნიშვნელობა წარმოადგენს მის საშუალო კვადრატულ მნიშვნელობას

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}.$$

7. ცვლადი დენის (და E , U) საშუალო მნიშვნელობა გამოისახება თანაფარდობით

$$I_u = \frac{2}{\pi} I_m = 0,637 I_m.$$

8. ვექტორთა ერთობლიობას, რომელიც გამოსახავს ერთი (ტოლი) სიხშირის სინუსოიდურ სიდიდეებს, ვექტორული დიაგრამა ეწოდება.

§ 2-6. სავარჯიშო

1. ცვლადი დენის სიხშირე 50 ჰც-ის ტოლია. გამოთვალეთ რას უნდა უდრიდეს კუთხური სიხშირე?

2. გამოთვალეთ აღძრული ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობები

$$e = E_m \sin \omega t;$$

$$t_1 = 0; t_2 = 0,0025; t_3 = 0,005; t_4 = 0,075 \text{ და } t_5 = 0,01$$

დროის შუალედებისათვის, თუ ამპლიტუდური მნიშვნელობა უცვლელი რჩება, ხოლო წრედის სიხშირე უდრის 50 ჰც-ს.

3. განსაზღვრეთ ანალიზურად ძაბვისა და დენის მყისი მნიშვნელობები, თუ წრედში ჩართული ამპერმეტრი 0,71 ამპერს გვიჩვენებს, ხოლო ვოლტმეტრი—85 ვოლტს. ამასთან, ცნობილია, რომ ძაბვა წინ უსწრებს დენს 40° -ით და მისი საწყისი ფაზა ტოლია $\frac{\pi}{2}$

4. განსაზღვრეთ დროის ის უმცირესი შუალედები, როდესაც დენის მყისი მნიშვნელობა ღებულობს თავის ნულოვან, მოქმედ და ამპლიტუდურ მნიშვნელობებს. ამასთან, ცნობილია, რომ წრედში ჩართული ამპერმეტრის ჩვენება უდრის 2,12 ამპერს, სიხშირეში უჩვენებს 50 ჰც-ს და დენი გამოისახება ცნობილი ტოლობით

$$i = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \text{ ა.}$$

5. ააგეთ მასშტაბში დენისა და ძაბვის ვექტორული და ტალღური დიაგრამები შემდეგი შემთხვევებისათვის:

$$i = 10 \sin(\omega t + 60^\circ) \text{ ა; } i = 20 \sin(\omega t - 60^\circ) \text{ ა;}$$

$$u = 120 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ ვ.}$$

განსაზღვრეთ ძვრის კუთხეები φ_1 და φ_2 დენსა და ძაბვას შორის.

6. იპოვეთ დენის საშუალო მნიშვნელობა ნახევარპერიოდში, თუ მისი მყისი მნიშვნელობა $i = 40 \sin \omega t$ ა.

7. განსაზღვრეთ ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა, თუ წრედზე მოდებული ძაბვა $u = U_m \sin(\omega t + 30^\circ)$ ვ და მისი მყისი მნიშვნელობა, $i = 0$ დროს, ტოლია 89,5 ვ.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას ეწოდება ცვლადი სინუსოიდური დენი და როგორ მიიღება ის?
2. რას ეწოდება ცვლადი დენის ძირითადი მახასიათებლები? გამოსახეთ გრაფიკულად, გამოიყვანეთ ანალიზურად, განმარტეთ სიტყვიერად.
3. ააგეთ ცვლადი დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობების ცვალებადობის მრუდები შემდეგი პირობებისათვის: $u=310 \sin \omega t$ ვოლტს და $i=70,5 \sin \omega t$ ამპერს.
4. რას უდრის ფაზათა ძვრის კუთხე, თუ ძაბვის საწყისი ფაზა ტოლია $\frac{\pi}{12}$, ხოლო დენისა — $\frac{\pi}{2}$?
5. შეიძლება თუ არა ერთი და იგივე საწყისი ფაზა გამოისახოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი კუთხით?
6. როგორ გამოისახება ცვლადი სინუსოიდური ელექტრული სიდიდეებზე (e, i, u) სიქმედი მნიშვნელობები? გამოიყვანეთ.
7. როგორ გამოისახება ცვლადი სინუსოიდური ელექტრული სიდიდეების (e, i, u) საშუალო მნიშვნელობები? გამოიყვანეთ.
8. განსაზღვრეთ, რას უნდა უდრიდეს ძაბვის ამპლიტუდა, თუ ქსელზე მოდებულ ძაბვის მყისი მნიშვნელობა $u=U_m \sin(\omega t+30^\circ)$, $t=0$ დროის შუალედში, 89,5 ვოლტია.
9. გაითვალეთ ცვლადი დენის საშუალო მნიშვნელობა, თუ დენის მყისი მნიშვნელობა $i=40 \sin \omega t$ ა.
10. გაითვალეთ ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა, თუ დენის ამპლიტუდა $U_m=141$ ა.
11. რას ეწოდება ელექტრულ სიდიდეთა ვექტორული დიაგრამა და რა ოპერაციები სრულდება მათი საშუალებით? ააგეთ ერთ-ერთი ელექტრული სიდიდის ვექტორული დიაგრამა და გააანალიზეთ იგი.
12. რატომ ვიღებთ დიაგრამაზე მბრუნავ ვექტორებს თავისი საწყისი ფაზით?

დავალემა 3

ცვლადი დენის წრედის მახასიათებელი პარამეტრები. ცვლადი დენის წრედი აქტიური წინაღობით. ცვლადი დენის წრედი ინდუქციური წინაღობით. ცვლადი დენის წრედი ტევადური წინაღობით. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 2-7. ცვლადი დენის წრედის დამახასიათებელი პარამეტრები

ცვლადი დენის წრედის დამახასიათებელ პარამეტრებად ითვლება მასში ჩართული აქტიური წინაღობა (r), ინდუქციურობა (L) და ტევადობა (C), რომელთაგან ორ უკანასკნელს განაპირობებს წრედზე მოდებული ძაბვა და მასში გამავალი დენი. დენის ცვალებადობა იწვევს წრედის მაგნიტური და ელექტრული ველების ცვალებადობას, ამ ველების ცვალებადობა კი წარმოშობს პირველ შემთხვევაში თვითინდუქციის ე. მ. ძალას, ხოლო მეორე შემთხვევაში — დამუხტვისა და განმუხტვის დენებს. ო

ცვლადი დენის წრედების პრაქტიკაში გვხვდება როგორც ერთპარამეტრიანი (r, L, C), ისე ორ- და სამპარამეტრიანი წრედები. ასე, მაგალითად, ელექტრონათურიან (განათების) წრედებში წარმოდგენილია მხოლოდ აქტიური წინაღობა და უგულვებელყოფილია ინდუქციურობა და ტევადობა: ელექტროძრავებისა და ტრანსფორმატორის წრედებში მთავარ პარამეტრს წარმოადგენს ინდუქციურობა; კაბელური და კონდენსატორებიან წრედებში ძირითადი პარამეტრია ტევადობა. შერეული დატვირთვის წრედებში გვხვდება ორი ან სამივე სახის პარამეტრები.

ცვლადი დენის წრედში ჩართულ წინაღობას, როგორც აღვნიშნეთ, ნაცვლად ომური წინაღობისა აქტიური წინაღობა ეწოდება. ეს განმასხვავებელი სახელი იმასთან დაკავშირებით იქნა შემოღებული, რომ ცვლადი დენის მაგნიტური ველი, გარდა გამტარის გარემოცვისა, იჭრება გამტარის შიგნითაც და მასში აინდუცირებს (ლენცის კანონის თანახმად) დენის საწინააღმდეგოდ მოქმედ ე. მ. ძალას. ეს ე. მ. ძალა უფრო მეტია გამტარის სილრმეში (ცენტრში), ვიდრე მის ზედაპირზე, რაც იწვევს დენისადმი წინაღობის უთანაბრობას გამტარის სხეულში. ამის გამო დენის სიმკვრივე იზრდება სადენის ლერძიდან ზედაპირისაკენ. ცვლადი დენების ამ არათანაბარ განაწილებას გამტარებში ზედაპირულ ეფექტს უწოდებენ.

რაც უფრო მაღალია დენის სიხშირე, მით უფრო მეტია საწინააღმდეგო მიმართულების ინდუცირებული ე. მ. ძალა და მისგან გამოწვეული ზედაპირული ეფექტი. ამით აიხსნება ის, რომ ფოლადის გამტარებში უფრო ძლიერად მქლავდება ზედაპირული ეფექტი, ვიდრე სპილენძისაში. მაგალითად, ზედაპირული ფენის სისქე სპილენძის გამტარებისათვის კავშირგაბმულობაში გამოითვლება ფორმულით

$$a = \frac{0,067}{\sqrt{f}},$$

სადაც a დენის გამტარი ფენის სისქეა მილიმეტრებით;

f — დენის სიხშირე მეგაჰერცობით.

ცვლადი დენის აღნიშნული ზედაპირული ეფექტი, მუდმივი დენისაგან განსხვავებით. იწვევს გამტარების განივი კვეთის გამოუყენებლობას და მათი წინაღობის ზრდას. აქტიური წინაღობის განსაზღვრისათვის, ჩვეულებრივ, მიმართავენ ემპირიულ ტოლობებს. კავშირგაბმულობის ქსელებში, მაგალითად, იხმარება თანაფარდობა

$$r = k_1 \cdot r_0,$$

სადაც r აქტიური წინაღობაა 1 კმ წრედისათვის;

r_0 — ომური წინაღობა 1 კმ წრედისათვის;

k_1 — გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტი, დამოკიდებული წრედის მაჩვენებლებზე, რომელთაც ირჩევენ ცნობარებიდან.

მაგალითი. განსაზღვრეთ გამტარის ზედაპირული ფენის სისქე და აქტიური წინალობა, რომელშიც გადის ცვლადი დენი, სიხშირით $f=4000$ კჰც-ი. ქსელის სიგრძე უდრის 10 კმ, გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტი $k_1=4,6$, ხოლო 1 კმ სადენის ომური წინალობა $r_0=40$ ომს.

ამოხსნა. სადენის ზედაპირული ფენის სისქე

$$a = \frac{0,067}{\sqrt{f}} = \frac{0,067}{\sqrt{4}} = 0,0335 \text{ მმ.}$$

ერთი კილომეტრი სადენის აქტიური წინალობა

$$r = k_1 \cdot r_0 = 4,6 \cdot 40 = 184 \text{ ომი/კმ.}$$

აქტიური წინალობა ქსელის მთელ სიგრძეზე

$$r_{\text{ქსელის}} = r \cdot l = 184 \cdot 10 = 1840 \text{ ომს.}$$

✓ § 2-8. ცვლადი დენის აქტიური წინალობიანი წრედი

ცვლადი დენის აქტიურწინალობიანი წრედის განსახილველად შევადგინოთ ელექტრული სქემა (ნახ. 13). წრედის მომკერებზე მივაწოლოთ ცვლადი ძაბვა

$$u = U_m \cdot \sin \omega t.$$

r წინალობაზე მოდებული ძაბვისათვის უფლება გვაქვს დავწეროთ ძაბვის ვარდნის თანათარლობა $u = i \cdot r$.

აქედან დენის მყისი მნიშვნელობა

$$i = \frac{u}{r} = \frac{U_m}{r} \sin \omega t.$$

თუ ამ ტოლობაში შევიტანთ დენის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას

$$\boxed{I_m = \frac{U_m}{r}}, \quad (25)$$

მივიღებთ

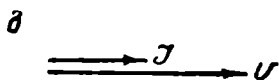
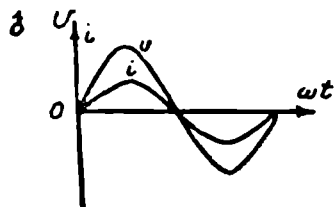
$$i = I_m \sin \omega t.$$

აქედან აშკარაა, რომ დენის მოკმედი მნიშვნელობა

$$\boxed{I = \frac{U}{r}}. \quad (26)$$

ამგვარად, დავასკვნით, რომ აქტიურ წინაღობიანი ცვლადი დენის წრედისათვის ძალაში რჩება ომის კანონი. დენის მოქმედი მნიშვნელობა უდრის ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობას გაყოფილს წრედის აქტიურ წინაღობაზე.

ესე კარგად დავაკვირდებით განხილული წრედის ძაბვისა და დენის მყის მნიშვნელობებს, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ დენის ძალა



ნახ. 13. აქტიურწინაღობიანი წრედის ელექტრული სქემა: — ომური, ბტალური და გ-ექტორული დიაგრამები.

(i) და ძაბვა (u) თანხედენილ- არიან ფაზით (ნახ. 13, ბ). 13, გ ნახაზზე წარმოდგენილია ამავე წრედის ძაბვისა და დენის ვექტორული დიაგრამა. გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითზე.

მაგალითი. ცვლადი დენის წრედში ჩართულია აქტიური წინაღობა $r = 55$ ომს და მოქმედებს ძაბვა მაქსიმალური მნიშვნელობით $U_m = 310,2$ ვ. საჭიროა განსაზღვროთ ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობები.

ამოხსნა. წრედის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა, რომელსაც უნდა უჩვენებდეს წრედში ჩართული ვოლტმეტრი, იქნება

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{310,2}{1,41} = 220 \text{ ვ.}$$

წრედის დენის მოქმედი მნიშვნელობა ანუ ამპერმეტრის ჩვენება კი გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$I = \frac{U}{r} = \frac{220}{55} = 4 \text{ ა.}$$

✓ § 2-0. ცვლადი დენის ინდუქციური წინაღობიანი წრედი

ცვლადი დენის წრედი, რომელშიაც ჩართულია ინდუქციურობა (ნახ. 14 ა), როგორც ცნობილია, იწვევს თვითინდუქციის ე. მ. ძალის აღძვრას, რომელიც ლენცის კანონის თანახმად ყოველთვის წრედის ძაბვის წინააღმდეგაა მიმართული. წრედის დენი ამ შემთხვევაში ტოლია

$$i = I_m \cdot \sin \omega t.$$

თვითინდუქციის ე. მ. ძალის გამოსახულება ჩაიწერება შემდეგი თანაფარდობით

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t,$$

სადაც e_L თვითინდუქციის ე. მ. ძალაა, L — წრედის ინდუქციურობა. თუ აღვნიშნავთ

$$E_{Lm} = \omega L \cdot I_m,$$

მაშინ (თვითინდუქციის ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობა გამოსახება შემდეგი ტოლობით)

$$e_L = E_{Lm} \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (27)$$

ეს ტოლობა (27) უფლებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ინდუქციური ძალის შემცველი ცვლადი დენის წრედებში აღძრული თვითინდუქციის ე. მ. ძალა ჩამორჩება დენის ძალას ფაზით, რომელიც ტოლია $\frac{\pi}{2}$ (ნახ. 14, ბ).

იმისათვის, რომ ამგვარ წრედებში დაძლეული იყოს თვითინდუქციის ე. მ. ძალის წინააღმდეგობა, საჭიროა წრედის მომჭერებზე მოქმედებდეს თვითინდუქციის ე. მ. ძალის (I_L -ის) ტოლი საწინააღმდეგო ძაბვა ($U_L = U$), ე. ი.

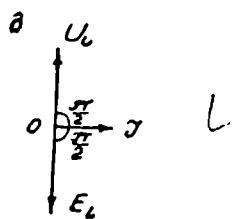
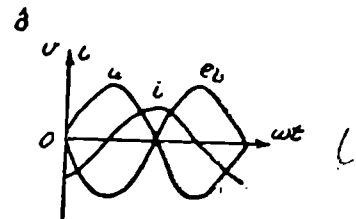
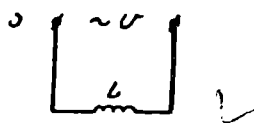
$$u_L = -e_L;$$

ვინაიდან

$$e_L = -L \frac{di}{dt},$$

ამიტომ

$$U_L = \omega L \cdot I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$



ნახ. 14. ცვლადი დენის ინდუქციურწინააღმდეგობის წრედის ელექტრული სქემა (ა); ტალღური (ბ) და ვექტორული (გ) დიაგრამები.

აქედან ნათელი ხდება ის გარემოება, რომ ძაბვა დაძრული უნდა იყოს დენისაგან — $\frac{\pi}{2}$ კუთხით, რომ მოხდეს I_L ე. მ. ძალის კომპენსაცია (ნახ. 14, ბ).

თუ ძაბვის ამპლიტუდას აღვნიშნავთ

$$|U_{Lm} = \omega L I_m| \quad (28)$$

მაშინ ძაბვის მყისი მნიშვნელობა

$$u_L = U_{Lm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (29)$$

მოცემულ სიდიდეთა მოქმედი მნიშვნელობების ჩაწერისათვის საჭიროა (28) ტოლობის ორივე ნაწილის გაყოფა $\sqrt{2}$ -ზე. ამრიგად, მივიღებთ გამოსახულებას

$$|U_L = \omega L I| \quad (30)$$

საიდანაც

$$I = \frac{U_L}{\omega L}. \quad (31)$$

აქ ωL სიდიდეს წინალობის განზომილება აქვს, მას ინდუქციური წინალობას უწოდებენ და აღნიშნავენ X_L -ით.

$$|X_L = \omega L = 2\pi f L|. \quad (32)$$

უკანასკნელი გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ინდუქციური წინალობა პირდაპირპროპორციულია დენის სიხშირისა.

ამგვარად, ამ შემთხვევაშიც ვრწმუნდებით, რომ, ისევე როგორც აქტიურწინალობიან წრედში, ინდუქციური წინალობის შემცველ წრედებშიც ელექტრულ სიდიდეთა ამპლიტუდური და მოქმედი მნიშვნელობების ურთიერთდამოკიდებულება ომის კანონს ემორჩილება. დენის ძალა ყოველთვის ჩამორჩება წრედის ძაბვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით (ნახ.

14, გ).

ახლა გავარჩიოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. ელექტრომაგნიტური კოქის ინდუქციურობა, რომელიც ჩართულია ცვლადი დენის წრედში $L = 0,5$ ჰნ-ის ტოლია, წრედის სიხშირე $f = 50$ ჰც, ხოლო ძაბვა $U = 220$ ვ-ს. განსაზღვრეთ ინდუქციური წინალობა და დენის ძალა.

ამოხსნა. წრედის ინდუქციური წინაღობა გამოითვლება (32) ტოლობით

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50,05 = 157 \text{ ომს.}$$

წრედში გამავალი დენის ძალის გამოსათვლელად კი მიემართავთ (31) ტოლობას

$$I = \frac{U}{2\pi f} = \frac{220}{157} = 1,4 \text{ ა.}$$

✓ § 2-10. ცვლადი დენის ტევაღურწინაღობიანი წრედი

ტევაღობის შემცველ ცვლადი დენის წრედებს, ინდუქციურწინაღობიანი წრედებისაგან განსხვავებით, ახასიათებს ელექტრული მუხტების მოძრაობა, ე. ი. საკუთარი დენების წარმოშობა (ნახ. 15, ა). თუ გავიხსენებთ კონდენსატორების მოქმედების ხასიათს, აშკარა გახდება, რომ დამუხტვა მიმდინარეობს წრედის ძაბვის ზრდის დროს. პირიქით, ძაბვის შემცირების დროს ხდება კონდენსატორის ფილების განმუხტვა. მაშასადამე, თუ წრედის მომჭერებზე მოდებულია ძაბვა

$$u = U_m \sin \omega t,$$

მაშინ ელექტრული მუხტი (კონდენსატორის ელექტროდებზე) ძაბვის პროპორციულად შეიცვლება

$$q = Cu = CU_m \sin \omega t,$$

ხოლო დენი კონდენსატორის წრედში გამოისახება შემდეგი ფარდობით

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt},$$

ანუ

$$i = C \frac{U_m \cdot \sin \omega t}{dt} = \omega CU_m \cos \omega t.$$

თუ დენის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას აღვნიშნავთ

$$✓ \quad |I_m = \omega CU_m| \quad (33)$$

მაშინ დენის მყისი მნიშვნელობა გამოისახება

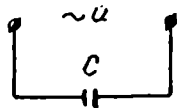
$$✓ \quad \boxed{i = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)}. \quad (34)$$

ვინაიდან $\frac{1}{\omega C}$ -ს წინაღობის განზომილება აქვს, მას წრედის

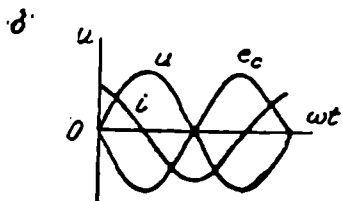
ტევადურ წინაღობას უწოდებენ და აღნიშნავენ X_c -თი.

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (35)$$

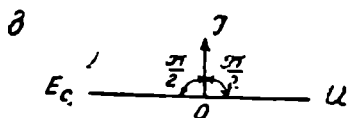
ამ ტოლობიდან დავასკვნით, რომ ტევადური წინაღობა წრედის ძაბვის სიხშირის უკუპროპორციულია.



როგორც წინა (34) ფორმულიდან ვხედავთ, ტევადობიან წრედებში დენის ძალები ყოველთვის წინ უსწრებენ წრედის ძაბვებს $\frac{\pi}{2}$ კუთხით (ნახ. 15, ბ).



თუ დენისა და ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობებიდან გადავალთ მათ მოქმედ მნიშვნელობებზე და (33) ფორმულის ორივე ნაწილს გავყოფთ $\sqrt{2}$ -ზე, მივიღებთ გამოსახულებას $I = \omega C U$, ე. ი.



$$I = \frac{U}{X_c} \quad (36)$$

ნახ. 15. ტევადურწინაღობიანი წრედის ელექტრული სქემა (ა), ტალღური (ბ) და ვექტორული (გ) დიაგრამები.

$$U = \frac{1}{\omega C} \cdot I = I \cdot X_c \quad (37)$$

მაშასადამე, ამ შემთხვევაშიც მივედით იმ დასკვნამდე, რომ დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობების ურთიერთდამოკიდებულება ომის კანონის ანალოგიურად გამოისახება, ხოლო დენის ძალა, როგორც ეს ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, წინ უსწრებს წრედის ძაბვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით (ნახ. 15, გ).

გამოვიყვანოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. ცვლადი დენის წრედში, რომლის სიხშირეა 50 ჰც და ვადის 0,1 ა დენი, ჩართულია მხოლოდ კონდენსატორი, რომლის ტევადობა ტოლია $C = 2$ მკფ. გამოარკვიეთ რისი ტოლი იქნება წრედის ტევადური წინაღობა და ძაბვა?

ამოხსნა. ტვეადური წინალობის გამოსათვლელად მივმართავთ (35) გამოსახულებას, საიდანაც

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1000 \cdot 000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2} \approx 1592 \text{ ომს.}$$

წრედის ძაბვა კი, (37) ფორმულის თანახმად, ტოლია

$$U = I \cdot X_c = 0,1 \cdot 1592 = 159,2 \text{ ვ.}$$

§ 2-11. შოკლე დასკვნები

1. ცვლადი დენის დამახასიათებელი პარამეტრებია: წრედში მოქმედი აქტიურა წინალობა (r), ინდუქციურობა (L) და ტვეალობა (C). ცვლადი დენის წრედებში გამტარის წინალობას პირობით უწოდებენ აქტიურ წინალობას, ხოლო მუდმივი დენის წრედებში — ომურს.

2. აქტიური წინალობის შემცველ ცვლადი დენის წრედში, რომლის მომჭერებზე მოქმედებს სინუსოიდური ძაბვა (u), გადის სინუსოიდური ცვლადი დენი (i), ძაბვა და დენის ძალა ერთმანეთთან ფაზით თანხედენილია, ე. ი. $\varphi = 0$.

3. მხოლოდ აქტიურწინალობიან წრედებში მოქმედებს ომის კანონი, სადაც წრედში გამავალი დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა და უკუპროპორციულია წრედის აქტიური წინალობისა, ე. ი.

$$I = \frac{U}{r}.$$

4. ცვლადი ელექტრული სიდიდეების (I , U , E) მოქმედი მნიშვნელობები, აქტიურწინალობიანი ცვლადი დენის წრედებისათვის, მთლიანად ემორჩილებიან მუდმივი დენისათვის დადგენილ კანონებს.

5. ცალკე ინდუქციური წინალობის შემცველ ცვლადი დენის წრედში, თუ მასში გადის სინუსოიდური ცვლადი დენი (i), წინალობის მომჭერებზე მოდებული ძაბვაც სინუსოიდური იქნება და იგი წინ უსწრებს

დენის ძალას $\varphi = \frac{\pi}{2}$ კუთხით, ხოლო თვითინდუქციის ე. მ. ძალას — π კუთხით (180° -ით).

6. ცალკე ინდუქციური წინალობის შემცველ ცვლადი დენის წრედშიაც მოქმედებს ომის კანონი: დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია ინდუქციური წინალობისა

$$I = \frac{U}{X_L}$$

და

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

7. ცალკე ტევადური წინაღობის შემცველი ცვლადი დენის წრედში, რომლის მოძქერებზე მოქმედებს სინუსოიდური ცვლადი ძაბვა (u), სინუსოიდურად იცვლება კონდენსატორის მუხტი და მისი დენის ძალაც. ამ შემთხვევაში დენის ძალა წინ უსწრებს წრედის ძაბვას $\varphi = \frac{\pi}{2}$ კუთხით.

8. ცალკე ტევადური წინაღობის შემცველ ცვლადი დენის წრედებში მოქმედებს ომის კანონი, სადაც დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია კონდენსატორზე მოდებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია ტევადური წინაღობისა, ე. ი.

$$I = \frac{U}{X_c}$$

და

$$X_c = \frac{1}{\omega C}.$$

9. ცვლადი ელექტრული სიდიდეების მოქმედი მნიშვნელობები (I , U), როგორც ცალკე ინდუქციური, ისე ცალკე ტევადური წინაღობის შემცველ წრედებში, არ ემორჩილებიან მუდმივი დენის წრედებისათვის დადგენილ წესებს.

§ 2-12. სავარჯიშო

1. რას უნდა უდრიდეს 20 კმ სიგრძის კავშირგაბმულობის ქსელის (1 სადენის) აქტიური წინაღობა, თუ ომური წინაღობა 1 კმ მანძილზე 50 ომს უდრის, ხოლო გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტი 5,6-ის ტოლია?

2. როგორ გამოისახება ანალიზურად ცვლადი დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობები, თუ წრედში მხოლოდ აქტიური დატვირთვაა (ვარვარების ნათურები) ჩართული, წინაღობით $r = 11$ ომს, ძაბვა ტოლია $U = 220$ ვ, ხოლო დენის სიხშირე $f = 50$ ჰც-ს?

3. რას უდრის ძაბვა ცვლადი დენის წრედში, როდესაც მასში ჩართულია მხოლოდ აქტიური წინაღობა $r = 50$ ომს და გადის დენი $I = 4,4$ ა?

4. ცვლადი დენის წრედში ჩართულია კოჭა, რომლის ინდუქციურობა უდრის $L = 40,5$ მჰნ, ხოლო წრედის ძაბვის მყისი მნიშვნელობა

$u = 179 \sin \left(314 t + \frac{\pi}{2} \right)$ საჭიროა განისაზღვროს წრედში ჩართული ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენებები და აიგოს დენისა და ძაბვის ვექტორული დიაგრამები.

5. კოქაში, რომელსაც მხოლოდ ინდუქციურობა $L=86$ ჰენრი ახასიათებს, გადის ცვლადი დენი $I=4,7$ ა, სიხშირის $f=50$ ჰც. განსაზღვრეთ რას უდრის თვითინდუქციის ე. მ. ძალა?

6. ცვლადი დენის წრედში, რომლის ძაბვა $U=240$ ვ, ხოლო სიხშირე $f=50$ ჰც, ჩართულია კონდენსატორი $C=40$ მკფ ტევადობით. საკიროა განისაზღვროს წრედის ტევადური წინაღობა და დენის ძალა.

7. ცვლადი დენის წრედში, რომლის ძაბვა $U=225$ ვ, ხოლო მასში გამავალი დენი $I=1,5$ ა, ჩართულია კონდენსატორი.

განსაზღვრეთ რას უდრის კონდენსატორის ტევადობა და ტევადური წინაღობა, თუ დენის სიხშირე $f=50$ ჰერცია?

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას ეწოდება ცვლადი დენის წრედის პარამეტრები?
2. რით განსხვავდება აქტიური წინაღობა ომურისაგან და რას წარმოადგენს ზედ-პირული ეფექტი?
3. რა სახის დატვირთვა (მიმღებები) მიეკუთვნება აქტიურ წინაღობას?
4. რა სახის ელექტრული მიმღებები შეიცავენ ინდუქციურობას (L) და ტევადობას (C) და რა მოვლენები წარმოიშობენ მას?
5. როგორ გამოისახება ომის კანონი ცვლადი დენის აქტიურწინაღობიანი წრედისათვის?
6. ვაიხსენეთ, რას უდრის ცვლადი დენის წრედში ჩართულ კოქაში აღძრული თვითინდუქციის ე. მ. ძალა?
7. დაწერეთ ცვლადი დენის წრედში ჩართული კოქის თვითინდუქციის ე. მ. ძალისა და ძაბვის მყის მნიშვნელობათა მათემატიკური (ანალიზური) გამოსახულებები. ტალღურ და ვექტორულ დიაგრამებზე უჩვენეთ, რა კუთხით არიან ისინი დაძრული ურთიერთის მიმართ?
8. როგორი ტიპის ცვლადი დენის წრედებში წარმოიშობა ელექტრული მუხტები და რის პროპორციულად იცვლებიან ისინი? დაწერეთ ამ პროცესის მათემატიკური გამოსახულება.
9. დაწერეთ ომის კანონის მათემატიკური გამოსახულება ცვლადი დენის ტევადობიანი წრედისათვის, ტალღურ და ვექტორულ დიაგრამებზე უჩვენეთ ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის.
10. რას ეწოდება ინდუქციური, ტევადური და რეაქტიული წინაღობები და როგორ გამოისახებიან ისინი მათემატიკურად?

დავალემა 4

§ 2-13. ლაბორატორიული სამუშაო № 1

დენისა და ძაბვის მყის სიდიდეთა მრუდების გადაღება და შესწავლა ერთფაზიანი ცვლადი დენის წრედებში

სამუშაოს მიზანი

1. ცვლადი დენისა და ძაბვის მყის მნიშვნელობათა მრუდების ცვალებადობის ხასიათის პრაქტიკული შესწავლა.

2. სხვადასხვაპარამეტრიანი ერთფაზიანი წრედების დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობების მრუდების გადაღება და შესწავლა.

3. ერთფაზიანი ცვლადი დენის წრედების ელექტრულ მაჩვენებელთა მრუდების გადაღებისა და მათი მიხედვით ვექტორული დიაგრამების აგების ჩვენების შექმნა.

სამუშაო გეგმა

1. აღნიშნული სამუშაოს შესრულების წინ გაიმეორეთ შესაბამისი თეორიული მასალა, რომელიც მოცემულია §5 2-1, 2-2-ში.

2. გაეცანით სამუშაოსათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს, და ჩაიწერეთ მათი მახასიათებლები.

3. შეადგინეთ და აკრიფეთ ლაბორატორიული სამუშაოსათვის საჭირო ელექტრული სქემა (მაკეტი) და მასწავლებლის გასინჯვისა და ნებართვის შემდეგ ჩართეთ ქსელში.

4. ოსცილოგრაფით წრედის მომჭერებზე გაზომეთ გამოსაკვლევი ძაბვა u , შეარჩიეთ მასშტაბი და გათვალეთ დენის სათანადო ამპლიტუდები სხვადასხვა შემთხვევისათვის (r , C , L და ტრანსფორმატორი, ნახ. 16).

5. გადაიხაზეთ ძაბვისა და დენის ოსცილოგრამები ოსცილოგრაფის ეკრანიდან და მონახეთ შესაბამისად მათი ამპლიტუდის ორმაგი სიდიდის მონაკვეთები.

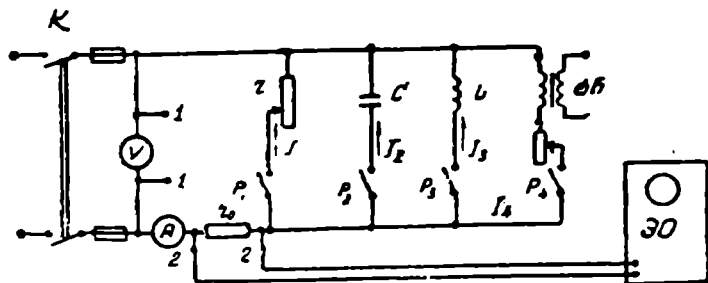
6. ანათვლებისა და გამოთვლების შედეგები შეიტანეთ სათანადო ცხრილში.

7. შესრულებულ სამუშაოებზე ანალიზისა და დასკვნების შემდეგ შეადგინეთ ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

სამუშაოსათვის განკუთვნილი ხელსაწყოების გაცნობისა და მათი ზოგიერთი მახასიათებლის ჩაწერის შემდეგ იკრიფება ლაბორატორიული საცდელი მაკეტის ელექტრული სქემა (ნახ. 16), რომელსაც მასწავლებლის შემოწმების შემდეგ რთავენ ქსელში, გაზომვების ჩასატარებლად.

სამუშაო იწყება ოსცილოგრაფის მომზადებისა და მისი ბოლოების წრედის 1—1 მომჭერებთან მიერთებით. შემდეგ ჩაირთვება მთავარი დენკვითი (ორპოლუსა). ოსცილოგრაფის სათანადო სახელურების რეგულირებით მყარდება ისეთი მდგომარეობა, როდესაც ვერტიკალური ხაზი AB მის ეკრანზე უტოლდება ძაბვის დადებითი და უარყოფითი ამპლიტუდების ჯამს და შეადგენს ეკრანის დიამეტრის $0,25$ —



ნახ. 16. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

40 ნაწილს. იზომება ამ ხაზის სიგრძე და აითვლება ვოლტმეტრის ჩვენება U , რომელთა საშუალებით დგინდება ძაბვის მასშტაბი

$$m_u = \frac{2\sqrt{2}U}{AB}$$

ხელსაწყოთა ჩვენებებისა და გათვლების შედეგები შეაქვთ ქვემოთ მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 1). შემდეგ ოსცილოგრაფის სათანადო რეგულირებით აღწევენ ძაბვის მდგრადობას და ეკრანიდან კალკაზე გადააქვთ მისი ოსცილოგრამა.

ცხრილი 1

წრედის ელემენტები	U ვ	AB სმ	m_u /მმ	I ა	AO სმ	m_i /მმ	I_m
წინალობა კონდენსატორი ინდუქციური კოჭა ტრანსფორმატორი							

გაზომვათა მეორე სერიას აწარმოებენ დენის ძალების მრუდების გადასაღებად. ამ შემთხვევაში ოსცილოგრაფს აერთებენ წრედში მიმდევრობით ჩართულ r_0 წინალობის მომჭერებთან და P_1, P_2, P_3, P_4 ცალბოლუსა დენკვეთების თანმიმდევრული (და სათითაოდ) ჩართვის საშუალებით გადაიღებენ შტოთა I_1, I_2, I_3, I_4 დენების მრუდებს და ნათი შესაბამისი ამპლიტუდების OA მონაკვეთებს. ამის შემდეგ სათანადო ფარდობიდან პოულობენ შტოთა დენების მასშტაბს

$$m = \frac{\sqrt{2}I_1}{AO}$$

და აკეთებენ დენის მრუდის ჩანახატს. ზომავენ მის მოქმედ და ამპლიტუდურ სიდიდეებს. ჩვენებათა და გათვლების შედეგები შეაქვთ იმავე ცხრილში. მიღებული მაჩვენებლების საფუძველზე კეთდება სამუშაოს

ანალიზი და დასკვნა. ამის შემდეგ დგება სამუშაოს ოქმი, რომელშიც შეაქვთ ძაბვისა და დენების გადაღებული ტალღური დიაგრამები — სინუსოიდები.

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება დენის მყისი მნიშვნელობა და რა სახით იცვლება იგი აქტიური წინააღობის წრედში?
2. რას უწოდებენ ძაბვის ამპლიტუდას და როდის აღწევს ძაბვა ამ მნიშვნელობას?
3. დენისა და ძაბვის როგორი სიდიდეები იზომება ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის საშუალებით?
4. რას წარმოადგენს AB მონაკვეთი და რას უდრის იგი?
5. რას გამოსახავს $O.A$ მონაკვეთი და როგორ მიიღება იგი?
6. როგორ და რის საშუალებით სრულდება დენისა და ძაბვის მრუდების ჩანახატები?
7. რა მდგომარეობაში იმყოფება საცდელი წრედის დენკვეთები, როდესაც ტევადობის შემცველ შტოში გამავეალი დენის მრუდის გადაღებას ვაწარმოებთ?
8. როგორ ირთება საცდელ წრედში ოსცილოგრაფი დენის მრუდისა და ძაბვის მრუდის გადაღების შემთხვევაში?

დავლება 5

§ 2-14. ლაზორატორიული სამუშაო № 2

ერთფაზიანი ცვლადი დენის წრედში ძაბვასა და დენს შორის ფაზათა ძვრის კუთხის კუთხის მიღება

სამუშაოს მიზანი

1. ერთფაზიანი ცვლადი დენის რეაქტიულწინააღობიან წრედებში ფაზათა ძვრის კუთხის პრაქტიკული მიღება და მისი შესწავლა.
2. აღნიშნულ წრედებში დენებსა და ძაბვებს შორის შექმნილ ფაზათა ძვრის კუთხეების გაზომვისა და განსაზღვრის ჩვენების გამომუშავება.
3. ასეთი წრედებისათვის, დაკვირვებათა საფუძველზე, ვექტორული დიაგრამების აგების ჩვენების შექმნა.

სამუშაოს გეგმა

1. სამუშაოს დაწყების წინ გაიმეორეთ მე-3 დავალებაში მოცემული თეორიული მასალა.
2. გაეცანით სამუშაო ადგილს, ცდისათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს, ელექტრულ და საკომუტაციო მოწყობილობებს და შეიტანეთ სათანადო ჩანაწერები რვეულში.
3. თანამიმდევრულად განახორციელეთ (აკრიფეთ) სამუშაოსათვის

განკუთვნილი ელექტრული სქემები, რომელთა ქსელში ჩართვა ხდება მასწავლებლის შემოწმებისა და ნებართვის შემდეგ.

4. ათვალეთ საცდელ წრედში გაზავალი დენისათვის (პირველი შემთხვევა) საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებანი და გამოთვალეთ წრედის სრული და ინდუქციური წინაღობები.

5. აქტიური r_1 წინაღობის ცვლით, მეორე შემთხვევაში, დაამყარეთ ფაზათა კუთხე დენსა (I) და ძაბვას (U) შორის 90° -ის ტოლი. განსაზღვრეთ და ერთმანეთს შეადარეთ აქტიური წინაღობის პირველი (r_1) და მეორე (r_1') მნიშვნელობები.

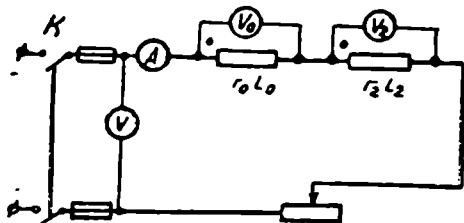
6. ააგეთ ვექტორული დიაგრამები.

7. გაანალიზეთ შესრულებული სამუშაოს შედეგები, გამოიტანეთ დასკვნები და შეადგინეთ სამუშაოს ოქმი დადგენილი ფორმით.

სამუშაოს შესრულება

აღნიშნული სამუშაო სრულდება ორ წყებად. პირველ შემთხვევაში განისაზღვრება წრედის საცდელ კოქათა ინდუქციური წინაღობა, ხოლო მეორეში მყარდება 90° -ის ტოლი ფაზათა ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის.

პირველ შემთხვევაში სამუშაო სრულდება მე-17 ნახაზზე წარმოდგენილი ელექტრული სქემის შესაბამისად. წრედის ქსელში ჩართვის შემდეგ (მოცემული r_0 და r_2 წინაღობებისათვის) ვიღებთ დენის სამი



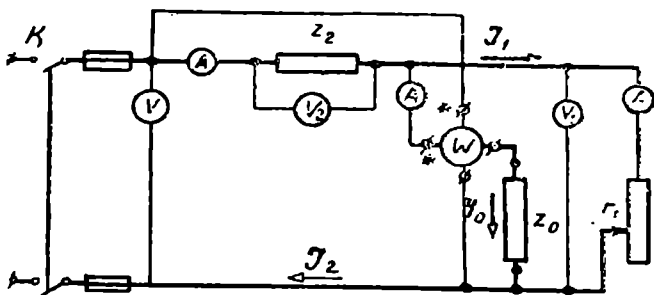
ნახ. 17. სამუშაოს პირველი ელექტრული სქემა.

სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებებს და მათ საფუძველზე ვითვლით კოქების სრულ (z_0, z_2) და ინდუქციურ (x_0, x_2) წინაღობებს. დაკვირვებისა და გამოთვლის შედეგები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრ. 2).

ცხრილი 2

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენების ანათვლები				გამოსათვლელი სიდიდეები						
	U	U_0	U_2	I	r_0	r_2	z_0	z_2	x_0	x_2	შენიშვნა
	ვ	ვ	ვ	ა	ომი	ომი	ომი	ომი	ომი	ომი	

დაკვირვებათა მეორე შემთხვევაში ვსარგებლობთ მე-18 ნახაზზე წარმოდგენილი ელექტრული სქემით. აქ r_1 რეოსტატის საშუალებით ვაღწევთ ფაზათა ძვრის კუთხეს 90° -მდე, რაც დადგინდება ვატმეტრის ნულოვანი ჩვენებით. ვატმეტრის ნულოვან ჩვენებას განსაზღვრავს მისი მიმდევრობით გრაფილში გამავალი I_0 დენი და პარალელურ გრაფილზე მოდებული U ძაბვა.



ნახ. 18. სამუშაოს მეორე ელექტრული სქემა.

რეოსტატის საშუალებით მიღწეული ვატმეტრის ნულოვანი მდგომარეობისათვის ვარკვევთ და ვაძარებთ წინალობის სათანადო სიდიდეებს

$$r_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad \text{და} \quad r_1' = \frac{x_0 x_2 - r_0 r_2}{r_0 + r_2}.$$

წინა შემთხვევის ანალოგიურად, აქაც ხელსაწყობთა ჩვენებები და გათვლის შედეგები შეგვაქვს ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 3

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყობების დაკვირვებათა ჩვენების ანათვლები						გასათვლელი სიდიდეები						შენიშვნები
	U	U_0	U_2	I_2	I_0	I_1	r_0	r_2	x_0	x_2	r_1	r_1'	
	ვ	ვ	ვ	ა	ა	ა	ომი	ომი	ომი	ომი	ომი	ომი	

ჩვენებათა და გათვლების საფუძველზე ვაღგენთ ვექტორულ დიაგრამას მასშტაბში, რომელიც ცდის სხვა მაჩვენებლებთან ერთად შეგვაქვს სამუშაო ოქმში.

საკონტროლო კითხვები

1. რა განაპირობებს $\varphi=90^\circ$ ძერის კუთხის წარმოშობას ერთი და იმავე ფაზის ძაბვასა და დენს შორის?
2. როგორ და რა მოსაზრებით აღწევთ (პირველ შემთხვევაში) საცდელი წრედის დენის სხვადასხვა მნიშვნელობას?
3. როგორ განისაზღვრება საცდელი წრედის კოქების სრული და ინდუქციური წინალობები?
4. როგორ ზორციელდება (მეორე შემთხვევაში) ფაზათა კუთხის ძერა ($\varphi=90^\circ$) ძაბვასა და დენს შორის?
5. რა კახონის ძალით ვუშვებთ, რომ ვატმეტრის ნულოვანი ჩვენება შეესაბამება წრედში დენის ჩამორჩენას ძაბვისაგან 90° -ით?
6. როგორ და რა მიზნით განისაზღვრება საცდელი წრედის რეოსტატის წინალობები?
7. როგორ აიკვება აღნიშნული ცდებისათვის ვექტორული დიაგრამა?

თ ა ვ ი III

ერთფაზიანი ცვლადი დენის მიმდევრობითი და განშტოებული წრედები

ამ თავში განიხილება ცვლადი დენის თეორიული საფუძვლების ერთ-ერთი საკვანძო საკითხი — მიმდევრობითი და პარალელურად ჩართული სხვადასხვაპარამეტრიანი წრედები და მათში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები.

იმისდა მიხედვით, თუ რა სახის პარამეტრებს შეიცავენ და როგორ იაირთვებიან ისინი წრედში, მათში მიმდინარე ფიზიკური პროცესებიც შესაბამისად იცვლიან ხასიათს. ცვლადი დენის აქტიურწინალობიან წრედში დენის ძალა და ძაბვა თანხვედნილია ფაზით, ანუ მათ შორის ძერის კუთხე $\varphi=0$.

ინდუქციურწინალობიან წრედში დენი ჩამორჩება ძაბვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით, ხოლო ტევადობიან წრედში წინ უსწრებს ძაბვას აგრეთვე $\frac{\pi}{2}$ კუთხით. ცვლადი დენის წრედების ამ თავისებურებიდან გამომდინარე, აღნიშნულ თავში განიხილება ელექტრულ მაჩვენებელთა ცვალებადობის ყველა კანონზომიერება სხვადასხვა პარამეტრის მქონე მიმდევრობითი და განშტოებული წრედებისათვის.

მიმდევრობითი და განშტოებული წრედების შესწავლის დროს საჭიროა ყურადღება გვაქმავილოთ მათთვის დამახასიათებელ ძაბვათა და დენების რეზონანსის მოვლენებზე. უნდა დავიხსოვოთ, რომ ძაბვათა რეზონანსს ადგილი აქვს, ჩვეულებრივად, მიმდევრობით წრედებში, ხო-

ლო დენების რეზონანსს კი — განშტოებულ წრედებში. ამასთან, ნათელი წარმოდგენა უნდა შეიქმნათ რეზონანსული მოვლენების დროს მაგნიტური და ელექტრული ველების ენერჯიის გაცვლის ფიზიკურ პროცესზე. უნდა გახსოვდეთ, რომ ძაბვათა რეზონანსს ინდუქციური და ტევადური მიმღებების მომჭერებზე შეუძლია ზეძაბვების გამოწვევა და ამდენად მათი იზოლაციის დაზიანება, დენების რეზონანსის ელექტრული მოწყობილობებისათვის არ არის სახიფათო და მას, ხშირად, სიმძლავრის კოეფიციენტის გასაუმჯობესებლად იყენებენ.

საჭიროა ყურადღების გამახვილება აღნიშნულ თავში წარმოდგენილი ცვლადი დენის წრედებისათვის დამახასიათებელი სიმძლავრის საკითხზე, მის მყის მნიშვნელობაზე და აქტიურ და რეაქტიულ მდგენელებზე. საჭიროა სრული წარმოდგენის შექმნა ამავე თავში მოცემული სიმძლავრის კოეფიციენტზე, რომელსაც მეტად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება ელექტროტექნიკაში.

შესასწავლი მასალის ცოდნის განმტკიცებისა და მისი პრაქტიკული გამოყენების მიზნით კარგია შეასრულოთ მე-6, მე-7, მე-8 და მე-9 დაეალებების ბოლოს მოცემული სავარჯიშოები და შეამოწმოთ ცოდნის ხარისხი სათანადო საკონტროლო კითხვებით.

დავალბა 8

ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედები აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინაღობებით. ძაბვებისა და წინაღობების ხამკუთხედები. ცვლადი დენის წრედები მიმდევრობით ჩართული წინაღობებით. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 8-1. ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედები აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინაღობებით

მას შემდეგ, რაც გავეცანით ერთპარამეტრიან ცვლადი დენის წრედებს და მათში მიმდინარე ელექტრული და მაგნიტური ხასიათის პროცესებს, ადვილი შესასწავლი ხდება სამივე პარამეტრის მქონე წრედიც, რომლის ელექტრული სქემა წარმოდგენილია მე-19 ა, ნახაზზე. ამგვარ წრედებში მომჭერებზე მოდებული ძაბვა გამოსახება ცნობილი ტოლობით

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi).$$

მეორე მხრივ, წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვა, კირხჰოფის II კანონის თანახმად, უდრის წინაღობებზე მოდებულ ძაბვათა ჯამს

$$ir = u + e_L + e_c = u - L \frac{di}{dt} - \frac{\int idt}{c}$$

აბ

$$u = u_a + u_L + u_c = ir + L \frac{di}{dt} + \frac{\int idt}{c}.$$

მაშასადამე, შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედის მოქმედებზე მოდებულ ძაბვის მყისი მნიშვნელობა, დროის ნებისმიერ შუალედში, უდრის ცალკეულ უბნებზე მოდებულ ძაბვათა ჯამს: რაც შეეხება დენის მყის მნიშვნელობას, იგი წრედის ყველა უბნისათვის ერთნაირი იქნება და შემდეგნაირად გამოისახება

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi).$$

დენის ძალების ჰარმონიული ცვალებადობა წრედში და მის უბნებზე უფლებას გვაძლევს ძაბვების მყისი მნიშვნელობებიდან გადავიდეთ მათი ვექტორების გეომეტრიულ ჯამზე, ე. ი.

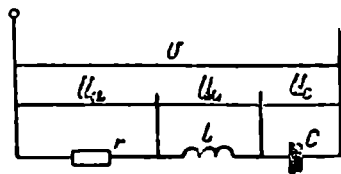
$$\overline{U} = \overline{U}_a + \overline{U}_L + \overline{U}_c. \quad (38)$$

ეს გამოსახულება, თავის მხრივ, საშუალებას გვაძლევს წრედის ძაბვისა და დენის სიდიდის დასადგენად ვისარგებლოთ მათი ვექტორული დიაგრამებით (ნახ. 20).

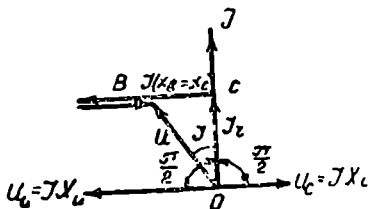
ვექტორული დიაგრამის ასაგებად აღნიშნული წრედისათვის ვირჩევთ კოორდინატთა სისტემას (რომლის ორდინატსაც დენის მიმართულებას ვანიჭებთ) და ერთპარამეტრიანი წრედების ანალოგიურად მათ ღერძებზე გადავზომავეთ აქტიურ, ინდუქციურ და ტევადურ ძაბვებს, ანუ

$$U_a = I \cdot r; \quad U_L = I X_L \quad \text{და} \quad U_c = I \cdot X_c.$$

წინა შემთხვევის მსგავსად, ძაბვის აქტიური მდგენელი, ე. ი. ვექტორი, გაჰყვება დენის მოქმედი მნიშვნელობის I -ს მიმართულებას (ორდინატს), ხოლო ინდუქციური U_L და ტევადური U_c ვექტორები, რადგან ისინი დაძრული უნდა იყვნენ დენის მოქმედი მნიშვნელობიდან $\frac{\pi}{2}$ კუთხით, გაჰყვებიან აბსცისის ღერძს. ამასთან, ძაბვის ინდუქციური მდგენელი წინ გაუსწრებს დენს, ხოლო ტევადური — ჩამორჩება მას.



ნახ. 19. მიმდევრობითი წრედი აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინალობებით.



ნახ. 20. ვექტორული დიაგრამის აგება. აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინალობების შემკველი მიმდევრობითი წრედისათვის.

სამი მდგენელის ვექტორული ჯამი იქნება $\triangle OBC$ -ს ჰიპოტენუზა.

დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობის დასადგენად, ასეთ წრედში განვიხილავთ OBC მართკუთხა სამკუთხედს, სადაც, პითაგორის თეორემის შესაბამისად, მისი გვერდების დამოკიდებულებას გამოვსახავთ ტოლობით

$$U^2 = I^2 r^2 + I^2 (x_L - x_c)^2,$$

საიდანაც

$$\boxed{I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (x_L - x_c)^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x^2}}}, \quad (39)$$

ხოლო x -ს რეაქტიული წინაღობა ეწოდება. ამგვარი წრედის წინაღობას z -ით აღნიშნავენ და მას სრულ, ან მოჩვენებით წინაღობას უწოდებენ. მაშასადამე,

$$\boxed{z = \sqrt{r^2 + x^2}} \quad (40)$$

და წრედის დენის ძალა ასე გამოისახება

$$\boxed{I = \frac{U}{z}}. \quad (41)$$

როგორც ამ ტოლობიდან ვხედავთ, მიმდევრობით ჩართულ აქტიურ, ინდუქციურ და ტევადურწინაღობიან წრედებში ძალაში რჩება დენისა და ძაბვის ისეთი თანათარღობა, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ზემოთ განხილული წრედებისათვის. ამრიგად, წრედის დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია მომჭერებზე მოდებული ძაბვისა და უკუპროპორციულია სრული წინაღობის. ამ დამოკიდებულებას ცვლადი დენის წრედების ომის კანონს უწოდებენ.

ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობების გათვლებთან ერთად აღნიშნული ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 20) საშუალება გვეძლევა განვსაზღვროთ ძაბვისა და დენს შორის არსებული ძვრის კუთხე (φ)

$$\boxed{\varphi = \arctg \frac{x}{r}}. \quad (42)$$

რეაქტიული წინაღობის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მისი მდგენელების x_L -ისა და x_c -ს სიდიდეებზე. თუ ცვლადი დენის წრედში პარაბობს ინდუქციური წინაღობა, მაშინ რეაქტიული წინაღობა x ინდუქციურად ითვლება და დადებითი ნიშნით გამოისახება. პირიქით, თუ

ტევადურის წინაღობა კარბობს ინდუქციურ წინაღობას, მაშინ x ტევადურია და იგი უარყოფითი ნიშნით ჩაიწერება.

რეაქტიული წინაღობის მნიშვნელობა განაპირობებს აგრეთვე ძვრის ფ კუთხეს. კერძოდ:

როდესაც $x_L > x_c$, მაშინ $\varphi > 0$ და წრედის ძაბვა წინ უსწრებს დენს $\frac{\pi}{2}$ -ით.

როდესაც $x_L < x_c$, მაშინ $\varphi < 0$ და ძაბვა ჩამორჩება დენს $\frac{\pi}{2}$ კუთხით.

დაბოლოს, როდესაც $x_L = x_c$, ე. ი. $x = 0$, მაშინ $\varphi = 0$ და ძაბვა და დენი თანხედენილია ფაზით.

მაშასადამე, დადგინდა, რომ ძვრის კუთხე φ ასეთი წრედებისათვის იცვლება გარკვეულ საზღვრებში, ე. ი.

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}. \quad (43)$$

ცოდნის განმტკიცებისა და მისი გამოყენების მიზნით გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. ცვლადი დენის ქსელში, რომლის ძაბვა $U = 1000$ ვ-ს და სიხშირე $f = 50$ ჰც-ის ტოლია, მიმდევრობით ჩართულია: აქტიური წინაღობა $r = 100$ ომს, ინდუქციურობა $L = 0,5$ ჰნ და ტევადობა $C = 10$ მკფ. საჭიროა განისაზღვროს წრედის დენის ძალა I , ცალკეული უბნის ძაბვები და ძვრის კუთხე.

ამოხსნა. პირველად უნდა შევადგინოთ ამოცანიდან გამომდინარე ელექტრული სქემა (ნახ. 21), რომლის შესაბამისად გამოვითვლით ინდუქციურ და ტევადურ წინაღობებს — x_L და x_c

$$x_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5 = 157 \text{ ომს}$$

და

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 319 \text{ ომს.}$$

განვსაზღვროთ ცნობილი (40) ტოლობიდან წრედის სრული წინაღობა.

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_c)^2} = \sqrt{100^2 + (157 - 319)^2} = 190,5 \text{ ომს.}$$

შესაბამისად, წრედის დენი იქნება

$$I = \frac{U}{z} = \frac{1000}{190,5} = 5,25 \text{ ა.}$$

ძაბვის სიდიდე აქტიური წინაღობის მომქერებზე

$$U_a = I \cdot r = 5,25 \cdot 100 = 525 \text{ ვ.}$$

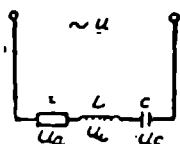
ძაბვის სიდიდე ინდუქციურ წინაღობაზე

$$U_L = I \cdot x_L = 5,25 \cdot 157 = 825 \text{ ვ.}$$

შესაბამისად, ძაბვა ტევადური წინაღობის მომქერებზე გაითვლება ტოლობით

$$U_c = I \cdot x_c = 5,25 \cdot 319 = 675 \text{ ვ.}$$

რაც შეეხება ძვრის კუთხეს, იგი გამოითვლება ცნობილი ტოლობით



$$\varphi = \arctg \frac{x}{r} = \arctg \frac{157 \cdot 319}{100},$$

საიდანაც

$$\varphi = 58^{\circ}29';$$

ნახ. 21. მაგალითის ელექტრული სქემა.

მაშასადამე, წრედის ძაბვას აღნიშნული კუთხით წინ უსწრებს დენი.

§ 8-2. ძაბვებისა და წინაღობების სამკუთხედი

თუ დავაკვირდებით მე-20 ნახაზზე მოცემულ ვექტორულ დიაგრამას, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ OBC მართკუთხა სამკუთხედის სამივე გვერდს ძაბვები წარმოადგენენ. თუ მას ცალკე გამოვყოფთ, იგი ისე წარმოგვიდგება, როგორც ეს ნაჩვენებია 22-ე ნახაზზე. ელექტროტექნიკაში ასეთ სამკუთხედს ძაბვების სამკუთხედს უწოდებენ.

მაშასადამე, ძაბვების სამკუთხედი ეწოდება ისეთ მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის გვერდები, შესაბამისად, აქტიური, ინდუქციური და ტევადური ძაბვებს წარმოადგენენ.

მოცემული სამკუთხედიდან, პითაგორის თეორემის თანახმად, უფლება გვეძლევა შევადგინოთ ტოლობა

$$U^2 = U_a^2 + (U_L - U_c)^2,$$

საიდანაც

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_c)^2} \quad (44)$$

წრედის ცალკეულ უბნებზე მოდებული ძაბვების მნიშვნელობები, იმავე სამკუთხედიდან, გამოისახებიან შემდეგი ფარდობებით

$$\begin{cases} U_a = U \cdot \cos \varphi, \\ U_x = U \cdot \sin \varphi. \end{cases}$$

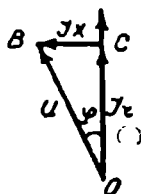
(45)

წრედის დენის ძალა კი გამოითვლება ცნობილი ფორმულით

$$I = \frac{U}{z}.$$

ძაბვების სამკუთხედი იძლევა ელექტროტექნიკისათვის მეტად დიდმნიშვნელოვანი სიდიდის (cos φ) გამოთვლის საშუალებას

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U}. \quad (46)$$



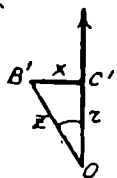
ნახ. 22. ძაბვების სამკუთხედი.

თუ აღნიშნული ძაბვების სამკუთხედის თითო-ეულ გვერდს გავყოფთ დენის ძალაზე, რომელიც მიმდევრობითი წრედის ყველა უბანზე ერთნაირია, მივიღებთ მსგავს $O'B'C'$ მართკუთხა სამკუთხედს (ნახ. 23), რომლის კათეტები ტოლია:

$$r = \frac{I \cdot r}{I} \text{ --- აქტიური წინაღობის;}$$

$$x = \frac{I \cdot x}{I} \text{ --- რეაქტიული წინაღობის, ხოლო ჰიპოტენუზა } \frac{U}{I} = z \text{ --- სრული ანუ მოჩვენებითი წინაღობის.}$$

მაშასადამე, დავასკვნით, რომ მიმდევრობით ჩართული აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინაღობების შემცველ წრედებში წინაღობის სამკუთხედს ვუწოდებთ ისეთ მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის კათეტები აქტიური და რეაქტიული წინაღობებია, ხოლო ჰიპოტენუზა სრულ წინაღობას წარმოადგენს.



ნახ. 23. წინაღობათა სამკუთხედი.

მოცემული სამკუთხედიდან (ნახ. 23) სრული z წინაღობა გამოითვლება როგორც ჰიპოტენუზის კვადრატი, ე. ი.

$$z^2 = r^2 + x^2,$$

საიდანაც

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}.$$

წინაღობის სამკუთხედიდან გამოვთვლით წრედის წინაღობის როგორც აქტიურ და რეაქტიულ მდგენელებს, ისე ძვრის კუთხესაც, სახელდობრ:

$$\left. \begin{aligned} r &= z \cdot \cos \varphi \\ x &= z \cdot \sin \varphi \\ \cos \varphi &= \frac{r}{z} \\ \sin \varphi &= \frac{x}{z} \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{x}{r} \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

ახლა გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. ცვლადი დენის ქსელში, რომლის ძაბვა $U=220$ ვ-ს და სიხშირე 50 ჰც-ს, ჩართულია აქტიური წინაღობა $r=9,8$ ომს და ინდუქციურობა $L=73,3$ მჰნ. საჭიროა განისაზღვროს ანალიზურად ძაბვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები, დენისა და ძაბვის ვექტორებს შორის ძვრის კუთხე.

ამოხსნა. შევადგინოთ მოცემული წრედის ელექტრული სქემა (ნახ. 24). განვსაზღვროთ წრედში ჩართული ინდუქციურობით შექმნილი წინაღობა

$$x_L = 2\pi f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0733 = 23 \text{ ომს.}$$

სათანადოდ გაითვლება წრედის სრული წინაღობა

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{9,8^2 + 23^2} = 25 \text{ ომს.}$$

დენის ძალა

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{25} = 8,8 \text{ ა,}$$

ხოლო ძაბვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები გამოითვლება თანაფარდობებით:

$$U_a = I \cdot r = 8,8 \cdot 9,8 = 86,3 \text{ ვ}$$

და

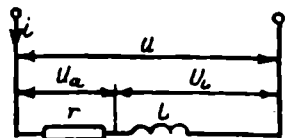
$$U_L = I \cdot x_L = 8,8 \cdot 23 = 202,4 \text{ ვ.}$$

ძვრის კუთხეს დენსა და ძაბვას შორის განვსაზღვრავთ (42) ტოლობით

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_L}{r} = \frac{23}{9,8} = 2,347$$

და

$$\varphi \approx 66^\circ 55'.$$



ნახ. 24. მაგალითის ელექტრული სქემა.

ჩვეულებრივ, ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედები წარმოადგენენ მიმდევრობით ჩართულ წინაღობათა ერთობლიობას, როგორც ეს ნაჩვენებია მოცემულ ელექტრულ სქემაზე (ნახ. 25).

თუ წრედში ჩართულია n რაოდენობის სხვადასხვა წინაღობა Z_1, Z_2, \dots, Z_n , რომელთა მომჭერებზე მოქმედებენ, შესაბამისად, U_1, U_2, \dots, U_n ძაბვები, მაშინ წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვის მყისი მნიშვნელობა გამოისახება ცნობილი ფარდობით

$$u = U_m \sin \omega t = \sqrt{2} U \sin \omega t.$$

ეს ძაბვა, კირხჰოფის კანონის საფუძველზე, წინაღობათა მომჭერებზე მოდებულ ძაბვათა ჯამის ტოლი იქნება, ე. ი.

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

იგივე ფარდობა ძაბვების ვექტორული სიდიდეებისათვის ასე გამოისახება

$$\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2 + \dots + \bar{U}_n$$

იმასთან დაკავშირებით, რომ აღებულ წრედში ადგილი ექნება მაგნიტურ და ელექტრულ მოვლენებს და მათგან გამოწვეულ აქტიური და რეაქტიული ძაბვების ვარდნას, წრედის ძაბვა ჩაიწერება შემდეგი გამოსახულებით

$$\bar{U} = \bar{U}_a + \bar{U}_x$$

წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვის აქტიური მდგენელი ტოლი იქნება ცალკეულ უბნებზე მოდებულ ძაბვათა აქტიური მდგენელების ჯამისა

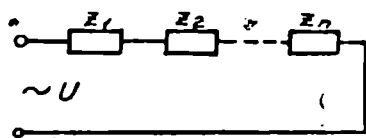
$$\bar{U}_a = \bar{U}_{a_1} + \bar{U}_{a_2} + \dots + \bar{U}_{a_n}$$

ხოლო მისი რეაქტიული მდგენელი

$$\bar{U}_x = \bar{U}_{x_1} + \bar{U}_{x_2} + \dots + \bar{U}_{x_n}$$

წინაღობებზე მოდებული ძაბვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელების მნიშვნელობები

$$U_{a_1} = I \cdot r_1; \quad U_{a_2} = I \cdot r_2; \quad \dots, \quad U_{a_n} = I \cdot r_n$$



ნახ. 25. მიმდევრობით ჩართული წინაღობათა ცვლადი დენის ელექტრული სქემა.

და

$$U_{x_1} = I \cdot x_1; \quad U_{x_2} = I \cdot x_2; \quad \dots, \quad U_{x_n} = I \cdot x_n$$

შევიტანოთ ზედა გამოსახულებებში, მივიღებთ:

$$U_a = I \cdot (r_1 + r_2 + \dots + r_n) = I \cdot r$$

და

$$U_x = I \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = I \cdot x.$$

ამრიგად, წრედის აქტიური (r) და რეაქტიული (x) წინაღობების ეკვივალენტური სიდიდეები ასე ჩაიწერება:

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

და

$$x = x_1 + x_2 + \dots + x_n,$$

რაც უფლებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ცვლადი დენის წრედებში მიმდევრობით ჩართული მიმდებების სრული აქტიური და რეაქტიული წინაღობის ეკვივალენტური სიდიდეები ყოველთვის ტოლი არიან ამ წინაღობათა აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ალგებრული ჯამისა.

სრული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ასეთი წრედებისათვის გამოითვლება ვექტორული დიაგრამიდან

$$|U = \sqrt{U_a^2 + U_x^2}| \quad (48r)$$

ანუ

$$U = I \cdot \sqrt{r^2 + x^2} = I \cdot z.$$

ახლა გადავიდეთ ასეთი წრედებისათვის ვექტორული დიაგრამის აგების მეთოდის განხილვაზე. დიაგრამის გამარტივებისა და აგების პროცესის ნათელსაყოფად ავიღოთ შედარებით ნაკლებელმენტიანი მიმდევრობითი წრედი, რომელშიაც ჩართულია მხოლოდ 4 წინაღობა (მიმდებნი). პირველ ორში ჰარბობს ინდუქციური, ბოლო ორში კი ტევადური წინაღობა. საწყისი პირობის შესაბამისად, პირველ ორ წინაღობაში ძაბვის ვექტორები (U_1 და U_2) ერთი მიმართულების იქნებიან, ხოლო ბოლო ორში (U_3 და U_4), მათი ტევადური ხასიათის გამო, საწინააღმდეგო

$$\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2 + (-\bar{U}_3) + (-\bar{U}_4).$$

თუ საწყის მიმართულებად ორდინატთა ღერძს ავიღებთ და მას

წრედში გამავალი დენის მნიშვნელობას მივანიჭებთ, მაშინ თანათარღობებიდან

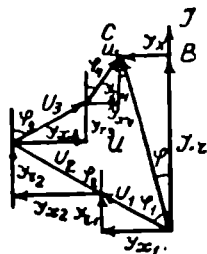
$$\bar{U}_{a_1} = I \cdot r_1; \quad \bar{U}_{a_2} = I \cdot r_2; \quad \bar{U}_{a_3} = I \cdot r_3 \quad \text{და} \quad \bar{U}_{a_4} = I \cdot r_4,$$

$$\bar{U}_{x_1} = I \cdot x_1; \quad \bar{U}_{x_2} = I \cdot x_2; \quad \bar{U}_{x_3} = -I \cdot x_3 \quad \text{და} \quad \bar{U}_{x_4} = -I \cdot x_4$$

აქტიური მდგენელები უნდა გადავზომოთ ორდინატთა ღერძზე, ხოლო ძაბვის პირველი ორი რეაქტიული მდგენელი U_{x_1} და U_{x_2} ჩამორჩება მათ $\frac{\pi}{2}$ კუთხით.

U_{x_3} და U_{x_4} ტევალური ხასიათის გამო, U_{x_1} და U_{x_2} ძაბვების საწინააღმდეგო მიმართულებას მიიღებენ (ნახ. 26). წრედის სრული ძაბვა წარმოადგენს OBC სამკუთხედის ჰიპოტენუზას და დაძრულია დენისაგან φ კუთხით.

ძაბვის ვექტორული დიაგრამიდან ძნელი არ არის წინააღმდეგობების სამკუთხედის მიღება, რისთვისაც საჭიროა ძაბვების სამკუთხედის სამივე გვერდის სიდიდეების გაყოფა წრედში გამავალი დენის მოქმედ მნიშვნელობაზე. ამ შემთხვევაში სრული წინააღმდეგობის (Z) აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ეკვივალენტური მნიშვნელობები განისაზღვრება ცნობილი ფარდობებით:



ნახ. 26. ძაბვების ვექტორული დიაგრამების აგება.

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

და

$$x = x_1 + x_2 + x_3 + x_4.$$

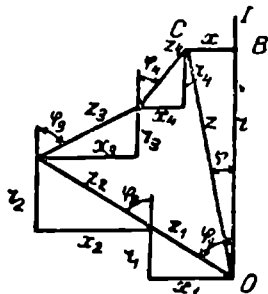
თვით წინააღმდეგობების სამკუთხედი კი გამოისახება 27-ე ნახაზის ანალოგიურად.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მოცემულია ცვლადი დენის წრედი მიმდევრობით ჩართული სამი მიმდებით, რომელთა აქტიური და რეაქტიული წინააღმდეგობები:

$$\begin{aligned} r_1 &= 16,1 \text{ ომს}; & x_1 &= 15 \text{ ომს}; \\ r_2 &= 19,2 \text{ ომს}; & x_2 &= 5,6 \text{ ომს}; \\ r_3 &= 17,7 \text{ ომს}; & x_3 &= 35,3 \text{ ომს}. \end{aligned}$$

პირველი ორი მიმღების რეაქტიული წინაღობა ინდუქციურია, ხოლო მესამესი — ტევადური. საჭიროა განვსაზღვროთ წრედისა და მიმღებების სრული წინაღობები, წრედისა და მიმღებების მომჭერებზე მოდებული ძაბვები, თუ წრედის დენის ძალა 4 ამპერს უდრის (ნახ. 28).



ნახ. 27. წინაღობათა სამკუთხედების აგება.

ამოხსნა. მიმღებთა სრული წინაღობები გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2} = \sqrt{16,1^2 + 15^2} = 22 \text{ ომს;}$$

$$z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_2^2} = \sqrt{19,2^2 + 5,6^2} = 20 \text{ ომს;}$$

$$z_3 = \sqrt{r_3^2 + x_3^2} = \sqrt{17,7^2 + 35,3^2} = 39,5 \text{ ომს.}$$

წრედის სრული წინაღობა

$$z = \sqrt{(r_1 + r_2 + r_3)^2 + (x_1 + x_2 + x_3)^2} = \\ = \sqrt{(16,1 + 19,2 + 17,7)^2 + (15 + 5,6 + 35,3)^2} = 55 \text{ ომს.}$$

მიმღებთა მომჭერებზე მოდებული ძაბვები:

$$U_1 = I \cdot z_1 = 4 \cdot 22 = 88 \text{ ვ;}$$

$$U_2 = I \cdot z_2 = 4 \cdot 20 = 80 \text{ ვ;}$$

$$U_3 = I \cdot z_3 = 4 \cdot 39,5 = 158 \text{ ვ.}$$

წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვა

$$U = I \cdot z = 4 \cdot 55 = 220 \text{ ვ.}$$

ვექტორული დიაგრამების ასაგებად განვსაზღვრავთ მიმღებთა აქტიური და რეაქტიული ძაბვის ვარდნებს:

$$U_{a_1} = I \cdot r_1 = 4 \cdot 16,1 = 64,4 \text{ ვ;}$$

$$U_{x_1} = I \cdot x_1 = 4 \cdot 15 = 60 \text{ ვ;}$$

$$U_{a_2} = I \cdot r_2 = 4 \cdot 19,2 = 76,8 \text{ ვ;}$$

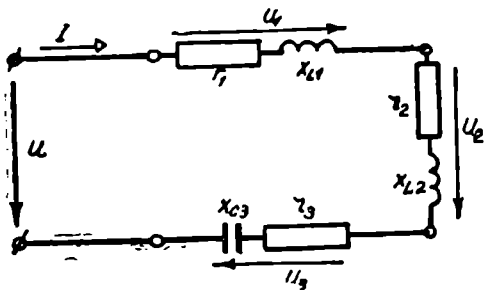
$$U_{x_2} = I \cdot x_2 = 4 \cdot 5,6 = 22,4 \text{ ვ;}$$

$$U_{a_3} = I \cdot r_3 = 4 \cdot 17,7 = 70,8 \text{ ვ;}$$

$$U_{x_3} = I \cdot x_3 = 4 \cdot 35,3 = 141,2 \text{ ვ.}$$

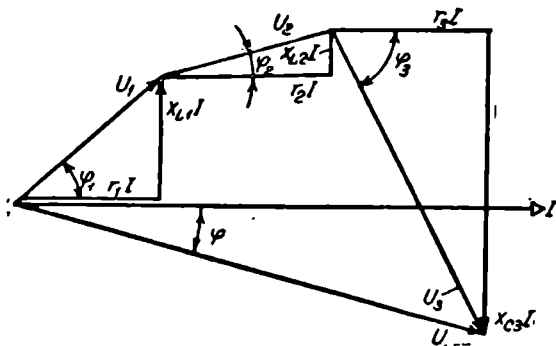
ვირჩევთ ძაბვის მასშტაბს ($m=2$ ვ/მმ) და გადავზომავთ ნებისმიერი მიმართულებით დენის ვექტორს (ნახ. 29). ამ მიმართულებითვე გადაიზომება აქტიური ძაბვის ვარდნები, ხოლო მისგან $\frac{\pi}{2}$ კუთხით

დაძრულია პირველი ორი მიმღების რეაქტიული დაბების ვარდნები (\bar{U}_{x_1} და \bar{U}_{x_2}). რაც შეეხება მე-3 მიმღების დაბის ვარდნის \bar{U}_{x_3} ვექტორს, ტევადობის არსებობის გამო, ადგილი აქვს \bar{U}_{x_1}



ნახ. 28. მაგალითის ელექტრული სქემა.

და \bar{U}_{x_2} დაბის ვექტორებიდან π კუთხით (ანუ 180°) გადახრას. ამგვარად მივიღებთ წრედის მომჭერებზე მოქმედი დაბის \bar{U} ვექტორსაც (ნახ. 29).



ნახ. 29. მაგალითის დაბების ვექტორული დიაგრამა.

§ 8-4. მოკლე დასკვნები

1. ცვლადი დენის მიმდევრობით შეერთებული r , x_L და x_C წინაღობის შემცველი წრედის მომჭერებზე მოდებული საერთო სინუსოიდური დაბის მყისი მნიშვნელობა, დროის ნებისმიერ შუალედში. ცალკეულ წინაღობებზე სინუსოიდურ დაბვათა ჯამის ტოლია

$$U = U_a + U_L + U_C.$$

რაც შეეხება დენს, იგი აგრეთვე სინუსოიდურია და ყველა უბნისათვის ერთი და იგივე რჩება.

2. ერთბაშავეტიანი ცვლადი დენის წრედების ანალოგიურად, მიმდევრობით შეერთებულ r , x_L და x_C წრედებშიაც ადგილი აქვს ცვლა-

დი დენის ომის კანონს, სადაც წრედის დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია მომჭერებზე მოდებული სრული ძაბვისა და უკუპროპორციულია წრედის სრული z წინაღობისა

$$I = \frac{U}{z},$$

სადაც

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}.$$

3. ძაბვასა (U) და დენის ძალას (I) შორის არსებულ ფაზათა ძვრის კუთხეს (φ) ასეთ წრედებში განაპირობებს ინდუქციური და ტევადური წინაღობების თანაფარდობა. ინდუქციური წინაღობის სიქარბის დროს წრედის ძაბვა წინ უსწრებს დენს φ კუთხით, ხოლო ტევადური წინაღობის სიქარბის შემთხვევაში, პირიქით, ძაბვა φ კუთხით ჩამორჩება დენს:

როდესაც $x_L > x_C$, მაშინ $\varphi > 0$,

ხოლო, როდესაც $x_L < x_C$, მაშინ $\varphi < 0$.

4. ძაბვების სამკუთხედი ეწოდება ისეთ მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის გვერდები, შესაბამისად, აქტიურ (U_r), რეაქტიულ (U_x) და სრულ (U) ძაბვებს გამოსახავენ, საიდანაც სრული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_x^2} = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

5. წინაღობების სამკუთხედი მიიღება ძაბვების სამკუთხედიდან და იგი წარმოადგენს ისეთ მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის კათეტები აქტიურ (r) და რეაქტიულ (x) წინაღობებს გამოსახავენ, ხოლო ჰიპოტენუზა სრული წინაღობაა (z). ასეთი სამკუთხედების საშუალებით განისაზღვრება მიმდევრობითი წრედების შემადგენელი აქტიური და რეაქტიული წინაღობები და ძვრის კუთხე:

$$r = z \cdot \cos\varphi,$$

$$x = z \cdot \sin\varphi$$

და

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x}{r}.$$

6. მიმდევრობით ჩართული სრული წინაღობის შემცველი წრედების საერთო ძაბვა (U), კირხჰოფის კანონის თანახმად, ტოლია წინაღობათა მომჭერებზე მოდებულ ძაბვათა გეომეტრიული ჯამისა

$$\overline{U} = \overline{U}_1 + \overline{U}_2 + \dots + \overline{U}_n;$$

სადაც s აერთო ძაბვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები წარმოადგენენ წრედის დენის ძალისა და აქტიური და რეაქტიული წინაღობების ეკვივალენტურ სიდიდეთა ნამრავლს, ანუ

$$U_a = I \cdot r$$

და

$$U_x = I \cdot x.$$

დენის ძალა

$$I = \frac{U}{z} = \frac{\sqrt{U_a^2 + U_x^2}}{\sqrt{r^2 + x^2}}$$

7. აქტიური და რეაქტიული წინაღობების ეკვივალენტური სიდიდეები (r და x) ასეთ წრედებში გამოისახებიან ცალკეულ წინააღმდეგობათა აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ალგებრული ჯამით:

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

და

$$x = x_1 + x_2 + \dots + x_n.$$

§ 3-5. სანარკოზო

1. ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედში ჩართულ კოქაში, რომლის ინდუქციურობა $L = 15$ მჰნ და აქტიური წინაღობა $r = 5$ ომს, გადის დენი $i = 10 \sin 500 t$. განსაზღვრეთ დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები და მათ შორის ძვრის კუთხე.

2. ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედში, რომლის მომქერებზე მოქმედებს ძაბვა $u = 141 \sin 628 t$, ჩართულია აქტიური წინაღობა $r = 3$ ომს და კონდენსატორი, ტევადობით $C = 100$ მკფ. განსაზღვრეთ დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები. იპოვეთ ძვრის კუთხის ტანგენსი დენსა და ძაბვას შორის და ააგეთ ვექტორული დიაგრამა.

3. ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედის მომქერებზე, რომელშიც ჩართულია აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინაღობები: $r = 10$ ომს, $x_L = 50$ ომს და $x_C = 30$ ომს, მოდებულია ძაბვა $u = U_m \sin \omega t = 310 \sin 314 t$. განსაზღვრეთ წრედის დენის ძალის მოქმედი და მყისი მნიშვნელობები, ძაბვის მყისი მნიშვნელობა ინდუქციური წინააღმდეგობის მომქერებზე.

4. ცვლადი დენის წრედში მიმდევრობით ჩართულია ორი მიმდევრობითი პირველი შეიცავს აქტიურ და ინდუქციურ წინააღმდეგობებს: $r_1 = 7$ ომს და $x_{L1} = 24$ ომს, ხოლო მეორე შეიცავს აქტიურ და ტევადურ წინააღმდეგობებს: $r_2 = 18$ ომს და $x_{C2} = 73$ ომს. გაითვალეთ წრედის სრული წინა-

ლობა (Z), დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები (I_a , I_x) და წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვა, თუ წრედის დენის ძალა $I=4$ ა.

5. ცვლადი დენის წრედში, რომლის სიხშირე $f=50$ კც-ს, მიმდევრობით ჩართულია 4 მიმღები, რომელთა პარამეტრებია: $r_1=10$ ომს და $C_1=100$ მკფ; $r_2=20$ ომს და $C_2=200$ მკფ; $r_3=30$ ომს და $L_3=L_4=100$ მჰნ. განსაზღვრეთ წრედის საერთო წინაღობა, ძაბვა და ააგეთ ექვივალენტი დიაგრამა, თუ ცნობილია წრედის დენის ძალა $I=5$ ა.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. როგორ გამოისახება მათემატიკურად ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედის მომჭერებზე მოდებული ძაბვის მყისი მნიშვნელობა?

2. რას უდრის L და C პარამეტრების მქონე მიმდევრობით წრედში გამავალი დენის ძალის მყისი მნიშვნელობა?

3. დაასაბუთეთ, რატომ და რა კუთხით ჩამორჩება დენის ძალა ძაბვას, წრედის ინდუქციურობის სიჭარბის დროს ტევადურთან შედარებით.

4. როდის უსწრებს დენის ძალა ძაბვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედში?

5. ცვლადი დენის r , L და C -პარამეტრებიან მიმდევრობით წრედებში რა საზღვრებში იცვლება ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის?

6. რას ეწოდება ძაბვათა და წინაღობათა სამკუთხედები, როგორ აგებენ და რა მნიშვნელობა ენიჭება მათ ექვივალენტის თეორიული საფუძვლების შესწავლაში?

7. როგორ განისაზღვრებიან წინაღობათა სამკუთხედებიდან: აქტიური (r), რეაქტიული (x) და სრული (Z) წინაღობები?

8. როგორ გამოისახება მიმდევრობით ჩართული სრულწინაღობიანი წრედების აქტიური და რეაქტიული ეკვივალენტური წინაღობები?

9. დაწერეთ რას უდრის მიმდევრობით ჩართულ n რაოდენობის მქონე სრულწინაღობიანი ცვლადი დენის წრედის მომჭერებზე მოდებული საერთო ძაბვა აქტიურ და რეაქტიულ მდგენელებში გამოსახული?

10. დაწერეთ ასეთ წრედებში გამავალი დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობის გამოსახულება.

დავალემა 7

ცვლადი დენის განზომილებული წრედები აქტიური წინაღობით, ინდუქციურობით და ტევადობით. დენებისა და გამტარობების სამკუთხედები. ცვლადი დენის წრედები პარალელურად ჩართული სრული წინაღობებით. მოკლე დასკვნები, სავარჯიშო.

§ 8-8. ცვლადი დენის განზომილებული წრედები აქტიური წინაღობით, ინდუქციურობით და ტევადობით

ცვლადი დენის განზომილებული წრედების შემთხვევაში აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინაღობები წრედში ჩაირთვებიან პარალელურად, როგორც ნაჩვენებია 30-ე ნახაზზე.

წრედში მოქმედი სინუსოიდური ძაბვა გამოისახება ტოლობით

$$u = U_m \sin \omega t.$$

დენის ძალა წრედის განშტოებულ ნაწილში, კირხჰოფის კანონის თანახმად, იქნება

$$\overline{i} = \overline{i_a + i_L + i_c} \quad (49)$$

სადაც

$$i_a = \frac{U_m}{r} \sin \omega t \quad \text{დენის აქტიური მდგენელი:}$$

$$i_L = \frac{U_m}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{— დენის ინდუქციური მდგენელი;}$$

$$i_c = U_m \omega C \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{— დენის ტევადური მდგენელი.}$$

ამგვარად, დენის მყისი მნიშვნელობა გამოისახება შტოთა დენების ალგებრული ჯამით

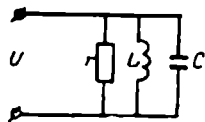
$$i = \frac{U_m}{r} \sin \omega t + \frac{U_m}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) + U_m \cdot \omega C \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

თუ ამ ალგებრულ ჯამს შევცვლით მათი მოქმედი მნიშვნელობების გეომეტრიული ჯამით, მაშინ წრედის დენი განუშტოებელ ნაწილში

$$\overline{I} = \overline{I_a + I_L + I_c} \quad (50)$$

ვექტორულ სიდიდეთა გეომეტრიული შეკრებისათვის უნდა ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა, რისთვისაც ვირჩევთ კოორდინატთა სისტემას და მის ორდინატთა ღერძს წრედის ძაბვის მიმართულებას ვაძლევთ. ამის შემდეგ მის ღერძებზე სათანადოდ გადავზომავთ დენის აქტიურ, რეაქტიულ და ტევადურ მდგენელებს, ე. ი. $\overline{I_a}$, $\overline{I_L}$ და $\overline{I_c}$ იმასთან დაკავშირებით, რომ

$$\omega L = x_L; \quad \frac{1}{\omega C} = x_c; \quad x_L - x_c = x,$$



ნახ. 30. ცვლადი დენის განშტოებული წრედი აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინააღობებით.

ხოლო დენის ინდუქციური და ტევადური მდგენელების სხვაობა.

$$\overline{I_L} - \overline{I_c} = \overline{I_x}.$$

წრედის დენი შეიძლება გამოისახოს დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელებით $\overline{I_a}$ და $\overline{I_x}$ (ნახ. 31). დენის აქტიური მდგენელი

ვაპყვება ძაბვის მიმართულებას (ორდინატთა ღერძს), ხოლო რეაქტიული დაძრული იქნება აქტიურიდან $\frac{\pi}{2}$ კუთხით, ე. ი. ვაპყვება აბსცისთა ღერძს. ამ ორი ვექტორის ჯამი მოგვცემს OBC მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზას, რომელიც წრედის სრული დენის მოქმედ მნიშვნელობას შეესაბამება. მისი სიდიდე, პითაგორის თეორემის შესაბამისად, გამოითვლება ტოლობიდან

$$I^2 = I_a^2 + I_x^2,$$

საიდანაც

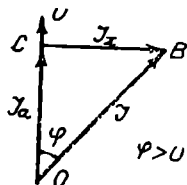
$$I = \sqrt{I_a^2 + I_x^2}.$$

ქსელიდან მოხმარებული დენის ძალა გამოითვლება ფარდობით

$$I = \frac{U}{z}. \quad (52)$$

ახლა გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მოცემული გვაქვს ცვლადი დენის განშტოებული წრედი.



ნახ. 31. განშტოებული წრედის დენების ვექტორული დიაგრამა.

პირველ შტოში ჩართულია კოჭა, რომლის პარამეტრებია: $r_1 = 3$ ომს და $x_2 = 2$ ომს. მეორე შტოში ჩართულია კოჭა აქტიური წინაღობითა $r_2 = 1$ ომს და რეაქტიულით $x_3 = 3$ ომს. განსაზღვრეთ შტოთა I_1 და I_2 დენები, თუ წრედი იკვებება 115 ვ ძაბვით.

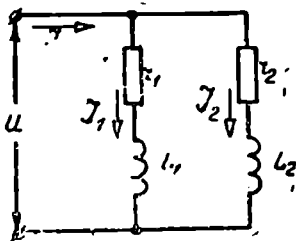
ამოხსნა. შევადგინოთ მოცემული წრედის

ელექტრული სქემა (ნახ. 32) და გამოვთვალოთ პირველი განშტოების დენი (52) ფარდობის შესაბამისად, ე. ი.

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{115}{\sqrt{3^2 + 2^2}} = 32,0 \text{ ა.}$$

ანალოგიურად გამოითვლება მე-2 შტოს დენიც

$$I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{115}{\sqrt{1^2 + 3^2}} = 36,4 \text{ ა.}$$



ნახ. 32. მაგალითის ელექტრული სქემა.

როგორც 31-ე ნახაზზე მოცემული ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, სამკუთხედის სამივე გვერდი დენებს წარმოადგენენ, რისთვისაც ასეთ მართკუთხა სამკუთხედებს ელექტროტექნიკაში დენების სამკუთხედს უწოდებენ. აღნიშნული სამკუთხედის ცნება და მისი გამოყენება ელექტროტექნიკურ გათვლებში შეტად დიდია. დენის სამკუთხედებიდან ადვილად განისაზღვრება შტოთა დენების აქტიური და რეაქტიული მდგენელები. ასე, მაგალითად, შტოში გამავალი დენის აქტიური მდგენელი, დენების სამკუთხედიდან, გამოითვლება შემდეგი ტოლობით

$$|I_a = I \cdot \cos \varphi| \quad (53)$$

ხოლო დენის რეაქტიული მდგენელი

$$|I_x = I \cdot \sin \varphi| \quad (54)$$

იმავე სამკუთხედიდან შესაძლებელია ძვრის კუთხის განსაზღვრა ქსელიდან მოთხოვნილ დენსა და წრედზე მოდებულ ძაბვას შორის

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_x}{I_a} \quad (55)$$

თუ (53, 54) ტოლობებში შევიტანთ წრედის ძაბვის, ხოლო წინააღმდეგობის სამკუთხედებიდან კუთხის სათანადო ფუნქციების მნიშვნელობებს

$$\cos \varphi = \frac{r}{z} \quad \text{და} \quad \sin \varphi = \frac{x}{z}, \quad (56)$$

მაშინ დენის აქტიური მდგენელი ასე გამოისახება

$$I_a = \frac{U}{z} \cdot \frac{r}{z} = \frac{r}{z^2} \cdot U.$$

შესაბამისად, რეაქტიული მდგენელი

$$I_x = \frac{U}{z} \cdot \frac{x}{z} = \frac{x}{z^2} \cdot U.$$

და წრედის სრული დენი

$$I = \sqrt{\left(\frac{r}{z^2} U\right)^2 + \left(\frac{x}{z^2} U\right)^2} = \frac{U}{z}.$$

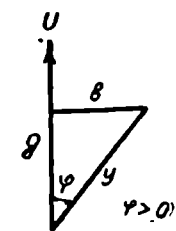
ამგვარად, დავასკვნით, რომ დენის სიდიდე ცვლადი დენის განუტოლებულ წრედებშია ც, მსგავსად მიმ-
5. გ. ანანიაშვილი

დევრობითი წრედებისა, პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა და უკუპროპორციული — წრედის სრული ანუ მოჩვენებითი წინაღობისა, ე. ი. ძალაში რჩება ე. წ. ცვლადი დენის წრედის ომის კანონი.

განშტოებულ წრედებში, წინააღობების ნაცვლად, იხმარება გამტარობების ცნება. ამ ცნების შესაბამისად, წრედის სრული წინააღობის შებრუნებულ სიდიდეს სრული გამტარობა ეწოდება და y -ით აღინიშნება, ე. ი.

$$y = \frac{1}{z} \quad (57)$$

შესაბამისად, აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინააღობების შებრუნებულ სიდიდეებს აქტიური, ინდუქციური და ტევადური გამტარობები ეწოდება და აღინიშნება g , b_L , b_C ასოებით. ამგვარად, გამტარობები წინააღობათა შებრუნებული ცნებებია და ტოლია მათი წინააღობების შებრუნებული სიდიდეებისა. მსგავსად მიმდევრობითი წრედების წინააღობების სამკუთხედებისა, განშტოებულ წრედებში გამოიყენება გამტარობების სამკუთხედები.



ნახ. 33. გამტარობის სამკუთხედი.

და

$$g = \frac{1}{r}$$

$$b_x = b_L - b_C = \frac{1}{x},$$

ხოლო

$$y = \frac{1}{z} = \sqrt{g^2 + b_x^2} \quad (58)$$

ამავე გამტარობების სამკუთხედიდან შესაძლებელია განვსაზღვროთ, როგორც აქტიური და რეაქტიული, ისე გამოვთვალოთ ძვრის კუთხის ფუნქციები და თვით ფ კუთხე:

$$\left. \begin{aligned} g &= y \cdot \cos \varphi, \\ b' &= y \cdot \sin \varphi, \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{b_x}{g}. \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

ამის შემდეგ გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. წინა მაგალითის (გვ. 57) მოცემულობისა და მოთხოვნების შესაბამისად დამატებით განსაზღვრეთ შტოების დენის აქტიური და რეაქტიული დენები და წრედის საერთო განუშტოებელი დენი.

ამოხსნა. პირველ შტოში გამაგალი დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელების გამოსათვლელად ვსარგებლობთ ცნობილი (56) გამოსახულებით და ცალკეული შტოებისადმი ვარკვევთ კუთხის ფუნქციებს:

$$\cos \varphi_1 = \frac{r_1}{z_1} = \frac{3}{3,6} = 0,833$$

და

$$\sin \varphi_1 = \frac{x_1}{z_1} = \frac{2}{3,6} = 0,555.$$

იმავე ფარდობებით ვარკვევთ მე-2 შტოს კუთხის ფუნქციებს:

$$\cos \varphi_2 = \frac{r_2}{z_2} = \frac{1}{3,16} = 0,317$$

და

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_2}{z_2} = \frac{3}{3,16} = 0,95.$$

პირველი შტოს დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები იქნება:

$$I_{a_1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 32 \cdot 0,833 = 26,6 \text{ ა},$$

და

$$I_{x_1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 32 \cdot 0,555 = 17,7 \text{ ა}.$$

სათანადოდ, მე-2 შტოს დენის მდგენელებიც:

$$I_{a_2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 36,4 \cdot 0,317 = 11,5 \text{ ა}.$$

და

$$I_{x_2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 36,4 \cdot 0,95 = 34,5 \text{ ა}.$$

ქსელიდან მოთხოვნილი ანუ წრედის განუშტოებელი ნაწილის სრული დენის მდგენელები კი გამოისახება შემდეგი თანაფარდობით:

$$I_a = I_{a_1} + I_{a_2} = 26,6 + 11,5 = 38,1 \text{ ა}$$

და

$$I_x = I_{x_1} + I_{x_2} = 17,7 + 34,5 = 52,2 \text{ ა.}$$

წრედის განუშტოებელი ნაწილის დენი

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_x^2} = \sqrt{38,1^2 + 52,2^2} = 64,7 \text{ ა.}$$

§ 8-8. ცვლადი დენის წრედში პარალელურად ჩართული სრული გამტარობებით

წრედში, რომელთა ელექტრული სქემა 34-ე ნახაზზეა მოცემული, განიხილებიან პარალელურად ჩართულ გამტარობათა ერთობლიობანი, რომლის შტოთა გამტარობები ტოლია

$$y_1, y_2, \dots, y_n$$

ხოლო დენის მყისი მნიშვნელობები, შესაბამისად: i_1, i_2, \dots, i_n .

წრედის საერთო დენის ძალა ტოლი იქნება შტოთა დენის ძალების ჯამისა

$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n.$$

ანალოგიურად გამოისახება დენის მოქმედი მნიშვნელობების ვექტორების ჯამიც

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \dots + \bar{I}_n.$$

მაგრამ საერთო დენის ძალა, წრედში არსებული ინდუქციურობისა და ტევადობის გამო, უნდა ჩაიწეროს ამ მდგენელების ჯამის სახით, სადაც

$$\bar{I} = \bar{I}_a + \bar{I}_x$$

და

$$\begin{aligned} \bar{I}_a &= \bar{I}_{a_1} + \bar{I}_{a_2} + \dots + \bar{I}_{a_n}; \\ \bar{I}_x &= \bar{I}_{x_1} + \bar{I}_{x_2} + \dots + \bar{I}_{x_n}. \end{aligned}$$

შტოთა დენის ძალები გამტარობის საშუალებით ტოლია:

$$I_{a_1} = U \cdot g_1; I_{a_2} = U \cdot g_2; \dots; I_{a_n} = U \cdot g_n$$

და

$$I_{x_1} = U \cdot b_1; I_{x_2} = U \cdot b_2; \dots; I_{x_n} = U \cdot b_n.$$

თუ შევიტანთ დენების ამ სიდიდეებს წინა ტოლობებში, მივიღებთ

$$I_a = U \cdot g_1 + U \cdot g_2 + \dots + U \cdot g_n = U \cdot (g_1 + g_2 + \dots + g_n) = U \cdot g$$

და

$$I_x = U \cdot b_1 + U \cdot b_2 + \dots + U \cdot b_n = U \cdot (b_1 + b_2 + \dots + b_n) = U \cdot b.$$

მაშასადამე, წრედის აქტიური (g) და რეაქტიული (b) გამტარობების ეკვივალენტური სიდიდეებია

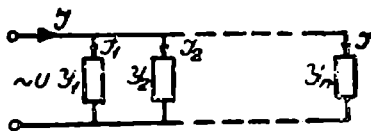
$$\left. \begin{aligned} g &= g_1 + g_2 + \dots + g_n, \\ b &= b_1 + b_2 + \dots + b_n, \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

საიდანაც დავასკვნით, რომ ცვლადი დენის განშტოებულ წრედებში ჩართული მიმდებებების სრული ანუ ეკვივალენტური გამტარობების აქტიური და რეაქტიული მდგენელები ტოლნი არიან შტოთა მიმდებების აქტიური და რეაქტიული გამტარობების ჯამსა.

სრული დენის მოქმედი მნიშვნელობა ამ წრედში

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_x^2} = U \cdot \sqrt{g^2 + b^2} = U \cdot y. \quad (61)$$

აღნიშნული წრედის ვექტორული დიაგრამის აგების ნათელსაყოფად, მსგავსად მიმდევრობითი წრედისათვის გამოყვანილი მაგალითისა, განვიხილოთ ცვლადი დენის განშტოებული წრედის 4 შტო, რომელთაგან პირველ ორში ჰარბობენ ინდუქტიური, ხოლო ბოლო ორ შტოში — ტევადური გამტარობები.



ნახ. 34. ცვლადი დენის წრედები პარალელურად ჩართული გამტარობებით.

თუ წრედის დიაგრამის ასაგებად ნებისმიერი მიმართულებით (ვთქვათ, ორდინატთა) გადავზომავთ ძაბვის ვექტორს, მაშინ მის მიმართულებას გაჰყვებიან შტოთა დენის ძალების აქტიური მდგენელები, ე. ი.

$$\overline{I_{a_1}} = U \cdot g_1; \overline{I_{a_2}} = U \cdot g_2; \overline{I_{a_3}} = U \cdot g_3 \text{ და } \overline{I_{a_4}} = U \cdot g_4.$$

რაც შეეხება შტოთა დენების რეაქტიულ მდგენელებს, პირველი ორი შტოს რეაქტიული დენები $\overline{I_{x_1}} = U \cdot b_1$ და $\overline{I_{x_2}} = U \cdot b_2$ ჩამორჩებიან ძაბვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით, ხოლო მე-3 და მე-4 შტოს რეაქტიული დენები $\overline{I_{x_3}} = U \cdot b_3$ და $\overline{I_{x_4}} = U \cdot b_4$ ტევადური ხასიათის გამო წინ უსწრებენ ძაბ-

ვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით (ნახ. 35). საწყისი წერტილის (O) შეერთება $I x_4$ დენის ვექტორის ბოლოსთან (B) მოგვემს საძიებელი წრედის სრული დენის ვექტორს.

დენების ვექტორული დიაგრამის ყველა გვერდის მნიშვნელობის გაყოფით ძაბვის სიდიდეზე მივიღებთ გამტარობების სამკუთხედს (ნახ. 36), საიდანაც წრედის სრული ანუ მოჩვენებითი გამტარობა

$$y = \sqrt{g^2 + b^2},$$

სადაც

$$g = g_1 + g_2 + g_3 + g_4$$

და

$$b = b_1 + b_2 + (-b_3) + (-b_4).$$

თანაბა ძვრის კუთხე

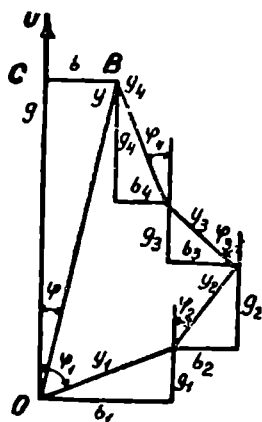
$$\varphi = \arctg \frac{b}{g}. \quad (62)$$

ნახ. 35. დენების ვექტორული დიაგრამის აგება.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მოცემულია ცვლადი დენის განშტოებული წრედი, რომელშიც პარალელურად ჩართულია სამი მიმღები: პირველი მიმღების (შტოს) აქტიური წინაღობა $r_1 = 15,2$ ომია, რეაქტიული კი ინდუქციური ხასიათისაა და უდრის $x_1 = 13$ ომს. მეორე მიმღების აქტიური წინაღობა $r_2 = 32$ ომია, რეაქტიული — ტევადურია და ტოლია $x_2 = 24$ ომის. მესამე მიმღების წინაღობა მხოლოდ ომურია: $r_3 = 20$ ომს. ამასთანავე, მოცემულია წრედის პირველი შტოს მოქმედი დენის ძალა $I_1 = 11$ საჭიროა განვსაზღვროთ წრედისა და შტოს დენის ძალები (ნახ. 37).

ამოხსნა. განვიხილოთ გათვლის ორი ხერხი: წრედის წინაღობებით და წრედის გამტარობებით.



ნახ. 36. გამტარობების სამკუთხედის აგება.

(17) I. გათვლა წინაღობებით

შტოთა სრული წინაღობები:

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2} = \sqrt{15,2^2 + 13^2} = 20 \text{ ომს;}$$

$$z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_2^2} = \sqrt{32^2 + 24^2} = 40 \text{ ომს;}$$

$$z_3 = r_3 = 20 \text{ ომს.}$$

წრედზე მოდებული ძაბვა

$$U = I_1 \cdot z_1 = 11 \cdot 20 = 220 \text{ ვ.}$$

მე-2 და მე-3 შტოთა დენები

$$I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ ა;}$$

$$I_3 = \frac{U}{z_3} = \frac{220}{20} = 11 \text{ ა.}$$

შტოთა ძვრის კუთხის ფუნქციები

$$\cos\varphi_1 = \frac{r_1}{z_1} = \frac{15,2}{20} = 0,76;$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{r_2}{z_2} = \frac{32}{40} = 0,8;$$

$$\cos\varphi_3 = \frac{r_3}{z_3} = 1.$$

შტოთა დენების აქტიური მდგენელები:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos\varphi_1 = 11 \cdot 0,76 = 8,36 \text{ ა;}$$

$$I_{a2} = I_2 \cdot \cos\varphi_2 = 5,5 \cdot 0,8 = 4,4 \text{ ა;}$$

$$I_{a3} = I_3 \cdot \cos\varphi_3 = 11 \cdot 1,0 = 11 \text{ ა.}$$

შტოთა დენების რეაქტიული მდგენელები:

$$I_{x1} = I_1 \cdot \sin\varphi_1 = 11 \cdot \frac{13}{20} = 7,15 \text{ ა;}$$

$$I_{x2} = I_2 \cdot \sin\varphi_2 = 5,5 \cdot \frac{-24}{40} =$$

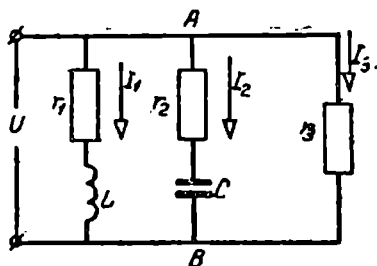
$$= -3,3 \text{ ა.}$$

წრედის განუშტოებელი ნაწილის დენის აქტიური, რეაქტიული მდგენელები და სრული მოქმედი მნიშვნელობა:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a3} = 8,36 + 4,4 + 11 = 23,76 \text{ ა;}$$

$$I_x = I_{x1} + I_{x2} = 7,35 + (-3,3) = 3,85 \text{ ა;}$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_x^2} = \sqrt{23,8^2 + 3,85^2} = 24,1 \text{ ა.}$$



ნახ. 37. მაგალითის ელექტრული სქემა.

II. გათვლა გამტარობებით

შტოთა აქტიური გამტარობები იქნება:

$$g_1 = \frac{r_1}{z_1^2} = \frac{15,2}{20^2} = 0,038 \frac{1}{\text{ომი}};$$

$$g_2 = \frac{r_2}{z_2^2} = \frac{32}{40^2} = 0,02 \frac{1}{\text{ომი}}; \quad g_3 = \frac{1}{r_3} = \frac{1}{20} = 0,05 \frac{1}{\text{ომი}}.$$

შტოთა აქტიურ გამტარობათა ეკვივალენტური სიდიდე

$$g = g_1 + g_2 + g_3 = 0,038 + 0,02 + 0,05 = 0,108 \frac{1}{\text{ომი}}.$$

შტოთა რეაქტიული გამტარობები:

$$b_1 = \frac{x_1}{z_1^2} = \frac{13}{20^2} = 0,0325 \frac{1}{\text{ომი}};$$

$$b_2 = \frac{-x_2}{z_2^2} = \frac{-24}{40^2} = -0,015 \frac{1}{\text{ომი}};$$

$$b_3 = \frac{x_3}{z_3^2} = \frac{0}{20^2} = 0.$$

შტოთა რეაქტიულ გამტარობათა ეკვივალენტური სიდიდე

$$b = b_1 + b_2 + b_3 = 0,0325 + (-0,015) + 0 = 0,0175 \frac{1}{\text{ომი}}.$$

მთელი წრედის სრული ეკვივალენტური გამტარობა

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0,108^2 + 0,0175^2} = 0,1094 \frac{1}{\text{ომი}}.$$

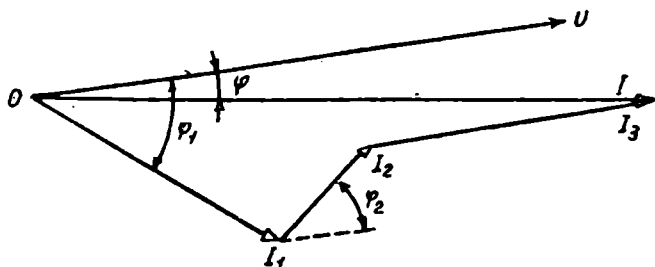
სრული დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში

$$I = \frac{U}{z} = U \cdot y = 220 \cdot 0,1094 = 24,1 \text{ ა.}$$

ვექტორული დიაგრამის ასაგებად ვირჩევთ დენის ძალის მასშტაბს ($m_I = 0,2$ ა/მმ) და ნებისმიერი მიმართულებით გადავზომავთ წრედის

- ძაბვის \overline{U} ვექტორს (ნახ. 38). ძაბვის ვექტორს $\varphi = 40^\circ 31'$ კუთხით ჩამორჩება პირველი შტოს დენის $\overline{I_1}$ ვექტორი.

ამ ვექტორის ბოლოდან გადავზომავთ მე-2 შტოს დენის $\overline{I_2}$ ვექტორს. რომელიც $\varphi_2 = 36^\circ 50'$ უსწრებს ძაბვას. ამ უკანასკნელის ბოლოდან კი ძაბვის ვექტორის პარალელურად გვატარებთ მე-3 შტოს დენის $\overline{I_3}$ ვექტორს. საწყისი O წერტილის შეერთება $\overline{I_3}$ ვექტორის ბოლოსთან მოგვცემს საძიებელი წრედის სრული დენის ძალის \overline{I} ვექტორს.



ნახ. 38. მაგალითის დენების ვექტორული დიაგრამა.

§2-ი. მოკლე დასკვნები

1. ცვლადი დენის r , x_L და x_c წინაღობების შემცველი განშტოებული წრედების საერთო დენის მოქმედი მნიშვნელობა (I), თუ მის მომჭერებზე მოქმედებს სინუსოიდური ძაბვა (U), უდრის შტოთა დენის ძალების გეომეტრიულ ჯამს, ე. ი.

$$\bar{I} = \bar{I}_a + \bar{I}_L + \bar{I}_c.$$

დენის ძალასა და ძაბვას შორის არსებულ ფაზათა ძვრის კუთხეს კი ამ შემთხვევაში განსაზღვრავს წრედის ინდუქციურ და ტევადურ წინაღობათა (ან გამტარობათა) შემცველი თანაფარდობა, ე. ი.

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| როდესაც $x_L > x_c$, | მაშინ $\varphi > 0$, |
| ან $b_L > b_c$, | $\varphi > 0$, |
| და როდესაც $x_L < x_c$, | $\varphi < 0$, |
| ან $b_L < b_c$, | $\varphi < 0$, |

2. მიმდევრობითი წრედების ანალოგიურად, განშტოებული წრედებისთვისაც ძალაში რჩება ომის კანონი (ცვლადი დენისათვის) და წრედის საერთო დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა, აქაც, გამოისახება ცნობილი ტოლობით

$$I = \frac{U}{z},$$

სადაც

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}.$$

3. ძაბვების სამკუთხედების ნაცვლად, განშტოებულ წრედებში იხილავენ დენების სამკუთხედებს. დენების სამკუთხედი ეწოდება ისეთ

მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის კათეტებს დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები წარმოადგენენ, ხოლო ჰიპოტენუზას — საერთო დენი, რომელიც გამოისახება ტოლობით

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_x^2}$$

4. განშტოებულ წრედებში, ნაცვლად წინალობებისა, განიხილება მათი შებრუნებული სიდიდეები, ანუ გამტარობები. ასეთ წრედებში მოცემულია: აქტიური (g), ინდუქციური (b_L), ტევადური (b_c) და სრული (y) გამტარობები. ამასთან დაკავშირებით, წინალობების სამკუთხედის ნაცვლად, განშტოებულ წრედებში ადგილი აქვს გამტარობების სამკუთხედს, რომლის კათეტებს აქტიური (g) და რეაქტიული (b) გამტარობები წარმოადგენენ, ხოლო ჰიპოტენუზას — სრული გამტარობა

$$y = \frac{1}{z} = \sqrt{g^2 + b^2}$$

5. ანალოგიურად მიმდევრობითი წრედების წინალობების სამკუთხედებისა, განშტოებულ წრედებში გამტარობების სამკუთხედების დახმარებით გაითვლება როგორც აქტიური და რეაქტიული გამტარობები, ისე კუთხის ფუნქციები და თვით ძვრის კუთხეც:

$$g = y \cdot \cos \varphi;$$

$$b = y \cdot \sin \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{g}.$$

6. ცვლადი დენის განშტოებულ წრედებში ბარალელურად ჩართული სრული გამტარობებით, საერთო დენის მოქმედი მნიშვნელობა შტოთა დენის ძალების გეომეტრიული ჯამის ტოლია, ე. ი.

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \dots + \bar{I}_n$$

სადაც ამ დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები გამოითვლება წრედის ძაბვისა და აქტიური და რეაქტიული გამტარობების ეკვივალენტურ სიდიდეთა ნამრავლით

$$I_a = U \cdot g,$$

$$I_x = U \cdot b.$$

7. საერთო დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა განშტოებულ წრედებში პირდაპირპროპორციულია წრედის ძაბვისა და სრული გამტარობის ნამრავლისა, ე. ი.

$$I = U \cdot \sqrt{g^2 + b^2} = U \cdot y.$$

8. აქტიური და რეაქტიული გამტარობების ეკვივალენტური სიდიდეები ასეთ წრედებში გამოითვლება შტოთა სათანადო გამტარობების აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ალგებრული ჯამით, ანუ

$$g = g_1 + g_2 + \dots + g_n$$

და

$$b = b_1 + b_2 + \dots + b_n.$$

§ 3-10. საპარაზიზო

1. ცვლადი დენის განშტოებული წრედის პირველ შტოში ჩართულია აქტიური წინაღობა $r = 31,8$ ომს, ხოლო მეორეში—ინდუქციური $x_L = 42,3$ ომს. საჭიროა ანალიზურად და გრაფიკულად განისაზღვროს წრედის განუშტოებელი ნაწილის დენის ძალა (I).

2. მოცემულია ცვლადი დენის განშტოებული წრედი, რომელზეც მოდებულია 65 ვ ძაბვა და რომელიც შედგება აქტიური და რეაქტიული წინაღობების შემცველი ორი პარალელური შტოსაგან. პირველ შტოში ჩართულია $r_1 = 8$ ომს და $x_1 = 2$ ომს, ხოლო მეორეში $r_2 = 3$ ომს და $x_2 = 10$ ომს. განსაზღვრეთ შტოთა დენის ძალები (I_1, I_2) და მათი შესაბამისი ძვრის კუთხეები φ_1 და φ_2 ძაბვებთან.

3. მოცემულია ცვლადი დენის განშტოებული წრედი, რომელიც შეიცავს ორ პარალელურ შტოს. პირველ შტოში ჩართულია აქტიური და ტევადურობის წინაღობები: $r_1 = 16$ ომს, $x_c = 12$ ომს, ხოლო მეორეში — აქტიური და ინდუქციური: $r_2 = 17,2$ ომს და $x_L = 10,2$ ომს. საჭიროა განისაზღვროს ანალიზურად და გრაფიკულად: წრედის სრული წინაღობა (Z), ძაბვა (U) და შტოთა დენის ძალები (I_1 და I_2). თუ ცნობილია, რომ საერთო დენი $I = 18,5$ ამპერს.

4. მოცემულია ცვლადი დენის განშტოებული წრედი, რომელიც შეიცავს სამ შტოს. პირველ შტოში ჩართულია ინდუქციური კოჭა, რომლის პარამეტრებია: $r_1 = 10$ ომს და $x_1 = 10$ ომს. მეორე შტოში ჩართულია წმინდა აქტიური წინაღობა $r_2 = 38$ ომს, ხოლო მესამეში — კონდენსატორების ბატარეა, რომლის წინაღობა უდრის $x_c = 38$ ომს. უნდა განისაზღვროს დენის ძალები წრედის შტოებსა და მის განუშტოებელ ნაწილში (I_1, I_2, I_3 და I).

5. წრედში პარალელურად ჩართულია ორი მიმღები, რომელთა ჯატივობებში გადის დენი: $I_1 = 5,5$ ა, $I_2 = 4$ ა, ხოლო, შესაბამისად, $\cos \varphi_1 = 0,76$, $\cos \varphi_2 = 0,89$ და $\varphi_2 < 0$. უნდა განისაზღვროს წრედის სათანადო პარამეტრები: Z, r, Z, r, x_2' და ძაბვა; უნდა აიგოს ვექტორული დიაგრამა.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

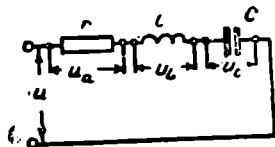
1. რას ეწოდება განშტოებული წრედები?
2. როგორ გამოისახება ანალიზურად ცვლადი დენის r , L და C პარამეტრების ჩქონე განშტოებული წრედის საერთო დენის მყისი მნიშვნელობა?
3. დაწერეთ ომის კანონის გამოსახულება ცვლადი დენის განშტოებული წრედისათვის, როდესაც მასში ინდუქციურობა ქარბობს ტევადობას.
4. რას ეწოდება დენების სამკუთხედი და როგორ გამოითვლება მისი საშუალებით დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები?
5. რას ეწოდება აქტიური და რეაქტიული გამტარობები და როგორ მიიღება ისინი?
6. რას უდრის სრული გამტარობა (y) ცვლადი დენის განშტოებულ წრედში?
7. რას უდრის ცვლადი დენის განშტოებულ წრედში საერთო დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობის ვექტორი?
8. როგორ გამოისახება განშტოებულ წრედში საერთო დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ვექტორები?
9. ჩამოაყალიბეთ სიტყვიერად და დაწერეთ გამოსახულება აქტიური და რეაქტიული გამტარობების ეკვივალენტური სიდიდეებისათვის.
10. ააგეთ ცვლადი დენის განშტოებული წრედისათვის გამტარობების სამკუთხედები, როცა წრედში პარალელურად ჩართულია 3 გამტარობა, რომელთაგან ორში ქარბობს ინდუქციური (b_L), ხოლო მესამეში — ტევადური (b_C) გამტარობა.

დავლება 8

ძაბვათა რეზონანსი. დენების რეზონანსი. რხევითი კონტურების პრაქტიკული მნიშვნელობა. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 8-11. ძაბვების რეზონანსი

ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედებში შესაძლებელია შეიქმნას ნუშაობის ისეთი რეჟიმი, როცა რეაქტიული წინაღობა (x) უტოლდება ნულს და წრედის სრული წინაღობა (z) მცირდება აქტიური წინაღობის (r) სიდიდემდე. მაშინ წრედში მოქმედი დენის ძალა ძლიერ იზრდება. ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედების ამ თვისებას ელექტროტექნიკაში ძაბვების რეზონანსის უწოდებენ (ნახ. 39). ამგვარად, წრედებში ძაბვების რეზონანსის პირობები ასე ჩაიწერება:



ნახ. 39. მიმდევრობითი წრედის ელექტრული სქემა r , L და C პარამეტრებით.

$$x = x_L - x_C = 0,$$

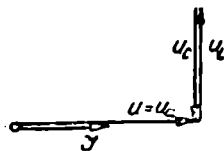
ანუ

$$x_L = x_C \text{ და } z = r.$$

მაშასადამე, $\varphi = 0$ და $\cos \varphi = 1$. ✓

ასეთ პირობებში წრედები შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც აქტიურწინაღობიანი მიმდევრობითი წრედები. მისი ძაბვების ვექტორული დიაგრამა ნაჩვენებია მე-40 ნახაზზე.

რეზონანსის პირობებიდან გამომდინარეობს, რომ მის გამომწვევ მიზეზებს შეიძლება წარმოადგენდეს: ინდუქციური — L , ტევადობის — C ან დენის სიხშირის — f სიდიდეთა ცვლადობა. დენის იმ სიხშირეს, რომლის დროსაც გარკვეული L -ისა და C -ს მნიშვნელობებისათვის მყარდება ძაბვების რეზონანსი, რეზონანსული სიხშირე ეწოდება, ხოლო მის შესაბამის კუთხური სიხშირეს — რეზონანსული კუთხური სიხშირე (ω_0).



ნახ. 40. ძაბვების ვექტორული დიაგრამა რეზონანსის დროს.

რეზონანსული კუთხური სიხშირე გამოითვლება ტოლობიდან

$$x_L = x_C$$

ან

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C},$$

საიდანაც

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (62)$$

ან

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (64)$$

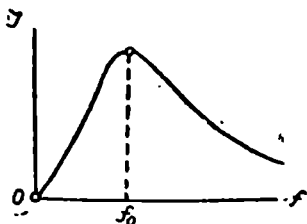
და საბოლოოდ

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (65)$$

ეს გამოსახულებები მეტად გავრცელებულია რადიოტექნიკის პრაქტიკაში, ვინაიდან მათი საშუალებით ადვილად გამოითვლება რხევითი კონტურის პარამეტრები.

როგორც ძაბვების ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 40) ჩანს, რეზონანსის პირობებში დენის ვექტორის მიმართულებას ემთხვევა ძაბვის აქტიური მდგენელი (U_a). ძაბვის ინდუქციური (U_L) და ტევადური (U_C) მდგენელებს, რომლებიც ერთმანეთის ტოლია, საწინააღმდეგო მიმართულება აქვთ და ერთმანეთს აბათილებენ. რადგან გვაქვს $z=r$, წრედის მოქმედი დენის სიდიდე, ძაბვის უცვლელობის გამო, აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას (ნახ. 41).

L -ისა და C -ის გარკვეული მნიშვნელობისათვის შესაძლებელია ძაბვების რეზონანსის დამყარება f -ის ცვალებადობით. ამ შემთხვევაში დენი მიაღწევს თავის უდიდეს მნიშვნელობას



ნახ. 41. ძაბვების რეზონანსის მრუდი.

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{r}$$

დენის ეს ზრდა წრედში იწვევს ძაბვის ძლიერ გადიდებას ინდუქციური და ტევადური წინაღობების მომქერებზე, რომელთა მნიშვნელობები ზოგჯერ ათჯერ მეტია წრედის მუშა

ძაბვაზე. ამგვარად, ძაბვების რეზონანსის დროს:

$$U_L = I \cdot x_L ;$$

$$U_C = I \cdot x_C ;$$

$$U_L = U_C,$$

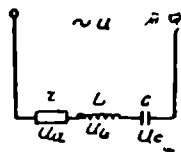
ხოლო აქტიური წინაღობის მომქერებზე მოდებული ძაბვა (U_a) წრედის ძაბვის ტოლია

$$U_a = U.$$

ზემოაღნიშნულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ძაბვების რეზონანსმა შეიძლება თავი იჩინოს ცვლადი დენის ისეთ მიმდევრობით წრედებში, სადაც ინდუქციური და ტევადური წინაღობები უტოლდებიან ერთმანეთს და მუშაობის რეჟიმი წარმოშობს ძაბვის გაზრდის შესაძლებლობას მის ცალკეულ უბნებზე.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედში, რომლის მომქერებზე მოდებულია $U = 220$ ვ, ჩართულია: აქტიური წინაღობა $r = 10$ ომს, ინდუქციური $x_L = 50$ ომს და ტევადური $x_C = 30$ ომს. საჭიროა განისაზღვროს: დენის სიხშირე, რომლის დროსაც წრედში დამყარდება ძაბვების რეზონანსი; რეზონანსული დენი და რეაქტიულ წინაღობებზე მოდებული ძაბვები (ნახ. 42).



ნახ. 42. ძაბვათა რეზონანსის მაგალითის ელექტრული სქემა.

ამოხსნა. წრედის ინდუქციურობა და ტევადობა გამოითვლება ფორმულებით:

$$L = \frac{x_L}{\omega} = \frac{50}{314} = 0,159 \text{ ჰე}$$

და

$$C = \frac{1}{\omega x_c} = \frac{1}{314 \cdot 30} = 106 \cdot 10^{-6} \text{ ფ.}$$

რეზონანსული დენის სიხშირე

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,159 \cdot 106 \cdot 10^{-6}}} = 38,7 \text{ კც,}$$

ხოლო კუთხური სიხშირე

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 38,7 = 243 \frac{1}{\text{წმ}}.$$

წრედის დენი

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (x_L - x_c)^2}}.$$

მაგრამ, ვინაიდან რეზონანსის დროს

$$x_L = x_c = 38,7 \text{ ომს,}$$

ამიტომ რეზონანსის დენი

$$I_0 = \frac{U}{r} = \frac{220}{10} = 22 \text{ ა.}$$

ძაბვა ინდუქციური წინააღობების მომქერებზე

$$U_L = I_0 \cdot x_L = I_0 \cdot \sqrt{r^2 + x_L^2} = 22 \sqrt{10^2 + 3,87^2} = 880 \text{ ვ.}$$

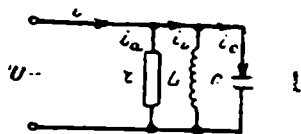
ძაბვა ტევადური წინააღობის მომქერებზე

$$U_c = I_0 \cdot x_c = 22 \cdot 38,7 = 851 \text{ ვ.}$$

§ 8-12. დენების რეზონანსი

ცვლადი დენის განსტობებულ წრედებში, მიმდევრობითი წრედების ძაბვათა რეზონანსის ანალოგიურად, შეიძლება ადგილი ექნეს დენების რეზონანსს.

დენების რეზონანსი განსტობებულ აქტიური, ინდუქციური და ტევადური გამტარობების (ან წინააღობების) შემცველ წრედებში ეწოდება მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც ერთმანეთს უტოლდებიან მისი ინდუქციური და ტევადური გამტარობები. (ნახ. 43), ე. ი.



ნახ. 43. განსტობებული წრედის ელექტრული სქემა r , L და C პარამეტრებით.

$$b_L - b_c = 0$$

$$b_L = b_c.$$

ვინაიდან $b_L = \frac{x_L}{z^2}$ და $b_c = \frac{x_c}{z^2}$, ამიტომ უფლება გვქვია რეზონანსის პირობა გამოვსახოთ შემდეგი ფარდობით:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C},$$

საიდანაც

$$1/\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

ამასთან დაკავშირებით, მიმდევრობითი წრედების ძაბვათა რეზონანსული სიხშირის ფორმულა (65) ძალაში რჩება დენების რეზონანსის შემთხვევისთვისაც. დენების რეზონანსის დროს ძალაში რჩება აგრეთვე ძაბვების რეზონანსის დროს არსებული თანხვედნა დენსა და ძაბვას შორის

$$\varphi = 0 \text{ და } \cos \varphi = 1.$$

დენი, როგორც სიხშირის ფუნქცია, ამ შემთხვევაში, ძაბვების მრუდის შებრუნებულ მახასიათებელს წარმოადგენს (ნახ. 44). მართლაც, სრული დენის ძალა

$$I = U \sqrt{g^2 + b^2}.$$

უმცირეს მნიშვნელობას დენი აღწევს მაშინ, როდესაც

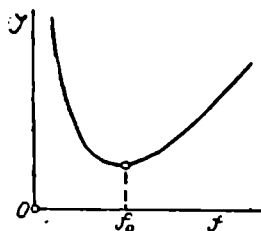
$$b = b_L - b_c = 0$$

და

$$y = g,$$

ვინაიდან ყველა დანარჩენ შემთხვევაში

$$b > 0$$



და

$$y > 0.$$

მსგავსად ძაბვების რეზონანსისა, დენების რეზონანსის გამომწვევი მიზეზებია: დენის სიხშირე (f), ინდუქციურობა (L) და ტევადობა (C). 45-ე ნახაზზე მოცემულია დენების ვექტორული დიაგრამა. რო-

ნახ. 44. დენების რეზონანსის მრუდი.

გორც დიაგრამიდან ჩანს, \bar{I}_L -ს გამოაკლდება \bar{I}_c და გვრჩება მხოლოდ \bar{I}_a , რომელიც ემთხვევა წრედის \bar{I} ვექტორს.

წრედის სრული დენი რეზონანსის შემთხვევაში შეიძლება გამოისახოს ფარდობით

$$I = I_a = g \cdot U. \quad (66)$$

რასაკვირველია. ეს არ ნიშნავს იმას, რომ ინდუქციური და ტევადური დენები (I_L და I_c) თითქოს აღარ არსებობდნენ. ცხადია, შტოებში გაივლიან შესაბამისად

$$I_L = b_L \cdot U$$

და

$$I_c = b_c \cdot U,$$

რომელთა მნიშვნელობები ერთმანეთის ტოლია

$$I_L = I_c.$$

ეს დენის ძალები წრედის სრულ დენს აღემატებიან.

წრედის რეზონანსული დენი, განუშტოებელ ნაწილში, დამოკიდებულია მის აქტიურ გამტარობაზე (g): რაც უფრო ნაკლებია აქტიური გამტარობა. მით უფრო მცირე იქნება რეზონანსული დენი. ინდუქციური და ტევადური დენები (I_L და I_c) წრედის განუშტოებელი ნაწილის რეზონანსულ დენზე არ მოქმედებენ: როდესაც

$$g = 0.$$

მაშინ

$$I = U \quad y = 0,$$

ხოლო

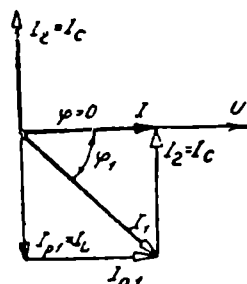
$$I_L \neq 0 \quad \text{და} \quad I_c \neq 0.$$

ეს დენები გაივლიან შტოებში. გარეშე ქსელისაგან დამოუკიდებლად, და იწვევენ წრედში რხევით პროცესს.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მოცემულია დენების რეზონანსის რეჟიმში მყოფი განუშტოებელი წრედი, რომელიც შეიცავს ორ შტოს. მისი პარამეტრებია: $r_1 = r_2 = 0,8$ ომს, $L_1 = 0,00828$ ჰნ და $C_2 = 1225$ მკფ. წრედი შეერთებულია ქსელთან. რომლის ძაბვაა 118 ვ და სიხშირე 50 ჰც. საჭიროა განისაზღვროს: წრედის განუშტოებელი ნაწილისა და შტოთა დენის ძალები და ძვრის კუთხეები φ_1 და φ_2 (ნახ. 46).

6. გ. ანანიაშვილი



ნახ. 45. დენების ვექტორული დიაგრამა რეზონანსის დროს.

ამოხსნა. ინდუქტიურობის რეაქტიული წინაღობა

$$x_L = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,00828 = 2,6 \text{ ომს,}$$

ხოლო ტევადობის რეაქტიული წინაღობა

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,225} = 2,6 \text{ ომს.}$$

პირველი შტო, აქტიური და რეაქტიული გამტარობები:

$$g_1 = \frac{r_1}{z_1^2} = \frac{r_1}{r_1^2 + x_L^2} = \frac{0,8}{0,8^2 + 2,6^2} = 0,108 \frac{1}{\text{ომი}}$$

და

$$b_1 = \frac{x_{L1}}{z_1^2} = \frac{x_{L1}}{r_1^2 + x_{L1}^2} = \frac{2,6}{0,8^2 + 2,6^2} = 0,352 \frac{1}{\text{ომი}}$$

მეორე შტოს აქტიური და რეაქტიული გამტარობები:

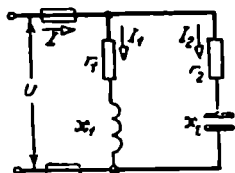
$$g_2 = \frac{r_2}{z_2^2} = \frac{r_2}{r_2^2 + x_c^2} = \frac{0,8}{5,8^2 + 2,6^2} = 0,108 \frac{1}{\text{ომი}}$$

და

$$b_2 = \frac{x_{c2}}{z_2^2} = -\frac{x_{c2}}{z_2^2} = -\frac{2,6}{5,8^2 + 2,6^2} = -0,352 \frac{1}{\text{ომი}}$$

წრედის ეკვივალენტური აქტიური და რეაქტიული გამტარობები

$$g = g_1 + g_2 = 0,108 + 0,108 = 0,216 \frac{1}{\text{ომი}}$$



და

$$b = b_1 + b_2 = 0,352 - 0,352 = 0.$$

წრედის სრული გამტარობა

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = g = 0,216 \frac{1}{\text{ომი}}.$$

ნახ. 46. დენების რეზონანსის მაგალითის ელექტრული სქემა.

პირველი შტოს დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები

$$I_{a1} = U \cdot g = 118 \cdot 0,108 = 12,7$$

და

$$I_{x1} = U \cdot b = 118 \cdot 0,352 = 41,5 \text{ ა.}$$

პირველი შტოს სრული დენი

$$I_1 = \sqrt{I_{a1}^2 + I_{x1}^2} = \sqrt{12,7^2 + 41,5^2} = 43,4 \text{ ა.}$$

პირველი შტოს დენის ძაბვასთან ძვრის (ჩამორჩენის) კუთხე

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{b_1}{g_1} = \frac{0,352}{0,108} = 3,22$$

და

$$\varphi_1 = 72^\circ 45'.$$

მეორე შტოს დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები

$$I_{a_2} = U \cdot g_2 = 118 \cdot 0,108 = 12,7 \text{ ა}$$

და

$$I_{x_2} = U \cdot b_2 = -118 \cdot 0,352 = -41,5 \text{ ა.}$$

მეორე შტოს სრული დენი

$$I_2 = \sqrt{I_{a_2}^2 + I_{x_2}^2} = \sqrt{12,7^2 + 41,5^2} = 43,4 \text{ ა.}$$

მეორე შტოს დენის ძაბვასთან ძვრის (წინ უსწრებს) კუთხე

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{b_2}{g_2} = -\frac{0,352}{0,108} = -3,22$$

და

$$\varphi_2 = -72^\circ 45'.$$

წრედის განუშტოებელი ნაწილის დენის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები

$$I_a = I_{a_1} + I_{a_2} = 12,7 + 12,7 = 25,4 \text{ ა}$$

და

$$I_x = I_{x_1} + I_{x_2} = 41,5 - 41,5 = 0.$$

წრედის განუშტოებელი ნაწილის სრული დენი

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_x^2} = 25,4 \text{ ა.}$$

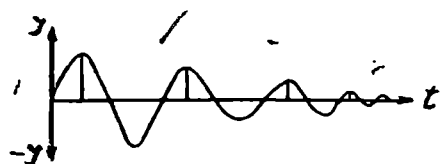
§ 3-18. რხევითი კონტურების პრაქტიკული მნიშვნელობა

როგორც ვრწმუნდებით, რეზონანსული სიხშირის ტოლობიდან

$$\omega f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

ინდუქციურობისა და ტევადობის რეგულირებით შესაძლებელია გარკვეული სიხშირის მქონე რხევითი კონტურების მიღება. ცვლადი დენის წრედის ეს თვისებები დიდ პრაქტიკულ გამოყენებას პოულობენ ელემ-

ტროტექნიკასა და განსაკუთრებით რადიოტექნიკაში. რხევითი კონტურები, რომლებიც იქმნება განშტოებულ წრედებში, დენების რეზონანსის გამო, ჩვეულებრივად, ქრობადია, ვინაიდან წრედის გამტარობა



ნახ. 47. ცვლილადი დენის წრედის ელექტრული რხევების გრაფიკი.

(g) არასდროს ნულს არ უდრის ($g > 0$) და ენერგია იკარგება სითბოს სახით. ამიტომ, თუ ასეთ რხევად წრედს გარკვეული დროის შემდეგ არ მივაწვდით გარეშე წყაროდან ენერგიას, რხევები ჩაქრებენ (ნახ. 47). დენების (I_L, I_C) რხევის

ამპლიტუდა და პერიოდი, როგორც 47-ე ნახაზიდან ჩანს, თანდათან მცირდება და ქრება. (ფარდობა, რომელიც დენების რეზონანსის პირობას წარმოადგენს, შეიძლება ასეთნაირადაც ჩაიწეროს):

$$b_L = b_C = \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (67)$$

ამ გამოსახულებას წრედის ტალღური გამტარობას უწოდებენ და აღნიშნავენ γ -თი, ე. ი.

$$\gamma = \frac{I_L}{U} = \frac{I_C}{U} \quad (68)$$

აქტიური გამტარობის შეფარდებას ტალღურთან უწოდებენ წრედის მილევას ან ქრობას (d), ე. ი.

$$\frac{g}{\gamma} = d.$$

წრედის ქრობა განშტოებულ წრედებში ტოლია აგრეთვე განუშტოებელი ნაწილის დენის ფარდობისა შტოთა რეაქტიულ დენებთან, ე. ი.

$$d = \frac{I}{I_L} = \frac{I}{I_C}.$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის ამოხსნაზე.

მაგალითი. წინა მაგალითის მოცემულობისათვის განსაზღვრეთ რას უნდა უდრიდეს ტალღური გამტარობა.

ამოხსნა. ტალღური გამტარობა, წინა მაგალითში განხილული ცვლა-

დი დენის განშტოებული წრედისათვის, სადაც ადგილი აქვს დენების რეზონანსს, თანახმად (68) გამოსახულებისა, იქნება

$$\gamma = \frac{I_L}{U} = \frac{I_c}{U} = \frac{43,4}{118} \approx 0,368 \frac{1}{\text{ომი}}.$$

§3-14. მოკლე დასკვნები

1. ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედებში შესაძლებელია შეიქმნას მუშაობის ისეთი რეჟიმი, როცა მისი რეაქტიული წინაღობა (x) უტოლდება ნულს, ხოლო სრული წინაღობა (z) ხდება აქტიური (r) წინაღობის ტოლი. ეს მოვლენა იწვევს წრედის დენის ძალის ძლიერ ზრდას და მის მიმდევრობით უბნებზე თავს იჩენენ ზედაბევი. რასაც დაბევის რეზონანსი ეწოდება. მაშასადამე, როდესაც

$$x = x_L - x_c = 0; \quad z = r; \quad I = \frac{U}{r} \quad \text{და} \quad \varphi = 0,$$

მაშინ

$$U_L = I \cdot x_L; \quad U_c = I \cdot x_c \quad \text{და} \quad U_a = U.$$

2. დაბევის რეზონანსის გამომწვევ ფაქტორებს, r , L და C -ს შემცველს მიმდევრობით წრედებში, წარმოადგენს: ინდუქციურობა (L), ტევადობა (C) და დენის სიხშირე (f). დენის იმ სიხშირეს, რომლის დროსაც მყარდება წრედში დაბევის რეზონანსი, რეზონანსული სიხშირე (f_0) ეწოდება, ხოლო მის შესაბამის კუთხურ სიხშირეს კი რეზონანსული კუთხური სიხშირე (ω_0). რეზონანსული კუთხური სიხშირე და სიხშირე ერთმანეთთან შემდეგი ფარდობითაა დაკავშირებული

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

და

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

3. დაბევის რეზონანსის დროს, ქსელის სრული წინაღობა, ფაქტიურად, მარტო აქტიური წინაღობისაგან შედგება და გენერატორიდან მიღებული ენერგია მთლიანად ქსელის აქტიურ დანაკარგებზე იხარჯება.

4. მიმდევრობითი წრედებისათვის დამახასიათებელი დაბევის რეზონანსის მოვლენის ანალოგიურად, ცვლადი დენის g , L და C პარამეტრების შემცველ განშტოებულ წრედებში მოსალოდნელია დენების რეზონანსი. ამგვარად, დენების რეზონანსი აქტიური და რეაქტიული

გამტარობების შემცველ განშტოებულ წრედებში ეწოდება მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როცა ერთმანეთს უტოლდება მისი ინდუქციური (b_L) და ტევადური (b_C) გამტარობები, ხოლო სრული გამტარობა (y) შემცირდება წრედის აქტიურ (g) გამტარობამდე, რის შედეგადაც დენის ძალა მკვეთრად იზრდება და წრედის შემადგენელ უბნებზე თავს იჩენენ ზეძაბვები, ე. ი.

$$b = b_L - b_C = 0; \quad y = g; \quad I = U \cdot g \text{ და } \varphi = 0$$

და

$$I_L = b_L \cdot U; \quad I_C = b_C \cdot U \text{ და } I_L = I_C.$$

5. დენების რეზონანსის გამომწვევი ფაქტორებია, მსგავსად ძაბვების რეზონანსისა, წრედის ინდუქციურობა (L), ტევადობა (C) და დენის სიხშირე (f). ამ შემთხვევაშიაც რეზონანსული კუთხური სიხშირე (ω_0) და სიხშირე (f_0) გამოისახებიან უკვე ცნობილი ფარდობებით

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

და

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

6. მიმდევრობითი და განშტოებული წრედებისათვის დამახასიათებელი ძაბვებისა და დენების რეზონანსის მოვლენები ფართოდ გამოიყენება ელექტროტექნიკასა და, განსაკუთრებით, რადიოტექნიკაში სხვადასხვა რხევითი კონტურების ასაგებად.

განშტოებულ წრედებში რხევითი კონტურები (დენების რეზონანსის გამო), ჩვეულებრივ, ქრობადია, ვინაიდან მათი აქტიური გამტარობა

$$g > 0 \text{ და } I_L = I_C.$$

წრედის მილევა (d), როგორც ცნობილია, აქტიური (g) და ტალღური (γ) გამტარობების თანაფარდობით გამოისახება

$$d = \frac{g}{\gamma}.$$

§ 8-15. სავარჯიშო

1. ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედში, რომლის სიხშირე $f = 50$ კც-ია, ჩართულია: აქტიური წინაღობა r , ტევადობა $C = 20$ მკფ და ცვლადი ინდუქციურობა L . განსაზღვრეთ ინდუქციურობის ის სიდიდე, რომლის დროსაც წრედში დამყარდება ძაბვათა რეზონანსი.

2. მოცემულია ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედი, რომელიც შეიცავს: აქტიურ წინაღობას $r=9$ ომს, ინდუქციურობას $L=200$ მჰს და ტევადობას $C=20$ მკფ. წრედის მომქერებზე მოქმედებს ძაბვა $U=36$ ვ. განსაზღვრეთ: სიხშირე (f_0), რომლის დროსაც დამყარდება ძაბვების რეზონანსი. წრედის დენი (I) და ძაბვები ტევადობისა და ინდუქციურობის მომქერებზე (U_C და U_L).

3. ცვლადი დენის მიმდევრობით წრედში, რომლის ძაბვა $U=120$ ვოლტს და დენის სიხშირე $f=50$ ჰც-ს, მიმდევრობით ჩართულია ინდუქციური კოქა და კონდენსატორი. რას უნდა უდრიდეს კოქის მომქერებზე ძაბვა (U_L), თუ კონდენსატორის მომქერების ძაბვა $U_C=240$ ვოლტს და წრედში ადგილი აქვს ძაბვების რეზონანსს?

4. მოცემულია ცვლადი დენის განშტოებული წრედი, რომლის ძაბვა $U=220$ ვოლტს და სიხშირე $f=50$ ჰც. ამ წრედში ჩართულია პარალელურად ინდუქციურობა (L) და ტევადობა (C). განსაზღვრეთ როგორი უნდა იყოს დენი და ტევადობა, რომ ამ წრედში დამყარდეს დენების რეზონანსი; ააგეთ დენების ვექტორული დიაგრამა და გათვალეთ საერთო დენი წრედის განუშტოებულ ნაწილში.

5. მოცემული გვაქვს ცვლადი დენის შერეული წრედი, რომელიც შეიცავს აქტიურ 10 ომ წინააღობასთან მიმდევრობით მიერთებულ ორ პარალელურ შტოს: პირველს — ინდუქციურობით 0,01 ჰს, ხოლო მეორეს — ტევადობით 0,004 ფ; წრედის მომქერების ძაბვა უდრის 120 ვოლტს. განსაზღვრეთ სიხშირე, რომლის დროსაც ამ წრედში დამყარდება დენების რეზონანსი.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას ეწოდება ძაბვების რეზონანსი და ცვლადი დენის როგორ წრედებში იჩენს რგი თავს?

2. რას ეწოდება რეზონანსული სიხშირე და კუთხური სიხშირე, როგორ გამოისახებიან ისინი ანალიზურად?

3. დაწერეთ ძაბვების რეზონანსის დროს წრედში გამავალი დენის მოქმედი მნიშვნელობის ანალიზური გამოსახულება და ააგეთ მისი შესაბამისი ძაბვების ვექტორული დიაგრამა.

4. ცვლადი დენის რომელ წრედებს ახასიათებს დენების რეზონანსის მოვლენა და რა პირობებში იჩენს რგი თავს?

5. რატომ არის, რომ დენების რეზონანსის დროს ძერის კუთხე $\varphi=0$?

6. როგორ გამოისახება დენების რეზონანსის დროს წრედის დენის მოქმედი მნიშვნელობა მოცემულ გამტარობებში?

7. დაწერეთ, როგორი თანაფარდობით გამოისახებიან დენების რეზონანსის დროს ინდუქციური და ტევადური დენები?

8. აქტიური გამტარობის რა სიდიდე განაპირობებს რხევის კონტურებს განუშტოებულ წრედში და როგორ გამოისახება იგი?

9. რას ეწოდება წრედის ტალღური გამტარობა (γ), დენისა და ძაბვის როგორი თანაფარდობით გამოისახება იგი?

10. რას ეწოდებენ წრედის მილევის (d) და როგორ გამოისახება იგი ანალიზურად?

დავალემა 8

მყისი და საშუალო სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედებში.

აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრე. სიმძლავრის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ელექტრულ ქსელებში. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 8-16. მყისი და საშუალო სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედებში

ვინაიდან ცვლადი დენის სიმძლავრე ძაბვებისა და დენის ნამრავლა წარმოადგენს, ამიტომ ისიც ცვლადი სიდიდე უნდა იყოს. ამასთან, რადგან ძაბვისა და დენის მყისი მნიშვნელობები ჩაიწერება როგორც

$$u = U_m \sin \alpha$$

და

$$i = I_m \sin(\alpha - \varphi),$$

სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა (P) გამოისახება ტოლობით

$$P = u \cdot i = U_m I_m \sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \varphi).$$

ვინაიდან

$$\sin \alpha \cdot \sin(\alpha - \varphi) = \frac{1}{2} [\cos \varphi - \cos(2\alpha - \varphi)],$$

ხოლო

$$U_m = \sqrt{2} U \quad \text{და} \quad I_m = \sqrt{2} I,$$

თუ აღნიშნულ სიდიდეებს შევიტანთ სიმძლავრის ფორმულაში, მივიღებთ

$$\boxed{P = UI \cos \varphi - UI \cos(2\alpha - \varphi).} \quad (69)$$

ამგვარად, სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა ცვლადი დენის წრედში, $UI \cos \varphi$ — მუდმივი და $UI \cos(2\alpha - \varphi)$ — ცვლადი სინუსოიდური სიდიდეების ჯამით გამოისახება. თუ ავაგებთ ასეთი სიმძლავრის მრუდს, დავრწმუნდებით, რომ მას მართლაც სინუსოიდური სახე აქვს (ნახ. 48).

სიმძლავრის ზოგადი გამოსახვისათვის, ე. ი. იმისათვის, რომ ეს ცნება ვრცელდებოდეს დენისა და ძაბვის ნებისმიერ პერიოდულ ფუნქციებზე, მიმართავენ მის საშუალო სიდიდეს, რომელსაც საშუალო სიმ-

ძღავერეს უწოდებენ. ეს სიმძლავრე წარმოადგენს წინააღმდეგობაში დახარჯულ ენერჯიას ერთი პერიოდის განმავლობაში.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ცვლადი დენის სიმძლავრე (P) მხოლოდ იმ დროის შუალედებში ღებულობს უარყოფით მნიშვნელობას, როდესაც მის მაძრავლებს (u და i) სხვადასხვა ნიშანი აქვთ. საერთოდ კი საშუალო სიმძლავრის სიდიდე განიხილება ერთი პერიოდის შუალედში და გაითვლება იმ ფართობის (S) მიმართ, რომელსაც სიმძლავრის მრუდი ჰქმნის აბსცისის ღერძთან. აქედან გამომდინარე, უფლება გვეძლევა საშუალო სიმძლავრე გამოვსახოთ შესაბამისი ფარდობით

$$P = \frac{S_p}{2\pi}.$$

ამასთან, ელემენტარული ფართობი

$$dS_p = P \cdot da.$$

სადაც da ელემენტარული სწორკუთხედის სიგანეა, ხოლო P — სიმძლავრე.

სრული ფართობის გასათვლელად O -დან 2π -ს საზღვრებში, საკმარისა ავიღოთ უკანასკნელი გამოსახულების ინტეგრალი

$$S_p = \int_0^{2\pi} P da = U_m I_m \int_0^{2\pi} \sin a \cdot \sin(a - \varphi) \cdot da$$

და სათანადოდ საშუალო სიმძლავრე იქნება

$$P = \frac{U_m I_m}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin a \cdot \sin(a - \varphi) da.$$

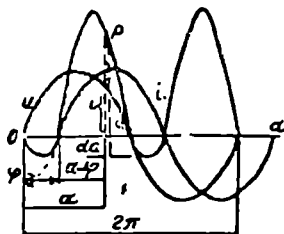
თუ გარდავქმნით ინტეგრალქვეშა გამოსახულებას, ე. ი.

$$\sin a \cdot \sin(a - \varphi) = \frac{1}{2} [\cos \varphi - \cos(2a - \varphi)],$$

მაშინ

$$P = \frac{U_m I_m}{4\pi} [\cos \varphi \int_0^{2\pi} da - \int_0^{2\pi} \cos(2a - \varphi) da].$$

ვიხილავთ მეორე ინტეგრალი ნულის ტოლია, ამიტომ სიმძლავრე ასე ჩაიწერება



ნახ. 48. ცვლადი დენის სიმძლავრის მრუდი.

$$P = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi.$$

თუ აღნიშნულ ტოლობაში შევიტანთ ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობებს, ე. ი.

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad \text{და} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$$

მივიღებთ საშუალო სიმძლავრის საბოლოო გამოსახულებას

$$\boxed{P = U \cdot I \cdot \cos \varphi.} \quad (70)$$

ამგვარად, დავასკვნით, რომ ცვლადი დენის საშუალო სიმძლავრე, რომელსაც აქტიური სიმძლავრე ეწოდება, ტოლია ძაბვის, დენისა და $\cos \varphi$ -ს ნამრავლისა.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითზე.

მაგალითი 1. ცვლადი დენის წრედში, რომლის ძაბვა $U = 250$ ვ და სიხშირე $f = 50$ ჰც. ჩართულია ელექტრომაგნიტური კოჭა ინდუქციურობით $L = 51$ მჰნ და აქტიური წინაღობით $r = 12$ ომს. განსაზღვრეთ: x_L , z , I , $\cos \varphi$ და P .

ამოხსნა. კოჭის ინდუქციური წინაღობა

$$x_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,051 = 16 \text{ ომს};$$

მოჩვენებითი წინაღობა

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} = \sqrt{12^2 + 16^2} = 20 \text{ ომს}.$$

დენის ძალა

$$I = \frac{U}{z} = \frac{250}{20} = 12,5 \text{ ა}.$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\cos \varphi = \frac{r}{z} = \frac{12}{20} = 0,6,$$

ბოლო საშუალო სიმძლავრე

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 250 \cdot 12,5 \cdot 0,6 = 1875 \text{ ვტ}.$$

§ 8-17. აპტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრე

ცვლადი დენის საშუალო ანუ აქტიური სიმძლავრე შეიძლება გამოისახოს, პრაქტიკის თვალსაზრისით, სხვა უფრო მოხერხებული ფორმითაც.

იმასთან დაკავშირებით, რომ დენის აქტიური მდგენელი

$$I_a = I \cdot \cos \varphi,$$

აქტიური სიმძლავრე ასე ჩაიწერება

$$\boxed{P = U \cdot I_a} \quad (71)$$

აქტიური სიმძლავრე შესაძლებელია აგრეთვე გამოისახოს ფარდობით

$$\boxed{P = I_a^2 \cdot r,} \quad (72)$$

რადგან

$$U = I \cdot z$$

და

$$r = z \cdot \cos \varphi.$$

აქტიური სიმძლავრე შეიძლება წარმოვიდგინოთ აქტიური გამტარობებით გამოსახული

$$\boxed{P = U^2 \cdot g,} \quad (73)$$

რადგან

$$I_a = U \cdot g.$$

გარდა აქტიური სიმძლავრისა, ცვლადი დენის ტექნიკაში არჩევენ სიმძლავრის რეაქტიულ და სრულ ფორმებს. მართლაც, თუ წრედში ჩართულია ინდუქციურობა, უნდა არსებობდეს გარკვეული ძვრის კუთხე დენსა და ძაბვას შორის, ხოლო წრედის სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi < 1$. სიმძლავრის მრუდიდან (ნახ. 48) ადვილი შესამჩნევია, რომ სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობის სინუსოიდს (P) პირველსა და მესამე მეოთხედებში უარყოფითობა ახასიათებს. პერიოდის მეორე და მეოთხე მეოთხედებში კი იგი დადებითი ხდება. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ აღნიშნული წრედი მეორე და მეოთხე მეოთხედებში ღებულობს ქსელიდან (გენერატორიდან) ენერგიას, ხოლო პირველსა და მესამე მეოთხედში (ვინაიდან P უარყოფითია) წრედი დაგროვილ ენერგიას უბრუნებს ქსელს. ქსელისა და ცვლადი დენის წრედს შორის ენერგიის ამგვარი გაცვლის მიზეზს წრედის რეაქტიული უბნის სიმძლავრე ანუ, როგორც მას უწოდებენ, რეაქტიული სიმძლავრე წარმოადგენს.

რეაქტიული სიმძლავრე, რომელსაც Q -თი აღნიშნავენ, გამოისახება შემდეგი ფარდობით

$$\boxed{Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi.} \quad (74)$$

რეაქტიული სიმძლავრე იზომება რეაქტიული ვოლტ-ამპერებით (ვ. ა. რ.) ანდა რეაქტიულ კილო-ვოლტ-ამპერებით (კვარ). რეაქტიული სიმძლავრე, მსგავსად აქტიურისა, შეიძლება წარმოვიდგინოთ სხვა ფორმითაც:

$$Q = U \cdot I_x, \quad (75)$$

$$Q = I^2 \cdot x, \quad (76)$$

$$Q = U^2 \cdot b. \quad (77)$$

ცვლადი დენის წრედები, რომლებშიც ჩართულია ელექტრული მანქანები და სხვადასხვა აპარატები, აქტიურ ენერგიასთან ერთად რეაქტიულსაც ხარჯავენ. ამასთან დაკავშირებით, ცვლადი დენის გენერატორებს უხდებათ აქტიურ ენერგიასთან ერთად გამოიმუშაონ და მიწოდონ ქსელს რეაქტიული ენერგიაც.

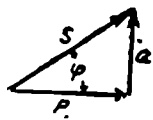
ელექტროენერგიის აქტიური მდგენელი (W_a)

$$W_a = P \cdot t = U \cdot I_a \cdot t, \quad (78)$$

ხოლო რეაქტიული (W_x)

$$W_x = Q \cdot t = U \cdot I_x \cdot t. \quad (79)$$

ცვლადი დენის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის მოყვანალი გამოსახულებები ცხადყოფენ სიმძლავრეთა სამკუთხედის არსებობას. მსგავსად ძაბვების და დენების სამკუთხედებისა, სიმძლავრეთა სამკუთხედი ეწოდება ისეთ მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის კათეტები წრედის აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებს წარმოადგენენ, ხოლო ჰიპოტენუზა სრული ანუ მოჩვენებითი სიმძლავრეა. სიმძლავრეთა სამკუთხედი მიიღება დენების სამკუთხედიდან, თუ ამ უკანასკნელის გვერდებს გავამრავლებთ ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობებზე (ნახ. 49). მოყვანილი მართკუთხა სამკუთხედიდან სიმძლავრის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები:



ნახ. 49. სიმძლავრეთა სამკუთხედი.

$$\left. \begin{aligned} P &= U \cdot I_a \\ Q &= U \cdot I_x \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

და

წრედის სრული ანუ მოჩვენებითი სიმძლავრე (S)

$$|S = U \cdot I| \quad (81)$$

სრული ანუ მოჩვენებითი სიმძლავრე მოცემული სამკუთხედიდან შეიძლება გამოისახოს პითაგორის თეორემის შესაბამისად, ე. ი.

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

და

$$|S = \sqrt{P^2 + Q^2}| \quad (82)$$

იმავე სიმძლავრეთა სამკუთხედიდან შესაძლებელია გამოითვალოს სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (83)$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითზე.

მაგალითი. მოცემულ ცვლადი დენის წრედში (ნახ. 50), რომლის დაბეა 120 ვოლტია და სისშირე 50 ჰმ, ჩართულია ინდუქციური კოქა, ინდუქციურობით 25,5 მჰნ და აქტიური წინაღობით 6 ომი. საჭიროა განვსაზღვროთ წრედის შემდეგი სიდიდეები: P, Q, S, W_a და W_x.

ამოხსნა. ინდუქციური წინაღობა

$$x_L = 2\pi f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0255 = 8 \text{ ომს;}$$

წრედის დენის ძალა

$$I = \frac{U}{z} = \frac{120}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 12 \text{ ა;}$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი

$$\cos \varphi = \frac{r}{z} = \frac{6}{10} = 0,6$$

და კოქის აქტიური სიმძლავრე

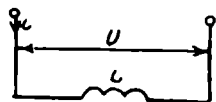
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 120 \cdot 12 \cdot 0,6 = 864 \text{ ვტ,}$$

ხოლო კოქის რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \alpha = 120 \cdot 12 \cdot 0,8 = 1152 \text{ ვა.}$$

კოქის სრული ან მოჩვენებითი სიმძლავრე

$$S = U \cdot I = 120 \cdot 12 = 1440 \text{ ვა.}$$



ნახ. 50. მაგალითის ელექტრული სქემა.

აქტიურა და რეაქტიული ენერჯიის ხარჯი $t=4$ საათში

$$W_a = P \cdot t = 864 \cdot 4 = 3456 \text{ ვტ/სთ}$$

და

$$W_x = Q \cdot t = 1152 \cdot 4 = 4608 \text{ ვა/სთ.}$$

§ 8-18. სიმძლავრის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ელექტროქსელაში

ცვლადი დენის წრედებში, სადაც უხვადაა ჩართული ისეთი მომხმარებლები, როგორცაა: ასინქრონული ძრავები, ტრანსფორმატორები, შესადღებელი აპარატები, ინდუქციური ღუმელები და სხვა, ვლებულობთ საკმაოდ დიდი ძვრის φ კუთხეებს დენებსა და ძაბვებს შორის. ასეთ წრედებში ჩართული შედარებით მცირე აქტიური დატვირთვები (განათება) ვერ სცვლიან წრედების მუშაობის რეჟიმს და ამიტომ ამ წრედების სიმძლავრის კოეფიციენტები ($\cos \varphi$) ყოველთვის 1-ზე ნაკლები რჩებიან. სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირებას წრედში მოსდევს რიგი არასასურველი შედეგები და ენერჯიის დანაკარგები. ასე, მაგალითად:

1. სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირება იწვევს წრედის დენის ძალის ზრდას

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi},$$

რასაც მოსდევს მარგი სიმძლავრის შემცირება და მოწყობილობათა გამოუყენებლობა.

2. სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირება, აქტიური სიმძლავრის შემცირების გამო, ზღუდავს წრედის გამტარუნარიანობას.

3. $\cos \varphi$ -ს შემცირებით იზრდება გენერატორების დენის ძალები, რასაც მოსდევს ენერჯიის შესამჩნევი დანაკარგები.

4. წრედის $\cos \varphi$ -ს შემცირება და მასთან დაკავშირებული დენის ძალების ზრდა იწვევს ზედმეტი ძაბვების ვარდნას ქსელებში და ენერჯიის მომარაგების ხარისხის გაუარესებას.

სიმძლავრის კოეფიციენტის აღნიშნულ თავისებურებათა დასაძლევად საჭირო ხდება რიგი ღონისძიებების გატარება. ეს ღონისძიებები ძირითადად ორი მიმართულებით ხორციელდება:

1. ელექტრული ძრავებისა და სხვა მიმღებების სიმძლავრეთა სწორი შერჩევით, მათი დატვირთვების რეჟიმების მიხედვით, რაც გამოირიცხავს მოწყობილობათა დაუტვირთაობისა და გადატვირთვის შესაძლებლობებს;

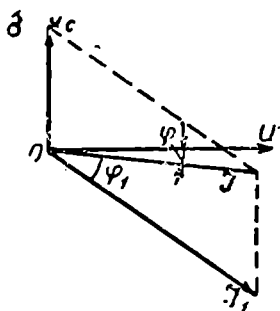
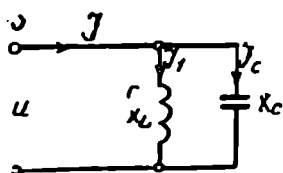
2. ცვლადი დენის ქსელებში სპეციალური საკომპენსაციო მოწყო-

ბილობების ჩართვით ღებულობენ ისეთ დენებს, რომლებიც წინ უსწრებენ ფაზით ძაბვას.

ამგვარად, პირველ შემთხვევაში სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესება ხორციელდება დანადგარების სიმძლავრის დაყვანით დადგენილ მნიშვნელობამდე, ხოლო მეორეში საწინააღმდეგო ელექტრული წრედის შექმნით ხდება დენებსა და ძაბვებს შორის ძვრის კუთხის კომპენსაცია.

კომპენსაციის ფიზიკური არსის ნათელსაყოფად განვიხილოთ ცვლადი დენის ისეთი წრედი (ნახ. 51), რომელიც შეიცავს აქტიურ წინაღობას (r), ინდუქციურ წინაღობას (x_L) და სიმძლავრის კოეფიციენტის გაზრდის მიზნით პარალელურად მიერთებული აქვს ტევადური წინაღობა (x_C). რადგან ტევადობაში გამავალი დენი (I_C) წინ უსწრებს ქსელის U ძაბვას $\frac{\pi}{2}$ კუთხით, ამიტომ ინდუქციურობით შექმნილი ძვრის

კუთხე φ_1 , I_1 -სა და U -ს შორის, მნიშვნელოვნად შემცირდება. ახალი კუთხე, φ_1 -ის ნაცვლად, მიიღებს φ მნიშვნელო-

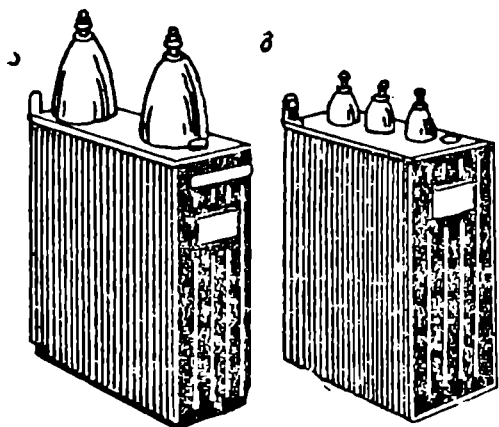


ნახ. 51. წრედის ელექტრული სქემა (ა) და ვექტორული დიაგრამა (ბ) ძვრის კუთხის კომპენსაციისათვის.

ბას, კუთხის ეს მნიშვნელობა კი უახლოვდება ნულს, რაც იმას ნიშნავს, რომ $\cos \varphi$ უნდა უახლოვდებოდეს 1-ს.

ვექტორული ქსელების სიმძლავრის კოეფიციენტის გასაუმჯობესებლად ჩვენი მრეწველობა სერიულად უშვებს ე. წ. სტატიკურ კონდენსატორებს და სინქრონულ კომპენსატორებს. 52-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ერთ-ერთი ასეთი საკომპენსაციო კონდენსატორის საერთო ხედი. ამგვარი სტატიკური კონდენსატორების ბატარეები ეწყობა ენერჯის მსხვილი მომხმარებლის მკვებავ ქვესადგურებზე. აღნიშნული კონდენსატორები დამზადებულია ქაღალდისა და ზეთის საიზოლაციო მასალისაგან. სიმძლავრის კოეფიციენტის გასაუმჯობესებელ ღონისძიებათა სტიმულაციის მიზნით, ჩვენს ქვეყანაში შე-

შოდებულია ელექტროენერჯის დიფერენციალური ტარიფი. ამ ტარიფის შესაბამისად, დახარჯული კილოვატ-საათების გადასახადი შესამჩნევად უმცირდებათ იმ მომხმარებლებს, რომლებიც $\cos\varphi$ -ის საშუალო მნიშვნელობის გადიდებას აღწევენ.



ნახ. 52. საკომპენსაციო კონდენსატორების საერთო ხედი. ა—ერთფაზიანი მაღალი ძაბვის კონდენსატორი (6600 ვ); ბ—სამფაზიანი დაბალი ძაბვის კონდენსატორი.

ხშირად სიმძლავრის კოეფიციენტის გასათვლელად მრეწველობაში სარგებლობენ აქტიური და რეაქტიული მრიცხველების ჩვენებით. ამ უკანასკნელთა ჩვენების თანაფარდობით პოულობენ ძვრის კუთხეს და საშუალო სიმძლავრის კოეფიციენტს საანგარიშო დროის შუალედ-

ში (თეეში, წელიწადში). მაშასადამე, შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\left. \begin{aligned} W_a &= \int_0^t P dt, \\ W_x &= \int_0^t Q dt, \\ \frac{W_x}{W_a} &= tg\varphi. \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითებზე.

მაგალითი 1. მოცემულია ცვლადი დენის წრედი (ნახ. 51, ა), რომელშიც ძაბვა 240 ვოლტია, მომხმარებლის სიმძლავრე—10 კვტ, ქსელის დენის სიხშირე—50 ჰც და სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi=0.6$. საჭიროა განისაზღვროს საკომპენსაციო კონდენსატორის ტევადობა, რომლის პარალელური მიერთება წრედთან გააუმჯობესებს სიმძლავრის კოეფიციენტს $\cos\varphi=0,9$ -მდე.

ამოხსნა. მიმღების დენის აქტიური მდგენელი, როდესაც $\cos\varphi_1=0.6$,

$$I_{a_1} = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi_1} = \frac{10 \cdot 000}{240 \cdot 0,6} = 69 \text{ ა.}$$

მიმღების დენის რეაქტიული მდგენელი, იმავე რეჟიმში

$$I_{x_1} = I_{a_1} \cdot \sin \varphi_1 = 69 \cdot 0,8 = 55,5 \text{ ა.}$$

კონდენსატორის მიმღებთან პარალელურად მიერთების შემდეგ, აქტიური დენი

$$I_{a_2} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_2} = \frac{10 \cdot 000}{240 \cdot 0,9} = 46,2 \text{ ა,}$$

ხოლო სათანადოდ დენის რეაქტიული მდგენელი

$$I_{x_2} = I_{a_2} \sin \varphi_2 = 46,2 \cdot 0,436 = 20,2 \text{ ა.}$$

დენი კონდენსატორში

$$I_c = I_{x_1} - I_{x_2} = 55,5 - 20,2 = 35,3 \text{ ა.}$$

საკომპენსაციო კონდენსატორის რეაქტიული წინაღობა

$$x_c = \frac{U}{I_c} = \frac{240}{35,3} = 6,8 \text{ ომს.}$$

ამ კონდენსატორის ტევადობა

$$C = \frac{1}{\omega x_c} = \frac{1}{6,8 \cdot 2\pi \cdot 50} = 0,00046 = 460 \text{ მკფ.}$$

მაგალითი 2. მოცემულია ცვლადი დენის წრედი, რომელშიაც ჩართულია აქტიური და რეაქტიული ენერგიის მრიცხველები. აქტიური ენერგიის მრიცხველის ჩვენება თვის დასაწყისსა და ბოლოში უდრიდა 1326 და 1476 კვტ-ს, ხოლო რეაქტიული მრიცხველისა, დროის იმავე შუალედში — 673 და 773 კვარ-ს. განსაზღვრეთ დანადგარის (მიმღების) სიმძლავრის კოეფიციენტი მთელი თვის მანძილზე.

ამოხსნა. აქტიური მრიცხველის ჩვენებათა სხვაობა თვის განმავლობაში

$$1476 - 1326 = 150 \text{ კვტ.}$$

რეაქტიული მრიცხველის ჩვენებათა სხვაობა თვის განმავლობაში

$$773 - 673 = 100 \text{ კვარ.}$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი საანგარიშო პერიოდში

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_x^2}} = \frac{150}{\sqrt{150^2 + 100^2}} = 0,83.$$

§ 8-10. მთავარი დაკვირვებები

1. ცვლადი დენის სიმძლავრე იცვლება დენისა და ძაბვის ცვალებადობის გამო.

სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა, ცვლადი დენის r , L და C -ს შემცველ წრედებში, $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ — მუდმივი და $UI \cos(2\alpha - \varphi)$ — ცვლადი სინუსოიდური სიდიდეების ჯამს წარმოადგენს, ე. ი.

$$P = U \cdot I \cos \varphi - UI \cos(2\alpha - \varphi).$$

თანაფარდობის პირველ მდგენელს საშუალო ანუ აქტიურ სიმძლავრეს უწოდებენ და ასე აღნიშნავენ

$$P = U \cdot I \cos \varphi.$$

2. ცვლადი დენის საშუალო სიმძლავრეს, აქტიურწინალობიან (r) წრედებში, ე. ი. როდესაც $\varphi = 0$ და დენი ფაზით ემთხვევა ძაბვას, ეწოდება აქტიური (ვატური) სიმძლავრე და გამოისახება მუდმივი დენისა-თვის დამახასიათებელი სიმძლავრის ფორმით

$$P = U \cdot I.$$

3. საშუალო ანუ აქტიური სიმძლავრე, ცვლადი დენის მრავალპარამეტრიან (სრულწინალობიან) წრედებში განისაზღვრება სიმძლავრის სხვადასხვა ფარდობების საშუალებით, კერძოდ,

$$P = U \cdot I_a ; P = I^2 \cdot r ; P = U^2 \cdot g \text{ და სხვ.}$$

4. ინდუქციის არსებობა ცვლადი დენის მრავალპარამეტრიან წრედებში ქმნის ძვრის კუთხეს დენსა და ძაბვას შორის, რომელიც ამცირებს სიმძლავრის კოეფიციენტს ($\cos \varphi$) და წრედში წარმოშობს რეაქტიულ სიმძლავრეს (Q), ე. ი.

$$\cos \varphi < 1,$$

და

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi.$$

5. მსგავსად აქტიური სიმძლავრისა, რეაქტიული სიმძლავრეც შეიძლება წარმოვიდგინოთ სხვადასხვა სახით:

$$Q = U \cdot I_x ; Q = I^2 \cdot x.$$

და

$$Q = U^2 \cdot b.$$

6. იმის გამო, რომ ცვლადი დენის ქსელებში ჩართულია სხვადასხვა სახის ელექტრული მანქანები და აპარატები, აქტიურ ენერგიასთან (W_a) ერთად ისინი ხარჯავენ რეაქტიულ ენერგიასაც (W_x), რაც გამოისახება შემდეგი თანაფარდობებით:

$$W_a = P \cdot t = U \cdot I_a \cdot t;$$

$$W_x = Q \cdot t = U \cdot I_x \cdot t.$$

7. ძაბვებისა და დენების სამკუთხედების ცნებათა არსებობამ ელექტროტექნიკაში განაპირობა აგრეთვე სიმძლავრეთა სამკუთხედების ცნება.

სიმძლავრის სამკუთხედი ეწოდება ისეთ მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის კათეტებს წრედის აქტიური (P) და რეაქტიული (Q) სიმძლავრეები წარმოადგენენ, ხოლო ჰიპოტენუზა გამოსახავს სრულს ანუ ე. წ. მოჩვენებით სიმძლავრეს (S).

სიმძლავრეთა სამკუთხედების საშუალებით შესაძლებელია როგორც წრედის სრული სიმძლავრის განსაზღვრა, ისე მისი აქტიური, რეაქტიული სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის გამოთვლა, ე. ი.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

სადაც

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

და

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

8. ცვლადი დენის ქსელში ჩართული ინდუქციური კოჭები, აპარატები და სხვა მოწყობილობები წარმოშობენ შესაბამის ძვრის კუთხეს დენსა და ძაბვას შორის, რაც იწვევს სიმძლავრის კოეფიციენტის შემცირებას ($\cos \varphi < 1$) და ენერგიის დანაკარგების ზრდას ქსელში. სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესების მიზნით ქსელში ტარდება მთელი რიგი ღონისძიებები. სიმძლავრის კოეფიციენტი გამოითვლება სიმძლავრის ცნობილი ფარდობიდან

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}.$$

§ 8-20. სავარჯიშო

1. r , L და C -პარამეტრებიან მიმდევრობით წრედში სრული წინაღობა $Z=55$ ომს. აქტიური წინაღობები: $r_1=7$ ომს და $r_2=18$ ომს, ხოლო რეაქტიული $x_L=24$ ომს და $x_C=73$ ომს. განსაზღვრეთ, რას უნდა უდრიდეს წრედის სიმძლავრის კოეფიციენტი და საშუალო ანუ აქტიური სიმძლავრე, თუ დენის ძალა $I=4$ ა.

2. კოჭა, რომლის აქტიური წინაღობა 4 ომია და ინდუქციური კი 9 ომი, მიერთებულია ცვლადი დენის ქსელთან, რომლის ძაბვა $U=120$ ვოლტია. გამოარკვეეთ, რას უნდა უდრიდეს დენის ძალა და აქტიური სიმძლავრე წრედში?

3. ცვლადი დენის წრედში, რომლის სიხშირე 50 ჰც-ია, და გადის დენი $I=5$ ამპერს, მიმდევრობით ჩართულია: $r_1=10$ ომს, $r_2=20$ ომს, $r=30$ ომს, $C_1=100$ მკფ, $C_2=200$ მკფ და $L_1=100$ მჰნ. განსაზღვრეთ საერთო ძაბვა და მიმღებთა აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები.

4 ერთ-ერთ წარმოებაში ელექტროძრავების საკვებად ქსელიდან იღებენ აქტიურ სიმძლავრეს $P_1=100$ კვტ, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი შეადგენს $\cos \varphi_1=0,7$. როგორი იქნება ამ წარმოების სიმძლავრის კოეფიციენტი, თუ აღნიშნულ დატვირთვას პარალელურად მიუერთებთ განათებას (ელნათურებს), სიმძლავრით $P=20$ კვტ?

5. მოცემულია ცვლადი დენის წრედი, რომლის ძაბვა $U=500$ ვოლტია, სიხშირე კი $f=50$ ჰც. მასში ჩართულია ცვლადი დენის ძრავა, რომლის აქტიური სიმძლავრე $P=120$ კვტ-ს, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi=0,7$ -ს. განსაზღვრეთ რა ტევადობის (C_{Φ}) კონდენსატორები უნდა მიუერთდეს პარალელურად ამ ძრავას ფაზებს, რომ მისი სიმძლავრის კოეფიციენტი გახდეს ტოლი $\cos \varphi=0,85$?

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. ააგეთ ცვლადი დენის სიმძლავრის გრაფიკი და დაწერეთ წრედის სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობის ანალიზური გამოსახულება.
2. რას ეწოდება ცვლადი დენის საშუალო ანუ აქტიური სიმძლავრე და როგორ გამოისახება იგი ანალიზურად?
3. გაიხსენეთ რომელი გამოსახულებებით გაითვლება ცვლადი დენის წრედის აქტიური სიმძლავრე.
4. რას ეწოდება ცვლადი დენის რეაქტიული სიმძლავრე და როგორ გამოისახება იგი ანალიზურად?
5. რას ეწოდება სიმძლავრეთა სამკუთხედი და როგორ გამოითვლება მისი საშუალებით წრედის სრულ ანუ მოჩვენებითი სიმძლავრე? ააგეთ სიმძლავრის სამკუთხედი.
6. რას ეწოდება სიმძლავრის კოეფიციენტი და რა თვისებები ახასიათებს მას?
7. რას უდრის სიმძლავრის კოეფიციენტი წრედისათვის, რომლის დატვირთვასაც ეწინააღმდეგება წარმოადგენს?
8. როგორი გზით განახორციელებენ სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესებას?
9. ვექტორული დიაგრამით დაასაბუთეთ სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესების საკომპენსაციო ხერხი.

დავალება 10

§ 2-21. ლაბორატორიული სამუშაო № 3

ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედების შესწავლა

სამუშაოს მიზანი

1. პრაქტიკულად ცვლადი დენის ისეთი წრედების გაცნობა, რომლებშიც მიმდევრობით ჩართულია აქტიური წინაღობა, ინდუქციური და ტევადობა.

2. ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედების სქემების განხორციელების შესწავლა.

3. ძაბვების ვექტორული დიაგრამებისა და წინაღობათა სამკუთხედების აგების ჩვენების გამომუშავება.

სამუშაოს გეგმა

1. ლაბორატორიული სამუშაოს დაწყების წინ გაიმეორეთ შესაბამისი თეორიული მასალა, მოცემული მე-6 დავალებაში.

2. სამუშაო ადგილზე გაეცანით ცდისათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებს; სათანადო ჩანაწერები შეიტანეთ რვეულში.

3. წინასწარ განსაზღვრეთ (მიახლოებით) ძაბვების რეზონანსული რეჟიმის დენის სიდიდე და ამის მიხედვით შეარჩიეთ წრედის ამპერმეტრი.

4. აკრიფეთ სამუშაოს ელექტრული სქემა და მასწავლებლის შემოწმების შემდეგ ჩართეთ იგი ქსელში.

5. გაზომეთ წრედის დენის ძალა K_1 და K_2 დენმკვეთების სხვადასხვა მდგომარეობისათვის და ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში.

6. მიღებული ანათვლების საფუძველზე განსაზღვრეთ: r , Z , X_L , X_C , U_a , U_x , $\cos \varphi$ და P სიდიდეები. შედეგები შეადარეთ.

7. წრედის ინდუქტიურობის ან ტევადობის ცვალებადობით დაამყარეთ ძაბვების რეზონანსის რეჟიმი.

8. გაზომეთ წრედის დენის ძალა და ძაბვები მის ცალკეულ უბნებზე, რეზონანსის დამყარების შემდეგ ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში.

9. მიღებული მონაცემების შესაბამისად ააგეთ ძაბვების ვექტორული დიაგრამები და წინაღობათა სამკუთხედები.

10. შესრულებულ სამუშაოზე მიღებული წესით შეადგინეთ ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

ლაბორატორიული სამუშაო ხორციელდება 53-ე ნახაზზე მოცემული ელექტრული სქემის შესაბამისად.

მთავარი დენმკვეთის (K) ჩართვის შედეგად წრედში გაივლის ცვლადი დენი, რომელიც გამოიწვევს r , L და C -ს მომჭკრებზე ძაბვებისა და ამ ძაბვებსა და დენს შორის წარმოშობილი ძვრის კუთხეების შეცვლას. აღნიშნულ სიდიდეთა დადგენის მიზნით განვიხილავთ წრედის მუშაობის შემდეგ ოთხ რეჟიმს:

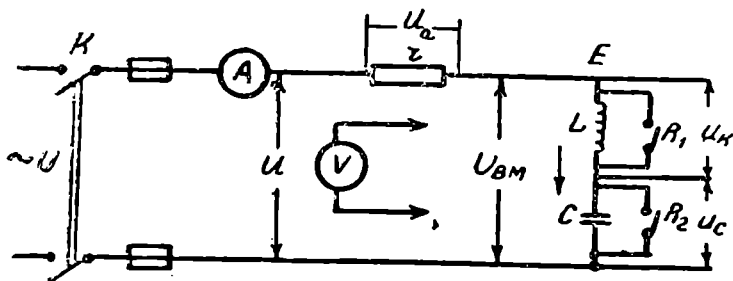
1) წრედი შეიცავს r და L -ს;

2) წრედი შეიცავს r და C -ს;

3) წრედი შეიცავს r , L და C -ს;

4) წრედის რეაქტიული წინაღობა $x=0$.

პირველ შემთხვევაში K_2 დენმკვეთის ჩართვის წრედიდან ვთიშავთ ტრეადობას და ავითვლით ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებებს



ნახ. 53. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

(U_1 , U_a , U_L). მიღებულ ჩვენებათა საფუძველზე გამოვთვლით და ვალებით დადგენილ სიდიდეებს:

$$r = \frac{U}{I}; \quad z_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad x_L = \sqrt{z_1^2 - r^2}; \quad U_a = I \cdot r;$$

$$U_L = I \cdot x_L; \quad \cos \varphi_1 = \frac{r}{z_1}; \quad P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1.$$

ხელსაწყოთა ჩვენებები და გათვლების შედეგები შეგვაქვს მოყვანილ ცხრილში. (ცხრ. 4), სადაც U_{a1} აქტიური წინაღობის მომქერებზე მოდებული ძაბვაა, U_{L1} —ძაბვა ინდუქციურობის მომქერებზე, ხოლო P_1 — წრედის აქტიური სიმძლავრე. I და U , შესაბამისად, არის წრედის დენის ძალა და ძაბვა რეზონანსის დროს.

ცხრილი 4

დაკვირვებათა რივი	ხელსაწყოთა ჩვენებები						გათვლის შედეგები					შენიშვნები
	I	I_1	U	U_1	U_{a1}	U_{L1}	r	z_1	x_L	$\cos \varphi_1$	P_1	
	ა	ა	ვ	ვ	ვ	ვ	ომი	ომი	ომი	—	ვა	

მეორე შემთხვევაში K_1 დენმკვეთის ჩართვით ვთიშავთ წრედიდან ინდუქციურობას, ხოლო K_2 დენმკვეთის ამორთვით წრედში შეგვყავს

ტევადობა. ამის შემდეგ ავითვლით ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებებს, მიღებული ანათვლების საფუძველზე ვიპოვიტ:

$$z_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad x_c = \sqrt{z_2^2 - r_2^2};$$

$$C = \frac{1 \cdot 10^6}{2\pi f \cdot x_c}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{r_2}{z_2}; \quad P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2.$$

შედეგები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრ. 5). აქ U_c ტევადობის მომჭერებზე მოდებული ძაბვაა.

ც ხ რ ი ლ ი 5

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყობა ჩვენებები				ჯათვლის შედეგები					შენიშვნები	
	I_2	U_2	U_{c1}	U_{c2}	z_2	x_c	c	$\cos \varphi_2$	P_2		
	ა	ბ	გ	დ	ომი	ომი	მკვ	—	ვტ		

მესამე შემთხვევაში K_1 და K_2 დენმკვეთების ამორთვით წრედში შეგვყავს როგორც ინდუქციურობა, ისე ტევადობა. მუშაობის ამ რეჟიმისათვისაც ავითვლით ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებებს. საზომ ხელსაწყობა ჩვენებების საფუძველზე კი გამოვიტვლით:

$$x = x_L - x_c; \quad (\text{თუ } x_L > x_c);$$

$$x = x_c - x_L; \quad (\text{თუ } x_c > x_L);$$

$$z_3 = \sqrt{r_3^2 + x^2}; \quad \cos \varphi_3 = \frac{r_3}{z_3} \quad \text{და} \quad P_3 = U_3 \cdot I_3 \cdot \cos \varphi_3$$

შედეგები შეგვაქვს ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი 6

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყობა ჩვენებები					ჯათვლის შედეგები					შენიშვნები	
	I_3	U_{a3}	U_{L3}	U_{ab}	U_3	r_3	x	z_3	$\cos \varphi_3$	P_3		
	ა	ბ	გ	დ	ე	ომი	ომი	ომი	—	ვტ		

მეოთხე შემთხვევა ითვალისწინებს მოცემული წრედის მუშაობას დაბევის რეზონანსის რეჟიმში. წრედის დაბევის რეზონანსი ხორციელდება K_1 და K_2 დენმკვეთების ამორთვით და ინდუქციურობის ან ტევადობის სიდიდეთა ცვლით, სანამ არ დამყარდება ტოლობა $x_L = x_C$. რეზონანსის დამყარების შემდეგ ავითვლით ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებებს და მათ საფუძველზე, წინა მაგალითის ანალოგიურად, ვიპოვი:

$$x = x_L - x_C, \quad x_L = x_C; \quad z = r;$$

$$\cos \varphi = \frac{r}{z} = 1; \quad P = U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

ცხრილი 7

დაკვარებათა რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენებები						გამოსათვლელი სიდიდეები					შენიშვნები
	I	U	U_a	U_L	U_C	U_{EM}	r	x	z	$\cos \varphi$	P	
	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ	ომი	ომი	ომი	—	ვტ	

შედეგები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრ. 7).

მიმდევრობითი წრედის მუშაობის მესამე რეჟიმისათვის, შერჩეულ მასშტაბში, ვაგებთ დაბევისა და წინალობების სამკუთხედებს.

საკონტროლო კითხვები

1. შეადარეთ დენის ძალა I_1 რეზონანსის დენს I -ს და განმარტეთ რატომ არის $I > I_1$?
2. შეადარეთ ურთიერთს დაბევი U_L , U_C U_{EM} და განმარტეთ რატომ არის $U_{EM} < U_L$ და $U_{EM} < U_C$?
3. რით აიხსნება უტოლობა $\cos \varphi_{რეზ} > \cos \varphi_1$?
4. შეადარეთ აქტიური დაბევა U_a წრედის U დაბევს და განმარტეთ რატომ არიან რეზონანსის დროს ეს დაბევი თითქმის თანატოლები?
5. რატომ არის დაბევის რეზონანსის დროს დაბევა $U_{EM} \approx 0$?
6. შეადარეთ წრედის აქტიური წინალობა r მის სრულ წინალობას z რეზონანსის დროს და განმარტეთ რით აიხსნება: $z \approx r$?
7. რატომ არის წრედში დაბევის რეზონანსის დროს $\cos \varphi = 1$?
8. შეიძლება თუ არა ინდუქციური დატვირთვით გამოწვეული ძვრის კუთხის კომპენსაცია ტევადური დატვირთვის მიმდევრობითი მიერთებით?

დავალეზა 11

ფა-22. ლაბორატორიული სამუშაო

ცვლადი დენის განზომილული (პარალელური) წრედის შესწავლა

სამუშაოს მიზანი

1. პრაქტიკულად გაეცანით ცვლადი დენის განზომილულ წრედებს, რომლებშიც პარალელურად ჩართულია აქტიური წინაღობა, ინდუქციურობა და ტევადობა.
2. ცვლადი დენის განზომილული წრედების ელექტრული სქემების განხორციელების ჩვევების შეძენა.
3. დენების ვექტორული დიაგრამებისა და გამტარობების სამკუთხედების აგების ჩვევების გამომუშავება.

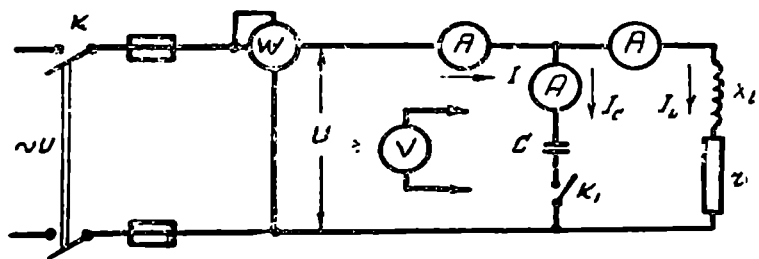
სამუშაოს გეგმა

1. აღნიშნული ლაბორატორიული სამუშაოს დაწყების წინ საჭიროა შესაბამისი თეორიული მასალის გამეორება, რაც მოცემულია მე-7 დავალეზაში.
2. გაეცანით სამუშაოსათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებს. ჩაიწერეთ მათი მახასიათებლები.
3. განახორციელეთ (აკრიფეთ) სამუშაოს ელექტრული სქემა.
4. გაზომეთ დენის ძალა, ძაბვა და სიმძლავრე K_1 დენმკვეთის ჩართულ და ამორთულ მდგომარეობაში.
5. საზომი ხელსაწყოების ანათვლების საფუძველზე გააკეთეთ გათვლები.
6. წრედის ინდუქციურობისა და ტევადობის ცვლით დაამყარეთ დენების რეზონანსი.
7. დენების რეზონანსის დამყარების შემდეგ ათვალეთ ამპერმეტრის, ვატმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებები. მონაცემები შეიტანიეთ ცხრილში.
8. დენების რეზონანსული რეჟიმის ანათვლების საფუძველზე გათვალეთ წრედის დამახასიათებელი სიდიდეები.
9. მიღებული მონაცემების შესაბამისად ააგეთ ცვლადი დენის განზომილული წრედის რეზონანსული რეჟიმის დენების ვექტორული დიაგრამა, სიმძლავრისა და გამტარობების სამკუთხედები.
10. შესრულებულ სამუშაოზე შეადგინეთ ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

ლაბორატორიული სამუშაო ხორციელდება 54-ე ნახაზზე მოცემული ელექტრული სქემის შესაბამისად.

მთავარი K დენმკვეთის ჩართვის შემდეგ წრედში გაივლის ცვლადი დენი, რომელიც გამოიწვევს შტოთა დენის ძალების ცვლილებას, დენ-



ნახ. 54. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

სა და ძაბვებს შორის არსებული ძერის კუთხის შეცვლას. ამ ცვლილებების დადგენის მიზნით ვატარებთ დაკვირვებებს წრედის მუშაობის სამი რეჟიმისათვის:

- 1) წრედი შეიცავს: r და x_L -ს;
- 2) წრედი შეიცავს: r , x_L და x_C -ს;
- 3) წრედში ადგილი აქვს დენების რეზონანსს, ე. ი. $x_L = x_C$.

პირველ შემთხვევაში K_1 დენმკვეთის ამორთვით წრედიდან გამოირთიება ტევადობა. ამ მდგომარეობაში აითვლება ამპერმეტრების, ვოლტმეტრებისა და ვატმეტრის ჩვენებები, ხოლო ანათვლები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრ. 8).

ც ხ რ ი ლ ი 8

დაკვირვების რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენებები							ვამოსათვლელი სიდიდეები							შენიშვნები
	$\frac{U}{3}$	U_1	I	I_1	I_{L1}	I_{C1}	P_1	$\frac{P_{11}}{36}$	I_{11}	I_{x1}	r	x_1	z_1	$\cos \varphi_1$	

აღნიშნულ ჩვენებათა საფუძველზე, ვსარგებლობთ რა წინაღობებისა და დენების სამკუთხედებით, გამოვთვლით და იმავე ცხრილში შევიტანთ შემდეგ სიდიდეებს:

$$r = \frac{U}{I}; \quad z_1 = \frac{U_1}{I_1}; \quad \cos \varphi_1 = \frac{r}{z_1};$$

$$I_{a_1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1; \quad I_{x_1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1; \quad P_{a_1} = U \cdot I \cdot \cos \varphi_1,$$

სადაც I_c ტევადობის შემცველი შტოს დენია, ხოლო I_L — ინდუქციური შტოს დენი. U და I ძაბვისა და დენის რეზონანსის მაჩვენებლებია.

მეორე შემთხვევისათვის K_1 -ის საშუალებით წრედში ჩაირთვება ტევადობა და ამ მდგომარეობაში აითვლება საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებები. დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე, პირველი შემთხვევის მსგავსად, გაითვლება იგივე სიდიდეები, ხოლო შედეგები ჩაიწერება მე-8 ცხრილში.

მესამე შემთხვევაში პარალელურად ჩართული ტევადობისა და ინდუქციურობის წრედში მყარდება დენების რეზონანსი. რეზონანსს ვამყარებთ ინდუქციურობისა და ტევადობის ცვლილებით, ვიდრე არ დაკმაყოფილდება პირობა $x_L = x_c$. ამასთანავე, წრედის წინალობა მინიმალური გახდება.

ამის შემდეგ საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებები და მათ საფუძველზე გამოთვლილი სიდიდეები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრ. 9).

განშტოებული წრედების მეორე შემთხვევისათვის (სქემისათვის) ვაგებთ დენების, წინალობებისა და სიმძლავრეების სამკუთხედებს.

ც ხ რ ი ლ შ ი 9

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენებები					გამოსათვლელი სიდიდეები					შენიშვნები
	U	I	I_L	I_c	P	P_u	I_u	I_x	z	$\cos \varphi$	
	ვ	ა	ა	ა	ვტ	ვტ	ა	ა	ომი	—	

იმ შემთხვევაში, თუ ამ ლაბორატორიული სამუშაოს (ცვლადი დენის განშტოებული წრედების შესწავლა) საწყისი მონაცემები წარმოდგენილია გამტარობების (g, b_L, b_c) სახით, მაშინ გათვლები ემყარება იმავე საზომ ხელსაწყოთა ანაოვლებს, მხოლოდ წინალობათა ნაცვლად იყენებთ გამტარობებს და მათ სამკუთხედებს:

$$y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_c)^2}; \quad \cos \varphi = \frac{g}{y};$$

$$I = U \cdot y; \quad I_L = I_c \quad \text{და} \quad P_L = P - U^2 \cdot g.$$

ხელსაწყოთა ჩვენებებს და გათვლების შედეგებს შევიტანთ შესაბამის ცხრილში (ცხრ. 10).

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენებები					გაოსათვლელი სიდიდეები						შენიშვნები
	U	I	I_L	I_c	P	Q	$\cos \varphi$	y	g	b_L	b_c	
	ვ	ა	ა	ა	ვტ	ვა	—	ომი	ომი	ომი	ომი	

ამის შემდეგ ერთ-ერთი დამახასიათებელი შემთხვევისათვის, წისა მაგალითების მსგავსად, ავაგებთ დენების ვექტორულ დიაგრამას, სიმძლავრეებისა და გამტარობების სამკუთხედებს.

საკონტროლო კითხვები

- ერთმანეთს შეადარეთ განუშტოებელი უბნების დენები ჩართული და აკრთული ტევადობის დროს და განმარტეთ: რატომ მცირდება ეს დენი ტევადობის ჩართვით, ხოლო I_L რჩება უცვლელი?
- გათვალეთ რეაქტიული დენების სხვაობა პირველ ორ შემთხვევაში და შეადარეთ ისინი ტევადური შტოს დენს — I_c -ს. განმარტეთ რატომ არიან ეს დენები ტოლები?
- რომ აიხსნება, რომ ტევადობის ჩართვის შემდეგ ვატმეტრის ჩვენება არ იცვლება?
- შეადარეთ ტევადობის დენი I_c , დენების რეზონანსის დროს, I_L ინდუქცირობის დენს და განმარტეთ რატომ არის ინდუქციურობის დენი ტევადობის დენზე მეტი?
- შიძლება თუ არა ძვრის კუთხის კომპენსირება წრეზე ტევადური დატვირთვის პარალელურად მიერთების საშუალებით?
- რატომ არის დენების რეზონანსის დროს $\cos \varphi = 1$?

თ ა ვ ი

სამფაზიანი ცვლადი დენი

ამ თავში განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიაქციოთ ცვლადი დენის სამფაზიანი სისტემის აგების საკითხს და იმ უპირატესობებს, რომლებსაც იძლევა იგი ერთფაზიან სისტემასთან შედარებით.

გულდასმით განიხილეთ სამფაზიანი სისტემის ფაზური და ხაზური მახასიათებლები ფაზათა გრავნილების ვარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთების დროს.

ვინაიდან ელექტროტექნიკაში სიმძლავრეს უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება, ამიტომ საჭიროა სამფაზიანი სისტემის სიმძლავრის, მისი აქტიური და რეაქტიული მდგენელებისა და სრული სიმძლავრის გამოსახულებათა ღრმა გააზრება.

მოცემული თავის შემადგენელი ნაწილია მბრუნავი მაგნიტური ნაკადის ცნება. განხილვის დროს კარგად უნდა გაერკვეთ მბრუნავი მაგნიტური ველის გამომწვევ ფაქტორებში, დენის ფაზური ძვრის კუთხეების და გრაგნილთა განლაგების საკითხში. ამასთანავე, ყურადღება უნდა მიაქციოთ მბრუნავი მაგნიტური ნაკადის პრაქტიკული გამოყენების მდიდარ შესაძლებლობებს.

მასალის კარგი ათვისებისა და ცოდნის განმტკიცების მიზნით საჭიროა ამოხსნათ ამ თავის მე-12 და მე-13 დავალებების ბოლოს მოცემული სავარჯიშოები.

განვლილი მასალის ათვისების ხარისხი შეამოწმეთ საკონტროლო კითხვებით.

დავალება 12

მრავალფაზიანი ცვლადი დენის მიღება. სამფაზიანი დენის სისტემა. სამფაზიანი სისტემის „ვარსკვლავად“ შეერთება. სამფაზიანი სისტემის „სამკუთხედად“ შეერთება. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 4-1. მრავალფაზიანი ცვლადი დენის მიღება

ცვლადი დენის ერთფაზიანი სისტემები, რიგ უპირატესობათა გამო, შეცვალა სამფაზიანი სისტემის ქსელებმა, რომლებიც მრავალფაზიანი სისტემების ერთ-ერთ სახესხვაობას წარმოადგენენ. რას ეწოდება ცვლადი დენის მრავალფაზიანი სისტემა?

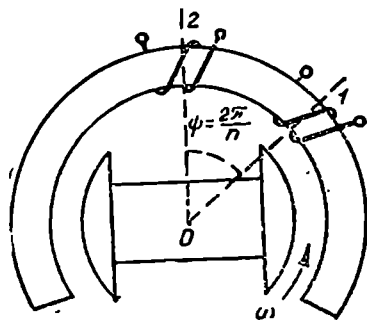
ცვლადი დენის მრავალფაზიანი სისტემა ეწოდება წრედების ისეთ ერთობლიობას, რომელშიც ენერჯიის წყაროთა ელექტრომამოძრავებელ ძალებს ერთნაირი სიხშირე აქვთ და გადახრილი არიან ერთმანეთის მიმართ ტოლი ძვრის კუთხით. სათანადოდ, მრავალფაზიანი წრედების ე. მ. ძალების, ძაბვებისა და დენების ერთობლიობას მრავალფაზიანი სისტემები ეწოდება, ხოლო მის შემადგენელ ნაწილებს — ფაზები.

მრავალფაზიანი სისტემების მიღება შეიძლება ისეთ გენერატორებში, რომელთა სტატორები შეიცავენ n რაოდენობას, ურთიერთ $\frac{2\pi}{n}$ კუთხით გადახრილ, ერთგვაროვან გრაგნილებს (ნახ. 55). ასეთი მან-

ქანების ხვეულებში აღძრული ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობები ჩაიწერება შესაბამისად:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_m \cdot \sin \omega t; \\ e_2 &= E_m \cdot \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{n} \right); \\ e_3 &= E_m \cdot \sin \left(\omega t - 2 \frac{2\pi}{n} \right); \\ &\vdots \\ e_n &= E_m \cdot \sin \left[\omega t - (n-1) \frac{2\pi}{n} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (85)$$

ე. მ. ძალების ვექტორული დიაგრამები ასეთი სისტემებისათვის სიმეტრიულია და გამოისახება ტოლი რადიუს-ვექტორიანი „ვარსკვლავით“ ან შეკრული მრავალკუთხედით (ნახ. 55).



ნახ. 55. მრავალფაზიანი სისტემის მიღება.

როგორც 55-ე ნახაზის ვექტორული დიაგრამებიდან ჩანს, მრავალფაზიანი სიმეტრიული სისტემის ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობების ჯამი ყოველთვის ნულის ტოლია, ე. ი.

$$\boxed{e_1 + e_2 + \dots + e_n \sum_{i=1}^n e_i = 0} \quad (86)$$

მრავალფაზიან სისტემას სიმეტრიული ეწოდება, თუ ამ სისტემის ფაზებს ტოლი ელექტრული მახასიათებლები და ძვრის კუთხეები აქვთ.

მრავალფაზიანი სისტემის სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში ფაზათა დენების მყისი მნიშვნელობები ტოლია და გამოისახება (85)-ის მსგავსად:

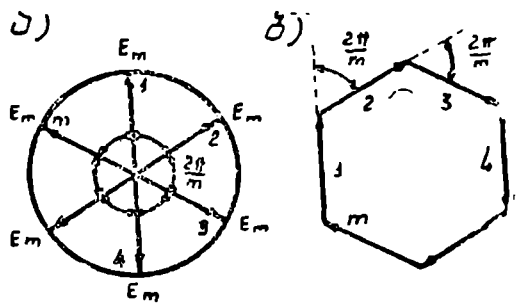
$$\begin{aligned}
 i_1 &= I_m \sin(\omega t - \varphi); \\
 i_2 &= I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{n} - \varphi\right); \\
 &\vdots \\
 i_n &= I_m \sin\left[\omega t - (n-1)\frac{2\pi}{n} - \varphi\right].
 \end{aligned}
 \tag{87}$$

ცხადია, დენის მყისი მნიშვნელობების ჯამი, ნებისმიერი დროის შუალედში

$$\boxed{i_1 + i_2 + \dots + i_n = 0.}
 \tag{88}$$

მრავალფაზიანი წრედები, ფაზათა რაოდენობის მიხედვით, შეიძლება შესრულდეს ერთფაზიანი, ორფაზიანი, სამფაზიანი და მეტი ფაზის შემცველი სისტემების სახით. მეტი პრაქტიკული გამოყენება პპოვეს ერთფაზიანმა და სამფაზიანმა სისტემებმა.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითზე.



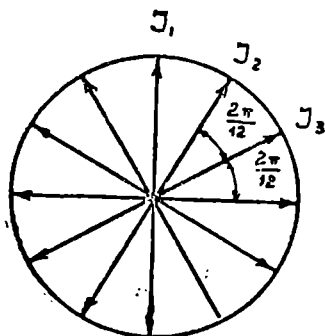
ნახ. 56. მრავალფაზიანი სისტემის ე. მ. ძალის ვექტორული დიაგრამები: ა—ვარსკვლავად შეერთება; ბ—სამკუთხედად შეერთება.

მაგალითი. რას უნდა უდრიდეს სტატორის ერთგვაროვანი გრაგნილების რაოდენობა და მათ შორის ძვრის კუთხე, ცვლადი დენის 12-ფაზა სისტემის გენერატორში? აავეთ დენების ვექტორული დიაგრამა „ვარსკვლავად“ შეერთებისათვის. დაწერეთ მე-5 ფაზის ე. მ. ძალის და დენის მყისი მნიშვნელობის გამოსახულებები.

ამოხსნა

სტატორის გრაგნილთა რაოდენობა
 $n = 12.$

გადახრის კუთხე გრაგნილოა შორის



ნახ. 57. შავალითის ვექტორული დიაგრამა.

$$\alpha = \frac{2\pi}{n} = \frac{2 \cdot 180}{12} = 30^\circ.$$

სტატორის გრაგნილის მე-5 ფაზის ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობა

$$e_5 = E_m \sin \left[\omega t - (n-1) \frac{2\pi}{n} \right] =$$

$$= E_m \sin \left(\omega t - 4 \cdot \frac{2\pi}{5} \right),$$

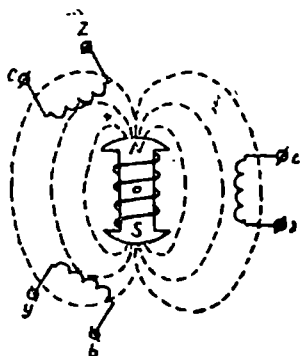
ხოლო ამავე ფაზის დენის მყისი მნიშვნელობა

$$i_5 = I_m \sin \left[\omega t - (n-1) \frac{2\pi}{n} - \varphi \right] =$$

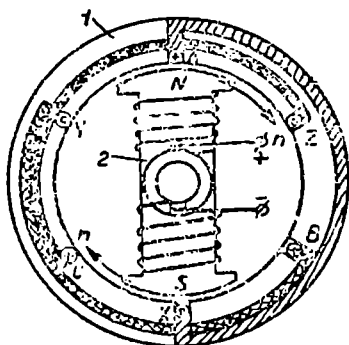
$$= I_m \cdot \sin \left(\omega t - 4 \frac{2\pi}{5} - \varphi \right)$$

§ 1-2. სამფაზიანი დენის სისტემა

სამფაზიანი სისტემა, წინა განმარტების საფუძველზე, წარმოადგენს ელექტრულად დაკავშირებულ სამი ერთფაზიანი სისტემის ერთობლიობას, რომლებიც ურთიერთ გადახრილი არიან მესამედი პერიოდით, ანუ 120° -ით (ნახ. 58 და 59). ასეთ სისტემებში მიიღება სამფაზიანი ცვლადი ე. მ. ძალა და დენი, როგორც

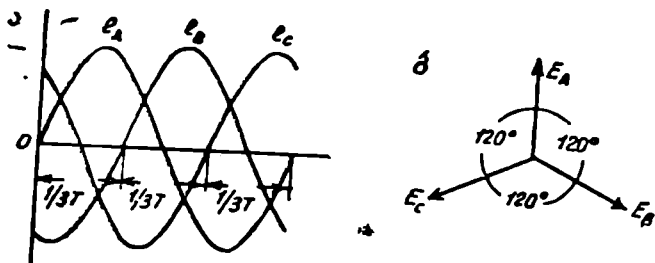


ნახ. 58. სამფაზიანი სისტემის მიღების პრინციპული სქემა.



ნახ. 59. სამფაზიანი გენერატორის აგების პრინციპი.

58-ე ნახაზიდან ჩანს, ერთი წყვილი პოლუსების შემთხვევაში ($\rho = 1$), სამფაზიანი დენის მისაღებად საჭიროა სივრცეში ფაზათა გრაგნილების ურთიერთ 120° -ით განლაგება. ვინაიდან გრაგნილები (A , B და C) სრულიად ერთგვაროვანია, ამიტომ მათში აღძრული ე. მ. ძალები, დენები და ძაბვები იქნებიან ერთნაირი ხასიათის ანუ სინუსოიდური და აღძრული ერთმანეთისაგან 120° -ით. ყოველივე ეს ასახულია მე-60 ნახაზზე მოცემულ ტალღურ დიაგრამებზე.



ნახ. 60. სამფაზიანი ე. მ. ძალის ტალღური და ვექტორული დიაგრამები:
ა—ტალღური, ბ—ვექტორული.

ამრიგად, A , B და C ფაზებში აღძრული ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობები ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \cdot \sin \omega t; \\ e_B &= E_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ); \\ e_C &= E_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \right\} \quad (89)$$

ანალოგიურ გამოსახულებებს მივიღებთ ფაზათა დენებისა და ძაბვების მყისი მნიშვნელობებისათვის სიმეტრიული დატვირთვის დროს, როდესაც $\varphi = 0$.

$$\left. \begin{aligned} i_A &= I_m \cdot \sin \omega t; \\ i_B &= I_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ); \\ i_C &= I_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \right\} \quad (90)$$

61-ე ნახაზზე მოცემულია ფაზათა დენებისა და ძაბვების ვექტორული დიაგრამები.

სამფაზიანი სისტემა სიმეტრიულად ითვლება, თუ სამივე ფაზის ელექტრული სიდიდეები (E_m , I_m და U_m) ტოლია და ფაზათა ძვრის კუთხე მათ შორის 120° -ს შეადგენს.

ცვლადი დენის სიმეტრიული სამფაზიანი წრედებისათვის, მსგავსად

მრავალფაზიანი სისტემებისა, დამახასიათებელია ორივე თვისება: ფაზათა (A , B და C) დენების მყისი მნიშვნელობების ჯამი, ნებისმიერ დროის შუალედში, ნულის ტოლია.

$$i_A + i_B + i_C = i_0 = 0.$$

აღნიშნული ჰეშმარიტების დასადგენად მივმართოთ მოცემული გამოსახულების გარდაქმნას დენის ძალების მნიშვნელობების შეტანით

$$i_0 = I_m \cdot [\sin \omega t + \sin(\omega t - 120^\circ) + \sin(\omega t - 240^\circ)].$$

თუ გავხსნით ფრჩხილებს და შევიტანთ რიცხობრივ მნიშვნელობებს, მივიღებთ

$$\begin{aligned} i_0 &= I_m \cdot [\sin \omega t + \sin \omega t \cdot \cos 120^\circ - \cos \omega t \cdot \sin 120^\circ + \\ &+ \sin \omega t \cdot \cos 240^\circ - \cos \omega t \cdot \sin 240^\circ] = \\ &= I_m \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t - \frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \right) = 0. \end{aligned}$$

ამგვარად,

$$\boxed{i_0 = i_A + i_B + i_C = 0.} \quad (91)$$

სამფაზიანი სიმეტრიული წრედების ეს კანონზომიერება იმაზე მეტყველებს, რომ დროის ნებისმიერ შუალედში ერთ-ერთი ფაზის დენის მიმართულება ყოველთვის საწინააღმდეგოა დანარჩენი ორი ფაზის დენების მიმართულებისა.

თანაფარობა (91), როგორც მე-60 ნახაზის ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, შეიძლება გავრცელდეს დენების მოქმედ მნიშვნელობებზე, თუ ავიღებთ გეომეტრიულ ჯამს

$$\boxed{\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0.} \quad (92)$$

სამფაზიანი დენის ტექნიკისა და მისი პრაქტიკული გამოყენების ფუძემდებლად ითვლება დიდი რუსი ინჟინერი მიხეილ ოსიპის ძე დოლივო-დობროვოლსკი.

1891 წელს პირველად მსოფლიოში განხორციელდა ცვლადი სამფაზიანი დენით ენერჯის გადაცემა 175 კმ მანძილზე. ეს იყო პირველი სამფაზიანი ელექტრული სისტემა, რომელიც შეიტავდა: ცვლადი დენის

სამფაზიან გენერატორს, ძაბვის ამწევ და დამწევ ტრანსფორმატორებს, მაღალი ძაბვის გადამცემ ხაზს და სამფაზიან ელექტრულ ძრავას.

200 ცხ. ძალის სიმძლავრის გენერატორი, რომელსაც აბრუნებდა წყლის ტურბინა, დადგმული იყო ლაუფენის წყალვარდნილზე (ჰეიდელბერგის მახლობლად). გამომუშავებული ენერჯიის ძაბვა ამწევი ტრანსფორმატორის საშუალებით იზრდებოდა 15,000 ვოლტამდე და მაღალი ძაბვის ხაზით გადაიქცემოდა ფრანკფურტში. მიღებული მაღალი ძაბვის ენერჯია, სათანადო დამწევი ტრანსფორმატორით, მიმღებ მხარეზე მცირდებოდა და 30—40 ჰკ სიხშირის მქონე დენით კვებავდა სატუმბავი აგრეგატის სამფაზიან ელექტრულ ძრავას.



მიხეილ ოსიპის ძე დოლივო-დობროვოლსკი (1862—1919).

ამ სისტემის ყველა კვანძის: გენერატორის, ტრანსფორმატორების, გადამცემი ხაზისა და ცვლადი დენის ასინქრონული ძრავის ავტორია გამოჩენილი რუსი მეცნიერი მ. ო. დოლივო-დობროვოლსკი. მისმა შრომებმა დიდად შეუწყვეს ხელი თანამედროვე ელექტროტექნიკის განვითარებას.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. სამფაზიანი გენერატორის გრაგნილი (სტატორზე) შეიცავს 6 გამომყვანს, სადაც A, B, C ფაზათა გრაგნილების საწყისებია, ხოლო x, y, z — მათი ბოლოები. თითოეულ ფაზაში აღძრული ე. მ. ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა $E_m = 179$ ვოლტს.

განსაზღვრეთ ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობები: e_A, e_B, e_C , როდესაც აღრიცხვის შუალედი ტალღურ დიაგრამაზე ტოლია $\frac{\pi}{6}$ და ააგეთ ე. მ. ძალების ვექტორული დიაგრამა.

ამოხსნა

ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობები გამოითვლება (89) გამოსახულებებიდან:

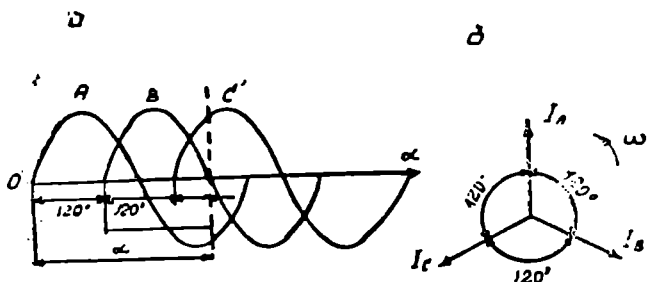
$$e_A = E_m \cdot \sin \omega t = 179 \cdot 0,5 = 89,5 \text{ ვ;}$$

$$e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) = 179 \cdot (-1) = -179 \text{ ვ;}$$

$$e_C = E_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) = 179 \cdot 0,5 = 89,5 \text{ ვ.}$$

სისტემის ჯამური ე. მ. ძალა

$$e_0 = e_A + e_B + e_C = 89,5 + (-179) + 89,5 = 0.$$



ნახ. 61. ე. მ. ძალის ტალღური (ა) და ვექტორული (ბ), დიაგრამები.

მოცემული სამფაზიანი სისტემის ტალღური და ვექტორული დიაგრამები სათანადო მასშტაბის შერჩევით გამოისახებიან 61-ე ნახაზზე ილუსტრირებულის მსგავსად.

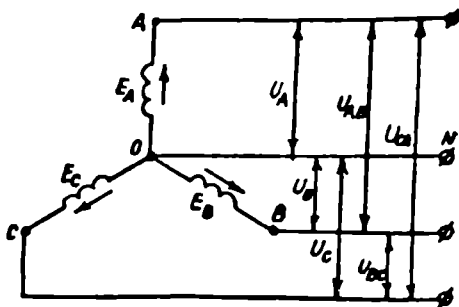
§ 4-3. სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთება

სამფაზიანი სისტემა, როგორც აღვნიშნეთ, მიიღება ცვლადი დენის გენერატორის სამი ერთფაზიანი გრაგნილის ერთმანეთთან ელექტრული შეერთებით. არსებობს შეერთების ორი ხერხი: ვარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთება.

გენერატორის ხვეულების ვარსკვლავად შეერთებისათვის მათ ბოლოებს ელექტრულად ერთ წერტილში აერთებენ, ხოლო ხვეულთა საწყისებს სამფაზიან ქსელს უერთებენ. გრაგნილთა შემადგენთებელ წერტილს ნულოვან წერტილს ანუ სისტემის ნეიტრალს უწოდებენ. სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთების პირობითი ნიშანია „ლ“ და ხორციელდება ორი სახით: ოთხსადენიანი და სამსადენიანი სისტემით (ნახ. 62, 63).

როგორც 62-ე ნახაზიდან ჩანს, ვარსკვლავად შეერთების ოთხსადენიანი სისტემის დროს, გარდა ძირითადი სამი სადენისა, რომლებიც შეერთებული არიან გენერატორის ფაზათა გრაგნილების თავისუფალ ბოლოებთან, მეოთხე სადენიც არსებობს და იგი უერთდება გენერატო-

რის ნულოვან წერტილს ანუ ნეიტრალს (0). გენერატორის ფაზათა დასაწყისებიდან გამოსულ სადენებს ხაზური ანუ მთავარი სადენები ეწოდება, ხოლო ნულოვანიდან გამოსულს — ნულოვანი სადენი. ასეთი სისტემის ცვლადი დენის წრედებში მიმღებები (დატვირთვა) ირთვება როგორც ხაზურ სადენებს შორის, ისე ხაზურებსა და ნულოვან სადენებს შორის. უკანასკნელ შემთხვევაში (ნახ. 62) წრედის ყოველი ფაზა იკვრება ნულოვანი სადენის საშუალებით, რის გამო იგი ერთგვარად უკუსადენის როლს ასრულებს.



ნახ. 62. სამფაზიანი ოთხსადენიანი სისტემის ელექტრული სქემა.

ნულოვანი სადენის დენი, სიმეტრიულად დატვირთულ და ვარსკვლავად შეერთებულ ოთხსადენიან წრედებში ნულის ტოლი უნდა იყოს

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C,$$

მაგრამ, ვინაიდან ქსელებში ფაზათა დატვირთვის სიმეტრიულობა ძნელი მისაღწევია, ამიტომ $I_0 > 0$ და ნულოვან სადენებში ყოველთვის გადის მცირე სიდიდის დენი, რომელიც ბევრად ნაკლებია მთავარი სადენების (A, B, C) დენებზე. ამასთან დაკავშირებით, ნულოვანი სადენის კვეთი ნაკლები იქნება, ვიდრე ქსელის მთავარი სადენებისა.

ვარსკვლავად შეერთებულ სამსადენიან წრედებში, როგორც 53-ე ნახაზიდან ჩანს, სისტემას არა აქვს ნულოვანი სადენი და დატვირთვები ერთვება მთავარ (A, B, C) სადენებს შორის. ასეთ წრედებში, როგორც ფაზათა სიმეტრიული დატვირთვების დროს, ისე მათი ასიმეტრიობის შემთხვევაში, ადგილი აქვს დენების ცნობილ ფარდობას

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0.$$

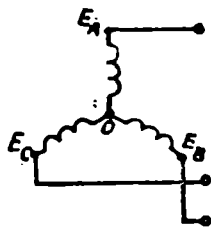
აღნიშნულ ფარდობას ასიმეტრიული დატვირთვის დროს ახასიათებს დენების ($\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$) ვექტორთა შორის ძვრის კუთხეების ცვლილება.

საჭიროა კარგად გვახსოვდეს, რომ სამფაზიანი სისტემის თავისებურებას ელექტრული სიდიდეების ფაზური და ხაზური მნიშვნელობების თანაფარდობები წარ-

მოადგენენ. ფაზური ეწოდება იმ სიდიდეებს, რომლებიც მოქმედებენ მთავარ სადენებს შორის.

ფაზური და ხაზური ელექტრული სიდიდეები, შესაბამისად, „ფ“ და „ხ“ ინდექსებით აღინიშნებიან.

გავარჩიოთ, რა თანაფარდობები არსებობს სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთების დროს ფაზურ და ხაზურ სიდიდეთა შორის.



ნახ. 63. ვარსკვლავად შეერთებული სამსადენიანი სისტემის ელექტრული სქემა.

როგორც ოთხსადენიანი, ისე სამსადენიანი სამფაზიანი სისტემის შემთხვევაში (ნახ. 62, 63) ფაზური დენები ($I_{ფA}, I_{ფB}, I_{ფC}$) ხაზური დენების ტოლია, ვინაიდან სისტემის ფაზა და მთავარი სადენი (ხაზი) მიმდევრობით წრედს წარმოადგენენ.

სქემებიდან ნათლად ჩანს, რომ ფაზური ძაბვები U_{AB}, U_{BC} და U_{CA} უნდა განსხვავდებოდნენ ხაზური ძაბვებისაგან. ამ შემთხვევაში ხაზური ძაბვის მდგენელები, ყოველ წყვილ მთავარ სადენს შორის, ორი მიმდევრობით ჩართული ფაზის ძაბვებისაგან შედგება. მაშასადამე, უფლება გვეძლევა დავწეროთ:

$$I_{ფ} = I_{ხ}$$

და

$$U_{ფ} \neq U_{ხ}$$

62-ე ნახაზიდან დავადგენთ ხაზური U_{AB}, U_{BC} და U_{CA} ძაბვების მნიშვნელობებს, რომლებიც გამოისახებიან ფაზური ძაბვების გეომეტრიული სხვაობით:

$$\left. \begin{aligned} \overline{U}_{AB} &= \overline{U}_{ფA} - \overline{U}_{ფB}; \\ \overline{U}_{BC} &= \overline{U}_{ფB} - \overline{U}_{ფC}; \\ \overline{U}_{CA} &= \overline{U}_{ფC} - \overline{U}_{ფA}. \end{aligned} \right\} \quad (93)$$

ამგვარად, სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთების დროს ხაზური ძაბვა უდრის ორი ფაზის ძაბვათა გეომეტრიულ სხვაობას.

ძაბვათა ხაზური მნიშვნელობების ეს ანალიზური გამოსახულებები შეიძლება გრაფიკულადაც წარმოვიდგინოთ ვექტორული დიაგრამის საშუალებით (ნახ. 64). აღნიშნულ გრაფიკზე U_{AB} (ხაზური) არის $U_{ფ}$

და $U_{\text{ფ}}$ (ფაზური) ვექტორების გეომეტრიული სხვაობა. აქ გამოკლება შეცვლილია ჯამით, რადგან $U_{\text{ფ}}$ შესაკრები ვექტორი დიაგრამაზე გადაზომილია საწინააღმდეგო მიმართულებით ($-\overline{U}_{\text{ფ}}$). როგორც აგებული დიაგრამიდან ვხედავთ, ნაპოვნი ვექტორი \overline{U}_{AB} ხაზურ ძაბვას წარმოადგენს. იგი ორი ფაზური ძაბვის ვექტორთა ბოლოების შემაერთებელი მონაკვეთია და მათთან ერთად სამკუთხედს ქმნის. მიღებული სამკუთხედები ნებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ სიმეტრიულად დატვირთული სამფაზიანი სისტემისათვის ადგილი აქვს ტოლობებს:

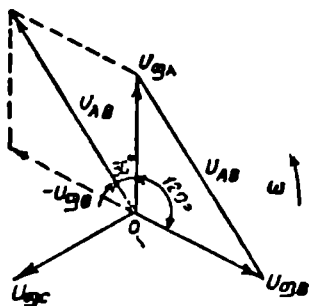
$$U_{AB} = U_{LC} = U_{CA} = U_b$$

$$\text{და } U_{\text{ფ}A} = U_{\text{ფ}B} = U_{\text{ფ}C} = U_{\text{ფ}}$$

საბოლოოდ, ხაზური ძაბვა შეიძლება ასე ჩაიწეროს

$$U_b = 2 \cdot U_{\text{ფ}} \cdot \cos 30^\circ = 2 U_{\text{ფ}} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} U_{\text{ფ}}$$

ნახ. 64. ვარსკვლავად შეერთების დროს ძაბვების ვექტორული დიაგრამა.



ამრიგად, სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთებულ წრედებში დენისა და ძაბვის ხაზურ და ფაზურ მნიშვნელობებს შორის არსებობს შემდეგი თანათარლობა

$$\left. \begin{aligned} U_b &= U_{\text{ფ}} \\ \text{და } U_b &= \sqrt{3} U_{\text{ფ}} \end{aligned} \right\} \quad (94)$$

ახლა გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. განსაზღვრეთ ხაზური ძაბვა და ნულოვანი სადენის დენი ვარსკვლავად შეერთებულ 4-სადენიან სამფაზიან სისტემაში (ნახ. 65), თუ ფაზური ძაბვა ტოლია 127 ვოლტისა, ხოლო ყოველ მთავარსა და ნულოვან სადენს შორის ჩართული მიმღებების წინალობა უდრის 12,7 ომს. ააგეთ ასეთი წრედის ფაზური ძაბვების ვექტორული დიაგრამა და გრაფიკული წესით განსაზღვრეთ ფაზური ძაბვები.

ხაზური ძაბვა, (94) გამოსახულების თანახმად,

$$U_b = \sqrt{3} U_{\phi} = 1,73 \cdot 127 = 220 \text{ ვ.}$$

ნულოვანი სადენის დენი, რადგან დატვირთვა სიმეტრიულია,

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0,$$

ხოლო

$$I_A = I_B = I_C = \frac{U_{\phi}}{z} = \frac{127}{12,7} = 10 \text{ ა.}$$

არჩეულ მასშტაბში აგებული ფაზური ძაბვების ვექტორული დიაგრამიდან (ΔOBC) ხაზური ძაბვა

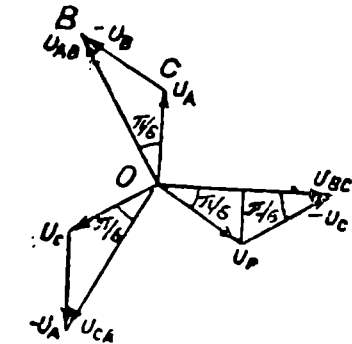
$$U_b = U_{\phi} \sqrt{3} = 127 \cdot 1,73 = 220 \text{ ვ.}$$

სიმეტრიული დატვირთვის გამო

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 220 \text{ ვ.}$$

§ 4-4. სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთება

სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთება ხორციელდება გენერატორის ხვეულების ანუ ფაზების ისეთი მიმდევრობითი ჩართვით, როცა პირველი ფაზის (A) ბოლო ელექტრულად უერთდება მეორე ფაზის (B) საწყისს; მეორე ფაზის ბოლო უერთდება მესამე ფაზის (C) საწყისს და მესამე ფაზის ბოლო — პირველი (A) ფაზის საწყისს. ფაზათა შეერთების წერტილებიდან კი გამოიყვანება მთავარი ანუ ხაზური სადენები (ნახ. 66).



ნახ. 65. მაგალითის ძაბვების ვექტორული დიაგრამა.

როგორც მოცემული ვექტორული სქემიდან ვრწმუნდებით, წრედის ხაზური ძაბვა (U_b) ტოლია ფაზური ძაბვისა (U_{ϕ}), ხოლო ხაზური და ფაზური დენები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, ე. ი.

$$U_b = U_{\phi}$$

და

$$I_b \neq I_{\phi}$$

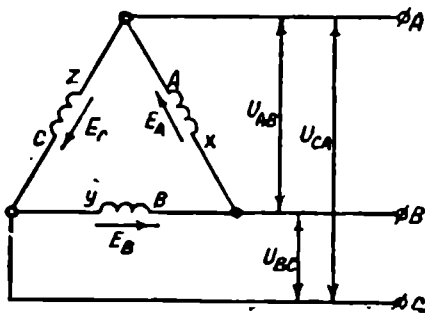
დენების ხაზურ და ფაზურ მნიშვნელობებს შორის თანაფარდობის დასადგენად, კირხოფის პირველი კანონის შესაბამისად, ვარკვევთ ხაზური დენების ვექტორულ სიდიდეებს A , B და C ხაზებისათვის, რომლებიც ასე გამოისახებიან:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_{AB} &= \bar{I}_{\Phi A} - \bar{I}_{\Phi B}; \\ \bar{I}_{BC} &= \bar{I}_{\Phi B} - \bar{I}_{\Phi C}; \\ \bar{I}_{CA} &= \bar{I}_{\Phi C} - \bar{I}_{\Phi A}. \end{aligned} \right\} \quad (95)$$

მაშასადამე, სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთების დროს ხაზური დენი ორი ფაზის დენის გეომეტრიულ სხვაობას წარმოადგენს.

მიღებული (95) გამოსახულებისათვის ავაგებთ დენების ვექტორულ დიაგრამას, მსგავსად ვარსკვლავად შეერთებული წრედის ძაბვების ვექტორული დიაგრამისა (ნახ. 64), საიდანაც I_{AB} ხაზური დენი

$$\begin{aligned} I_b &= 2I_{\Phi} \cdot \cos 30^\circ = \\ &= 2I_{\Phi} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}. \end{aligned}$$



ნახ. 66. სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთების ელექტრული სქემა.

მაშასადამე, სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთების დროს დენისა და ძაბვის ხაზური და ფაზური მნიშვნელობები:

$$\left. \begin{aligned} I_b &= \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}; \\ U_b &= U_{\Phi}. \end{aligned} \right\}$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითზე.

მაგალითი. განსაზღვრეთ ხაზური ძაბვა და დენი სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთების დროს, თუ მისი ვარსკვლავად შეერთების ხაზური ძაბვა 220 ვოლტია, ხაზური დენი 10 ამპერს უდრის, ხოლო კუთხე $\varphi = 25^\circ$. ააგეთ ამ წრედისათვის მასშტაბში ფაზათა დენებისა და ძაბვების ვექტორული დიაგრამა და გრაფიკულად განსაზღვრეთ ხაზური დენები: I_A , I_B და I_C .

ფაზური ძაბვა ვარსკვლავად შეერთების დროს

$$U_{\Phi} = \frac{U_b}{\sqrt{3}} = \frac{220}{1,73} \cong 127,3,$$

ფაზური დენი კი

$$I_{\Phi} = I_b = 10 \text{ ა.}$$

სისტემის სამკუთხედის სქემაზე გადართვის შედეგად ძაბვების თანაფარდობა გამოისახება ტოლობით

$$U_b = U_{\Phi} = 127,3,$$

ხოლო ხაზური დენი

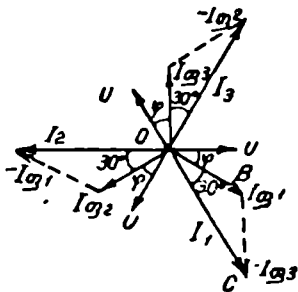
$$I_b = \sqrt{3} \cdot 1,73 \cdot 10 = 17,3 \text{ ა.}$$

მასშტაბში აგებულ ფაზათა დენების ვექტორული დიაგრამიდან ($\triangle OBC$) ხაზური დენი (ნახ. 67)

$$I_b = I_{\Phi} \cdot \sqrt{3} = 10 \cdot 1,73 = 17,3 \text{ ა.}$$

ფაზური დატვირთვის სიმეტრიულობის გამო A , B და C ხაზების შესაბამისი დენები ასე ჩაიწერება:

$$I_A = I_B = I_C = 17,3 \text{ ა.}$$



ნახ. 67. დენების ვექტორული დიაგრამა მკუთხედისათვის.

§ 4-6. მოკლე დასკვნები

1. მთელი რიგი უპირატესობების გამო, ცვლადი დენის სამფაზიან-მა სისტემებმა, რომლებიც მრავალფაზიანი სისტემების კერძო შემთხვევას წარმოადგენენ, შესცვალეს ერთფაზიანი სისტემები.

ცვლადი დენის მრავალფაზიანი სისტემა ეწოდება ელექტრული წრედების ისეთ ერთობლიობას, რომელშიც ცალკეული წრედების წყაროთა ე. მ. ძალებს ერთნაირი სიხშირე აქვთ და ურთიერთ გადახრილი არიან ძვრის ტოლი კუთხით. ამგვარად, მრავალფაზიანი (n -ფაზა) სისტემის მისაღებად საჭიროა ისეთი გენერატორის აგება, რომლის სტა-

ტორში მოთავსდება $\frac{2\pi}{n}$ კუთხით დაძრული n რაოდენობის ერთგვაროვანი გრაგნილი.

მრავალფაზიანი სისტემების დამახასიათებელია ის, რომ მათი ფაზე-

პის ე. მ. ძალების და დენების მყისი მნიშვნელობების ჯამი ყოველთვის ნულს უდრის, ე. ი.

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_n = 0$$

და

$$\sum i = i_1 + i_2 + \dots + i_n = 0.$$

3. წინა დებულების საფუძველზე დავასკვნით, რომ ცვლადი დენის სამფაზიანი სისტემა წარმოადგენს ელექტრულად დაკავშირებულ სამი ტოლისწირიანი ერთფაზიანი სისტემის ერთობლიობას, რომლებიც სივრცეში დაძრული არიან ერთმანეთისაგან მესამედი პერიოდით ანუ 120° -ით.

მრავალფაზიანი სისტემების მსგავსად, სიმეტრიულად დატვირთული სამფაზიანი წრედების დამახასიათებელი კანონზომიერებაა ის ფაქტი, რომ ფაზათა A , B და C დენების ჯამი დროის ნებისმიერ შუალედში აგრეთვე ნულს უდრის, ე. ი.

$$\frac{i_A + i_B + i_C}{T_A + T_B + T_C} = i_0 = 0,$$

4. სამფაზიანი ცვლადი დენის სისტემა ხორციელდება გენერატორის გრაგნილების (ფაზების) ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთების საშუალებით. აღნიშნული შეერთებების თავისებურებაა ელექტრულ სიდიდეთა ფაზური და ხაზური მნიშვნელობების გარკვეული თანაფარდობა.

6. სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთების დროს გენერატორის ფაზათა საწყისები (A , B და C) უშუალოდ ქსელის ხაზურ სადენებს უკავშირდება, ხოლო ბოლოები (x , y და z) ერთ წერტილშია შეერთებული, რომელსაც სისტემის ნული ან ნეიტრალი ეწოდება.

ვარსკვლავად შეერთებულ სისტემას, რომელშიაც სისტემის ნეიტრალი გამოტანილია ქსელში მეოთხე (ნულოვანი) სადენის სახით, ეწოდება ოთხსადენიანი სისტემა. იმ შემთხვევაში, როდესაც ნეიტრალი არ არის გამოტანილი ქსელში, სისტემა სამსადენიანია.

7. ცვლადი დენის სამფაზიან სისტემაში ასხევებენ ფაზურ და ხაზურ ელექტრულ სიდიდეებს, რომელთა თანაფარდობას განაპირობებს ფაზათა შეერთების წესი.

ფაზური ეწოდება იმ სიდიდეებს, რომლებიც უშუალოდ ფაზის (გრაგნილების) თავსა და ბოლოს შორის არსებულ მნიშვნელობებს გამოსახავენ. ხაზურია ის მაჩვენებლები, რომლებიც განსაზღვრავენ მთავარ სადენებში და მათ შორის არსებულ ელექტრულ სიდიდეებს.

ვარსკვლავად შეერთებულ სამფაზიან სისტემაში დენისა და ძაბვის ხაზური სიდიდეები ხასიათდება შემდეგი თანაფარდობებით:

$$I_b = I_{\text{ფ}},$$

$$U_b = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ფ}}.$$

სამკუთხედად შეერთებულ სამფაზიან სისტემაში კი

$$I_b = \sqrt{3} I_{\text{ფ}},$$

$$U_b = U_{\text{ფ}}.$$

8. ცვლადი დენის სამფაზიანი სისტემის ტექნიკისა და მისი გამოყენების ფუძემდებლად ითვლება დიდი რუსი ინჟინერი მიხეილ ოსიპის ძე დოლივო-დობროვოლსკი (1862—1919).

§ 4-6. სავარჯიშო

1. რას უდრის 6-ფაზიანი გენერატორის სტატორის ხვეულების (კოქების) რაოდენობა და მათ შორის ძერის კუთხე, თუ გრაგნილი სიმეტრიულია და ვარსკვლავადაა შეერთებული? ააგეთ ე. მ. ძალების ვექტორული და ტალღური დიაგრამები. დაწერეთ 1 და 6 ფაზის ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობების ანალიზური გამოსახულებები.

2. როგორ გამოისახება (ანალიზურად) სამფაზიანი გენერატორის ფაზებში აღძრული ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობები, თუ მათი ამპლიტუდური სიდიდეები ტოლია და უდრის $E_m - 200$ ვოლტს? განსაზღვრეთ აგრეთვე სისტემის ჯამური ე. მ. ძალის მნიშვნელობა. ააგეთ ტალღური და ვექტორული დიაგრამები.

3. სამფაზიანი გენერატორის გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად და კვებავს ქსელს, რომლის სადენებს შორის ძაბვა $U_b = 120$ ვოლტს, ხოლო სადენებში გამავალი დენი $I_b = 50$ ა. ამასთანავე ცნობილია, რომ ეს დენები ჩამორჩებიან თავიანთ ძაბვებს ფ კუთხით. განსაზღვრეთ: თითოეული ფაზის დენი, ძაბვები მთავარ და ნულოვან სადენს შორის (ფაზური ძაბვები).

4. მოცემულია სამფაზიანი გენერატორი, რომლის გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად და მის ფაზებში ინდუქცირდება სიმეტრიული ე. მ. ძალები. საჭიროა განისაზღვროს გენერატორის ხაზური ძაბვები, თუ მისი ფაზური ძაბვები ერთ შემთხვევაში 127 ვოლტია, ხოლო მეორეში — 220 ვოლტი.

5. მოცემულია სამფაზიანი გენერატორი, რომლის გრაგნილი შეერთებულია სამკუთხედად და მისი ხაზური ძაბვა $U_b = 220$ ვოლტია. განსაზღვრეთ რას უნდა უდრიდეს ხაზური დენის ძალები და ძაბვები სამკუთხედად შეერთებულ მიმღებებზე, თუ გენერატორის დატვირთვა სიმეტრიულია და მისი ფაზის დენი უდრის 5 ა-ს.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. როგორ მიიღება ცვლადი დენის მრავალფაზიანი სიმეტრიული სისტემა? ანალიზურად გამოისახება 12-ფაზიანი სიმეტრიული სისტემის ე. მ. ძალების მუისი მნიშვნელობები.

2. განმარტეთ. რას ეწოდება სიმეტრიული და არასიმეტრიული სისტემები, აავეთ მათი ვექტორული დიაგრამები.

3. განმარტეთ სამფაზიანი სისტემის არსი. აავეთ გენერატორის გრაგნილის ფაზებში ინდუქტირებული ე. მ. ძალების ტალღური და ვექტორული დიაგრამები.

4. როგორ გამოისახება ანალიზურად სამფაზიანი სისტემის ფაზური დენების მუისი მნიშვნელობები და რას უდრის მათი ჯამური სიდიდე? აავეთ დენების ტალღური დიაგრამა.

5. ვინ ითვლება სამფაზიანი სისტემის ტექნიკის ფუძემდებლად?

სად, როდის და რა ვითარებაში მოხდა ამ სისტემის საერთაშორისო ჩვენება? გააეთეთ ისტორიული მიმოხილვა.

6. რას ეწოდება სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთებული ოთხსადენიანი წრედი, რით განსხვავდება იგი ვარსკვლავად შეერთებული სამსადენიანი წრედისაგან და რა შემთხვევაში გამოიყენება იგი?

7. რა გაელენას ახდენს ქსელის ძაბვებზე ნულოვანი ანუ ნეიტრალური სადენის შემთხვევითი გაწყვეტა? განმარტეთ ელექტრული სქემით და ვექტორული დიაგრამის საშუალებით.

8. ვექტორული დიაგრამის დახმარებით გამოიყენეთ სამფაზიანი სისტემის ხაზური და ფაზური ძაბვების თანაფარდობები სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთების დროს.

9. რას ეწოდება სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთება და რას უდრის მისი ხაზური დენი? ანალიზურად გამოიყენეთ იგი ვექტორული დიაგრამიდან.

10. სამფაზიანი სისტემის შეერთების რა შემთხვევებში უტოლდებიან ხაზური დენები ფაზურ დენებს და ხაზური ძაბვები ფაზურ ძაბვებს?

დავალება

სამფაზიანი დენის სიმძლავრე ელექტრული ენერჯიის მიმღებთა „ვარსკვლავად“ შეერთება. მიმღებთა „სამკუთხედად“ შეერთება. სამფაზიანი დენის მბრუნავი მაგნიტური ველი. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 4-7. სამფაზიანი დენის სიმძლავრა

სამფაზიანი დენის სიმძლავრე სამივე ფაზის სიმძლავრეთა ჯამს უნდა უდრიდეს, ე. ი.

$$P = P_{\text{ფა}} + P_{\text{ფფ}} + P_{\text{ფც}} \quad (97)$$

და ფაზების სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში

$$P = 3P_{\text{ფ}}$$

თუ ამ ტოლობაში შევიტანთ ფაზური სიმძლავრის მნიშვნელობას

$$P_{\text{ფ}} = U_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{ფ}} \cdot \cos \varphi,$$

შივილებთ სამფაზიანი დენის სიმძლავრის გამოსახულებას

$$\boxed{P = 3U_{\text{ფ}} \cdot I_{\text{ფ}} \cdot \cos \varphi.} \quad (98)$$

ამგვარად. სამფაზიანი დენის აქტიური სიმძლავრე სიმეტრიული დატვირთვის დროს ფაზური სიმძლავრის სამჯერადია.

როდესაც სამფაზიანი დენის სიმძლავრეს გამოვსახავთ ძაბვისა და დენის ხაზური მნიშვნელობებით, მაშინ მისი სიდიდე ფაზების როგორც „ვარსკვლავად“, ისე „სამკუთხედად“ შეერთებისას იქნება

$$\boxed{P = \sqrt{3} U_{\text{ხ}} \cdot I_{\text{ხ}} \cdot \cos \varphi.} \quad (99)$$

გავიხსენოთ, რომ ფაზების ვარსკვლავად შეერთების დროს გვექონდა

$$I_{\text{ფ}} = I_{\text{ხ}}$$

და

$$U_{\text{ფ}} = \frac{U_{\text{ხ}}}{\sqrt{3}},$$

ხოლო ფაზების სამკუთხედად შეერთებისას

$$I_{\text{ფ}} = \frac{U_{\text{ხ}}}{\sqrt{3}}$$

და

$$U_{\text{ფ}} = U_{\text{ხ}}.$$

აღნიშნული ერთგვაროვნობის გამო დასისტემის სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევებისათვის აქტიური სიმძლავრის მოქმედი მნიშვნელობა შეიძლება გამოისახოს უინდექსოდ ანუ დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობებით

$$\boxed{P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi.} \quad (100)$$

უნდა გვახსოვდეს, რომ ამ ტოლობაში U და I სიდიდეები ძაბვისა და დენის ხაზური მნიშვნელობებია, ხოლო φ — ცალკეული ფაზისათვის ძაბვასა და დენს შორის არსებული ძვრის კუთხე. ანალოგიურად

გამოითვლება ცვლადი სამფაზიანი დენის რეაქტიული სიმძლავრე სიმეტრიული დატვირთვების დროს. აქაც

$$Q = 3Q_{\phi}, \quad (101)$$

ხოლო

$$Q_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin \varphi.$$

თუ (101) ფორმულაში შევიტანთ რეაქტიული სიმძლავრის ფაზურ მნიშვნელობას და ძაბვისა და დენის ხაზურ მნიშვნელობებს, მაშინ სამფაზიანი დენის რეაქტიული სიმძლავრე გამოისახება შემდეგი ტოლობით

$$Q = \sqrt{3} U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin \varphi, \quad (102)$$

ან

$$Q = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \sin \varphi. \quad (103)$$

ახლა გადავიდეთ სამფაზიანი სისტემის სიმძლავრის გამოთვლის საწინამუშაო მაგალითზე.

მაგალითი. ცვლადი დენის სამფაზიან წრედში ჩართულია სამფაზიანი ძრავა, რომლის სიმძლავრე $P_d = 10$ კვტ, ძაბვა კი $U = 220$ ვოლტია. ძრავას გრაგნილები შეერთებულია სამკუთხედად. ნომინალური დატვირთვის დროს მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტია $\eta = 0,85$, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი — 86 %, რას უდრის დენის ძალის სიდიდეები და სიმძლავრე ძრავას მომჭერებზე და მის გრაგნილებში?

ამოხსნა

ძრავას მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე

$$P = \frac{P_d}{\eta} = \frac{10}{0,85} = 11,8 \text{ კვტ.}$$

დენის ძალის სიდიდეები ძრავას მკვებავ სადენებში (მომჭერებზე) გამოითვლება ფორმულით

$$I = I_{\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{11,8 \cdot 1000}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,86} = 36 \text{ ა.}$$

დენები ძრავას გრაგნილებში, დატვირთვის სიმეტრიულობის გამო, აკმაყოფილებს პირობას

$$I_{\phi A} = I_{\phi B} = I_{\phi C} = I_{\phi}.$$

და გამოითვლება ფარდობით

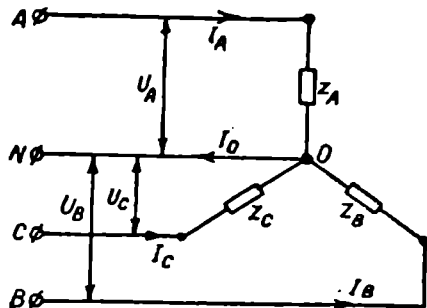
$$I_{\Phi} = \frac{I_b}{\sqrt{3}} = \frac{36}{1,73} = 20,8 \text{ ა.}$$

§ 4-8. ელექტრული ენერჯიის მიმღებთა პარაკვლავად შეერთება

ისევე, როგორც გენერატორების გრაგნილებისათვის, ელექტრული ენერჯიის მიმღებთა ჩართვაც, სამფაზიანი სისტემის ქსელებში, ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთების გზით ხორციელდება. 68-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მიმღებთა ვარსკვლავად ჩართვის ელექტრული სქემა სამფაზიანი სისტემის ოთხსადენიან წრედში, ხოლო 69-ე ნახაზზე —

მიმღებთა ვარსკვლავად ჩართვის სქემს სამსადენიან წრედში.

როგორც აღვნიშნეთ, ოთხსადენიან წრედებს ძირითადად იყენებენ დაბალი ძაბვის (400 ვოლტამდე) განათებისა და მცირე, შერეული დატვირთვების მქონე ქსელებში. ძალური და მაღალი ძაბვის ქსელებს უმეტესად იყენებენ ვარსკვლავად შეერთებულ სამ-



ნახ. 68. ოთხსადენიან წრედში მიმღებთა ვარსკვლავად ჩართვის ელექტრული სქემა.

სადენიან წრედებში (ნახ. 69).

ვარსკვლავად შეერთების დროს ნულოვან სადენში გამავალი დენი, სიმეტრიული დატვირთვისას, როგორც ვიცით, ნულის ტოლია, ე. ი.

$$i_A + i_B + i_C = i_0 = 0.$$

იმავე კანონის შესაბამისად, დენის მოქმედ მნიშვნელობათა გეომეტრიული ჯამი ამ შემთხვევაშიც ნულს უდრის

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = \bar{I}_0 = 0 \quad (104)$$

სამფაზიანი გენერატორის გრაგნილების ვარსკვლავად შეერთების მსგავსად, მიმღებთა ვარსკვლავად შეერთების დროსაც ძალაში რჩება ფაზური და ხაზური ელექტრული სიდიდეების ცნობილი თანაფარდობები:

$$U_{\varphi} = \frac{I_{\varphi} = I_b = I;}{\sqrt{3}} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad \left. \vphantom{U_{\varphi}} \right\} \quad (105)$$

ამ გამოსახულებათა საფუძველზე, მიმღებთა ფაზური დენი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ფარდობით

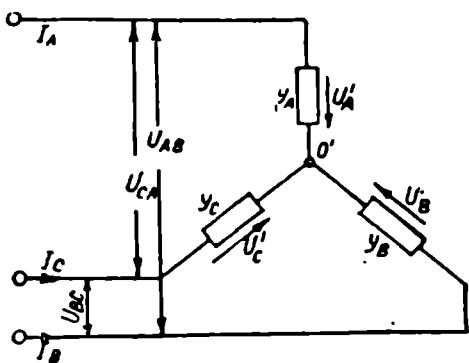
$$I_{\varphi} = I = \frac{U_{\varphi}}{z} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z}.$$

სამფაზიანი მიმღების აქტიური სიმძლავრე ვარსკვლავად შეერთების დროს იქნება

$$P_L = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{U^2}{z} \cdot \cos \varphi. \quad (106)$$

მაშასადამე, სიმეტრიული დატვირთვის მიმღებთა აქტიური სიმძლავრე, მათი ვარსკვლავად შეერთების დროს, პირდაპირპროპორციულია ძაბვის კვადრატის ნამრავლისა სიმძლავრის კოეფიციენტზე და უკუპროპორციულია ერთ-ერთი ფაზის სრული წინაღობის.

70-ე ნახაზზე ნაჩვენებია სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთებული სიმეტრიული დატვირთვის მქონე მიმღების ვექტორული დიაგრამა. როგორც აგებული დიაგრამიდან ჩანს, ხაზური ძაბვები U_{AB} , U_{BC} და U_{CA} ერთმანეთის ტოლია. ტოლია აგრეთვე მიმღებში ძაბვასა და დენს შორის ძვრის კუთხეები და ერთგვაროვანია მიმღების ფაზების სრული წინაღობები.



ნახ. 69. სამსადენიან წრედში მიმღებთა ვარსკვლავად ჩართვის ელექტრული სქემა.

მოცემული ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, რომ სამფაზიანი სისტემის ხაზური ძაბვები ქმნიან სამკუთხედს (წყვეტილი ხაზით), რომ-
9. გ. ანანიაშვილი

ლის გვერდებიც მიმღების ფაზურ დაბვათა ვექტორების გეომეტრიული სხვაობით შეიძლება გამოისახოს:

$$\left. \begin{aligned} \overline{U}_{AB} &= \overline{U}_A - \overline{U}_B; \\ \overline{U}_{BC} &= \overline{U}_B - \overline{U}_C; \\ \overline{U}_{CA} &= \overline{U}_C - \overline{U}_A. \end{aligned} \right\} \quad (1C7)$$

ქსელისა და მიმღებების დაბვათა ეს თანაფარდობა ძალაში რჩება აგრეთვე სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთებული არასიმეტრიული დატვირთვების დროსაც. დატვირთვის ასიმეტრიულობა იწვევს დიაგრამის ერთგვარ დამახინჯებას, ვინაიდან ნულოვან სადენში თავს იჩენს დენი ($I_0 > 0$) და მისგან გამოწვეული დაბვა U_0 (ნახ. 71). ამ შემთხვევაში ვლგებულობთ

$$I_A \neq I_B \neq I_C.$$

გამოვიყვანოთ სანიმუშო მაგალითი.

ნახ. 70. მიმღებთა ვარსკვლავად შეერთების ვექტორული დიაგრამა.

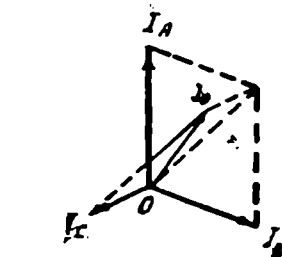
მაგალითი. ოთხსადენიან სამფაზიან ქსელში, რომლის დაბვა 220/127

ვოლტია, ჩართულია ელნათურების 3 ჯგუფი, შეერთებული ვარსკვლავად. საჭიროა განისაზღვროს ნულოვანი სადენის დენი, თუ ცნობილია, რომ $z_A = 6,35$ ომს, $z_B = 10,6$ ომს და $z_C = 15,9$ ომს. უნდა აიგოს აგრეთვე ვექტორული დიაგრამა.

ამოხსნა

მოცემული წრედის ელექტრული სქემა ნაჩვენებია 72-ე ნახაზზე. მიმღებთა A, B და C ფაზების დენები:

$$I_A = \frac{U_{\phi}}{z_A} = \frac{127}{6,35} = 20 \text{ ა;}$$



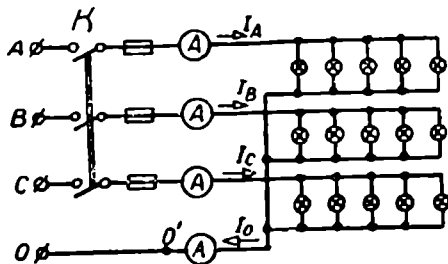
ნახ. 71. მიმღებთა ვარსკვლავად შეერთების ვექტორული დიაგრამა ასიმეტრიული დატვირთვის დროს.

$$I_B = \frac{U_{\text{ფ}}}{z_B} = \frac{127}{10,6} = 12 \text{ ა};$$

$$I_C = \frac{U_{\text{ფ}}}{z_C} = \frac{127}{15,9} = 8 \text{ ა}.$$

ნულოვანი სადენის დენს (I_0) ვიპოვით გრაფიკული მეთოდით, რისთვისაც ვირჩევთ მასშტაბს და მის შესაბამისად ვაგებთ ძაბვებისა და დენების ვექტორულ დიაგრამებს (ნახ. 73).

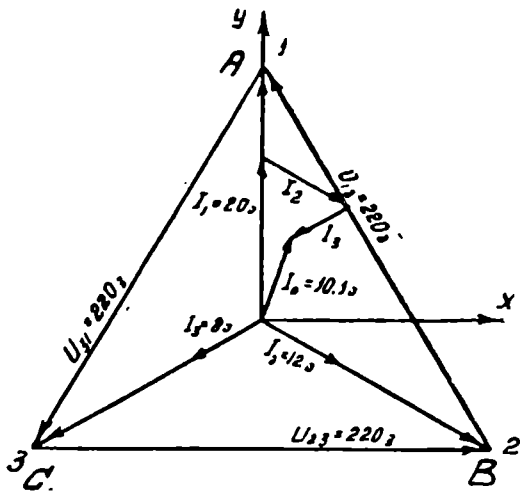
ფაზური დენების (I_A, I_B, I_C) მიმართულება ემთხვევა ძაბვების ($U_{\text{ფ}A}, U_{\text{ფ}B}, U_{\text{ფ}C}$) მიმართულებას, ხოლო ნულოვანი დენი (დიაგრამიდან)



ნახ. 72. ელექტრული სქემა მაგალითისათვის.

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 10,6 \text{ ა}.$$

ნულოვანი სადენის დენი, გარდა გრაფიკული მეთოდისა, შეიძლება გამოითვალოს x, y ღერძებზე აგებული ფაზური დენების ვექტორთა



ნახ. 73. ვექტორული დიაგრამა მაგალითისათვის.

გეგმილების საშუალებითაც (ნახ. 73): თუ OX ღერძის მიმართულება ვმთხვევა $U_{\text{ფ}A}$ და I_A მიმართულებას, მაშინ ფაზური დენების გეგმილთა ჯამი OX ღერძზე

$$I_{OX} = I_A \cos 90^\circ + I_B \cdot \cos(-30^\circ) - I_C \cdot \cos(-150^\circ) = 0 + 12 \cdot 0,866 - 8 \cdot 0,866 = 3,5 \text{ ა.}$$

დენების გეგმილთა ჯამი OY ღერძზე

$$I_{OY} = I_A \cdot \cos 0^\circ + I_B \cdot \cos 120^\circ + I_C \cos 120^\circ = 20 - 12 \cdot 0,5 - 8 \cdot 0,5 = 10 \text{ ა.}$$

საბოლოოდ, ნულოვანი სადენის დენი

$$I_0 = \sqrt{I_{OX}^2 + I_{OY}^2} = \sqrt{3,5^2 + 10^2} = 10,6 \text{ ა.}$$

§ 4-9. ელექტრული ენერჯიის მიღებათა საფართოებად შეერთება

მიმღებთა შეერთება სამკუთხედად შესამჩნევად სცვლის წრედის მუშაობის რეჟიმს, ვარსკვლავად შეერთების სქემასთან შედარებით. აქტიური დატვირთვების სამკუთხედად ჩართვის შემთხვევაში მიმღებები ირთვება სამფაზიანი სისტემის ხაზურ სადენებს შორის (ნახ. 74). მიმღებთა ასეთი შეერთების დროს, სამკუთხედად ჩართული გენერატორის გრაგნილების ანალოგიურად, ფაზური და ხაზური სიდიდეები შემდეგი თანაფარდობით გამოისახებიან:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{ფ}} &= U_{\text{ხ}} = U; \\ I_{\text{ფ}} &= \frac{I_{\text{ხ}}}{\sqrt{3}} = \frac{I}{\sqrt{3}}; \\ I &= \sqrt{3} \cdot I_{\text{ფ}}. \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

ვინაიდან ფაზური დენი

$$I_{\text{ფ}} = \frac{U}{Z},$$

აზიტომ

$$I = \sqrt{3} \frac{U}{Z}.$$

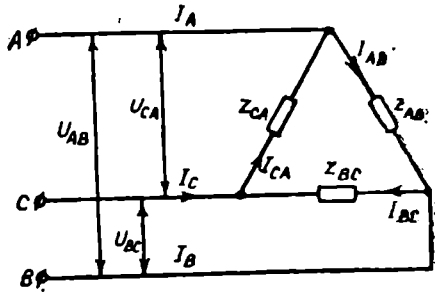
აქედან გამომდინარე, აქტიური სიმძლავრე

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot \sqrt{3} I \frac{U}{Z} \cdot \cos \varphi,$$

$$P_{\Delta} = 3 \cdot \frac{U^2}{z} \cos \varphi.$$

ამრიგად, სამკუთხედად შეერთებული დატვირთვის სიმძლავრე, ვარსკვლავად შეერთებულ სქემასთან შედარებით, სამჯერ უფრო მეტია.

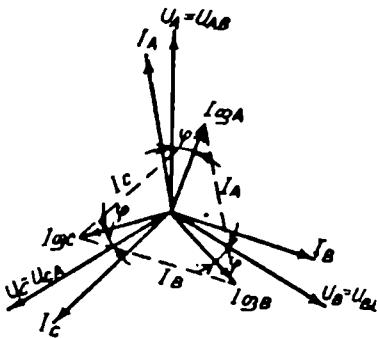
სამფაზიანი სისტემის ეს თავისებურება საფუძვლად უდევს მოკლედ ჩართული სამფაზიანი ასინქრონული ძრავების დენების შემცირების სქემას. კერძოდ, მოკლედ ჩართული ძრავას სამკუთხედად შეერთებულ ხვეულებს, მისი გაშვების პროცესში (დროებით), რთვენ ვარსკვლავად. დროის გარკვეული შუალედის შემდეგ (საწინააღმდეგო ე. მ. ძალების წარმოქმნის შემდეგ), ძრავას გრაგნილებს გადართვენ სამკუთხედად. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა დავისხმომთ, რომ სამფაზიანი ძრავას გრაგნილების გადართვით ვარსკვლავადან სამკუთხედზე ფაზური ძაბვები და დენის ძალები იზრდება



ნახ. 74. ელექტრული სქემა მიმღებთა სამკუთხედად შეერთებისათვის.

$\sqrt{3}$ -ჯერ, ხოლო ხაზური დენის ძალა და სიმძლავრე — სამჯერ.

როგორც 75-ე ნახაზის ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, ხაზური და ფაზური ძაბვები ერთმანეთის ტოლია. ამიტომ, თუ მოცემულია ფაზათა წინააღმდეგობების მნიშვნელობები, ადვილია ფაზათა დენების ($I_{ფA}$, $I_{ფB}$, $I_{ფC}$) გამოთვლა. რაც შეეხება სისტემის ხაზურ I_A , I_B და I_C დენებს, რომლებიც ფაზური დენების ვექტორებზე აგებულ



ნახ. 75. სამკუთხედად შეერთების ვექტორული დიაგრამა

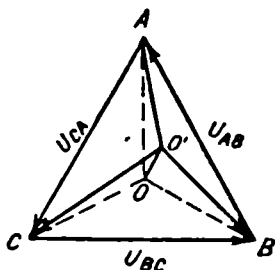
სამკუთხედის გვერდებს წარმოადგენენ (წყვეტილი ხაზი), მათი გამოსახვა შეიძლება ფაზური დენების გეომეტრიული სხვაობებით:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_{\text{ფ}A} - \bar{I}_{\text{ფ}B}; \\ \bar{I}_B &= \bar{I}_{\text{ფ}B} - \bar{I}_{\text{ფ}C}; \\ \bar{I}_C &= \bar{I}_{\text{ფ}C} - \bar{I}_{\text{ფ}A}. \end{aligned} \right\} \quad (110)$$

მოტანილი თანაფარდობები (110) ძალაში რჩება მაშინაც, როდესაც სისტემაში ირდევია სიმეტრიულობა. ამ შემთხვევაში, როგორც 76-ე ნახაზიდან ჩანს, მაჩინდება ვექტორული დიაგრამა, მისი ფაზური ძაბვების ცვლილების შედეგად, რასაც მოსდევს დიაგრამის ნულოვანი წერტილის (O) გადაადგილება ახალ O' წერტილში. მონაკვეთები (წყვეტილი): $OA = U_{\text{ფ}A}$, $OB = U_{\text{ფ}B}$ და $OC = U_{\text{ფ}C}$ შეიცვლებიან (უწყვეტი ხაზი) და მივიღებთ:

$$O'A = U'_{\text{ფ}A}, \quad O'B = U'_{\text{ფ}B} \text{ და } O'C = U'_{\text{ფ}C}.$$

გამოვიყვანოთ სანიშნუშო მაგალითი.



ნახ. 76. მიმღებთა სამკუთხედად შეერთების ვექტორული დიაგრამა ასიმეტრიული დატვირთვის დროს.

მაგალითი. მოცემულია ცვლადი დენის სამფაზიანი წრედი, რომლის ფაზები სამკუთხედადაა ჩართული. მოცემულია აგრეთვე დატვირთვები: A ფაზაში $r = 40$ ომს; B ფაზაში — ინდუქციურობა $L = 0,136$ და C ფაზაში — ტევადობა $C = 40$ მკფ. სისტემის სადენებს შორის ძაბვა ტოლია 380 ვოლტისა. განსაზღვრეთ ხაზური დენები: I_A , I_B და I_C .

ამოხსნა

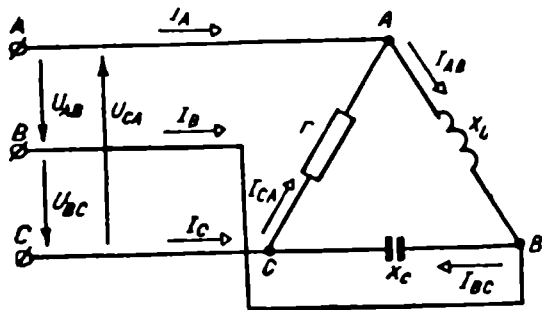
აღნიშნული წრედის ელექტრული სქემა შეიძლება გამოისახოს ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 77-ე ნახაზზე.

A , B და C ფაზის დენები:

$$I_{\text{ფ}A} = \frac{U}{r} = \frac{330}{4j} = 9,5 \text{ ა;}$$

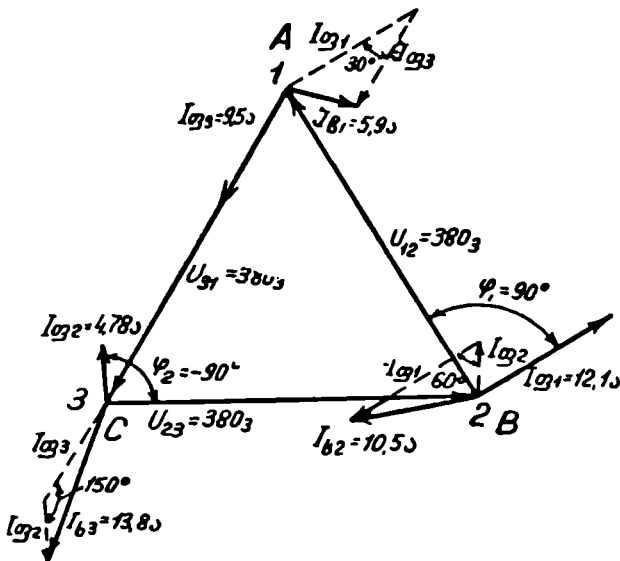
$$I_{\text{აბ}} = \frac{U}{x_L} = \frac{U}{2\pi fL} = \frac{330}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,1} = 12,1 \text{ ა};$$

$$I_{\text{აგ}} = \frac{U}{x_C} = U \cdot 2\pi fC = 380 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 4,78 \text{ ა}.$$



ნახ. 77. ელექტრული სქემა მაგალითისათვის.

ხაზური დენების განსაზღვრისათვის, სათანადო მასშტაბში, ვაგებთ წრედის U_{CA} , U_{AB} და U_{BC} ძაბვების ვექტორულ დიაგრამას და მასზევე გადავზომავთ (მასშტაბში) $I_{\text{აა}}$, $I_{\text{აბ}}$ და $I_{\text{აგ}}$ დენის ვექტორებს (ნახ. 78).



ნახ. 78. ვექტორული დიაგრამა მაგალითისათვის.

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, დატვირთვების ხასიათის მიხედვით ფაზური დენებისათვის მივიღებთ:

$I_{\text{ფ}A}$ — დენის ვექტორი თანხვედნილია U_{CA} ძაბვის ვექტორთან, რადგან $\varphi_1 = 0$;

$I_{\text{ფ}B}$ — დენის ვექტორი ჩამორჩება U_{AB} ძაბვის ვექტორს $\varphi_2 = 90^\circ$ კუთხით;

$I_{\text{ფ}C}$ — დენის ვექტორი წინ უსწრებს U_{BC} ძაბვის ვექტორს 90° კუთხით.

წრელის ხაზურ დენებს I_A , I_B და I_C დიაგრამიდან წარმოვიდგენია (მასშტაბში), როგორც ფაზათა დენების ვექტორების სხვაობებს:

$$\overline{I_A} = \overline{I_{\text{ფ}A}} - \overline{I_{\text{ფ}B}} = 5,9 \text{ ა};$$

$$\overline{I_B} = \overline{I_{\text{ფ}B}} - \overline{I_{\text{ფ}C}} = 10,5 \text{ ა};$$

$$\overline{I_C} = \overline{I_{\text{ფ}C}} - \overline{I_{\text{ფ}A}} = 13,8 \text{ ა}.$$

ხაზური დენები შეიძლება გამოითვალოს აგრეთვე ანალიზურადაც, დიაგრამის 1, 2 და 3 წერტილებზე ავებული ირიბკუთხიანი სამკუთხედების საშუალებით. ე. ი.

$$\begin{aligned} \overline{I_A} &= \sqrt{I_{\text{ფ}A}^2 + I_{\text{ფ}B}^2 - 2I_{\text{ფ}A}I_{\text{ფ}B} \cdot \cos 30^\circ} = \\ &= \sqrt{9,5^2 + 12,1^2 - 2 \cdot 12,1 \cdot 9,5 \cdot 0,866} = 5,9 \text{ ა}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{I_B} &= \sqrt{I_{\text{ფ}B}^2 + I_{\text{ფ}C}^2 - 2I_{\text{ფ}B} \cdot I_{\text{ფ}C} \cdot \cos 60^\circ} = \\ &= \sqrt{12,1^2 + 4,7^2 - 2 \cdot 12,1 \cdot 4,78 \cdot 0,5} = 10,5 \text{ ა}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{I_C} &= \sqrt{I_{\text{ფ}C}^2 + I_{\text{ფ}A}^2 - 2I_{\text{ფ}C} \cdot I_{\text{ფ}A} \cdot \cos 150^\circ} = \\ &= \sqrt{4,7^2 + 9,5^2 - 2 \cdot 4,7 \cdot 9,5 \cdot (-0,866)} = 13,8 \text{ ა}. \end{aligned}$$

§ 4-10. სამფაზიანი დენის მბრუნავი ველი

სამფაზიანი დენის დამახასიათებელ თავისებურებას და ამ სისტემის მეტად მნიშვნელოვან თვისებას წარმოადგენს სივრცეში მბრუნავი მაგნიტური ველის შექმნა. მაგნიტური ველის ბრუნვას ამ სისტემაში ქმნის სამფაზიანი დენი, როდესაც მას ვატარებთ სამფაზიან ხვეულში—სამაერთგვაროვანი კოქის ხვეულებში, რომლებიც ურთიერთ დაძრული არიან 120° -ით და ჩართულები — ვარსკვლავად ან სამკუთხედად. სწორედ მაგნიტური ველის ამ თავისებურებებიდან გამომდინარეობს სამფაზიანი დენის ასინქრონული ძრავების მოქმედების პრინციპი.

რკინის უძრავი ნაწილი (სტატორი), რომელშიაც მოთავსებულია ძრავას სამფაზიანი ხვეული, წარმოადგენს კოქების გულარს და ასრულებს მათი მაგნიტური ნაკადის გამტარობის (არხის) როლს.

79-ე ნახაზზე წარმოდგენილია მბრუნავი მაგნიტური ველის წარმოქმნის პრინციპული სქემა. A , B და C კოქების მაგნიტური ნაკადის სივრცული ღერძები. რომლებიც ნახაზზე ნაჩვენებია ისრებით, ემთხვევიან კოქების ღერძებს. თუ ამ კოქების ხვეულებს მივუერთებთ სამფაზიან ქსელს, მაშინ მათში გამავალი დენების მყისიერი მნიშვნელობები a კუთხის შესაბამის დროის შუალედში ასე გამოიხატება:

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \cdot \sin \alpha; \\ i_B &= I_m \cdot \sin(\alpha - 120^\circ); \\ i_C &= I_m \cdot \sin(\alpha - 140^\circ). \end{aligned}$$

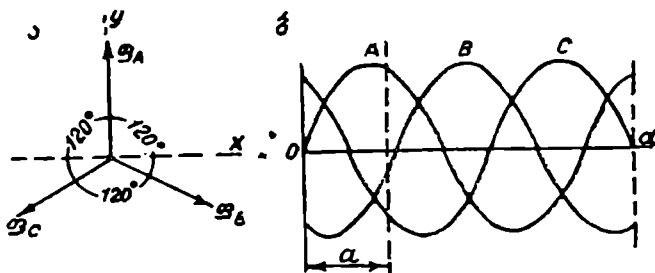
ნახ. 79. მბრუნავი მაგნიტური ველის მიღების სქემა.

კოქები, რომლებშიც სინუსოიდური დენები გაივლიან, ქმნიან სინუსოიდური ხასიათის მაგნიტურ ნაკადებს.

თუ დენის ამპლიტუდურ I_m მნიშვნელობის შესაბამის მაგნიტური ნაკადის მაქსიმალურ სიდიდეს Φ_m -ით აღვნიშნავთ, მაშინ ფაზათა ნაკადების მყისიერი მნიშვნელობები იქნება:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_m \cdot \sin \alpha; \\ \Phi_B &= \Phi_m \cdot \sin(\alpha - 120^\circ); \\ \Phi_C &= \Phi_m \cdot \sin(\alpha - 240^\circ). \end{aligned} \right\} \quad (111)$$

ვინაიდან სიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევისათვის მაგნიტური ველის მაქსიმალური მნიშვნელობა (Φ_m) უცვლელია სამივე ფაზისათვის, ამიტომ ვექტორული და ტალღური დიაგრამები გამოიხატება შემდეგნაირად (ნახ. 80):



ნახ. 80. სამფაზიანი დენის მაგნიტური ნაკადის ვექტორული და ტალღური დიაგრამები.

ა — ვექტორული დიაგრამა; ბ — ტალღური დიაგრამა.

მბრუნავი ველის სრული მაგნიტური ნაკადის მნიშვნელობა, დროის ნებისმიერ შუალედში, სამივე კოჭის მაგნიტური ნაკადების გეომეტრიულ ჯამს უდრის

$$\boxed{\Phi = \Phi_A + \Phi_B + \Phi_C} \quad (112)$$

ამგვარად, სამფაზიანი დენის მბრუნავი ველის საერთო მაგნიტური ნაკადი ტოლია სამივე კოჭის ნაკადების გეომეტრიული ჯამისა, თუ ნაკადების სივრცული ღერძები ერთხვევა კოჭების ღერძებს.

საერთო მაგნიტური ნაკადის ანალიზურ გამოთვლას აწარმოებენ მისი Φ_x და Φ_y მდგენელების განსაზღვრის საშუალებით კოორდინატთა x და y ღერძების მიმართ (ნახ. 81).

სრული ნაკადის მდგენელი x ღერძის მიმართ

$$\Phi_x = \Phi_A \cdot \cos 90^\circ + \Phi_B \cdot \cos 30^\circ - \Phi_C \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} (\Phi_B - \Phi_C),$$

ზოლო სრული ნაკადის მდგენელი y ღერძის მიმართ

$$\begin{aligned} \Phi_y &= \Phi_A - \Phi_B \cdot \cos 60^\circ - \Phi_C \cdot \cos 60^\circ = \Phi_A - \\ &- (\Phi_B + \Phi_C) \cdot \cos 60^\circ = \Phi_A - \frac{1}{2} (\Phi_B + \Phi_C). \end{aligned}$$

თუ შევტანთ აღნიშნულ ტოლობებში კოჭების მაგნიტური ნაკადის მნიშვნელობებს, მაშინ

$$\begin{aligned} \Phi_x &= \frac{\sqrt{3}}{2} \Phi_m \cdot [\sin(\alpha - 120^\circ) - \sin(\alpha - 240^\circ)] = \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \Phi_m [\sin \alpha \cdot \cos 120^\circ - \cos \alpha \cdot \sin 120^\circ + \sin \alpha \cdot \cos 240^\circ + \\ &+ \cos \alpha \cdot \sin 240^\circ] = \frac{\sqrt{3}}{2} \Phi_m \cdot \left[-\frac{1}{2} \sin \alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \alpha + \right. \\ &\left. + \frac{1}{2} \sin \alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \alpha \right], \end{aligned}$$

ანუ

$$\boxed{\Phi_x = -\frac{3}{2} \Phi_m \cdot \cos \alpha} \quad (113)$$

ანალოგიურად

$$\begin{aligned} \Phi_y &= \Phi_m \left[\sin \alpha - \frac{1}{2} \sin(\alpha - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\alpha - 240^\circ) \right] = \\ &= \Phi_m \left[\sin \alpha - \frac{1}{2} \sin \alpha \cdot \cos 120^\circ + \frac{1}{2} \cos \alpha \cdot \sin 120^\circ - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \sin \alpha \cdot \cos 240^\circ + \frac{1}{2} \cos \alpha \cdot \sin 240^\circ \right] = \Phi_m \left[\sin \alpha + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{4} \sin \alpha + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos \alpha + \frac{1}{4} \sin \alpha - \frac{\sqrt{3}}{4} \cos \alpha \right], \end{aligned}$$

ანუ

$$\boxed{\Phi_y = \frac{3}{2} \Phi_m \cdot \sin \alpha} \quad (114)$$

სამფაზიანი დენის მბრუნავი ველის ჯამური მაგნიტური ნაკადი, როგორც ეს 81-ე ნახაზიდან ჩანს,

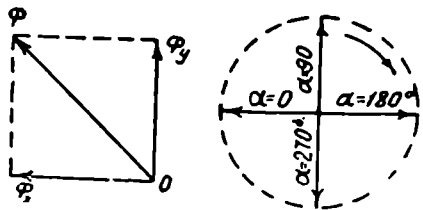
$$\Phi = \sqrt{\Phi_x^2 + \Phi_y^2} = \sqrt{\left(-\frac{3}{2} \Phi_m \cos \alpha\right)^2 + \left(\frac{3}{2} \Phi_m \sin \alpha\right)^2},$$

ან საბოლოოდ

$$\boxed{\Phi = \frac{3}{2} \Phi_m} \quad (115)$$

ამგვარად, სამხვეულებიანი მიმღები, როდესაც იგი იკვებება სამფაზიანი დენით, ქმნის მაგნიტური ველის ნაკადს, რომელიც ფაზური მაგნიტური ველის ნაკადის მაქსიმალური მნიშვნელობის 3/2-ის ტოლია და უწყვეტი ბრუნვის მდგომარეობაში იმყოფება.

სამფაზიანი დენის მბრუნავი მაგნიტური ველის არსის ნათელსაყოფად საკმარისია Φ_x და Φ_y მდგენლების განხილვა α კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ერთი სრული შემობრუნების უქალედში (ნახ. 81, ბ):



ნახ. 81. მბრუნავი მაგნიტური ველის ღიაგამები.

როდესაც $\alpha=0$, $\Phi_x = -\frac{3}{2} \Phi_m$, $\Phi_y=0$, მაშინ $\Phi = -\Phi_x$ და მისი ვექტორი მიმართულია მარცხნივ. როდესაც $\alpha=90^\circ$, $\Phi_x=0$, $\Phi_y = \frac{3}{2} \Phi_m$, მაშინ $\Phi = \Phi_y$ და მისი ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად (ზევით). როდესაც $\alpha=180^\circ$, $\Phi_x = \frac{3}{2} \Phi_m$, $\Phi_y=0$, გვაქვს $\Phi = \Phi_x$ და მისი ვექტორი მიმართულია მარჯვნივ.

იმ შემთხვევაში, როცა $\alpha=270^\circ$, $\Phi_x=0$, $\Phi_y = -\frac{3}{2} \Phi_m$, მაშინ $\Phi = -\Phi_y$ და მისი ვექტორი მიმართულია ვერტიკალურად (ქვევით).

დაბოლოს, როცა $\alpha=360^\circ$, $\Phi_x = -\frac{3}{2} \Phi_m$, $\Phi_y=0$, მაშინ $\Phi = -\Phi_x$ და მისი ვექტორი მიმართულია ისევ მარცხნივ.

ამრიგად, α კუთხის ცვლილებით 0° -დან 360° -მდე, მაგნიტური ნაკადის ვექტორმა (Φ) შეასრულა ერთი სრული შემობრუნება.

თუ დენის სიხშირე f -ის ტოლია, ე. ი. დენი იცვლება სიხშირით f პერიოდში ერთ წამში, მაშინ სამფაზიანი წრედის მაგნიტური ნაკადი ერთ წუთში შეასრულებს $60 f$ ბრუნვას, ანუ

$$n = 60 \cdot f,$$

სადაც n მაგნიტური ნაკადის (ველის) ბრუნთა რიცხვია.

მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი დამოკიდებული იქნება აგრეთვე გრაგნილთა მიერ შექმნილ წყვილ პოლუსთა რიცხვის რაოდენობაზე. სამფაზიანი ხვეულის 2, 3 და 4 წყვილ პოლუსთა შემთხვევაში, წრედის დენის ერთი პერიოდის ცვლილება გამოიწვევს მაგნიტური ველის შემობრუნებას წრის მხოლოდ $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ ან $\frac{1}{4}$ ნაწილით. თუ სამფაზიანი ხვეულის წყვილ პოლუსთა რიცხვს p -თი აღენიშნავთ, მაშინ მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი გამოისახება შემდეგი ფარდობით

$$\boxed{n = \frac{60 \cdot f}{p}} \quad (116)$$

ამგვარად, სამფაზიანი დენის მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი უწყვეტია, პირდაპირპროპორციულია დენის სიხშირისა და უკუპროპორციულია წყვილ პოლუსთა რიცხვისა.

გამოვიყვანოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. განვსაზღვროთ ცვლადი დენის მანქანების მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვები, თუ მათი წყვილ პოლუსთა რიცხვები 1 და 3 ტოლია. ამასთან, პირველ შემთხვევაში მანქანები ჩაირთვებიან ქსელში, რომლის სიხშირე 50 ჰც, ხოლო მეორე შემთხვევაში — 60 ჰც-ის მქონე ქსელში.

ამოცხნა

მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი, როცა $f=50$ ჰც-ია და $p=1$,

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ ბრ/წმ.}$$

მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი, როცა $f=50$ ჰც-ია და $p=3$,

$$n = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ ბრ/წმ.}$$

მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი, როცა $f=60$ ჰც-ია და $p=1$,

$$n = \frac{60 \cdot 60}{1} = 3600 \text{ ბრ/წმ.}$$

მაგნიტური ველის ბრუნთა რიცხვი, როდესაც $f=60$ ჰც და $p=3$,

$$n = \frac{60 \cdot 60}{3} = 1200 \text{ ბრ/წმ.}$$

§ 4-11. აქტიური დაჯახვა

1. სამფაზიანი დენის სიმძლავრე, სიმეტრიული დატვირთვის დროს, საშუალო ფაზურის ანუ აქტიური სიმძლავრის სამჯერადია, ე. ი.

$$P = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi.$$

2. სამფაზიანი დენის აქტიური სიმძლავრე, სიმეტრიული დატვირთვის დროს, ფაზათა როგორც ვარსკვლავად, ისე სამკუთხედად შეერთებისას, უცვლელია. ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობებით იგი შემდეგი ფარდობით გამოისახება

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi.$$

3. სამფაზიანი დენის რეაქტიული სიმძლავრე (Q), აქტიური სიმძლავრის ანალოგიურად, ფაზათა ვარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთების დროს გამოისახება ფარდობით

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi.$$

4. ელექტრული ენერჯის მიმღებთა (დატვირთვის) ჩართვა სამფაზიანი სისტემის ქსელში ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთების საშუალებით ხორციელდება.

მიმღებთა ვარსკვლავად ჩართვა ოთხსადენიანი ან სამსადენიანი წრედების საშუალებით სრულდება. სიმეტრიული დატვირთვის დროს დენის ძალა ნულოვან სადენში ნულის ტოლია

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0.$$

მიმღებთა ვარსკვლავად შეერთების დროს ძალაში რჩება სამფაზიანი სისტემისათვის დადგენილი ფაზური და ხაზური ელექტრული სიდიდეების თანაფარდობები:

$$\begin{aligned} I_{\text{ფ}} &= I_{\text{ხ}} = I; \\ U_{\text{ფ}} &= \frac{U_{\text{ხ}}}{\sqrt{3}} = \frac{U}{\sqrt{3}}; \\ P_{\text{კ}} &= \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi. \end{aligned}$$

5. მიმღებთა სამკუთხედად ჩართვის დროს, ვარსკვლავად შეერთებული სქემისაგან განსხვავებით, შესამჩნევად იცვლება წრედის ელექტრული სიდიდეთა თანაფარდობები. ამ შემთხვევაში ფაზური და ხაზური სიდიდეების მოქმედი მნიშვნელობები შემდეგი თანაფარდობით გამოისახებიან:

$$\begin{aligned} U_{\text{ფ}} &= U_{\text{ხ}} = U; \\ I_{\text{ფ}} &= \frac{I_{\text{ხ}}}{\sqrt{3}} = \frac{I}{\sqrt{3}}; \\ P_{\Delta} &= \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \cdot \frac{U^2}{z} \cdot \cos \varphi. \end{aligned}$$

ამგვარად, სამკუთხედად შეერთებული დატვირთვის აქტიური სიმძლავრე სამჯერ უფრო მეტია, ვიდრე ვარსკვლავად შეერთებული დატვირთვის აქტიური სიმძლავრე.

6. სამფაზიანი დენისათვის დამახასიათებელია ჰივრცეში მბრუნავი მაგნიტური ველის შექმნის თვისება. აღნიშნული ველის სრული მაგნიტური ნაკადი (Φ) ფაზათა (გრავილების) მაგნიტური ნაკადების გეომეტრიულ ჯამს უდრის

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_A + \bar{\Phi}_B + \bar{\Phi}_C.$$

მბრუნავი მაგნიტური ნაკადის სიდიდე მისი მაქსიმალური Φ_m მნიშვნელობის $\frac{3}{2}$ -ს შეადგენს და უწყვეტი ბრუნვის მდგომარეობაში იმყოფება, ე. ი.

$$\psi = \frac{3}{2} \cdot \phi_m;$$

$$\phi_x = -\frac{3}{2} \cdot \phi_m \cdot \cos \alpha;$$

$$\phi_y = \frac{3}{2} \cdot \phi_m \cdot \sin \alpha.$$

7. სამფაზიანი დენის მაგნიტური ნაკადის ბრუნთა რიცხვი (n) ზირ-დაპირპროპორციულია დენის სიხშირისა (f) და უკუპროპორციულია სტატორის წყვილ პოლუსთა რიცხვისა (p), ე. ი.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}.$$

მაგნიტური ველის ბრუნვის მიმართულების შეცვლისათვის საკმარისია სტატორის მკეცხავი ორი ნებისმიერი ხაზური სადენის ბოლოების გადაერთება (შეცვლა).

§ 4-12. საპარჭიზო

1. მოცემულია სამფაზიანი ოთხსადენიანი სისტემა, რომლის ძაბვა 220/127 ვოლტის ტოლია და რომელშიც ჩართულია ნათურებიანი დატვირთვის 3 ჯგუფი. საჭიროა განისაზღვროს ნულოვანი სადენის დენის ძალა, თუ ცნობილია, რომ წრედის ხაზური დენები $I_A = 20$ ა, $I_B = 12$ ა და $I_C = 8$ ა. ააგეთ ვექტორული დიაგრამა.

2. სამფაზიან სამსადენიან წრედთან, რომლის ხაზური ძაბვა $U_b = 380$ ვოლტია, ვარსკვლავად მიერთებულია სამი ტოლი წინაღობა $Z_A = Z_B = Z_C = 40$ ომს. თითოეული ფაზის სიმძლავრის კოეფიციენტი უდრის 0,9. უნდა განისაზღვროს წრედის სადენებში გამავალი დენები და აიგოს მასშტაბში ვექტორული დიაგრამა.

3. სამფაზიანი სისტემის ქსელში, რომლის ხაზური ძაბვა $U_b = 220$ ვოლტია, სამკუთხედის სქემით ჩართულია ნათურებიანი დატვირთვების 3 ჯგუფი. თითოეულ ჯგუფში ნათურების რიცხვია $n_{AB} = 30$ ნათ, $n_{BC} = 20$ ნათ, $n_{CA} = 40$ ნათ. უნდა განისაზღვროს წრედის ხაზური დენები.

4. სამფაზიანი წრედისათვის საჭიროა განისაზღვროს: ხაზური დენები (I_A , I_B და I_C), აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები (P , Q და S), თუ ცნობილია, რომ წრედის ხაზური ძაბვები ერთმანეთის ტოლია $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_b = 380$ ვ, ხოლო ფაზათა წინაღობები წარმოადგენენ აქტიურ, ინდუქციურ და ტევადურ წინაღობებს:

$$x_L = 38 \text{ ომს, } x_C = 38 \text{ ომს და } r = 38 \text{ ომს.}$$

5. სამფაზიანი დენის ქსელში ჩართულია სამკუთხედად შეერთებული მიმღები. ეს მიმღები ხარჯავს აქტიურ სიმძლავრეს $P=30$ კვტ-ს და დენს $I_b=69.2$ ა. ხაზური ძაბვა $U_b=380$ ვოლტს. საჭიროა განისაზღვროს მიმღების აქტიური (r) და ინდუქციური (x_L) წინაღობები, მიმღების ინდუქციურობა (L) და სიმძლავრის კოეფიციენტი ($\cos \varphi$) თითოეულ ფაზაში, თუ $Z_{AB}=Z_{BC}=Z_{CA}=Z$, ხოლო დენის სისწიერე $f=50$ ჰც. უნდა ვიპოვოთ აგრეთვე დენის ძალა ქსელში (I) იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $U=380$ ვ და იგი შეერთებულია ვარსკვლავად.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას უდრის სამფაზიანი დენის აქტიური სიმძლავრე, გამოსახული ძაბვისა და დენის ფაზური მნიშვნელობებით? გამოიყვანეთ.

2. რას უდრის სამფაზიანი დენის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები დენისა და ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობებში გამოსახული? გამოიყვანეთ.

3. რა თანაფარდობა არსებობს სამფაზიანი სისტემის ქსელის დენისა და ძაბვის ხაზურ მნიშვნელობებსა და ქსელში ჩართულ ვარსკვლავად შეერთებული მიმღების დენისა და ძაბვის ფაზურ მნიშვნელობებს შორის? გამოიყვანეთ ვექტორული დიაგრამების საშუალებით.

4. რა შემთხვევაში გამოიყენებენ სამსადენიან სისტემას ვარსკვლავად შეერთებული მიმღებისათვის? დახაზეთ ელექტრული სქემა და დაასაბუთეთ ანალიზურად.

5. რა თანაფარდობა არსებობს სამფაზიანი სისტემის ქსელის დენისა და ძაბვის ხაზურ მნიშვნელობებსა და მასში ჩართულ სამკუთხედად შეერთებული მიმღების დენისა და ძაბვის ფაზურ მნიშვნელობებს შორის? გამოიყვანეთ ანალიზურად ვექტორული დიაგრამის საშუალებით.

6. როგორ შეიცავდება ხაზური დენები. თუ მიმღების სქემას გადაეკერებთ ვარსკვლავიდან სამკუთხედის შეერთებაზე? დახაზეთ ელექტრული სქემა და დაასაბუთეთ ანალიზურად.

7. რა ცვლილებას განიცდიან სამფაზიანი სისტემის ფაზური დენები და ძაბვები ერთ-ერთი ხაზური სადენის გაწყვეტის დროს? დახაზეთ ელექტრული სქემა და დაასაბუთეთ ანალიზურად.

7. რა ცვლილებას განიცდიან სამფაზიანი სისტემის ფაზური დენები და ძაბვები ერთ-ერთი ხაზური სადენის გაწყვეტის დროს? დახაზეთ ელექტრული სქემა და დაასაბუთეთ ანალიზურად.

8. როგორ მიიღება სამფაზიანი დენის სისტემაში მბრუნავი, მაგნიტური ნაკადი (ველი)? დახაზეთ ელექტრული სქემა და გამოიყვანეთ ანალიზურად.

9. როგორ ხორციელდება მბრუნავი მაგნიტური ველის მიმართულების შეცვლა? დაასაბუთეთ გრაფიკულად და ანალიზურად.

10. რას უდრის მაგნიტური ნაკადის ბრუნთა რიცხვი?

დავალება 14

§ 4-13. ლაზორატორიული სამუშაო № 5

ღატვირთვის ვარსკვლავად შეერთების შესწავლა სამფაზიან სისტემაში

სამუშაოს მიზანი

1. სამფაზიანი დენის ოთხსადენიან წრედებში ელექტრული სიდიდეების გაზომვის ჩვევების შეშენა.
2. ელექტრული მაჩვენებლების ფაზურ და ხაზურ სიდიდეთა თანაფარდობების პრაქტიკული გაცნობა ვარსკვლავად შეერთების დროს.
3. ვექტორული დიაგრამების აგების ჩვევების გამომუშავება.

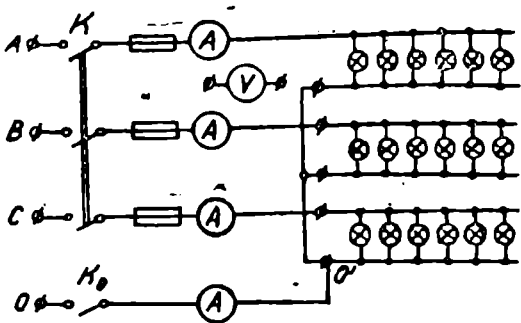
სამუშაოს გეგმა

1. სამუშაოს დაწყებამდე გაიმეორეთ თეორიული მასალა, მოცემული მე-12 და მე-13 დავალებებში.
2. გაეცანით სამუშაო ადგილს, ცდისათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს, ელექტრულ და საკომუტაციო მოწყობილობებს, შეიტანეთ რვეულში სათანადო ჩანაწერები.
3. აკრიფეთ სამუშაოს ელექტრული სქემა, რომელსაც ქსელში ჩართვით მასწავლებლის შემოწმების და ნებართვის შემდეგ.
4. გაზომეთ: დენის ძალები და ძაბვები K_0 დენმკვეთის სხვადასხვა მდგომარეობისათვის. წრედის სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვების დროს ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში.
5. ჩაატარეთ საჭირო გამოთვლები და შემდეგ შეავსეთ ცხრილი.
6. ააგეთ დენისა და ძაბვის ვექტორული დიაგრამები წრედის სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვებისათვის.
7. შეადარეთ ერთმანეთს ჩატარებული სამუშაოს შედეგები. გააკეთეთ დასკვნები, დადგინილი ფორმით შეადგინეთ სამუშაოს ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

აღნიშნული სამუშაო სრულდება 82-ე ნახაზზე მოცემული ელექტრული სქემის შესაბამისად. სამუშაოს დაწყების წინ ყურადღებას ვამახვილებთ წრედის ელექტრული მაჩვენებლების ფაზურ და ხაზურ თანაფარდობებზე სისტემის ვარსკვლავად შეერთების დროს.

პირველ შემთხვევაში K_0 დენმკვეთის ჩართვით მივიღებთ ვარსკვლავად შეერთებულ 4-სადენიან სისტემას. მთავარი დენმკვეთით (K),



ნახ. 82. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

საცდელი წრედის ქსელში ჩართვის შემდეგ, ვიწყებთ დენის ძალებისა და ძაბვების ფაზურ და ხაზურ სიდიდეთა ათვლებს. ხელსაწყოთა ჩვენებების საფუძველზე გამოვთვლით შესაბამისად:

$$P_{\Sigma} = U_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma}; \quad \frac{U_{AB}}{U_A}; \quad \frac{U_{BC}}{U_B}; \quad \frac{U_{CA}}{U_A}.$$

შედეგები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრილი 11).

ცხრილი 11

დაკვირვება- თარიღი	ხელსაწყოთა ჩვენებები										გამოსათვლელი სიდიდე						შენიშვნები	
	I _A	I _B	I _C	I ₀	U _A	U _B	U _C	U ₀	U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}	P _A	P _B	P _C	P	$\frac{U_{AB}}{U_A}$		$\frac{U_{BC}}{U_B}$
	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	—	—	—

მეორე შემთხვევა: K_0 დენმკვეთის ამორთვისა და ნათურების რაოდენობის ცვლით საცდელ წრედში ვაღწევთ დატვირთვის სიმეტრიულობას. შემდეგ გადავიღოთ წრედის არასიმეტრიულ რეჟიმში გაზომვებსა და გათვლებზე. ასიმეტრიულობას შივილებით K_0 დენმკვეთის ჩართვით და საცდელი წრედის პირველი (A) და მეორე (B) ფაზის დატვირთვების შემცირებით (2 ან 3 ნათურის ამორთვით). წინა დაკვირვებების მსგავსად, ამჯერადაც, ავითვლით დენებისა და ძაბვების ჩვენებებს ხელსაწყოებიდან და მათ საფუძველზე ვაკეთებთ გათვლებს, რომლებიც შეგვაქვს იმავე (ცხრ. 11) ცხრილში.

წრედის აღნიშნულ (ასიმეტრიულ) მდგომარეობაში ამოვრთავთ K_0 დენმკვეთს და ვაკვირდებით საცდელი წრედის ფაზათა ნათურების სი-

კაშკაშის ინტენსივობას. ამის შემდეგ, წინა ცდების ანალოგიურად, ვზომავთ დენისა და ძაბვის მნიშვნელობებს. მათ საფუძველზე ვაკეთებთ საჭირო გათვლებს და შედეგები შეგვაქვს იმავე ცხრილში (ცხრ. 11).

მეორე შემთხვევისათვის მიღებული შედეგების ურთიერთშედარებით, ვადგენთ, რომ არასიმეტრიული დატვირთვის დროს

$$U_A \neq U_B \neq U_C.$$

სამუშაოს შესრულების შედეგად (ორივე შემთხვევისათვის), ხელსაწყოთა ჩვენებებისა და გათვლების საფუძველზე ვაგებთ საცდელი წრედის სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვების შესაბამის დენებისა და ძაბვების ვექტორულ დიაგრამებს (მასშტაბში). ცდის სხვა მაჩვენებლებთან ერთად ეს დიაგრამები შეგვაქვს შესრულებული სამუშაოს ოქმში.

საკონტროლო კითხვები

1. რატომ არის ვარსკვლავად შეერთებული სიმეტრიული დატვირთვის დროს ფაზური და ხაზური დენები ერთმანეთის ტოლი?
2. რატომ არის დატვირთვის ვარსკვლავად შეერთების დროს, ხაზური დენების ურთიერთ ტოლობის შემთხვევაში, ნულოვანი სადენის დენი ნულის ტოლი?
3. რით აიხსნება, რომ K_0 დენმკვეთის ამორთვა არ მოქმედებს სწომი ხელსაწყოების ჩვენებაზე და ნათურების განათებულობაზე?
4. შეადარეთ ხაზური დენები არასიმეტრიული დატვირთვის დროს და დაასაბუთეთ, რატომ არ არიან ისინი ერთნაირი სიდიდის?
5. რატომ არ უდრის დენი ნულს ნულოვან სადენში, სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთებული ასიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში?
6. ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზიანი სისტემის არასიმეტრიული დატვირთვის დროს K_0 დენმკვეთის ამორთვით რატომ იცვლება ნათურების სიკაშკაშე?
7. ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზიანი სისტემის არასიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში შეადარეთ ერთმანეთს ფაზათა ძაბვები და განმარტეთ ნულოვანი სადენის დანიშნულება.

დავალემა 15

§ 4-14. ლაბორატორიული სამუშაო № 6

დატვირთვის „სამაუთხედალ“ შეერთების შესწავლა სამფაზიან სისტემაში

სამუშაოს მიზანი

1. სამფაზიანი დენის სამსადენიან წრედებში ელექტრულ სიდიდეთა გაზომვის ჩვენებების შექმნა.
2. ელექტრული მაჩვენებლების ფაზური და ხაზური სიდიდეების თანაფარდობათა პრაქტიკული გაცნობა სამკუთხედად შეერთების დროს.
3. ვექტორული დიაგრამების აგების ჩვენების გამომუშავება.

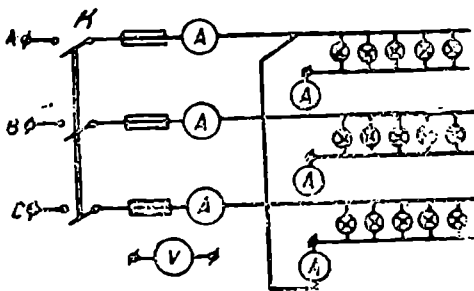
სამუშაოს გეგმა

1. სამუშაოს დაწყების წინ გაიმეორეთ თეორიული მასალა, მოცემული მე-12 და მე-13 დავალებებში.
2. გაეცანით სამუშაო ადგილს, ცდისათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს, ელექტრულ და საკომუტაციო მოწყობილობებს. სათანადო ჩანაწერები შეიტანეთ რვეულში.
3. აკრიფეთ სამუშაოს ელექტრული სქემა, რომელსაც ქსელში ჩართვით მასწავლებლის შემოწმებისა და ნებართვის შემდეგ.
4. გაზომეთ დენის ძალები და ძაბვები დენმკვეთის სხვადასხვა მდგომარეობისათვის. წრედის სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვების დროს ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში.
5. ჩაატარეთ საჭირო გათვლები და შედეგები შეიტანეთ ცხრილში.
6. ააგეთ დენისა და ძაბვის ვექტორული დიაგრამები წრედის სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვებისათვის.
7. მიღებული შედეგების გაანალიზების შემდეგ გააკეთეთ დასკვნები და შეადგინეთ ჩატარებული სამუშაოს ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

აღნიშნული სამუშაო სრულდება 83-ე ნახაზზე მოცემული ელექტრული სქემის შესაბამისად. ცდის დაწყების წინ ყურადღებას ვამახვილებთ ელექტრული მაჩვენებლების ფაზურ და ხაზურ თანაფარდობებზე სისტემის სამკუთხედად შეერთების დროს.

პირველად ავითვლით საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებებს სიმეტრიული დატვირთვისათვის, რისთვისაც წრედის სამივე ფაზაში ჩაირთვება ელნათურების თანაბარი რაოდენობა. მთავარი დენმკვეთის (K) ჩართვის შემდეგ იზომება ფაზური და ხაზური დენები და ძაბვები. საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებების საფუძველზე გამოითვლით ფაზურ და ხაზურ სიდიდეებს შემდეგი თანაფარდობების შესაბამისად:



ნახ. 83. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

$$I_A = I_B = I_C; \quad I_{\Phi} = \frac{I_{\Sigma}}{\sqrt{3}};$$

$$P_{\Sigma} = U_{\Sigma} I_{\Sigma} \cdot \cos \varphi; \quad U_{\Sigma} = U_{\Phi}$$

ვინაიდან აქ $\cos \varphi = 1$, ამიტომ $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$.

მიღებული შედეგები შეგვაქვს მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 12).

ცხრილი 12

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყობა ჩვენებები									გამოსათვლელი სიღებები					შენიშვნები
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_{AH}	I_{BC}	I_{CA}	I_A	I_B	I_C	$\frac{I_b}{I_a}$	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	P	
	3	13	3	ა	ა	ა	ა	ა	ა	—	3ბ	3ბ	3ბ	3ბ	

ანალოგიურ გაზომვებსა და გათვლებს ჩავატარებთ მეორე შემთხვევაშიაც, ანუ სიმეტრიული დატვირთვის დროს, რასაც ვალწევთ სამფაზიანი სისტემის ერთ-ერთი ფაზის დატვირთვის შემცირებით (ელნ-თურების რიცხვის შემცირებით). შედეგები შეგვაქვს იმავე (მე-12) ცხრილში.

მიღებული მასალის გაანალიზების შედეგად ვრწმუნდებით, რომ სამფაზიან სისტემაში სამკუთხედად შეერთებული ასიმეტრიული დატვირთვის დროს

$$I_A \neq I_B \neq I_C \quad \text{და} \quad U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$$

სამუშაოს შესრულების შედეგად (ორივე შემთხვევისათვის) ხელსაწყობა ჩვენებების და გათვლების გათვალისწინებით ავაგებთ საცდელი წრედის სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვების შესაბამისი დენებისა და ძაბვების ვექტორულ დიაგრამებს (მასშტაბში). ცდის სხვა მაჩვენებლებთან ერთად ეს დიაგრამები შეგვაქვს შესრულებული სამუშაოს ოქმში.

საკონტროლო კითხვები

1. რატომ არის სამკუთხედად შეერთებული სიმეტრიული დატვირთვის დროს ფაზური და ხაზური ძაბვები ერთმანეთის ტოლი?
2. შეადარეთ ხაზური და ფაზური დენების თანაფარდობები და დაასაბუთეთ, რატომ ჩნდება გამოსახულებაში $\sqrt{3}$?
3. შეადარეთ ერთმანეთს სამკუთხედად შეერთებულ ფაზებში ჩართული ელნათურების ჯგუფების განათებულობა სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვის დროს და განსაზღვრეთ იცვლება თუ არა იგი?
4. დაასაბუთეთ, მოქმედებს თუ არა სამკუთხედად შეერთების დროს ერთი ფაზის დატვირთვის შეცვლა მეორე ფაზზე?
5. რით აიხსნება, რომ ხაზური სიმძლავრე მეტია ფაზურ სიმძლავრეზე $\sqrt{3}$ -ით?

6. იცვლება თუ არა ხაზური და ფაზური დენების თანაფარდობა სანქუთხელაღ შეერთებული სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვების შემთხვევაში?

დავალემა 16

§ 4-15. ლაბორატორიული სამუშაო № 7

მბრუნავი მაგნიტური ველის შესწავლა

სამუშაოს მიზანი

1. მბრუნავი მაგნიტური ველის მიღება და მისი პრაქტიკული შესწავლა.
2. მბრუნავი მაგნიტური ველის და მაგნიტური ინდუქციის გაზომვის და განსაზღვრის ჩვევების გამომუშავება.

სამუშაოს გეგმა

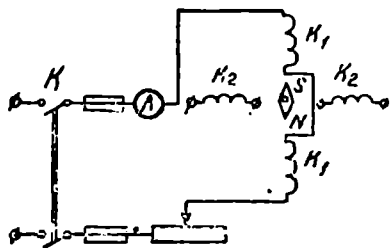
1. სამუშაოს დაწყებამდე გაიმეორეთ თეორიული მასალა, მოცემული მე-13 დავალემაში.
2. გაეცანით სამუშაო ადგილს, ცდისათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს, ელექტრულ და საკომუტაციო მოწყობილობებს და გააკეთეთ საჭირო ჩანაწერები.
3. თანმიმდევრულად აკრიფეთ სამუშაოსათვის განკუთვნილი ელექტრული სქემები, რომელთა ჩართვას ქსელში ყოველთვის ახდენთ მასწავლებლის შემოწმებისა და ნებართვის შემდეგ.
4. განსაზღვრეთ საცდელ წრედში ჩართული კოქის მფეთქავ მაგნიტური ნაკადი (ველი) და მისი მიმართულება.
5. განსაზღვრეთ სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სტატორის გრაფნილთა მფეთქავი მაგნიტური ნაკადები და მათი მიმართულებები.
6. დაადგინეთ, ჯერ თეორიულად, ხოლო შემდეგ ცდით, სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სტატორის ხვეულებში წარმოქმნილი მაგნიტური ველის ბრუნვის არსი.
7. გაანალიზეთ შესრულებული სამუშაოს შედეგები. გააკეთეთ დასკვნები და დადგენილი ფორმით შეავსეთ ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

აღნიშნული სამუშაო სრულდება ორ წყებად. პირველ შემთხვევაში ირკვევა ცვლადი დენით მკვებავი კოქის მაგნიტური ველის ხასიათი და მიმართულება, ხოლო მეორე შემთხვევაში ხდება სამფაზიანი ასინქრონული ძრავას სტატორის მაგნიტური ველის შესწავლა.

პირველ შემთხვევაში სამუშაო სრულდება 84-ე ნახაზზე წარმოდ-

გენილი ელექტრული სქემის შესაბამისად. $K_1 - K_1$ კოჭებს შორის თავსდება მაგნიტური ისარი და წრედის ჩართვის შემდეგ ვამოწმებთ მფეთქავი მაგნიტური ველის მიმართულებას. შემდეგ იმავე $K_1 - K_1$ კოჭებს შორის ვათავსებთ გამზომ კოჭას, რომლის მომჭერებზე მიერთებულია ვოლტმეტრი. დავრწმუნდებით რა იმაში, რომ გამზომი კოჭის ღერძი დაემთხვა მაგნიტური ნაკადის ღერძს, ავითვლით ვოლტმეტრის ჩვენებას, რაც შეესაბამება გამზომ კოჭაში ინდუქცირებულ ე. მ. ძალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომელიც გამოისახება შემდეგი ფარდობით:



ნახ. 84. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

$$U \approx E = 4,44fW\Phi_m.$$

აღნიშნული გამოსახულებიდან, რადგან ცნობილია კოჭის ხვეულთარიცხვი და ზომები (W , S), გამოითვლება როგორც მაგნიტური ნაკადი

$$\Phi_m = \frac{U}{4,44fW},$$

ისე მაგნიტური ინდუქცია

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S}.$$

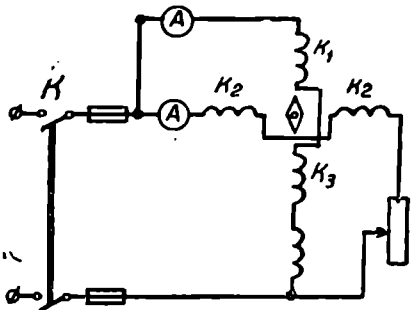
მიღებული შედეგები შეგვაქვს ცხრილში (ცხრ. 13).

ცხრილი 13

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენებები						გამოსათვლელი სიდიდეები		შენიშვნები
	კოჭის №	მაგნიტ. ისარის მდებარეობა	გამზომი კოჭის მდებარეობა	მაგნიტ. კენლის დახსოვთება და მისი ღერძის მდებარეობა	I	U	Φ_m	B_m	
							ვბ	ტლ	

მეორე შემთხვევაში სამუშაო სრულდება 85-ე ნახაზზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით. აქ, სამფაზიანი ასინქრონულ ძრავას სტატორის ყოველი ხვეულის რიგრიგობით ქსელში ჩართვით და მაგნიტური ისარის

საშუალებით ვავლენთ თითოეული მათგანის მიერ შექმნილ მფეთქავ მაგნიტურ ნაკადს (ველს). ამავე დროს, ფაზათა მიჩვენებლის საშუალებით ვადგენთ ფაზების მიმდევრობას (A, B, C) და სტატორის ხვეულებს თანამიმდევრულად ვაერთებთ ქსელთან K დენ-მკვეთის საშუალებით:



ნახ. 85. სამუშაოს ელექტრული სქემა მეორე შემთხვევისათვის.

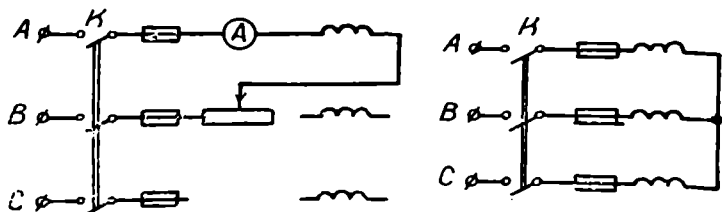
პირველ ხვეულას ვაერთებთ A ფაზასთან, მეორეს B —ფაზასთან, ხოლო მესამეს— C ფაზასთან. ამ დაკვირვებათა საფუძველზე ვარკვევთ საცდელი ძრავას სტატორის გრაგნილთა მბრუნავი მაგნიტური ნაკადის მიმართულებას. შედეგები

შეგვაქვს ქვემოთ მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 14).

ცხრილი 14

დაკვირვება-თა რიგი	სტატორის ხვეულების №	მაგნიტური ისრის მდებარეობა	საცდელი ლაქოს მდებარეობა	ფაზების მიმდევრობა	მაგნიტური ველის საითი და მისი უერჩის მდებარეობა	შენიშვნები

სტატორის მაგნიტური ნაკადის ბრუნვისა და მისი მიმართულების დადგენის შემდეგ გადავიდეთ ამ მოვლენების არსის შესწავლაზე, რისთვისაც საცდელი ძრავას სტატორის ხვეულებს ვაერთებთ ვარსკვლავად (ნახ. 86) და ვრთავთ ქსელში. მაგნიტური ისრის და საცდელი



ნახ. 86. სამუშაოს ელექტრული სქემა მესამე შემთხვევისათვის.

დისკოს საშუალებით პრაქტიკულად ვადასტურებთ სტატორის მაგნიტური ნაკადის ბრუნვის ფაქტს.

ვატარებთ ცდას სტატორის მბრუნავი მაგნიტური ნაკადის მიმართულების შესწავლის მიზნით, რისთვისაც ვცვლით სტატორის ფაზათა დენების მიმართულებას. ამისათვის სტატორის მეორე ხვეულს გადავავრთებთ ქსელის C ფაზაზე, ხოლო მესამე ხვეულს— B ფაზაზე. წინა ცდის მსგავსად, ჩატარებული დაკვირვებების შედეგები შეგვაქვს იმავე ცხრილში (ცხრ. 14). შემდეგ ვაანალიზებთ შედეგებს და ჩატარებულ სამუშაოზე ვადგენთ ოქმს.

საკონტროლო კითხვები

1. როგორ განისაზღვრება საცდელ წრედში ჩართული კოქის მაგნიტური ნაკადი და მისი მიმართულება?
2. რას ეწოდება გამზომი კოქი და რა დანიშნულება აქვს მას?
3. როგორ განისაზღვრება ცვლადი დენის მიერ შექმნილი კოქის მაგნიტური ნაკადის მაქსიმალური მნიშვნელობა?
4. რას უდრის კოქის მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა?
5. როგორ ელინდება ქსელის ფაზათა მიმდევრობა?
6. რა ხელსაწყოების საშუალებით დავადგენთ ასინქრონული ძრავას მაგნიტური ნაკადის ბრუნვის ფაქტს?
7. როგორ ჩორციელდება სამუშაო ასინქრონული ძრავას სტატორის მაგნიტური ნაკადის ბრუნვის მიმართულების შეცვლა?

თ ა ვ

არასინუსოიდური დენები და ფოლადისგულარიანი კოჭები

ცვლადი დენის წრედების ძირითად თანაფარდობათა დადგენის დროს ყოველთვის მხედველობაში გვქონდა ისეთი დენები და ძაბვები, რომლებიც იცვლებოდნენ სინუსის კანონის შესაბამისად. სინამდვილეში კი ეს ასე არ ხდება. იმასთან დაკავშირებით, რომ ელექტრული ქსელები შეიცავენ ფოლადის გულარის მქონე კოჭებს, მათი დენებისა და აბრუნების ცვალებადობა განსხვავდება სინუსის მრუდისაგან და არასინუსოიდურ ხასიათს ატარებს. ამ თავის მე-17 დავალება მიეძღვნება სწორედ ამ საკითხის შესწავლას.

ამ დავალებაში განხილულია არასინუსოიდური დენების წარმომქმნელი მიზეზები და ცვალებადობის თავისებურებანი. აღნიშნული ელექტრული და ფიზიკური პროცესების შესწავლის დროს ყურადღება უნდა

გამახვილდეს წრედის არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების მოქმედი და საშუალო მნიშვნელობების გათვლის საკითხზე, კერძოდ, იმაზე, თუ როგორ დაიყვანება სხვადასხვა ფორმის არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდეები მათ შემადგენელ სინუსოიდურ სიდიდეებზე. ამ საკითხის შესწავლისას საჭიროა გაიხსენოთ რთული პერიოდული რხევის მრუდთა დაშლისათვის განკუთვნილი ფურიეს თეორემა. ყურადღების გამახვილებას მოითხოვს აგრეთვე უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობის საკითხი სამფაზიან დენებში, რომლის ძირითადი საფუძვლებიც ამ თავშია მოცემული. აღნიშნული დავალების ბოლო ნაწილი ეთმობა ელექტრული ფილტრების შესწავლას, რომლებსაც მეტად დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვთ თანამედროვე ელექტროტექნიკასა და ელექტრონიკაში.

მე-18 დავალება აშუქებს საკითხს: ფოლადისგულარიანი კოქების მოქმედების ხასიათი ცვლადი დენის წრედებში. ეს საკითხი განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს იმის გამო, რომ ელექტრომაგნიტური პროცესები ასეთ კოქებში მეტად რთულად მიმდინარეობენ და ეს მოვლენები საფუძვლად უდევს ისეთ ელექტროტექნიკურ მოწყობილობათა მოქმედებებს, როგორიცაა დროსელის კოქები, ტრანსფორმატორები, სხვადასხვა ელექტრული მექანიზმები.

განსაკუთრებული პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება ამავე დავალებაში მოცემულ ფოლადისგულარიან კოქაში წარმოშობილი დანაკარგების გათვლის მეთოდებს.

დაბოლოს, წინა თავების ანალოგიურად, მასალის ათვისების, ცოდნის განმტკიცებისა და პრაქტიკული ჩვევების გამომუშავების მიზნით საჭიროა შეასრულოთ მე-17 და მე-18 დავალებების ბოლოს მოცემული სავარჯიშოები. შემდეგ ცოდნის სიმტკიცე საკონტროლო კითხვებით უნდა შეამოწმოს.

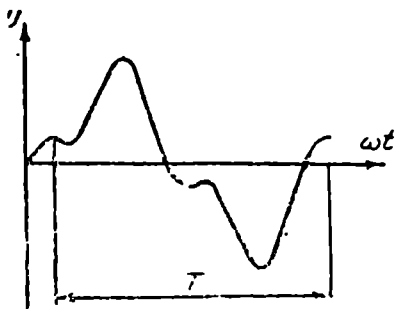
დავალება 17

არასინუსოიდური დენების წარმოშობა. არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობები. არასინუსოიდური დენების სიმძლავრე. წრედის არასინუსოიდური ელექტრული მაჩვენებლები. ელექტრული ფილტრები. უმაღლესი ჰარმონიკები სამფაზიან დენის წრედებში. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 5-1. არასინუსოიდური დენების წარმოშობა

ცვლადი დენის წრედების შესწავლის დროს ჩვენ ყოველთვის ვთვლიდით, რომ მანქანაში აღძრული ე. მ. ძალები და დენები ჰარმონიულად რცვლებოდნენ და დროის წმინდა სინუსოიდურ ფუნქციებს წარმოადგენდნენ. სინამდვილეში ეს ყოველთვის არ მართლდება. ცვლადი დე-

ნის წრედებში უფრო ხშირად ადგილი აქვს ე. მ. ძალების და დენების მრუდების შესამჩნევ გადახრებს სინუსოიდისაგან (ნახ. 87). ამგვარი არასინუსოიდური ე. მ. ძალების და დენების წარმოშობას გენერატორის კონსტრუქციული შესრულება, ქსელში არსებული ფოლადისგულარიანი კოქები და არაწრფივი წინაღობები იწვევენ. ამასთან დაკავშირებით ბუნებრივია კითხვა: გამოიყენება თუ არა ისეთი წრედების გასათვლელად მუდმივი და ცვლადი სინუსოიდური დენის წრედებისათვის დადგენილი ელექტრული კანონები? პასუხი დადებითია. ამ დებულების ნათელსაყოფად მიმართავენ გათვლის მათემატიკურ მეთოდს და წრედში მოქმედ არასინუსოიდურ მაჩვენებლებს (e, i, u) წარმოიდგენენ ფურიეს მწკრივის შესაბამისად დაშლილ სინუსოიდური მდგენელების ჯამის სახით. ასე, მაგალითად, თუ წრედში მოქმედებს არასინუსოიდური ძაბვა (ან ე. მ. ძალა), იგი შეიძლება გამოვსახოთ ფურიეს მწკრივის მიხედვით



ნახ. 87. ძაბვის არასინუსოიდური პერიოდული მრუდი.

$$u = U_0 + U_{m_1} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{m_2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + U_{m_n} \sin(n\omega t + \varphi_n), \quad (117)$$

სადაც U_0 არის ძაბვის მუდმივი მდგენელი;

$U_{m_1}, U_{m_2}, \dots, U_{m_n}$ — ძაბვის ჰარმონიული მდგენელების ამპლიტუდები სწვდასხვა $\omega, 2\omega, \dots, n\omega$ სიხშირეებისათვის;

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ — პირველი ჰარმონიკის კუთხური სიხშირე;

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ — ჰარმონიკების საწყისი ფაზები.

აღნიშნული გამოსახულება შეიძლება ჩაიწეროს სინუსებისა და კოსინუსების მწკრივითაც, თუ წინა ტოლობაში n -ურ ჰარმონიკას წარმოვიდგენთ შემდეგნაირად

$$U_{m_n} \sin(n\omega t + \varphi_n) = U_{m_n} (\sin n\omega t \cdot \cos \varphi_n + \cos n\omega t \cdot \sin \varphi_n) = U_{m_n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \sin n\omega t + U_{m_n} \sin \varphi_n \cdot \cos n\omega t.$$

თუ აღვნიშნავთ

$$\boxed{U_{m_n} \cdot \cos \varphi_n = A_n} \quad (118)$$

და

$$\boxed{U_{m_n} \cdot \sin \varphi_n = B_n}, \quad (119)$$

მაშინ ძაბვის n -ური ჰარმონიკისათვის გვექნება

$$\boxed{U_{m_n} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_n) = A_n \cdot \sin n\omega t + B_n \cos \omega t,} \quad (120)$$

ხოლო ძაბვის მყისი მნიშვნელობისათვის

$$u = U_0 + A_1 \cdot \sin n\omega t + A_2 \sin 2\omega t + \dots + A_n \cdot \sin n\omega t + \\ + B_1 \cos \omega t + B_2 \cos 2\omega t + \dots + B_n \cos n\omega t.$$

თუ უკანასკნელ მწკრივს დავიყვანთ გარკვეული საწყისი ფაზის მქონე სინუსოიდების მწკრივამდე, მაშინ საკმარისია (118) და (119) ფარდობების კვადრატში ახარისხება და შემდეგ მათი შეკრება.

$$U_{m_n}^2 \cdot \cos^2 \varphi_n + U_{m_n}^2 \sin^2 \varphi_n = A_n^2 + B_n^2$$

ან

$$U_{m_n}^2 (\cos^2 \varphi_n + \sin^2 \varphi_n) = A_n^2 + B_n^2,$$

საიდანაც

$$\boxed{U_{m_n} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}.} \quad (121)$$

ფაზათა ძვრის კუთხის განსაზღვრისათვის ვისარგებლებთ იმავე (118) და (119) ფარდობებით

$$\boxed{\varphi_n = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{A_n}{B_n},} \quad (122)$$

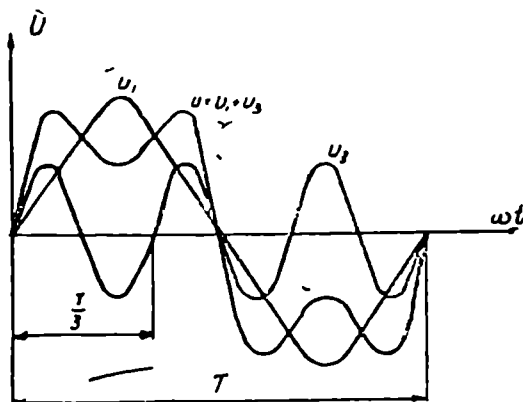
საიდანაც

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi_n &= \frac{A_n}{U_{m_n}} \\ \sin \varphi_n &= \frac{B_n}{U_{m_n}} \end{aligned} \right\} \quad (122)$$

მოცემული მწკრივის გათვლის დროს მას შეიძლება აკლდეს რომელიმე ჰარმონიკა ან მუდმივი მდგენელი. ასე, მაგალითად, 88-ე

ნახაზზე მოყვანილია წრედის ძაბვის მნიშვნელობა, რომელიც შეიცავს ძაბვის მხოლოდ პირველ და მესამე ჰარმონიკას, ე. ი.

$$u = u_1 + u_3 = U_{m1} \cdot \sin \omega t + U_{m3} \cdot \sin 3\omega t.$$



ნახ. 88. ძაბვის არასინუსოიდური ჰარმონიკის დაშლა.

ძაბვის მწკრივად დაშლის ანალოგიურად შესაძლოა ფურჩის მწკრივის მიხედვით დაიშალოს წრედის არასინუსოიდური დენიც.

ამრიგად დავასკვნით, რომ პერიოდულად ცვლადი არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდე (e, i, u) შეიძლება დაიშალოს და დაყვანილ იქნეს პერიოდულად ცვლად სინუსოიდურ სიდიდეთა ჯამადე, რომლებზეც ვრცელდება მუდმივი და ცვლადი დენისათვის დადგენილი კანონზომიერებები.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მუდმივპარამეტრებიანი ცვლადი დენის წრედის მომჭერებზე, რომელშიც მიმდევრობით ჩართულია აქტიური წინაღობა $r = 7,6$ ომს და ინდუქციურობა $L = 20,7$ მჰნ, მოქმედებს ცვლადი არასინუსოიდური ძაბვა $u = (-100 + 170 \sin \omega t)$ ვოლტს. ძირითადი ჰარმონიკის სიხშირე უდრის 50 ჰც-ს. შეადგინეთ განტოლება წრედის მყისი დენისათვის.

ამოხსნა

ასეთი წრედის ელექტრული სქემა მოცემულია 89-ე ნახაზზე. დენის პირველი ჰარმონიკის ამპლიტუდა

$$I_{n1} = \frac{U_{m1}}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}} = \frac{170}{\sqrt{7,6^2 + (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0207)^2}} = 17 \text{ ა.}$$

ღერის კუთხე ამავე ჰარმონიკის ღენსა და ძაბვას შორის გამოითვლება ცნობილი ფარდობით

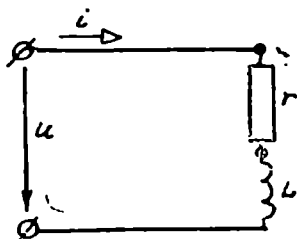
$$\cos \varphi_1 = \frac{r}{z} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}} = \frac{7,6}{\sqrt{7,6^2 + (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,257)^2}} = 0,76$$

ახე

$$\varphi_1 = 40^\circ 30'.$$

ღენის მყისი მნიშვნელობა ძირითადი (პირველი) ჰარმონიკისათვის

$$i_1 = I_{m_1} \cdot \sin(\omega t - \varphi_1) = 17 \cdot \sin(\omega t - 40^\circ 30'),$$



ნახ. 89. ელექტრული სქემა მაგალითისათვის.

ხოლო ღენის მუდმივი მდგენელი

$$I_0 = \frac{U_0}{r} = \frac{100}{7,6} \approx 13,1 \text{ ა.}$$

ამგვარად, მოცემულ წრედში გამავალი არასინუსოიდური ღენის მყისი მნიშვნელობა გამოისახება შემდეგი მწკრივით

$$i = I_0 + I_{m_1} \sin(\omega t - \varphi_1) = [13,1 + 17 \sin(\omega t - 40^\circ 30')] \text{ ა.}$$

§ 5-2. არასინუსოიდური ღენებისა და ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობები

ნებისმიერი ფორმის არასინუსოიდური ღენებისა და ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის ძალაშია იგივე თანათარღობები, რაც სინუსოიდური ცვლადი ღენის დროს, ე. ი.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

და

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}.$$

კერძოდ, წრედის მომკერებზე მოდებული არასინუსოიდური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის დასადგენად არასინუსოიდური ძაბვის მყისი მნიშვნელობა, (117) გამოსახულების მიხედვით, იშლება მწკრივად:

$$u = U_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_n = U_0 + U_{m_1} \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{m_2} \cdot \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + U_{m_n} \cdot \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

ძაბვის ეს მნიშვნელობა შეაქვთ ზემო ფარდობაში

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_0 + u_1 + u_2 + \dots + u_n) dt,}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [U_0 + U_{m_1} \sin(\omega t + \varphi_1) + \dots + U_{m_n} \sin(n\omega t + \varphi_n)]^2 dt.} \quad (124)$$

ამ გამოსახულების ფესვქვეშა მრავალწევრის კვადრატში ახარისხებთ და მისი ინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (125)$$

სადაც U_0 მწკრივის მუდმივი მდგენელია;

$$U_1^2 = \frac{U_{m_1}^2}{2}, \quad U_2^2 = \frac{U_{m_2}^2}{2}, \dots, \quad U_n^2 = \frac{U_{m_n}^2}{2} \quad \text{— ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის-}$$

სინუსოიდური მდგენელების კვადრატები. ძაბვის ანალოგიურად გამოისახება წრედის არასინუსოიდური დენისა და ე. მ. ძალის მნიშვნელობებიც:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \quad (126)$$

და

$$E = \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2} \quad (127)$$

როგორც მიღებული (125), (126) გამოსახულებებიდან ვრწმუნდებით, არასინუსოიდური დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები და მოკიდებულია ცალკეული ჰარმონიკების საწყისი ფაზებისაგან.

ამრიგად, დავასკვნით, რომ ცვლადი დენის ელექტრული მაჩვენებლების მოქმედი მნიშვნელობები (U , I და E) ტოლია კვადრატული ფესვისა მათი შემადგენელი ჰარმონიკების კვადრატების ჯამიდან.

გამოვიყვანოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. განვსაზღვროთ წრედის არასინუსოიდური დენის მოქმედი მნიშვნელობა, თუ მისი მყისი მნიშვნელობა გამოისახება მწკრივით:

$$i = 282 \sin \omega t + 141 \cdot \sin 3 \omega t + 71 \sin \left(5 \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \text{ ა.}$$

ამოხსნა

პირველი ჰარმონიკის მოქმედი მნიშვნელობა

$$I_1 = \frac{I_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{282}{\sqrt{2}} = 200 \text{ ა.}$$

დენის მესამე და მეხუთე ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობები, შესაბამისად,

$$I_3 = \frac{I_{m3}}{\sqrt{2}} = \frac{141}{\sqrt{2}} = 100 \text{ ა.}$$

და

$$I_5 = \frac{I_{m5}}{\sqrt{2}} = \frac{71}{\sqrt{2}} = 50 \text{ ა.}$$

წრედის არასინუსოიდური დენის მოქმედი მნიშვნელობა

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2} = \sqrt{200^2 + 100^2 + 50^2} \approx 229 \text{ ა.}$$

§ 6-3. არასინუსოიდური დენების სიმძლავრე

საშუალო ანუ აქტიური სიმძლავრე არასინუსოიდური დენების შემთხვევაში ისევე გამოითვლება, როგორც სინუსოიდური დენების დროს. სიმძლავრე გამოისახება ძაბვისა და დენის შემდეგი ნამრავლით

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt$$

თუ მოცემულ ფარდობაში შევიტანთ არასინუსოიდური დენისა და ძაბვის მყის მნიშვნელობებს, გვექნება

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [U_0 + U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{m2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \\ + U_{mn} \sin(n\omega t + \varphi_n)] \cdot [I_0 + I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1 - \psi_1) + \\ + I_2 \sin(2\omega t + \varphi_2 - \psi_2) + \dots + I_{mn} \sin(n\omega t + \varphi_n - \psi_n)] dt.$$

აღნიშნული განტოლების სათანადო გარდაქმნისა და გამარტივების შემდეგ მივიღებთ:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cdot \cos \varphi_2 + \dots + U_n I_n \cos \varphi_n$$

და

$$\boxed{P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n.} \quad (128)$$

ამგვარად, არასინუსოიდური დენების საშუალო ანუ აქტიური სიმძლავრე ტოლია ცალკეული ჰარმონიკების საშუალო სიმძლავრეთა ჯამისა.

სიმძლავრის კოეფიციენტი ასეთი წრედებისათვის გამოისახება ცნობილი ფარდობით

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I},$$

სადაც U და I არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის ეკვივალენტური მოქმედი მნიშვნელობებია.

სინუსოიდური დენების ანალოგიურად, სრული სიმძლავრე (S) გამოითვლება დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობების ნამრავლით, ე. ი.

$$S = U \cdot I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k^2}$$

რეაქტიული სიმძლავრე არასინუსოიდურ წრედებში ტოლია ცალკეული ჰარმონიკების რეაქტიულ სიმძლავრეთა ჯამისა

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} Q_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k,$$

სადაც Q_k — არასინუსოიდური წრედის რეაქტიული სიმძლავრეა.

გამოვიყვანოთ სანიშნუო მაგალითი.

მაგალითი. განვაზღვროთ ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობები და სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედისათვის, რომელშიც ჩართულია მიმდევრობით $r=10$ ომს, $L=0,05$ ჰე და $C=22,5$ მჟ, ხოლო მოქმედებზე მოქმედებს ძაბვა მყისი მნიშვნელობით

$$u = 180 \sin \omega t + 60 \sin 3 \omega t + 40 \sin(5\omega t + 18^\circ).$$

დენის პირველი, მესამე და მეხუთე ჰარმონიკების ამპლიტუდებია, შესაბამისად:

$$I_{m_1} = 1,43 \text{ ა}; I_{m_3} = 6 \text{ ა} \quad \text{და} \quad I_{m_5} = 0,78 \text{ ა}.$$

დენის სიხშირე $f=50$ ჰე, ხოლო $\varphi_1 = -85^\circ 25'$; $\varphi_3 = 0$ და $\varphi_5 = 78^\circ$.

განსაზღვრეთ არასინუსოიდური ძაბვისა და დენის მოქმედი მნიშვნელობები, აქტიური სიმძლავრე და სიმძლავრის კოეფიციენტი.

ამოხსნა

წრედის ელექტრული სქემა მოცემულია 90-ე ნახაზზე:

ძაბვის პირველი, მესამე და მეხუთე ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობები:

$$U_1 = \frac{U_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{180}{1,41} = 127 \text{ ვ};$$

$$U_3 = \frac{U_{m3}}{\sqrt{2}} = \frac{60}{1,41} = 28,43 \text{ ვ};$$

$$U_5 = \frac{U_{m5}}{\sqrt{2}} = \frac{40}{1,41} = 28,43 \text{ ვ}.$$

წრედის არასინუსოიდური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა

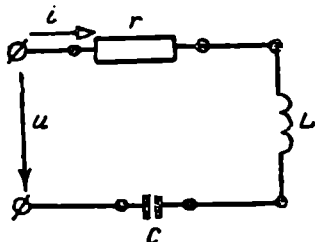
$$U = \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_5^2} = \sqrt{127^2 + 42,5^2 + 28,4^2} = 137 \text{ ვ}.$$

დენის პირველი, მესამე და მეხუთე ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობები:

$$I_1 = \frac{I_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{1,43}{1,41} \cong 1,0 \text{ ა};$$

$$I_3 = \frac{6}{\sqrt{2}} = \frac{6}{1,41} = 4,25 \text{ ა};$$

$$I_5 = \frac{0,78}{\sqrt{2}} = \frac{0,78}{1,41} = 0,55 \text{ ა}.$$



ნახ. 90. ელექტრული სქემა მაგალითისათვის.

წრედის არასინუსოიდური დენის მოქმედი მნიშვნელობა

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2}$$

$$= \sqrt{1,0^2 + 4,25^2 + 0,55^2} = 4,4 \text{ ა}.$$

პირველი, მესამე და მეხუთე მდგენელის სიმძლავრის კოეფიციენტები

$$\cos \varphi_1 = 0,081; \quad \cos \varphi_3 = 1,0 \quad \text{და} \quad \cos \varphi_5 = 0,194.$$

არასინუსოიდური დენის აქტიური სიმძლავრის მდგენელები:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 127 \cdot 1,0 \cdot 0,081 = 10,5 \text{ ვტ};$$

$$P_3 = U_3 I_3 \cdot \cos \varphi_3 = 42,5 \cdot 4,25 \cdot 1,0 = 180 \text{ ვტ};$$

$$P_5 = U_5 I_5 \cdot \cos \varphi_5 = 28,4 \cdot 0,55 \cdot 0,194 = 3,0 \text{ ვტ}.$$

წრედის არასინუსოიდური დენის აქტიური სიმძლავრე

$$P = P_1 + P_3 + P_5 = 10,5 + 180 + 3,0 = 193,5 \text{ ვტ},$$

ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტი წრედისათვის

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{193,5}{137 \cdot 4,44} = \frac{193,5}{603} = 0,32.$$

§ 5-1. წრედის არასინუსოიდური ელემენტარული მაჩვენებლები

როდესაც წრედში მოქმედებს არასინუსოიდური ე. მ. ძალა ან ძაბვა, რომლებიც შეიცავენ რიგ სინუსოიდურ ჰარმონიკებს, მაშინ წრედის საერთო დენის ძალაც, თუ მიმღებებს წრფივი მახასიათებლები აქვთ, შედგება იმავე რაოდენობის სინუსოიდური დენისაგან, ე. ი. ე. მ. ძალის ყოველ ჰარმონიკას შეესაბამება თავისი (შტოს ან მიმღების) დენის ჰარმონიკა.

ზედაპირული ეფექტის უგულვებლყოფის შემთხვევაში წრედის აქტიური წინაღობა დენის ყველა ჰარმონიკისათვის ტოლია, ხოლო რეაქტიული (x_L და x_C) წინაღობა სხვადასხვა ჰარმონიკისათვის განსხვავებულია. კერძოდ, ინდუქციური წინაღობა ჰარმონიკის მწკრივის ნომრის (n) პირდაპირპროპორციულად იცვლება, ხოლო ტევადური წინაღობა — უკუპროპორციულად:

$$x_{L_n} = n\omega L$$

და

$$x_{C_n} = \frac{1}{n\omega C}. \quad (122)$$

წრედებისათვის, რომლებშიც წარმოდგენილია მიმდევრობით ჩართული წინაღობის სამივე მდგენელი (r , x_L და x_C), n -ური ჰარმონიკის სრული წინაღობა

$$Z_n = \sqrt{r^2 + \left(n\omega L - \frac{1}{n\omega C}\right)^2}, \quad (129)$$

ხოლო ამ ჰარმონიკის შესაბამისი დენის ამპლიტუდა

$$I_{n_m} = \frac{E_{n_m}}{Z_n} = \frac{E_{n_m}}{\sqrt{r^2 + \left(n\omega L - \frac{1}{n\omega C}\right)^2}}, \quad (130)$$

სადაც E_{n_m} n -ური ე. მ. ძალის ამპლიტუდაა.

ყოველი ჰარმონიკის შესაბამისი ე. მ. ძალასა (ან ძაბვას) და დენს შორის არსებული ძვრის კუთხე სხვადასხვაა და n -ური ჰარმონიკისათვის იგი გამოისახება ფარდობით

$$\boxed{\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{x_n}{r} = \frac{n\omega L - \frac{1}{n\omega c}}{r}} \quad (131)$$

ასე, მაგალითად, თუ წრედში მოქმედებს ე. მ. ძალა, რომელიც შეიცავს სამ ჰარმონიკას, ე. ი.

$$e = e_1 + e_3 + e_5 = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + E_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + E_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5),$$

მაშინ ამ წრედის დენი

$$i = i_1 + i_3 + i_5 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi - \varphi_1) + I_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3 - \varphi_3) + I_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5 - \varphi_5).$$

ამავე დროს დენის ჰარმონიკების ამპლიტუდები, შესაბამისად:

$$I_{1m} = \frac{E_{1m}}{Z_1}; \quad I_{3m} = \frac{E_{3m}}{Z_3}; \quad I_{5m} = \frac{E_{5m}}{Z_5},$$

ხოლო

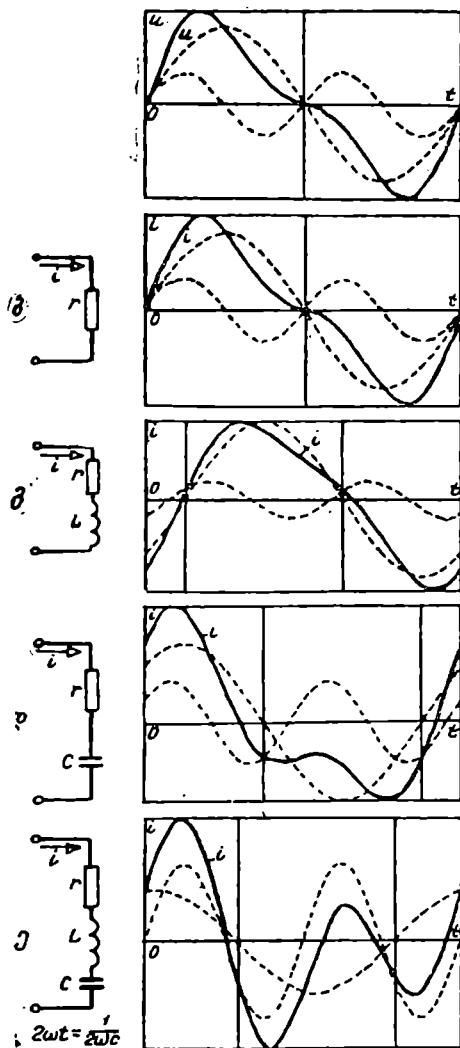
$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{x_1}{r}; \quad \operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{x_3}{r}; \quad \operatorname{tg} \varphi_5 = \frac{x_5}{r}.$$

აზრივად, ცვლადი დენის წრედებში, რომლებშიც ჩართულია აქტიური წინაღობა (r), დენებიც არასინუსოიდურებია და თავისი ფორმით უახლოვდებიან ძაბვის მრუდებს (ნახ. 91 ა და ბ).

აქტიური წინაღობისა და ინდუქციურობის (r და L) შემცველ წრედში დენის ძალის მრუდები განსხვავდებიან ძაბვის მრუდებისაგან და ფორმით უახლოვდებიან სინუსოიდებს (ნახ. 91 ა, ბ, გ, დ, ე).

იმ წრედებში, რომლებშიც ჩართულია აქტიური წინაღობა და ტევადობა (r და c), დენების მრუდები ტევადობის შემოქმედების შედეგად მეტ დამახინჯებას განიცდიან და უფრო მკვეთრად, ვიდრე ძაბვები, სცილდებიან სინუსოიდის ფორმას (ნახ. 91 ა, გ).

დაბოლოს ისეთი წრედებისათვის, რომლებიც შეიცავენ r , L , c პარამეტრებს, ხოლო მომჭერებზე მოქმედებენ არასინუსოიდური ძაბვები, დენის ერთ-ერთი მაღალი რიგის ჰარმონიკისათვის მოსალოდნე-



ნახ. 91. ძაბვისა და დენის არასინუსოიდური მრუდები, წრედში სხვადასხვა პარამეტრების ჩართვის დროს:
 ა—წრედის მომკერებზე მოღებული ძაბვის არასინუსოიდური მრუდი;
 ბ—დენის მრული წრედში r -ის ჩართვის დროს; გ—დენის მრული წრედში (r, L) -ის ჩართვის დროს; დ—დენის მრული (r, C) -ის ჩართვის დროს; ე—დენის მრული წრედში (r, L, C) -ს ჩართვის შემთხვევაში.

ლია რეზონანსული რეჟიმის დამყარება, რამაც, თავის მხრივ, შეიძლება გამოიწვიოს დენის მრუდის ფორმით სინუსოიდთან მიახლოება (ნახ. 91 ა, ბ).

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მოცემულია ცვლადი დენის წრედი, რომელშიც მიმდევრობით ჩართულია $c=2$ მკფ, $L=0,02$ ჰნ და $r=0,1$ ომს. აღნიშნულ წრედში მოქმედებს არასინუსოიდური ძაბვა

$$u = 162,2 \sin \omega t + 18,1 \sin 3 \omega t + 6,5 \sin 5 \omega t + 3,3 \sin 7 \omega t,$$

სადაც

$$\omega = 1000 \frac{1}{\text{წმ}}.$$

საჭიროა განისაზღვროს წრედში გამავალი დენის ჰარმონიკების ამპლიტუდები და რეზონანსული ძაბვა დენის სათანადო ჰარმონიკისათვის.

ამოხსნა

ჰარმონიკების შესაბამისი რეაქტიული წინაღობები ტოლია: პირველი ჰარმონიკისათვის

$$x_1 = \omega L - \frac{1}{\omega c} = 1000 \cdot 0,02 - \frac{1}{1000 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = -486 \text{ ომს};$$

მესამე ჰარმონიკისათვის

$$x_3 = 3 \omega L - \frac{1}{3\omega c} = 3 \cdot 1000 \cdot 0,02 - \frac{1}{3 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = -106 \text{ ომს};$$

მეხუთე ჰარმონიკისათვის

$$x_5 = 5 \omega L - \frac{1}{5\omega c} = 5 \cdot 1000 \cdot 0,02 - \frac{1}{5 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 0;$$

მეშვიდე ჰარმონიკისათვის

$$x_7 = 7 \omega L - \frac{1}{7\omega c} = 7 \cdot 1000 \cdot 0,02 - \frac{1}{7 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \approx 69 \text{ ომს}.$$

დენის ჰარმონიკების ამპლიტუდები:
პირველი ჰარმონიკისათვის

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{Z_1} = \frac{162,2}{\sqrt{0,1^2 + 486^2}} = 0,34 \text{ ა};$$

მესამე პარმონიკისათვის

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{Z_3} = \frac{18,1}{\sqrt{0,1^2 + 100^2}} = 0,17 \text{ ა};$$

მეხუთე პარმონიკისათვის

$$I_{5m} = \frac{U_{5m}}{Z_5} = \frac{6,5}{0,1} = 65 \text{ ა};$$

მეშვიდე პარმონიკისათვის

$$I_{7m} = \frac{U_{7m}}{Z_7} = \frac{3,3}{\sqrt{0,1^2 + 69^2}} = 0,048 \text{ ა}.$$

3. მეხუთე პარმონიკის მიერ გამოწვეული რეზონანსული ძაბვა

$$U_{5L} = U_{5c} = I \cdot K \cdot \omega L = 65 \cdot 5 \cdot 1000 \cdot 0,02 = 6500 \text{ ვოლტს}.$$

§ 5-5. ელექტრული ფილტრები

იმის გამო, რომ ცვლადი დენის წრედებში ჩართული ინდუქციური კოქები და კონდენსატორები ხელს უწყობენ რეზონანსული მოვლენების წარმოქმნას დენების ცალკეული პარმონიკებისათვის, ამიტომ ინდუქციურობას და ტევადობას ხშირად იყენებენ მიმღებთა დენების ფორმის შესაცვლელად. ქსელის ასეთ ელექტრულ მოწყობილობებს ელექტრული ფილტრები ან უმფილტრავი კონტურები ეწოდება.

საერთოდ, ელექტრული ფილტრი წარმოადგენს ოთხპოლუსას, ანუ ისეთ მოწყობილობას, რომელსაც აქვს ორი შესავალი და ორი გამოსავალი მომქერი და შეიცავს წრედის რეაქტიულ L და C პარამეტრებს. 92-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ელექტრული ფილტრის ზოგადი სქემა. იმ შემთხვევაში, როდესაც ქსელიდან (ან გენერატორიდან), რომლის მომქერებზე მოქმედებს K რიგის პარმონიკების შემცველი ძაბვა, საჭიროა მიმღებთა კვება, ხოლო ამ უკანასკნელებში გაშვადი დენების K რიგის პარმონიკის მიწინააღმდეგე შემცირება, მაშინ ქსელსა (გენერატორს) და აღნიშნულ მიმღებებს შორის უნდა ჩაირთოს სათანადო ელექტრული ფილტრი (ნახ. 93).



ნახ. 92. ელექტრული ფილტრის ზოგადი სქემა.

ეს ფილტრი უნდა შეიცავდეს ურთიერთ პარალელურად მიერთებულ ინდუქციურ კოქას (მცირე აქტიური წინაღობით) და კონდენსატორს,

აწყობილს დენების რეზონანსის რეჟიმზე აღნიშნული K რიგის პარამონიის მიმართ, ე. ი.

$$K\omega L = \frac{1}{k\omega C} \quad (132)$$

და

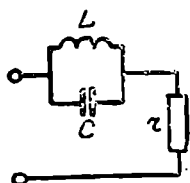
$$Z_k = \sqrt{r^2 + \left(kvL - \frac{1}{k\omega C}\right)^2} = r. \quad (133)$$

ელექტრული ფილტრები, გარდა (ნახ. 93) მოცემული სქემისა, მზადდება სხვადასხვა კონსტრუქციის კონტურების სახით. ასეთებია 94-ე ნახაზზე წარმოდგენილი T-სა და Π -სებრი სქემები.

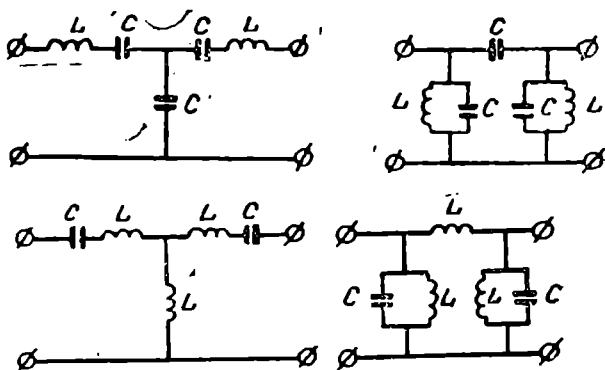
იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა მიმღების დენის რამდენიმე პარამონიის ჩაქრობა, ქსელში მიმღების მიმდევრობით ან პარალელურად ჩაირთვება აღნიშნული პარამონიების მიმართ რეზონანსში აწყობილი ფილტრები. მათი რაოდენობა ჩასაქრობი პარამონიების რიცხვის ტოლია.

ფილტრების მუშაობის ხარისხის მაჩვენებელია ე. წ. გასწორების (კორექციის) კოეფიციენტი (S), რომელიც წარმოადგენს ფილტრის წინა და მიწი შემდგომი პარამონიების რიგითი კოეფიციენტების შეფარდებას

ნახ. 93. ფილტრის ელექტრული სქემა.



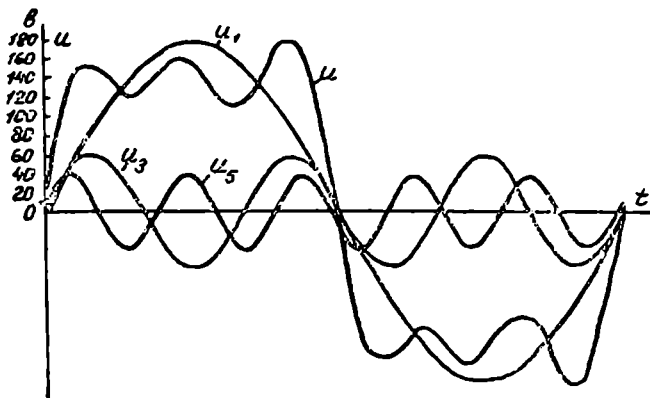
$$S = \frac{k_1}{k_2} \quad (134)$$



ნახ. 94. ფილტრების ელექტრული სქემები.

განვიხილოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. მოცემულია ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედი, რომლის პარამეტრებია: $r = 10$ ომს, $L = 0,05$ ჰს და $c = 22,5$ მკვ. განსა-



ნახ. 95. სინუსოიდური ძაბვის მრუდები მაგალითისათვის.

ზღვრეთ დენის ძალა და მისი ჰარმონიკები, თუ სიხშირე $f = 50$ ჰც-ის ტოლია, ხოლო წრედის მომჭერებზე მოქმედებს არასინუსოიდური ძაბვა, რომლის მყისი მნიშვნელობა (ნახ. 95) უდრის

$$u = 180 \sin \omega t + 60 \sin 3 \omega t + 40 \sin(5 \omega t + 18^\circ) \text{ ვ.}$$

ამოხსნა

დენის პირველი ჰარმონიკის სრული წინაღობა და შესაბამისი ძვრის კუთხე

$$\begin{aligned} Z_1 &= \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega c} \right)^2} = \sqrt{10^2 + \left(3,14 \cdot 0,05 - \frac{10^6}{3 \cdot 14 \cdot 22,5} \right)^2} = \\ &= \sqrt{10^2 + (15,7 - 141)^2} = 125 \text{ ომს;} \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{x_1}{r} = \frac{15,7 - 141}{10} = \frac{125,3}{10} = 12,53;$$

$$\varphi_1 = -85^\circ 21'.$$

პირველი ჰარმონიკის დენის ამპლიტუდა

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{Z_1} = \frac{185}{126} = 1,43 \text{ ა.}$$

მესამე ჰარმონიკის სრული წინაღობა და შესაბამისი ძვრის კუთხე

$$Z_3 = \sqrt{r^2 + \left(3\omega L - \frac{1}{3\omega C}\right)^2} = \sqrt{10^2 + \left(315,7 - \frac{141}{3}\right)^2} = \\ = \sqrt{10^2 + (47 - 47)^2} = 10 \text{ ომს;}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{x_3}{r} = \frac{0}{r} = 0; \quad \varphi_3 = 0.$$

მესამე ჰარმონიკის დენის ამპლიტუდა

$$I_{3m} = \frac{U_{3m}}{Z_3} = \frac{60}{10} = 6 \text{ ა.}$$

მეხუთე ჰარმონიკის სრული წინაღობა და შესაბამისი ძვრის კუთხე

$$Z_5 = \sqrt{r^2 + \left(5\omega L - \frac{1}{5\omega C}\right)^2} = \sqrt{10^2 + \left(5 \cdot 15,7 - \frac{141}{5}\right)^2} = \\ = \sqrt{10^2 + (78,5 - 28,2)^2} = 51,2 \text{ ომს;}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_5 = \frac{x_5}{r} = \frac{73,5 - 28,2}{10} = \frac{45,3}{10} = 4,53, \quad \varphi_5 = 78^\circ$$

მეხუთე ჰარმონიკის დენის ამპლიტუდა

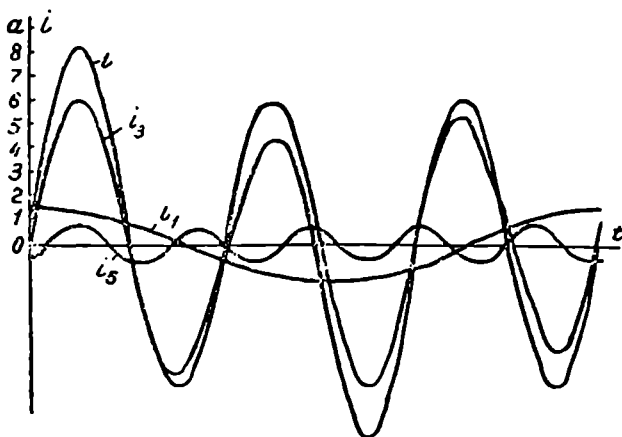
$$I_{5m} = \frac{U_{5m}}{Z_5} = \frac{40}{51,2} = 0,78 \text{ ა.}$$

წრედში გამავალი სრული დენის მყისი მნიშვნელობა

$$i = i_1 + i_3 + i_5 = 1,43 \sin(\omega t - 85^\circ 2') + 6 \sin 3 \omega t + \\ + 0,78 \sin(5 \omega t + 78^\circ) \text{ ა.}$$

თუ მიღებული სიდიდეების მიხედვით მასშტაბში ავაგებთ დენის შემადგენელი ჰარმონიკებისა და მათ ჯამურ მრუდებს, მივიღებთ პროცესის გრაფიკულ გამოსახულებას, რომელიც წარმოდგენილია 96-ე ნახაზზე.

როგორც ამ მაგალითიდან ჩანს, მესამე ჰარმონიკისათვის აღვილი აქვს ძაბვების რეზონანსი. ვინაიდან ამ ჰარმონიკის შესაბამისი სრული



ნახ. 96. არასინუსოიდური დენის მრუდები განხილული მაგალითისათვის

წინაღობა აქტიური წინაღობის ტოლია, ამიტომ დენის მესამე ჰარმონიკა მკვეთრად განსხვავდება გაზრდილი ამპლიტუდით სხვა ჰარმონიკების ამპლიტუდებისაგან. მესამე და პირველი ჰარმონიკის ამპლიტუდების შეფარდება

$$\frac{I_{3m}}{I_{1m}} = \frac{6}{1,43} = 4,2.$$

§ 5-8. უმაღლესი ჰარმონიკები სამფაზიანი დენის წარღებში

მრავალფაზიანი და, კერძოდ, სამფაზიანი დენის სისტემებში თუ გენერატორის სიმეტრიული ე. მ. ძალები შეიცავენ უმაღლეს ჰარმონიკებს, ასეთი წრედებისათვის დადგენილი ელექტრული მაჩვენებლების ზოგიერთი თანაფარდობა შეიცვლება. ასე, მაგალითად, სამი ჰარმონიკის შემცველი სიმეტრიული ე. მ. ძალების მყისი მნიშვნელობები სამფაზიან სისტემაში გამოისახება შესაბამისი ჰარმონიკების მყისი მნიშვნელობების ჯამით, ე. ი.

$$e_A = e_{A_1} + e_{A_3} + e_{A_5} = E_{1m} \sin \omega t + E_{3m} \sin 3\omega t + E_{5m} \sin 5\omega t; \quad (135)$$

$$e_B = e_{B_1} + e_{B_3} + e_{B_5} = E_{1m} \sin \omega \left(t - \frac{1}{3} T \right) + E_{3m} \sin 3\omega \left(t - \frac{1}{3} T \right) + E_{5m} \sin 5\omega \left(t - \frac{1}{3} T \right) = E_{1m} \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right) + E_{3m} \sin 3\omega t + E_{5m} \sin \left(5\omega t + \frac{2}{3} \pi \right); \quad (136)$$

$$e_C = e_{C1} + e_{C3} + e_{C5} = E_{1m} \cdot \sin \omega \left(t - \frac{2}{3}T \right) + E_{3m} \cdot \sin 3\omega \left(t - \frac{2}{3}T \right) + \left. \begin{aligned} &+ E_{5m} \cdot \sin 5\omega \left(t - \frac{2}{3}T \right) = E_{1m} \cdot \sin \left(\omega t + \frac{2}{3}\pi \right) + E_{3m} \cdot \sin \omega t + \\ &+ E_{5m} \sin \left(5\omega t - \frac{2}{3}\pi \right) \end{aligned} \right\} (137)$$

როგორც ვხედავთ, მოცემული განტოლებებიდან, ფაზათა ელექტრომაგნიტური ველების (e_A, e_B, e_C) პარამონიკები დაძრულნი არიან ურთაერთის მიმართ $\frac{T}{3}$ პერიოდით.

ფაზათა ე. მ. ძალების მე-5 პარამონიკებიც დაძრულნი არიან პირველი

პარამონიკებისაგან $\frac{T}{3}$ კუთხით.

97-ე ნახაზზე წარმოდგენილია სამფაზიანი სისტემის ე. მ. ძალების პარამონიკები.

მაშასადამე, როგორც ანალიზური გამოსახულებები და მოცემული ნახაზი გვიჩვენებს, სიმეტრიული სისტემის ფაზური ელექტრომაგნიტური ველების მოქმედი მნიშვნელობები ერთმანეთის ტოლებია და აკმაყოფილებენ ფარდობებს:

$$E_A = E_B = E_C = \sqrt{\frac{E_{1m}^2}{2} + \frac{E_{3m}^2}{2} + \frac{E_{5m}^2}{2}}$$

ანუ

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2} \quad (138)$$

იცლება აგრეთვე სამფაზიანი სისტემისათვის დადგენილი თანაფარდობა ხაზურ და ფაზურ ძალებს (ე. მ. ძალებს) შორის, გენერატორის ხვეულების ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთების

ნახ. 97. სამფაზიანი სისტემის ე. მ. ძალები პირველი, მესამე და მეხუთე პარამონიკებით.

ნერატორის ხვეულების ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთების

შემთხვევაში. გენერატორის ხვეულების ვარსკვლავად შეერთების დროს (ნახ. 98) ხაზური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა (U_{ϕ})

$$U_{\phi} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots} \quad (139)$$

ვინაიდან გენერატორის გრავნილთა ე. მ. ძალების მე-3 და მისი ჯერადი (მე-9, მე-15 და ა. შ.) ჰარმონიკები ფაზით თანხვედნილნი არიან, ხოლო მათი სხვაობა ნულის ტოლია, ამიტომ ხაზური ძაბვებიდან გამოითიშებიან ამ რიგის ჰარმონიკები და შემცირდება ხაზური და ფაზური ძაბვების თანათარლობა

$$U_{\phi} \neq \sqrt{3} U_{\phi}$$

და

$$\frac{U_{\phi}}{U_{\phi}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots}}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots}} < \sqrt{3} \quad (140)$$

გენერატორის ხვეულების სამკუთხედად შეერთების დროს (ნახ. 99), სრული ე. მ. ძალა ხვეულის კონტურში ტოლია მე-3 და მისი ჯერადი ჰარმონიკების გასამკეცებელი მნიშვნელობების ჯამისა, ე. ი.

$$e = 3 \cdot e_3 + 3 \cdot e_9 + 3 \cdot e_{15} + \dots = 3(e_3 + e_9 + e_{15} + \dots)$$

ე. მ. ძალის დანარჩენი ჰარმონიკების ჯამი ნულის ტოლია, ხოლო სრული ე. მ. ძალის მოქმედი მნიშვნელობა გამოისახება ფარდობით

$$E = 3 \cdot \sqrt{E_3^2 + E_9^2 + E_{15}^2 + \dots}$$

შესაბამისად, სამკუთხედის წრედში გამავალი დენის მყისი მნიშვნელობა (დატვირთვების გარეშეც)

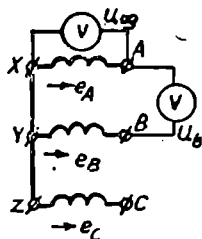
$$i = i_3 + i_9 + i_{15} + \dots$$

ვინაიდან დენის ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობები:

$$I_3 = \frac{3 \cdot E_3}{3Z_3}; \quad I_9 = \frac{3 \cdot E_9}{3Z_9}; \quad I_{15} = \frac{3 \cdot E_{15}}{3Z_{15}} \text{ და ა. შ.,}$$

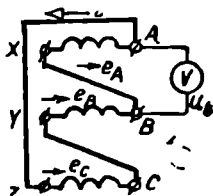
ამიტომ სრული დენის მოქმედი მნიშვნელობა

$$I = \sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots}$$



ნახ. 98. გენერატორის ხვეულების ვარსკვლავად შეერთება.

ხვეულების სამკუთხედად შეერთების დროს, ვარსკვლავად შეერთების მსგავსად, გამოითიშება ე. მ. ძალის შესამე და მისი ჭერადი ჰარმონიკები, ხაზური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა გამოისახება ფარდობით



ნახ. 99. გენერატორის ხვეულების სამკუთხედად შეერთება.

$$U_{\phi} = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2 + \dots} ; \quad (141)$$

ხაზური დენის მოქმედი მნიშვნელობა კი

$$I_{\phi} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \dots} , \quad (142)$$

სადაც ფაზური დენი

$$I_{\phi} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots} \quad (143)$$

ამ შემთხვევაშია

$$\frac{I_{\phi}}{I_{\phi}} < \sqrt{3} \quad (144)$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. სამფაზიანი გენერატორის ფაზური ე. მ. ძალა (ვოლტებში) ტოლია

$$e_{\phi} = 160 \sin \omega t + 80 \sin 3 \omega t + 20 \sin 5 \omega t.$$

საჭიროა განვსაზღვროთ გენერატორის ხვეულების (გრაგნილების) ფაზური და ხაზური ძაბვები როგორც ვარსკვლავად, ისე სამკუთხედად შეერთების დროს.

ამოხსნა

არასინუსოიდური ფაზური ძაბვის მნიშვნელობა, გენერატორის ხვეულის ვარსკვლავად შეერთების დროს

$$U_{\phi} = \sqrt{\frac{U_{1m}^2}{2} + \frac{U_{3m}^2}{2} + \frac{U_{5m}^2}{2}} = \sqrt{\frac{160^2}{2} + \frac{80^2}{2} + \frac{20^2}{2}} = 127 \text{ ვ.}$$

ხაზური ძაბვა კი, იმიტომ, რომ მე-3 ჰარმონიკა გამორიცხულია გათვლიდან, უდრის

$$U_{\phi} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{U_{1m}^2}{2} + \frac{U_{5m}^2}{2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{160^2}{2} + \frac{20^2}{2}} = 197 \text{ ვ.}$$

ხაზური ძაბვის ფარდობა ფაზურ ძაბვასთან, ამ შემთხვევაში, არ იქნება $\sqrt{3}$ -ის ტოლი. იგი ნაკლებია $\sqrt{3}$ -ზე, ვინაიდან ასეთ წრედში ადგილი აქვს ფარდობას

$$\frac{U_b}{U_{\Phi}} < \sqrt{3}, \text{ ე. ი. } \frac{U_b}{U_{\Phi}} = \frac{197}{127} = 1,55.$$

გენერატორის გრავნილთა სამკუთხედად შეერთების დროს, ვინაიდან აქაც გამორიცხულია მესამე პარმონიკა, ხაზური ძაბვა ფაზური ძაბვის ტოლია და მათთვის მივიღებთ გამოსახულებას

$$U_b = U_{\Phi} = \sqrt{\frac{U_{1m}^2}{2} + \frac{U_{5m}^2}{2}} = \sqrt{\frac{16U^2}{2} + \frac{20^2}{2}} = 114 \text{ ვ.}$$

§ 5-7. მოკლე დასკვნები

1. იმასთან დაკავშირებით, რომ სინქრონული მანქანები შეიცავენ რკინათაშორის შუალედს, ხოლო მათი ქსელები — სხვადასხვაგვარ ფოლადისგულარიან კოქებს, ამიტომ ცვლადი დენის წრედებში ადგილი აქვს ელექტრულ სიდიდეთა გადახრებს შესაბამისი სინუსოიდური მრუდებიდან, ე. ი. წრედებში მივიღებთ არასინუსოიდურ ე. მ. ძალებს და დენებს.

ამგვარად, არასინუსოიდური ეწოდება ისეთ ელექტრულ სიდიდეებს, რომელთა ცვალებადობა, მსგავსად სინუსოიდური სიდიდეებისა, პერიოდულია, ხოლო ფორმით მეტად რთული (დამახინჯებული).

2. იმისათვის, რომ ცვლადი დენის ასეთი წრედების მიმართ გამოიყენოთ გათვლის არსებული ელექტრული წესები, საჭიროა პერიოდულად ცვლადი არასინუსოიდური სიდიდეების დაშლა ფურიეს მწკრივებად: არასინუსოიდური სიდიდე იშლება მუდმივ და სინუსოიდურ ცვლად მდგენელებად.

ამგვარად, ყველა პერიოდულად ცვლადი არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდე (e , i და u) შეიძლება დაიშალოს და დაყვანილ იქნეს შესაბამის პარმონიულად ცვლად სინუსოიდურ სიდიდეთა ჯამზე, რომლის მდგენელების მიმართ გამოიყენება მუდმივი და ცვლადი დენებისათვის დადგენილი ელექტრული კანონზომიერებანი. ასე, მაგალითად, წრედში მოქმედი და ამგვარად დაშლილი არასინუსოიდური ძაბვა ასე გამოისახება

$$u = U_0 + U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + U_{nm} \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

3. ნებისმიერი ფორმის არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდეების მოქმედი მნიშვნელობების გასათვლელად გამოიყენება სინუსოიდურად ცვლადი დენის იგივე წესები. არასინუსოიდური ცვლადი ელექტრული სიდიდეების მოქმედი მნიშვნელობები ტოლია კვადრატული ფესვისა შემადგენელი ჰარმონიკების კვადრატების ჯამიდან, ე. ი.

$$E = \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2};$$

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

და

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}.$$

საშუალო სიმძლავრე, არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდეების შემთხვევაში, განისაზღვრება სინუსოიდური დენისათვის დადგენილ წესებით, ე. ი.

$$P = \frac{1}{T} \int_n^T u \cdot i \, dt.$$

და

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

ამგვარად, აქტიური სიმძლავრე

$$P = u_0 i_0 + u_1 i_1 \cos \varphi_1 + u_2 i_2 \cos \varphi_2 + \dots + u_n i_n \cos \varphi_n =$$

$$= P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

სინუსოიდური დენების ანალოგიურდ შემოაქვთ სრული სიმძლავრის ცნება (S), რომელიც განისაზღვრება დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობების ნამრავლით, ე. ი.

$$S = I \cdot U = \sqrt{\sum_{K=0}^{\infty} U_K I_K^2}$$

სადაც S სრული სიმძლავრეა.

რეაქტიული სიმძლავრე გამოითვლება ცალკეული ჰარმონიკების რეაქტიულ სიმძლავრეთა ჯამით, ე. ი.

$$Q = \sum_{K=1}^{\infty} Q_K = \sum_{K=1}^{\infty} U_K I_K \sin \varphi_K,$$

სადაც Q რეაქტიული სიმძლავრეა.

5. ცვლადი დენის წრედებში, რომლებიც შეიცავენ აქტიურ წინაღობას (r) და რომელთა მომქერებზე მოქმედებენ არასინუსოიდური ძაბვები, დენებიც არასინუსოიდურებია და ფორმით უახლოვდებიან ძაბვის მრუდებს.

აქტიური წინაღობისა და ინდუქციურობის (r და L) შემცველ წრედებში დენის მრუდები, განსხვავდებიან რა ძაბვის მრუდებისაგან, თავისი ფორმით უახლოვდებიან სინუსოიდებს.

აქტიურა წინაღობისა და ტევადობის (r და C) შემცველ წრედებში დენის მრუდები განსხვავდებიან ძაბვების არასინუსოიდური მრუდებისაგან და უფრო მკვეთრად სცილდებიან სინუსოიდის ფორმას. r , L და C პარამეტრებიან წრედებში, რომელთა მომქერებზეც მოდებულია არასინუსოიდური ძაბვები, დენის მაღალი რიგის რომელიმე ჰარმონიკისათვის შესაძლებელია რეზონანსული რეჟიმის დამყარება.

6. იმასთან დაკავშირებით, რომ ცვლადი დენის ასეთი წრედები ჰქმნიან პირობებს რეზონანსული რეჟიმის დამყარებისათვის, ამიტომ მათ ხშირად იყენებენ დენის მრუდების ფორმის შესაცვლელად, რის გამოც მათ ელექტრულ ფილტრებს ან მფილტრავ კონტურებს უწოდებენ.

ფილტრის მუშაობის მახასიათებელს წარმოადგენს ე. წ. გასწორების კოეფიციენტი (S), რომელიც ჰარმონიკების რიგითი კოეფიციენტების (K_1 — ფილტრამდე და K_2 — ფილტრის შემდეგ) შეფარდებით გამოისახება

$$S = \frac{K_1}{K_2}.$$

7. სიმეტრიული დატვირთვის მქონე მრავალფაზიან და კერძოდ სამფაზიან სისტემაში უმაღლესი ჰარმონიკების შემცველი ე. მ. ძალები ნოქმედი მნიშვნელობები ერთმანეთის ტოლია და $\frac{T}{3}$ პერიოდით დაძრულია ურთიერთის მიმართ, ე. ი.

$$E_A = E_B = E_C.$$

სამფაზიანი სისტემის ერთ-ერთი ფაზის სამი ჰარმონიკის შემცველი ე. მ. ძალის მყისი მნიშვნელობა (e_A) შესაბამისი ჰარმონიკების მყისი მნიშვნელობათა ჯამს უდრის

$$e_A = e_1 + e_3 + e_5 = E_{1m} \sin \omega t + E_{3m} \sin 3\omega t + E_{5m} \sin 5\omega t.$$

8. ასეთ სისტემებში იცვლება აგრეთვე სამფაზიანი სისტემებისათვის ცნობილი თანაფარდობები ხაზურ და ფაზურ სიდიდეთა შორის.

სისტემის ვარსკვლავად შეერთების დროს გენერატორის გრაგნილების ე. მ. ძალების მე-3 და მისი ჯერადი ჰარმონიკების (მე-9, მე-15 და ა. შ.) თანხედენის გამო, ხაზური ძაბვებიდან გამოირიცხება ეს ჰარმონიკები და ამით დაირღვევა ვარსკვლავად შეერთებისათვის განკუთვნილი ცნობილი ფარდობები, ე. ი. ჩავიწერთ

$$U_b \neq \sqrt{3} U_{\text{ფ}} \text{ და } I_b = I_{\text{ფ}}$$

ნაზური და ფაზური ძაბვების თანათარლობა ამ შემთხვევაში გამოისახება

$$\frac{E_b}{E_{\text{ფ}}} = \frac{U_b}{U_{\text{ფ}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots}}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots}} < \sqrt{3}$$

სისტემის სამკუთხედად შეერთების დროს კი სათანადოდ შეიცვლება სამკუთხედად შეერთებისათვის დადგენილი თანათარლობები და მანაცვლად გვექნება ნაზური და ფაზური სიდიდეების შემდეგი გამოსახულებები:

$$U_b = E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots}$$

და

$$\frac{I_b}{I_{\text{ფ}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}} < \sqrt{3}$$

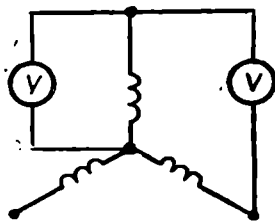
§6-8. სპარჯიზო

1. მუდმივპარამეტრებიანი ცვლადი დენის წრედის მომჭერებზე. რომელშიც მიმდევრობით ჩართულია რეოსტატი აქტიური წინაღობით 52,4 ომი და ინდუქციური კოჭა 53,2 მჰნ ინდუქციურობით, მოდებულია ძაბვა $u = (26,2 + 310 \cdot \sin \omega t)$ ვოლტს, რომლის ძირითადი ჰარმონიკის სიხშირე 60 ჰც-ის ტოლია. განსაზღვრეთ წრედის დენის მყისი მნიშვნელობა.

2. იმავე ამოცანის პირობებისათვის განსაზღვრეთ წრედის დენის ძალის მოქმედი მნიშვნელობა.

3. მუდმივპარამეტრებიანი ცვლადი დენის წრედის მომჭერებზე, რომელშიც მიმდევრობით ჩართულია $r = 8$ ომს, $x_L = 9$ ომს, და $x_C = 15$ ომს, მოდებულია ძაბვა $u = [179 \sin \omega t + 60 \sin 3 \omega t + 20 \sin(5 \omega t + 20^\circ)]$

ვოლტს, რომლის პირველი ჰარმონიკის სიხშირეა $f = 50$ ჰც. გამოთვალეთ წრედში გამავალი დენის მყისი მნიშვნელობა. განსაზღვრეთ ძაბვისა (U) და დენის (I) მოქმედი მნიშვნელობები და წრედის აქტიური სიმძლავრე (P).



ნახ. 100. მე-4 სავარჯიშოს ელექტრული სქემა.

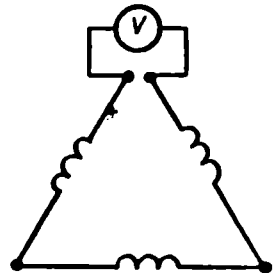
4. მოცემულია სამფაზიანი ტრანსფორმატორის ვარსკვლავად შეერთებული მეორეული გრაგნილი, რომელშიაც ინდუქცირდება ტოლი სიდიდის სიმეტრიული ფაზური ე. მ. ძალები $e = 170 \sin \omega t + 60 \sin$

($3 \sin \omega t + 15 \sin 5 \omega t$) ვოლტს. საჭიროა განისაზღვროს ფაზური და ხაზური ძაბვები (ნახ. 100) და ხაზური ძაბვების თანაფარდობა ფაზურთან.

5. მოცემულია სამფაზიანი ტრანსფორმატორის სამკუთხედად შეერთებული მეორეული გრაგნილი, რომელშიც ინდუქტირდება ტოლი სიდიდის სიმეტრიული ფაზური ელექტრომაგნიტური ძალები

$$e = (300 \sin \omega t + 60 \sin 3 \omega t + 30 \sin 5 \omega t + 18 \sin 7 \omega t + 10 \sin 9 \omega t)$$

ვოლტს. საჭიროა განისაზღვროს ძაბვა, რომელსაც ნახაზზე ნაჩვენები ვოლტმეტრი უჩვენებს (ნახ. 101).



ნახ. 101. მე-5 სავარჯიშოს ელექტრული სქემა.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას ეწოდება არასინუსოიდური დენები და რა მიზეზები წარმოშობენ მათ?
2. როგორ დაიშლება არასინუსოიდური ძაბვა ფურიეს მწკრივის საშუალებით?
3. როგორ განისაზღვრება ფაზათა ძვრის კუთხე?
4. დაწერეთ, როგორ გამოითვლება არასინუსოიდური ძაბვის, დენისა და ე. მ. ძალის მოქმედი მნიშვნელობები?
5. რას უდრის არასინუსოიდური დენის აქტიური სიმძლავრე და სიმძლავრის კოეფიციენტი?
6. როგორი თანაფარდობებით ხასიათდებიან არასინუსოიდური ელექტრული სიდიდეები (i , u , e), წრედში ჩართული (r , L , C) პარამეტრების განაწილების შესაბამისად?
7. რას ეწოდება ელექტრული ფილტრები და როგორ ხორციელდება მათი სქემები?
8. როგორ გამოისახება უმაღლესი ჰარმონიკების საშუალებით სამფაზიანი სისტემის ე. მ. ძალების (e_A , e_B , e_C) მყისი მნიშვნელობები?
9. რას უდრის ხაზური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა (U_b) არასინუსოიდური სამფაზიანი დენის წრედში, გენერატორის ხვეულების ვარსკვლავად შეერთების დროს?

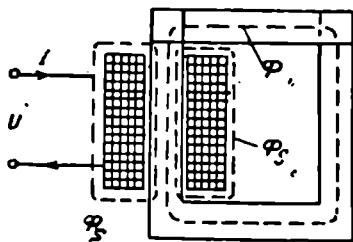
10. გამოიყვანეთ თანაფარდობები ხაზურ და ფაზურ ძაბვებსა ($\frac{U_b}{U_f}$) და ($\frac{I_b}{I_f}$) დენებს შორის, არასინუსოიდური სამფაზიანი დენის წრედისათვის, როცა გენერატორის ხვეულები შეერთებულია ერთ შემთხვევაში ვარსკვლავად, ხოლო მეორე შემთხვევაში — სამკუთხედად.

დავალემა 18

ფოლადისგულარიანი კოქა ცვლადი დენის წრედში. ენერჯის დანაკარგები ფოლადისგულარიან კოქაში. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

ფოლადისგულარიაანი რეაქტიული კოჭები ელექტრული ქსელების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენენ. ელექტრული მანქანების, ხელსაწყოებისა და სხვა მოწყობილობათა მაგნიტურ გამტარებად ძირითადად გამოიყენება მაღალი გამტარობის ფოლადი (ნახ. 102).

ამრიგად კოჭა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, შედგება ფოლადის შეკრული გულარისა და ხვეულთა (W) გარკვეული რაოდენობისაგან. თუ ასეთ კოჭას მოვდებთ ცვლადი დენის ძაბვას (U) და მასში გავატარებთ დენს (I). ამ დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი (Φ) ფოლადის გულარის საშუალებით შეიკვრება კოჭის ხვეულთა გარშემო. მაგნიტური ნაკადის ნაწილი, ფოლადის გულარში არსებული წინალობის გამო, მაინც დარჩება მაგნიტური გამტარის გარეშე და უშუალოდ ჰაერზე გავლით შეიკვრება კოჭის ხვეულების გარშემო. მაგნიტური ნაკადის ამ ნაწილს ფანტვის ნაკადი ეწოდება და Φ_ს-ალინიშნება. ფანტვის ნაკადი, თავის მხრივ, კოჭაში წარმოშობს ე. წ. ფანტვის ე. მ. ძალას



ნახ. 102. სავარკიშოს ელექტრული სქემა.

ამო, მაინც დარჩება მაგნიტური გამტარის გარეშე და უშუალოდ ჰაერზე გავლით შეიკვრება კოჭის ხვეულების გარშემო. მაგნიტური ნაკადის ამ ნაწილს ფანტვის ნაკადი ეწოდება და Φ_ს-ალინიშნება. ფანტვის ნაკადი, თავის მხრივ, კოჭაში წარმოშობს ე. წ. ფანტვის ე. მ. ძალას

$$E_s = \omega L_s I,$$

რომელიც ჩამორჩება დენს $\frac{I}{2}$ კუთხით. ამავე ნაკადის სიდიდით განისაზღვრება ე. წ. ფანტვის ინდუქციურობა (L_s), ინდუქციური წინალობა და ძაბვის ვარდნაც (U_s), ე. ი.

$$U_s = I \cdot x_s.$$

მთავარი მაგნიტური ნაკადი Φ, აღნიშნულ კოჭაში, აღძრავს ე. მ. ძალას, რომელიც წრედის ძაბვის (U) წინააღმდეგ იქნება მიმართული. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ განვიხილავთ dt დროის შუალედში dΦ ნაკადის მიერ შექმნილ ე. მ. ძალის მყის სიდიდეს (e)

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt}.$$

ვინაიდან კოჭის მთავარი მაგნიტური ნაკადი ტოლია

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t; \quad (145)$$

ამიტომ

$$\frac{d\Phi}{dt} = \omega \Phi_m \cdot \cos \omega t,$$

$$e = -\omega W \Phi_m \cdot \cos \omega t'$$

და

$$\boxed{e = \omega \cdot W \cdot \Phi_m \cdot \cos \omega t.} \quad (146)$$

როდესაც $\sin(\omega t - 90^\circ) = 1$, მაშინ კოქის ე. მ. ძალა აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ე. ი.

$$E_m = \omega \cdot W \cdot \Phi_m.$$

და თუ აღნიშნულ ტოლობაში შევიტანთ ე. მ. ძალის მოქმედ მნიშვნელობას და კუთხური სიხშირის სათანადო სიდიდეს $\omega = 2\pi f$, მაშინ მივიღებთ

$$\boxed{E = 4,44 \Phi_m \cdot f \cdot W.} \quad (147)$$

(135) და (136) გამოსახულებების დაპირისპირებით ადვილად ვრწმუნდებით, რომ კოქაში აღძრული ე. მ. ძალა (E) ჩამორჩება მის მთავარ მაგნიტურ ნაკადს 90° -ით.

თუ დავუშვებთ, რომ ფანტეის ნაკადს არა აქვს ადგილი (ე. ი. $\Phi_s = 0$) და კოქის აქტიური წინაღობაც ნულის ტოლია ($r = 0$), მაშინ ძაბვის ვარდნა ხვეულში უდრის ნულს, ხოლო კირხჰოფის მეორე კანონის საფუძველზე

$$\bar{U} + \bar{E} = 0$$

და

$$\boxed{U = -E.} \quad (148)$$

აქედან დავასკვნით, რომ მთავარი მაგნიტური ნაკადის მიერ შექმნილი ე. მ. ძალა ყოველთვის წრედის ძაბვის წინააღმდეგ არის მიმართული.

უკანასკნელი ფარდობიდან გამომდინარეობს ელექტროტექნიკისათვის მეტად საყურადღებო შედეგი, რომ ფოლადის გულარნი კოქის მთავარი ნაკადი (Φ) მის მომჭერებზე მოდებული ძაბვის პირდაპირპროპორციულია

$$\boxed{\Phi \equiv U.} \quad (149)$$

აღნიშნული ფარდობები ითვალისწინებენ კოქის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც $\Phi_s = 0$ და $r = 0$, ე. ი.

$$U_s = I \cdot x_s = 0$$

და

$$U_a = I \cdot r = 0.$$

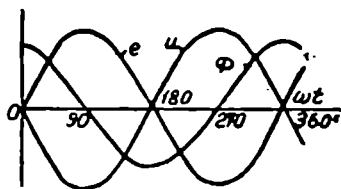
ვინაიდან ელექტრულ მანქანებსა და ხელსაწყოებში გამოყენებული ფოლადისგულარიანი კოჭების მუშაობის რეჟიმი ახლოს დგას აღნიშნულ დაშვებებთან, ხოლო U_s და U_a სიდიდეები მცირეა წრედის ე. მ. ძალის (E) სიდიდესთან შედარებით, ამიტომ მოცემული დასკვნა, ნაკადსა და ძაბვას შორის პირდაპირპროპორციულობის არსებობის შესახებ, ძალაში რჩება ცვლადი დენის ყველა წრედისათვის, რომელიც შეიცავს ფოლადისგულარიან რეაქტიულ კოჭას.

კოჭის მთავარი მაგნიტური ნაკადის, ე. მ. ძალის და ძაბვის ურთიერთდამოკიდებულების ნათელსაყოფად სასარგებლოა ავავოთ ტალღური დიაგრამა (ნახ. 103).

წინა გამოსახულებების (135, 136) შესაბამისად, მოცემული სინუსოიდები ცხადყოფენ, რომ მაგნიტური ნაკადი წინ უსწრებს კოჭის ინდუქციურ ე. მ. ძალას 90° -ით. ამავე დროს ნაკადი აგრეთვე 90° -ით ჩამორჩება კოჭის მომჭერებზე მოდებულ ძაბვას. ამრიგად, დავრწმუნდით, რომ როცა ფოლადისგულარიანი კოჭის მომჭერებზე მოქმედებს ცვლადი სინუსოიდური ძაბვა, მაშინ მთავარი მაგნიტური ნაკადი (Φ)

და მის მიერ აღძრული ე. მ. ძალა (E) აგრეთვე სინუსოიდურად იცვლებიან.

თუ სინუსოიდური ძაბვის ცვლილების დროს კოჭის მაგნიტური ნაკადიც სინუსოიდურად იცვლება, მაშინ დენი არასინუსოიდური ხასიხაა. დენის არასინუსოიდური ხასიათი გამოწვეულია კოჭის დამაგნიტების მრუდით. ამაში აღვილად დავრწმუნდებით, თუ მოცემული გვაქვს გულარის დამაგნიტებისა და კოჭის მაგნიტური ნაკადის სინუსოიდური

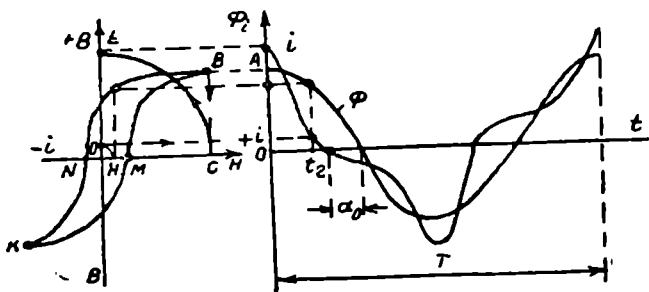


ნახ. 103. ფოლადისგულარიანი კოჭის ძაბვის, ე. მ. ძალის და ნაკადის ტალღური დიაგრამები (როცა $r_s = 0$ და $r = 0$).

მრუდები და მათ შესაბამისად ავავებთ დენის ცვალებადობის მრუდს (ნახ. 104). მრუდი პერიოდულად იცვლება, მაგრამ არასინუსოიდურია.

მაგნიტური ნაკადისა და დამაგნიტების მრუდების საშუალებით დენის სიდიდის განსაზღვრა და მისი ტალღური დიაგრამის აგება შემდეგნაირად ხორციელდება. ნაკადის სინუსოიდზე დროის t_1, t_2, \dots, t_n გარკვეული შუალედებისათვის დამაგნიტების მრუდზე პოულობენ დენის შესაბამის მნიშვნელობებს და გადააქვთ ისინი მაგნიტური ნაკადის მრუდის ღერძებზე. ასე, მაგალითად, თუ $t=0$, ე. ი. როდესაც ნაკადი

თავისი მაქსიმალური მნიშვნელობის ტოლია, დამაგნიტების დენის ძალის ამპლიტუდის მისაღებად, დიაგრამის A წერტილიდან დამაგნიტების მრუდის გადაკვეთამდე, გავავლებთ პორიზონტალურ ხაზს (წყვეტილი). გადაკვეთის B წერტილიდან დაშვებული BC პერპენდიკულარი აბსცისის ღერძზე იძლევა დენის ძალის შესაბამის OC მონაკვეთს, რომელიც CE წყვეტილი რკალით გადაგვაქვს დამაგნიტების მრუ-



ნახ. 104. დენის ტალღური დიაგრამის აგება დამაგნიტებისა და ნაკადის მრუდების საშუალებით.

დის ორდინატზე, ხოლო იქიდან — მაგნიტური ნაკადის $t_1=0$ -ის შესაბამის ორდინატზე. ასევე მოიძებნება დანარჩენი t_2, t_3, \dots, t_n დროის შესაბამისი დენის სიდიდეები (ორდინატები), ნაკადისა და დამაგნიტების მრუდების საშუალებით. დენის ძალის მრუდის $i=f(t)$ აგების დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მაგნიტური ნაკადისა და დამაგნიტების (პისტერეზისის) ყულფის ცვალებადობის შესაბამისობა, ე. ი. რომ მაგნიტური ნაკადის კლებას ეფარდებოდეს ყულფის განმაგნიტების (BN) უბანი, ხოლო ნაკადის მატებას—ყულფის დამაგნიტების (MB) უბანი.

როგორც 104-ე ნახაზზე მოყვანილი ტალღური დიაგრამები გვიჩვენებს, დენის ძალის პერიოდული მრუდი განსხვავდება ფორმით სინუსოიდისაგან. გარდა ამისა, ეს დენი წინ უსწრებს მაგნიტურ ნაკადს კუთხით, რომელსაც პისტერეზისის კუთხე ეწოდება. დენის ტალღური დიაგრამა მით უფრო განსხვავებულია სინუსოიდისაგან, რაც მეტია კოჭის გულარის დამაგნიტება და რაც უფრო განიერია პისტერეზისის ყულფი.

ფოლადისგულარიანი კოჭის გათვლების გამარტივებისა და ვექტორული დიაგრამების აგების მიზნით, მასში გამავალ არასინუსოიდურ დენს სცვლიან მისი ტოლფარდი სინუსოიდური დენის სიდიდით.

105-ე ნახაზზე მოცემულია კოჭის მაგნიტური ნაკადის საერთო შემთხვევა. მათე ნახაზზე (ბ) წარმოდგენილია შემთხვევა, როცა

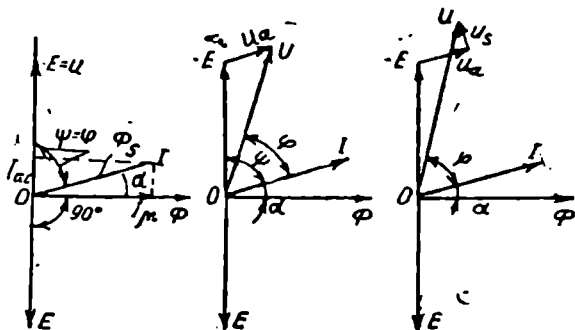
$\Phi_s = 0$ და $r \neq 0$. ბოლოს (ნახ. 105 გ) ასახულია სიტუაცია, როდესაც კოქაში ადგილი აქვს როგორც ფანტვის ნაკადს (Φ_s), ისე აქტიურ წინალობას (r). ამ დიაგრამებიდან ვხედავთ, რომ პირველ შემთხვევაში (ა) დენის ვექტორი წანაცვლებულია ე. მ. ძალისაგან და ძაბვისაგან φ კუთხით. მისი რეაქტიული მდგენელი — დამაგნიტების დენი I_μ ემთხვევა მაგნიტურ ნაკადს, ხოლო აქტიური მდგენელი I_a — ძაბვას

$$I_a = I \cdot \cos \varphi.$$

ამასთან, კოქა მოითხოვს ქსელიდან აქტიურ სიმძლავრეს

$$P = E \cdot I_a, \quad (150)$$

რომელიც დაიხარჯება ფოლადის გულარის მაგნიტური დანაკარგების.



ნახ. 105. ფოლადისგულარიანი კოქის ვექტორული დიაგრამები. (ა, ბ, გ).

ანუ ე. წ. ჰისტერეზისისა და გრიგალისებური დენების დასაფარავად. ამ შემთხვევაში ძვრის კუთხე E და I -ს შორის (ψ) ტოლი იქნება დენსა და ძაბვას შორის არსებული φ კუთხისა. დენის I_μ მდგენელს დამაგნიტების დენი ეწოდება, ხოლო მარჯვნივ ნაკადსა და დენს შორის შექმნილ კუთხეს (α) — მაგნიტური დაგვიანების კუთხე.

კოქაში აქტიური წინალობის არსებობა (ნახ. 105, ბ) იწვევს ძვრის კუთხის შემცირებას და სათანადოდ დენის აქტიური მდგენელის ($I_a = I \cdot \cos \varphi$) გაზრდას.

დაბოლოს, კოქაში, აქტიურ წინალობასთან ერთად ფანტვის ნაკადის არსებობა (ნახ. 105, გ) იწვევს აქტიური ძაბვის ვარდნასთან (U_a) ერთად რეაქტიული ძაბვის ვარდნასაც (U_s), რომლებიც ერთმანეთს ემატებიან და წრედში მყარდება ძაბვათა შემდეგი თანაფარდობა

$$\overline{U} + (-\overline{E}) = \overline{I} \cdot r + \overline{I} \cdot x_s,$$

(151).

სადაც E არის საწინააღმდეგო ე. მ. ძალა (ძაბვის საკომპენსაციო):

$\overline{I} \cdot r$ — ძაბვის ვარდნა კოქის აქტიურ წინაღობაზე;

$\overline{I} \cdot x_s$ — ძაბვის ვარდნა კოქის ინდუქციურ წინაღობაზე.

თუ ძაბვის საწინააღმდეგო ე. მ. ძალის საკომპენსაციო მდგენელს $(-E)$ განვიხილავთ როგორც ძაბვის ვარდნას (U_E), მაშინ, კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად, (141) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\overline{U} = \overline{U}_E + \overline{U}_a + \overline{U}_c = \overline{I} \cdot Z,$$

(152)

საიდანაც დავასკვნით, რომ ფოლადის გულარიანი კოქაში გამავალი დენის განსაზღვრისათვის გამოიყენება აგრეთვე ომის კანონი

$$I = \frac{U}{Z}.$$

ფოლადისგულარიანი რეაქტიული კოქები ქსელში ხშირად ჩაერთვებიან, როგორც მიმღებთა ძაბვის მარეგულირებელი საშუალება. ასეთ კოქებს, რომლებსაც დროსელებს უწოდებენ, აქვთ მოძრავი კონსტრუქციის გულარი. ამ უკანასკნელის გადაადგილებით იცვლება მაგნიტური ნაკადის წინაღობა და, შესაბამისად, სრული წინაღობა Z , რასაც მოყვება მიმღების მომჭერებზე მოდებული ძაბვის სათანადო ცვლილება.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. მოცემულია ფოლადისგულარიანი რეაქტიული კოქა, რომლის ზომებიც ნაჩვენებია 106-ე ნახაზზე. იგი შეიცავს $W=120$ ხვეულს, წინაღობით $r=0,5$ ომს. გულარი დამზადებულია სატრანსფორმატორო $\vartheta=41$ მარკის ფოლადის ფურცლებისაგან, სისქით $\Delta=0,35$ მმ. საჭიროა განისაზღვროს მაგნიტური ნაკადი და გულარის მაგნიტური ინდუქცია, თუ წრედში მოქმედებს სინუსოიდური დენი, რომლის ძაბვა 380 ვოლტია, სიხშირე $f=50$ ჰც, ხოლო ფურცლებს შორის საიზოლაციო შრე 10 %-ს შეადგენს.

ამოხსნა

მოცემული კოქის მაგნიტური ნაკადი ცნობილი გამოსახულების (137) შესაბამისად

$$\Phi_m = \frac{E}{4,44 f W}$$

ძაბვის ვარდნის მცირე სიდიდის გამო შესაძლებელია დავუშვათ, რომ

$$E \approx U.$$

მაშინ უფლება გვქვია დავწეროთ

$$\Phi_m = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 120} = 0,01426 \text{ ვბ} = 14,26 \cdot 10^5 \text{ მკს.}$$

გულარის აქტიური კვეთი (S_g)

$$S_g = 11 \cdot 11 \cdot 0,9 = 108,9 \text{ სმ}^2.$$

უღლის აქტიური კვეთი ($S_{\text{ულ}}$)

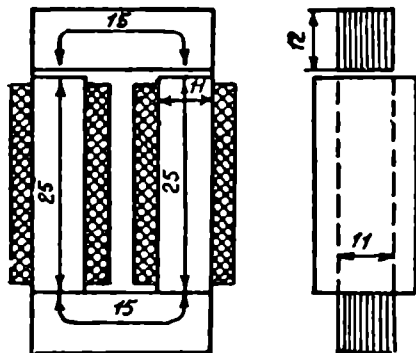
$$S_{\text{ულ}} = 11 \cdot 12 \cdot 0,9 = 118,8 \text{ სმ}^2.$$

გულარის მაგნიტური ინდუქცია

$$B_g = \frac{\Phi_m}{S_g} = \frac{14,26 \cdot 10^5}{108,9} \approx 13100 \text{ ჰს} = 1,31 \text{ ტლ.}$$

უღლის მაგნიტური ინდუქცია

$$B_{\text{ულ}} = \frac{\Phi_m}{S_{\text{ულ}}} = \frac{14,26 \cdot 10^5}{118,8} \approx 12000 \text{ ჰს} = 1,2 \text{ ტლ.}$$



ნახ. 106. კოქის სქემატური ნახაზი მაგალითისათვის.

§ 5-10. მენარგის დანაკარგები ფოლადისგულარიან კოქაში

ფოლადისგულარიან კოქაში გეხვდება ორი სახის დანაკარგები — დანაკარგები სპილენძში და დანაკარგები ფოლადში.

სპილენძში დანაკარგებს იწვევს კოქის ხვეულის (გრაგნილის) აქტიური წინაღობა (r). რაც გამოსახება ცნობილი ტოლობით

$$P_{\text{ს}} = I^2 r \text{ ტ.} \quad (153)$$

კოქის ეს დანაკარგები დამოკიდებულია დატვირთვის დენზე და როდესაც $I=0$, ე. ი. უქმი სვლის დროს, $P_{\text{ს}}=0$ და პირიქით. აღნიშნული

დანაკარგები გამოიყოფა სითბოს სახით, რაც იწვევს გრაგნილის გახურებას. კოქის გახურების თავიდან აცილების მიზნით ირჩევენ სათანადო კვების გამტარებს, რომლებსაც ნაკლები აქტიური წინააღობა (r) აქვთ.

რაც შეეხება დანაკარგებს ფოლადში, იგი ორი ნაწილისაგან შედგება და ჰისტერეზისითა და გრიგალისებური დენებით არის განპირობებული

$$P_{\text{ფ}} = P_3 + P_{\text{გრ}}.$$

როგორც პირველი (P_3), ისე მეორე ($P_{\text{გრ}}$) მდგენელი ამ დანაკარგებისა კოქის ცვალებადი მაგნიტური ნაკადით არის გამოწვეული და სათანადო ემპირიული გამოსახულებებით ჩაიწერება.

ჰისტერეზისით გამოწვეული დანაკარგები, ანუ დანაკარგები დაკავშირებული კოქის გულარის განმაგნიტებასთან, იხარჯება გულარის ნარჩენი მაგნიტიზმის კომპენსაციაზე (დასაძლევად) და გამოითვლება მაგნიტური ინდუქციის შემთხვევისათვის:

1) როცა $B_m < 1$ ტლ,

$$P_3 = 0,01 \cdot f \cdot B_m \cdot (a + bB_m); \quad (154)$$

2) როცა $B_m > 1$ ტლ,

$$P_3 = 0,01 \cdot \sigma_3 \cdot f \cdot B_m^2; \quad (155)$$

სადაც a , b და σ_3 პრაქტიკული კოეფიციენტებია, რომელთა მნიშვნელობა დამოკიდებულია ფოლადის მარკაზე;

f — დენის სიხშირე, ჰც;

B_m — მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ტლ.

დანაკარგები გრიგალისებურ დენებზე გამოწვეულია მაგნიტური ნაკადის ცვალებადობით და ამიტომ იცვლება $\frac{d\Phi}{dt}$ სიჩქარით. მისი სიმძლავრე ჩაიწერება ემპირიული ფორმულით (ვატის კოლოგრამობით)

$$P_{\text{გრ}} = 0,01 \cdot \sigma_{\text{გრ}} \cdot f^2 \cdot B_m^2; \quad (156)$$

ხვედრით დანაკარგებს ფოლადში (P_3) ჩვეულებრივად განსაზღვრავენ ცნობარების საშუალებით, გულარის ერთეულ წონაზე (ვტ/კგ), საიდანაც გამოთვლიან სიმძლავრის სრულ დანაკარგებს

$$P_{\text{ფ}} = P_{\text{ს}} \cdot B^2_m \text{ ვტ/კგ.}$$

(157)

მე-15 ცხრილში მოყვანილია სხედასხვა მარკის ელექტროტექნიკური ფოლადებისათვის 802-58 სახელმწიფო სტანდარტით დადგენილი სიმძლავრის ხვედრითი დანაკარგები.

ცხრილი 15

ფოლადის მარკა	ფურცლის სისქე, მმ	სიმძლავრის დანაკარგები, ვტ/კგ
მ-11	0, 5	3,3
მ-12	0, 5	3,2
მ-13	0, 5	2,8
მ-21	0, 5	2,5
მ-31	0,35	2,0
მ-31	0, 5	1,6
მ-41	0, 5	1,6
მ-42	0, 5	1,4
მ-43	0, 5	2,8

მაგნიტური ველის დაძაბულობის (H) დასადგენად აღნიშნულ ფერომაგნიტური მასალებისათვის განკუთვნილია აგრეთვე სპეციალური ცხრილები (16).

ცხრილი 16

B(ტლ)	ფოლადის მარკები		
	მ-11, მ-12, მ-21	მ-41, მ-42	სსმული ფოლადი
	II(ა/სმ)	II(ა/სმ)	II(ა/სმ)
0,1	—	0,40	0,8
0,3	--	0,60	2,40
0,5	1,71	0,85	4,00
0,6	2,11	1,10	4,88
0,7	2,61	1,45	5,84
0,8	3,18	1,85	6,82
0,9	3,97	2,35	7,98
1,00	5,02	3,00	9,20
1,10	6,47	3,95	10,90
1,20	8,40	5,40	12,90
1,39	11,40	7,70	15,90
140	15,80	13,00	20,90
1,50	25,00	27,50	28,90

ფოლადის ეს სპეციალური მარკები საგრძნობლად ამცირებენ ენერჯის დანაკარგებს გულარში. ჩვეულებრივი ნახშირბადოვანი ფოლადების ხმარების შემთხვევაში ეს დანაკარგები შესამჩნევად გაიზარდებოდა.

ფოლადში დანაკარგების გათვლის დროს ზოგჯერ სარგებლობენ ფერომაგნიტური მასალების ე. წ. დამაგნიტების მრუდებით. 107-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ფოლადებისა და თუჯის ამგვარი მრუდები.

აღნიშნული მრუდების შემოწმებით დადგინდება ურთიერთდამოკიდებულება მაგნიტურ ინდუქციასა (B) და ველის დაძაბულობას (H) შორის, გამოითვლება დამაგნიტების დენები (I_d). გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის განხილვაზე.

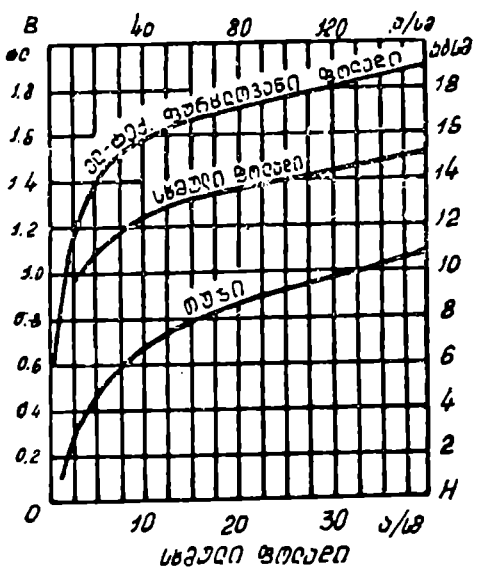
მაგალითი. მოცემულია რეაქტიული კოჭა, რომლის ხვეულთა რაოდენობაა $w = 380$, ხოლო აქტიური წინაღობა $r = 3,6$ ომს.

გულარი დამზადებულია 2-21 მარკის ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან 108-ე ნახაზზე მოცემული ზომებით.

ფურცლების რაოდენობა. რომლებსგანაც აკრეფილია გულარი. 50 ცალია, ხოლო თითოეულის სისქე 0,5 მმ-ს უდრის. ფოლადის ფურცელთა შორის იზოლაცია მაგნიტური გამტარის მოცულობის 11,4% შეადგენს.

განსაზღვრეთ კოჭის ხვეულის დენი. თუ იგი ჩართულია ცვლადი დენის ქსელში, რომლის სიხშირე $f = 50$ ჰც-ია, ხოლო ძაბვა — 220 ვოლტი. ააგეთ ვექტორული დიაგრამა. გათვლებში დაუშვით, რომ ფანტვის ნაკადი $\Phi_s = 0$.

სს-ბმპ. შოკადეი და თუჯი



ნახ. 107. სპეციალური მარკის ფოლადებისა და თუჯის დამაგნიტების მრუდები.

ამოხსნა

მაგნიტური ნაკადი კოჭაში, როდესაც $E = U = 220$ ვ,

$$(I)_m = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot w} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 380} = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ ამ,}$$

ხოლო მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S_{\text{ფ}}}$$

ვინაიდან

$$S_{\text{ფ}} = S - 0,114 S = 0,886 S = 22 \text{ სმ}^2,$$

ამიტომ

$$B = \frac{2,63}{22 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ ტლ.}$$

ველის მაქსიმალურ დაძაბულობას ვიპოვით მე-16 ცხრილიდან:

$$\text{მ-21-სათვის } H_{m_{\text{ფ}}} = 8,4 \text{ ა/სმ.}$$

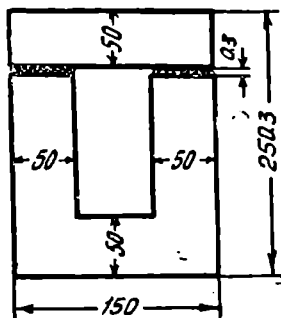
საპაერო შუალედისათვის $H_{m_{\text{ა}}} = 0,8$ $B_m = 8000 \cdot 1,2 = 9.600$ ა/სმ. კოპის დამავნიტების ძალა იქნება

$$I_{m_{\mu}} \cdot \omega = II_{m_{\text{ფ}}} l_{\text{ფ}} + II_{m_{\text{ა}}} \cdot l_{\text{ა}} = 8,4 \cdot 60 + 9600 \cdot 0,06 = 1080,$$

საიდანაც დამავნიტების დენი

$$I_{\mu} = \frac{I_{m_{\mu}} \omega}{\sqrt{2} \omega} = \frac{1080}{1,41 \cdot 380} = 2,0 \text{ ა.}$$

სიმძლავრის ხვედრითი დანაკარგები კოქაში, თანახმად ГОСТ-ის



ნახ. 103. სქემატური ნახაზი მაგალითისათვის.

მონაცემებისა (ცხრილი 15), შეიძლება გამოითვალოს ემპირიული გამოსახულებით

$P_{\text{ფ}} = P_{\text{ბ}} \cdot B_m^2 = 2,5 \cdot (1,2)^2 = 3,6 \text{ ვტ/კგ}$,
სადაც $P_{\text{ბ}}$ ეკვივალენტური დანაკარგებია ერთ კგ ფოლადში და უდრის

$$P_{\text{ბ}} = 2,5 \text{ ვტ/კგ.}$$

თავნიტური გამტარის (ფოლადის ნაწილი) წონა, თუ ხვედრითი წონა $7,8 \text{ გ/სმ}^3$ -ია, გამოითვლება ფარდობით

$$G = 7,8 \cdot S \cdot l_{\text{საფ}} = 7,8 \cdot 22 \cdot 60 = 10,6 \text{ კგ.}$$

- მასასადამე, სიმძლავრის სრული დანაკარგები ფოლადში

$$P = P_{\text{ფ}} \cdot G = 3,6 \cdot 10,6 = 38,16 \text{ ვტ.}$$

დენის აქტიური მდგენელი

$$I_a = \frac{P}{U} = \frac{38,16}{220} \approx 0,17 \text{ ა,}$$

ზოლო კოქაში გამავალი სრული დენი

$$I = \sqrt{I_{\mu}^2 + I_a^2} = \sqrt{2,0^2 + 0,17^2} \approx 2,2 \text{ ა.}$$

ვექტორული დიაგრამის აგებას (მასშტაბში) ვიწყებთ მაგნიტური ნაკადის ვექტორის (Φ) გადაზომვით ჰორიზონტალური მიმართულებით. მას 90° -ით წამორჩება ე. მ. ძალა (E), რაც ნაჩვენებია 109-ე ნახაზზე. ვინაიდან

$$I \cdot r \leq U \quad (1, 2 \leq 22 \text{ ა})$$

და

$$U = U' = E.$$

აქტიური დენის მდგენელი I_a დამთხვევა ფაზით U' -ს, ხოლო რეაქტიული მდგენელი I_μ ჩამორჩება მას 90° -ით.

I_a და I_μ მდგენელების შეკრებით მივიღებთ კოქის სრული დენის I ვექტორს. I_0

§ 6-11. მოკლე დასკვნები

1. ფოლადისგულარიანი რეაქტიული კოქები ცვლადი დენის ქსელების შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენენ და გარკვეულ ზეგავლენას ახდენენ მათში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებზე. ასეთ კოქებში აღძრული ე. მ. ძალის მყისი და მოქმედი მნიშვნელობები შემდეგი ფარდობებით გამოისახება:

$$e = \omega \cdot \omega \cdot \Phi_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

და

$$E = 4,44 \Phi_m \cdot f \cdot \omega.$$

აღნიშნული ე. მ. ძალები ყოველთვის წრედის ძაბვის საწინააღმდეგოდ არიან მიმართული და ჩამორჩებიან კოქების მაგნიტურ ნაკადს $\frac{\pi}{2}$ კუთხით. თავის მხრივ, ნაკადი პირდაპირპროპორციული რჩება წრედის მომქერებზე მოდებულ ძაბვისა, ე. ი.

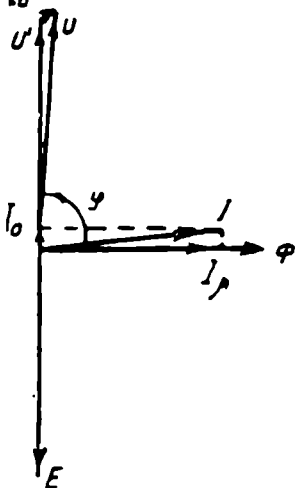
$$U = -E$$

და

$$\Phi \equiv U.$$

2. ფოლადისგულარიანი კოქის მომქერებზე მოქმედი სინუსოიდური ძაბვის შემთხვევაში მისი მაგნიტური ნაკადი და მასში აღძრული ე. მ. ძალაც სინუსოიდურად იცვლება.

თუ სინუსოიდური ძაბვის დროს კოქის მაგნიტური ნაკადიც სინუს-



ნახ. 109. ვექტორული დიაგრამა მაგალითისათვის (როდესაც $\phi = 0$).

სოიდურია, მაშინ დენი არასინუსოიდურ სახეს ღებულობს, რასაც განაპირობებს კოქის დამაგნიტების მრუდი.

3. დენის მრუდი მით უფრო განსხვავდება სინუსოიდისაგან, რაც მეტია კოქის გულარის დამაგნიტება და განიერია ჰისტერეზისის ყულფი.

4. ფოლადისგულარიან კოქაში, აქტიური წინალობისა და ფანტვის დაკადის არსებობის დროს, წრედი აკმაყოფილებს შემდეგ თანაფარდობებს:

$$\bar{U} + (-\bar{E}) = \bar{I} \cdot r + \bar{I} \cdot x_s$$

და

$$\bar{U} = \bar{U}_F + \bar{U}_e + \bar{U}_m = I \cdot Z.$$

რაც იმას ადასტურებს, რომ ფოლადისგულარიან კოქებში გამავალი დენის გამოთვლისათვის ძალაში რჩება ომის კანონი, ე. ი.

$$I = \frac{U}{Z}.$$

5. ცვლადი დენის ქსელებში ჩართულ ფოლადისგულარიან კოქებში, ადგილი აქვს ენერჯის ორი სახის დანაკარგებს. ასეთებია: დანაკარგები სპილენძში და დანაკარგები ფოლადში.

6. სპილენძში დანაკარგებს წარმოშობს კოქის ხვეულის აქტიური წინალობა (r) და გამოითვლება ფარდობით

$$P_{\text{სპ}} = I^2 \cdot r \text{ ვტ.}$$

დანაკარგებს ფოლადში კი წარმოშობს ჰისტერეზისი და გრიგალისებური დენები, რაც გამოისახება ფარდობით

$$P_{\text{ფ}} = P_1 + P_{\text{გრ}},$$

სადაც

$$P_1 = 0,01 \cdot \sigma_{\text{კ}} \cdot B_m^2$$

და

$$P_{\text{გრ}} = 0,01 \cdot \sigma_{\text{გრ}} \cdot B_m^2$$

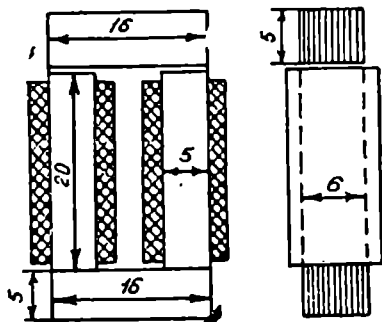
7. ენერჯის ხვედრით დანაკარგებს ფოლადში ხშირად განსაზღვრავენ ცნობარების საშუალებით (გულარის ერთეულ წონაზე).

§ 5-12. საპარჯიზო

1. ფოლადისგულარიანი კოქა, რომლის ზომები მოცემულია 110-ე ნახაზზე, შეიცავს გრანგის ხვეულთა რიცხვით $W = 250$. კოქის აქტიური წინალობა $r = 0,45$ ომს. გულარი დამზადებულია მ-41 მარკის სატრანსფორმატორო ფოლადისაგან, რომლის სისქე 0,35 მმ-ია. საჭიროა განისაზღვროს მაგნიტური ნაკადი (Φ), გულარისა და ულლის მაგ-

ნიტური ინდუქციები, თუ წრედში მოქმედებს სინუსოიდური ძაბვა $U=220$ ვოლტით. ხოლო სიხშირე $f=50$ ჰც.

2. ფოლადისგულარიანი კოქა, რომლის კვეთი 42 სმ² უდრის, სიგრძე 14.1 სმ. ხოლო აქტიური წინაღობა მეტად უმნიშვნელოა. შეერთებულია ცვლადი დენის ქსელთან. ქსელის ძაბვა $U=205$ ვოლტს და სიხშირე $f=50$ ჰც, კოქის ხვეულთა რიცხვი $w=400$. განსაზღვრეთ კოქაში გამავალი დენი გულარის მასალის ორი შემთხვევისათვის: 1) მ-42 მარკისა და 2) მ-11 მარკის ფოლადისათვის.



ნახ. 110. კოქის სქემატური ნახაზი მაგალითისათვის.

3. ფოლადისგულარიანი კოქა, რომლის აქტიური წინაღობა $r=2$ ომს, ჩართულია ცვლადი დენის ქსელში, სადაც ძაბვა 220 ვოლტია. კოქაში გამავალი დენი $2,53$ ა-ის ტოლია, ხოლო მისი სიმძლავრის კოეფიციენტი უდრის $0,1$. საჭიროა განისაზღვროს დანაკარგები სპილენძსა და ფოლადში.

4. ცვლადი დენის ქსელში, რომლის სიხშირე $f=50$ ჰც, ჩართულია რეაქტიული კოქა, მისი გულარის მაგნიტური ნაკადის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეადგენს $0,01$ ვბ-ს. კოქაში გამავალი დენი უდრის 15 ა-ს, ხოლო კოქის ხვეულთა რიცხვი $w=100$. კოქის წინაღობა $r=0.4$ ომს და სიმძლავრის დანაკარგები კი 400 ვტ. უნდა განისაზღვროს: 1) ქსელის ძაბვა, 2) დენის აქტიური და დამაგნიტების მდგენელები.

5. მ-41 მარკის ფოლადის გულარზე. რომლის ფურცლების ზომებია: სისქე $0,5$ მმ; განივკვეთის ფართობი 16 სმ² და საშუალო მაგნიტური ხაზის სიგრძე 44 სმ, მოთავსებულია ელექტრომაგნიტური კოქა. მისი ხვეულთა რიცხვი $w=480$, ხოლო აქტიური წინაღობა $r=20$ ომს. საჭიროა განისაზღვროს კოქის გრაგნილის დენი და მისი აქტიური და დამაგნიტების მდგენელები. მოცემულ პირობასთან ერთად ცნობილია, რომ კოქაზე მოდებული ძაბვა 120 ვოლტია, სიხშირე 50 ჰც, ფოლადის ხვედრითი დანაკარგები კი $P_{\text{ფ}} = 1.6$ ვტ/კგ.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რა ცვლილებებს იწვევს ფოლადის (ჩკინის) გულარის შეტანა ცვლადი დენის წრედში ჩართულ ელექტრომაგნიტურ კოქაში?

2. რას ეწოდება მთავარი და ფანტეის მაგნიტური ნაკადები და რა ელექტრომაგნიტურ პროცესებს წარმოშობენ ფოლადისგულარიან კოქაში? დაასაბუთეთ ანალიზურად და გრაფიკულად.

3. რა განპირობებს დენის არასინუსოიდურ ხასიათს ფოლადისგულარიან კოქაში, თუ მასზე მოდებული ძაბვა სინუსოიდურია?

4. რა დამოკიდებულება არსებობს ფოლადისგულარიან კოქაში მთავარ ნაკადსა, ე. მ. ძალასა და ძაბვას შორის? ააგეთ ტალღური და ვექტორული დიაგრამები და დაასაბუთეთ ანალიზურად.

5. სიმძლავრის რა სახის დანაკარგები ახასიათებს ფოლადისგულარიან კოქას და როგორ გამოითვლება თითოეული მათგანი?

6. რას ეწოდება პისტრეზიის გამოწვეული დანაკარგები და დანაკარგები გრძელისებურ დენებზე? მათი გათვლის ფორმულები.

7. როგორ განისაზღვრება სიმძლავრის ხვედრითი დანაკარგები ფოლადიან გულარში?

8. რას ეწოდება ფერომაგნიტური მასალების დამაგნიტების მრუდები და რისთვის იყენებენ მათ?

9. როგორ იცვლება ფოლადის გულარის დანაკარგები, სიხშირის ცვალებადობის მიხედვით?

10. რა პრაქტიკული გამოყენება აქვს ფოლადისგულარიან კოქებს ელექტროტექნიკასა და საერთოდ თანამედროვე ტექნიკის განვითარებაში?

დავლება 10

§ 5-13. ლაბორატორიული სამუშაო №8

ფოლადისგულარიანი კოქის შესწავლა

სამუშაოს მიზანი

1. ცვლადი დენის წრედებში ჩართულ ფოლადისგულარიან კოქებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური მოვლენების პრაქტიკულ შესწავლას.

2. ფოლადისგულარიანი კოქის ელექტრული დანაკარგების გაზომვის ჩვევების გამომუშავება.

3. ფოლადისგულარიანი კოქის შემცველი წრედებისათვის ვექტორული დიაგრამების აგების ჩვევების გამომუშავება.

სამუშაოს გეგმა

1. სამუშაოს დაწყებამდე გაიმეორეთ სათანადო თეორიული მისაღწევა, რომელიც მოცემულია მე-18 დავალებაში.

2. გაეცანით სამუშაოს აღივს, ცდისათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს, ელექტრულ და საკომუტაციო მოწყობილობებს, შეიტანეთ სათანადო ჩანაწერები რვეულში.

3. განახორციელეთ (აკრიფეთ) სამუშაო ელექტრული სქემა, რომლის ქსელში ჩართვა ხდება მასწავლებლის შემოწმებისა და ნებართვის შემდეგ.

4. განსაზღვრეთ კოქის გულარის დანაკარგები.

5. გამოთვალეთ ძაბვის ის სიდიდეები, რომელთა მოდებია საჭირო იქნება კოქის მომპერებზე, რომ მისი გულარის მაგნიტური ინდუქცია იცვლებოდეს 6000, 8000, 10000 და 12000 ჰს-ის ფარგლებში.

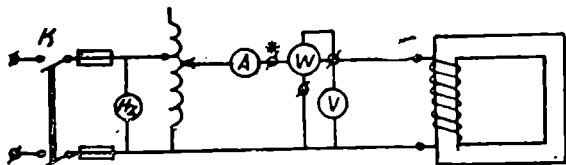
6. მაგნიტური ინდუქციის აღნიშნული სიდიდეებისათვის გათვალეთ დანაკარგები ფოლადში.

7. ხელსაწყობა ჩვენებისა და გათვლების საფუძველზე ააგეთ სათანადო გრაფიკები $P_{\Sigma} = f_1(B_m)$ და $I = f_2(U)$.

8. დაუკვირდით მიღებულ შედეგებს, გაანალიზეთ ისინი და თქვენი დასკვნები შეიტანეთ ოქმში.

სამუშაოს შესრულება

აღნიშნული სამუშაო სრულდება 111-ე ნახაზზე წარმოდგენილი ელექტრული სქემის შესაბამისად. საცდელი წრედის ქსელში ჩართვის შემდეგ ვატმეტრის ჩვენებები ასახავენ როგორც კოქის გულარის სიმ-



ნახ. 111. ელექტრული სქემა მაგალითისათვის.

ძლავრის დანახარჯებს, ისე იმ დანახარჯებს, რომლებსაც ადგილი აქვს სპილენძში, ვოლტმეტრში და ვატმეტრის პარალელურ ხვეულაში

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma} + P_{\Sigma} + P_{\Sigma} + P'_{\Sigma}$$

ამ ფარდობიდან გამოითვლება დანაკარგები ფოლადის გულარში

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma} - (P_{\Sigma} + P_{\Sigma} + P'_{\Sigma})$$

ეს დანაკარგები სპილენძში, ვოლტმეტრში და ვატმეტრის ძაბვის ხვეულებში გაითვლება საცდელი წრედის ამპერმეტრისა და ვატმეტრის ჩვენებათა საფუძველზე, ცნობილი ფარდობების საშუალებით:

$$P_{\Sigma} = I^2 \cdot r, \quad P_{\Sigma} = \frac{U^2}{r} \quad \text{და} \quad P'_{\Sigma} = \frac{U^2}{r'}$$

ხედრითი დანაკარგები კი, გულარის 1 კგ წონაზე, გამოითვლება ფარდობიდან

$$P_{\text{ვ}} = \frac{P_{\text{ფ}}}{G}$$

ვატმეტრის ჩვენება და გათვლების შედეგები შეიტანეთ ქვემოთ მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 17).

ცხრილი 17

დაკვირვებათა რიგი	ხელსაწყოთა ჩვენებები				გამოსათვლელი სიდიდეები						შენიშვნები
	U	P _ვ	I	f	P _ს	P _ვ	P _ფ	G	P _ვ		
	ვ	ვტ	ა	პ	ვტ	ვტ	ვტ	კგ	კვ		

საცდელი კოქის მომქერებზე მოდებულ ძაბვის სიდიდეს ვცვლით სქემაში ჩართული ავტოტრანსფორმატორის საშუალებით, ხოლო გათვლებისათვის, ესარგებლობთ ცნობილი ფარდობით

$$U = 4,44 \cdot f \cdot w \cdot S \cdot B_m$$

B_m -ს ყოველი აღებული მნიშვნელობისათვის ვითვლით დანაკარგებს ფოლადის გულარში და შეგვაქვს იგი მოცემულ ცხრილში. ხელსაწყოთა ჩვენებებისა და გათვლების საფუძველზე, სამუშაო გეგმის შესაბამისად, ავაგებთ $P_v = f(B_m)$ და $I = f(U)$. გრაფიკებს (მასშტაბში). ცდის სხვა მაჩვენებლებთან ერთად ეს გრაფიკებიც შეგვაქვს სამუშაოს ოქმში.

საკონტროლო კითხვები

1. რა ცვლილებებს ქმნიდა საცდელ წრედში ფოლადის გულარის შეტანა კოქაში?
2. რას უდრიდა სიხშირის მზომის ჩვენება საცდელ წრედში, კოქის მომქერებზე ძაბვის მნიშვნელობის ცვლილების დროს?
3. სიმძლავრის რა დანაკარგებისაგან შედგება ვატმეტრზე ათვლილი სიმძლავრე — $P_{\text{ვტ}}$?
4. დაასაბუთეთ, როგორ გაითვლება სიმძლავრის დანაკარგები ფოლადში.
5. დაასაბუთეთ, როგორ გაითვლება სიმძლავრის დანაკარგები კოქის გრაფილში, ვოლტმეტრში და ვატმეტრის ხვეულაში.
6. რა დანიშნულება აქვს აღნიშნულ ცდაში ავტოტრანსფორმატორის გამოყენებას?
7. მაგნიტური ინდუქციის რა მნიშვნელობისათვის გათვალეთ კოქის ძაბვა, დენი ძალა და ხედრითი დანაკარგები?

ტრანსფორმატორები

აღნიშნულ თავში განიხილება ცვლადი დენის ქსელებისა და ელექტროენერგეტიკული სისტემების შემადგენელი ერთ-ერთი ძირითადი აპარატი — ტრანსფორმატორი და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები.

ტრანსფორმატორის შესწავლის დროს ყურადღებას ვამახვილებთ ტრანსფორმატორის გულარის მაგნიტური ნაკადის თავისებურებაზე, რომელიც პრაქტიკულად უცვლელი რჩება უქმი სვლის რეჟიმიდან ტრანსფორმატორის ნორმალური დატვირთვის რეჟიმამდე.

ყურადღებით შესწავლას მოითხოვს ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა, რომელიც ნათელყოფს ტრანსფორმატორში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს, მისი პირველადი დენისა და მეორეული ძაბვის დამოკიდებულებას მეორეული გრაგნილის დენისაგან.

ამ თემის 21-ე დავალების შესწავლის დროს საგულისხმოა ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების ჯგუფი და მათი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები. დაკვირვებით განსახილველია აგრეთვე ტრანსფორმატორების პარალელურად მუშაობის პირობები, გულდასმით შესასწავლია ტრანსფორმატორის ჩანაცვლების სქემა (მეთოდი) და ტრანსფორმატორის მოკლე ჩართვის ცდა.

დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება თემის 22-ე დავალებას. რომელშიც მოცემულია ტრანსფორმატორის სიმძლავრის დანაკარგების ფიზიკური არსი და მათი გათვლის მეთოდიცა.

დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ავტოტრანსფორმატორებისა და საზომი ტრანსფორმატორების შესწავლას. მათ ფართოდ იყენებენ თანამედროვე ელექტროტექნიკასა და მის მომიჯნავე დარგებში.

განვლილი მასალის ცოდნის განმტკიცებისა და მისი პრაქტიკული გამოყენების მიზნით აუცილებელია შეასრულოთ VI თემის მე-20, 21-ე, 22-ე დავალებების ბოლოს მოცემული სავარჯიშო მაგალითები.

შეამოწმეთ ცოდნის ხარისხი საკონტროლო კითხვებით.

დავალება 20

ზოგადი ცნობები. ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი. ტრანსფორმატორის უქმი სვლა და დატვირთვის რეჟიმი. ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა. მოკლე დასვენები. სავარჯიშო.

§ 0-1. ზოგადი ცნობები

ელექტროენერჯის გადაცემისა და განაწილების აუცილებლობამ წამოაყენა საკითხი ტრანსფორმატორის შექმნის შესახებ.

ამრიგად, ტრანსფორმატორი წარმოადგენს ისეთ მოწყობილობას, ანუ სტატიკურ ელექტრომაგნიტურ აპარატს, რომელიც ერთი ძაბვის ცვლადდენს გარდაქმნის იმავე სიხშირის მეორე ძაბვის ცვლადდენად.

ტრანსფორმატორი შეიქმნა გასულ საუკუნეში. მისი პირველი ავტორია გამოჩენილი რუსი გამომგონებელი, ელექტროტექნიკოსი პ. ნ. იაბლოჩკოვი. ტრანსფორმატორის გამოგონებამ ფართო შესაძლებლობანი შეუქმნა ელექტროტექნიკას, ელექტროენერჯის გადაცემისა და



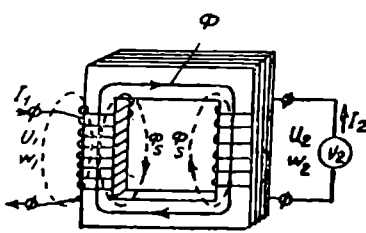
პ. ნ. იაბლოჩკოვი
(1847—1894).

და მისი ეკონომიური განაწილებისათვის შორ მანძილზე განლაგებულ მომხმარებლებს შორის. ტრანსფორმატორებმა შესაძლებელი გახადეს სხვადასხვა ენერგეტიკული კომპლექსებისა და, კერძოდ, ჰიდროელექტროსადგურების სიმძლავრეების უფრო ეფექტური გამოყენება.

ტრანსფორმატორი ჩვეულებრივად შედგება ორი მაგნიტურად დაკავშირებული გრაგნილისაგან.

112-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ტრანსფორმატორი წარმოადგენს ფოლადის შეკრულ გულარს, რომელზეც დახვე-

ულია ორი იზოლირებული გრაგნილი, შესრულებული კოჭების სახით. იმ ხვეულას, რომელზეც მოდებულია გარდასაქმნელი ძაბვა, პირველადი გრაგნილი ეწოდება, ხოლო მის ძაბვასა და დენს — პირველადი ძაბვა და დენი. მეორე ხვეულას მეორეული გრაგნილი ეწოდება, ხოლო მის ძაბვასა და დენს — მეორეული ძაბვა და დენი. იმისდა მიხედვით, თუ როგორია პირველადი და მეორეული ძაბვების შეფარდება, არჩევენ ამწევ და დამწევ ტრანსფორ-

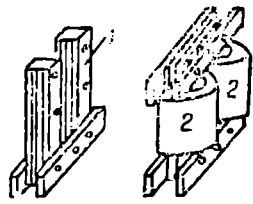


ნახ. 112. ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა.

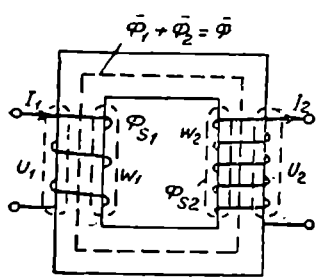
მატორებს. თუ პირველადი ძაბვა მეტია მეორეულზე, ე. ი. თუ $u_1 > u_2$, მაშინ ტრანსფორმატორი ძაბვის დამწვევად ითვლება, ხოლო თუ $u_1 < u_2$, ტრანსფორმატორი ძაბვის ამწვევი იქნება. ტრანსფორმატორის გულარი, მსგავსად ადრე აღწერილი ფოლადისგულარიანი კოქებისა, აიკრიფება ელექტროტექნიკური ფოლადის იზოლირებული ფურცლებისაგან (ნახ. 113). დენის მიხედვით ტრანსფორმატორები ორი სისტემისაა: ერთფაზიანი და სამფაზიანი.

§ 5-2. ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი

ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი ურთიერთინდუქციის მოვლენიდან გამომდინარეობს. თუ მოცემული გვაქვს ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი (ნახ. 114), რომლის პირველადი გრაგნილის მომჭერებზე მოდებულია S_1 ძაბვა და გადის I_1 ცვლადი დენი, მაშინ ეს დენი შექმნის მაგნიტურ ნაკადს — Φ , რომელიც იმავე სიხშირით იცვლება, როგორც I_1 დენი. აღნიშნული მაგნიტური ნაკადი ცვალებადობის დროს გადაკვეთს როგორც პირველად, ისე მეორეული ხვეულის (w_1 და w_2) გამტარებს და ელექტრომაგნიტური ინდუქციის საფუძველზე წარმოქმნის მათში ე. მ. ძალებს E_1 და E_2 . თუ მეორეულ წრედს შეეკრავთ წინააღობის საშუალებით, ხოლო მასში გაივლის I_2 დენი, მაშინ მეორეული ხვეულის დენი გამოიწვევს შესაბამის მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც გეომეტრიულად მიემატება პირველადი ხვეულის მაგნიტურ ნაკადს Φ_1 -ს და ამით შეიქმნება ტრანსფორმატორის ერთიანი (ჯამური) ნაკადი (Φ), ე. ი.



ნახ. 113. ტრანსფორმატორის გულარის შესრულება: 1—გულარის მაგნიტური გამტარი; 2—გრაგნილები.



ნახ. 114. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის სქემატური ნახაზი.

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2. \quad (158)$$

ეს მაგნიტური ნაკადი გულარის საშუალებით შეიკვრება. იგი (Φ) გადაკვეთს ტრანსფორმატორის პირველად და მეორეულ გრაგნილებს და ალაგზნებს, მათში ე. მ. ძალებს:

$$E_1 = 4.44 \cdot \Phi_m \cdot f \cdot w_1$$

და
$$E_2 = 4.44 \cdot \Phi_m \cdot f \cdot w_2.$$

ხვეულთა ე. მ. ძალების შეფარდებას

$$\boxed{\frac{E_2}{E_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = K} \quad (159)$$

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K) ეწოდება. დამწვევი ტრანსფორმატორებისათვის $\omega_1 > \omega_2$ და $K > 1$, ხოლო აწვევი ტრანსფორმატორებისათვის $\omega_1 < \omega_2$ და $K < 1$.

პირველად ხვეულაზე მოდებული ძაბვა, როგორც ეს დადგენილ იქნა წინა თავში, ძირითადად იხარჯება ე. მ. ძალის გაწონასწორებაზე. ხოლო ნაწილობრივ, — პირველადი ხვეულის ძაბვის ვარდნაზე, ე. ი.

$$\boxed{\bar{U}_1 = (-\bar{E}_1) + \bar{I}_1 z_1.} \quad (160)$$

მეორეულ ხვეულაზე მოდებული ძაბვა კი ტოლი იქნება გეომეტრიული სხვაობის \bar{E}_2 ე. მ. ძალისა და მეორეული ხვეულის ძაბვის ვარდნისა

$$\boxed{\bar{U}_2 = \bar{E}_2 - \bar{I}_2 z_2.} \quad (161)$$

ამ ფარდობებს ტრანსფორმატორის ელექტრული წონასწორობის განტოლებები ეწოდება.

ვინაიდან ტრანსფორმატორის ძაბვები (U_1, U_2) ნაკლებად განსხვავდებიან თავისი ხვეულების ე. მ. ძალებისაგან (E_1, E_2), ე. ი.

$$U_1 \approx E_1, \text{ ხოლო } U_2 \approx E_2,$$

ამიტომ უფლება გვეძლევა ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი გამოვსახოთ შემდეგი ფარდობით

$$\boxed{K = \frac{U_2}{U_1}.} \quad (162)$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყენაზე.

მაგალითი. მოცემულია ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომლის პირველადი გრაგნილი შეიცავს $\omega_1 = 90$ ხვეულს, ხოლო მეორეული $\omega_2 = 1440$ ხვეულს. განსაზღვრეთ რას უდრის ძაბვა მეორეული გრაგნილის მომჭერებზე, როდესაც პირველად ხვეულას ჩაერთავთ 210 ვოლტიან ქსელში.

ამოხსნა

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, (149) გამოსახულების შესაბამისად, იქნება

$$K = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1440}{90} = 16.$$

ამავე დროს

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{w_2}{w_1},$$

ე. ი. ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ძაბვა

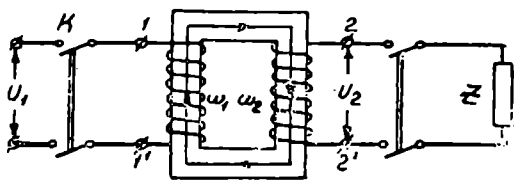
$$U_2 = U_1 \frac{w_2}{w_1} = 210 \cdot 16 = 3360 \text{ ვ.}$$

§ 6-3. ტრანსფორმატორის უქმი სვლა და დაბვირთვის რეჟიმი

ტრანსფორმატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც მის პირველად გრაგნილზე მოდებულა ნომინალური ძაბვა U_1 , ხოლო მეორეული წრედის დენი $I_2=0$, ე. ი. დატვირთვა გამოთიშულია, ტრანსფორმატორის უქმი სვლა ეწოდება.

ტრანსფორმატორის ქსელში ჩართვის ელექტრული სქემა მოცემულია 115-ე ნახაზზე.

უქმი სვლის დროს პირველადი დენი I_1 მეტად მცირეა და მისი მნიშვნელობა უახლოვდება ნულს ($I_1 \approx 0$). ამიტომ, როგორც აღვნიშნეთ, პირველადი და მეორეული ხვეულების ძაბვები U_1 და U_2 თითქმის უტოლდებიან შესაბამის E_1 და E_2 ე. მ. ძალებს. აქედან გამომდინარე, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K) ამ რეჟიმისათვის შეიძლება გამოისახოს ძაბვებისა და ხვეულთა რაოდენობის თანაფარდობით



ნახ. 115. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის ქსელში ჩართვის ელექტრული სქემა.

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{W_2}{W_1}. \quad (163)$$

უკანასკნელი ტოლობიდან დავასკვნით, რომ ტრანსფორმატორის გრაგნილების ძაბვები პირდაპირპროპორციულია ამ გრაგნილების ხვეულთა რიცხვისა.

ტრანსფორმატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც პირველად გრაგნილზე მოდებულა ნომინალური ძაბვა, ხოლო მეორეულში (ნახ. 115) დენმკვეთის საშუალებით ჩართულია დატვირთვა (Z) და დენის სიდიდე მის წრედში არ უდრის

ნულს ($I_2 > 0$). ტრანსფორმატორის დატვირთვის რეჟიმს უწოდებენ. მეორეული წრედის სრული დენი, ამ შემთხვევაში, ომის კანონის შესაბამისად, გამოისახება ფარდობით

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{(r_2 + r_e)^2 + (x_2 + x_e)^2}}$$

სადაც r_2 და r_e მეორეული გრაგნილის და დატვირთვის აქტიური წინაღობებია; x_2 და x_e — მეორეული გრაგნილის და დატვირთვის რეაქტიული წინაღობები.

მეორეული გრაგნილის რეაქტიულ წინაღობას (x_2) წარმოშობს მეორეული ხვეულის მაგნიტური ნაკადის ფანტეის ნაწილი — $\Phi_{\Sigma 2}$. სიმძლავრე კი ამ რეჟიმში, ორივე ხვეულისათვის, იქნება:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

და

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2.$$

თუ დანაკარგებს არ მივიღებთ მხედველობაში, გრაგნილთა ეს სიმძლავრეები თითქმის ერთმანეთის ტოლი იქნება, ე. ი.

$$\boxed{P_1 \approx P_2.} \quad (164)$$

ვინაიდან ერთფაზიან ტრანსფორმატორებში $\varphi_1 \approx \varphi_2$, ამიტომ უფლება გვაქვს დავწეროთ ფარდობა

$$U_1 \cdot I_1 \approx U_2 \cdot I_2,$$

საიდანაც

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1}.} \quad (165)$$

ამრიგად, ტრანსფორმატორის გრაგნილთა დენები შესაბამისი ძაბვების უკუპროპორციულნი არიან. გრაგნილებში გამავალი ეს დენები შეიძლება წარმოვიდგინოთ ხვეულთა რიცხვის თანაფარდობით, თუ მხედველობაში მივიღებთ წინა გამოსახულებებს

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}.} \quad (166)$$

იმასთან დაკავშირებით, რომ დატვირთულ ტრანსფორმატორში სრული მაგნიტური ნაკადი, გარდა თავისი Φ_1 და Φ_2 მდგენელებისა, შეიცავს კიდევ ფანტეის $\Phi_{\Sigma 1}$ და $\Phi_{\Sigma 2}$ ნაკადებს, რომლებიც შეიკრებიან პირველადი და მეორეული გრაგნილების გარშემო გულარის გა-

რეჟიმში, მის პირველად და მეორეულ გრაგნილებში ადგილი ექნება სათანადო ძაბვის ვარდნებს

$$\text{და } \left. \begin{aligned} E_{s_1} &= I_1 \cdot x_{s_1} = I_1 \cdot \omega L_{s_1} \\ E_{s_2} &= I_2 \cdot x_{s_2} = I_2 \cdot \omega L_{s_2} \end{aligned} \right\} \quad (167)$$

აადაც $\omega = 2\pi f$ არის დენის კუთხური სიხშირე;

L_{s_1} და L_{s_2} — გრაგნილების ფანტვის ინდუქციურობები;

L_{s_1} და x_{s_2} — გრაგნილების ინდუქციური წინაღობები;

E_{s_1} და E_{s_2} — ფანტვის ე. მ. ძალები.

ფანტვის ე. მ. ძალები შეიძლება ჩაიწეროს იმავე სახის გამოსახულებით, როგორც ძირითადი ე. მ. ძალები, ე. ი.

$$\text{და } \left. \begin{aligned} E_{s_1} &= 4,44 \cdot (l)_{sm_1} \cdot f \cdot W_1 \\ E_{s_2} &= 4,44 \cdot (l)_{sm_2} \cdot f \cdot W_2 \end{aligned} \right\} \quad (168)$$

ეს ე. მ. ძალები უნდა ჩამორჩებოდნენ თავის დენებს 90° -ით (ნახ. 116), ხოლო დენები (I_1 და I_2) ფაზით თანხვედნილებია ფანტვის ნაკადებთან. სრულ მაგნიტურ ნაკადთან (Φ) ორივე ე. მ. ძალა ტოლი კუთხით (90° -ით) არის წანაცვლებული.

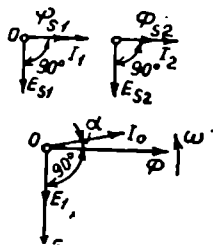
ტრანსფორმატორის გადაყვანა უქმი სვლიდან დატვირთვის რეჟიმში, ე. ი. მეორეული დენის წარმოქმნა დატვირთვის წრედში ($I_2 > 0$), იწვევს ძაბვის ვარდნებს, რის გამოც მეორეული გრაგნილის მომჭერებზე ადგილი ექნება ძაბვის ცვლილებას. რაც უფრო მეტია მეორეული დენი, მით ნაკლებია მეორეული ძაბვა (U_2). მეორეული ძაბვის დამოკიდებულება მეორეული დენისაგან ($U_2 = f(I_2)$) წარმოდგენილია 117-ე ნახაზზე (1 მრუდი, როცა $\cos \varphi = 1$; 2—მრუდი, როცა $\cos \varphi = 0.8$). ტრანსფორმატორის ძაბვისა და დატვირთვის ამ დამოკიდებულებას ხშირად ტრანსფორმატორის გარე მახასიათებელს უწოდებენ. მეორეული ძაბვის ცვლილება ΔU ტოლია მეორეული გრაგნილის უქმი სვლისა და დატვირთვის ძაბვების ალგებრული სხვაობისა

$$\Delta U = U_{20} - U_2.$$

ჩვეულებრივად, აღნიშნული ძაბვის ცვლილებას გამოსახავენ პროცენტობით, ე. ი.

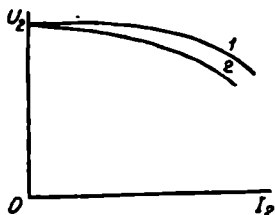
$$\left[\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100 \text{ \%} \right] \quad (169)$$

ვანვისილოთ სანიმუშო მაგალითი.



ნახ. 116. ე. მ. ძალების დამოკიდებულება მაგნიტური ნაკადისაგან.

მაგალითი. ერთფაზიანი $OM-6667/35$ ტიპის ტრანსფორმატორი, რომელიც მუშაობს როგორც დამწვევი, ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით: ნომინალური სიმძლავრე უდრის 6667 კვა-ს, მაღალი ძაბვა— $35,0$ კვ-ს. დაბალი ძაბვა უქმი სვლის დროს $10,2$ კვ-ია, ხოლო დატვირთვის დროს— $10,0$ კვ. საჭიროა განისაზღვროს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, პირველადი და მეორეული გრაგნილების დენები და ძაბვის ცვლილება მეორეულ ხვეულაში.



ნახ. 117. ტრანსფორმატორის გარე მახასიათებელი.

ამოხსნა

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი უქმი სვლის დროს

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{10}{35} = 0,28, \text{ ე. ი. } K < 1.$$

ნომინალური დენების გამოსათვლელად მივმართავთ სიმძლავრის ტოლობას

$$S = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2,$$

საიდანაც პირველადი გრაგნილის ნომინალური დენი

$$I_1 = \frac{S}{U_1} = \frac{6667}{35} = 191 \text{ ა}$$

ხოლო მეორეული გრაგნილის

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{6667}{10} = 667 \text{ ა}$$

მეორეული გრაგნილის ძაბვის ვარდნა დატვირთვის ჩართვის დროს (პროცენტობით)

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\% = \frac{10,2 - 10,0}{10,2} \cdot 100\% \approx 2\%$$

§ 6-4. ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა

ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამის ასაგებად განიხილავენ მისი მუშაობის ორ რეჟიმს: უქმ სვლას და დატვირთვით მუშაობას. უქმი სვლის შემთხვევაში, ვინაიდან $I_2 = 0$, მეორეული გრაგნილის მაგ-

წითური ნაკადი უდრის ნულს, ე. ი. $\Phi_2=0$. მისი სრული მაგნიტური ნაკადი (Φ) კი

$$\boxed{\Phi = \Phi_1 = \frac{w_1 \cdot I_0}{r_m},} \quad (170)$$

სადაც $r_m = \frac{l}{\mu S}$ ტრანსფორმატორის გულარის მაგნიტური წინაღობაა დატვირთვის ჩართვის შემდეგ, ე. ი. როცა $I_2 > 0$. ტრანსფორმატორის სრული მაგნიტური ნაკადი გამოისახება ორი მდგენელით (Φ_1 და Φ_2):

$$\text{და} \quad \left. \begin{aligned} \Phi_1 &= \frac{w_1 \cdot I_1}{r_m} \\ \Phi_2 &= \frac{w_2 \cdot I_2}{r_m} \end{aligned} \right\} \quad (171)$$

სრული მაგნიტური ნაკადი, თანახმად წინა დებულებისა, გამოისახება ამ ხვეულათა მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადის ჯამით

$$\frac{w_1 \cdot I_1}{r_m} + \frac{w_2 \cdot I_2}{r_m} = \frac{w_1 \cdot I_0}{r_m}$$

საიდანაც

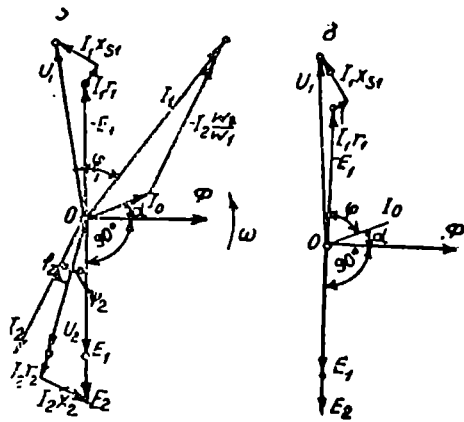
$$\boxed{I_1 = I_0 + \left(-\frac{w_2}{w_1} I_2 \right)} \quad (172)$$

ვინაიდან პირველადი და მეორეული დენის ვექტორები, როგორც მოყვანილი დიაგრამიდან ჩანს (ნახ. 118), წანაცვლებულია ერთმანეთის მიმართ 180° -ით, ამიტომ შეიძლება (162) გამოსახულება შეიცვალოს ალგებრული ჯამით და ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$\boxed{I_1 \approx I_0 + \frac{w_2}{w_1} I_2} \quad (173)$$

ეს ტოლობა ნათლად გვიჩვენებს პირველადი დენის (I_1) დამოკიდებულებას დატვირთვის დენისაგან (I_2). კერძოდ, როცა $I_2=0$, მაშინ პირველადი დენი $I_1=0$ და ადგილი აქვს ტრანსფორმატორის უქმ სვლას. დატვირთვის დენის (I_2) ზრდასთან ერთად პირდაპირპროპორციულად იზრდება I_1 -იც ისეთი ტრანსფორმატორებისათვის, სადაც $w_1=w_2$ (ე. ი. $K=1$), პირველადი დენი

$$I_1 \approx I_0 + I_2 \quad (174)$$



ნახ. 118. ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა: ა—დატვირთვის დროს; ბ—უქმი სვლის დროს.

φ_2 კუთხით E_2 ე. მ. ძალის მიმართ აიგება I_2 დენი. φ_2 წარმოადგენს ძვრის კუთხეს E_2 -სა და I_2 -ს შორის და გამოითვლება ფარდობით

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + x_2^2}},$$

სადაც R_2 და x_2 მეორეული გრაგნილის და დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული წინაღობებია. აქტიური და ინდუქციური დატვირთვის დროს დენის ვექტორი ჩამორჩება ე. მ. ძალას, ხოლო აქტიური და ტევადური დატვირთვის შემთხვევაში დენის ვექტორი წინ უსწრებს ე. მ. ძალას. მეორეული ხვეულის ძაბვის (U_2) ვექტორის მისაღებად E_2 ე. მ. ძალის ვექტორს უნდა გამოაკლდეს აქტიური და რეაქტიული ძაბვის ვარდნის ($I_2 \cdot r_2$ და $I_2 \cdot x_{2\omega}$) ვექტორები, რისთვისაც მათ გადაზომავენ პირველ შემთხვევაში I_2 -ის პარალელურად, ხოლო მეორეში — მის მართობულად.

ავაგეთ რა მეორეული ხვეულის ძაბვისა (U_2) და დენის (I_2) ვექტორები, შეიძლება I_1 დენის ვექტორის მდგომარეობის დადგენაც. ამისათვის საჭიროა ავაგოთ დენების სამკუთხედი. ამის შემდეგ ვიპოვიოთ ტრანსფორმატორის ელექტრული წონასწორობის გეომეტრიულ გამოსახულებას. რისთვისაც ღერძთა სათავიდან საწინააღმდეგო მიმართულებით გადავზომავთ E_1 ე. მ. ძალის გამაწონასწორებელ — E ე. მ. ძალას, რაც პირველადი ხვეულის ძაბვის ვარდნებს ($I_1 \cdot r_1$ და $I_1 \cdot x_{1\omega}$) მიემატება. აღნიშნული ვექტორების შესაკრებად $I_1 \cdot r_1$ ვექტორს გადავზომავთ — E ე. მ. ძალის ბოლოდან I_1 დენის პარალელურად, ხოლო $I_1 \cdot x_{1\omega}$ -ს — მის მართობულად. მაშინ — E ვექტორის ბოლოსა და

ვექტორული დიაგრამის აგება იწყება სრული მაგნიტური ნაკადის (Φ) პორიზონტალურ ღერძზე გადაზომვით O წერტილიდან (საწყისი წერტილიდან).

ნაკადს 90° -ით ჩამორჩება პირველადი და მეორეული ხვეულების ე. მ. ძალები (E_1 და E_2).

O წერტილიდან სრულ ნაკადთან α კუთხის წანაცვლებით გადავზომავთ უქმი სვლის დენს I_0 . იმავე საწყისი წერტილიდან

$I_1 \cdot x_{r_1}$ ვექტორის საწყისის შეერთება მოგვეცემს პირველ ხვეულაზე. (გრაფილზე) მოდებული საძიებელი ძაბვის ვექტორს.

განვიხილოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. ავაგოთ ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა მისი ნორმალური დატვირთვის დროს, თუ ცნობილია, რომ $U_2 = 120$ ვ, $I_2 = 20$ ა; დატვირთვის წინაღობებია: $r_{\Sigma} = 4,8$ ომს და $x_{\Sigma} = 3,6$ ომს. ტრანსფორმატორის წინაღობებია: $r_1 = 0,5$ ომს, $x_1 = 2$ ომს, $r_2 = 0,35$ ომს, $x_2 = 1$ ომს. ხვეულთა შეფარდება $\frac{W_1}{W_2} = 1,4$; $I_0 = 1,2$ ა. კარგვის კუთხე ფოლადში $\alpha = 5^\circ$. განსაზღვრეთ დიაგრამის საშუალებით I_1 , U_1 და $\cos \varphi_1$.

ამოხსნა

ვექტორული დიაგრამის აგებას ვიწყებთ მაგნიტური ნაკადის პორიზონტალზე გადაზომვით და დენისა და ძაბვის მასშტაბის არჩევით: $m_I = 2$ ვ/მმ და $m_U = 0,2$ ა/მმ (ნახ. 119). მეორეული გრაფილის ე მ. ძალა, უქმი სვლის დროს

$$E_2 = U_2 = 120 \text{ ვ,}$$

ხოლო პირველადი გრაფილის ე. მ. ძალა

$$E_1 = E_2 \frac{W_1}{W_2} = 120 \cdot 1,4 = 168 \text{ ვ.}$$

E_2 და E_1 ე. მ. ძალების ვექტორები გადავზომოთ ღერძთა სათავედან (ქვევით) 90° -ის ჩამორჩენით.

ძვრის კუთხე I_2 -სა და E_2 -ს შორის გაითვლება ტოლობით

$$\varphi_2 = \arctg \frac{x_2 + x_{\Sigma}}{r_2 + r_{\Sigma}} = \arctg \frac{1 + 3,6}{0,35 + 4,8} = 41^\circ 50'.$$

მეორეული გრაფილის ძაბვის ვექტორს $\overline{U_2}$ ვიპოვიან $\overline{E_2}$ ვექტორიდან, აქტიური და რეაქტიული ძაბვის ვარდნების ვექტორების ($\overline{I_2 r_2}$ და $\overline{I_2 x_2}$) გეომეტრიული გამოკლებით. ეს ვექტორები, შესაბამისად, უღერის:

$$I_2 \cdot r_2 = 20 \cdot 0,35 = 7 \text{ ვ}$$

და

$$I_2 \cdot x_2 = 20 \cdot 1 = 20 \text{ ვ.}$$

მაშასადამე, მეორეული ძაბვის ვექტორი

$$\overline{U_2} = \overline{E_2} - \overline{I_2 z_2}.$$

ძვრის კუთხე $\overline{U_2}$ -სა და $\overline{I_2}$ -ს შორის

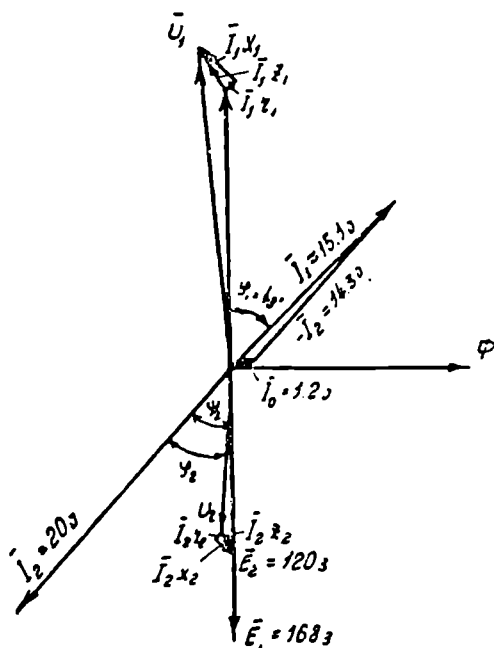
$$\varphi_2 = \arctg \frac{x_c}{r_c} = \arctg \frac{3,6}{4,8} = 37^\circ,$$

რაც დასტურდება ვექტორულ დიაგრამაზე უშუალო გაზომვითაც (ნახ. 119).

პირველადი გრაგნილის უქმი სვლის დენის ვექტორი $I_0 = 1,2$ ა წინ უწერებს ნაკადს $\alpha = 5^\circ$ კუთხით. პირველადი გრაგნილის დენი I_1 მიმართული იქნება I_2 -ის საწინააღმდეგოდ. მას მივიღებთ უქმი სვლის დენისა (I_0) და მეორეული დენის გეომეტრიული ჯამით:

$$I_1 = I_0 + \frac{W}{W_1} I_2 \approx I_0 + I'_2,$$

$$I'_2 = \frac{1}{1,4} \cdot 20 = 14,3 \text{ ა.}$$



ნახ. 119. ვექტორული დიაგრამა მაგალითისათვის.

$$U_1 \approx 192 \text{ ვ,}$$

$$\cos \varphi_1 = 0,67$$

და

$$\varphi_1 = 48^\circ.$$

ვექტორული დიაგრამიდან პირველადი დენი

$$I_1 \approx 15,1 \text{ ა;}$$

პირველადი ძაბვის ვექტორი

$$\bar{U}_1 = (-E_1) +$$

$$+ I_1 \cdot r_1 + \bar{I}_1 \cdot x_1,$$

ე. ი. მას მივიღებთ $-E_1$ -სა და შესაბამისი აქტიური და რეაქტიული ძაბვის ვარდენების ვექტორების გეომეტრიული შეკრებით. ამასთანავე

$$I_1 \cdot r_1 = 15,1 \cdot 0,5 = 7,55 \text{ ვ}$$

და

$$I_1 \cdot x_1 = 15,1 \cdot 2 = 30,2 \text{ ვ.}$$

დიაგრამიდან ვარკვევთ (გაზომვით) პირველადი ძაბვას U_1 , $\cos \varphi_1$ და φ_1 კუთხეს, ე. ი.

როგორც ვექტორული დიაგრამიდან ჩანს, მართლაც

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + (-\overline{I_2}).$$

§ 6-5. მოკლე დასკვნები

1. ტრანსფორმატორი ისეთი სტატიკური ელექტრომაგნიტური აპარატია, რომელიც ერთი ძაბვის ცვლად დენს გარდაქმნის იმავე სიხშირის მეორე ძაბვის ცვლად დენად.

ტრანსფორმატორი ძაბვის დამწვევად ითვლება, თუ მისი პირველადი ძაბვა (U_1) მეტია მეორეულზე (U_2), ე. ი. როცა

$$U_1 > U_2$$

და, პირიქით, ძაბვის ამწვევია, როცა

$$U_1 < U_2.$$

2. ტრანსფორმატორის პირველად და მეორეულ გრაგნილებში აღძრული ე. მ. ძალები გამოისახებიან სათანადოდ

$$E_1 = 4,44 \cdot \Phi_m \cdot f \cdot W_1$$

და.

$$E_2 = 4,44 \cdot \Phi_m \cdot f \cdot W_2,$$

ხოლო მათ შეფარდებას ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K) ეწოდება და ასე ჩაიწერება

$$K = \frac{E_2}{E_1} = \frac{W_2}{W_1}$$

ან

$$K = \frac{U_2}{U_1}.$$

3. ტრანსფორმატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც პირველად გრაგნილზე მოდებულია ნომინალური ძაბვა (U_1), ხოლო მეორეული წრედის დენი $I_2 = 0$, ეწოდება უქმი სვლის რეჟიმი. —

უქმი სვლის დროს, ე. ი. როცა $I_2 = 0$, ე. მ. ძალები E_1 და E_2 თითქმის უტოლდებიან შესაბამისად პირველადი და მეორეული გრაგნილების ძაბვებს, ე. ი.

$$E_1 \approx U_1 \quad \text{და} \quad E_2 \approx U_2.$$

საიდანაც

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{W_2}{W_1} = K.$$

4. ტრანსფორმატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც პირველად გრაგნილზე მოდებულია ნომინალური ძაბვა, ხოლო მეორეულში გადის

დატვირთვის დენი, ე. ი. $I_2 > 0$, ეწოდება ტრანსფორმატორის დატვირთვის რეჟიმი.

ამ შემთხვევაში მეორეული გრაგნილის დენი, ომის კანონის შესაბამისად, გამოისახება

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{(r_2 + r_e)^2 + (x_2 + x_e)^2}}$$

პირველადი (P_1) და მეორეული (P_2) სიმძლავრეებისა და ძვრის კუთხეების ($\varphi_1 \approx \varphi_2$) სიდიდეთა სიახლოვის გამო, ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გრაგნილების დენები მათი ძაბვების (ან ხვეულთა რიცხვების) უკუპროპორციულნი არიან, ე. ი.

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1}$$

და

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

5. დატვირთვის გადიდებით მეორეული ძაბვა (U_2) და დენი (I_2) იცვლება. ძაბვის ამ დამოკიდებულებას დატვირთვისაგან ($U_2 = f(I_2)$) ტრანსფორმატორის გარე მახასიათებელი ეწოდება.

დატვირთვის ზრდით გამოწვეული ძაბვის ცვლილება (ΔU) გამოისახება უქმი სვლისა და დატვირთვის ძაბვების სხვაობით

$$\Delta U = U_{20} - U_2$$

ხოლო პროცენტობით

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\%$$

6. ტრანსფორმატორში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების ნათელსაყოფად გამოიყენება უქმი სვლისა და დატვირთვის ვექტორული დიაგრამები.

უქმი სვლის დიაგრამიდან მივიღებთ შემდეგ ფარდობებს:

$$I_2 = 0; \quad \Phi_2 = 0 \quad \text{და} \quad \Phi = \Phi_1 = \frac{W_1 \cdot I_0}{r_m}$$

სადაც

$$r_m = \frac{l}{\mu S}$$

დატვირთვის დიაგრამიდან კი ვექტორება

$$I_2 > 0; \quad \Phi_1 = \frac{W_1 \cdot I_1}{r_m}; \quad \Phi_2 = \frac{W_2 \cdot I_2}{r_m}; \quad \bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \left(-\frac{W_2}{W_1} \cdot \bar{I}_2 \right),$$

საიდანაც

$$I_1 \approx I_0 + \frac{W_2}{W_1} \cdot I_2$$

1. მოცემული გვაქვს ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომლის პირველადი გრაგნილის ხვეულთა რიცხვია $W_1=250$ და მასზე მოქმედებს ძაბვა $U_1=25$ ვ. ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ხვეულთა რიცხვი $W_2=2000$. საჭიროა განისაზღვროს ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K) და მეორეული გრაგნილის ძაბვა (U_2).

2. განსაზღვრეთ ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გულარის მაგნიტური ნაკადის მაქსიმალური მნიშვნელობა, თუ ცნობილია მისი პირველადი გრაგნილის ძაბვა $U_1=125$ ვ, ხვეულთა რიცხვი $W_1=500$ და სიხშირე $f=50$ ჰც.

3. განსაზღვრეთ ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის დენი, თუ მის მეორეულ გრაგნილში გადის $I_2=5$ ა სიდიდის დენი, პირველადი გრაგნილის ხვეულთა რიცხვია $W_1=300$, ხოლო მეორეული გრაგნილის ხვეულთა რიცხვი $W_2=30$.

4. მოცემული გვაქვს ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომლის უქმი სვლის დენია $I_0=1,2$ ა, მისი პირველადი ძაბვა $U_0=120$ ვ. უქმი სვლის სიმძლავრე $P_0=140$ ვტ. საჭიროა განისაზღვროს ამ ტრანსფორმატორის მიერ ქსელში გამოწვეული რეაქტიული მდგენელის სიდიდე.

5. ავაგოთ ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა და მისი საშუალებით ვიპოვოთ ტრანსფორმატორის პირველადი ძაბვა (U_1), დენი (I_1) და მ. ქ. კ. (η). ამასთან, ცნობილია, რომ ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის დენი უდრის $I_2=25$ ა, მეორეული ძაბვა $U_2=120$ ვ, ხოლო $\cos \varphi_2=0,86$ ($\varphi_2=30^\circ$).

გარდა აღნიშნული მონაცემებისა, ცნობილია, რომ ტრანსფორმატორის უქმი სვლის სიმძლავრე $P_0=120$ ვტ, უქმი სვლის დენი $I_0=2$ ა-ს, ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი $K=\frac{W_1}{W_2}=1,8$, გრაგნილების აქტიური წინაღობა $r_1=0,5$ ომს და $r_2=0,2$ ომს, ხოლო გრაგნილების ინდუქციური წინაღობა $x_1=3$ ომს და $x_2=0,6$ ომს. საჭიროა ვექტორული დიაგრამის საშუალებით დავადგინოთ, რა სიდიდის უნდა იყოს პირველადი ძაბვა U_1 , რომ $I_2=0$, ხოლო მეორეული ძაბვა იგივე დარჩეს, ე. ი. $U_2=120$ ვ.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას ეწოდება ტრანსფორმატორი და როგორია მისი მოქმედების პრინციპი?
2. როგორ მზადდება ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი?
3. რა მოსაზრებით და რა მასალისაგან მზადდება ტრანსფორმატორის ფურცლოვანი გულარი?

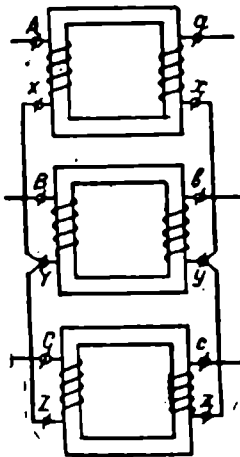
4. ააგეთ ტრანსფორმატორის უქმი სელის მახასიათებელი და ვექტორული დიაგრამა.
5. რა ფიზიკური პროცესები მიმდინარეობენ ტრანსფორმატორში მისი უქმი სელის დროს?
6. რას ეწოდება ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი და როგორ გამოისახება იგი?
7. რა ფიზიკურ პროცესებს აქვს ადგილი ტრანსფორმატორებში დატვირთვის რეჟიმში მუშაობის დროს? ააგეთ ვექტორული დიაგრამა.
8. დასაბუთეთ ის დებულება, რომ პირველადი ძაბვის მუდმივობის შემთხვევაში უცვლელი რჩება გულარის მაგნიტური ნაკადი.
9. რატომ ხდება, რომ ტრანსფორმატორის მეორეული დენის ცვლილება ავტომატურად იწვევს მისი პირველადი დენის ცვლილებას?
10. ააგეთ ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამები, მისი დატვირთვის აქტიური, ინდუქციური და ტევალური ხასიათის რეჟიმებისათვის.

დავალბა 21

სამფაზიანი ტრანსფორმატორები. ტრანსფორმატორების პარალელური მუშაობა. ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემა. ტრანსფორმატორების მოკლედ ჩართვის სქემა. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 0-7. სამფაზიანი ტრანსფორმატორები

იმასთან დაკავშირებით, რომ პრაქტიკაში ძირითადად სამფაზიანი ცვლადი დენი გამოიყენება, საჭირო გახდა სამფაზიანი ტრანსფორმატორის შექმნა. სამფაზიანი ცვლადი დენის ტრანსფორმატორები ხორციელდება ორი სახით: სამი ერთფაზიანი ტრანსფორმატორისა და ერთი სამფაზიანი ტრანსფორმატორის საშუალებით (ნახ. 120 და 121). ტრანსფორმაციის ეს უკანასკნელი ტიპი, როგორც აღვნიშნეთ, გასული საუკუნის 80-იან წლებში შექმნა დიდმა რუსმა ელექტროტექნიკოსმა მ. ო. დოლივო-დობროვოლსკიმ.



ნახ. 120. სამი ერთფაზიანი ტრანსფორმატორისაგან შემდგარი სამფაზიანი ტრანსფორმატორის სქემა.

ტრანსფორმატორის პირველი სახე, როგორც 120-ე ნახაზიდან ჩანს, მზადდება სამი დამოუკიდებელი ფურცლოვანი ფოლადის გულარისაგან შემდგარ ჩარჩოებზე, რომლებზედაც თავსდება *A*, *B* და *C* ფაზათა პირველადი და მეორეული გრაგნილები (ხვეულები), შეერთებული ერთმანეთთან ვარსკვლავად ან სამკუთხედად.

120-ე ნახაზზე ტრანსფორმატორის ორივე გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად.

მეორე შემთხვევაში (ნახ. 121), ნაცვლად ცალკეული გულარებისა, გამოყენებულია ერთი საერთო გულარით შესრულებული ჩარჩო (ფურცლოვანი ფოლადის), რომელზეც დახვეულია ვარსკვლავად შეერთებული პირველადი და მეორეული გრაგნილები.

სამფაზიანი ტრანსფორმატორის გრაგნილთა მაგნიტური ნაკადები Φ_A , Φ_B და Φ_C ერთიერთთანაცვლებულია 120° -ით და მათი მოქმედი მნიშვნელობების გეომეტრიული ჯამი დროის ყოველ შუალედში ნულის ტოლია

$$|\overline{\Phi_A} + \overline{\Phi_B} + \overline{\Phi_C} = 0. | \quad (175)$$

როგორც აღვნიშნეთ, იმის გამო, რომ ტრანსფორმატორის ორივე გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად (Λ) ან სამკუთხედად (Δ), მისი ფაზების ხვეულები შეიძლება შეერთდეს 4 ჯგუფად:

ვარსკვლავი — ვარსკვლავაზე, ე. ი. Λ/Λ

ვარსკვლავი — სამკუთხედზე, Λ/Δ

სამკუთხედი — სამკუთხედზე, Δ/Δ

სამკუთხედი — ვარსკვლავაზე, Δ/Λ

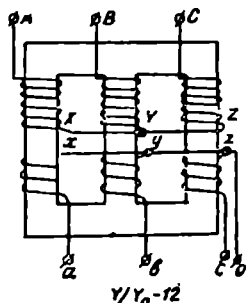
საბჭოთა კავშირში ტრანსფორმატორის გრაგნილების ფაზათა შეერთების ძირითად ჯგუფებად ითვლება Λ/Λ_0 , Λ/Δ , ან Λ_0/Δ . იმის მიხედვით, თუ როგორც არის განხორციელებული გრაგნილების ფაზათა შეერთება, ისეთივე ხასიათს ღებულობს მისი ხაზური და ფაზური ძაბვების თანაფარდობა და მათ შორის არსებული ძვრის კუთხე. თუ ხაზური და ფაზური ძაბვების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტებს სათანადოდ გამოვსახავთ ფარდობებით:

$$K_b = \frac{U_{b_2}}{U_{b_1}}$$

და

$$K_\varphi = \frac{U_{\varphi_2}}{U_{\varphi_1}}$$

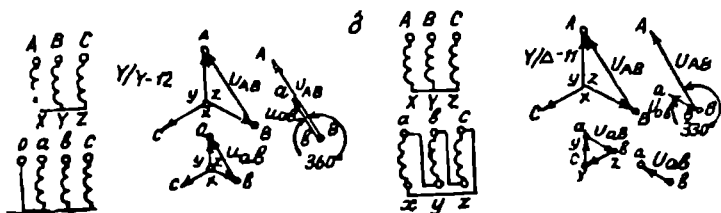
მაშინ ტრანსფორმატორის გრაგნილების შეერთების ოთხივე ჯგუფისათვის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები ასე გამოისახება:



ნახ. 121. ერთი სამფაზიანი ტრანსფორმატორის სქემა.

$$\left. \begin{aligned} \Delta/\Delta \text{ დროს } K_b &= \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Phi_2}}{\sqrt{3} U_{\Phi_1}} = K_{\Phi}; \\ \Delta/\Delta \text{ „-„ } K_b &= \frac{\sqrt{3} U_{\Phi_2}}{U_{\Phi_1}} = \sqrt{3} K_{\Phi}; \\ \Delta/\Delta \text{ „-„ } K_b &= \frac{U_{\Phi_2}}{U_{\Phi_1}} = K_{\Phi}; \\ \Delta/\Delta \text{ „-„ } K_b &= \frac{U_{\Phi_2}}{\sqrt{3} U_{\Phi_1}} = \frac{1}{\sqrt{3}} K_{\Phi}. \end{aligned} \right\} (176)$$

ამგვარად, ვრწმუნდებით, რომ სამფაზიანი ტრანსფორმატორის მეორეული ძაბვის სიდიდეზე მოქმედებს არა მარტო ფაზათა ხვეულტბის შეერთების ხასიათი, არამედ პირველადი და მეორეული გრაგნილების შეერთების ჯგუფიც. ასე, მაგალითად, თუ განვიხილავთ ერთი და იმავე ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორეული გრაგნილების შეერთების ორ ჯგუფს, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ გრაგნილების Δ/Δ შეერთების დროს (ნ.ხ. 122 ა) ტრანსფორმატორის პირველად და მეორე-



ნახ. 122. სამფაზიანი ტრანსფორმატორის ფაზათა შეერთების ელექტრული სქემები და ვექტორული დიაგრამები: ა) და ბ).

ულ ხაზურ ძაბვებს (U_{AB} და U_{ab}) შორის ძვრის კუთხე ნულის (ან 360° -ის) ტოლია. იმ შემთხვევაში, როცა ტრანსფორმატორის გრაგნილები შეერთებულია Δ/Δ , იმავე ძაბვებს შორის ძვრის კუთხე ტოლი ხდება 300° -ის.

ახლა გავარჩიოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. მოცემული გვაქვს სამფაზიანი $TC=180/10$ ტიპის ტრანსფორმატორი, რომელიც ჩართულია 10000 ვ ძაბვის ქსელში. ტრანსფორმატორის მაჩვენებლებია: ნორმალური სიმძლავრე 180 კვა; მაღალი ძაბვა 10 კვ; დაბალი ძაბვა 0,525 კვ. საჭიროა განისაზღვროს: 1) ფაზური ძაბვები, თუ ტრანსფორმატორის ჩართვის ჯგუფია $\Delta/\Delta=11$; 2)

ფაზური და ხაზური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები და პირველადი და მეორეული გრაგნილის ნომინალური დენები.

ამოხსნა

პირველადი გრაგნილის ფაზური ძაბვა, ვინაიდან იგი შეერთებულია ეარსკვლავად, იქნება

$$U_{\Phi_1} = \frac{U_{b_1}}{\sqrt{3}} = \frac{10\,000}{1,73} = 5\,775 \text{ ვ.}$$

მეორეული გრაგნილის ძაბვა, ვინაიდან იგი სამკუთხედად არის შეერთებული, იქნება

$$U_{\Phi_2} = U_{b_2} = 525 \text{ ვ.}$$

ფაზური ძაბვების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$K_{\Phi} = \frac{U_{\Phi_2}}{U_{\Phi_1}} = \frac{525}{5775} \approx 0,092.$$

ხაზური ძაბვების ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$K_b = \frac{U_{b_2}}{U_{b_1}} = \frac{525}{10\,000} \approx 0,05.$$

პირველადი გრაგნილის ხაზური დენის ძალა

$$I_{b_1} = \frac{S}{\sqrt{3}U_1} = \frac{180\,000}{1,73 \cdot 10\,000} = 10,4 \text{ ა,}$$

ხოლო მეორეული გრაგნილის ხაზური დენის ძალა

$$I_{b_2} = \frac{S}{\sqrt{3}U_2} = \frac{180\,000}{1,73 \cdot 525} = 198 \text{ ა.}$$

§ 8-8. ტრანსფორმატორების აპარალური მუშაობა

მომხმარებელთათვის ელექტროენერჯის შეუფერხებლად და რაციონალურად მიწოდებისა და ამავე დროს ტრანსფორმატორების სიმძლავრის უფრო ეფექტური გამოყენებისათვის საჭირო ხდება ქსელში რამდენიმე მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორის ჩართვა, რომლებიც პარალელურად იმუშაებენ. პარალელური მუშაობა ეწოდება ისეთ რეჟიმს, როცა ყველა ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილების ერთსახელა ფაზები შეერთებულია საერთო მკვეთავ სალტებთან, ხოლო მათი მეორეული გრაგნილები

ერთსახელა ფაზები — მეორეული ენერჯიის განმანაწილებელ საერთო სალტეებთან (ნახ. 123). ტრანსფორმატორების პარალელური მუშაობის განსახორციელებლად საჭიროა შემდეგი სამი პირობის დაცვა:

1. პარალელურად ჩასართველი ტრანსფორმატორები შეერთების ერთსა და იმავე ჯგუფს უნდა ეკუთვნოდეს;

2. ტრანსფორმატორების პირველადი და მეორეული ძაბვები და მათი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები შესაბამისად ტოლები უნდა იყოს, ე. ი.

$$\left. \begin{aligned} U_{I} &= U_{II} = \dots\dots; \\ U_{2I} &= U_{2II} = \dots\dots; \\ K_I &= K_{II} = \dots\dots; \end{aligned} \right\} \quad (177)$$

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტების დასაშვები სხვაობა პარალელურად მომუშავე ტრანსფორმატორებისთვის არ უნდა აღემატებოდეს 0,5 %-ს.

3. ტრანსფორმატორების მოკლედ ჩართვის ძაბვები ტოლი უნდა იყოს (დასაშვებია გადახრა 5—10 %-მდე), ე. ი.

$$\boxed{U_{KI} = U_{KII} = \dots\dots} \quad (178)$$

პირველი ორი პირობის დარღვევას მოსდევს მომუშავე ტრანსფორმატორების გრაგნილებში გამათანაბრებელი დენების წარმოშობა, რომელთა სიდიდეები ხშირად მოკლედ ჩართვის დენების ტოლია. რაც შეეხება მესამე პირობას, მისი შეუსრულებლობა იწვევს დატვირთვის არათანაბარ განაწილებას ტრანსფორმატორებს შორის. ასე, მაგალითად, მოკლე ჩართვის მცირე ძაბვის (U_k) მქონე ტრანსფორმატორი გადაიტვირთება, ხოლო მოკლედ ჩართვის მაღალი ძაბვისა — დაუტვირთავი დარჩება.

ნახ. 123. სამფაზიანი ტრანსფორმატორების პარალელურად ჩართვის ელექტრული სქემა.

ორი ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ძაბვების ტოლობის დროს, ე. ი. როცა $U_{KI} = U_{KII}$, შეფარდებითი ძაბვის ვარდნები მათი დატვირთვის ყოველი შემთხვევისათვის ერთნაირი დარჩება, ე. ი.

$$\left(\frac{I_1 Z_1}{U_1} \right)_I + \left(\frac{I_2 Z_2}{U_2} \right)_I = \left(\frac{I_1 Z_1}{U_1} \right)_{II} + \left(\frac{I_2 Z_2}{U_2} \right)_{II},$$

ხოლო დატვირთვის დენის ძალები შესაბამისი ნომინალური სიმძლავრეების პროპორციული იქნება

$$\frac{I_{1I}}{I_{1II}} = \frac{S_{bI}}{S_{bII}} \quad (179)$$

იმ შემთხვევაში, თუ პარალელურად მომუშავე ტრანსფორმატორების მოკლედ ჩართვის ძაბვები ტოლებია (ე. ი. თანაბრად არიან დატვირთული) და მათი აქტიური მდგენელები კი განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, მათი დატვირთვის საერთო დენი გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$I^2 = I_{II}^2 + I_{1II}^2 + 2 \cdot I_{1I} \cdot I_{1II} \cdot \cos(\varphi_{KII} - \varphi_{KI}) \quad (180)$$

სადაც φ_{KI} არის ძვრის კუთხე მოკლედ ჩართვის დენსა და ძაბვას შორის პირველ ტრანსფორმატორში;

φ_{KII} — ძვრის კუთხე მოკლედ ჩართვის დენსა და ძაბვას შორის მეორე ტრანსფორმატორში;

φ_{KI} და φ_{KII} ძვრის კუთხეების გამოსათვლელად შეიძლება მოკლედ ჩართვის რეჟიმის შესაბამისი ძაბვების სამკუთხედის გამოყენება, საიდანაც მივიღებთ ამ კუთხის კოსინუსს, ხოლო შემდეგ თვით φ_K -ს, ე. ი.

$$\cos \varphi_K = \frac{U_a}{U_K} \quad (181)$$

განვიხილოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. მოცემულია ორი, პარალელურად ჩართული სამფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომელთა მაჩვენებლებია:

I ტრანსფორმატორი	II ტრანსფორმატორი	
S	30 კვა	10 კვა
U_1	$3000 \pm 5 \%$ ვ	$3000 \pm 5 \%$ ვ
U_2	230 ვ	230 ვ
U_K	5,5 %	5,5 %
U_a	2,84 %	3,35 %
შეერთების წგუფი	Δ/Δ_0-12	Δ/Δ_0-12

საჭიროა განისაზღვროს პირველი და მეორე ტრანსფორმატორების დენის ძალები, ე. ი. I_{1I} და I_{1II} , თუ ცნობილია, რომ ქსელის დენის ძალა $I = 90$ ა.

მოცემული ტრანსფორმატორების პირველადი დენების შეფარდება იქნება

$$\frac{I_{\text{I}}}{I_{\text{II}}} = \frac{S_{\text{I}}}{S_{\text{II}}} = \frac{30}{10} = 3,$$

საიდანაც პირველი ტრანსფორმატორის დენი

$$I_{\text{I}} = 3I_{\text{II}}.$$

ქსელის საერთო დატვირთვის დენი

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{I_{\text{I}}^2 + I_{\text{II}}^2 + 2I_{\text{I}} \cdot I_{\text{II}} \cos(\varphi_{K_{\text{I}}} - \varphi_{K_{\text{II}}})} = \\ &= \sqrt{(3I_{\text{II}})^2 + I_{\text{II}}^2 + 6I_{\text{II}}^2 \cdot \cos(\varphi_{K_{\text{I}}} - \varphi_{K_{\text{II}}})}. \end{aligned}$$

$\varphi_{K_{\text{I}}}$ და $\varphi_{K_{\text{II}}}$ კუთხეების დასადგენად ვსარგებლობთ ცნობილი გამოსახულებით

$$\cos \varphi_{K_{\text{I}}} = \frac{U_{a_{\text{I}}}}{U_{K_{\text{I}}}} = \frac{2,84}{5,5} = 0,516,$$

საიდანაც

$$\varphi_{K_{\text{I}}} \approx 59^\circ.$$

ანალოგიურად გამოითვლება მეორე კუთხის კოსინუსი

$$\cos \varphi_{K_{\text{II}}} = \frac{U_{a_{\text{II}}}}{U_{K_{\text{II}}}} = \frac{3,35}{5,5} = 0,609$$

და

$$\varphi_{K_{\text{II}}} = 52^\circ 30'.$$

თუ ამ სიდიდეებს შევიტანთ დენის გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$\cos(\varphi_{K_{\text{I}}} - \varphi_{K_{\text{II}}}) = \cos(59^\circ - 52^\circ 30') = 0,994$$

და საბოლოოდ

$$I = I_{\text{II}} \sqrt{9 + 1 + 6 \cdot 0,994} \approx 4I_{\text{II}},$$

საიდანაც მეორე ტრანსფორმატორის დენის ძალა

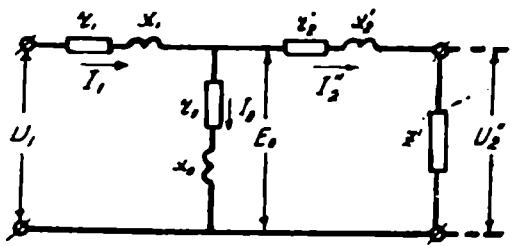
$$I_{\text{II}} = \frac{I}{4} = \frac{90}{4} = 22,5 \text{ ა.}$$

პირველი ტრანსფორმატორის დენი

$$I_{\text{I}} = 3I_{\text{II}} = 3 \cdot 22,5 = 67,2 \text{ ა.}$$

ტრანსფორმატორის დენებისა და ძაბვების გასათვლელად ხშირად მიმართავენ ე. წ. ეკვივალენტურ ანუ შენაცვლების სქემებს, რომლებიც წარმოადგენენ ტრანსფორმატორის ელექტრული მაჩვენებლების დაყვანილ სახეს ცვლადი დენის ერთიან წრედზე. ამრიგად, შენაცვლების სქემა, ნაცვლად ტრანსფორმატორის ერთიერთ დამოუკიდებელი ორი ელექტრული წრედისა, ითვისალისწინებს ერთიან ელექტრულ წრედს, რომელშიაც ორივე გრაგნილის ელექტრული მახასიათებლები მოცემულია დაყვანილ სიდიდეებში (ერთ მასშტაბში).

124-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემა. გარდა ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორეული დაყვანილი წრედებისა (r_1, x_1 და r'_2, x'_2), მოყვანილ სქემაზე მოცემულია Z'_e — დატვირთვის სრული წინაღობა დაყვანილი პირველადი გრაგნილის მასშტაბზე ($Z'_e = K^2 \cdot Z_e$) და ე. წ. დამაგნიტების კონტურის წინა-



ნახ. 124. ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემა.

ღობა — Z_0 .

დამწვევი ტრანსფორმატორებისათვის, მეორეული გრაგნილის მაჩვენებლების პირველადი გრაგნილის მიმართ დაყვანა ხორციელდება შემდეგი თანაფარდობებით:

$$E'_2 = \frac{W_1}{W_2} \cdot E_2 = K \cdot E_2 = E_1,$$

$$I'_2 = \frac{W_2}{W_1} \cdot I_2 = \frac{1}{K} I_2,$$

$$r'_2 = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 \cdot r_2 = K^2 \cdot r_2,$$

$$x'_2 = K^2 \cdot X_2.$$

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის გამოყვანაზე.

მაგალითი. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გამოცდის დროს, რომლის სიმძლავრე 333 კვა-ს უდრიდა, ძაბვები 20200/6000 ვ-ს და დენები კი 16,5/55,5 ა-ს, მიღებულია შემდეგი მაჩვენებლები:

1) უქმი სვლის დროს: $U_2=6000$ ვ; $I_0=3,47$ ა და $P_0=2100$ ვტ;

2) მოკლედ ჩართვის დროს: $U_{2K}=384,4$ ვ; $I_{2K}=I_2=55,5$ ა და $P_K=5490$ ვტ.

საჭიროა განსაზღვროთ ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემის-პარამეტრები, თუ გრაგნილების წინალობები (მულტივი დენით გაზომვ-ლი): $r_{10}=0,5$ ომს და $r_{20}=0,785$ ომს.

ამოხსნა

ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის აქტიური წინალობა

$$r_K = \frac{P_K}{I_{2K}^2} = \frac{5490}{55,5^2} = 1,782 \text{ ომს.}$$

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{20\,200}{6000} = 3\,366.$$

ტრანსფორმატორის წინალობა (მულტივი დენის მიმართ)

$$r_0 = \frac{r_{10}}{K^2} + r_{20} = \frac{10,5}{3,366^2} + 0,785 = 1,711 \text{ ომს.}$$

დამატებითი კარგების დაყვანილი კოეფიციენტი

$$K_r = \frac{r_K}{r_0} = \frac{1,782}{1,711} = 1,041.$$

პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინალობა

$$r_1 = K_r \cdot r_{10} = 1,041 \cdot 10,5 = 10,93 \text{ ომს.}$$

მეორეული გრაგნილის აქტიური წინალობა

$$r_2 = K_r \cdot r_{20} = 1,041 \cdot 0,785 = 0,817 \text{ ომს.}$$

ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის სრული წინალობა

$$Z_K = \frac{U_{2K}}{I_{2K}} = \frac{384,4}{55,5} \approx 6,93 \text{ ომს.}$$

ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ინდუქციური წინალობა

$$x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} = \sqrt{6,93^2 - 1,782^2} \approx 6,7 \text{ ომს}$$

მეორეული გრაგნილის ინდუქციური წინალობა

$$x_2 = x'_1 = \frac{x_K}{2} = \frac{6,7}{2} = 3,35 \text{ ომს.}$$

პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინაღობა

$$x_1 = K^2 \cdot x'_1 = 3,366^2 \cdot 3,35 \approx 38 \text{ ომს.}$$

დამაგნაბების კონტურის სრული წინაღობა

$$Z_0 = \frac{U_2}{I_0} = \frac{6000}{3,47} = 1729 \text{ ომს.}$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი, უქმი სელის დროს

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_2 I_0} = \frac{2100}{6000 \cdot 3,47} \approx 0,101.$$

ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემის აქტიური წინაღობა

$$r_{12} \approx r_0 = Z_0 \cdot \cos \varphi_0 = 1729 \cdot 0,101 = 174,6 \text{ ომს.}$$

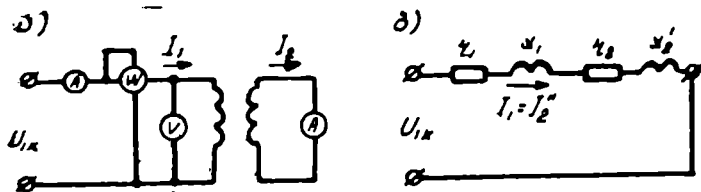
ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემის რეაქტიული წინაღობა

$$x_{12} \approx x_0 = Z_0 \cdot \sin \varphi = 1729 \cdot 0,995 = 1720 \text{ ომს.}$$

§ 6-10. ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდა

ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდა განსხვავდება მისი ავარიული მოკლედ ჩართვის რეჟიმისაგან. ეს ცდა ტარდება წინასწარი განზრახვით, ტრანსფორმატორის ზოგიერთი პარამეტრის განსაზღვრისათვის, რათა დადგენილ იქნეს მისი ძაბვის ცვლილების სიდიდე.

საერთოდ, მოკლედ ჩართვის ცდის ქვეშ გულისხმობენ ტრანსფორმატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როდესაც მისი მეორეული გრაგნილი ჩართულია მოკლედ (ამპერმეტრზე), ხოლო პირველად



ნახ. 125. ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდის სქემა.
ა—მოკლედ ჩართვის სქემა; ბ—შენაცვლების სქემა.

გრაგნულზე მოდებულა შემცირებული (დაწეული) ძაბვა U_K (ნახ. 125).

როგორც შენაცვლების სქემიდან ჩანს (ნახ. 125, ბ), ტრანსფორმატორიდან გამოთიშულია დამაგნიტების კონტური, რადგან უქმი სვლის დენი მეტად მცირეა ($I_0=0$).

მოკლედ ჩართვის ცდას, ჩვეულებრივ, ატარებენ პირველადი და მეორეული დენების ნომინალურ ან მათი 75,100 და 125%-ის სიდიდეებზე. ამ დენების მიხედვით ირჩევენ პირველად დაბვას მოკლედ ჩართვის რეჟიმისათვის.

პირველადი დაბვა, ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემის შესაბამისად, მოკლედ ჩართვის დროს ტოლია

$$|U_{1K}=I_1 \cdot Z_K=I_{15} \sqrt{r_K^2 + x_K^2}| \quad (183)$$

სადაც Z_K არის მოკლედ ჩართვის სრული წინაღობა;

$r_K = r_1 + r_2$ — მოკლედ ჩართვის აქტიური წინაღობები I და II გრაგნილებისათვის;

$x_K = x_1 + x_2$ — მოკლედ ჩართვის ინდუქციური წინაღობები I და II გრაგნილებისათვის.

მოკლედ ჩართვის ცდით ექსპერიმენტულად განისაზღვრება მოკლედ ჩართვის როგორც დაბვა და წინაღობები, ისე აქტიური სიმძლავრე, რომელიც გამოისახება შემდეგი ფარდობით

$$|P=U_{1K} \cdot I_{15} \cdot \cos \varphi_K=I_{15}^2 \cdot r_K| \quad (184)$$

აქ φ_K ძვრის კუთხეა მოკლედ ჩართვის დროს და შეიძლება განისაზღვროს ტოლობით

$$\varphi_K = \arctg \frac{x_K}{r_K} \quad (185)$$

ავარიული მოკლედ ჩართვის შემთხვევაში პირველადი დაბვა ტოლი იქნება ნომინალური დაბვისა, ე. ი.

$$U_1 = U_{15} .$$

დროის მცირე შუალედის შემდეგ გრაგნილებში გაივლის I_{1K} და I_{2K} — მოკლედ ჩართვის პირველადი და მეორეული დენები, რომლებიც, შესაბამისად, ასე გამოისახებიან:

$$I_{1K} = \frac{U_{15}}{Z_K} = \frac{U_{15}}{U_{1K}} I_{15} = \frac{100}{e_K \%} \cdot I_{15} \quad (186)$$

და

$$I_{2K} = K \cdot I_{1K} = \frac{W_1}{W_2} \cdot I_{1K} = \frac{100}{e_K \%} I_{25}, \quad (187)$$

სადაც $e_K\%$ წარმოადგენს მოკლედ ჩართვის შეფარდებით სრულ ძაბვის ვარდნას ნომინალური დენის დროს ($I_2 = I_{26}$) და ასე ჩაიწერება

$$e_K\% = \frac{U_{26}}{U_1} \cdot 100\% = \frac{I_{16} \cdot Z_K}{U_1} \cdot 100\%.$$

U_2 -ს უწოდებენ მოკლედ ჩართვის ძაბვას. მძლავრი ტრანსფორმატორებისათვის იგი არ აღემატება 5—10 %-ს.

განვიხილოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. მოცემულია ტრანსფორმატორი შემდეგი მაჩვენებლებით:

$S_6 = 50$ კვა, $U_{16} = 3000$, $U_{26} = 230$ ვ, $U_K = 5,5\%$, $P_K = 1325$ ვტ, $f = 50$ ჰც. შეერთების ჯგუფი — $\Delta/\Delta_0 - 12$. საჭიროა: 1) შეადგინოთ ტრანსფორმატორის შენაცვლების მარტივი სქემა (ყველა პარამეტრით) მოკლედ ჩართვის რეჟიმისათვის; 2) განსაზღვროთ პირველადი და მეორეული გრაგნილების აქტიური და რეაქტიული წინაღობები, თუ პირველადი გრაგნილის წინაღობები მოცემულია დაყვანილი სახით ($r_1 = r_2'$ და $x_1 = x_2'$).

ამოხსნა

მოცემული ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის რეჟიმისათვის, ვინაიდან $Z = 0$, ერთი ფაზის შენაცვლების სქემა გამოისახება ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია 126-ე ნახაზზე. მოკლედ ჩართვის სრული წინაღობა Z_K განისაზღვრება ფარდობით

$$Z_K = \frac{U_{Kფ}}{I_K}$$

მოკლედ ჩართვის ძაბვა (ფაზის)

$$U_{Kფ} = \frac{U_K\% \cdot U_{16}}{\sqrt{3}} = \frac{0,055 \cdot 3000}{1,73} = 95,4 \text{ ვ},$$

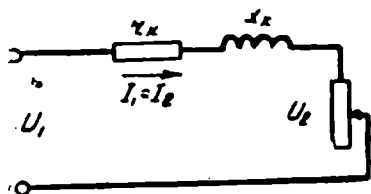
ხოლო მოკლედ ჩართვის დენი ნომინალური დენის ტოლი უნდა იყოს, ე. ი.

$$I_K = I_{16} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{16}} = \frac{50.000}{1,73 \cdot 3000} = 9,65 \text{ ა}$$

სრული წინაღობა

$$Z_K = \frac{U_{Kფ}}{I_K} = \frac{U_{Kფ}\% \cdot U_{16}}{\sqrt{3} \cdot I_{16}} = \frac{95,4}{9,65} = 9,89 \text{ ომს.}$$

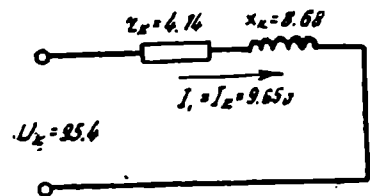
მოკლედ ჩართვის სიმძლავრე ტოლი იქნება დანაკარგებისა, რომლებიც ჩვეულებრივად მოცემულია ტრანსფორმატორის პასპორტში



$$P = P_K = 3 \cdot I_{16}^2 \cdot r_K,$$

საიდანაც მოკლედ ჩართვის აქტიური წინაღობა

$$r_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_1^2} = \frac{1325}{3 \cdot 9,65^2} = 4,74 \text{ ომს,}$$



ხოლო მოკლედ ჩართვის ინდუქციური წინაღობა

$$x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2} = \sqrt{9,89^2 - 4,74^2} = 8,68 \text{ ომს.}$$

ნახ. 126. ტრანსფორმატორის ფაზის ჩანაცვლების სქემები მაგალითისათვის.

2. ტრანსფორმატორის აქტიურ და ინდუქციურ წინაღობებს განესაზღვრავთ შემდეგნაირად:

აქტიური წინაღობა შენაცვლების სქემის შესაბამისად

$$r_K = r_1 + r_2',$$

პირობის თანახმად, პირველადი გრაგნილის აქტიური წინაღობა

$$r_1 = r_2' = \frac{r_K}{2} = \frac{4,74}{2} = 2,37 \text{ ომს,}$$

ინდუქციური წინაღობა კი

$$x_1 = x_2' = \frac{x_K}{2} = \frac{8,68}{2} = 4,34 \text{ ომს.}$$

მეორეული გრაგნილის ნამდვილი აქტიური და რეაქტიული წინაღობები გამოითვლება ფარდობებიდან

$$r_2 = \frac{r_2'}{K^2} \quad \text{და} \quad x_2 = \frac{x_2'}{K^2},$$

სადაც K ტრანსფორმაციის კოეფიციენტია და უდრის

$$K = \frac{U_{1\text{ფ}}}{U_{2\text{ფ}}} = \frac{U_{16}}{U_{26}} = \frac{300\text{J}}{23\text{J}} = 13.$$

აქედან გამოვძინარე, მივიღებთ:

$$r_2 = \frac{r_2'}{K^2} = \frac{2,87}{13^2} = 0,014 \text{ ომს}$$

და

$$x_2 = \frac{x_2'}{K^2} = \frac{4,34}{13^2} = 0,0256 \text{ ომს.}$$

1. სამფაზიანი ცვლადი დენის ტრანსფორმატორები მზადდება სამი ერთფაზიანი ან ერთი სამფაზიანი ტრანსფორმატორის სახით.

პირველი ტიპის ტრანსფორმატორები მზადდება სამი დამოუკიდებელი გულარის ჩარჩოებზე მოთავსებული პირველადი და მეორეული გრაგნილების სახით, რომლებიც ერთმანეთთან ვარსკვლავად ან სამკუთხედად არიან შეერთებულნი.

2. ამ შემთხვევაში კი სამივე ფაზის პირველადი და მეორეული გრაგნილები თავსდებიან ერთი საერთო გულარის ჩარჩოზე და, მსგავსად პირველისა, ირთვებიან ვარსკვლავად, ან სამკუთხედად.

სამფაზიან ტრანსფორმატორებში არსებობს გრაგნილთა ფაზების შეერთების ოთხი ჯგუფი, ე. ი.

$$\Delta/\Delta_0; \Delta/\Delta; \Delta/\Delta; \text{ და } \Delta/\Delta;$$

საბჭოთა კავშირში ტრანსფორმატორის გრაგნილთა ფაზების შეერთების ძირითად ჯგუფებად ითვლება:

$$\Delta/\Delta_0; \Delta/\Delta; \text{ და } \Delta_0/\Delta.$$

3. სამფაზიანი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტზე, გარდა გრაგნილთა ფაზების შეერთებისა, მოქმედებს აგრეთვე გრაგნილთა შეერთების ჯგუფი, კერძოდ:

$$\begin{array}{ll} \Delta/\Delta_0 \text{ დროს} & K_b = K_{\text{ფ}}; \\ \Delta_0/\Delta & K_b = \sqrt{3} K_{\text{ფ}}; \\ \Delta/\Delta & K_b = K_{\text{ფ}}; \\ \Delta/\Delta_0 & K_b = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot K_{\text{ფ}} \end{array}$$

4. ტრანსფორმატორების პარალელური მუშაობა ეწოდება ისეთ რეჟიმს, როცა მომუშავე ტრანსფორმატორების პირველადი გრაგნილის ერთსახელა ფაზები მიერთებულია საერთო მკვებავ სალტებთან, ხოლო მათი მეორეული გრაგნილების ერთსახელა ფაზები — ენერგიის განმანაწილებელ საერთო სალტებთან.

პარალელური მუშაობის განსახორციელებლად უნდა შესრულდეს შემდეგი სამი პირობა:

1) პარალელურად ჩართული ტრანსფორმატორები შეერთების ერთსა და იმავე ჯგუფს უნდა მიეკუთვნებოდეს;

2) ტრანსფორმატორების პირველადი და მეორეული გრაგნილებას შესაბამისი ძაბვები და მათი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები ერთმანეთს უნდა უდრიდეს, ე. ი.

$$U_{I_I} = U_{I_{II}} = \dots\dots;$$

$$U_{2_I} = U_{2_{II}} = \dots\dots;$$

და

$$K_I = K_{II} = \dots\dots;$$

3) ტრანსფორმატორების მოკლედ ჩართვის ძაბვები ერთმანეთის ტოლი უნდა იყოს (დასაშვებია გადახრა 5—10 %), ე. ი.

$$U_{K_I} = U_{K_{II}} = \dots\dots$$

5. ელექტრული გათვლების გამარტივების მიზნით გამოიყენება ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემები.

შენაცვლების სქემა ეწოდება ისეთ გამარტივებულ ელექტრულ სქემას, რომელიც ორი დამოუკიდებელი ელექტრული წრედის ნაცვლად ითვალისწინებს ერთ საერთო ელექტრულ წრედს ორივე გრაგნილის ელექტრულ სიდიდეთა დაყვანილი მაჩვენებლებით (საერთო მასშტაბში).

მეორეული გრაგნილის გამოსათვლელ სიდიდეთა დაყვანა პირველადი გრაგნილის მიმართ ხორციელდება შემდეგი თანათარღობებით:

$$E_2^1 = \frac{W_1}{W_2} \cdot E_2 = K \cdot E_2 = E_1; \quad r_2^1 = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 \cdot r_2 = K^2 \cdot r_2;$$

$$I_2^1 = \frac{W_2}{W_1} \cdot I_2 = \frac{1}{K} \cdot I_2 \quad \text{და} \quad x_2^1 = K^2 \cdot x_2.$$

6. ტრანსფორმატორის სიმძლავრის დანაკარგების (სპილენძში) და მისი მოკლედ ჩართვის ძაბვის დასადგენად ატარებენ ე. წ. მოკლედ ჩართვის ცდას.

საერთოდ, მოკლედ ჩართვის ცდა ეწოდება ტრანსფორმატორის მუშაობის ისეთ რეჟიმს, როცა მისი მეორეული გრაგნილი ჩართულია მოკლედ (ამპერმეტრზე), ხოლო პირველად გრაგნილზე მოდებულია შემცირებული (დაწეული) ძაბვა (U_{1K}).

მოკლედ ჩართვის ცდის შედეგად, ექსპერიმენტულად დავადგენთ: მოკლედ ჩართვის ძაბვას (U_{1K}), მოკლედ ჩართვის წინაღობას (Z_K) და მოკლედ ჩართვის აქტიურ სიმძლავრეს (P), ე. ი.:

$$U_{1K} = I_1 Z_K = I_{15} \sqrt{r_K^2 + x_K^2}$$

$$r_K = r_1 + r_2^1 \quad \text{და} \quad x_K = x_1 + x_2^1;$$

$$P = U_{1K} \cdot I_{15} \cdot \cos \varphi_K = I_{15}^2 \cdot r_K.$$

7. ტრანსფორმატორის ავარიული მოკლედ ჩართვის შემთხვევაში ხანმოკლე გარდამავალი რეჟიმის შემდეგ პირველადი ძაბვა უტოლდება ნომინალურ ძაბვას და გრაგნილებში გაივლიან მოკლედ ჩართვის დენება (I_{1K} და I_{2K}). ამ დენებს გამოვითვლით ფარდობებიდან:

$$I_{1K} = \frac{U_{15}}{Z_K} = \frac{U_{15}}{U_{1K}} \cdot I_{15}$$

და

$$I_{2K} = K \cdot I_{1K} = \frac{W_1}{W_2} \cdot I_{1K}.$$

§ 6-12. სპარჯიზო

1. მოცემულია სამფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომელიც ჩართულია აქტიური სიმეტრიული დატვირთვის $P_2 = 45$ კვტ-ის წრედში. მისი მეორეული ძაბვაა $U_2 = 220$ ვ, პირველადი კი $U_1 = 6000$ ვ. საჭიროა განვსაზღვროთ ტრანსფორმატორის მეორეული და პირველადი დენები (I_1, I_2), თუ ცნობილია, რომ მისი გრაგნილები შეერთებულია ვარსკვლავი — ვარსკვლავად და მუშაობს მ. ქ. კოეფიციენტით $\eta = 92$.

2. მოცემული გვაქვს სამფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომლის ხვეულთა რიცხვი პირველად და მეორეულ გრაგნილებში: $W_1 = 2080$ და $W_2 = 80$. ამასთანავე, ცნობილია, რომ პირველადი ხაზური ძაბვაა $U_1 = 3300$ ვოლტი.

საჭიროა განისაზღვროს მეორეული ხაზური ძაბვა და ტრანსფორმატორის კოეფიციენტი ფაზური და ხაზური ძაბვისა იმ შემთხვევისათვის, როცა ტრანსფორმატორის გრაგნილები შეერთებულია Δ/Δ და Δ/Δ სქემით.

3. ორი სამფაზიანი ტრანსფორმატორი პარალელურად ჩართულია ქსელში. მათი მაჩვენებლებია:

	I ტრანსფორმატორი	II ტრანსფორმატორი
S	30 კვა	50 კვა
U_1	$3000 \pm 5\%$ ვ	$3000 \pm 5\%$ ვ
U_2	230 ვ	230 ვ
U_K	5,5 %	5,5 %
U_n	2,84 %	2,65 %
შეერთების წგუფი	$\Delta/\Delta_0 - 12$	$\Delta/\Delta_0 - 12$

განსაზღვრეთ რას უდრის თითოეული ტრანსფორმატორის დენი (I_I და I_{II}), თუ ცნობილია, რომ ქსელის დენი $I = 150$ ა.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რას ეწოდება სამფაზიანი ტრანსფორმატორები და როგორ მზადდება ისინი?
2. სამფაზიანი ტრანსფორმატორების გრაგნილთა შეერთების რამდენი ჯგუფი არსებობს?

3. რა დამოკიდებულება ტრანსფორმატორის ხაზური და ფაზური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტებს შორის შეერთების არსებული ჯგუფებისათვის?

4. ტრანსფორმატორების პარალელური მუშაობისათვის რა აუცილებელი პირობებია შესასრულებელი?

5. რას უწოდებენ ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემას, რა მიზნით და საშუალებით ხორკელდება იგი?

6. რატომ არის, რომ მოკლედ ჩართვის დროს ტრანსფორმატორის მთელი სიმძლავრე იხარჯება მისი გრავნილების გახურებაზე?

7. რას ეწოდება ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდა და რა მიზანს ემსახურება იგი?

8. მოკლედ ჩართვის ცდის შესრულება ტრანსფორმატორის როგორი დატვირთვის დროს არის რეკომენდებული?

9. როგორ გამოისახება პირველადი ძაბვა და აქტიური სიმძლავრე მოკლედ ჩართვის ცდის დროს შენაცვლების შეთოდით?

10. რას ეწოდება მოკლედ ჩართვის ძაბვა?

დავალემა 22

ენერგიის დანაკარგები ტრანსფორმატორში. ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტი და სიმძლავრე. ტრანსფორმატორის ვაცივება. ავტოტრანსფორმატორები. საზომი ტრანსფორმატორები. მოკლე დასკვნები. სავარჯიშო.

§ 6-13. ენერგიის დანაკარგები ტრანსფორმატორში

როგორც აღვნიშნეთ, ფოლადისგულარიანი კოჭის მსგავსად, ტრანსფორმატორში ადგილი აქვს ენერგიის ორი სახის დანაკარგებს: დანაკარგები სპილენძში და დანაკარგები ფოლადში

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma} + P_{\text{ფ}} \quad (189)$$

დანაკარგები სპილენძში ახასიათებს ტრანსფორმატორის როგორც პირველად, ისე მეორეულ გრავნილს და ერთი ფაზისათვის გამოისახება ცნობილი ფარდობით

$$P_{\Sigma} = I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2,$$

სადაც r_1 და r_2 გრავნილების აქტიური წინაღობებია.

დანაკარგების ეს სახეობა, როგორც ვხედავთ, დენების კვადრატების პროპორციულია და ამიტომ მათ ხშირად დატვირთვის დანაკარგებს უწოდებენ. უქმი სვლის დროს ეს დანაკარგები თითქმის ნულის ტოლია.

დანაკარგებს ფოლადში იწვევენ ჰისტერეზისის მოვლენა და გრივალისებური დენები ფოლადის გულარში, რაც ასე გამოისახება

$$P_{\text{ფ}} = P_{\Sigma} - P_{\Sigma}$$

და იგი, როგორც ადრე ვუჩვენეთ, პროპორციულია

$$P_{\Phi} \equiv B^2 \text{ და } P_{\Phi} \equiv \Phi^2.$$

ამასთანავე, რადგან

$$\Phi \equiv U,$$

ამიტომ დანაკარგები ფოლადში პროპორციული იქნება ძაბვის კვადრატისა

$$\boxed{P_{\Phi} \equiv U^2.} \quad (189)$$

იმასთან დაკავშირებით, რომ სპილენძში დანაკარგები (P_{Φ}) დამოკიდებულია დატვირთვის დენზე, ხოლო დანაკარგები ფოლადში დატვირთვის მიმართ უცვლელი რჩება და ამავე დროს მეტად უმნიშვნელოა, შეიძლება მისი უგულვებელყოფა. ეს კი უფლებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ მოკლედ ჩართვის დროს მიღებული სიმძლავრე დაიხარჯება სპილენძში დანაკარგების დასაფარავად, ე. ი.

$$\boxed{P_{K\epsilon} = P_{\omega} + P_{\Phi K} \equiv P_{\omega};} \quad (190)$$

სადაც $P_{K\epsilon}$ მოკლედ ჩართვის სიმძლავრეა; $P_{\Phi K}$ — დანაკარგები ფოლადში მოკლედ ჩართვის დროს; P_{ω} — დანაკარგები სპილენძში ნომინალური დენის დროს.

მეორე მხრივ, თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დენები $I_1 \rightarrow 0$ და $I_2 = 0$, უფლება გვძლევს დანაკარგები სპილენძში უგულვებელყოფოთ და დავასკვნათ, რომ ქსელიდან მოთხოვნილი უქმი სვლის სიმძლავრე დაიხარჯება ფოლადში დანაკარგების დასაფარავად, ე. ი.

$$\boxed{P_{\gamma} = P_{\Phi} + P_{\omega \gamma} \equiv P_{\Phi},} \quad (191)$$

სადაც P_{γ} უქმი სვლის სიმძლავრეა, ხოლო $P_{\omega \gamma}$ — დანაკარგები სპილენძში უქმი სვლის დროს. ტრანსფორმატორში დანაკარგების დასადგენად სარგებლობენ იმავე ელექტრული სქემით, რომელიც განხილული იყო ადრე (ნახ. 125).

ამგვარად, სიმძლავრე, რომელსაც ღებულობს ტრანსფორმატორი ქსელიდან, ანუ პირველადი სიმძლავრე

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1,$$

ნაწილობრივ იხარჯება ზემოთ აღნიშნული დანაკარგების დასაფარავად, ხოლო მეორეული სიმძლავრე (ტრანსფორმატორის) ამ დანაკარგების ტოლი სიდიდით მცირდება და გამოისახება შემდეგი ფარდობით

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2.$$

სამფაზიანი დენის შემთხვევაში პირველადი და მეორეული სიმძლავრეები გამოისახებიან შესაბამისად:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

და

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2.$$

მაშასადამე, საერთო დანაკარგები ტრანსფორმატორში პირველადი და მეორეული სიმძლავრეების სხვაობის ტოლი უნდა იყოს

$$\boxed{P_3 = P_1 - P_2} \quad (192)$$

სიმძლავრის ეს სხვაობა იხარჯება გრავილების გამტარებისა და გულარის მაგნიტური გამტარის გათბობაზე.

გავარჩიოთ სანიმუშო მაგალითი.

მაგალითი. სამფაზიანი ტრანსფორმატორი უქმი სვლის დროს ქსელიდან ლებულობს 485 ვტ სიმძლავრეს. სრული დატვირთვის დროს (განათებაზე) პირველადი წრედის ამპერმეტრი უჩვენებს 9,85 ამპერს, ხოლო ვოლტმეტრი — 3000 ვოლტს. იმავე პირობებისათვის მეორეული წრედის დენი 134,5 ამპერია, ხოლო ძაბვა — 215 ვოლტი. განსაზღვრეთ: 1) ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორეული სიმძლავრეები და 2) სიმძლავრის დანაკარგები სპილენძსა და ფოლადში სრული დატვირთვის დროს.

ამოხსნა

მოცემული ტრანსფორმატორის მეორეული ანუ სასარგებლო სიმძლავრე, რადგან $\cos \varphi_2 = 1$, გაითვლება ფარდობით

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2 = 1,73 \cdot 215 \cdot 34,5 \cdot 1 = 50,000 \text{ ვტ} = 50 \text{ კვტ.}$$

სათანადოდ, პირველადი სიმძლავრეც, ვინაიდან $\cos \varphi_1 = 1$, იქნება

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 1,73 \cdot 3000 \cdot 9,85 \cdot 1 = 51.200 \text{ ვტ} = 51,2 \text{ კვტ.}$$

სიმძლავრის დანაკარგები ტრანსფორმატორში სრული დატვირთვის დროს უდრის

$$P_1 - P_2 = 51.200 - 50.000 = 1200 \text{ ვტ-ს.}$$

ეს სიმძლავრე ტოლი იქნება იმ დანაკარგებისა, რომლებსაც ადგილი აქვს სპილენძსა და ფოლადში, ე. ი.

$$P_{\text{ს}} + P_{\text{ფ}} = 1200 \text{ ვტ.}$$

ვინაიდან ცნობილია სიმძლავრის დანაკარგები ფოლადში

$$P_{\text{ფ}} = 485 \text{ ვტ,}$$

ამიტომ დანაკარგები ტრანსფორმატორის სპილენძში შეადგენს

$$P_{\text{ს}} = 1200 - 485 = 715 \text{ ვტ-ს.}$$

ზემოთ აღნიშნულ დანაკარგებთან დაკავშირებით, ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორეული გრაგნილების სიმძლავრეების შეფარდებას რიცხობრივად ე. წ. მარგი ქმედების (მ. ქ. კ.) კოეფიციენტით გამოსახავენ, რომელსაც აღნიშნავენ η -თი.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (193)$$

ანუ

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{ს}} + P_{\text{ფ}}}$$

ან პროცენტობით

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{ს}} + P_{\text{ფ}}} \cdot 100\% \quad (194)$$

ამრიგად, ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი (η) არის შეფარდება სასარგებლო (მეორეული) სიმძლავრისა ქსელიდან მიღებულ (პირველად) სიმძლავრესთან.

ვინაიდან ტრანსფორმატორის სიმძლავრეს, ჩვეულებრივ, გამოსახველ ვოლტამპერებში (S —მოჩვენებითი), ამიტომ მისი ნებისმიერი სასარგებლო სიმძლავრის განსაზღვრისათვის იყენებენ ე. წ. დატვირთვის ანუ გადაყვანის კოეფიციენტს (β), რომელიც წარმოადგენს შეფარდებას

$$\beta = \frac{S_2}{S_1}$$

ამის შედეგად ტრანსფორმატორის სასარგებლო სიმძლავრე შეიძლება გამოისახოს შემდეგი ტოლობით

$$P_2 = \beta \cdot S \cdot \cos \varphi_2,$$

ხოლო მისი მ. ქ. კოეფიციენტი, წინა გამოსახულების (193) თანახმად, ასე ჩაიწერება:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta \cdot S_2 \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_2 \cdot \cos \varphi_2 + P_{\text{ფ}} + \beta^2 P_{\text{ს}}} \quad (195)$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცვლილება დამოკიდებულია დატვირთვის ცვლილებაზე და გამოისახება მრუდით $\eta = f(\beta)$, რომელიც ნაჩვენებია 127-ე ნახაზზე.

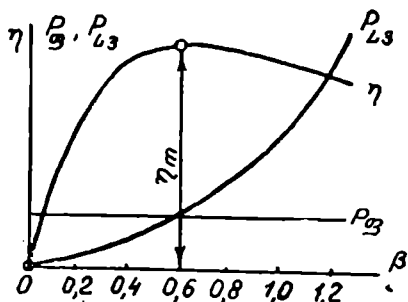
როგორც მრუდი გვიჩვენებს, უკმი სვლის დროს (ე. ი. როცა $P_2 = 0$) $\eta = 0$. დატვირთვის ზრდასთან ერთად მ. ქ. კოეფიციენტიც იზრდება

გარკვეულ სიდიდემდე, რომლის შემდეგაც ი იწეებს ვარდნას. მ. ქ. კ. მაქსიმალური მნიშვნელობა მყარდება იმ შემთხვევაში (იმ დატვირთვისათვის), როდესაც დანაკარგები ფოლადში ტოლი იქნება სპილენძში დანაკარგებისა ($P_{ფ} = P_{ს}$). ეს დატვირთვა, ჩვეულებრივ, ნაკლებია ნომინალურ დატვირთვაზე და იგი განისაზღვრება ტრანსფორმატორის კატალოგის მონაცემებით: $P_{ფ} \approx P_{ფ}$ და $P_{ს} \approx P_{ს}$. მაშინ

$$P_{ფ} = \beta^2 \cdot P_{ს},$$

$$\beta = \sqrt{\frac{P_{ფ}}{P_{ს}}}$$

(196)



ნახ. 127. ტრანსფორმატორის დანაკარგებისა და მ. ქ. კოეფიციენტის მრუდები

ტი და სიმძლავრე, სიმძლავრის კოეფიციენტის შესაბამისად, ორი შემთხვევისათვის $\cos\varphi_2 = 1$ და $\cos\varphi_2 = 0,8$, თუ მისი მონაცემებია: ნომინალური სიმძლავრე $S_{ფ} = 320$ კვა, მაღალი ძაბვა $U_1 = 6000 \pm 5\%$ ვ, დაბალი ძაბვა $U_2 = 230$ ვ, შეერთების ჯგუფი $\Delta/\Lambda_0 - 11$, სისწორე $f = 50$ ჰც. ამასთანავე ცნობილია, რომ ტრანსფორმატორის უქმი სვლის დანაკარგები $P_{ფ} = 1,7$ კვტ-ს, ხოლო მოკლედ ჩართვის დანაკარგები $P_{ს} = 5,7$ კვტ-ს.

ამოხსნა

ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტი ნებისმიერი დატვირთვისათვის თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს მაშინ, როცა მისი უქმი სვლის დანაკარგები გაუტოლდება მოკლედ ჩართვის დანაკარგებს, ხოლო დატვირთვის კოეფიციენტი

$$\beta = \sqrt{\frac{P_{ფ}}{P_{ს}}} = \sqrt{\frac{170J}{570J}} = 0,546.$$

ამრიგად, მ. ქ. კოეფიციენტი თავის უდიდეს მნიშვნელობას მიაღწევს ტრანსფორმატორის ნომინალური დატვირთვის 54,6%-ის დროს.

ტრანსფორმატორის სასარგებლო სიმძლავრე (P_2), როცა $\cos \varphi_2 = 1$, უდრის

$$P_2 = \beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2 = 0,546 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 1 = 174 \cdot 700 \text{ ვტ} = 174,7 \text{ კვტ.}$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტი, რადგან $P_{\text{ფ}} \approx P_{\Sigma}$ და $P_{\text{კ}} \approx P_{\text{კ}}$ ხოლო $\cos \varphi_2 = 1$, იქნება

$$\eta_1 = \frac{\beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2 + P_{\Sigma} + \beta^2 P_{\text{კ}}} = 1 - \frac{P_{\Sigma} + \beta^2 \cdot P_{\text{კ}}}{\beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2 + P_{\Sigma} + \beta^2 \cdot P_{\text{კ}}} =$$

$$= 1 - \frac{2P_{\Sigma}}{\beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2 + 2P_{\Sigma}} = 1 - \frac{2 \cdot 1700}{0,546 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 1700} \approx 0,981,$$

ანუ $\eta_1 = 98,1 \%$.

ტრანსფორმატორის სასარგებლო სიმძლავრე მეორე შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც $\cos \varphi_2 = 0,8$, ტოლია

$$P_2 = \beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2 = 0,546 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 139,800 \text{ ვტ} = 139,8 \text{ კვტ.}$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\cos \varphi_2 = 0,8$ დროს

$$\eta_2 = 1 - \frac{2P_{\Sigma}}{\beta \cdot S_{\Sigma} \cdot \cos \varphi_2 + 2P_{\Sigma}} = 1 - \frac{2 \cdot 1700}{0,546 \cdot 320 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1700} \approx 0,976$$

ანუ

$$\eta_2 = 97,6 \%$$

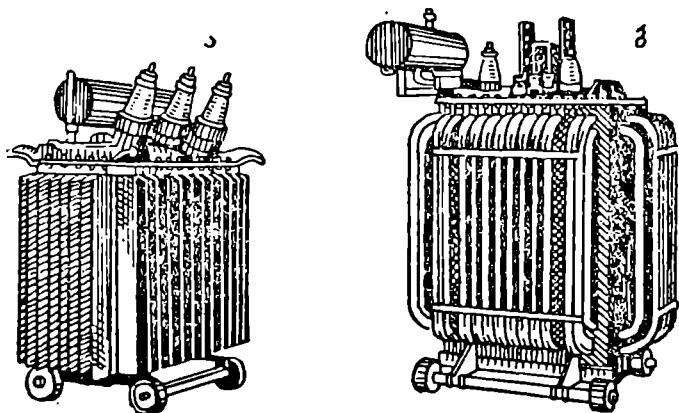
§ 8-15. ტრანსფორმატორის გაციხვა

ენერჯის მთელი დანაკარგები სპილენძსა და ფოლადში სითბოს სახით გამოიყოფა და ტრანსფორმატორს ახურებს. იმისათვის, რომ დაცულ იქნეს ტრანსფორმატორის საიზოლაციო მასალა დაზიანებისაგან, საჭირო ხდება მისი გაცივება დაწესებულ ტემპერატურამდე. სახელმწიფო სტანდარტით (ГОСТ-ით) დადგენილია დასაშვები ტემპერატურა ტრანსფორმატორის გრაგნილებისათვის $+105^{\circ}\text{C}$, ხოლო გუ-ლარის ზედაპირისათვის $+110^{\circ}\text{C}$.

ტრანსფორმატორის გაცივება მიმდინარეობს მულმივად. რაც უფრო მძლავრია ტრანსფორმატორი, მით მეტია მასში დანაკარგები და სითბოს გამოყოფა, რისთვისაც საჭირო ხდება გაცივებით სპეციალური საშუალებების გამოყენება. მცირე სიმძლავრის (ათეული კილოვატ-ამპერიანი) ტრანსფორმატორის გაცივება, ჩვეულებრივ, მშრალად ანუ პაერით წარმოებს, ხოლო მძლავრი ტრანსფორმატორებისა, როგორც

წესი, — ზეთით. ამასთან დაკავშირებით, მძლავრი ტრანსფორმატორების გულარი თავისი გრაგნილებით თავსდება სპეციალურ რკინის აბაზანაში, რომელიც ივსება მინერალური სატრანსფორმატორო ზეთით (ნახ. 128, ა და ბ).

სითბოს გადაცემის გადიდების მიზნით აბაზანის ზედაპირს აკეთებენ ტალღურს (ნახ. 128, ა). შედარებით მძლავრ ტრანსფორმატორებში გაცივება უფრო სრულყოფილია მილების საშუალებით. ამ შემთხვევაში აბაზანის კედლებში ჩადუღებულია მრგვალი 40—50 მმ დიამეტრის მილები, რომლებიც აბაზანაში ჩასხმული ზეთის ბუნებრივი



ნახ. 128. ზეთიანი ტრანსფორმატორების საერთო ხედი.

ა—ტრანსფორმატორი ტალღურზედაპირიანი აბაზანით; ბ—ტრანსფორმატორი მილოვანი აბაზანით.

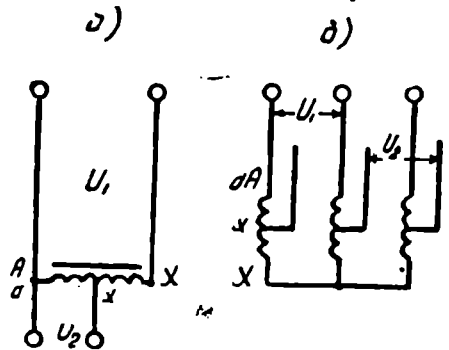
ციკრულაციის საშუალებას იძლევიან, რითაც ხორციელდება ტრანსფორმატორის ინტენსიური გაცივება (ნახ. 128, ბ).

პირველადი და მეორეული გრაგნილების წვერები ტრანსფორმატორიდან გამოჰყავთ ფაიფურის გამოყვანი იზოლატორებით, რომლებიც მოთავსებულია აბაზანის სახურავზე. იმის გამო, რომ მუშაობის პროცესში ზეთი იცვლის მოცულობას, ტრანსფორმატორს ზევიდან უწყობენ ზეთის გამაფართოებელს. ზეთის გამაფართოებლის მოცულობა გაანგარიშებულია დასაშვები დატვირთვისა და გარემოს ტემპერატურაზე (—35°-დან +35°-მდე). მეტად დიდი სიმძლავრის (ათეული ათასი კილოვატამპერის) ტრანსფორმატორებში ხშირად გაძლიერებულ გაცივებას მიმართავენ, რისთვისაც ტრანსფორმატორის ზეთით სავსე აბაზანას უკეთებენ რადიატორებს.

პრაქტიკაში ხშირად მცირე ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის მქონე ტრანსფორმატორების გამოყენებაა საჭირო. ამიტომ მიზანშეწონილი ხდება ტრანსფორმატორის არსებული კონსტრუქციების გამარტივება და ამით დანაკარგების შემცირება. ტრანსფორმატორის ერთ-ერთ გამარტივებულ სახეობას წარმოადგენს ე. წ. ავტოტრანსფორმატორი. ავტოტრანსფორმატორი ეწოდება ისეთ მოწყობილობას, რომელშიც დაბალი ძაბვის გრაგნილი მაღალი ძაბვის გრაგნილის ნაწილს შეადგენს.

ავტოტრანსფორმატორი, ძალური ტრანსფორმატორის მსგავსად, მზადდება ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადის გულარისაგან, რომელზეც მოთავსებულია ერთი საერთო პირველადი და მეორეული გრაგნილი (ნახ. 129, ა და ბ).

ავტოტრანსფორმატორის შესრულება და მოქმედების პრინციპი ჩვეულებრივი ტრანსფორმატორის მსგავსია. ამიტომ მისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი და სხვა ელექტრულ მაჩვენებელთა თანაფარდობები ერთი და იმავე ტოლობებით გამოისახება, ე. ი.



ნახ. 129. ავტოტრანსფორმატორის ელექტრული სქემა:
 ა—ერთფაზიანი ავტოტრანსფორმატორი;
 ბ—სამფაზიანი ავტოტრანსფორმატორი.

$$K = \frac{W_1}{W_2}$$

ან

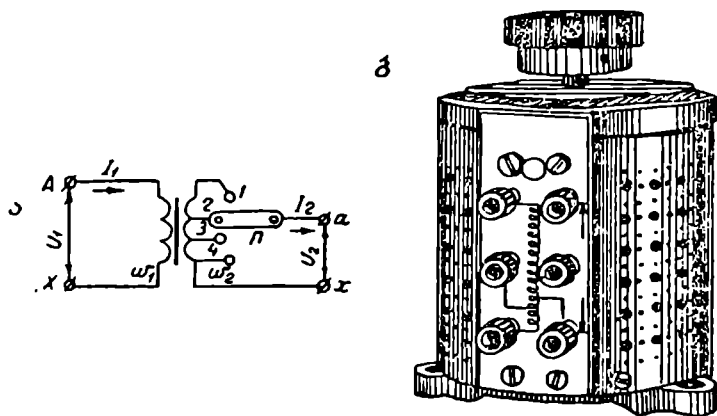
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

და

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}.$$

ავტოტრანსფორმატორები ფართოდ გამოიყენება როგორც ძაბვების შესამცირებლად ელექტრული ძაბვების გამშვებ მოწყობილობებში, ისე კავშირგაბმულობის დანადგარებსა და მძლავრ ენერგოსისტემებში. მათ ფართოდ იყენებენ აგრეთვე საყოფაცხოვრებო ელექტრულ მოწყობ

ბილობებშიც, ძაბვების გადასაყვანად 127 ვოლტიდან 220 ვოლტზე და რადიოსატელევიზიო დანადგართა ძაბვის რეგულირებისათვის. ერთ-ერთი გავრცელებული ავტოტრანსფორმატორის ელექტრული სქემა და საერთო ხედი, რომელიც „ლატრის“ (ლაბორატორიული ავტოტრანსფორმატორი) სახელწოდებით არის ცნობილი და გამოიყენება ლაბორატორიულ სამუშაოებსა და კავშირგაბმულობის სისტემაში, წარმოდგენილია 130-ე ნახაზზე.



ნახ. 130. ავტოტრანსფორმატორი „ლატრი-2“.
 ა—ელექტრული სქემა; ბ—საერთო ხედი.

ავტოტრანსფორმატორებს ეკონომიურობასა და კონსტრუქციულ უპირატესობებთან ერთად გააჩნიათ ნაკლიც; კერძოდ ის, რომ მათი პირველადი და მეორეული გრაგნილები ელექტრულად არიან დაკავშირებული. მალალი ძაბვების შემთხვევაში ირჩევენ მცირე ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს $K < 2 \div 2,5$, ვინაიდან მისი მეორეული წრედი მიწის მიმართ უნდა შეიცავდეს იმავე იზოლაციას, რასაც პირველადი წრედი. ახლა გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითს განხილვაზე.

მაგალითი. ძაბვის დასაწევად 120 ვოლტიდან 40 ვოლტამდე წრედში ჩართულია ცალფაზა ავტოტრანსფორმატორი, რომელიც შეიცავს 270 ხვეულს. საჭიროა განისაზღვროს: 1) ავტოტრანსფორმატორის საერთო გრაგნილის ხვეულთა რიცხვი, საიდანაც იწყება მეორეული გრაგნილი; 2) დენის ძალა, რომელსაც იღებს ქსელიდან ავტოტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი, თუ მისი მეორეული დენი უდრის 15 ამპერს (განათება), ხოლო მ. ქ. კოეფიციენტი 0,96-ის ტოლია.

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ავტოტრანსფორმატორში გამო-
სახება ცნობილი ფარდობით

$$K := \frac{U_1}{U_2} = \frac{120}{40} = 3.$$

მეორე მხრივ, იგივე ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$K = \frac{W_1}{W_2},$$

საიდანაც

$$W_2 = \frac{W_1}{K} = \frac{270}{3} = 90 \text{ ხვ.}$$

ავტოტრანსფორმატორის მეორეული წრედის სასარგებლო სიმ-
ძლავრე, როცა $\cos \varphi_2 = 1$, იქნება

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 40 \cdot 15 = 600 \text{ ვტ,}$$

ხოლო ქსელიდან მიღებული სიმძლავრე

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{600}{0,96} = 627 \text{ ვტ.}$$

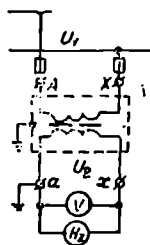
ქსელიდან მიღებული დენის ძალა, ვინაიდან $\cos \varphi_1 = 1$, უდრის

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{627}{120} = 5,22 \text{ ა.}$$

§ 6-17. საზომი ტრანსფორმატორები

როგორც დასახელება გვიჩვენებს, ამ ტიპის ტრანსფორმატორები
იხმარება ელექტრული საზომი ხელსაწყოებისა და მოწყობილობების
კვების წრედებში. საზომი ტრანსფორმატორების გამოყენება განპირო-
ბებულია ცვლადი დენის მაღალი ძაბვების არსებობით და ხელსაწყოთა
მომსახურების უსაფრთხოების დაცვის აუცილებლობით. ამიტომ ეს
ტრანსფორმატორები მარცხისაგან იცავენ არა მარტო მომსახურე პერ-
სონალს, არამედ თვით საზომ ხელსაწყოებსა და აპარატურას. გარდა
ამისა, საზომი ტრანსფორმატორები საშუალებას იძლევიან, მსგავსად
მუდმივი დენის წრედებში ხმარებული შუნტებისა და მიმდევრობითი
წინაღობებისა, გავაფართოოთ გაზომვის საზღვრები. საზომი ტრანს-
ფორმატორები იყოფა ორ ჯგუფად: ძაბვისა და დენის ტრანსფორმა-
ტორებად.

ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორები განკუთვნილია ვოლტმეტრებისა და ყველა იმ ხელსაწყოთათვის, რომლებიც ძაბვის გავლენით მოქმედებენ. 131-ე ნახაზზე წარმოდგენილია ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორის ელექტრული სქემა, რომლის საშუალებითაც ქსელის მაღალ ძაბვას ზომავს ვოლტმეტრი. ამ შემთხვევაში ქსელის ძაბვა — U_1



ნახ. 131. ძაბვის ტრანსფორმატორის ჩართვის ელექტრული სქემა.

ტრანსფორმატორის საშუალებით დაიწვევა სტანდარტულ U_2 ძაბვამდე. თუ, მაგალითად, მაღალი ძაბვის ქსელის ნომინალური სტანდარტული ძაბვა $U_1 = 600$ ვოლტს, მაშინ საზომი ტრანსფორმატორის მეორეული ძაბვა $U_2 = 100$ ვოლტს.

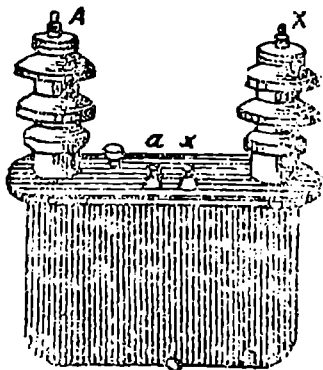
საზომი ტრანსფორმატორები ჩაირთვებიან ქსელში და მუშაობენ ისე, როგორც ძალური ტრანსფორმატორები. ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, მისი ნომინალური სიმძლავრის დროს, მსგავსად ძალურისა, გამოისახება ფარდობით

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2},$$

საიდანაც პირველადი ძაბვა

$$|U_1 = K_U \cdot U_2| \quad (197)$$

მომსახურების უსაფრთხოების მიზნით, გარდა საიმედო იზოლაციისა, მეორეული გრაგნილი დამიწებულია. 132-ე ნახაზზე მოცემულია ერთფაზიანი ძაბვის ($U_1 = 15$ კვ) საზომი ტრანსფორმატორის საერთო ხედი. დენის საზომი ტრანსფორმატორი განკუთვნილია ამპერმეტრისა და იმ საზომი ხელსაწყოებისათვის, რომელთა დანიშნულებაა დენის სიდიდის გაზომვა ან რეაგირება (ნახ. 133). ამ შემთხვევაში საზომი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი ირთვება მაღალი ძაბვის ქსელში მიმდევრობით და მასში გადის დატვირთვის (გასაზომი) მთლიანი დენი. მის მეორეულ წრედში კი ჩართულია მხოლოდ ამპერმეტრი, რომელსაც მცირე წინაღობა აქვს. ამგვარად, დენის ტრანსფორმატორი მუშაობს მოკლე ჩართვის რეჟიმში, ჩვეულებრივ დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილი პირველადი გრაგნილის საწინააღმდეგოდ ირ-



ნახ. 132. ძაბვის ტრანსფორმატორის ერთ-ერთი ტიპის საერთო ხედი.

თვება, შეიცავს ხვეულთა დიდ რაოდენობას და იგი გაითვლება 5 ამპერსზე. დენის ტრანსფორმატორებში პირველადი და მეორეული დენების შეფარდება ისეთივეა, როგორც ჩვეულებრივ ტრანსფორმატორებში და გამოისახება ცნობილი ფარდობით

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1},$$

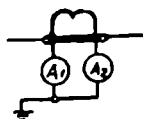
საიდანაც პირველადი დენი

$$I_1 = K_I \cdot I_2$$

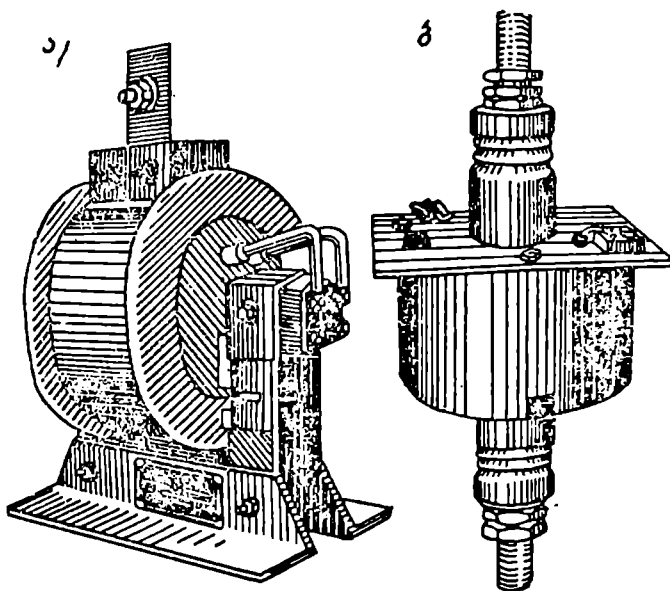
(198)

დენის ტრანსფორმატორები ძაბვისა და მონტაჟის პირობების გათვალისწინებით სხვადასხვა კონსტრუქციული შესრულებისაა. 134-ე ნახაზზე წარმოდგენილია საყრდენი და გამავალი ტიპის დენის ტრანსფორმატორების საერთო ხედები.

დენის ტრანსფორმატორის ცალკე სახეობას წარმოადგენს ე. წ. საზომი მარწუხი. იგი შედგება გასახსნელი გულარისა და მასზე დახვეული მეორეული გრაგნილისაგან, რომელზეც მიერთებულია ამპერმეტრი (ნახ. 135). საზომი მარწუხით დენის გაზომვა წარმოებს.

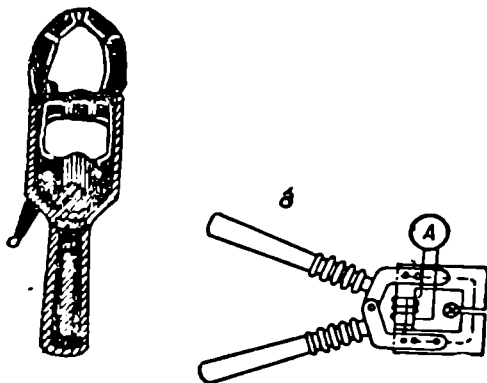


ნახ. 133. დენის ტრანსფორმატორის ჩართვის ელექტრული სქემა.



ნახ. 134. დენის ტრანსფორმატორები: ა-საყრდენი ტიპის და ბ-გამავალი ტიპის.

შემდეგნაირად: მარწყხის გულარის შუა ნაწილში თავსდება გამტარი, რომლის დენის გაზომვა არის განზრახული. გულარის შიგნით მოთავსებული გამტარი ასრულებს საზომი მარწყხის პირველადი გრაგნილის როლს, ხოლო მასში გამავალი დენი ხელსაწყოს მეორეულ გრაგნილში წარმოშობს შესაბამის მეორეულ დენს, რომელსაც აითვლის მარწყხზე მიერთებული ამპერმეტრი.



ნახ. 135. საზომი მარწყხი: ა—საერთო ხელი; ბ—სქემატური ნახაზი.

გადავიდეთ სანიმუშო მაგალითის განხილვაზე.

მაგალითი. ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ხვეულთა რიცხვი $W_1=12600$, ხოლო მეორეულის — $W_2=200$. მის მეორეულ გრაგნილთან მიერთებულია 100-ვოლტიანი ვოლტმეტრი ნომინალურ ძაბვაზე. განსაზღვრეთ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი და მისი პირველადი ძაბვა.

ამოხსნა

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით

$$K_U = \frac{W_1}{W_2} = \frac{12.600}{200} = 63.$$

სათანადოდ, ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორის პირველადი ძაბვა

$$U_1 = K_U \cdot U_2 = 63 \cdot 100 = 6300 \text{ ვ.}$$

§ 6-18. მოკლე დასკვნები

1. ფოლადისგულარიანი კოქის მსგავსად, ტრანსფორმატორში ადგილი აქვს ორი სახის სიმძლავრის დანაკარგებს: დანაკარგები სპილენძში და დანაკარგები ფოლადში.

სპილენძში დანაკარგებს ხშირად დატვირთვის დანაკარგებს უწოდებენ, ვინაიდან ისინი ტრანსფორმატორის პირველად და მეორეულ გრაგნილებში გამავალი დენების კვადრატების პროპორციულია

$$P_{\text{ს}} = I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2.$$

ფოლადში დანაკარგებს კი გულარის პისტერეზისის მოვლენა და გრიგალისებური დენები წარმოშობენ, რის გამოც ისინი მაგნიტური ნაკადის ან ძაბვის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია, ე. ი.

$$P_{\text{ფ}} \equiv \Phi^2 \quad \text{ან} \quad P_{\text{ფ}} \equiv U^2.$$

2. სიმძლავრის დანაკარგების დასაფარავად იხარჯება ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორეული გრაგნილების სიმძლავრეთა სხვაობის ტოლი სიმძლავრე, რომელიც გამოისახება ფარდობით

$$P_3 = P_1 - P_2.$$

სათანადოდ, გრაგნილთა სიმძლავრეები ერთფაზიანი ტრანსფორმატორებისათვის:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

და

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2,$$

ხოლო სამფაზიანი ტრანსფორმატორებისათვის

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1.$$

და

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2.$$

3. ტრანსფორმატორის დანაკარგები, ჩვეულებრივ, გამოისახება პირველადი და მეორეული გრაგნილების სიმძლავრეთა შეფარდებით, რომელსაც მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მ. ქ. კ.) ე ეწოდება, ე. ი.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

და

$$\gamma = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{ს}} + P_{\text{ფ}}} \cdot 100\%.$$

ამრიგად, ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტები წარმოადგენს სასარგებლო (მეორეული) სიმძლავრის შეფარდებას ქსელიდან მიღებულ (პირველად) სიმძლავრესთან. მ. ქ. კოეფიციენტი იცვლება დატვირთვის შესაბამისად და გამოისახება როგორც სიმძლავრის კოეფიციენტის (β) ფუნქცია (მრუდი):

$$\eta = f(\beta).$$

4. სიმძლავრის დანაკარგები (P_p), რომლებიც სითბოს სახით გამოიყოფა ტრანსფორმატორში, საპირობებენ გაცივებას.

გაცივება ხორციელდება სხვადასხვა საშუალებით.

მცირე სიმძლავრის (ათეული კილოვატამპერის) ტრანსფორმატორების გასაცივებლად ჩვეულებრივ მიმართავენ მშრალ ანუ ჰაერით გაცივებას.

მძლავრი ტრანსფორმატორების გასაცივებლად იყენებენ სპეციალურ სატრანსფორმატორო ზეთს, რომლითაც ავსებენ რკინის აბაზანას. მასში ათავსებენ გრაგნილებიან გულარს.

5. მცირე ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის მქონე გამარტივებული კონსტრუქციისა და მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორებს ავტოტრანსფორმატორებს უწოდებენ. ავტოტრანსფორმატორისათვის დამახასიათებელია ის, რომ მისი დაბალი ძაბვის გრაგნილი პირველადი გრაგნილის ნაწილს წარმოადგენს. როგორც შესრულება, ისე მოქმედების პრინციპი და ელექტრული მაჩვენებლები ავტოტრანსფორმატორისა, მსგავსად ჩვეულებრივი ტრანსფორმატორისა, ასე გამოისახება:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K$$

და

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}.$$

6. საზომი ტრანსფორმატორები მოქმედების პრინციპით ძალური ტრანსფორმატორების ანალოგიურია, ხოლო დანიშნულების მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად: ძაბვისა და დენის ტრანსფორმატორებად.

ძაბვის საზომ ტრანსფორმატორებში პირველადი და მეორეული ძაბვების შეფარდება, ძალური ტრანსფორმატორის მსგავსად, ასე გამოისახება:

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

და

$$U_1 = K_U \cdot U_2.$$

დენის საზომ ტრანსფორმატორებში კი პირველადი და მეორეული დენები აკმაყოფილებენ შემდეგ თანაფარდობებს:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1},$$

$$I_1 = K_I \cdot I_2.$$

1. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გულარის დანაკარგების დასადგენად გაზომეს ჯერ პირველადი გრაგნილის ხვეულის წინაღობა, რომელიც აღმოჩნდა $r_1 = 1.25$ ომი. შემდეგ ჩაატარეს ტრანსფორმატორის უქში სვლის ცდა, რომლის დროსაც ვოლტმეტრმა უჩვენა $U_1 = 120$ ვ. ვატმეტრმა $P_0 = 65$ ვტ, ამპერმეტრმა $I_0 = 1,8$ ა. განსაზღვრეთ გულარის დანაკარგები და ააგეთ ვექტორული დიაგრამა ფანტვის ნაკადის გარეშე.

2. მოცემულია სამფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომლის საპასპორტო მაჩვენებლებია: $S_g = 100$ კვა; $U_2 = 400$ ვ; უქმი სვლის დანაკარგები $P_0 = 600$ ვტ; მოკლედ ჩართვის დანაკარგები $P_K = 2400$ ვტ. საჭიროა განისაზღვროს ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტი მისი 0,50 და 0,75 დატვირთვის დროს, როცა $\cos \varphi = 0,8$.

3. მოცემული გვაქვს ერთფაზიანი ავტოტრანსფორმატორი, რომლის პირველადი ძაბვა $U_1 = 127$ ვ და მეორეული $U_2 = 100$ ვ. ამასთან, ცნობილია, რომ პირველადი გრაგნილის ხვეულთა რიცხვი $W_1 = 240$. ზოლო სრული აქტიური დატვირთვის დროს მიმდების დენი $I_2 = 10$ ა. საჭიროა განისაზღვროს: 1) ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K), 2) ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ხვეულთა რიცხვი (W_2) და 3) პირველადი დენი (I_1).

4. მოცემული გვაქვს ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორი. რომლის გრაგნილების ხვეულთა რიცხვებია $W_1 = 12800$ და $W_2 = 200$. აღნიშნული ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის მომჭერებზე მიერთებული ვოლტმეტრი უჩვენებს 100 ვ-ს. განსაზღვრეთ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (K) და ქსელში დასაშვები ძაბვა (U_1).

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. რა სახის დანაკარგები ახასიათებს ტრანსფორმატორს?
2. როგორ განისაზღვრება დანაკარგები ფოლადის გულარში?
3. რატომ არის, რომ ტრანსფორმატორის მიერ ქსელიდან მიღებული ენერგია უქმი სვლის დროს. რკინის გულარის ფანტვის ენერგიად ითვლება?
4. როგორ განისაზღვრება დანაკარგები ტრანსფორმატორის გრაგნილის აქტიურ წინააღობაში?
5. რას ეწოდება მ. ქ. კოეფიციენტი და რატომ არის იგი მაღალი ტრანსფორმატორებში?
6. როგორი დატვირთვის დროს აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტი?
7. მოქმედებს თუ არა ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტზე მისი მეორეული გრაგნილის დატვირთვა?
8. რა მიზეზით და რა საშუალებებით ხორციელდება ტრანსფორმატორების გაცივება?

9. რას წარმოადგენენ ავტორტრანსფორმატორები და რით განსხვავდებიან ისინი ჩვეულებრივი კონსტრუქციის ტრანსფორმატორებისაგან?

10. რას უწოდებენ საზომ ტრანსფორმატორებს და რით განსხვავდებიან ისინი ძალური ტრანსფორმატორებისაგან?

დავალბა 28

§ 6-20. ლაბორატორიული სამუშაო № 8

ტრანსფორმატორების გრაგნილების წინალოგის გაზომვა და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა

სამუშაოს მიზანი

1. ტრანსფორმატორის კონსტრუქციის გაცნობა და მისი პრაქტიკული შესწავლა.
2. ტრანსფორმატორის გრაგნილების წინალოგების გაზომვის ჩვენების გამომუშავება.
3. ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრის შესწავლა.

სამუშაოს გეგმა

1. ამ ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებამდე გაიმეორეთ შენაბამისი თეორიული მასალა, მოცემული მე-20 დავალბაში.
2. გაეცანით სამუშაოსათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს და ჩაიწერეთ მათი მახასიათებლები.
3. გაეცანით ტრანსფორმატორის კონსტრუქციას და ჩაიწერეთ მისი ტექნიკური მახასიათებლები ქარხნული აბრიდან.
4. შეადგინეთ და აკრიფეთ ლაბორატორიული სამუშაოსათვის საჭირო ელექტრული სქემა და უჩვენეთ მასწავლებელს.
5. განსაზღვრეთ პირველადი და მეორეული გრაგნილის წინალოგები.
6. განსაზღვრეთ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი.
7. შესრულებულ სამუშაოზე შეადგინეთ ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

აღნიშნული სამუშაო გამოსაცდელი ტრანსფორმატორის დათვალიერებითა და მისი შემადგენელი კვანძების (გრაგნილები, გულარი, აბაზანა, იზოლატორები და სხვ.) შესწავლით იწყება. ამის შემდეგ უნდა შეადგინოთ, ხოლო შემდეგ აკრიფოთ ლაბორატორიული სამუშაოს მაკეტის სქემა, რომელიც შეიცავს შემდეგ ელემენტებს: 1) შესასწავლ (გამოსაცდელ) ერთფაზიან ან სამფაზიან ტრანსფორმატორს;

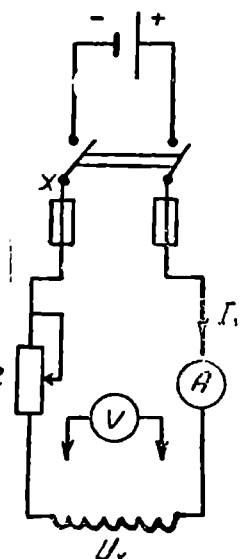
2) ცვლადი და მუდმივი დენის ამპერმეტრებს და ვოლტმეტრებს; ცვლადი დენის ვატმეტრს;

3) მუდმივი დენის წყაროს (აკუმულატორს);

4) საცდელი სქემის შედგენისათვის საჭირო ჩამრთველ-მარეგულირებელ და დამცავ მოწყობილობებს, შემაერთებელი გამტარების ჩათვლით.

საცდელი სქემის შედგენისა და გაშვებისათვის სარგებლობენ 136-ე ნახაზზე მოტანილი ტრანსფორმატორის გრაფილების წინააღობის გასაზომი ელექტრული სქემით.

გრაფილების წინააღობის დასადგენად ვხელმძღვანელობთ ომის კანონით, ანუ $r_x = \frac{U_x}{I_x}$, სადაც U_x ძაბვის ვარდნა გასაზომ წინააღობაში, ხოლო I_x — წინააღობაში გამავალი დენი. გრაფილის წრედში (გასაზომ წინააღობაში) სარეგულირო რეოსტატის საშუალებით მივიღებთ დენის ნომინალურ სიდიდეს. გაზომვა ხდება შემდეგნაირად: მთლიანად შეჰყავთ წინააღობა სარეგულირო რეოსტატში, რომ დენი გასაზომ წრედში ჩართვის მომენტში მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი. დენშვების ჩართვისა და დენის მიწოდებამდე (აგრეთვე ამორთვის დროს) ვოლტმეტრი ამორთული უნდა იყოს წრედიდან, რათა თავიდან ავიცილოთ ვოლტმეტრის დაზიანება ტრანსფორმატორში ჩართვა-ამორთვის მომენტში გაჩენილი დიდი ე.მ. ძალებისაგან. რეოსტატის რეგულირების საშუალებით ცვლიან ძაბვის სიდიდეს გრაფილის ბოლოებზე, რომელსაც ზომავენ ვოლტმეტრით. ხელსაწყოების ანათვლები შეაქვთ მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 18).



ნახ. 136. სამუშაოს ელექტრული სქემა.

ცხრილი 18

დაკვირვებათა რიგი	გრაფილები						შენიშვნები
	მაღალი ძაბვის			დაბალი ძაბვის			
	U_1	I_1	r_1	U_2	I_2	r_2	
	ვ	ა	ომი	ვ	ა	ომი	

წინააღმდეგობაზე დაკვირვებებს დენის სამი სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის აწარმოებენ და მათი საშუალო არითმეტიკული გამოკვეთა შემდეგი გამოსახულებით

$$r = \frac{r_{x1} + r_{x2} + r_{x3}}{3}$$

იმ შემთხვევაში, თუ ამ სიდიდეებს სამფაზიანი ტრანსფორმატორებით ვზომავთ ფაზებისათვის ცალ-ცალკე. გრაგნილების ვარსკვლავად შეერთების დროს თუ ნულოვანი სადენი გამოყვანილია, გაზომვებს აწარმოებენ ფაზასა და ნულს შორის. როდესაც ნულოვანი წერტილი არ არის გამოყვანილი, ზომავენ წყვილ ფაზათა წინააღმდეგობას, ხოლო შემდეგ პოულობენ ერთი ფაზის საშუალო არითმეტიკულ წინააღმდეგობას, ე. ი.

$$r = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{6}$$

სადაც r_1 ; r_2 და r_3 , შესაბამისად, სამი ათვლის საშუალო სიდიდეებია. ფაზათა სამკუთხედად შეერთების დროს, მსგავსად წინა შემთხვევისა, აწარმოებენ ტრანსფორმატორის წყვილ ფაზათა გრაგნილების სამ-სამ გაზომვას და წინააღმდეგობის საშუალო მნიშვნელობას გამოთვლიან ფარდობით

$$r = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{2}$$

თუ სამი გაზომვის შედეგი ერთმანეთისაგან დიდად განსხვავდება, მაშინ წინააღმდეგობის გასაზომად საჭიროა სამკუთხედად შეერთებული გრაგნილების წვერების განრჩილვა და მათი წინააღმდეგობის ცალ-ცალკე განსაზღვრა.

უსაფრთხოების თვალსაზრისით პირველადი გრაგნილის წინააღმდეგობის გამორკვევის დროს მოკლედ ირთება ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილი და პირიქით (მეორეული გრაგნილის წინააღმდეგობის გაზომვისას მოკლედ ირთება პირველადი გრაგნილი).

ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის სარგებლობენ 137-ე ნახაზზე მოცემული სქემით. ამ შემთხვევაში მეორეული წრედისგან გამოირთვება დატვირთვა (ამოირთვება მეორეული წრედის დენ-მკვეთი) და იზომება მხოლოდ ძაბვები, პირველადი და მეორეული გრაგნილებისათვის განკუთვნილი ვოლტმეტრებით. გაზომვის შედეგები შეგვაქვს მოტანილ ცხრილში (ცხრ. 19 ითვალისწინებს სამფაზიან ტრანსფორმატორს). ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის შემთხვევაში ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი გამოითვლება ფარდობით

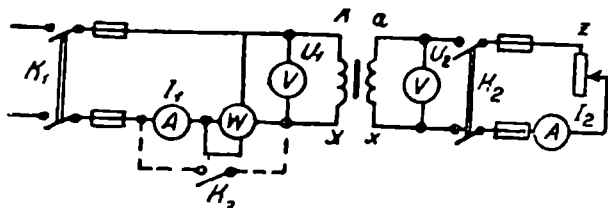
$$K_U = \frac{U_1}{U_2}$$

ბოლო სამფაზიანი ტრანსფორმატორის შემთხვევაში — საშუალო მნიშვნელობებით, ე. ი.

$$K_A = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}, \quad K_B = \frac{U_{BC}}{U_{bc}}, \quad K_C = \frac{U_{CA}}{U_{ca}}$$

და

$$K = \frac{K_A + K_B + K_C}{3}$$



ნახ. 137. სამუშაოს მეორე ელექტრული სქემა.

ხელსაწყოთა ჩვენებებისა და სათანადო გათვლების შედეგად ვანალიზებთ მიღებულ მასალას, ხოლო დასკვნები შეგვაქვს სამუშაო ოქმში.

ცხრილი 19

დაკვირვებათა რიგი	U_{AB}	U_{ab}	K_A	U_{LC}	U_{bc}	K_B	U_{CA}	U_{ca}	K_C	K	შენიშვნები
	3	3	—	3	3	—	3	3	--	—	

საკონტროლო კითხვები

- რა ნაწილებისაგან შედგება ძალური ტრანსფორმატორი?
- რით არის გამოწვეული ტრანსფორმატორის გაცივების აუცილებლობა?
- როგორ იზომება ტრანსფორმატორის გრაგნილების წინალობა?
- რატომ ირთება მოკლედ პირველი გრაგნილი ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის წინალობის გაზომვის დროს?
- როგორ განისაზღვრება ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი?
- როგორ განისაზღვრება სამფაზიანი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი?
- რას ეწოდება ტრანსფორმატორის ხაზური და ფაზური ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი?

§ 0-21. ლაბორატორიული სამუშაო № 10

ტრანსფორმატორის უქმი სვლის და მოკლედ ჩართვის ცდა

სამუშაოს მიზანი

1. დაბალი ძაბვის ტრანსფორმატორების გამოცდის მეთოდების შესწავლა.
2. ტრანსფორმატორის უქმი სვლისა და მოკლედ ჩართვის მახასიათებლების აგება (ცდის საშუალებით).
3. ცდების შედეგების განზოგადების უნარის გამომუშავება.

სამუშაოს გეგმა

1. სამუშაოს დაწყებამდე გაიმეორეთ თეორიული მასალა, რომელიც მოცემულია მე-20 და 21-ე დავალებებში.
2. გაეცანით სამუშაოსათვის განკუთვნილ საზომ ხელსაწყოებს (ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ვატმეტრი და სხვ.) და ჩაიწერეთ მათი მახასიათებლები.
3. გაეცანით გამოსაცდელი ტრანსფორმატორის ტექნიკურ მახასიათებლებს და გააკეთეთ საჭირო ჩანაწერები.
4. შეადგინეთ და აკრიფეთ ტრანსფორმატორის უქმ სვლაზე გამოსაცდელი სქემა. გაასინჯეთ იგი მასწავლებელს და ჩაატარეთ ცდები.
5. შეადგინეთ და აკრიფეთ ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდის სქემა. გაასინჯეთ იგი მასწავლებელს და ჩაატარეთ ცდები.
6. განსაზღვრეთ: უქმი სვლის დენი ტრანსფორმატორისათვის პროცენტობით ნომინალურიდან, ენერგიის დანაკარგები ფოლადსა და სპილენძში, ტრანსფორმატორის მ. ქ. კოეფიციენტი და მოკლედ ჩართვის პარამეტრები.
7. შესრულებულ სამუშაოებზე შეადგინეთ ოქმი.

სამუშაოს შესრულება

ტრანსფორმატორის უქმი სვლისა და მოკლედ ჩართვის ცდის ჩასატარებლად, ლაბორატორიულ პირობებში, უმჯობესია გამოვიყენოთ დაბალი ძაბვის 220/380 ან 127/220 ვოლტის ტრანსფორმატორი, რათა თავიდან ავიცილოთ მაღალ ძაბვებთან დაკავშირებული მოსალოდნელი საფრთხე.

პირველად ხორციელდება ტრანსფორმატორის უქმი სვლის ცდა, რისთვისაც 137-ე ნახაზზე მოტანილი ელექტრული

სქემის მიხედვით აიკრიფება ლაბორატორიული სამუშაოს (მაკეტის) სქემა, რომელიც უნდა შეამოწმოს მასწავლებელმა. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის უქმი სვლის ცდის მაკეტი, როგორც ნახაზიდან ჩანს, გარდა საცდელი ტრანსფორმატორისა და დამხმარე (ჩამრთველ-მარეგულირებელი და დამცველი) მოწყობილობებისა, შეიცავს საზომ ხელსაწყოებს: ამპერმეტრს, ვატმეტრს (ნომინალური დენის 10%-ზე), ვოლტმეტრს ფაზურ ძაბვაზე. სამფაზიანი ტრანსფორმატორის შემთხვევაში დენის სიმძლავრისა და ძაბვის გაზომვები წარმოებს ერთ ფაზაზე. პირველადი ძაბვის სარეგულიროდ სქემაში ზოგჯერ ირთება ავტოტრანსფორმატორი. საცდელი წრედის ქსელში ჩართვის წინ, ხელსაწყოების დაზიანების თავიდან აცილების მიზნით, K_3 დენმკვეთით ითიშება ამპერმეტრისა და ვატმეტრის ხვეულები. K_1 დენმკვეთი ტრანსფორმატორის ქსელში ჩართვის შემდეგ ავტოტრანსფორმატორის (სქემაზე არაა ნაჩვენები) საშუალებით ტრანსფორმატორის გრავნილების მომპერებზე ამყარებენ ნომინალურ ძაბვას. ამის შემდეგ K_2 დენმკვეთის საშუალებით ითიშება მეორეული წრედი (დატვირთვა) და აითვლება ხელსაწყოების ჩვენება, რომელიც შეაქვთ მოცემულ ცხრილში (ცხრ. 20).

ცხრილი 20

დაკვირვებათა რიგი	U_0	I_0	P_0	$\cos \varphi_0$	შენიშვნები
	ვ	ა	ვტ	—	

აღნიშნული ანათვლების საფუძველზე ვიპოვიოთ

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0}$$

ათვლილი სიმძლავრე უქმი სვლის დროს მთლიანად იხარჯება ფოლადში დანაკარგებზე და ამიტომ

$$P_{ფ} = P_0$$

სათანადოდ, უქმი სვლის დენი ნომინალური დენის (I_6) პროცენტობით

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_6} \cdot 100\%$$

ჩვეულებრივად, უქმი სვლის დენი (I_0) ნომინალური დენის (I_6 -ის) 2—10 %-ს შეადგენს.

ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდის ჩასატარებლად, მსგავსად წინა სამუშაოსი, 137-ე ნახაზის მიხედვით უნდა

შევადგინოთ ელექტრული სქემის მაკეტი, რომელიც აკრეფის შემდეგ მოწმდება მასწავლებლის მიერ. ამ მაკეტის სქემა, გარდა საცდელი ტრანსფორმატორისა და დამხმარე ჩამრთველ-მარეგულირებელი და დამცველი მოწყობილობებისა, შეიცავს შემდეგ საზომ ხელსაწყოებს: ამპერმეტრს და ვატმეტრს, გათვლილს ტრანსფორმატორის ნომინალურ დენზე; ვოლტმეტრს, გათვლილს გრაგნილის ნომინალური ძაბვის 10—15 %-ზე.

ცდის დაწყების წინ ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილს (დაბალ მხარეს) მოკლედ ჩართავენ — დაამოკლებენ (ნახ. 137). ხოლო პირველად გრაგნილს აწვდიან შემცირებულ ძაბვას, რომ მისი დენი არ აღემატებოდეს ნომინალურ მნიშვნელობას.

ცდას იყენებენ ტრანსფორმატორისათვის ქსელიდან მისაწოდებელი ძაბვის მინიმალურ მნიშვნელობამდე შემცირებით (U_6 — ნომინალური ძაბვის 3—5 %) და მისი ქსელში ჩართვით. ამის შემდეგ აწარმოებენ ძაბვის მატებას მანამდე, სანამ ამპერმეტრი არ უჩვენებს ტრანსფორმატორის ნომინალურ დენს. ამ მომენტისათვის აითვლება საზომ ხელსაწყოთა ჩვენებები, რაც შეაქვთ ცხრილში (ცხრ. 21).

ცხრილი 2!

დაკვირვებათა რიგი	I_{K1}	I_{K2}	U_K	P_1	P_2	P_K	$\cos\varphi_K$	შენიშვნები
	ა	ა	3	35	35	36	-	

ცდა უნდა მიმდინარეობდეს დროის რაც შეიძლება მცირე მონაკვეთში, რომ თავიდან იქნეს აცილებული გრაგნილების გახურება.

ანათვლების საფუძველზე ცნობილი ფარდობებით განისაზღვრება ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის პარამეტრები:

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K}; \quad r_K = \frac{P_K}{I_K^2}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$$

და

$$\cos\varphi_K = \frac{P_K}{U_K \cdot I_K}.$$

სამფაზიანი ტრანსფორმატორის შემთხვევაში კ'

$$Z_K = \frac{U_K}{\sqrt{3} I_K}; \quad r_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_K^2}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$$

და

$$\cos\varphi_K = \frac{P_K}{\sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_K}.$$

მოკლედ ჩართვის სიმძლავრე P_K ტოლი იქნება დანაკარგებისა სპე-
ლენში, ე. ი.

$$P_{\text{სა}} = P_K.$$

ცნობილი ფარდობით გამოითვლება აგრეთვე ტრანსფორმატორის.
მ. ქ. კოეფიციენტი

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{26} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{26} \cdot \cos \varphi_2 + P_{\text{ფ}} + \beta^2 P_{\text{სა}}}.$$

მიღებულ შედეგებს ვაანალიზებთ, ხოლო დასკვნების მიხედვით შე-
ვადგენთ ჩატარებულ სამუშაოს ოქმს.

საკონტროლო კითხვები

1. რა მიზნით აწარმოებენ ტრანსფორმატორის გამოცდას უკმ სვლაზე?
2. რა მიზნით აწარმოებენ ტრანსფორმატორის გამოცდას მოკლედ ჩართვაზე?
3. რაზე მიგვიითებებს ტრანსფორმატორის უკმი სვლის დენის ზრდა?
4. რაზე მიგვიითებებს სიმძლავრის ზრდა ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვი.
ცდის დროს?
5. რატომ ითიშება პირველადი გრაგნილის წრედიდან ამპერმეტრი და ვატმეტრი
უკმი სვლის ცდის ჩატარების დროს?
6. რის საშუალებით და რა სიდიდემდე ამცირებენ პირველად გრაგნილზე მოდ-
ებულ ძაბვას მოკლედ ჩართვის ცდის დაწყების წინ?
1. როგორ განისაზღვრება r_K , x_K და Z_K ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის
ცდაში?

თ ა ვ ი VII

მეთოდური მითითებები ლაბორატორიულ სამუშაოებზე

ლაბორატორიული სამუშაოები ზოგადი ელექტროტექნიკის კურსის
შემადგენელი ნაწილია, რომლებიც ხელს უწყობენ თეორიული საფუძ-
ვლების დრმა შესწავლას და პრაქტიკული ჩვევების გამომუშავებას.

ერთი თავი (25-ე დავალება) ეხება ელექტროტექნიკის ლაბორა-
ტორიებში ჩასატარებელი სამუშაოების საორგანიზაციო და მეთოდურ
საკითხებს. მოცემულია ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის აუცი-
ლებელი ელექტრული უსაფრთხოების ძირითადი მოთხოვნები.

აღნიშნული დავალების გაცნობისა და შესწავლის დროს საჭიროა
დაკვირვებით განვიხილოთ ლაბორატორიულ სამუშაოთა ოპერაციები:

თანამიმდევრობა და მათი შესრულების პირობები. უნდა გვახსოვდეს, რომ ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის დადგენილი წესების უცოდინარობით დარღვევას შეიძლება მოჰყვეს ისეთი არასასურველი შედეგები, როგორცაა ხელსაწყოების დაზიანება და ზოგ შემთხვევაში ადამიანის დაშვებაც კი. აქედან გამომდინარე, საჭიროა ამ წესების ცოდნის სათანადო განმტკიცება და მათი ზუსტი შესრულება.

გულმოდგინე შესწავლას მოითხოვს აგრეთვე დავალების მომდევნო საკითხიც — უსაფრთხოების ტექნიკის ძირითადი მოთხოვნები. კარგად უნდა გვახსოვდეს უსაფრთხოების ყველა მოთხოვნა, რომლებითაც ვინტელმძღვანელებთ ლაბორატორიული სამუშაოების შესრულების დროს.

დავლება 25

ლაბორატორიულ სამუშაოთა შესრულების წესები. საკოლოქვიუმო ტექნიკური საშუალებანი. უსაფრთხოების ტექნიკის ძირითადი მოთხოვნები.

მოკლე დასკვნები.

§ 7-1. ლაბორატორიულ სამუშაოთა უსაფრთხოების წესები

ლაბორატორიული სამუშაოები სრულდება ელექტროტექნიკური მოწყობილობებითა და აპარატურით აღჭურვილ სპეციალურ სასწავლო შენობაში — ლაბორატორიაში. ლაბორატორიული სამუშაოების სწორი ორგანიზაციის მიზნით ჯგუფი (25—30 კაცი) დაიყოფა ორ ქვეჯგუფად. თითოეული მათგანი ცალკე, მასწავლებლის ხელმძღვანელობით, დამოუკიდებლად ატარებს მეცადინეობას. თავის მხრივ, ქვეჯგუფი იყოფა რგოლებად (თითოეული 2—3 სტუდენტის შემადგენლობით). ყოველი ასეთი რგოლი (რიგრიგობით) ასრულებს პროგრამით გათვალისწინებულ სამუშაოებს ლაბორატორიისათვის დადგენილ პირობებში.

ლაბორატორიული სამუშაოს წარმატებით ჩატარების მიზნით, უპირველეს ყოვლისა, სტუდენტი საფუძვლიანად უნდა გაეცნოს ამ სამუშაოს არსს (დავლებას), გაიმეოროს თეორიული მასალა ამავე სახელმძღვანელოდან. ნათლად უნდა წარმოიდგინოს სამუშაოს მიზანი, გამოავლინოს ის მატერიალური საშუალებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დასმული ამოცანის განხორციელებას. ამგვარად, ლაბორატორიული სამუშაოს დაწყების წინ სტუდენტს სრული და სწორი წარმოდგენა უნდა ჰქონდეს დავალების მოცულობაზე, მის ხასიათსა და შესასრულებელი ოპერაციების თანამიმდევრობაზე.

ლაბორატორიული დავალებით გათვალისწინებული მოსამზადებელი სამუშაოების ყველა შედეგი სტუდენტს შეაქვს ჩანაწერების სამუშაო რეულში. ამავე რეულში მას შეაქვს ცდისათვის საჭირო საზომი ხელსაწყოებისა და აპარატების მაჩვენებლები, ელექტრული სქემები, გამოსათვლელი ფორმულები, ხელსაწყოთა ჩვენებები, გათვლის ცხრილები და სხვ.

მორიგი ლაბორატორიული სამუშაოსათვის თავის მზადყოფნას სტუდენტი ამოწმებს დავალებით გათვალისწინებულ საკონტროლო კითხვებზე პასუხების გაცემით, ან ლაბორატორიაში არსებული დაპროგრამებული კონტროლით. როგორც წესი, მორიგ ლაბორატორიულ მეცადინეობაზე დაიშვებიან მხოლოდ ისინი, რომელთაც შესრულებული და ჩაბარებული ექნებათ წინა მეცადინეობების ყველა დავალება (სამუშაოთა ოქმები).

მორიგი ლაბორატორიული მეცადინეობები სასურველია იწყებოდეს კოლოქვიუმით, რომლის დანიშნულებაც მოსწავლეთა მომზადების დონის გამოვლენა აღნიშნული დავალების შესასრულებლად. კოლოქვიუმს ატარებს მასწავლებელი მოსწავლეთა გამოკითხვის საშუალებით.

კოლოქვიუმების დაჩქარებისა და მათზე საჭირო დროის შემცირების მიზნით სასურველია აღნიშნულ სასწავლო პროცესში გამოყენებულ იქნეს დაპროგრამებული მანქანური კონტროლისათვის განკუთვნილი რომელიმე მოწყობილობა.

სტუდენტები, რომლებიც ვერ ჩააბარებენ კოლოქვიუმს და ლაბორატორიული სამუშაოსათვის მოუმზადებელნი აღმოჩნდებიან, არ დაიშვებიან მიმდინარე მეცადინეობის მომდევნო ეტაპზე. განმეორებით ჩაბარების უფლება ასეთ მოსწავლეებს შეიძლება მიეცეთ მეცადინეობის ბოლოს, ანდა მასწავლებლის მიერ შითითებულ სხვა დროს.

სამუშაოს ელექტრული სქემის აკრეფის წინ საჭიროა მიახლოებით (10%-ის სიზუსტით) გაითვალოს ელექტრული წრედის უბნებზე მოსალოდნელი, მოქმედი დენისა და ძაბვის მაქსიმალური და მინიმალური სიდიდეები და მათი მიხედვით შეირჩეს საჭირო აპარატურა და ხელსაწყოები. ამის შემდეგ ხდება ასაკრები სქემის შემადგენელი ელემენტების სწორი განლაგება სამუშაო ადგილზე (ლაბორატორიულ მაგიდაზე ან სტენდზე). კერძოდ, საზომი ხელსაწყოები და საცდელი წრედის დამხმარე და საბრეგულირო მოწყობილობები ისე უნდა თავსდებოდეს სამუშაო ადგილზე, რომ მათი ურთიერთელექტრული კავშირი საკმაოდ ხილვადი იყოს, ხოლო მოწყობილობათა მართვა და მათი ჩვენებების ათვლა ადვილად ხერხდებოდეს წრედის ნებისმიერ უბანზე.

მოწყობილობათა სამუშაო ადგილზე განლაგების დროს მხედველობაში უნდა გვქონდეს წრედში ჩასართავი ელექტრომაგნიტური კოჭე-

ბისა და მძლავრი რეოსტატების მაგნიტური ველის შესაძლებელი ზეგავლენა საზომ ხელსაწყოებზე.

სამუშაოს დაწყების წინ აუცილებელია გაეცნოთ წრედის შემადგენელი ელემენტების (საზომი ხელსაწყოების და სხვა აპარატურის) ელექტრულ სქემებს, მათი ქსელში ჩართვის სქემებს და სკალის დანაყოფების ფასს. კარგად გაარკვიეთ შერჩეული ხელსაწყოებისა და აპარატურის მომჭერების დანიშნულება და მათი მიერთების ადგილები. წინასწარ განსაზღვრეთ რეოსტატების მოძრავი კონტაქტებისა და სახელურების ადგილმდებარეობა. ივარაუდეთ გულარების განლაგების აათანადო ზღვრები კოჭებში და სხვ.

ელექტრული სქემების აკრეფის დროს სასურველია გამოიყოს მთავარი მიმდევრობითი წრედები და პირველ რიგში ისინი განხორციელდეს. მხოლოდ შემდეგ აიკრიფება სქემის დამხმარე პარალელური წრედები.

მარტივი სქემების შემთხვევაში საცდელი წრედის განხორციელებას ვიწყებთ კვების წყაროს ერთ-ერთი მომჭერიდან, ხოლო ელემენტების მიმდევრობით შეერთებას ვამთავრებთ წყაროს მეორე მომჭერზე მიერთებით.

როთული სქემების აკრეფის შემთხვევაში, მაგალითად, სამფაზიანი დენის წრედებისათვის სასურველია სქემის ე. წ. მწკრივული ანუ ფაზობრივი აკრეფა. ასეთი შეერთების დროს პირველად ხორციელდება მიმდებთა საჭირო შეერთებები (ვარსკვლავად ან სამკუთხედად), ხოლო შემდეგ საცდელი წრედის მეორეული — პარალელური უბნები.

სქემების აკრეფის დროს მოწყობილობათა მომჭერების ურთიერთ შეერთებისათვის ვიყენებთ სათანადო სიგრძის გამტარებს. მუშა დენისათვის რეკომენდებულია შეირჩეს ერთი ფერის, ხოლო დამხმარე წრედებისათვის (ვატმეტრისა და მრიცხველის პარალელური ხვეულები) — მეორე ფერის გამტარები (შედარებით მცირე კვეთის მქონე).

სქემის აკრეფაში მონაწილეობს რგოლის ყოველი წევრი (რიგრიგობით). უკეთესია, თუ რგოლის ერთი წევრი აწყობს სქემას, ხოლო მეორე ამოწმებს შეერთების სისწორეს. რგოლის მიერ განხორციელებული და შემოწმებული ელექტრული სქემა, ქსელში ჩართვის წინ, საბოლოოდ უნდა შემოწმდეს მასწავლებლის მიერ. მხოლოდ მასწავლებლის შემოწმებისა და ნებართვის შემდეგ ჩაირთვება აკრეფილი წრედი ქსელში (დენის წყაროსთან).

ლაბორატორიული სამუშაოს ელექტრული სქემის აკრეფის აღნიშნული მეთოდიკა გამოიციხავს რა ზედმეტ შეცდომებს, მოსწავლეს გამოუმუშავებს ელექტრული სქემების სწორად შედგენისა და წაკითხვის ჩვევებს.

საცდელი წრედის ქსელში ჩართვის დროს საჭიროა გამახვილებული შეთვალყურება საზომ ხელსაწყოთა ძსრების მიმართ. მათი უუუგადახრისა და კონტაქტების ნაპერწყლიანობის შემჩნევისას საცდელი წრედი დაუყოვნებლივ ითიშება ქსელიდან, ხოლო დენის მიმართულების შეცვლისა და კონტაქტების საიმედოდ მოკერის საშუალებით სწორდება აკრეფილი წრედის გამოვლენილი ხარვეზები. აკრეფილი წრედის ხელსაწყოები ცდების დაწყებამდე უნდა შემოწმდეს ცდებისათვის დადგენილი სამუშაო რეჟიმების შესაბამისობაზე.

საზომ ხელსაწყოთა ანათლები მოითხოვს დიდ ყურადღებას და სიფრთხილეს. მათი ჩვენებები შეგვაქვს სამუშაო რეჟულებში ათვლის პომენტში, ან ათვლის დამთავრებისთანავე.

საცდელ წრედში ყოველი ჩართვა-ამორთვის ოპერაცია სტუდენტებისაგან მოითხოვს წინასწარ გააზრებულ მოქმედებებს ანუ ნათელი წარმოდგენის შექმნას შესასრულებელი ოპერაციების შედეგებზე.

დროის ეფექტურად გამოყენების მიზნით სასურველია ხდებოდეს წინასწარი გააზრება ანათვლების შედეგების საფუძველზე ასაგები მრუდის ხასიათის დაადგენად, ანდა ამა თუ იმ მახასიათებლის გადაღების წინ მის შემადგენელ სიდიდეთა ცვალებადობის ფარგლების დადგენა და მახასიათებლისათვის საჭირო ათვლის წერტილების განსაზღვრა.

ვინაიდან ლაბორატორიული სამუშაოების შესრულების დროს განსაკუთრებული პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს სტუდენტთა დამოუკიდებელ მუშაობას, ამიტომ ამ დავალებათა შესრულების პროცესში აქტიური მონაწილეობა ეკისრება რგოლის ყველა წევრს. რგოლის თითოეული წევრი მორიგეობით უნდა ასრულებდეს როგორც სქემის აკრეფის, ისე დაკვირვებებისა და გათვლების ოპერაციებს.

დავლებით გათვალისწინებულ სამუშაოთა (დაკვირვებებისა და გათვლების) ჩატარების შედეგებს ამოწმებს მასწავლებელი, რომლის ნებართვით წყდება მუშაობა ლაბორატორიაში. იშლება საცდელი ელექტრული წრედი, ხელსაწყოებისა და აპარატურის მომკერები უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას (შემაერთებელი გამტარები ეწყობა მისთვის განკუთვნილ ადგილას).

ყოველ შესრულებულ ლაბორატორიულ სამუშაოზე სტუდენტები ადგენენ სათანადო ანგარიშს, რომელიც სრულდება სპეციალური ფორმის ბლანკზე (ოქმი), ანდა რვეულის უჯრედიან ფურცლებზე. ანგარიში უნდა შეიცავდეს: ჩატარებული ცდების ელექტრულ სქემებს, გრაფიკებს, მრუდებს, ოსცილოგრამებს და დაკვირვებებისა და გათვლების საფუძველზე მიღებულ სხვა მონაცემებს.

აღნიშნული ოქმები სასურველია ივსებოდეს შემდეგი თანამიმდევრობით:

1) სამუშაოს დასახელება და მისი ნომერი;

- 2) სამუშაოს შემსრულებლის გვარი და სახელი;
- 3) ჯგუფის დასახელება და შესრულების თარიღი;
- 4) სამუშაოს მიზანი;
- 5) შეერთების სქემები;
- 6) ჩვენებათა და გათვლების მონაცემების ცხრილები;
- 7) გრაფიკები და ვექტორული დიაგრამები;
- 8) სამუშაოს მოკლე აღწერილობა და დასკვნები.

ანგარიშის ყველა გრაფიკული მასალა სრულდება ფანქრით, მილი-მეტროვან ქაღალდზე, ხოლო ოსცილოგრამები — კალკაზე. ანგარიშში წარმოდგენილი სქემები სრულდება ლამაზად, დადგენილი პირობითი ნიშნების შესაბამისად. წერითი სამუშაოები ანგარიშში უნდა შესრულდეს მელნით, გარკვევით და სუფთად.

ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარებაში მასწავლებელთან ერთად მონაწილეობენ ლაბორანტები. მათი მოვალეობაა ლაბორატორიულ მოწყობილობათა, საზომ ხელსაწყოთა და აპარატურის ნორმალური და უწყვეტი მუშაობის უზრუნველყოფა, აგრეთვე სტუდენტთა მიერ ლაბორატორიული მოწყობილობის სწორად გამოყენებისა. და მუშაობის პროცესში უსაფრთხოების წესების დაცვა.

§ 7-2. უსაფრთხოების ტექნიკის ძირითადი მოთხოვნები

სასწავლო ლაბორატორიების მოწყობილობა და მიმდინარე სამუშაოთა ელექტრული წრედები, მიუხედავად კარგი შესრულებისა, მაინც შეიცავენ ღია კონტაქტებს, გამტარების უიზოლაციო ნაწილთა შეერთების ადგილებს, და საერთოდ ადამიანის დენთან შეხების სხვა სახიფათო კვანძებს. ეს გარემოება მით უფრო საგულისხმოა, თუ მხედველობაში მივიღებთ ადამიანის სხეულის წინააღმდეგობის მერყეობის ფარგლებს (ათეული ათასი ომებიდან ასეულ ომებამდე), რაც უდავოდ საფრთხეს უქმნის სტუდენტის სიცოცხლეს. ასე, მაგალითად, ადამიანის სხეულის წინააღმდეგობა კანის დაზიანების ან სხვა არანორმალურ პირობებში შეიძლება 800—600 ომამდე დაეცეს. მაშინ საკმარისია წრედში არსებობდეს შეხების 30—40 ვოლტი ძაბვა, რომ მისგან გამოწვეულმა დენმა ადამიანი დააშავოს.

ამასთან დაკავშირებით, უსაფრთხოების ძირითადი წესების ცოდნა და მათი ზუსტი დაცვა სტუდენტების მიერ ლაბორატორიებში მუშაობის აუცილებელი პირობაა.

უსაფრთხოების წესების გაცნობა-შესწავლის მიზნით სასურველია ჩატარდეს (მოსწავლეთათვის) შესავალი ინსტრუქტაჟი ელექტროუსაფრთხოების ტექნიკაში. ინსტრუქტაჟი

უნდა იწყებოდეს ელექტროტექნიკის ლაბორატორიის საერთო გაცნობით. მოსწავლეებს უნდა გააცნონ ლაბორატორიის აღჭურვილობა (ზოგადად), ხოლო იმ ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებს, რომლებიც საშიშროებას უქმნიან სტუდენტებს ელექტრული დენით დაშვების თვალსაზრისით, ისინი ეცნობიან დაწვრილებით. შესავალი ინსტრუქტაჟის დროს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს მაღალი ძაბვის დანადგარებს, თუკი ასეთი გააჩნია ლაბორატორიას. ამის შემდეგ სტუდენტებს გააცნობენ ლაბორატორიის სამეცადინო (სამუშაო) ადგილებს, უჩვენებენ ძალურ ქსელს და მის მკვებავ დაფებს, აცნობენ აგრეთვე ძაბვისა და დენის სახეობას, უჩვენებენ ლაბორატორიაში არსებული დამცველების გამოცვლის წესს, საზომი ხელსაწყოებისა და შემაერთებული გამტარების მიღების წესს და სხვ.

ინსტრუქტაჟის აღნიშნული ნაწილის გაცნობის შემდეგ მასწავლებელი გადადის უსაფრთხოების ტექნიკის ძირითადი პირობების განხილვაზე. ეს პირობებია:

1. ლაბორატორიაში მომუშავე სტუდენტების ქვეჯგუფს და რგოლებს კატეგორიულად ეკრძალებათ მასწავლებლის (ან ლაბორანტის) გარეშე თვითნებური მოქმედება.

2. ლაბორატორიული სამუშაოს შესაბამისი ელექტრული წრედის ქსელში ჩართვას სტუდენტები ასრულებენ მხოლოდ მათი სამუშაო ადგილისათვის განკუთვნილი კვების განმანაწილებელი ელექტრული დაფის საშუალებით, მასწავლებლის ნებართვის შემდეგ.

3. სტუდენტებს სასტიკად ეკრძალებათ ლაბორატორიის მთავარი განმანაწილებელი დაფის სათავსში შესვლა და მასზე რაიმე ოპერაციის წარმოება. გარდა იმ გამონაკლისი შემთხვევებისა, როდესაც საჭირო ხდება ლაბორატორიის ძალური ქსელის გამორთვა ადამიანის დაშავების გამო.

4. სასტიკად ეკრძალებათ მოსწავლეებს რაიმე ოპერაციის წარმოება იმ ლაბორატორიულ დანადგარებზე, რომლებზედაც გამოკიდებულია სათანადო გამაფრთხილებელი პლაკატი.

5. მოსწავლეებს ეკრძალებათ რაიმე ცვლილების შეტანა (გადაერთება) ძაბვის ქვეშ მყოფ ელექტრულ წრედებში. ცვლილებების შეტანა აღნიშნულ წრედებში დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ყველა მათი დენმკვეთი (მთავარი და დამხმარე) ამორთულია.

6. გადასატანი დენმკვეთები და სხვა ტიპის გადამრთველები საცდელი წრედის აკრფის დროს ისე უნდა იდგმებოდეს, რომ მათი უძრავი ნაწილები (ტუჩები) თავსდებოდეს ზევით, ხოლო ჩამრავი დანები — ქვევით. მათთან ელექტრული დენის მიყვანა უნდა ხორციელდებოდეს ტუჩების მხრიდან.

7. მდნობი დამცველების შეცვლა განმანაწილებელ დაფებზე უნდა ხდებოდეს მასზე განლაგებული ყველა დენმკვეთის ამორთულ მდგომარეობაში.

8. სასტიკად ეკრძალებათ მოსწავლეებს მოუწესრიგებელი (დაზიანებული) ელექტროგამშვები და მარეგულირებელი მოწყობილობების გამოყენება, კერძოდ, ისეთი მარეგულირებებისა, რომლებსაც არ გააჩნიათ იზოლირებული სახელურები და ბერკეტები.

9. განსაკუთრებულ ყურადღებას და სიფრთხილით მუშაობას მოითხოვს მოსწავლისაგან საცდელი ცვლადი დენის წრედები, რომლებიც შეიცავენ ინდუქციურობას (L) და ტევადობას (C). ასეთ მიმღევრობით წრედებში, ძაბვების რეზონანსის შედეგად, ძაბვა მიმღებთა მოქცევაზე მკვეთრად მატულობს ქსელის ძაბვასთან შედარებით.

10. აკრძალულია ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ამორთულ (გაწყვეტილ) ძდგომარეობაში დატოვება, როცა პირველადი გრაგნილი მიერთებულია ქსელთან და მასში გადის დენი. აღნიშნულმა მდგომარეობამ შეიძლება გამოიწვიოს მეორეულ გრაგნილზე გადიდებული ძაბვის წარმოქმნის საშიშროება.

11. ყურადღების გამახვილებაა საჭირო ელექტრულ აკუმულატორებთან მუშაობისას, რათა ელექტროლიტის შხეფები (წვეთები) არ მოხვდეს სტუდენტს თვალში, სხეულზე ან ტანსაცმელზე. ელექტროლიტის შხეფების თვალში მოხვედრის შემთხვევაში დაშვებული დაუყოვნებლივ უნდა გადაიგზავნოს ექიმთან.

12. საცდელი დანადგარის ამუშავებამდე ყურადღებით უნდა გაისინჯოს ყველა მისი ნაწილი, რომ გამოირიცხოს მასზე ან მის შიგნით რაიმე გარეშე საგნის მოხვედრა და ამით გამოწვეული არასასურველი შედეგები.

13. მბრუნავი დანადგარების შემთხვევებში ყურადღებით უნდა შეიმოწმდეს შემაერთებული ქუროების დამცველი გარსაცმების საიმედო დამაგრება.

14. ყოვლად დაუშვებელია გამორთული, მაგრამ ჭერ კიდევ ინერციით მბრუნავი მანქანის გაჩერება ხელით ან ფეხით.

15. საცდელი დანადგარის ამუშავებამდე საჭიროა ერთხელ კიდევ დარწმუნდეთ (გამომცდელი) იმაში, რომ სამუშაო ადგილთან მყოფნი დანადგარიდან მოშორებული არიან და არ ეხებიან ელექტრული წრედის სახიფათო წერტილებს.

16. სასტიკად ეკრძალებათ მოსწავლეებს დაყრდნობა ან მიბჯენა ელექტრულ დანადგარებზე და საერთოდ წრედის ნებისმიერ სხვა ნაწილებზე.

17. კატეგორიულად აკრძალულია მბრუნავ მანქანებზე გადასვლა ან გადაბიჯება.

18. ლაბორატორიაში მომუშავე ყოველი მოსწავლის ვალდებულებაა მოქმედ მანქანებსა და ელექტრულ მოწყობილობებში შენიშნული დაზიანებები დაუყოვნებლივ აცნობოს მასწავლებელს ან ლაბორანტს.

19. ცდისათვის აკრეფილი ელექტრული წრედის დაშლა დაშვებულა მხოლოდ განმანაწილებელი დაფის გამორთული დენმკვეთების შემთხვევაში.

20. მეცადინეობის დროს ლაბორატორიის შენობაში დაცული უნდა იყოს სრული წესრიგი, უმაღლეს სასწავლებელში მიღებული შინა განიწესის შესაბამისად.

უსაფრთხოების ტექნიკის აღნიშნული წესი, სასწავლებლის შინა განიწესის სპეციფიკური მოთხოვნების დამატებით, უნდა გამოიყარას ლაბორატორიის თვალსაჩინო ადგილას.

უსაფრთხოების ტექნიკის ინსტრუქტაჟის დროს (შესავალ მეცადინეობაზე) მოსწავლე დაწვრილებით უნდა გაეცნოს როგორც აღნიშნულ წესებს, ისე არსებულ წესებს ელექტრული დენით დაშვებულობისათვის პირველი დახმარების გაწევის თაობაზე.

§ 7-3. მოკლე დასაკნობი

1. ლაბორატორიული სამუშაოები „ზოგადი ელექტროტექნიკის“ ძირითადი შემადგენელი ნაწილია. თავისი თვალსაჩინოებითა და თეორიული დებულებების ექსპერიმენტული, შემოწმების შესაძლებლობით იგი ხელს უწყობს აღნიშნული საგნის ღრმად შესწავლას, მის განმტკიცებას და პრაქტიკული ჩვევების გამომუშავებას.

2. ლაბორატორიაში მუშაობისა და ექსპერიმენტების წარმატებით ჩატარებისათვის აუცილებელია „ლაბორატორიულ სამუშაოთა შესრულების წესების“ ცოდნა და მისი ყველა მოთხოვნის თანამიმდევრული შესრულება.

3. ლაბორატორიის სამეცადინო პროცესის სრულყოფისა და მოსწავლეთა მზადყოფნის შემოწმების ინტენსიფიკაციისათვის სასურველია გამოყენებულ იქნეს დაპროგრამებული კონტროლის ერთ-ერთი ტექნიკური საშუალება. მოწყობილობის გამართლება-გაიაფების მიზნით კი შეიძლება გამოვიყენოთ გამოტანილი პულტების სისტემა.

4. ვინაიდან ლაბორატორიის დანადგარები და საექსპერიმენტოდ აკრეფილი ელექტრული წრედები შეიცავენ ღია კონტაქტებს და საერთოდ ადამიანის დენტან შეხების სხვა ადგილებს, ამისათვის უსაფრთხოების წესების ყველა ძირითადი მოთხოვნის კარგად ცოდნა და მათი ზუსტი დაცვა მოსწავლეთა ლაბორატორიაში მუშაობის ძირითადი პირობაა.

5. ლაბორატორიულ სამუშაოთა შესრულების წესებისა და უსაფრთხოების მოთხოვნების შესრულებასთან ერთად მოსწავლეს ევალება უმაღლესი სასწავლებლის შინა განაწესის ცოდნა და მისი ზუსტი შესრულება.

კითხვები თვითშემოწმებისათვის

1. განმარტეთ ლაბორატორიული სამუშაოების მიზანი ზოგად ელექტროტექნიკაში.
2. რა პირობებში დაიშვებიან მორიგ ლაბორატორიულ სამუშაოებზე მოსწავლეები?
3. რაში მდგომარეობს ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის განკუთვნილი ელექტრული სქემების აკრეფის მეთოდოლოგია?
4. როგორია ლაბორატორიული სამუშაოებისათვის დადგენილი ელექტრული წრედის ქსელში ჩართვისა და გაზომვა-დაკვირვებების მეთოდოლოგია?
5. რას წარმოადგენს ლაბორატორიული სამუშაოების ანგარიში და როგორ სრულდება სამუშაოს ოქმი?
6. რას წარმოადგენს ლაბორატორიისათვის გამიზნული დაპროგრამებული კონტროლის შემცველი სისტემა (მოწყობილობა)?
7. რატომ არის, რომ ელექტროტექნიკის ლაბორატორია და მისი აღჭურვილობა ათვლება მოსწავლეთა დენთან შეხების საშიშ ადგილად და რას წარმოადგენს მათთვის დადგენილი უსაფრთხოების ტექნიკის შესავალი ინსტრუქტაჟი?
8. ელექტრული სქემის აკრეფისა და რგოლის ყველა წევრის მიერ მისი დაკვირვებით გასინჯვის შემდეგ ვისი ნებართვით ხორციელდება საცდელი წრედის ჩართვა ქსელში?
9. რა ძირითად მოთხოვნებს შეიცავს ელექტროტექნიკის ლაბორატორიისათვის დადგენილი უსაფრთხოების ტექნიკის წესები?

თ ა ვ ი VIII

სავარჯიშო მატალითების პასუხები

ამ თავში მოცემულია დამოუკიდებელი სავარჯიშოებისათვის გამიზნული ამოცანების პასუხები კურსის დავალებების მიხედვით.

დავლება 2

§ 2-6

$$1. \omega = 314 \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$2. e_1 = 0; e_2 = 127 \text{ ვ}; e_3 = 179,6 \text{ ვ}; e_4 \approx 127 \text{ ვ}; e_5 = 0;$$

$$3. u = 120 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}); i = I_m \sin(\omega t + \frac{5}{18} \pi);$$

$$4. 1/400 \text{ ვმ}; 0 \text{ და } 1/200 \text{ ვმ}; 3/400 \text{ ვმ};$$

პირველ შემთხვევაში ძაბვა ჩამორჩება დენს $\varphi_1 = -\frac{\pi}{6}$ კუთხით, მეორე შემთხ-

ვევაში ძაბვა წინ უსწრებს დენს $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$ -ით.

6. $I_{\text{საშ}} \approx 25,5$ ა;

7. $U_m = 179,3$

დავალეზა 3

§ 2-12

1. $r = 280$ ომს; $r_{\text{კსელ}} = 560$ ომს;

2. $u = 310 \cdot \sin 314 t$; $i = 28,2 \sin 314 t$;

3. $U = 220$ ვ;

4. $U = 127$ ვ; $I = 10$ ა;

5. $N_c = 80$ ომს; $I = 3$ ა;

6. $R_2 = 127$ ვ;

7. $X_c = 150$ ომს; $C = 21,2$ მკფ.

დავალეზა 6

§ 8-5

1. $I = 7,1$ ა; $U = 63,9$ ვ; $\varphi = 56^\circ 20'$;

2. $U = 100$ ვ; $I = 6,2$ ა; $\text{tg } \varphi = -5,3$;

3. $I = 9,8$ ა; $i = 13,8 \sin(314 t - 63^\circ 30')$; $u_2 = 690 \sin(314 t + 26^\circ 30')$;

4. $z = 55$ ომს; $I_a \approx 1,82$ ა; $I_x = -3,56$ ა; $U = 220$ ვ;

5. $z = 62$ ომს; $U = 310$ ვ.

დავალეზა 7

§ 8-10

$I \approx 5$ ა;

2. $I_1 = 7,9$ ა და $\varphi_1 = 14^\circ$; $I_2 = 6,2$ ა და $\varphi_2 = 73^\circ 20'$;

3. $z \approx 12$ ომს; $U \approx 220$ ვ; $I_1 = 11$ ა; $I_2 = 11$ ა;

4. $I_1 = 26,95$ ა; $I_2 = 10$ ა; $I_3 = 10$ ა; $I = 30,3$ ა;

5. $z_1 = 40$ ომს; $r_1 = 30,4$ ომს; $z_2 \approx 55$ ომს; $r_2 = 49$ ომს; $U = 220$ ვ.

დავალეზა 8

§ 8-15

1. $L = 0,507$ ჰს;

2. $f \approx 80$ ჰც; $I = 4$ ა; $U_L = U_{C_2} \approx 402$ ვ;

3. $U_L = U_C = 240$ ვ;

4. $x_{C_0} = 32$ ომი; $C_0 = 100$ მკფ; $I_{C_0} = 6,89$ ა; $I = 9,82$ ა;

5. $f_0 = 79,5$ ჰც

დავალეზა 9

§ 8-20

1. $\cos \varphi = 0,454$; $P = 400$ ვტ;
2. $I = 12,2$ ა; $P = 610$ ვტ;
3. $U = 310$ ვ; $P_1 = 250$ ვტ; $P_2 = 500$ ვტ; $P_3 = 750$ ვტ;
4. $\cos \varphi = 0,77$;
5. $C_{\varphi} = 205$ მკვ.

დავალეზა 12

§ 4-6

1. $n = 6$; $\varphi = 60^\circ$; $e_1 = E_m \sin \omega t$; $i_c = E_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{3}{5} \pi\right)$;
2. $e_A = 200 \sin \omega t$; $e_B = 200 \sin(\omega t - 120^\circ)$; $e_C = 200 \sin(\omega t - 240^\circ)$;
3. $I_{\varphi} = I_b = 50$ ა; $U_{\varphi} = 69,2$ ვ;
4. $U_b = 220$ ვ; $U_b = 380$ ვ;
5. $I_A = I_B = I_C = 8,65$ ა; $U_{AB} = U_{bc} = U_{CA} = 220$ ვ.

დავალეზა 18

§ 4-12

1. $I_0 = 10,6$ ა;
2. $I_A = 5,5$ ა; $I_B = 5,5$ ა; $I_C = 5,5$ ა;
3. $I_A = 5,5$ ა; $I_B = 39,7$ ა; $I_C = 48,1$ ა;
4. $I_A \approx 19,3$ ა; $I_B = 10$ ა; $I_C = 19,3$ ა; $P = 3800$ ვტ; $S = 3800$ ვა;
5. $\eta = 6,25$ ომს; $X_L = 9,5$ ომს; $L = 23,7$ მჰ; $\cos \varphi = 0,658$; $I = I_{\varphi} \approx 23,1$ ა;

დავალეზა 17

§ 5-8

1. $i = I_0 + I_{1m} \cdot \sin(\omega t - \varphi) = [0,5 + 5,64 \sin(\omega t - 17^\circ 40')]$ ა;
2. $I \approx 4$ ა;
3. $i = [17,9 \sin(\omega t + 36^\circ 52') + 2,56 \sin(3 \omega t - 70^\circ) + 0,47 \sin(5 \omega t - 39^\circ 13')]$ ა;
4. $U = 134,3$ ვ; $I = 12,83$ ა; $P = 1317$ ვტ; $U_{AX} = U_{\varphi} = 127,9$; $U_{AB} = U_b \approx 209$ ვ;
 $\frac{U_b}{U_{\varphi}} = 1,63$ ვ.
5. $U = 129$ ვ.

დავალეზა 18

§ 5-12 -

1. $\Phi_m \approx 0,0039$ ვბ = $3,9 \cdot 10^5$ მქს; $B_{\delta} \approx 14.450$ მს = $1,45$ ტლ; $B_{\sigma} \approx 12.890$ მს = $1,29$ ტლ;
2. $\varnothing-42$ მარკისათვის $I = 13,7$ ა; $\varnothing-11$ მარკისათვის $I = 47,8$ მა;
3. $12,5$ ვტ; $42,5$ ვტ;

4. 222 გ; 1,6 ა; 9,8 ა;
5. 106 მა; 36 მა; 94 მა.

დავალეზა 20

§ 6-8

1. $K=0,25$; $U_2=200$ გ;
2. $\Phi_m = 1,125 \cdot 10^{-3}$ ვ/წმ;
3. $I_1=0,5$ ა;
4. $\pi_1=22,4$ ომს;
5. $U_1=292$ ვ; $I_1=16$ ა; $\eta=0,79$ და $U_0=210$ ვ.

დავალეზა 21

§ 6-18

1. $I_2=118$ ა; $I=4,72$ ა;
2. $l/l - U_2 = 127$; $K_{\text{თ}} = 26$; $K_6 = 26$;
 $l/\Delta - U_2 = 73,3_8$; $K_{\text{თ}} = 26$; $K_6 = 45$;
3. $I_I - 40,9$ ა; $I_2 = 68,2$ ა.

დავალეზა 22

§ 6-19

1. $P_{\text{სკ}} = 4,06$ ვტ; $P_{\text{თ}} = 60,94$ ვტ;
2. ოოტა $\beta = 0,50$, მაშინ $\eta = 97,08$ %; ოოტა $\beta = 0,75$, მაშინ $\eta = 96,85$ %;
3. $K = 1,27$; $W_2 = 189$; $I_1 = 7,9$ ა;
4. $K = 64$; $U_1 = 6\ 400$ ვ.

დანართები

ხაერთაშორისო სისტემის (SI) ელექტრული და მაგნიტური ერთეულები

თანახმად 9867-61 სახელმწიფო სტანდარტისა, საბჭოთა კავშირში 1963 წლიდან მოქმედებს განზომილების საერთაშორისო სისტემა სი (ანუ SI), რომლის ძირითადი ერთეულებია: მეტრი, კილოგრამი, წამი, ამპერი, გრადუსი, კელვინი და სანთელი.

სიდიდეთა დასახელება	სიდიდეთა აღნიშვნა	განზომილების ერთეულს დასახელება	განზომილებების აღნიშვნის შრიფტი		
			ქართული	რუსული	ლათინური ან ბერძნული
სიგრძე	<i>l</i>	მეტრი	მ	<i>M</i>	<i>m</i>
მასა	<i>m</i>	კილოგრამი	კგ	<i>Kr</i>	<i>kg</i>
დრო	<i>t</i>	წამი	წმ	<i>cek</i>	<i>S</i>
დენი. ძალა	<i>I</i>	ამპერი	ა	<i>a</i>	<i>A</i>
თერმოდინამიკური ტემპერატურა	<i>T</i>	გრადუსი — კელვინის	°K	°K	°K
სენათლის ძალა	<i>I</i>	სანთელი	სნ	<i>cb</i>	<i>Ca</i>

ამ ერთეულების საფუძველზე განზომილების საერთაშორისო სისტემა ითვალისწინებს ელექტრულ და მაგნიტურ სიდიდეთა შემდეგ პრაქტიკულ ერთეულებს.

სიდიდეთა დასახელება	სიდიდეთა აღნიშვნა	განზომილების დასახელება	განზომილების აღნიშვნის შრიფტი			განზომილების ერთ.
			ქართული	რუსული	ლათ. ან ბერძნული	
1	2	3	4	5	6	7
ფართობის კუთხის ზედაპირი	<i>S</i>	კვადრატული მეტრი	მ²	<i>M²</i>	<i>m²</i>	(<i>m</i>)²
		კვადრ. სანტიმეტრი	სმ²	<i>cm²</i>	<i>cm²</i>	10 ⁻⁴ მ²
		კვადრატული მილიმეტრი	მმ²	<i>mm²</i>	<i>mm²</i>	10 ⁻⁶ მ²
ზოკულობა	<i>V</i>	კუბ. მეტრი	მ³	<i>M³</i>	<i>m³</i>	(<i>m</i>)³

გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7
		კუბ. სანტი- მეტრი	სმ ³	см ³	cm ³	10 ⁻⁶ მ ³
სიჩქარე		მეტრი წამში სანტ. წამში	მ წმ სმ წ	მ/сек см/сек	/S cm/S	[13] [1წა] 10 მ/წმ
აჩქარება	a	მეტრი წამი- წამში სანტ. წამი- წამში	მ წმ ² სმ წმ ²	მ/сек ² см/сек ²	m/s ² cm/s ²	(18):(1წმ) ² 10 ⁻² მ ² /წმ ²
კუთხური სი- ჩქარე სიჩქარე	ω f	რადიანი წა- მში პერი- კილოჰერცი მეგაჰერცი ნიუტონი კილოგრამი	რად წმ ჰც კჰც მგ კგ	рад/сек Гц кГц МГц кг Н	rad/s Hz kHz mHz	(1 რად):(1წმ) 1:(1წმ) 1000 ჰც 10 ⁶ ჰც (1,3)·(1წმ): 9,816 ≈ 10 ⁶ (1წმ) ² (15):(1წმ) 3,6 · 10 ³ ჰც
ძალა	F	ნიუტონი კილოგრამი	კგ კგ	Н кг Н	kg N	(1,3)·(1წმ): 9,816 ≈ 10 ⁶ (1წმ) ² (15):(1წმ) 3,6 · 10 ³ ჰც
მუშაობა, ენერჯია	W	ჯოული ვატ-საათი კილოვატსა- ათი	ჯ ვტსთ კვტ სთ	Дж Втчас кВт час	J Wh kWh	(15):(1წმ) 3,6 · 10 ³ ჰც
სითბოს რა- ოდენობა	Q	ჯოული კალორია კილოკალო- რია გრადუსი ცელსიუსით ვატი	ჯ კალ კკალ °C ვტ	Дж кал ккал °C Вт	J cal ccal °C W	ჯ 4,17 ჰც 4170 ჰც (1°C+273)°K (1 ჰც):(1 წმ)
სიმძლავრე (აქტიური) სიმძლავრე (რეაქტიული)	P Q	ვოლტ-ამპე- რი რეაქტიული	ვარ ვარ	Вар Вар	var	ვარ
სრული სიმ- ძლავრე	S	ვოლტ-ამ- პერი კილოვატ- ამპერი	ვარ კარ	Вар кВа	va kva	ვა 1000 ვა
ელექტრობის რაოდენობა ძაბვა, ე. მ. ძა- ლა	Ql U, E	კულონი ვოლტი კილოვოლტი მილივოლტი ამპერი მილიამპერი მიკროამპერი	კ ვ კვ მვ ა მა მკა	к В кВ мВ а мА мкА	c V kV mV A mA μKA	(1ა)×(1წმ) (1 ვტ):(1 ა) 1000 ვ 10 ⁻³ ვ ა 10 ⁻³ ვ 10 ⁻⁶ ა
დენის ძალა	I, i	ამპერი ამპერი მილიამპერი მიკროამპერი	ა კა მა მკა	А кА мА мкА	A mA μKA	10 ⁻³ ვ 10 ⁻⁶ ა
დენის სიმ- კონცენტრაცია		ამპერი კვად- კუბურ მე- ტრზე ვოლტი მე- ტრზე კილოვოლტი მილიმეტრზე	ა/მ ² კვ/მ ² ვ/მ კვ/მმ	а/м ² кВ/м ² В/м кВ/мм	A/m ² kV/m V/m kV/mm	(1 ა):(1 მ ²) (1 კვ):(1 მ ²) 10 ⁶ ვ/მ

გავრცელება

1	2	3	4	5	6	7
მაგნიტური ველის დაძა- ბულობა	<i>H</i>	ამპერი მეტ- რზე ამპერი სან- ტიმეტრზე, ერსტედი ჰენრი მეტ- რზე	ა/მ ა/სმ ე	ა/მ ა/სმ ჰ	<i>A/m</i> <i>A/cm</i> <i>e</i>	(1 ა) : (1 მ) 100 ა/სმ 80 ა/მ
მაგნიტური შელწევალობა ტივადობა	μ <i>C</i>	ჰენრი ფარადა მიკროფარა- და პიკოფარადა	ჰნ/მ ფ მკფ პფ	რ/სმ ფ მკფ პფ	<i>H/m</i> <i>F</i> <i>n kF</i> <i>pF</i>	(1 მ) : (1 ბ) (1 მ) : (1 ბ) (1 მ) × (1 მ) 10 ⁻⁶ ფ. 10 ⁻¹² ფ.
დიელექტრი- კული შელწე- ვალობა ელექტრული წინალობა	<i>r</i>	ფარადა მეტ- რზე ომი კილოომი მეგომი	ფ/მ ომი კომი- მომი	ფ/მ ფ/მ ომ კომ მომ	<i>F/m</i> <i>Ω</i> <i>kΩ</i> <i>MΩ</i>	(1 ფ) : (1 მ) (1 მ) : (1 ა) 10 ³ ომი 10 ⁶ ომი
ელექტრული ხვედრითი წინალობა	<i>p</i>	ომი მეტრზე	ომი მ	ომ.მ	<i>Ωm</i>	(1 ომი) × (1 მ)
ელექტრული გამტარობა	<i>g</i>	სიმენსი	სიმ (1/ომი)	სმ	<i>S</i>	(1 ა) : (1 მ)
ხვედრითი ელექტრული გამტარობა	<i>γ</i>	—	სიმ/მ	სმ/მ	<i>S/m</i>	(1 სიმ) : (1 მ)
მაგნიტური ნაკადი	<i>Φ</i>	ვებერი	ვბ	ვბ	<i>wb</i>	(1 მ) : (1 ომი)
მაგნიტური ინდუქცია	<i>B</i>	ვაუსი ტესლა (ვებე- რი კვადრა- ტულ მეტრზე)	ტლ	ტლ	<i>T</i>	(1 ვბ) : (1 მ) ²
მაგნიტომა- გობრავებელი ძალა	<i>F</i>	ამპერი		ა	<i>A</i>	(1 ა)
ინდუქციუ- რობა	<i>L</i>	ჰენრი	ჰნ	ჰნ	<i>H</i>	(1 მ) : (1 ა)
ურთიერთ ინდუქციუ- რობა	<i>M</i>	ჰენრი	ჰნ	ჰნ	<i>H</i>	(1 მ) : (1 ა)
რეაქტიული წინალობა	<i>X</i>	ომი	ომი	ომ	<i>Ω</i>	ომი
სრული წინა- ლობა	<i>Z</i>	ომი	ომი	ომ	<i>Ω</i>	ომი

ზოგიერთი საიზოლაციო მასალის ძირითადი ელექტრული მახასიათებლები

მასალის დასახელება	დელექტრიკული პეღწევადობა	ელექტრული სიმტკიცე	
		ϵ_c კვ/მმ	გაზომილია d სის- ქის დროს მმ
კაერი	1,0	3,0	—
გამობდილი წყალი	81,0	—	—
ს.ტრანსფორმატორო ზეთი	2,2	8,0—16,0	2,5
პარაფინით გაღვუნ- თილი ქაღალდი	3,4—3,6	20,0—30,0	0,15—0,2
ყაიფური	5,3	10,0—15,0	1,0—15,0
ქინა	5,5—9,0	10,0—40,0	—
ქარსი	5,0—7,5	80—200	0,75
ნიკანტი	5,2	15,0—20,0	3,0
რეზინა	2,7	10,0—25,0	1,0—2,5
პოლისტიროლი	2,3—2,75	100—10	—
გეტინაქსი	4,5	8,0—12,0	10,0
ელექტრომუყაო	4,0—6,0	7,0—14,0	1,0

**ხანგრძლივი დასაშვები დატვირთვები რეზინისა და პოლიქლორვი-
ნილის იზოლაციის მქონე სპილენძისა და ალუმინის გამტარების
ზონარებზე**

დენგამყვანი სადენის კვე- თი, მმ,	დენის დატვირთვა ამპერებში					
	ლიად განლა- გებული გამ- ტარები	ერთ მილში განლაგებული გამტარები				
		ორი ერთ- ძარღვიანი	სამი ერთ- ძარღვიანი	ოთხი ერთძარღ- ვიანი	ერთი ორ- ძარღვიანი	ერთი სამ- ძარღვიანი
0,5	11/—	—	—	—	—	—
0,75	15/—	—	—	—	—	—
1	17/—	16/—	15/—	14/—	15/—	14/—
1,5	23/—	19/—	17/—	16/—	18/—	15/—
2,5	30/24	27/20	25/19	25/ 9	25/—	21/—
4	41/32	38/28	35/28	30/23	32/—	27/—
6	50/39	46/36	42/32	40/30	40/—	34/—
10	80/55	70/50	60/47	50/39	55/—	50/—
16	100/80	85/60	80/60	75/55	80/—	70/—
25	140/105	115/85	100/80	90/70	100/—	85/—

**ხანგრძლივად დასაშვები დატვირთვები სპილენძის, ალუმინისა
და ფოლად-ალუმინის შიშველ სადენებზე**

დანართი 4

სპილენძი		ალუმინი		ფოლადალუმინი	
გამტარის მარკა	დენის დატვირთვა შენობის გარეთ	გამტარის მარკა	დენის დატვირთვა შენობის გარეთ	გამტარის მარკა	დენის დატვირთვა შენობის გარეთ
M-4	50	A-16	105	AC-10	60
M-6	70	A-25	135	AC-16	105
M-10	55	A-35	170	AC-25	130
A-16	130	A-50	215	AC-35	175
M-25	180	A-70	265	AC-50	275
M-50	270	A-120	375	AC-75	335
M-70	340	A-150	440	AC-120	385
M-95	415	A-185	500	AC-150	445
M-120	485	A-240	610	AC-185	515
M-150	570	A-300	—	AC-240	610
M-185	640	A-400	—	—	—
M-240	760	A-500	—	—	—

დანართი 5

ხანგრძლივად დასაშვები დატვირთვები ქალაქის გაუღენთილ იზოლაციისა და ტყეების, ან ალუმინის გარსაცმიან სპილენძის კაბელებში (მიწაში ჩაწყობილი)

ძარღვის ნომინალური კვეთი შვე	ერთმარ-ღვიანი კაბელი	ორმარ-ღვიანი კაბელი	სამმარღვიანი კაბელი სარ-ტყლის იზოლაციით			ოთხმარღვიანი კაბელი
	1 კვ-მდე	1 კვ-მდე	3 კვ-მდე	6 კვ-მდე	10 კვ-მდე	1 კვ-მდე
	კაბელის გარსაცმის მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურა					
	80°C	80°C	60°C	65°C	60°C	80°C
10	140	105	95	80	—	85
16	175	140	120	195	55	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395

ზოგიერთი მასალის დამაგნიტების მახასიათებლები

ინდექსია B		მაგნიტური ველის დამაბულობა H, ა/მ			
ტლ (გბ/მ²)	ჰს	ელექტრო-ტექნიკური ზოლადი. მარკა 3-11	ელექტრო ტექნიკური ზოლადი. მარკა 3-42	კბილი ქედადი ზოლადი. CT-2	თუჯი
1	2	3	4	5	6
0.05	500	—	—	40	420
0.1	1000	—	—	80	600
0.15	1500	—	—	120	750
0.2	2000	87	21	160	900
0.25	2500	100	25	200	1050
0.3	3000	113	29	240	1220
0.35	3500	126	33	280	1400
0.4	4000	140	37	320	1640
0.45	4500	155	42	360	1910
0.5	5000	171	48	400	2200
0.55	5500	190	55	443	2550
0.6	6000	211	63	488	2940
0.65	6500	236	73	536	3420
0.7	7000	261	84	584	3920
0.75	7500	287	96	632	4600
0.8	8000	318	110	682	5400
0.85	8500	352	125	734	6300
0.9	9000	397	140	785	7360
0.95	9500	447	150	838	8600
1.0	10,000	502	185	890	10,100
1.05	10,500	570	220	924	12,000
1.1	11,000	647	260	994	14,000
1.15	11,500	739	310	1090	16500
1.2	12,000	843	380	1187	19,200
1.25	12,500	976	490	1290	22500
1.3	13,000	1140	650	1430	26200
1.35	13,500	1340	1000	1590	30,300
1.4	14,000	1580	1450	1810	34,800
1.45	14,500	1950	2200	2030	40,900
1.5	15,000	2,500	3100	2,440	47,900
1.55	15,500	3280	4200	2890	56200
1.6	16,000	4,370	5600	3430	—
1.65	16500	5880	6400	4100	—
1.7	17000	7780	9500	4870	—
1.75	17500	10110	11900	—	—
1.8	18000	12800	14600	—	—
1.85	18500	15900	18300	—	—
1.9	19000	19700	23000	—	—
1.95	19500	24600	29,000	—	—
2.0	20,000	31000	41,000	—	—

ტრიგონომეტრიული მარჯვენებელთა მნიშვნელობები

ψ კუთხე გრად.	sin ψ	tg ψ	ctg ψ	cos ψ	ψ კუთხე, გრად.
0	0	0		1	90
1	0,0175	0,0175	57,290	0,9998	89
2	0,0349	0,0349	28,636	0,9994	88
3	0,0523	0,0524	19,081	0,9986	87
4	0,0698	0,0699	14,301	0,9976	86
5	0,0872	0,0875	11,430	0,9962	85
6	0,1045	0,1051	9,5144	0,9945	84
7	0,1219	0,1228	8,1443	0,9925	83
8	0,1392	0,1405	7,1154	0,9903	82
9	0,1564	0,1584	6,3138	0,9877	81
10	0,1736	0,1763	5,6713	0,9848	80
11	0,1908	0,1944	5,1466	0,9816	79
12	0,2079	0,2126	4,7046	0,9781	78
13	0,2250	0,2309	4,3315	0,9744	77
14	0,2419	0,2493	4,0108	0,9703	76
15	0,2588	0,2679	3,7321	0,9659	75
16	0,2756	0,2867	3,4874	0,9613	74
17	0,2924	0,3057	3,2709	0,9563	73
18	0,3090	0,3249	3,0777	0,9511	72
19	0,3256	0,3443	2,9042	0,9455	71
20	0,3420	0,3640	2,7475	0,9397	70
21	0,3554	0,3839	2,6051	0,9336	69
22	0,3746	0,4040	2,4751	0,9272	68
23	0,3907	0,4245	2,3559	0,9205	67
24	0,4067	0,4452	2,2460	0,9135	66
25	0,4225	0,4663	2,1445	0,9063	65
26	0,4384	0,4877	2,0503	0,8988	64
27	0,4540	0,5095	1,9626	0,8910	63
28	0,4695	0,5317	1,8807	0,8829	62
29	0,4848	0,5543	1,8040	0,8746	61
30	0,5000	0,5774	1,7321	0,8660	60
31	0,5150	0,6009	1,6643	0,8572	59
32	0,5299	0,6249	1,6003	0,8480	58
33	0,5446	0,6494	1,6395	0,8387	57
34	0,5592	0,6745	1,4626	0,8290	56
35	0,5736	0,7002	1,4281	0,8192	55
36	0,5878	0,7265	1,3764	0,8090	54
37	0,6018	0,7536	1,3270	0,7976	53
38	0,6157	0,7813	1,2799	0,7860	52
39	0,6293	0,8098	1,2349	0,7771	51
40	0,6428	0,8391	1,1918	0,7660	50
41	0,6561	0,8693	1,1504	0,7547	49
42	0,6691	0,9004	1,1106	0,7531	48
43	0,6820	0,9325	1,0724	0,7314	47
44	0,6947	0,9657	1,0355	0,7193	46
45	0,7071	1	1	0,7071	45

შინაარსი

წინასიტყვაობა	3
თავი I	
შესავალი	6
დავალება 1	
§ 1—1. ელექტროტექნიკის საგანი	6
§ 1—2. ელექტროტექნიკის განვითარების მოკლე მიმოხილვა	7
§ 1—3. ელექტრიფიკაციის მნიშვნელობა სახალხო მეურნეობაში	10
§ 1—4. მოკლე დასკვნები	11
თავი II	
ერთფაზიანი ცვლადი დენი	12
დავალება 2.	
§ 2—1. ერთფაზიანი ცვლადი დენის მიღება	13
§ 2—2. ცვლადი დენის ძირითადი მახასიათებლები	17
§ 2—3. დენისა და ძაბვის მყისი, ამპლიტუდური, მოქმედი და საშუალო მნიშვნელობები	23
§ 2—4. ვექტორული დიაგრამები	26
§ 2—5. მოკლე დასკვნები	27
§ 2—6. სავარჯიშო	30
დავალება 3	31
§ 2—7. ცვლადი დენის წრედის დამახასიათებელი პარამეტრები	31
§ 2—8. ცვლადი დენის აქტიურწინააღმდეგობიანი წრედი	35
§ 2—9. ცვლადი დენის ინდუქციურწინააღმდეგობიანი წრედი	34
§ 2—10. ცვლადი დენის ტევადურწინააღმდეგობიანი წრედი	37
§ 2—11. მოკლე დასკვნები	39
§ 2—12. სავარჯიშო	40
დავალება 4	
§ 2—13. ლაბორატორიული სამუშაო № 1. დენისა და ძაბვის მყისი სიდიდეთა მრუდების გადართვა და შესწავლა ცვლადი დენის წრედებში	41
დავალება 5	
§ 2—14. ლაბორატორიული სამუშაო № 2. ერთფაზიანი ცვლადი დენის წრედში ძაბვისა და დენის შორის ფაზათა ძვრის კუთხის მიღება	44
თავი III	
ერთფაზიანი ცვლადი დენის მიმდევრობითი და განშტოებული წრედები	47
დავალება 6	
§ 3—1. ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედები აქტიური, ინდუქციური და ტევადური წინააღმდეგობებით	48
§ 3—2. ძაბვისა და წინააღმდეგობის სამკუთხედები	52
§ 3—3. ცვლადი დენის წრედები მიმდევრობითი ჩართული სრული წინააღმდეგობით	55
§ 3—4. მოკლე დასკვნები	59
§ 3—5. სავარჯიშო	61
დავალება 7	
§ 3—6. ცვლადი დენის განშტოებული წრედები აქტიური წინააღმდეგობით, ინდუქციურობით და ტევადობით	62
§ 3—7. დენებისა და გამტარობების სამკუთხედები	65

§ 3—8. ცვლადი დენის წრედები პარალელურად ჩართული სრული გამტარობებით	68
§ 3—9. მოკლე დასკვნები	73
§ 3—10. საეარჯიშო	75
დავალება 8	
§ 3—11. ძაბვათა რეზონანსი	76
§ 3—12. დენების რეზონანსი	79
§ 3—13. რხევითი კონტურების პრაქტიკული მნიშვნელობა	83
§ 3—14. მოკლე დასკვნები	85
§ 3—15. საეარჯიშო	86
დავალება 9	
§ 3—16. შიისი და საშუალო სიძლავრე ცვლადი დენის წრედებში	88
§ 3—17. აქტიური, რეაქტიული და სრული სიძლავრე	90
§ 3—18. სიძლავრის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ელექტრულ ქსელებში	94
§ 3—19. მოკლე დასკვნები	97
§ 3—20. საეარჯიშო	99
დავალება 10	
§ 3—21. ლაბორატორიული სამუშაო № 3. ცვლადი დენის მიმდევრობითი წრედების შესწავლა	100
დავალება 11	
§ 3—22. ლაბორატორიული სამუშაო № 4. ცვლადი დენის განშტოებულ (პარალელური) წრედის შესწავლა	105
თავი IV	
სამფაზიანი ცვლადი დენი	106
დავალება 12	
§ 4—1. მრავალფაზიანი ცვლადი დენის მიღება	109
§ 4—2. სამფაზიანი დენის სისტემა	112
§ 4—3. სამფაზიანი სისტემის ვარსკვლავად შეერთება	116
§ 4—4. სამფაზიანი სისტემის სამკუთხედად შეერთება	120
§ 4—5. მოკლე დასკვნები	122
§ 4—6. საეარჯიშო	124
დავალება 13	
§ 4—7. სამფაზიანი დენის სიძლავრე	125
§ 4—8. ელექტრული ენერგიის მიმღებთა ვარსკვლავად შეერთება	126
§ 4—9. ელექტრული ენერგიის მიმღებთა სამკუთხედად შეერთება	132
§ 4—10. სამფაზიანი დენის მბრუნავი მაგნიტური ველი	136
§ 4—11. მოკლე დასკვნები	141
§ 4—12. საეარჯიშო	143
დავალება 14	
§ 4—13. ლაბორატორიული სამუშაო № 5. დატვირთვის ვარსკვლავად შეერთების შესწავლა სამფაზიან სისტემაში	145
დავალება 15	
§ 4—14. ლაბორატორიული სამუშაო № 6. დატვირთვის „სამკუთხედად“ შეერთების შესწავლა სამფაზიან სისტემაში	147
დავალება 16	
§ 4—15. ლაბორატორიული სამუშაო № 7. მბრუნავი მაგნიტური ველის შესწავლა	150
თავი V	
არასინუსოიდური დენები და ფოლადისგულარიანი კოქები	153

დავალება 17	
5-1. არასინუსოიდური დენების წარმოშობა	154
5-2. არასინუსოიდური დენებისა და ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობები	15E
5-3. არასინუსოიდური დენების სიმძლავრე	16A
5-4. წრედის არასინუსოიდური ელექტრული მაჩვენებლები	163
5-5. ელექტრული ფილტრები	167
5-6. უშაღლესი პარმონიკები სამფაზიანი დენის წრედებში	171
5-7. მოკლე დასკვნები	175
5-8. სავარჯიშო	178

დავალება 18	
5-9. ფოლადისგულარიანი კოქა ცვლადი დენის წრედში	130
5-10. ენერგიის დანაქარგები ფოლადისგულარიან კოქაში	186
5-11. მოკლე დასკვნები	191
5-12. სავარჯიშო	192

დავალება 19	
5-13. ლაბორატორიული სამუშაო №8 ფოლადისგულარიანი კოქის შესწავლა	194

თავი VI	
ტრანსფორმატორები	
	197

დავალება 20	
6-1. ზოგადი ცნობები	198
6-5. მოკლე დასკვნები	209
6-3. ტრანსფორმატორის უქმი სელა და დატვირთვის რეჟიმი	201
6-4. ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა	204
6-2. ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი	197
6-6. სავარჯიშო	211

დავალება 21	
6-7. სმფაზიანი ტრანსფორმატორები	212
6-8. ტრანსფორმატორების პარალელური მუშაობა	215
6-9. ტრანსფორმატორის შენაცვლების სქემა	219
6-10. ტრანსფორმატორის მოკლედ ჩართვის ცდა	221
6-11. მოკლე დასკვნები	225
6-12. სავარჯიშო	227

დავალება 22	
6-13. ენერგიის დანაქარგები ტრანსფორმატორში	228
6-14. ტრანსფორმატორის მ. ქ. კ. და სიმძლავრე	231
6-15. ტრანსფორმატორის გაიცემა	233
6-16. ავტოტრანსფორმატორები	235
6-17. საზომი ტრანსფორმატორები	237
6-18. მოკლე დასკვნები	240
6-19. სავარჯიშო	243

დავალება 23	
6-20. ლაბორატორიული სამუშაო №9. ტრანსფორმატორების გრანგი- ლების წინაღობის გაზომვა და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის განსა- ზღვრა	244

დავალება 24	
6-21. ლაბორატორიული სამუშაო №10. ტრანსფორმატორის უქმი სელის და მოკლედ ჩართვის ცდა	248

თავი VII	
მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიულ სამუშაოებზე	
	251

დავალება 25	
7-1. ლაბორატორიულ სამუშაოთა შესრულების წესი	252
18. გ. ანანიაშვილი	273

§ 7—2. უსაფრთხოების ტექნიკის ძირითადი მოთხოვნები	225
§ 7—3. მოკლე დასკვნები	259

თ ა ე ი VIII

სავარჯიშო ამოცანების პასუხები	260
§ 2—6-ის პასუხები	260
§ 2—12-ის "	261
§ 3—5-ის "	261
§ 3—10-ის "	261
§ 3—15-ის "	261
§ 3—20-ის "	262
§ 4—6-ის "	262
§ 4—12-ის "	262
§ 5—8-ის "	262
§ 5—12-ის "	262
§ 6—6-ის "	263
§ 6—12-ის "	263
§ 6—19-ის "	263

თ ა ე ი IX. დანართები

დანართი 1. საერთაშორისო სისტემის (SI) ელექტრული და მაგნიტური ერთეულები	264
დანართი 2. ზოგიერთი საიზოლაციო მასალის ძირითადი ელექტრული მახასიათებლები	267
დანართი 3. ხანგრძლივი დასაშვები დატვირთვები რეზინისა და პოლიქლორენილის იზოლაციის მქონე სპილენძისა და ალუმინის გამტარების ზონარებზე	267
დანართი 4. ხანგრძლივად დასაშვები დატვირთვები სპილენძის, ალუმინისა და ფოლად-ალუმინის შიშველ სადენებზე	268
დანართი 5. ხანგრძლივად დასაშვები დატვირთვები ქაღალდის გაქვნილ იზოლაციისა და ტყვიის ან ალუმინის გარსაცმთან სპილენძის კაბელებში (მიწაში ჩაწყობილი)	268
დანართი 6. ზოგიერთი მასალის დამაგნიტების მახასიათებლები	269
დანართი 7. ტრიგონომეტრიულ მაჩვენებელთა მნიშვნელობები	270

რეცენზენტები: გ. ტყეშელაშვილი
ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი
მ. ხვედელიძე
ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი

ნაშრომი რეკომენდებულია ა. ს. პუშკინის სახელობის პედაგოგიური ინსტიტუტის.
ზოგადტექნიკური დისციპლინებისა და შრომის კათედრის მიერ

რედაქტორი გ. მახარაძე
გამომც. რედაქტორი ჩ. გურგენიძე
მხატვრული რედაქტორი ე. სულთანისვილი
ტექნიკური რედაქტორი თ. მანჯგალაძე
კორექტორი ნ. ბოკერიძე

გადაეცა წარმოებას 21/XII-73 წ. ხელმოწერილია დასაბუქლად 20/VIII-74 წ.
საბუქლი ქალაქი № 2. ქალაქის ზომა № 60X90^{1/16}.

სასტამბო თაბახი 17,25. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 13,52.
უე 09974. ტირაჟი 3000. შეკე. № 3498

ფასი 71 კაპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5.
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Марджанишвили № 5.
1974

საქართველოს სსრ მინისტრთა საბჭოს გამომცემლობათა,
პოლიგრაფიისა და წიგნით ვაჭრობის საქმეთა სახელმწიფო
კომიტეტის მთავარპოლიგრაფმრეწველობის სტამბა № 5,
ქ. ქუთაისი, ი. ჭავჭავაძის პროსპექტი, 11.

Типография № 5 Главполиграфпрома Государственного комитета
Совета Министров Грузинской ССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
г. Кутаиси, пр. И. Чавчавадзе, 11.