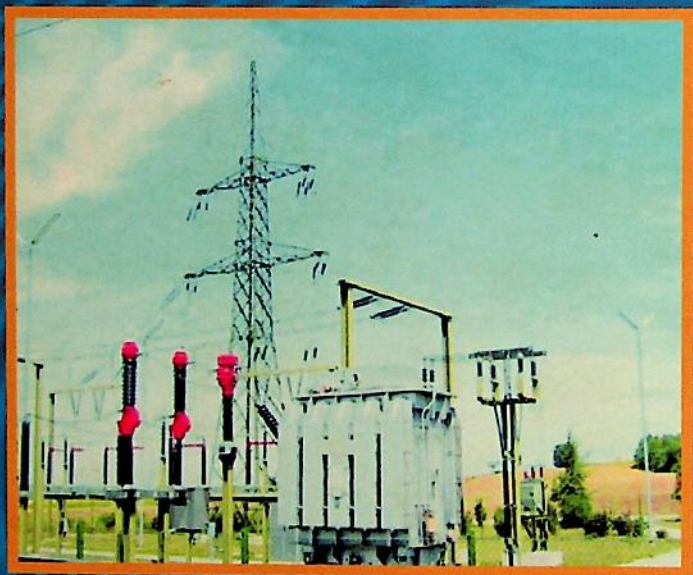


თავის მფლობელი
გეორგი ღოლაბერიძე

შესავალი ელექტროტექნიკაში



“ტექნიკური უნივერსიტეტი”

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თენგიზ მუსელიანი, გიორგი დოლაბერიძე

შესავალი ელექტროტექნიკაში



წილფესორ შ. დორიას,

დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ
სტუ-ს სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

საიჯაროედლე ღირსი ქართული.

2009 წელი

სახელმძღვანელოში გადმოცემული მასალა პირველსაწყისია ელექტროტექნიკურ სფეროში. იგი ეხება ელექტრული ენერჯიის წარმოების, გადაცემის, განაწილებისა და მოხმარების საკითხებს. მოიცავს მუდმივი და ცვლადი დენის ელექტრული წრედების ანალიზის უმარტივეს შემთხვევებს ელექტროტექნიკის პრაქტიკიდან განსაკუთრებული მნიშვნელობის ჩვენებით. განხილულია ელექტრული დენის ბუნებაში გამოვლენის ოთხი ფორმა და აღწერილია ელექტროტექნიკური დანადგარები, რომელთა მოქმედების პრინციპი ემყარება თითოეულ ამ ფორმას.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია როგორც შესავალი კურსი ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ბაკალავრიატისა და უმაღლესი პროფესიული განათლების სტუდენტებისა და დამწყები ელექტროენერჯეტიკოსებისათვის, რომელთაც აქვთ სურვილი შემდგომში ღრმად ჩაწვდნენ ელექტრომაგნიტურ პროცესებს და თავიანთი პროფესიული საქმიანობა დაუკავშირონ ელექტროტექნიკურ სფეროს. იგი დიდ დახმარებას გაუწევს საზოგადოების ფართო წრეს, რომლებსაც არა აქვთ სპეციალური ელექტროტექნიკური განათლება, მაგრამ სურთ დამოუკიდებლად გაეცნონ ელექტროტექნიკურ დანადგარებში მიმდინარე პროცესებს.

რეცენზენტი პროფესორი გ. მახარაძე

პროფესორ შ. ნაჭყელიას საერთო რედაქციით



Verba volant,
scripta manent

© საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2008

ISBN 978-9941-14-158-4

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ვერა უფლება დაიძლეა ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფიგურა, ილუსტრაცია თუ სხვა) არსებითი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოიყენებოდეს ან სხვა სახის წარმართვის საშუალებების გამოყენებით.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

წინასიტყვაობა

ელექტრული ენერჯის გამოყენებისა და, შესაბამისად, ელექტროტექნიკური დანადგარების ყოფაცხოვრებაში ფართოდ დანერგვამ აუცილებელი გახადა ნებისმიერი მოქალაქის ნებისით თუ უნებლიე ჩართვა ელექტროტექნიკურ სფეროში განურჩევლად სქესისა, ასაკისა თუ პროფესიისა. ელექტრულ დანადგარებთან საქმე აქვს საბავშვო ბაღის ასაკის ბავშვს, ელექტრული დენით მომუშავე სათამაშოების სახით. ელექტრული დანადგარებით სარგებლობს დიასახლისი გამახურებელი და გამანათებელი მოწყობილობების სახით. ელექტრულ წრედშია ჩართული ტელევიზორი, რადიომიმღები, მტკერსასრუტი, მაცივარი და ა.შ.

ყველაფერი ამის გათვალისწინებით სასურველია ნებისმიერი მომხმარებელი ერკვეოდეს იმ ძირითად მოვლენებში, რომელიც მიმდინარეობს ელექტროტექნიკურ დანადგარებში. ამ მიზნით შეიქმნა ქვემოთ მოყვანილი სახელმძღვანელო, სადაც ავტორები ცდილობენ გადმოეცათ ელექტროტექნიკის კურსის საფუძვლები, ისე რომ მისი შინაარსი არ გადატვირთულიყო ზედმეტი წვრილმანებით, გასაგები ყოფილიყო ყველასათვის და შეძლებისდაგვარად მასალა დაეახლოებინათ პრაქტიკული საინჟინრო თუ საყოფაცხოვრებო ამოცანებისათვის. დასმულია ამოცანები, რომლებიც უნდა გადაწყვიტონ დამწყებმა ელექტრიკოსებმა. მოცემულია ზოგიერთი რეკომენდაცია, თუ რჩევა ელექტროტექნიკური დანადგარების უსაფრთხო ექსპლოატაციისათვის და ა.შ.

მასალის შეგროვების დროს გათვალისწინებულია მთელი რიგი მოთხოვნები, რომლებიც დაგროვდა ავტორთა პედაგოგიური მოღვაწეობის საკმაოდ ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში.

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ელექტროტექნიკა – ეს არის მეცნიერება ელექტრული ენერჯიის წარმოების, გადაცემის, განაწილების და გამოყენების შესახებ.

ელექტრული ენერჯია ჩვენს ყოფაცხოვრებაში ენერჯიის ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეა. მისი ფართოდ გავრცელება უპირველესად განაპირობა მისმა უპირატესობებმა სხვა სახის ენერჯიებთან შედარებით. კერძოდ, ადვილია მისი მიღება სხვა სახის ენერჯიებიდან ტრანსპორტირება და ჩვენთვის საჭირო სახის ენერჯიად გარდაქმნა. რიგ შემთხვევაში ელექტრული ენერჯიის წარმოებისას არ იხარჯება სხვა სახის ენერჯორესურსი. ასე მაგალითად, მის მისაღებად გამოიყენება ვარდნილი წყლის ენერჯია, ქარის ენერჯია, მზის ენერჯია და ა.შ. მართალია არის შემთხვევები, როცა ელექტრული ენერჯიის მისაღებად იწვის ქვანახშირი, ტორფი, ბუნებრივი აირი ან ნავთობი, მაგრამ დახარჯული რესურსის ღირებულება ბევრად ნაკლებია, იმ სამუშაოების ღირებულებაზე, რომლებიც შესრულდება მიღებული ელექტრული ენერჯიით. რაც შეეხება ელექტრული ენერჯიის გადაცემას – მისი ტრანსპორტი, ანუ ელექტროგადაცემის ხაზი არ თხოულობს საავტომობილო და სარკინიგზო ტრასას, მძღოლს, საწვავს, ნაკლებად ცვდება მუშაობის პროცესში და იშვიათად გამოდის მწყობრიდან, არ აჭუჭყიანებს გარემოს და ა.შ. ელექტრო ენერჯიის გადაცემა ხდება პრაქტიკულად მყისიერად, სინათლის სიჩქარის ტოლი სიჩქარით. სამონტაჟო და საექსპლუატაციო პირობების დაცვით ელექტროგადაცემის ხაზი მუდმივი მოხმარების დანადგარია.

ელექტრული ენერჯიის განაწილების საკითხები მისი გადაცემის პირობებს მოითხოვს და ბოლოს მოისმარება, ანუ ჩვენთვის საჭირო სახის ენერჯიად გარდაიქმნება. გარდაქმნის უპირატესობის მეტი სიცხადისათვის შევადაროთ ერთმანეთს ელექტრული ძრავა და შიგაწვის ძრავა; ელექტროლუმენი და ნახშირის ღუმელი. ამ დანადგართა დამზადების, მართვის, ექსპლუატაციის საიმედოობის, ეკოლოგიური სისუფთავის მიხედვით და ა.შ.

ასე, რომ ელექტრული ენერჯიის უპირატესობების ჩამოთვლა შორს წაგვიყვანს. მისი წარმოების დონე განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიურ, ინდუსტრიულ და სამეცნიერო განვითარების დონეს.

ყველა ზემოთ თქმული თავისთავად კარნახობს ელექტრომეურნეობის განვითარების აუცილებლობაზე. ამიტომ ელექტროტექნიკა – როგორც მეცნიერება უწყვეტი განვითარების და სრულყოფის სტადიაშია. დღესაც ვეძებთ იმ ეფექტებს, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროენერჯიის ყოფაცხოვრებაში უფრო ღრმად შეჭრას. შორს არ არის ის დრო, როცა

ტრანსპორტის წამყვანი საშუალება იქნება ელექტრომობილი, რომ ენერჯის გადაცემა მოხდება გაცილებით იაფი დანადგარებით, რომ ქარი გაგვითბობს სახლს და ა.შ. ამის საწყისები არსებობს და მიმდინარეობს სამუშაოები ამ დანადგართა სრულყოფისა და ეფექტურობის გაზრდის მიზნით.

ნებისმიერი ჩვენთაგანი ვალდებულია ჩაერთოს ელექტროტექნიკის განვითარების ამ პროცესში თუნდაც იმ დონეზე, რომ შეძლოს არსებული ელექტროტექნიკური დანადგარების უსაფრთხო და უაფარიო ექსპლუატაცია, მათი წერილმანი რემონტი, ახალი დანადგარების მონტაჟი, გამართვა და საექსპლუატაციო პირობების შექმნა.

ცხადია ამისათვის თავდაპირველად უნდა გავეცნოთ საწყისებს, ანუ იმ მოვლენებს, რომელიც მიმდინარეობს ელექტროტექნიკურ სფეროში და ძირითად კანონებს, რომლებიც ახსნის ამ მოვლენებს.

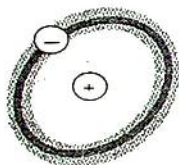
ამ მიზნით შეიქმნა ქვემოთ გადმოცემული მასალა, რომელიც ძირითადში აღწერილობითი კურსით შემოიფარგლება და მხოლოდ საწყისი ეტაპია ელექტროტექნიკაში.

თავი I - ელექტროსტატიკა

1.1. ელექტრული მუხტი და მისი ორი ნიშანი

ყველა ადამიანისათვის ცნობილია ტერმინები ელექტრული დენი, ელექტრული ძაბვა, ელექტროძრავა. ყველა აკვირდება ამა თუ იმ ელექტრულ მოვლენას და ყველა იყენებს ელექტრულ ხელსაწყოს, მაგრამ ბევრმა არ იცის, რა ბუნებისაა ელექტროობა, რა არის და როგორ წარმოიშევა ელექტრული დენი და საერთოდ, საიდან განჩნდა ტერმინი - „ელექტრული“.

ჯერ კიდევ მრავალი საუკუნის წინათ, ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, ძველმა ბერძნებმა შეამჩნიეს, რომ შალის ნაჭერზე გახახუნებული ქარვის ნაჭერი იძენდა თვისებას, მიეზიდა მცირე ზომის სხეულები. ქარვას ბერძნულად ელექტრონი ჰქვია და აქედან წამოვიდა სიტყვა „ელექტროობა“ და შესაბამისად - ელექტროტექნიკა.



XVI საუკუნის დასასრულს ინგლისელმა მეცნიერმა ჯილბერტმა აღმოაჩინა, რომ ხახუნის შედეგად იგივე თვისებას იძენდა მინა, გოგირდი და ფისი. ამ თვისების გაჩენის შემდეგ სხეულებს უწოდეს დამუხტული. მუხტი ნაწილაკის თვისებაა და არ არსებობს ნაწილაკის გარეშე, მაშინ როდესაც ნაწილაკი შეიძლება არსებობდეს მუხტის გარეშე.

როგორც ნივთიერების აგებულების ელექტრონული თეორია გვასწავლის ნებისმიერი ნივთიერება შედგება უმცირესი ნაწილაკებისაგან. თავიდან იგი ეგონათ მოლეკულა, მაგრამ შემდგომ აღმოჩნდა, რომ მოლეკულა შედგება ატომებისაგან და ბოლოს თვითონ ატომი აღმოჩნდა მთელი „სამყარო“. ყველაზე მარტივი ატომი (ნახაზზე წარმოდგენილი) - წყალბადის ატომი, წარმოადგენს ორ დამუხტულ ნაწილაკს, რომელთაგან ერთი გაჩერებულია და მეორე ბრუნავს მის ირგვლივ. ამ ნაწილაკთა მუხტების ბუნება სხვადასხვაა და პირობითად ერთს უწოდეს დადებითი, მეორეს - უარყოფითი. კერძოდ, დადებითი ნიშნისაა გაჩერებული ნაწილაკის ე.წ. პროტონის მუხტი. ამ ნაწილაკს ეწოდება ატომბირთვი. მოძრავ ნაწილაკს უწოდეს ელექტრონი და მისი მუხტი - უარყოფითი ნიშნისაა.

მეცნიერების თანამედროვე ეტაპზე ელექტრონი ნივთიერების უმცირეს, შემდგომ უკვე განუყოფელ ნაწილაკად ითვლება. მისი მუხტიც ერთეულოვანია, რომლის ნაწილები აღარ არსებობს.

უფრო რთულ ატომებში ატომბირთვის ირგვლივ შრეებზე ბრუნავს მრავალი ელექტრონი (მაგალითად, ურანის ატომში - 288) ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ატომში ელექტრონების ჯამური უარყოფითი მუხტის სიდიდე ატომბირთვის დადებითი მუხტის სიდიდის ტოლია. ატომის ასეთ მდგომარეობას ელექტრონეიტრალური ეწოდება ელექტრონეიტრალური ატომებისაგან შედგენილი სხეული არავითარ ელექტრულ თვისებებს არ ამჟღავნებს.

ისმის კითხვა: რას ნიშნავს სხეულის დამუხტვა? ახალი მუხტი წარმოიშვა? - არა.

ატომბირთვის ირგვლივ მბრუნავ დამუხტულ ნაწილაკს, ელექტრონს, შეუძლია მოწყდეს ატომბირთვს და გადავიდეს მეორე სხეულში, მაშინ ელექტრონდაკარგულ სხეულში აღმოჩნდება ელექტრონების ნაკლებობა და იგი დაიმუხტება დადებითად, მეორე სხეულში აღმოჩნდება ელექტრონების სიჭარბე და იგი დაიმუხტება უარყოფითად.

1.2. ელექტრული ველი

ცდებით დადგენილია, რომ დამუხტული სხეულები ერთმანეთზე ურთიერთქმედებენ, კერძოდ, ერთნაირნიშნისანი მუხტები განიზიდებიან, სხვადასხვა ნიშნისანი მიიზიდებიან.

ისმის კითხვა, რა გზით გადაეცემა ერთი დამუხტული სხეულის ქმედება მეორეს? ფარადეის იდეით ეს ქმედება არ იყო უშუალო. მუხტებს შორის ურთიერთქმედების საშუალებდო რგოლია მატერიის განსაკუთრებული ფორმა - ელექტრული ველი.

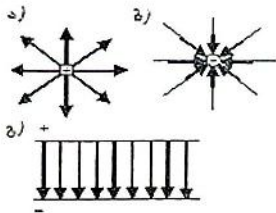
ელექტრული ველი აღიქვრება ყოველი მუხტის გარემომცველ სივრცეში და მისი დამახასიათებელი ძირითადი თვისებაა დამუხტულ ნაწილაკზე ძალური ზემოქმედება.

მუხტებს შორის ურთიერთქმედების ძალებს კულონური ძალები ეწოდება და რამდენადაც ეს ძალები ელექტროტექნიკაში განხილულ სხვა ძალებთან შედარებით მცირეა, ამიტომ ამ სფეროში არ განიხილება.

1.3. ელექტრული ველის გამოსახვა გრაფიკულად

იმისათვის, რომ „დავინახოთ“

ელექტრული ველის სივრცეში განაწილების სურათი, ელექტრულ ველს გამოვსახავთ წირებით, რომლის მიმართულება ველის აღებულ წერტილში ემთხვევა მისი ძალური გამოვლინების მიმართულებას. ამ წირებს ელექტრული ველის ძალწირები ეწოდება. ძალწირი არ



არის ჩაკეტილი; იგი გამოდის დადებითი მუხტიდან (ნახ. ა) და შედის უარყოფითში (ნახ. ბ).

განსაკუთრებით საინტერესოა ველი, რომელსაც ქმნის ორი საწინააღმდეგო ნიშნით დამუხტული ფირფიტა (ნახ. გ). ფირფიტის შიგა სივრცეში ველი გამოისახება პარალელური, ერთმანეთისგან თანაბრად დაშორებული წირებით. ეს ველი ნებისმიერ წერტილში ხასიათდება ერთნაირი თვისებებით და მას ერთგვაროვანი ველი ეწოდება.

1.4. ელექტრული ველის დაძაბულობა

ელექტრული ველის ერთსა და იმავე წერტილში სხვადასხვა სიდიდის საცდელი მუხტის შეტანისას, ველი მათზე სხვადასხვა ძალით იმოქმედებს, მაგრამ ამ ძალის ფარდობა მუხტის სიდიდესთან მუდმივი სიდიდეა. ეს ფარდობა ელექტრული ველის ძალური მახასიათებელია და მას ელექტრული ველის დაძაბულობა ეწოდება. ელექტრული ველის დაძაბულობა აღი-

ნიშნება \vec{E} ასოთი, $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს,

\vec{E} და \vec{F} ვექტორული სიდიდეებია.

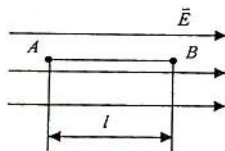
ელექტრული ველის დაძაბულობა მიმართულია ველის ამ წერტილში შეტანილ დადებით მუხტზე მოქმედი ძალის მიმართულად.

რადგანაც ერთეულთა SI სისტემაში ძალის ერთეულია ნიუტონი, ხოლო მუხტის რაოდენობისა - კულონი, ამიტომ

ველის დაძაბულობის ერთეული იქნება: $\frac{\text{ნიუტონი}}{\text{კულონი}} = \frac{\text{ნ}}{\text{კ}}$.

1.5. ძაბვა; ელექტრული ველის პოტენციალი

ეთქვათ, ელექტრულ ველში შეტანილი q მუხტი ელექტრული ველის მუხტზე მოქმედი ძალის გაელენით გადაადგილდება A წერტილიდან B -ში. ამ დროს ველის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა $A = Fl$, ველის დაძაბულობის განმარტებიდან $F = Eq$, მაშინ $A = Eq l$.



სიდიდეს, რომელიც განისაზღვრება ველის ორ A, B წერტილს შორის q მუხტის გადატანის დროს შესრულებული მუშაობის ფარდობით მუხტის სიდიდესთან ამ წერტილებს შორის ძაბვა ეწოდება. ძაბვა აღინიშნება U

ასოთი და $U = \frac{A}{q}$.

თუ ორ წერტილს შორის 1 კულონი მუხტის გადატანაზე სრულდება 1 ჯოული მუშაობა, მაშინ ძაბვა 1 ვოლტის ტოლია, ვოლტი = $\frac{\text{ჯოული}}{\text{კულონი}}$. ვოლტი ძაბვის ერთეულია SI სისტემაში.

როცა $q = 1$, მივიღებთ: $U = A$; ე.ი. ძაბვა ორ წერტილს შორის რიცხობრივად იმ მუშაობის ტოლია, რომელიც სრულდება ველის ამ წერტილებს შორის ერთეულოვანი მუხტის გადაადგილებაზე.

ძაბვის გამოსახულებაში შევიტანოთ მუშაობის გამოსახულება და მივიღებთ:

$$U = \frac{A}{q} = \frac{EqL}{q} = EL;$$

აქედან $E = \frac{U}{L}$ და მიიღება ველის დაძაბულობის ერთეული $\frac{\text{ვ}}{\text{მ}}$.

ძაბვას, ადებულ წერტილსა და იმ წერტილს შორის, რომელშიც ველი არ არსებობს, ამ წერტილის პოტენციალი ეწოდება.

რიცხობრივად ველის წერტილის პოტენციალი იმ მუშაობის ტოლია, რომელიც სრულდება ერთეულოვანი მუხტის გადასატანად, ადებული წერტილიდან იმ წერტილში, რომლის პოტენციალი ნულის ტოლია.

ძაბვა ორ წერტილს შორის ამ წერტილების პოტენციალთა სხვაობის ტოლია: $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

1.6. ელექტროტევადობა

ზემოთ ნათქვამი გვაძლევს საშუალებას ვიფიქროთ, რომ მუხტსა და პოტენციალს შორის არსებობს გარკვეული დამოკიდებულება. დადგენილია, რომ ეს დამოკიდებულება პირდაპირპროპორციულია: $\varphi = Kq$, ე.ი. თუ იზრდება მუხტის სიდიდე, მაშინ იზრდება პოტენციალიც. პროპორციულობის K კოეფიციენტით განისაზღვრება ადებული გამტარის ელექტრული პარამეტრი - ელექტროტევადობა. ელექტროტევადობა პროპორციულობის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდის ტოლია. იგი აღინიშნება C ასოთი, $C = \frac{1}{K}$ და მიიღება $C = \frac{q}{\varphi}$.

გამტარის ელექტროტევადობა დამოკიდებულია გამტარის ზომასა და ფორმაზე და არ არის დამოკიდებული მასზე არსებული მუხტის სიდიდეზე, პოტენციალსა და მასალაზე. გამტარის ელექტროტევადობა დამოკიდებულია გამტარის გარემომცველ სხეულებზე. ელექტროსტატიკური ინდუქციის მოვლენის თანახმად, დამუხტული გამტარი მასთან ახლოს მდებ-

ბარე სსეულები სეედაპირზე აღძრავს მის საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტს, რაც ამცირებს დამუხტული გამტარის ელექტრულ ველს – პოტენციალსა და ზრდის ელექტროტევადობას.

ერთეულთა SI სისტემაში ელექტროტევადობის საზომი ერთეულია ფარადა (ფ). ფარადა ისეთი გამტარის ელექტროტევადობაა, რომლის პოტენციალი მასზე 1 კულონი მუხტის გადაცემის დროს 1 ვოლტით იზრდება. $1 \text{ ფ} = 1 \frac{\text{კულონი}}{\text{ვოლტი}}$.

ფარადა მეტად დიდი რიცხვია და პრაქტიკაში გამოიყენება მისი ჯერადი ერთეულები:

$$\text{მილიფარადა} = \frac{1}{1000 \text{ ფ}} = 10^{-3} \text{ ფ};$$

$$\text{მიკროფარადა} = \frac{1}{1000000 \text{ ფ}} = 10^{-6} \text{ ფ};$$

$$\text{ნანოფარადა} = 10^{-9} \text{ ფ};$$

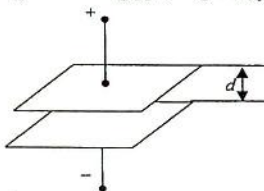
$$\text{პიკოფარადა} = 10^{-12} \text{ ფ}.$$

1.7. კონდენსატორი

ელექტროტექნიკურ სფეროში ფართოდ გამოიყენება სპეცშესრულების ხელსაწყო, რომელსაც შეუძლია დააგროვოს დიდი რაოდენობის მუხტი შედარებით მცირე პოტენციალის დროს, ე.ი. აქვს დიდი ტევადობა. ამ ხელსაწყოს ეწოდება კონდენსატორი.

გამტარის ტევადობა შეიძლება გავზარდოთ ორი გზით: I – გავზარდოთ მისი გეომეტრიული ზომები და II – მიეუახლოვოთ მას სხვა გამტარი. ამ ორი გზიდან პირველი მოუხერხებელია და არ არის მიზანშეწონილი. პრაქტიკულად გამოიყენება მეორე გზა.

უმარტივესი კონდენსატორი წარმოადგენს ორ პარალელურ გამტარ ფირფიტას, რომელთა შორის მანძილი გაცილებით მცირეა მის გეომეტრიულ ზომებზე. ასეთ კონდენსატორს ბრტყელი კონდენსატორი ეწოდება.



თუ ეს ფირფიტები მოთავსებულია ვაკუუმში, ფირფიტების ფართობი S -ის ტოლია და მანძილი მათ შორის უდრის d -ს, მაშინ კონდენსატორის ტევადობა გამოითვლება ფორმულით: $C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$, სადაც ϵ_0 , ახასიათებს ელექტრულ ველს

ვაკუუმში და ელექტრული მუდმივა ეწოდება, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{მ}}{\text{გ}}$.

ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა გაიზრდება, თუ ფი-
რფიტებს ანუ შემონაფენებს შორის სივრცეს არაგამტარი მა-
სალით, ანუ დიელექტრიკით შევავსებთ, მაშინ გვექნება:

$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}$, სადაც ϵ სიდიდე დიელექტრიკის დიელექტრიკული

შელწვეადობაა. იგი მიუთითებს რამდენჯერ ნაკლებია ორ
მუხტს შორის ურთიერთქმედების ძალა დიელექტრიკში, ვიდრე
სივრცეში.

აღებული კონდენსატორისათვის $\epsilon_s = \epsilon \epsilon_0$ ნამრავლს აბსო-
ლუტური დიელექტრიკული შეღწევადობა ეწოდება.

კონდენსატორთა ტევადობის გაზრდის მიზნით, დამუშა-
ვებულია დიელექტრიკები, რომელთა დიელექტრიკული შეღწე-
ვადობა მეტად დიდია. მაგალითად, „კონდეს-F“-სთვის $\epsilon = 80$.
სპეცშესრულების კონდენსატორებში გამოიყენება მასალა „ეფ-
სილიონი“, რომლის $\epsilon = 10000$.

მზადდება სხვადასხვა ტიპის კონდენსატორები, რომლე-
ბიც იყოფა შემონაფენების ფორმისა და შემონაფენებს შორის
დიელექტრიკის გვარობის მიხედვით. შემონაფენების ფორმის
მიხედვით არსებობს ბრტყელი, სფერული, ცილინდრული და
სხვა სახის კონდენსატორები. დიელექტრიკის მიხედვით კი -
ელექტროლიტური, ქარსის, ჰაერის, ქაღალდისა და სხვა.

პრაქტიკაში მიღებულია ყოველნაირი ტექნიკური ხელსაწ-
ყოს თუ დანადგარის ტიპი და ძირითადი ტექნიკური პარა-
მეტრი ნაჩვენები იყოს მის აბრევიატურაში. გაეშიფროთ ზოგი-
ერთი მათგანი კონდენსატორებისათვის. მაგალითად, ფართო-
დაა გავრცელებული *КДК* და *КТК* ტიპის კონდენსატორები.
ამათგან პირველი მათგანია

- конденсатор дисковой керамический,

მეორე - конденсатор трубчатый керамический.

„Дисковой“ და „трубчатый“ შემონაფენების ფორმას
განსაზღვრავს „керамический“ დიელექტრიკის გვარობას.

გავრცელებულია კონდენსატორები ქაღალდის დიელექ-
ტრიკით, ისინი აღინიშნება *Б* (*бумажный*) ასოთი:

МБМ (*металобумажный малогабаритный*);

БМ (*бумажный малогабаритный*);

ამ ტიპის კონდენსატორები მზადდება ლითონის მილის
ფორმის გარსაცმში, რომელიც შესრულებულია ფისით.

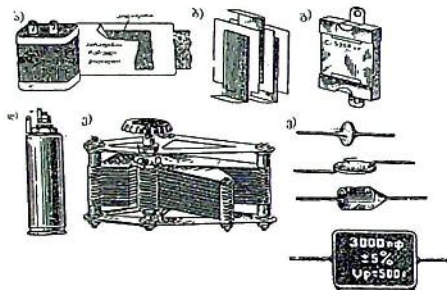
КБ – (конденсатор бумажный), კონდენსატორს აქვს მუყაოს ცილინდრული კორპუსი.

КБГ – И ტიპის კონდენსატორი მოთავსებულია ფაიფურის კორპუსში.

КБГ – МП; КБГ – МН; КБГ – Т ტიპის კონდენსატორებში ერთ კორპუსში რამდენიმე კონდენსატორია მოთავსებული და აქვს რამდენიმე ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი გამომყვანი.

მცირე გაბარიტებისა და დიდი ტევადობის კონდენსატორები მზადდება ცილინდრული ფორმით. მათში დიელექტრიკად გამოიყენება ელექტროლიტები. ამ ტიპის კონდენსატორებს ელექტროლიტური ეწოდება. მათი აღნიშვნაა КЭ; მაგალითად К50 – Э კონდენსატორის კორპუსი არის 4,5 – 6 მმ დიამეტრისა და 15 – 20 მმ სიგრძის ალუმინის ცილინდრი.

ელექტროლიტური კონდენსატორები განკუთვნილია ერთი მიმართულების, ანუ მუდმივი დენისათვის.



ნახ. ა, ბ, გ-ზე ნაჩვენებია ქაღალდ-იანი კონდენსატორის შიგა მოწყობილობის რამდენიმე სახე; ნახ. დ-ზე ელექტროლიტური კონდენსატორის ერთ-ერთი სახე; ნახ. ე-ზე ცვლადი ტევადობის კონდენსატორი. აქ კონდენსატორების ფირფიტები

წარმოადგენს თხელი გამტარი ფირფიტების პაკეტს, რომელიც კონსტრუქციულად ისეა შესრულებული, რომ ერთი პაკეტი შედის მეორეში სახელურის ბრუნვით. იცვლება ერთმანეთის გადაამჯარი შემონახულების ფართობი, რაც ცვლის კონდენსატორის ტევადობას.

ნახ. ვ-ზე წარმოდგენილია ზოგიერთი მცირე ტევადობის კერამიკული კონდენსატორი.

1.8. კონდენსატორების შეერთება ბატარეად

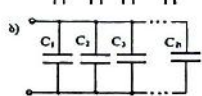
სხვადასხვა ტევადობის ან ძაბვების მიხედვით შესათანხმებლად კონდენსატორები შეიძლება ჩავრთოთ სხვადასხვა სქემით და მივიღებთ ე.წ. კონდენსატორთა ბატარეას.

ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია ე.წ. მიმდევრობითი შეერთების წესი. ამ დროს ბატარეის ჯამური ტევადობა უფრო მცირეა ვიდრე

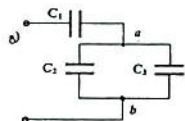
ცალკეული კონდენსატორის ტევადობა და ზოგადად იანგარიშება ფორმულით:

$$a) \quad C_1 || C_2 || C_3 || \dots || C_n$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



სადაც C მიღებული ბატარეის საერთო ტევადობაა, ხოლო C_1, C_2, \dots, C_n მიმდევრობით შეერთებულ კონდენსატორთა ტევადობები. კერძო შემთხვევაში, როცა მიმდევრობით შეერთებულია ორი C_1 და C_2 ტევადობის კონდენსატორი, გექნება:



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}, \text{ აქედან } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

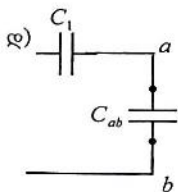
თუ მიმდევრობით ჩართულია ტოლი ტევადობის n რაოდენობის კონდენსატორი, მაშინ ბატარეის ტევადობა ტოლია:

$$C = \frac{C_1}{n}$$

ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია კონდენსატორთა პარალელურად შეერთების წესი. პარალელურად შეერთებული კონდენსატორების ბატარეის საერთო ტევადობა უფრო დიდია, ვიდრე ცალკეული კონდენსატორის ტევადობა და იანგარიშება ფორმულით:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

შერეული შეერთების დროს წრედი შეიცავს როგორც მიმდევრობით, ისე პარალელურად შეერთებულ უბნებს. მაგალითად ნახ. გ-ზე ნაჩვენებ სქემაზე ab უბანი შეიცავს პარალელურად შეერთებულ C_2 და C_3 კონდენსატორებს, ხოლო ab უბანი მიმდევრობითაა შეერთებული C_1 კონდენსატორთან (ნახ. დ).



ab უბნის ექვივალენტური ტევადობა იქნება: $C_{ab} = C_2 + C_3$, ხოლო მთელი წრედისა -

$$C = \frac{C_1 \cdot C_{ab}}{C_1 + C_{ab}}$$

19. ელექტრული ველის ენერგია

თუ დამუხტული კონდენსატორის შემონაფენებს გამტარით შევაერთებთ, მასში გაივლის დენი და გამტარი გათბება. ეს იმას ნიშნავს, რომ დამუხტულ კონდენსატორს გააჩნია ელექტრული ენერგია. ეს იმ ელექტრული ველის ენერგიაა, რომელიც არსებობს კონდენსატორის შემონაფენებს შორის სივრცეში. ვისარგებლოთ ზემოთმოყვანილი მასალით

და გამოვთვალოთ C ტევადობის კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია, თუ პოტენციალთა სხვაობა, ანუ ძაბვა ფირფიტებს შორის U -ს ტოლია.

კონდენსატორის ჯამური მუხტი თანაბრადაა განაწილებული თითოეულ შემონაფენზე, მაშინ ერთი შემონაფენის ველის დაძაბულობა სიდიდით კონდენსატორის მთლიანი ელექტრული ველის დაძაბულობის ნახევარი იქნება. თუ მეორე ფირფიტაზე მოთავსებულ მთელ მუხტს წარმოვადგენთ, როგორც ელემენტარული მუხტების ჯამს, მაშინ $q = \sum \Delta q$ (სადაც \sum სიმბოლო, ჯამის მათემატიკური გამოსახვის სახეა), მაშინ კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგიისათვის მივიღებთ:

$$W = \sum \Delta A = \frac{E}{2} \sum \Delta q d, \text{ სადაც } d \text{ ფირფიტებს შორის მანძილია.}$$

$$\text{ვიციტ დამოკიდებულება } E = \frac{\Phi - \Phi_2}{d} = \frac{U}{d}, \text{ მაშინ } W = \frac{U}{2d} q d = \frac{Uq}{2}$$

$$\text{ტევადობის განმარტების თანახმად } C = \frac{q}{U}, \text{ საიდანაც } q = CU,$$

$$\text{მაშინ } W = \frac{CU^2}{2}; \text{ ამ ფორმულით გამოისახება კონდენსატორის}$$

ელექტრული ველის ენერგია და იგი სამართლიანია ყველა სახის კონდენსატორისათვის.

1.10. სტატიკური მუხტი პრაქტიკაში

ერთი შეხედვით დამუხტული სხეული ნაკლებად საინტერესოა ელექტროტექნიკაში, მაგრამ ხშირად ყურადსაღებია და მხედველობაში მისაღები.

ხახუნით იმუხტება ღვედები ბრუნვის გადაცემისას და დაგროვილი მუხტი ჯერ საშიშია სიცოცხლისათვის და შემდეგ განმუხტვის პროცესში ჩნდება ანთებული რკალი, რომელმაც შეიძლება გამოიწვიოს ხანძარი. განსაკუთრებით ხელის შემშლელია დამუხტვის პროცესი ქაღალდისა და ქსოვილის წარმოებაში. დამუხტული ქაღალდები ერთმანეთს ეწებება, დამუხტული ძაფი იწეწება. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად ხდება სათავსოების ხელოვნურად დატენიანება, რის შედეგადაც იზრდება ჰაერის გამტარიანობა, დამუხტული ზედაპირებიდან მუხტის გადანაწილება იწყება მუხტის შედარებით დაბალი რაოდენობის დროს და იგი ვერ ასწრებს მნიშვნელოვან რაოდენობამდე დაგროვებას. განსაკუთრებით საშიშ სათავსოებში, სადაც მოსალოდნელია გაზის აფეთქება, ჰაერის გამტარუნარიანობის გასადიდებლად გამოიყენება რადიოაქტიური მასალები. მეტად ყურადსაღები და გასათვალისწინებელია და-

მუხტვის მოელენა პლასტმასის მილებში, რომელშიც მიედინება საწვავი სითხეები. ამ დროს დამუხტული მილის განმუხტვის პროცესში წარმოქმნილმა ნაკერწკალმა შეიძლება გამოიწვიოს აფეთქება. ამის თავიდან ასაცილებლად უნდა მოხდეს იმ დეტალების საიმედოდ დამიწება, რომელთა დამუხტვა არის მოსალოდნელი. დამუხტვის პროცესში მუხტი გადადის მიწაში და ვერ ასწრებს დაგროვებას. დამიწების მეთოდით შენდება ე.წ. მეხამრიდი. იგი წარმოადგენს დამიწებულ გამტარს, რომელიც აღმართულია მაღალი ნაგებობის თავზე. ამ ნაგებობაზე დამუხტული ღრუბლის გადაელის დროს მუხტი გადადის მიწაში და თავიდანაა აცილებული ღრუბლის გადამუხტვა ნაგებობაზე.

თავი II
მუხტის მოწესრიგებული მოძრაობა და
მისი სახეები

სხვადასხვა ბარემოში

2.1. ცნება ელექტრული ენერჯიის შესახებ

ისმის კითხვა, რამდენად საინტერესოა ელექტრონიკურ სფეროში დამუხტული სხეული? ამ კითხვაზე მარტივად შეიძლება ვუპასუხოთ შემდეგი ცდით: ავიღოთ სხვადასხვა ნიშნის მუხტიანი ორი ბურთულა და შევაერთოთ ისინი ლითონის მავთულით. შემდგომში ამ მავთულს ვუწოდოთ სადენი. გარკვეული უსაფრთხოების პირობების დაცვით შევუხოთ სადენს, შევამჩნევთ, რომ იგი გათბა.



უნდა აღინიშნოს, რომ დამუხტული სხეული ყოველთვის ისწრაფვის ელექტრონეიტრალური მდგომარეობისაკენ და ბურთულების სადენით შეერთების დროს, ჭარბელექტრონებიანი, ანუ უარყოფითად დამუხტული ბურთულიდან ელექტრონები იწყებენ გადასვლას ელექტრონაკლულ ანუ დადებითად დამუხტულ ბურთულაში. სადენში მუხტები მოძრაობენ მიმართულად, მოწესრიგებულად და, როგორც ჩანს, მათ შეასრულებს მუშაობა. მაგრამ მუხტების გადანაწილება, ანუ სხეულთა გადამუხტვა მალე მთავრდება და სადენში სითბოს გამოყოფაც შეწყდება.

ხანგრძლივი და დაუღალავი კვლევებით ადამიანმა მიაღწია სადენში დამუხტული ნაწილაკის მოწესრიგებულად მოძრაობას ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. მოწესრიგებულად მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი აკეთებს ყველაფერს, რაც საინტერესოა ელექტრონიკურ სფეროში: ახურებს სადენს, აბრუნებს ძრავას, ანათებს ნათურას და ა.შ.

ენერჯიის იმ სახეს, რომელიც განპირობებულია გამტარში მუხტის მოწესრიგებული მოძრაობით ელექტრული ენერჯია ეწოდება.

ასე რომ, დამუხტული ნაწილაკის მიმართული, მოწესრიგებული მოძრაობის აღძვრას შეიძლება ელექტრული ენერჯიის წარმოება ვუწოდოთ.

ადამიანი ვერ აწარმოებდა ელექტრულ ენერჯიას, მაგრამ იყენებდა ელექტრულ მოვლენებს, მანამდეც კი სანამ ქარვის ღეროს დამუხტვის მოვლენას შეამჩნევდა. ბუნებრივი მოვლენაა ჭექა-ქუხილი, რომელიც ორი სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული ღრუბლის განმუხტვის პროცესია. განმუხტვის ამ პროცესში საჭირო არ არის დამუხტული ღრუბლების სადენით შეერთება. განმუხტვა მოხდება, როცა ღრუბლებზე საკმაოდ დიდი რაოდენობის მუხტი დაგროვდება და ღრუბლები ერთმანეთს გარკვე-

ულ მანძილზე მიუახლოვდება. განმუხტვის ამ სახეს ელექტრული გარღვევა ეწოდება, რომელსაც შემდეგში შევისწავლით.

ჭექა-ქუხილს თან ახლავს ხმაური და საკმაოდ მკვეთრი ნათება. მართალია, ვერც ხმაურის ენერგიას ვიყენებთ, ვერც ნათებას და ვერც გამოყოფილი სითბოს უზარმაზარ რაოდენობას, მაგრამ როცა ღრუბელი ხეზე გადაიმუხტებოდა, რომელსაც მეხი ეწოდება, ხეს ცეცხლი უჩნდებოდა და პირველყოფილი ადამიანი ამ ცეცხლს ინახავდა.

2.2. ელექტრული დენი და მისი აღძვრის

უპირველესი პირობა

ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ თუ გამტარ გარემოში თავისუფალ მუხტებს განსაკუთრებულ პირობებს შევეუქმნით, ისინი დაიწყებენ მიმართულ მოწესრიგებულ მოძრაობას.

დამუხტული ნაწილაკის მიმართულ, მოწესრიგებულ მოძრაობას დენი ეწოდება.

დამუხტულ ნაწილაკზე ძალით მოქმედებს და მის მიმართულ მოძრაობას იწვევს ელექტრული ველი. ასე რომ, ელექტრული დენის აღძვრის უპირველეს პირობად ელექტრული ველის აღძვრა ითვლება.

2.3. ელექტრული დენის დადებითი მიმართულება

დავუბრუნდეთ საწინააღმდეგონიშნიანი დამუხტული ბურთულების სადენით შეერთებით გამოწვეულ განმუხტვის პროცესს.

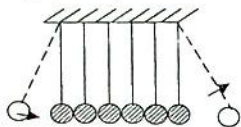
თუ დენი დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობაა და განმუხტვის ზემოთ აღწერილ პროცესში დამუხტული ნაწილაკები ანუ ელექტრონები მოძრაობენ უარყოფითნიშნიანი დამუხტული ბურთულიდან დადებითნიშნიანი ბურთულისაკენ, ბუნებრივია ვიფიქროთ, რომ დენის დადებით მიმართულებად მიჩნეული უნდა იყოს ელექტრონის მოძრაობის მიმართულება, ანუ უარყოფითნიშნიანი მუხტიდან დადებითისაკენ. მაგრამ ეს ასე არ არის. დენის დადებითი მიმართულება არსებულ იქნა შეთანხმებით. იმ დროში, როცა ეს შეთანხმება მიმდინარეობდა, დენის ბუნება, როგორც ელექტრონების მოძრაობა, ახსნილი არ იყო, დენი განიხილებოდა ელექტროლიტებში და მის დადებით მიმართულებად აირჩიეს დადებითნიშნიანი იონების მოძრაობის მიმართულება. შემდეგში ეს შეთანხმება არ დარღვეულა და დენის დადებით მიმართულებად ითვლება ელექტრონების მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება.

2.4. მუხგის მოძრაობისა და ენერჯის გადაცემის სიჩქარეები

ელექტრული დენი რომ დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობაა, შეიძლება დაემატიცოთ ცდით. თუ მაგალითად, ლითონის სადენის ბოლოებზე ელექტრული დენის მეტად მგრძობიარე ხელსაწყოს, გაღვანომეტრს ჩაერთაოთ, ლითონის სადენს დიდი სისწრაფით დაეაბრუნებთ და სწრაფად დაეამუხტებთ, დამუხტულების დროს გაღვანომეტრის ისარი დენის აღძერას დააფიქსირებს. ეს იმით აიხსნება, რომ სადენში დამუხტული ნაწილაკები დამუხტულებისას ინერციით აგრძელებენ მოძრაობას, ანუ აღძერება დენი. ზოგადად, ელექტრულ დენს გადააქვს ენერჯია და ისმის კითხვა, რა სიჩქარით მოძრაობს მუხტი და რა სიჩქარით ვრცელდება ენერჯია?

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად მოვიყვანოთ რამდენიმე, მარტივად წარმოსადგენი მაგალითი.

ავილოთ ძაფზე დაკიდებული რამდენიმე ერთნაირი ბურთულა ისე, რომ ისინი ერთმანეთს ეხებოდნენ. ერთ-ერთი კიდურა ბურთულა გადაეხაროთ წონასწორობის მდგომარეობიდან (წყვეტილით მარცხნივ) და გავათავისუფლოთ.



დაეჯახება რა იგი გაწონასწორებულ ბურთულას, დანარჩენების ქმედებები ერთმანეთს გადაეცემა და თითქმის უძრავნი დარჩებიან, მეორე კიდურა ბურთულა კი გადაიხრება წონასწორობის მდგომარეობიდან (წყვეტილით მარჯვნივ). ანალოგიურად ამისა, სადენში დენის გავლისას დამუხტული ნაწილაკები, რომელთა მოძრაობა იძულებით ხდება (და რა მექანიზმით — აეხსნით შემდეგ), ეჯახებიან ერთმანეთს და გადასცემენ ენერჯიას. თვითონ კი პრაქტიკულად უძრავნი რჩებიან. ენერჯია ვრცელდება მეტად მაღალი სიჩქარით (300 000 კმ/წმ) და შეიძლება ვთქვათ, რომ მყისიერად, როცა მისი გადამტანი მოძრავი მუხტის სიჩქარე მეტად დაბალია (რამდენიმე მმ წამში).

მეტი სიცხადისათვის მოვიყვანოთ კიდევ ერთი მაგალითი. ვთქვათ, წყალმომარაგების სისტემის რამდენიმე ათეული მეტრი სიგრძის მილი წყლით სავსეა, მაგრამ წყლის გადამქაჩი ტუმბო ჩართული არ არის და ონკანიდან წყალი არ გამოედინება. როცა მილის ერთ ბოლოში დამონტაჟებული ტუმბო ჩაირთება, წყლის წნევა მილის მეორე ბოლოში თითქმის მყისიერად აიწევს, მაგრამ წყლის ის მასა, ის ნაწილაკები, რომელიც ტუმბოში გადის, გარკვეული დროის შემდეგ მიაღწევს მილის მეორე ბოლოს. სავსებით ანალოგიურად განიხილება დენიან სადენში დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობისა და ელექტრული ენერჯის გადაცემის სიჩქარეები.

2.5. თავისუფალი მუხტი

გავეცანით დამუხტულ ნაწილაკს, როგორც ატომის შემადგენელ ელემენტს. და ერთი შეხედვით, ელექტრონი როგორც განსხვავებული ნიშნის მუხტი უნდა მიიზიდებოდეს პროტონის მიერ, ეცემოდეს მასზე და ატომი წყვეტდეს არსებობას, მაგრამ ეს ასე არ არის. პროტონები და ელექტრონები ერთმანეთთან სხვანაირად არიან დაკავშირებული.

ზოგიერთ ნივთიერებაში დამუხტულ ნაწილაკებს შორის კავშირი მყარია, ზოგიერთში სუსტი. ეს კავშირი ყველაზე სუსტია ლითონის ატომებში. ლითონის ატომში ატომშირთვის ირგვლივ მბრუნავი ელექტრონი შეიძლება მოწყდეს საკუთარ ორბიტას და იმოძრაოს მანამ, სანამ არ აღმოაჩენს ელექტრონაკლულ ატომს. ეს პროცესი ლითონში განუწყვეტლივ მიმდინარეობს და ყოველთვის არსებობს ორბიტას მოწყვეტილი ელექტრონები. ამ ელექტრონებს ეწოდება თავისუფალი. აღსანიშნავია, რომ თავისუფალი ელექტრონები თავისთავად არ ტოვებენ ლითონს და ლითონი არ რჩება დამუხტულ მდგომარეობაში.

გარდა პროტონისა და ნეიტრონისა, დამუხტული ნაწილაკი არსებობს სხვა სახითაც. გავეცნოთ ამ ნაწილაკებს. ვთქვათ ატომი ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკია, მაგრამ იგი არ განსაზღვრავს ამ ნივთიერების ქიმიურ თვისებებს. ნივთიერების ქიმიური თვისებების განმსაზღვრელ უმცირეს ნაწილაკს წარმოადგენს მოლეკულა და იგი არსებობს მარტივი და რთული. თუ მოლეკულა ერთი ნივთიერების ატომებისაგან შედგება, მას ეწოდება მარტივი. რთული მოლეკულა წარმოადგენს ელექტროწონასწორობადარღვეულ სხვადასხვა ნივთიერების ატომების ერთობლიობას. მაგალითად, ჩვენთვის კარგად ცნობილი სუფრის მარილის ($NaCl$) მოლეკულა წარმოადგენს ლითონის (ნატრიუმი) ელექტრონაკლული ატომისა და გაზის (ქლორის) ჭარბელექტრონიანი ატომის ერთობლიობას. ეს დამუხტული ნაწილაკები (Na^+) და (Cl^-) ერთმანეთთანაა დაკავშირებული და შექმნილი. ახალი ნივთიერების მოლეკულა ყველანაირი თვისებით განსხვავდება მისი შემადგენელი ელემენტებისაგან. მაგალითად, აგრეგატული მდგომარეობით ქლორი გაზია და სუფრის მარილი კი მყარი ნივთიერებაა. ქიმიური თვისებებით ნატრიუმიც და ქლორიც მომწამვლელი ნივთიერებებია - სუფრის მარილი კი ორგანიზმისათვის აუცილებელი ნივთიერებაა.

ელექტროტექნიკაში განიხილება ნატრიუმის დადებითნიშნიანი ატომისა და ქლორის უარყოფითნიშნიანი ატომის კავშირი. ეს კავშირი საკმაოდ მყარია და მარილის მოლეკულა ინარჩუნებს ელექტრონეიტრალურ მდგომარეობას. ახლა თუ მარილს წყალში გაეხსნით ზემოთ აღნიშნული მყარი კავშირი

დაირღვევა და (Na^+) და (Cl^-) ნაწილაკები ერთმანეთისაგან განცალკევდებიან. ამ განცალკევებულ, დამუხტულ ნაწილაკს იონი ეწოდება. როგორც აქედან ჩანს, იონი შეიძლება იყოს როგორც დადებით, ისე უარყოფითნიშნისანი.

ლითონში ორბიტამოწვევით ელექტრონს და მარილთა წყალხსნარებში ერთმანეთისგან განცალკევებულ იონებს თავისუფალი მუხტები ეწოდება.

2.6. გამტარი, არაგამტარი და ნახევარგამტარი გარემო

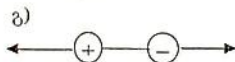
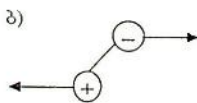
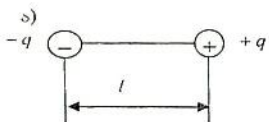
ელექტრული დენის განმარტებით იგი დამუხტული ნაწილაკის მიმართული მოწვესრიგებული მოძრაობაა.

ადვილი მისახვედრია, რომ თავისუფალ მუხტს თავისუფლად გადაადგილება შეუძლია (რა პირობებით შემდეგში განვიხილავთ); ამიტომ გარემოს, ანუ ნივთიერებას, რომელშიც არსებობს თავისუფალი მუხტი, გამტარი გარემო ეწოდება. თავისუფალი მუხტის სახიათის მიხედვით გამტარი არსებობს ორი სახის: პირველი და მეორე რიგის გამტარები. პირველი რიგის გამტარებში თავისუფალი მუხტი ელექტრონია, მათ რიცხვში შედის ლითონები და მათი შენადნობები. მეორე რიგის გამტარებში თავისუფალი მუხტი იონია. მეორე რიგის გამტარებია მარილთა წყალხსნარები, მჟავები და ტუტეები; მათ სხვაგვარად ელექტროლიტებს ეძახიან. მეორე რიგის გამტარია აგრეთვე იონიზირებული აირი. გაზის იონიზაციას ანუ მისი ელექტრონიტრალური მოლეკულის იონებად დაშლას წყალში გახსნა ვერ იწვევს. გაზის იონიზაციისათვის საჭიროა სხვა პირობები.

არაგამტარ გარემოშიც არსებობს დამუხტული ნაწილაკი, მაგრამ იგი თავისუფალი არ არის და თუ ამ გარემოში იგივე პირობებს შეექმნით, რომელიც გამტარ გარემოში დენს აღძრავდა, მაშინ არაგამტარ გარემოში დენი არ აღიძვრება.

არაგამტარ გარემოს ელტექნიკურ ენაზე დიელექტრიკი ან იზოლატორი ეწოდება. დიელექტრიკში დამუხტული ნაწილაკები დაწყვილებული არიან სიდიდით ტოლი და საწინააღმდეგო ნიშნისანი, ერთმანეთთან დაკავშირებული მუხტების სახით (ნახ. ა). ერთ ასეთ წყვილს ეწოდება დიპოლი. l მანძილს ($+q$) მუხტსა და ($-q$) მუხტს შორის ეწოდება დიპოლის მხარი, ხოლო მუხტებს - ბმული მუხტები.

ჩვეულებრივ მდგომარეობაში დიპოლები ქაოსურად არიან განლაგებული არაგამტარში და ასრულებენ



სითბურ ქაოსურ მოძრაობას. ასეთი მოძრაობის დროს ენერჯიის გადაცემა არ ხდება.

ახლა თუ არაგამტარში შეექმნით იმავე პირობებს, რაც გამტარებში დენს აღძრავდა, მათი გავლენით დადებითმა მუხტმა უნდა იმოძრაოს ერთი მიმართულებით, უარყოფითმა – საწინააღმდეგოდ. დიპოლზე იმოქმედებს მბრუნავი მომენტი (ნახ. ბ), ამ მომენტის გავლენით დიპოლი მობრუნდება, იგი დაიკავებს გარკვეულ ორიენტაციას (ნახ. გ). ნახ. ბ და გ-ზე ისრებით ნაჩვენებია მუხტების მოძრაობის გამომწვევი ძალის მიმართულებები, რომლებიც დარჩება დიპოლის ორიენტაციის შემდეგაც, მაგრამ იგი ეერ ძლევს დიპოლის მუხტებს შორის კავშირის ძალას და დიპოლი რჩება უძრავი, ანუ დენი არ აღძვრება. დიპოლთა ორიენტაციის ამ პროცესს ეწოდება პოლარიზაცია.

აღსანიშნავია, რომ პოლარიზაციის პროცესში დიპოლთა საორიენტაციო ბრუნვა დამუხტულ ნაწილაკთა მიმართული მოძრაობაა, ე.ი. არაგამტარში პოლარიზაციის დროს აღძვრება დენის განსაკუთრებული ფორმა. ამ დენს წანაცვლების დენი ეწოდება.

არაგამტარ მასალებში დენის არაღძვრის აღწერილი მექანიზმი მეტად მარტივადაა გადმოცემული. ელექტროტექნიკაში საინტერესოა არაგამტარი მასალის მთელი რიგი ელექტრული თვისებები, მაგალითად, შეიძლება რომ დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის გამომწვევმა ძალებმა გადაამეტონ ბმულ მუხტებს შორის არსებულ კავშირის ძალას და გახლიჩონ დიპოლი. მაშინ ბმული მუხტები გახდებიან თავისუფალი, ხოლო არაგამტარი – გახდება გამტარი. ამ მოვლენას გარღვევა ეწოდება. გარღვევის თვალსაზრისით არაგამტარების ელექტრული მახასიათებელია მისი ელექტრული სიმტკიცე.

ნახევარგამტარ გარემოს საშუალებდო მდგომარეობა უკავია გამტარებს და არაგამტარებს შორის და განიხილება ელექტრონიკის სფეროში. ელექტროტექნიკაში ნახევარგამტარი განიხილება მისი იმ თვისებით, რომ გამტარია დენის ერთი მიმართულებისათვის და იზოლატორი საწინააღმდეგო მიმართულებისათვის. ამ თვალსაზრისით შემოთავაზებულია ნახევარგამტარ გარემოს, ელექტროტექნიკაში, ცალმხრივ გამტარი ეუწოდოთ.

2.7. დიელექტრიკი პრაქტიკაში

რამდენადაც ელექტროტექნიკაში დენის აღძვრისა და გატარების პირობები განიხილება, ბუნებრივია ვიფიქროთ, რომ ამ სფეროში მეტი როლი ენიჭება გამტარებს, ვიდრე არაგამტარებს. არაგამტარები ხომ დენს არ ატარებენ, მაგრამ არაგამტარი რომ არ არსებობდეს, ანუ ყველაფერი რომ დენს ატა-

რბდეს, ელექტრობა, ელექტრული დენი და შესაბამისად ელექტროტექნიკაც, საერთოდ ვერ იარსებებდა. ვერ შეეძლებდით სხეულთა დამუხტვას, ანუ დადებითი და უარყოფითი მუხტების ცალკე-ცალკე დაგროვებას. აქედან გამომდინარე, არაგამტარის როლი ელექტროტექნიკაში თითქმის იგივეა, რაც გამტარებისა, განიხილება იმავე ინტერესით და იმავე აუცილებლობით.

არაგამტარებს, ანუ საიზოლაციო მასალებს გააჩნიათ სხვადასხვა დანიშნულება. ამ მასალებით ხდება ელგამტარი სადენების ერთმანეთისაგან განმხოლოება, სადენების მექანიკური დამაგრება საყრდენზე, სადენების დაცვა წვიმისა თუ მზისაგან, მიწისქვეშა კაბელების დაცვა იზოლირებული მილებით და ა.შ.

ელექტროსაიზოლაციო მასალებს მრავალი და მრავალგვარი მოთხოვნები წარედგინებათ. მაგალითად, საკმარისი ელექტრული სიმტკიცე, დაბალი გამტარობის თვისება, ელექტრული და მექანიკური პარამეტრების მაღალი სტაბილურობა, ქიმიური და სითბური მდგრადობა და ა.შ.

ცხრილში ნაჩვენებია ზოგიერთი დიელექტრიკული მასალის ელექტრული პარამეტრები: ϵ - დიელექტრიკული შეღწევადობა და E გამრღვევი დაძაბულობა.

დიელექტრიკი	ϵ	E კვ/მმ
ჰაერი	1	3
ზეთში გაჟღენთილი ქაღალდი	3,6	10,4
პოლივინილქლორიდი	3,2	32
რეზინი	3 - 6	15 - 20
მინა	6 - 10	10 - 15
ქარსი	5,4	50 - 100
გეტინაქსი	4 - 7	10 - 15
მიკანიტი	5 - 6	15 - 40
სოფული	5,3	15
ტრანსფორმატორის ზეთი	2 - 18	5 - 18
ფაიფური	5,5	15 - 20
ელექტროსაიზოლაციო მუყაო	3 - 5	8 - 12

ეს მასალები შეიძლება დავეოთ სხვადასხვა ნიშანთვისების მიხედვით; აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით ისინი გვხვდება და გამოიყენება სამივე აგრეგატულ მდგომარეობაში; ქიმიური თვისებების მიხედვით იყოფა კლასებად და ა.შ.

ა) აირისებრი დიელექტრიკები - აირისებრი დიელექტრიკებიდან მთავარია ჰაერი. მისი ელექტრული სიმტკიცე ნაკლებია, თხევად და მყარ დიელექტრიკებთან შედარებით.

სხვა აირებიდან საიზოლაციოდ გამოიყენება წყალბადი, ნახშირმჟავა აირი, აზოტი და ინერტული გაზები: არგონი, ნეონი და სხვა.

ბ) თხევადი დიელექტრიკები - თხევად დიელექტრიკებში შედის: მინერალური ზეთები, სინთეზური სითხეები, ფისები, ლაქები, გამოხდილი წყალი და სხვა.

მინერალური ზეთები ნავთობის გადამუშავების პროდუქტებია და წარმოადგენს თხევადი ნახშირის ნარევეს. ისინი გამოიყენება ზეთიან ტრანსფორმატორებში, ზეთიან ამომრთველებში, კაბელებში, კონდენსატორებში.

ტრანსფორმატორებში ზეთს მრავალი ფუნქცია ენიჭება. მისი საშუალებით ხდება ტრანსფორმატორის დენგამტარი ნაწილების განმხოლოება, ტრანსფორმატორის გრაგნილების გაგრილება ზეთის ცირკულაციის გზით. კაბელებში ზეთი გამოიყენება ქაღალდის იზოლაციის გასაჟღენთად.

ზეთს უნდა ჰქონდეს მაღალი ელექტრული სიმტკიცე. რაც მკვეთრად ეცემა მისი ტენიანობის გაზრდის დროს, ამის გამო ექსპლუატაციის პროცესში ზეთი პერიოდულად უნდა გაეაშროთ და გაეასუფთაოთ.

ხელოვნური თხევადი დიელექტრიკია სოეული, რომელიც წარმოადგენს სხვადასხვა ხარისხის დაქლორილი დიფინელის მოლეკულების ნარევეს და ხშირად გამოიყენება ზეთის მაგიერად. კონდენსატორებში სოეულის გამოყენება ორჯერ ზრდის მის ელექტრულ პარამეტრს - ტევადობას.

ტრანსფორმატორების შესავსებად გამოიყენება ე.წ. სოეტული. იგი უწვავია და ამის გამო დიდი გამოყენება აქვს.

ფისი დაბალ ტემპერატურაზე ამორფული მინის მსგავსი მასაა. გაცხელებისას იგი რბილდება და ხდება მოქნილი, ხოლო შემდეგ თხევადი. ფისი იხსნება წყალსა და სპირტში. ფისი ერთ-ერთი უმთავრესი ნაწილია მრავალი ლაქისა და პლასტიკის შემადგენლობაში.

ბუნებრივი ფისი ზოგიერთი მწერის ცხოველმოქმედების ან ფისოვანი მცენარეების პროდუქტია. დიდი მნიშვნელობა აქვს სინთეზურ ფისებს, რომლებზეც დამზადებული პლასტიკები გამოიყენება სადენებისა და კაბელების საიზოლაციოდ და ლაქების დასამზადებლად.

ლაქები წარმოადგენს აფსკწარმომქმნელი თვისებების მქონე: ფისების, გუდრონის და სხვათა ხსნარებს. შრომის პროცესში წარმოიქმნება ლაქის აფსკი. ლაქები გამოიყენება სხვა საიზოლაციო მასალების გასაჟღენთად ტენისა და ქიმიურად აქტიური გარემოსაგან დაცვის მიზნით, ქაღალდის ან ქსოვილის შესაწებებლად და ა.შ.

გ) მყარი დიელექტრიკები - მყარი დიელექტრიკები საიზოლაციო მასალების ყველაზე დიდი ჯგუფია. ესენია: 1) ბოტკოვანი ორგანული მასალები - ქაღალდი, მუყაო, ქსოვილი, ფიბრა, გეტინაქსი. გეტინაქსი წარმოადგენს დაწნეხილი ქაღალდის მრავალ ფენას, რომელიც გაუდენთილია ბაკელიტის

ლაქში. 2) პლასტმასები - ეს არის მასალები, რომლებიც შედგებიან ორი ნაწილისაგან - შემავსებლისა და მაკაეშირებლისაგან. მაკაეშირებლად გამოიყენება პოლიმერები, თხევადი მინა და ცემენტი. 3) ელასტომირები - ეს არის მასალები, რომლებსაც ახასიათებთ ელასტიკურობა, ანუ მათ აქვთ ძალური გაჭიმვის უნარი. ესენია ნატურალური და სინთეზური კაუჩუკი, რეზინი - რომელიც მიიღება კაუჩუკში გოგირდის შეყვანით და შემდეგ ვულკანიზაციით. უკანასკნელ დროს რეზინი იცვლება ელასტიკური პლასტმასებით. 4) მინა მიიღება კაუმიწის, ნატრიუმის, კალიუმისა და კალციუმის ქანგეულების გამოდნობით. მინა ელექტროტექნიკაში გამოიყენება კოლბების, ნათურებისა და ელექტრომილაკების დასამზადებლად. 5) ელექტროფაიფური მზადდება კაოლინის, ცეცხლგამძლე თიხის, კვარცისა და მინდვრის შპატისაგან. ფაიფურს აქვს მაღალი მექანიკური და ელექტრული სიმტკიცე. 6) ქარსი - ეს არის კრისტალური სტრუქტურის მინერალი, იგი ადვილად იხლინება თხელ ფურცლებად, არის ცეცხლგამძლე და ტენზდგრადი. მიკანიტი წარმოადგენს ლაქით ან ფისით შეწებებულ ქარსის ფურცლებს. 7) პარაფინი არის ნავთობის გადამუშავების პროდუქტი. გამოიყენება ქალაღდის, მუყაოსა და ხის გასაუღენთად.

ბოლო დროს ფართოდ იწერება და გამოიყენება ახალი ორგანული და პოლიმერული მასალები, რომლებსაც ახასიათებთ მეტად მაღალი ელექტრული სიმტკიცე, სიმსუბუქე, მოქნილობა და მთელი რიგი ელექტრული და მექანიკური თვისებები, რომლებიც აადვილებს მათ გამოყენებას და ელექტრულ სისტემებსაც უფრო საიმედოსა და მდგრადს ხდის.

განვიხილოთ მაგალითი. განვსაზღვროთ იზოლატორის მასალა და სისქე, რომელმაც უნდა უზრუნველყოს საიმედო იზოლაცია ერთმანეთზე დადებულ ორ ელექტროდს შორის, თუ ძაბვა ამ ელექტროდებს შორის 10 კვ-ის ტოლია.

ამოხსნა

იმისათვის, რომ ელექტროდანადგარების მუშაობა იყოს საიმედო, როგორც წესი, მიღებულია გამრღვევი ძაბვა მუშა ძაბვაზე მეტი იყოს არანაკლებ 3-ჯერ, ე.ი. ჩვენს შემთხვევაში უნდა ავირჩიოთ საიზოლაციო მასალა, რომლის გამრღვევი ძაბვა $10 \cdot 3 = 30$ კვ-ის ტოლია. ავირჩიოთ ზეთში გაუღენთილი

ქალაღდი, რომლის გამრღვევი დაძაბულობა $E = 10,4 \frac{\text{კვ}}{\text{მმ}}$, მაშინ

$$\text{მისი სისქე უნდა იყოს } d = \frac{U_{\text{გამრღ}}}{E} = \frac{30}{10,4} = 2,88 \text{ მმ.}$$

თავი III. მუდმივი დენის ელექტრული წრელები

3.1. ელექტრული დენის სახეები. დენის ძალა.

როგორც აღვნიშნეთ სითბური ქაოსური მოძრაობის დროს დამუხტულ ნაწილაკს ენერგია არ გადააქვს, ეს პროცესი შესრულდება თუ მივალწევთ მათ მიმართულ მოწესრიგებულ მოძრაობას. მოძრაობის ამ ფორმას ელექტრული დენი ეუწოდეთ.

დენის რაოდენობრივი მახასიათებელია ფიზიკური სიდიდე - დენის ძალა. იგი მექანიკაში განხილული ძალისაგან პრინციპულად განსხვავებული სიდიდეა. მექანიკური ძალა ვექტორული სიდიდეა, ანუ გააჩნია მიმართულება, მაშინ როდესაც დენის ძალა სკალარული სიდიდეა, ანუ ხასიათდება მხოლოდ სიდიდით და მიმართულება არ გააჩნია.

ზემოთ ჩვენ ვახსენეთ დენის მიმართულება და აღვნიშნეთ, რომ დენის დადებით მიმართულებად მიღებულია დადებითად დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობის მიმართულება, ანუ უარყოფითი ნიშნის მქონე ნაწილაკის, ელექტრონის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება, მაგრამ ეს არ არის დენის ძალის მიმართულება. დენის ქმედება ფასდება მხოლოდ მისი სიდიდით და არა მიმართულებით.

ერთეულთა SI სისტემაში დენის ძალის ერთეულია ამპერი.

პრაქტიკაში გამოიყენება მისი ჯერადი ერთეულები:

1000 ამპერი=10³ ამპერი - კილოამპერი (კა);

$\frac{1}{1000}$ ამპერი=10⁻³ ამპერი - მილიამპერი (მა);

$\frac{1}{1000000}$ ამპერი=10⁻⁶ ამპერი - მიკროამპერი (მკა) და

სხეები.

ამპერზე რომ წარმოდგენა გვქონდეს, მოვიყვანოთ ზოგიერთ ელტექნიკურ დანადგარში გამავალი დენის ძალის მნიშვნელობები:

ჯიბის ფანარი - 0,07 ა=70 მა;

ტელევიზორი - 0,7 ა=700 მა;

ელექტრონათურა - (0,027 - 0,9) ა;

ელექტროუთო - 3,6 ა;

ელექტროქურა - 7 ა;

მეტროს ვაგონი - 150 ა;

ელშემდუღებელი აპარატი - 300 ა.

მუხტის მოძრაობის ხასიათის მიხედვით არსებობს დენის ორი ძირითადი სახე: მუდმივი და ცვლადი. თუ მუხტის სიდიდე და მოძრაობის მიმართულება არ იცვლება, მაშინ დენს ეწოდება მუდმივი. მუდმივი დენის შემთხვევაში დენის ძალა

ინგარიშება ფორმულით: $I = \frac{q}{t}$, სადაც q , t დროში გადატანილი მუხტის სიდიდეა.

როგორც ვიცით ერთეულთა SI სისტემაში მუხტის ერთეულია კულონი. დროის - წამი. გვექნება:

$$1 \text{ ამპერი} = \frac{1 \text{ კულონი}}{1 \text{ წამი}};$$

ე.ი. მუდმივი დენისათვის 1 ამპერი ნიშნავს, რომ გამტარის განიკვეთში 1 წამის განმავლობაში გადაიტანება 1 კულონი მუხტი.

არსებობს ამპერის სხვაგვარი განმარტებაც. იგი გამომდინარეობს დენის იმ თვისებიდან, რომ გამტარები, რომლებშიც გადის ერთი მიმართულების დენი განიზიდებიან, ხოლო როცა დენის მიმართულებები სხვადასხვაა - მიიზიდებიან (დენის ამ თვისებას შემდეგში განვიხილავთ). ამ შემთხვევაში ამპერი განიმარტება შემდეგნაირად:

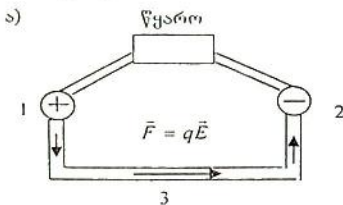
1 ამპერი ისეთი მუდმივი დენის ძალაა, რომელიც ვაკუუმში ერთმანეთისაგან 1 მ-ით დაშორებულ ორ პარალელურ, უსასრულოდ გრძელ გამტარში გავლისას სიგრძის ყოველ მეტრზე იწვევს $2 \cdot 10^{-7}$ ნიუტონის გოლ ურთიერთქმედების ძალას.

თუ გამტარ გარემოში მუხტის რაოდენობა იცვლება, მაშინ აღიძვრება ცვლადი დენი. იგი განიმარტება მუხტის ნაზრდის (Δq) ფარდობით დროის იმ შუალედთან (Δt), რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა, $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

ცვლადი დენი დროში ცვალეზადი სიდიდეა და მის მნიშვნელობას დროის ალებულ მომენტში მყისი მნიშვნელობა ეწოდება. ეს სიდიდე პატარა ასოთი აღინიშნება (i).

3.2. დენის არსებობის პირობა

დავუბრუნდეთ ორი სხვადასხვა ნიშნით დამუხტული ბურთულის განმუხტვის მოვლენას, თუ მათ შევაერთებთ 1 - 3 - 2 გამტარით (ნახ. ა).



აღვნიშნეთ, რომ დენის დადებით მიმართულებად არჩეულია უარყოფითნიშნიანი დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება, მაშინ თუ მოცემულ შემთხვევაში დენი მიმართულია 1 ბურთულიდან მეორისაკენ, ანუ (+)-დან (-) -საკენ

მაშინ:

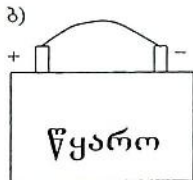
1 წერტილის ველის პოტენციალი ϕ_1 მეტია 2 წერტილის ველის პოტენციალზე და დენი მიმართულია მაღალი პოტენციალის წერტილიდან დაბალი პოტენციალის წერტილისაკენ, მაგრამ ჩვეულებრივ პირობებში გადამუხტვის პროცესი მალე შეწყდება, ანუ 1 - 2 ბურთულები ელექტრონიტრალური გახდება და არ იარსებებს მათ შორის პოტენციალთა სხვაობა. შესაბამისად შეწყდება დენიც.

იმისათვის, რომ 1 - 3 - 2 გამტარში დენმა იარსებოს მუდმივად, ანუ მუხტები მოძრაობდნენ განუწყვეტლივ, საჭიროა ეს გამტარი მიერთებული იყოს ისეთ მოწყობილობასთან, რომელშიც მოქმედი გარე ძალები განაპირობებდნენ მუხტების ცირკულაციას შეკრულ კონტურში. ე.ი. გარე წრედში თუ დენს აქვს 1 - 3 - 2 მიმართულება, ამ მოწყობილობაში დენს ექნება საწინააღმდეგო მიმართულება 2-დან 1-კენ.

ცხადია, რომ აღნიშნულ მოწყობილობაში, რომელსაც შემდგომ ეუწოდებთ წყაროს, მუხტის აღნიშნული მიმართულებით მოძრაობას ვერ გამოიწვევს ელექტრული ძალები, აქ საჭიროა სხვა არაელექტრული გარე ძალები. ამ ძალების არსებობის აუცილებლობა გამომდინარეობს ენერგიის მუდმივობის კანონიდანაც. მართლაც, თუ განმუხტვის პროცესში შემაერთებელი გამტარი თბება და გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მოძრავი მუხტის მუშაობის შედეგია, მაშინ ბუნებრივია ეთქვას, რომ მოძრაობის პროცესში დამუხტული ნაწილაკი კარგავს ენერგიას, დახარჯავს ბოლომდე და გაჩერდება. ეს რომ ასე არ მოხდეს, დამუხტულმა ნაწილაკმა უნდა შეივსოს დაკარგული ენერგია და გააგრძელოს მოძრაობა. ენერგიის შევსება ხდება გარე ენერგიების ხარჯზე, იმ მოწყობილობიდან, რომელსაც ჩვენ ზემოთ დენის წყარო ეუწოდეთ.

გარე ძალების მოქმედება ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც წყაროს ემპ ეწოდება. ეს არის სიდიდე, რომელიც ტოლია გარე ძალების მიერ წრედის გასწვრივ მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტის სიდიდესთან. წყაროს ემპ-ს აღნიშნავთ E ასოთი და

$$\text{გვაქვს: } E = \frac{A}{q} \quad (\text{წყაროს } E \text{ ემპ-ს და}$$



ველის E 'დაძაბულობას შორის საერთო არ არსებობს, უბრალოდ ეს სიდიდეები აღნიშნულია ერთი ასოთი).

ნახ. ა-ზე აღებულ მოდელში 1 და 2 ბურთულებს წყაროს ელექტროდებს, ანუ პოლუსებს ეუწოდებთ და შეიძლება გამოვხაზოთ უმარტივესი ელექტრული

წრედის სურათი (ნახ. ბ). ელექტროლების შემაერთებელ გამტარს ეწოდება გარე წრედი, ხოლო წყაროს - შიგა წრედი.

დენის წყაროს ემძ ტოლია იმ მუშაობისა, რომელსაც ასრულებენ გარე ძალები წყაროს ერთი ელექტროდიდან მეორეზე ერთეულმოვანი დადებითი მუხტის გადატანისას.

იმისდა მიხედვით თუ რა სახის ენერგიის ხარჯზე ხდება წყაროდან მოძრავი მუხტის გაცემული ენერგიის შევსება, არსებობს დენის ქიმიური (ბატარეის ელემენტი, აკუმულატორი), მექანიკური (გენერატორები) წყაროები, მზის ბატარეები და ა.შ. მათ მოწყობილობასა და მოქმედების პრინციპს შემდეგ გავეცნობით.

3.3. ელექტრული წრედი

ზემოთ აღწერილი შეკრული ციკლი პრინციპული ელექტრული წრედია, მაგრამ არაფერი გვითქვამს აღძრული დენის სიდიდეზე, შესრულებული მუშაობის რაოდენობაზე, წრედის სირთულესა და სიმარტივეზე, მის მახასიათებლებზე და ა.შ. მოკლედ, არ ჩაგვიტარებია რაოდენობრივი ან ტექნიკური ანალიზი, არ ჩამოგვიყალიბებია რაიმე კანონი, რომელსაც ემყარება ყველა ზემოთ ნახსენები ელექტრული პროცესი. ამ ანალიზის დაწყებამდე ჯერ უფრო ღრმად შევეხოთ ელექტრულ წრედს, გავეცნოთ მის შემადგენელ ნაწილებს და მოვიყვანოთ მათი ელექტრული პარამეტრები.

ელექტრული წრედი იმ ელტექნიკურ დანადგართა ერთობლიობაა, რომელთა დანიშნულებაა შექმნას შეკრული გზა ელექტრული დენისათვის. ელტექნიკური დანადგარები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: წყაროები და მომხმარებლები. წყაროებში ხდება არაელექტრული ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნა, ხოლო მომხმარებელში ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება მომხმარებლისათვის საჭირო სახის ენერგიად.

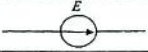
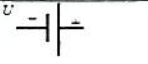
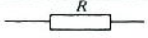
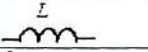



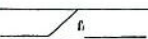
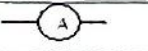
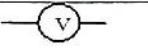
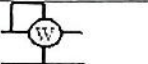
უმეტეს შემთხვევაში, წყაროსა და მომხმარებელს შორის ირთვება საშუალებო რგოლები, რომელთაც სხვადასხვა როლი ეკისრებათ; მაგალითად: ენერგიის გადაცემა შორ მანძილზე (გადამცემი ხაზი), ელექტრული სიგნალების შეთანხმება წყაროსა და მომხმარებელს შორის (ტრანსფორმატორი, გამმართველი, ინვენტორი და ა.შ.), ელექტრული სიდიდეების გაზომვა და სიდიდის კონტროლი (ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ვატმეტრი და სხვა), მომხმარებელთა ჩართვა-გამორთვა პროგრამული მართვა და ა.შ. არის შემთხვევები, როცა წყაროსა და მომხმარებელს შორის ჩართული მოწყობილობა საკმაოდ რთულია და შეიძლება განვიხილოთ როგორც ცალკე დამოუკიდებელი ელექტრული წრედი. ასეთ შემთხვევაში მთლიან ელექტრულ წრედს წარმოვადგენთ ერთმანეთთან

შეერთებული ცალკეული რგოლების სახით. ასე შეერთებულ მთლიან წრედს კასკადური ან ჯაჭვური წრედი ეწოდება.

3.4. ელექტრული წრედის სქემა. მარტივი და რთული წრედები

თუ ელექტრული წრედის შემადგენელ ელემენტებს ცალკეული გრაფიკული სიმბოლოებით წარმოვადგენთ და ნახაზზე ვაჩვენებთ მათი შეერთების წესს, მივიღებთ ელექტრული წრედის გრაფიკულ გამოსახევას, რომელსაც ელექტრული წრედის სქემა ეწოდება.

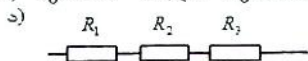
მოვიყვანოთ ზოგიერთი ელტექნიკური ელემენტის გრაფიკული სიმბოლო:

	- წყარო, სადაც ისრით ნაჩვენებია ენერჯიის გადაცემის მიმართულება.
	- წყარო, რომელზე პირობითად მინიშნებულია მისი დადებითი და უარყოფითი პოლუსები. წყაროს ეს აღნიშვნა გამოიყენება მუდმივი ძაბვის წყაროებისათვის.
	- წინაღობა, ანუ მომხმარებელი, რომელშიც ელექტრული ენერჯია იხარჯება.
	- ინდუქციურობა - ელემენტი, რომელშიც გროვდება მაგნიტური ველის ენერჯია.
	- კონდენსატორი - ელემენტი, რომელშიც გროვდება ელექტრული ველის ენერჯია.
	- ტრანსფორმატორი, რომელსაც შეუძლია ცვლადი ძაბვა აამაღლოს ან დაადაბლოს.
	- ნახევარგამტარული დიოდი, რომელიც დენს ატარებს მხოლოდ ისრით ნაჩვენებ მიმართულებით.
	- ჩამრთველ ამომრთველი.
	- ამპერმეტრი - დენის საზომი ხელსაწყო. ირთვება წრედში მიმდევრობით.
	- ვოლტმეტრი ზომავს პოტენციალთა სხვაობას (ძაბვას) ორ წერტილს შორის და პარალელურად ირთვება ამ წერტილებს შორის.
	- ვატმეტრი - სიმძლავრის საზომი ხელსაწყო და სხვები, რომლებსაც შემდეგში გავეცნობით.

ელექტრული წრედის ელემენტები შეიძლება შეერთებულნი იყვნენ ერთმანეთთან სხვადასხვა წესით:

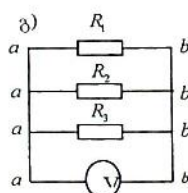
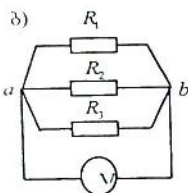
ა) მიმდევრობით შეერთება (ნახ. ა) - ერთი ელემენტის ბოლო უერთდება მეორის საწყისს, მეორის ბოლო მესამის საწყისს და ა.შ.

ბ) პარალელური შეერთება (ნახ. ბ) - თითოეული ელემენტის



საწყისები ერთ წერტილშია (ა) თავმოყრილი, ბოლოები მეორე წერტილში (ბ), პარალელური შეერთება შეიძლება დაიხაზოს სხვაგვარადაც (ნახ. გ).

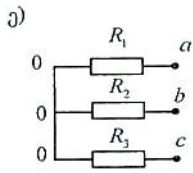
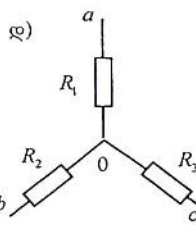
გ) ვარსკვლავური შეერთება abc წერტილებს



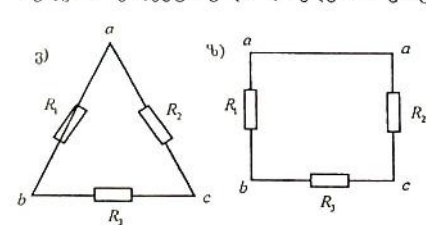
შორის R_1, R_2, R_3 წინააღობების თითოეული ელემენტის ერთი ბოლო თავმოყრილია ერთ წერტილში (0) მეორე ბოლოები თავისუფალია.

ვარსკვლავურად შეერთებული წრედი ელექტრულ სქემაზე შეიძლება დაიხაზოს ორი სახით: (ნახ. დ), (ნახ. ე).

დ) სამკუთხედად შეერთებ - abc წერტილებს შორის სამი R_1, R_2, R_3 წინააღობები ქმნიან შერეულ კონტურს და ელექტრულ სქემაზე იხაზება ორი სახით: (ნახ. ვ), (ნახ. ზ).



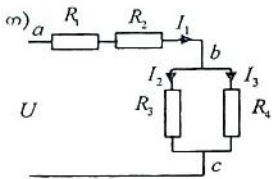
ე) მარტივი და რთული წრედები - შეერთების წესის მიხედვით ელექტრული წრედები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად, ესენია: მარტივი და რთული წრედები.



მარტივი წრედებში დენის განაწილება არ ხდება ელემენტების მიმდევრობით შეერთების დროს. ელექტრულ წრედს ეწოდება რთული, სადაც ხდება დენის თუნდაც ერთხელ

განაწილება. ასეთი წრედები შეიცავს როგორც მიმდევრობით, ისე პარალელურად შეერთებულ უბნებს. ნახ. თ-ზე ნაჩვენებია რთული წრედის ერთი მაგალითი. აქ R_1, R_2 წინააღობები

მიმდევრობითაა შეერთებული; R_3, R_4 პარალელურად; ab უბანი bc უბანთან - მიმდევრობით. b წერტილში I_1 დენი განშტოვდება I_2 და I_3 დენებად.

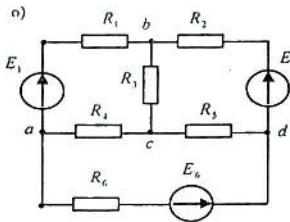


წრედის უბანს, რომელშიც გადის ერთი და იგივე დენი ეწოდება შტო, ხოლო იმ წერტილს, სადაც თავს იყრის სამი და მეტი შტო, კვანძი ეწოდება. ნახ. თ-ზე გვაქვს ორი კვანძი b და c . b კვანძში თავს იყრის სამი შტო aR_1R_2b ; bR_3c და bR_4c .

ელექტრული წრედების სქემებზე გვაქვს კიდევ ერთი ცნება - კონტური. კონტური ეწოდება ნებისმიერ შეკრულ გზას, რომელიც მიიღება წრედის ერთი წერტილიდან ამავე წერტილში დასაბრუნებლად ხელის აუღებლად ისე, რომ ერთი და იგივე შტოზე ორჯერ არ გავიაროთ.

კონტური შეიძლება იყოს დამოუკიდებელი. დამოუკიდებელი კონტურის შემოწერილ ზედაპირზე შტოები არა გვაქვს ჩართული.

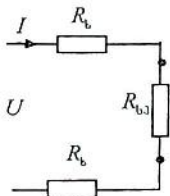
ნახ. ი-ზე ნაჩვენებ რთულ ელექტრულ წრედში გვაქვს ოთხი კვანძი ($a \dots$), ექვსი შტო ($a_1E_1R_1b \dots$), სამი დამოუკიდებელი კონტური ($a_1E_1R_1bR_3cR_4a \dots$).



დავალება: 1) წერტილებით ნაჩვენებ გამოტოვებულ ადგილებზე ჩასვით შესაბამისი განმარტებები.

დამოუკიდებელი კონტურების გარდა გვაქვს სხვა კონტურებიც, უჩვენეთ ისინი.

უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთ კონტურებს არ ეწოდება დამოუკიდებელი.



3.5. ელექტრული წინაღობა და გამტარობა

ელექტრული წინაღობა და გამტარობა ელექტრული წრედის შემადგენელი იმ ელემენტის ელექტრული პარამეტრია, რომელშიც ენერგია იხარჯება. ეს პარამეტრი აღნიშნულია R -ით. განვიხილოთ: რა ფიზიკური

შინაარსი აქვს წინაღობას, რა გავლენა აქვს მას ელექტრული წრედის მუშაობის რეჟიმზე.

რამდენადაც დენი დამუხტულ ნაწილაკთა მიმართული მოწესრიგებული მოძრაობაა, ხოლო გამტარებში ეს ნაწილაკები თავისუფალ მდგომარეობაშია შეიძლება ვიფიქროთ, რომ ზოგ ნივთიერებაში ეს ნაწილაკები მეტია, ზოგში კი ნაკლები. ამ ვარაუდზე პასუხის გასაცემად დავაკვირდეთ მარტივ ელტექნიკურ საყოფაცხოვრებო დანადგარს - ელექტროქურას. იგი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც U ძაბვაზე მიმდევრობით მიერთებული დენმიმცვანი სადენი R_1 , სპირალი R_2 და დენმიმცვანი მეორე სადენი R_3 . ჩავთვალოთ, რომ სამივე სადენის განივიკვეთი ერთნაირია. ერთნაირია აგრეთვე მათში გამავალი დენის სიდიდე. ეს იმას ნიშნავს, რომ თითოეულის განივიკვეთში დროის ერთსა და იმავე შუალედში გადატანილი მუხტის რაოდენობაც ერთნაირია. რაც შეეხება შესრულებულ მუშაობას - ხაზები არ თბება, სპირალი ვარვარებს, ე.ი. მათში ერთნაირი დენი ასრულებს სხვადასხვა მუშაობას. ლოგიკურია ვიფიქროთ, რომ შესრულებული მუშაობის სიდიდეს განსაზღვრავს გამტართა თვისება და ის არის მათი სტრუქტურული აგებულება.

გამტარ მასალაში დენის არსებობის დროს მოძრავი მუხტი ეჯახება მასალის კრისტალურ მესერს, სხვა მოლეკულებს და თავისი ენერჯიის ნაწილს გადასცემს მათ. ამის შედეგად გამტარი თბება. ზოგიერთ ნივთიერებაში, სხვა ერთნაირ პირობებში, დაჯახებების რიცხვი უფრო ინტენსიურია, ზოგში ნაკლები და ამ ინტენსივობით განისაზღვრება გამტარის ელექტრული პარამეტრი - წინაღობა. ცდებით დადგენილია, რომ გამტარის წინაღობა პირდაპირპროპორციულია l სიგრძისა და უკუპროპორციულია განივიკვეთის S ფართობისა და გამოისახება ფორმულით:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი ρ (რო) გამტარის მასალის გვარობის მახასიათებელია და კუთრი წინაღობა ეწოდება. თუ წინაღობის საანგარიშო ფორმულაში დავუშვებთ: $l=1$ და $S=1$, მივიღებთ $R = \rho$; ე.ი. კუთრი წინაღობა ერთეულოვანი სიგრძის და ერთეულოვანი განივიკვეთის გამტარის წინაღობაა. აღებული მასალისათვის იგი მუდმივი სიდიდეა. კუთრი წინაღობის მნიშვნელობები სხვადასხვა მასალებისათვის მოცემულია საცნობარო ლიტერატურაში.

კუთრი წინაღობის ერთეული გამოგვყავს წინაღობის ფორმულიდან განსაზღვრული გამოსახულებით: $\rho = \frac{RS}{l}$; წინალო-

ბის ერთეულია ომი; განიკვეთის ფართობის-მმ², სიგრძის-მეტრი, მაშინ კუთრი წინაღობის ერთეული იქნება

$[\rho] = \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $1\text{მმ} = 10^{-3}\text{მ}$ გვექნება:

$$[\rho] = \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ} \cdot \text{მმ}}{\text{მ}} = \frac{\text{ომი} \cdot 10^{-3}\text{მ} \cdot 10^{-3}\text{მ}}{\text{მ}} = 10^{-6} \text{ომი.მ}$$

ეს სიდიდეც კუთრი წინაღობის ერთეულია.

ქვემოთ, ცხრილში ნაჩვენებია ზოგიერთი გამტარის კუთრი წინაღობის, დნობის ტემპერატურისა და წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტის მნიშვნელობები, რომლებიც აღებულია საცნობარო ლიტერატურიდან.

მასალები	დნობის ტემპერატურა °C	კუთრი წინაღობა $\frac{\text{ომი მმ}^2}{\text{მ}}$ ან 10^{-6} ომი.მ	წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი $\frac{1}{\text{გრად}}$
სპილენძი	1083	0,0175	0,004
ალუმინი	657	0,029	0,004
ბრინჯაო	900	0,21 - 0,04	0,004
ვოლფრამი	3370	0,055	0,00464
კონსტანტანი	1200	0,4 - 0,51	0,000005
თითბერი	900	0,07 - 0,08	0,002
მანგანინი	960	0,42	0,00006
ნიქრომი	1360	1,1	0,00015
ფექრალი	1450	1,2	0,00005

რაც შეეხება გამტარობას, იგი წინაღობის შებრუნებული სიდიდეა, აღინიშნება G ასოთი და გვაქვს: $G = \frac{1}{R}$. გამტარობის საზომი ერთეულია $\frac{1}{\text{ომი}}$, რომელსაც ეწოდება სიმენსი (სიმ).

განვიხილოთ მაგალითები:

ამოცანა № 1

1) გარკვეული ტექნიკური მოსაზრებით საჭიროა გვექონდეს 40 - 45 ომი წინაღობის რეზისტორი. წინაღობის ზუსტი მნიშვნელობა უნდა შეირჩეს ექსპერიმენტით. როგორ მოვიქცეთ?

ამოხსნა

სასურველია დამზადებული რეზისტორი იყოს მცირე გაბარიტიანი, ამიტომ რეზისტორის მასალად შევირჩიოთ დიდი კუთრი წინაღობისა და მცირე კვეთის გამტარი. მაგალითად, ნიქრომი. ცხრილებიდან ვაღგენთ, რომ მისი კუთრი წინაღობა

$\rho = 1,1 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{გ}}$; სოლო კეთის დასადგენად გავზომოთ მისი

დიამეტრი d . მცირე დიამეტრის დიდი სიზუსტით გაზომვა შეიძლება, მაგრამ პრაქტიკულად მიღებულია ასეთი ხერხი: დავახვიოთ სადენი წრიულ ღეროზე მიჯრილად (10 - 20 ხვია) გავზომოთ შტანგენფარგლით მიჯრილი სპირალის სიგრძე და გავყოთ იგი ხვიების რიცხვზე. მივიღებთ ერთი ხვიის, ანუ აღებული სადენის დიამეტრს, ვთქვათ $d=0,5$ მმ. გეომეტრიის კურსიდან ცნობილია, წრის ფართობის საანგარიშო ფორმულა:

$S = \frac{\pi d^2}{4}$, სადაც π მუდმივი რიცხვია და უდრის 3,14; d არის

ამ წრის დიამეტრი, ჩვენს შემთხვევაში აღებული სადენის განიკვეთის დიამეტრი, მაშინ განიკვეთის ფართობი იქნება

$S = \frac{3,14 \cdot (0,5)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,25}{4} = 0,196 \text{ მმ}^2$. სადენის სიგრძე გავიან-

გარიშოთ წინაღობის საანგარიშო ფორმულიდან: $R = \rho \frac{l}{S}$, საი-

დანაც $l = \frac{RS}{\rho}$. ავიღოთ სასურველი წინაღობის მაქსიმალური

მნიშვნელობა $R = 4,5$ ომი, მაშინ $l = \frac{4,5 \cdot 0,196}{1,1} = 8$ მ, ე.ი. 8 მ

სიგრძის აღებული სადენი დავახვიოთ სპირალის სახით და ჩავართოთ სასურველ წრედში. წინაღობის სასურველ მნიშვნელობას 40 ომამდე, მივალწიოთ ამ სადენის სიგრძის თანდათანობით დამოკლებით.

ამოცანა 2.

გვაქვს უცნობი მასალისაგან დამზადებული სპირალი, გვაინტერესებს რა მასალისაგანაა დამზადებული იგი.

ამოხსნა

გამტარის მასალას ახასიათებს მისი კუთრი წინაღობა

ρ ; წინაღობის ფორმულიდან: $R = \rho \frac{l}{S}$ გვაქვს: $\rho = \frac{RS}{l}$. ომმეტ-

რით ან წინაღობის განსაზღვრის სხვა ხერხებით, გავზომოთ მოცემული სპირალის წინაღობა. ვთქვათ, $R = 6$ ომი, გამტარის სიგრძის გასაგებად გაზომილი სპირალის დიამეტრი $d_{\text{სპ}} = 13$ მმ და დათვლილი ხვიების რიცხვი $n = 150$. წრეხაზის სიგრძის საანგარიშო ფორმულიდან $l' = \pi d_{\text{სპ}}$ გამოვთვალოთ ერთი

ხვიის სიგრძე: $l' = 3,14 \cdot 13 = 40$ მმ, (π მუდმივი სიდიდეა და რიცხობრივად დაახლოებით 3,14-ის ტოლია), მაშინ გამტარის მთლიანი სიგრძე იქნება: $l = l' \cdot n = 40 \cdot 150 = 6000$ მმ = 6მ.

გამტარის განივკვეთი განესაზღვროთ გეომეტრიის კურსიდან ცნობილი წრეხაზის ფართობის საანგარიშო ფორ-

მულით: $S = \frac{\pi d_{\text{გამ}}^2}{4}$, სადაც $d_{\text{გამ}}$ გამტარის დიამეტრია. მცირე

კვეთიანი დიამეტრის გაზომვა შეიძლება მიკრომეტრით, მაგრამ მიღებულია ასეთი ტექნიკური ხერხი: გავზომოთ მიჯრილი სპირალის სიგრძე. ამისათვის გავატაროთ სპირალში ხისტი ღერო და მივჯრათ სპირალი. თუ ხეიების რიცხვი ცნობილია ($n = 150$) და მიჯრილი სპირალის სიგრძეც გაზომილია და ვთქვათ ტოლია $h = 170$ მმ, მაშინ სპირალის გამტარის

დიამეტრი საკმარის სიზუსტით ტოლი იქნება: $\frac{h}{n} = \frac{180}{150} = 1,2$ მმ და

განივკვეთის ფართობი- $S = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13$ მმ². ასე, რომ კუთრი

წინაღობა ტოილ იქნება $\rho = \frac{6 \cdot 1,13}{6} = 1,13 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$.

ცხრილიდან ჩანს, რომ ეს ციფრი ახლოა ფექრალის და ნიქრომის კუთრი წინაღობის მნიშვნელობასთან. ანგარიშით მიღებულ და ცხრილში ნაჩვენებ სიდიდეებს შორის განსხვავება გამომწვეულია გაზომვის ცდომილებებით, მაგრამ დასაშვებია

ტექნიკური გაზომვებისათვის მიღებული შედეგი $\rho = 1,13 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$

უფრო ახლოა ნიქრომის მონაცემებთან. მეორე მხრივ, ნიქრომი არამაგნიტური მასალაა და მუდმივი მაგნიტით იგი არ მიიზიდება. შეიძლება ვისარგებლოთ ამ მონაცემითაც.

3.6. გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

გამტარი გარემოს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება აიხსნება ორი ფაქტორით: 1) ტემპერატურის მატებით იზრდება თავისუფალი ელექტრონების ატომებთან შეჯახების რიცხვი, შესაბამისად მცირდება მათი მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, რის საფუძველზეც იზრდება გამტარის წინაღობა; 2) მეორე მხრივ, ტემპერატურის გაზრდით იზრდება თავისუფალი ელექტრონებისა და იონების რიცხვი გამტარის ერთეულოვან მოცულობაში, რაც გამტარის წინაღობის შემცირებას ნიშნავს.

იმისდა მიხედვით თუ რომელი ფაქტორი ჭარბობს, ტემპერატურის მატებით გამტარი გარემოს წინაღობა ან მცირდება

ან იზრდება. კერძოდ, ლითონებისა იზრდება, ხოლო ელექტრო-
ლიტებისა და ნახშირის წინაღობა მცირდება. ზოგიერთი გამ-
ტარის, მაგალითად მანგანინის, კონსტანტანის წინააღობები ტე-
მპერატურაზე თითქმის არ არის დამოკიდებული.

გამტარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება ხასიათდება
სიდიდით, რომელსაც გამტარის ტემპერატურული კოეფიციენტი
ეწოდება. იგი მიუთითებს, თუ როგორ იცვლება გამტარის წი-
ნაღობის ფარდობითი ნამატი მისი 1° -ით გათბობის დროს. გამ-
ტარის ტემპერატურული კოეფიციენტი აღინიშნება α ასოთი და
მისი მნიშვნელობები ზოგიერთი გამტარისათვის ნაჩვენებია
ცხრილში (გვ.33).

თუ გამტარის წინაღობა საწყის ტემპერატურაზე იქონ R_1
და გახურების შემდეგ გახდა R_2 , მაშინ წინააღობის ფარდობითი
ნამატი იქნება $\frac{R_2 - R_1}{R_1}$. გამტარის ტემპერატურული კოეფიციენ-
ტის განმარტების თანახმად, $1^{\circ}C$ გათბობისას გვექნება
 $\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha$, ხოლო ტემპერატურის $\Delta t = t_2 - t_1$ სიდიდით გაზრ-
დისას გვექნება:

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1), \quad (1)$$

საიდანაც გამოვთვალოთ R_2 .

$$\begin{aligned} R_2 - R_1 &= R_1 \alpha(t_2 - t_1); \\ R_2 &= R_1 + R_1 \alpha(t_2 - t_1); \\ R_2 &= R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]. \end{aligned} \quad (2)$$

ამ ფორმულით შეიძლება გამოვთვალოთ გამტარის R_2
წინააღობა t_2° ტემპერატურაზე, თუ ცნობილია ამ გამტარის
წინააღობა R_1 საწყის t_1° ტემპერატურაზე და მასალის
ტემპერატურული კოეფიციენტი α . ტოლობის (1) ორივე მხარე
გავყოთ α -ზე და განვსაზღვროთ t_2 :

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} = t_2 - t_1, \text{ საიდანაც } t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} + t_1. \quad (3)$$

ზოგადად, წინააღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების
ეფექტი ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში, მაგალითად:
ელექტრული მეთოდით ტემპერატურის გასაზომად;
მოწყობილობის დასამზადებლად, რომელიც ავტომატურად
ინარჩუნებს სტაბილურ ტემპერატურას გარემოში და ა.შ. ამ
საკითხებს შემდეგში შევეხებით.

განვიხილოთ მაგალითები:

ამოცანა № 1

განვსაზღვროთ ელექტროენერჯის გადამცემი ხაზის წინაღობის ცვლილების დიაპაზონი ზაფხულის და ზამთრის რეჟიმებში, თუ ხაზის სიგრძეა 500მ და ენერჯის გადამცემი ხაზი $S = 100\text{მ}^2$ კვეთის სპილენძის სადენია.

ამოხსნა:

ხაზის წინაღობა 20°C ტემპერატურის დროს განისაზღვრება ფორმულით $R_{20} = \rho \frac{2l}{S}$, სადაც სპილენძის კუთრი

წინაღობა $\rho = 0,0175 \frac{\text{ომი}\cdot\text{მმ}^2}{\text{გ}}$ ცხრილური მონაცემია 20°C ტემპე-

რატურაზე. მაშინ $R_{20} = 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 500}{10} = 1,75$ ომი.

ზაფხულის მაქსიმალურ ტემპერატურად ჩავთვალოთ 35°C , ამ ტემპერატურაზე ხაზის წინაღობა იქნება:

$$R_1 = R_{20} [1 + \alpha(-10 - 20)] = 1,75 [1 - 0,004 \cdot 30] = 1,855 \text{ ომი.}$$

ზამთრის პერიოდის მინიმალური ტემპერატურა ჩავთვალოთ $(t_{\min} = -10)^\circ\text{C}$, ამ ტემპერატურაზე ხაზის წინაღობა იქნება:

$$R_2 = R_{20} [1 + \alpha(-10 - 20)] = R_{20} [1 - 0,004 \cdot 30] = 1,54 \text{ ომი.}$$

აღებული ხაზის წინაღობა $(+35)^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე 1,855 ომის ტოლია, ხოლო $(-10)^\circ\text{C}$ -ზე 1,54-ის. წინაღობის ცვლილების დიაპაზონია

$$\Delta R = 1,855 - 1,54 = 0,315 \text{ ომი.}$$

ამოცანა № 2

განვსაზღვროთ ელექტროძრავას სპილენძის გრაგნილის ტემპერატურა მუშაობის დაწყებიდან 1 საათის შემდეგ.

ამოხსნა:

მაღალმგრძობიარე ომმეტრით გავზომოთ გრაგნილის წინაღობა ჩართვამდე. ეს შეიძლება განვახორციელოთ ძრავას დენმიმყვანი სადენების ომმეტრის შესაბამის მომჭერებზე მიერთებით. ვთქვათ, გავზომვამ გეირენა $R_1 = 1,2$ ომი.

ჩართვიდან 1 საათის შემდეგ გახურდება გრაგნილი და იმავე გზით გავზომოთ გრაგნილის წინაღობა, ვთქვათ მივიღეთ $R_2 = 1,4$ ომი.

გრაგნილის ტემპერატურა შეიძლება გამოვითვალოთ წინაღობის ფარდობითი ნამატის საანგარიშო ფორმულიდან

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)^\circ\text{C}$$

ტოლობის ორივე მხარე გავყოთ α -ზე: $\frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} = t_2 - t_1$ და

გამოვთვალოთ t_2 ტემპერატურა

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} + t_1 = \frac{1,4 - 1,2}{1,2 \cdot 0,004} + 20^\circ = 62^\circ.$$

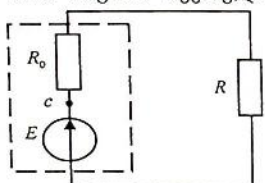
3.7. კვების წყაროს ელექტრული პარამეტრები.

§3.2.-ში ვახსენეთ გამტარში დენის შესანარჩუნებლად კვების წყაროს დანიშნულება და მისი ელექტრული პარამეტრი ემძ E ; უმარტივეს შეკრულ კონტურში ვაჩვენოთ წყაროსთან მიმდევრობით შეერთებული R_0 წინაღობა. რას ითვალისწინებს და რა ელემენტი იგი?

R_0 -ის წყაროს შიგა წინაღობა ეწოდება და ითვალისწინებს იმ წინაღობას, რომელსაც აწყდება მოძრავი მუხტი წყაროს შიგნით შეკრული ციკლის დროს. ამ წინაღობის დაძლევაზე იხარჯება ენერგია, რომელიც არ ითვლება, სასარგებლო ენერგიად, ამიტომ წაყროები მზადდება რაც შეიძლება მცირე სიდიდის შიგა წინაღობით.

ხშირ შემთხვევაში, სიმცირის გამო წყაროს შიგა წინაღობა მხედველობაში არ მიიღება და წყარო განიხილება, როგორც იდეალური.

იდეალური ეწოდება წყაროს, რომლის შიგა წინაღობა ნულის ტოლია. ცხადია, ასეთი წყარო არ არსებობს და რეალური წყარო ელექტრულ სქემაზე გამოისახება, როგორც მიმდევრობით შეერთებული იდეალური E წყარო და R_0 შიგა წინაღობა. წყაროს შიგა წინაღობა განაწილებულია წყაროს მთლიან მოცულობაში. ნახაზზე ნაჩვენებია C წერტილი წარმოსახვითია, მას ფიზიკურად ვერ შევხვებით.



3.8. ომის კანონი

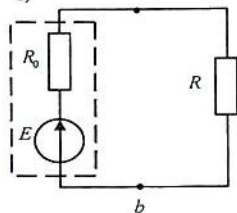
გადავხედოთ განვლილ მასალას. აღვნიშნეთ, რომ გამტარში მუხტის მოძრაობას, ანუ დენს ინარჩუნებს წყარო, რომლის ელექტრული პარამეტრია ემძ E ; დენი გამტარში იზღუდება მისი წინაღობის მიხედვით. აქედან გამომდინარე, ლოგიკურია ვივარაუდოთ, რომ ემძ, დენი და წინაღობა ერთმანეთთან უნდა იყოს დაკავშირებული. ეს ვარაუდი ექსპერიმენტით დაადასტურა და ამ სამ სიდიდეს შორის დამოკიდებულება კანონად ჩამოაყალიბა გერმანელმა მეცნიერმა გეორგ ომმა. ამ

კანონს ომის კანონი ეწოდება და განიხილება სამი შემთხვევისათვის:

ა) ომის კანონი ელექტრული წრედის

შეკრული კონტურისათვის - უმარტივესი მაგალითად მოვიყვანოთ ჯიბის ფანრის ბატარეის წრედი, რომელიც შეკრულ კონტურს წარმოადგენს (ნახ. ა). შეკრული კონტურისათვის ომმა დაადგინა: დენის ძალა პირდაპირპროპორციულია ემმ-ისა და უკუპროპორციულია წრედის სრული წინააღობისა.

წრედის სრული წინააღობა წყაროს შიგა წინააღობისა და დატვირთვის წინააღობის ჯამია და ომის კანონი შეკრული კონტურისათვის მათემატიკურად



ჩაიწერება ასე:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

ბ) ომის კანონი წრედის პასიური უბნისათვის - $I = \frac{E}{R_0 + R}$

დამოკიდებულებიდან გამომდინარეობს, რომ $E = IR_0 + IR$. წინააღობის ნამრავლს მასში გამავეალი დენის სიდიდეზე ეწოდება ძაბვის ვარდნა ამ წინააღობაზე და $U_{ab} = IR$.

ახლა წრედის ab გარე უბანი (ნახ. ბ) განვიხილოთ დამოუკიდებლად, რომლისთვისაც დავწერთ: $U_{ab} = IR$, საიდანაც $I = \frac{U_{ab}}{R}$. ეს არის ომის კანონი წრედის პასიური უბნისათვის და სიტყვიერად გამოითქმის შემდეგნაირად:

R წინააღობაში გამავეალი დენი პირდაპირპროპორციულია მის ბოლოებზე ძაბვის ვარდნისა და უკუპროპორციულია წინააღობისა.

მარტივ ენაზე ეს იმას ნიშნავს, რომ თუ სასურველია წინააღობაში დენი გაეზარდოს, ეს შეიძლება მოხდეს მის ბოლოებზე ძაბვის სიდიდის გაზრდით, ან წინააღობის შემცირებით.

შევუხოთ ერთ გარემოებას.

შევადართ ერთმანეთს ჩანაწერები: $I = \frac{U}{R}$ და $R = \frac{U}{I}$,

მათემატიკური ფორმით ისინი ერთმანეთს ჰგავს და პირველისათვის ვამბობთ: დენი პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა და უკუპროპორციულია წინააღობისა. ანალოგიურად ვერ ვიტყვით, რომ წინააღობა პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა და უკუპროპორციულია დენისა, რადგან დენი ძაბვაზეა დამოკიდე-

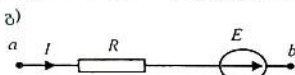
ბული, ძაბვის გადიდებით დენი იზრდება და განაყოფი ადებული რეზისტორისათვის მუდმივი სიდიდეა. ამ განაყოფს, როგორც აღვნიშნეთ გამტარის წინააღობა ეწოდება. ამ დამოკიდებულებიდან გამოვყავს წინააღობის ერთეული. თუ გამტარის ბოლოებზე მოდებულია 1 ვოლტი ძაბვა და მასში აღიძვრება 1 ამპერი სიდიდის დენი, მაშინ ამ გამტარის წინააღობა 1 ომის ტოლია, ომი = $\frac{\text{ვოლტი}}{\text{ამპერი}}$.

პრაქტიკაში გამოიყენება ომის ჯერადი ერთეულები:

1000 ომი = 10³ ომი - კილოომი (კომი);

1000000 ომი = 10⁶ ომი - მეგაომი (მომი).

ვ) ომის კანონი შტოსათვის, რომელშიც ჩართულია წყარო - წარმოვიდგინოთ რთული კონფიგურაციის წრედი რამდენიმე ემძ-ის წყაროთი და განვიხილოთ ერთი რომელიმე შტო, რომელშიც ჩართულია წყარო (ნახ. გ). ამ წყაროს შიგა წინააღობა სიმცირის გამო მხედველობაში არ მივიღოთ.

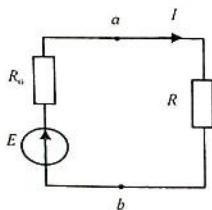


ვთქვათ, წრედის დარჩენილი ნაწილის მუშაობის რეჟიმი ისეთია, რომ a წერტილის პოტენციალი ϕ_a მეტია b წერტილის პოტენციალზე ϕ_b ; თუ $\phi_a > \phi_b$, მაშინ დენი შტოში მიმართულია a -დან b -სკენ და რომ არ ყოფილიყო E წყარო, ომის კანონს პასიური უბნისათვის დაეწერდით: $I = \frac{U_{ab}}{R}$; რა როლი აქვს ადებული შტოში E წყაროს? თუ იგი ჩართულია ისეთი მიმართულებით, რომ „ესმარება“ U_{ab} ძაბვას დენის ზრდაში, გვექნება:

$$I = \frac{U_{ab} + E}{R}$$

თუ წყაროს ემძ მიმართულია დენის საწინააღმდეგოდ, მაშინ იგი პასიური ელემენტია, შთანთქმავს ენერგიას და ომის კანონი ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$I = \frac{U_{ab} - E}{R}$$



ზოგადად გვაქვს: $I = \frac{U_{ab} \pm E}{R}$, სადაც

ნიშანი E -ს წინ შეირჩევა დენისა და ემძ-ის მიმართულების მიხედვით.

ომის კანონიდან მიღებული ზოგიერთი შედეგი - დაგუბრუნდეთ ომის კანონს

შეკრული კონტურისათვის $I = \frac{E}{R_0 + R}$; აქედან დაეწეროთ

$E = IR_0 + IR$; IR სიდიდეს ვუწოდეთ ძაბვის ვარდნა წინააღობის ბოლოებზე და ეს ბოლოები აღებულ შემთხვევაში წყაროს ab მომჭერებია. შეგვიძლია დაეწეროთ პირველი დასკვნა:

$E = IR_0 + U_{ab}$ - წყაროს ემძ-ის სიდიდე გოლია მის შიგა და გარე უბნებზე ძაბვის ვარდნების ჯამისა. მეორე დასკვნა: $U_{ab} = E - IR_0$ -

ძაბვა წყაროს მომჭერებზე ემძ-ისაგან განსხვავდება მის შიგა წინააღობაზე ძაბვის ვარდნით. მესამე დასკვნა: განვიხილოთ წყაროს უქმი სელის რეჟიმი. ე.ი. რეჟიმი, როცა მის ბოლოებზე დატვირთვა არ არის ჩართული; მაშინ დენი წრედში ნულის ტოლია და $U_{ab} = E - IR_0$ დამოკიდებულებიდან გვაქვს: $U_{ab} = E$ - უქმი სელის რეჟიმში წყაროს ემძ გოლია მის ბოლოებზე მოდებული ძაბვისა და ეს დასკვნა გვაძლევს საშუალებას დავადგინოთ წყაროს ემძ მის ბოლოებზე უქმი სელის რეჟიმში ძაბვის გამოშვით.

3.9. წყაროს გარე მახასიათებელი

მარტივი შეკრული კონტურის (ნახ ა) განხილვის დროს ჩვენ მივიღეთ წყაროს მომჭერებზე ძაბვის საანგარიშო ფორმულა:

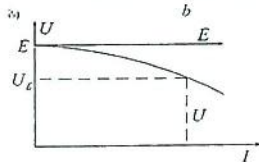
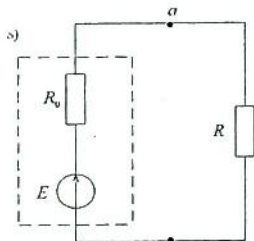
$$U_{ab} = E - IR_0.$$

E ემძ აღებული წყაროსათვის მუდმივი სიდიდეა და, როგორც ვთქვით, ab მომჭერებზე უქმი სელის ($I = 0$) რეჟიმში ძაბვის ტოლია.

თუ განვიხილათ დატვირთვის რეჟიმს და ეცვლით R წინააღობას, დენი იცვლება და შესაბამისად იცვლება IR_0 ნამრავლი. მაშასადამე ძაბვაც წყაროს მომჭერებზე მცირდება და აქვს ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები U მრუდის სახე. ამ მრუდს წყაროს გარე მახასიათებელი ეწოდება.

დატვირთვის დენის გაზრდით წყაროს მომჭერებზე ძაბვის დადაბლებას შეიძლება დავაკ-

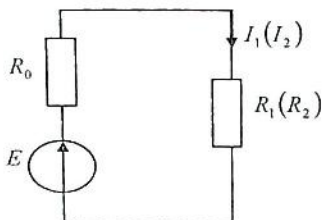
ვირდეთ ავტომობილის გაშვების პროცესში. თუ ავტომობილის ფარები ანთია გაშვების პროცესში, მათი სიკაშკაშე



შესაძინეკად იკლებს: ეს იმიტომ, რომ სტარტერი ამ დროს ითხოვს დიდ დენს და ძაბვა აკუმულატორის მომჭერებზე მცირდება.

განვიხილოთ მაგალითები:

ამოცანა № 1



განვსაზღვროთ წყაროს ემპ და შიგა წინაღობა, თუ გარე წრედის წინაღობის R_1 მნიშვნელობის დროს წრედში გადიოდა I_1 დენი, ხოლო გარე წრედის R_2 წინაღობის მნიშვნელობისას - I_2 დენი.

ამოხსნა

გარე წრედის წინაღობის ცვლილებით წყაროს E და R_0 პარამეტრები არ იცვლება. მაშინ პირველი შემთხვევისათვის დაეწეროთ:

$$E = I_1 R_0 + I_1 R_1, \quad (1)$$

მეორე შემთხვევაში:

$$E = I_2 R_0 + I_2 R_2. \quad (2)$$

(1) და (2) -დან გამომდინარეობს: $I_1 R_0 + I_1 R_1 = I_2 R_0 + I_2 R_2$;

$$R_0 (I_1 - I_2) = I_2 R_2 - I_1 R_1,$$

საიდანც $R_0 = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}$. შევიტანოთ R_0 -ის მნიშვნელობა (1)-ში და მივიღებთ:

$$E = I_1 \left(\frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} \right) + I_1 R_1 = I_1 \left(\frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2} + R_1 \right)$$

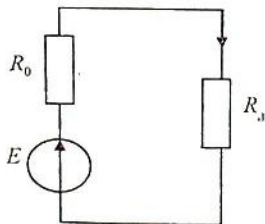
ამოცანა № 2.

განვსაზღვროთ სპილენძის გრაფნილიანი კოჭას სადენის სიგრძე

ამოხსნა

სპილენძის (ან სხვა მასალის) კოჭა მუდმივი დენის მიმართ ხასიათდება მხოლოდ ომური წინაღობით.

ავიღოთ მუდმივი დენის წყარო ცნობილი E ემპ-ითა და R_0 შიგა წინაღობით. ვთქვათ, $E = 200$ ვ და $R_0 = 10$ ომი; ავწონოთ კოჭა, გავიგებთ მის მასას. ვთქვათ, $m = 0,8$ კგ.



ჩვერთოთ კოჭა წყაროს მომჭერებზე და გავზომოთ დენი და ეთქვათ, მივიღეთ $I = 4$ ა. ომის კანონით შეკრული კონტურისათვის გვაქვს:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_j}$$

საიდანც განვსაზღვროთ კოჭას ომური წინაღობა.
 $IR_0 + IR_j = E$ და

$$R_k = \frac{E - IR_0}{I} = \frac{200 - 0,4 \cdot 10}{0,4} = \frac{200 - 4}{0,4} = 490 \text{ ომი.}$$

ვიცით, რომ $R = \rho \frac{l}{S}$, - სადაც ცნობილია, რომ
 $R = R_j = 490$ ომი, ცხრილიდან (გვ. 33) ვპოულობთ, რომ
 $\rho = 0,017 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{მ}}$.

კოჭას მასა დავაკავშიროთ სიმკვრივესა და მოცულობას შორის დამოკიდებულებით $m = \rho' V$, სადაც ρ' სიმკვრივეა და ცნობარებიდან ვპოულობთ, რომ სპილენძის სიმკვრივე

$\rho' = 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}$. სპილენძის მოცულობა ვიანგარიშოთ როგორც

ცილინდრის მოცულობა $V = lS$, სადაც l ცილინდრის სიმაღლე ჩვენს შემთხვევაში გამტარის სიგრძეა, ხოლო S ცილინდრის ფართობი გამტარის განიეკვეთია. ე.ი. $m = \rho' lS$,

საიდანც $S = \frac{m}{\rho' l}$. განიეკვეთის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ R -ის საანგარიშო ფორმულაში და მივიღებთ:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\frac{m}{\rho' l}} = \frac{\rho l^2 \cdot \rho'}{m}$$

აქედან $\rho l^2 \rho' = mR$ და

$$l = \sqrt{\frac{mR}{\rho \rho'}} = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 490}{0,017 \cdot 10^{-6} \cdot 8,9 \cdot 10^3}} = \sqrt{\frac{392 \cdot 10^6}{151}} = \sqrt{2,5 \cdot 10^6} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ მ.}$$

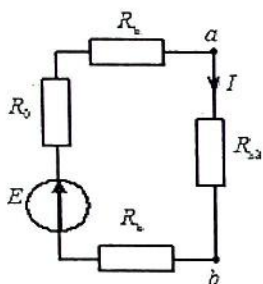
ამოცანა №3.

კვების წყარო, რომლის ემძ 40 ვ-ია და შიგა წინაღობა 0,04 ომი, კვებავს შემდუღებულ აპარატს 50მ მანძილზე 170 მმ² კვების სპილენძის სადენით, რომლის კუთრი წინაღობა

$\rho = 0,17 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{მ}}$. განვსაზღვროთ ძაბვა, შედუღებული აპარატის მომჭერებზე, თუ დენი წრედში 200 ამპერის ტოლია.

ამოხსნა

ელექტრული წრედის სქემა შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახაზზე ნაჩვენები სახით, სადაც R_x დენმიმყვანი თითოეული სადენის წინაღობაა და R_{Σ} შემდუღებელი აპარატის წინა-



ღობა. ომის კანონის თანახმად შეკრული კონტურისათვის გვექნება:

$$I = \frac{E}{R_0 + 2R_x + R_{\Sigma}}$$

საიდანაც $E = IR_0 + 2IR_x + IR_{\Sigma}$.

აქედან გამოვთვალოთ ძაბვა აპარატის მომჭერებზე

$$U_{ab} = IR_{\Sigma} = E - IR_0 - 2IR_x$$

დენმიმყვანი ერთი სადენის წინაღობა:

$$R_x = \rho \frac{l}{S} = 0,17 \cdot \frac{50}{170} = 0,05 \text{ ომი, მაშინ}$$

$$U_{ab} = IR_{\Sigma} = 40 - 200 \cdot 0,04 - 2 \cdot 200 \cdot 0,055 = 40 - 8 - 2 = 30 \text{ ვ.}$$

3.10. ჯოულ - ლენცის კანონი. ელექტრული სიმძლავრე ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ სადენში დენის გატარებისას იგი თბება. გათბობის პროცესი ავხსენით, როგორც სადენში მოძრავი მუხტის კრისტალურ მესერზე დაჯახებების შედეგი. რაც მეტია დაჯახებების რიცხვი, მით მეტია ამ სადენის წინაღობა და, ცხადია, გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაც. ადვილი მისახვედრია, რომ ერთი და იმავე წინაღობის გამტარებში სხვადასხვა სიდიდის დენების გატარების დროს სადენი მით უფრო გათბება, რაც მეტია დენის სიდიდე. ამავე დროს, გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გაიზრდება აგრეთვე გამტარში დენის სელის ხანგრძლივობის გაზრდით. ასე რომ, გამტარში დენის არსებობის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა დამოკიდებულია გამტარის წინაღობაზე, გამტარში დენის სიდიდესა და დროის იმ ხანგრძლივობაზე, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადიოდა. ეს დამოკიდებულება 1844 წელს ერთდროულად, მაგრამ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, დადგენილ იქნა რუსი აკადემიკოსის ლენცისა და ინგლისელი მეცნიერის ჯოულის მიერ. რის გამოც ამ დამოკიდებულებას ეწოდა ჯოულ - ლენცის კანონი და იგი ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$Q = I^2 R t,$$

ე.ი. გამგარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა პირდაპირ-პროპორციულია გამგარში გამავალი დენის სიდიდის კვადრატის, ამ გამგარის წინაღობისა და დენის სვლის ხანგრძლივობისა.

ელექტრული ენერჯიის სითბოდ გარდაქმნის სიჩქარეს ახასიათებს ფარდობა: $\frac{I^2 R t}{t} = I^2 R$. ეს სიდიდე აღინიშნება P ასოთი და სიმძლავრე ეწოდება.

სხვაგვარად, თუ $Q = I^2 R t$ ფორმულაში დაეუშვებთ, რომ $t = 1$ მივიღებთ: $Q = I^2 R = P$, ე.ი. სიმძლავრე დროის ერთ ერთეულში დენის მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლია.

იმის გამო, რომ სითბური ენერჯიის გარდა ელექტრული ენერჯია სხვა სახის ენერჯიადაც შეიძლება გარდაიქმნას, მაგალითად ძრავაში - მექანიკურ ენერჯიად, ნათურაში - სინათლის ენერჯიად და ა.შ. სიმძლავრით ხასიათდება არა მარტო გამაცხელებელი დანადგარები, არამედ ძრავები, ნათურები და ნებისმიერი მომხმარებელი, რომელშიც ელექტრული ენერჯია გარდაიქმნება სხვა სახის ენერჯიად.

$P = I^2 R$ გამოსახულებაში ვისარგებლოთ ომის კანონიდან გამომდინარე დამოკიდებულებებით: $U = IR$; $R = \frac{U}{I}$ და მივიღებთ სიმძლავრის საანგარიშო შემდეგ ფორმულებს:

$$P = I^2 R = I \cdot I \cdot R = IU = \frac{U}{R} U = \frac{U^2}{R} = U^2 G.$$

$$\text{საბოლოოდ გვაქვს: } P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U^2 G$$

ერთეულთა SI სისტემაში სიმძლავრის ერთეულია ვატი. ვატი სიმძლავრის ის სიდიდეა, რომელიც ვითარდება გამტარში, თუ ძაბვა მის მომჭერებზე 1 ვოლტის ტოლია და მასში გადის 1 ამპერი დენი.

პრაქტიკაში გამოიყენება სიმძლავრის ჯერადი ერთეულები:

1000 ვატი = 10^3 ვატი = კილოვატი (კვტ);

1000000 ვატი = 10^6 ვატი = მეგავატი (მვტ) და სხვა.

დავალტება: გამოთვალეთ საყოფაცხოვრებო ელტექნიკურ დანადგარებში გამავალი დენის სიდიდეები და მათი წინააღობები 220 ვ ძაბვის დროს:

1. ნათურაში, რომლის სიმძლავრეა 60 ვტ;
 $I = \dots$; $R = \dots$;

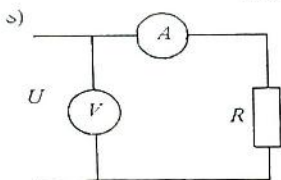
2. „-----“ 100 ვტ; $I = \dots$; $R = \dots$;

3. „-----“ 150 ვტ; $I = \dots$; $R = \dots$;

4. „-----“ 200 ვტ; $I = \dots$; $R = \dots$;

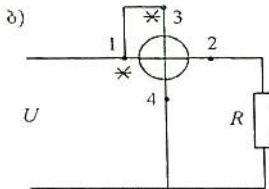
5. ელექტროუთოში, რომლის სიმძლავრეა 800 ვტ;
 $I = \dots$; $R = \dots$;
6. ელექტროქურაში, რომლის სიმძლავრეა 1,2 კვტ;
 $I = \dots$; $R = \dots$;
7. ელექტროწყალგამაცხელებელში, რომლის სიმძლავრეა 5 კვტ;
 $I = \dots$; $R = \dots$;

3.11. სიმძლავრის გამოძიება



როგორც წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ სიმძლავრე ძაბვისა და დენის ნამრავლია $P = UI$. ე.ი. თუ ვიცით მომხმარებელზე ძაბვის სიდიდე და მასში გამავალი დენის მნიშვნელობა, ადვილად ვიანგარიშებთ სიმძლავრეს. აღვნიშნეთ, რომ ძაბვა იზომება ვოლტმეტრით და

წრედში ირთვება პარალელურად, ხოლო დენი იზომება ამპერმეტრით და წრედში ირთვება მიმდევრობით. ასე რომ, სიმძლავრის გაზომვის უმარტივესი სქემა შეიძლება წარმოდგინოთ ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სახით.



ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის მოქმედების პრინციპი ჯერ არ გაგვიხილავს და შემდეგში შევისწავლით, მაგრამ ლოგიკური მსჯელობით შეიძლება ვთქვათ, რომ ამპერმეტრის ისრის მობრუნების მექანიზმი მგრძნობიარეა დენის მიმართ, ხოლო ვოლტმეტრისა -ძაბვის მიმართ; არსებობს ხელსაწყო,

რომელშიც ისრის მობრუნების მექანიზმი მგრძნობიარეა ერთდროულად როგორც დენის, ისე ძაბვის მიმართ (უფრო დაწვრილებით შემდეგ). ამ ხელსაწყოს ეწოდება ვატმეტრი. ვატმეტრს გააჩნია ოთხი მუშა გამომყვანი (მომჭერი), ორი (1 - 2) ირთვება, როგორც ამპერმეტრი და ორი (3 - 4) როგორც ვოლტმეტრი. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია ვატმეტრის ჩართვის ელექტრული სქემა. 1 დენის გრაგნილის საწყისია და 3 ძაბვის გრაგნილისა. საწყისი მომჭერები ვატმეტრის პანელზე აღვნიშნულია * სიმბოლოთი.

3.12. სიმძლავრეთა ბალანსის განგოლება

თუ ელექტრულ წრედში ჩართულია რამდენიმე წყარო და რამდენიმე მომხმარებელი, მაშინ წყაროების მიერ განვითარე-

ბულ სიმძლავრეთა ჯამი, ცალკეულ მომხმარებელში განვითარებულ სიმძლავრეთა ჯამის ტოლია:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + \dots = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + \dots$$

ამ განტოლებას სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლება ეწოდება. თუ რომელიმე წყარო ჩართულია ისე, რომ მასში დენისა და ემპ-ის მიმართულებები ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებისაა (გადამუხტვის მოვლენა), მაშინ წყარო მოითხოვს ენერგიას და სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლებაში შესაბამისი EI ნამრავლი შევა უარყოფითი ნიშნით.

ელექტრულ წრედებში სიმძლავრეთა ბალანსი ყოველთვის დაცულია და ყოველთვის უნდა გავითვალისწინოთ. ამა თუ იმ წრედის დაპროექტების დროს მომხმარებელთა მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრეთა ჯამი არ უნდა აღემატებოდეს გენერატორის ნომინალურ სიმძლავრეს, ანუ სიმძლავრის იმ მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომლის განვითარებაც მას შეუძლია.

სიმძლავრის ნომინალური მნიშვნელობა გენერატორის საპასპორტო მონაცემია და მისი ტექნიკური მონაცემების საჭდეზეა ნაჩვენებო.

3.13. წყაროების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

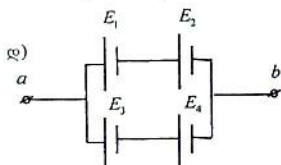
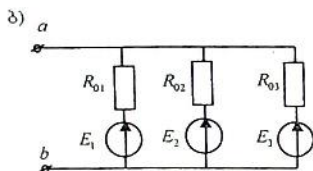
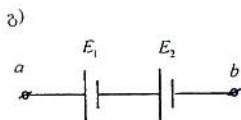
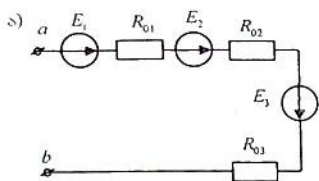
პრაქტიკულად საინტერესოა წყაროების მიმდევრობით ან პარალელურად შეერთება ეწ. თანხვედრილი წესით..

თანხვედრილი მიმდევრობით შეერთების დროს ერთი წყაროს (+) მომჭერი უერთდება მეორეს (-) და ა.შ. (ნახ. ა.). ასეთი შეერთების დროს ჯამური ემპ ბატარეის ab მომჭერებზე ცალკეული წყაროების ემპ-თა ჯამის ტოლია:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \text{ და } R_0 = R_{01} + R_{02} + R_{03}.$$

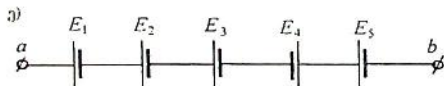
წყაროების მიმდევრობით შეერთება გამოიყენება, მაშინ როცა მომხმარებლის მომჭერებზე მოთხოვნილი ძაბვა ამტებს ერთი წყაროს ემპ-ის სიდიდეს.

როგორც წესი, პარალელურად ერთდება ტოლი ემპ-ების წყაროები (ნახ. ბ). ემპ ამ ბატარეის მომჭერებზე სიდიდით ერთ - ერთის ტოლია, მაგრამ იზრდება ბატარეის მუშა უნარი, ე.ი. ბატარეას შეუძლია მოგვცეს მეტი დენი, ვიდრე ერთს ცალკე ადებულს. პარალელურად შეერთებული წყაროების შიგა წინაღობები პარალელურადაა შეერთებული და ბატარეის შიგა წინაღობა მცირდება $R_0 = \frac{R_{01}}{n}$. პრაქტიკაში გამოიყენება ბატარეები წყაროების კომბინირებული ჩართვით. მაგალითად განვიხილოთ მოტოციკლის აკუმულატორების გამოყენება ავტომობილებში.



ნომინალური ემძ-ის სიდიდე მოტოციკლის აკუმულატორში 6 ვ-ის ტოლია. ავტომობილი მოითხოვს 12 ვ ემძ-ის აკუმულატორს, მაშინ უნდა ავიღოთ 2 მოტოციკლის აკუმულატორი და შევაერთოთ მიმდევრობით (ნახ. გ), მაგრამ ეს ბატარეა ვერ უზრუნველყოფს იმ დენის მოცემას, რომელიც სჭირდება ავტომობილს. მაშინ უნდა ავიღოთ კიდევ ორი მოტოციკლის აკუმულატორი, შევაერთოთ ისინიც მიმდევრობით და მიღებული ორი ბატარეა ჩაერთოთ პარალელურად (ნახ. დ). ეს ბატარეა შეიძლება გამოადგეს მსუბუქ ავტომობილს, მაგრამ ვერ დააკმაყოფილებს უფრო დიდ სატვირთო ავტომობილებს, მაშინ ვამატებთ პარალელურ წრედს, მიმდევრობით ჩართულ ერთ ან ორ წყვილს, და ა.შ.

რამდენიმე წყაროთი ბატარეის აკრეფვის დროს მკაცრად



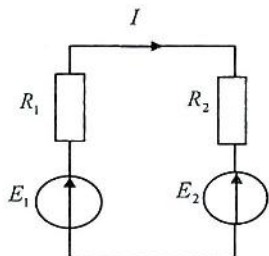
უნდა დავიცვათ პოლარობა, ანუ (+) (-) მომჭერების თანხედრილად შეერთება. წინააღმდეგ შემთხვევაში წყარო

მომხმარებლის როლში გამოვა და ენერგიას კი არ გასცემს, არამედ პირიქით, მოიხმარს.

მიმდევრობითი შეერთების დროს თუ ერთ-ერთი წყარო შებრუნებულადაა ჩართული, მაშინ ჯამურ ემძ-ის ფორმულაში მისი ემძ კი არ დაემატება დანარჩენებს, არამედ გამოაკლდება. ანუ ჯამში ეს ემძ შევა (-) ნიშნით. ნახ. ე-ზე ნაჩვენებ შემთხვევაში გვექნება: $E = E_1 + E_2 + E_3 - E_4 + E_5$.

3.14. გადამუხტვის მოვლენა

გადამუხტვა ეწოდება წყაროს ჩართვის ისეთ რეჟიმს, როცა მისი ემპ და მასში გამავალი დენი ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებებისაა. ამ დროს წყარო გვევლინება როგორც პასიური ელემენტი, ანუ იგი კი არ გასცემს ენერგიას, არამედ შთანთქავს.



ავიღოთ შეკრული კონტური ორი ემპ-ით ისე, რომ (-) მომჭერები ერთ წერტილში იყოს გაერთიანებული. (+) მომჭერებზე ჩავთვოთ R_1 და R_2 წინაღობები. შეკრული კონტურისათვის გვაქვს:

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2, \quad \text{საიდანაც}$$

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} \dots$$

ეს დენი დადებითი იქნება, ანუ ექნება ისრით ნაჩვენები მიმართულება, როცა $E_1 > E_2$, ამ შემთხვევაში E_2 წყარო იღებს ენერგიას E_1 -დან და იმუხტება.

ამ წესითაა ჩართული მწყობრიდან გამოსული აკუმულატორი დასამუხტ მოწყობილობაზე, მობილური ტელეფონის აკუმულატორი დამუხტვის პროცესში და ა.შ. დამუხტვის წრედებში დასამუხტი ემპ-ის სიდიდე იზრდება და $E_1 = E_2$ ტოლობის მიღწევისას დამუხტვის პროცესი შეწყდება. სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლება აღებულ წრედში ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$E_1 I_1 - E_2 I_2 = I^2 R_1 + I^2 R_2.$$

$E_2 I_2$ წვერის წინ ნიშანი (-) მიუთითებს იმაზე, რომ იგი მომხმარებელია.

3.15. ელექტრული ენერგიის ერთეულები და ენერგიის აღრიცხვა

ისე როგორც ნებისმიერი ფიზიკური სიდიდის, ენერგიის ერთეულიც მისი განმსაზღვრელი ფორმულიდან გამომდინარეობს: $W = Pt$. ერთეულთა საერთაშორისო SI სისტემაში სიმძლავრის ერთეულია ვატი, დროის - წამი. ენერგიის ერთეულს ვტ.წმ ეწოდება ჯოული (ჯ).

პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება ენერგიის სისტემგარეშე ერთეული კილოვატსაათი (კვტსთ); ამ ერთეულით აღრიცხავს დახარჯულ ენერგიას, საყოფაცხოვრებო მრიცხველი და დახარჯული ენერგიის საფასურის გადახდა ხდება კვტსთ და ტარი-

ვის ნამრავლით. კვტსთ-სა და ჯოულს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$1 \text{ კვტსთ} = 1000 \text{ ვტ} \cdot 3600 \text{ წმ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ ვტწმ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ ჯ}.$$

დავალება: გამოვთვალოთ ზოგიერთი მოცემული ელტეკნიკური დანადგარების მიერ დახარჯული ელექტროენერგიის თვიური ხარჯი ლარებში, თუ მათი ჩართვის ხანგრძლივობაა:

100 ვტ სიმძლავრის ნათურისა – დღელამეში 6 საათი;

800 ვტ სიმძლავრის ელექტროუთოს – დღეში საშუალოდ

20 წთ;

1,2 კვტ სიმძლავრის ელექტროქურის – დღეში 1,5 საათი;

6 კვტ სიმძლავრის ელექტროწყალგამაცხელებლის – ყოველ

მეორე დღეს 0,5 საათი.

მითითება – გამოვთვალოთ თითოეული დანადგარის თვიური ჩართვის ხანგრძლივობა საათებში; განვსაზღვროთ მათი სიმძლავრეები კილოვატებში (კვტ – 10^3 ვტ), ჩავთვალოთ, რომ ტარიფია 17 თეთრი კვტ საათზე.

3.16. მარგი ქმედების კოეფიციენტი

ყველა ტექნიკურ დანადგარში ადგილი აქვს ენერგიის კარგებს. დაკარგულად ითვლება ის ენერგია, რომელიც უშუალოდ არ გამოიყენება მომხმარებლის მიერ.

სასარგებლოდ დახარჯულ და დაკარგულ ენერგიებს შორის თანაფარდობას ამყარებს მანქანა-დანადგარების მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ). იგი აღინიშნება η (ეტა) ასოთი და იანგარიშება პროცენტებში,

$$\eta = \frac{\text{სასარგებლოდ დახარჯული ენერგია}}{\text{მთლიანად გადაცემული ენერგია}} \cdot 100\%.$$

თუ დანაკარგებს არ ექნება ადგილი, მაშინ სასარგებლოდ გარდაიქმნება გადაცემული ენერგია მთლიანად და მქკ იქნება 100%. ასეთი დანადგარები არ არსებობს. დანაკარგებს ყველგან აქვს ადგილი. მოვიყვანოთ მარტივი შედარება. რომელი ნათურის მქკ-ია მეტი, ვარვარების ძაფიანი ნათურის, თუ დღის ნათების ნათურის. რამდენადაც ვარვარების ძაფიანი ნათურა თბება, ხოლო დღის ნათების ნათურა ცივი ნათებისა, ხოლო გათბობაზე დახარჯული ენერგია განათებისათვის შეიძლება ჩავთვალოთ დაკარგულ ენერგიად, ამიტომ დღის ნათების ნათურის მქკ მეტია ვარვარების ძაფიანი ნათურის მქკ-ზე.

თანამედროვე ელტექნიკური დანადგარების მქკ საკმაოდ დიდია, იგი 85–95%-ს აღწევს. შედარებისათვის ვთქვათ, რომ გამართული შიგაწვის ძრავას მქკ 40%-ია, ორთქლის ძრავასი 18–20%, ელექტროძრავასი – 90%.

განვიხილოთ მაგალითი: 1 ტ მასის ლიფტი ნახევარი წუთის განმავლობაში ადის 40 მ სიმაღლეზე. ლიფტის ძრავას

მომჭერებზე ძაბვა 120 ვ-ის ტოლია. განვსაზღვროთ ძრავას სიმძლავრე და მასში გამავალი დენი, თუ ძრავას მქკ 90%-ია ამოხსნა

მქკ-ის განმარტების თანახმად $\eta = \frac{A_1}{A}$, სადაც A_1 -

სასარგებლოდ შესრულებული მუშაობაა, ხოლო A მთლიანად შესრულებული მუშაობა.

მუშაობა მექანიკიდან განიმარტება, როგორც ძალისა და გადაადგილების სიგრძის ნამრავლი $A = FS$. ჩვენს შემთხვევაში ძალა, რომელიც საჭიროა ლიფტის ასაწვევად, ლიფტის წონის $F = mg$ ტოლია, სადაც $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$ თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა და მუდმივი სიდიდეა. ხოლო $S = h$. სასარგებლოდ შესრულებული მუშაობა.

$$A_1 = Fh = mgh = 1000 \text{ კგ} \cdot 10 \cdot 40 = 4 \cdot 10^5 \text{ ჯ.}$$

ლიფტის ძრავას მიერ მთლიანად შესრულებული მუშაობა $A = P \cdot t$, სადაც P მისი სიმძლავრეა და t მუშაობის

შესრულების დრო, ე.ი. გვაქვს: $\frac{mgh}{Pt} = 0,9$, აქედან

$$P = \frac{mgh}{0,9t} = \frac{4 \cdot 10^5}{0,9 \cdot 30} = 14815 \text{ ვტ} = 14,8 \text{ კვტ.}$$

$$\text{დენი ძრავას გრაგნილში } I = \frac{P}{U} = \frac{14815}{120} = 123,5 \text{ ა.}$$

3.17. კირხჰოფის კანონები

რობერტ კირხჰოფმა (1824 - 1887) ჩამოაყალიბა ორი კანონი, რომლებიც მეცნიერებაში კირხჰოფის პირველი და კირხჰოფის მეორე კანონის სახელითაა ცნობილი.

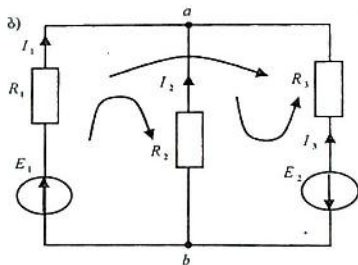
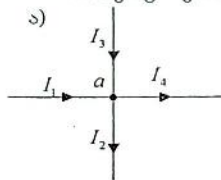
ა) კირხჰოფის I კანონი - კირხჰოფის

I კანონი ამყარებს დამოკიდებულებას

კვანძში თავმოყრილ დენებს შორის და გამოითქმის შემდეგნაირად: კვანძში შესული დენების ჯამი ამ კვანძიდან გამოსული დენების ჯამის ტოლია.

დავუშვათ, a წერტილში

ნახ. ა, რომელიც ელექტრული



წრედის ერთ-ერთი კვანძია, თავს იყრის ოთხი შტო I_1, I_2, I_3 და I_4 დენებით. კირხჰოფის I კანონი ამ კვანძისათვის ნაიწერება შემდეგნაირად: $I_1 + I_3 = I_2 + I_4$. ეს განტოლებები შეიძლება გადავწეროთ ასეც:

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 0$$

და მივცეთ კირხჰოფის I კანონს სხვაგვარად ფორმულირება:

კვანძში თავმოყრილი დენების ალგებრული ჯამი ნული ტოლია: $\sum I = 0$.

ბ) კირხჰოფის II კანონი - ეს კანონი იწერება ნებისმიერი შეკრული კონტურისათვის და გამოითქმის შემდეგნაირად: შეკრულ კონტურში მოქმედი ემპ-ის ალგებრული ჯამი, ამ კონტურის ცალკეულ უბანზე ძაბვის ვარდნების ალგებრული ჯამის ტოლია: $\sum E = \sum IR$.

გ) კირხჰოფის კანონების ჩაწერის წესი - თავდაპირველად (ნახ. ბ) ვირჩევთ დენების მიმართულებას შტოებსა და შემოვლის მიმართულებას კონტურში. ეს არჩევანი სავსებით პირობითია და არ არის დამოკიდებული შტოში მოქმედი ემპ-ის მიმართულებაზე ან სხვა პირობებზე. კვანძში შესულ დენებს მივანიჭოთ ეროი ნიშანი, გამოსულს - საწინააღმდეგო. ეს არჩევანი საერთო უნდა იყოს ყველა კვანძისათვის. კირხჰოფის II კანონში ემპ, რომლის მიმართულება ემთხვევა შემოვლის მიმართულებას, აიღება დადებითი ნიშნით და, პირიქით. ანალოგიურად აირჩევა ძაბვის ვარდნის, ანუ IR ნამრავლის ნიშანი აღებულ წინააღმდეგობაში გამავალი დენისა და შემოვლის მიმართულების მიხედვით.

განვიხილოთ მაგალითი - ჩაწეროთ განტოლებები კირხჰოფის I და II კანონით ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები სქემისათვის.

ავირჩიოთ I_1, I_2, I_3 დენების პირობითი დადებითი მიმართულებები და შემოვლის მიმართულებები შეკრულ კონტურებში. ეს არჩევანი სავსებით პირობითია, მაგალითად, a კვანძში სამივე დენი შედის. ეს პრაქტიკულად შეუძლებელია, მაგრამ არჩევანის უფლება გვაქვს. თუ შედგენილი განტოლებებით წრედს გავიანგარიშებთ და რომელიმე შტოს დენი აღმოჩნდება მინუს ნიშნით, მაშინ დენის წინასწარ არჩეული მიმართულება უნდა შევცვალოთ საწინააღმდეგოთ.

ზემოთ ნაჩვენები წესით დავწეროთ:

კირხჰოფის I კანონი: a კვანძისათვის $I_1 + I_2 + I_3 = 0$;

b კვანძისათვის $-I_1 - I_2 - I_3 = 0$.

კირხჰოფის II კანონი: პირველი დამოუკიდებელი კონტურისათვის:

$$E_1 = I_1 R_1 - I_2 R_2;$$

მეორე დამოუკიდებელი კონტურისათვის:

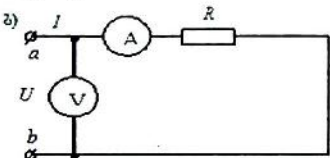
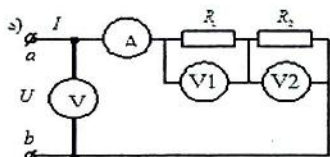
$$E_3 = I_2 R_2 - I_3 R_3;$$

გარე კონტურისათვის:

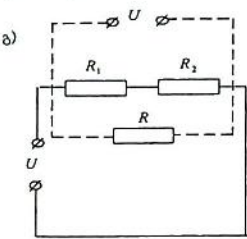
$$E_1 + E_3 = I_1 R_1 - I_3 R_3.$$

3.18. ცნება ეკვივალენტური გარდაქმნების შესახებ

ეკვივალენტური ეწოდება ისეთ გარდაქმნას, როცა წრედის



ა) მიმდევრობით შეერთებული წრედის კანონები - ავიღოთ მიმდევრობით შეერთებული R_1 და R_2 წინაღობა. წრედის ab ბოლოები ჩავრთოთ კეების წყაროს მომჭერებზე, ანუ სხვაგვარად რომ ვთქვათ, მიმდევრობით შეერთებული წრედის ბოლოებზე მოვდოთ U ძაბვა. ეს ძაბვა იზომება ვოლტმეტრით. ორივე წინაღობაში გადის ერთი და იგივე დენი, რომელიც იზომება ამპერმეტრით. V_1 და V_2 ვოლტმეტრები ზომავს ძაბვის ვარდნებს R_1 და R_2 წინაღობების ბოლოებზე ცალ-ცალკე (ნახ. ა).



გარკვეულ უბანს სხვა უბნით შეცვლით და წრედის დარჩენილი ნაწილის მუშაობის რეჟიმი არ შეიცვლება. ასეთი გარდაქმნების ელემენტარული მაგალითებია მიმდევრობით ან პარალელურად ჩართული რამდენიმე წინაღობის ერთი წინაღობით შეცვლა; ვარსკვლავურად შეერთებული წრედის სამკუთხედური წრედით შეცვლა და, პირიქით.

გავეცნოთ ამ გარდაქმნებს:

ახლა ავიღოთ ისეთივე სიდიდის ძაბვის მქონე მეორე წყარო და შევარჩიოთ ისეთი R წინაღობა, რომ მასში გადიოდეს იმავე სიდიდის დენი (ნახ. ბ), ე.ი. (ნახ. ა, ბ) წრედებზე მოდებული ძაბვები და წრედებში გამავალი დენები ერთნაირია ანუ ეს სქემები ეკვივალენტურია. მაშინ ნახ. ბ სქემაზე აღებული ერთი R წინაღობა ეკვივალენტური იქნება ნახ. ა სქემაზე ერ-

თად აღებული ორივე R_1 და R_2 წინაღობისა.

მეტი სიცხადისათვის ნახ. ა და ნახ. ბ წრედები ერთ სქემაზე წარმოვადგინოთ: ნახ. ა - მთლიანი ხაზით, ნახ. ბ - წყვეტილით და ამპერმეტრი და ვოლტმეტრები შევცვალოთ იმ ელემენტრული სიდიდეებით, რომლებსაც ისინი ზომავენ (ნახ. ვ).

U ძაბვა დავშალოთ ორ U_1 და U_2 მდგენელებად, ე.ი. $U = U_1 + U_2$. ომის კანონის თანახმად დავწერთ:

$U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U = IR$, მაშინ მივიღებთ: $IR = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$, საიდანაც $R = R_1 + R_2$, მივიღეთ შემდეგი დასკვნები:

1) $U = U_1 + U_2$. მიმღევრობით შეერთებულ წრედში წრედზე მოღებული ძაბვა ცალკეულ ელემენტებზე მოღებული ძაბვების ჯამის ტოლია;

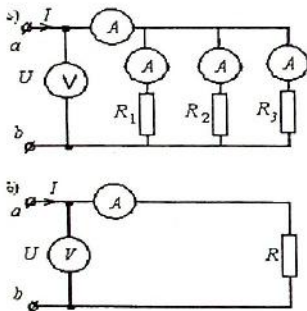
2) $R = R_1 + R_2$. მიმღევრობით შეერთებული ელემენტების ეკვივალენტური წინაღობა ცალკეული ელემენტის წინააღობების ჯამის ტოლია.

3) გავეყოთ ერთმანეთზე ტოლობები $U_1 = IR_1$ და $U_2 = IR_2$.

ვექნება: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$, ე.ი. ძაბვები მიმღევრობით შეერთებულ წრედ-

ში წინააღობების პირდაპირპროპორციულად ნაწილდება.

ეს დასკვნები სამართლიანია მიმღევრობით შეერთებული წინააღობების ნებისმიერი რაოდენობისათვის.



ბ) პარალელურად შეერთებული წრედის კანონები — ანალოგიურად განვიხილოთ პარალელურად შეერთებული (ნახ. ა) და მისი ეკვივალენტური (ნახ. ბ) წრედები. აქ აღებული გვაქვს პარალელურად შეერთებული სამი წინააღობა R_1, R_2, R_3 . პარალელურად შეერთებულ თითოეულ ელემენტზე მოღებულია ერთი და იგივე ძაბვა და თითოეულისათვის ომის კანონის თანახმად დავწერთ:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

ეკვივალენტურ (ნახ. ბ) სქემაზე $I = \frac{U}{R}$. თუ დენს განვიხი-

ლავთ, როგორც მუხტების მოძრაობას, ცხადია წყაროდან გამოსული მუხტების რაოდენობა მასში დაბრუნებული მუხტების ჯამი უნდა იყოს და ეს შესრულდება მაშინ, როცა სრულდება ტოლობა: $I = I_1 + I_2 + I_3$ (ნახ. ა).

წრედების ეკვივალენტურობის პირობის თანახმად (ნახ. ა და ნახ.ბ) გვექნება:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad \text{და} \quad I = \frac{U}{R}, \quad \text{ანუ}$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right), \quad \text{საიდანაც მივიღებთ:}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

ასე რომ, პარალელურად შეერთების დროს გაეაქოებთ შემდეგ დასკვნებს:

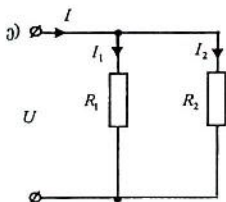
1) $I = I_1 + I_2 + I_3$. პარალელურად შეერთების დროს დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში ცალკეულ ელემენტებში გამავალი დენების ჯამის ტოლია.

2) პარალელურად შეერთებული წინააღობების ეკვივალენტური წინააღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეულ ელემენტთა წინააღობების შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

როგორც ვიცით (§3.5), წინააღობის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება გამტარობა და გვექნება: $G = G_1 + G_2 + G_3$, ე.ი. პარალელურად შეერთებული რეზისტორების ეკვივალენტური გამტარობა ცალკეულ რეზისტორთა გამტარობების ჯამის ტოლია.

ეს დასკვნები სამართლიანია პარალელურად შეერთებული ნებისმიერი რაოდენობის წინააღობებისათვის.

განვიხილოთ კერძო შემთხვევა, როცა პარალელურად შეერთებულია მხოლოდ ორი წინააღობა (ნახ. ე). მაშინ გვექნება:



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

შევიკრიბოთ მარჯვენა მხარის წევრები წილადთა შეკრების წესით:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}; \quad \text{მივიღებთ:} \quad \frac{1}{R} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}.$$

გადავაბრუნოთ ტოლობის ორივე მხარე

და მივიღებთ: $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, ე.ი. პარალელურად შეერთებული ორი წინაღობის ეკვივალენტური წინაღობა მათი ნამრავლის ჯამთან ფარდობის ტოლია.

გავეყოთ ერთმანეთზე $I_1 = \frac{U}{R_1}$ და $I_2 = \frac{U}{R_2}$ ტოლობები.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U}{R_1} : \frac{U}{R_2} = \frac{UR_2}{UR_1} = \frac{R_2}{R_1}, \text{ ე.ი. } \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

მივიღეთ ზოგადი დასკვნა: პარალელური შეერთების დროს დენები შტოებში წინაღობათა უკუპროპორციულად ნაწილდება. ეს ადვილი წარმოსადგენია ლოგიკურადაც: თუ პარალელურად ჩართულია დიდი და პატარა წინაღობის რეზისტორები, ცხადია, მცირე წინაღობიან შტოში გაივლის მეტი დენი.

პარალელურად ჩართული n რაოდენობის ტოლი წინაღობებისათვის გვექნება:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} + \dots \text{ ანუ } \frac{1}{R} = n \frac{1}{R_1}, \text{ საიდანაც } R = \frac{R_1}{n}.$$

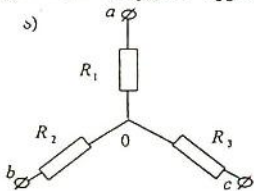
ე.ი. პარალელურად ჩართული ტოლი წინაღობების ეკვივალენტური წინაღობა ტოლია ერთ - ერთის წინაღობა გაყოფილ მათ რაოდენობაზე.

რაც შეეხება დენების განაწილებას, გვექნება:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = 1 \text{ ანუ } I_1 = I_2.$$

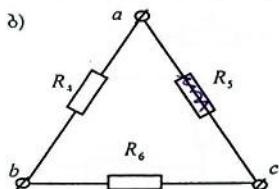
ე.ი. ტოლი წინაღობების პარალელურად ჩართვის დროს დენები წინაღობებში ნაწილდება თანაბრად და, ცხადია, თითოეულში გამავალი დენი სწერთო დენის წინაღობათა რაოდენობაზე განყოფის ტოლია: $I_1 = \frac{I}{n}$.

გ) ვარსკვლავური წრედის გარდაქმნა ეკვივალენტური სამკუთხედური წრედით და პირიქით - ხშირ შემთხვევაში ეკვივალენტური გარდაქმნებით საგრძნობლად მარტივდება საანგარიშო წრედის სქემა. ჩვენ განვიხილეთ მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული წრედების ეკვივალენტური გარდაქმნები, ანუ რამდენიმე ელემენტის ერთით შეცვლა. შესაძლებელია აგრეთვე სამკუთხედურად შეერთებული სამი წინაღობა შეეცვალოს ეკვივალენტური ვარსკვლავით და, პირიქით.



ასეთი გადასვლების ფორმუ-

ლები მოვიყვანოთ დამტკიცების გარეშე, როცა ცნობილია ვარსკვლავურად შეერთებული წინააღობები R_1, R_2, R_3 , (ნახ. ა), მაშინ ამ წრედის ეკვივალენტური სამკუთხედური სქემის R_4, R_5, R_6 წინააღობები (ნახ. ბ) იანგარიშება ფორმულებით:



$$R_4 = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3};$$

$$R_5 = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2};$$

$$R_6 = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

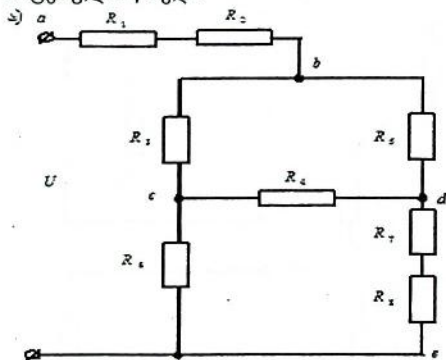
პირიქით გადასვლის დროს, ანუ როცა ცნობილია სამკუთხედური სქემით შეერთებული R_4, R_5, R_6 წინააღობები (ნახ. ბ), მაშინ ამ წრედის ეკვივალენტური ვარსკვლავური სქემის R_1, R_2, R_3 წინააღობები (ნახ. ა) იანგარიშება შემდეგნაირად:

$$R_1 = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_2 = \frac{R_4 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_3 = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6}.$$

განვიხილოთ მაგალითები:

ამოცანა №1.

ეკვივალენტური გარდაქმნებით გავამარტივოთ ნახ. ა-ზე მოცემული წრედი.



ამოხსნა

ab და de შტოებში მიმდევრობით ჩართული წინააღობები შევცვალოთ მათი ეკვივალენტურით:

$$R_9 = R_1 + R_2;$$

$$R_{10} = R_7 + R_8.$$

და წრედი მიიღებს სახეს (ნახ. ბ).

აქ არა გვაქვს მკვეთრად გამოსახული მიმდევრობით და პარალელურად

მიერთებული უბნები.

bcd წერტილებს შორის სამკუთხედად ჩართული R_3, R_4, R_5 წინაღობები შევცვალოთ ეკვივალენტური ვარსკვლავად შეერთებული R_{11}, R_{12}, R_{13} წრედით (ნახ. გ), სადაც

$$R_{11} = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5};$$

$$R_{12} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_5};$$

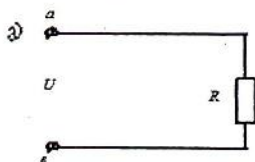
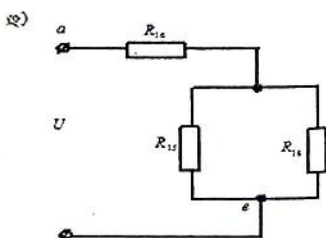
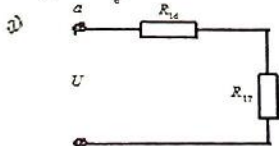
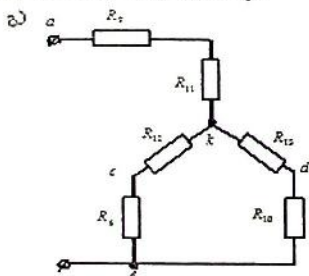
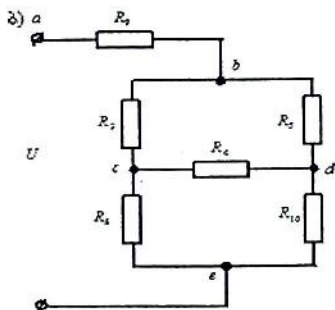
$$R_{13} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5}.$$

მიღებულ სქემაზე მიმდევრობით შეერთებული R_9, R_{11} ;

R_{12}, R_6 და R_{13}, R_{10} წინაღობები შევცვალოთ მათი ეკვივალენტური $R_{14} = R_9 + R_{11}$, $R_{15} = R_{12} + R_6$

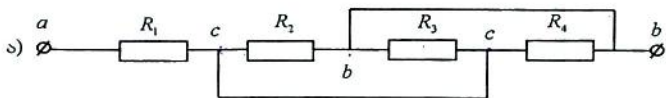
წინაღობებით და $R_{16} = R_{13} + R_{10}$ და წრედი მიიღებს ნახ. დ-ზე ნაჩვენებ სახეს. ამ სქემაზე პარალელურად შეერთებული R_{15}, R_{16} წინაღობების ეკვივალენტური წინაღობა იქნება

$$R_{17} = \frac{R_{15} \cdot R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \quad (\text{ნახ. ე}) \text{ და საბოლოოდ მთლიანი წრედის წინაღობა } R = R_{14} + R_{17} \quad (\text{ნახ. ე}).$$



ამოცანა № 2. ✓

განესაზღვროთ ეკვივალენტური R_{ab} წინაღობა, როცა გამტარები შეერთებულია ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სქემით:

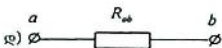
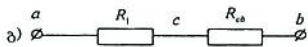
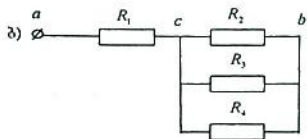


ამოხსნა

შემაერთებელი გამტარების წინაღობა ნულის ტოლია. ე.ი. $b-b$ და $c-c$ წერტილების პოტენციალები ერთნაირია. ნახ. ა-ზე წარმოდგენილი სქემა შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები სქემით, სადაც R_2, R_3, R_4 წინაღობები აღმოჩნდა პარალელურად შეერთებული. მათი ეკვივალენტური R_{cb} წინაღობა გამოვთვალოთ ტოლობიდან:

$$\frac{1}{R_{cb}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \text{ და ნახ. ბ სქემა მიიღებს ნახ. გ-ზე}$$

ნაჩვენებ სახეს, საიდანაც $R_{ab} = R_1 + R_{cb}$ (ნახ. დ).



ამოცანა № 3.

როგორ შეიცვლება არაიზოლირებული სადენის წინაღობა, თუ მას შუაზე გაკეცავთ და დაეგრეხთ.

ამოხსნა

ვთქვათ, სადენის სიგრძეა l და განიკვეთის ფართობი S , მაშინ მისი წინაღობა იქნება $R_1 = \rho \frac{l}{S}$.

შუაზე გაკეცვის შემდეგ გამტარის სიგრძე გახდება $\frac{l}{2}$ და ერთმანეთზე გადაგრეხვით კვეთი - $2S$, მაშინ მისი წინაღობა იქნება:

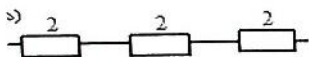
$$R_2 = \rho \frac{\frac{l}{2}}{2S} = \rho \frac{l}{4S} = \frac{1}{4} \rho \frac{l}{S} = \frac{R_1}{4},$$

ე.ი. გამტარის წინაღობა შემცირდება 4-ჯერ.

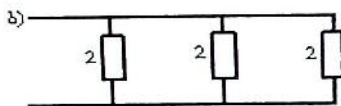
ამოცანა № 4.

გვაქვს 2 ომი წინაღობის სამი რეზისტორი. რა კომბინაციებით შეიძლება შევეერთოთ ისინი და გამოვთვალოთ თითოეული წრედის ეკვივალენტური წინაღობა.

ამოხსნა



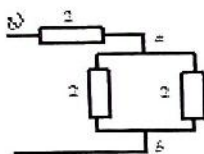
მიმდევრობით შეერთების დროს $R = 6$ ომი.



პარალელური შეერთების დროს:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

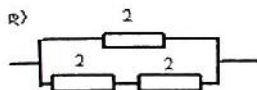
სოლო $R = \frac{2}{3}$ ომი.



შერეული შეერთების დროს

$$R_{ab} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} = 1 \text{ ომი,}$$

სოლო $R = 2 + R_{ab} = 2 + 1 = 3$ ომი;



ამ წრედის ეკვივალენტური წინაღობა იქნება: $R = \frac{2 \cdot (2 + 2)}{2 + 2 + 2} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}$ ომი.

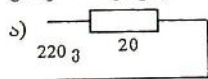
ამოცანა № 5.

ელექტროლუმელს გააჩნია ორი გამახურებელი ელემენტი, რომელთა წინაღობებია 20 ომი და 30 ომი. ჩამრთველი გვაძლევს საშუალებას, ეს გამაცხელებლები ერთდროულად ჩაერთოთ ყველა შესაძლო კომბინაციით. რამდენი კომბინაცია შეიძლება შევასრულოთ, და განვსაზღვროთ სიმძლავრე თითოეული შემთხვევისათვის, თუ მკვებავი ძაბვის სიდიდე 220 ვ-ის ტოლია.

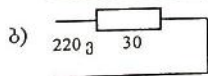
ამოხსნა

ჩამრთველის საშუალებით შეიძლება განხორციელდეს 4 კომბინაცია:

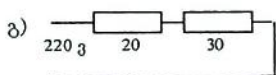
ა) ჩაერთოს ერთი გამაცხელებელი (ნახ. ა); ბ) ჩაერთოს მეორე გამაცხელებელი (ნახ. ბ); გ) ჩაერთოს ორივე მიმდევრობით (ნახ. გ); დ) ჩაერთოს ორივე პარალელურად (ნახ. დ). განვითარებული სიმძლავრეები იქნება:



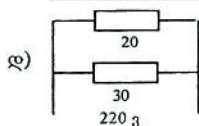
$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{48400}{20} = 2,41 \text{ კვტ;}$$



$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{48400}{30} = 1,6 \text{ კვტ;}$$



$$P_3 = \frac{U^2}{R_3} = \frac{48400}{50} = 0,97 \text{ კვტ.}$$

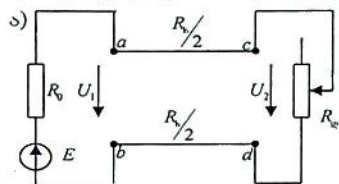


$$R_{\text{eq}} = R_4 = \frac{20 \cdot 30}{50} = 12 \text{ ომი.}$$

$$P_4 = \frac{U^2}{R_4} = \frac{48400}{12} = 4 \text{ კვტ.}$$

ამოცანა №6.

ნახ. ა-ზე მოცემულია $E=100$ ვ-ს ტოლი ემძის წყარო, რომლის შიგა წინაღობა $R_0=0,5$ ომს, 50 მ მანძილზე $0,5$ მმ² განივკვეთის სპილენძის სადენებით მიერთებულია რეოსტატთან. გამოთვალეთ ძაბვები: წყაროს მომჭერებზე (ძაბვა ხაზის დასაწყისში), მომხმარებლის მომჭერებზე (ძაბვა ხაზის ბოლოში); წყაროს მიერ განვითარებული და მომხმარებელში დახარჯული სიმძლავრეები; ხაზის მქკ. დენის ($0=I_{\text{მქკ}}$) დიაპაზონში ცვლილებით ეუხევნოთ რა პირობებში მიეწოდება მომხმარებელს მაქსიმალური სიმძლავრე, გამოთვალეთ ამ დროს მქკ. ავადგოთ ძაბვების და სიმძლავრეების დენზე დამოკიდებულებების გრაფიკები. (დენი წრედში იცვლება



დატვირთვის წინააღობის ცვლილებით).

ამოხსნა:

გამოთვალეთ ac და bd გამტარების, ანუ ენერჯის გადამცემი ხაზის ომური წინააღობა:

$$\frac{R_b}{2} = \rho_b \frac{l}{S} = 0,0175 \cdot \frac{50}{1,5} = 1,75 \text{ ომი}$$

მთელი ხაზის წინააღობა იქნება :

$$R_b = \frac{R_b}{2} \cdot 2 = 1,75 \cdot 2 = 3,5 \text{ ომი.}$$

წრედი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ერთკონტურიანი განუშტოებელი წრედი და დენი მასში იანგარიშება ომის კანონით:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_b + R_r}$$

აქ ცვლადია R_{Σ} დატვირთვის წინაღობა. როცა დატვირთვა გა-
თიშულია, დენი წრედში უდრის ნულს (უქმი სვლის რეჟიმი),
როცა cd მომჭერები დამოკლებულია (მოკლედ შერთვის რეჟი-
მი) დენი წრედში მაქსიმალურია და $I_{\Sigma} = \frac{E}{R_0 + R_k} = \frac{100}{0,5 + 3,5} = 25$ ა,

ე.ი. R_{Σ} -ის ცვლილებით დენი წრედში იცვლება (0-25) ა დი-
აპაზონში.

გამოთვალეთ საძიებელი სიდიდეები დენის რომელიმე
კონკრეტული მნიშვნელობისათვის, მაგალითად, $I = 10$ ა. მაშინ
გვექნება:

ძაბვის ვარდნა წყაროს შიგა წინაღობაზე $U_0 = IR_0 = 5$ ვ;

ძაბვის ვარდნა ხაზის წინაღობაზე $U_k = IR_k = 10 \cdot 3,5 = 35$ ვ;

ძაბვის დანაკარგები $\Delta U = U_0 + U_k = 5 + 35 = 40$ ვ;

ძაბვა დატვირთვის მომჭერებზე $U_2 = E - \Delta U = 100 - 40 = 60$ ვ;

ძაბვა ხაზის დასაწყისში $U_1 = E - U_0 = 100 - 5 = 95$ ვ;

შიგა წინაღობაზე დახარჯული სიმძლავრე $P_0 = U_0 I = 5 \cdot 10 = 50$ ვტ;

ხაზის წინაღობაზე დახარჯული სიმძლავრე

$$P_k = U_k I = 35 \cdot 10 = 350 \text{ ვტ};$$

სიმძლავრის დანაკარგები $\Delta P = P_0 + P_k = 400$ ვტ;

წყაროს მიერ განვითარებული სიმძლავრე $P_{\Sigma} = EI = 1000$ ვტ;

მოსმარებული სიმძლავრე $P_2 = U_2 I = 60 \cdot 10 = 600$ ვტ;

საზის დასაწყისში განვითარებული სიმძლავრე $P_1 = U_1 I = 950$ ვტ;

ხაზის მქკ $\eta_1 = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_k}{P_1} \cdot 100\% = 36,84\%$;

წრედის მქკ $\eta_2 = \frac{P_{\Sigma} - \Delta P}{P_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{1000 - 400}{1000} \cdot 100 = 60\%$.

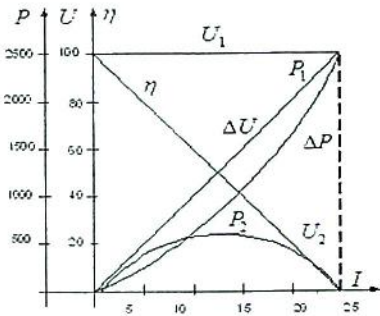
მივცეთ დენს მნიშვნელობები (0-25) დიაპაზონში, ანალოგიუ-
რად გამოთვალეთ საძიებელი სიდიდეები. ანგარიშის შედე-
გები მოვიყვანოთ ცხრილის სახით:

I	U_0	U_k	ΔU	U_2	U_1	P_0	P_k	ΔP	P_{Σ}	P_2	P_1	η_1	η_2
ა	ვ	ვ	ვ	ვ	ვ	ვტ	ვტ	ვტ	ვტ	ვტ	ვტ	%	%
0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	-
5	2,5	17,5	20	80	93,5	12,5	87,5	100	500	400	467,5	18,7	93,5
10	5	35	40	60	95	50	350	400	1000	600	950	37	60
12,5	6,25	43,7	50	50	93,75	78,43	547	625	1250	625	1172	46,6	50
15	7,5	53,5	60	40	92,5	112,5	787,5	900	1500	600	1388	56,7	40
20	10	70	80	20	90	200	1400	1600	2000	400	1800	77,8	20
25	12,5	87,5	100	0	87,5	312,5	218,5	2500	2500	0	2188		0

ავაგოთ

$U(I), U_1(I), \Delta U(I), R_1(I), R_2(I), \Delta R(I), \eta(I)$

გრაფიკები.



როგორც ნახ. ბ-დან ჩანს, მომხმარებელს მაქსიმალური სიმძლავრე გადაეცემა მოკლედშერთვის დენის ნახევარ $I=12,5$ ა მნიშვნელობაზე. გამოთვალეთ დატვირთვის წინააღობა დენის ამ მნიშვნელობაზე. წრედის მთლიანი წინააღობა აღვნიშნოთ R -ით, მაშინ

$$R = R_0 + R_6 + R_{\text{ვ}},$$

აქედან $R_{\text{ვ}} = R - R_6 - R_0$. ომის

$$\text{კანონით } R = \frac{E}{I} = \frac{100}{12,5} = 8 \text{ ომი,}$$

ე.ი. $R_{\text{ვ}} = 8 - 3,5 - 0,5 = 4$ ომი. 4 ომის ტოლია მთელი წრედის წინააღობაც ($R_{\text{წრ}} = R_0 + R_6 = 4$ ომი), ე.ი. მომხმარებლის მაქსიმალური სიმძლავრე გადაეცემა დატვირთვის წინააღობის იმ მნიშვნელობაზე, რომელიც მთელი ხაზისა და წყაროს შიგა წინააღობების ჯამის ტოლია. ხაზის მუშაობის ამ რეჟიმს ეწოდება შეთანხმებული რეჟიმი.

შეთანხმებულ რეჟიმში ხაზის მქკ 50% - ია, ამიტომ შეთანხმებული რეჟიმი გამოიყენება სუსტი დენების შემთხვევაში, სადაც უპირველეს პირობად მოითხოვება სიმძლავრის მაქსიმალურად გადაცემა და არა მაღალი მქკ.

ამოცანა №7.

საყოფაცხოვრებო გაზქურის გამოყენების დროს დიასახლისისათვის ადვილია შეარჩიოს გაზქურის სიმძლავრე ონკანის საშუალებით და აკონტროლოს ეს სიმძლავრე ალის მიხედვით.

რას მოიფიქრებდით, რომ ალის იმიტაცია შეგვექმნა ელექტროქურაზე, რომლის გამახურებელი ელემენტი შეიძლება ჩავრთოდ სხვადასხვა სიმძლავრეზე.

ამოცანა №8.

გვაქვს 220 ვ-ზე გათვლილი ორი ნათურა - 150 და 60 ვატიანი. ეს ნათურები შევავრთოთ მიმდევრობით და ჩავრთოთ ბინის ელმომარაგების ქსელში. მართალია, ორივე ნათურა იკაშკაშებს ნორმალურზე ნაკლები სიკაშკაშით, მაგრამ რომლის ნათება უფრო ახლოს იქნება ნორმალურთან?

ამოცანა №9.

როგორ გავაძლიეროთ სპირალიანი გამახურებლის (ელქურა, უთო) სიმძლავრე?

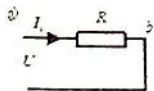
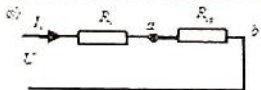
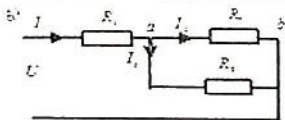
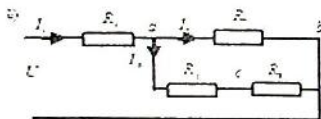
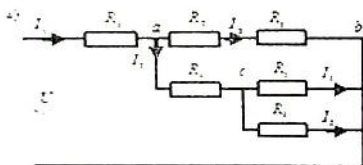
ამოცანა №10.

გვაქვს მუდმივი დენის წყარო (აკუმულატორი, ბატარეა), რომელზეც წაშლილია პოლარობის აღმნიშვნელები (+,-), ან კიდევ გაწყვეტილია გამართული მობილური ტელეფონის დამმუხტველის გამოსავალი კაბელი - როგორ დავადგინოთ (+,-) მომჭერები?

ამოცანა №11.

გვაქვს სამი ნათურა 50, 50 და 100 ვატიანი. თითოეულის ნომინალური ძაბვა 110 ვ-ის ტოლია. მოიფიქრეთ როგორ ჩაერთოთ ეს ნათურები 220 ვ ძაბვის ქსელში, რომ თითოეულმა ნორმალურად იკაშკაშოს?

3.19. ელექტრული წრედების ანალიზისა და სინთეზის ამოცანები



ელექტრული წრედების თეორიაში განიხილება ორი სახის ამოცანა. ესენია: ანალიზისა და სინთეზის ამოცანები. ანალიზის ამოცანა ითვალისწინებს განისაზღვროს დენები შტოებში და ძაბვები წრედის ცალკეულ უბნებზე. როცა ცნობილია ელექტრული წრედის სქემა და მასში ჩართული ყველა ელემენტის პარამეტრი. სინთეზის ამოცანაში პირიქით, ცნობილია საჭირო სიდიდის დენი ან ძაბვა და უნდა დამუშავდეს ელექტრული წრედის სქემა და განისაზღვროს მისი პარამეტრები. ადვილი მისახვედრია, რომ ანალიზის ამოცანას აქვს ერთადერთი ამოხსნა, სინთეზის ამოცანას კი - მრავალი.

არსებობს მრავალი მეთოდი ელექტრული წრედების გასაანგარიშებლად, მაგრამ ყველა მათგანი გამომდინარეობს ომისა და

კირხჰოფის კანონებიდან ნებისმიერი სირთულის წრედში და ნებისმიერი პროცესის გასაანალიზებლად.

ა) ერთი წყაროს შემცველი წრედის ანგარიში - თუ ელექტრული წრედი ერთ წყაროს შეიცავს, უმეტესად გამოიყენება ექვივალენტური გარდაქმნის მეთოდი. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ექვივალენტური გარდაქმნებით გავამარტივებთ წრედს და ექვივალენტურ სქემაზე ვპოულობთ საძიებელ სიდიდეებს. მაგალითად, გამოვთვალოთ თითოეულ შტოში გამავალი დენი, თუ წრედის პარამეტრებია: $R_1 = 2,9$ ომი; $R_2 = 3$ ომი; $R_3 = 4$ ომი; $R_4 = 0,6$ ომი; $R_5 = 4$ ომი; $R_6 = 6$ ომი; $U = 50$ ვ; (ნახ.ა). $I_1 = ?$, $I_2 = ?$ $I_3 = ?$ $I_4 = ?$ $I_5 = ?$

ამოხსნა

მოვიყვანოთ ექვივალენტური გარდაქმნის სქემები კომენტარების გარეშე (ნახ. ბ,გ,დ,ე) და გამოვთვალოთ ექვივალენტური წინაღობები.

$$\text{ნახ. ბ-ზე: } R_8 = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{4 \cdot 6}{10} = 2,4 \text{ ომი; } R_7 = R_2 + R_3 = 3 + 4 = 7 \text{ ომი;}$$

$$\text{ნახ. გ-ზე: } R_9 = R_4 + R_8 = 0,6 + 2,4 = 3 \text{ ომი.}$$

$$\text{ნახ. დ-ზე } R_{10} = \frac{R_7 \cdot R_9}{R_7 + R_9} = \frac{7 \cdot 3}{10} = 2,1 \text{ ომი.}$$

$$\text{ნახ. ე-ზე } R = R_1 + R_{10} = 2,9 + 2,1 = 5 \text{ ომი.}$$

$$\text{გამოვთვალოთ დენი ნახ ე-ზე } -I_1 = \frac{U}{R} = \frac{50}{5} = 10 \text{ ა. ეს არის დენი}$$

წრედის განუშტოებელ ნაწილში.

$$\text{ნახ დ-ზე } U_{ab} = I \cdot R_{10} = 10 \cdot 2,1 = 21 \text{ ვ.}$$

$$\text{ნახ. გ-ზე: } I_2 = \frac{U_{ab}}{R_7} = \frac{21}{7} = 3 \text{ ა; } I_3 = \frac{U_{ab}}{R_9} = \frac{21}{3} = 7 \text{ ა.}$$

$$\text{ნახ. ბ-ზე } U_{cb} = I_3 \cdot R_8 = 7 \cdot 2,4 = 16,8 \text{ ვ.}$$

$$\text{ნახ. ა-ზე } I_4 = \frac{U_{cb}}{R_5} = \frac{16,8}{4} = 4,2 \text{ ა; } I_5 = \frac{U_{cb}}{R_6} = \frac{16,8}{6} = 2,8 \text{ ა.}$$

ანგარიშის სისწორე შევამოწმოთ კირხჰოფის I კანონით:

$$a \text{ წერტილში } I_1 = I_2 + I_3; 10 = 3 + 7; 10 = 10.$$

$$c \text{ წერტილში } I_3 = I_4 + I_5; 7 = 4,2 + 2,8; 7 = 7.$$

$$b \text{ წერტილში } I_2 + I_4 + I_5 = I_1; 3 + 4,2 + 2,8 = 10; 10 = 10.$$

ბ) რთული წრედის ანგარიში კირხჰოფის კანონებით - როცა ელექტრული წრედები ექვივალენტურ გარდაქმნებს არ ექვემდებარება, ან კიდევ დასმული ამოცანა მოითხოვს გავიანგარიშოთ წრედი იმ სახეში, როგორადაც არის იგი მოცემული, იყენებთ ანალიზის პირდაპირ ხერხს: ვადგენთ განტოლებათა

სისტემას, რომელშიც უცნობია საანგარიშო დენები. დამუშავებულია ამ ხერხით წრედის გაანგარიშების რამდენიმე მეთოდი; ყველგან განტოლებათა სისტემის შედგენა კირხჰოფის კანონებზე დაყრდნობით ხდება, მაგრამ ზოგიერთი მეთოდი ხელოვნურია და განტოლებათა სისტემიდან საძიებელი დენები უშუალოდ არ განისაზღვრება. გავეცნოთ იმ მეთოდს, სადაც განტოლებებს ვადგენთ უშუალოდ საძიებელი დენებისათვის. ეს ხდება კირხჰოფის I და II კანონის გამოყენებით, რომელიც ერგება ნებისმიერი სირთულის ელექტრულ წრედს და ხშირად მას ანგარიშის უნივერსალურ მეთოდს უწოდებენ.

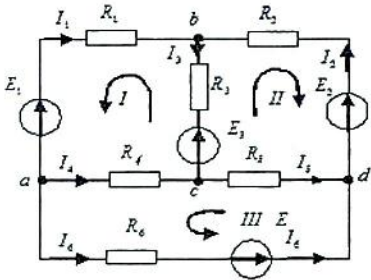
მარტივი მათემატიკური გარდაქმნებით მტკიცდება, რომ რთული წრედის ყველა კვანძისათვის კირხჰოფის I კანონით ჩაწერილი განტოლებებიდან, ერთ - ერთი დანარჩენების შედეგია. ე.ი. დამოუკიდებელია კვანძების რიცხვზე ერთით ნაკლები განტოლება. ამიტომ განტოლებათა სისტემაში კირხჰოფის I კანონით ჩაიწერება განტოლებები ყველა კვანძისათვის ნებისმიერი ერთი კვანძის გარდა, ხოლო II კანონით ეწერთ განტოლებებს იმ კონტურებისათვის, რომელთა შემოწერილ სიბრტყეში შტოები არ არის ჩართული.

ესენია: I - $abca$; II - $bdc b$; III - $acda$. ასეთ კონტურს დამოუკიდებელი კონტური ეწოდება. ასე, რომ საანგარიშო წრედში გვაქვს 6 შტო, ე.ი. უნდა განისაზღვროს 6 დენი და განტოლებათა სისტემაშიც გვექნება 6 განტოლება; I კანონით ოთხი კვანძიდან (a, b, c, d) ერთით ნაკლები, ე.ი. 3 და II კანონითაც - სამი დამოუკიდებელი კონტურებისათვის, ე.ი. სულ $3+3=6$ განტოლება.

გავიხსენოთ კირხჰოფის კანონების ჩაწერის წესი: ავირჩიოთ თითოეულ შტოში დენების პირობითი დადებითი მიმართულებები. ეს არჩევანი ხდება სავსებით ნებისმიერად და ეწვეწნოთ ნახაზზე ისრებით. ასე მაგალითად, ჩვენს არჩევანში a კვანძიდან სამივე დენი გამოდის, რომელიც არ შეიძლება მოხდეს, მაგრამ არჩევანის უფლება გვაქვს და წრედის პრაქტიკულად გაანგარიშების შემდეგ რამდენიმე დენი აღმოჩნდება უარყოფითნიშნიანი, მაშინ რეალურ დენს ამ შტოში ექნება წინასწარ არჩეულის საწინააღმდეგო მიმართულება. კირხჰოფის II კანონით განტოლებების ჩაწერისას ვირჩევთ კონტურში შემოვლის მიმართულებას, ეს არჩევანიც სავსებით პირობითია და ნაჩვენებია ისრებით. დენებისა და შემოვლის არჩეული მიმართულებებისათვის §3.17-ის გამოყენებით დავწეროთ განტოლებები დამოუკიდებლად. განტოლებათა სისტემას წრედის საანგარიშოდ ექნება სახე:

- I კანონით
 - a კვანძისათვის.....
 - b კვანძისათვის.....
 - c კვანძისათვის.....
- II კანონით
 - I კონტურისათვის.....
 - II კონტურისათვის.....
 - III კონტურისათვის.....

გვაქვს 6 განტოლება 6

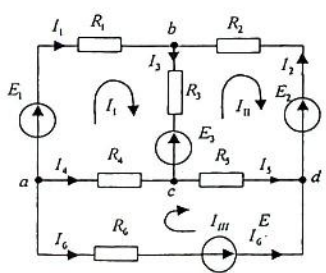


უცნობი $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$ დენით. ცხადია ამ სისტემის ამოხსნა შესაძლებელია, მაგრამ გრძელ მათემატიკური გზის გამო ამ მეთოდით წრედის ანგარიში თითქმის არ წარმოებს. ანგარიში ხელლოვნურ მეთოდებში ამოსახსნელ სისტემაში განტოლებების რიცხვი შემცირებულია და მათემატიკური გზაც შედარებით იოლია. კირხ-

ჰოფის კანონებით ჩაწერილ განტოლებათა სისტემას გამოვიყენებთ ანგარიშის სიზუსტის შესამოწმებლად.

ბ) კონტურული დენების მეთოდი - რთული წრედის ანგარიშის ეს მეთოდი ხელლოვნური მეთოდებიდან ერთ - ერთია. ხელლოვნურს ვუწოდებთ იმიტომ, რომ შემოგვაქვს პრაქტიკულად არ არსებული ხელლოვნური დენის ცნება, რომელიც იკურება დამოუკიდებელ კონტურში და კვანძებში მათი განშტოება არ ხდება. ამ დენს კონტურული დენი ეწოდება.

მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ავირჩიოთ თითოეულ დამოუკიდებელ კონტურში საკუთარი კონტურული დენის შეკერის მიმართულებები.



ეს მიმართულებები სავსებით პირობითია, მაგრამ რეკომენდებულია მივცეთ მათ ერთნაირი მიმართულებები. ეს დენებია I_I, I_{II}, I_{III} . ახლა თუ პირობითად ჩავთვლით რომ ეს დენები ცნობილია, მაშინ თითოეულ შტოში გამავალი საძიებელი დენი განისაზღვრება როგორც ამ შტო-

ში გამავალი კონტურული დენების ალგებრული ჯამი:

$$I_1 = I_I; I_2 = -I_{II}; I_3 = I_I - I_{II}; I_4 = I_I - I_{III}; I_5 = I_{II} - I_{III};$$

და $I_6 = -I_{III}$. (1)

ასე, რომ ამოცანა დადის I_I, I_{II}, I_{III} კონტურული დენების განზღვრვაზე.

კონტურული დენების საანგარიშო განტოლებათა სისტემის თითოეულ განტოლებას (მაგ. I კონტურისათვის) ვწერთ შემდეგი წესის დაცვით:

ავიღოთ კონტურული დენი (I_I) დადებითი ნიშნით და გავამრავლოთ ამ კონტურში თავმოყრილ წინაღობათა ჯამზე ($R_1 + R_3 + R_4$); დანარჩენი კონტურული დენები (I_{II} და I_{III}) ავიღოთ უარყოფითი ნიშნით და თითოეული გავამრავლოთ იმ შტოს წინააღმდეგ, რომელიც საერთოა აღებულ კონტურთან $[(-I_{II} \cdot R_3) \text{ და } (-I_{III} \cdot R_4)]$ მიღებული ალგებრული ჯამი $[I_I(R_1 + R_3 + R_4) - I_{II}R_3 - I_{III}R_4]$ გავუტოლოთ აღებულ კონტურში თავმოყრილ ემპ-თა ალგებრულ ჯამს ($E_1 - E_3$). ემპ, რომლის მიმართულეა ემთხვევა კონტურული დენის მიმართულეას აიღება დადებითი ნიშნით, წინააღმდეგ შემთხვევაში - უარყოფითი ნიშნით.

ამავე წესით ჩაწერება განტოლებები II და III კონტურებისათვის და განტოლებათა სისტემას ექნება სახე:

$$\begin{cases} I_I(R_1 + R_3 + R_4) - I_{II}R_3 - I_{III}R_4 = E_1 - E_3; \\ -I_I R_3 + I_{II}(R_2 + R_3 + R_5) - I_{III}R_5 = E_3 - E_2; \\ -I_I R_4 - I_{II}R_5 + I_{III}(R_4 + R_5 + R_6) = -E_6. \end{cases}$$

ალგებრის კურსიდან ცნობილი ნებისმიერი ხერხით ამოვხსნათ განტოლებათა სისტემა I_I, I_{II}, I_{III} ხელოვნური დენების მიმართ და განვსაზღვროთ საძიებელი $I_1, I_2 \dots I_6$ დენები (1) გამოსახულებების მიხედვით.

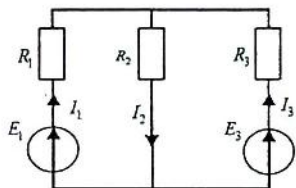
განტოლების ჩაწერის ზემოთმოყვანილი წესი დაყრდნობილია კირხოფის II კანონზე. განვიხილოთ იგი I კონტურისათვის. შემოვლის მიმართულეა დავამთხვიოთ I_I კონტურული დენის შეკერის მიმართულეას. კირხოფის II კანონით გვექნება: $I_I R_1 + I_I R_3 + I_I R_4 - I_{II} R_3 - I_{III} R_4 = E_1 - E_3$;

$I_I(R_1 + R_3 + R_4) - I_{II}R_3 - I_{III}R_4 = E_1 - E_3$. ამ განტოლების მარცხენა მხარეში მეორე და მესამე წევრები ითვალისწინებს იმ ძაბვის ვარდნებს, რომელსაც შექმნიდა I_{II} კონტურული დენი R_3 წინააღმდეგ და I_{III} დენი R_4 წინააღმდეგ. ცხადია, რომ ერთ წინააღმდეგეთის საწინააღმდეგო დე-

ნების არსებობა და შესაბამისად ორი ძაბვის ვარდნა პრაქტიკულად არ შეიძლება მოხდეს.

დავალება: შევადგინოთ სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლება I_1, I_2, I_3 დენების ნახაზზე ნაჩვენები მიმართულებებით.

ამოცანა №1



ამოცანათ I_1, I_2, I_3 დენები კონტურული დენების მეთოდით, თუ: $R_1 = 8,6 \text{ ომი}; R_2 = 4 \text{ ომი}; R_3 = 6 \text{ ომი}.$

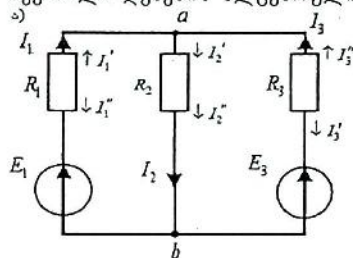
$E_1 = 80 \text{ ვ}; E_3 = 30 \text{ ვ}.$

ბ) ზედღების მეთოდი - თუ რთული წრედი შეიცავს ერთზე მეტ წყაროს, მაშინ წრედი შეიძლება გავიანგარიშოთ გარდაქმნის

მეთოდით ე.წ. სუპერპოზიციის პრინციპზე დაყრდნობით. ეს პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში: როცა წრედი შეიცავს რამდენიმე წყაროს, მაშინ დენი თითოეულ შტოში განიხილება როგორც ამ შტოში ცალკეული წყაროების მიერ შექმნილი დენების ალგებრული ჯამი.

ზედღების მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში: ამოერთოთ წრედიდან ყველა წყარო ერთის გარდა და გავიანგარიშოთ წრედი ამ წყაროს მიმართ გარდაქმნის მეთოდით. შემდეგ წრედი გავიანგარიშოთ სხვა წყაროსათვის და ა.შ. იმდენჯერ, რამდენი წყაროცაა მოცემულ წრედში.

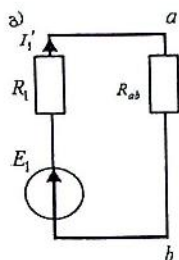
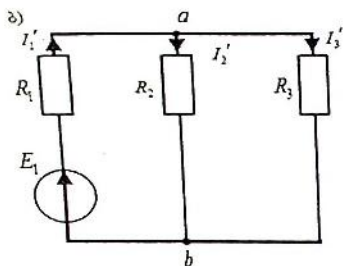
საძიებელი რეალური დენები თითოეულ შტოში განვსაზღვროთ როგორც ამ შტოში ცალკეული წყაროების მიერ შექმნილი დენების ალგებრული ჯამი.



განიხილოთ მაგალითი. გავიანგარიშოთ ზემოთ ნაჩვენები ამოცანა №1 ზედღების მეთოდით. დავალება: 1) აწარმოთ რიცხობრივი ანგარიში და შედეგები შეადარეთ ზემოთ გაანგარიშებულს. 2) შევადგინეთ სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლება:

ამოერთოთ E_3 წყარო (ნახ.ბ) და გავიანგარიშოთ

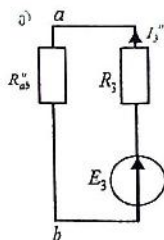
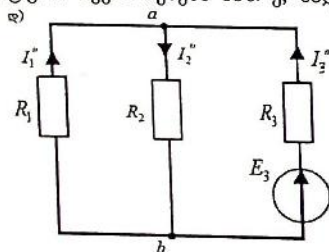
დენები შტოებში, რომელსაც აღძრავდა E_1 წყარო. ნახ. ბ სქემის ექვივალენტური სქემა იქნება ნახ. გ.



$$R'_{ab} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = ; I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + R'_{ab}} = ;$$

$$U'_{ab} = I'_1 \cdot R'_{ab} = ; I'_2 = \frac{U'_{ab}}{R_2} = ; I'_3 = \frac{U'_{ab}}{R_3} = .$$

I'_1, I'_2 და I'_3 დენების მიმართულებები გადავიტანოთ ნახ. ა-ზე. ამოვერთოთ E_1 წყარო (ნახ.დ) და გავიანგარიშოთ დენები შტოებში, რომელსაც აღძრავდა E_3 წყარო. ნახ. დ სქემის ექვთვალენტური სქემა იქნება ნახ. ე, სადაც



$$R''_{ab} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = ; I''_3 = \frac{E_3}{R_3 + R''_{ab}} = ; U''_{ab} = I''_3 \cdot R''_{ab} = ;$$

$$I''_2 = \frac{U''_{ab}}{R_2} = ; I''_1 = \frac{U''_{ab}}{R_1} = .$$

I''_1, I''_2 და I''_3 დენების მიმართულებები გადავიტანოთ ნახ. ა-ზე.

ნახ. ა - სქემიდან გვაქვს: $I_1 = I'_1 - I''_1 = ; I_2 = I'_2 + I''_2 = ; I_3 = I''_3 - I'_3 = .$

ნ ა წ ი ლ ი მ ე ო რ ე დ ე ნ ის გ ა მ ო ვ ლ ე ნ ის ს ა ხ ე ე ბ ი

ელექტრული დენი გამოვლინდება შემდეგი თვისებებით, რომელიც განაპირობებს მისი გამოყენების სფეროებს. დენს შეუძლია:

1. გაათბოს გამტარი;
2. შეცვალოს ნივთიერების ქიმიური შემადგენლობა;
3. გამოიწვიოს ნათება გაიშვიათებულ გაზებში;
4. აღძვრას მაგნიტური ველი.

აღსანიშნავია, რომ ელექტრულ წრედში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები ხშირ შემთხვევაში სავსებით ანალოგიურია როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენებისათვის; აიხსნება ერთნაირი ეფექტებით და აღიწერება ერთნაირი ფორმით ჩაწერილი განტოლებებით. მაგრამ ხშირ შემთხვევაში ზოგიერთი პროცესი მუდმივი და ცვლადი დენებისათვის პრინციპულად განსხვავებულია. ბევრი ეფექტი, რომელიც შეისწავლება ცვლადი დენის წრედში, არ შეიმჩნევა მუდმივი დენისათვის და პირიქით. მაგალითად, დენის გამოვლენის ზემოთნახსენები მეორე ფორმა – ნივთიერებათა ქიმიური შემადგენლობის ცვლილება – მუდმივი დენისათვისაა დამახასიათებელი. პირველი – სითბური გამოვლინება სავსებით ანალოგიურია ორივე სახის დენისათვის, მეოთხე ფორმაში გვაქვს ანალოგიებიც და განსხვავებებიც.

თავი IV

დენის სითბური გამოვლინება

4.1. ზეგამტარობის მოვლენა

პრაქტიკულად სითბოს გამოყოფა დენიანი გამტარის მუდმივი თანამგზავრია და გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით: $Q = I^2 R t$. გამოყოფილი სითბოს წინააღობაზე დამოკიდებულებით აიხსნება წრედში ჩართული ელექტროქურას სპირალის ვარვარება (მაგალითად, ნიქრომი $\rho = 1,1 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{გ}}$), მაშინ როდესაც დენმიმყვანი (სპილენძი $\rho = 0,17 \frac{\text{ომი.მმ}^2}{\text{გ}}$) სადენები თითქმის არ თბება. სპილენძის სადენში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მცირეა და არ შეიმჩნევა. მაგრამ არსებობს პირობებიც, როცა გამტარში დენი გადის და იგი არ თბება. მაგალითად, კელვინის ნულთან (-273°C) მიახლოებულ ტემპერატურაზე ბევრ ლითონში ერთ საოცარ მოვლენას აქვს ადგილი: გარკვეული ტემპერატურიდან მათი წინააღობა მყისიერად, ნახტომით მცირდება ნულამდე. ამ მოვლენას ზეგამტარობა ეწოდება;

ზეგამტარობის დროს $R = 0$ და მასში გამოყოფილი სითბო $Q = I^2 R t = 0$. თუ გამტარი არ გაცხელდება, მაშინ მცირე კვეთიან გამტარებში გავატარებთ დიდ დენებს, რაც საგრძნობლად შეამცირებს ლითონის ხარჯს. რომ არ ცხელდებოდეს ელექტრული ძრავას გრაგნილი, იგი შეგვიძლია დავამზადოთ მცირეკვეთიანი, იაფი სადენისაგან და ძრავაც გაცილებით იაფი დაჯდება. ავტომატიკის, გამოთვლითი ტექნიკისა და კავშირგაბმულობის რთულ ფაქიზ ელექტრულ სქემებში დენის სვლის უკეთესი პირობებისათვის იყენებენ ვერცხლის, ოქროსა და პლატინის გამტარებს, ნულ წინააღობიანი გამტარი შეცვლიდა ამ ძვირადღირებულ მასალებს, მაგრამ ზეგამტარობის ტემპერატურის მიღწევა ადვილი არ არის, და ამიტომ ეს მოვლენა საყოფაცხოვრებო დანიშნულების წრედებში არ გამოიყენება. მიმდინარეობს კვლევები ზეგამტარობის მისაღწევად ოთახის ტემპერატურაზე.

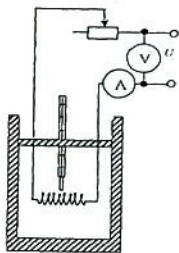
4.2. დამოკიდებულება სითბოს რაოდენობის

ელექტროტექნიკურ და თბოტექნიკურ ერთეულებს შორის

ელექტროტექნიკურ სფეროში დენიან გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ძაბვის, დენისა და დროის ნამრავლით გამოისახება: $Q = UIt$, სადაც $UI = P$ განვითარებული სიმძლავრეა. სითბოს რაოდენობის ერთეულია ვტ.წმ.

თბოტექნიკაში სითბოს რაოდენობის ერთეულად არჩეულია 1 გ წყლის 1°C -ით გასაცხელებლად საჭირო სითბო, მას კალორია ეწოდება და ცხადია, არჩევანის რიცხვითი მნიშვნელობა არ დაემთხვევა ელექტრული სიდიდეებით განსაზღვრულ სითბოს რაოდენობის ერთეულს, ანუ ვტ.წმ-ს. დამოკიდებულება ამ ერთეულებს შორის დადგენილია ექსპერიმენტით, ანუ ცდის საშუალებით.

ავიღოთ ჭურჭელი წყლის განსაზღვრული რაოდენობის m (გმ) მასით. ჭურჭელი ისეთი მოწყობილობისაა, რომ ნულამდებ დაყვანილი სითბური დანაკარგები ე.ი. მასში ჩაშვებულ გამახურებელ ელემენტში ელექტრული დენის გაელის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მთლიანად ხმარდება წყლის გაცხელებას.



ელექტრული დენის მიერ გაცემული სითბო $Q = UIt$ -ს ტოლია, ხოლო იმავე

დროში წყლის მიერ მიღებული სითბო $Q = cm(t_2 - t_1)$, სადაც C წყლის კუთრი სითბოტევადობაა და წარმოადგენს 1გ წყლის 1°C -ით გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობას. m წყლის მასაა და $t_2 - t_1 = \Delta t$ ტემპერატურის ნაზრდი. მოცემული და მიღებული სითბოს რაოდენობები ერთმანეთის ტოლია $UIt = cm\Delta t$, საიდანაც გამოთვლებით აღმოჩნდა:

1 ვტ.წმ = 0,239 კალ = 1 ჯოული;

1 კალ = 4,1868 ვტ.წმ = 4,1868 ჯოული.

1 ჯოული 1 ვტ.წმ ენერჯის შესაბამისი მუშაობის სიდიდეა.

როცა სითბოს დიდ რაოდენობასთან და დიდ ელექტრულ ენერჯიასთან გვაქვს საქმე, მაშინ გამოიყენება დიდი ერთეულები კვტ.სთ და კილოკალორია.

$$1 \text{ კვტსთ} = 860 \text{ კკალ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ ჯ.}$$

ქვემოთ ნაჩვენებია ცხრილი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ენერგიის ერთი საზომი ერთეულიდან გადავიდეთ მეორეში.

	კილოჯოული	კილოკალორია	კილოვატსაათი
კილოჯოული	1	0,239	0,000277
კილოკალორია	4,185	1	0,00116
კილოვატსაათი	3600	860	1

რაც შეეხება უშუალოდ ელექტრული მუშაობისა და სითბოს რაოდენობის ერთეულების თანაფარდობას, საკმარისია შემოვიტანოთ ეკვივალენტური გადასვლის კოეფიციენტი და დავწეროთ:

$$Q \text{ კკალ} = 0,239 \text{ UII კვტ.სთ.}$$

განვიხილოთ მაგალითები:

ამოცანა № 1

სითბოს რა რაოდენობას გამოყოფს 1200 ვატი სიმძლავრის ელექტროქურა 8 საათის განმავლობაში?

ამოხსნა

ქურის ქსელიდან მოთხოვნილი ენერგია $W = Pt = 1200 \cdot 8 = 9,6$ კვტსთ.

1 კვტსთ ეკვივალენტურია 860 კკალ სითბოს რაოდენობის ან $3,6 \cdot 10^6$ ჯ მუშაობის, მაშინ გვექნება:

$$Q = 9,6 \cdot 860 = 8256 \text{ კკალ} = 34,56 \cdot 10^6 \text{ ჯ.}$$

რამდენადაც 1 კკალ სითბოს რაოდენობა 1 ლ წყალს ათბობს 1 გრადუსამდე, სითბოს ეს რაოდენობა 100 ლ წყალს გააცხელებს ≈ 83 გრადუსით. ე.ი. 100 ლ წყალს ოთახის ტემპურატიურიდან ($\approx 17^{\circ}\text{C}$) გააცხელებს 100° ცელსიუსამდე ანუ აადულებს.

შეიძლება გამოვიყვანოთ სხვა ეკვივალენტიც. კერძოდ, იგივე სითბო 200 ლ წყალს გააცხელებს ≈ 41 გრადუსით, ხოლო 400 ლ წყალს ≈ 20 გრადუსით. (სითბური დანაკარგები მხედველობაში არ მიიღება).

ამოცანა № 2

რა სიმძლავრის ელექტროწყალგამაცხელებელია საჭირო 60 ლ წყლის 0,5 საათში 35 გრადუსით გასაცხელებლად?

ამოხსნა:

გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ელექტრულ სიმძლავრესთან ეკვივალენტობის პირობის თანახმად $Q = 0,239UIt$ კვტს. გვექნება: $cm\Delta t^0 = 0,239UIt$, სადაც $cm\Delta t$ სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც საჭიროა 60 ლ წყლის 35 გრადუსით გასაცხელებლად, აქედან

$$P = UI = \frac{cm\Delta t^0}{0,239t} = \frac{1 \cdot 60 \cdot 35}{0,239 \cdot 0,5} = 4,4 \text{ კვტ.}$$

ელექტრული ენერჯიის სითბურ ენერჯიად გარდაქმნის პროცესის სიმარტივე ბადებს კითხვას, რატომ კიდევ უფრო მეტად არ გამოიყენება იგი ყოფაცხოვრებაში? მაგალითად ბინის მთლიანად ელექტრული ენერჯიით გასათბობად ან რატომ მასიურად არ იცვლება გაზის ქურები ელექტროქურებით, მომავალში ეს ასეც იქნება, მაგრამ ჯერ-ჯერობით ელექტრული ენერჯია, იმ წესებით მიღებისას, რომელიც დანერგილია დღეისათვის, ყველგან დეფიციტურად ითვლება. ამის გამო ვერ მოხერხდა თუნდაც ერთი ქალაქის ან ერთი სოფლის სრული ელექტროფიკაცია მთელ მსოფლიოში. ამის პერსპექტივას იძლევა მზის ენერჯიის ელექტრულ ენერჯიად გარდამქმნელი უფრო სრულყოფილი სისტემები და მძლავრი ატომური ელექტროსადგურები. გარდა ამისა მუშავდება მუხტის პირველადი გადანაწილების სხვა პრინციპები. მაგალითად, მაგნიტოჰიდროდინამიური გენერატორები და სხვა უფრო ეფექტური მეთოდები.

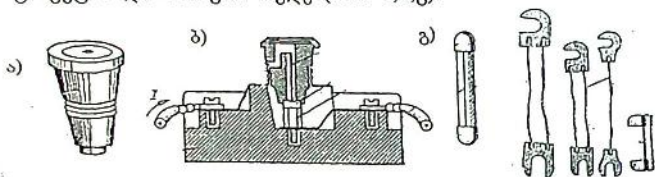
4.3. საყოფაცხოვრებო თბოტექნიკური დანადგარები

ა) დნობადი მცველი და ბიმეტალური ავტომატური ამომრთველი- დაეიწყოთ თითქმის შეუმჩნეველი, მაგრამ საჭირო მოწყობილობებით, რომლებსაც შეუძლიათ გამორთონ ელექტრული წრედი დენის ძალის დასაშვები მნიშვნელობიდან გადამეტების შემთხვევაში. ესენია დნობადი მცველი და ბიმეტალური ამომრთველი.

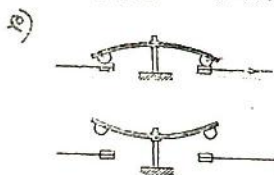
დნობადი მცველი ალვა ედისონის (1847-1931) მრავალრიცხოვანი გამოგონებებიდან ერთ-ერთია.

მისი მოქმედების პრინციპი ემყარება იმას, რომ დასაშვებზე მეტი სიდიდის დენის შემთხვევაში მის ძაფში დენის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა აღწევს იმ მნიშვნელობას, რომ ძაფი გაცხელდეს, გალღვეს და გაწყვიტოს წრედი. დნობადი მცველები დიდ დენებზე მზადდება კერამიკის გარსაცმში, რომელიც საესეა მშრალი ქვიშით. დნობადი ლენტის სისქე შეირჩევა დასაშვები დენის მიხედვით. მცირე დენებზე დნობადი მცველები მზადდება მინის ბალონებში, რომლის ბოლოებზე დამაგრებული ლითონის ქუდები ერთმანეთთან ელექტრულადაა დაკავშირებული დნობადი ძაფით. მინის ბალონი იდგმება სპეციალურ დარში და მიმდევრობით ირთება წრედში. დნობადი მცველების ბუდეები რადიოტექნიკურ აპარატებში მაგრდება დენმიყვანი სადენების ბოლოებში.

ქვემოთ ნაჩვენებია დნობადი მცველის ზოგიერთი კონსტრუქცია და სამაგრი ბუდე (ნახ. ა,ბ,გ).



დნობადი მცველი ერთჯერადი ქმედების ხელსაწყოა და მისი ამოქმედების შემდეგ იგი ახლით უნდა შეიცვალოს.



ბიმეტალური ამომრთველის მოქმედების პრინციპი ემყარება იმ ეფექტს, რომ სპეციალური შენადნობისაგან (ბიმეტალისაგან) დამზადებული ფირფიტა დეფორმირდება გაცხელების შედეგად. ე.ი. ამ ფირფიტაში დასაშვებზე მეტი დენი იწვევს მის გახურებას, დეფორმირებას და დენის მიმწოდებელი კონტაქტი გაითიშება. ბიმეტალური ფირფიტის მქონე გამთიშველები მრავალჯერადი ქმედების ხელსაწყოებია (ნახ. დ).

ბ) გამაცხელებლები- ყველა გამაცხელებელი დანადგარის მოქმედების პრინციპია სითბოს გამოყოფა მაღალომიანი გამ-

ტარისაგან დამზადებულ სპირალში. განსხვავება მხოლოდ კონსტრუქციულ შესრულებაშია. ზოგ შემთხვევაში სპირალი ღიაა, ზოგჯერ კიდევ ჩადებულია გამტარ მილში, რომლისგანაც ელექტრული იზოლაცია ქვიშით ხორციელდება. ეს ელექტროგამახურებლები დანიშნულების მიხედვით პირობითად იყოფა ორ ჯგუფად. ესენია „მშრალი“ და „სველი“ გამახურებლები. ჩვეულებრივ პირობებში ორივე ტიპის გამახურებელი ელემენტი ფიზიკურად მშრალია, მაგრამ დასახელება „მშრალი“ ნიშნავს, რომ იგი შეიძლება ჩაირთოს წრედში პირდაპირ და გამოყოფილი სითბო ათბობს ირგვლივ გარემოს. სითბოს „წართმევის“ სიჩქარე დაბალია, მაგრამ არ აზიანებს გამახურებელს. „სველი“ ტიპის გამახურებლები იდება სითხეში, სითხე ინტენსიურად ართმევს მას სითბოს და იგი არ ზიანდება. ჰაერზე ჩართვის შემთხვევაში სითბოს გადაცემის ინტენსივობა მცირდება და გამახურებელი ზიანდება. ასეთი ტიპის გამახურებლები უმეტესად სითხეების გასაცხელებლად გამოიყენება: ელექტროჩაიდანში, ზეთიან რადიატორებში, სააბაზანო დანიშნულების წყალგამაცხელებლებში და ა.შ.

ავტორის (გ.დ.) მიერ დამუშავებულია ერთ - ერთი ასეთი გამაცხელებლის კონსტრუქცია, რომელზეც საკმაოდ დიდი მოთხოვნილებაა.

გამაცხელებლები, რომელთა დანიშნულებაა სათაესოების გათბობა, მზადდება ენტილატორით, სადაც ენტილატორი აწვედის გამახურებელ ელემენტს ცივ ჰაერს, ჰაერი ცხელდება და ვრცელდება სათაესოში. ჰაერის ცირკულირების შემთხვევაში გამახურებელი საკმაოდ ეფექტურია.

ამ ტიპის გამახურებლებია აგრეთვე თმისა და ხელის საშრობები.

გავრცელებულია აგრეთვე ე.წ. „სითბური აკუმულატორები“. ღამით, როცა ელექტროენერჯის მოხმარება ნაკლებია, იგი ცხელდება, გროვდება სითბო, რომელიც დღისით გამოიყენება.

საყოფაცხოვრებო განხილულ ელექტროგამახურებლებში სითბო გამაცხელებელი ელემენტიდან გასახურებელ გარემოს გადაცემა უშუალოდ, სითბოგამტარობით ან გახურებული

ჰაერის ნაწილაკის გადაადგილებით და მათი გარემოში განაწილებით.

ახლა შევეხოთ ისეთ გამახურებლებს, სადაც სითბო გადაეცემა გამოსხივებით, ე.ი. სითბოგადაცემა ხდება არა უშუალო შეხებით, არამედ ე.წ. ინფრაწითელი სხივით. ამ დროს გამახურებელი ელემენტი მოშორებულია სახურებელი ობიექტიდან და სითბო მასზე დასხივდება. ამ დროს ცხელდება ობიექტის ის ნაწილი, რომელზეც ეცემა სითბური სხივი და სითბოგადაცემის პროცესი მალე შეწყდება გამახურებელი ელემენტის მოშორებით, ე.ი. სითბოგადაცემის პროცესი გამოსხივებით ნაკლებად ინერციულია, არ თხოულობს დროს გამაცხელებელი მასის გასაცხელებლად და არ ინარჩუნებს სითბოს ენერჯიის გამორთვის შემთხვევაში ისე, როგორც ეს ხდება მაგალითად ზეთიან გამახურებლებში.

გ) ვარვარების ძაფიანი მანათებლები - განათების ტექნიკაში ფართოდ გამოიყენება ცივი ნათების გაზიანი განმმუხტელები: დღის ნათების ნათურები (რომლებსაც ამჟერად არ განვიხილავთ), რკალური პროექტორები და ვარვარების ძაფიანი მანათებლები.

ის მოვლენა, რომ ელექტრული დენით ლითონის გაცხელება შეიძლება გადნობამდე, მიღწეული იყო XIX საუკუნის დასაწყისში. ამ დროს გაეარვარებული ლითონი ასხივებდა სინათლეს, მაგრამ დნობამდე მისული ლითონის ამ მდგომარეობაში დიდ ხანს შენარჩუნებას და მისი გამანათებლად გამოყენების შესაძლებლობის მიგნებას, დიდი დრო დასჭირდა. უპირველესი სირთულე იყო ის, რომ გახურებული დეტალი, რომ არ დამწვარიყო იზოლირებული უნდა ყოფილიყო ჟანგბადისაგან, და დახარჯული ელექტრული ენერჯიაც უნდა ყოფილიყო მცირე.

თავდაპირველად ფიქრობდნენ, რომ როგორც გამახურებელი მასალა, ყველაზე ეფექტური იყო ნახშირი. პირველად ჰენრიხ ჰობელმა (1818-1893) მოათავსა ნახშირის ფენით დაფარული ძაფი მინის მილში, რომელშიც არ იყო ჰაერი. ალექსანდრე ლოდიგინმა (1847-1923) ნახშირით დაფარული ძაფის ნაცვლად გამოიყენა ნახშირის ღეროები; ალვა ედისონმა გააუმჯობესა ნათურა იმ დონემდე, რომ იგი გაერცელებდა მთელ მსოფლიოში.

ნახშირის ძაფიანი ნათურის ნათება იყო მოყვითალო და იხარჯებოდა საკმაოდ დიდი ენერგია. ნახშირის ღეროს ტემპერატურის შემდგომი ზრდა აღარ შეიძლებოდა, რადგან იგი იშლებოდა.

შემდგომი კვლევების შედეგად შეიქმნა ნათურები ლითონის ძაფებით. ოსმიუმის ძაფი ხურდება 2500 გრადუსამდე, ტანტალისა - 3000 გრადუსამდე და მხოლოდ 1910 წელს შეიქმნა ვოლფრამის ძაფიანი ნათურა. თუმცა მისი გამოყენება ძაფის ტემპერატურის დნობის ტემპერატურამდე აწევის გამო მაინც შეუძლებელი იყო. ვაკუუმში ადვილად იშლებოდა გახურებული ძაფი. ამის გამო მინის ბალონი შეავსეს ქიმიურად ნაკლებაქტიური გაზით, ეს იყო აზოტი ან ინერტული გაზი. ამ გაზით საგრძნობლად შემცირდა ლითონის დაშლის პროცესი, მაგრამ გაუმჯობესდა ძაფიდან გარემოზესიტბოს გადაცემის პროცესი. ხურდებოდა ნათურა და იზრდებოდა ენერგიის ხარჯი. გამოსავალი მოიძებნა ვოლფრამის ძაფის მიერ დაკავებული სივრცის შემცირებით. კერძოდ ძაფი დამზადდა სპირალის სახით, ზომებით შემცირდა და დაიკავა მცირე მოცულობა.

მიუხედავად მრავალჯერადი ცდებისა, მქკ-ის ასამაღლებლად, ვარვარების ძაფიანი ნათურები მაინც დაბალეკონომიურია. დახარჯული ენერგიის მხოლოდ 5% ხმარდება ნათებას, დანარჩენი იკარგება სითბოს გამოყოფაზე.

ბოლო დროს განათების სფეროში დომინირებს გაზური განმმუხტველები, რომლებსაც შემდეგში გავეცნობით.

4.4. ელექტროგამაცხელებლები წარმოებაში

წარმოებაში გამოყენებული და საყოფაცხოვრებო მოხმარების მრავალი გამახურებელი მოწყობილობა, მოქმედების პრინციპით თუ ტექნოლოგიური შესრულებით, არაფრით განსხვავდება ერთმანეთისაგან. განსხვავება მხოლოდ სიმძლავრესა და გეომეტრიულ ზომებშია. ზემოთ ჩვენ ვახსენეთ შრობის პროცესი. საყოფაცხოვრებო თმის საშრობი ფენი და მერქნის საშრობი კალორიფერი დანიშნულებით ერთი და იგივეა, ზომით კი პატარა და დიდი მოწყობილობებია.

ხშირ შემთხვევაში საწარმოო დანიშნულების გამახურებლებში სპირალის ნაცვლად გამოიყენება ღეროს ტიპის გამახურებელი ელემენტები. ეს ღეროები მაღალი ტემპერატურის

გამახურებლებში მზადდება შენადნობებით, რომელთა დნობის ტემპერატურა მაღალია, მაგალითად, მოლიბდენის და ვოლფრამის შენადნობი. კიდევ უფრო ფართოდ ინერგება გამომსხივებელი გამაცხელებლები განსაკუთრებით შრობის პროცესში. ასე მაგალითად, თუ შრება საღებავით დაფარული ფენა, გამოსხივებით ცხელდება უშუალოდ გასაშრობი ფენა. ამ დროს ჩქარდება შრობის პროცესი და მცირდება დახარჯული ენერჯია. გარდა ამისა გამომსხივებელ გამაცხელებელში ადვილია ტემპერატურის მდოვრედ რეგულირება დაჩქარებულ პროცესში. ფართოდაა გავრცელებული ნამზადის შრობა მისი თერმულ ველში გადაადგილებით, სადაც გამშრობი „გვირაბი“ აღჭურვილია ინფრაწითელი გამომსხივებლებით. ამ მეთოდით შრება ემალით დაფარული დეტალები, ავტომობილის ძარები და ა.შ.

ავტორს (გ.დ.) მიღებული აქვს საავტორო მოწმობა მერქნის შრობის დანადგარზე, სადაც დენი გადის უშუალოდ ნამზადში. დატენიანებული მერქნის ელექტრული წინაღობა მცირეა. მერქნის სასურველ დონეზე გაშრობის შემდეგ პრაქტიკულად იგი არაგამტარია და დენი წრედში წყდება.

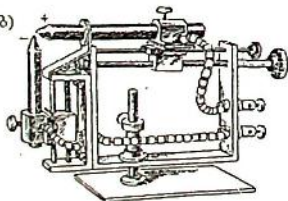
4.5. რკალური განმუხტვა და მისი გამოყენება

აეილთ ნახშირის ორი ღერო, მოვდოთ მასზე 50-60 ვ სიდიდის ძაბვა. წვერები ერთმანეთზე დაეადოთ და დავაშოროთ მცირე მანძილით. ღეროებს შორის შეიმჩნევა თვალის-მომჭრელი ნათება (ნახ. ა), რომელიც იმ ცეცხლოვანი ენიდან გამოსხივდება, რომელიც აინთება ღეროებს შორის. ცეცხლის

ა)



ბ)



ამ ენას ელექტრული რკალი ეწოდება. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია დანადგარი ელექტრული რკალის მისაღებად. დადებით პოტენციალიან ღეროს ეწოდება ანოდი, მეორეს - კათოდი. ანთებულ რკალში გამოიყოფა სითბოს დიდი რაოდენობა. ანოდის ტემპერატურა 3900°C -მდე აღწევს, კათოდისა- 2500°C -მდე. ამ დროს გამოიყოფილი დიდი რაოდენობის

სითბო შეიძლება სხვადასხვა მიზნით გამოიყენოს. მაგალი-

თად, რკალში წარმოებს სხვადასხვა ქიმიური რეაქცია, მაგალითად, აზოტი ჟანგდება, წარმოიშვება ჟანგეული, რომელიდანაც აზოტმჟავა მიიღება. ამ წესით აზოტმჟავას უშუალოდ ჰაერიდან მიღება ფართოდაა დანერგილი.

ელექტრული რკალის მეშვეობით ე.წ. რკალურ ღუმელში ადნობენ ლითონს და იღებენ სხვადასხვა შენადნობს. ლითონების დნობა რკალის საშუალებით პირველად განახორციელა პეტროვმა.

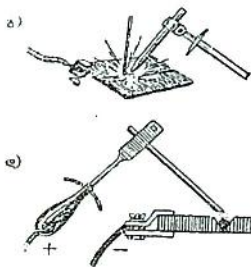
ჩვეულებრივი ფოლადების დამუშავებით ელექტრორკალურ ღუმელებში წარმოებს მაღალი ხარისხის ფოლადის მიღება. იმის გამო, რომ რკალურ ღუმელებში ადვილია ტემპერატურის ზუსტი რეგულირება, შესაძლებელი გახდა შენადნობში სხვადასხვა ლითონების ჩამატება და ნებისმიერი შედგენილობის ფოლადის მიღება.

ა) შედუღება – ელექტრული რკალი ფართოდ გამოიყენება ლითონების შესადუღებლად. პირველად იგი განახორციელა ბენადროსმა 1882 წელს. მისი სქემით შესადუღებელი დეტალები მიერთებული იყო ელექტრული ბატარეის ერთ – ერთ პოლუსთან (ნახ. გ). მეორე პოლუსთან მიერთებული იყო ნახშირის ღერო. ნახშირის ღეროსა და ლითონის დეტალს შორის აღძრული რკალი ადნობდა შესადუღებელ დეტალებს. რკალის აღში ბენადროსი ათავსებდა ე.წ. მიმდუღებელ ღეროს, რომელიც დნებოდა და წვეთწვეთობით ავსებდა შესადუღებელი დეტალების მიახლოებულ და გამდნარ ნაპირებს.

1891 წელს სლავეიანოვმა შედუღება აწარმოა შესადუღებელ დეტალებს შორის ღარის გამდნარი ელექტროდის ლითონით შევსებით (ნახ. დ). შედუღების ეს ხერხები ახლაც ფართოდ გამოიყენება.

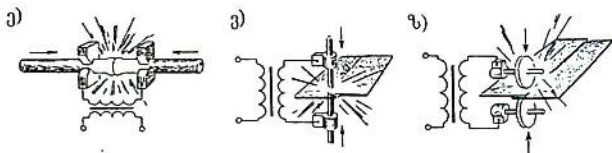
რკალური შედუღების გარდა ტექნიკაში ფართოდ გამოიყენება „კონტაქტური შედუღების“ ხერხი (ნახ. ე, ვ, ზ).

კონტაქტური შედუღების დროს შესადუღებელი დეტალები ერთ-



მანეთზე ედება, შეხების წერტილების დიდი ელექტრული წინაღობის გამო, მასში საკმაო სიდიდის ღენის გატარებისას გამოიყოფა დიდი სითბო, დეტალები დნება და შედუღდება.

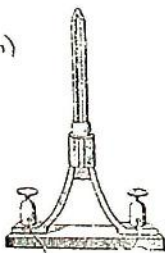
კონტაქტური შედუღება უმეტესწილად ფურცლოვანი დეტალების შესადუღებლად გამოიყენება. ეს ხერხი განსაკუთრებით ეფექტურია დიდი კუთრი წინაღობის მქონე ლითონების შესადუღებლად.



კონტაქტურ შემდუღებლებში ხშირად გამოიყენება წინასწარ დამუხტული კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია. გადამუხტვა წარმოებს იმპულსურად, დროის მეტად ხანმოკლე შუალედში. დროის სიმცირის გამო ცხელდება მხოლოდ შესადუღებელი კვანძი და დეტალის დანარჩენი ნაწილი გახურებით დაზიანებისაგან დაცულია. ამ მეთოდით დუღდება ინტეგრალური სქემებისა და სხვა ძვირად ღირებული რადიოდეტალების გამომყვანები.

შედუღების პროცესის გარდა რკალური განმუხტვა ფართოდ გამოიყენება განათების სფეროში. პირველი ასეთი სათელი შექმნა იაბლონიკოვმა 1876 წელს (ნახ. თ).

თ)

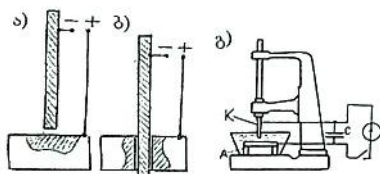


იაბლონიკოვის
სანთელი

თანამედროვე მძლავრი პროექტორები რკალური განმუხტველებია და მათში განმუხტვის პროცესი შენარჩუნებულია ხანგრძლივად. მაგალითად, იმპულსურად და მძლავრად ანათებს, ელექტრულად მცირე სიმძლავრიანი ფოტოპარატების გამანათებლები, რომლებიც ისეა მოწყობილი, რომ განმუხტვა, ანუ ნათების პროცესი და ფოტოგრაფირების პროცესი ერთდროულად ხდება დროის საკმაოდ მცირე მონაკვეთში.

ბ) ნაპერწკალის გამოყენება ლითონების დასამუშავებლად. თუ ნაპერწკალური განმუხტვის შემდეგ ელექტროდებს დავაკვირდებით შევამჩნევთ, რომ ანოდზე წარმოიქმნება ღრმული, კათოდზე - კი ამობურცული წერტილი. ასე, რომ ნაპერწკლით ლითონი დაიშალა. ამ მოვლენას ელექტრული ეროზია ეწოდება. ელექტრული ეროზიის წარმოშობის მიზეზია ის ფაქტი, რომ ნაპერწკლის გადახტომის დროს, ანოდსა და კათოდს შორის საპაერო შუალედში წარმოიქმნება ელექტრონების ზევა-ვი, რომელიც ეცემა რა ანოდის ზედაპირს, აცხელებს ამ ადგილს მაღალ ტემპერატურაზე, ლითონი დნება და ნაწილი ორთქლად გადაიქცევა. ლითონის ორთქლი ამოაფრქვევს გამდნარი ანოდის ზედაპირიდან ლითონის ნაწილაკებს და მასზე ჩნდება ღრმული (ნახ. ა), ხოლო ეს ნაწილაკები დაცემა კათოდზე და აჩენს ბურცობს.

ანოდისა და კათოდის ეროზია ჩნდება ყველგან, სადაც ნაპერწკალს აქვს ადგილი. იგი შეიმჩნევა მძლავრი წრედების



ამომრთველებში წრედის გაწყვეტის დროს, რელეების კონტაქტებზე და ა.შ. ცხადია ამ დროს ნაპერწკლიანობის შედეგი საზიანოა და ამ მიზნით ჩამრთველებზე მაგრდება სპეციალური მოწყობილობები, რომლებსაც ნაპერწკალმქრობი ეწოდება. ხშირ შემთხვევაში ჩართვა - გამორთვა ხდება ზეთში ან სხვა დენგაუმტარ სითხეში.

შეიძლება ეროზიის მოვლენის სასარგებლოდ გამოვიყენებთ, მაგალითად ლითონის გასახვრეტად (ნახ. ბ). ამ მეთოდით იხვრიტება მეტად სალი ლითონები, რომელიც ჩვეულებრივი ბურღებით გაძნელებულია. ნახვრეტის ხარისხი არ ჩამორჩება ბურღით გაკეთებული ნახვრეტის ხარისხს.

ლითონის გამხვრეტ ჩარხებზე ანოდის როლს ასრულებს ნამზადი, კათოდისას-ღერო (ნახ. გ). კათოდის ანოდთან მიახლოებისას წარმოიქმნება ნაპერწკალი. აწვევენ კათოდს და შემდეგ ხელმეორედ მიუახლოებენ ანოდს და ა.შ. C კონდენსატორი უზრუნველყოფს რომ ნაპერწკალი რკალად არ გარდაიქმნეს. ელექტროდი დამზადებულია თითბრისაგან, ან სხვა რბი-

ლი მასაღისაგან და იხერიტება ძალიან მაგარი, ნაწრობი დეტალები. ნაპერწკალური განმუხტვა ხდება სითხეში.

თუ ელექტროდს სხვა ფორმას მივცემთ, ამოიხვრიტება ამ ფორმის ხვრელი, რომლის მიღება ჩვეულებრივი ბურღით შეუძლებელია.

4.6. სითბური ეფექტი არასრულყოფილ ელექტრულ კონტაქტში

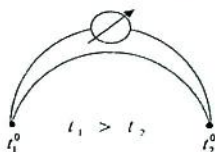
პრაქტიკულ ელექტრულ წრედებში არის კვანძები, სადაც თავმოყრილია რამდენიმე გამტარი და მათ შორის ელექტრული კონტაქტი განხორციელებულია გადაგრეხვით, მიწნეხვით, ხრახნიანი სამაგრებით, მირჩილვით და ა.შ. კონტაქტი თუ არასრულყოფილია, შეერთების წერტილში ჩნდება ე.წ. გადასვლის წინაღობა და მასში დენის გატარების დროს იგი ცხელდება. ამ დროს არა მარტო ენერგია იკარგება, არამედ გახურებული კონტაქტი აზიანებს იზოლაციას, გახურებული სადენი იკეთებს ფურჩს და იზრდება გადასვლის წინაღობა, რის გამოც გამტარი უფრო მეტად ხურდება და წყდება, ე.ი. გადასვლის წინაღობის ზრდა იწვევს წრედის დაზიანებას. ამ თვალსაზრისით ელექტრული წრედების ექსპლუატაციის პროცესში დროდადრო ტარდება პროფილაქტიკური სამუშაოები, რომელიც ითვალისწინებს კონტაქტში მყოფი სადენების საკონტაქტო ადგილების გაწმენდას და ხელმეორედ შეერთებას; მოშვებული საკონტაქტო ხრახნების მოჭერას და ა.შ.

გადასვლის წინაღობის ეფექტი განსაკუთრებით ყურადსაღებია ჩამრთველ - ამომრთველთა კონტაქტებში. დიდი დენების კომუტაციის დროს ჩამრთველებში დამუშავებულია მთელი რიგი კონსტრუქციული რგოლები, რომლებიც სრულყოფილს ხდიან კონტაქტებს. უპირველესად საკონტაქტე წერტილები შესრულებულია ძვირადღირებული ფერადი ლითონებით, კონტაქტების დაწოლა ხდება ზამბარებით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კონსტრუქცია, სადაც ჩართვის პროცესში იჭიმება ზამბარა და მოჭიმული ზამბარა სწრაფად ჩართავს კონტაქტს, რომ კონტაქტების მიახლოებისას არ წარმოიშვას ელვისებური რკალი. რკალის შესამცირებლად ჩამრთველებში გათვალისწინებულია ე.წ. რკალმქრობი მოწყობილობები, რომლის არეშიც მოთავსებულია კონტაქტი. მძლავრ წრედებში

გამოიყენება ზეთიანი ამომრთველები, სადაც ზეთს აკისრია როგორც რკალის ჩაქრობის, ისე კონტაქტის გაგრილების ფუნქცია. ბოლო დროს ფართოდ ინერგება ვაკუუმ ამომრთველები.

4.7. შექცევადი პროცესი – სითბო გვაძლევს დენს

ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ გამტარში დენის გატარების დროს მიმდინარეობს შეუქცევადი პროცესი, მასში გამოიყოფა სითბო ანუ ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება სითბურ ენერგიად. პროცესის შეუქცევადობა ნიშნავს, რომ გამტარის გაცხელებით მასში დენი არ გაივლის.



ბოლო ფრაზა ყოველთვის არ არის გამართლებული. შემჩნეულია ეფექტი, როცა გამტარის გაცხელებით აღიძვრება ემპ და გაივლის დენი. ამ ემპ-ს თერმული ემპ ეწოდება, დენს – თერმული დენი. გამტარი, რომლის გაცხელებითაც თერმო ემპ აღიძვრება ერთგაროვანი არ

არის, იგი ორი სხვადასხვა გამტარის ერთობლიობაა და თერმოწყვილი ეწოდება.

თერმოელექტრულ ეფექტს შეიძლება დავაკვირდეთ შემდეგი ცდით. ავიღოთ სპილენძისა და ბისმუტის ორი გამტარი და მივარჩილოთ მათი ბოლოები. მირჩილული ერთი ბოლო გავაცხელოთ (t_1^0), მეორე ბოლო გავაციოთ (t_2^0). წრედში ჩართული მგრძნობიარე გაღვანომეტრი დენს უჩვენებს. გაცხელებული ბოლოს ტემპერატურის მატებით თერმული დენის სიდიდე იზრდება.

როგორ ახსნათ ეს ეფექტი. თერმოწყვილის მუშაობას საფუძვლად უდევს ის ფაქტი, რომ მოცულობის ერთეულში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი, ანუ ელექტრონული „გაზის“ სიკვრივე სხვადასხვა ლითონში ერთნაირი არ არის. ასეთი ორი ლითონის ერთმანეთთან შეხებისას ელექტრონები ერთიდან გადადიან მეორეში. ეს გადასვლა შეწყდება მაშინ, როდესაც ლითონებს შორის დამყარდება გარკვეული პოტენციალთა სხვაობა. ნახაზზე ნაჩვენებ შეკრულ წრედში, თუ ორივე ბოლოზე ერთნაირი ტემპერატურა იქნება დენი არ აღიძვრება, რადგან ორივე ბოლოზე პოტენციალთა სხვაობა

ერთნაირი იქნება სხვადასხვა ნიშნებით და ჯამური სხვაობა ნულის ტოლია. ბოლოების სხვადასხვა ტემპერატურების დროს პროტენციალთა სხვაობების აღგებრული ჯამი ნულისგან განსხვავებული იქნება და აღიძვრება ემძ. შეკრულ წრედში განედება დენი. თერმოელექტრული ევექტი შემჩნეულია სხვადასხვა ლითონების შემდეგ წყვილებზე, სადაც ბოლოებს შორის ტემპერატურის 100°C -ით განსხვავებისას ემძ-თა მნიშვნელობები შემდეგია:

კონსტანტანი - რკინა	0,0053 ვ;
სპილენძი - რკინა	0,001 ვ;
სპილენძი - კონსტანტანი	0,0047 ვ;
პლატინა - პლატინოსოდიუმი	0,001 ვ;
ქრომელი (შენადნობია) - ალუმელი (შენადნობია)	0,042 ვ;
ქრომელი - ვოპელი (შენადნობია)	0,062 ვ.

თერმოელექტრული დენები იმდენად მცირეა, აზრი არა აქვს თერმოწყვილების ბატარეად აკრეფვას თერმული დენის სამრეწველო დანიშნულებით გამოსაყენებლად. ამ ევექტს დიდი გამოყენება აქვს საკმაოდ ზუსტი და მდგრადი თერმომეტრების დასამზადებლად. ამ თერმომეტრის მოქმედების პრინციპია ის, რომ იზომება ემძ და ვმსჯელობთ ტემპერატურაზე. რომელიც ამ ემძ-ის პროპორციულია. ტემპერატურის გაზომვის ამ მეთოდს შემდეგში გავეცნობით.

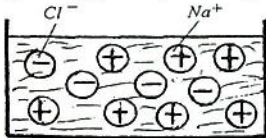
თაპი V

ელექტროლიზის ელემენტური გაშვება

5.1. ელექტრონიტრალური მოლეკულა და მისი იონი

თუ ნებისმიერი ნივთიერების ელექტრონიტრალურ მოლეკულას ელექტრონს მოვაშორებთ ან დავამატებთ, მაშინ იგი დამუხტული ნაწილაკია და იონი ეწოდება. ჭარბელექტრონიანი იონი უარყოფით ნიშნიანია, ხოლო ელექტრონაკლები – დადებითნიშნიანი.

როგორც ქიმიის კურსიდანაა ცნობილი მარილი ეწოდება ქიმიურ ნაერთს, რომლის მოლეკულა წარმოადგენს დადებითი ნიშნის მუხტის მქონე ლითონისა და უარყოფითი ნიშნის ე.წ. მჟავას ნაშთის იონთა ერთობლიობას. ამ იონებს შორის არსებობს ელექტრული კავშირი და ჩვეულებრივ მდგომარეობაში მარილის მოლეკულა ელექტრონიტრალურია, გვხვდება მყარ მდგომარეობაში და არაგამტარი გარემოა.

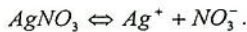
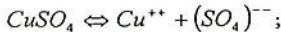


მაგალითად, სუფრის მარილის მოლეკულა ნატრიუმის (Na^+) და ქლორის (Cl^-) ერთმანეთთან დაკავშირებული იონების ერთობლიობაა და $NaCl$ -ის, ელექტრონიტრალური

მოლეკულა მყარი, არაგამტარი ნივთიერებაა.

ანალოგიურად გვხვდება სხვა მარილებიც: მაგალითად, სპილენძის სულფატი $CuSO_4$, რომელსაც შაბიამანი ეწოდება; $AgNO_3$ და მრავალი სხვა.

გავხსნათ მარილი წყალში. წყალხსნარში მარილის იონებს შორის ელექტრული კავშირი მცირდება, ისინი ერთმანეთს სცილდებიან და თავისუფალ მდგომარეობაში გადადიან.



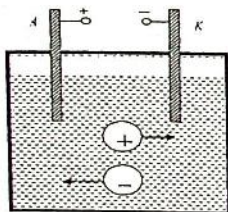
მარილთა წყალხსნარს ეწოდება ელექტროლიტი, ხოლო მარილის იონად დაშლის პროცესს – დისოციაცია. დისოციაცია ახსნა შეეძმა ფიზიკოსმა ავგუსტ არსენიუსმა (1859 – 1927).

აღსანიშნავია, რომ ელექტრონეიტრალური მარილი და მისი იონებისაგან შედგენილი ნივთიერება ქიმიურად ერთმანეთისაგან აბსოლუტურად განსხვავებულ თვისებებს ამჟღავნებს, მაგალითად, (Na) ნატრიუმი ლითონი და (Cl) ძლიერი გაზი, ორივე მომწამლავი ნივთიერებებია, მაშინ, როდესაც $NaCl$ სუფრის მარილი ორგანიზმისათვის აუცილებელი პროდუქტია.

5.2. ელექტროლიზი

ჩავეშვათ მარილის წყალხსნარში (ელექტროლიტში) ორი ელექტროდი და მოვდოთ მათზე მუდმივი ძაბვა. დადებითი ნიშნის პოტენციალიან ელექტროდს აქ და ყველგან ეწოდება ანოდი (A), ხოლო უარყოფით ნიშნიანს – კათოდი (K).

დადებითი და უარყოფითი ნიშნიანი თავისუფალი იონები დაიწყებენ მოძრაობას მათ საწინააღმდეგო ნიშნიანი ელექტროდისაკენ, ანუ აღიძვრება ელექტრული დენი.



მიაღწევს რა ელექტრონაკლული დადებითი ნიშნიანი ლითონის იონი კათოდს, შეივსებს მისგან ნაკლულ ელექტრონებს და აღადგენს ელექტრონეიტრალურ ლითონად. ანალოგიურად, თავის ჭარბ ელექტრონებს უარყოფითი ნიშნიანი ქლორის იონი გადასცემს ანოდს და აღდგება ელექტრონეიტრალურ გაზად. ე.ი. მარილი გარდაიქმნა ლითონად და გაზად.

ელექტრული დენის გავლენით ერთი ნივთიერებიდან მეორე ნივთიერების წარმოქმნას ელექტროლიზი ეწოდება.

ელექტროლიზის მოვლენა შეისწავლა ფრანგმა ფიზიკოსმა ფარადეიმ (1791 – 1867). მან 1833 წელს დაადგინა, რომ ელექტროლიზის დროს გამოყოფილი ნივთიერების მასა დენისა და დროის პირდაპირპროპორციულია: $m = Kit$, სადაც პროპორციულობის k კოეფიციენტს ელექტროქიმიური ეკვივალენტი ეწოდება. იგი რიცხობრივად იმ გამოყოფილი მასის ტოლია, რომელიც გამოიყოფა ელექტროლიტიდან ელექტროლიზის დროს 1 კულონი მუხტის გავლის დროს.

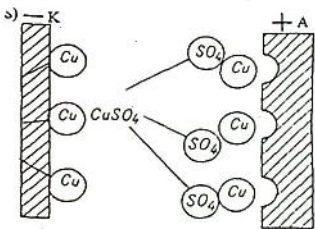
ელექტროლიზის მოვლენიდან გამომდინარე, ვერცხლის გამოყოფილი რაოდენობით განისაზღვრებოდა დენის ძალის ერთეულის, ამპერის განმარტება ვერცხლის მარილის ელექტროლიზის დროს.

ამპერი ისეთი დენის ძალაა, რომელიც ვერცხლის მარილის წყალხსნარის ელექტროლიზის დროს 1 წამში გამოყოფს 1,118 მგ ვერცხლს. იმის გამო, რომ ამპერის ეტალონის დასადგენად იზომებოდა მასა და დრო, და ამ სიდიდეების დიდი სიზუსტით გაზომვა ადვილი არ არის, ამპერის აღნიშნული განმარტება აღარ გამოიყენება.

აღსანიშნავია ერთი გარემოება. როგორც განხილულიდან ჩანს, ელექტროლიზის პროცესის დროს, არ უნდა იცვლებოდეს ელექტროდების ნიშნები, რამდენადაც ერთი მიმართულების უნდა იყოს იონებზე მოქმედი მიზიდვის ძალები. ამის გამო ელექტროლიზი გამოიყენება მხოლოდ ერთი მიმართულების დენისათვის - ანუ მუდმივი დენისათვის. ამავე დროს ელექტროლიზის პრაქტიკულ დანადგარებში დენის მნიშვნელობა საკმაოდ დიდია, ანუ დიდია დახარჯული ელექტრული ენერჯიის სიდიდე, მიუხედავად ამისა ელექტროლიზს დიდი გამოყენება აქვს, რადგან მიღებული პროდუქტების ფასი გაცილებით მეტია დახარჯული ენერჯიის ღირებულებაზე.

5.3. ელექტროლიზის გამოყენება

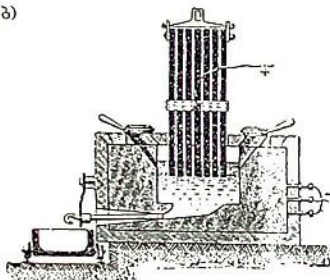
ელექტროლიზს მრავალგვარი გამოყენება აქვს. იგი გამოიყენება ლითონის შედგენილობის გასასუფთავებლად, ბუნებაში არსებული მარილებიდან ლითონების მისაღებად, ლითონის ზედაპირის სხვა მასალის ფენით დასაფარავად, გარკვეული ფიგურების ზუსტი ასლების გადასაღებად და სხვა.



ა) რაფინირება - რაფინირება ეწოდება ლითონის შენადნობებისაგან განთავისუფლებას. მაგალითად, სპილენძში შენადნობების უმნიშვნელო რაოდენობაც კი შესამჩნევად ამცირებს მის თვისებებს, ამიტომ სუფთა სპილენძის მიღება საკმაოდ აქტუალური ამოცანაა.

სპილენძის რაფინირება წარმოებს ელექტროლიზით. ამ სათვის დიდი მოცულობის, არაგამტარი მასალისაგან დამზადებულ ავზში ჩაასხამენ შაბიამნის წყალხსნარს. (ნახ. ა-ბ). ჭურჭელი ნაჩვენები არ არის). ავზში ჩაშვებულია სუფთა სპილენძისაგან დამზადებული რამდენიმე პარალელურად შეერთებული კათოდი და გასასუფთავებელი სპილენძისაგან დამზადებული ანოდი. მუდმივი ძაბვის ნაჩვენები პოლარობით ჩართვის დროს ხსნარში გაივლის დენი და კათოდზე დაილექება სპილენძის დადებითი შინაიონები, რომლებიც შეივსებენ რაკლულ ელექტრონებს, აღდგებიან სუფთა სპილენძის მოლეკულებად. პროცესის გაგრძელებით სპილენძის იონებს სითხე ივსებს ანოდისაგან, ე.ი. ანოდი იშლება როგორც სპილენძად. ისე შენადნობებად, სპილენძის იონები ილექება კათოდზე, შენადნობები იძირება ჭურჭლის ფსკერზე. ამ გზით მიღებული სუფთა სპილენძს ელექტროლიტური სპილენძი ეწოდება.

ბ)



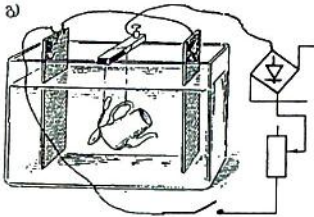
ბ) ალუმინის მიღება - ბუნება მდიდარია ალუმინის ნაერთებისაგან, იგი შედის თითქმის ყველა თიხაში, მაგრამ მისი მიღების სირთულის გამო თავდაპირველად მას ოქროს ფასი ჰქონდა. მას შემდეგ რაც აღმოაჩინეს ელექტროლიზის მოვლენა, ამ მეთოდით დაიწყო

ალუმინის სამრეწველო მიზნებით მიღება და ისიც საგრძნობლად გაიფუძა.

ალუმინის მისაღებად ალუმინის ჟანგს (აყალო მიწას) ჩაყრიან ჭურჭელში (ნახ. ბ), რომელიც თავის მხრივ გამტარია და კათოდის როლს ასრულებს. ანოდად გამოიყენება ნახშირის ღეროები. თავდაპირველად ნახშირის ღეროებს ჩაუშვებენ კათოდთან შეხებამდე ამ დროს გაივლის დიდი დენი და ალუმინის ჟანგი დნება. მისი გადნობის შემდეგ იგი უკვე ელექტროლიტია, ასწევენ ანოდს და კათოდზე ანუ ჭურჭლის ფსკერზე ხდება ალუმინის დალექვა, შემდეგ ალუმინი ისხმება სპეციალურ ყალიბებში.

ალუმინის გარდა ელექტროლიზის ხერხით ხდება მაგნიუმის, ნატრიუმის, კალიუმის, კალციუმის და სხვა ელემენტების მიღება.

ქიმიურ მრეწველობაში ელექტროდენის საშუალებით მიიღება სოდა, ქლორი და სხვა ნივთიერებები.



ბ) გალვანოსტეგია - გალვანოსტეგია ეწოდება საგნების სხვა ლითონის ფენით დაფარვის წესს. ყველასთვის ცნობილი, მოოქროვილი თუ მოვერცხლილი ნივთები ან სხვა ხელსაწყოები, რომლებიც უანჯისაგან დაცვის

მიზნით დაფარულია უანჯავი მასალების ფენით. გასუფთავებული მოსანიკელბელი ნივთი ჩაშვებულია აბაზანაში (ნახ. გ), რომელიც სავსეა ნიკელის ორმაგი მარილის ამიაკის ხსნარით. ანოდად აღებულია ნიკელის ფირფიტები. კათოდად კი თვით მოსანიკელბელი ნივთი. ელექტროლიზის პროცესში ხდება მის ზედაპირზე ნიკელის დალექვა.

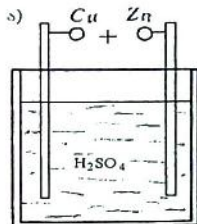
დ) გალვანოპლასტიკა - გალვანოპლასტიკა ის პროცესია, როცა შეგვიძლია დავამზადოთ ამა თუ იმ ფიგურის ლითონური ასლი. ის დეტალი, რომლის ასლის გადაღებაა საჭირო, დაიფარება ნახშირის ფენით და იგი ელგამტარი ხდება. იგი ჩაშვებულია შაბიამნის ხსნარით სავსე აბაზანაში. ნახშირდაკარგული დეტალი ასრულებს კათოდის როლს, სპილენძის ფირფიტა კი - ანოდისას. ელექტროლიზის პროცესში სპილენძის იონები ილექება დეტალზე და წარმოიქმნება ლითონის ფენა, რომელიც დეტალის ასლია.

5.4. ელექტრული ენერჯის ქიმიური წყაროები

ა) გალვანური ელემენტი - XVIII საუკუნის ბოლოს იტალიელი მეცნიერის გალვანის მიერ აღმოჩენილი იქნა, რომ ლითონისა და ელექტროლიტის ურთიერთქმედების შედეგად ჩაკეტილ წრედში შეიძლება აღიძრას ელექტრული დენი.

ამ აღმოჩენის საფუძველზე ვოლტამ შექმნა მცირე სიმძლავრის წყარო, რომელსაც უწოდა გალვანური ელემენტი.

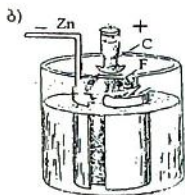
იგი წარმოადგენს გოგირდმჟავას (H_2SO_4) ხსნარში ჩაშვებულ ორ ელექტროდს. ეს ელექტროდებია სპილენძისა (Cu) და თუთიისაგან (Zn) დამზადებული ღეროები. გოგირდმჟავას ხსნართან ურთიერთქმედების დროს თუთიის ელექტროდი გადასცემს ხსნარს დადებით იონებს და თვითონ იმუხტება უარყოფითად. ამის შედეგად თუთიასა და ხსნარს შორის აღიძვრება პოტენციალთა სხვაობა.



ხსნარსა და თუთიის ღეროს შორის აღძრული პოტენციალთა სხვაობის გამოსავლენად საჭიროა ხსნარში ჩაიდგას მეორე ელექტროდი, მაგრამ ისიც რომ თუთიისა იყოს, მაშინ ორივე აღმოჩნდებოდა ერთნაირ პირობებში და ეფექტს ადგილი არ ექნებოდა. მეორე ელექტროდად გამოყენებულია სპილენძის ღერო, რომელშიც თუთიისაგან განსხვავებული ქიმიური თვისებების მქონე მასალაა. სპილენძი გოგირდმჟავაში არ იხსნება და ელექტროდებს შორის აღიძვრება 1,1 ვ-ის სიდიდის პოტენციალთა სხვაობა. ახლა თუ ამ ელექტროდებს გამტართი შევაერთებთ, მასში გაივლის დენი. ეს დენი გარე წრედში გამტარში არსებული თავისუფალი ელექტრონების მოძრაობაა, ხოლო შიგა წრედში, ანუ ელექტროლიტში – იონებისა.

სპილენძისა და თუთიის ღეროებს უკეთდებათ მომჭერები, რომლებსაც ეწოდება პოლუსები – სპილენძის ღერო დადებითი ნიშნის პოლუსია, თუთიისა – უარყოფითი.

ბ) ელემენტის პოლარიზაცია – ვოლტას გალვანურ ელემენტს გააჩნია ერთი დიდი ნაკლი. კერძოდ სპილენძის ელექტროდს გარს ეკერის წყალბადის (H^+) დადებითი იონები და მკვეთრად მცირდება პოტენციალთა სხვაობა ელექტროდებს შორის. ამ პროცესს ელემენტის პოლარიზაცია ეწოდება. მისი თავიდან ასაცილებლად საკმარისია ელექტროლიტში შევიტანოთ რომელიმე დამჟანგავი მასალა, რომლის ჟანგბადის (O^{2-}) იონი უერთდება წყალბადის იონს ($2H^{2+}$) და წარმოიქმნება წყალი (H_2O). ამ პროცესს დეპოლარიზაცია ჰქვია. დეპოლარიზატორად ხშირად გამოიყენება მაგნიუმის ორჟანგი.

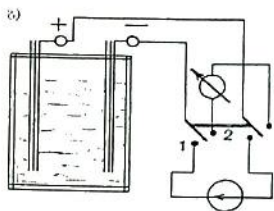


გლუკლანშის ელემენტი - პრაქტიკაში ფართოდ გავრცელებულია ლუკლანშის გალვანური ელემენტი. ამ ელემენტში უარყოფითი პოლუსია თუთიის (Zn) ელექტროდი, დადებითი ნახშირისა (C), ხოლო ელექტროლიტს წარმოადგენს ამონიუმის ქლორიდის (NH_3Cl) ხსნარი (ნახ. ბ). დეპოლიზა-

ტორი მასალაა მანგანუმის ორჟანგი (MgO_2), რომელიც პარკში ჩაყრილი არტყია ნახშირის ღეროს.

ლუკლანშის ელემენტის ემპ 1,4 ვ-ის ტოლია.

დ) აკუმულატორი და მისი მოქმედების პრინციპი - როგორც ენახეთ გალვანური ელემენტების მუშაობის დროს იხარჯება ელექტროდები და ელექტროლიტი. აქ არ მიმდინარეობს შექცევადი პროცესი, ანუ არ ხდება დახარჯული ელექტროდის აღდგენა და მუშაობის გარკვეული პერიოდის შემდეგ გალვანური ელემენტი მწყობრიდან გამოდის.



არსებობს მუდმივი დენის ისეთი წყარო, რომელშიაც ქიმიური რეაქციის შედეგად ადგილი აქვს დახარჯული ელექტროდის აღდგენას. მუშაობის გარკვეული

პერიოდის შემდეგ, როცა წყარო კარგავს ქმედით უნარიანობას, მასში უკუპროცესით ანუ დენის გატარებით, ადგილი აქვს ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობის ამადლებას და ელექტრული წრედიდან ამორთვის შემდეგ იგი კვლავ გარდაიქმნება წყაროდ. ასეთ წყაროს ეწოდება აკუმულატორი.

უფრო მარტივად რომ ვთქვათ აკუმულატორს გააჩნია უნარი, ელექტრულ წრედში ჩართვისას დააგროვოს ელექტრული ენერგია და შემდეგ გასცეს იგი მომხმარებელში, სადაც ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება სითბოს, სინათლის ან ძრავას ბრუნვის მექანიკურ ენერგიად. აკუმულატორში დაგროვილი ენერგიის დახარჯვის შემდეგ, იგი კვლავ დააგროვებს ელექტრული წრედიდან დახარჯულ ენერგიას და ა.შ. აკუმულატორში ენერგიის დაგროვების ამ პროცესს აკუმულატორის

დამუხტვა ეწოდება, ხოლო ენერჯის გაცემის პროცესს — განმუხტვა.

აკუმულატორის მუშაობის პრინციპს გაეცნოთ შემდეგი ცდით. (ნახ. გ) ავიღოთ ჭიქა გოგირდმჟავას (H_2SO_4) ხსნარით და ჩაუშვათ შიგ ორი ერთნაირი ელექტროდი, რომელთა ზედაპირები დაფარულია ტყვიის ჟანგით.

გადამრთველი ჩავრთოთ მე-2-ე მდგომარეობაში. მის მომჭერებზე ჩართული გალვანომეტრი დენს არ უჩვენებს. ე.ი. აკუმულატორი განმუხტულია.

გადავიყვანოთ გადამრთველი 1 მდგომარეობაში, იგი ჩართვება მუდმივი ძაბვის წყაროს წრედში. დავტოვოთ იგი ჩართული გარკვეული დროის განმავლობაში და შემდეგ გადამრთველი კვლავ გადავიყვანოთ მე-2-ე მდგომარეობაში. ამ შემთხვევაში გალვანომეტრის ისარი გადაიხრება, ანუ წრედში აღიძვრება ელექტრული დენი.

ასე, რომ გადამრთველის 1 მდგომარეობაში აკუმულატორი იღებდა ენერჯიას მუდმივი ძაბვის წყაროდან, ანუ იმუხტებოდა. გადამრთველის მე-2-ე მდგომარეობაში გადაყვანისას გალვანომეტრი აფიქსირებს ენერჯიის დაგროვებას. თუ დამუხტული აკუმულატორის მომჭერებზე დატვირთვას ჩავრთავთ მასში აღიძვრება დენი. ამ დროს აკუმულატორი განიმუხტება.

ამ ცდაში აღწერილია ელემენტალური აკუმულატორი. ავხსნათ რა პროცესი მიმდინარეობს მასში.

მუდმივი ძაბვის წყაროს უარყოფით პოლუსთან მიერთებულ ელექტროდზე, აკუმულატორში დენის სვლის დროს, დაედება გოგირდმჟავას ხსნარიდან მიღებული წყალბადის დადებითი იონები და ელექტროდის ტყვიის ჟანგს ადადგენს სუფთა ტყვიად. დადებით პოლუსთან მიერთებულ ელექტროდზე კი გამოიყოფა ჟანგბადი, რომელიც ტყვიის ჟანგს ჟანგავს ტყვიის ზეჟანგად. ამის შედეგად ელექტროდებს შორის განდება პოტენციალთა სხვაობა. ე.ი. ამ პროცესში აკუმულატორი იმუხტება. დამუხტვის პროცესი დამთავრებულად ჩაითვლება, როცა ერთი ელექტროდი გახდება სუფთა ტყვია და მეორე — ტყვიის ზეჟანგი.

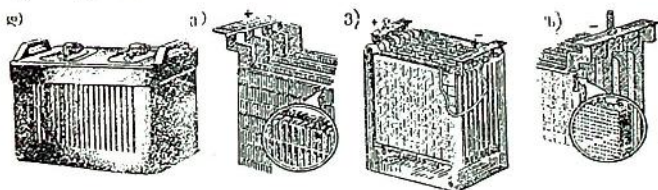
თუ დამუხტული აკუმულატორის პოლუსებზე დატვირთვას ჩავრთავთ, მასში აღიძვრება დენი, რომელიც დამუხტვის დენის საწინააღმდეგოა და მიმართული. სახელდობრ, გარე წრედში დენი მიმართულია ტყვიის ზეჟანგიდან ტყვიისაკენ, შიგა წრედში კი

პირიქით, ტყვიიდან ტყვიის ზეჟანგისაკენ. წყალბადის დადებითი იონები განმუხტვის დროს მიიმართებიან ტყვიის ზეჟანგისაკენ, ჟანგბადის უარყოფითი იონები კი – ტყვიისაკენ.

დადებითი ელექტროდი აღდგება წყალბადის მიერ, უარყოფითი კი იჟანგება ჟანგბადის მიერ, როგორც კი ორივე ფირფიტა ერთნაირი გახდება აკუმულატორიდან დენი აღარ მიიღება. ე.ი. იგი განიმუხტა და საჭიროა მისი განმეორებით დამუხტვა. აკუმულატორის მუშა უნარი ანუ მისი ტევადობა იზომება იმ მუხტის სიდიდით, რომელიც შეუძლია გასცეს დამუხტულმა აკუმულატორმა განმუხტვის პროცესში. აკუმულატორის ტევადობა კონდენსატორის ტევადობისაგან განსხვავებული ცნებაა და მისი საზომია განსაკუთრებული ერთეული ამპერსაათი. ამპერსაათი მუხტის ის რაოდენობაა, რომელიც შეუძლია გასცეს აკუმულატორმა 1 საათის განმავლობაში. 1 ასთ=3600 კულონს.

ე) მჟავიანი აკუმულატორი – პრაქტიკაში ფართოდაა გავრცელებული ორი ტიპის აკუმულატორი. მჟავიანი აკუმულატორი და ტუტე აკუმულატორი. აკუმულატორის ტევადობის გაზრდის მიზნით დადებით და უარყოფით ელექტროდებს ამზადებენ ტყვიის გისოსური ფირფიტების სახით, რომლებიც დაფარულია აქტიური მასით (PbO_2).

უარყოფითი ფირფიტები წარმოადგენს ჩონჩხს, რომლის უჯრედი ამოვსებულია ტყვიის ჟანგით. (PbO) ეს უკანასკნელი დაცულია ჩამოცვენიისაგან ტყვიის ფურცლებით, რომლებზეც დადებულია მცირე დიამეტრიანი მრავალი ხვრელი და მიფარებულია გისოსზე ორივე მხრიდან. ნახ. დ, ე, ვ, ზ-ზე ნახვენებია მჟავიანი აკუმულატორის გარე ხედი და შიგა მოწყობილობა.



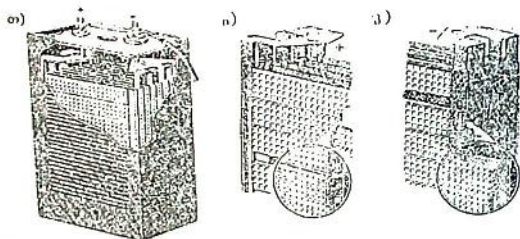
ყველა აკუმულატორისათვის დამუხტვისა და განმუხტვის დენების ზღვრული მნიშვნელობები მოცემულია მის ტექნიკურ პასპორტში.

მჟავიანი დამუხტული აკუმულატორის საწყისი ემპ 2,7 ვ-ის ტოლია და მუშაობის დაწყების წინ, მოკლე ხანში, იგი დაეცემა 2,1 ვოლტამდე. ამის შემდეგ ემპ ეცემა ნელა და 1,8 ვ მნიშვნელობაზე აკუმულატორის განმუხტვა უნდა შეწყდეს და დაიწყოს მისი დამუხტვა.

პრაქტიკულ ელექტრულ წრედებში მომხმარებელთა მკვეთრი ძაბვა ხშირად მეტია 2 ვოლტზე. ამის გამო აკუმულატორი აკრეფილია მიმდევრობით შეერთებული ზემოთ აღწერილი ელემენტებისაგან საერთო ჭურჭელში. მაგალითად, ავტომობილისათვის საჭიროა 12 ვ ძაბვა. საავტომობილო აკუმულატორები შეიცავს 6 ელემენტს, მოტოციკლისა 3 ელემენტს და ა.შ.

უფრო მაღალი ძაბვის მისაღებად მიმდევრობით უნდა შევაერთოდ რამოდენიმე სამი ან ექვს სექციიანი აკუმულატორი, ხოლო ტევადობის გაზრდის მიზნით ჯამური ერთი ძაბვის მქონე აკუმულატორები ირთვება პარალელურად.

ვ) ტუტიანი აკუმულატორი (ნახ. თ, ი, კ) – ამ ტიპის აკუმულატორებში ელექტროლიტად გამოყენებულია ტუტის (KOH)-ის 20%-იანი წყალხსნარი.



აკუმულატორის ფირფიტები წარმოადგენს ფოლადი გოსოსებს უბეებით. დადებითი ფირფიტის უბეები შეესებულია ნიკელის ჟანგის ჰიდრატიტ $[Ni(OH)_2]$, უარყოფითი ფირფიტისა კი – ღრუბლოვანი კადმიუმით.

ტუტიანი აკუმულატორის ემპ მცირეა მჟავიანი აკუმულატორის ემპ-ზე. მისი საწყისი მნიშვნელობა 1,4 ვ-ის ტოლია, რომელიც ჩართვიდან მოკლე ხანში ეცემა 1,3 ვ-მდე. შემდეგ მცირდება ნელა და 1,15 ვოლტი სიდიდის მიღწევის შემდეგ აკუმულატორი უნდა დაიმუხტოს.

ტუტიან აკუმულატორს გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობები მჟავიანთან შედარებით. კერძოდ ერთი და იგივე ტევადობის აკუმულატორებიდან ტუტიანი უფრო მსუბუქია, მდგრადია და მოითხოვს მოვლის უფრო ნაკლებად ხანგრძლივ პირობებს. რაც ყველაზე მთავარია, შეტია დაძუხტვა-გახტუხტვის პროცესების დასაშვები რაოდენობა ანუ რესურსი.

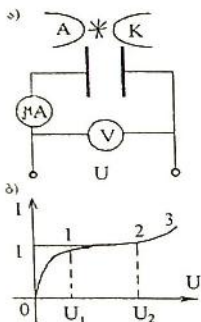
რაც შეეხება აკუმულატორის ბატარეად შეერთების წესს, იგი წარმოებს ისევე, როგორც მჟავიან აკუმულატორში: ძაბვის ამადლების მიზნით აკუმულატორები ირთება მიმდევრობით, ტევადობის გაზრდის მიზნით კი - პარალელურად.

თაში VI ელექტროლი დენი ბაზაში

6.1. გაზის იონიზაცია

ჩვეულებრივ პირობებში დენი გაზებში მეტად მცირეა და მას პრაქტიკული დანიშნულება არა აქვს.

ჩავატაროთ ასეთი ცდა. ავიღოთ პარალელურად განლაგებული ორი ფირფიტა (ნახ. ა), რომელთაგან ერთს ეუწოდოთ ანოდი (A), მეორეს კათოდი (K) და მოვდოთ მათზე



U ძაბვა. მიკროამპერმეტრი დენს უჩვენებს.

ძაბვის გაზრდით დენიც გაიზრდება თითქმის ძაბვის პირდაპირპროპორციულად (0-1) უბანი, მაგრამ U_1 ძაბვის მნიშვნელობის შემდეგ დენი რჩება მუდმივი სიდიდის და აღარ იზრდება. (1-2) დენის ამ მნიშვნელობას გაჯერების დენი ეწოდება (ნახ. ბ). ჰაერის შეთბობისას გაჯერების დენის სიდიდე იზრდება.

ეს პროცესი შეიძლება ავხსნათ შემდეგნაირად. ფირფიტებს შორის გაზის მოლეკულები ჩვეულებრივ პირობებში მცი-

რე ხარისხით განიცდიან იონიზაციას, ანუ იშლებიან დადებით და უარყოფით თავისუფალ იონებად. მაშინ ისინი მიიზიდებიან ანოდისა და კათოდისაკენ და იწყებენ მიმართულ მოძრაობას, ე.ი. წარმოიშევა დენი, მაგრამ მოძრაობის დროს გზაში სოციერთი სხვადასხვანიშნიანი იონი ერთმანეთს ეჯახება, ელექტრონეიტრალური ხდება და ვერ მიაღწევს ანოდამდე თუ კათოდამდე. ე.ი. აღძრული დენი მცირეა. ძაბვის ზრდით იზრდება მიზიდვის ძალა და იზრდება ანოდ-კათოდამდე მისული იონების რიცხვი და მაშასადამე დენიც, მაგრამ დადგება მომენტი, როცა ყველა იონი მივა ელექტროდებამდე და ძაბვის შემდგომი ზრდით დენი აღარ გაიზრდება. გავაგრძელოთ ძაბვის ზრდა. 2 წერტილში, ანუ ძაბვის U_2 მნიშვნელობაზე, იონის სიჩქარე იმდენად დიდია, რომ ჰაერის სხვა ელექტრონეიტრალურ მოლეკულასთან შეჯახებისას იგი შლის მას და წარმოიშევა ახალი იონები; ახალი იონებიც იღებენ მაღალ სიჩქარეს, ეჯახებიან სხვა მოლეკულებს, შლიან მათ და ა.შ. ამ პროცესს ზეაეური

განმუხტვის პროცესი ეწოდება, რომლის დაწყების დროსაც დენი ნახტომისებურად იზრდება და მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს.



ზვავურ განმუხტვას გაზში თან სდევს ნაპერწკლის გაჩენა (ნახ. გ). ბუნებაში ნაპერწკლური განმუხტვის მაგალითია ელვა. ელვის ბუნება თავის დროზე მიხეილ ლომონოსოვმა ახსნა.

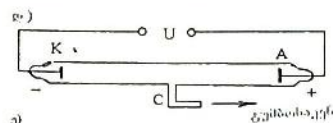
მაგალითია ელვა. ელვის ბუნება თავის დროზე მიხეილ ლომონოსოვმა ახსნა.

6.2. დენი გაიშვიათებულ გაზებში. მღვივადი განმუხტვა

აეილთ მინის ბალონი, რომელშიც ჩარჩილულია ორი ელექტროდი ანოდი და კათოდი (ნახ. დ). მოედოთ მათზე ძაბვა. მანძილი ანოდსა და კათოდს შორის საკმაოდ დიდია. ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს გაზში დენი არ გადის.

დავიწყოთ მინის ბალონიდან ჰაერის ამოტუმბვა. გაზის წნევა მცირდება და წნევის გარკვეულ მნიშვნელობაზე გაზი იწყებს ნათებას ვარდისფერი კლაკნილი ზოლის სახით. წნევის უფრო შემცირებით განათებული ზოლი მსხვილდება და თანდათანობით აივსება ბალონის განიკვეთი. რაღაც წნევაზე მნათი ზოლი კათოდს შორდება მცირე ნაწილზე და მინის ბალონის დანარჩენი მოცულობა ანათებს (ნახ. ე). ამ პროცესს გაზის მღვივადი განმუხტვა ეწოდება.

მღვივადი განმუხტვის პროცესი ფართოდ გამოიყენება განათების მიზნით. ნათება შეიძლება იყოს სხვადასხვა ფერის, რომელიც გაზის გვარობაზეა დამოკიდებული. მაგალითად, ნეონში განმუხტვის დროს ნათება მოწითალო ფერისაა, არგონში კი - მოლურჯო.



დამუშავებულია გაზიანი ნათურების სხვადასხვა ტიპები. ეს ნათურები ავსებულია ვერცხლისწყლის ან ნატრიუმის ორთქლით. სინათლის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით ნათურის შიგა ზედაპირი და-

ფარულია განსაკუთრებული ნივთიერების ფენით. ეს არის ლუმინოფორი, რომელიც ითარგმნება, როგორც სინათლის შენაერთი. ლუმინოფორის შერჩევით მიიღება ისეთი ნათება, როგორიცაა დღის ნათება. ამიტომ ასეთ ნათურებს დღის

ნათების ნათურებსაც ვუწოდებთ. მათი გამოყენების სფერო ყველასათვის ნათელია.

იმის გამო, რომ მღვივადი განმუხტვის დროს ნათება ცივია, ასეთი ნათურები ვარკარების ძაფიან ნათურებთან შედარებით გაცილებით ეკონომიურია, რადგან ელექტრული ენერჯია არ იხარჯება სითბოს გამოყოფაზე.

6.3. კათოდური სხივები და მათი ბუნება

წინა პარაგრაფში აღვნიშნეთ, რომ გაზის წნევის გარკვეულ მნიშვნელობაზე კათოდთან ჩნდება გაუნათებელი ზოლი. ამ დროს კათოდის პირდაპირ მდებარე მინის კედელი იწყებს მოყვითალო – მომწვანო ფერით ნათებას. ეს იმის შედეგია, რომ კათოდიდან ამოიტყორცნება განსაკუთრებული სხივი, რომელიც სინათლის სხივის მსგავსია. ამიტომ მას კათოდური სხივი უწოდეს. შემდგომი კვლევებით დადგინდა, რომ კათოდისგან ამოფრქვეული სხივი ელექტრონების ნაკადია. სხივი ვრცელდება წრფივად და სინათლის სინქარით. კათოდურ სხივს გააჩნია უნარი გაიაროს ლითონის თხელ ფენაში, იგი ფოტოგრაფიულ ფირზე ისევე მოქმედებს, როგორც სინათლის სხივი; გარდა ამისა მას შეუძლია გამოიწვიოს ჰაერის იონიზაცია.

ადრე აღწერილ ცდაში მინის ბალონიდან ჰაერის მთლიანად ამოტუმბვით ნათება შეწყდება და არც კათოდური სხივები წარმოიქმნება.

თაზი VII

ელექტრული ღენის მაგნიტური გამოვლენა

7.1. მაგნიტური ველი – ელექტრული ღენის ძირითადი თვისება

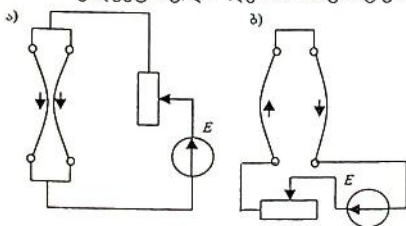
არის შემთხვევები, როცა ელექტრული ღენის გამოვლენის ზემოთ ჩამოთვლილი სამი სახე ყოველთვის არ ახასიათებს ღენს. მაგალითად ზეგამტარ მასალებში ($R = 0$) გამოყოფილი სიტბოს რაოდენობა ($Q = I^2 Rt$) ნულის ტოლია; ღენის ქიმიური გამოვლენაც მხოლოდ მუდმივი ღენისათვისაა დამახასიათებელი და არც გაიშვიათებული გაზი ახლავს ელექტრულ ღენს ყოველთვის. არსებობს ღენის გამოვლენის კიდევ ერთი სახე – ეს არის მატერიის განსაკუთრებული ფორმა – მაგნიტური ველი, რომელიც არსებობს მოძრავი მუხტის ირგვლივ.

ყველგან და ყოველთვის, სადაც კი გადის ელექტრული ღენი, მისი ბუნების მიუხედავად მუდმივია იგი თუ ცვლადი, მიუხედავად გამტარის წინააღობის სიდიდისა თუ გარემოს მდგომარეობისა, მოძრავი მუხტის ირგვლივ ყოველთვის არსებობს მაგნიტური ველი.

მაგნიტურ ველს გააჩნია მთელი რიგი თვისებები, რომლებითაც იგი ფართოდ გამოიყენება ტექნიკაში. მაგნიტურ ველს შეუძლია: იმოქმედოს მექანიკური ძალით მასში შეტანილ ღენიან გამტარზე, დაამაგნიტოს ზოგიერთი მასალისაგან დამზადებული სხეულები; აღძრას ემმ მასში შეტანილ მოძრავ გამტარში და შეკრულ კონტურში. ეს უკანასკნელი თვისება მეტად მნიშვნელოვანია და საფუძვლად უდევს ელექტრული ენერჯიის წარმოებას მთელ მსოფლიოში.

7.2. მაგნიტური ველის გამოვლინება

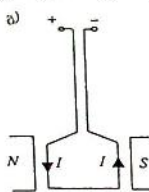
ელექტრული ღენის მაგნიტური ველი აღმოაჩინა დანიელ-



მა ფიზიკოსმა ჰანს ქრისტიან ერსტედმა (1777 – 1851). მან ელექტრული ღენი გაატარა ერთმანეთთან პარალელურად განლაგებულ ორ ფირფიტაში. ცდებით დაადგინდა: თუ გამტარებში ღენი

ერთნაირადაა მიმართული (ნახ. ა) ისინი მიიზიდებიან, სოლო
 თუ დენები ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არიან მიმართული -
 განიზიდებიან (ნახ. ბ).

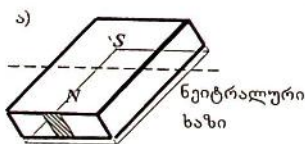
დენიანი გამტარების ურთიერთქმედება შეიძლება ავხსნათ
 შემდეგნაირად: თითოეული გამტარში გადაეალი დენი ქმნის
 მაგნიტურ ველს და იგი გარკვეული ძალით მოქმედებს მასში
 შეტანილ მეორე დენიან გამტარზე. მაგნიტური ველის დენიან
 გამტარზე ძალური ზემოქმედების უნარი მაგნიტური ველის
 თვისებაა და იგი გამოიყენება მაგნიტური ველის აღმოსაჩენად,



ე.ი. მაგნიტური ველი რომ აღმოვაჩინოთ მასში,
 უნდა შევიტანოთ ელემენტარული დენიანი
 გამტარი. ელემენტალური ეწოდება ისეთ
 გამტარს, რომელშიც გადის დენი და მისი
 მაგნიტური ველი გავლენას ვერ ახდენს
 საკვლევ ველზე. ელემენტალური დენიანი გამ-
 ტარის დამზადება შეუძლებელია და მაგნიტუ-
 რი ველის აღმოსაჩენად გამოიყენება სწორკუთხა ჩარჩო,
 რომლის დენმიმყვანი სადენები, ერთმანეთზეა გადაგრეხილი
 (ნახ. გ). ჩარჩოს კიდურა სადენებში დენები ტოლია და
 ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული, ამის გამო მაგნიტური
 ველი მათზე ურთიერთსაწინააღმდეგო ტოლი ძალებით
 იმოქმედებს, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მაბრუნე მომენტი
 და ჩარჩო შემობრუნდება. ჩარჩო ველში დაიკავებს გარკვეულ
 ორიენტაციას.

7.3. მაგნიტური ველის გამოსახვა გრაფიკულად

ა) მაგნიტური პოლუსები. ნეიტრალური ხაზი - მაგნიტუ-
 რი ველის ცხადად წარმოდგენის მიზნით დავაკვირდეთ მუდ-
 მივი მაგნიტის ველს. ყველასათვის ნათელია, რომ მუდმივი
 მაგნიტის მაგნიტური თვისებები სხვადასხვა წერტილში

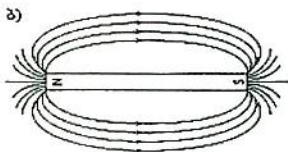


ერთნაირი არ არის და ყველა-
 ზე მკვეთრად გამოისახება მის
 ბოლოებზე. ამ ბოლოებს მაგნი-
 ტის პოლუსები ეწოდება. პო-
 ლუსი ორი სახისაა და პირო-
 ბითად ერთს ეწოდება ჩრდი-

ლოეთ პოლუსი (N), მეორეს - სამხრეთ პოლუსი (S).

მაგნიტის გეომეტრიულ ცენტრში მისი მაგნიტური თვისებები თითქმის არ შეინიშნება და მას ნეიტრალური ხაზი ეწოდება (ნახ. ა).

მაგნიტის ურთიერთქმედების დროს ერთსახელიანი პოლუსები განიზიდება, სხვადასხვა სახელიანი – მიიზიდება. პრაქტიკაში მიღებულია მუდმივი მაგნიტის ჩრდილოეთ პოლუსი შეიღებოს შავად ან ლურჯად, სამხრეთი კი წითლად ან თეთრად.



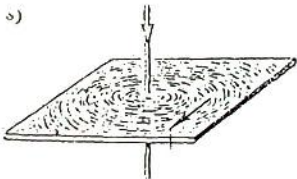
ბ) მაგნიტური ველის ძალწირები – რაც შეეხება მაგნიტური ველის „სურათს“ იგი შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულად – ე.წ. მაგნიტური ძალწირების საშუალებით. ავიღოთ მინის თხელი

ფირფიტა და დაეყაროთ ზედ რკინის ნაქლიბი. ფირფიტის ქვეშ მოვათავსოთ მუდმივი მაგნიტი და ფირფიტაზე ფრთხილად დავაკაკუნოთ. რკინის ნაქლიბი „დახატავს“ მაგნიტური ველის სურათს. ნახ. ბ-ზე ელექტრული ველის წირებისაგან განსხვავებით (იხ. §1.3) მაგნიტური ველის წირები შეკრული წირებია, ისინი გამოდიან ჩრდილოეთ პოლუსიდან, შედიან სამხრეთში და გააჩნიათ შემდეგი თვისებები:

1. მაგნიტური წირი ირჩევს შეკვრის მოკლე გზას;
2. მაგნიტური წირები არ გადაიკვეთება;
3. მაგნიტური წირი ვრცელდება ნებისმიერ გარემოში;
4. ერთი მიმართულების წირები მიიზიდებიან, საწინააღმდეგო მიმართულებისა - განიზიდებიან.

7.4. დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი

ცდებით დადგენილია, რომ დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ძალწირების შეკვრის მიმართულება არ არის დამოკიდებული დენიანი გამტარის მასალის გეგარობაზე და დამოკიდებულია მასში დენის მიმართულებაზე.

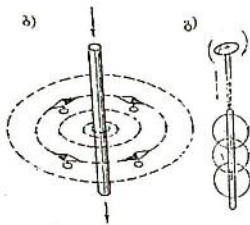


იმისდა მიხედვით თუ რა ფორმას მიეცემა დენიან სადენს, მისი მაგნიტური ველის სურათი შეიძლება იყოს სხვადასხვა:

ა) წრფივი დენიანი სადენის მაგნიტური ველი – ამ ველის სურათს შეიძლება დავაკვირდეთ კვლავ რკინის ნაქლიბის ნამცეცებით, რომლებიც დალაგდებიან წრფივი დენიანი გამტარის ირგვლივ, როცა ამ გამტარში დენს გავატარებთ (ნახ. ა).

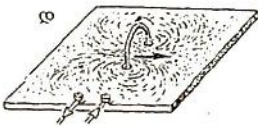
დენის მაგნიტური ველის ძალწირები წარმოადგენენ კონცენტრირებულ წრეწირებს, რომელთა ცენტრი დენიანი სადენის ცენტრში მდებარეობს.

ელექტროდენის მაგნიტური ველის ძალწირების მიმართულებასა და დენის მიმართულებას შორის დამოკიდებულების დასადგენად რკინის ნაქლიბის ნაცვლად ავიღოთ მაგნიტური ისრები (ნახ. ბ).



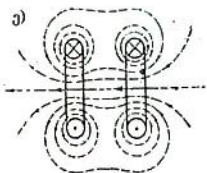
გავატაროთ გამტარში მუდმივი დენი. მაგნიტური ისრები დალაგდებიან მაგნიტური ძალწირების მიმართულებით წრეწირზე. თუ გამტარში დენის მიმართულებას შევცვლით, ისინი მობრუნდებიან 180° -ით.

დენისა და მაგნიტური ძალწირების შეკერის მიმართულებას შორის დამოკიდებულება დაადგინა ინგლისელმა მეცნიერმა მაქსველმა, რომელმაც ჩამოაყალიბა ე.წ. მარჯვენა ბურღის წესი: თუ მარჯვენა ხრახნიანი ბურღის წვეროს გადატანითი მოძრაობა ემთხვევა გამტარში დენის მიმართულებას, მაშინ ბურღის ტარის ბრუნვის მიმართულება გვიჩვენებს მაგნიტური ძალწირების შეკერის მიმართულებას (ნახ. გ).

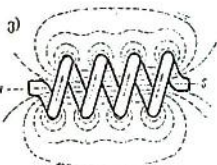


ბ) წრიული დენის მაგნიტური ველი – რკინის ნაქლიბითა და მაგნიტური ისრებით ზემოთ მოყვანილი ანალოგიური ცდებით შეიძლება „დავინახოთ“ წრიული დენის მაგნიტური ველი და ჩამოვაყალიბოთ ბურღის წესი შემდეგნაირად:

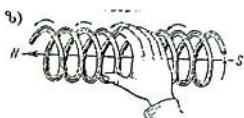
თუ წრიულ გამტარში დენის მიმართულება ემთხვევა ბურღის



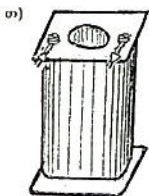
ტარის მოძრაობის მიმართულებას, მაშინ წვეროს მოძრაობის მიმართულება გეიჩვენებს წრიული დენის შიგნით მაგნიტური ველის ძალწირების მიმართულებას (ნახ. დ).



ბ) დენიანი კოჭას მაგნიტური ველი (სოლენოიდი) – ერთი წრიული გამტარის ახლოს მოვათავსოთ მეორე და თითოეულში გავატაროთ დენი ერთნაირი მიმართულებით. აღძრული მაგნიტური ველები ერთმანეთს დაედება და ჯამური ველი გაძლიერდება (ნახ. ე). ასეთი ხვეულების რიცხვის გაზრდით მიიღება უფრო ძლიერი ველი. თუ ამ ხვეულებს ერთმანეთთან მიმდევრობით შევკერებთ და მიღებული სპირალის ბოლოებზე მივკერებთ წყაროს.



მივიღებთ ჯამური მაგნიტური ველის სურათს (ნახ. ვ), რომელიც სქემატურად შეიძლება წარმოვიდგინოთ ნახ. ზ-ზე ნაჩვენები სახით. განხილულ სპირალს ანუ კოჭას ელტექნიკურ ენაზე სოლენოიდს უწოდებენ. სოლენოიდის გრაგნილის თითოეული ხვია შეიძლება განვიხილოთ როგორც დიდი ზომის „მაგნიტური მოლეკულა“. მთლიანი სოლენოიდის ჯამური ველი არაფრით არ განსხვავდება მუდმივი



მაგნიტის ველისაგან. განსხვავებით მუდმივი მაგნიტისაგან სოლენოიდს არ გააჩნია მკვეთრად გამოსახული ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსები. პოლუსთა დასახელებები დამოკიდებულია გრაგნილში დენის მიმართულებაზე და შეიძლება ვისარგებლოთ ასეთი წესით (ნახ. ზ):

თუ გაშლილ მარჯვენა ხელისგულს დავადებთ კოჭას ისე, რომ შემოხვეული ოთხი თითი მიმართული იყოს ხვებში დენის

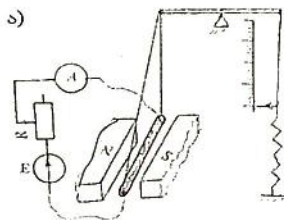
სვლის მიმართულებით, მაშინ ცერა თითი კოჭის ჩრდილოეთ პოლუსისაკენ იქნება მიმართული.

ცხადია, რომ თუ კოჭის ბოლოების პოლუსების დასახელება ცნობილია, მაშინ იმავე წესით განესაზღვრავთ დენის მიმართულებას გრაგნილის ხეივებში.

თუ სოლენოიდის გრაგნილის ხეივებს იზოლირებული სადენით ერთმანეთთან მიეჯვრით და ფენებად დავახვევთ, მივიღებთ ე.წ. ინდუქციურ კოჭას (ნახ. თ), რომელიც ტექნიკური ელექტრული წრედების ერთ - ერთი ძირითადი ელემენტია.

7.5. მაგნიტური ველის მახასიათებლები

ა) მაგნიტური ველის ინდუქცია - მაგნიტური ველის მახასიათებელი სიდიდეები მიიღება მისი იმ ძირითადი თვისებიდან, რომ იგი მასში შეტანილ დენიან გამტარზე მოქმედებს ძალით.



განვიხილოთ ასეთი ცდა. მუდმივი მაგნიტის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში შევიტანოთ ძაფზე დაკიდებული AB გამტარი. მისი წონა ბერკეტზე გაწონასწორებულია ზამბარის დრეკადობის ძალით (ნახ. ა).

გაეატაროთ გამტარში დენი. მაგნიტური ველი იმოქმედებს დენიან გამტარზე ძალით, რომელიც დამოკიდებულია მასში გამავალი დენის მიმართულებაზე, რის გამოც გამტარი ველში შეიზიდება ან განიზიდება.

ველის დენიან გამტარზე მოქმედი ძალა შეიძლება გავზომოთ ზამბარიანი სასწორით. აღებულ დანადგარში ამ ძალის გაზომვა უფრო მოსახერხებელია, მაშინ, როცა გამტარი ველში შეიზიდება. ავირჩიოთ გამტარში დენის შესაბამისი მიმართულება.

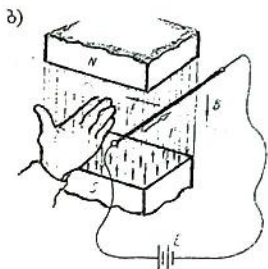
პირველ ცდებში ერთი და იგივე სიგრძის AB გამტარში ვცვალოთ მასში გამავალი დენის სიდიდე და ვზომოთ დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის მოქმედების ძალა. შემდეგ ცდებში ვცვალოთ გამტარის სიგრძე ისე, რომ იგი არ გადიოდეს ველიდან და რეოსტატის საშუალებით შევინარჩუნოთ მასში გამავალი დენის ერთი და იგივე მნიშვნელობა.

ცდის შედეგებით დაეადგენთ:

მაგნიტური ველის ღენიან გამტარზე მოქმედი ძალა ამ ველში მოთავსებული გამტარის სიგრძისა და მასში გამავალი ღენის პირდაპირპროპორციულია:

$$F = BIl$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი B მაგნიტური ველის ერთ - ერთი ძალური მახასიათებელი სიდიდეა და მას მაგნიტური ველის ინდუქცია ეწოდება. მაგნიტური ველის ინუქცია ვექტორული სიდიდეა. ე.ი. იგი ხასიათდება, როგორც სიდიდით, ისე მიმართულებით. მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი მიმართულია იმ ძალის მიმართულებით, რომლითაც მაგნიტური ველი მოქმედებს ღენიან გამტარზე.



მაგნიტური ველის ღენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით, რომელიც ილუსტრირებულია ნახ. ბ-ზე:

თუ მარცხენა ხელის გულს მოვათავსებთ ისე, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი შედიოდეს ხელის გულში და გაშლილი ოთხი თითი მიუთითებდეს გამტარში ღენის მიმართულებას, მაშინ ცერა თითის მი-

მართულება უჩვენებს მაგნიტური ველის ღენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მიმართულებას.

მაგნიტური ინდუქციის ერთეული გამომდინარეობს მისი განსაზღვრიდან:

$$B = \frac{F}{Il}$$

ერთეულთა SI სისტემაში ძალის ერთეულია ნიუტონი, ღენისა - ამპერი და სიგრძის - მეტრი, მაშინ გვექნება:

$\frac{\text{ნიუტონი}}{\text{ამპერი} \cdot \text{მეტრი}}$. ინდუქციის ამ ერთეულს ეწოდება ტესლა,

$$\text{ანუ } 1 \text{ ტლ} = 1 \frac{\text{ნიუტონი}}{\text{ამპერ.მეტრი}}$$

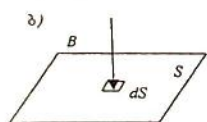
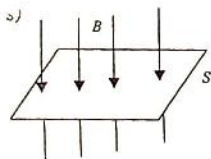
1 ტესლა იმ მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდეა, რომელიც მასში შეტანილ ძალწირების მართობულად განთავსებულ 1 მეტრი სიგრძის გამგარში, რომელშიც გადის 1 ამპერი დენი, მოქმედებს 1 ნიუტონი ძალით.

სწორად იხმარება უფრო მცირე ერთეული გაუსი = 10^{-4} ტესლა რომელიც SI სისტემის ერთეული არ არის. მაგნიტური ველის დენიან გამტარზე მოქმედ $F = BIl$ ძალას ამპერის ძალა ეწოდება და იგი მაქსიმალურია, როცა კუთხე გამტარის ღერძსა და ინდუქციის ვექტორს შორის 90° -ია.

ზოგადად, როცა კუთხე დენიანი სადენის ღერძსა და მაგნიტურ ძალწირებს შორის α -ს ტოლია, მაშინ ამპერის ძალა გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$F = BIl \sin \alpha .$$

ბ) მაგნიტური ნაკადი - მაგნიტური ველი გრაფიკულად გამოვსახეთ მაგნიტური ძალწირებით. მაგნიტური ველის ძალწირებით შესაძლებელია არა მარტო მაგნიტური ველის გამოვსახვა, არამედ ველის ინდუქციის სიდიდის შეფასებაც. შეთანხმებით მიღებულია, რომ მაგნიტური წირები გავაელოთ ისე, რომ ველის აღებულ წერტილში მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მართობ 1 სმ² ფართობზე გადიოდეს იმდენი წირი, რასაც უდრის მაგნიტური ველის ინდუქცია ამ წერტილში. ე.ი. ძალწირების სიხშირე მაგნიტური ინდუქციის სიდიდეზე მიუთითებს. ეს შეიძლება შევაჩინოთ ცდითაც. თუ დავაკვირდებით მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურ ველს. ცხადია დავინახავთ, რომ ველის ინდუქცია ყველაზე დიდია პოლუსებთან, რაც ნათლად ჩანს ძალწირების სიხშირით. მაგნიტურ ველს, რომლის ყველა წერტილში მაგნიტური ინდუქცია ერთნაირია ერთგვაროვანი ველი ეწოდება. ერთგვაროვან ველს ქმნის ორი სიდიდით ტოლი და ერთმანეთის პარალელურად განლაგებული სხვადასხვა პოლარობის პოლუსი; ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი დენიანი კოჭის შიგნით.



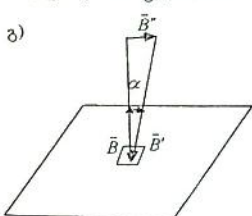
როცა ერთგვაროვანი B მაგნიტური ველი განჭოლავს ძალწირებისადმი მართობულ S ფართობს (ნახ. ა), მაშინ BS

ნამრაველს მაგნიტური ნაკადი ეწოდება. იგი აღინიშნება Φ ასოთი და გვაქვს: $\Phi = BS$.

არაერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ნაკადის განსასაზღვრავად აღებულ S ფართობიდან გამოვყოფთ ელემენტარულ ΔS ფართობს, რომელზეც ველი ერთგვაროვნად შეიძლება ჩავთვალოთ (ნახ. ბ). მთელი S ფართობი წარმოვადგინოთ, როგორც ელემენტალური ΔS ფართობების ჯამი, ხოლო ნაკადი ელემენტალური $B \Delta S$ ნაკადების ჯამი იქნება. რაც მათემატიკურად იწერება ასე: $\Phi = \sum B \Delta S$.

ნაკადი მაქსიმალურია, როცა ინდუქციის ვექტორი ფართობის ზუდაპირის მართობია.

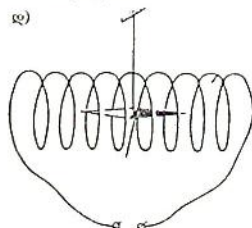
ზოგად შემთხვევაში, როცა მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი ფართობის სიბრტყესთან გარკვეული α კუთხითაა დახრილი (ნახ. გ), მაშინ $\Phi = BS \cos \alpha$.



მაგნიტური ნაკადი სკალარული სიდიდეა. ე.ი. მას არ გააჩნია მიმართულება და ერთეულთა SI სისტემაში მაგნიტური ნაკადის ერთეულად მიღებულია ისეთი ნაკადი, რომელიც 1 ტლ ინდუქციის ერთგვაროვან ველში განჭოლავს ინდუქციის ვექტორის მართობ 1მ^2 ფართობს. ამ ერთეულს

ეწოდება ვებერი (ვბ) ანუ $1\text{ვბ} = 1\text{ტლ}\cdot\text{მ}^2$.

გ) მაგნიტური ველის დაძაბულობა - მაგნიტური ველის კიდევ ერთი ძირითადი მახასიათებელია მაგნიტური ველის დაძაბულობა.



ლისა და მის საწინააღმდეგოდ მიმართული ძაფის დრეკადი

მაბრუნე მომენტი გატოლდება, ისარი გაჩერდება გარკვეული კუთხით მობრუნებულ მდგომარეობაში (ნახ.დ)

გავზარდოთ დენი კოჭაში. ველის მობრუნე მომენტი გადააკარბებს ძაფის დრეკად მომენტს და ისრის მობრუნების კუთხე გაიზრდება. ასე, რომ მაგნიტური ისრის მობრუნების კუთხის სიდიდით შეიძლება ვიმსჯელოთ მაგნიტური ველის მობრუნე მომენტის და შესაბამისად მაგნიტური ველის სიძლიერეზე. ცდებით დადგენილია: რამდენჯერაც გაიზარდა დენი კოჭაში სხვა პარამეტრების უცვლელი მნიშვნელობების დროს, იმდენჯერ გაიზარდა მაგნიტური ველის შემოქმედების ძალა.

ამის შემდეგ შეეცვალოთ კოჭას ხვიათა რიცხვი და დენი კოჭაში დაეტოვეთ უცვლელი სიდიდის, აღმოჩნდა: ველის დაძაბულობა იზრდება კოჭის ხვიათა რიცხვის შრდით.

შემდეგ ცდაში იცვლებოდა კოჭას სიგრძე ისე, რომ დენი კოჭაში და ხვიათა რიცხვი იყო ერთნაირი; აღმოჩნდა: ველის დაძაბულობა მცირდება კოჭის სიგრძის ზრდით ანუ დაძაბულობა კოჭის სიგრძის უკუპროპორციულია.

და საბოლოოდ დაეწერთ:

$$H = \frac{I \cdot W}{l},$$

სადაც H ველის დაძაბულობაა; I - კოჭაში გამავალი დენის სიდიდე; W - ხვიების რიცხვი და l - კოჭის სიგრძე.

მაგნიტური ველის დაძაბულობა პირდაპირპროპორციულია მასში გამავალი დენისა და კოჭის ხვიათა რიცხვისა და უკუპროპორციულია კოჭის სიგრძისა.

გამოვიყვანოთ ველის დაძაბულობის ერთეული. დაძაბულობის განმსაზღვრელ ფორმულაში შედის: დენი, ხვიების რიცხვი და კოჭის სიგრძე. დენის საზომი ერთეულია ამპერი, სიგრძისა - მეტრი, ხვიების რაოდენობას განზომილება არა აქვს. ექნება:

$$\text{დაძაბულობის ერთეული} = \frac{\text{ამპერი}}{\text{მეტრი}} \left(\frac{\text{ა}}{\text{მ}} \right).$$

მაგნიტური ველის დაძაბულობის ერთეულია აგრეთვე ერსტედი.

$$1 \text{ ერსტ} = 80 \text{ ა/მ} = 0,8 \text{ ა/სმ.}$$

მაგნიტური ველის დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა და მისი მიმართულება ემთხვევა მაგნიტური ველის ძალწირების მიმართულებას მის ნებისმიერ წერტილში.

კოჭისათვის, რომლის გეომეტრიული ზომები არ იცვლება მაგნიტური ველის „სიძლიერე“ დამოკიდებულია IW ნამრავლზე. ამ ნამრავლს მაგნიტო მამოძრავებელი ძალა ეწოდება.

ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

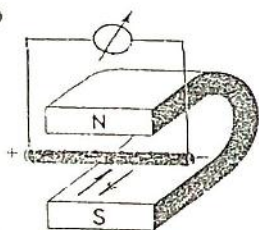
8.1. შექცევადი პროცესი – მაგნიტური ველი აღძრავს ელექტრულ დენს

ინგლისელი მეცნიერი მაიკლ ფარადეი (1791 – 1867) სვამდა კითხვას: თუ ელექტრული დენი ქმნის მაგნიტურ ველს, რატომ არ შეიძლება მოხდეს პირიქით – მაგნიტურმა ველმა შექმნას ელექტრული დენი?

ამ კითხვაზე თავადვე უპასუხა 1831 წლის აგვისტოში, როცა აღმოაჩინა მეტად მნიშვნელოვანი მოვლენა – ელექტრო-მაგნიტური ინდუქციის მოვლენა.

ა) ემპ-ის აღძვრა სწორ გამტარში - ნალისებური მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურ ველში შეეიტანოთ ძაფზე დაკიდებული *AB* გამტარი და ბოლოებზე მიუყურთოდ გაღვანომეტრი (ნახ. ა). ვამოძრაოთ გამტარი ზევით – ქვევით. გაღვანომეტრის ისა-

ა)



რი დენს არ უჩვენებს, მაგრამ თუ გამტარს ავამოძრაოებთ ნახაზზე ისრებით ნაჩვენები მიმართულებით, მოძრაობის პროცესში გაღვანომეტრი დენს უჩვენებს.

ავხსნათ ეს მოვლენა.

თუ გამტარი მაგნიტურ ველში *V* სიჩქარით მოძრაობს, ამავე სიჩქარით გამტართან ერთად

მოძრაობს გამტარში არსებული თავისუფალი ელექტრონები. მოძრაობის იმ მიმართულებისას, როცა მაგნიტური ველის ძაღწირები გადააკვეთენ გამტარს, დამუხტულ ნაწილაკებზე იმოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა $F = IBl$. ამ ძაღების გავლენით ელექტრონები გადაადგილდება გამტარის ერთ ბოლოზე და შექმნის იქ უარყოფით მუხტს, ხოლო მეორე ბოლოზე ელექტრონების ნაკლებობა წარმოშობს დადებით მუხტს. მუხტების ასეთი გაყოფა შეწყდება თუ ელექტრომაგნიტური ძაღები გაწონასწორდება სხვადასხვა ნიშნიანი მუხტების მიზიდულობის ძაღებით. გამტარის მაგნიტურ ველში მოძრაობის შესანარჩუნებლად საჭირო გახდება ემპ, რომელსაც ინდუქციის ემპ ეწოდება, ხოლო მისი აღძვრის მოვლენას – ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა.

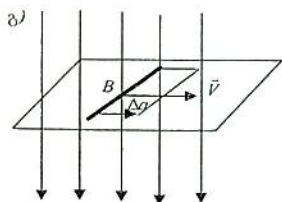
როცა გამტარი გასხნილია, ძაბვა მის მომჭერებზე U , ინდუქციის ემძ-ის ტოლია. ცდით დადგენილია, რომ ინდუქციის ემძ პირდაპირპროპორციულია მაგნიტური ველის B ინდუქციის, გამტარის იმ სიგრძისა, რომელიც კვეთს მაგნიტურ ძაღწირებს და გამტარის მოძრაობის V სიჩქარისა:

$$e = BlV .$$

ეს არის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის ფორმულირების ერთ - ერთი სახე. მივცეთ ამ ფორმულას სხვა სახე.

ვოქვათ გამტარი Δl დროის შუალედში გადაადგილდება Δa მანძილზე (ნახ. ბ), მაშინ სიჩქარის განმარტების თანახმად

$$V = \frac{\Delta a}{\Delta t} \text{ და გვექნება:}$$

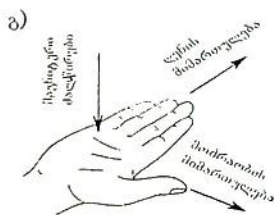


$$e = Bl \frac{\Delta a}{\Delta t}, \text{ მაგრამ } l\Delta a = \Delta S$$

იმ ფართობის ტოლია, რომელიც მოიცვა გამტარმა მაგნიტურ ველში. ამ ფართობის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იქნება $\Delta\Phi = B\Delta S$. მაშინ ემძ-ისათვის დაე-

$$\text{წერთ : } e = B \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

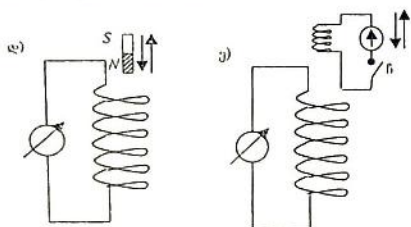
ე.ი. ინდუქციის ემძ სწორ გამტარში ნაკადის ცვლილების სიჩქარის ტოლია.



ინდუქციის ემძ-ის გავლენით გამტარში აღძერება დენი, რომელსაც ინდუქციური დენი ეწოდება. ინდუქციური დენის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს (ნახ. გ):

თუ მარჯვენა ხელს დავიჭერთ ისე, რომ ძაღწირები შედიოდეს ხელის გულში და გამწილი ცერის მიმართულება უჩვენებდეს მოძრაობის მიმართულებას, მაშინ გამწილი ოთხი თითი გვიჩვენებს გამტარში აღძრული ინდუქციური დენის მიმართულებას

ბ) ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა შეკრულ კონტურში – ინდუქციის ემპ აღიძვრება შეკრულ კონტურშიც. ამისათვის საჭირო პირობებს გავეცნოთ ცდებით. ელექტურობის გაზრდის მიზნით შეკრული კონტური წარმოვადგინოთ რამდენიმე სვიის ანუ კოჭის სახით. მივიერთოდ ამ კოჭის ბოლოებზე



გალვანომეტრი და გამოძრავოთ კოჭაში მუდმივი მაგნიტი (ნახ. დ). მაგნიტის მოძრაობის პროცესში გალვანომეტრის ისარი დენს გვიჩვენებს. ჩაუშვით მაგნიტი კოჭაში და გავაჩეროთ, გალვანომეტრის ისარი დენს აღარ უჩვენებს.

ნომეტრის ისარი დენს აღარ უჩვენებს.

მუდმივი მაგნიტი შეეცვალოთ დენიანი კოჭით. დენიანი კოჭის მოძრაობის დროს იგივე ელექტს აქვს ადგილი. თუ დენიანი კოჭას საკვლევი კოჭაში ჩაუშვებთ და გავაჩერებთ დენი არ აღიძვრება.

ამ ორი ცდიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ: ინდუქციური დენის წარმოშობას მაგნიტის ან კოჭის მოძრაობა იწვევს, მაგრამ თუ დენიანი კოჭას გავაჩერებთ და ჩამრთველს ჩაერთავთ – გამოერთავთ გალვანომეტრის ისარი დენს ისევ გვიჩვენებს. ამ ცდების მარტივი ანალიზით შეიძლება დავასკვნათ: მაგნიტის ან კოჭის მიახლოებისას საკვლევი კონტურის გამჭოლი ნაკადი იზრდება, დაშორებისას – მცირდება; როცა დენიანი კოჭა გაჩერებულია ჩამრთველის ჩართვისას საკვლევი კონტურის გამჭოლი ნაკადი იზრდება, გამორთვისას მცირდება. ასე, რომ: შეკრულ კონტურში ინდუქციური ემპ-ის წარმოქმნის მიზეზია მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილება.

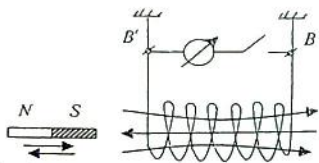
8.2. ინდუქციური დენის მიმართულება. ლენცის წესი

ინდუქციური დენი, დენის ჩვეულებრივი ფორმაა; შეუძლია შეასრულოს მუშაობა და შექმნას მაგნიტური ველი, მაგრამ მას გააჩნია ერთი მეტად „უმაღური“ თვისება:

ინდუქციურ დენს ისეთი მიმართულება აქვს, რომ იგი ეწინააღმდეგება მისი აღბერის ყოველნაირ მიზეზს.

ინდუქციური დენის აღძვრის მიზეზი მაგნიტური ველის ცვლილებაა და თუ ამ ცვლილებას მექანიკური მოძრაობა იწვევს, ინდუქციური დენი ამუხრუჭებს ამ მოძრაობას; თუ მაგნიტური ველის ცვლილება დენის ზრდით მიიღწევა, ინდუქციური დენი ეწინააღმდეგება დენის ზრდას და ა.შ.

ინდუქციური დენის ამ თვისებას შეიძლება დავაკვირდეთ ცდით:



აეილოთ ძაფზე დაკიდებული კოჭა. შევკრათ წრედი გალვანომეტრის ჩართვით. მაგნიტის მიახლოებისას კოჭა მისგან განიზიდება, ხოლო დაშორებისას გამოჰყვება მას. ე.ი. „ცდილობს“

მაგნიტის მიახლოებისას არ გაიზარდოს კოჭას გამჭოლი ნაკადი, ხოლო დაშორებისას არ შემცირდეს. თუ ჩამრთველს გამოვრთავთ და ინდუქციური დენი არ იარსებებს, კოჭას რეაქცია მაგნიტის მიახლოება – დაშორებაზე არ შეიმჩნევა.

იმისათვის, რომ აღვიღოთ კჰონდეს განზიდვას, კოჭაში უნდა წარმოიშვას ისეთი მიმართულების დენი, რომ მისი მაგნიტური ველი ეწინააღმდეგებოდეს კოჭას ხეივების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ზრდას, რაც იმას ნიშნავს, რომ აღძრული ინდუქციური დენის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი \vec{B}' მიმართულია ინდუქციური დენის აღმქრელი \vec{B} ინდუქციის ვექტორის საწინააღმდეგოდ. მაგნიტის დაშორების დროს კი კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მცირდება და კოჭას გრაგნილში აღძვრება ისეთი მიმართულების დენი, რომ იგი თავისი მაგნიტური ველით ეწინააღმდეგება კოჭას გრაგნილების გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის შემცირებას, ე.ი. ამ შემთხვევაში \vec{B}' ინდუქციის ვექტორი თანხვედრილია \vec{B} ვექტორთან.

ინდუქციური დენის ეს თვისება შეისწავლა ემილ ლენცმა (1804 – 1805) და ჩამოაყალიბა შემდეგი წესი:

ჩაკეტილ კონტურში აღძრულ დენს ისეთი მიმართულება აქვს, რომ მის მიერ აღძრული მაგნიტური ნაკადი ეწინააღმდეგება მისი აღმქრელი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებას.

8.3. ელ მაგნიტური ინდუქციის კანონი. ინდუქციის ემპ-ის სიდიდე შეკრულ კონტურში

ცდებით დადგენილია, რომ ინდუქციის ემპ-ის სიდიდე შეკრულ კონტურში მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სინქარის ტოლია, ეს სინქარე კი ზემოთ შემდეგნაირად

$$\text{ჩაეწერეთ: } \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

ლენცის წესის თანახმად ინდუქციური დენის მაგნიტური ველი ეწინააღმდეგება ძირითადი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებას, ამიტომ ინდუქციის ემპ-ის საანგარიშოდ $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ უნდა ავიღოთ უარყოფითი ნიშნით და შეკრულ კონტურში დაინდუქცირებული ემპ-ის საანგარიშო ფორმულა იქნება:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

ეს ფორმულა სამართლიანია ერთი ხეიისათვის.

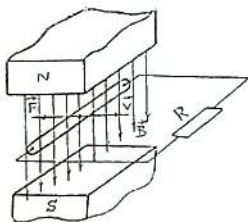
იმ ცდებში, როცა ვაკეირდებით ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას შეკრულ კონტურში, ეფექტურობის გაზრდის მიზნით ვიხილავთ რამდენიმე ხეიას. ვთქვათ, ხეიების რაოდენობაა N , მაშინ კოჭის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილების დროს დაინდუქცირებული ემპ-ის სიდიდე მის ბოლოებზე იქნება: $e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

ელექტროტექნიკაში გვაქვს კიდევ ერთი ცნება - ნაკად-შებმა ψ , რომელიც აღებული კოჭისათვის განიმარტება როგორც მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ხეიების რიცხვზე ნამრაველი $\psi = \Phi N$. მაშინ კოჭის ბოლოებზე აღძრული ინდუქციის ემპ შეიძლება ჩაეწეროს შემდეგნაირად: $e = -\frac{\Delta\psi}{\Delta t}$.

ე.ი. კოჭაში გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებისას მის ბოლოებზე დაინდუქცირდება ემპ, რომლის სიდიდე ნაკადშებმის ცვლილების სინქარის ტოლია უარყოფითი ნიშნით.

ეს არის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი ინდუქციური კოჭისათვის.

8.4. მექანიკური ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის მექანიზმი (ელექტრული გენერატორის მოქმედების პრინციპი)



როგორც ვნახეთ მაგნიტურ ველში გამტარის მოძრაობით მის ბოლოებზე ჩნდება ინდუქციის ემძ. ე.ი. მაგნიტურ ველში მოძრავი გამტარი წარმოადგენს ემძ-ის წყაროს, რაც იმას ნიშნავს, რომ მის ბოლოებზე ჩართულ R წინაღობაში გაივლის დენი და წრედი შეიკვრება. მაშინ მივიღებთ მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარს, რომელზეც

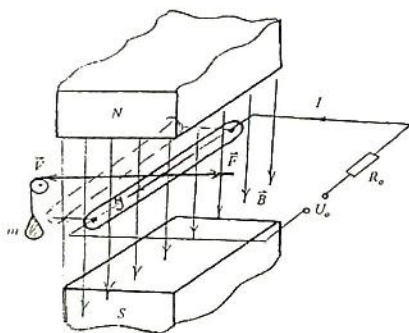
მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა $F = BIl$. ეს ძალა მარცხენა ხელის წესით თანახმად მიმართული იქნება სინქარის \vec{V} ვექტორის საწინააღმდეგოდ. ე.ი. ეს ძალა დამამუხრუჭებელ ძალას წარმოადგენს. გამტარის მოძრაობა რომ შევინარჩუნოთ, საჭირო გახდება გარე ძალები, რომელმაც უნდა განავითაროს მექანიკური სიმძლავრე $P_a = FV = BIlV = EI$.

ასე, რომ გამტარის მიერ მიღებული მექანიკური ენერგია გარდაიქმნა EI ელექტრულ ენერგიად. ე.ი. მაგნიტურ ველში მექანიკური ძალებით მოძრავი გამტარი წარმოადგენს გენერატორს, რომელშიც მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად.

8.5. ელექტრული ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის მექანიზმი (ელექტრული ძრავის მოქმედების პრინციპი)

ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მაგნიტური წირების მართობულად მოვათავსოთ l სიგრძის გამტარი და მის ბოლოებზე მოვდოთ U_0 ძაბვა. გამტარში გაივლის I დენი და მასზე იმოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა, რომლის მიმართულუბაც განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით. ამ ძალის გაელენით. გამტარი დაიწყებს მოძრაობას \vec{V} სინქარით, მაშინ გამტარში დაინდუქცირდება ემძ, რომლის მიმართულუბაც განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით.

ხელის გულის ერთნაირი მდგომარეობის დროს (მაგნიტური ძალწირი შედის ხელისგულში) მარჯვენა და მარცხენა ხელის გაშლილი ცერები ერთმანეთის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, ე.ი. გამტარი შეასრულებს გარკვეულ მუშაობას (mgh) და ამავე დროს მასში დაინდუქცირდება ემპ, რომლის მიმართულება შემსხვედრი ემპ $E = BIV$ -ის საწინააღმდეგო იქნება.



თუ გამტარის წინაღობა R_0 -ის ტოლია, კირხჰოფის II კანონით დავეწერთ: $U_0 - E = IR_0$,

საიდანაც $I = \frac{U_0 - E}{R_0}$; თუ

$U_0 = E + IR_0$ განტოლების ორივე მხარეს დენზე გავამრავლებთ მივიღებთ ელექტრულ სიმძლავრეს:

$$U_0 I = EI + I^2 R_0 = BIV I + I^2 R_0 = FV + I^2 R_0.$$

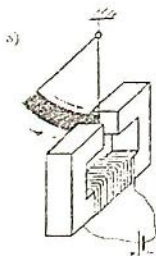
$I^2 R_0$ თბური დანაკარგებია გამტარში, ხოლო FV - მექანიკური სიმძლავრე.

ე.ი. მაგნიტურ ველში მოძრავი გამტარი შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც ელექტროძრავა.

8.6. გრიგალური (ფუკოს) დენები

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა შეიმჩნევა არა მარტო კოჭებში და წრიული ფორმის სადენებში, არამედ ნებისმიერ გამტარ გარემოში, როცა იცვლება მისი გამჭოლი მაგნიტური ველი.

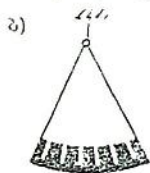
ავიღოთ არამაგნიტური მასალისაგან (ალუმინი, სპილენძი) დამზადებული ფირფიტა, დავეკიდოთ იგი ძაფებზე და მოვათავსოთ ელექტრომაგნიტის პოლუსებს შორის, როგორც ეს ნახ. ა-ზეა ნაჩვენები.



გადავხაროთ ფირფიტა წონასწორობის მდგომარეობიდან და

გავათავისუფლოთ. იგი დაიწყებს რხევით მოძრაობას, ეს მოძრაობა გრძელდება თავისუფლად, სანამ კოჭაში დენს გავატარებთ. წრედის ჩართვის შემდეგ მერხევი ფირფიტა დამუხრუჭდება და გაჩერდება. რა ძალა აჩერებს მას? ეს არ არის მაგნიტურ ველში შეტანილ სხეულზე მაგნიტური ზემოქმედების ძალა, რამდენადაც ფირფიტა არამაგნიტური მასალისაგანაა დამზადებული. მაშინ როგორ ავხსნათ ეს მოვლენა? მაგნიტური ველი დააინდუქცირებს ფირფიტაში ემპ-ს, რომელიც აღძრავს დენს. ლენცის პრინციპის თანახმად, ამ დენის მაგნიტური ველი მიმართულია ისე, რომ ეწინააღმდეგება მისი აღძვრის მიზეზს, ანუ ფირფიტის მოძრაობას და აჩერებს მას. დენს, რომელიც აღიძრა ფირფიტაში მისი მაგნიტურ ველში მოძრაობისას, გრიგალური ანუ ფუკოს დენი ეწოდება.

გრიგალური დენები აღიძვრება ყველა მასიურ გამტარ სხეულში, რომლებიც განიჭოლება ცვლადი მაგნიტური ნაკადით. ხშირად მათი აღძვრა არასასურველია, რამდენადაც გრიგალური დენები იწვევენ მასიური დეტალების გახურებას, მოძრავი სხეულების დამუხრუჭებას და ა.შ. ამიტომ მიღებულია ზომები მათ შესამცირებლად. ასე მაგალითად, თუ ზემოთ აღწერილ ცდაში ფირფიტას დავამზადებთ ჭდეებით (ნახ. ბ), გაიზრდება დენის გზა, ანუ გაიზრდება ფირფიტის ელექტრული წინააღობა, და გრიგალური დენი შემცირდება. გრიგალური დენები შემცირდება მაშინაც თუ ფირფიტა სისქით მეტად თხელი იქნება. თხელი ფირფიტის ელექტრული წინააღობა დიდია და შესაბამისად მცირე იქნება აღძრული გრიგალური დენები. ამიტომ ზოგიერთი ელტექნიკური დანადგარის მასიური ნაწილი, რომელიც ცვლადი მაგნიტური ნაკადით განიჭოლება, აიკრიფება ერთმანეთისაგან იზოლირებული თხელი ფირფიტებისაგან და მიეცემა საჭირო დეტალის ფორმა.

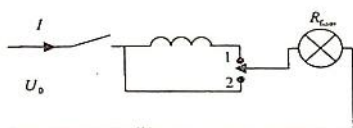


8.7. თვითინდუქციის მოვლენა

წარმოვიდგინოთ გამტარი, რომელშიც დენი იზრდება ან კლებულობს, მაშინ მის ირგვლივ აღიძვრება შესაბამისად ზრდადი ან კლებადი მაგნიტური ველი, რომელშიც შეტანილი აღმოჩნდება თვით ეს გამტარი. მაშინ ელექტრომაგნიტური

ინდუქციის მოვლენის თანახმად მის ბოლოებზე დაინდუქცირდება ინდუქციის ემძ. ამ მოვლენას ეწოდება თვითინდუქციის მოვლენა და როგორც დასახელება მიგვანიშნებს, საქმე გვაქვს ინდუქციურ ემძ-თან, რომელიც აღიძვრება გამტარის ბოლოებზე თვით ამ გამტარში გამავალი დენის მიერ აღძრული მაგნიტური ნაკადით.

ეს მოვლენა ნაკლებად ეფექტურია სწორი მოკლე სიგრძის გამტარებისათვის და მხედველობაში არ მიიღება, მაშინ როდესაც ნიშანდობლივია მრავალხვიანი ინდუქციური კოჭებისათვის.



თვითინდუქციის მოვლენას შეიძლება დავაკვირდეთ შემდეგი ცდით. ნახაზზე ნაჩვენებ სქემაზე გადამრთველი დავაყენოთ 1 -

მდგომარეობაში და ჩაერთოთ წრედი U_0 მუდმივ ძაბვაზე ნათურა აკაშკაშდება მყისიერად ე.ი. ჩართვისთანავე და დენი წრედში განისაზღვრება ომის კანონით: $I = \frac{U}{R_{lam}}$, სადაც R_{lam}

ნათურის წინაღობაა.

გამოერთოთ წრედი, გადამრთველი გადავიყვანოთ მე-2 მდგომარეობაში და კვლავ ჩაერთოთ. ამჯერად ნათურა მყისიერად არ აკაშკაშდება, იგი ნათებას იწყებს თანდათან და ნორმალურ სიკაშკაშეს მიაღწევს გარკვეული დროის შემდეგ ე.ი. ამ შემთხვევაში დენი წრედში იზრდება თანდათანობით.

ეს მოვლენა შეიძლება ავხსნათ შემდეგნაირად: წრედის ჩართვამდე კოჭაში დენი არ არსებობდა და წრედის ჩართვის

შემდეგ იგი უნდა გაიზარდოს $I = \frac{U_0}{R_{lam}}$ სიდიდემდე.

(აქ სიმცირის გამო მხედველობაში არ ვიღებთ იმ მათეო-ლის წინაღობას, რომლითაც დახვეულია კოჭას გრაგნილი).

დენის 0 დან I სიდიდემდე ზრდის პროცესში აღიძვრება ზრდადი მაგნიტური ნაკადი, რომლითაც განიჭოლება თვით კოჭა და ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის თანახმად მის ბოლოებზე დაინდუქცირდება ემძ. ეს ემძ აღძრავს დენს, რომელიც ლენცის პრინციპის თანახმად ეწინააღმდეგება

თავისი წარმოშობის მიზეზს ანუ ძირითადი დენის ზრდას. ჩხადია, იგი ამ ზრდას ბოლომდე ვერ შეაჩერებს და დენი წრედში იზრდება თანდათანობით. როცა დენი მიაღწევს $\frac{U_0}{R_{\text{ნათ}}}$

მნიშვნელობას, იგი შემდეგ აღარ იზრდება, მუდმივია და ცხადია, მუდმივი იქნება მაგნიტური ნაკადიც. მუდმივი ნაკადი არ აღძრავს ინდუქციის ემპ-ს და აღარ შეიმჩნევა კოჭის არაერთარი რეაქცია.

მკაცრი მსჯელობით იგივე მოვლენას ჰქონდა ადგილი გადამრთველის 1 მდგომარეობაში წრედის ჩართვის დროს, მაგრამ მეტად ნაკლები ეფექტით და აღებულ შემთხვევაში იგი მხედველობაში არ მიიღება.

ემპ-ს, რომელიც აღიძრა ინდუქციური კოჭის ბოლოებზე საკუთარი დენის ზრდის პროცესში აღძრული ზრდადი მაგნიტური ნაკადით, თვითინდუქციის ემპ ეწოდება, ხოლო ამ ემპ-ის აღძვრის მოვლენას – თვითინდუქციის მოვლენა.

თვითინდუქციის ემპ-ს სიდიდე – ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად თვითინდუქციის ემპ-ც მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარით განისაზღვრება.

$$e_L = -L \frac{d\Phi}{dt}, \quad \Phi = Li \quad \text{ამიტომ} \quad e_L = -L \frac{di}{dt}.$$

პროპორციულობის L კოეფიციენტი ახასიათებს ნებისმიერ გამტარს, რომელშიც გადის დენი და აღიძვრება მაგნიტური ველი. იგი არ არის დამოკიდებული მასალის გეარობაზე და დამოკიდებულია გამტარის სიგრძეზე. კოჭის შემთხვევაში კოჭის კონფიგურაციაზე, ხეიების რიცხვზე და გეომეტრიულ ზომებზე. L სიდიდეს კოჭის ინდუქციურობა ეწოდება და აღებული კოჭის ელექტრულ პარამეტრს წარმოადგენს.

ერთეულთა SI სისტემაში ინდუქციურობის საზომი ერთეულია ჰენრი (ჰნ) ამერიკელი მეცნიერის ჯოზეფ ჰენრის (1797 – 1878) პატივსაცემად; მან აღმოაჩინა თვითინდუქციის მოვლენა.

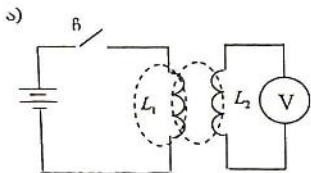
პრაქტიკაში გამოიყენება ჰენრის ჯერადი ერთეულები:

1 მილიჰენრი (მჰნ) = $1/1000$ ჰნ = 10^{-3} ჰნ;

1 მიკროჰენრი (მკჰნ) = 10^{-6} ჰნ.

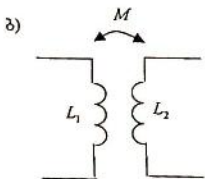
8.8. ურთიერთინდუქციის მოვლენა. ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი

ურთიერთინდუქციის მოვლენა თვითინდუქციის მოვლენის ანალოგიურია იმ განსხვავებით, რომ ემძ კოჭის ბოლოებზე დაინდუქცირდება არა მასში გამავალი დენის ნაკადით, არამედ სხვა კოჭაში გამავალი დენის მაგნიტური ველის ნაკადით.



ამ მოვლენას შეიძლება დავაკვირდეთ ასეთი ცდით (ნახ. ა):

ავიღოთ ინდუქციური კოჭა L_1 და მიუერთოთ იგი ძაბვის წყაროს. მოვათავსოთ მასთან ახლოს მეორე L_2 კოჭა, რომლის ბოლოებზე ჩართულია გაღვანომეტრი. ჩამრთველის ჩართვა – გამორთვის დროს ვოლტმეტრი ემძ-ის აღძურას დააფიქსირებს, ე.ი. პირველ კოჭაში გამავალმა ზრდადმა დენმა ჩამრთველის ჩართვისას აღძრა ზრდადი ნაკადი, რომელმაც განჭოლა L_2 კოჭა და ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის თანახმად მის ბოლოებზე დაინდუქცირდა ემძ. ამ მოვლენას ურთიერთინდუქციის მოვლენა ეწოდება, ხოლო ემძ-ს – ურთიერთინდუქციის ემძ. კოჭებს, რომლებიც ტერიტორიულად ისე არიან განლაგებული რომ ერთში აღძრული ნაკადი განჭოლავს მეორეს,



და პირიქით, ინდუქციურად დაკავშირებული კოჭები ეწოდება. ინდუქციური ანუ მაგნიტური კავშირის დროს აუცილებელი არ არის კოჭები ერთმანეთთან ელექტრულად იყვნენ დაკავშირებული (თუმცა შეიძლება).

ურთიერთინდუქციის ემძ-ის სიდიდე დამოკიდებულია კოჭების ურთიერთგანლაგებაზე, მათ კონფიგურაციაზე და ა.შ. ყველა ეს პარამეტრი გაერთიანებულია ინდუქციურად დაკავშირებული კოჭების ერთ კოეფიციენტში, რომელზეც უნდა გამრავლდეს მაგნიტური ველის ცვლილების სიჩქარე, რომ მივიღოთ ურთიერთინდუქციის ემძ-ის სიდიდე. ამ კოეფიციენტს ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი ეწოდება. იგი

ალინიშნება M ასოთი და ისევე, როგორც თვითინდუქციის კოეფიციენტი, იზომება ჰენრებში.

ინდუქციური კავშირი ელექტრულ წრედებში კოჭებზე ისრითაა ნაჩვენები (ნახ. ბ).

8.9. თანხვედრილი და შემხვედრი შეერთება

ვთქვათ ინდუქციურად დაკავშირებულ ორ კოჭაში გადის დენი. მაშინ კოჭებში დენებს მიმართულებები ან გრაგნილის დახვევის მიმართულებები შეიძლება შეირჩეს ისე, რომ თითოეული დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ნაკადი ემთხვეოდეს ერთმანეთს. ასეთ შეერთებას ეწოდება თანხვედრილი და ამ შემთხვევას ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი დადებითია.

მეორე შემთხვევაში, ანუ როცა კოჭებში დენები ისეთი მიმართულებისაა, რომ მათ მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ნაკადები ერთმანეთს ეწინააღმდეგება, მაშინ შეერთებას ეწოდება შემხვედრი და ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი აიღება უარყოფითი ნიშნით.

8.10. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენაზე

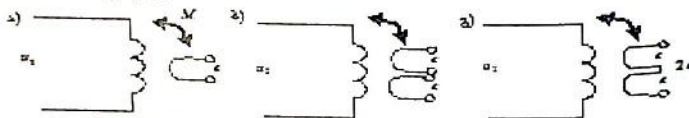
ავებული ელტექნიკური დანადგარები

ა) ტრანსფორმატორი – ტრანსფორმატორი წარმოადგენს დანადგარს, რომელსაც შესწევს უნარი სიდიდით აამაღლოს ან დაადაბლოს ცვლადი ძაბვა.

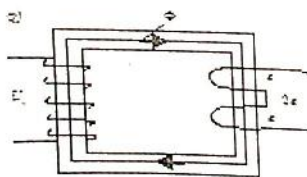
მისი მოქმედების პრინციპი ემყარება ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას და მზადდება ფერომაგნიტური გულარით ან გულარის გარეშე.

უმარტივეს შემთხვევაში ტრანსფორმატორი ფერომაგნიტური გულარის გარეშე წარმოადგენს ერთმანეთთან ინდუქციურად დაკავშირებული ორ კოჭას და მაგნიტური კავშირის სიღრმის გაზრდის მიზნით ტრანსფორმატორი მზადდება ერთმანეთზე გადაგრეხილი ორი იზოლირებული სადენით. ერთ – ერთი გრაგნილი ირთვება ცვლადი ძაბვის წრედში და მას პირველადი გრაგნილი ეწოდება, ხოლო მეორე გრაგნილის ბოლოებზე ჩართულია მომხმარებელი და მას მეორეული გრაგნილი ეწოდება.

ჩვეულებრივად მეორეული გრაგნილიც რამდენიმე ხვი-
 იმ მიზნით, რომ აეხსნათ ტრანსფორმატორით ძაბვის ამა-
 ლების ან დადაბლების უნარი ვთქვათ, რომ მეორეულ
 გრაგნილი წარმოადგენს ერთ ხვიას (ნახ. ა). U_1 ცვლადი ძაბ-
 პირველად გრაგნილში აღძრავს ცვლად დენს და ცვლად
 მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც განჭოლავს მასთან ინდუქციურად
 დაკავშირებულ ხვიას. ურთიერთინდუქციის მოვლენის თანახ-
 მად ამ ხვიის ბოლოებზე დაინდუქცირდება e სიდიდის ემ-
 თუ პირველად გრაგნილთან განვიხილავთ მასთან ინდუქციურ-
 რად დაკავშირებულ მეორე ხვიას (ნახ. ბ), მის ბოლოებზეც
 დაინდუქცირდება e სიდიდის ემძ. ახლა თუ ამ ორ გრაგნილ-
 თანხვედრილად მიმდევრობით შევაერთებთ (ნახ. გ), მაშინ
 მიმდევრობით შეერთებული ხვიების ბოლოებზე ჯამური ემ-
 იქნება $2e$. ასე, რომ მეორეული გრაგნილის ხვიების რიცხვი
 შეიძლება მივიღოთ $W_2 e$ სიდიდის ემძ, სადაც W_2 მეორეულ
 გრაგნილის ხვიების რიცხვია და მისი რაოდენობის შერჩევით
 შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა სიდიდის ემძ-ები. თუ
 მეორეული გრაგნილის W_2 ხვიების რიცხვი გადაამეტებს
 პირველადი გრაგნილის ხვიების რიცხვზე, მაშინ ემძ-ის
 სიდიდე მეორეული გრაგნილის ბოლოებზე მეტი იქნებ-
 პირველად U_1 ძაბვაზე და ტრანსფორმატორს ეწოდებ-
 ამამაღლებელი. თუ $W_2 < W_1$, მაშინ ტრანსფორმატორი არის
 დამადაბლებელი.



ტრანსფორმატორის ტექნიკური პარამეტრია პირველად



და მეორეული გრაგნილების ხვიების რიცხვების ფარდობა

$$K = \frac{W_2}{W_1},$$

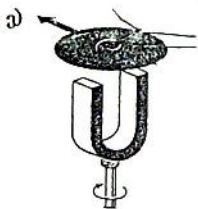
რომელსაც ტრანსფორ-

მატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ეწოდება და დიდი სიზუსტით შეიძლება დავეუშვათ

რომ $K = \frac{W_2}{W_1}$, ანუ გრაგნილების რიცხვების ფარდობა პირველადი და მეორეული ძაბვების ფარდობის ტოლია, ე.ი. $K = \frac{U_2}{U_1}$, საიდანაც $U_2 = KU_1$. როცა $K > 1$ ტრანსფორმატორს ეწოდება ამამაღლებელი, წინააღმდეგ შემთხვევაში – დამადაბლებელი.

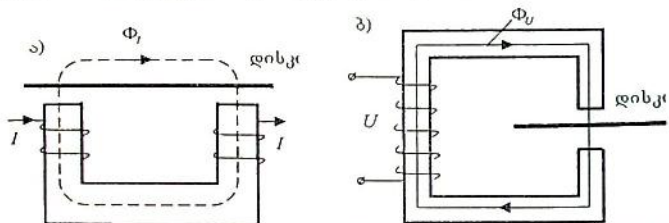
გულარიანი ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი (ნახ. დ) არაფრით არ განსხვავდება ზემოთაღწერილი ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპისაგან. განსხვავებაა კონსტრუქციულ შესრულებაში, სადაც მაგნიტური ველის გაძლიერებისა და მაგნიტური ნაკადის შეკერის გზის „გაკვალვის“ მიზნით აღებულია რკინის გულარი, რომელიც არ წარმოადგენს მასიური რკინის დეტალს. გრიგალური დენების შემცირების მიზნით გულარი აკრეფილია ერთმანეთისაგან ლაქის ფენით იზოლირებული თხელი ფირფიტების პაკეტის სახით.

ბ) ინდუქციური ტახომეტრი - ტახომეტრი ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც ზომავს ბრუნვის სიჩქარეს. ღერძზე, რომლის ბრუნვის სიჩქარეც უნდა გაიზომოს, მაგრდება მუდმივი მაგნიტი, ხოლო მაგნიტის თავზე წრიული ფორმის ფირფიტა. მაგნიტის ბრუნვის დროს ფირფიტაში აღიძვრება გრიგალური დენები და იგი უნდა აჰყვეს მოძრაობაში მაგნიტს, მაგრამ ფირფიტის ბრუნვას ეწინააღმდეგება ზამბარა. მაგნიტური ველის გრიგალურ დენებზე ზემოქმედებით აღძრული მამბრუნი მომენტისა და ზამბარის დრეკადობით აღძრული უკუმომენტის გატოლების შედეგ, ფირფიტა რჩება გარკვეული კუთხით მობრუნებული, რომელიც ფიქსირდება სკალაზე ისრით.



ბრუნვის სიჩქარის გაზრდით იზრდება გრიგალური დენების სიდიდე, ირღვევა დისკის მექანიკური წონასწორობის პირობები და იზრდება მისი მობრუნების კუთხე. სკალის ბრუნვის რიცხვებში დაგრაფირების შემდეგ ხელსაწყო შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც ტახომეტრი.

ბ) ინდუქციური მრიცხველი - მრიცხველი გამოიყენება დახარჯული ელექტრული ენერჯის რაოდენობის აღრიცხვისათვის. ენერჯია, როგორც ვიცით განისაზღვრება როგორც სიმძლავრისა და დროის ნამრავლი. სიმძლავრე კი თავის მხრივ განისაზღვრება ძაბვითა და დენით. ასე, რომ მრიცხველის მთვლელი მექანიზმი უნდა რეაგირებდეს ძაბვისა და დენის სიდიდეებზე და იმ დროზე რა დროშიც ენერჯის ხარჯვა ხდება. ინდუქციური მრიცხველის მოქმედების პრინციპი ემყარება ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებულ თხელ არამაგნიტური მასალისაგან დამზადებულ ფირფიტაში გრიგალური დენების აღძვრისა და შემდეგ მაგნიტური ველის დენიან გამტარზე ძალური ზემოქმედების გამოვლენების უნარს.



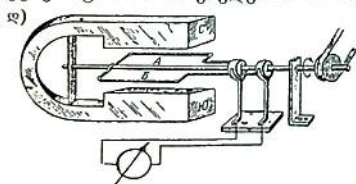
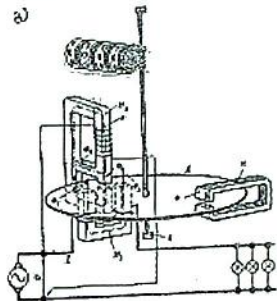
აღწეროთ ინდუქციური მრიცხველის მოქმედება ფიზიკური მოვლენებით და არა რაოდენობრივად. იგი შეიცავს ორ ელექტრომაგნიტს. ერთის გრაგნილი ჩართულია მომხმარებლის მიმდევრობით (ნახ. ა) და რეაგირებს დენის სიდიდეზე, მისი Φ_1 ნაკადი გადაკვეთს ალუმინის დისკოს ორ წერტილში. მეორე ელექტრომაგნიტის გრაგნილი შეიცავს ხეივების მეტ რაოდენობას და ირთვება წრედში მომხმარებლის პარალელურად, ანუ რეაგირებს ძაბვაზე (ნახ. ბ). მისი Φ_2 ნაკადი დაძრულია Φ_1 ნაკადისაგან და განჭოლავს დისკოს ერთ წერტილში. დისკოს გამჭოლი მაგნიტური ნაკადები დისკოში დააინდუქცირებს გრიგალურ დენებს და შემდეგი მაგნიტური ველი დენიან დისკოში აღძრავს მამბრუნ მომენტს, რომელიც იწვევს დისკოს ბრუნვას. ბრუნვის სიჩქარე ერთდროულად პროპორციულია, როგორც დენის, ისე ძაბვის სიდიდისა და ბრუნავს იმ დროის განმავლობაში რა დროშიც გადის დენი, ანუ რა დროშიც იხარჯება ენერჯია. დისკოს ღერძზე მექა-

ნიკურად დამაგრებული ამთვეელი მექანიზმი აღრიცხავს დისკოს ბრუნვების რიცხვს, რომელიც თავის მხრივ დახარჯული ელექტროენერჯის პროპორციულია.

ნახ. გ-ზე ნაჩვენებია ერთფაზიანი მრიცხველის კონსტრუქციული სქემა.

დენისა და ძაბვის ელექტრომაგნიტების გარდა ნაჩვენებია მუდმივი მაგნიტი M , რომლის დანიშნულებაა შექმნას ბრუნვის მომენტის საწინააღმდეგო მომენტი.

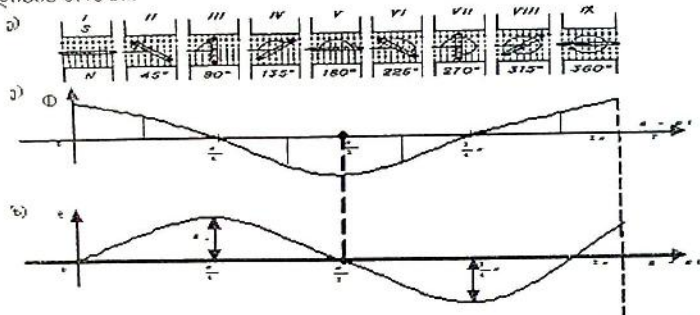
ღ) ემპ-ის გენერატორ - ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენას პრაქტიკაში მრავალნაირი გამოყენება აქვს, მაგრამ მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია მექანიკური ენერჯის ელექტრულ ენერჯიად გარდაქმნის შესაძლებლობა, რომლის მექანიზმსაც ადრე გავეცანით. ახლა განვიხილოთ ცვლადი ემპ-ს გენერატორის მოქმედების პრინციპი.



გენერატორის მოვლენად შეიძლება წარმოვადგინოთ მაგნიტურ ველში მბრუნავი ოთხკუთხა ჩარჩო, რომლის ბოლოებზე ირთვება დატვირთვა (ნახ.დ) როცა ჩარჩოს

უკავია პორიზონტალური მდგომარეობა (ნახ.ე - I) მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი Φ მაქსიმალურია (ნახ.ე). დავაბრუნოთ ჩარჩო ω კუთხური სიჩქარით (ნახ. ე - II) მდგომარეობაში. ჩარჩოს გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი Φ იწყებს კლებას, ანუ ცვლილებას და აღიძვრება e ემპ, რომელიც მდოვრედ იზრდება (ნახ. ზ). ჩარჩოს ვერტიკალურ მდებარეობაში (ნახ. ე - III). მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი Φ ნულის ტოლია, ხოლო დაინდუქცირებული ემპ e მაქსიმალური. ბრუნვის გაგრძელებით გამჭოლი ნაკადი იზრდება 0-დან უარყოფით მაქსიმუმამდე (ნახ. ე - V), ხოლო ემპ მცირდება მაქსიმუმიდან ნულამდე (ნახ. ზ) და ა.შ. (ნახ. ე - VI, VII, VIII, IX).

გრაფიკებს ექნებათ იგივე სახე, თუ აბსცისთა ღერძზე t დროის მაგიერ გადავზომავთ შემობრუნების კუთხეს $\alpha = \omega t$ -ს. სრული კუთხე 2π რადიანის ტოლია და ნახ. ვ და ზ-ზე ნაჩვენებია დრო $(0 \div T)$ დროის შუალედში და კუთხე $(0 \div 2\pi)$ დიაპაზონში.



ე.ი. ჩარჩოს მაგნიტურ ველში თანაბარი ω კუთხური სიჩქარით ბრუნვის დროს მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იცვლება ჰარმონიულად $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$. ჰარმონიულად იცვლება ჩარჩოს ბოლოებზე დაინდუქცირებული ემძ-ც, რომელიც ანალიზურად ჩაიწერება ასე: $e = E_m \sin \omega t$, სადაც Φ_m და E_m ნაკადისა და ემძ-ს მაქსიმალური მნიშვნელობებია და მათ ამპლიტუდა ეწოდებათ. ჩარჩოს ბრუნვის ω კუთხურ სიჩქარეს კუთხური სიხშირე ეწოდება, ხოლო Φ და e ემძ-ის მნიშვნელობებს დროის აღებულ მომენტში მყისი მნიშვნელობები ეწოდება.

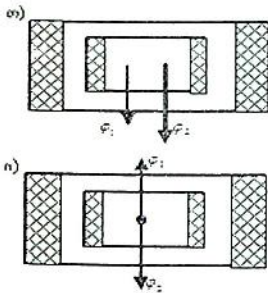
ადვილი მისახვედრია, რომ პერიოდი დროის ის უმცირესი შუალედი, რომლის შემდეგაც მყისი სიდიდეები იწყებენ თავისი მნიშვნელობების განმეორებას. მის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება სიხშირე: $f = \frac{1}{T}$ სიხშირის საზომი ერთეულია პერცი (პც). 1 პერცი ისეთი სიხშირეა, რომლის პერიოდი 1 წამის ტოლია.

საქართველოში და ევროპის ქვეყნებში სამრეწველო სიხშირეა 50 პერცი, ამერიკასა და იაპონიაში 60 პერცი.

პერიოდი, სიხშირე და კუთხური სიხშირე განვიხილოთ ერთი სრული შემობრუნებისათვის. როგორც ვთქვით ერთი სრული შემობრუნების კუთხე რადიანებში 2π -ს ტოლია. შემობრუნებისათვის საჭირო დროს ვუწოდებთ პერიოდი, მაშინ კუთხური სიხშირის განმარტების თანახმად $\omega = \frac{\alpha}{t}$, ერთი სრუ-

ლი ბრუნვისათვის გვექნება: $\omega = \frac{2\pi}{T}$; $\frac{1}{T} = f$, ანუ $\omega = 2\pi f$. ეს არის დამოკიდებულება ცვლადი ემძ-ის სიხშირესა და კუთხურ სიხშირეს შორის.

ე) ვარიომეტრი - ვარიომეტრი წარმოადგენს ხელსაწყოს,



რომლის ინდუქციურობა შეიძლება მდოვრედ ვარეგულიროთ გარკვეულ დიაპაზონში. იგი წარმოადგენს ორ მიმდევრობით შეერთებულ ინდუქციურ კოჭას ისე, რომ შეიძლებოდეს ერთ კოჭაში მეორის ჩადგმა, ამ უკანასკნელის ბრუნვის შესაძლებლობით. ასეთი კონსტრუქციით კოჭები ერთმანეთთან ინდუქციურადაა დაკავშირებული და ექვივალენტური ინდუქციურობა მაქსიმალურია, როცა

თითოეული მათგანის მაგნიტური ნაკადები მიმართულებით ერთმანეთს ემთხვევა (ნახ.თ,თანხვედრილი კავშირი). ექვივალენტური ინდუქციურობა მინიმალურია, როცა მოძრავი კოჭა მობრუნდება 180° -ით, მაშინ Φ_1 და Φ_2 ნაკადები საწინააღმდეგოდაა მიმართული (ნახ. I,შემხვედრი კავშირი).

ასე, რომ მეორე კოჭის პირველის ღრმულში ბრუნვით შეიძლება ვცვალოთ ჯამური ინდუქციურობა $L_{max} \div L_{min}$ დიაპაზონში.

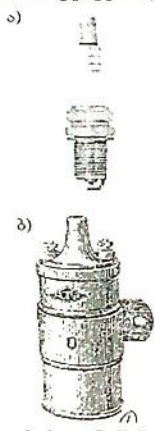
8.11. მულმივი დენის „ტრანსფორმატორი“

ა) შიგაწვის ძრავას ანთების სისტემა - როგორც ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპიდან ჩანს მისი მეორეული გრაგნილის ბოლოებზე ემძ დაინდუქტირდება იმ შემთხვევაში, თუ იგი განიჭოლება ცვლადი მაგნიტური ნაკადით. ცვლად

მაგნიტურ ნაკადს აღძრავს პირველად გრაგნილში გამავალი ცვლადი დენი. თუ დენი მუდმივია მისი აღძრული ნაკადიც მუდმივია. მართალია იგი განჭოლავს მეორეული გრაგნილის ხეივებს, მაგრამ არ იცვლება და ინდუქციის ემძ-ც არ აღიძვრება ე.ი. მუდმივი დენის ტრანსფორმაცია არ შეიძლება.

შევეხვით ერთ მარტივ, მაგრამ ყველასათვის კარგად ცნობილ პრაქტიკულ მაგალითს.

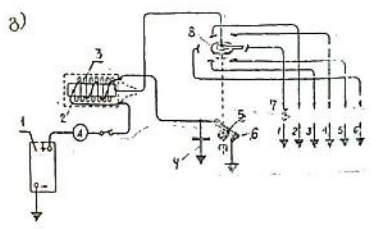
ავტომობილის ძრავას ცილინდრში საწვავი ნარევის ასაფეთქებლად გამოიყენება სანთელი (ნახ. ა), რომლის ელექტროდებს მომენტალურად მოედება მაღალი $(15 \div 20) \cdot 10^3$ რივის ძაბვის იმპულსი. მოხდება გარღვევა, ღრეჩოში წარმოიქმნება ნაპერწკალი და საწვავის ნარევი აფეთქდება. (მხედველობაში არა გვაქვს დიზელის ტიპის ძრავები).



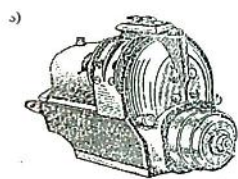
ა) ისმის კითხვა, საიდან ჩნდება მაღალი ძაბვის იმპულსი? ავტომობილში ხომ ელექტრული ენერჯიის წყაროა აკუმულატორი, რომელიც მუდმივ დენს აღძრავს და მუდმივი დენის ტრანსფორმაცია არ შეიძლება.

მიუხედავად ამისა, ავტომობილის ძრავაში მაღალი ძაბვის იმპულსი მაინც ტრანსფორმატორით მიიღება. ამ ტრანსფორმატორს აქვს ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები სახე. იგი წარმოადგენს ფოლადის გულარაზე ჩამოცმულ დიდი კვეთისა და მცირე W_1 რაოდენობის ხეივებისაგან დახვეულ გრაგნილს, რომელსაც პირველადი გრაგნილი ეწოდება, (ნახ. გ). მასზე გადახვეულია მცირე კვეთისა და დიდი W_2 რაოდენობის ხეივებისაგან შესრულებული მეორეული გრაგნილი.

პირველადი გრაგნილი ჩართულია მუდმივი 12 ვ ძაბვის წყაროზე (1). მწყვეტარას (5) კონტაქტების (6) გავლით. ავტომობილის გაშვების პროცესში სტარტერის ბრუნვითი მოძრაობა გადაეცემა მწყვეტარას (5)

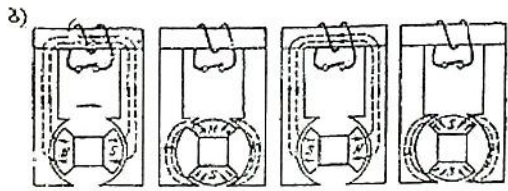


მუშტა მექანიზმს, რომელიც გაწვევებს მწვევტარას (6) კონტაქტს და პირველად გრაგნილში (2) გამავალი დენით აღძრული ნაკადი იწყებს კლებას, ცვლადი (კლებადი) მაგნიტური ნაკადი W_2 მეორეული გარგნილის (3) ბოლოებზე დააინდუქცირებს ემძ-ის იმპულსს. ეს იმპულსი მიეწოდება სანთლის (7) საპაერო ღრეჩოს და მან რომ გარღვევა გამოიწვიოს უნდა იყოს დიდი სიდიდის. იმპულსის სიდიდის ამაღლებას შეიძლება მივაღწვიოთ მეორეული გრაგნილის W_2 ხვიების რაოდენობის გაზრდის გზით ($W_2 = 15000$). კონტაქტის (6) გაწვევების პროცესში თვითინდუქციის ემძ მიმართულებით ემთხვევა წყაროს (1) ემძ-ის მიმართულებას და ჯამური ემძ იწვევს ნაპერწკლიანობას მწვევტარას კონტაქტზე (6). ნაპერწკლიანობის შემცირების მიზნით კონტაქტის პარალელურად ირთება კონდენსატორი (4), რომელიც მყისიერად იმუხტება თვითინდუქციის დენით და არ აძლევს ამ დენს საშუალებას კონტაქტზე აღძრას ნაპერწკალი.



(8) გამანაწილებლის დანიშნულებაა განსაზღვრული თანმიმდევრობით მიაწოდოს მაღალი ძაბვის იმპულსი ექვსცილინდრიანი ძრავის (1 - 6) სანთლებს.

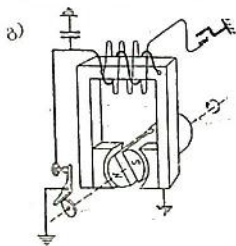
ბ) მაგნეტო - მაგნეტო წარმოადგენს გენერატორს, რომელშიც მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად. ზემოთ განხილული გენერატორიდან იმ განსხვავებით, რომ მაგნეტოში შიილება არა უწყვეტი ემძ, არამედ მაღალი ძაბვის იმპულსი. გენერირებული იმპულსი გამოიყენება შიგაწვის ძრავას ცილინდრში 'საწვაეი აირის ასაფეთქებლად.



წინა პარაგრაფში განხილულ ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები ტრანსფორმატორისაგან განსხვავებით, მაგნეტოსათვის საჭირო

არ არის პირველადი წყარო აკუმულატორი. მაგნეტოში (ნახ. ა) მექანიკური ბრუნვის შედეგად ერთდროულად ხდება პირველადი გრაგნილის დენის გენერირება და შემდეგ ამ დენით აღძრული მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ბოლოებზე დაინდუქცირდება მაღალი ძაბვის იმპულსი, რომელიც მიეწოდება სანთელს და მის ღრეჩოში წარმოქმნის ნაპერწკალს.

ნახ ბ-ზე ნაჩვენებია მაგნეტოს შემადგენელი კვანძი ტრანსფორმატორის გულარა, რომელზეც დატანილია მხოლოდ პირველადი გრაგნილი, მწყვეტარა და პირველად გრაგნილში დენის აღძვრის მექანიზმი.



მაგნიტოგამტარის პოლუსებს შორის მოთავსებულია მუდმივი მაგნიტი, რომელსაც შეუძლია ბრუნვა. ამ ბრუნვას იწვევს გარე მექანიკური ძალა.

ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველის ძალწირების შეკვრის გზა მაგნიტის მდგომარეობის მიხედვით.

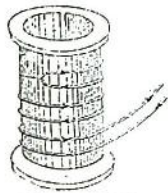
მაგნიტის იმ მდგომარეობაში, როცა ძალწირები იკვრება მაგნიტური გულარის გავლით, პირველად გრაგნილში დაინდუქცირდება დენი და ამ დენის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის მომენტში ხდება პირველადი გრაგნილის გაწყვეტა მწყვეტარას კონტაქტის საშუალებითა (ნახ. გ) და პირველადი გრაგნილის დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის შემცირებით. პირველად გრაგნილზე გადახვეულ მეორეულ გრაგნილში დაინდუქცირდება მაღალი ძაბვის იმპულსი, რომელიც მიეწოდება სანთელის ელექტროდებზე.

8.12. გამტარი ინდუქციურობის გარეშე

პრაქტიკაში ხშირად მოითხოვება რომ დენიანი გამტარის ირგვლივ მაგნიტური ველი არ არსებობდეს. ტექნიკურ ენაზე, რომ ვთქვათ საჭიროა გამტარი ინდუქციურობის გარეშე.

დენიანი გამტარის ირგვლივ რომ მაგნიტური ველი არ აღიძრას შეუძლებელია, მაგრამ ტექნიკური შესრულებით შეიძლება მივაღწიოთ. მაგალითად, თუ იზოლირებულ სადენს

დავახვევთ ისე, როგორც ეს ნახაზზეა ნაჩვენები, მაშინ ორ მეზობელ ხვიაში გაივლის ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული დენები. ცხადია, დენების მიერ აღძრული მაგნიტური ველების ინდუქციები ტოლია და საწინააღმდეგოდაა მიმართული. ამ შემთხვევაში ისინი ერთმანეთს გააკომპენსირებენ და ჯამური ველი დენიანი გამტარის ირგვლივ ნულის ტოლია. დახვევის ასეთ წესს ეწოდება ბიფილიარული. ბიფილიარული კოჭები გამოიყენება ისეთი რეზისტორების დასამზადებლად, რომელთა ინდუქციურობა ნულის ტოლია. ბიფილიარული დახვევა გამოიყენება აგრეთვე ავტომატიკისა და მართვის ელექტრულ წრედებში, სადაც სადაც თვითინდუქციისა და ურთიერთინდუქციის ემპები ხელშემშლელია.



შევეხოთ ერთ გარემოებას. ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ დენის გამოვლინების ოთხი ფორმიდან (სითბური, ქიმიური, განმუხტვა გაიშვიათებულ გაზებში და მაგნიტური). ძირითადია მაგნიტური გამოვლინება – აღვნიშნეთ, რომ ელექტრული დენი არ არსებობს მაგნიტური ველის გარეშე. ბიფილიარული დახვევის დროს აღმოჩნდა,

რომ დენიანი გამტარის ირგვლივ მაგნიტური ველი არ არსებობს. დასკვნა არასამართლიანია: პირიქით, არსებობს და ერთზე მეტი. ისინი ერთმანეთს აკომპენსირებენ. არ არსებობს ჯამური ველი.

თავი IX. სინუსოიდური ლენი

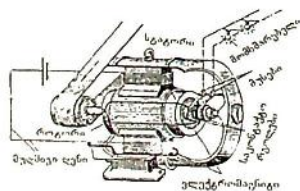
9.1. სინუსოიდური ემმ-ის გენერატორი

სინუსოიდური ემმ-ის მიღება განვიხილეთ მუდმივ მაგნიტურ ველში თანაბარი ω კუთხური სიჩქარით მბრუნავი ოთხკუთხა ჩარჩოს მაგალითზე.

რეალურ გენერატორებში მაგნიტურ ველს ქმნის არა მუდმივი მაგნიტი, არამედ ელექტრომაგნიტი. როგორც მოდელში ვუჩვენეთ გამტარი ჩარჩო ბრუნავს მაგნიტურ ველში და მის ბოლოებსზე შესვლის საშუალებით მიერთებულია დატვირთვა ჩარჩოს ანალოგი შესრულებულია გრაგნილის სახით და ჩალაგებულია გენერატორის მოძრავ ნაწილში ამოღარულ კოლოებში. გენერატორის ამ ნაწილს ეწოდება როტორი. როტორის გრაგნილი შეერთებულია გარკვეული კანონით, რომელიც დამუშავებულია მხოლოდ გენერატორის ტექნიკური პარამეტრების გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ხოლო პრინციპი, რომ მაგნიტური სისტემის ბრუნვის დროს მისი გამჭოლი ნაკადი იყოს სინუსოიდურად ცვლადი, იგივეა რაც განხილულ მოდელში.

მაგნიტურ ველს ქმნის ელექტრომაგნიტი, რომლის გრაგნილი ჩალაგებულია გენერატორის უძრავ ნაწილში. ამ ნაწილს ეწოდება სტატორი.

იმის გამო, რომ ცვლადი დენის გენერატორებში საქმე გვაქვს ცელად მაგნიტურ ნაკადთან და ამ ნაკადმა სტატორის და როტორის მასიურ ლითონურ ნაწილში არ აღძრას მნიშვნელოვანი სიდიდის გრიგალური დენები (იხ. § 8.6) სტატორი და როტორი მზადდება თხელი ფოლადის ფირფიტებისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან იზოლირებულია ლაქის ფენით, ამ მეთოდით იზრდება მათი ელექტრული წინაღობა და მცირდება გრიგალური დენები. მნიშვნელო-



ვანი სიდიდის გრიგალურ დენებს კი შეუძლიათ გაახურონ სტატორის და როტორის ლითონური ნაწილი და დააზიანოს გენერატორი.

გენერატორის კორპუსზე, ღერძზე, საკისრებზე, სამაგრებზე, საპოსზე და სხვა მექანიკურ ნაწილებზე არ ვსაუბრობთ, რამდენადაც მათი დანიშნულება ცხადია და ნათელი.

რამდენადაც მძლავრ გენერატორებში ინდუქციურებული ემპ-ს მოხსნა მოსრიალე მუსების საშუალებით, შესრულების ტექნიკურ სიმძნელებთანაა დაკავშირებული, რეალურ მანქანებში ბრუნავს არა ჩარჩოს ანალოგი, არამედ მაგნიტური ეელის შემქმნელი სისტემა.

9.2. ელექტროსადგური და მათი ტიპები

როგორც გენერატორის მოქმედების პრინციპიდან ჩანს, ცვლადი ემპ-ს მისაღებად საჭიროა დავაბრუნოთ რაღაც სისტემა. ამ სისტემის დასაბრუნებლად საჭიროა მექანიკური ენერჯია. ასე, რომ ცვლადი დენის გენერატორებში მექანიკური ენერჯია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერჯიად. ეს მექანიკური ენერჯია შეიძლება იყოს:

1) ხელის კუნთის ენერჯია მცირე სიმძლავრიან გენერატორში ანუ ჯიბის ფანარში, რომელსაც ვეძახით „უუკს“.

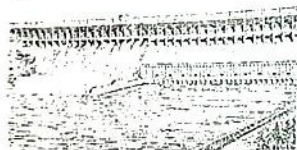
2) შიგაწვის ძრავას ბრუნვის მექანიკური ენერჯია – საყოფაცხოვრებო გენერატორებში, რომელთა სიმძლავრე (500 – 1500) ვტ-ის დიაპაზონშია და უფრო მძლავრ საწარმო დანიშნულების გენერატორებში, რომელთა სიმძლავრე (5 – 150) კვტ-ს აღწევს.

3) ვარდნილი წყლის ენერჯია – ჰიდროელექტროსადგურებში, რომელთა სიმძლავრეები ასეული, ათასეული და მილიონი კვტ-ების დიაპაზონშია.

ჰიდროელექტროსადგურებში (პეს) წყალი გროვდება წყალსაცავებში გარკვეულ სიმაღლეზე. აქედან სპეციალური მიმმართველებით (კაშხალი) მიეწოდება ჰიდროტურბინას



ბ)



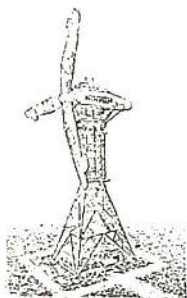
და წყლის ნაკადი აბრუნებს გენერატორის (ნახ. ა) მბრუნავ

სისტემა. ჰესი-ს სიმძლავრე განისაზღვრება კაშხალის სიმაღლით და დაცემული წყლის მასით. ზემდგომ სიმძლავრის სადგურებში წყლის მარაგი დიდია და სადგური მუშაობს განუწყვეტლივ თუ წყლის რესურსი მცირეა, მაშინ წყალსაცავში ხდება წყლის დაგროვება, შემდეგ დახარჯვა და სადგური მუშაობს პერიოდულად.

ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია მძლავრი ჰიდროელექტროსადგურის ერთ - ერთი ვარიანტის ხედი.

ჰიდროელექტროსადგური ელექტროენერჯის წარმოების ძირითადი კვანძია მთელ მსოფლიოში. აქედან მიღებული

ა)



ენერჯია ყველაზე იაფია რამდენადაც იხარჯება იაფი რესურსი. დაგროვილი წყალი ეცემა გენერატორის ამომორავებელ ფრთებს და უდანაკარგოდ აგრძელებს გზას სარწყავად და სხვა მიზნებით გამოსაყენებლად. ჰეს-ის მქკ (80 - 90)%-ს აღწევს.

4) ენერჯის რესურსი არ იხარჯება არც ქარის ელექტროსადგურებში, (ნახ. გ) მაგრამ ისინი ნაკლებად გაერცელებულია, რადგანაც ყველგან არ ქრის ქარი ინტენ-

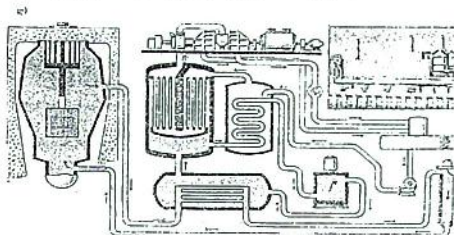
სიუად და ამავე დროს ამ ენერჯიაზე მნიშვნელობანი სიმძლავრის გენერატორის აგება შეუძლებელია.

5) რაც შეეხება თბოელექტრო სადგურებს, აქ ამძრავი მექანიკური ძალა ადუღებული წყლის ორთქლის ჭავლის ენერჯიაა. წყალი დუღს საწვავი მასალების (ტორფი, ნახშირი, ბუნებრივი გაზი, ნავთობი) იხარჯება რესურსი და თბოელექტროსადგურის მქკ გაცილებით დაბალია ჰეს-თან შედარებით (20 - 40) %.

6) ატომურ ელექტროსადგურებშიც ამძრავი ძალა ადუღებული წყლის ორთქლის ჭავლის მექანიკური ძალაა, მაგრამ ამ სადგურებში „საწვავია“ რადიოაქტიური მასალა (U^{235}), რომლის დაშლის პროცესში წარმოქმნილი ენერჯია ადუღებს წყალს.

ნახ. დ-ზე ნაჩვენებია ჩქარ ნეიტრონებზე მოქმედი ატომური სადგურის პრინციპული გამარტივებული სქემა

ატომური ელექტროსადგურის მქკ (30 - 40)% აღწევს, მაგრამ აქ თითქმის არ ხდება რესურსის ხარჯი; რადიოაქტიური მასალები ელექტროსადგურში გამოყენების შემდეგ გადამუშავდება და კვლავ გამოიყენება.



ატომური ელექტროსადგურების მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარეა მომსახურე პერსონალის რადიოაქტიური გამოსხივებისაგან დაცვის აუცილებლობა და მოსალოდნელი ავარიებიდან განსაკუთრებული სიფრთხილით და საიმედოდ დაცვა. ყველაფერი ეს დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული, რაც ცხადია, ზრდის წარმოებული ელექტროენერჯის თვითღირებულებას.

ყველა, ატომურ ენერჯიაზე მომუშავე დანადგარის უსაფრთხოება და სრულყოფა დღევანდელი კაცობრიობის აქტიურ ამოცანად ითვლება.

7) პელიოსადგურებში ელექტრულ ენერჯიად გარდაიქმნება



მზის თბური ენერჯია. გარკვეულ ფართზე განლაგებულია სარკეები, რომელთაგანაც არეკლილი სხივი ეცემა ორთქლის ქვაბს და აცხელებს წყალს. წყლის ორთქლის

ჭაველი აბრუნებს გენერატორის მოძრავ სისტემას (ნახ. ე).

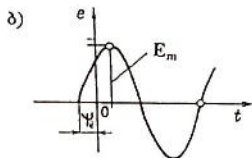
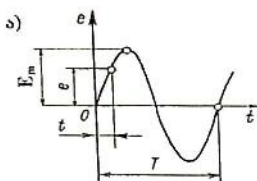
8) ბოლო წლებში ფართოდ ინერგება ბევრად ეკონომიური და ეფექტური ნახევარგამტარული ელემენტები, რომლებიც დაშუქებით უშუალოდ გამოიმუშავენ ელექტროენერჯიას. ეს სისტემებია კოსმოსური ხომალდის „ელექტროსადგური“. საყოფაცხოვრებო მეურნეობაში არსებობს ამ ეფექტზე მომუშავე გამახურებლები, მთებში დამონტაჟებული რადიოსადგურ-

რების კვების ბლოკები, ელექტრომობილი. ჯერ – ჯერობით ამ სისტემების სიმძლავრე მნიშვნელოვან სიდიდეს ვერ აღწევს, მაგრამ მომავალი მათ ეკუთვნის.

9.3. სინუსოიდური ემმ-ის ჩაწერის ზოგადი ფორმა.

საწყისი ფაზა

როცა სინუსოიდური ემმ-ის გენერატორის მოდელს ვიხილავდით (§8.10) ჩარჩოს საწყის მდგომარეობად ავირჩიეთ პორიზონტალური მდგომარეობა. ამ დროს მისი გამჭოლი ნაკადი იყო მაქსიმალური და ემმ-ის მნიშვნელობა ნულის ტოლი. სინუსოიდური ემმ ანალიზურად ჩაწერეთ ასე: $e = Em \sin \omega t$ და ტალღურ დიაგრამას ჰქონდა ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სახე. ახლა განვიხილოთ ზოგადი შემთხვევა.



დაკვირვება დავიწყოთ იმ მომენტიდან, როცა ჩარჩო პორიზონტალური მდგომარეობიდან მობრუნებულია გარკვეული ψ_e კუთხით. მაშინ მობრუნების კუთხე, როგორც დროის ფუნქცია იქნება $(\omega t + \psi_e)$ და ემმ ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$e = Em \sin(\omega t + \psi_e),$$

ხოლო ტალღურ დიაგრამას იქნება ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები სახე.

ψ_e სიდიდეს ეწოდება საწყისი ფაზა და იგი შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი.

თუ დაკვირვების მომენტში ჩარჩო პორიზონტალური მდგომარეობიდან მობრუნებულია საათის ისრის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით, მაშინ საწყისი ფაზა დადებითაა. ბრუნვის ეს მიმართულება ელექტროტექნიკაში მიღებულია დადებითად. დადებითი საწყისი ფაზა ტალღურ დიაგრამაზე გადაიზომება კოორდინატა სათავიდან მარცხნივ. უარყოფითი მარჯვნივ. თუ ემმ-ის ზოგად გამოსახულებაში ჩავესვამთ $t = 0$, მივიღებთ:

$$e = Em \sin \psi_e,$$

ე.ი. საწყისი ფაზა განსაზღვრავს სინუსოიდური ემძ-ს მნიშვნელობას $t = 0$, ანუ საწყის მომენტში.

განვიხილოთ მაგალითები:

ამოცანა №1

გამოეთვალეთ სამრეწველო სიხშირის ძაბვის კუთხური სიხშირე და პერიოდი.

ამოხსნა

საქართველოში და ევროპის სხვა ქვეყნებში სამრეწველო სიხშირედ მიღებულია 50 ჰერცი. სიხშირესა და პერიოდს შორის დამოკიდებულებიდან $T = \frac{1}{f}$ მივიღებთ: $T = \frac{1}{50} = 0,02$ წმ, რაც

შეეხება კუთხურ სიხშირეს, იგი ტოლია

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ რად/წმ.}$$

ამოცანა №2

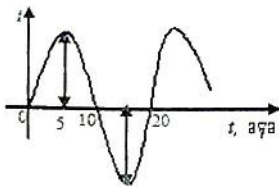
აღვწეროთ სამრეწველო სიხშირეზე ჩართული ვარ-ვარების ძაფიანი ნათურის სიკაშკაშის პროცესი.

ამოხსნა

ნახაზზე ნაჩვენებია ნათურაში გამავალი დენის დროითი დიაგრამა. პერიოდის ხანგრძლიეობაა

$$\frac{1}{50} = 0,02 \text{ წმ} = 20 \text{ მწმ.}$$

თუ ჩავთვლით, რომ ნათურის ჩართვა მოხდა იმ მომენტში, როცა დენი მასში ნულის ტოლია ($t = 0, i = 0$), ჩართვიდან დენი იწყებს ზრდას, სიკაშკაშე მატულობს, 5 მწმ-ის შემდეგ იგი აღწევს მაქსიმუმს, შემდეგ 5 მწმ-ში დენი იწყებს კლებას და ვარვარების სიკაშკაშე კლებულობს 10 მწმ-ის შემდეგ ნათურა ქრება, შემდეგ 5 მწმ-ში ისევ იმატებს დენი და სიკაშკაშე იზრდება, მაქსიმუმის მიღწევის შემდეგ დენი და, შესაბამისად, სიკაშკაშე მცირდება და ჩართვიდან 20 მწმ-ის შემდეგ იგი ისევ ჩაქრება. ნათურის სიკაშკაშის აღწერილი პროცესი პრაქტიკულად შეუმჩნეველია, რამდენადაც გავარვარებული ძაფის ტემპერატურა ვერ ასწ-



რებს მიჰყევს დენის ცვლილების სიჩქარეს და გვეჩვენება, რომ იგი სტაბილურად კაშკაშებს.

9.4. ცვლადი ემძ-ის (ძაბვის, დენის) მოქმედი მნიშვნელობა

როგორც ვნახეთ ცვლადი ემძ, ძაბვა და დენი დროში ცვალებადი სიდიდეებია და მათი რაოდენობრივი დახასიათება მყისა მნიშვნელობით მოუხერხებელია. ამ მიზნით შემოგვაქვს ცნება ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობის შესახებ.

ისე, როგორც მუდმივი დენის შემთხვევაში, R წინაღობიან გამტარში ცვლადი დენის გატარებისას გამოიყოფა სითბო. ამ მხრივ ერთმანეთთან შედარებულია მუდმივი და ცვლადი დენის ისეთი მნიშვნელობები, რომლებიც ერთი და იგივე გამტარში ერთი და იგივე დროში გამოყოფენ ერთი და იგივე რაოდენობის სითბოს. მუდმივი დენის ამ მნიშვნელობას აღებული ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა ეწოდება. მოქმედი მნიშვნელობა ცვლადი დენის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობაა

პერიოდის განმავლობაში: $I = \sqrt{\frac{1}{T} \int i^2 dt}$ და გამოთვლებით

მიღებულია: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$; შესაბამისად, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ და $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$.

ცვლადი დენის მოქმედ მნიშვნელობას უჩვენებს ისრიანი მზომი ხელსაწყოები და მოქმედი მნიშვნელობით ვახასიათებთ ძაბვებსა და დენებს ყოფაცხოვრებაში.

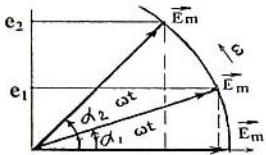
ასე, მაგალითად ჩვენ ვამბობთ, რომ ბინაში შემოსული ძაბვის სიდიდეა 220 ვ. ეს არის მისი მოქმედი მნიშვნელობა. პრაქტიკულად ჩვენი საყოფაცხოვრებო დანადგარები გათვლილია $220 \cdot \sqrt{2} = 310$ ვოლტ ძაბვაზე, მაგრამ საპასპორტო მონაცემებში მითითებულია 220 ვ.

9.5. სინუსოიდური ემძ-ის წარმოდგენა მბრუნავი ვექტორის სახით

წარმოვიდგინოთ ვექტორი, რომლის მოდული მასშტაბში E_m -ის ტოლია. მის საწყის მდგომარეობად ავიღოთ პორიზონტალური მდგომარეობა. დავაბრუნოთ ვექტორი საათის ისრის

ბრუნვის საწინააღმდეგო

მიმართულებით ω კუთხური სიჩქარით. t_1 დროის შემდეგ ვექტორი მობრუნდება $\alpha_1 = \omega t_1$ და მისი გეგმილი ორდინატთა ღერძზე იქნება $e_1 = E_m \sin \omega t_1$, t_2 მომენტში $\alpha_2 = \omega t_2$ და გეგმილი იქნება $e_2 = E_m \sin \omega t_2$ და ა.შ.; ე.ი. მბრუნავი



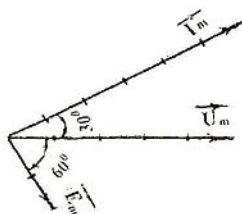
ორდინატთა ღერძზე იცვლება სინუსოიდური კანონით. ეს საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოთ დასკვნა:

სინუსოიდური ემმ (ძაბვა, დენი) შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც მბრუნავი ვექტორი, რომლის მოდული ამპლიტუდის, ხოლო ბრუნვის კუთხური სიჩქარე - ემმ-ის კუთხური სიხშირის გოლია.

9.6. სინუსოიდური ფუნქციის წარმოდგენა ვექტორულად დროის ადებულ მომენტში. ვექტორული დიაგრამა

ზემოთ ჩვენ ვუჩვენეთ, რომ სინუსოიდური ფუნქცია შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ω კუთხური სიჩქარით მბრუნავი ვექტორი. ე.ი. ცვლადი დენის წრედში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესი შეიძლება წარმოვადგინოთ მასში მოქმედი ძაბვებისა და დენების გამომსახველი მბრუნავი ვექტორებით და ადვილი მისახვედრია, რომ გავარკვიოთ ამ სიდიდეებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება, საკმარისია დავაფიქსიროთ ამ ვექტორების ურთიერთგანლაგება დროის ადებულ მომენტში, ანუ თითოეული მათგანი წარმოვადგინოთ დაკვირვების მომენტში არსებულ მდგომარეობაში განჩერებული, მაშინ ვექტორთა მიღებული სურათი გაგვცემს პასუხს რომელი ძაბვა და დენია მეტი და რამდენით. რომელია წინ გასწრებული, რომელი ჩამორჩენილი და ა.შ. ასე, რომ წრედში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესი წარმოვიდგება ძაბვების და დენების გამომსახველი ვექტორების ურთიერთგანლაგებით დროის ადებულ მომენტში. ვექტორთა ამ ერთობლიობას ვექტორული დიაგრამა ეწოდება.

ცხადია, რომ წრედში მიმდინარე ელექტრომაგნიტურ პროცესზე არავითარ გავლენას არ ახდენს დაკვირვების მომენტის შერჩევა, ე.ი. ნება გვაქვს დავაფიქსიროთ რაღაც საწყისი მიმართულება ნებისმიერად და მის მიმართ ავაგოთ ყველა ძაბვისა და დენის ვექტორი. საწყის მიმართულებად, როგორც წესი, ვირჩევთ პორიზონტალურ მიმართულებას. მაშინ იმ ძაბვის ან დენის ვექტორი, რომლის საწყისი ფაზა ნულის ტოლია მიმართულებით გაყვება ათვლის მიმართულებას. დადებითი საწყისი ფაზიანი ვექტორი გადაიზომება ათვლის მიმართულებიდან დადებითი მიმართულებით, ანუ ზევით და უარყოფითი საწყისი ფაზიანი - ქვევით. ნახაზზე ნაჩვენებია $u = 100 \sin \omega t$; $i = 6 \sin(\omega t + 30^\circ)$ და $e = 1000 \sin(\omega t - 60^\circ)$ შესაბამისი ვექტორები.



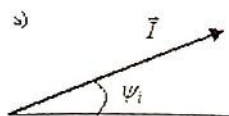
ნახაზზე ნაჩვენებია ძაბვის, დენისა და ემძ-ის ვექტორები მოცემულია შესაბამის მასშტაბებში: $M_u = 20$ ვ/დან; $M_i = 1$ ა/დან და $M_e = 500$ ვ/დან.

მიღებულია: საწყის მიმართულებად ავირჩიოთ პორიზონტალური მიმართულება, ძაბვები და დენები რაოდენობრივად დავახასიათოდ მოქმედი მნიშვნელობებით და მასშტაბები შევირჩიოთ ნებისმიერად ისე, რომ თითოეული ვექტორი თვალსაჩინოდ იყოს წარმოდგენილი და ჩაეტიოს ნახაზის სიბრტყეში.

დავიმახსოვროთ:

სინუსოიდური ძაბვა, დენი ან ემძ ვექტორულად შეიძლება გამოვსახოთ ვექტორით, რომლის მოდული მასშტაბში მის მოქმედ მნიშვნელობას შეესაბამება და მობრუნებულია ათვლის მიმართულებიდან საწყისი ფაზის ტოლი კუთხით.

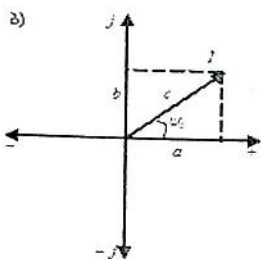
9.7. სინუსოიდური ფუნქციის წარმოდგენა კომპლექსური რიცხვით



უკანასკნელზე. (ნახ. ა)

ზემოთ ვუჩვენეთ სინუსოიდური ფუნქციის სამი სახე: ანალიზური $i = I_m \sin(\omega t + \psi_1)$, ტალღური დიაგრამა და მბრუნავი ვექტორი. შევეჩერდეთ ამ ვექტორი, რომლის მოდული

მასშტაბში სინუსოიდური დენის მოქმედ მნიშვნელობას შეესაბამება, ბრუნავს საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოთ, მაშინ $t = 0$ მომენტში, ამ ვექტორის მდებარეობით განისაზღვრება სინუსოიდური დენის საწყისი ფაზა ψ_1 - ეს არის კუთხე, რომელსაც ვექტორი ადგენს ათვლის მიმართულებასთან.



თუ სინუსოიდური ფუნქციის მდებარეობა განსაზღვრავს დენის მნიშვნელობას, მიზანშეწონილია განვიხილოთ ვექტორის სიბრტყეზე მდებარეობის განსაზღვრის გზები. ეს შეიძლება მოხდეს ორნაირად, მაგრამ ჯერ ავიღოთ მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა და აბსცისთა ღერძის დადებითი მიმართულება დავამთხვიოთ ათვლის მიმართულებას. ამ

ღერძს ეწოდება ნამდვილი ღერძი (+ ; -), ორდინატთა ღერძს - წარმოსახვითი (+ j; - j), ხოლო სიბრტყეს - კომპლექსური. \vec{I} ვექტორი ამ სიბრტყეზე აღინიშნება \dot{I} ან \underline{I} სიმბოლოთი და ეწოდება კომპლექსური რიცხვი.

\dot{I} კომპლექსური რიცხვი, კომპლექსურ სიბრტყეზე შეიძლება განისაზღვროს: 1) ვექტორის a და b გეგმილებით ღერძებზე. ან 2) კიდევ მისი c მოდულით და აბსცისთა ღერძის დადებით მიმართულებასთან დახრის ψ_1 კუთხით. ე.ი. არ არსებობს სხვა ვექტორი, რომლის გეგმილები იქნება a და b , ან კიდევ დახრილი იყოს ψ_1 კუთხით და მოდული იყოს C .

მდებარეობის განსაზღვრის პირველი ხერხით \dot{I} კომპლექსური რიცხვი ჩაიწერება შემდეგნაირად: $\dot{I} = a + jb$ (ა), ხოლო მეორე ხერხით: $\dot{I} = ce^{j\psi_1}$ (ბ). ჩაწერის ეს ფორმები სიმბოლურია, კომპლექსური რიცხვები განიხილება კომპლექსურ რიცხვთა თეორიაში, მაგრამ ჩვენ დაეკმაყოფილდეთ კომპლექსური რიცხვის ჩაწერის (ა) და (ბ) ფორმით. რამდენადაც იგი სინუსოიდური ფუნქციის შესაბამისი ვექტორის მდებარეობას განსაზღვრავს. \dot{I} კომპლექსურ რიცხვს სინუსოიდური დენი

კომპლექსური გამოსახვა ეწოდება. კომპლექსური რიცხვის ნაწერის (ა) ფორმას ეწოდება ალგებრული სახე, ხოლო (ბ)-ს მანვენებლიანი. მანვენებლიანი სახის მარტივი ანალიზით შეიძლება ვთქვათ:

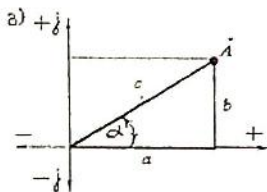
$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ სინუსოიდური დენი შეიძლება წარმოვადგინოთ კომპლექსური რიცხვით მანვენებლიან სახეში, რომლის C მოდული მასშტაბში სინუსოიდური დენის მოქმედი მნიშვნელობის, ან ამპლიტუდის ტოლია და არგუმენტი ψ_i სინუსოიდური დენის საწყისი ფაზის.

განვიხილოთ მაგალითი: ჩავწეროთ კომპლექსურ სახეში სინუსოიდური დენი $i = 10 \sin(\omega t + 30^\circ)$ ა, ძაბვა $u = 200 \sin(\omega t - 60^\circ)$ ე და ემძ $e = 150 \sin \omega t$.

ამოხსნა

რამდენადაც სინუსოიდური დენის ამპლიტუდა და მოქმედი მნიშვნელობა ერთმანეთისაგან $\sqrt{2}$ მუდმივი რიცხვით განსხვავდება, ცხადია მისი შესაბამის ვექტორის მდებარეობას ვექტორის მოდული არ განსაზღვრავს და ზემოთ მოყვანილი წესით შეიძლება ჩავწეროთ ე.წ. კომპლექსური ამპლიტუდა \dot{I}_m, \dot{U}_m ან \dot{E}_m . ე.ი. გვექნება:

$$\dot{I}_m = 10e^{j30^\circ}; \dot{U}_m = 200e^{-j60^\circ}; \dot{E}_m = 150e^{j0^\circ} = 150.$$



ამ გამოსახულებაში j წარმო-

სახვითი რიცხვია: $j = \sqrt{-1}$. e კიდევ მუდმივია და ნეპერის რიცხვი ეწოდება, მაგრამ სვენ გეაკმაყოფილებს მხოლოდ კომპლექსური რიცხვის სიმბოლური სახე.

სინუსოიდური ფუნქციის კომპლექსური სახე როგორც ენახეთ ითვალისწინებს საწყის ფაზას, ამიტომ სინუსოიდური ფუნქციების შეკრება, გამოკლება შეიძლება ვაწარმოოთ კომპლექსურ სახეში, როგორც ადრე ვთქვით ვექტორულშიც, მაგრამ მათემატიკური ოპერაციების ჩატარება კომპლექსურ რიცხვებზე გაცილებით მარტივია და ზუსტია, ვიდრე ვექტორებისათვის და შეიძლება ვთქვათ, რომ სინუსოიდური ფუნქციების: ძაბვების, დენებისა და ემძების

კომპლექსური სახით წარმოდგენა და შემდეგ წრედის ანალიზი კომპლექსურ სახეში გაცილებით ამარტივებს ანგარიშის მათემატიკურ გზას. მიღებული პასუხის კომპლექსური გამოსახულებიდან უკუ გარდაქმნით გადავალთ დროის ნამდვილ სინუსოიდურ ფუნქციაზე. მაგალითად, $\dot{I} = 10e^{j30^\circ}$ კომპლექსური დენის ამპლიტუდა იქნება $10\sqrt{2} = 14,1$, ხოლო საწყისი ფაზა - 30° და სინუსოიდური დენი ჩაიწერება შემდეგნაირად: $i = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ)$.

ა) კომპლექსური რიცხვის ერთი ფორმიდან მეორეში გადასვლა - ავიღოთ \dot{A} ვექტორი, ამ ვექტორის კომპლექსური გამოსახვა მაჩვენებლიან და ალგებრულ სახეში ვუჩვენოთ ნახ.გ-ზე). გამუქებული მართკუთხა სამკუთხედიდან ადვილად ჩავწერთ კომპლექსური რიცხვის ერთი სახედან მეორეში გადასვლის ფორმულებს. მახვილი კუთხის სინუსის, კოსინუსის და ტანგენსის განმარტებებიდან: $\sin \alpha = \frac{b}{c}$; $\cos \alpha = \frac{a}{c}$ და $\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}$;

ე.ი. თუ ვიცით c და α გვექნება: $a = c \cos \alpha$; $b = c \sin \alpha$;

ხოლო თუ ცნობილია a და b , მაშინ $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ და $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}$, ე.ი. კომპლექსური რიცხვის მაჩვენებლიან სახეში

და პირიქით გადასვლა შეიძლება ვაწარმოთ შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} a + jb &= \sqrt{a^2 + b^2} e^{j \operatorname{arctg} \frac{b}{a}} = c e^{j\alpha} = c(\cos \alpha + j \sin \alpha) = \\ &= c \cos \alpha + j c \sin \alpha = a + jb. \end{aligned}$$

ბ) არითმეტიკული მოქმედებები კომპლექსურ რიცხვებზე მიღებულია: კომპლექსური რიცხვები შეკრება - გამოკლების დროს წარმოდგენილი უნდა იქნენ ალგებრულ სახეში, ხოლო გამრავლება - გაყოფის, ახარისხებისა და ამოფესვის დროს მაჩვენებლიან სახეში.

ვუჩვენოთ ეს მოქმედებები მაგალითზე. ავიღოთ ორი კომპლექსური რიცხვი ალგებრულ და მაჩვენებლიან სახეში:

$$\dot{A} = a + jb = m e^{j\alpha}; \quad \dot{B} = c + jd = n e^{j\beta}.$$

გვექნება:

$$\dot{A} + \dot{B} = a + jb + c + jd = (a + c) + j(b + d);$$

$$\dot{A} - \dot{B} = a + jb - c - jd = (a - c) + j(b - d);$$

$$\dot{A} \cdot \dot{B} = me^{j\alpha} \cdot ne^{j\beta} = mne^{j(\alpha+\beta)};$$

$$\frac{\dot{A}}{\dot{B}} = \frac{me^{j\alpha}}{ne^{j\beta}} = \frac{m}{n} e^{j(\alpha-\beta)};$$

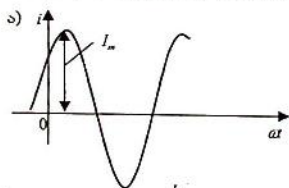
$$(\dot{A})^2 = (me^{j\alpha})^2 = m^2 e^{j2\alpha};$$

$$\sqrt{\dot{A}} = \sqrt{me^{j\alpha}} = \sqrt{m} e^{j\frac{\alpha}{2}};$$

$$\sqrt[3]{\dot{A}} = \sqrt[3]{me^{j\alpha}} = \sqrt[3]{m} e^{j\frac{\alpha}{3}}.$$

9.8. ელექტრული წრედების განგოლებების ჩაწერის წესი ცვლადი დენის წრედში

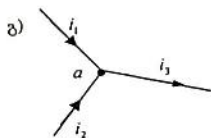
სინუსოიდურად ცვლადი სიდიდეები წარმოვადგინეთ ვექტორული ფორმით, ხოლო ვექტორთა შეკრება – გამოკლების დროს შედეგს განსაზღვრავს არა მარტო მოდული, არამედ მიმართულებაც. სინუსოიდური ძაბვის ან დენის შესაბამის ვექტორის მიმართულებას კი განსაზღვრავს ძაბვის ან დენის საწყისი ფაზა. ასე, რომ განგოლებები სინუსოიდური ძაბვებისა და დენებისათვის ჩაიწერება მათი ჩაწერის იმ ფორმებისათვის, რომლებიც ითვალისწინებს საწყისი ფაზას, ესენია: მყი-



სიმნიშვნელობა $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$, ტალღური დიაგრამა (ნახ. ა); შესაბამისი ვექტორი (ნახ. ბ) და კომპლექსური გამოსახვა $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$.

თითოეულ ამ ფორმაზე არითმეტიკული მოქმედებების წარმოება რა თქმა უნდა შესაძლებელია, მაგრამ ყველაზე იოლია ვექტორების და კომპლექსური რიცხვების შეკრება – გამოკლება. ვექტორულ მეთოდს აქვს გარკვეული უარყოფითი მხარე, კერძოდ, არც თუ ისე მაღალი სიზუსტე გრაფიკული აგების დროს, მაგრამ სიზუსტის ეს ხარისხი სავსებით მიღებულია პრაქტიკული ელექტრული წრედების ანგარიშისა და ანალიზის დროს. ანგარიშის მაღალი სიზუსტე მიიღწევა კომპლექსური რიცხვების გამოყენებისას.

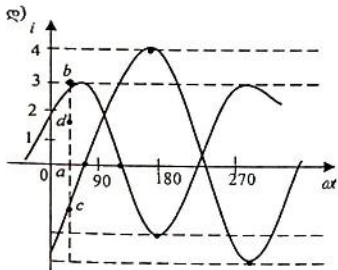
განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ ცვლადი დენის წრედის a წერტილში თავს იყრის სამი დენი: i_1, i_2, i_3 (ნახ. გ). ამთგან ცნობილია:



$i_1 = 3 \sin(\omega t + 30^\circ)$, $i_2 = 4 \sin(\omega t - 60^\circ)$ და უნდა განესაზღვროთ i_3 . კირხჰოფის I კანონით i_3 დენი განისაზღვრება i_1 და i_2 დენების შეკრებით.

სინუსოიდური ფუნქციების შეკრება ანალიზურ სახეში $3 \sin(\omega t + 30^\circ) + 4 \sin(\omega t - 60^\circ)$ მათემატიკურ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული; ტალღური დიაგრამების შეკრებაც შეიძლება.

ნახ. დ-ზე ნაჩვენებია ჯამური i_3 სინუსოიდის ერთ - ერთი წერტილის მოძებნა გრაფიკულად შეკრების წესით. მაგალითად, $ad = ab - ac$ (დროის t_1 მომენტში i_1 დადებითია და ab -ს ტოლია, i_2 კი უარყოფითია და ac -ს ტოლია). ამ გზით მოიძებნება i_3 სინუსოიდის წერტილები აბსცისათა



დერძზე აღებულ სხვადასხვა წერტილებში, მაგრამ შეკრების ეს წესი მოუხერხებელია და ამოცანა მარტივად გადაწყდება ვექტორული შეკრებით. ავირ-

ჩიოთ მასშტაბი $M_I = 1 \frac{\text{სმ}}{\text{სმ}}$. ათ-

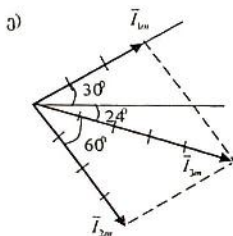
ვლის მიმართულებად ავირჩიოთ ჰორიზონტალური მიმართულება (ნახ. ე). $i_1 = 3 \sin(\omega t + 30^\circ)$ დე-

ნის ამპლიტუდა 3 ამპერია და საწყისი ფაზა $(+30^\circ)$, მაშინ გავავლოთ ჰორიზონტალური მიმართულებიდან ზევით 30° -ით დახრილი წრფე, არჩეული მასშტაბის მიხედვით გადავზომოთ 3 სმ;

ანალოგიურად ავაგოთ $i_2 = 4 \sin(\omega t - 60^\circ)$ დენის ვექტორი: ჰორიზონტალური მიმართულებიდან ქვევით გავავლოთ 60° -ით დახრილი წრფე და გადავზომოთ 4 სმ.

კირხჰოფის I კანონით გვექნება: $\vec{I}_{3m} = \vec{I}_{1m} + \vec{I}_{2m}$. შევეკრიბოთ \vec{I}_{1m}

და \vec{I}_{2m} ვექტორები პარალელოგრამის წესით. მივიღებთ პასუხს \vec{I}_{3m} ვექტორის სახით. (ნახ. ე) ჩავწეროთ i_3 დენი როგორც სინუსოიდური ფუნქცია, ანუ $i_3 = I_{3m} \sin(\omega t + \psi_3)$ სახით. ამისათვის გავზომოთ \vec{I}_{3m} ვექტორის სიგრძე და აღებულ



მასშტაბში იგი იქნება 5. გავზომოთ \vec{I}_{3m} ვექტორი დახრის კუთხე ჰორიზონტალური მიმართულებიდან. ეს კუთხე i_3 დენის საწყისი ფაზაა, უდრის (-23°) და გვექნება: $i_3 = 5 \sin(\omega t - 23^\circ)$.

კომპლექსურ სახეში ანგარიშის დროს ვისარგებლოთ კომპლექსური ამპლიტუდებით:

$$\dot{I}_{1m} = 3e^{j30^\circ} = 3(\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) = 3(0,866 + j0,5) = (2,6 + j1,5) \text{ ა;}$$

$$\dot{I}_{2m} = 4e^{-j60^\circ} = 4(\cos 60^\circ - j \sin 60^\circ) = 4(0,5 - j0,866) = (2 - j3,464) \text{ ა;}$$

შევკრიბოთ \dot{I}_{1m} და \dot{I}_{2m} კომპლექსური რიცხვები ალგებრულ სახეში, მივიღებთ:

$$\dot{I}_{3m} = \dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m} = 2,6 + j1,5 + 2 - j3,464 = (4,6 - j1,964) \text{ ა.}$$

გადავიდეთ ალგებრული ფორმიდან მაჩვენებლიან ფორმაზე

$$\begin{aligned} \dot{I}_{3m} &= \sqrt{4,6^2 + 1,964^2} e^{-j \arctg \frac{1,964}{4,6}} = \sqrt{21,16 + 3,857} e^{-j \arctg 0,427} = \\ &= \sqrt{25} e^{-j23^\circ 10'} = 5 e^{-j23^\circ 10'} \text{ ა.} \end{aligned}$$

პასუხი მივიღეთ კომპლექსურ სახეში. გადავიდეთ ნამდვილ სინუსოიდურ ფუნქციაზე. $i_3 = I_{3m} \sin(\omega t + \psi_{i3})$. პირიქითი გადასვლის თანახმად გვექნება: $I_{3m} = 5$ ა და $\psi_{i3} = -23^\circ 10'$ და მივიღებთ: $i_3 = 5 \sin(\omega t - 23^\circ 10')$. რაც ემთხვევა ვექტორით მიღებულ შედეგს იმ განსხვავებით, რომ საწყისი ფაზა მივიღეთ ($-23^\circ 10'$). ვექტორების შეკრებისას გავზომილი კუთხის ცდომილება გრაფიკული აგების ცდომილებითაა გამოწვეული. ამპლიტუდური მნიშვნელობებისათვის გვექნება $I_{3m} = I_{1m} + I_{2m} = 3 + 4 = 7$ ა. $7 \neq 5$ და კირხჰოფის I კანონი დენების

ამპლიტუდური მნიშვნელობებისათვის სამართლიანი არ არის, რადგანაც არ ითვალისწინებს საწყის ფაზას. საწყის ფაზას არ ითვალისწინებს არც მოქმედი მნიშვნელობა და

$$I_3 \neq I_1 + I_2 \left(\frac{I_{3m}}{\sqrt{2}} \neq \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} + \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} \right).$$

9.9. ძვრის კუთხე დაბვასა და დენს შორის

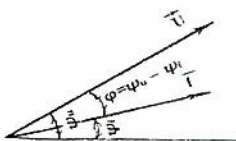
თუ დაბვასა და დენს დროის ერთ და იგივე მომენტში ვექტორულად გამოვსახავთ, მაშინ კუთხეს ამ ორ ვექტორს შორის ეწოდება ძვრის კუთხე. იგი აღინიშნება φ ასოთი და როგორც ნახაზიდან ჩანს

$$\varphi = \psi_u - \psi_i,$$

ე.ი. ძვრის კუთხე დაბვასა და დენს შორის ტოლია დაბვის საწყის ფაზას გამოკლებული დენის საწყისი ფაზა.

ძვრის კუთხე შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი, როცა

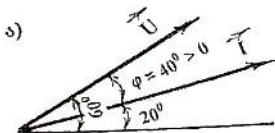
$$\psi_u > \psi_i; \varphi > 0; \psi_u < \psi_i; \varphi < 0; \text{ და თუ } \psi_u = \psi_i; \varphi = 0.$$



ძვრის კუთხის დადებითი მნიშვნელობის დროს, ანუ როცა $\varphi > 0$, ვამბობთ: დაბვა წინ გასწრებულია დენისაგან, რაც სხვაგვარადაც შეიძლება ვთქვათ - დენი ჩამორჩება დაბვას.

წინააღმდეგ შემთხვევაში, ანუ როცა $\varphi < 0$, დაბვა ჩამორჩება დენს ან კიდევ დენი წინგასწრებულია დაბვისაგან; როცა $\varphi = 0$ - დაბვა და დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა.

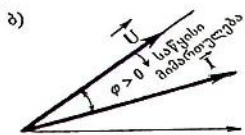
9.10. დადებითი და უარყოფითი კუთხეები ზოგადად



დავუბრუნდეთ ერთი შეხედვით მეტად მარტივ, მაგრამ მნიშვნელოვან გარემოებას.

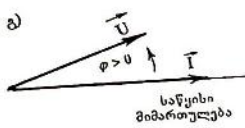
ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ დადებით საწყისფაზიანი ელექტრული სიდიდე გადაიზომება ათვლის მიმართულებიდან ზევით, უარყოფით საწყისფაზიანი - ქვევით. ეს დასკვნა არ უნდა აგვერიოს იმ შემთხვევასთან, როცა გადა-

საზომია არა საწყისი ფაზა, არამედ ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის.



მოვიყვანოთ მაგალითი: გვაქვს ძაბვა $u = Um \sin(\omega t + 60^\circ)$ და დენი $i = Im \sin(\omega t + 20^\circ)$ (ნახ. ა). ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის $\varphi = \psi_u - \psi_i = 60^\circ - 20^\circ = 40^\circ$ დადებითია.

ავაგოთ ძაბვისა და დენის ვექტორები. საწყისი ჰორიზონტალური მიმართულებიდან (ნახ. ბ) \vec{U} ძაბვის ვექტორი გადაიზომება 60° -ით ზემოთ, დენის საწყისი ფაზაც დადებითია (20°), მაშინ ეს ვექტორიც გადაიზომება ზემოთ. ახლა ავაგოთ ვექტორები ისე, რომ ერთ-ერთის ძაბვის ან დენის მიმართულება მივიჩნიოთ საწყის მიმართულებად. მაგ. ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან 60° -ით დახრილი \vec{U} ძაბვის მიმართულება ავირჩიოთ საწყის მიმართულებად, ძერის კუთხე \vec{I} დენსა და \vec{U} ძაბვას შორის



$$\varphi = 40^\circ > 0,$$

საითქვენ გადავზომოთ \vec{I} დენის ვექტორი \vec{U} -დან?...

ქვემოთ, იმიტომ, რომ ძერის კუთხე დადებითია, მაშასადამე დენი ჩამორჩება ძაბვას.

საწყის ვექტორად, რომ დენის ვექტორი აგვერჩია (ნახ. გ), მაშინ \vec{U} ძაბვის ვექტორი \vec{I} -დან გადაიზომება 40° -ით ზემოთ, იმიტომ, რომ $\varphi > 0$ ანუ ძაბვა წინგასწრებულია დენისაგან.

9.11. ცნება სამუაზა დენის შესახებ

მეტი სიცხადისათვის დაეუბრუნდეთ სინუსოიდური ემპ-ის მიღების მექანიზმს გენერატორის მოდელზე, ანუ მაგნიტურ ველში მბრუნავ ოთხკუთხა ჩარჩოს; ვთქვათ თუ საწყისად ავიღებთ მის ჰორიზონტალურ მდგომარეობას ემპ ჩაიწერება შემდეგნაირად: $e = Em \sin \omega t$, ხოლო თუ საწყისად ავიღებთ ჩარჩოს

იმ მდგომარეობას, როცა იგი ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან მობრუნებულია ψ_e კუთხით გვექნება: $e = Em \sin(\omega t + \psi_e)$.

ახლა წარმოვიდგინოთ რომ მაგნიტურ ველში ბრუნავს არა ერთი ჩარჩო, არამედ ერთ ღერძზე დამაგრებული სამი ერთნაირი ჩარჩო, რომელთა სიბრტყეები ერთმანეთისაგან სიმეტრიულად არიან დაძრული, ანუ $\frac{360}{3} = 120^\circ$ -ით. თითოეულ ამ

ჩარჩოს ვუწოდოთ ფაზა და ავლნიშნოთ A, B, C ასოებით. თუ ათვლის მომენტად ავირჩევთ სისტემის ისეთ მდგომარეობას, როცა ერთ - ერთი ჩარჩო ჰორიზონტალურ მდგომარეობაშია, მაშინ მის ბოლოებზე დაინდუქცირებული ემპ ნაიწერება ასე:

$e_A = Em \sin \omega t$. მისგან უარყოფითი მიმართულებით 120° -ით დაძრულ ჩარჩოს დაეარქვათ B , მაშინ იგი საწყის მომენტში ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან დაძრულია 120° -ით და გვექნება:

$$e_B = Em \sin(\omega t - 120^\circ).$$

მესამე C ფაზა შეიძლება განვიხილოთ ჰორიზონტალური მდგომარეობიდან დაძრული უარყოფითი მიმართულებით 240° ან დადებითი მიმართულებით 120° ; ე.ი. შეგვიძლია დავწეროთ:

$$e_C = Em \sin(\omega t - 240^\circ) \text{ ან } e_C = Em \sin(\omega t + 120^\circ).$$

მივიღეთ ემპ-თა სისტემა:

$$e_A = Em \sin \omega t; e_B = Em \sin(\omega t - 120^\circ); e_C = Em \sin(\omega t + 120^\circ).$$

ემპ-თა ამ სისტემას სამფაზა სისტემა ვწოდება.

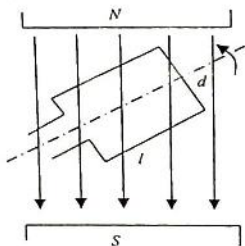
სამფაზა სისტემა პრაქტიკაში გამოყენებული მრავალფაზა სისტემების ერთ - ერთი კერძო შემთხვევაა, როცა ფაზების რიცხვი სამია. მრავალფაზა სისტემებში ეს რიცხვი შეიძლება იყოს 3, 6, 9 ... -ის ჯერადი რიცხვები.

როცა სინუსოიდური ემპ წარმოვადგინეთ ვექტორულად ავლნიშნეთ, რომ საწყის მიმართულებად არჩეული გვაქვს ჰორიზონტალური მიმართულება. რამდენადაც საწყისი მიმართულება არავითარ გავლენას არ ახდენს წრედში მიმდინარე ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე, ამიტომ სამფაზა სისტემებში, საწყის მიმართულებად არჩეულია ვერტიკალური მიმართულება და ემპ-

ის გამომსახველ ვექტორებს აქვს ნახაზზე ნაჩვენები სახე. ეს ვექტორები მოდულით ტოლი და ერთმანეთისაგან 120° -ით დაპრული ვექტორებია.

განვიხილოთ მაგალითები.

ა)



რიცხვი $N = 10$.

ამოცანა № 1

განვსაზღვროთ ემძ-ის მოქმედი მნიშვნელობა, რომელიც აღიძვრება სწორკუთხა ჩარჩოში მისი მაგნიტურ ველში მუდმივი კუთხური სიჩქარით ბრუნვის დროს (ნახ. ა), თუ მაგნიტური ველის ინდუქცია $B = 1,2$ ტლ. ბრუნვის კუთხური სიჩქარე $\omega = 314$ რად/წმ, ჩარჩოს გეომეტრიული ზომებია: სიგანე $d = 20$ სმ, სიგრძე $l = 30$ სმ, ხვეების

ამოხსნა

ჩარჩოს საწყის მდებარეობად მივიღოთ მისი ისეთი მდებარეობა, როცა ჩარჩოს სიბრტყე მართობია Φ მაგნიტური ნაკადის ძალწირების. ამ დროს ჩარჩოს გამჭოლავი მაგნიტური ნაკადი მაქსიმალურია:

$$\Phi_m = BS = Bld = 1,2 \cdot 0,3 \cdot 0,2 = 0,072 \text{ ვებ.}$$

ჩარჩოს 90° -ით შემობრუნებისას ეს ნაკადი შემცირდება 0-მდე. ბრუნვის გაგრძელებისას კი კვლავ გაიზრდება და ა.შ.

ასე, რომ მუდმივ მაგნიტურ ველში ჩარჩოს გამჭოლი ნაკადი იცვლება და მისი ცვლილების კანონი ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t, \text{ ხოლო ნაკადშემა } \psi = N\Phi.$$

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის თანახმად, თუ შეკრული ჩარჩო განიჭოლება ცვლადი მაგნიტური ნაკადით, მის ბოლოებზე დაინდუქციირდება ემძ, რომლის სიდიდე ნაკადშემაში ცვლილების სიჩქარის ტოლია (-) ნიშნით:

$$\begin{aligned} e &= -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{d}{dt} \psi_m \cos \omega t = N\omega \psi_m \sin \omega t = \\ &= 314 \cdot 10 \cdot 0,072 \sin 314t = 225 \sin 314t. \end{aligned}$$

მუდმივი სიდიდე $N\omega\psi_m$ აღინიშნება E_m -ით და ეწოდება ამპლიტუდა. ჩვენს შემთხვევაში $E_m = 225$ ვ.

მოქმედი მნიშვნელობა

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{225}{1,41} = 160 \text{ ვ.}$$

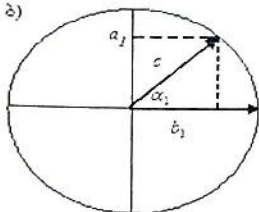
ამოცანა №2

აეგოთ საათის ისრის ბრუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით მბრუნავი რადიუს - ვექტორის ორდინატა და აბსცისა ღერძებზე გეგმილის დროში ცვლილების გრაფიკები, თუ მისი ბრუნვის კუთხური სიხშირეა $\omega = 30$ გრად/წმ და მოღეული $c = 50$ მმ.

ამოხსნა

რადიუს - ვექტორის საწყის მდებარეობად მივიღოთ მისი კორიზონტალური მდგომარეობა. გარკვეული t_1 დროის შემდეგ იგი შემობრუნდება $\alpha_1 = \omega t_1$ კუთხით და მისი გეგმილი ორდინატა ღერძზე იქნება

ბ)



$$a_1 = c \cdot \sin \alpha_1 = c \cdot \sin \omega t_1; \quad \left(\sin \alpha = \frac{a}{c} \right),$$

ხოლო აბსცისთა ღერძზე

$$b_1 = c \cdot \cos \alpha_1 = c \cdot \cos \omega t_1; \quad \left(\cos \alpha = \frac{b}{c} \right),$$

ასე, რომ გამოდის: მბრუნავი რადიუს - ვექტორის გეგმილი ორდინატა ღერძზე დროის სინუსოიდური ფუნქციაა. ამ ფუნქციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს ეწოდება სინუსოიდა, ხოლო მბრუნავი რადიუს - ვექტორის გეგმილი აბსცისთა ღერძზე დროის კოსინუსოიდური ფუნქციაა და ამ ფუნქციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს კოსინუსოიდა ეწოდება, გავეცნოთ მათი აგების წესს.

განვსაზღვროთ ერთი სრული შემობრუნებისათვის საჭირო დროის შუალედი. ერთი სრული შემობრუნებისას შემო-

წერილი კუთხე $\alpha = 360^\circ$. ფორმულიდან $\omega = \frac{\alpha}{t}$ გვექნება:

$$t = T = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{360^\circ}{30 \frac{\text{გრად}}{\text{წმ}}} = 12 \text{ წმ. დროის ამ შუალედს პერიოდი}$$

ეწოდება და ჩვენს შემთხვევაში 12 წმ-ის ტოლია. დავეოთ ეს შუალედი თანაბარ ნაწილებად და გავიანგარიშოთ a და b გეგმილების სიგრძეები დროის თითოეულ მომენტში.

დროის ბიჯად შეგვეძლო აგველო 4,8,12 წმ ან 3,6,9,12 წმ, მაგრამ მეტი სიზუსტისათვის ავიღოთ (1,2,3. . . 12) წმ ან (2,4,6. . . 12) წმ. $\alpha = \omega t$ ფორმულით განვსაზღვროთ $a_1 = c \cdot \sin \alpha$ და $b_1 = c \cdot \cos \alpha$.

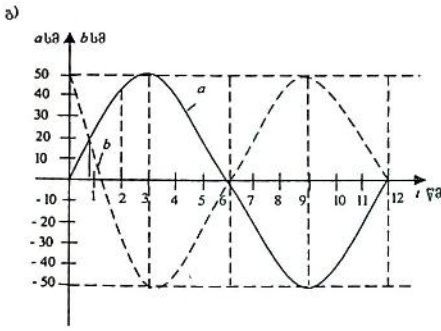
მაგალითად, $t = 2$ წმ მნიშვნელობისათვის გვექნება:
 $\alpha_2 = 30 \cdot 2 = 60^\circ$; $\sin 60^\circ = 0,866$; $\cos 60^\circ = 0,5$;
 $a_1 = c \cdot \sin 60^\circ = 50 \cdot 0,866 = 43,3$; $b_1 = c \cdot \cos 60^\circ = 50 \cdot 0,5 = 25$.

ანალოგიურად განვსაზღვრავთ a_1 - ს და b_1 -ს დროის სხვა მნიშვნელობებისათვის. ანგარიშის შედეგები მოვიყვანოთ ცხრილის სახით. ავაგოთ მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა. აბსცისთა ღერძზე გადავზომოთ დრო (0 - 12) წმ დიაპაზონში და ავაგოთ გრაფიკები (ნახ. გ), სადაც ნაჩვენებია გრაფიკების წერტილების მოძებნა $t = 1,2,3$ წამის შემდეგ.

t წმ	α გრად	$\sin \alpha$	$c \cdot \sin \alpha$	$\cos \alpha$	$c \cdot \cos \alpha$
0	0	0	0	1	50
1	30	0,5	25	0,866	43,3
2	60	0,866	43,3	0,5	25
3	90	1	50	0	0
4	120	0,866	43,3	-0,5	-25
5	150	0,5	25	-0,866	-43,3
6	180	0	0	-1	-50
7	210	-0,5	-25	-0,866	-43,3
8	240	-0,866	-43,3	-0,5	-25
9	270	-1	-50	0	0
10	300	-0,866	-43,3	0,5	25
11	330	-0,5	-25	0,866	43,3
12	360	0	0	1	50

დანარჩენი წერტილები აიღება ანალოგიურად.

$a = c \sin \omega t$ განტოლებას სინუსოიდურად ცვლილების კანონი ეწოდება, მის გრაფიკულ გამოსახულებას სინუსოიდა,



ხოლო $b = c \cos \omega t$ განტოლებას კოსინუსოიდურად ცვლილების კანონი ეწოდება, მის გრაფიკულ გამოსახულებას - კოსინუსოიდა.

12 წმ-ის გავლის შემდეგ მომდევნო 12 წმ-ში შესრულდება ბრუნვის კიდევ ერთი ციკლი და ა.შ. ცვლილების ამ ფორმას

ეწოდება პერიოდული. ცვლილების ერთი სრული ციკლის დროს პერიოდი (T) ეწოდება, პერიოდის შებრუნებულ სიდიდეს $\frac{1}{T} = f$ - სიხშირე. სინუსოიდური ფუნქციის (და ყველა ცვლადი სიდიდის) მნიშვნელობას დროის ადებულ მომენტში ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_{12}$) და ($b_1, b_2, b_3, \dots, b_{12}$) ეწოდება მყისი მნიშვნელობა. მყისი მნიშვნელობები ყოველთვის აღინიშნება პატარა ასოებით.

ერთეულთა SI სისტემაში დროის ერთეული წამი. ე.ი. პერიოდი იზომება წამებში; სიხშირის ერთეული იქნება $\frac{1}{წმ}$. ამ

ერთეულს ჰერცი ეწოდება. 1ჰც = $\frac{1}{წმ}$; 1 ჰც ისეთი სიხშირეა, როცა 1 წმ-ში სრულდება ერთი სრული ბრუნვა.

შევადართ ერთმანეთს ნახ. გ-ზე მოცემული გრაფიკები, რა არის საერთო ამ გრაფიკებში და რა დასკვნები შეიძლება გავაკეთოთ:

1) მბრუნავი ვექტორის გეგმილები როგორც ორდინატთა ღერძზე $a = c \sin \omega t$, ისე აბსცისთა ღერძზე $b = c \cos \omega t$ პარმონიული ფუნქციებია;

2) ერთი და იგივე ამპლიტუდის (c) და ერთი და იგივე სიხშირის (ω) სინუსოიდა (a) და კოსინუსოიდა (b) ერთი და იგივე გრაფიკებია იმ განსხვავებით, რომ კოსინუსოიდა 90° -ით წინ გასწრებული სინუსოიდისგან, ე.ი. $b = c \cos \omega t$ შეიძლება გადავწეროთ ასე: $b = c \sin(\omega t + 90^\circ)$;

3) თუ შევადარებთ ცხრილებს ორივე ამოცანაში ვნახავთ, რომ თუ ორი არგუმენტის ჯამი 90° -ია, მაშინ ერთის სინუსი, მეორის კოსინუსის ტოლია და პირიქით;

4) მახვილი კუთხის სინუსისა და კოსინუსის მაქსიმალური მნიშვნელობა 1-ის ტოლია, ორივე იცვლება $[(+1) \div (-1)]$ დიაპაზონში ;

5) ცხრილების შედარებით ვნახავთ, რომ α კუთხის გაზრდით $\sin \alpha$ იზრდება $\cos \alpha$ მცირდება ან პირიქით, α კუთხის შემცირებით $\sin \alpha$ მცირდება $\cos \alpha$ იზრდება.

ამოხსენით დამოუკიდებლად:

ამოცანა №3

განსაზღვრეთ $a = 42,3 \sin(157t - 30^\circ)$ კანონით ცვალებადი სინუსოიდური ფუნქციის ამპლიტუდა. კუთხური სიხშირე და საწყისი ფაზა. მოქმედი მნიშვნელობა. უჩვენეთ მათი განზომილება, გამოსახეთ ვექტორულად და ჩაწერეთ კომპლექსური რიცხვის სახით მაჩვენებლიან და ალგებრულ სახეში.

ამოცანა №4

განსაზღვრეთ $a_1 = A_{m_1} \sin\left(314t + \frac{\pi}{6}\right)$ და $a_2 = A_{m_2} \sin\left(314t - \frac{\pi}{3}\right)$

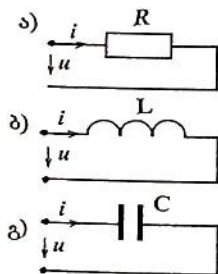
ორ სინუსოიდურ ფუნქციას შორის ფაზათა ძვრა ანალიზურად და გრაფიკულად.

თავი X

ელექტრომაგნიტური პროცესები RLC ელემენტებში და ბანუშტობა და ბანუშტობულ ელექტრულ წრეებში

ელექტრულ წრედებში განიხილება სამი სახის პასიური ელემენტი: რეზისტორი R წინააღობით (ნახ. ა), რომელშიც მიმდინარეობს შეუქცევადი პროცესი – ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება სითბურ ენერგიად; ინდუქციური კოჭა L ინდუქციურობით (ნახ. ბ), რომელსაც შეუძლია დააგროვოს მაგნიტური ველის ენერგია და კონდენსატორი C ტევადობით, რომელსაც შეუძლია დააგროვოს ელექტრული ველის ენერგია.

რეზისტორში ელექტრული ენერგიის სითბურ ენერგიად გარდაქმნის პროცესი განხილულია მუდმივი დენის წრედებში, ნაწილობრივ შევეხეთ მაგნიტურ მოვლენებს ინდუქციურ კოჭაში და კონდენსატორის სტატიკურ მუხტს. გარდა განხილულისა ამ ელემენტებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები გაცილებით რთულია და განვიხილოთ ჯერ ცალ – ცალკე თითოეულ მათგანში და შემდეგ მათი შეერთების სხვადასხვა კომბინაციებისათვის.



10.1. ელექტრომაგნიტური პროცესები რეზისტორში

ა) რეზისტორის ომური და აქტიური წინააღობები – ნებისმიერი გამტარი გარემო ხასიათდება წინააღობით და ლითონური გამტარებისათვის, განისაზღვრება მისი გეომეტრიული ზომებით $R = \rho \frac{l}{S}$; მუდმივი დენის დროს მუხტი გამტარის განიკვეთში განაწილებულია თანაბრად და წინააღობის ამ მნიშვნელობას გამტარის ომური წინააღობა ეწოდება.

ფიზიკის კურსში შეისწავლება ე.წ. ზედაპირული ეფექტი, რომლის თანახმადაც გამტარში ცვლადი დენის გატარების დროს მუხტის განაწილება მის განიკვეთში ერთნაირი არ არის და მუხტის კონცენტრაცია გამტარის ზედაპირისაკენ იმატებს. რაც მეტია დენის ცვლილების სიჩქარე ანუ სიხშირე,

ეფექტი მით უფრო შესამჩნევია. მაღალი სიხშირის დენი გამტარის კვეთის შუალედში არ გადის, მაშინ წინააღობის ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში N არ შედის მთლიანად და გამტარის წინააღობას ცვლადი დენის მიმართ მისი გეომეტრიული ზომებით ვერ გამოვთვლით. გამტარის წინააღობა ცვლადი დენის მიმართ განისაზღვრება მასში განვითარებული სიმძლავრის

მიხედვით: $R = \frac{P}{I^2}$, წინააღობის ამ მნიშვნელობას, ანუ რეზისტორის წინააღობას ცვლადი დენის მიმართ აქტიური წინააღობა ეწოდება.

პრაქტიკულად სიხშირის შედარებით დაბალ მნიშვნელობაზე ზედაპირული ეფექტი არ შეიმჩნევა და ომური და აქტიური წინააღობები ერთმანეთის ტოლია.

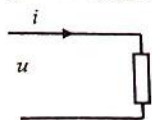
ომური და აქტიური წინააღობების ტოლობის დროს ელექტრომაგნიტური პროცესები რეზისტორში მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებში მიმდინარეობს სავსებით იდენტურად. ერთნაირად იწერება ომის, კირსპოფის და ჯოულ - ლენცის კანონები; ერთნაირია ექვივალენტური გარდაქმნის წესები მიმდევრობით, პარალელურად, ეარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთების დროს.

ბ) რეზისტორი ცვლადი დენის წრედში - ვთქვათ რეზისტორის ბოლოებზე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$. დროის ნებისმიერი მომენტისათვის ომის კანონით გვაქვს:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin(\omega t + \psi_u)}{R} = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t + \psi_u).$$

ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეფარდებული წინააღობასთან იქნება დენის მაქსიმუმი $I_m = \frac{U_m}{R}$ და მივიღებთ:

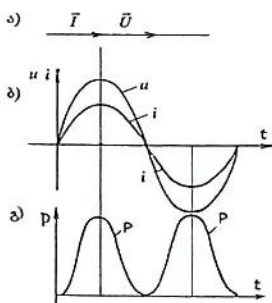
$i = I_m \sin(\omega t + \psi_u)$. შევადაროთ ერთმანეთს ძაბვისა და დენის გამოსახულებები. დავასკვნით:



თუ რეზისტორის ბოლოებზე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა, მასში აღიძვრება იმავე სიხშირის სინუსოიდური დენი. ძაბვისა და დენის საწყისი ფაზები ერთნაირია და ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის $\varphi = \psi_u - \psi_u = 0$.

ასეთ შემთხვევაში ვამბობთ, რომ ძაბვა და დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა. ამ მხრივ გვაქვს აქტიური სიმძლავრის კიდევ ერთი განმარტება:

წინააღმდეგობის იმ სახეს, სადაც ძაბვა და დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა, აქტიური წინააღმდეგობა ეწოდება.



თუ გავიხსენებთ სინუსოიდური ფუნქციების გრაფიკულად გამოსახვის წესებს, ვექტორულ და ტალღურ დიაგრამებს ექნებათ შესაბამისად (ნახ. ა) და (ნახ. ბ)-ზე გამოსახული სახე.

რაც შეეხება მყის სიმძლავრეს $p = ui$, იგი ძაბვისა და დენის როგორც დადებითი (პირველი ნახევარპერიოდი), ისე უარყოფითი მნიშვნელობებისათვის (მეორე ნახევარპერიოდი) დადებითია (ნახ. გ), რაც იმას

ნიშნავს, რომ რეზისტორი წრედიდან განუწყვეტლივ მოითხოვს ენერგიას. ეს ენერგია გარდაიქმნება სითბურ ენერგიად რეზისტორში და მექანიკურ ენერგიად ძრავებში.

აქტიური წინააღმდეგობა განიმარტება ენერგეტიკული თვალსაზრისითაც: წინააღმდეგობის იმ სახეს, რომელშიც ენერგია განუწყვეტლივ იხარჯება, აქტიური წინააღმდეგობა ეწოდება.

გამოთვლებით მიღებულია, რომ მყისი სიმძლავრის $p = ui = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \times I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ საშუალო მნიშვნელობა, ანუ აქტიური სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულებით:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U^2 G.$$

ეს ფორმულები ანალოგიურია სიმძლავრის გამოსათვლელი ფორმულებისა, რომელიც განვიხილეთ მუდმივი დენისათვის.

აღსანიშნავია და მეტად მნიშვნელოვანია ერთი გარემოება. აქტიურ წინააღმდეგობაზე ძაბვისა და დენის ვექტორები ერთნაირადაა მიმართული, ე.ი. ფაზათა ძვრა მათ შორის ნულის ტოლია, მაშინ ელექტროტექნიკის ყველა კანონი და ყველა დასკვნა, რომელიც განხილული იყო მუდმივი დენისათვის აქტიური წინააღმდეგობისათვის ცვლადი დენის წრედში სავსებით

ანალოგურია, როგორც მყისი, ისე ამპლიტუდური თუ მოქმედი მნიშვნელობებისათვის.

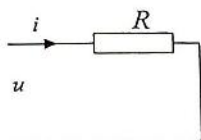
რაც შეეხება კომპლექსურ სახეში ანალიზს, ძაბვის კომპლექსური გამოსახვა იქნება $\dot{U} = Ue^{j\omega t}$; დენისა $\dot{I} = Ie^{j\omega t}$.

რეზისტორის კომპლექსური წინაღობა $Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} e^{j0} = R$ აქტიური წინაღობის ტოლია და შეიცავს კომპლექსური რიცხვის მხოლოდ ნამდვილ ნაწილს.

განვიხილოთ მაგალითი:

რეოსტატის ბოლოებზე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა $u = 8 \sin(500t + 40^\circ)$. ჩავწერთ აღძრული დენის მყისი მნიშვნელობა, პერიოდი; სიხშირე; გამოეთვალთ რეოსტატის მიერ მოთხოვნილი აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები, თუ რეოსტატი იდეალური ელემენტია და მისი აქტიური წინაღობა 10 ომის ტოლია.

ამოხსნა:



ძაბვა და დენი აქტიურ წინაღობაში ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა. ეს ნიშნავს რომ ძაბვისა და დენის საწყისი ფაზები ერთმანეთის ტოლია, ე.ი. $\psi_i = 40^\circ$. დენის ამპლიტუდა

გამოეთვალთ ომის კანონით $I_m = \frac{U_m}{R} = 0,8$

და დენის მყისი მნიშვნელობა ჩაიწერება ასე:

$$i = 0,8 \sin(500t + 40^\circ).$$

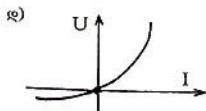
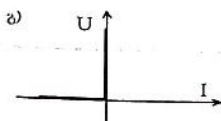
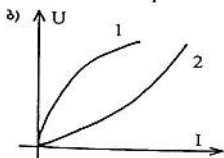
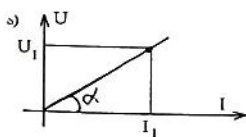
სიხშირე გამოეთვალთ სიხშირესა და კუთხურ სიხშირეს შორის დამოკიდებულებიდან : $\omega = 2\pi f$; $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{500}{6,28} = 79,6$ ჰც

$$\text{პერიოდი } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{79,6} = 0,0125 \text{ წმ};$$

$$\text{აქტიური სიმძლავრე } P = UI = \frac{8}{\sqrt{2}} \cdot \frac{0,8}{\sqrt{2}} = \frac{6,4}{2} = 3,2 \text{ ვტ.}$$

გ) რეზისტორის ვოლტ - ამპერული მახასიათებელი; წრფივი და არაწრფივი რეზისტორი - ელექტრული წრედების შემადგენელი ელემენტები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად. ესენია წრფივი და არაწრფივი ელემენტები. ელემენტს ეწოდება წრფივი თუ მისი ელექტრული პარამეტრი მუდმივი სიდიდეა და არ არის დამოკიდებული მასში გამავალი დენისა და მის ბოლოებზე მოდებული ძაბვის მნიშვნელობებზე. ასე მაგალითად, წრფივ რეზისტორზე განსაზღვრული სიდიდის ძაბვის მოდების შემდეგ, მასში გაივლის შესაბამისი სიდიდის დენი. ძაბვის გადიდებით დენიც პირდაპირპროპორციულად გადიდდება და ფარდობა $\frac{U}{I}$ ძაბვის ყველა

მნიშვნელობისათვის დარჩება მუდმივი. ეს მუდმივი წარმოადგენს ალბულის რეზისტორის ელექტრულ პარამეტრს, რომელ-



საც წინაღობა ეუწოდეთ. თუ ავაგებთ დამოკიდებულებას ძაბვასა და დენს შორის, მივიღებთ კოორდინატთა სათავეში გამავალ წრფეს (ნახ. ა). ამ წრფის აბსცისთა ღერძის დადებით მიმართულებასთან დახრის α კუთხის ტანგენსი ალბულის რეზისტორის წინაღობის ტოლია

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1}{I_1} = R = \text{const.} \quad U(I) \text{ წრფეს}$$

რეზისტორის ვოლტამპერული მახასიათებელი ეწოდება.

მკაცრი მსჯელობით რეზისტორის წინაღობა მუდმივი სიდიდე არ არის. იგი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და განისაზღვრება ფორმულით: $R_t = R_0(1 + \alpha t)$. ასე, რომ ერთი და იგივე რეზისტორის წინაღობა ტემპერატურის სხვადასხვა მნიშვნე-

ლობებზე განსხვავებულია. ამის გამო ძაბვასა და დენს შორის წრფივი დამოკიდებულება ირღვევა და ტემპერატურის ცვლილების დროს ვოლტამპერულ მახასიათებელს შეიძლება

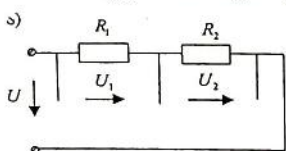
ჰქონდეს ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები 1 ან 2 მრუდის ფორმა. ისეთ ელემენტს, რომლის პარამეტრი მუდმივი არ არის და იცვლება, არაწრფივი ელემენტი ეწოდება.

არაწრფივი რეზისტორია დიოდი. იდეალური დიოდის წინააღმდეგობა დენის ერთი მიმართულებისათვის 0-ის ტოლია, საწინააღმდეგო მიმართულებისათვის – უსასრულოდ დიდი. ნახ. გ-ზე ნაჩვენებია იდეალური დიოდის ვოლტ – ამპერული მახასიათებელი. რეალური დიოდის გამტარი მიმართულებით წინააღმდეგობა ნულისაგან განსხვავებულია და არც გამტარი მიმართულებისათვისაა უსასრულოდ დიდი. მის ვოლტ – ამპერულ მახასიათებელს აქვს ნახ. დ-ზე ნაჩვენები სახე.

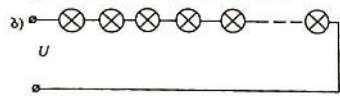
პრაქტიკაში გამოიყენება მრავალი სახის არაწრფივი რეზისტორი, ესენია: ტირიტის ელემენტები, რეზისტორები, რომელთა წინააღმდეგობა იცვლება მასზე დაცემული სინათლის ნაკადის ცვლილებით და სხვა.

დ) უმარტივესი რეზისტორული ელექტრული წრედები

მიმდევრობით შეერთებული წრედი ძაბვის გამყოფი – გამ-

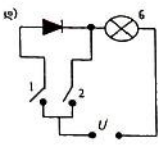
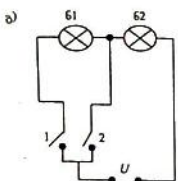


ტარტა მიმდევრობით შეერთებული წრედის განხილვის დროს აღვნიშნეთ, რომ წრედზე მოდებული ძაბვა ნაწილდება თითოეულ ელემენტზე მათი წინააღმდეგობის პრო-



პორციულად (ნახ.ა).

პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება ელექტრული წრე-



დი, სადაც მიმდევრობითაა შეერთებული რამდენიმე ტოლი წინააღმდეგობის ელემენტი, მაშინ ძაბვა თითოეულზე $\frac{U}{n}$ -ის ტოლია, სადაც n -

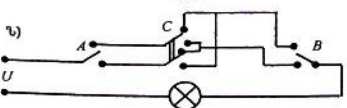
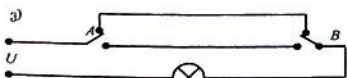
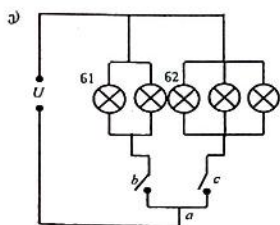
მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების რაოდენობაა. ასეთი წრედის უმარტივეს მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ საახალწლო გირლანდები. თუ თითოეული ნათურა გათვლილია 4 ვ ძაბვაზე და იგი უნდა

ჩვერთოთ 220 ვ ძაბვის წრედში, მაშინ მიმდევრობით უნდა შევეართოთ $\frac{220}{4} = 55$ ცალი ნათურა (ნახ. ბ).

მიმდევრობით შეერთებული წრედი გამოიყენება აგრეთვე სათავსოების გასანათებლად უწყვეტ რეჟიმში ენერჯის მცირე ხარჯებით.

ამ დროს შეიძლება ვისარგებლოთ ორგვარი სქემით: ნათურების მიმდევრობით შეერთებით (ნახ. გ.) ან ნახევარპერიოდული გამართვის სქემით (ნახ. დ.). ორივე შემთხვევაში მცირდება მუშა დენის სიდიდე, რაც დახარჯული ენერჯის ეკონომიურობას და ნათურის მუშაობის ხანგრძლივობის მნიშვნელოვნად გაზრდას უზრუნველყოფს.

ორივე სქემაზე გამოიყენება ჭადის ორმაგი ჩამრთველი. ჩამრთველის 1 ღილაკის ჩართვისას (ნახ. გ.), სქემაზე 61 და 62 ნათურები მიმდევრობით ჩაირთვება. წრედზე მოდებული U



ძაბვა მათზე ნაწილდება და ძაბვა თითოეულზე ნომინალურ ძაბვაზე ნაკლებია. ნათურები ანთია ნაკლები სიკაშკაშით, მაგრამ ნომინალურზე ნაკლებ ძაბვაზე არიან ჩართული და იზრდება მათი ექსპლუატაციის ვადა. ხოლო 2 ღილაკის ჩართვით 62 ნათურა აღმოჩნდება ნომინალურ U ძაბვაზე ჩართული და ექნება ნორმალური სიკაშკაშე, 61 ნათურა კი დაშუნტდება. ნახ. დ. სქემაზე ნათურის მიმდევრობით ჩართულია დიოდი და ნათურის წრედში

გადის წრედზე მოდებული ძაბვის ერთი ნახევარპერიოდი. ნათურაზე მოდებული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა ამ დროს $0,45 U$ -ს ტოლია.

როცა საჭიროა ნათურების ნორმალური სიკაშკაშე, მაშინ ჩაერთავთ 2 ღილაკს. ამ დროს დიოდი უნტდება და „ნ“ ნათურა ნომინალურ U ძაბვაზე აღმოჩნდება ჩართული.

პარალელურად ჩართული ორი ნათურის პროგრამული მართვა - ამ დროს გამოიყენება ორმაგი ჩამრთველი, სადაც ერთი მომჭერი (a) საერთოა (ნახ. ე); ab და ac ჩამრთველები ირთვება ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. 61 და 62 ნათურები შეიძლება იყოს თავის მხრივ, პარალელურად ჩართული რამდენიმე ნათურა. მაგალითად 5 სანთლიან 61-ში ჩაერთოთ ორი პარალელურად შეერთებული ნათურა; 62-ში კი სამი და გვექნება კომბინაცია - ჩართულია: 2, 3 ან 5 ნათურა.

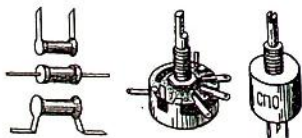
ერთი ნათურის მართვა ორი სხვადასხვა ადგილიდან (ნახ. ე) გამოიყენება ორი ცალი ორმაგი ჩამრთველი.

ერთი ნათურის მართვა სამი ადგილიდან ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად - ამ წრედში საჭიროა სამი ჩამრთველი, ერთ - ერთი ორმაგი (ნახ. ზ).

ე) რეზისტორთა ტიპები

რეზისტორი, თავისი დანიშნულების მიხედვით, მზადდება სხვადასხვა ტიპის, სხვადასხვა სიდიდის დენებზე და სხვადასხვა კონსტრუქციებით. რეზისტორები, რომელთა დასაშვები დენები ათეული მილიამპერებით განისაზღვრება, მზადდება ნიკელის, ნიქრომის ან სხვა შენადნობებისაგან დამზადებული მავთულისაგან და ეწოდებათ მავთულიანი რეზისტორები.

მცირე დენებზე გათვლილი დიდი წინაღობები მზადდება სხვადასხვა მეტალებისა და ნახშირბადის შენადნობებისაგან დამზადებული თხელი ფირფიტების სახით. ამ ტიპის რეზისტორები შეიძლება იყოს როგორც, მუდმივი, ისე ცვლადი წინაღობის.



რეზისტორის ელექტრული პარამეტრი - წინაღობა და ნომინალური სიმძლავრე მასზედ აწერია.

სურათებზე ნაჩვენებია МЛТ ტიპის (метализованные лакированные теплостойкие) რეზისტორები, რომლებიც პრაქტიკაში ყველაზე მეტად გავრცელებულია.

წინააღმდეგობა სიდიდეები - ერთეულოვანი ომები აღინიშნება E ასოთი, კილოომები K და მეგაომები M -ით.

თუ რეზისტორის ნომინალური წინააღმდეგობა მთელი რიცხვია, მაშინ ასოთი აღნიშვნა იწერება რიცხვის შემდეგ. მაგალითად, 33 E ეს არის 33 ომი; 47 K - 47 კილოომი და ა.შ.

თუ რეზისტორის წინააღმდეგობის მნიშვნელობა ათის ჯერადია, მაშინ ასოთი აღნიშვნა იწერება რიცხვის წინ: $E 22$ - 220 ომი; $K 47$ - 470 კომი. როცა რეზისტორის წინააღმდეგობა ათწილადითაა გამოსახული მთელი იწერება ასოს წინ, ათწილადი ნაწილი მის შემდეგ. 1 $E 5$ - 1,5 ომი; 2 $K 2$ - 2,2 კომი; 1 $M 5$ - 1,5 მომი.

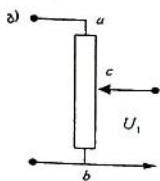
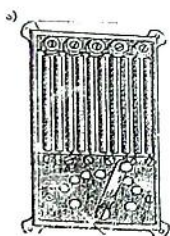
ნომინალური წინააღმდეგობიდან გადახრა გამოისახება პროცენტობით. მაგალითად, 100 კომი ± 10 , ეს ნიშნავს, რომ მისი წინააღმდეგობა შეიძლება იყოს (90 - 110) კომის ფარგლებში.

არამავთულიანი ცველადი წინააღმდეგობის რეზისტორებიდან ცნობილი $СП$ (сопротивление переменное) $СПО$ (сопротивление переменное отъемное) მისი ნომინალური მნიშვნელობებია 47 ომის ზემოთ ± 20 , ± 25 , $\pm 30\%$ დასაშვები გადახრებით.

ზემოთ აღწერილი რეზისტორების გამოყენების არე რადიოტექნიკური წრედებია.

ძალურ ელექტროტექნიკაში, სადაც დიდ დენებთანა გვაქვს საქმე, ძირითადად გამოიყენება მავთულიანი რეზისტორები, რომლებიც სხვადასხვა კონსტრუქციებითაა შესრულებული.

მავთულიან რეზისტორს, რომელზეც შეიძლება ეცვალოს წინააღმდეგობა, რეოსტატი ეწოდება. უმარტივეს შემთხვევაში იგი წარმოადგენს სითბომდგრად არაგამტარ მასალისაგან დამზადებულ ცილინდრული ფორმის გულარაზე დახვეულ მაღალი წინააღმდეგობის გამტარს (ნახ.ბ), რომლის ერთ-ერთ მსახველზე სახელურის საშუალებით სრიალებს



ცოცია. წინაღობის შერჩევა ხდება ცოციას გადაადგილებით რეოსტატის სადენის მთელ დიაპაზონში.

საყურადღებოა რეოსტატის ჩართვა როგორც ძაბვის მარეგულირებელი მოწყობილობა. თუ რეოსტატის ab კიდურა მომჭერებზე მოვდებთ U ძაბვას და რეოსტატის წინაღობას წარმოვიდგენთ, როგორც მიმდევრობით შეერთებულ წინაღობებს, მაშინ U ძაბვა მიმდევრობით შეერთებულ ac და bc წინაღობებზე გადანაწილდება და საერთო ჯამში c ცოციას გადაადგილებით bc მომჭერებზე შეიძლება მივიღოთ მდოერედ ცვლადი U_1 ძაბვა ($0 - U$) დიაპაზონში (ნახ. გ).

რეოსტატის ამ წესით ჩართვას პოტენციომეტრი ეწოდება. პოტენციომეტრით შეიძლება ვცვალოთ როგორც მუდმივი ისე ცვლადი ძაბვა.

10.2. ელექტრომაგნიტური პროცესი იდეალურ ინდუქციურ კოჭაში

გაცილებით რთულია ელექტრომაგნიტური პროცესები ცვლადი დენის წრედებში ინდუქციურ კოჭაში ვიდრე რეზისტორში. ეს განპირობებულია თვითინდუქციისა და ურთიერთინდუქციის მოვლენებით, რომლებიც ჩვენ დავახასიათეთ და განვსაზღვრეთ ინდუქციური კოჭის ელექტრული პარამეტრი – თვითინდუქციის კოეფიციენტი, ანუ კოჭის ინდუქციურობა L . როგორც დატვირთვის ერთ – ერთი სახე, ინდუქციური კოჭაც უნდა დავახასიათოთ წინაღობით. ინდუქციური კოჭის წინაღობა რეზისტორის წინაღობასთან შედარებით პრინციპულად განსხვავებული სიდიდეა. მასში ენერგია არ იხარჯება და ახასიათებს იმ რეაქციას, რომელსაც განიცდის კოჭაში გამავალი დენი თვითინდუქციის ემძით აღძრული დენისაგან. (ლენცის წესი) წინაღობის იმ სახეს, რომელშიც ენერგია არ იხარჯება, რეაქტიული წინაღობა ეწოდება.

თუ გავაანალიზებთ წინა პარაგრაფში განხილულ მასალას, სადაც აღვწერეთ, რომ რეზისტორში ენერგია იხარჯება და ძაბვა და დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა, ლოგიკურია ვიფიქროთ:

1) რამდენადაც ინდუქციურ კოჭაში ენერგია არ იხარჯება, ძაბვა და დენიც ფაზით ერთმანეთს არ უნდა დაემთხვეს; 2)

თუ წრედში ჩართული კოჭა წრედიდან მოთხოვნილ ენერგიას არ ხარჯავს - მაშინ აგროვებს; 3) ენერგიის დაგროვება ცხადია უწყვეტლივ არ გაგრძელდება - ე.ი. აბრუნებს უკან.

ლოგიკურ დასკვნებს მიეცეთ მტკიცება.

ვთქვათ იდეალურ კოჭაში (ნახ. ა) გადის სინუსოიდური დენი, რომლის საწყისი ფაზა სიმარტივისათვის მივიღოთ ნულის ტოლად, ე.ი. $i = I_m \sin \omega t$. თვითინდუქციის მოვლენის თანახმად, ამ დენის ცვლადი ნაკადი აღძრავს თვითინდუქციის

ემძ-ს, რომელიც ელმაგნიტური ინდუქციის კანონით $e = -L \frac{di}{dt}$.

თვითინდუქციის ემძ-ს აკომპენსირებს წრედზე მოდებული ძაბვა u , რომელიც კირხჰოფის II კანონით $u_L = -(-e_L) = L \frac{di}{dt}$; ე.ი.

ძაბვა და დენი ინდუქციურ წინაღობაზე დამოკიდებულია შემდეგნაირად $u = L \frac{di}{dt}$.

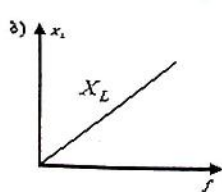
დენის მნიშვნელობის შეტანით გვექ-

ნება: $u_L = L \frac{di}{dt} I_m \sin \omega t$. ამ მათემატიკური

ოპერაციის შესრულებით და მარტივი მა-

თემატიკური გარდაქმნით მივიღებთ: $u_L = \omega L \cdot I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$.

ამ გამოსახულებაში I_m - დენის ამპლიტუდაა და იზო-

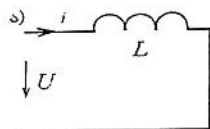


მება ამპერებში; $\sin(\omega t + 90^\circ)$ გამოსახულება სინუსის განმარტების თანახმად

$\left(\sin \alpha = \frac{a}{c} \right)$ განზომილება არა აქვს; მარ-

ცხენა მხარეში კი გვაქვს ძაბვა და მისი განზომილებაა ვოლტი, მაშინ ωL სიდიდეს უნდა ჰქონდეს წინაღობის განზომილება. იგი აღინიშნება X_L ასოთი და კოჭის ინდუქციური წინაღობა ეწოდება.

$X_L = \omega L = 2\pi f L$. ინდუქციური კოჭის წინაღობა სიხშირის პირდაპირპროპორციულია (ნახ. ბ).

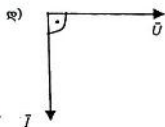
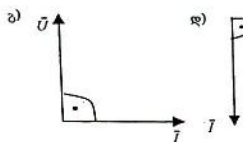


თუ ωL წინაღობაა და I_m დენი, მაშინ $I_m \cdot \omega L = U_m$ და გვექნება: $u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$.

შევადართ ერთმანეთს გამოსახულებები:

$$i = I_m \sin \omega t; \quad u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ).$$

ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს

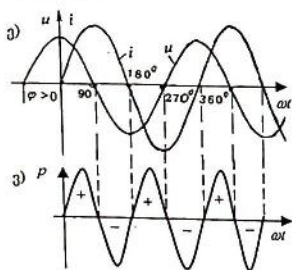


შორის $\varphi = \psi_u - \psi_i = 90^\circ - 0 = 90^\circ$.

თუ ძაბვასა და დენს ვექტორებით გამოვსახავთ გვექნება:

ასე, რომ შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნები: თუ ინდუქციურ კოჭაში გადის სინუსოიდური დენი, ძაბვა მის მომჭერებზე იმავე სიხშირის სინუსოიდური ფუნქციაა და გასწრებულია დენისაგან 90° -ით (ნახ. გ), ანუ რაც იგივეა დენი ჩამორჩება ძაბვას 90° -ით (ნახ. დ). ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის $\varphi = +90^\circ$.

ნახ ე-ზე ნაჩვენებია ძაბვისა და დენის ტალღური დიაგრამები.



პრინციპულად განსხვავებულია ენერგეტიკული პროცესი კოჭაში ვიდრე რეზისტორში. ინდუქციური კოჭა დენის ზრდის პროცესში აგროვებს მაგნიტური ველის ენერგიას. იგი ამ ენერგიას მოითხოვს წრედიდან, რაც იმას ნიშნავს, რომ მყისი სიმძლავრე დროის ამ შუალედში დადებითია (ნახ.ვ). დენის კლუ-

ბის პროცესში კოჭა გასცემს ენერგიას; ამ დროში მყისი სიმძლავრე უარყოფითია და ა.შ. იგივე მეორდება დენის ცვლილების მესამე და მეოთხე მეოთხედპერიოდებში და შემდეგ.

ასე, რომ მყისი სიმძლავრე ინდუქციურ კოჭაში ირხევა ორმაგი კუთხური სიხშირით და მისი საშუალო მნიშვნელობა ანუ აქტიური სიმძლავრე პერიოდის განმავლობაში, ნულის ტოლია.

როგორც ვიცით მყისი სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა პერიოდის განმავლობაში წრედიდან მოთხოვნილი და-

ხარჯული ენერჯის განმსაზღვრელია და მას აქტიური სიმძლავრე ეწოდება. ინდუქციურობაში იგი უდრის 0-ს.

ე.ი. იდეალური ინდუქციურობის ცვლადი დენის წრედში ჩართვის დროს წრედიდან მოთხოვნილი ენერჯის ხარჯვას არა აქვს ადგილი. კოჭა პერიოდულად მოითხოვს ენერჯიას წრედიდან და აბრუნებს წრედში იგივე რაოდენობით.

ენერჯიების გაცვლა - გამოცვლის ინტენსივობა კოჭასა და წრედს შორის ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც რეაქტიული სიმძლავრე ეწოდება. იგი აღინიშნება Q ასოთი და იდეალური კოჭის შემთხვევაში $Q = UI$; რეაქტიული სიმძლავრის საზომი ერთეულია ვარი (ვოლტ - ამპერ რეაქტიული).

კომპლექსური წინაღობა - მივიღეთ, რომ $i = I_m \sin \omega t$, $u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ გადავიდეთ ძაბვისა და დენის კომპლექსურ გამოსახვებზე: $\dot{I} = I e^{j0^\circ} = I$; $\dot{U} = U e^{j90^\circ}$; კომპლექსური წინაღობა $\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} e^{j90^\circ} = X_L e^{j90^\circ} = X_L (\cos 90^\circ + j \sin 90^\circ) = jX_L$,

ე.ი. იდეალური კოჭას კომპლექსური წინაღობა კომპლექსური რიცხვის წარმოსახვითი ნაწილია და $jX_L = j\omega L$ - ის ტოლია.

განვიხილოთ მაგალითი.

ამოცანა №1

ინდუქციური კოჭის თვითინდუქციის კოეფიციენტია 16 მჰნ; განვსაზღვროთ ამ ელემენტის წინაღობა 50 ჰც სიხშირეზე.
ამოხსნა

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 5 \text{ ომი}$$

ამოცანა №2

ინდუქციური კოჭის თვითინდუქციის კოეფიციენტი 0,02 პენრის ტოლია. მის ბოლოებზე მოდებულია $u = 8 \sin(500t + 40^\circ)$ სინუსოიდური ძაბვა, ჩაწერეთ აღძრული დენის მყისი მნიშვნელობა, პერიოდი, სიხშირე. გამოთვალეთ აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები.

ამოხსნა

ძაბვის გამოსახულებიდან ჩანს, რომ $\omega = 500$ რად/წმ, მაშინ ინდუქციური კოჭის წინაღობა იქნება $X_L = \omega L = 500 \cdot 0,02 = 10$

ომი. ინდუქციურ წინაღობაზე ძაბვა წინ გასწრებულია დენისაგან 90° . ე.ი. $\varphi = 90^\circ$ ძერის კუთხის განმარტებიდან $\varphi = \psi_U - \psi_i$. გამოდის $\psi_i = \psi_U - \varphi = 40 - 90 = -50^\circ$. დენის ამ-

პლიტუდა განვსაზღვროთ ომის კანონით $I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{8}{10} = 0,8$ ა

და გვექნება: $i = 0,8 \sin(500t - 50^\circ)$. აღძრული დენის სიხშირე

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{500}{6,28} = 79,6 \text{ ჰც};$$

$$\text{პერიოდი } T = \frac{1}{f} = 0,0126 \text{ წმ};$$

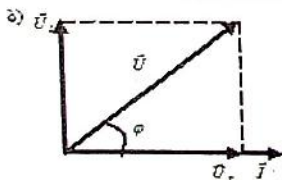
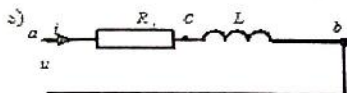
მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე $P = 0$;

$$\text{რეაქტიული სიმძლავრე } Q = I^2 X_L = \frac{0,64}{2} \cdot 10 = 3,2 \text{ ვარი};$$

$$\text{სრული სიმძლავრე } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = Q = 3,2 \text{ ვა.}$$

10.3. ელექტრომაგნიტური პროცესი რეალურ კოჭაში

ზემოთ განვიხილეთ იდეალური კოჭა, რომელიც ხასიათდებოდა მხოლოდ L ინდუქციურობით. პრაქტიკულად ინდუქციური კოჭას გრაგნილის მნიშვნელოვანი სიგრძე და

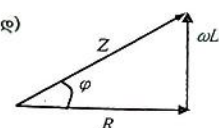
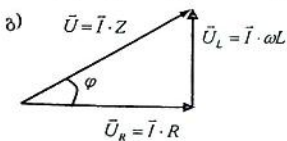


სადენის საკმაოდ მცირე განიკვეთი ხშირ შემთხვევაში არ გვაძლევს საშუალებას მხედველობაში არ მივიღოთ გრაგნილის აქტიური წინაღობა R . ამ შემთხვევაში ინდუქციურ კოჭას განვიხილავთ როგორც იდეალური

R რეზისტორისა და იდეალური L ინდუქციურობის მიმდევრობით შეერთებულ წრედს (ნახ. ა). კოჭის აქტიური წინაღობა და ინდუქციურობა კოჭის მთელ სიგრძეზეა განაწილებული და c წერტილი წარმოსახვითია. ab მომჭერებით კოჭი ირთვება ელექტრულ წრედში.

კირხჰოფის II კანონით ძაბვების ვექტორული მნიშვნელობებისათვის გვექნება:

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L = \vec{I} \cdot \vec{R} + \vec{I} \cdot \omega L.$$
 ამ განტოლებით ავაგოთ წრედის ვექტორული დიაგრამა. მიმდევრობით შეერთებულ წრედში ყველა ელემენტისათვის საერთოა დენი. ამიტომ მიზანშეწონილია საწყის ვექტორად ავირჩიოთ დენის ვექტორი \vec{I} . მივცეთ მას ჰორიზონტალური მიმართულება. ძაბვა აქტიურ წინააღობაზე \vec{U}_R ფაზით ემთხვევა დენს. ე.ი. \vec{U}_R ვექტორი გაველოთ \vec{I} ვექტორის გასწვრივ, ძაბვა ინდუქციურობაზე წინ გასწვრებულია დენისაგან 90° -ით. გაველოთ \vec{U}_L ვექტორი \vec{I} ვექტორის მართობულად დადებითი მიმართულებით. შევკრიბოთ \vec{U}_R და \vec{U}_L ვექტორები ვექტორთა შეკრების პარალელგრამის წესით და მივიღებთ წრედზე მოდებულ \vec{U} ძაბვის ვექტორს. ამოვხაზოთ ძაბვათა ეს ვექტორები ცალკე (ნახ. გ), რომელსაც ძაბვათა სამკუთხედი ეწოდება.



ძაბვათა სამკუთხედიდან პითაგორას თეორემით შეიძლება გამოვთვალოთ წრედზე მოდებული ძაბვის სიდიდე $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$.

ა) ძაბვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები - წრედზე მოდებული ძაბვა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ორი მდგენელის ჯამი, რომელთაგან ერთი U_R ფაზით ემთხვევა დენს, ხოლო მეორე U_L წინ გასწვრებულია დენისაგან 90° -ით. ელექტროტექნიკაში მიღებული განმარტებით ძაბვის იმ მდგენელს, რომელიც ფაზით ემთხვევა დენს, ეწოდება აქტიური მდგენელი, ხოლო მეორეს, რომელიც დაძრულია დენისაგან 90° -ით - რეაქტიული, ე.ი. $U_R = U_s$ და $U_L = U_p$, მაშინ $U = \sqrt{U_s^2 + U_p^2}$.

ძაბვათა სამკუთხედიდან შეიძლება განვსაზღვროთ ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის. მართკუთხა სამ-

კუთხედში მახვილი კუთხის ტანგენსის განმარტების თანახმად გვექნება: $tg\varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{U_{\phi}}{U_s}$, საიდანაც $\varphi = \arctg \frac{U_L}{U_R} = \arctg \frac{U_{\phi}}{U_s}$.

თუ გავიხსენებთ მართკუთხა სამკუთხედში მახვილი კუთხის სინუსისა და კოსინუსის განმარტებებს, დაბვათა სამკუთხედიდან მივიღებთ აგრეთვე: $\sin\varphi = \frac{U_L}{U}$; $\cos\varphi = \frac{U_R}{U}$ და განვსაზღვროთ ძაბვის აქტიური და რეაქტიული მდგენელები: $U_s = U_R = U \cos\varphi$; $U_{\phi} = U_L = U \sin\varphi$.

ბ) სრული წინაღობა - დაბვათა სამკუთხედის ყველა გვერდი გავყოთ I -ზე. მივიღებთ მის მსგავს სამკუთხედს (ნახ. დ), რომელსაც წინაღობათა სამკუთხედი ეწოდება. ამ სამკუთხედიდან განისაზღვრება წრედის სრული წინაღობის საანგარიშო ფორმულა $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$. როგორც ჩანს, ცელადი დენის მიმდევრობით შეერთებულ წრედში განხილულის ანალოგიურად: $Z \neq R + \omega L$; ძაბვის მდგენელების განმარტების ანალოგიურად, სრული წინაღობის $R, \omega L$ მდგენელებს შესაბამისად აქტიური და რეაქტიული წინაღობები ეწოდება.

როგორც ყველა აქტიური წინაღობა, კოჭას აქტიური წინაღობა განსაზღვრავს კოჭაში ენერგიის ხარჯვას, ხოლო რეაქტიული წინაღობა ωL - თვითინდუქციის ნაკადის რეაქციას ძირითადი დენის ნაკადზე. წინაღობათა სამკუთხედიდან მიიღება შემდეგი პარამეტრების საანგარიშო ფორმულები:

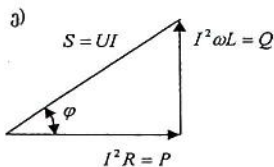
ძვრის კუთხის - $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$; წინაღობის აქტიური

მდგენელის - $R = \sqrt{Z^2 - (\omega L)^2} = Z \cos\varphi$ და წინაღობის რეაქტიული მდგენელის - $X_L = \omega L = \sqrt{Z^2 - R^2} = Z \sin\varphi$.

კოჭის აქტიური, რეაქტიული და სრული წინაღობები იზომება ომებში და სრული წინაღობის გათვალისწინებით სამართლიანია ომის კანონი ძაბვისა და დენის ამპლიტუდური

და მოქმედი მნიშვნელობებისათვის: $I_m = \frac{U_m}{Z}$ და $I = \frac{U}{Z}$.

გ) სიმძლავრე - წინაღობის სამკუთხედის ყველა გვერდი



გაემარავლოთ I^2 -ზე. მივიღებთ მის მსგავს სამკუთხედს (ნახ. ე), რომელსაც სიმძლავრეთა სამკუთხედი ეწოდება. ამ სამკუთხედის ერთი კათეტი $I^2 R = P$ კოჭაში განვითარებული აქტიური სიმძლავრეა;

მეორე კათეტი $I^2 \omega L = Q$ რეაქტიული სიმძლავრეა, ხოლო ჰიპოტენუზა $ZI^2 = UI$ - სრული სიმძლავრე. კოჭის აქტიური სიმძლავრე კოჭაში ენერგიის ხარჯვის დამახასიათებელი სიდიდეა და მისი ერთეულია ვატი (ვტ) რეაქტიული სიმძლავრე განსაზღვრავს ენერგიის წრედთან გაცვლის უნარს და იზომება ვარებში [ვოლტ - ამპერ - რეაქტიული (ვარ)]; $S = UI$ სრული სიმძლავრე, სიმძლავრის ის მნიშვნელობაა, რომელიც შეიძლება განვითარდეს ინდუქციურ კოჭაში და მას ზოგადად მოჩვენებითი სიმძლავრეც ეწოდება. სრული სიმძლავრის ერთეულია ვოლტ - ამპერი (ვა).

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $IR = U_R = U \cos \varphi$ და $IX = U_L = U \sin \varphi$, მივიღებთ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების საანგარიშო ფორმულებს: $P = UI \cos \varphi$ და $Q = UI \sin \varphi$. სრული სიმძლავრე $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

განვიხილოთ მაგალითი.

მიმდევრობით შეერთებული RL წრედის აქტიური და რეაქტიული წინაღობები ერთმანეთის ტოლია და უდრის 40 ომს. წრედში გადის $i = 10 \sin(\omega t - 60^\circ)$ დენი.

ჩაწვროთ ძაბვის მყისი მნიშვნელობები აქტიურ წინაღობაზე და ინდუქციურობაზე. ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა, გამოვთვალოთ აქტიური რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები.

ამოხსნა

(შეავსეთ გამოტოვებული სიტყვები) განვსაზღვროთ წრედის -----

$$z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1600 + 1600} = 56,57$$

-----ის კანონით განესაზღვროთ წრედზე მოდებული
 ძაბვის -----

$$U_m = I_m z = 10 \cdot 56,57 = 565,73 \text{ ვ}$$

-----ის განმარტებიდან $\varphi = \psi_u - \psi_i$, განესაზღვროთ -----

$$\psi_u = \varphi + \psi_i \text{ სადაც } \varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg(1) = +45^\circ, \text{ მაშინ}$$

$$\psi_U = \text{-----}$$

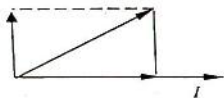
$$u = 565,7 \sin(\omega t - \dots)$$

ძაბვის ამპლიტუდა ----- წინაღობაზე

$$U_{mR} = I_m \cdot R = 10 \cdot 40 = 400 \text{ ვ}$$

ძაბვა აქტიურ წინაღობაზე ფაზით ემთხვევა -----
 ამიტომ მისი საწყისი ფაზა დენის ----- ტოლია და გვექნება

$$u_R = 400 \sin(\omega t - \dots)$$



ანალოგიურად გამოვთვალოთ U_{mL} და ψ_{uL}

ვექტორული დიაგრამის ასაგებად საწყისი
 ვექტორად ავირჩიოთ დენის ვექტორი.

შევირჩიოთ ძაბვების მასშტაბი. ავავოთ მასშტაბში
 U_R და U_L ვექტორები.

შევასრულოთ ვექტორული ტოლობა $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L$ გამოვ-
 თვალოთ წრედზე მოდებული ძაბვის ამპლიტუდა და საწყისი
 ფაზა. ნახაზზე ნაჩვენებია ვექტორული დიაგრამა. ვექტორების
 დასახელებები ნაჩვენებია არ არის. მასშტაბი დაცული არ
 არის. აგება აწარმოეთ მასშტაბში ნაჩვენებების მიხედვით.

წრედში განვითარებული აქტიური სიმძლავრე

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = ;$$

რეაქტიული სიმძლავრე

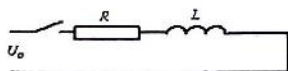
$$Q = UI \sin \varphi = I^2 X_L = ;$$

სრული სიმძლავრე

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = .$$

10.4. მაგნიტურ ველის ენერგია

ზემოთ აღნიშნეთ, რომ ინდუქციურ კოჭას გააჩნია



უნარი დააგროვოს მაგნიტური ველის ენერგია. ამ ენერგიის დაგროვების პროცესი განვიხილოთ იმ წრედისათვის, რომელზეც

გავეცანით თვითინდუქციის მოვლენას. (§8.7)-ში ნაჩვენები ნათურა შეეცვალოთ R წინაღობით და სქემა წარმოვადგინოთ ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სახით. წრედი ჩართულია მუდმივ ძაბვაზე და მასში უნდა დამყარდეს მუდმივი დენი, მაგრამ დენის დამყარებულ მნიშვნელობამდე იგი გარკვეულ დროში მზარდია და კირხჰოფის II კანონით დავწერთ:

$$u = iR - e_L = iR - \left(-L \frac{di}{dt} \right) = iR + L \frac{di}{dt}.$$

ამ გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ წრედზე მოდებული ძაბვა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორი შესაკრების ალგებრული ჯამი: iR ძაბვა აქტიურ წინააღობაზე და $L \frac{di}{dt}$, რომელიც აწონასწორებს თვითინდუქციის ემძ-ს სიდიდეს იდეალური კოჭის ბოლოებზე.

ბოლო განტოლების ორივე მხარე გავამრავლოთ idt სიდიდეს, გვექნება: $Uidt = i^2 Rdt + Lidi$.

ამ განტოლების მარცხენა მხარეში გამოისახება ენერგია, რომელიც წრედს მიეწოდება წყაროდან dt დროის შუალედში. მარჯვენა მხარის ერთ - ერთი შესაკრები $i^2 Rdt$, გამოსახავს ამავე დროში დახარჯულ ენერგიას, მაშინ ენერგიის შენახვის კანონის თანახმად შეიძლება ვთქვათ, რომ მეორე შესაკრები ენერგიის ის ნაწილია, რომელიც გროვდება კოჭის მაგნიტურ ველში. ეს ენერგია მიიღება იმ მუშაობის ხარჯზე, რომელსაც წყარო ხარჯავს თვითინდუქციის ემძ-ის გადასალახავად.

დროის განსახილველ $(0 \div t_1)$ შუალედში დაგროვილი ენერგიის მთლიანი მნიშვნელობა უნდა განვიხილოთ, როგორც დროის უსასრულოდ მცირე მონაკვეთებში დაგროვილი ენერ-

გიების ჯამი, რაც მათემატიკურად იწერება ასე: $\int_0^{t_1} Lidi$; L

მუდმივი სიდიდეა, გამოდის ინტეგრალის გარეთ და გვექნება:

$$W_a = L \int_0^l i di. \text{ მათემატიკის კურსიდან ცნობილია } \int_0^l i di = \frac{i^2}{2} \text{ და}$$

საბოლოოდ დავწერთ: $W_a = \frac{Li^2}{2}$; დენის დამყარებული მნიშვნელობისათვის გვექნება :

$$W_a = \frac{LI^2}{2}$$

ეს ფორმულა გამოსახავს L ინდუქციურობის კოჭაში დაგროვილი მაგნიტური ენერჯიის სიდიდეს, როცა მასში გადის I დენი. როგორც ბოლო გამოსახულებიდან ჩანს კოჭის ინდუქციურობა ახასიათებს ამ კოჭის მიერ ენერჯიის დაგროვების უნარს.

კოჭაში დენის ზრდის დროს e თვითინდუქციის ემმ მიმართულია დენის შემხვედრად, ე.ი. ამ დროს კოჭა აგროვებს ენერჯიას, ხოლო დენის შემცირებისას e მიმართულია დენის მიმართულებით – ამ დროს კოჭა გასცემს ენერჯიას.

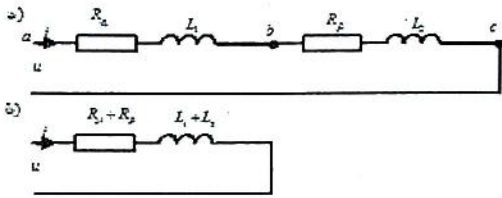
ცვლადი დენის წრედებში კოჭაში გამავალი დენი იზრდება და მცირდება, ე.ი. კოჭა აგროვებს და გასცემს ენერჯიას. აღვნიშნეთ, რომ ინდუქციურ კოჭაში ენერჯიის ხარჯვა არ ხდება. ადრე ენერჯიის ხარჯვა ელემენტში დავახასიათეთ აქტიური სიმძლავრით. მაშასადამე, კოჭაში განვითარებული აქტიური სიმძლავრე ნულის ტოლია და გამოდის, რომ ინდუქციური კოჭის ენერგეტიკული მახასიათებელია მის მიერ მაგნიტური ველის ენერჯიის დაგროვება გაცემის ინტენსივობა. ეს ინტენსივობა განისაზღვრება რეაქტიული სიმძლავრით.

10.5. ცვლადი დენის წრედი კოჭების მიმდევრობით შეერთების დროს

მიმდევრობით შევაერთოთ ორი კოჭა R_{k1L}, L_1 და R_{k2L}, L_2 პარამეტრებით.

ნახ. ა-ზე R_{k1L} განაწილებულია პირველ კოჭაში, R_{k2} - მეორეში. მიმდევრობით შეერთებული ერთმანეთზე გადაბმული ორი კოჭა შეიძლება წარმოვიდგინოთ ერთი ეკვივალენტური

კოჭით (ნახ. ბ), რომლის პარამეტრებია: $R_{\Sigma} = R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2}$ და $L = L_1 + L_2$. ამ უკანასკნელიდან გამომდინარეობს: $\omega L = \omega L_1 + \omega L_2$, ანუ $X_L = X_{L1} + X_{L2}$; მიღებული ტოლობები ანალოგიურია მუდმივი დენის მიმდევრობით შეერთებული წრედის კანონისა, ე.ი. მიმდევრობით შეერთებულ ცვლადი დენის წრედში იკრიბება ერთსახელა წინაღობები: ექვივალენტური აქტიური წინაღობა ცალკეული ელემენტების აქტიური წინაღობების ჯამის ტოლია, ხოლო ექვივალენტური რეაქტიული წინაღობა - ცალკეული ელემენტების რეაქტიული წინაღობების ჯამისა: $R = R_1 + R_2$ და $X_L = X_{L1} + X_{L2}$; რაც შეეხება ექვივალენტურ სრულ წინაღობას $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, ეს წინაღობა $Z \neq Z_1 + Z_2$. ეს დასკვნა სამართლიანია ნებისმიერი რაოდენობის კოჭებისათვის:



$$R = \sum_{K=1}^n R_K; \quad X_L = \sum_{K=1}^n X_{L_K}; \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

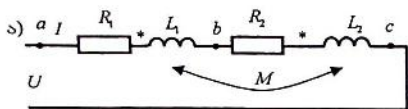
(\sum სიმბოლოთი აღინიშნება ჯამი, სადაც შესაკრებთა რიცხვი n რაოდენობისაა, R_K ჯამის K -ური რიგის წევრი).

10.6. კოჭების მიმდევრობით შეერთებული წრედი ინდუქციური კავშირის დროს

თუ ორ კოჭას ტერიტორიულად ისე ახლოს განვალაგებთ, რომ ერთში დენის არსებობის დროს აღძრული მაგნიტური ნაკადი განჭოლავს მეორეს და პირიქით, ვამბობთ, რომ მათ შორის არსებობს ინდუქციური კავშირი.

ელექტრომაგნიტური პროცესები მიმდევრობით შეერთებულ ინდუქციურად დაკავშირებულ წრედებში განიხილება იმის ანალოგიურად, როცა არ არსებობდა ინდუქციური კავშირი, მაგრამ გვაქვს ერთი „მოჩვენებითი“ მოვლენა, რომელსაც ღრმა

თეორიული ანალიზით არ შეეხებოდა და განვიხილავთ მარტივად, ვექტორული დიაგრამის საშუალებით.



ა) მიმდევრობით შეერთებული წრედი თანხვედრილი კავშირის

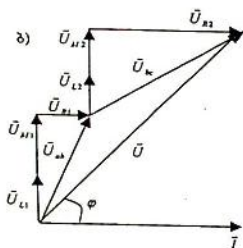
დროს (ნახ.ა) - თანხვედრილი კავშირის დროს თვითინდუქციის და ურთიერთინდუქციის ნაკადები მიმართულებით ერთმანეთს ემთხვევა და დაბვა თითოეულ კოჭის მომჭერსე ჩაიწერება სამი მდგენელის ჯამის სახით:

$$U_{ab} = iR_1 + L_1 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt};$$

$$U_{bc} = iR_2 + L_2 \frac{di}{dt} + M \frac{di}{dt},$$

სოლო წრედზე მოდებული დაბვა $U = U_{ab} + U_{bc}$.

ნაკადები ერთმანეთს ემთხვევიან ანუ თანხვედრილი კავშირის დროს დაბვის ეს მდგენელები აიღებიან დადებითი ნიშნით.



წრედის განტოლება გადავწერთ ვექტორულ სახეში და ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა.

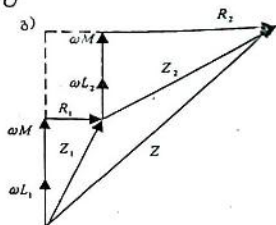
$\vec{U} = \vec{U}_{R1} + \vec{U}_{L1} + \vec{U}_{M1} + \vec{U}_{R2} + \vec{U}_{L2} + \vec{U}_{M2}$
შესაკრებთა ადგილის გადანაცვლებით ჯამი არ იცვლება და ვექტორული დიაგრამა ავაგოთ შემდეგი თანმიმდევრობით

$$\vec{U}_{L1} + \vec{U}_{M1} + \vec{U}_{R1} + \vec{U}_{L2} + \vec{U}_{M2} + \vec{U}_{R2} = \vec{U}$$

მივიღებთ მრავალგვერდს (ნახ.ბ).

დაბვათა

ამ ტოლობის პირველი სამი წევრის ვექტორული ჯამი გამოსახავს პირველი კოჭის ბოლოებზე მოდებულ \vec{U}_{ab} დაბვას,

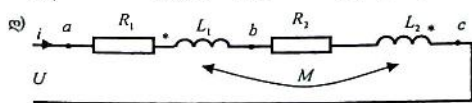


ხოლო მეორე სამი წევრის ჯამი შეესაბამება მეორე კოჭის ბოლოებზე მოდებული \vec{U}_{bc} ძაბვას; $\vec{U}_{ab} + \vec{U}_{bc} = \vec{U}$ წრედზე მოდებული ძაბვის ვექტორია. თუ ძაბვათა მრავალგვერდის ყველა გვერდს I - ზე გავყოფთ, მივიღებთ წინააღმართა მრავალგვერდს (ნახ. გ), საიდანაც წრედის ექვივალენტური Z წინააღმართი შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (\omega L_1 + \omega M + \omega L_2 + \omega M)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}, \text{ სადაც}$$

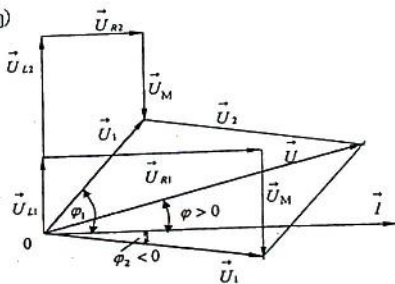
$R = R_1 + R_2$ ჯამური აქტიური წინააღმართია, ხოლო $X = \omega L_1 + \omega M + \omega L_2 + \omega M$ წრედის ჯამური რეაქტიული წინააღმართია. ბოლო გამოსახულებიდან დავწერთ: $X = \omega(L_1 + L_2 + 2M)$, საიდანაც იანგარიშება წრედის ექვივალენტური ინდუქციურობა $L = L_1 + L_2 + 2M$.

ბ) მიმდევრობით შეერთებული წრედი შემხვედრი კავშირის დროს (ნახ. დ) - ამ შემთხვევაში თვითინდუქციის და ურთიერთინდუქციის ნაკადები საწინააღმდეგო მიმართულებებისაა, ძაბვები თითოეული კოჭის ბოლოებზე სამი მდგენელის ჯამით გამოისახება, მაგრამ $M \frac{di}{dt}$ აიღება უარყოფითი ნიშ-



ნით, რაც იმას ნიშნავს, რომ ვექტორულ დიაგრამაზე \vec{U}_M ვექტორი მიმართულია \vec{U}_L ვექტორის საწინააღმდეგოდ (ნახ. ე).

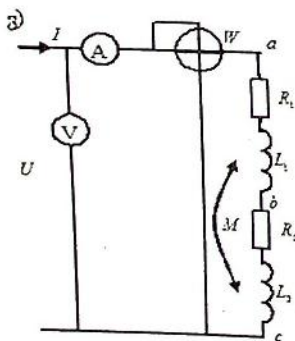
შეიძლება წრედის პარამეტრები შეირჩეს ისე, რომ რომელიმე კოჭის ინდუქციური წინააღმართი ωL ნაკლები აღმოჩნდეს ურთიერთინდუქციური ωM წინააღ-



ბაზე, მაშინ შესაბამისი \vec{U}_M ვექტორის მოდული გადაამეტებს \vec{U}_L ვექტორის მოდულს და აღმოჩნდება, რომ კოჭის ბოლოებზე მიღებული ძაბვა ჩამორჩება დენს გარკვეული კუთხით, რაც აქტიურ ტევადური ხასიათის წრედისათვისაა დამახასიათებელი. (ჩვენს შემთხვევაში $\omega M > \omega L_1$). ამ მოვლენას მოჩვენებითი ტევადობა ეწოდება. სინამდვილეში არავითარ ტევადურ ეფექტთან საქმე არა გვაქვს. აღნიშნული საკითხი ამჟამად ავტორის (თ.მ.) კვლევის სფეროა და მას მიეძღვნა სპეციალური სამეცნიერო სტატია (ჟურნ. საქართველოს საინჟინრო სიახლეები, №1, 2004 წ. გვ.126 – 130), სადაც მტკიცდება, რომ მოჩვენებითი ტევადობა განპირობებულია ინდუქციურად დაკავშირებული წრედების არასწორი მათემატიკური მოდელირებით, ვინაიდან ძაბვა ინდუქციურობაზე ყოველთვის წინ გასწრებულია დენისაგან და ასევე წრედზე მოდებული ჯამური ვექტორი ყოველთვის წინ გასწრებულია დენისაგან. წრედი ყოველთვის ატარებს აქტიურ – ინდუქციურ ხასიათს. უკიდურეს შემთხვევაში შეიძლება რომ წრედი გახდეს აქტიური ხასიათის, მაგრამ არასდროს აქტიურ – ტევადური.

რაც შეეხება წრედის ექვივალენტურ პარამეტრებს, თანხვედრილი კავშირის დროს განხილულის ანალოგიური მსჯელობით, შემხვედრი კავშირის დროს მივიღებთ:

$$R = R_1 + R_2 \text{ და } L'' = L_1 + L_2 - 2M.$$



ბ) ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტის განსაზღვრის გზები - ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი შეიძლება განისაზღვროს ექსპერიმენტალურად ერთ - ერთი ხერხია მიმდევრობით შეერთებული კოჭების გამოკვლევა თანხვედრილი და შემხვედრი კავშირის დროს (ნახ. ვ)

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ მიმდევრობით შეერთების დროს თანხვედრილი და შემხვედრი კავ-

შირების დროს იცვლება წრედის ექვივალენტური ინდუქციურობა და მაშასადამე ინდუქციური წინაღობაც.

ხელსაწყოების ჩვენებით განისაზღვრება U, I, P სიდიდეები და გამოვთვლით წრედის აქტიურ და რეაქტიულ წინაღობებს ორივე შემთხვევაში:

$$R_{\text{აქ}} = \frac{P}{I^2}; \quad Z = \frac{U}{I}; \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

განესაზღვრავთ რეაქტიულ წინაღობებს თანხვედრილი და შემხვედრი კავშირების დროს, რომელიც თავის მხრივ განისაზღვრება ექვივალენტური ინდუქციურობით

$$X_{\text{Tანx}} = \omega(L_1 + L_2 + 2M);$$

$$X_{\text{Semx}} = \omega(L_1 + L_2 - 2M);$$

$$X_{\text{Tანx}} - X_{\text{Semx}} = 4\omega M, \quad \text{აქედან } MM = \frac{X_{\text{Tანx}} - X_{\text{Semx}}}{4\omega}.$$

მეორე ხერხი - ჩავრთოთ ერთი კოჭა სინუსოიდური დენის წრედში, გავზომოთ I პირველ კოჭში გამავალი დენის

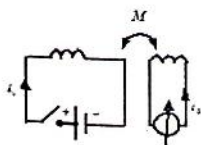
სიდიდე და ძაბვა U_2 მეორე კოჭის ბოლოებზე (ნახ.ზ). ამ ძაბვის მყისი მნიშვნელობა

$$u_2 = M \frac{di_1}{dt}, \quad \text{ხოლო მოქმედი}$$

$$\text{მნიშვნელობა } U_2 = \omega MI_1,$$

$$\text{საიდანაც } M = \frac{U_2}{\omega I} = \frac{U_2}{2\pi f I}.$$

ღ) ერთსახელა მომჭერების დადგენის წესი - ერთსახელა



მომჭერები შეიძლება დავადგინოთ ექსპერიმენტით, ამისათვის გვეჭირდება მუდმივი დენის წყარო (აკუმულატორი) და გაღვანომეტრი სკალის შუაზე ნულოვანი დანაყოფით. ასეთ გაღვანომეტრში დენის მიმართულების მიხედვით ისარი გადაიხრება ან მარჯვნივ ან მარცხნივ. ჩამრთველის ჩართვა - გამორთვით აღიძვრება ცვლადი ნაკადი, რომელიც დააინდუქციურებს ემპს

მეორე კოჭის ბოლოებზე. აკუმულატორის (+),(-) პოლუსების მიხედვით განისაზღვრება i_1 დენის მიმართულება, ხოლო გაღვანომეტრის ისრის გადახრის მიმართულებით i_2 დენის მიმართულება. დენების ერთნაირი მიმართულების დროს ორივე კოჭაში დენები გადის ერთსახელა მომჭერების მიმართულებით.

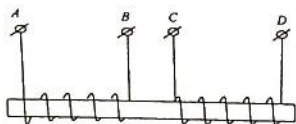
ამოცანები დამოუკიდებლად სავარჯიშოდ
ამოცანა №1

როგორ შეიცვლება ორი კოჭას ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი, თუ ერთ-ერთ მათგანში დენს n -ჯერ გავზრდით.

ამოცანა №2

როგორ შეიცვლება ორი კოჭას ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი, თუ ორივე კოჭის ხვიების რიცხვს n -ჯერ შევამცირებთ.

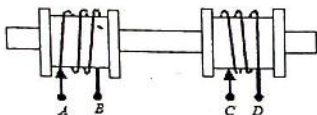
ამოცანა №3



განვსაზღვროთ ორი კოჭას ერთსახელა მომჭერები, თუ ისინი დახვეულია ისე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები.

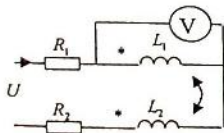
ამოცანა №4

განვსაზღვროთ ნახაზზე ნაჩვენები ორი კოჭას ერთსახელა მომჭერები;



ამოცანა №5

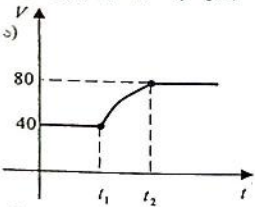
ორი ინდუქციურად დაკავშირებული კოჭა შეერთებულია მიმდევრობით და შემხვედრად. $X_1 = \omega M$; ვოლტმეტრი უჩვენებს 138 ვ; განვსაზღვროთ ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა R_1 -ზე.



10.7. ინდუქციური კოჭა მუდმივი დენის წრედში

ა) ცნება გარდამავალი პროცესის შესახებ - ინდუქციური კოჭა მუდმივი დენის წრედში პრაქტიკულად თითქმის არ გამოიყენება, მაგრამ ამ პროცესის ანალიზით გავეცნობით წრედის მუშაობის ერთ - ერთ მნიშვნელოვან პროცესს, რომელსაც გარდამავალი პროცესი ეწოდება.

გარდამავალ პროცესზე წარმოდგენა რომ გვექონდეს, მოვიყვანოთ ასეთი მარტივი ამოცანა მექანიკიდან: რამდენ კმ-ს გაივლიდა ავტომობილი, თუ იგი ნახევარი საათის განმავლობაში მოძრაობდა 40 კმ/სთ სიჩქარით, შემდეგ გაზარდა სიჩქარე 80 კმ/სთ-მდე და ამ სიჩქარით იმოძრავა 1,5 სთ. პასუხი თითქოს მარტივია - $S = Vt$ ფორმულიდან გამომდინარე პირველ ეტაპზე მან გაიარა $S_1 = 40 \cdot 0,5 = 20$ კმ; მეორე ეტაპზე $S_2 = 80 \cdot 1,5 = 120$ კმ. სულ გაიარა $S = S_1 + S_2 = 20 + 120 = 140$ კმ. პრაქტიკულად ეს ამოცანა ასეც ამოიხსნება, მაგრამ პასუხი ზუსტი არ არის, იმიტომ, რომ სიჩქარის გაზრდას დასჭირდა გარკვეული დრო და მხედველობაში არ მივიღეთ ის მანძილი, რომელიც მან გაიარა ($t_1 + t_2$) დროის შუალედში. სიჩქარის ზრდის პროცესს ვუწოდოთ გარდამავალი პროცესი, ხოლო ავტომობილის მოძრაობის პროცესს t_1 მომენტამდე და t_2 -ის შემდეგ დამყარებული რეჟიმი (ნახ.ა).



სიჩქარის გაზრდას რომ დრო სჭირდება გამომდინარეობს ფიზიკის ერთი ძირითადი დებულებიდან: ნებისმიერი სახის ენერგია არ შეიძლება მყისიერად შეიცვალოს. განხილულ მაგალითში მყისიერად არ შეიძლება შეიცვალოს კინეტიკური ენერგია

$\left(\frac{mV^2}{2}\right)$. ასევე მყისიერად არ შეიძლება შეიცვალოს სითბური ენერგია - ე.ი. სხეულის გაცხელებას ან გაცივებას სჭირდება გარკვეული დრო და ა.შ.

ენერგია რომ არ შეიძლება შეიცვალოს მყისიერად შეიძლება ვაჩვენოთ მათემატიკურად. ენერგია ზოგადად განისაზღვრება სიმძლავრისა და დროის ნამრავლით: $W = Pt$. აქედან

$P = \frac{W}{t}$. თუ ამ გამოსახულებაში ჩავსვამთ $t = 0$, მივიღებთ:

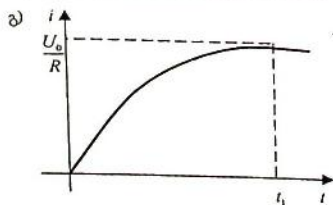
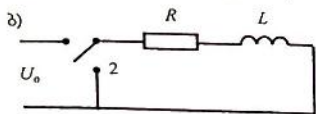
$P = \frac{W}{t} = \infty$, ე.ი. სიმძლავრის მყისიერად უსასრულოდ გაზრდას

სჭირდება უსასრულოდ დიდი ენერგიის მქონე წყარო. ასეთი წყარო კი არ არსებობს და მაშასადამე ენერგიის ცვლილებას სჭირდება გარკვეული ($t \neq 0$) დრო.

ზემოთ თქმული შევეუსაბამოთ ელექტრულ წრედებს. ვიცით, რომ ინდუქციური კოჭა აგროვებს მაგნიტური ველის ენერგიას $\left(\frac{LI^2}{2}\right)$, ხოლო კონდენსატორი - ელექტრული ველის

ენერგიას $\left(\frac{CU^2}{2}\right)$. თუ ელექტრულ წრედებში ჩართული გვაქვს

ინდუქციური კოჭა, ან კონდენსატორი, ან ორივე ერთად ნებისმიერი კომბინაციის დროს: წრედის ჩართვისას, გამორთვისას ან პარამეტრების ცვლილებისას ადგილი ექნება დენის და ძაბვების ცვლილებას და ენერგიების გადაანაწილებას კოჭასა და კონდენსატორში დასჭირდება გარკვეული დრო. ამ დროში მიმდინარე პროცესს გარდამავალი პროცესი ეწოდება. გარდამავალი პროცესის დამთავრების შემდეგ წრედი გადადის მუშაობის დამყარებულ რეჟიმში და გარდამავალი პროცესი შეიძლება განემარტოს ასე: წრედის მუშაობის პროცესს ერთი დამყარებული რეჟიმიდან მეორე დამყარებულ რეჟიმში გადასვლის დროს გარდამავალი პროცესი ეწოდება.



ბ) RL წრედის ჩართვა მუდმივ ძაბვაზე - ეს პროცესი განხილული გვექონდა თვითინდუქციის მოვლენის შესწავლისას (§8.7) და აღენიშნეთ, რომ ინდუქციური კოჭის მიმდევრობით ჩართული ნათურა აკაშკაშდება არა მყისიერად, არამედ გარკვეული დროის შემდეგ. რატომ დასჭირდა ნათურის ბო-

ლომდე აკაშკაშებას დრო, ანუ რატომ არ დამყარდა წრედში დენი მყისიერად $\frac{U_0}{R}$ სიდიდემდე? განვიხილოთ ეს მოვლენა ენერგეტიკული თვალსაზრისით. ჩართვამდე წრედში დენი არ გადის (ნახ. ბ) და მაშასადამე მაგნიტური ველის ენერგია ცნულის ტოლია. წრედის ჩართვის შემდეგ (ჩამართველი 1 მდგომარეობაში) კოჭა იწყებს მაგნიტური ველის ენერგიის დაგროვებას და როცა დენი მიაღწევს თავის დამყარებულ მნიშვნელობას $I = \frac{U_0}{R}$ (ნახ.გ), მაშინ კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია

იქნება მაქსიმალური $\left(\frac{LI^2}{2} \right)$; ენერგიის დაგროვების დროის

$(0 \div t_1)$ შუალედში დენი წრედში ზრდადია და კოჭა აგროვებს ენერგიას; თუ ენერგიის დაგროვების შემდეგ ჩამართველს მე-2 მდგომარეობაში გადაერთავთ, კოჭის მაგნიტური ველის ენერგია R წინაღობაზე გამოიყოფა სითბოს სახით.

ისმის კითხვა: რამდენ ხანს გრძელდება ელექტრულ წრედში გარდამავალი რეჟიმი, ანუ დასმულ ამოცანაში – რა დროში დააგროვებს ინდუქციური კოჭა ენერგიის სრულ მარაგს? წრედის მათემატიკური ანალიზით მტკიცდება, რომ

ამისათვის საჭიროა $(4 \div 5)\tau$ დრო, სადაც $\tau = \frac{R}{L}$ სიდიდეს

წრედის დროის მუდმივა ეწოდება და როგორც მისი გამოსახულებიდან ჩანს, იგი წრედის RL , პარამეტრებით განისაზღვრება. თუ აღებულ გამოსახულებაში წინაღობას გაეზომავთ ომებში, ინდუქციურობას ჰენრებში, მაშინ τ გაიზომება წამებში. τ დროში დენი იზრდება ≈ 3 -ჯერ.

პრაქტიკულად ელექტრულ წრედებში გარდამავალი პროცესი დროის მეტად ხანმოკლე შუალედში გრძელდება და ხშირად წამის მეათასედი და მემილიონედი ნაწილებით განისაზღვრება, მაგრამ ზოგიერთი ელტექნიკური დანადგარის მუშა პროცესი გარდამავალ პროცესში მიმდინარე პროცესია.

10.8. ელექტრომაგნიტური პროცესები იდეალურ

კონდენსატორში

დაუბრუნდეთ კონდენსატორში დენის გატარების მექანიზმს. როგორც აღვნიშნეთ კონდენსატორი წარმოადგენს ორ პარალელურ ფირფიტას, რომელთა შორის მოთავსებულია დიელექტრიკი. ჩვეულებრივ მდგომარეობაში დიელექტრიკის დიპოლები ქაოსურ მოძრაობას ასრულებენ და დენის ფორმასთან საქმე არა გვაქვს. თუ კონდენსატორის შემონაფენებზე მოვდებთ მუდმივი ძაბვის წყაროს, მაშინ ერთზე გაჩნდება (+) პოტენციალი, მეორეზე (-) პოტენციალი და დიელექტრიკში შექმნილი ელექტრული ველის გავლენით დიპოლები ორიენტირდებიან, ანუ დაიწყებენ მიმართულ მოძრაობას, რაც იმას ნიშნავს, რომ აღიძვრება დენი. ყველა დიპოლის სრული ორიენტაციის შემდეგ მათი მოძრაობა და მაშასადამე დენიც შეწყდება.

კონდენსატორი მუდმივ დენს არ ატარებს.

შევეცვალოთ კონდენსატორის მომჭერებზე პოტენციალთა ნიშნები. დიპოლები მობრუნდებიან 180° -ით და ა.შ. და ბოლოს თუ კონდენსატორის მომჭერებზე მოვდებთ ცვლად ძაბვას, რაც იმას ნიშნავს, რომ პერიოდულად იცვლება მის შემონაფენებზე (+), (-) პოტენციალები, კონდენსატორში აღიძვრება დენი.

კონდენსატორი ცვლად დენს ატარებს.

ადვილი წარმოსადგენია, რომ რაც სწრაფია კონდენსატორის შემონაფენებზე პოტენციალთა ნიშნების ცვლილების სიჩქარე, მით მეტი იქნება ადრული დენის სიდიდე, ე.ი. დენი კონდენსატორში მასზე მოდებული ძაბვის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია, რაც მათემატიკურად იწერება ასე:

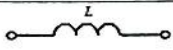
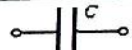
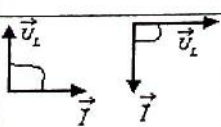
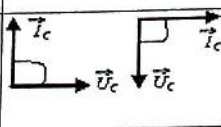
$i = C \frac{du}{dt}$, ანუ დენი კონდენსატორში ძაბვის წარმოებულის

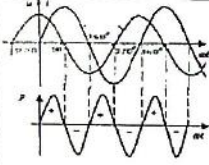
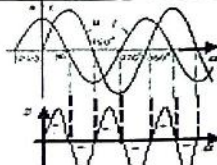
პირდაპირპროპორციულია. პროპორციულობის C კოეფიციენტს კონდენსატორის ტევადობა ეწოდება.

შევადართოთ ერთმანეთს დამოკიდებულებები ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობებისათვის კოჭაზე და კონდენსატორზე: კოჭისათვის გვაქვს $u_L = L \frac{di}{dt}$, კონდენსატორისათვის -

$i_c = C \frac{du_c}{dt}$, როგორც ამ გამოსახულებებიდან ჩანს, ძაბვა

კოჭაზე და დენი კონდენსატორში ერთნაირად განისაზღვრება. აქედან გამომდინარე, ერთი და იგივე მათემატიკური აპარატით, კონდენსატორისთვისაც გავაკეთებთ ისეთივე დასკვნებს როგორც გეკონდა კოჭის შემთხვევაში. ეს დასკვნები მოვიყვანოთ ცხრილის სახით, სადაც ერთ მხარეს ვუჩვენოთ უკვე გამოყვანილი დამოკიდებულებები კოჭისათვის და მათ გასწვრივ ანალოგიური დამოკიდებულებები კონდენსატორისათვის.

დამოკიდებულებები		
ცნობილად ჩავთვალოთ	დენი $i = I_m \sin \omega t$	$u = U_m \sin \omega t$
გვაქვს	$u_L = L \frac{di}{dt}$	$i_c = C \frac{du_c}{dt}$
მათემატიკური გარდაქმნებით მივიღებთ:	$u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ)$	$i_c = I_{cm} \sin(\omega t + 90^\circ)$
ე.ი. 90° -ით წინ გასწვრივია	ძაბვა დენზე	დენი ძაბვაზე
ანუ 90° -ით ჩამორჩება	დენი ძაბვას	ძაბვა დენს
ენერგიის ხარჯვა არცერთში ხდება, ისინი ელემენტებია და აგროვებს	მაგნიტური ენერგიას $W_{\text{მ}} = \frac{LI^2}{2}$	ელექტრული ენერგიას $W_{\text{ელ}} = \frac{CU^2}{2}$
ორივეს რეაქტიული ხასიათისაა და განისაზღვრება	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
ვექტორული დიაგრამა		
ძვრის კუთხე ძაბვა-	$(+90^\circ)$	(-90°)

სა და დენს შორის φ		
ენერგიას აგროვებს:	დენის ზრდის პროცესში	ძაბვის ზრდის პროცესში
გასცემს:	დენის შემცირების პროცესში	ძაბვის შემცირების პროცესში
რეაქტიულ ელემენტებში $P = 0$, ხოლო რეაქტიული სიმძლავრე ტოლია	$Q = UI$	$Q = IU$
ძაბვის, დენის და სიმძლავრის თაღლურ დიაგრამებს აქვთ სახე:		

კონდენსატორის კომპლექსური წინაღობა. მივიღოთ $u = U_m \sin \omega t$ და $i = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ გადავიდეთ ძაბვისა და დენის კომპლექსურ გამოსახვებზე:

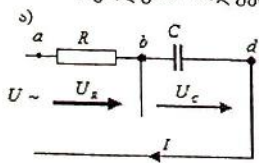
$$\dot{U} = U e^{j0^\circ} = U; \quad \dot{I} = I e^{j90^\circ}$$

კომპლექსური წინაღობა

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} e^{-j90^\circ} = X_c e^{-j90^\circ} = X_c (\cos 90^\circ - j \sin 90^\circ) = -jX_c = -j \frac{1}{\omega C}$$

10.9. ელექტრომაგნიტური პროცესი რეალურ კონდენსატორში

რეალური ინდუქციური კოჭის ანალოგიურად რეალური კონდენსატორსაც ახასიათებს მცირე, მაგრამ ნულისაგან განსხვავებული აქტიური წინაღობა და მასაც ელექტრულ სქემებზე წარმოვადგენთ როგორც მიმდევრობით შეერთებულ იდეალურ R რეზისტორს და იდეალურ C კონდენსატორს (ნახ. ა). ტევადობა და აქტიური



წინაღობა მთელ კონდენსატორზეა განაწილებული და b წერტილი წარმოსახვითია. ad მომჭერებით კონდენსატორი ირთება ელექტრულ წრედში.

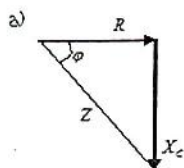
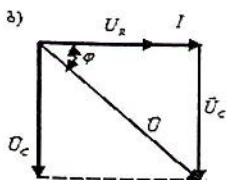
კირხჰოფის II კანონით ძაბვების ვექტორული მნიშვნელობებისათვის დაეწერთ: $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_C = \overline{IR} + I \cdot \frac{1}{\omega C}$, რომლის საფუძველზეც ავაგებთ ვექტორულ დიაგრამას (ნახ. ბ). ამ დიაგრამაზე გამუქებულ სამკუთხედს ძაბვათა სამკუთხედი ეწოდება, საიდანაც $U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$. ისე, როგორც R, L წრედში, ძაბვა აქაც შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორი მდგენელის ჯამი, რომელთაგან U_R -ს ეწოდება აქტიური მდგენელი და U_C -ს - რეაქტიული; მაშინ $U = \sqrt{U_s^2 + U_l^2}$. თუ ძაბვათა სამკუთხედს ყველა გვერდს I -ზე გავყოფთ, მივიღებთ მისსავე მსგავს სამკუთხედს (ნახ. გ), რომელსაც წინაღობათა სამკუთხედი ეწოდება. ამ სამკუთხედებიდან გამომდინარეობს საანგარიშო ფორმულები:

$$1) \text{ ძვრის კუთხის } - \varphi = \arctg \frac{U_C}{U_R} = \arctg \frac{U_l}{U_s} = \arctg \frac{1}{\omega C R};$$

$$2) \text{ წრედის საერთო წინაღობის } - Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2};$$

$$3) \text{ ძაბვისა და წინაღობის აქტიური და რეაქტიული მდგენელების } - U_s = U_R = U \cos \varphi; \quad U_l = U_C = U \sin \varphi;$$

$$R = Z \cos \varphi; \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = Z \sin \varphi.$$

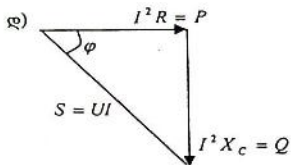


კონდენსატორის აქტიური, რეაქტიული და სრული წინაღობებიც იზომება ომებში. სრული წინაღობის გათვალისწინებით სამართლიანია ომის

კანონი ძაბვისა და დენის ამპლიტუდური და მოქმედი მნიშვნელობებისათვის:

$$I_m = \frac{U_m}{Z}; I = \frac{U}{Z}$$

რაც შეეხება ენერგეტიკულ პროცესს რეალურ კონდენსატორშიც განიხილება სიმძლავრის სამი სახე: აქტიური, რეაქტიული და სრული. თუ წინააღმართა სამკუთხედის ყველა გვერდს I^2 -ზე გავამრავლებთ მივიღებთ სიმძლავრეთა სამკუთხედს, საიდანაც $P = I^2 R$ [ვარ]; $Q = I^2 X_c$ [ვარ]; $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ [ვარ].



თუ გავითვალისწინებთ, რომ

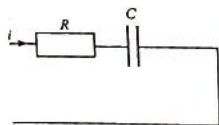
$IR = U_R = U \cos \varphi$ და $IX = U_C = U \sin \varphi$, მივიღებთ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების საანგარიშო ფორმულებს:

$$P = UI \cos \varphi \text{ და } Q = UI \sin \varphi.$$

განვიხილოთ მაგალითი:

380 ვ და 50 ჰც სიხშირის ძაბვაზე უნდა ჩაირთოს ვარვარების ძაფიანი ნათურა, რომლის ნომინალური ძაბვა 220 ვ-ია და მოთხოვნილი აქტიური სიმძლავრე 150 ვტ. ამ მიზნით ნათურის მიმდევრობით ჩართულია კონდენსატორი. განვსაზღვროთ კონდენსატორის ტევადობა.

ამოხსნა:



ელექტრულ წრედს ექნება ნახაზზე ნაჩვენები სახე, სადაც $U = 380$ ვ და $U_R = 220$ ვ ნათურის ნომინალური პარამეტრებით $P = 150$ და $U = 220$ ვ. განვსაზღვროთ ნომინალური

დენის მნიშვნელობა:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{150}{220} = 0,68 \text{ ა}$$

ეს დენი, რომ აღიძრას წრედში 380 ვ ძაბვის დროს სრული წინააღმართა უნდა იყოს $Z = \frac{U}{I} = \frac{380}{0,68} = 558,8$ ომი, მეორეს

მხრივ $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$; R განესაზღვროთ ნათურის ნომინალური პარამეტრებიდან:

$$P = I^2 R \text{ აქედან } R = \frac{P}{I^2} = \frac{150}{0,68^2} = 324 \text{ ომი, მაშინ}$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{558,8^2 - 324^2} = 455 \text{ ომი;}$$

კონდენსატორის წინაღობა $X_C = \frac{1}{\omega C}$, საიდანაც

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 455} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ ფ} = 7 \mu\text{ფ.}$$

10.10. კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი

კონდენსატორის დამუხტვის პროცესს შეიძლება დავაკვირდეთ მისი მუდმივი ძაბვის წრედში ჩართვით (ნახ. ა). კონდენსატორი მუდმივ დენს არ ატარებს და ამპერმეტრის ჩვენება ნული უნდა იყოს, ეს ასეც არის, მაგრამ ჩართვის პროცესში

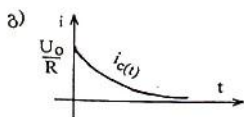
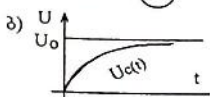
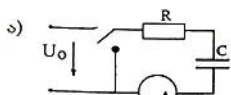
ამპერმეტრი მყისიერად უჩვენებს $\frac{U_0}{R}$ მნიშვნელობას და შემდეგ მდოვრედ მიიღევა 0-მდე (ნახ. გ). დენის მიღევის ამ პროცესში კონდენსატორი იმუხტება U_0 ძაბვამდე (ნახ. ბ). ამ

დროს იგი აგროვებს ელექტრული ველის ენერგიას $\frac{CU^2}{2}$.

ენერგიის დაგროვებას სჭირდება გარკვეული დრო. RC

წრედში მიმდინარე პროცესს დროის $(0 \div t_1)$ შუალედში ეწოდება გარდამავალი პროცესი. კონდენსატორის დამუხტვის შემდეგ წრედი გადადის დამყარებულ რეჟიმში.

ახლა თუ დამუხტულ კონდენსატორს R წინაღობაზე გადავმუხტავთ (ჩამრთველი 2 მდგომარეობაში) დროის იმავე $(0 \div t_1)$ შუალედში ძაბვა კონდენსატორის მომჭერებზე შემცირდება ნულამდე. ამ დროს გან-

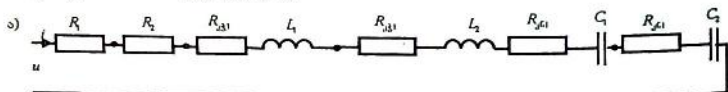


მუხტვის დენს აქვს დამუხტვის დენის საწინააღმდეგო მიმართულება. ელექტრული ველის ენერგია გამოიყოფა R წინაღობაზე სითბოს სახით.

რაც შეეხება კონდენსატორის დამუხტვის ხანგრძლივობას, იგი გრძელდება $(4 \div 5)\tau$ განმავლობაში, სადაც $\tau = RC$ წრედის დროის მუდმივაა და განისაზღვრება წრედის RC პარამეტრებით. თუ R -ს გავზომავთ ომებში, C -ს კი ფარადებში, მაშინ τ -ს ერთეული იქნება წამი. τ დროში ძაბვა კონდენსატორის მომჭერებზე დაახლოებით 3-ჯერ იზრდება. $(4 \div 5)\tau$ დროში გრძელდება კონდენსატორის განმუხტვა.

10.11. ცვლადი დენის მიმდევრობით შეერთებული წრედის ზოგადი შემთხვევა

ავიღოთ მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორი, ორი რეალური კოჭა და ორი რეალური კონდენსატორი (ნახ.ა). წრედი გავაანალიზოთ გრაფიკული მეთოდით, ანუ ვექტორული დიაგრამის საფუძველზე.



წრედის განტოლებას ვექტორულ სახეში ექნება სახე:

$$\bar{U} = \bar{U}_{R1} + \bar{U}_{R2} + \bar{U}_{R3} + \bar{U}_{L1} + \bar{U}_{R4} + \bar{U}_{L2} + \bar{U}_{R5} + \bar{U}_{C1} + \bar{U}_{R6} + \bar{U}_{C2}$$

თითოეულის მოდული იანგარიშება ფორმულებით: $U_R = IR$,

$$U_L = I\omega L \text{ და } U_C = I \cdot \frac{1}{\omega C};$$

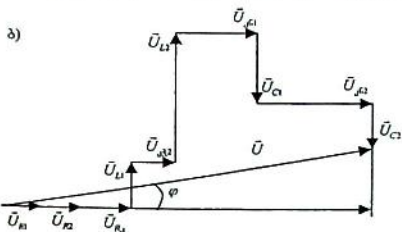
შევირჩიოთ ძაბვის მასშტაბი Mu ,

საწყის ვექტორად ავიღოთ დენის ვექტორი და ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა.

ჩამკეტი ვექტორი წრეზე მოდებული ძაბვის ვექტორია და $U = IZ$, სადაც Z მთელი წრედის სრული წინააღობაა. φ ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის (ნახ. ბ).

თუ ამ დიაგრამის ყველა ვექტორს IR , $I\omega L$ და $I \frac{1}{\omega C}$ ნამრავლებით შევცვლით და შემდეგ ყველა მათგანს I -ზე

გაეყოფთ, მივიღებთ წინააღმდეგობათა მრავალკუთხედს, სადაც გამუქებული სამკუთხედიდან გეექნება:



$$R = R_1 + R_2 + R_{\text{კ1}} + R_{\text{კ2}} + R_{\text{კn}} + \dots$$

$$X = \omega L_1 + \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_1} - \frac{1}{\omega C_2}$$

; და $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$,
ხოლო

$$\varphi = \text{arctg} \frac{X}{R}$$

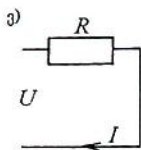
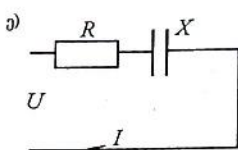
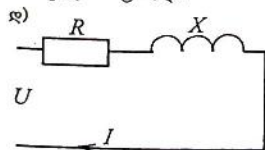
მივიღეთ მიმდევრობით შეერთებული წრედის ზოგადი წესი.

ცვლადი დენის მიმდევრობით შეერთებულ წრედში იკრებება ერთსახელა წინააღმდეგობები: აქტიურები - არითმეტიკულად,

რეაქტიულები - ალგებრულად; სრული წინააღმდეგობა განისაზღვრება როგორც ჯამური აქტიური და რეაქტიული წინააღმდეგობების ვექტორული ჯამი. ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის

$\varphi = \text{arctg} \frac{X}{R}$, სადაც X და R მთელი წრედის ჯამური რეაქტიული და აქტიური წინააღმდეგობებია.

ადვილი მისახვედრია, რომ წრედის LC პარამეტრებზე დამოკიდებულებით X შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი, ან ნულის ტოლი.



როცა $X > 0$ ანუ $\sum X_L > \sum X_C$, მაშინ $\varphi > 0$, ძაბვა წინ გასწრებულია დენისაგან და ვამბობთ: წრედი ატარებს

აქტიურ - ინდუქციურ ხასიათს და ექვივალენტურ სქემას ექნება ნახ. დ-ზე ნაჩვენები სახე.

როცა $X < 0$ ანუ $\sum X_L < \sum X_C$, მაშინ $\varphi < 0$, ძაბვა ჩამორჩება დენს და ვამბობთ: წრედი ატარებს აქტიურ - ტევადურ ხასიათს და ექვივალენტურ სქემას ექნება ნახ. ე-ზე ნაჩვენები სახე.

როცა $X = 0$ ანუ $\sum X_L = \sum X_C$, მაშინ $\varphi = 0$, ძაბვა და დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა. ამ მოვლენას ეწოდება რეზონანსი და განვიხილავთ შემდეგ. წრედი რეზონანსის დროს წრედი ატარებს წმინდა აქტიურ ხასიათს და ექვივალენტურ სქემას ექნება ნახ. ე-ზე ნაჩვენები სახე.

რაც შეეხება ძაბვის აქტიურ და რეაქტიულ მდგენელებს, აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეებს, ისინი განიხილება ანალოგიურად როგორც მიმდევრობით შეერთებულ R, L და R, C წრედებში და იანგარიშება იმავე ფორმულებით:

$$U_s = I(R_1 + R_2 + \dots) = U \cos \varphi;$$

$$U_n = I(X_1 + X_2 + \dots) = U \sin \varphi; \quad U = \sqrt{U_s^2 + U_n^2};$$

$$P = I^2 \sum R = UI \cos \varphi;$$

$$Q = I^2 \sum X = UI \sin \varphi;$$

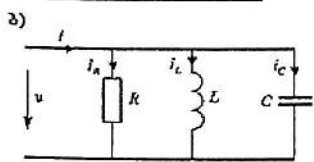
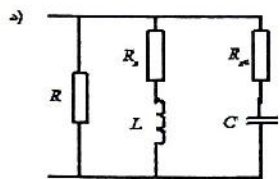
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI.$$

10.12. ცვლადი დენის წრედი R, L, C ელემენტების

პარალელურად შეერთების დროს

R, L, C ელემენტებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების განხილვის დროს მეტი სიცხადისათვის თავდაპირველად თითოეული მათგანი წარმოვადგინეთ როგორც იდეალური ელემენტი, ხოლო შემდეგ როგორც - რეალური. თუმცა მათი რეალური სახით წარმოდგენისას კიდევ ვაკეთებდით დაშვებას, რომ მხედველობაში არ ვიღებდით რეზისტორის L, C პარამეტრებს, კოჭის C და კონდენსატორის L -ს. ეს ამ პარამეტრების სიმცირითაა გან-

პირობებული და პრაქტიკული წრედებისათვის დაბალ სიხშირეებზე მათი უგულვებელყოფა სავსებით დასაშვებია. იმავე დაშვებით პარალელურად შეერთებული R, L, C წრედი შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სახით. ამ სახით პარალელურად შეერთებულ წრედს შემდეგ განვიხილავთ, ახლა კი შევეხებით პარალელურად შეერთებულ წრედს იდეალური ელემენტებით (ნახ. ბ).



კირხჰოფის I კანონით დენების მყისი მნიშვნელობებისათვის გვექნება: $i = i_R + i_L + i_C$, რომელიც შეიძლება ვექტორულად გადავწეროთ ასე:

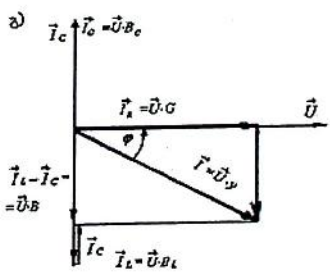
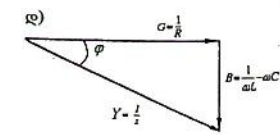
$$\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C = \left(\frac{\vec{U}}{R} \right) + \left(\frac{\vec{U}}{\omega L} \right) + \left(\frac{\vec{U}}{1/\omega C} \right) =$$

$$= \vec{U} \cdot G + \vec{U} \cdot B_L + \vec{U} \cdot B_C,$$

სადაც: $G = \frac{1}{R}$ წრედის

აქტიური გამტარობაა; $B_L = \frac{1}{\omega L}$ ინდუქციურობის რეაქტიული გამტარობა, ხოლო $B_C = \omega C$ ტევადობის რეაქტიული გამტარობა. მთელი წრედის რეაქტიული გამტარობა ტოლია: $B = B_L - B_C$. ავავთ წრედის ვექტორული დიაგრამა (ნახ. გ).

პარალელურად შეერთებულ წრედში სამივე ელემენტისათვის საერთოა ძაბვა. ამიტომ საწყის ვექტორად ავირჩიოთ



\vec{U} ძაბვის ვექტორი, რომელსაც მივცეთ პორიზონტალური მიმართუ-

ლება. დენი აქტიურ წინაღობაში \vec{I}_R ფაზით ემთხვევა ძაბვას და \vec{I}_R ვექტორი გაივლება \vec{U} ვექტორის გასწვრივ, მისი მოდული ტოლია $U \cdot G$.

დენი ინდუქციურობაში \vec{I}_L ჩამორჩება ძაბვას 90° -ით. იგი მოდულით $U \cdot B_C$ -ის ტოლია, ხოლო დენი კონდენსატორში \vec{I}_C გასწვრებულია ძაბვისაგან 90° -ით და მოდულით $U \cdot B_L$ -ს ტოლია.

წრედის განუშტოებელ ნაწილში გამავალი დენის ვექტორი მიიღება \vec{I}_R, \vec{I}_L და \vec{I}_C ვექტორების გრაფიკული შეკრებით.

ვექტორულ დიაგრამაზე (ნახ. გ) მიღებულ გამუქებულ სამკუთხედს დენების სამკუთხედი ეწოდება. მიუხედავად იმისა, რომ φ კუთხე გადაზომილია ჰორიზონტალური მიმართულუბიდან ქვევით, იგი დადებითია, რამდენადაც ჰორიზონტალურად გადაზომილია ძაბვის ვექტორი და დენი \vec{I} ჩამორჩება ძაბვის ვექტორს. ეს ჩამორჩენა დადებითი ძერის კუთხით აღინიშნება.

გავეყთ დენების სამკუთხედის ყველა გვერდი \vec{U} -ზე, მივიღებთ ე.წ. გამტარობათა სამკუთხედს (ნახ. დ).

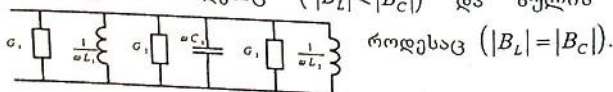
გამტარობათა სამკუთხედიდან წრედის სრული გამტარობა აქტიური და რეაქტიული მდგენელების ვექტორული ჯამია:

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის

$$\varphi = \arctg \frac{B}{G}$$

და ისე როგორც მიმდევრობით შეერთებულ წრედში, წრედის პარამეტრებისაგან დამოკიდებულებით რეაქტიული გამტარობა შეიძლება იყოს დადებითი, როდესაც ($|B_L| > |B_C|$), უარყოფითი, როდესაც ($|B_L| < |B_C|$) და ნულის ტოლი,



ანალოგიურად მიმდევრობით შეერთებულ წრედისა, ზოგადად, პარალელურად შეერთებულ წრედში იკრიბება ერთსახელა გამტარობები; აქტიური - არითმეტიკულად:

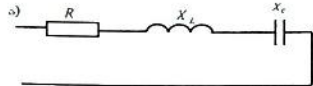
$$G = G_1 + G_2 + G_3;$$

რეაქტიული - ალგებრულად: $B = \frac{1}{\omega L_1} - \omega C + \frac{1}{\omega L_2}$; სრული

გამტარობა კი ტოლია $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$.

10.13. ექვივალენტური გარდაქმნები ცვლადი დენის წრედში

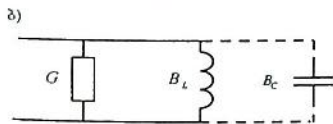
ზოგადი განმარტებით გამტარობა და წინაღობა ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია. მიმდევრობით შეერთებული წრედის სრული გამტარობა $Y = \frac{1}{Z}$ და, პირიქით, პარალელურად შეერთებული წრედის



სრული წინაღობა $Z = \frac{1}{Y}$, მაგრამ ეს განმარტება არ ვრცელდება მიმდევრობით შეერთებული წრედის სრული წინაღობისა და პარალელურად შეერთებული წრედის სრული გამტარობის მდგენელებზე.

მაგალითად, თუ R, L, C წრედის სრული წინაღობაა (ნახ. ა)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$



ამ წრედის ექვივალენტური პარალელური წრედის (ნახ.

ბ) აქტიური გამტარობა

$G \neq \frac{1}{R}$ და რეაქტიული გამ-

ტარობა $B \neq \frac{1}{X}$.

მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული წრედების ექვივალენტობის უპირველესი პირობაა, რომ ერთ წრედში განვითარებული აქტიური სიმძლავრეები იყოს ერთნაირი და ასევე ერთნაირი იყოს რეაქტიული სიმძლავრეებიც, ე.ი. გვაქვს $P = I^2 R = GU^2$ (1); $Q = I^2 X = BU^2$ (2);

$$(1)\text{- დან } G = \frac{I^2 R}{U^2} = RY^2 = \frac{R}{Z^2} = \frac{R}{R^2 + X^2};$$

$$(2)\text{-დან } B = \frac{I^2 X}{U^2} = XY^2 = \frac{X}{Z^2} = \frac{X}{R^2 + X^2}.$$

ამ ფორმულებით იანგარიშება ექვივალენტური პარალელურად შეერთებული წრედის აქტიური და რეაქტიული გამტარობები, როდესაც ცნობილია მიმდევრობით შეერთებული წრედის აქტიური და რეაქტიული წინააღობები.

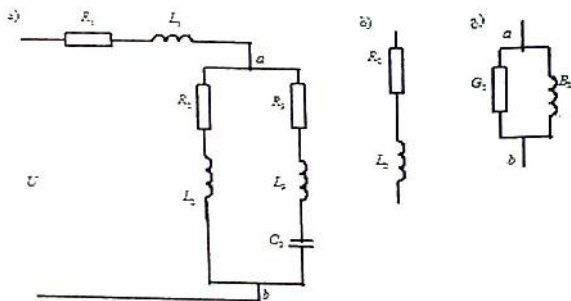
პირიქით გადასასვლელად გეექნება :

$$(1)\text{- დან } R = \frac{GU^2}{I^2} = GZ^2 = \frac{G}{Y^2} = \frac{G}{G^2 + B^2};$$

$$(2)\text{-დან } X = \frac{BU^2}{I^2} = BZ^2 = \frac{B}{Y^2} = \frac{G}{G^2 + X^2}.$$

ამ ფორმულებით იანგარიშება ექვივალენტური მიმდევრობით შეერთებული წრედის აქტიური და რეაქტიული წინააღობები, როდესაც ცნობილია პარალელურად შეერთებული წრედის აქტიური და რეაქტიული გამტარობები.

განვიხილოთ მაგალითი ექვივალენტურ გარდაქმნებზე.



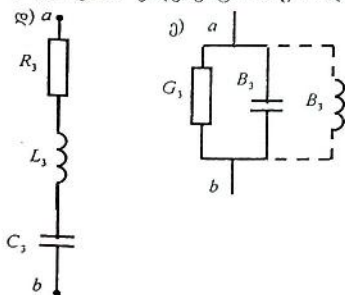
აუილოთ ცვლადი დენის წრედი სამი შტოთი და ცნობილად ჩავთვალოთ R, L, C პარამეტრები და წრედზე მიღებული ძაბვის სიხშირე f ; (ნახ. ა) ექვივალენტური გარდაქმნებით გავამარტივოთ წრედი.

განვსაზღვროთ ძაბვის კუთხური სიხშირე და თითოეული ელემენტის წინაღობები: $\omega = 2\pi f$; $X_1 = \omega L_1$; $X_2 = \omega L_2$; $X_3 = \omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}$.

წრედის ab უბანი განვიხილოთ ცალკე. ჯერ მიმდევრობით შეერთებული R_2, L_2 წრედი (ნახ. ბ) შევცვალოთ ექვივალენტური პარალელური G_2, B_2 წრედით (ნახ. გ).

$$\text{სადაც: } G_2 = \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2}; \quad B_2 = \frac{X_2}{R_2^2 + X_2^2}.$$

აღებულ შტოში ჩართულია ერთი რეაქტიული ელემენტი - კოჭა. მისი წინაღობა $X_{L_2} > 0$ და ექვივალენტურ პარალელურ წრედში აიღება $B_2 > 0$ დადებითი გამტარობის რეაქტიული ელემენტი ანუ ინდუქციური კოჭა.



ანალოგიურად შევცვალოთ მესამე შტოს მიმდევრობით შეერთებული R_3, L_3, C_3 წრედი (ნახ. დ) ექვივალენტური პარალელური წრედით (ნახ. ე), სადაც

$$G_3 = \frac{R_3}{R_3^2 + X_3^2};$$

$$B_3 = \frac{X_3}{R_3^2 + X_3^2} = \frac{\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}}{R_3^2 + X_3^2}.$$

როგორც ამ გამოსახულებებიდან ჩანს L_3, C_3 პარამეტრებისაგან დამოკიდებულებით X_3 შეიძლება იყოს დადებითი,

უარყოფითი ან ნულის ტოლი; ვთქვათ $\left| \frac{1}{\omega C_3} \right| > |\omega L_3|$, მაშინ

$X_3 < 0, B_3 < 0$ და ექვივალენტურ პარალელურ წრედში აიღება უარყოფითი ნიშნის გამტარობიანი რეაქტიული ელემენტი

კონდენსატორი; თუ $\left| \frac{1}{\omega C_3} \right| < |\omega L_3|$, მაშინ $X_3 > 0$, $B_3 > 0$ და

ექვივალენტურ წრედში აიღება კოჭა (წყვეტილით). თუ

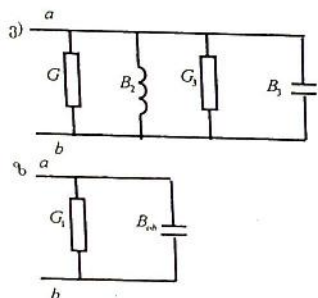
$\left| \frac{1}{\omega C_3} \right| = |\omega L_3|$, მაშინ $X_3 = 0$, $B_3 = 0$ და მოცემული მესამე შტოს

ექვივალენტური შტო იქნება მხოლოდ G_3 .

ჩვენ განსახილველ მაგალითში დავეუშვიტ, რომ

$\left| \frac{1}{\omega C_3} \right| > |\omega L_3|$, ე.ი. $B_3 < 0$ და ექვივალენტურ პარალელურ

წრედში ავიღეთ კონდენსატორი.

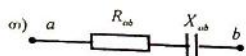


ამ გარდაქმნებით წრედის ab უბანი მიიღებს სახეს (ნახ. ვ).

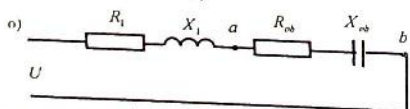
ვისარგებლოთ პარალელურად შეერთების ზოგადი წესით: რომ იკრიბება ერთსახელა გამტარობები, ე.ი. ab უბნის აქტიური გამტარობა იქნება: $G_{ab} = G_2 + G_3$, ხოლო რეაქტიული გამტარობა $B_{ab} = B_2 - B_3$; B_2 და B_3 პარამეტრებისაგან დამოკიდებულებით შეიძლება გვექონდეს:

$$B_{ab} > 0, B_{ab} < 0, B_{ab} = 0;$$

ვთქვათ $|B_3| > |B_2|$, მაშინ $B_{ab} < 0$ და ab უბანს ექნება ნახ. ზ-ზე ნაჩვენები სახე. ამ წრედის სრული გამტარობა



$$Y_{ab} = \sqrt{G_{ab}^2 + B_{ab}^2}.$$



ახლა

პარალელურად

შეერთებული

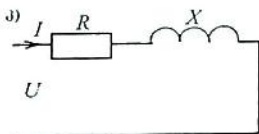
$G_{ab} B_{ab}$ წრედი შევ-

ცვალოთ ექვივალენტური მიმდევრობით შეერთებული წრედით

(ნახ. თ), სადაც $R_{ab} = \frac{G_{ab}}{Y_{ab}^2}$ და $X_{ab} = \frac{B_{ab}}{Y_{ab}^2}$.

წრედის გარდაქმნილი ab უბანი (ნახ. თ) მიუერთოდ მოცემული წრედის პირველ შტოს და მივიღებთ მთელი წრედის ექვივალენტურ მიმდევრობით შეერთებულ წრედს (ნახ. ი), ვისარგებლოთ მიმდევრობითი

შეერთების წესით: რომ იკრიბება ერთსახელა წინაღობები და განვსაზღვროთ მთელი წრედის აქტიური წინაღობა $R = R_1 + R_{ab}$; რეაქტიული წინაღობა $X = X_1 + X_{ab}$



და თუ $|X_1| > |X_{ab}|$, მაშინ ნახ კ-ზე მოცემული ორელემენტიანი წრედი ნახ. ა-ზე მოცემული წრედის ექვივალენტური გამარტივებული წრედი იქნება, რომლის სრული წინაღობა $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$.

10.14. რთული წრედის ანგარიში ექვივალენტური გარდაქმნებით

გავიანგარიშოთ წინა პარაგრაფში მოცემულ წრედში ყველა შტოში გამავალი დენი და ძაბვები წრედის ცალკეულ უბნებზე.

ამოხსნა

ამოვხაზოთ მოცემული წრედი და წინა პარაგრაფში განხილული ექვივალენტური წრედები (ნახ. ა, ნახ. ი და ნახ. კ).

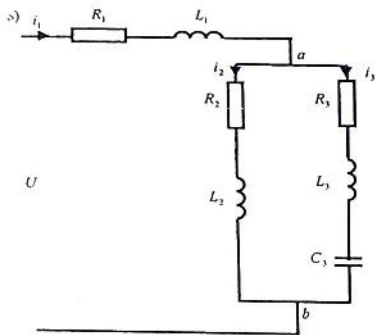
ნახ. კ-დან $I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$; ეს არის დენი წრედის

განუშტოებელ ნაწილში და მაშასადამე $I = I_1$. ეს დენი გადის ექვივალენტური ნახ. ი წრედის ყველა ელემენტში, მაშინ ძაბვა ab უბანზე:

$$U_{ab} = IZ_{ab} = I\sqrt{R_{ab}^2 + X_{ab}^2}.$$

ექვივალენტურობის პირობის თანახმად U_{ab} ძაბვა მოდებულია მოცემული წრედის ab უბანზე, საიდანაც

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{Z_2} = \frac{U_{ab}}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \quad \text{და} \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{Z_3} = \frac{U_{ab}}{\sqrt{R_3^2 + X_3^2}}.$$



განესაზღვროთ ძაბვა
წრედის ab უბანზე:

$$U_1 = I_1 Z_1 = I_1 \sqrt{R_1^2 + X_1^2};$$

აღსანიშნავია, რომ

$$U \neq U_1 + U_{ab} \text{ და } I \neq I_2 + I_3,$$

სამართლიანია ტოლობები

$$\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_{ab} \text{ და } \bar{I}_1 = \bar{I}_2 + \bar{I}_3.$$

აეგოთ წრედის ვექტორული დიაგრამა.

ამისათვის განესაზღვროთ ძვრის კუთხეები დენებსა და შესაბამის ძაბვას შორის:

$$\varphi_1 = I_1, \hat{U}_1; \quad \varphi_2 = I_2, \hat{U}_{ab}$$

$$\text{და } \varphi_3 = I_3, \hat{U}_{ab};$$

ძვრის კუთხის საანგარიშოდ ცნობილი ფორმულებით გვექნება:

$$\varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{R_1}; \quad \varphi_2 = \arctg \frac{X_2}{R_2} \text{ და } \varphi_3 = \arctg \frac{X_3}{R_3}.$$

$X_1 > 0$ და $\varphi_1 > 0$, ე.ი. I_1 დენი ჩამორჩება U_1 ძაბვას φ_1 კუთხით.

$X_2 > 0$ და $\varphi_2 > 0$, ე.ი. I_2 დენი ჩამორჩება U_{ab} ძაბვას φ_2 კუთხით.

ჩვენი დაშვებით $X_3 < 0$, $\left[|\omega L_3| < \left| \frac{1}{\omega C_3} \right| \right]$, მაშინ $\varphi_3 < 0$, ანუ I_3 დენი წინ გასწრებულია U_{ab} ძაბვისგან φ_3 კუთხით.

რიცხოვრივი ანგარიშის დროს შევირჩევთ ძაბვისა და დენის მასშტაბებს $M_U = A \frac{\text{მ}}{\text{სმ}}$ და $M_I = B \frac{\text{ბ}}{\text{სმ}}$ ნებისმიერად ისე, რომ ნახაზის ზომები იყოს თვალსაჩინო. ძაბვებისა და დენების მოდულები გადაიზომება ამ მასშტაბებში.

საწყის ვექტორად შეგვიძლია ავიღოთ ნებისმიერი ძაბვისა და ნებისმიერი დენის გამომსახველი ვექტორი. ჩვენ ავიღოთ \vec{U}_{ab} , მივცეთ მას ჰორიზონტალური მიმართულება და ვუჩვენოთ ვექტორთა აგების თანმიმდევრობა: \vec{I}_2 ჩამორჩება \vec{U}_{ab} - ს φ_2 კუთხით, ხოლო \vec{I}_3 (გასწრებულია φ_3 კუთხით), $\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_3$ შევეკრიბოთ პარალელოგრამის წესით (ნახ.დ).

\vec{I}_1 -დან φ_1 კუთხით გასწრებულია \vec{U}_1 ძაბვა. $\vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_{ab}$ შევეკრიბოთ ასევე პარალელოგრამის წესით.

ანგარიშის სისწორე შევა-
მოწმობთ გაზომვებით. გავზომოთ
კუთხე $I_1 \vec{U}_{ab}$ შორის და შევა-
დართოთ ნაანგარიშებ მნიშვნელო-
ბას $\varphi_{ab} = \arctg \frac{X_{ab}}{R_{ab}}$ (ნახ.დ).

გავზომოთ კუთხე წრედზე
მოდებულ ძაბვასა და წრედის
განუშტოებულ ნაწილში გამავალ
დენს შორის $I_1 \vec{U}$ და შევადართო

ნაანგარიშებ მნიშვნელობას $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ (ნახ. დ).

10.15. ცვლადი დენის წრედის ანგარიში გრაფო – ანალიზური მეთოდით

ცვლადი ელექტრული სიდიდეების ვექტორულ სახეში წარმოდგენის შესაძლებლობა საშუალებას გვაძლევს ელექტრული წრედი გავანალიზოთ გრაფიკულად, ე.ი. მოქმედებები ვაწარმოთ შესაბამისი ძაბვებისა და დენების ვექტორებზე. მართალია ეს მეთოდი მიახლოებითია და ანგარიშის სიზუსტე

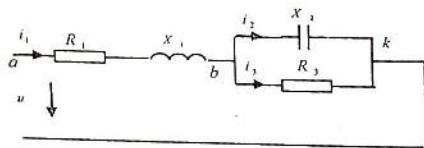
დამოკიდებულია აგების სიზუსტეზე, მაგრამ საგრძობლად მარტივდება ანგარიშის მათემატიკური გზა და ხშირად ზოგიერთი პრაქტიკული ამოცანის გადაწყვეტის დროს, აგების გრაფიკული სიზუსტეც დამაკმაყოფილებელია.

ამავე დროს თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ წრფივ ელექტრულ წრედებში დამოკიდებულებები ძაბვებსა და დენებს შორის წრფივია, შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე ე.წ. პროპორციულობის მეთოდი. ამ მეთოდის თანახმად დენს ან ძაბვას წრედის რომელიმე შტოში ვთვლით ცნობილ სიდიდეთ და უკუ გადაანგარიშებით ვანგარიშობთ წრედზე მოდებულ ძაბვის სიდიდეს. ეს არის ის ძაბვა, რომელიც აღძრავდა აღებულ შტოში იმ დენს, რომელიც ჩვენ დაეუშეით და ჩავთვალეთ ცნობილად. წრედზე მოდებული ძაბვა კი ამ შტოში აღძრავდა დაშვებული მნიშვნელობიდან იმდენჯერ მეტ ან ნაკლები სიდიდის დენს, რამდენჯერაც განსხვავდება ძაბვის გაანგარიშებული მნიშვნელობა მოცემული მნიშვნელობისაგან.

ე.ი. პროპორციულობის კოეფიციენტი ტოლია $K = \frac{U_{\text{გან}}}{U_{\text{მოც}}}$.

ამ კოეფიციენტზე უნდა გავამრავლოთ უკუანგარიშის დროს განსაზღვრული ყველა ელექტრული სიდიდე, და განვსაზღვრაეთ მათ რეალურ მნიშვნელობებს.

განვიხილოთ მაგალითი - გამოვთვალოთ დენები შტოებში და ძაბვები წრედის ცალკეულ უბნებზე წრედის პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობების დროს.



$$R_1 = 3 \text{ ომი};$$

$$X_1 = 3,6 \text{ ომი};$$

$$X_2 = 5 \text{ ომი};$$

$$R_3 = 10 \text{ ომი}.$$

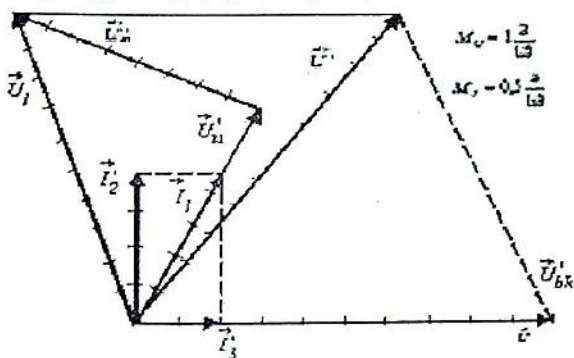
ამოხსნა

დაეუშვათ დენი მესამე შტოში 1 ა-ს ტოლია: $I'_3 = 1 \text{ ა.}$

მაშინ ძაბვა bk უბანზე $U'_{bk} = R_3 \cdot I'_3 = 10 \cdot 1 = 10 \text{ ვ}$ და

დენი მეორე შტოში $I'_2 = \frac{U'_{bk}}{X_2} = \frac{10}{5} = 2 \text{ ა.}$

ავირჩიოთ ძაბვისა და დენის მასშტაბები: $M_U = 1 \text{ ვ/სმ}$ და $M_I = 0,5 \text{ ა/სმ}$ და ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა. საწყის ვექტორად ავირჩიოთ ძაბვა bk უბანზე, ანუ \vec{U}'_{bk} მივცეთ მას პორიზონტალური მიმართულება და გადავზომოთ 10 სმ ; \vec{I}'_3 დენი ფაზით ემთხვევა \vec{U}'_{bk} ძაბვას და \vec{I}'_3 გადავზომოთ \vec{U}'_{bk} ვექტორის გასწვრივ მოდულით $|\vec{I}'_3| = \frac{I'_3}{M_I} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ სმ}$, ხოლო \vec{I}'_2 დენი 90 გრადუსით უსწრებს \vec{U}'_{bk} ძაბვას.



დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში განვსაზღვროთ კირხჰოფის I კანონით: $\vec{I}'_1 = \vec{I}'_2 + \vec{I}'_3$. შევეკრიბოთ \vec{I}'_2 და \vec{I}'_3 ვექტორები პარალელოგრამის წესით. გავზომოთ $|\vec{I}'_1|$ დენის მოდული და გავამრავლოთ დენის მასშტაბზე. მივიღებთ \vec{I}'_3 დენის მნიშვნელობას. $I_3 = |\vec{I}'_1| \cdot M_I = 4,4 \cdot 0,5 = 2,2 \text{ ა}$. ახლა განვსაზღვროთ ძაბვა წრედის პირველ უბანზე, ამისათვის განვიხილოთ ეს ძაბვა როგორც R_1 და X_1 წინაღობებზე მოდებული ძაბვების ვექტორული ჯამი: $U'_{R1} = I'_1 \cdot R_1 = 2,2 \cdot 3 = 6,6 \text{ ვ}$. იგი ფაზით ემთხვევა \vec{I}'_1 დენის ვექტორს და გადავზომოთ მის გასწვრივ $|\vec{U}'_{R1}| = 6,6 \text{ სმ}$ მოდულის ვექტორი. $U'_{X1} = I'_1 \cdot X_1 = 2,2 \cdot 3,6 = 7,92 \text{ ვ}$

ეს ძაბვა წინ გასწრებულია \vec{I}'_1 დენისაგან 90° -ით და გადავზომოთ \vec{I}'_1 -ის მართობულად. $\vec{U}'_{R1} + \vec{U}'_{X1} = \vec{U}'_1$ ვექტორული ჯამით განვსაზღვროთ ძაბვა პირველ უბანზე.

$$U'_1 = |\vec{U}'_1| \cdot M_U = 10,4 \cdot 1 = 10,4 \text{ ვ.}$$

წრედზე მოდებული ძაბვა $\vec{U}'_1 = \vec{U}'_1 + \vec{U}'_{BK}$. შევკრიბოთ ეს ვექტორები პარალელოგრამის წესით და განვსაზღვროთ U ძაბვა $U' = |\vec{U}'| \cdot M_U = 11 \text{ ვ.}$ პროპორციულობის კოეფიციენტი

$$K = \frac{U}{U'} = \frac{33}{11} = 3. \text{ ამ კოეფიციენტზე უნდა გავამრავლოთ ყველა}$$

ზემოთგანსაზღვრული ელექტრული სიდიდე და მივიღებთ მათ რეალურ მნიშვნელობებს:

$$I_1 = I'_1 K = 2,2 \cdot 3 = 6,6 \text{ ა;}$$

$$I_2 = I'_2 K = 2 \cdot 3 = 6 \text{ ა;}$$

$$I_3 = I'_3 K = 1 \cdot 3 = 3 \text{ ა;}$$

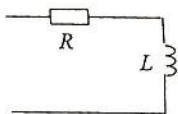
$$U_1 = U'_1 K = 10,4 \cdot 3 = 31,2 \text{ ვ;}$$

$$U_{bk} = U'_{bk} K = 10 \cdot 3 = 30 \text{ ვ;}$$

$$U = U' K = 11 \cdot 3 = 33 \text{ ვ.}$$

ამოცანები დამოუკიდებლად სავარჯიშოდ

ამოცანა №1



ნახაზზე მოცემული წრედის სრული წინაღობა $f = 50 \text{ კც}$ სიხშირეზე 5 მძის ტოლია.

რას უდრის წრედის წინაღობა 150 კც სიხშირეზე, თუ $R = 4 \text{ მძი;}$

ამოცანა №2

დავხაზოთ წრედის ჩანაცვლების სქემა, რომლის ბოლოებზეც $u = U_m \sin(\omega t + 30^\circ)$ ძაბვის მოდების შემდეგ აღიძვრება $i = I_m \sin(\omega t + 60^\circ)$ დენი.

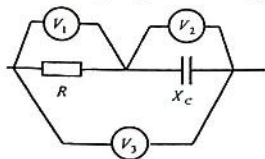
განვსაზღვროთ ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის.

ამოცანა №3

მიმდევრობით შეერთებულ R, C წრედში გადის $i = 5 \sin 314t$ ა დენი. ჩაწეროთ წრედზე მოდებული ძაბვის მყისი მნიშვნელობა, თუ $R = 10$ ომი და $C = 318 \mu\text{ფ}$.

ამოცანა №4

მიმდევრობით შეერთებულ R, L წრედში ძაბვა ინდუქციურილობაზე $u_L = 240 \sin(\omega t + 150^\circ)$ ვ-ის ტოლია. ჩაწეროთ წრედზე მოდებული ძაბვის მყისი მნიშვნელობა, თუ $R = 40$ ომი და $X_L = 40$ ომი.



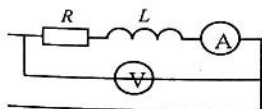
$R = 16$ ომი; $X_L = 12$ ომი.

ამოცანა №5

განვსაზღვროთ V ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ V_1 უჩვენებს 24 ვ-ს.

ამოცანა №6

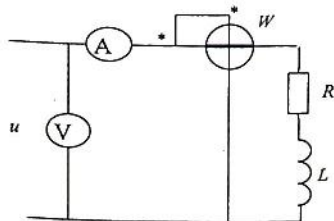
როგორ შეიცვლება ამპერმეტრის ჩვენება, თუ წრედზე ცვლადი ძაბვის ნაცვლად მოვდებთ მუდმივ ძაბვას, თუ $R = X_L$.



ამოცანა №7

მიმდევრობით შეერთებულ R, L, C წრედში $R = 8$ ომი; $X_L = 6$ ომი; როგორი უნდა იყოს X_C , რომ

ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ ამპერმეტრის ჩვენება არ შეიცვალოს.



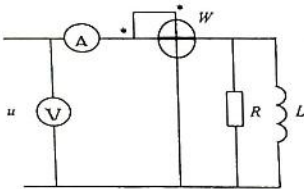
ამოცანა №8

უცნობი პარამეტრების ორპოლუსას ბოლოებზე მოდებულია

$u = 14,1 \sin(\omega t - 60^\circ)$ ვ ძაბვა და აღძრულია $i = 14,1 \sin(\omega t + 30^\circ)$ ა დენი. განვსაზღვროთ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები

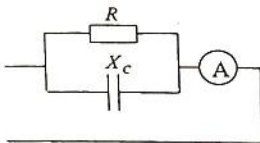
ამოცანა №9

აღებულ წრედში ხელსაწყოების ჩვენებებია: $P = 40$ ვტ. $U = 80$ ვ, $I = 2$ ა. განვსაზღვროთ კოჭის თვითინდუქციის კოეფიციენტი L და აქტიური წინაღობა R , თუ $f = 50$ კც.



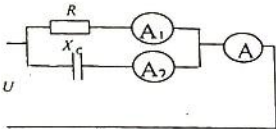
ამოცანა №10

აღებულ წრედში ხელსაწყოების ჩვენებებია: $P = 640$ ვტ. $U = 80$ ვ, $I = 10$ ა. განვსაზღვროთ კოჭის თვითინდუქციის კოეფიციენტი L და აქტიური წინაღობა R , თუ $f = 50$ კც.



ამოცანა №11

აღებულ წრედში $R = 15$ ომი; $X_c = 20$ ომი; $U = 120$ ვ. განვსაზღვროთ ამპერმეტრის ჩვენება.



ამოცანა №12

A და A_1 ამპერმეტრის ჩვენებები შესაბამისად 10ა და ნა-ია, განვსაზღვროთ A_2 -ის ჩვენება.

10.16. სიმძლავრის კოეფიციენტი და მისი ამაღლების გზები

რამდენადაც აქტიური სიმძლავრე მომხმარებლის მიერ წრედიდან მოთხოვნილ იმ ენერჯიის სიდიდეს ახასიათებს, რომელიც გარდაიქმნება ჩვენთვის საჭირო სახის ენერჯიად, მანქანა დანადგარების ტექნიკურ მახასიათებლად ითვლება მისი აქტიური სიმძლავრე. ეს სიდიდე განსაზღვრავს ელექტროტექნიკური დანადგარების მუშა უნარს.

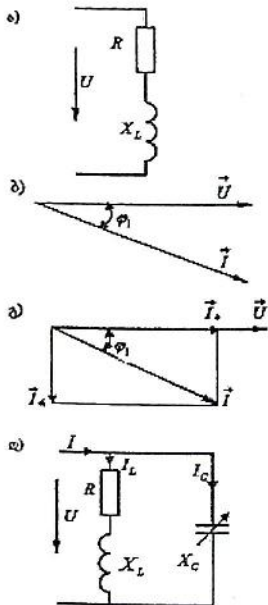
როგორც ზემოთ ვუჩვენეთ:

$$P = I^2 R = UI_{\cos \varphi} \quad \text{ვატი;}$$

$$Q = I^2 X = UI_{\sin \varphi} \quad \text{ვარი;}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \cdot UI \text{ ვა,}$$

საიდანაც ჩანს, რომ აქტიური სიმძლავრე არა მარტო ძაბვისა და დენის სიდიდით განისაზღვრება, არამედ მათ შორის ძვრის კუთხითაც. ამიტომ $\cos \varphi$ სიდიდეს თავისი სახელი მიენიჭა. მას აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი ეწოდება.



როგორც ტრიგონომეტრიული ფუნქციის, (მახვილი კუთხის კოსინუსი), სიმძლავრის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ერთის ტოლია. $\cos \varphi = 1$, როცა $\varphi = 0$, ე. ი. სიმძლავრის კოეფიციენტის გასაუმჯობესებლად ძაბვებისა და დენების სიდიდით უცვლელი მნიშვნელობების დროს უნდა შევამციროთ ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის.

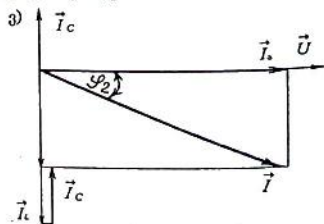
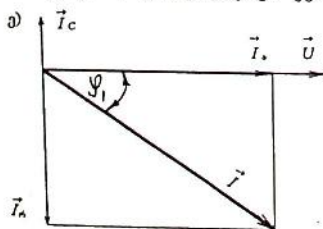
დამუშავებულია სხვადასხვა მეთოდები $\cos \varphi$ -ს ასამაღლებლად, რომელთაგანაც ყველაზე უფრო მიღებულია ე.წ. მაკომპენსირებელი კონდენსატორების ჩართვა. რა როლს ასრულებს კონდენსატორი? საქმე იმაშია, რომ ელექტროტექნიკური დანადგარების უმრავლესობა (ელექტრული ძრავები, ტრანსფორმატორები, ინდუქციური კოჭები) აქტიურ - ინდუქციურ ხასიათს ატარებს. (ნახ. ა), რომლებზეც მო-

ღებული ძაბვა და დენი ერთმანეთისაგან გარკვეული $\varphi_1 = \arctg \frac{X_L}{R}$ კუთხითაა დაძრული (ნახ. ბ). სიმძლავრის კოეფიციენტი ამ დროს $\cos \varphi_1$ - ის ტოლია. მეტი სიცხადისათვის ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები \vec{I} დენის ვექტორი დავშალოთ ორ \vec{I}_a აქტიურ და \vec{I}_c რეაქტიულ მდგენელებად (ნახ. გ).

R, X_L - მომხმარებლის პარალელურად ჩაერთოთ C ტევადობის კონდენსატორი (ნახ. დ), რომლის წინაღობაა X_C და რომელშიც გამავალი დენი წინ გასწრებულია U ძაბვისაგან 90° -ით (აქ სიმცირის გამო კონდენსატორის აქტიური წინაღობა ნულის ტოლადაა მიღებული, რაც პრაქტიკული წრედებისათვის დასაშვებია) და წრედის ვექტორული დიაგრამა მიიღებს ნახ. ე-ზე ნაჩვენებ სახეს.

წრედის განუშტოებელ ნაწილში გამავალი დენი $\vec{I} = \vec{I}_L + \vec{I}_C$, სადაც \vec{I}_L მუშა დატვირთვაში გამავალი დენი, შეიძლება წარმოვადგინოთ ($\vec{I}_a + \vec{I}_b$) - ის სახით, მაშინ გვექნება: $\vec{I} = \vec{I}_a + \vec{I}_b + \vec{I}_C$ და საბოლოოდ ვექტორულ დიაგრამას ექნება სახე (ნახ. ე), საიდანაც ჩანს, რომ ძერის კუთხე საერთო დენსა და ძაბვას შორის გახდა φ_2 , რომელიც ნაკლებია φ_1 -ზე და შესაბამისად სიმძლავრის ახალი კოეფიციენტი $\cos \varphi_2$ მეტია იმ წრედის სიმძლავრის $\cos \varphi_1$ კოეფიციენტზე, რომელიც გვექონდა კონდენსატორის ჩართვამდე.

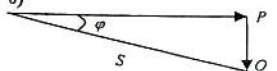
ადვილი მისახვედრია, რომ აღებული დანადგარისათვის უნდა შეირჩეს მაკომპენსირებელი კონდენსატორის ისეთი ოპტიმალური ტევადობა, რომელიც მაქსიმალურად გააკომპენსირებს დენის რეაქტიულ მდგენელს ($I_C < I_b$). კონდენსატორის ტევადობის შემდგომი ზრდით საერთო დენი საწინააღმდეგო ძერის კუთხით დაშორდება ძაბვას და სიმძლავრის კოეფიციენტი კვლავ გაუარესდება.



ამის გამო ნახ. დ-ზე ნაჩვენებია ცვლადი ტევადობის კონდენსატორის ჩართვის სქემა მოცემული წრედისათვის. მისი

ტევადობა უნდა შეირჩეს ისეთი სიდიდის, რომ მასში გამავალი დენის მნიშვნელობა რაც შეიძლება ახლო იყოს აღებული წრედის სრული დენის რეაქტიული მდგენელის მნიშვნელობასთან.

მაკომპენსირებელი კონდენსატორის ანგარიში - მაკომპენსირებელი კონდენსატორის ტევადობა გამოითვლება შემდეგნაირად: წრედის რეაქტიული სიმძლავრე კონდენსატორის ჩარხს)


 თვამდე გამოეთვალათ სიმძლავრეთა სამკუთხედიდან (ნახ.8) $Q_1 = P \operatorname{tg} \varphi_1$; კონდენსატორის ჩართვის შემდეგ იქნება $Q_2 = P \operatorname{tg} \varphi_2$. მაკომპენსირებელი კონდენსატორების რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P \operatorname{tg} \varphi_1 - P \operatorname{tg} \varphi_2 = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2).$$

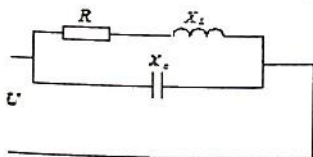
იგივე სიმძლავრე გამოესახოს წრედზე მოდებული ძაბვითა და კონდენსატორის B_C ტევადობით $Q_C = U^2 B_C = U^2 \omega C = U^2 2\pi f C$, ანუ $P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = U^2 2\pi f C$, საიდანაც

$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{U^2 2\pi f}.$$

მაკომპენსირებელი კონდენსატორებით სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება ხდება $\cos \varphi = (0,92 \div 0,95)$ დიაპაზონში. უფრო ზევით ეს მეთოდი არ გამოიყენება რამდენადაც მნიშვნელოვნად იზრდება კონდენსატორების ტევადობა.

განვიხილოთ მაგალითები

ამოცანა № 1



$R = X_L$ პარამეტრების მომხმარებლის პარალელურად ჩართულია $X_C = X_L$ წინაღობის კონდენსატორი. განესაზღვროთ სიმძლავრის კოეფიციენტი.

ამოხსნა:

წრედის აქტიური გამტარობა $G = Y \cos \varphi$, საიდანაც

$\cos \varphi = \frac{G}{Y}$, ექვივალენტური გარდაქმნების თანახმად წრედის

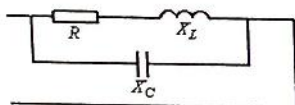
აქტიური გამტარობა $G = \frac{R}{Z^2} = \frac{R}{R^2 + X_L^2} = \frac{R}{2R^2} = \frac{1}{2R}$, ხოლო სრული გამტარობა

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = \sqrt{G^2 + \left(\frac{X_L}{R^2 + X_L^2} - \frac{1}{X_C}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{R^2}{2R^2}\right)^2 - \frac{1}{4R^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4R^2} + \frac{1}{4R^2}} = \sqrt{\frac{2}{4R^2}} = \sqrt{\frac{1}{2R^2}} = \frac{1}{R\sqrt{2}};$$

ხოლო $\cos \varphi = \frac{\frac{1}{2}R}{\frac{1}{\sqrt{2}}R} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,71$.

ამოცანა №2



R, X_L პარამეტრების მიმღების პარალელურად ჩართულია X_C წინაღობის მაკომპენსირებელი კონდენსატორი. ცნობილია დენის ძალის სიდიდე მომხმარებელში და ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის φ ; განესაზღვროთ მომხმარებლის დენის რეაქტიული მდგენელი.

ამოხსნა

ცნობილი სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობიდან განესაზღვროთ ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის $\varphi = \arccos \cos \varphi$ და შესაბამისად განესაზღვროთ I_{ϕ} სიდიდე.

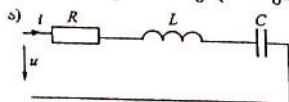
მეორეს მხრივ $I_{\phi} = \frac{I_{\phi}}{I_s}$, ხოლო სიმძლავრის კოეფიციენტის

განსაზღვრიდან $\cos \varphi = \frac{I_{\phi}}{I_s}$. გვექნება: $I_s = I \cos \varphi$; $I_{\phi} = \frac{I_{\phi}}{I_s}$

გამოსახულებიდან $I_{\phi} = I_s I_{\phi}$ და $I_{\phi} = I_s \cos \varphi I_{\phi}$.

10.17. რეზონანსული მოვლენები

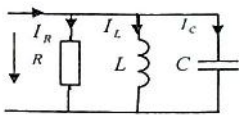
ა) რეზონანსული მოვლენის განმარტება და რეზონანსის ზო-



გალი პირობა - ზემოთ ვუჩვენეთ, რომ რეაქტიული ელემენტების არსებობა, როგორც მიმდევრობით

შეერთებულ (ნახ. ა), ისე პარალელურად შეერთებულ წრედში (ნახ. ბ), იწვევს გარკვეულ ფაზათა ძვრას ძაბვასა და დენს შორის. ეს კუთხე ნახ. ა-ზე სქემაზე იანგარიშება ფორმულით:

ბ)



$$\varphi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \text{ ხოლო ბ - ზე } \varphi = \arctg \frac{\frac{1}{\omega L} - \omega C}{G}$$

აღვნიშნეთ ისიც, რომ წრედის L, C პარამეტრების კონკრეტული დამოკიდებულებით φ შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი.

იმ მოვლენას, როცა წრედში ჩართულია რეაქტიული ელემენტები და ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის ნულის ტოლია, ანუ ძაბვა და დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა, რეზონანსული მოვლენა ეწოდება.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულიდან ჩანს, რომ მიმდევრობით შეერთებულ წრედში რეზონანსი დამყარდება, როცა $\omega L = \frac{1}{\omega C}$.

ხოლო პარალელურში $\frac{1}{\omega L} = \omega C$; ამ ფორმულების მარტივი

მათემატიკური გარდაქმნით მივიღებთ: $\omega^2 LC = 1$, საიდანაც

$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$. ეს არის რეზონანსული სიხშირის საანგარიშო

ფორმულა. როგორც მიმდევრობით, ისე პარალელურად შეერთებულ შტოში და რეზონანსის ზოგად პირობად ითვლება.

ბ) ძაბვების რეზონანსი - რეზონანსის დროს მიმდევრობით შეერთებულ წრედში $X = X_L - X_C = 0$ ანუ $X_L = X_C$. ე.ი.

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ და მაშასადამე $I\omega L = I \frac{1}{\omega C}$; ე.ი. ძაბვები ინდუქციურ

რობაზე და ტევადობაზე ერთმანეთის ტოლია. ამიტომ რეზონანსს მიმდევრობით შეერთებულ წრედში ძაბვების რეზონანსი ეწოდება.

რეზონანსის პირობიდან $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ გამომდინარეობს, რომ

რეზონანსის შეიძლება მივადწიოთ სამი გზით:

I. დავაფიქსიროთ L და ω - ვცვალოთ C ;

II. დავაფიქსიროთ C და ω - ვცვალოთ L ;

III. დავაფიქსიროთ L და C - ვცვალოთ ω .

არსებობს აგრეთვე რეზონანსის მიღწევის კიდევ ერთი გზა. ეს ხდება არაწრფივ წრედებში წრედზე მოდებული ძაბვის ცვლილებით. ამ მოვლენას გავეცნობით შემდეგ.

გ) რეზონანსული წრედის თავისებურებანი - რეზონანსული წრედი ხასიათდება მთელი რიგი თავისებურებებით, რომელთაგან 'ზოგიერთი სასარგებლოდ გამოიყენება, ზოგი კი საზიანოა და უნდა გავითვალისწინოთ.

მოვიყვანოთ ეს თავისებურებანი.

მიმდევრობით შეერთების დროს:

$$1) Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = R \text{ - წრედი აქტიური ხასიათი-}$$

საა და მთელი წრედის წინაღობა მინიმალურია და აქტიური წინაღობის ტოლია;

2) თუ რეზონანსული წრედის წინაღობა მინიმალურია, მაშინ დენი წრედში მაქსიმალურია - $I = \frac{U}{R}$;

3) თუ $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, მაშინ $I\omega L = I \frac{1}{\omega C}$, ანუ $U_L = U_C$, ე.ი. ძაბვები ინდუქციურობაზე და ტევადობაზე რეზონანსის დროს ერთმანეთის ტოლია. ამიტომ რეზონანსს მიმდევრობით შეერთებულ წრედში ძაბვების რეზონანსი ეწოდება;

4) რეზონანსის დროს $Z = R$, მაშინ $IZ = IR$ ანუ $U = U_R$ - რეზონანსის დროს წრედზე მოდებული ძაბვა აქტიურ წინაღობაზე მოდებული ძაბვის ტოლია;

5) ვთქვათ წრედის პარამეტრები ისეა შერჩეული, რომ $\omega L = \frac{1}{\omega C} > R$, მაშინ სამართლიანია ტოლობა: $I\omega L = I \frac{1}{\omega C} > IR$ ანუ $U_L = U_C > U_R = U$. რეზონანსის დროს მიმდევრობით

შეერთებულ წრედში ძაბვა ერთ - ერთ ელემენტზე შეიძლება მეტი იყოს წრედზე მოდებულ ძაბვაზე.

ის ფაქტი, რომ ძაბვა ინდუქციურობაზე და ტევადობაზე შეიძლება მეტი იყოს წრედზე მოდებულ ძაბვაზე, უნდა იყოს გათვალისწინებული ელექტრული წრედების დაპროექტების დროს. კერძოდ, ელემენტების იზოლაცია გათვლილი უნდა იყოს არა წრედზე მოდებულ ძაბვაზე, არამედ ინდუქციურობაზე და ტევადობაზე მოდებულ ძაბვებზე. ეს ძაბვები ხშირად მნიშვნელოვნად აღემატებიან წრედზე მოდებულ ძაბვას და შეიძლება გამოიწვიონ წრედის დაზიანება.

დ) დენების რეზონანსი - დენების რეზონანსი მიიღწევა პარალელურად შეერთებულ წრფივ წრედში (ნახ. ბ), იმავე გზით, როგორც მიმდევრობით წრედში. პარალელურად შეერთებულ წრედში საერთო რეაქტიული გამტარობა $B = B_L - B_C = 0$, ანუ $B_L = B_C$. ამ ტოლობის დროს დენები ინდუქციურობაში $I_L = UB_L$ და ტევადობაში $I_C = UB_C$ ერთმანეთის ტოლია $I_L = I_C$ და რეზონანსს პარალელურად შეერთებულ წრედში დენების რეზონანსი ეწოდება.

მიმდევრობითი წრედის ანალოგიურად შეიძლება დავახასიათოთ რეზონანსული წრედი პარალელურად შეერთების დროს:

$$1) \quad Y = \sqrt{G^2 + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2} = G \quad \text{წრედი აქტიური ხა-}$$

სიათისაა და მთელი წრედის გამტარობა მინიმალურია და აქტიური გამტარობის ტოლია;

2) თუ რეზონანსული წრედის გამტარობა მინიმალურია, მაშინ დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში რეზონანსის დროს მინიმალურია $I = UG$;

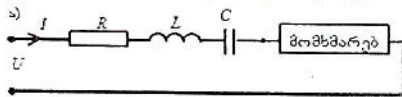
3) რეზონანსის დროს $Y = G$, მაშინ $UY = UG$, ანუ $I = I_G$. დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში აქტიურ გამტარობაში გამავალი დენის ტოლია;

4) ვთქვათ წრედის პარამეტრები ისეა შერჩეული, რომ $\frac{1}{\omega L} = \omega C > G$, მაშინ სამართლიანია ტოლობა: $U \frac{1}{\omega L} = U\omega C > UG$,

ანუ $I_L = I_C > I_R = I$. რეზონანსის დროს პარალელურად შეერთებულ წრედში დენი ინდუქციურობაში ან ტევადობაში შეიძლება მეტი იყოს წრედის განუშტოებელ ნაწილში გამავალ დენზე. ეს ფაქტი უნდა გავითვალისწინოთ წრედების დაპროექტების დროს გამტარის განიკვეთის შერჩევისას. იგი უნდა შევირჩიოთ რეზონანსულ დენებზე და არა წრედის განუშტოებელ ნაწილში გამავალი დენზე.

10.18. რეზონანსული მოვლენის გამოყენების მაგალითები

ა) რეზონანსული ფილტრი – ფილტრი ეწოდება ისეთ მოწყობილობას, რომელსაც შესწევს უნარი გაატაროს ან არ გაატაროს რომელიმე სიხშირის დენი. ვთქვათ მომხმარებელზე მოდებულია ძაბვა და იგი

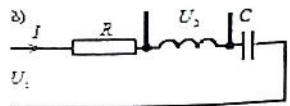


შეიცავს მრავალ სხვადასხვა სიხშირის მდგენელს. ჩვენთვის საინტერესოა მომხმარებელში მოხვდეს ერთი მათგანი, მაგალითად ω_0 სიხშირის მდგენელი, მაქსიმალური მომხმარებლის მიმდევრობით შევაერთოდ მიმდევრობით შეერთებული R, L, C წრედი,

რომლის პარამეტრები შერჩეულია ისე, რომ $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$; ამ

სიხშირეზე მცირდება რეზონანსი და ამ სიხშირის მდგენელი-სათვის იქნება მიმდევრობით შეერთებული წრედის წინააღმდეგობა მინიმალური და იგი გაატარებს მას დანარჩენებს კი შეზღუდავს.

ბ) რეზონანსული „ტრანსფორმატორი“ – არის შემთხვევები, როცა საჭიროა წრედის ძაბვაზე მეტი ძაბვა, როგორც წესი ეს ხდება ტრანსფორმატორის საშუალებით (განვიხილავთ შემდეგ) მაგრამ, თუ ავიღებთ მიმდევრობით შეერთებულ წრედს ისე,

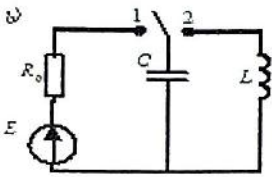


რომ $\omega L = \frac{1}{\omega C} > R$ გვექნება: $U_L = U_C > IR = IZ = U$ (რეზონან-

სის დროს $Z = R$ და $U_R = U$), ე.ი. ძაბვა L -ზე ან C -ზე $\frac{\omega L}{R}$.

ჯერ მეტი იქნება წრედზე მოდებულ ძაბვაზე.

ბ) რხევითი კონტური - ავიღოთ პარალელურად შეკრ-



თებული L, C წრედი (ნახ. ა) და ჩამრთველი დაეყენოთ 1 - მდგომარეობაში. ამ დროს კონდენსატორი დაიმუხტება $U = E$ ძაბვამდე და მაშასადამე დააგროვებს ელექტრული ველის ენერგიას $\frac{CU^2}{2}$. გალა-

ვიყვანოთ ჩამრთველი მე - 2 მდგომარეობაში. კონდენსატორი იწყებს განმუხტვას ინდუქციურობაზე. განმუხტვის პროცესში მცირდება ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ მცირდება მისი ელექტრული ველის ენერგია, სამაგიეროდ იზრდება დენი ინდუქციურობაში, მაშინ მასში

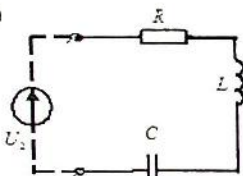
გროვდება მაგნიტური ველის ენერგია $\frac{LI^2}{2}$. როცა კონდენ-

სატორი მთლიანად განიმუხტება, მისი ელექტრული ველის ენერგია ნულის ტოლია, სამაგიეროდ დენი აღწევს კოჭაში მაქსიმუმს და მისი მაგნიტური ველის ენერგია მაქსიმალურია. კონდენსატორის განმუხტვის მომენტში დენი წრედში კი არ შეწყდება, არამედ e_L თვითინდუქციის ემძ-ის გავლენით ინარჩუნებს იმავე მიმართულებას და იწყება კონდენსატორის გადამუხტვა საწინააღმდეგო პოლარობით. ამ პროცესში იზრდება ძაბვა კონდენსატორის მომჭერებზე და მცირდება დენი ინდუქციურობაში, შესაბამისად იზრდება ელექტრული ველის ენერგია და მცირდება მაგნიტური ველის ენერგია კონდენსატორის ბოლომდე დამუხტვის მომენტში ძაბვა მის მომჭერებზე მაქსიმალურია, დენი ინდუქციურობაში ნულის ტოლი, მაგრამ დენი კიდევ არ წყდება და მეორდება პირვანდელი პროცესი. ასე, რომ წრედში ადგილი აქვს ელექტრული ველის ენერგიის მაგნიტური ველის ენერგიაში გადასვლას და პირიქით. ენერგიების ამ გაცვლა - გამოცვლის პროცესში აღიქმება სინუსოიდურად ცვლადი დენი $i = I_m \sin \omega t$, რომლის სიხშირე კონტურის L, C პარამეტრებსა

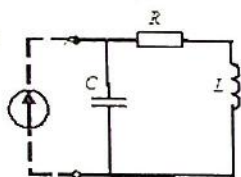
დამოკიდებული და გამოითვლება ფორმულით: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

აღწერილ წრედს რხევითი კონტური ეწოდება, ხოლო ω_0 სიხშირეს - კონტურის საკუთარი სიხშირე.

დ)



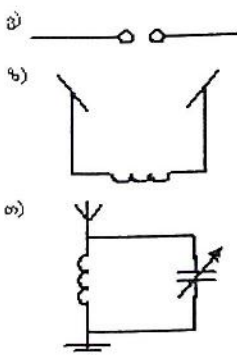
ე)



რეალურ L, C ელემენტებს გააჩნიათ აქტიური წინაღობა R , რომელზეც დროთა განმავლობაში წინასწარ დამუხტული კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერჯიის მარაგი მთლიანად გამოიყოფა სითბოს სახით და კონტურში დენი შეწყდება, ანუ პროცესი მიიღწევა. ენერჯიის არამიღწეადი რხევები რომ შევინარჩუნოთ საჭიროა კონტურს საკუთარი რხევების სიხშირით პერიოდულად მივაწოდოთ

დამატებითი ენერჯია, რომელიც გააკომპენსირებს სითბურ დანაკარგებს. ანუ დამყარდეს რეზონანსი. როცა წყარო, კოჭა, კონდენსატორი და რეზისტორი ქმნიან მიმდევრობით შეერთებულ წრედს (ნახ. ბ) საქმე გვაქვს ძაბვების რეზონანსთან, ხოლო როცა კოჭა და კონდენსატორი წყაროსთან პარალელურად არიან ჩართული (ნახ. გ) - დენების რეზონანსთან.

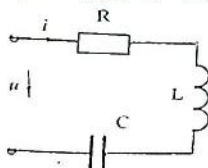
აღნიშნულ რხევით კონტურში ელექტრული ველის ენერჯია პრაქტიკულად კონდენსატორშია თავმოყრილი, ხოლო მაგნიტური ველისა - ინდუქციურ კოჭაში და ამ კონტურს შეკრული კონტური ჰქვია. შეკრულ კონტურში აღძრული ე.წ. ელექტრომაგნიტური ტალღა კონტურში რჩება. პრაქტიკაში დიდი გამოყენება აქვს ე.წ. ღია კონტურს, რომლის საშუალებითაც ელექტრომაგნიტური ტალღის გაძივლა და მიღება პირველად განახორციელა ჰენრიის



ჰერცმა. ჰერცის მიერ გამოყენებული ღია კონტური წარმოადგენდა ერთმანეთისაგან მცირე მანძილით დაშორებულ ტოლი სიგრძის გამტარებს ბურთულებით (ნახ. დ), რომელსაც ჰერცის ვიბრატორი ეწოდება. რხევის აღსაძვრელად ჰერცი თითოეულ გამტარს მაღალ პოტენციალამდე მუხტაედა და პოტენციალთა სხვაობის გარკვეულ მნიშვნელობაზე ბურთულებს შორის ხდებოდა განმუხტვა, რის შედეგადაც გამოსხივდებოდა ელექტრომაგნიტური ტალღა. შემდგომი დამუშავებით ჩაკეტილი კონტური გადაიქცა ღიად, კონდენსატორების ფირფიტების გაშლით (ნახ. ე) და ბოლოს გადაიქცა სწორ გამტარად (ნახ. ე), რომელსაც ანტენას ეუწოდებთ. მასზე ეცემა ბუნებაში გაურცელბული სხვადასხვა რადიოსადგურებიდან იმავე პრინციპით გამოსხივებული ტალღა და კონდენსატორის ტევადობის ცვლილებით კონტური აეწეობა რეზონანსში რომელიმე გარკვეული ω_0 სიხშირის ტალღაზე. მიღებული ტალღის შემდგომი გაძლიერება და დამუშავება საშუალებას გვაძლევს განხორციელდეს რადიო და ტელეკავშირი.

10.19. ცვლადი დენის წრელების ანალიზი კომპლექსურ სახეში

ა) ძირითადი დებულებები კომპლექსურ რიცხვთა თეორიიდან – ცვლადი დენის წრეების ანალიზს კომპლექსურ სახეში საფუძვლად უდევს სინუსოიდური ფუნქციის კომპლექსური რიცხვით წარმოდგენა, აგრეთვე დროის ნამდვილი ფუნქციის გაწარმოება – ინტეგრირების ოპერაციების გამრავლება – გაყოფის ოპერაციებით შეცვლის შესაძლებლობა.



სინუსოიდური ფუნქციის კომპლექსურ სახეში წარმოდგენასა და არითმეტიკულ მოქმედებებს კომპლექსურ რიცხვებზე გავეცანით §9.7 – ში, ხოლო რაც შეეხება გაწარმოება – ინტეგრირების ოპერაციებს – კომპლექსურ რიცხვთა თეორიაში მტკიცდება, რომ ნამდვილი სინუსოიდური ფუნქციის წარმოებულის კომპლექსური გამოსახვა ამ ფუნქციის კომპლექსური გამოსახვის $j\omega$ -ზე ნამრავლის გოლია, ხოლო ინტეგრალისა – $j\omega$ -

ზე განაყოფის, ე.ი. თუ $i \equiv I$, მაშინ

$$\frac{di}{dt} = j\omega i; \quad \int idt = \frac{i}{j\omega}.$$

ასე მაგალითად, მიმდევრობით შეერთებული R, L, C წრედის განტოლება ძაბვებისა და დენის მყისი მნიშვნელობებისათვის ნაიწერება შემდეგნაირად:

$$u = u_R + u_L + u_C = iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt \quad (1)$$

გადავიდეთ დენისა და ძაბვის კომპლექსურ გამოსახვებზე, ე.ი. გვექნება:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I}R + j\omega L \dot{I} + \frac{1}{j\omega C} \dot{I}. \quad (2)$$

(1) და (2) ერთი და იგივე წრედის განტოლებებია: (1) ძაბვებისა და დენის მყისი მნიშვნელობებისათვის და წარმოადგენს ინტეგრო - დიფერენციალურ განტოლებას, ხოლო (2) ძაბვებისა და დენის კომპლექსური მნიშვნელობებისათვის და წარმოადგენს ალგებრულ განტოლებას. ასე, რომ წრედის ანალიზის დროს ძაბვებისა და დენის მყისი მნიშვნელობებისათვის გაწარმოება - ინტეგრების ოპერაციები უნდა შეეცვალოს გამრავლება - გაყოფის ოპერაციებით მათი კომპლექსური გამოსახვებისათვის, ანუ წრედის დიფერენციალური განტოლება გარდაიქმნება ალგებრულ განტოლებად, რომლის ამოხსნაც გაცილებით მარტივია, ვიდრე დიფერენციალური განტოლებისა.

ბ) მუდმივი დენის წრედებისა და ცვლადი დენის წრედების კომპლექსურ სახეში განტოლებების ანალიზია - დაეუბრუნდეთ (2) განტოლებას. ანალიზით მივიღებთ:

$$\dot{U} = \dot{I}R + j\omega L \dot{I} + \frac{1}{j\omega C} \dot{I} = \dot{I} \left(R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \right)$$

$\dot{U}_R = \dot{I}R$ - ძაბვის კომპლექსური გამოსახვა რეზისტორის ბოლოებზე, $\dot{U}_L = j\omega L \dot{I}$ - კოჭის ბოლოებზე და $\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \dot{I}$ - კონდენსატორის ბოლოებზე.

პირველი დასკვნა: მიმდევრობით შეერთებულ ცვლადი დენის წრედში წრედზე მოდებული ძაბვის კომპლექსური გამოსახვა ცალკეულ ელემენტზე მოდებული ძაბვების კომპლექსური გამოსახვების ჯამის გოლია.

შესაბამისად, R რეზისტორის წინაღობა კომპლექსურ სახეში მისი აქტიური R წინაღობის ტოლია. ინდუქციური კო-ჯის კომპლექსური წინაღობა $X = j\omega L$ და კონდენსატორისა

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{j}{j^2\omega C} = \frac{j}{-1 \cdot \omega C} = -j \frac{1}{\omega C}.$$

$\dot{U} = \dot{I}R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C} \dot{I}$ განტოლებაში გავიტანოთ ფრჩხილებს

გარეთ \dot{I} და გვექნება: $\dot{U} = \dot{I}(R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C})$. აქედან

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{\dot{U}}{Z} \quad (3)$$

სადაც, $Z = R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C}$ მიმდევრობით შეერთებული R, L, C

წრედის სრული წინაღობაა კომპლექსურ სახეში.

მეორე დასკვნა: ცვლადი დენის წრედებში მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების სრული კომპლექსური წინაღობა ცალკეული ელემენტების კომპლექსური წინაღობების ჯამის ტოლია.

$$I = \frac{\dot{U}}{Z} - \text{არის ომის კანონი კომპლექსურ სახეში.}$$

მესამე დასკვნა: ცვლადი დენის წრედებში დენის კომპლექსური გამოსახვა ძაბვის კომპლექსური გამოსახვის სრულ კომპლექსურ წინაღობაზე განაყოფის ტოლია.

მიღებულ დასკვნებში ამოქმადოთ სიტყვები - „ცვლადი დენის“, „კომპლექსური გამოსახვა“ და მივიღებთ ერთ მეტად მნიშვნელოვან ძირითად დასკვნას:

ყველა წესი და კანონი, რომელიც ჩამოყალიბებულია მუდმივი დენის წრედებისათვის, ჩაწერის იგივე ფორმით სამართლიანია ცვლადი დენის წრედებში ძაბვების დენებისა და წინაღობების კომპლექსური გამოსახვებისათვის. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ სიმძლავრე. სიმძლავრე მუდმივი დენის წრედში $P = UI$;

ცვლადი დენის წრედში სრული კომპლექსური სიმძლავრე $\dot{S} \neq \dot{U}\dot{I}$; აქ მიღებულია ხელოვნური ხერხი. სიმძლავრე კომპლექსურ სახეში გამოისახება ძაბვის კომპლექსისა და დენის კომპლექსური მნიშვნელობის შეუღლების ნამრავლით:

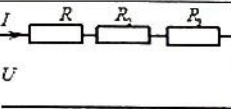
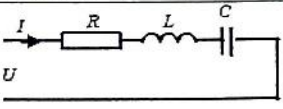
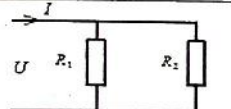
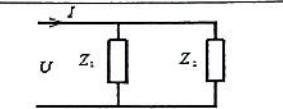
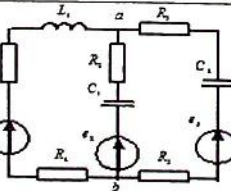
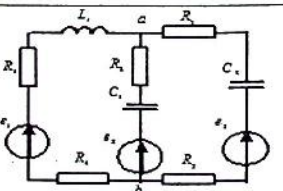
$$\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^*$$

შეუღლებული ეწოდება კომპლექსურ რიცხვებს, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ წარმოსახვითი ნაწილის ნიშნით ალგებრულ სახეში და არგუმენტის ნიშნით მაჩვენებლიან სახეში, ე.ი.

$$\dot{A} = a + jb ; \quad \dot{A}^* = a - jb ;$$

$$\dot{B} = ce^{j\alpha} ; \quad \dot{B}^* = ce^{-j\alpha} .$$

ეს დასკვნები შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი ცხრილების სახით:

№	მუდმივი დენის წრედი	ცვლადი დენის წრედი
1		
<p>მიმდევრობით შეერთებული წრედის ექვივალენტური წინაღობა იქნება</p> $R = R_1 + R_2 + R_3 \qquad \underline{Z} = R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C}$		
2		
<p>პარალელურად შეერთებული ორი წინაღობის ექვივალენტური წინაღობა</p> $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad \underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$		
3		
<p>წრედის ექვივალენტური გარდაქმნით მივიღებთ</p>		

სადაც	
$R_9 = R_1 + R_2 + R_7;$ $R_{10} = R_5 + R_6;$ $R_{11} = R_3 + R_4 + R_8.$	$\underline{Z}_1 = R_1 + R_4 + j\omega L_1;$ $\underline{Z}_2 = R_2 - j\frac{1}{\omega C_1};$ $\underline{Z}_3 = R_3 + R_5 - j\frac{1}{\omega C_2}.$
კირხჰოფის I კანონი a კვანძისათვის	
$I_1 + I_3 = I_2$	$\dot{I}_1 + \dot{I}_3 = \dot{I}_2$
კირხჰოფის II კანონი დამოუკიდებელი კონტურებისათვის	
$I_1 R_9 + I_2 R_{10} = \dot{E}_1 - \dot{E}_2;$ $-I_2 R_{10} - I_3 R_{11} = E_2 - E_3.$	$\dot{I}_1 \underline{Z}_1 + \dot{I}_2 \underline{Z}_2 = \dot{E}_1 - \dot{E}_2;$ $-\dot{I}_2 \underline{Z}_2 - \dot{I}_3 \underline{Z}_3 = \dot{E}_2 - \dot{E}_3.$
წრედის ანგარიში კონტურული დენების მეთოდით: განტოლებათა სისტემის კონტურული დენების საანგარიშოდ ექნება სახე:	
$I_I (R_9 + R_{10}) - I_{II} R_{10} = E_1 - E_2$ $-I_I R_{10} + I_{II} (R_{10} + R_{11}) = E_2 - E_3$ $I_1 = I_I;$ $I_2 = I_I - I_{II};$ $I_3 = -I_{II}.$	$\dot{I}_I (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) - \dot{I}_{II} \underline{Z}_2 = \dot{E}_1 - \dot{E}_2$ $-\dot{I}_I \underline{Z}_2 + \dot{I}_{II} (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3) = \dot{E}_2 - \dot{E}_3$ $\dot{I}_1 = \dot{I}_I;$ $\dot{I}_2 = \dot{I}_I - \dot{I}_{II};$ $\dot{I}_3 = -\dot{I}_{II}.$
ომის კანონი	
$I_1 = \frac{U_{ba} + E_1}{R_1}$	$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{ba} + \dot{E}_1}{\underline{Z}_1}$

გ.) ცვლადი დენის წრედების ანგარიშის ზოგადი გზა კომპლექსურ სახეში

ზემოთ მიღებული დასკვნის საფუძველზე შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ ცვლადი დენის წრედების ანგარიშის ზოგადი გზა კომპლექსურ სახეში;

1.) ჩავწეროთ მოცემული წრედის ყველა შტოს კომპლექსური წინაღობა ალგებრულ და მაჩვენებლიან სახეში.

2.) ჩავწეროთ მოცემული სინუსოიდური ფუნქციები კომპლექსურ სახეში;

3.) გავიანგარიშოთ ცვლადი დენის წრედი მუდმივი დენის წრედების ანგარიშის ანალოგიურად ძაბვების, დენების და წინაღობების კომპლექსური გამოსახვებისათვის;

4.) საძიებელი სიდიდეების მიღებული კომპლექსური გამოსახვებიდან გადავიდეთ ნამდვილ სინუსოიდურ ფუნქციებზე. მაგალითი. განვიხილოთ მუდმივი დენის წრედი R_1, R_2, R_3 პარამეტრებით და ცვლადი დენის წრედი $R_1, X_1; R_2, X_2$ და R_3, X_3 პარამეტრებით; ორივე წრედში ცნობილია წრედზე მოდებული ძაბვათა მნიშვნელობები.

ორივე წრედში გავიანგარიშოთ დენები თითოეულ შტოში.

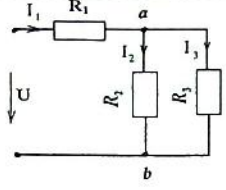
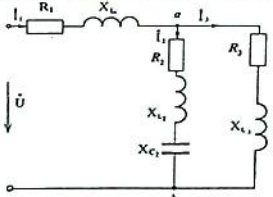
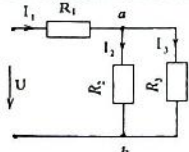
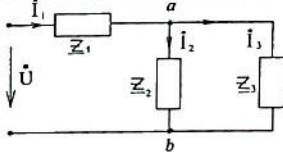
თავდაპირველად ცვლადი დენის თითოეული შტოს წინაღობა ჩავწეროთ კომპლექსურად ალგებრულ და მაჩვენებლიან სახეში და წრედი წარმოვადგინოთ Z_1, Z_2, Z_3 კომპლექსური წინაღობებით. და ამის შემდეგ გავიანგარიშოთ ცვლადი დენის წრედი, მუდმივი დენის წრედის ანალოგიურად.

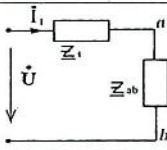
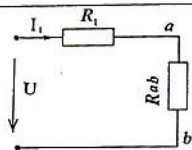
თვალსაჩინოების მიზნით ცხრილის მარცხენა ნაწილში წარმოდგენილია მუდმივი დენის წრედის ანგარიში, ხოლო მარჯვენა ნაწილში ცვლადი დენის წრედის ანგარიში.

მუდმივი დენის წრედის პარამეტრებია $R_1 = 1,6$ ომი; $R_2 = 4$ ომი; $R_3 = 6$ ომი; წრედზე მოდებულია 40 ვ სიდიდის ძაბვა.

ცვლადი დენის წრედის პარამეტრებია:

$R_1 = 5$ ომი; $X_{L1} = 4$ ომი; $R_2 = 4$ ომი; $X_{L2} = 5$ ომი; $X_{C2} = 2$ ომი; $R_3 = 6$ ომი; $X_{L3} = 3$ ომი, ხოლო წრედზე მოდებულია 40 ვ სიდიდის ძაბვა.

მუდმივი დენის წრედი	ცვლადი დენის წრედი
	
<p> $R_1 = 1,6 \text{ ომი};$ $R_2 = 4 \text{ ომი};$ $R_3 = 6 \text{ ომი}.$ </p>	<p> პირველი შტოს კომპლექსური წინა- ღობა იქნება $Z_1 = R_1 + jX_1 =$ $= 5 + j4 = \sqrt{25 + 16} e^{j \arctg \frac{16}{25}} = 6,4 e^{j33^\circ}$ ომი ანალოგიურად ჩავწერთ მეორე და მესამე შტოების კომპლექსური წი- ნაღობები, ჯერ ალგებრულ სახეში და შემდეგ ალგებრული სახიდან გა- დავიდეთ მაჩვენებლიან სახეში $Z_2 = R_2 + jX_{L2} - jX_{C2} = 4 + j5 - j2 = 4 + j3 =$ $\sqrt{4^2 + 3^2} e^{j \arctg \frac{3}{4}} = 5 e^{j37^\circ}$ ომი. $Z_3 = R_3 - jX_3 = 6 - j3 = 6,7 e^{-j26^\circ}$ ომი. მეტი სიცხადისათვის წრედი გადაე- ხაზოთ $Z_1 Z_2 Z_3$ პარამეტრებით. </p>
	
<p> ab უბანზე მეორე და მესამე შტოები შეერთებულია პარალელურად. განვსაზღვროთ მათი ეკვივალენტური წინაღობები </p>	
$R_{ab} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} = 2,4 \text{ ომი}$	$Z_{ab} = \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{5 e^{j37^\circ} \cdot 6,7 e^{-j26^\circ}}{4 + j3 + 6 - j3} =$ $= \frac{33,5 e^{j11}}{10} = 3,35 e^{j11} = 3,3 + j0,64 \text{ ომი}$
<p>და საანგარიშო სქემა მიიღებს სახეს</p>	



მთელი წრედის ეკვივალენტური წინაღობა იქნება

$$R = R_1 + R_{ab} = 1,6 + 2,4 = 4 \text{ ომი}$$

$$Z = Z_1 + Z_{ab} = 5 + j4 + 3,3 + j0,64 = 8,3 + j4,64 = 9,5e^{j29^\circ} \text{ ომი}$$

მიღებული ეკვივალენტური სქემიდან განვსაზღვროთ დენი ომის კანონით

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{40}{4} = 10 \text{ ა}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{U}{Z} = \frac{40}{9,5e^{j29^\circ}} = 4,2e^{-j29^\circ} = 3,67 - j2 \text{ ა.}$$

ეს დენი გადის $R_1 (Z_1)$ წინაღობებში, ე.ი. იგი წარმოადგენს საანგარიშო წრედის პირველ შტოში გამავალ დენს

$$I_1 = 10 \text{ ა}$$

$$\dot{I}_1 = 3,67 - j2 = 4,2e^{-j29^\circ} \text{ ა.}$$

ძაბვა ab უბანზე იქნება

$$U_{ab} = I_1 \cdot R_{ab} = 10 \cdot 2,4 = 24 \text{ ვ}$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}_1 \cdot Z_{ab} = 4,2e^{-j29^\circ} \cdot 3,35e^{j11} = 14,07e^{-j18} = (13,4 - j4,3) \text{ ვ}$$

ეკვივალენტურობის პირობის თანახმად ეს ძაბვა მოქმედებს საანგარიშო წრედის ab უბანზე, მაშინ დენები მეორე და მესამე შტოებში იქნება

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = \frac{24}{4} = 6 \text{ ა}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_2} = \frac{14,07e^{-j18}}{5e^{j37}} = 2,81e^{-j55} = (1,61 - j2,3) \text{ ა}$$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3} = \frac{24}{6} = 4 \text{ ა}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_3} = \frac{14,07e^{-j18}}{6,7e^{-j26}} = 2,1e^{j8} = (2,08 + j0,3) \text{ ა}$$

ანგარიშის სისწორე შევამოწმოთ კირხჰოვის პირველი კანონით a კვანძისათვის:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 6 + 4 = 10 \text{ ა.}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 1,61 - j2,3 + 2,08 + j0,3 = 3,69 - j2 = 4,2e^{-j29^\circ} \text{ ა}$$

ე.ი. მივიღეთ

$$I_1 = 10 \text{ ა}$$

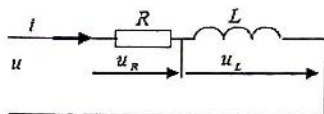
$$\dot{I}_1 = 4,2e^{-j29^\circ} \text{ ა}$$

$I_2 = 6 \text{ ა}$ $I_3 = 4 \text{ ა}$	$\dot{I}_1 = 2,81e^{-j55^\circ} \text{ ა}$ $\dot{I}_1 = 2,1e^{j8^\circ} \text{ ა}$
<p>მუდმივი დენის წრედში ანგარიში დამთავრდა.</p>	<p>ცვლადი დენის წრედში დენების კომპლექსური მნიშვნელობებიდან გადავიდეთ დროის ნამდვილ ფუნქციებზე:</p> $\dot{I}_1 \hat{=} i_1 = 4,2 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 29^\circ) = 5,9 \sin(\omega t - 29^\circ) \text{ ა};$ $\dot{I}_2 \hat{=} i_2 = 2,81 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t - 55^\circ) = 3,7 \sin(\omega t - 55^\circ) \text{ ა};$ $\dot{I}_3 \hat{=} i_3 = 2,1 \cdot \sqrt{2} \sin(\omega t + 8^\circ) = 2,96 \sin(\omega t + 8^\circ) \text{ ა}.$

განვიხილოთ მაგალითები
ამოცანა № 1

მიმდევრობით შეერთებული R, L წრედის პარამეტრებია $R = 10$ ომი; $L = 19,108$ მჰნ; წრედში გადის $i = 5 \sin(314t - 30^\circ)$. ჩაეწეროთ ძაბვათა მყისი მნიშვნელობები R -ზე და L -ზე. განვსაზღვროთ წრედზე მოდებული ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა და ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის. ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა.

ამოხსნა



დენის გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მისი კუთხური სიხშირე $\omega = 314$ რად/წმ, მაშინ კოჭას ინ-დუქციური წინაღობა

$$X_L = \omega L = 314 \cdot 19,108 \cdot 10^{-3} = 6000 \cdot 10^{-3} = 6 \text{ ომი}.$$

ინდუქციურ წინაღობაზე მოდებული ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა $U_{Lm} = I_m \cdot X_L = 5 \cdot 6 = 30$ ვ. ეს ძაბვა წინ გასწრებულია დენისაგან 90° -ით. ე.ი. $\psi_{U_L} - \psi_i = 90^\circ$, საიდანაც $\psi_{U_L} = 90 + \psi_i = 90 - 30 = 60^\circ$ და ძაბვის მყისი მნიშვნელობა ინდუქციურობაზე იქნება:

$$u_L = 30 \sin(\omega t + 60^\circ)$$

აქტიურ წინაღობაზე ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$U_{Rm} = I_m R = 5 \cdot 10 = 50 \text{ ვ}$$

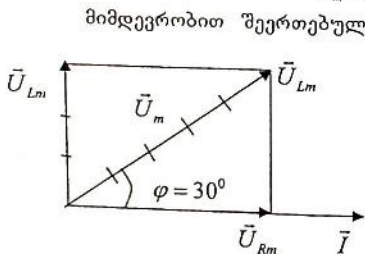
ეს ძაბვა ფაზით ემთხვევა დენს და გვექნება: $\psi_{U_R} = \psi_i = -30^\circ$; $u_{Rm} = 50 \sin(\omega t - 30^\circ)$.

წრედზე მოდებული ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$U_m = I_m \cdot Z$, სადაც $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{100 + 36} = 11,67$ ომი წრედის სრული წინაღობაა $U_m = 5 \cdot 11,67 = 58,3$ ვ. ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R} = \arctg 0,6 = 30^\circ$.

ძაბვის საწყისი ფაზა ψ_U განვსაზღვროთ ძერის კუთხის განსაზღვრიდან $\varphi = \psi_u - \psi_i$ საიდანაც $\psi_u = \varphi + \psi_i = 30 - 30 = 0^\circ$ და გვექნება: $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) = 58,3 \sin \omega t$. ვექტორული დიაგრამა ავაგოთ ტოლობით

$$\vec{U}_m = \vec{U}_{Rm} + \vec{U}_{Lm}$$



მიმდევრობით შეერთებულ წრედში დენი საერთოა, ამიტომ მიზანშეწონილია საწყის ვექტორად ავირჩიოთ დენის ვექტორი. მიეცემა მას ჰორიზონტალური მიმართულება. ავირჩიოთ მასშტაბი:

$Mu = 10 \frac{\text{ვ}}{\text{სმ}}$. \vec{U}_L ძაბვის ვექტორი 90° -ით წინგასწ-

რებულია დენისაგან, ე.ი. გავატაროთ \vec{U}_L ვექტორი \vec{I} -ს მართობულად დადებითი მიმართულებით და გადავზომოთ

$\frac{U_{Lm}}{Mu} = 5$ სმ წრედზე მოდებული ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნე-

ლობა ეექტორული დიაგრამიდან გვაქვს: $\vec{U} = \vec{U}_{Rm} + \vec{U}_{Lm}$, ანუ

$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + U_{Lm}^2} = \sqrt{50^2 + 30^2} = \sqrt{2500 + 900} = 58,3 \text{ ვ}$$

ძერის კუთხეს ძაბვასა და დენს შორის φ გაეზომეთ ტრანსპორტირით და $\varphi = 30^\circ$. ეს შედეგი ემთხვევა თეორიული ანალიზით მიღებულ შედეგებს.

ამოხსნა კომპლექსურ სახეში

ინდუქციური წინაღობა $X_L = j\omega = j314 \cdot 19,108 \cdot 10^{-3} = j6$ ომი;

მთელი წრედის კომპლექსური წინაღობა

$$\underline{Z} = R + jX_L = 10 + j6 = \sqrt{10^2 + 6^2} e^{j \arctg \frac{6}{10}} = 11,67 e^{j30^\circ} \text{ ომი};$$

დენის კომპლექსური ამპლიტუდა

$$\dot{I}_m = \dot{I}_m e^{j\psi_i} = 5 e^{-j30^\circ};$$

წრედზე მოდებული ძაბვის კომპლექსური ამპლიტუდა

$$\dot{U}_m = \dot{I}_m \cdot \underline{Z} = 5 e^{-j30^\circ} \cdot 11,67 e^{j30^\circ} = 58,3 \text{ ვ};$$

ძაბვის კომპლექსური ამპლიტუდა ინდუქციურობაზე

$$\dot{U}_{Lm} = \dot{I} \cdot X_L = 5 e^{-j30^\circ} \cdot 6 e^{j90^\circ} = 30 e^{j60^\circ};$$

ამ ძაბვის მყისი მნიშვნელობა

$$u_L = 30 \sin(\omega t + 60^\circ);$$

ანალოგიურად ძაბვისათვის აქტიურ წინაღობაზე გვექნება:

$$\dot{U}_{Rm} = \dot{I} \cdot R = 5 e^{-j30^\circ} \cdot 10 = 50 e^{-j30^\circ};$$

$$u_{Rm} = 50 \sin(\omega t - 30^\circ).$$

ამოცანა №2

განვსაზღვროთ აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები დენისა და ძაბვის დროის ნამდვილი ფუნქციებისათვის და კომპლექსურ სახეში, წინა ამოცანის მონაცემების მიხედვით.

ამოხსნა

წრედში განვითარებული აქტიური სიმძლავრე

$$P = I^2 R = UI \cos \varphi = \left(\frac{5}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R = \frac{25}{2} \cdot 10 = 125 \text{ ვტ};$$

რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q = I^2 X_L = UI \sin \varphi = \left(\frac{5}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot X_L = \frac{25}{2} \cdot 6 = 75 \text{ ვარი};$$

სრული სიმძლავრე

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{125^2 + 75^2} = 145,78 \text{ ვა};$$

კომპლექსური სიმძლავრე

$$\underline{S} = \dot{U} \dot{I} = \frac{58,3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5}{\sqrt{2}} e^{j30^\circ} = 150 e^{j30^\circ} \text{ ვ.ა};$$

აღგებრულ სახეში გვექნება

$$\underline{S} = 150(\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) = 150 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j \frac{1}{2} \right) = 125 + j75 = P + jQ;$$

ე.ი. $P = 125$ ვტ; $Q = 75$ ვარი.

თავი XI. არასინუსოიდური ღენი, ცვლადი ღენის ბარლაჟენა მუღვივ ღენაჲ და კირიქიძი

11.1. არასინუსოიდური ცვლადი ღენი

პრაქტიკაში გამოიყენება ცვლადი ღენი, რომელიც იცვლება პერიოდული, მაგრამ არასინუსოიდური კანონით (იხ. ცხრილი).

არასინუსოიდური ღენის აღქერის უპირველესი მიზეზია წრედში არაწრფივი ელემენტების არსებობა, რამდენადაც ამ დროს ირღვევა წრფივი დამოკიდებულება ძაბვასა და ღენს შორის და სინუსოიდური ძაბვის მოქმედებისას ღენები გადაუსხევენ ცვალებადობის სინუსოიდური კანონისაგან.

ა) ფურიეს მწკრივი - ფრანგმა მეცნიერმა ფურიემ მათემატიკური გამოთვლებით უჩვენა, რომ პერიოდული, მაგრამ არასინუსოიდური კანონით ცვლადი ფუნქცია, რომელიც აკმაყოფილებს განსაკუთრებულ პირობებს, შეიძლება გაიშალოს მწკრივის, ანუ ჯამის სახით, რომლის პირველი შესაკრებია მუდმივი რიცხვი, ხოლო დანარჩენები - კლებადი ამპლიტუდისა და ჯერადი სიხშირის სინუსოიდური ფუნქციები.

პრაქტიკულად არსებული ყველა პერიოდული ძაბვა და ღენი აკმაყოფილებს ზემოთ ნახსენებ განსაკუთრებულ პირობებს, ამიტომ ეს პირობები აქ არ მოგვეყავს და არასინუსოიდური ძაბვა ზოგადად შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$u(t) = U_0 + U_{m_1} \sin(\omega t + \psi_{U_1}) + U_{m_2} \sin(\omega t + \psi_{U_2}) + \\ + U_{m_3} \sin(\omega t + \psi_{U_3}) + \dots + U_{m_n} \sin(\omega t + \psi_{U_n}) + \dots$$

ამ ჯამში U_0 მუდმივ რიცხვს ფურიეს მწკრივის მუდმივი მდგენელი ეწოდება, პირველ სინუსოიდურ მდგენელს $U_{m_1} \sin(\omega t + \psi_{U_1})$, რომლის პერიოდი (სიხშირე) არასინუსოიდური ძაბვის პერიოდის (სიხშირის) ტოლია ეწოდება ძირითადი ჰარმონიკა, ხოლო დანარჩენებს - მაღალი რიგის ჰარმონიკები. ფურიეს მწკრივი თეორიულად უსასრულო მწკრივია, მაგრამ იმის გამო, რომ ჰარმონიკათა ამპლიტუდები მიღვევადია ($U_{m_1} > U_{m_2} > U_{m_3} > \dots$), პრაქტიკულად მეოთხე და მეხუთე ჰარმონიკის ამპლიტუდა U_{m_5} , პირველი ანუ ძირითადი ჰარმონიკის U_{m_1} ამპლიტუდასთან შედარებით შეიძლება ნულის ტოლად მივიღოთ და არასი-

ნუსიოდურ ძაბვას განვიხილავთ როგორც სასრულო მწკრივს პირველი ოთხი წევრის ჯამის სახით:

$$u(t) = U_0 + U_{m1} \sin(\omega t + \psi_{U_1}) + U_{m2} \sin(2\omega t + \psi_{U_2}) + U_{m3} \sin(3\omega t + \psi_{U_3}) + U_{m4} \sin(4\omega t + \psi_{U_4}).$$

მათემატიკური გამოთვლებით მტკიცდება, რომ ამა თუ იმ სიმეტრიულობის შემთხვევაში არასინუსიოდური ფუნქციის ფურიეს მწკრივის განაშლალში არ შედის ან მუდმივი მდგენელი, ან ლუწი რიგის, ან კენტი რიგის ჰარმონიკები და არასინუსიოდური ფუნქციის ფურიეს მწკრივს აქვს სხვადასხვა სახე.

ცხრილში ნაჩვენებია პრაქტიკაში ყველაზე მეტად გამოყენებული ზოგიერთი არასინუსიოდური ფუნქციის გრაფიკები და მათი შესაბამისი ფურიეს მწკრივის სახე. ცხრილი ალგებრულია საცნობარო ლიტერატურიდან.

	$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\alpha\pi} \left(\sin \alpha \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \sin 5\omega t + \dots \right)$
	$f(\omega t) = \frac{8a_m}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t + \dots \right)$
	$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right)$
	$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\sin \frac{\alpha\pi}{2} \cos \omega t + \frac{1}{3} \sin \frac{3\alpha\pi}{2} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \sin \frac{5\alpha\pi}{2} \cos 5\omega t + \dots \right)$
	$f(\omega t) = \frac{2a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{1.3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3.5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5.7} \cos 6\omega t - \dots \right)$

	$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$
	$f(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \frac{1}{8 \cdot 10} \cos 9\omega t - \dots \right)$
	$f(\omega t) = \frac{3a_m}{\pi} \left(1 + \frac{2 \cos 6\omega t}{5 \cdot 7} - \frac{2 \cos 12\omega t}{11 \cdot 13} + \frac{2 \cos 18\omega t}{17 \cdot 19} - \dots \right)$

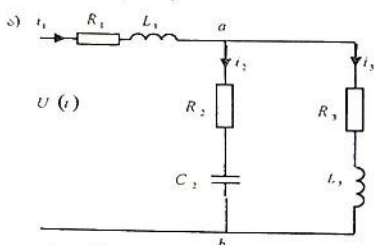
ბ) არასინუსოიდური დენის წრედების ანგარიშის ზოგადი ვაზა - არასინუსოიდური დენის წრედის ანგარიშს საფუძვლად უდევს ელექტრული წრედების ანგარიშის ე.წ. ზედდების მეთოდი. მეთოდის არსი განხილული გვაქვს მუდმივი დენის წრედებში, სადაც აღვნიშნეთ, რომ როცა წრედში მოქმედებს რამდენიმე წყარო, მაშინ წრედს გავიანგარიშებთ თითოეული წყაროსთვის ცალ - ცალკე და შემდეგ რეალურ დენებს შტოებში გამოვთვლით, როგორც ამ შტოში ცალკეული წყაროების მიერ აღძრული დენების ალგებრულ ჯამს.

ასე, რომ თუ წრედზე არასინუსოიდური ძაბვაა მოდებული, შეიძლება წარმოვიდგინოთ, რომ ეს წრედი მიერთებულია მიმდევრობით შეერთებულ რამდენიმე წყაროსთან, რომელთაგანაც პირველი მუდმივი ძაბვის წყაროა (U_0), მეორე $U_m \sin(\omega t + \varphi_v)$ სინუსოიდური ძაბვის წყარო და ა.შ. ეს წყაროები აღძრავენ საერთო დენის თავის მდგენელ დენებს და ჯამში წარმოადგენილი რეალური დენიც იქნება არასინუსოიდური.

როგორც ჩანს, არასინუსოიდური დენის წრედების ანგარიში დადის მუდმივი დენის წრედებისა და სინუსოიდური დენის წრედების ანგარიშზე. გავიხსენოთ, რომ მუდმივი დენისათვის კონდენსატორი გაწყვეტილი წრედია, ხოლო ინდუქციური კოჭის წინაღობა ნულის ტოლია. სინუსოიდური მდგენელებით თავის შეიძლება გამოვიყენოთ კომპლექსურ სახეში ანგარიშის ზოგადი ვაზა.

განვიხილოთ მაგალითი: ვთქვათ წრედზე მოდებულია $u(t) = U_0 + U_{m1} \sin(\omega t + \psi_{U1}) + U_{m2} \sin(\omega t + \psi_{U2})$ ძაბვა და უნდა გავიანგარიშოთ დენები (ნახ. ა). მუდმივი მდგენელისათვის წრედის ჩანაცვლების სქემა იქნება ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები წრედი და დენების მუდმივი მდგენელები იქნება:

$$I_{1(0)} = \frac{U_0}{R_1 + R_3}; \quad I_{2(0)} = 0; \quad I_{3(0)} = \frac{U_0}{R_1 + R_3};$$



სინუსოიდური მდგენელებისათვის ზოგადად გვექნება ნახ. გ-ზე ნაჩვენები წრედი. პირველი პარამონიკისათვის სინუსოიდური ძაბვის კომპლექსური ამპლიტუდა იქნება $\dot{U}_{m(t)} = U_{m(t)} e^{j\psi_{U1}}$, ხოლო წრედის პარამეტრები:

$$\underline{Z}_{1(t)} = R_1 + j\omega L_1; \quad \underline{Z}_{2(t)} = R_2 - j\frac{1}{\omega C_2}$$

და $\underline{Z}_{3(t)} = R_3 + j\omega L_3$. გავიანგარიშებთ ამ წრედს კომპლექსურ სახეში, მივიღებთ თითოეული შტოს დენის პირველი პარამონიკის კომპლექსურ გამოსახვებს და გადავალთ შესაბამის სინუსოიდურ ფუნქციებზე:

$$\dot{I}_{1m(t)} \equiv i_{1(t)} = I_{1m(t)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)});$$

$$\dot{I}_{2m(t)} \equiv i_{2(t)} = I_{2m(t)} \sin(\omega t + \psi_{i(2)});$$

$$\dot{I}_{3m(t)} \equiv i_{3(t)} = I_{3m(t)} \sin(\omega t + \psi_{i(3)}).$$

შემდეგ გავიანგარიშებთ წრედს (ნახ. გ) ძაბვის მეორე სინუსოიდური პარამონიკისათვის, რომლის კომპლექსური ამპ-

ლიტუდა იქნება $U_{m(2)} = U_{m(2)} e^{j\omega t}$ და წრედის პარამეტრები:

$$\underline{Z}_{1(2)} = R_1 + j2\omega L_1; \quad \underline{Z}_{2(2)} = R_2 - j\frac{1}{2\omega C_2} \quad \text{და} \quad \underline{Z}_{3(2)} = R_3 + j3\omega L_3.$$

გავიანგარიშებთ წრედს კომპლექსურ სახეში და ჩაწერთ თითოეული შტოს დენის მეორე ჰარმონიკებს: $i_{1(2)}; i_{2(2)}$ და $i_{3(2)}$ და რეალური დენები თითოეულ შტოში ჩაიწერება ფურიეს მწკრივის სახით:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_{1(0)} + I_{1(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}) + I_{1(2)} \sin(2\omega t + \psi_{i(1)}); \\ i_2 &= I_{2(0)} + I_{2(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(2)}) + I_{2(2)} \sin(2\omega t + \psi_{i(2)}); \\ i_3 &= I_{3(0)} + I_{3(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(2)}) + I_{3(2)} \sin(2\omega t + \psi_{i(3)}). \end{aligned}$$

ანალოგიურად იანგარიშება მესამე ჰარმონიკისათვის და ა.შ.

ვ) არასინუსოიდური დენის მოქმედი მნიშვნელობა - არასინუსოიდური დენის მოქმედი მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$I = \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(1)}^2 + I_{(2)}^2 + I_{(3)}^2 \dots},$$

სადაც I_0 არასინუსოიდური დენის მუდმივი მდგენელია და $I_1; I_2 \dots I_n$ ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობები.

არასინუსოიდური დენები და ძაბვები, ისე როგორც სინუსოიდური, იზომება ხელსაწყოებით, რომლებიც რეაგირებენ მის მოქმედ მნიშვნელობაზე. ესენია მაგნიტოელექტრული, ელექტრომაგნიტური, სითბური და სხვა. ადრე განხილული სისტემის მზომი ხელსაწყოები.

ღ) სიმძლავრე არასინუსოიდური დენის წრედში - აქტიური სიმძლავრე არასინუსოიდური დენის წრედებში განიხილება ძაბვისა და დენის შესაბამისი ჰარმონიკებით:

$P = U_0 I_0 + U_{(1)} I_{(1)} \cos \varphi_{(1)} + U_{(2)} I_{(2)} \cos \varphi_{(2)} + U_{(3)} I_{(3)} \cos \varphi_{(3)} + \dots$
 U_0, I_0 ძაბვისა და დენის მუდმივი მდგენელებია. $U_{(1)}, I_{(1)}$ და ა.შ. ჰარმონიკების მოქმედი მნიშვნელობებია.

აქტიური სიმძლავრის ანალოგიურად გამოვთვლით რეაქტიულ სიმძლავრეს:

$$Q = U_{(1)} I_{(1)} \sin \varphi_{(1)} + U_{(2)} I_{(2)} \sin \varphi_{(2)} + U_{(3)} I_{(3)} \sin \varphi_{(3)} + \dots$$

სრული სიმძლავრე $S \neq \sqrt{P^2 + Q^2}$. აქ შემოდის ე.წ. შეს-
 წორების კოეფიციენტი T და მაშინ $S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2} = UI$.

მიახლოებითი ანგარიშის დროს, როცა არა გვაქვს ძაბ-
 ვისა და დენის მუდმივი მდგენელები, ესარგებლობთ ექვივალენ-
 ტური სინუსოიდებით. ექვივალენტური სინუსოიდების ძაბვისა
 და დენის მოქმედი მნიშვნელობები არასინუსოიდური ძაბვისა
 და დენის მოქმედი მნიშვნელობების ტოლია და ძვრის კუთხე
 მათ შორის ისეთია, რომ ტოლი იყოს აქტიური სიმძლავრეები
 $UI \cos \varphi = P$. ამ დროს არასინუსოიდური დენის წრედის
 რეაქტიული სიმძლავრე გამოითვლება დამოკიდებულებიდან:


$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = UI \sin \varphi.$$

11.2. ცვლადი დენის გარდაქმნა მუდმივ დენად

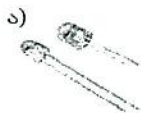
როგორც საყოფაცხოვრებო, ისე საწარმოო დანიშნულე-
 ბით ძირითადად გამოიყენება ცვლადი დენი და მუდმივი ნაკ-
 ლებად, მაგრამ მუდმივ დენსაც აქვს გამოყენების თავისი სფე-
 რო. მაგალითად, მობილურ სისტემებში, სადაც წყაროები
 გადასატანი უნდა იყოს აკუმულატორი ყველაზე მოხერხებული
 წყაროა. ელექტროლიზის დროს გამოიყენება მხოლოდ მუდმივი
 დენი. ელექტრული ძრავების მართვა, კერძოდ, მუდმივი დენის
 მანქანებში სინქარის მდოვრედ რეგულირება გაცილებით იაფი
 და ადვილია, ვიდრე ცვლადი დენის მანქანებში. ამიტომ წვეის
 მანქანებში (მეტრო, ელმავალი) მუდმივი დენის ძრავებია
 გამოყენებული.

მუდმივი დენის წყაროდ აქამდე ჩვენ ვიცნობდით ქიმიურ
 წყაროებსა და თერმოწყვილს. საწარმოო დანიშნულების სიმძ-
 ლავრის ქიმიური წყაროების დამზადება პრაქტიკულად შეუძლე-
 ბელია და დღის წესრიგში დგება ცვლადი დენის მუდმივად
 გარდაქმნა, ამ პროცესს ცვლადი დენის გამართვა ეწოდება. არა
 ნაკლებ საინტერესოა პირიქითი პროცესი - მუდმივი ძაბვა
 გარდაიქმნას ცვლადად. ამ პროცესების შემსრულებელ მოწყო-
 ბილობებს შესაბამისად ეწოდებათ გამმართველი და ინვერტორი.

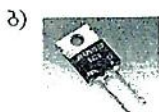
ა) ნახევარგამტარული დიოდი - ნახევარგამტარული დიო-

დი ელექტრულ წრედებზე  სიმბოლოთი აღინიშ-

ნება, მის სტრუქტურას ჩვენ არ განვიხილავთ. ავლნიშნავთ მარტო, რომ იგი დენს ატარებს ერთი მიმართულებით. რეალური დიოდის წინააღობა გამტარი მიმართულებით მცირეა და მივიღოთ იგი ნულის ტოლად, ხოლო დენის საწინააღმდეგო მიმართულებისათვის კი დიოდი და ჩავთვალოთ გაწყვეტილ წრედად. ელექტროტექნიკაში დიოდის საინტერესო პარამეტრებია: დენის დასაშვები მნიშვნელობა და უკუძაბვის სიდიდე. ამ პარამეტრებით არსებობს მცირე სიმძლავრის დიოდები (ნახ. ა), რომელთა დასაშვები დენი მილიამპერმეტრებით განისაზღვრება. საშუალო სიმძლავრის დიოდები (ნახ. ბ) – რომელთა დასაშვები დენის მნიშვნელობა 10 ამპერამდე და მაღალი სიმძლავრის დიოდები (ნახ. გ) – სადაც დასაშვები დენი ასეული ამპერით განისაზღვრება.



10 ა-მდე



10a და მეტი.

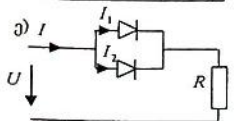
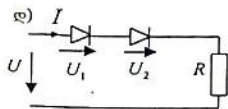


დიდი სიმძლავრის.

უკუძაბვის მიხედვით დიოდები იყოფა კლასებად. კლასის რიგი ასეულ ვოლტს შეესაბამება.

როცა აღებული ტიპის დიოდი ვერ აკმაყოფილებს უკუძაბვის მოთხოვნებს შეიძლება გამოიყენოთ ძაბვის გამყოფი წრედი, ანუ დიოდები ჩავრთოთ მიმდევრობით (ნახ. დ); დენის გაყოფისათვის შეიძლება დიოდები ჩავრთოთ პარალელურად

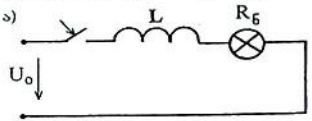
(ნახ. ე)



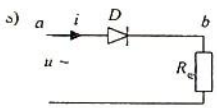
ნახევარგამტარული ხელსაწყოების მეტად მნიშვნელოვანი უარყოფითი თვისებაა მათი პარამეტრების ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ამიტომ აუცილებელი ხდება წრედში ჩართული დიოდების გაგრილება. ყველაზე უფრო მიღებულია კარგ სითბოგამტარ მასალისაგან დამზადებული რადიატორების გამოყენება. მიღებულია აგრეთვე დიოდების გაგრილება შებერვით და წყლით.

ბ) გამართვის სქემები – ლიტერატურაში ხშირად იხმარება გამართვის სქემების არც თუ ისე გამართული დასახელება.

მაგალითად ერთნახევარპერიოდიანი და ორნახევარპერიოდიანი გამართვის სქემები. ერთნახევარპერიოდიანი არ ნიშნავს 1,5 პერიოდს და ორნახევარპერიოდიანი - 2,5-ს, საქმე იმაშია, რომ თუ სინუსოიდური დენის პერიოდს განვიხილავთ როგორც ორ ნახევარ პერიოდს (I და II ნახევარს), (ნახ. ა) მაშინ ერთნახევარპერიოდიანი გამართვის სქემა ითვალისწინებს, რომ იგი ატარებს ერთ ცალ ნახევარპერიოდს, ორ ნახევარპერიოდს. ჩვენ გამოვიყენებთ გამოთქმებს: ნახევარპერიოდიანი გამმართველი, ერთნახევარპერიოდიანის ნაცვლად და სრულპერიოდიანი გამმართველი ორნახევარპერიოდიანის ნაცვლად.



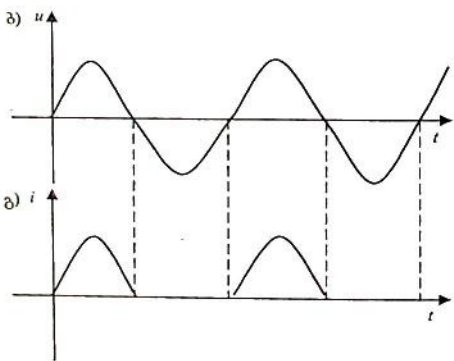
გ) ნახევარპერიოდიანი გამმართველი - სინუსოიდური



ცვლადი დენის წრედში R_g დატვირთვის წინააღობის მიმდევრობით ჩავრთოთ D დიოდი (ნახ. ა). მოდებული ძაბვა ტოლია.

$$u = U_m \sin \omega t \quad (\text{ნახ. ბ}).$$

დიოდი გაატარებს დენის დადებით ნახევარპერიოდებს ანუ როცა დენი მიმართულია a -დან b -სკენ (ნახ. ა) და დენს R_g დატვირთვის წინააღობაში ექნება ნახ. გ-

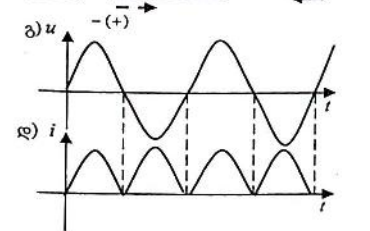
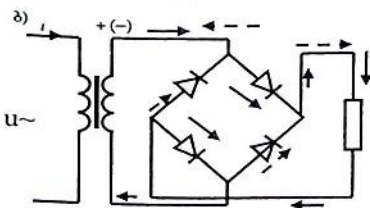
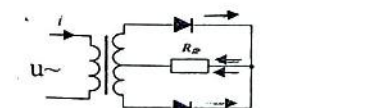


ზე ნაჩვენები სახე. ეს დენი მკვეთრად შორსაა დასახელებიდან - მუდმივი. მუდმივია მისი მხოლოდ მიმართულება. იგი პერიოდული არასინუსოიდური დენის ერთ - ერთი სახეა და მისი ფურიეს განაშალი შეიცავს როგორც მუდმივ მდგენელს, ისე მაღალი რიგის სინუსოიდურ ჰარმონიკებს. გამოთვლებით მიღებულია, რომ ასეთ წრედებში გამართული ძაბვისა და

დენის მოქმედი მნიშვნელობებია $U_0 = 0,45U$ და $I_0 = 0,64I$, სადაც U წრედზე მოდებული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა. ხოლო I , დიოდის გარეშე R_{Σ} - ში გამავალი დენის სიდიდე. სრული სიმძლავრე, რომელიც გამოთვლილია გამმართველის შესასვლელი დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობებით, ტოლია: $S = IU = 3,5P_0$. სიმძლავრის ამ მნიშვნელობას ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის საანგარიშო სიმძლავრე ეწოდება და როგორც ჩანს 3,5 - ჯერ მეტია დატვირთვის გამართული დენის სიმძლავრეზე $P_0 = U_0 I_0$.

ნახევარპერიოდიანი სქემით გამართულ დენს პულსირებული დენი ეწოდება. პულსაციის ხარისხის შესამცირებლად გამოიყენება გამასწორებელი ფილტრები, რომელსაც შემდეგში გავეცნობით.

დ) სრულპერიოდიანი გამმართველი - გავეცნოთ სრულ-



პერიოდიანი გამმართველის ორ სქემას. სქემა ნეიტრალური წერტილით (ნახ. ა) და ე.წ. ბოგორული სქემა (ნახ. ბ). ორივე სქემაზე დენის გზა ერთი ნახევარპერიოდისათვის ნაჩვენებია მთლიანი ისრებით მეორე ნახევარპერიოდისათვის - წყვეტილებით.

ნახ. ა-ზე ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილი გაყოფილია ორ ტოლ ნაწილად და ძაბვა თითოეულ ნახევარზე სინუსოიდურია:

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

ორივე დიოდი მუშაობს ნახევარპერიოდიანი გამმართველი სქემით ერთი დიოდი ატარებს ზედა ნახევარპერიოდს, მეორე - ქვედას. ნახ. ბ-

ზე ტრანსფორმატორის მეორად გრაგნილზე ჩართულია გამ-

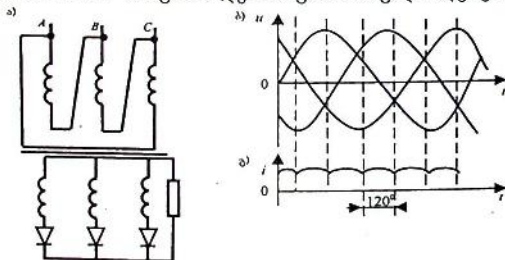
მართველი ბოგირის ერთი დიაგონალი, ბოგირის მეორე დიაგონალზე ჩართულია დატვირთვა. ორივე სქემაზე R_{Σ} დატვირთვის წინაღობაში გამავალ დენს აქვს ნახ. დ-ზე ნაჩვენები სახე. არც ეს დენია მუდმივი და მას მფეთქარი დენი ეწოდება. ისიც არასინუსოიდური დენის ერთ - ერთი ფორმაა და შეიცავს მუდმივ მდგენელს და სინუსოიდურ ჰარმონიკებს. პულსაციის ხარისხის შესამცირებლად პრაქტიკულ სქემებში აქაც გამოიყენება გამასწორებელი ფილტრები.

გამოთვლებით მიღებულია, რომ სრულპერიოდიან გამართვის სქემებში $U_0 = 0,9U$ და $I_0 = 0,8I$. დატვირთვის აქტიური სიმძლავრე - $P = I^2 R_{\Sigma} = UI = S$, ე.ი. სრულპერიოდიანი გამართვის დროს აქტიური სიმძლავრე სრული სიმძლავრის ტოლია. ამ დროს გამართული დენის სიმძლავრე დატვირთვაზე ტოლია.

$$P_0 = U_0 I_0 = 0,8S$$

განხილული გამმართველებიდან ნახ. ა სქემის უარყოფითი მხარეა ის, რომ იგი თხოულობს ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილის შუა წერტილს (ვაქტიურად ორმაგ მეორად გრაგნილს) და გამოიყენება გრაგნილის ნაწილი; ნახ ბ-ზე ის მოთხოვნები არა გვაქვს, მაგრამ დიოდების რიცხვია მეტი. ტრანსფორმატორის სპეც კონსტრუქციიდან გამომდინარე ნახ. ბ სქემა უფრო გავრცელებულია პრაქტიკაში.

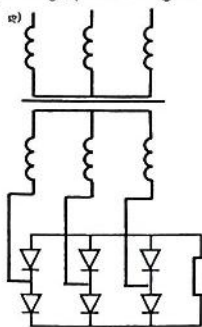
ე) სამფაზა დენის გამმართველი - პულსაციის გაცილებით დაბალი ხარისხისაა სამფაზა დენის გამართული დენები.



სამფაზა წრედში ნეიტრალური სადენის გარეშე ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი შეიძლება ჩაირთოს რო-

გორც სამკუთხედური (ნახ. ა), ისე ვარსკვლავური სქემით, ხოლო მეორეული გრაგნილი ვარსკვლავურად, სადაც თითოეულ ფაზაში ჩართულია დიოდი.

სამფაზა ძაბვისა და R_{Σ} დატვირთვის წინააღმდეგობაში გამავალი დენის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები ნაჩვენებია შესაბამისად ნახ. ბ. და ნახ. გ-ზე. ამ სქემით გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა $U_0 = 1,17U_{\Sigma}$, ხოლო თითოეულ დიოდში გამავალი დენის საშუალო მნიშვნელობა პერიოდის განმავლობაში გამართული დენის მესამედია.



თითოეულ დიოდზე უკუ ძაბვის მნიშვნელობა ხაზური ძაბვის ამპლიტუდის ტოლია.

ამ სქემის უარყოფით მხარედ ითვლება ის, რომ გამართული დენი ინდუქციურად დაკავშირებულ ცალკეულ ფაზებში აღძრავს დამატებით მუდმივ მაგნიტურ ნაკადს. ამ ნაკადით რკინის გაჟღენთვის თავიდან ასაცილებლად უნდა გაეზარდოს რკინის გულარის კვეთი, რაც საგრძნობლად ადიდებს მძლავრი ტრანსფორმატორის გაბარიტებს.

ამიტომ განხილული სქემა გამოიყენება 25 კვტ-მდე სიმძლავრის წრედებში.

მუდმივი დენის მძლავრ ელექტრულ წრედებში, სადაც დიდი დენები მოითხოვება (ელექტროლიზის აბაზანები, ელმავლის ძრავა და ა.შ.) გამოიყენება სამფაზა დენის გამორთვის ბოგირული სქემა (ნახ. დ). ამ სქემაზე ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი შეიძლება ჩაირთოს როგორც სამკუთხედური, ისე ვარსკვლავური სქემით. გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა $U_0 = 1,35$; $U_{\Sigma} = 2,34 U_{\Sigma}$, რაც ბოგირული სქემის დადებითი მხარეა. თითოეულ დიოდზე მოსული უკუ ძაბვის მნიშვნელობა $U_{\Sigma} = 1,045 U_0$.

ვ) გამმართველის გაანგარიშების მარტივი მაგალითები. გამმართველის გაანგარიშების დროს მოცემული სიდიდეებია: პირველადი ცველადი ძაბვა ($\sim U$); გამართული ძაბვისა დენის

საშუალო მნიშვნელობები U_0, I_0 . შევარჩევთ გამმართველის სქემას და დიოდის ტიპს. დიოდის ტიპი დენისა და უკუძაბვის მიხედვით აიღება საცნობარო ლიტერატურიდან.

მაგალითი № 1

მომხმარებელში გამართული დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა 900 მა. გვაქვს D 226 ტიპის დიოდები. განესაზღვროთ დიოდების რიცხვი სრული პერიოდის გამმართველის თითოეულ შტოში.

ამოხსნა

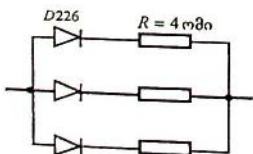
ცნობარიდან გავიგებთ აღნიშნული ტიპის დიოდის დასაშვები დენის ზღვრულ მნიშვნელობას. D 226 ტიპის დიოდისათვის ეს სიდიდეა $I_{ზღვ} = 200$ მა. გასამართავი დენის ნახევარი მეტია დიოდის ზღვრული დენის მნიშვნელობაზე და თითოეულ შტოში უნდა ჩაირთოს რამდენიმე დიოდი პარალელურად. მათი რიცხვი იანგარიშება ფორმულით:

$$n = \frac{\frac{1}{2} I_0}{K_{ღენ} I_{ზღვ}} = \frac{400}{0,75 \cdot 200} = 3,$$

სადაც $K_{ღენ}$ დიოდის დატვირთვის კოეფიციენტია და იცვლება $(0,5 \div 0,9)$ დიაპაზონში. ჩვენი შემთხვევისათვის მიღებულია $K_{ღენ} = 0,75$.

დიოდის წინაღობის გაფანტვის გამო დიოდების დენების გასათანაბრებლად მათთან მიმდევრობით უნდა ჩავრთოთ რეზისტორი, რომლის წინაღობა იანგარიშება ფორმულით

$$R_{ღ} \geq \frac{U_{ზღვრ.საშ} n - 1}{n I_{ზღვრ.საშ} - 1,1 I_0} = \frac{3 - 1}{3 \cdot 300 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 450 \cdot 10^{-3}} = 4 \text{ ომი},$$



სადაც $U_{ზღვრ.საშ}$ ძაბვის პირდაპირი საშუალო ვარდნაა დიოდზე და ჩვენს შემთხვევაში ერთის ტოლია.

სრულპერიოდიანი ბოგირული წრედის ერთ შტოს ექნება ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

ამოცანა №2

განესაზღვროთ $D226A$ დიოდების რიცხვი სრულპერიოდული ბოგირული გამმართველის თითოეულ შტოში, თუ გასამართი ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა 1000 ვ-ის ტოლია.

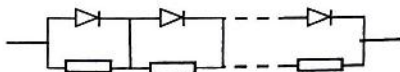
ამოხსნა

ცხრილებიდან გვაქვს, რომ $D226A$ ტიპის დიოდისათვის დასაშვები უკუძაბვისა და დენის ზღვრული მნიშვნელობებია $U_{\text{კუპ}} = 300$ ვ; $I_{\text{კუპ}} = 300$ მკა.

გასამართი სინუსოიდური ძაბვის ამპლიტუდა $U_m = \sqrt{2} \cdot U = 1,41 \cdot 1000 = 1410$ ვ მეტია აღებულ დიოდის უკუძაბვაზე. ამიტომ უნდა ავიღოთ მიმდევრობით შეერთებული რამდენიმე დიოდი, რომელთა რიცხვი იანგარიშება ფორმულით:

$$n = \frac{U_m}{K_{\text{ღატ}} U_{\text{კუპ}}} = \frac{1410}{0,7 \cdot 300} \approx 7$$

სადაც $K_{\text{ღატ}}$ დიოდის დატვირთვის კოეფიციენტია,



იცვლება (0,5 ÷ 0,8) დიაპაზონში და ჩვენს შემთხვევაში 0,7-ის ტოლია. დიოდების უკუწინაღობების

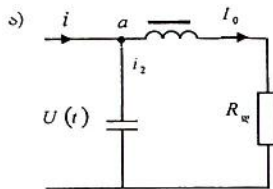
ფანტვის გამო ძაბვების თანაბრად გადასანაწილებლად მიმდევრობით შეერთებული დიოდები უნდა დაშუნტდეს აქტიური წინაღობით, რომლის სიდიდე იანგარიშება ფორმულით

$$R_{\text{შ}} = \frac{nU_{\text{კუპ}} - 1,1U_m}{(n-1) \cdot I_{\text{კუპ}}} = \frac{7 \cdot 300 - 1,1 \cdot 1410}{(7-1) \cdot 300 \cdot 10^{-6}} \approx 500 \text{ კომი}$$

და გამმართველის ერთ შტოს ექნება ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

8) გამასწორებელი ფილტრები. ნახევარპერიოდული ან სრულპერიოდული გამმართველში დენს დატვირთვის წინააღობაში აქვს ერთი მიმართულება, მაგრამ სიდიდით ცვლადია. გარდა ამისა, როგორც პერიოდული და არასინუსოიდური ფუნქციები, შეიცავენ მაღალი რიგის სინუსოიდურ ჰარმონიკებს. ელექტროტექნიკის ბევრ წრედში ეს ჰარმონიკები შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ და ვისარგებლოთ ერთფაზა დენის ამ

გამმართველებით, უფრო მკაცრად მომთხოვნი წრედებისათვის გაემართოთ სამუაზა დენი, მაგრამ არსებობს ელტექნიკური

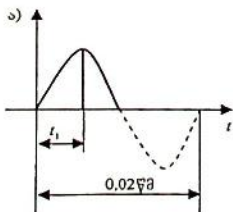


დანადგარები, რომელთათვის გამართული დენი არ უნდა შეიცავდეს სინუსოიდურ პარმონიკებს. ამ შემთხვევაში გამოიყენება ე.წ. გამასწორებელი ფილტრები, რომელიც ირთვება მომხმარებლის პარალელურად. ფილტრს გააჩნია უნარი სპექტრით მდიდარი არასინუსოიდური

დენისაგან გამოყოს მუდმივი და ცვლადი მდგენელები და ეს უკანასკნელი მომხმარებელში არ მოხედეს. ფილტრები აიგება რეაქტიულ ელემენტებით და მათი ფილტრაციის უნარი ეყრდნობა ამ ელემენტების წინააღობის დამოკიდებულებას ცვლადი დენის სიხშირეზე. კერძოდ, გავიხსენოთ, რომ ინდუქციური კოჭის წინააღობა სიხშირის ზრდასთან იზრდება და მუდმივი დენისათვის ნულის ტოლია ($X_L = 2\pi fL$), ხოლო კონდენსატორისათვის პირიქით - წინააღობა სიხშირის ზრდით მცირდება ($X_C = \frac{1}{2\pi fC}$) და მუდმივი დენისათვის უსასრულოდ

დიდება. აქედან გამომდინარე ადვილი მისახვედრია გამასწორებელი ფილტრის მოქმედების პრინციპი.

თუ გამმართველის გამოსასვლელზე დენს არასინუსოიდური ფორმა აქვს და შეიცავს მუდმივ და ცვლად მდგენელებს $i(t) = I_0 + I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin 3\omega t + I_{5m} \sin 5\omega t$, მაშინ a წერტილ-



ში I_0 მუდმივ მდგენელს ნაკლებ წინააღობიანი გზა აქვს ინდუქციური კოჭის სახით, ხოლო კონდენსატორი მას საერთოდ არ გაატარებს. ცვლადი მდგენელებისათვის კონდენსატორის გზა ნაკლებწინააღმდეგობიანია და შეიკვრება ამ გზით, მაშინ როდესაც გრძივ წრედში ჩართული კოჭა მას დიდ წინააღობას უწევს. კოჭის

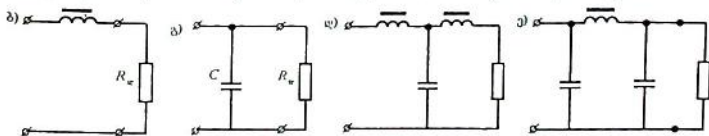
ინდუქციურობის გაზრდის მიზნით უნდა ავიღოთ კოჭა გრაგნილის მრავალი ხეით, მაგრამ ამ დროს იზრდება კოჭის

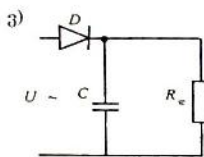
აქტიური წინაღობა და პრაქტიკულ წრედებში აღებულია ფერომაგნიტურ გულარიანი კოჭები.

დიდი ტევადობის კონდენსატორი. მცირე მოცულობაში დიდი ტევადობის ჩაგროვება შესაძლებელია ელექტროლიტურ კონდენსატორებში და გამასწორებელ ფილტრებში სწორედ ასეთი ტიპის კონდენსატორები გამოიყენება. აქ მკაცრად უნდა იყოს დაცული კონდენსატორის ჩართვის პოლარობა. კონდენსატორის ტევადობის შერჩევის დროს სიტყვა „მაღალი“ არ ნიშნავს რომ კონდენსატორის ტევადობა იყოს ძალიან დიდი. კერძოდ, მან უნდა მოასწოროს დამუხტვა გასამართი ძაბვის ერთ მეოთხედ პერიოდში ანუ ძაბვის ზრდის პროცესში, 50 კვ სიხშირის დროს $\frac{0,02}{4} = 0,005$ წმ-ში. ვიცით, რომ

კონდენსატორის დამუხტვა გრძელდება 4τ დროის განმავლობაში (§10.10), სადაც $\tau = RC$. გამმართველის წინაღობა გამტარი მიმართულებით ნულის ტოლია და τ განისაზღვრება კონდენსატორის ტევადობით, ე.ი. პრაქტიკულად კონდენსატორულ ფილტრებში აიღება ($50 \div 100$) მკფ რიგის ტევადობის კონდენსატორები.

ზემოთაღწერილი ფილტრი ორელემენტიანია და მისი შეერთების სქემა რუსული ასოს „Г“ -ს მსგავსია. ფილტრს „Г“ -სებრი ეწოდება. ფილტრაციის მოთხოვნილი ხარისხის მიხედვით ფილტრი შეიძლება შეიცავდეს ერთ ელემენტსაც. მაგალითად, დიდი ინდუქციურობის კოჭა (ნახ.ბ) და დიდი ტევადობის კონდენსატორი (ნახ. გ). უფრო მაღალი რიგის ფილტრაციის მისაღწევად გამოიყენება კასკადური სქემები მაგალითად „Т“ -სებრი (ნახ. დ) ან „П“-სებრი (ნახ. ე).



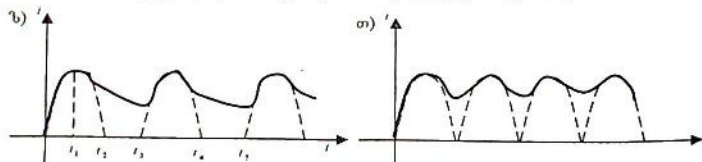


ელექტრული ფილტრის გავლენა გამართული დენის მრუდის ფორმაზე ავსხნათ ყველაზე მარტივ შემთხვევაში, ანუ როცა გამოიყენება ტევადური ფილტრი (ნახ. ე). პულსირებულ დენს R წინააღობაში აქვს ნახ. ზ-ზე ნაჩვენები სახე. დენის

ზრდის პროცესში ($0 \neq t_1$) კონდენსატორი იმუხტება U_m მნიშვნელობამდე. დენის შემცირების პროცესის t_2 მომენტიდან და შემდეგ t_3 მომენტამდე, როცა აღარ არსებობს ($t_2 \neq t_3$) გამართული ძაბვის იმპულსი, R დატვირთვის წინააღობაზე კონდენსატორი გადაიმუხტება და R -ში დენი არ წყდება. ახალი გამართული იმპულსის გაჩენის t_3 მომენტიდან კონდენსატორი კვლავ იმუხტება და დენს დატვირთვის წინააღობაში აქვს გააშუქებული მრუდის ფორმა. მართალია, იგი ჯერ კიდევ არ არის „მუდმივი“, მაგრამ მკვეთრად შემცირებულია პულსაციის ხარისხი. დენი უფრო „მუდმივია“ სრულ პერიოდიანი გამართვის დროს (ნახ. თ).

რთული სქემის ელექტრული ფილტრების გამოყენების შემთხვევაში გასწორებული დენი ძალიან ახლოა მუდმივ დენთან და სამფაზა დენის გამართვისას LC ფილტრებით გასწორებული დენი პრაქტიკულად მუდმივ დენად ითვლება.

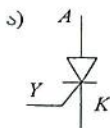
ცნობისათვის აღენიშნავთ, რომ მუდმივი დენი მიიღება აგრეთვე მუდმივი დენის გენერატორებიდან, მაგრამ გენერატორში აღძრული ემპ ცვლადია და მუდმივი დენის გენერატორის დამატებითი მოწყობილობით ე.წ. კოლექტორით, ხდება მისი გამართვა. ამ პროცესს უფრო დაწვრილებით განვიხილავთ ელექტრული მანქანების შესწავლის დროს.



11.3. მუდმივი დენის გარდაქმნა ცვლად დენად

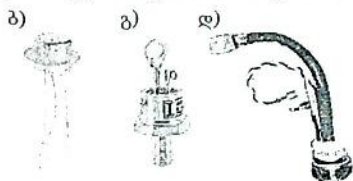
პრაქტიკაში გვხვდება ამოცანები, როცა მუდმივი დენი უნდა გარდაიქმნას ცვლად დენად. ეს პროცესი ხორციელდება მოწყობილობაში, რომელსაც ეწოდება ინვერტორი. ინვერტორის მოქმედების პრინციპი დიოდის ნახევარგამტარულ თვისებაზეა დამყარებული, მაგრამ ამ წრედში გამოყენებული დიოდი მართვედია და მას ეწოდება ტირისტორი.

ა) ტირისტორი - ნახევარგამტარული დიოდისაგან განს-



ხვავებით ტირისტორს ორი A - ანოდისა და K - კათოდის ელექტროდების გარდა გააჩნია მესამე - მართვის ელექტროდი - Y (ნახ. ა). ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ტირისტორი ჩაკეტილია და არცერთი მიმართულებით დენს არ ატარებს. როცა Y ელექტროდზე გაჩნდება ე.წ. მართვის იმპულსი,

ტირისტორი გაიღება და გაატარებს დენს A -დან K -სკენ. იგი ღია მდგომარეობაში რჩება მართვის ელექტროდიდან ძაბვის



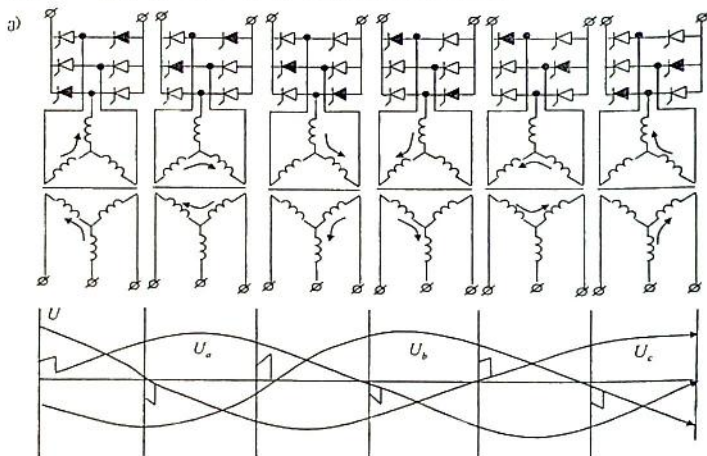
მოხსნის შემდეგაც. მისი ამ თვისების გამო ტირისტორი, გარდა ინვერტორისა სხვა ელექტრულ წრედებში ფართოდ გამოყენებული ელემენტიცაა. ყველაზე მარტივი წარმოდგენით ტირისტორი ელექ-

ტრონული ჩამრთველია და მან შეიძლება ჩართოს წრედი მართვის ელექტროდზე მცირე სიმძლავრის მართვის სიგნალის მიწოდებით. ტირისტორის გამორთვა ხდება მისი წრედიდან ამორთვით ან ანოდ - კათოდზე უკუძაბვის გაჩენით, რომელიც აღძრავდა დენს K -დან A -სკენ. ტირისტორის გამოყენების მრავალგვარი სფეროდან გამომდინარე, იგი მზადდება სხვადასხვა ტიპის: დასაშვები დენის, უკუძაბვის, გამყოფი იმპულსის სიდიდის და ხანგრძლივობის მიხედვით. ტირისტორის ეს მონაცემები აიღება საცნობარო ლიტერატურიდან. სურათებზე ნაჩვენებია მცირე (ნახ. ბ), საშუალო (ნახ. გ) და დიდი სიმძლავრის (ნახ. დ) ტირისტორები, გამაგრებული რადიატორებისა და მათ გარეშე. დასაშვები დენის მნიშვნელობები ტირისტორის ტიპების მიხედვით მილიამპერებიდან კი-

ლოამპერებში იზრდება. ხოლო ძაბვა კლასის მიხედვით 15 - 20 კვ-ს აღწევს. ისე, როგორც დიოდებისა, ტირისტორების დასაშვები დენების და ძაბვების დიაპაზონი შეიძლება გაიზარდოს მათი მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებებით.

გარდა სურათზე ნაჩვენებისა გამოდის მაღალი კლასის ტირისტორები წრიული ფორმით, რომელთა დასაშვები დენები იმპულსში მეგა ამპერებამდე აღწევს. გარდა ძაბვისა და დენისა, მართვის ავტომატურ სქემებში და სხვადასხვა ტიპის გარდამქმნელებში ტირისტორს მოეთხოვება ამუშავების მცირე დრო. ამ მხრივ არსებობს იმპულსური ტირისტორები, რომელთა ამუშავების დრო (2 - 3) მიკროწამს არ აღემატება.

ბ) ცნება ინვერტორის შესახებ - მუდმივი დენის ცვლად დენად გარდაქმნის პროცესი ილუსტრირებულია ნახ. ე-ზე. ექვსი ტირისტორისაგან შედგენილი ბოგური სქემის შესავალზე მოდებულია მუდმივი ძაბვა, ხოლო ბოგური სქემის გამოსავალი მიერთებულია სამფაზა ტრანსფორმატორის პირველად გრავნილზე, მეორეულ გრავნილზე ირთვება მომხმარებელი, რომელიც ნახაზ ე-ზე ნაჩვენები არ არის.



ტირისტორის მართვის ელექტროდებზე მართვის იმპულსთა მონაცვლეობით მიწოდებისას იღება ერთ ფაზაში ჩართული წყვილი, რომელიც დროის სხვადასხვა მომენტისათვის ნახ. ე-ზე

ნაწვენებია გამუქებული ტირისტორებით. დატვირთვაში აღიქრება ცვლადი დენი, რომლის ფორმის სინუსოიდურთან მიახლოება განხორციელებულია ინვერტორის უფრო რთული სქემებით. გარდა აღნიშნულისა პრაქტიკულ ინვერტორებში ირთვება აგრეთვე მოწყობილობა, რომელიც გამმართველებში ჩართული გამასწორებელი ფილტრების ანალოგიურად, აქრობენ გამართული ძაბვის მაღალი რიგის ცვლად სარმონიკებს.

11.4. მუდმივი დენის ელექტრული წრედები გამმართველებით

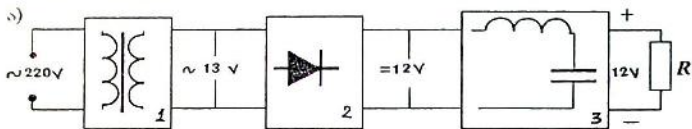
მთელ რიგ მუდმივი დენის ელექტრულ წრედებში გამოიყენება მუდმივი ძაბვა, რომელიც მიიღება ცვლადი ძაბვის გამართვით. ზოგიერთ შემთხვევაში ეს განპირობებულია იმით, რომ გამართული მუდმივი დენი უფრო იაფი ჯდება, ვიდრე აკუმულატორიდან მიღებული, ზოგიერთ შემთხვევაში კი შეუძლებელია მოთხოვნილი სიმძლავრის აკუმულატორების დამზადება. მაგალითად, დიდი სიმძლავრის ელექტროლიზურ დანადგარებში გამოიყენება გამართული ძაბვა. მუდმივ ძაბვაზე მუშაობს ელმავლის ძრავა და აქაც გამოიყენებულია გამართული ძაბვა და ა.შ.

განვიხილოთ პრაქტიკაში ფართოდ დანერგილი დაბალ-სიმძლავრიანი მუდმივი დენის წრედები, სადაც გამოიყენება გამართული ცვლადი ძაბვა.

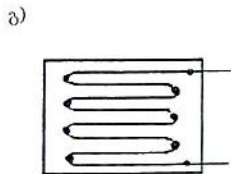
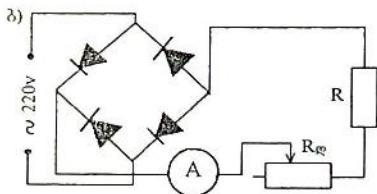
ა) მუდმივი დენის ელექტრული ხელსაწყობის კვების ბლოკი - აღებულ წრედში (ნახ. ა) ხდება ცვლადი ძაბვის დადაბლება, გამართვა და გაფილტვრა. თითოეული ეს ოპერაცია მიმდინარეობს კვების ბლოკის ცალკეულ რგოლებში:

1 - წარმოადგენს ტრანსფორმატორს, რომელშიც ხდება 220 ვ სიდიდის ცვლადი ძაბვის 13 ვ ცვლად ძაბვამდე დადაბლება. 2 - რგოლი წარმოადგენს გამმართველს, რომელშიც ხდება ცვლადი ძაბვის გამართვა ორი ნახევარპერიოდიანი სქემით. გამართვის ორ ნახევარპერიოდიან წრედში გამართული ძაბვის სიდიდე 0,9 U -ს ტოლია. ე.ი. გამართული ძაბვა რომ 12 ვ-ის ტოლი იყოს გამმართველის შესასვლელზე მოდებული უნდა იყოს 13 ვოლტი სიდიდის ცვლადი ძაბვა. $U_0 = 13 \cdot 0,9 = 12$ ვ. 3 - რგოლში ხდება გამართული მუდმივი

ძაბვის გაფილტვრა დიდი ტევადობის კონდენსატორითა და მაღალი ინდუქციურობის მქონე ინდუქციური კოჭით.



3 რგოლის გამოსავალზე შეიძლება ჩავრთოთ 12 ვ მუდმივ ძაბვაზე გათვლილი მომხმარებელი, რომლის ნომინალური დენის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს გამმართველის დიოდებისა და ტრანსფორმატორის დასაშვები დენის მნიშვნე-



ლობას. რეალურ კვების ბლოკში სამივე რგოლი აკრეფილია ერთ ყუთში, რომელსაც გააჩნია ოთხი მომჭერი – შესავალი მომჭერებით იგი ირთვება 220 ვ სიდიდის ცვლადი დენის წრედში, ხოლო გამოსავალ მომჭერებზე ირთვება მომხმარებელი გამართული ძაბვის პოლარობის დაცვით. აღსანიშნავია, რომ ასეთ ბლოკებში არ ხდება პირიქითი გარდაქმნა – ე.ი. იგი რომ ჩავრთოთ 12 ვ მუდმივი ძაბვის ქსელში, მის მეორე მხარეს ვერ მივიღებთ 220 ვ სიდიდის ცვლად ძაბვას.

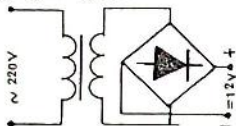
ბ) გამმართველი აკუმულატორის დასამუხტად – აკუმულატორი დამუხტვის პროცესში არ მოითხოვს გაფილტრულ ძაბვას, ამიტომ გამმართველი შეიძლება დამზადდეს ფილტრის გარეშე. (ნახ. ბ) აქ დასამუხტი აკუმულატორი წარმოდგენილია $R_{\text{ფ}}$ წინაღობის სახით. დამუხტვის პროცესში აკუმულატორის წინაღობა იცვლება, შესაბამისად შეიცვლება დამუხტვის დენიც. დამუხტვის დენის მნიშვნელობა შეირჩევა აკუმულატორის ტევადობის მიხედვით ქვემოთ მოცემული ცხრილიდან. დამუხტვის დენის რეგულირების მიზნით აკუმულატორის მიმდევრობით ირთვება 2 კვტ სიმძლავრეზე გათვლილი R რეოსტატი.

მარტივ შემთხვევაში იგი შეიძლება იყოს საყოფაცხოვრებო სპირალიანი ელექტროქურა (ნახ. გ), რომელზეც შეიძლება დავამატოთ გამომყვანები და წრედში ჩაერთოთ გარკვეული სიგრძის, ანუ საჭირო წინაღობის სპირალი. გამმართელის დიოდები შეირჩევა საცნობარო ლიტერატურიდან დასაშვები დენისა და დასაშვები უკუძაბვის მიხედვით.

დამუხტვის პროცესში აკუმულატორის ქილები უნდა იყოს თავდია და უკვე დამუხტული აკუმულატორის ქილებიდან, სითხის დუღილის მსგავსად, ამოფრქვევას იწყებს ნაწილაკები. ამ ნაწილაკების განენა დამუხტვის პროცესის დამთავრებაზე მიუთითებს.

აკუმულატორის ტიპი	დამუხტვის დენი		შენიშვნა
	დენის პირველსაწყისი მნიშვნელობა	დენის ნორმალური სიდიდე	
3CT-60	3,5	5	ასობების წინ ციფრი ნიშნავს ელემენტების რაოდენობას აკუმულატორში CT - სასტარტერო აკუმულატორები
3CT-70	5	6,5	
3CT-84	6	8	
3CT-98	6,5	10	
3CT-112	7	10	
3CT-126	7,5	10	
3CT-135	7,5	10	
6CT-54	3,5	5	
6CT-68	4,5	6	
AKH-2,25	0,56	0,56	
AKH-10	2,5	2,5	
AKH-22	5,5	5,5	
AKH-45	11,25	11,25	
AKH-60	15	16	
AKH-100	25	25	
2ΦKH-8	2,3	2,3	ΦKH - ფანრის კადმონიკელინის აკუმულატორი
2ШKH-8	2,3	2,3	ШKH - შახტის რკინანიკელინის აკუმულატორი
ЖH-22	5,5	5,5	ЖH - რკინანიკელინის აკუმულატორი
ЖH-45	11,25	11,25	
ЖH-60	15	15	

გ) გამმართველი ავტომობილის სტარტერის დასაბრუნებლად. მართალია ეს გამმართველი არც ისე მოხერხებულია ექსპლუატაციის პროცესში, მაგრამ მისი გამოყენებითა და აკუმულატორის მუშაობის სხვა მოთხოვნილი პირობების დაცვით, საგრძნობლად იზრდება აკუმულატორის საექსპლუატაციო ვადა.



რამდენადაც ავტომობილის გაშვების პროცესში სტატორის ძრავა მოითხოვს მნიშვნელოვანი სიდიდის დენს [(70 - 100) ამპერამდე], ამიტომ ტრანსფორმატორი, დიოდები და დენმიმცემანი სადენები მაღალ დენებზე უნდა იყოს გათვლილი.

გამმართველი სტაციონალურად დგას ავტოფარესში. გამმართველის (-) მომჭერი ერთდება ავტომობილის კორპუსზე, ხოლო აკუმულატორის (+) მომჭერზე მიერთებული სადენი უერთდება გამმართველის (+) მომჭერს.

გამმართველი საგრძნობლად ეფექტურია ზამთრის პერიოდში.

გარდა სტარტერის დაბრუნებისა გამმართველი გამოიყენება აკუმულატორის დასამუხტადაც. ზემოთ აღწერილისაგან განსხვავებით აქ დენის შემზღვეველი R_n რეოსტატი საჭირო აღარ არის.

სამფაზა დენის წრელები

IX თავში, ერთფაზა დენის მიღებისა და მისი პარამეტრების გაცნობის დროს, ვახსენეთ სამფაზა დენი და აღვნიშნეთ, რომ სამფაზა გენერატორის მოქმედების პრინციპი სავსებით ანალოგიურია ერთფაზა გენერატორის მოქმედების პრინციპისა. განსხვავება მხოლოდ ტექნიკურ შესრულებაშია, სადაც მაგნიტურ ველში ბრუნავს არა ერთი, არამედ სამი გრაგნილი, რომელთა სიბრტყეები ერთმანეთისაგან 120° -ით არიან დაძრულნი. თითოეულ ამ გრაგნილს ვუწოდეთ ფაზა და ავლენიშნეთ A, B, C ასოებით.

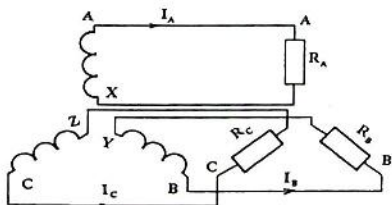
ხშირ შემთხვევაში მცირე და საშუალო სიმძლავრის ცვლადი დენის გენერატორებში სამფაზა და ერთფაზა წრედი განიხილება, როგორც ამ გენერატორის ერთ - ერთი ფაზის დატვირთვა.

ფაზა ამ განმარტებით, დამოუკიდებელი ელექტრული წრედია და არაფერი აქვს საერთო სინუსოიდური დენის ფაზასთან ($\omega t + \psi$).

12.1. სამფაზა დენის დაუკავშირებელი სისტემა

თუ სამფაზა გენერატორის თითოეულ ფაზას ერთ-

მანეთისაგან დამოუკიდებლად ცალკე - ცალკე დაეტვირთათ, მივიღებთ სამფაზა დენის ე.წ. დაუკავშირებელ სისტემას. ამ დროს ენერჯიის გადამცემ ხაზში სადენების რაოდენობა მაქსიმალურია და n -ის ტოლია.



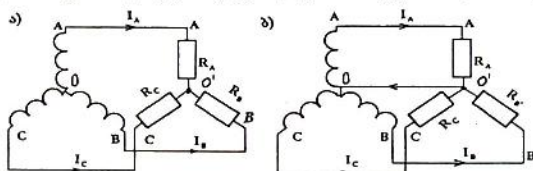
ლურია და n -ის ტოლია.

დაუკავშირებელი სამფაზა დენის წრედი სქემატურად წარმოდგენილია ნახაზზე, სადაც AX გენერატორის ერთი ფაზის გრაგნილია, BY - მეორესი, ხოლო CZ - მესამესი. R_A, R_B და R_C შესაბამისი ფაზების დატვირთვებია.

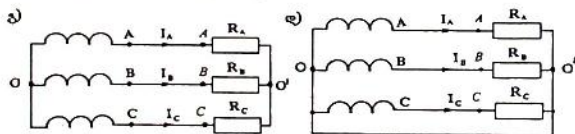
დაკავშირებულ სისტემაში თითოეულ ფაზაში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესი არ არის დაკავშირებული სხვა ფაზებში მიმდინარე პროცესებთან.

12.2. სამფაზა დენის დაკავშირებული სისტემები

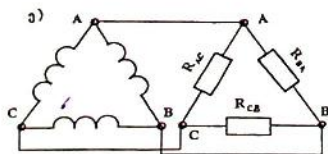
თუ სამფაზა გენერატორის გრაგნილების ბოლოებს ერთ წერტილში გავერთიანებთ და თავისუფალ ბოლოებზე ანუ საწყისებზე ჩავერთავთ იგივე სქემით შესრულებულ დატვირთვას, მივიღებთ ვარსკვლავა სქემით შესრულებულ სამფაზა წრედს ნეიტრალური სადენის გარეშე (ნახ. ა). ნეიტრალური სადენი ეწოდება გენერატორის გრაგნილების (O) და მომხმარებლის ბოლოების (O') საერთო წერტილების შემაერთებელ სადენს. ამ სადენის ჩართვით გვექნება ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზა წრედი ნეიტრალური სადენით (ნახ. ბ).



ეს სქემები შეიძლება გადაიხაზოს სხვაგვარადაც, სადაც ნახ. ა და ნახ. გ ერთი და იგივე წრედის სქემებია; ნახ. ბ და ნახ. დ კი - მეორესი.



აქ AA , BB და CC ენერჯის გადამცემი ხაზებია და ხშირად სიმცირის გამო მათ წინააღობებს მხედველობაში არ ვიღებთ.



გენერატორის გრაგნილები და მომხმარებლები სამკუთხედური

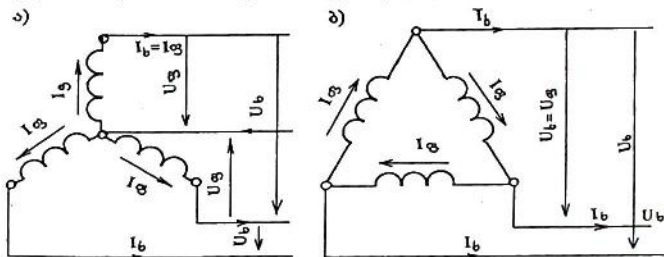
წრედითაა ჩართული (ნახ. ე). ასეთ წრედში ენერჯის გადაცემა ხდება სამი სადენით.

განიხილება აგრეთვე დაკავშირებული სამფაზა წრედების კომბინაციური სქემები ვარსკვლავი (გენერატორი) – სამკუთხედზე (მიმღები) და სამკუთხედი - ვარსკვლავზე. ყველაზე მეტად გავრცელებულია გენერატორის გრაგნილების ვარსკვლავად შეერთების წესი, რომელიც დატვირთულია მიმღების ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთებული სქემით. პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გვხვდება ვარსკვლავი – ვარსკვლავზე შეერთების კომბინაცია.

12.3. ხაზური და ფაზური ძაბვები და დენები.

სიმეტრიული სამფაზა სისტემა

დაკავშირებულ სამფაზა სისტემებში განიხილება ძაბვები და დენები, რომელთაც განსხვავებული დასახელებები აქვთ. განვიხილოთ ეს ძაბვები და დენები დაუტვირთავი წრედებისათვის. ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია ვარსკვლავად შეერთებული წრედი, ხოლო ნახ. ბ-ზე – სამკუთხედად შეერთებული.



ძაბვებს გენერატორის გრაგნილის მომჭერებზე ფაზური ძაბვები ეწოდებათ (U_{ϕ}), ხოლო ძაბვებს ხაზებს შორის – ხაზური (U_{δ}).

ნახ. ა-ზე სქემაზე ხაზური და ფაზური დენები ერთი და იგივე სიდიდეებია, $I_{\delta} = I_{\phi}$, ხოლო ძაბვები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, ნახ. ბ-ზე დენები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, ხოლო ძაბვები ერთნაირია.

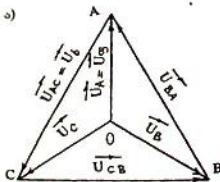
თუ სამფაზა გენერატორის ფაზათა გრაგნილები სავსებით იდენტურია ე.ი. ყველა პარამეტრი სავსებით ერთნაირია,

მაშინ თითოეული ფაზის ემძ სიდიდით ტოლია და როგორც ადრე აღვნიშნეთ, ერთმანეთისაგან 120° -ით არიან დაძრულნი. ასეთ გენერატორზე ჩართულ სისტემას ეწოდება სიმეტრიული სამფაზა სისტემა. სიმეტრიულ სისტემაში ყველა ფაზის ხაზური ძაბვა ერთმანეთის ტოლია და ასევე ყველა ფაზის ფაზური ძაბვა ერთმანეთის ტოლია. რაც შეეხება დენებს, ისინი დატვირთვაზე დამოკიდებული და შეიძლება იყოს ერთნაირი ანუ სიმეტრიული, ან ერთმანეთისაგან განსხვავებული, ანუ არასიმეტრიული. დატვირთვის ხასიათი სისტემის სიმეტრიულობას არ განსაზღვრავს.

სიმეტრიულ ვარსკვლავად შეერთებულ წრედში: $U_{\Phi} = U_{AO} = U_{BO} = U_{CO}$ და $U_{\phi} = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$; სამკუთხედად შეერთებულ წრედში: $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$. ჩვენ მხოლოდ სიმეტრიულ სამფაზა წრედებს განვიხილავთ.

12.4. ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზა დენის წრედის მუშაობის რეჟიმები

ა) დამოკიდებულება ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის – როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ვარსკვლავად შეერთებულ წრედში ხაზური და ფაზური დენები ერთი და იგივე სიდიდეებია $I_{\phi} = I_{\Phi}$; ხოლო ხაზური და ფაზური ძაბვები ერთმანეთისაგან განსხვავდება $U_{\phi} \neq U_{\Phi}$. გავარკვიოთ დამოკიდებულება მათ შორის. ამისათვის ვისარგებლოთ ვექტორული დიაგრამით. თუ სიმეტრიული სამფაზა გენერატორის ემძ-თა ვექტორებს გავიხსენებთ და ჩავთვლით რომ გრაგნილთა წინაღობები ნულის ტოლია, მაშინ ძაბვები ფაზის მომჭერებზე დიდი სიზუსტით



ემძ-თა ტოლია და ძაბვათა ვექტორულ დიაგრამას ექნება ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია სახე, სადაც $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ ფაზური ძაბვებია, $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ – ხაზური.

თუ O წერტილს ცენტრად მივიღებთ და შემოვწერთ $r = |\vec{U}_A|$ რადიუსით

სიან წრეხაზს, მივიღებთ წრეში ჩახაზულ წესიერ სამკუთხედს $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ გვერდებით.

როგორც გეომეტრიის კურსში მტკიცდება, წრეში ჩახაზული წესიერი სამკუთხედის გვერდი $\sqrt{3}$ -ჯერ სიდიდით მეტია რადიუსზე და გვექნება:

$$U_b = \sqrt{3}U_{\phi}$$

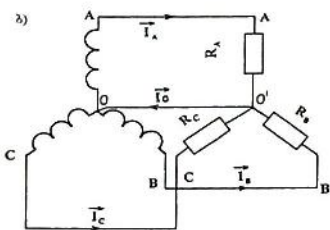
ეს არის დამოკიდებულება ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის ვარსკვლავად შეერთების დროს.

პრაქტიკაში გავრცელებულია სისტემა 380/220, სადაც ფაზური ძაბვა 220 ვ-ის ტოლია და ხაზური $U_b = \sqrt{3} \cdot 220 = 380$ ვ-ის ტოლი. იშვიათად, მაგრამ გვხვდება სისტემა 220/127 ასეთ სისტემებში ძაბვა 127 ვ იწვევდა უნებლიე კითხვას - რატომ 127 და არა დამრგვალებული ციფრები 120 ან 125? იმიტომ რომ $\frac{220}{\sqrt{3}} = 127$.

ბ) სიმეტრიული დატვირთვის რეჟიმში - როგორც ზემოთ ავლნიშნეთ სიმეტრიული ეწოდება დატვირთვას, როცა სამივე ფაზის დატვირთვა სავსებით ერთნაირია, როგორც სიდიდით, ისე ხასიათით, ე.ი. $Z_A = Z_B = Z_C$, სადაც $Z_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2}$; $Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2}$ და $Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2}$, ფაზათა დატვირთვის სრული

წინააღობებია და დაცულია ტოლობები: $R_A = R_B = R_C$ და $X_A = X_B = X_C$. აქ რეაქტიული წინააღობების ნიშნებიც ერთნაირია.

სიმარტივისათვის ჩვენ ავიღოთ დატვირთვის აქტიური ხასიათი (ნახ. ბ), ე.ი. $R_A = R_B = R_C$; ამასთანავე სიმ-



ცირის გამო მხედველობაში არ მივიღოთ გადაცემი ხაზის წინააღობები.

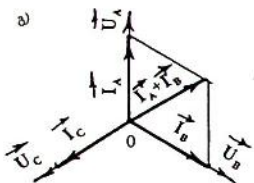
ამ პირობებში ფაზური ძაბვები გენერატორის და დატვირთვის ბოლოებზე ერთნაირია და დენი თითოეულ ფაზაში

იქნება: $\frac{U_A}{R_A} = \frac{U_B}{R_B} = \frac{U_C}{R_C}$, რამდენადაც დატვირთვა აქტიური ხასიათისაა თითოეული ფაზის დენის ვექტორი მიმართულებით გაჰყვება შესაბამისი ფაზის ვექტორს და მოდულებით ტოლი იქნება (ნახ. გ).

კირხჰოფის I კანონით გვექნება:

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_0,$$

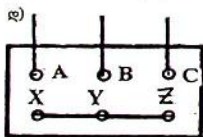
სადაც \vec{I}_0 ნეიტრალურ სადენში გამავალი დენია.



გეომეტრიის კურსში მტკიცდება, რომ სიდიდით ტოლი და ერთმანეთისაგან 120° -იანი კუთხით დაძრული სამი ვექტორის ჯამი ნულის ტოლია. აქედან ჩვენი შემთხვევისათვის გამოდის $\vec{I}_0 = 0$.

ე.ი. ვარსკვლავურად შეერთებულ წრედში სიმეტრიულ სადენში დენი არ გადის, მაშინ იგი შეიძლება ამოვრთოთ და ენერჯიის გადაცემა ვაწარმოოთ სამი სადენით.

თუ დატვირთვა ზოგადად აქტიურ - რეაქტიულია, მაშინ, როგორც ვთქვით, დატვირთვის სიმეტრიული ეწოდება, თუ რეაქტიული წინააღობაც ნიშნით და სიდიდით ერთნაირია, მაშინ თითოეულ ფაზის დენი შესაბამისი ფაზური ძაბვისაგან დაძრული იქნებოდა ერთნაირი $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ კუთხით და დენები კვლავ ერთმანეთის ტოლი და 120° -იანი კუთხით დაძრული ვექტორები იქნება.



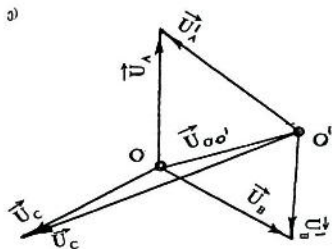
ცხადია ამ შემთხვევაშიც იგივე დასკვნებს გავაკეთებდით, რაც ზემოთ ვთქვით.

ზოგადად სამივე ფაზის ერთნაირად დატვირთვა ნაკლებად მოსალოდნელი შემთხვევაა, მაგრამ თუ აღებულია

სამფაზა მომხმარებელი და თითოეული ფაზის ელექტრული მონაცემები ერთნაირია, მაშინ იგი სამფაზა წრედში ნეიტრალური სადენის გარეშე ირთება. ასეთი დატვირთვის მაგალითია სამფაზა ასინქრონული ძრავა, რომლის კორპუსზე ამო-

ტანილია სამივე ფაზის გრაფიკების საწყისები და ბოლოები (ნახ. დ). ამ გრაფიკთა ბოლოები (x, y, z) გაერთიანებულია ერთ წერტილში, ხოლო დასაწყისები A, B, C უერთდება სამფაზა სისტემის ფაზებს.

გ) არასიმეტრიული დატვირთვების რეჟიმში – ამ შემთხვევაში ფაზათა დატვირთვები ერთნაირი არ არის



$R_A \neq R_B \neq R_C$, მაშინ დენები დატვირთვის ფაზებში არ იქნება ერთნაირი და მათი ვექტორული ჯამიც არ უდრის ნულს. ე.ი. არასიმეტრიული დატვირთვის დროს ნეიტრალურ სადენში დენი გადის. როცა სადენში დენი გადის ეს იმას

ნიშნავს, რომ მათი ბოლოების პოტენციალები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. ახლა წარმოვიდგინოთ რომ ნეიტრალური სადენი ჩართული არ არის. მაშინ ვექტორულ დიაგრამაზე ფაზის საწყისების პოტენციალები $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ დაემთხვევა შესაბამის ფაზების დატვირთვის საწყისების $\varphi'_A, \varphi'_B, \varphi'_C$ პოტენციალებს, ხოლო მიმღების ნეიტრალური O' წერტილის პოტენციალი აცდება გენერატორის ნეიტრალური O წერტილის პოტენციალს (ნახ. ა). ეს იმას ნიშნავს, რომ ძაბვები გენერატორის ფაზებზე ერთნაირი არ არის. $\vec{U}'_A \neq \vec{U}'_B \neq \vec{U}'_C$. $O-O'$ წერტილების შემაერთებელი ვექტორი $\vec{U}_{OO'}$ ნეიტრალურ წერტილებს შორის ძაბვის სიდიდეა.

ცხადია ეს შემთხვევა სასურველი არ არის და ავარიულ რეჟიმად ითვლება სამფაზა ვარსკვლავად შეერთებულ წრედებში.

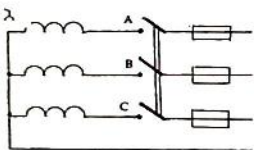
იმისათვის, რომ ძაბვები მიმღების ბოლოებზე გავათანაბროთ აუცილებელია $O-O'$ წერტილების პოტენციალები გავათანაბროთ. ეს შესაძლებელია მათი ნულოვან წინაღობიანი გამტარის შეერთებით ანუ ნულოვანი სადენის ჩართვით, რომელშიც გაივლის დენი, რომელიც ბუნებით მოკლე შერთვის

დენია, რამდენადაც მისი ბოლოების პოტენციალები ერთმანეთის ტოლია.

ზემოთ განხილულიდან შეიძლება გავაკეთოთ ერთმნიშვნელოვანი დასკვნა:

ზოგადად ვარსკვლავად შეერთებულ სამფაზა წრედში ნეიტრალური სადენის ჩართვა აუცილებელია. მისი ამორთვა ავარიულ რეჟიმად ითვლება და დაუშვებელია.

ამის გამო სამფაზა კაბელით ენერჯის გადაცემის დროს კაბელის დასაწყისის ფაზური სადენები წყაროსთან ირთვება ჩამრთველის და დნობადი მცველების გავლით, მაშინ როდესაც ნეიტრალური სადენი ჩართულია პირდაპირ დნობადი მცველის გარეშე (ნახ. ბ).



დნობადი მცველი ხაზურ სადენში ავარიული რეჟიმის თავიდან აცილებისთვისაა ჩართული და ნეიტრალურ სადენში კი მისი ამორთვა გამოიწვევს ავარიას.

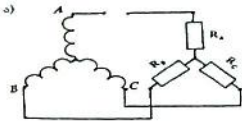
აღსანიშნავია კიდევ ერთი გარემოება: ნეიტრალურ სადენში გამავალი დენი ფაზურ სადენებში გამავალი დენების ვექტორული ჯამია და ნაკლებია ფაზურ სადენში გამავალ დენზე. ამის გამო ენერჯის გადამცემ ოთხსადენიან კაბელებში ნეიტრალური სადენი შედარებით ნაკლები კვეთისაა მასალის ეკონომიურობის მიზნით.

12.5. ნეიტრალური სადენის როლი

არასიმეტრიული დატვირთვის დროს ნეიტრალური სადენის ამორთვა რომ ასიმეტრიას იწვევს მიმღებზე ეს ჩვენ აღვნიშნეთ და ვთქვით, რომ ამ ძაბვების გასათანაბრებლად აუცილებელია ნეიტრალური სადენის ჩართვა. აღვნიშნეთ ისიც, რომ სიმეტრიული დატვირთვის დროს ნეიტრალურ სადენში დენი არ გადის და შეიძლება იგი ამოვერთოთ, მაგრამ ყოველთვის სასურველია? ნეიტრალურ სადენს დიდი როლი აკისრია თუნდაც სიმეტრიული დატვირთვის დროს.

ამის საჩვენებლად განვიხილოთ რამდენიმე კერძო შემთხვევა.

ა) ერთ-ერთი ფაზის გაწყვეტა (ნახ. ა) - ეთქვათ დატვირთვა სიმეტრიულია $R_A = R_B = R_C$, მაგრამ ექსპლოატაციის პროცესში გაწყდა ერთ - ერთი ხაზი, ანუ ამოირთო ერთი ფაზა. ($R_A \rightarrow \infty$), მაშინ R_B და R_C მომხმარებლები აღმოჩნდებიან მიმდევრობით შეერთებული \bar{U}_{BC} ხაზურ ძაბვაზე. ის ძაბვა თანაბრად განაწილდება $R_B = R_C$ წინაღობებზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ მიმღების ნეიტრალური წერტილი O' აღმოჩნდება \bar{U}_{BC} ვექტორის შუაში (ნახ. ბ). $\bar{U}_{BO'} = \bar{U}_{CO'}$ და ეს რეჟიმიც არასასურველია. ნეიტრალური სადენის ჩართვით O'



წერტილი დაემთხვევა O წერტილს და B, C ფაზების მუშაობის ნორმალური რეჟიმი არ დაირღვევა.

რამდენადაც $R_A = R_B$ ისინი

აღმოჩნდებიან $\frac{U_b}{2}$ სიდიდის ძაბვაზე

ჩართული. რადგან ეს ძაბვა ნაკლებია

$U_{\text{ფ}} = \frac{U_b}{\sqrt{3}}$ სიდიდზე, რომელზეც გათუ-

ლილი იყო R_A და R_B მომხმარებლები,

შეიძლება ისინი არ დაზიანდნენ, მაგრამ თუ $R_A \neq R_B$, მაშინ

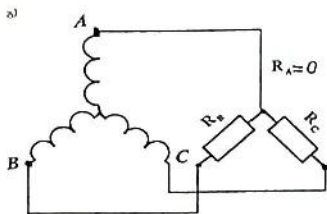
$U_{BC} = U_b$ ხაზური ძაბვა გადანაწილდება მათზე წინაღობების

უკუპროპორციულად და შეიძლება აღმოჩნდეს ისეთი

ასიმეტრია, რომ ძაბვამ ერთ - ერთზე გადაამეტოს ფაზური

ძაბვის სიდიდეს და გამოიწვიოს მომხმარებლის დაზიანება.

ბ) მოკლედ შერთვა ერთ ფაზაზე - ამ შემთხვევაში A ხა-



ზური სადენი უშუალოდ

უერთდება მიმღების ნეიტრა-

ლურ წერტილს და ძაბვები

R_B და R_C წინაღობაზე იზრდება

ხაზურ ძაბვამდე. O' წერტილი

ახლა A წერტილში აღმოჩნდე-

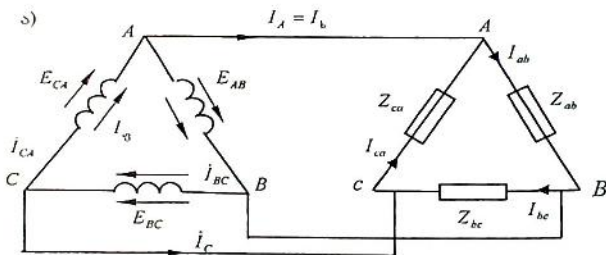
ბა (ნახ. გ).

ფაზურ ძაბვაზე გათვლილი მომხმარებლის ხაზურ ძაბვაზე ჩართვა მის დაზიანებას გამოიწვევს და აქაც აუცილებელია ნეიტრალური სადენი.

როგორც ნახ. გ-დან ჩანს ადებულ შემთხვევაში ნეიტრალური სადენის ჩართვა A ფაზის დამოკლებას გამოიწვევს. გენერატორის ფაზის დაზიანების თავიდან ასაცილებლად ხაზის დასაწყისებში ყოველთვის ჩართულია დნობადი მცველები ან სხვა ავტომატური ამომრთველები, რომელიც წრედიდან ამორთავს მოკლედშერთულ ფაზას. ამ ორი შემთხვევის მარტივი ანალიზით გავაკეთებთ დასკვნას:

ვარსკვლავად შეერთებულ სამფაზა წრედებში ერთფაზიანი მომხმარებლების ჩართვის დროს აუცილებელია ნეიტრალური სადენის არსებობა, მიუხედავად იმისა, დატვირთვა სიმეტრიულია თუ ასიმეტრიული.

12.6. სამფაზა წრედი სამკუთხედად შეერთების დროს



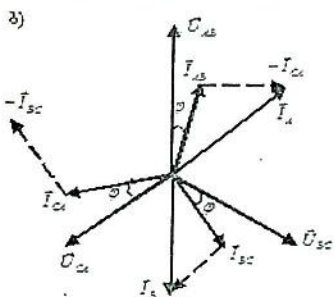
თუ სამფაზა გენერატორის გრაგნილებს და დატვირთვის Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA} წინაღობებს სამკუთხედად შევკავართ, მივიღებთ სამფაზა წრედის სამკუთხედად შეერთებულ წრედს (ნახ. ა). ერთი შეხედვით გენერატორის გრაგნილები მოკლედ შერთული წრედის შთაბეჭდილებას ტოვებს, მაგრამ მათი ემპ - ების მყისი მნიშვნელობების ჯამი დროის ნებისმიერ მომენტში ნულის ტოლია $e_A + e_B + e_C = 0$, შესაბამისად, უქმი სვლის რეჟიმში გენერატორის გრაგნილებში გამავალი დენიც ნულის ტოლია. ეს დასკვნა სამართლიანია მხოლოდ სიმეტრიულ სისტემაში და ემპ-ები სუფთა სინუსოიდური ფორმისაა. პრაქტიკულად გენერატორის მოქმედების პროცესში ემპ - ებმა

შეიძლება გადაუხვიონ სინუსოიდური ფორმისაგან, ამიტომ გენერატორის სამკუთხედად შეერთების წესი თითქმის არ გამოიყენება.

როგორც ნახ. ა-დან ჩანს, სამკუთხედად შეერთებულ სამფაზიან წრედში ძაბვები გენერატორის ფაზის ბოლოებზე და ხაზებს შორის ერთნაირია და $U_b = U_{\psi}$; რაც შეეხება დენებს, ხაზური I_b და ფაზური I_{ψ} დენები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. მათ შორის დამოკიდებულების დასადგენად ავაგოთ დენების ვექტორული დიაგრამა. ფაზური დენების დადებით მიმართულებად მივიღოთ A -დან B -სკენ; B -დან C -სკენ და C -დან A -სკენ. ხოლო ხაზური დენებისათვის გენერატორიდან მომხმარებლისაკენ. მაშინ კირხჰოფის პირველი კანონით გვექნება:

$$\vec{I}_A + \vec{I}_{CA} = \vec{I}_{AB}; \quad \vec{I}_B + \vec{I}_{AB} = \vec{I}_{BC}; \quad \vec{I}_C + \vec{I}_{BC} = \vec{I}_{CA},$$

საიდანაც $\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}$; $\vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}$; $\vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$. ამ გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ ნებისმიერი ხაზური დენი იმ ორი



ფაზის ფაზური დენების გეომეტრიული ჯამია, რომლებიც თავს იყრის აღებულ წერტილში. გარდა ამისა, ხაზური დენები ერთმანეთისაგან 120° -ით არიან დაძრულნი და მათი გეომეტრიული ჯამი ტოლია:

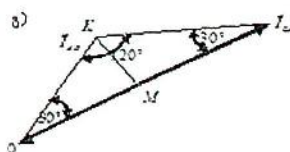
$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0.$$

თუ დატვირთვის

წინაღობა აქტიურ - რეაქტიულია, მაგრამ სიდიდით ტოლი და ერთნაირი ხასიათისაა, მაშინ $\vec{I}_{AB}; \vec{I}_{BC}; \vec{I}_{CA}$ დენის ვექტორები

$\vec{I}_{AB}; \vec{I}_{BC}; \vec{I}_{CA}$ ძაბვებიდან

დაძრულნი იქნებიან ერთნაირი φ კუთხით (ნახ. ბ). ვექტორის წინ ნიშანი (-) ნიშნავს, რომ ეს ვექტორი უნდა გაივლოს



საწინააღმდეგო მიმართულებით და ზემოთ მოყვანილი საზური დენების ვექტორული ჯამით განვსაზღვროთ მათი მნიშვნელობები (მაგალითად \vec{I}_{AB} ვექტორის ბოლოში მოვდოთ $(-\vec{I}_{CA})$). ჩამკეტი იქნება \vec{I}_A) თითოეული საზური დენი იმ ტოლფერდა სამკუთხედების ფუძეა, რომლის ფერდები ფაზური დენებია. ერთ - ერთი სამკუთხედის მარტივი გეომეტრიული ანალიზით (ნახ. გ) გავიხსენოთ გეომეტრიის კურსიდან ცნობილი დამოკიდებულებები:

1. სამკუთხედის შიგა კუთხეების ჯამი 180° -ის ტოლია და ტოლფერდა სამკუთხედში ფუძესთან მდებარე კუთხეები ტოლია, მაშინ

$$\angle KOM = \angle KAM = \frac{180 - 120}{2} = 30^\circ.$$

2. მართკუთხა სამკუთხედში 30° იანი კუთხის წინ მდებარე კათეტი ჰიპოტენუზის ნახევრის ტოლია $KM = \frac{OK}{2}$;

3. მართკუთხა სამკუთხედში ერთ - ერთი კათეტის კვადრატი ტოლია ჰიპოტენუზის კვადრატს გამოკლებული მეორე კათეტის კვადრატი (პითაგორას თეორემა)

$$OM^2 = OK^2 - KM^2. \text{ აქედან } OM = \sqrt{OK^2 - KM^2}, \quad KM = \frac{OK}{2}$$

$$\text{და გვექნება: } OM = \sqrt{OK^2 - \frac{OK^2}{4}} = \sqrt{\frac{3}{4}OK^2} = \frac{1}{2}OK\sqrt{3}.$$

გადავიდეთ ამ სამკუთხედის ელექტრულ სიდიდეებზე

$$OM = \frac{I_A}{2} = \frac{I_b}{2}, \quad OK = I_{AB} = I_{\Psi} \text{ და დაეწეროთ } \frac{I_b}{2} = \frac{1}{2}I_{\Psi}\sqrt{3},$$

საიდანაც მივიღებთ დამოკიდებულებას საზურ და ფაზურ დენებს შორის სამფაზიან წრედში სამკუთხედადშეერთების დროს $I_b = \sqrt{3}I_{\Psi}$, ძაბვებისთვის კი $U_b = U_{\Psi}$.

ეს დამოკიდებულებები სამართლიანია სიმეტრიული დატვირთვის დროსაც.

ამ წრედში არა გვაქვს ნეიტრალური სადენი, რომელიც ვარსკვლავად შეერთებულ არასიმეტრიულად დატვირთვის დროს ათანაბრებდა ძაბვებს მიმდების ბოლოებზე. სამკუთ-

ხელად შეერთებულ წრედში ძაბვები მომხმარებლის ბოლოებზე გენერატორის ფაზებზე მიღებული ძაბვების ტოლია და ამის გამო არასიმეტრიულმა დატვირთვამ სამკუთხედად შეერთებულ მომხმარებელში შეიძლება გამოიწვიოს გენერატორი ფაზების მუშაობის რეჟიმის გაუარესება. აქედან გამომდინარე სამფაზიანი წრედის სამკუთხედად შეერთებები გამოიყენება სიმეტრიულად დატვირთვის ან მასთან მაქსიმალურად მიახლოების დროს.

12.7. სიმძლავრე სამფაზა დენის წრედებში

სიმძლავრე სამფაზა დენის ვარსკვლავად შეერთებულ წრედის თითოეულ ფაზაში განისაზღვრება ერთფაზა წრედის ანალოგიურად:

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A; \quad P_B = U_B I_B \cos \varphi_B; \quad P_C = U_C I_C \cos \varphi_C;$$

$$Q_A = U_A I_A \sin \varphi_A; \quad Q_B = U_B I_B \sin \varphi_B; \quad Q_C = U_C I_C \sin \varphi_C.$$

მთელი წრედისათვის:

$$P = P_A + P_B + P_C; \quad Q = Q_A + Q_B + Q_C;$$

სიმეტრიული დატვირთვის დროს:

$$P_A = P_B = P_C = P_f; \quad Q_A = Q_B = Q_C = Q_f; \quad \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi.$$

მაშინ

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos \varphi; \quad Q = 3Q_f = 3U_f I_f \sin \varphi; \quad S = 3U_f I_f.$$

საზუსტი ძაბვებით და დენებით გვექნება:

$$P = \sqrt{3} U_b I_b \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3} U_b I_b \sin \varphi; \quad S = \sqrt{3} U_b I_b.$$

სამკუთხედად შეერთების დროს სამფაზა წრედის სიმძლავრე თითოეულ ფაზაში იანგარიშება იგივე ფორმულებით:

$$P_{AB} = U_{AB} I_{AB} \cos \varphi_{AB}; \quad P_{BC} = U_{BC} I_{BC} \cos \varphi_{BC};$$

$$P_{CA} = U_{CA} I_{CA} \cos \varphi_{CA}; \quad Q_{AB} = U_{AB} I_{AB} \sin \varphi_{AB};$$

$$Q_{BC} = U_{BC} I_{BC} \sin \varphi_{BC}; \quad Q_{CA} = U_{CA} I_{CA} \sin \varphi_{CA}.$$

სამფაზა წრედის მთლიანი სიმძლავრე:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}; \quad Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}.$$

სიმეტრიული დატვირთვის დროს ცალკეული ფაზების სიმძლავრეები ტოლია:

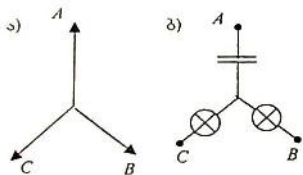
$$P = 3P_{\text{ფ}} = 3U_{\text{ფ}}I_{\text{ფ}} \cos \varphi; \quad Q = 3Q_{\text{ფ}} = 3U_{\text{ფ}}I_{\text{ფ}} \sin \varphi; \quad S = 3U_{\text{ფ}}I_{\text{ფ}}.$$

თუ გაითვალისწინებთ, რომ სამკუთხედად შეერთების დროს $U_{\text{ლ}} = U_{\text{ფ}}$ და $I_{\text{ლ}} = \sqrt{3}I_{\text{ფ}}$, მაშინ შეიძლება გარდავქმნათ ბოლო ფორმულები და მივიღებთ სიმძლავრის საანგარიშო ფორმულებს ხაზური და ფაზური დენებისათვის ზუსტად იგივეს, როგორც ვარსკვლავად შეერთების დროს.

პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება ვარსკვლავად შეერთებულიდან სამკუთხედად შეერთებაზე გადართვა. მაგალითად ტემპერატურის სარეგულირებლად სამფაზა ღუმელებში. მაშინ $\frac{P_{\Delta}}{P_{\lambda}}$ ერთი და იგივე წრედისათვის 3-ის ტოლია. ე.ი. ერთი და იგივე წრედის სამკუთხედად შეერთებულ წრედში იხარჯება სამჯერ მეტი სიმძლავრე ვიდრე ვარსკვლავად შეერთების დროს.

12.8. ფაზათა თანმიმდევრობის დადგენა

ხშირია შემთხვევა, როცა საჭიროა განისაზღვროს ფაზათა თანმიმდევრობა, პირობითად ABC (ნახ. ა). ამისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ არასიმეტრიული დატვირთვის ვარსკვლავად შეერთებული წრედი (ნახ. ბ), სადაც ნათურები ერთნაირია და კონდენსატორის წინაღობა $\frac{1}{\omega C}$ ნათურის წინა-



ღობის ტოლია. წრედის ვექტორული ანალიზით შეიძლება დაეადგინოს, რომ ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები ჩართვის დროს B ფაზაში ჩართული ნათურა მეტად კაშკაშებს ვიდრე C ფაზაში ჩართული. ადვილი მისახვედრია

რომ ნათურები და კონდენსატორი გათვლილი უნდა იყოს სამფაზა წრედის ფაზურ ძაბვებზე.

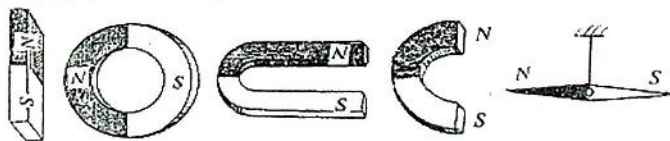
თავი XIII. მუღმივი მაგნიტი ლა მისი მაგნიტური ველი

13.1. მუღმივი მაგნიტის ქმელება ნივთიერებებზე

ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებს ადამიანი აკვირდება უხსოვარი დროიდან. როგორც §1.1-ში აღვნიშნეთ. ძველმა ბერძნებმა ჩვენს წელთაღრიცხვამდე შეამჩნიეს, რომ ქარვის ნაჭერი ძალის ქსოვილზე გახახუნების შემდეგ იძენდა თვისებას მიეზიდა მცირე ნაწილაკები.

ასევე ძველი დროის ადამიანი აკვირდებოდა ზოგიერთ „ქვას“, რომლებიც მიიზიდავდნენ ერთმანეთს და რკინის ნაჭრებს. მოგვიანებით აღმოჩნდა, რომ ეს „ქვა“ რკინის შემცველი მადანი იყო. პირველად იგი დიდი რაოდენობით აღმოჩენილი იქნა აზიაში, ქალაქ მაგნეზიის ახლოს და დაინერგა ტერმინი მაგნეტიზმი და მაგნიტი, რომელიც დაერქვა ზემოთნახსენებ „ქვას“.

ბუნებრივ მაგნიტზე შეხების შემდეგ რკინის ნაჭერი იძენს თვისებას მიიზიდოს სხვა ნაჭრები. ასეთ მაგნიტს ეწოდება ხელოვნური. ხელოვნური მაგნიტი მზადდება განსაკუთრებული თვისების ნივთიერებებისაგან გარკვეული ტექნოლოგიით. დანიშნულებიდან გამომდინარე მუღმივი მაგნიტი არსებობს: ბრტყელი, წრიული, ნალისებური, ნახევრადწრიული, მაგნიტური ისარი და სხვა, რომლებიც ჩამოთვლილი თანმიმდევრობით მოცემულია ნახაზზე.



ზოგადად ყველა ნივთიერება განიცდის მაგნიტის მექანიკურ ზემოქმედებას, მაგრამ ზოგიერთ ნივთიერებაში ეს ძალა შესამჩნევია და ზოგიერთში პრაქტიკულად შეუძნეველი. ამ თვისების მიხედვით ნივთიერებები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: პარამაგნიტური და დიამაგნიტური.

პარამაგნიტური მასალები მაგნიტის მიერ მიიზიდება სხვადასხვა სიძლიერით. მათ რიცხვში შედის: რკინა, თუჯი, კობალტი, ალუმინი პლატინა, ქრომი და სხვა. დიამაგნიტური

მასალები მაგნიტისაგან განიზიდება. მათ რიცხვში შედის: ბისმუტი, ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, თუთია და სხვა.

მაგნიტურ ტექნიკაში საინტერესოა პარამაგნიტური მასალების ერთი ჯგუფი, რომლებიც მაგნიტის მიერ შესამჩნევი ძალით მიიზიდებიან. მასალათა ამ ჯგუფს ფერომაგნიტური მასალები ეწოდება. დასახელება ფერომაგნიტური წარმოიშვა ლათინური სიტყვა ფერუმიდან, რაც რკინას ნიშნავს.

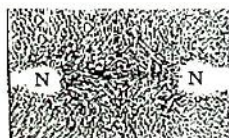
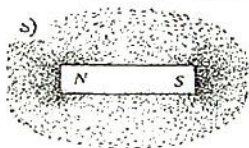
ზემოთხამოთვლილი პარამაგნიტური მასალებიდან ფერომაგნიტურია: რკინა, თუჯი და კობალტი. დანარჩენებისა და დიამაგნიტური მასალების მაგნიტური ზემოქმედების უნარი მეტად მცირეა და პრაქტიკულად ისინი არამაგნიტურ მასალებად ითვლება.

ნიუთიერებათა მაგნიტურ თვისებებს უფრო დაწვრილებით შემდეგ შევეხებით.

13.2. მაგნიტური ველი

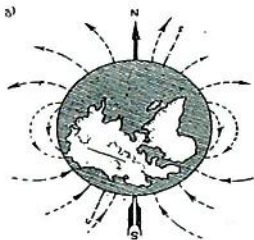
ისე, როგორც დამუხტული ნაწილაკების ირგვლივ არსებობს მატერიის განსაკუთრებული ფორმა ელექტრული ველი და ამ ველით გადაეცემა ერთმანეთს დამუხტული ნაწილაკების ურთიერთქმედება, ასევე დამაგნიტებელი სხეულის ირგვლივაც არსებობს მაგნიტური ველი და

მაგნიტური ველით ამჟღავნებს მაგნიტი თავის თვისებებს: ამ ველის საშუალებით მიიზიდავს ან განიზიდავს მაგნიტი სხეულს.



მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველი ძირითადად არაერთგვაროვანია და მისი მაგნიტური თვისებები მაგნიტის ბოლოებთან უფრო ძლიერად მჟღავნდება, ხოლო ცენტრისაკენ მცირდება. ამ ბოლოებს მაგნიტის პოლუსები ეწოდება. მაგნიტს გააჩნია ორი ჩრდილოეთი და სამხრეთი პოლუსი, რომელიც შესაბამისად *NS* ასოებით აღინიშნება (§7.3). რაც შეე-

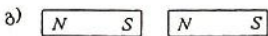
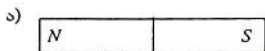
ხება მაგნიტური ველის გრაფიკულ სურათს, როგორც აღვნიშნეთ იგი გამოისახება მაგნიტური ველის ძალწირებით, რომ-



ლებიც ელექტრული ველის ძალწირებისაგან განსხვავებით შეკრული წირებია (ნახ. ა). ისინი იწყებიან ჩრდილოეთ პოლუსში და შედიან სამხრეთში. ჩამოთვლილი გეგონდა მათი თვისებებიც, რომ: მაგნიტური ძალწირი ირჩევს შეკერის მოკლე გზას, ისინი არ გადაიკვეთებიან, აღწევენ ნებისმიერ გარემოში. ერთი მიმართულების ძალწირები განიზიდებიან, სხვადასხვა მიმართულებისა – მიიზიდებიან (ნახ. ბ). მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს შორის აღძრული მექანიკური ძალა საფუძვლად უდევს მრავალი ელექტრონიკური ხელსაწყოების მოქმედებას, როგორიცაა: ელექტრული მანქანები, მზომი ხელსაწყოები, ელექტრული მაგნიტები და სხვა. ამ ძალის არსებობით უწყენებს კომპასის ისარი დედამიწის ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსებს. დადგენილია, რომ დედამიწა შეიძლება განვიხილოთ როგორც გიგანტური მაგნიტი, რომელიც გარშემორტყმულია მაგნიტური ველით (ნახ. გ), და საყრდენზე დამაგრებულ მაგნიტურ ისარს (კომპასი) ამ ველში ყოველთვის უკავია გარკვეული ორიენტაცია.

13.3. დამაგნიტებული სხეულის მაგნიტო – მოლეკულური აგებულება

შევეხით მუდმივი მაგნიტის ერთ „საოცრებას“ – მუდმივი მაგნიტის ნაწილები არ არსებობს. ასე



მაგალითად, ბრტყელი მაგნიტი (ნახ. ა) შუაზე რომ გავტეხოთ ვერ მივიღებთ ცალ – ცალკე ჩრდილო და სამხრეთ პოლუსებს (ნახ. ბ) ორივე ნაწიხი ერთი „მთელი“ მაგნიტია (ნახ. გ).

აქედან და სხვა ფაქტორებიდან გამომდინარე ჩამოყალიბდა ნივთიერებათა აგებულების ე.წ. მაგნიტურ – მოლეკულური თეორია, რომელსაც საფუძველი ჩაუყარა ფრანგმა მეცნიერმა ამპერმა.



ლაგებული (ნახ. დ) და ჯამური ველი გაკომპენსირებულია.

თუ ამ მასალას მაგნიტურ ველში შევიტანთ, მაშინ მოლეკულური, წრიული დენები განლაგდებიან ველის ძალწირების გასწვრივ ანუ ორიენტირდებიან (ნახ. ე) და მათი ჯამური ველი გაძლიერდება.

ამპერის დროს არ იყო ცნობილი ატომის აგებულების მოდელი, ამიტომ წრიული დენების არსებობას ამპერი ვარაუდობდა და ვერ ამტკიცებდა. ამიტომ ამპერის ეს მოსაზრება იმ დროისათვის ჰიპოთეზად ითვლებოდა.

შემდეგ, როცა რეზერფორდმა ახსნა ატომის აგებულების პლანეტარული მოდელი და უჩვენა, რომ ატომშირთვის ირგვლივ ბრუნავს ელექტრონი, მაშინ თითოეული მბრუნავი ელექტრონის ირგვლივ იარსებებს მაგნიტური ველი. მათი ერთობლიობით ატომის ირგვლივ ჩნდება ჯამური ველი და ბოლოს თუ მოლეკულას განვიხილავთ, როგორც ატომთა ერთობლიობას, მაშინ იგი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ელემენტარული მაგნიტი, ამ ელემენტალურ მაგნიტს „მაგნიტური მოლეკულა“ ვუწოდოთ.

„მაგნიტური მოლეკულის“ არსებობა განისაზღვრება ნივთიერებათა კრისტალური სტრუქტურით და ისინი განაპირობებენ ნივთიერებათა მაგნიტურ თვისებებს.

ახლა დავეუბრუნდეთ მუდმივი მაგნიტის „საოცრებას“. მუდმივ მაგნიტში „მაგნიტური მოლეკულები“ ორიენტირებულია და ისინი ამ მდგომარეობაში რჩებიან მაგნიტის დამსხვრევის შემდეგ. თითოეული ნამსხვრევი ინარჩუნებს მუდმივი მაგნიტის ყველა თვისებას და რჩება მცირე ზომის მთელი მაგნიტი.

13.4. ნივთიერებათა დამაგნიტება – განმაგნიტების მექანიზმი

რკინის ნაჭერის მაგნიტურ ველში შეტანისას მის ორიენტირებულ „მაგნიტური მოლეკულებს“ შორის აღიძვრება გარ-

კვეული სიდიდის შეჭიდულობის ძალა, რომელსაც კოერციტიული ძალა ეწოდება.

კოერციტიული ძალის ბუნება შეიძლება შევადაროთ ხახუნის ძალას. ასე მაგალითად, თუ ზედაპირს, რომელზეც სხეულებია დალაგებული, დავხრით ზოგიერთი დასრიალდება, ზოგიერთი არა. უძრავად დარჩება ის სხეულები, რომელთა ზედაპირთან განვითარებული ხახუნის ძალა მეტია. ანალოგიურად ამისა, თუ მაგნიტურ ველში შეტანილ რკინის ნაჭერს ველიდან გამოვიტანთ, ორიენტირებული „მაგნიტური მოლეკულები“ სითბური მოძრაობის გამო ისევ ქაოსურად განლაგდებიან, მაგრამ ზოგიერთი მათგანი, რომელთა კოერციტიული ძალა გადაამეტებს სითბური მოძრაობის ძალას, დარჩება ორიენტირებულ მდგომარეობაში. რკინის ნაჭერი ნაწილობრივ ინარჩუნებს მაგნიტურ თვისებებს, რომელსაც ნარჩი მაგნეტიზმი ეწოდება.

ამ თვისების მიხედვით არსებობს რბილი და მაგარი მაგნიტური მასალები. მაგალითად რკინა, ჩვეულებრივ მდგომარეობაში მაგნიტურ ველში შეტანით ადვილად დამაგნიტდება, მაგრამ ველიდან გამოტანის შემდეგ ასევე ადვილად განმანტიდება. ნაწრთობი ფოლადის დასამაგნიტებლად კი ძლიერი მაგნიტური ველია საჭირო, მაგრამ დამამაგნიტებელი ველის მოხსნის შემდეგ იგი დარჩება მკვეთრად გამოხატული მაგნიტური თვისებებით.

რაც შეეხება ნივთიერებათა განმანტიებას, მას შეიძლება მივალწიოთ ორი გზით: 1) გავახუროთ დამანტიტებული სხეული, გაიზრდება მოლეკულების ქაოსური სითბური მოძრაობის სიჩქარე და ირღვევა „მაგნიტური მოლეკულების“ ორიენტირებული მდგომარეობა. 2). მოვათავსოთ სხეული დამამაგნიტებელი ველის საწინააღმდეგო პოლუსიან ისეთი სიძლიერის ველში, რომ ორიენტირებული „მაგნიტური მოლეკულების“ ორიენტირებული მდგომარეობა დაირღვეს, მაგრამ არ მოხდეს საწინააღმდეგო მდგომარეობაში ორიენტირება, ე.ი. ველი უნდა შეირჩეს ისეთი, რომ მოხდეს განმანტიება და არა გადამანტიება.

რჩევა დამწყებ ელექტრიკოსებს

1) იმის გამო, რომ მაგნიტურ ველში, მოხვედრილი ფერო-მაგნიტური მასალა შეიძლება დამანტიტებული დარჩეს უნდა

ვერიდოთ მექანიკური საათების ან სხვა გამზომი ხელსაწყოების მოხვედრას მაგნიტურ ველში. ე.ი. არ შეეეხოთ მუდმივი მაგნიტით.

2) თუ ეს უნებლიედ მაინც მოხდა, არ გამოვიყენოთ განმაგნიტების ზემოდაღწერილი ხერხი გახურებით. არსებობს განმაგნიტების ელექტრული მეთოდები, რომელსაც შემდეგში გავეცნობით.

3) თუ საკმე გვაქვს მუდმივ მაგნიტებთან ვერიდოთ მათ გახურებას და მექანიკურ დარტყმებს. ორივე შემთხვევაში მოსალოდნელია ორიენტირებული „მაგნიტური მოლეკულების“ ქაოსურ მდგომარეობაში დაბრუნება.

13.5. ნივთიერებათა მაგნიტური თვისებები

ა) მაგნიტური შეღწევადობა. მაგნიტური ველის მახასიათებლების განხილვის დროს (§7.5) დაეახასიათეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია და დაძაბულობა. ეს სიდიდეები ერთმანეთთან დაკავშირებულია ფორმულით: $B = \mu_0 H$, სადაც $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ - აბსოლუტური მაგნიტური შეღწევადობაა და იმ გარემოს თვისებებზეა დამოკიდებული, რომელშიც განიხილება მაგნიტური ველი. μ - ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობაა, ხოლო $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰენ/მ - მაგნიტური მუდმივია. თუ პოლუსებს შორის მაგნიტურ ველს დავაკვირდებით სიცარიელეში (დიდი სიზუსტით შეიძლება ითქვას ჰაერში), მის ნებისმიერ წერტილში ველი ერთგვაროვანია (ნახ. ა) $B = H$ და იგი შეიძლება დავახასიათოთ როგორც მაგნიტური ინდუქციის (გაუსი), ისე მაგნიტური ველის დაძაბულობის (ერსტედი) ერთეულებში. ჰაერის ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობა $\mu \approx 1$.



მოვათავსოთ მაგნიტურ ველში ალუმინის ნაჭერი, მაგნიტური ველის სურათი უმნიშვნელოდ შეიცვლება (ნახ. გ), მაგრამ თუ ველში რკინის ნაჭერს მოვათავსებთ, მაგნიტური ველის სურათი მკვეთრად შეიცვლება (ნახ. ბ). რკინის „მაგნიტური მოლეკულები“ ორიენტირდებიან და ჯამური ველი გაიზ-

რდება. ფერომაგნიტური მასალის მიერ მაგნიტური ველის გაძლიერების უნარს ახასიათებს მისი მაგნიტური განვლადობა, რომელიც $\gg 1$ -ზე. ასეთ მასალებს ეწოდება - ფერომაგნიტური.

ქვემოთ ცხრილის სახით მოცემულია ზოგიერთი მასალის მაგნიტური განვლადობის მნიშვნელობები.

ცხრილი №1

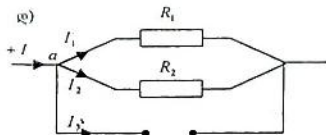
ნივთიერება	μ
ელტექნიკური რკინა	1500
რბილი ფოლადი	500
ნიკელი	300
კობალტი	180

ცხრილი №2

ნივთიერება	μ
ალუმინი პლატინა	1,005
სპილენძი	0,009
ჰაერი	≈ 1
სივარდივე	1

№1 ცხრილში მოცემულია დიამაგნიტური მასალების ჯგუფი: ფერომაგნიტური მასალები, რომლებიც შესამჩნევად აძლიერებენ მაგნიტურ ველს. №2 ცხრილის პირველი მასალაც დიამაგნიტურია, იგი აძლიერებს ველს, მაგრამ შეუმჩნევლად, მეორე მასალა პირიქით ასუსტებს, მაგრამ ისევ შეუმჩნევლად და მათ ეწოდებათ პარამაგნიტური. პრაქტიკულად №2 ცხრილში ნაჩვენები მასალები და კიდევ სხვები, მაგალითად, ფერადი ლითონები არამაგნიტურ მასალებად ითვლებიან.

ბ) მაგნიტური წინაღობა - დაეაკვირდეთ ნახ, გ-ზე ნაჩვენებ მაგნიტური ველის სურათს. აქ ჩანს, რომ მაგნიტურ წირს ჩრდილოეთ პოლუსიდან სამხრეთისაკენ გააჩნია ორი გზა: ჰაერის გავლით და რკინის გავლით. მაგნიტური წირი გადაიხარა რკინისაკენ და შეკვრება ამ გზით.

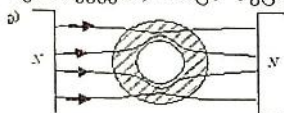


გავიხსენოთ პარალელურად შეკრული ელექტრული წრედი (ნახ. დ) I დენს a წერტილში აქვს სამი გზა: R_1 წინაღობაში, R_2 წინაღობაში და გაწვევტილ წრედში. როგორც ვიცით დენი განაწილდება წინაღობის უკუპროპორციულად $\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2}{I_1}$ და მეტი იქნება იმ რეზისტორში, რომლის წინაღობა

ბაც ნაკლებია. $I_3 = 0$ ამ გზით დენი არ გაივლის, რამდენადაც გაწყვეტილი წრედის წინაღობა უსასრულოდ დიდია. თუ აღებულ წრედში $R_1 \gg R_2$, მაშინ R_1 - ში გამავალი დენი შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ და ჩავთვალოთ: $I_1 \approx I_2$.

განხილულის ანალოგიურად შეიძლება ვთქვათ, რომ წირები შეიკვრება იმ წინაღობის უკუპროპორციულად, რომელსაც იგი აწყდება გავრცელების გზაზე, ე.ი. ფერომაგნიტური მასალების, მაგნიტური წინაღობა, ნაკლებია ჰაერის მაგნიტურ წინაღობაზე, ხოლო ფერომაგნიტური მასალის მაგნიტური წინაღობა მით ნაკლებია, რაც მეტია მისი მაგნიტური შეღწევადობა.

ვ) მაგნიტური ეკრანილება - პრაქტიკაში გვხვდება შემთხვევები, როცა აუცილებელია ესა თუ ის დანადგარი და-



ვიცვათ გარე მაგნიტური ველი-საგან, მაშინ იგი მოვათავსოთ რკინის, ან სხვა ფერომაგნიტური მასალის დრუტანიან ცილინდრში.

მაგნიტური ველის განაწილების სურათიდან (ნახ.ე) ჩანს, რომ ცილინდრის დრუ ტანში მაგნიტური ველი არ არსებობს. ამ პროცესს შეიძლება მაგნიტური ეკრანილება დავარქვათ.

ღ) ზოგიერთი მასალის მაგნიტურად ტექნიკური მახასიათებლები - ტექნიკურ რკინას (ნახშირბადის შემცველობა 0,04%) ახასიათებს მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა ($\mu = 3500 \div 7000$), დაბალი კოერტიციული ძალა. ტექნიკური რკინა, ნახშირბადოვანი ფოლადი და თუჯი გამოიყენება მუდმივ მაგნიტურ ველში მომუშავე მაგნიტური წრედებისათვის.

ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადი წარმოადგენს რკინის სილიციუმთან შენადნობს (1 - 4%). კაუბადი აუმჯობესებს ტექნიკური ფოლადის თვისებებს: 'ზრდის მაგნიტურ შეღწევადობას, ამცირებს კოერტიციულ ძალს და რაც მთავარია, ზრდის კუთრ ელექტრულ წინაღობას, რის შედეგადაც მცირდება გრიგალური დენები და მასთან დაკავშირებული დანაკარგები.

ფოლადებს კაუბადის მცირე შემცველობით აქვს დაბალი მაგნიტური შეღწევადობა, ენერჯის დიდი კუთრი დანაკარგები. ასეთი ფოლადები გამოიყენება დაბალი სიხშირის მუდმივი და

ცვლადი დენებისა და მაღალი მაგნიტური ინდუქციის შემთხვევაში.

ფოლადები კაუბადის დიდი შემცველობით (2,8 - 4,8)% გამოიყენება სამრეწველო და მაღალი სიხშირის დროს. როცა აუცილებელია გექონდეს მცირე დანაკარგები გრივალურ დენებზე ან როცა არც საჭიროა მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა სუსტ და საშუალო ველებში.

პერმალთი - ეს არის რკინის, ნიკელისა და ზოგიერთი სხვა ელემენტების შენადნობი. ამ შენადნობებს აქვს მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა სუსტ მაგნიტურ ველში. ისინი იყოფიან მაღალ (70 - 80)% და დაბალნიკელიან შენადნობებად (40 - 50% ნიკელი).

პერმალთის მაგნიტური თვისებები მეტად ძლიერადაა დამოკიდებული ნიკელის შემცველობასა და მათი დამზადების ტექნოლოგიაზე.

ფერიტები - ეს არის ფერომაგნიტური მასალა, რომელიც მიიღება კერამიკული ხერხით, რკინის უანგეულის, თუთიის, ნიკელისა და სხვა ელემენტების წმინდა ფხვნილის ნარევისაგან. დაწნეხისა და გამოწვის შემდეგ მიიღება საჭირო ფორმის გულარები. ფერიტებს აქვს მეტად დიდი კუთრი წინაღობა, თუმცა დანაკარგები გრივალურ დენებზე ძალიან მცირეა, რის საშუალებას გვაძლევს ისინი გამოვიყენოთ მაღალი სიხშირეების დროს.

ნიკელ - თუთიის ფერიტებს, რომლებიც მარილების თერმული გზით მიიღება, ოქსიდური ფერომაგნეტიკები ანუ ოქსოფერები ეწოდება. მაგნიტური თვისებებით ისინი ახლოსაა ლითონკერამიკულ ფერიტებთან.

მაგნიტოდიელექტრიკი - ეს არის მასალა, რომელიც ფერომაგნიტური ფხვნილისა და დიელექტრიკის ნარევისაგან მიიღება, მაგალითად, პოლიეინილქლორიდთან, პოლიეთილენთან და სხვა. ნარევი ყალიბდება, იწნეხება და გამოიწვევა.

ფერიტებსა და მაგნიტოდიელექტრიკებს ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა დანიშნულების ტრანსფორმატორების, გამტარი და რადიოკავშირგაბმულობის აპარატურათა გულარებისათვის, გამომთვლელ მოწყობილობებში, ავტომატიკაში და ა.შ. კერძოდ, დამამახსოვრებელ მოწყობილობებში ფართოდ გამოიყენება ფერიტის რგოლისებრი კოჭები სწორკუთხოვანი მარყუ-

კით, რომლებსაც გაჯერებამდე დამაგნიტების თვისება აქვთ დენის იმპულსის დროს და შემდეგ სანგრძლივად ინარჩუნებენ დამაგნიტებას.

ბ) მაგნიტოსალი მასალები

მაგნიტოსალი მასალები ხასიათდება დიდი კოერციტიული ძალით, რის გამოც მათ იყენებენ ნებისმიერი დანიშნულების მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად. ამ მასალებს მიეკუთვნება: ნახშირბადიანი, ვოლფრამიანი, ქრომიანი და კობალტიანი ფოლადები, რომელთა კოერციტიული ძალა 5000 – 13000 ა/მ-ია, ხოლო ნარჩენი ინდუქცია 0,7 – 1 ტ. შესაძლებელია მათი ჭედვა, გლინვა და მექანიკური დამუშავება.

მაგნიტოსალ მასალებს მიეკუთვნება აგრეთვე ისეთი შენადნობები, რომლებიც სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავენ რკინას, ალუმინს, ნიკელს, კაუბადსა და კობალტს. ისინი ცნობილი არიან შემდეგი სახელწოდებით: ალნი, ალნისი, ალნიკო, მაგნიკო და სხვა. მათ ახასიათებთ გაცილებით უკეთესი მაგნიტური თვისებები, ვიდრე ზემოთ მოყვანილ მასალებს. ალნიშნული შენადნობებიდან მაგნიტები მზადდება ჩამოსხმით და დამუშავდება მხოლოდ ხეხვით.

თავი XIV ელექტრომაგნიტიზმი

წინამდებარე სახელმძღვანელოს VII - VIII თავებში აღნიშნული იყო, რომ მაგნიტური ველი ელექტრული დენის ძირითადი თვისებაა. მოყვანილი იქნა აგრეთვე რამდენიმე ანალოგი მუდმივი მაგნიტისა და დენიანი გამტარის მაგნიტურ ველებზე, მაგნიტური ველის მახასიათებლები და ა.შ. ამ თავში შევეხებით ელტექნიკურ ხელსაწყოებს, სადც განიხილება მუდმივი მაგნიტის მაგნიტური ველი, დენიანი სადენი და დენიანი სადენის მაგნიტური ველი; შევისწავლით მაგნიტური წრედების კანონებს და მაგნიტური წრედების გაანგარიშების მაგალითებს.

14.1. ელექტრომაგნიტური პროცესი

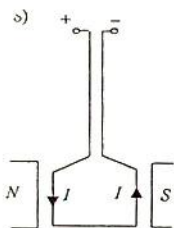
მაგნიტური მოვლენები ტექნიკასა და ყოფაცხოვრებაში განიხილება იმავე ინტერესით, როგორც ელექტრული. უფრო მეტიც, ელექტრული და მაგნიტური ველები ერთმანეთთან არიან დაკავშირებული და არ არსებობენ ერთმანეთის გარეშე. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის შესწავლისას მაქსველმა შეამჩნია, რომ ცვლადი მაგნიტური ველი ქმნის ელექტრულ ველს, რომლის დაძაბულობის წირები მოიცავს მაგნიტური ინდუქციის წირებს, შემდეგ მანვე დაუშვა, რომ ბუნებაში უნდა არსებობდეს შებრუნებული პროცესი: რომ დროში ცვალებადი ელექტრული ველი აღძრავს მაგნიტურ ველს და მაქსველის ამ დაშვების სამართლიანობა დასაბუთებული იქნა ელექტრომაგნიტური ტალღის აღმოჩენით.

ელექტრული და მაგნიტური ველები ცალ - ცალკე არ არსებობს და ისინი წარმოადგენს ერთი მთლიანი ელექტრომაგნიტური ველის გამოვლენას. შესაბამისად ცალ - ცალკე არ არსებობს ელექტრული და მაგნიტური მოვლენები. არსებობს ერთი მთლიანი ელექტრომაგნიტური ველი და შესაბამისად ერთი ელექტრომაგნიტური პროცესი. სწორ შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური პროცესის ერთი მდგენელი მეტადაა წარმოდგენილი, მეორე ნაკლებად და გარკვეული დაშვებით განვიხილავთ ელექტრულ და მაგნიტურ პროცესებს ცალ - ცალკე.

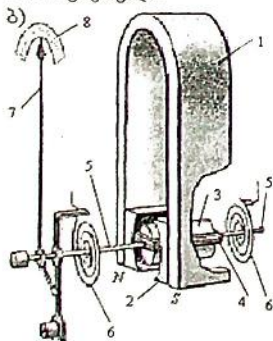
14.2. მუდმივი მაგნიტის ველი + დენიანი სადენი

ეს ერთობლიობა განხილულია მაგნიტური ინდუქციის განმარტების დროს (§7.5) სადაც აღენიშნეთ, რომ თუ დენიან სადენს მოვათავსებთ მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურ ველში, მაშინ გამტარში დენის მიმართულებიდან გამომდინარე, იგი ველში შეიზიდება ან განიზიდება. მაგნიტური ველის დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის სიდიდე აღებული მაგნიტისათვის დამოკიდებულია გამტარში გამავალი დენის სიდიდეზე.

შევიტანოთ მაგნიტურ ველში სწორკუთხა ჩარჩო (ნახ. ა). ჩარჩოს კიდურა სადენებში დენი გაივლის სხვადასხვა მიმართულებით და მაგნიტური ველი მათზე იმოქმედებს ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალებით ანუ წარმოიქმნება მაბრუნე მომენტი. ჩარჩო მობრუნდება მაგნიტურ ველში და დაიკავებს ისეთ მდგომარეობას, რომ მისი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იყოს მაქსიმალური. ე.ი. ჩარჩო ორიენტირდება მისი სიბრტყით მაგნიტური წირების მართობულად.



თუ ჩარჩოს დავამაგრებთ ისე, რომ მას შეეძლება ბრუნვა, მაგრამ მაგნიტური ველის მიერ აღძრულ მაბრუნე მომენტს შეეწინააღმდეგება, ზამბარის დრეკადობის უკუ მაბრუნე მომენტი, მაშინ ჩარჩოში დენის გატარებისას ზამბარის უკუ მაბრუნე მომენტის გამო ჩარჩო დარჩება გარკვეული α კუთხით მობრუნებული.



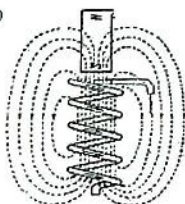
ეს ეფექტი შეიძლება გამოვიყენოთ დენის გასაზომად, სადაც ჩარჩოს მობრუნების კუთხის მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ ჩარჩოში გამავალი დენის სიდიდეზე. ამ პრინციპზე მომუშავე მზომ მექანიზმს მაგნიტოელექტრული სისტემის ხელსაწყო ეწოდება. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია მისი კონსტრუქციული სქემა. (2) მუდმივი NS მაგნიტის მაგნიტურ ველში მოთავსებულია ალუმინის თხელი ფირფიტისაგან

დამზადებული ცილინდრი (3) რომელზეც დახვეულია ოთხკუთხა ჩარჩოს ფორმის კოჭა. (4) კოჭის გრაგნილის ბოლოებზე დამაგრებულია სპირალური ფორმის ზამბარები (6), რომლებიც ასრულებენ დენმიმყვანი სადენების როლს და ამავე დროს ქმნიან მაგნიტური ველის მატარებელ მომენტის საწინააღმდეგო მომენტს. ცილინდრს შეუძლია ბრუნვა და ბრუნვის დერძე (5) დამაგრებული ისარი (7) სკალაზე (8) მიუთითებს ჩარჩოს მობრუნების კუთხის სიდიდეს, რომელიც მასში გამავალი გასაზომი დენის პროპორციულია. აღწერილი მშობი. მექანიზმის უარყოფით მხარედ ითვლება, რომ ის ზომავს მხოლოდ ერთი მიმართულების, ანუ მუდმივ დენს.

14.3. ფერომაგნიტური მასალის შეზიდვა სოლენოიდში

სოლენოიდის ერთ პოლუსს მიეუახლოვოთ რკინის ნაჭერი (ნახ. ა) და გრაგნილში გავატაროთ დენი. რკინის ნაჭერი შეიზიდება მაგნიტურ ველში და შეზიდვის ძალა მით მეტი იქნება, რაც უფრო ახლოს მივიტანთ რკინას მაგნიტის პოლუსთან.

ა)



ეს ფაქტი შეიძლება ავსნათ შემდეგნაირად: რკინის ნაჭრის სოლენოიდის ერთ – ერთ პოლუსთან მიახლოებისას მაგნიტური ველის ძალწირები გამოიწვევს რკინის ნაჭრის „მაგნიტური მოლეკულების“ გარკვეული ნაწილის ორიენტაციას და რკინა შეიძენს მაგნიტურ თვისებებს. ორიენტირებული „მაგნიტური მოლეკულების“ მდგომარეობა განისაზღვრება მაგნიტური ძალწირის მიმართულებით და რკინის ნაჭრის ბოლოზე წარმოიშვება სოლენოიდის პოლუსის საწინააღმდეგო დასახელების პოლუსი.

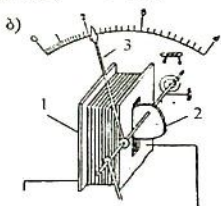
ე.ი. რკინის ნაჭერი სოლენოიდში შეიზიდება, მისი დამაგნიტების ხარისხი იზრდება და შესაბამისად იზრდება შეზიდვის ძალის სიდიდეც. შეზიდვის ძალის ზრდა შეიმჩნევა განსაზღვრულ ზღვრამდე, რომლის შემდეგაც იგი იწყებს კლებას და როცა რკინის ნაჭრის შუა ცენტრი დაემთხვევა სოლენოიდის შუა ცენტრს, შეზიდვის ძალა ნულს გაუტოლდება და რკინის ნაჭერი დარჩება სოლენოიდის ღრმულში გარკვეულად და მყარად ორიენტირებულ მდგომარეობაში. თუ

რკინის ნაჭერს მოექაჩავთ და ხელს გაუშვებთ, იგი დაბრუნდება იმავე მდგომარეობაში.

აღწერილი ეფექტი ერთნაირად შეიმჩნევა ორივე დასახელების პოლუსისათვის და შეიძლება გაეაკეთოს დასკვნა: სოლენოიდში რკინის შეზიდვა ერთნაირად იწარმოებს მიუხედავად იმისა, მის გრაგნილში მუდმივი დენი გადის თუ ცვლადი.

ცხადია სოლენოიდისა და რკინის ნაჭერის ერთი წყვილისათვის შეზიდვის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია მაგნიტური ველის სიძლიერეზე, რაც მის გრაგნილში გამავალი დენის სიდიდეზეა დამოკიდებული.

სოლენოიდის ეს თვისება შეიძლება გამოვიყენოთ დენის გასასომად და ამ პრინციპზე მომუშავე მზომ ხელსაწყოს ელექტრომაგნიტური სისტემის ხელსაწყო ეწოდება. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია მზომი მექანიზმის სტრუქტურა, რომლის შემადგენელი ნაწილებია:



ღრუტანიანი სოლენოიდი (1), რომლის გრაგნილშიც გადის გასასომი დენი.

ღერზე დამაგრებულია რკინის ფირფიტა (2), რომელსაც შეუძლია ბრუნვა. ისარი (3) ციფერბლატის სკალაზე უჩვენებს რკინის ნაჭრის მობრუნების კუთხეს მის მაგნიტურ ველში შეზიდვის დროს. სოლენოიდის შეზიდვის ძალას ეწინააღმდეგება ზამბარის დრეკადობის ძალა და როცა ეს ძალები გათანაბრდება ისარი გაჩერდება გარკვეული კუთხით მობრუნებული. თუ კოჭაში დენს გაეზრდით შეზიდვის ძალა გაიზრდება და რკინის ფირფიტა მობრუნდება მეტი კუთხით. ცხადია ამ კუთხის სიდიდით შეიძლება ვიისჯვლოთ კოჭაში გამავალი დენის სიდიდეზე.

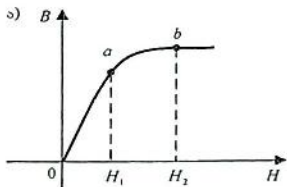
ელექტრომაგნიტური სისტემის მზომი ხელსაწყოთი იზომება როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენები.

14.4. ფერომაგნიტური მასალის დამაგნიტება

ელექტრული მეთოდით

როგორც აღვნიშნეთ, ფერომაგნიტურ მასალებში, ქაოსურად განლაგებულ მაგნიტური მოლეკულების ორიენტაცი-

ისათვის ანუ მის დასამაგნიტებლად, საჭიროა გარე მაგნიტური ველი. ცხადია ეს ველი შეიძლება იყოს დენიანი გამტარის მაგნიტური ველიც. 1872 წელს სტოლეთოვმა ჩაატარა ასეთი

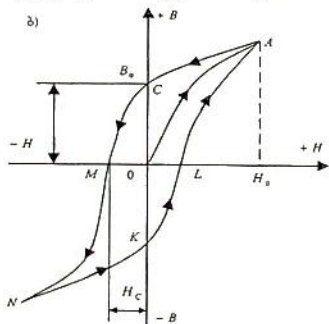


ცდა: ფოლადის ნაჭერი მოათავსა დენიანი კოჭას ღრუში და ზომავდა B ინდუქციას მაგნიტური ველის H დაძაბულობის სხვადასხვა მნიშვნელობაზე. პირველად მან მიიღო $B(H)$ მრუდი (ნახ. ა), რომელსაც დამაგნიტების მრუდი

ეწოდება. დამაგნიტების მრუდის პირველსაწყისი უბანი Oa წრფეია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მაგნიტური ველის დაძაბულობის OH_1 დიაპაზონში ცვლილებისას ინდუქცია იზრდება დაძაბულობის პირდაპირპროპორციულად. ab მრუდის მუხლზე მაგნიტური ინდუქციის ზრდა შენელებულია, b წერტილის შემდეგ ინდუქციის ზრდა თითქმის არ შეიმჩნევა. ეს იმიტომ, რომ დაძაბულობის H_2 მნიშვნელობაზე ორიენტირდება ფოლადის ღრეოს თითქმის ყველა „მაგნიტური მოლეკულა“ და ფოლადის ამ მდგომარეობას გაჯერებული ეწოდება. თუ გაჯერების მდგომარეობის მიღწევის შემდეგ შემცირებას დავიწყებთ. ინდუქცია იწყებს შემცირებას, მაგრამ იგი აღარ გაყვება დამაგნიტების OA მრუდს (ნახ. ბ).

დაძაბულობის ნულთან გატოლების დროს (C წერტილი) ინდუქცია არ უდრის ნულს. ინდუქციის B_0 მნიშვნელობას ნარჩი ინდუქცია ეწოდება და მასალა რჩება დამაგნიტებული, ანუ ორიენტირებული რჩება „მაგნიტური მოლეკულების“ გარკვეული რიცხვი. ნივთიერების განსამაგნიტებლად უნდა შევეცვალოთ დაძაბულობას ნიშანი და ვზარდოთ იგი უარყოფითი მიმართულებით დაძაბულობის გარკვეულ უარყოფით მნიშვნელობაზე (M - წერტილი) ინდუქცია ნულის ტოლია. ამ დროს მასალა განმაგნიტებულია და თუ ველის დაძაბულობის ზრდას გავაგრძელებთ, მასალა იწყებს დამაგნიტებას ახლა საწინააღმდეგო პოლარობით (MN უბანი) მიაღწევს გაჯერების მდგომარეობას და ველის დაძაბულობის შემცირებით ინდუქცია იწყებს შემცირებას, მაგრამ დამაგნიტების წინა შემთხვევის

ანალოგიურად მრუდი არ გაყვება MN უბანს და გრძელდება MK უბანზე. დაძაბულობის ნულთან გატოლების შემთხვევაში მასალაში რჩება ნარჩი მაგნეტიზმი აბსოლუტური მნიშვნელობით B_0 -ის ტოლი და საწინააღმდეგო პოლარობის (წერტილი K). ამ მაგნეტიზმის მოსახსნელად დაძაბულობა ახლა საწინააღმდეგო ნიშნით უნდა გაეზარდოს (KL) და ა.შ. შეიკვრება მრუდი LA უბნით.

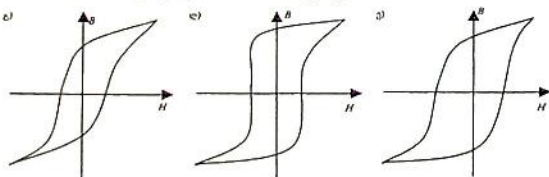


მიღებულ შეკრულ მრუდს ჰისტერეზის ყულფი ეწოდება.

ჰისტერეზის ყულფის ფართობი მაგნიტური თვისებებით განსხვავებული სხვადასხვა მასალისათვის სხვადასხვაა. მაგალითად ნახ. გ-ზე ნაჩვენებია ელექტროტექნიკური ფოლადის ჰისტერეზისის ყულფი, იგი მაგნიტურად რბილი მასალაა; სპეციალური შენადნობის ჰერმალის ჰისტერე-

ზისის ყულფი მართკუთხა ფორმისაა (ნახ. დ), ხოლო მაგნიტურად მაგარი მასალის ნარჩი მაგნეტიზმის დიდია და ყულფის ფართობიც მეტია (ნახ. ე).

ფერომაგნიტური მასალის დამაგნიტება იწვევს მის გაცხელებას, რაც დაკავშირებულია ჰისტერეზისზე ენერჯის დანაკარგებთან. ჰისტერეზისის ყულფის ფართობი პროპორციულია გადამაგნიტების ციკლზე დახარჯული ენერჯისა და დამოკიდებულია მასალის მაგნიტური ინდუქციისა და მასალის გადამაგნიტების ციკლის სიხშირეზე.

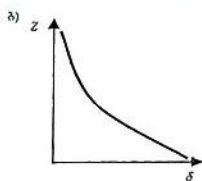
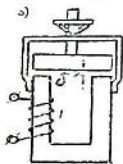


ამასთან დაკავშირებით, იმ ელექტრონიკური მოწყობილობების მაგნიტოგამტარები, რომლებიც განუწყვეტელივ გადამაგნიტების პირობებში მუშაობენ (ტრანსფორმატორი) მიზანშეწონილია დამზადდეს ვიწრო ჰისტერეზის ყულფის მქონე ფერომაგნიტური მასალისაგან. ასეთ ფერომაგნიტურ მასალებს მაგნიტურად რბილი ეწოდება. მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად რეკომენდირებულია ფართო ჰისტერეზისის ყულფის მქონე ფერომაგნიტური მასალების გამოყენება. ასეთ მასალებს მაგნიტურად სალი ეწოდება.

14.5. ინდუქციური კოჭა ფერომაგნიტური გულარით

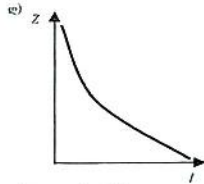
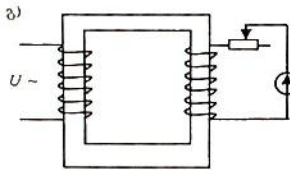
ზემოთ განვიხილეთ სოლენოიდი ფერომაგნიტური გულარის გარეშე, რომელშიც მაგნიტური ველის ინდუქცია მხოლოდ მასში გამავალი დენით განისაზღვრება და ნაკადსა და დენს შორის დამოკიდებულება წრფივია.

თუ კოჭას გრაგნილს ფერომაგნიტურ გულარაზე დავახვეთ, მაშინ ნაკადსა და დენს შორის დამოკიდებულების წრფივი ხასიათი ირღვევა და პროპორციულობის კოეფიციენტი – ინდუქციურობა, მუდმივი აღარ არის. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია კოჭაში გამავალი დენის მნიშვნელობაზე. ასეთ კოჭას არაწრფივი ინდუქციური კოჭა ანუ დროსელი ეწოდება, რომელიც ცვლადი დენის ელექტრულ წრედებში ხშირად დენის შეზღუდვის მიზნით გამოიყენება.



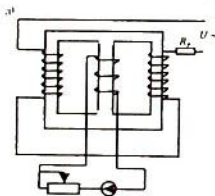
პრაქტიკაში გამოიყენება ორი ტიპის დროსელი: I) დროსელები საპაერო ღრეწოთი, რომლის სიდიდის რეგულირება შეიძლება და II) გაჯერების დროსელები.

ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია საპაერო ღრეწოიანი დროსელის ერთ – ერთი შესაძლო კონსტრუქციული სქემა, ხოლო ნახ. ბ-ზე ამ დროსელის წინაღობის საპაერო ღრეწოს სიდიდეზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ამ ტიპის დროსელები გამოიყენება ცვლადი დენის ელექტრულ ღუმელებში, შემდულებელ ტრანსფორმატორებში და სხვა ტიპის ელექტრომომხმარებლებში, სადაც დიდი დენების რეგულირება მოითხოვება.



გაჯერების დროსელს გააჩნია ორი გრაგნილი: ცვლადი დენის ე.წ. მუშა გრაგნილი და მართვის გრაგნილი (ნახ. გ). მართვის გრაგნილი ირთვება მუდმივი დენის წრედში და მასში დენის რეგულირებით რეგულირდება ფერომაგნიტური გულარის დამაგნიტების ხარისხი, რის შედეგადაც იცვლება დროსელის წინაღობა. ნახ. დ-ზე ნაჩვენებია დროსელის წინაღობის მუდმივ დენზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

ასეთი დროსელის უარყოფითი მხარეა ის, რომ მუშა ცვლადი დენი ინდუქციის ემძ-ს აინდუქცირებს მართვის გრაგნილის ბოლოებზეც, რაც აუარესებლად



დროსელის მუშაობას და ქმნის მთელ რიგ სიძნელეებს დროსელის პრაქტიკულად გამოყენების დროს. ეს სიძნელეები შემცირებულია სპეცშესრულების გაჯერების დროსელში, რომლის ერთ-ერთი ვარიანტის სქემა ნაჩვენებია ნახ.

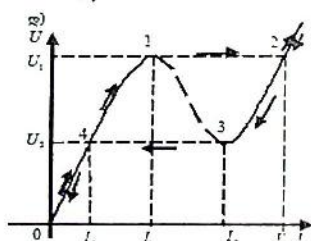
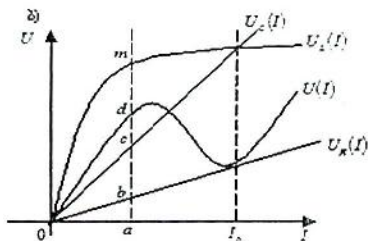
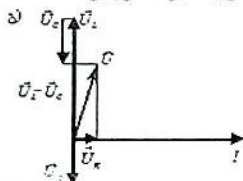
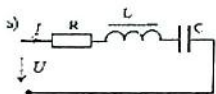
ე-ზე. ამ დროსელში მართვის გრაგნილი მაგნიტოგამტარის შუა ღეროზეა დახვეული. მუშა გრაგნილი ორ სექციადაა გაყოფილი და დახვეულია მაგნიტოგამტარის (გულარის) კიდურა ღეროებზე. მუშა გრაგნილის თითოეული სექციის მიერ შექმნილი მაგნიტურ ნაკადებს მაგნიტოგამტარის შუა ღეროში აქვთ ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულება და მათი გაჯენა მართვის გრაგნილზე შემცირებულია.

მართვის გრაგნილიანი დროსელები ფართოდ გამოიყენება როგორც დენების შესაზღუდად, ასევე სხვადასხვა დანიშნულებით ავტომატური მართვის სისტემებში, მაგნიტურ გამაძლიერებლებში და ა.შ.

14.6. ცვლადი ღენის წრედი ფერომაგნიტურ გულარიანი კოჭით

ა) ფერორეზონანსის მოვლენა - წრფივ წრედებში რეზონანსული მოვლენების გაცნობის დროს (§10.17) აღვნიშნეთ, რომ რეზონანსის პირობა $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ შეიძლება შესრულდეს სამი

გზით. სიხშირის, კონდენსატორის ტევადობის და ინდუქციურობის ცვლილებით. რამდენადაც ფერომაგნიტურგულარიანი კოჭას ინდუქციურობა გულარას დამაგნიტების ხარისხზეა დამოკიდებული, ეს კი თავის მხრივ დამოკიდებულია გამაყვალ ღენზე. შეიძლება ვთქვათ, რომ ელექტრულ წრედში, სადაც ფერომაგნიტურგულარიანი კოჭაა ჩართული, რეზონანსს შეიძლება მიეადწიოთ წრედზე მოდებული ძაბვის ცვლილებით. რეზონანსის ამ სახეს ფერორეზონანსის მოვლენა ეწოდება.



ბ) ძაბვების ფერორეზონანსი - ძაბვების ფერო რეზონანსი მყარდება მიმდევრობით შეერთებულ წრედში, სადაც ჩართულია წრფივი R, C ელემენტები და არაწრფივი L კოჭა და სქემას ექნება ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სახე.

წრედის ანალიზი ჩავატაროთ გრაფიკული მეთოდით. ამისათვის ავაგოთ სამივე R, L, C ელემენტის ვოლტ - ამპერული მახასიათებელი ცალ - ცალკე (ნახ. ბ). რეზისტორი და კონდენსატორი წრფივი ელემენტებია და მათი ვოლტ - ამპერული

მახასიათებლები $U_R(I)$ და $U_C(I)$ კოორდინატთა სათავეში გამავალი წრფეებია, ხოლო $U_L(I)$ - არაწრფივი კოჭას ვოლტ - ამპერული მახასიათებელი მრუდი წირია. $U(I)$ ჯამური ვოლტამპერული მახასიათებელია.

ვექტორულად შეგვიძლია დავწეროთ $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$. ნახ. გ-ზე ნაჩვენებია მოცემულია წრედის ვექტორული დიაგრამა. კანესაზღვროთ წრედში გამავალ დენის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს ჯამური $U(I)$ ძაბვის მნიშვნელობები. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია ერთ - ერთი d წერტილის აგების თანმიმდევრობა.

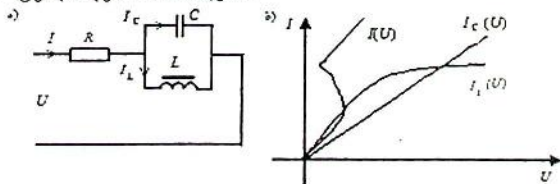
აბსცისთა ღერძზე ავიღოთ რაიმე a წერტილი და აღვმართოთ მართობი. აღვნიშნით ამ მართობის RLC ელემენტის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებლებთან გადაკვეთის წერტილები b, c, m ასობით. რადგანაც ძაბვა ინდუქციურობაზე $|\vec{U}_L| = am$ წინააღმდეგობაზეა დენისაგან 90° -თ, ხოლო ტევადობაზე $|\vec{U}_C| = ac$ ჩამორჩება 90° -თ (ნახ. გ), ამიტომ ძაბვის რეაქტიული მდგენელი ტოლია: $(am - ac)$. ძაბვის აქტიური მდგენელი ტოლია: $|\vec{U}_R| = ab$. ავავოთ ვექტორული დიაგრამა. $|\vec{U}_L| = am$ მნიშვნელობის ძაბვისათვის (ნახ. გ) წრედზე მოდებული U ძაბვის მნიშვნელობა განისაზღვრება იმ მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუსით, რომლის ერთი კათეტია მას'შტაბში აგებული $(U_L - U_C)$ და მეორე - U_R . ე.ი. $ad = \sqrt{(am - ac)^2 + ab^2}$. ანალოგიურად ავავოთ სხვა წერტილებიც და მივიღებთ $U(I)$ ჯამურ მრუდს. I_0 დენის მნიშვნელობაზე $U_L = U_C$ და $U = U_R$ წრედში მყარდება რეზონანსი (ნახ. ბ), რომ არ გადაიტვირთოს, წრედის ჯამური ვოლტ - ამპერული მახასიათებელი გადმოეხაზოთ ცალკე (ნახ. დ). როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს ძაბვის U_1 მნიშვნელობას მიმდევრობით შეერთებულ წრედში შეესაბამება დენის ორი მნიშვნელობა I_1 და I_1' , რომელიც ცხადია სინამდვილეს არ შეესაბამება.

წრედში პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად: ძაბვის ზრდის პროცესში 0- დან U_1 -მდე (ნახ. დ) დენი წრედში იზრდება მდოვრედ I_1 -მდე. (მრუდის 0-1 უბანი). 1 წერტილში ძაბვის ოდნავი მომატებით დენი მყისიერად იცვლება I_1' -მდე (1 - 2 უბანი) და შემდეგ კვლავ იზრდება მდოვრედ. როგორც ნახ. ბ-დან ჩანს რეზონანსამდე I_1 დენს შეეხება ძაბვა წრედში ძაბვებს შორის დამოკიდებულება $U_L > U_C$ და დენი ხაზობრივად ძაბვას, ხოლო რეზონანსის შემდეგ $U_C > U_L$ და დენი წინ-გასწრებულია ძაბვისაგან. ასე, რომ 1 წერტილში დენი იცვლის ფაზას და ამ მოვლენას ფაზის გადაყირაება ეწოდება. ძაბვის შემცირებით დენი იწყებს შემცირებას (2 - 3 უბანი). 3 წერტილში დენი მყისიერად მცირდება I_0 -დან I_2 -მდე (3 - 4 უბანი) და შემდეგ კვლავ მცირდება ნულამდე (4 - 0) უბანი.

ფერორეზონანსულ წრედში დენის ასეთი ნახტომისებური ცვლილება გამოიყენება ავტომატიკის წრედებში როგორც უკონტაქტო რელე. დენის მყისიერად ზრდისას „რელე ჩაირთვება“ შემცირებისას - გამოირთვება.

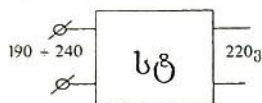
გ) დენების ფერორეზონანსი - დენების ფერორეზონანსი ღამყარდება წრედში სადაც პარარელურად ჩართულია ფერო-მაგნიტურ გულარიანი კოჭა და წრფივი კონდენსატორი (ნახ.ა).

ძირითადი მრუდები ნაჩვენებია ნახ. ბ-ზე. $U(I)$ ჯამური მრუდის თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ მცირე დენების დიაპაზონში წრედზე მოდებული ძაბვა ნაკლებად არის დამოკიდებული დენზე. აქ არა გვაქვს დენის მყისიერად ცვლილების შემთხვევები, პირიქით, დენის მდოვრედ ცვლილებით ადგილი აქვს წრედზე მოდებული ძაბვის მყისიერად ცვლილებას. დენების რეზონანსი პარალელურად შეერთებულ წრედშიც ძაბვის ცვლილებით მიიღება.



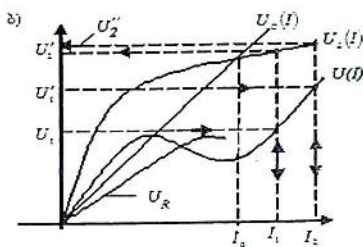
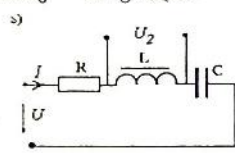
14.7. ძაბვის ფერორეზონანსული სტაბილიზატორი

სტაბილიზატორი ეწოდება მოწყობილობას, რომლის შესავეალზეც მოდებული ცვლადი ძაბვის დიდ ფარგლებში ცვლი-



ლებისას გამოსავალ მომჭერებზე ძაბვის სიდიდე არ იცვლება ან კიდევ იცვლება მეტად მცირე დიაპაზონში. მაგალითად, საყოფაცხოვ-

რებო დანადგარებში ქსელის ძაბვის (190÷220)ვ დიაპაზონში ცვლილებისას სტაბილიზატორის გამოსავალ მომჭერებზე ძაბვა 220ვ - ის ტოლია.



თანამედროვე ტექნიკაში დამუშავებულია ელექტრონული სტაბილიზატორები, რომლებიც გაცილებით მცირეა გაბარიტებით და წონით ფერომაგნიტურთან შედარებით, ჩამონტაჟებულია უშუალოდ რადიოაპარატორულ დანადგარებში და ეს აპარატურა წრედში ირთვება უშუალოდ, მაგრამ არსებობს წრედები, სადაც მოთხოვნილი სიმძლავრეების თუ სხვა პირობების გათვალისწინებით გამოიყენება ფერორეზონანსული სტაბილიზატორები.

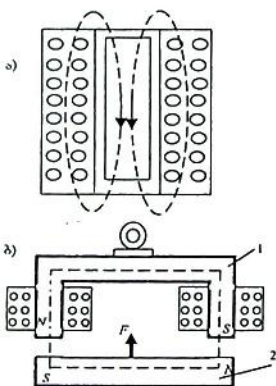
უმარტივესი ფერომაგნიტური სტაბილიზატორი წარმოადგენს არაწრფივი ინდუქციური კოჭისა და წრფივი კონდენსატორის მიმდევრობით შეერთებულ წრედს (ნახ. ა). დატვირთვა ჩართულია კოჭას მომჭერებზე (U_2 ძაბვაზე). ვთქვათ ძაბვა წრედის შესასვლელზე (ნახ. ბ) იცვლება ($U_1 - U_1'$) დიაპაზონში. წრედის ჯამური $U(I)$ მახასიათებელიდან ჩანს, რომ U_1 ძაბვის მნიშვნელობას შეესაბამება I_1 დენი, ხოლო დენის ამ მნიშვნელობას U_L - ზე შეესაბამება U_2' ძაბვის მნიშვნელობა. ანალოგიურად მოიქცეება U_2' ძაბვის მნიშვნელობა. თუ ძაბვა

შესაველზე გაიზარდა U_1' - მდვ. როგორც ნახაზიდან ჩანს შესაველი ძაბვის $(U_1 - U_1')$ დიაპაზონში ცვლილებას შეესაბამება გამოსაველი ძაბვის პრაქტიკულად უცვლელი სიდიდის დიაპაზონი $(U_2'' - U_2')$.

პრაქტიკაში მზადდება სტაბილიზატორები უფრო რთული სქემებით, მაგრამ მათი მოქმედების პრინციპი განხილულ მაგალითში აღწერილის ანალოგიურია.

14.8. ელექტრომაგნიტი და მისი გამოყენების მაგალითები

ელექტრომაგნიტი ფერომაგნიტურ გულარიანი ინდუქციური



კოჭაა და მზადდება ორნაირი კონსტრუქციული შესრულებით: ა) შეკრული მაგნიტური გამტარით (ნახ. ა) და გახსნილი მაგნიტოგამტარით (ნახ. ბ). დამაგნიტებულ გრაგნილში (1) დენის გავლის დროს აღძრული მაგნიტური ნაკადი შეიკვრება ნახაზზე ნაჩვენები მიმართულებით. ეს ნაკადი განჭოლავს რა მაგნიტის მოძრავ ნაწილს ღუზას (2), რომელიც დამაგნიტდება საწინააღმდეგო პოლარობის პოლუსებით და შეიზიდება მაგნიტური ველის შიგნით F ძალით. გამოთვლებით მიღებულია, რომ

$$F \approx 4 \cdot 10^5 B^2 S,$$

სადაც F ძალის სიდიდეა ნიუტონებში, B - მაგნიტური ინდუქცია ტესლებში და S პოლუსების ფართობი მ²-ში.

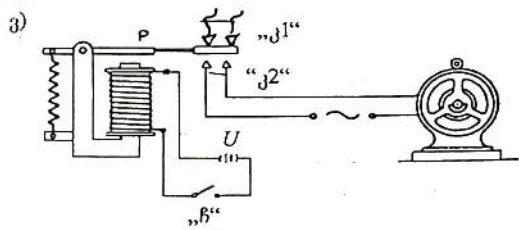
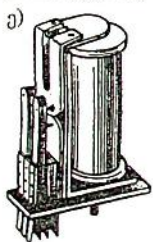
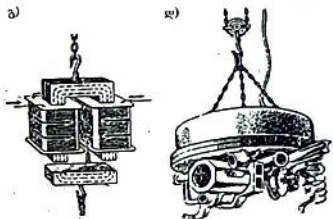
მაგნიტური გულარის გაჯერებამდე გრაგნილში დენის სიდიდის ცვლილებით შეიძლება ვცვალოთ ელექტრომაგნიტის მიზიდვის ძალა. ელექტრომაგნიტი პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებული ელემენტი და მოვიყვანოთ მისი გამოყენების რამდენიმე მაგალითი.

ელექტრომაგნიტური ამწე - ელექტრომაგნიტი იმ ამწის „კალათია“, რომლითაც გადაიტანება ფერომაგნიტური მასა-

ლები (ნახ. გ, დ). კალათის „ასაესებად“ საკმარისია მაგნიტის წრედში ჩართვა და „დასაცლელად“ გამორთვა.

ელექტრომაგნიტური რელე - ელექტროტექნიკურ დანადგარებში ფართოდ გამოიყენება ხელსაწყო, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია მცირე დენებით ვმართოთ დიდდენიანი დანადგარები. ეს ხელსაწყოა ელექტრომაგნიტური რელე (ნახ. ე), რომლის პრინციპული სქემა მოცემულია ნახ. ვ-ზე. იგი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტს, რომლის მიზიდვის დენი მცირე სიდიდისაა. „ჩ“ ჩამრთველით ა)

მაგნიტი ირთვება U ძაბვის ქსელში. ამ დროს მიიზიდება ღუზა და „კ1“ და „კ2“ კონტაქტების მსგავსი ერთზე მეტი რაოდენობის კონტაქტი. „კ1“-ს ეწოდება ნორმალურად ჩაკეტილი, „კ2“-ს - ნორმალურად ღია.



ელექტრომაგნიტური მაგიდა - ასეთი მაგიდა გამოიყენება მავალითად სახეხ ჩარხში. მაგიდა წარმოადგენს ელექტრომაგნიტს. მასზე დაედება ნამზადი და დენის ჩართვის შემდეგ ნამზადი მაგრდება მაგიდაზე.

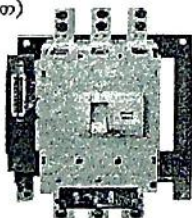


ელექტრული ზარის პრინციპული სქემა. „ღ“ ღილაკზე თითის დაწოლით ჩაირთვება ელექტრომაგნიტი, რომელიც მიიზიდავს ერთი ბოლოთი დამაგრებულ ღეროს. ღეროს მეორე ბოლოზე

დამაგრებული ჩაქუჩი ხედება ზარს. მიზიდვის დროს გაიხსნება „კ“ კონტაქტი და გამოირთვება ელექტრომაგნიტი. ღეროს საწყის მდგომარეობაში აბრუნებს ზამბარა. ამ დროს ისევ შეიკრება „კ“-კონტაქტი ჩაირთვება ელექტრომაგნიტი და ჩაქუჩი ისევ მოხვედება ზარს. ასე გაგრძელდება მანამ, სანამ „ლ“ ღილაკზე თითი გვაქვს დაჭერილი.

ავტომატური ამომრთველი — თუ ელექტრომაგნიტური რელეს ან ელექტრული ზარის აღწერილ მექანიზმებში ელექტრომაგნიტის ღუზა მიზიდვის შემდეგ გაანთავისუფლებს ელექტრული კონტაქტის ერთ — ერთ ჩანგალს, კონტაქტი გაითიშება ნახ. ე-ზე აღწერილ მექანიზმში ელექტრომაგნიტის გრაგნილში ნომინალური დენის არსებობისას მიზიდვის ძალა ვერ ძლევს ღუზის უკუმომენტს და იგი არ მიიზიდება. როცა დენი გადაამეტებს ნომინალურ მნიშვნელობას ღუზა მიიზიდება, ჩანგალი განთავისუფლდება და „კ1“ კონტაქტი გაითიშება. ღუზის საპაერო ღრეჩოს სიდიდის ცვლილებით შეიძლება ვცვალოთ მაგნიტის მიზიდვის ძალა, ე.ი. შესაძლებელია ავტომატური ამომრთველი დამზადდეს ნომინალური დენის სხვადასხვა მნი-

თ)



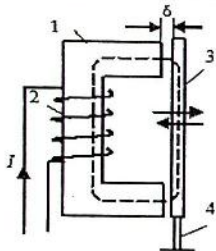
შენელობებზე. ნახ. თ-ზე ნაჩვენებია ძალოვანი ავტომატური ამომრთველის საერთო ხედი. დენის სიდიდის მიხედვით შეირჩევა ავტომატური ამომრთველის ელექტრომაგნიტის გრაგნილის კვეთიც. საპაერო ღრეჩოს სიდიდე კი ადვილად რეგულირდება ხრახნიანი მანჭვალის საშუალებით. პრაქტიკულად არსებულ ამომრთველებში გამოყენებულია ბიმეტალური მასა-

ლის გახურებით გამოწვეული დეფორმირების უნარიც, რომელიც აღწერილი გვექონდა ადრე და ავტომატური ამომრთველი უფრო საიმედო და სტაბილური ხდება.

14.9. ინდუქციური გადამწოლი

ავტომატური მართვის, თუ გამზომ მაკონტროლებელ სისტემებში ფართოდ გამოიყენება ე.წ. ინდუქციური გადამწოლი. მისი მოქმედების პრინციპი ემყარება იმ მოვლენას, რომ იცვლება გადამწოდის ინდუქციური წინაღობა საპაერო ღრეჩოს δ -ის ცვლილებით. გადამწოლი შედგება ფერომაგნი-

ტური გულარისაგან (1), რომელზეც დახვეულია გრაგნილი (2), ღუზა (3) დამაგრებულია დრეკად ფირფიტაზე (4), რომლის დრეკადი თვისებებით შეიზღუდება ღუზის გულარაზე



მექანიკური მიზიდვის მომენტი. კოჭაში გამავალი I დენის სიდიდით ცვლილებით იცვლება საჰაერო ღრეჩოს სიდიდე და შესაბამისად გადამწოდის წინაღობა.

ინდუქციური გადამწოდის წინაღობის აღწერილი ცვლილება მრავალი ავტომატური დანადგარის „მგრძნობიარე“ ელემენტია, რომლებიც აკონტროლებენ დამზადებული დეტალების გეომეტრიულ ზომებს, ინარჩუნებენ დენის სიდიდის მუდმივობას და ა.შ.

თავი XV. მაგნიტური წრელები

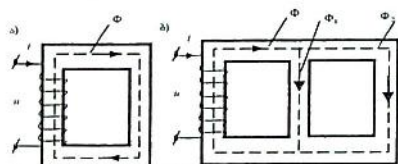
15.1. მაგნიტური წრელების ორი სახის ამოცანა

მაგნიტური წრედი წარმოადგენს ფერომაგნიტურ გულარაითა ერთობლიობას გრავნილებით, საჰაერო ღრუეობით ან მათ გარეშე, რომლებიც ქმნიან შეკრულ გზას მაგნიტური ნაკადისათვის.

ფერომაგნიტური გულარების დანიშნულებაა შედარებით მცირე მაგნიტო მამოძრავებელი ძალით საჭირო სიდიდის მაგნიტური ინდუქციის მიღება, მაგნიტური წირების თავმოყრა და ნაკადის სასურველი მიმართულებით წარმართვა.

მაგნიტური წრედი, ელექტრული წრედის ანალოგიურად, შეიძლება იყოს მარტივი და რთული. მარტივ მაგნიტურ წრედში მაგნიტური ნაკადი არ განშტოვდება და მას განუშტოებელი მაგნიტური წრედი ეწოდება (ნახ. ა). რთულ მაგნიტურ წრედში

კი ადგილი აქვს მაგნიტური ნაკადის თუნდაც ერთხელ განშტოებას და მას განშტოებული მაგნიტური წრედი ეწოდება.



მაგნიტური წრედის სხვადასხვა უბნები მზადდება ერთი ან სხვადასხვა მასალისაგან, ერთნაირი ან სხვადასხვა სიგრძითა და კვეთით. მაგნიტური წრედის უბანს, რომელიც შესრულებულია ერთნაირი მასალის, ერთი და იგივე კვეთისა და სიგრძის გულარისაგან, ერთგვაროვანი უბანი ეწოდება.

მაგნიტური წრედის გაანგარიშება ითვალისწინებს ორი სახის ამოცანის გადაწყვეტას. ორივე შემთხვევაში ცნობილია მაგნიტური წრედის გეომეტრიული ზომები და ფერომაგნიტური გულარების მაგნიტური თვისებები და უნდა განისაზღვროს:

ა) მმმ (IW) საჭირო ნაკადის მისაღებად; ამ ამოცანას ეწოდება პირდაპირი და ბ) განისაზღვროს მაგნიტური ნაკადის სიდიდე ცნობილი მმმ-ის მნიშვნელობით. ეს არის შებრუნებული ამოცანა.

15.2. მაგნიტური წრელების კანონები

ისე, როგორც ელექტრული წრეებისა, მაგნიტური წრედების ანგარიში წარმოებს იმ კანონებზე და დებულებებზე და-

ყრდნობით, რომლებიც ამყარებს დამოკიდებულებას ელექტრულ და მაგნიტურ სიდიდეებს შორის. ეს კანონები უმეტეს შემთხვევაში ჩაიწერება და გამოითქმის ელექტრული წრედების კანონების ანალოგიურად შემდეგნაირი შეცვლით:

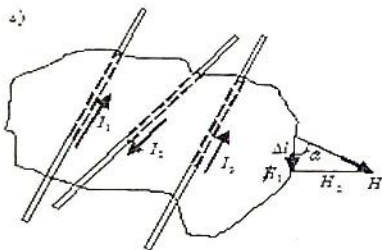
ელექტრული დენი – მაგნიტური ნაკადი

ელექტრული ძაბვა – მაგნიტური ძაბვა

ელექტრული წინაღობა – მაგნიტური წინაღობა

ელექტრო მამოძრავებელი ძალა – მაგნიტო მამოძრავებელი ძალა.

თუმცა ეს შეცვლები ფორმალურ ხასიათს ატარებს და ელექტრომაგნიტური პროცესები ელექტრულ და მაგნიტურ წრედებში პრინციპულად განსხვავებულია.



ა) სრული დენის

კანონი – როგორც ვიცით ელექტრული დენი და მაგნიტური ველი ერთმანეთთან ღრმად არის დაკავშირებული. ასევეა დაკავშირებული მაგნიტური ველის მახასიათებლებიც: ინდუქცია, ნაკადი და დაძაბულობა. ე.ი. ელექტ-

რული დენი და მაგნიტური ველის მახასიათებლები ერთმანეთთანაა დაკავშირებული და ამ კავშირის მახასიათებელი ძირითადი კანონი ელექტრო-ტექნიკაში სრული დენის კანონის სახელითაა ცნობილი.

განვიხილოთ შეკრული კონტური (ნახ. ა) სამი, დენიანი გამტართ. ამ გამტარების ირგვლივ აღიძვრება მაგნიტური ველი და ჯამური ველის დაძაბულობა კონტურის სხვადასხვა წერტილში იქნება სხვადასხვა. ვთქვათ, ამ კონტურის Δl ელემენტალური სიგრძის მონაკვეთთან ველის დაძაბულობის \vec{H} ვექტორი ადგენს α კუთხეს. დაეშალოთ \vec{H} ვექტორი ორ ურთიერთმართობ \vec{H}_1 და \vec{H}_2 მდგენელებად. მიღებულ მართკუთხა სამკუთხედში $H_1 = H \cos \alpha$ და $H_2 = H \sin \alpha$. H_1 მდგენელი მიმართულია Δl გამტარის გასწვრივ და განსაზღვრავს მაგნიტური ველის დაძაბულობის სიდიდეს ამ წერტილში.

$H_1 \Delta l$ ნამრაველს ეწოდება მაგნიტური ძაბვა Δl უბანზე და დადებითა, თუ \vec{H}_1 ვექტორის მიმართულება ემთხვევა შემოვლის მიმართულებას.

მთელი კონტურის გასწვრივ მძმ მის ცალკეულ უბნებზე არსებული ელემენტალური მაგნიტური ძაბვების ალგებრული ჯამით განისაზღვრება: $F = \sum H_1 \Delta l$.

კონტური გამჭოლი დენების ალგებრულ ჯამს $\sum I$ სრული დენი ეწოდება და სრული დენის კანონი ჩამოყალიბდება შემდეგნაირად:

შეკრული კონტურის გასწვრივ დამამაგნიტებელი ძალა უდრის სრულ დენს, რომელიც გადის კონტურით შემოსაზღვრულ ზედაპირში: $F = \sum I$ ან $F = \sum H_1 \Delta l = \sum I$.

დენი ადებულ ჯამში ითვლება დადებითად, თუ მისი მაგნიტური ველის ნაკადის მიმართულება ემთხვევა შემოვლის მიმართულებას. ნახ. ა-ზე შემოვლის მიმართულებად არჩეულია საათის ისრის მოძრაობის მიმართულება, მაშინ ბურღის წესით განსაზღვრული მაგნიტური ველის ნაკადის მიმართულების განსაზღვრით I_1 და I_3 დენები დადებითა, I_2 დენი — უარყოფითი.

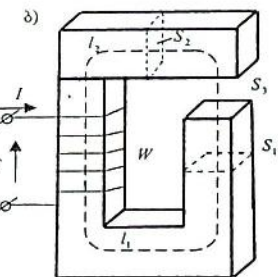
ბ) ომის კანონი მაგნიტური წრედისათვის — ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია არაგანშტოებული მაგნიტური წრედის მაგალითი. სიმარტივისათვის ჩავთვალოთ, რომ მისი ფერომაგნიტური

უბნები მასალის მიხედვით ერთგვაროვანია, ხოლო ცალკეული უბნების სიგრძეებია: l_1, l_2, l_3 და განივკვეთის ფართობები: S_1, S_2, S_3

სრული დენის კანონით დავწერთ:

$$F = IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3$$

ითიოეული უბნის მაგნიტური ველის დამაბულობა არის:



$$H_1 = \frac{B_1}{\mu_1}; H_2 = \frac{B_2}{\mu_2}; H_3 = \frac{B_3}{\mu_3},$$

სოლო მაგნიტური ინდუქცია:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}; \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}; \quad B_3 = \frac{\Phi}{S_3}.$$

ამ სიდიდეების სრული დენის კანონში შეტანით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} F = IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 &= \frac{B_1}{\mu_{01}} l_1 + \frac{B_2}{\mu_{02}} l_2 + \frac{B_3}{\mu_{03}} l_3 = \\ &= \frac{\Phi l_1}{\mu_{01} S_1} + \frac{\Phi l_2}{\mu_{02} S_2} + \frac{\Phi l_3}{\mu_{03} S_3} = \Phi \left(\frac{l_1}{\mu_{01} S_1} + \frac{l_2}{\mu_{02} S_2} + \frac{l_3}{\mu_{03} S_3} \right). \end{aligned}$$

ელექტრული წრედების ანალოგიურად, $R = \rho \frac{l}{S}$;

$R_M = \frac{l}{\mu_0} \cdot \frac{l}{S}$ სიდიდეს მაგნიტური წინაღობა ეწოდება, რომელიც

R_M ასოთია აღნიშნული და გვექნება:

$$IW = \Phi(R_{M1} + R_{M2} + R_{M3}),$$

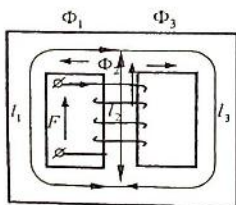
$$\text{საიდანაც } \Phi = \frac{IW}{R_{M1} + R_{M2} + R_{M3}} = \frac{IW}{\sum R_M} = \frac{F}{\sum R_M}.$$

ეს არის ომის კანონი მაგნიტური წრედისათვის, რომელიც გამოითქმის შემდეგნაირად:

მაგნიტური ნაკადი პირდაპირპროპორციულია მაგნიტომამობრავებელი ძალისა და უკუპროპორციულია სრული მაგნიტური წინაღობისა.

გ) კირსპოვის კანონები მაგნიტური წრედებისათვის – ნახ. გ-ზე ნაჩვენებია განშტოებული მაგნიტური წრედის მაგალითი,

რომლის ცალკეული უბნები სიმარტივის მიზნით ერთგვაროვანია და გეომეტრიული ზომებია: $l_1; l_2; l_3$.



კირსპოვის კანონები მაგნიტური წრედებისათვის იწერება ელექტრული წრედების ანალოგიურად.

პირველი კანონი კვანძისათვის:

$$-\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 = 0, \quad \text{ანუ } \sum \Phi = 0.$$

მაგნიტური წრედის კვანძში თავმოყრილი ნაკადების ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია.

ელექტრული წრედების ანალოგიურად ჩაიწერება კირსპოფის II კანონიც:

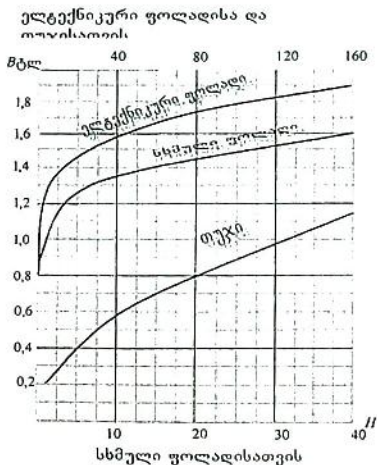
$$\sum IW = \sum \Phi R_M.$$

მაგნიტური წრედის შეკრულ კონტურში მაგნიტომამოძრავებელი ძალა ამ კონტურში შემაჯავლ ყველა უბანზე გამჭოლი ნაკადის შესაბამის მაგნიტურ წინაღობაზე ნამრაველთა ჯამის ტოლია.

15.3. მაგნიტური წრედების ანგარიშის პირდაპირი ამოცანა
 მაგნიტური წრედის ანგარიშის პირდაპირი ამოცანა წარმოებს შემდეგი თანმიმდევრობით:

1) გავავლოთ მაგნიტური ნაკადის საშუალო წირი და მის მიხედვით დავყოთ წრედი ერთგვაროვან უბნებად განივკვეთის S ფართობით და მასალის μ_s მაგნიტური შეღწევადობის მიხედვით. ვუჭვენოთ ამ უბნების l სიგრძეები და S გასიყვეთის ფართობები.

2) $B = \frac{\Phi}{S}$ ფორმულით განვსაზღვროთ თითოეული უბნის



მაგნიტური ინდუქცია.

3) განვსაზღვროთ მაგნიტური ველის დაძაბულობა H და შესაბამისი უბნის HL მაგნიტური ძაბვა.

წრედის ფერომაგნიტური უბნებისათვის ველის დაძაბულობა განისაზღვრება დამაგნიტების მრუდებით (ნახ. ა), ხოლო საპაერო დრეკისობისათვის ფორმულით: $H = \frac{B}{\mu_0}$.

სადაც $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰნ/მ მაგნიტური მუდმივა. თუ ინდუქციას (B) გაუსებში გამოვსახავთ, ხოლო დაძაბულობას

(H) ა/სმ - ში, მაშინ $H = 0,8 B$.

4) შეეკრიბოთ მაგნიტური ძაბვები თითოეულ უბანზე და სრული დენის კანონით გამოთვალეთ მმმ, რომელიც უზრუნველყოფს წრედში საჭირო სიდიდის მაგნიტური ნაკადის აღძვრას.

განივილით მაგალითები:

ამოცანა № 1

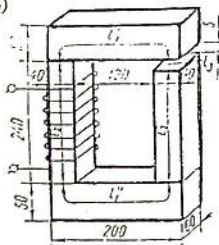
განუშტოებელი მაგნიტური წრედის ანგარიში.

პირდაპირი ამოცანა - გამოთვალეთ გრაგნილის ხეიების რიცხვი ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებ მაგნიტურ წრედში, რომ $I = 3$ ა დენის დროს აღიძრას $\Phi = 36 \cdot 10^{-4}$ ვბ ნაკადი. მაგნიტური გულარის ზედა და ქვედა უბნები შესრულებულია სხმული ფოლადისაგან, ხოლო გვერდითი ღეროები ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან.

ამოხსნა

მოცემული მაგნიტური წრედი დავყოთ სამ ერთგვაროვან უბნად, რომელთა სიგრძეები იქნება:

ბ)



$$l_1 = l'_1 + l''_1 = 2(200 - 40 + 2 \cdot 25) = 420 \text{ მმ} = 42 \text{ სმ};$$

$$l_2 = l'_2 + l''_2 = 240 + 235 = 475 \text{ მმ} = 47,5 \text{ სმ};$$

$$l_3 = 5 \text{ მმ} = 0,5 \text{ სმ}.$$

განივკვეთის ფართობები:

$$S_1 = 50 \cdot 60 = 3000 \text{ მმ}^2 = 30 \text{ სმ}^2;$$

$$S_2 = 40 \cdot 60 = 2400 \text{ მმ}^2 = 24 \text{ სმ}^2 = S_3.$$

განვსაზღვროთ თითოეული უბნის მაგნიტური ინდუქცია:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{36 \cdot 10^{-4}}{30 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ ტლ};$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{36 \cdot 10^{-4}}{24 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ ტლ}; \quad B_3 = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{36 \cdot 10^{-4}}{24 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ ტლ};$$

დამაგნიტების მრუდიდან (ნახ.ა) $B_1 = 1,2$ ტლ ინდუქციას სხმული ფოლადისათვის შეესაბამება მაგნიტური ველის დაძაბულობა $H_1 = 6,5$ ა/სმ; ხოლო $B_2 = 1,5$ ტლ ინდუქციას ელექტროტექნიკური ფოლადისათვის შეესაბამება $H_2 = 30$ ა/სმ; საბოლოო ღრეფისათვის ($B_3 = 1,5$ ტლ) -

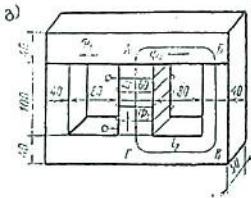
$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_0} = \frac{1,5}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 12 \cdot 10^5 \text{ ა/მ} = 12 \cdot 10^3 \text{ ა/სმ};$$

სრული დენის კანონით გვექნება:

$$F = IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 = 6,5 \cdot 42 + 30 \cdot 47,5 + 12000 \cdot 0,5 = 7698 \text{ ა}$$

$$I = 3 \text{ ამპერი დენისათვის მივიღებთ } W = \frac{IW}{I} = \frac{7698}{3} = 2566.$$

ამოცანა № 2



განშტოებული მაგნიტური წრედის ანგარიში (ნახ. გ).

ანგარიში განვიხილოთ შემდეგი წრედისათვის. მაგნიტომასალად აღებულია ელექტროტექნიკური ფოლადი. საჭიროა განისაზღვროს ემძ, რომელიც უზრუნველყოფს $B = 1,2$ ტლ მაგნიტურ ინდუქციას ამოხსნა

ემძ-ის გამოსათვლელად მაგნიტური წრედი დავეოთ ორ ერთგვაროვან უბნად, რომელთა სიგრძეები იქნება

$$l_1 = 1000\text{მ} = 10\text{სმ}, \quad l_2 = 4400\text{მ} = 44\text{სმ}, \quad \text{განივკეთის ფართობები}$$

$$S_1 = 60 \cdot 50 = 3000\text{მ}^2 = 30\text{სმ}^2; \quad S_2 = 40 \cdot 50 = 2000\text{მ}^2 = 20\text{სმ}^2.$$

მარჯვენა ღეროს მაგნიტური ნაკადი:

$$\Phi_2 = B_2 S_2 = 1,2 \cdot 20 \cdot 10^{-4} = 24 \cdot 10^{-4} \text{ ვბ.}$$

მაგნიტური წრედი სიმეტრიულია და $\Phi_1 = 2\Phi_2 = 48 \cdot 10^{-4} \text{ ვბ.}$

$$\text{მაგნიტური ინდუქცია } B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{48 \cdot 10^{-4}}{30 \cdot 10^{-4}} = 1,6 \text{ ტლ};$$

დამაგნიტების შრუდიდან გვექნება: როცა $B_1 = 1,6$ ტლ, მაშინ

$$H_1 = 44 \text{ ა/სმ და როცა } B_1 = 1,2 \text{ ტლ, მაშინ } H_2 = 10 \text{ ა/სმ};$$

სრული დენის კანონით გვაქვს:

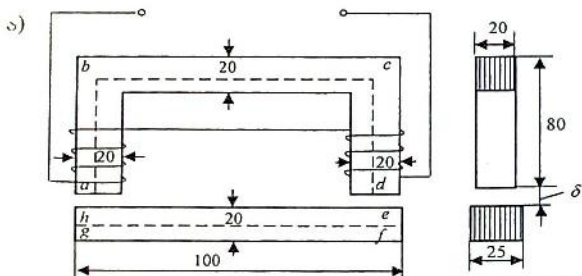
$$F = IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 = 44 \cdot 10 + 10 \cdot 44 = 880 \text{ ა.}$$

15.4. მაგნიტური წრედების ანგარიშის შებრუნებული ამოცანა

ვიპოვოთ ნახ. ა-ზე ნაჩვენებ ელექტრომაგნიტის ღუზაში მაგნიტური ინდუქცია, თუ ელექტრომაგნიტის კოჭის ხვიათა რიცხვი $W = 250$, მასში გამავალი დენი $I = 4,4$ ა. გულარა დამზადებულია ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან, ხოლო ღუზა - ჩამოსხმული ფოლადისაგან. გულარასა და ღუზას

ზომები ნასაზუსე მოცემულია მილიმეტრებში. ჰაერის ღრეჩოს სიგრძე $\delta = 0,5$ მმ. ღრეჩოს ფართობი ავიღოთ გულარის განიკვეთის ფართობის ტოლი.

ამოხსნა



მაგნიტური ინდუქციის საშუალო ძალხაზის სიგრძე გულარში ტოლია:

$$l_1 = l_{abcd} = 80 + 80 - 20 + 160 - 20 = 280 \text{ მმ} = 0,28 \text{ მ};$$

გულარის განიკვეთი:

$$S_1 = 20 \cdot 20 = 400 \text{ მმ}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^2.$$

მაგნიტური ინდუქციის საშუალო ძალხაზის სიგრძე ღუზაში:

$$l_{fgh} = l_2 = 160 - 20 = 140 \text{ მმ} = 0,14 \text{ მ};$$

ღუზის განიკვეთი:

$$S_2 = 20 \cdot 25 = 500 \text{ მმ}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^2.$$

ამოცანის ამოხსნისათვის საჭიროა ავაგოთ მრუდი $\Phi = f(F)$ და ამ მრუდზე ვიპოვოთ მუშა წერტილი. მრუდის ასაგებად საჭიროა ავიღოთ მაგნიტური ნაკადის სხვადასხვა მნიშვნელობები, გამოვთვალოთ მაგნიტური წრედის ყოველ უბანში მათი შესაბამისი მაგნიტური ინდუქციები. ამის შემდეგ დამაგნიტების მრუდიდან ეპოულობთ შესაბამის ველის დაძაბულობებს ინდუქციის ყველა მნიშვნელობისათვის და ბოლოს გამოვითვლით დამაგნიტებელ ძალას პირდაპირი ამოცანის ანალიზით.

ასე მაგალითად, მივიღოთ, რომ $\Phi = 6 \cdot 10^{-4}$ ვბ, მაშინ

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ ტლ}; \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ ტლ};$$

$$B_1 = B_{\text{ვკ}} = 1,5 \text{ ტლ.}$$

დამაგნიტების მრუდიდან (§ 15.3) ეპოულობთ მაგნიტური ეკლის დაძაბულობებს:

$$H_1 = 3000 \text{ ა/მ}; \quad H_2 = 650 \text{ ა/მ}; \quad H_{\text{ვკ}} = \frac{B_{\text{ვკ}}}{\mu_0} = \frac{1,5}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 119 \cdot 10^4 \text{ ა/მ};$$

დამამაგნიტებელი ძალა:

$$F = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\text{ვკ}} \delta = 3000 \cdot 0,28 + 650 \cdot 0,14 + 119 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 840 + 91 + 595 = 1526 \text{ ა}$$

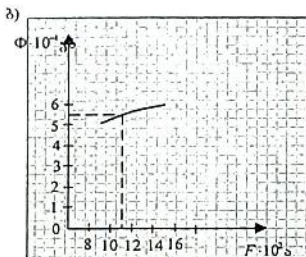
ეს დამამაგნიტებელი ძალა მეტია მოცემულზე

$$WI = 250 \cdot 4,4 = 1100 \text{ ა.}$$

ამიტომ ანალოგიურად ვაწარმოებთ გათვლას Φ -ს ნაკლები მნიშვნელობებისათვის და შედეგები შეგვაქვს ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

Φ ვბ	B_1 ტლ	B_2 ტლ	$B_{\text{ვკ}}$ ტლ	H_1 ა/მ	H_2 ა/მ	$H_{\text{ვკ}}$ ა/მ	$H_1 l_1$ ა	$H_2 l_2$ ა	$H_{\text{ვკ}} \delta$ ა	$\sum HI = F$ ა
$6 \cdot 10^{-4}$	1,5	1,2	1,5	3000	650	$11,9 \cdot 10^5$	840	91	595	1526
$5,5 \cdot 10^{-4}$	1,37	1,1	1,37	2200	500	$10,9 \cdot 10^5$	616	70	545	1231
$5 \cdot 10^{-4}$	1,25	1,0	1,25	2500	200	$9,6 \cdot 10^5$	420	28	480	928

ჩვენ შევჩერდით $\Phi = 5 \cdot 10^{-4}$ ვბ



სიდიდეზე, იმიტომ, რომ მაგნიტური ნაკადის ამ მნიშვნელობისათვის ჯამური დამამაგნიტებელი ძალა 928 ა ნაკლებია მოცემულ 1100 ა -ზე. გათვლების მიხედვით ვაგებთ $\Phi = f(F)$ მრუდს (ნახ. ბ). აბსცისის ღერძზე ეპოულობთ მუშა წერტილს $F = 1100$ ა, რომელსაც შესაბამება მაგნიტური ნაკადის მნი-

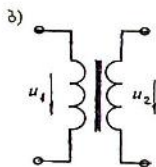
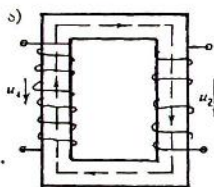
შვნელობა $\Phi = 5,4 \cdot 10^{-4}$ ვბ, ხოლო საძიებელი ინდუქცია იქნება:

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{5,4 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 1,1 \text{ ტლ.}$$

თავი XVI ტრანსფორმატორები

16.1. ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი

ტრანსფორმატორი წარმოადგენს ელექტროსტატიკურ და ნადგარს, რომელსაც შეუძლია ერთი სიდიდის ცვლადი ძაბვა გარდაქმნას იმავე სიხშირის სხვა სიდიდის ძაბვად. უმარტივეს შემთხვევაში იგი წარმოადგენს ორ ინდუქციურად დაკავშირებულ კოჭას. ერთ კოჭაში გამავალი ცვლადი დენის მიერ აღძრული ცვლადი ნაკადი განჭოლავს მეორეს და დაინდუქციერებს მასში ინდუქციის ემპ-ს (ნახ. ა). პირველ კოჭას ეწოდება ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი, მეორეს – მეორეული. ამ გრაგნილების ხეიების რიცხვის ცვლილებით შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა სიდიდის ემპ-ები.



ტრანსფორმატორი ელექტრულ სქემებზე აღინიშნება ორი კოჭის სახით, რომელთა შორის ხაზი მიუთითებს, რომ გრაგნილები დახვეულია ფერომაგნიტური მასალის ღეროზე. (ნახ. ბ) ამ ღეროს ტრანსფორმატორის გულარი ეწოდება.

ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპს შევეხეთ ელექტრომაგნიტური ინდუქციისა და ურთიერთინდუქციური მოვლენების შესწავლის დროს, მაგრამ მეტი სიცხადისათვის გაეხსენოთ ის განვლილი მასალა, რომელიც საფუძვლად უდევს ტრანსფორმატორის მოქმედებას:

1) დენიანი კოჭის ირგვლივ წარმოიქმნება მაგნიტური ნაკადი, რომელიც სიდიდით დენის პირდაპირპროპორციულია, ე.ი. თუ კოჭაში გამავალი დენი ცვლადია, მაშინ ნაკადიც იქნება ცვლადი.

2) მაგნიტური ველის ძალწირები შეკრული წირებია, ისინი გამოდიან კოჭის ერთი ბოლოდან და შედიან მეორეში.

3) მაგნიტური თვისებების მიხედვით მასალები ერთმანეთისაგან განსხვავდება და ზოგიერთი მათგანის მაგნიტური წინაღობა გაცილებით ნაკლებია ჰაერის მაგნიტურ წინაღობაზე. მათ ფერომაგნიტური მასალები ეწოდება.

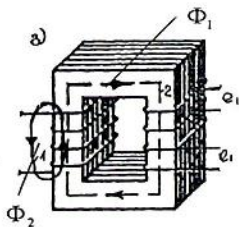
4) ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მიუღენა – თუ შეკრული კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი იცვლება, მაშინ

კონტურის ბოლოებზე აღიძვრება ინდუქციური ემძ და თუ ამ კონტურის ბოლოებს გამტარით შევაერთებთ მასში გაივლის დენი.

5) ლენცის წესი - ინდუქციური დენის მაგნიტური ველი ეწინააღმდეგება დენის წარმოშობის მიზეზს ანუ კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებას.

6) მასიური ფერომაგნიტური მასალის ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებისას მასში აღიძვრება გრიგალური დენები, რომლებსაც მასალის ელექტრული წინააღობის სიმცირის გამო შეიძლება მნიშვნელოვან სიდიდეს მიაღწიონ და გამოიწვიონ მისი გახურება. ცხადია, რომ თუ ეს მასიური მასალა რაიმე ელექტროტექნიკური დანადგარის შემადგენელი ნაწილია, მისი გრიგალური დენებით გახურება ორგვარადაა მიუღებელი: I) შეიძლება გამოიწვიოს ამ დანადგარის დაზიანება და II.) გახურებაზე დახარჯული ენერგია დაკარგული ენერგიაა.

7) გრიგალური დენების შესამცირებლად უნდა გავზარდოთ ფერომაგნიტური მასალის ელექტრული წინააღობა. თუ ცვლად მაგნიტურ ველში მოთავსებული მასიური ფერომაგნიტური გულარი აიკრიფება ერთმანეთისაგან იზოლირებული თხელი ფირფიტებით, მათში აღძრული გრიგალური დენები მნიშვნელოვნად შემცირდება.



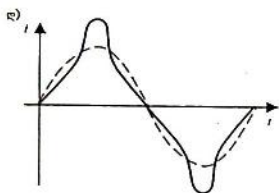
ახლა წარმოვიდგინოთ ფერომაგნიტური მასალისაგან დამზადებული მართკუთხა ჩარჩო, რომელიც აკრეფილია თხელი ფირფიტებისაგან და გამაგრებულია მექანიკურად. ჩარჩოს ერთ გვერდზე დავახვიოთ გრაგნილი და გავატაროთ ცვლადი დენი. წარმოიქმნება ცვლადი მაგნიტური ნაკადი, რომლის ძალწირებსაც გააჩნია შეკერის ორი გზა: 1) ჰაერის გავლით და 2) რკინის გავლით. ჰაერთან შედარებით რკინის მაგნიტური წინააღობის სიმცირის გამო $\Phi_1 \gg \Phi_2$; ჩარჩოს მეორე გვერდზე შემოვახვიოთ ხვია; ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის თანახმად მის ბოლოებზე დაინდუქცირდება e_1 სიდიდის ემძ. შემოვახვიოთ მეორე ხვიაც, მის ბოლოებზეც გაჩნდება e_1 სიდიდის ემძ. შევაერთოთ ეს ხვები მიმ-

დეერობით. მათ ბოლოებზე ჯამური ემმ იქნება $2e_1$; ე.ი. თუ მეორე ღეროზე გრაგნილს დავახვევთ W_2 ხვეების რიცხვით კოჭის ბოლოებზე დაინდუქცირებული ჯამური ემმ W_2e_1 -ის ტოლი იქნება. ცხადია მისი სიდიდე შეიძლება ვცვალოთ W_2 ხვეების რიცხვის შერჩევით.

აღწერილი მექანიზმი წარმოადგენს ტრანსფორმატორის უმარტივეს მოდელს, სადაც მხედველობაში არ მიიღება მთელი რიგი ფაქტორები, რომელიც ახასიათებს რეალურ ტრანსფორმატორს.

შევხვით ზოგიერთ მათგანს ისევე გამარტივებული კურსით.

ა) არაწრფივობა - ფერომაგნიტური გულარის დამაგნიტების მრუდითა და მისი მაგნიტური გაჯერების მდგომარეობით დაბვასა და დენს შორის დამოკიდებულების წრფივობა ირღვევა: თუ დაბვა პირველადი გრაგნილის ბოლოებზე სინუსოიდურია დენის მრუდი წამახვილებული ფორმისაა (ნახ. დ).



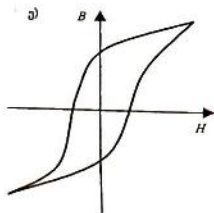
მტიცდება, რომ ამ დენის ფურიეს მწკრივად განაშალში განიხილება მხოლოდ პირველი და მესამე რიგის სინუსოიდური მდგენელები:

$$i = I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin 3\omega t$$

და დიდი სიზუსტით ესარგებლობთ ექვივალენტური სინუსო-

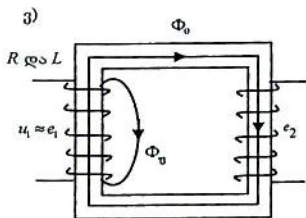
იდით, რომელსაც წყვეტილით ნაჩვენები სახე აქვს.

ბ) დანაკარგები ჰისტერეზისზე - ტრანსფორმატორის გულარის განუწყვეტელი დამაგნიტება -



განმაგნიტების პროცესში იკარგება ენერგია, რომელიც ჰისტერეზისის ყულფის ფართობის პროპორციულია. ამ ენერგიის შემცირების მიზნით გულარა მზადდება სპეციალური შენადნობისაგან, რომელსაც სატრანსფორმატორო ფოლადი ეწოდება. ამ მასალის ჰისტერეზის ყულფს აქვს ნახ. ე-ზე ნაჩვენები სახე.

გ) ფანტვის ნაკადი - აღეწერეთ, რომ მაგნიტური წინა-
 ლობის სიმცირის გამო პირველად
 გრაგნილში გამავალი დენით აღძ-
 რული ნაკადის ძირითადი ნაწილი
 Φ_0 იკვრება რკინის გულარის
 გზით, მაგრამ ამ ნაკადის 0,25%
 იკვრება ჰაერის გავლით (ნახ. ე).
 ამ ნაკადს ფანტვის $\Phi_{ფ}$ ნაკადი
 ეწოდება და სიმცირის გამო ხში-



რად მხედველობაში არ მიიღება.

დ) აქტიური წინაღობა - ტრანსფორმატორის ორივე
 გრაგნილის სადენი ხასიათდება აქტიური წინაღობით, რომლის
 დაძლევაზე იხარჯება ენერგია და ეს ენერგია გრაგნილებზე
 გამოიყოფა სითბოს სახით. ამ ენერგიის შემცირების მიზნით
 ტრანსფორმატორის გრაგნილი უმეტესად შესრულებულია
 სპილენძის სადენით.

იმ დაშვებით, რომ არ არსებობს ფანტვის ნაკადი, არ
 იხარჯება ენერგია ჰისტერეზისზე და გრაგნილების აქტიურ
 წინაღობებზე და დენი წრედში სინუსოიდურია, შეიძლება
 ვთქვათ:

თუ პირველად გრაგნილზე მოვდებთ $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$
 სინუსოიდურ ძაბვას, მაშინ აღიძვრება სინუსოიდური დენი,
 რომელიც $\frac{\pi}{2}$ კუთხით ჩამორჩება ძაბვას

$$i_{01} = I_{01m} \sin(\omega t - 90^\circ).$$

ცვლადი დენი აღძრავს ცვლად ნაკადს, რომელიც ფაზით
 ემთხვევა დენს

$$\phi_0 = \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ).$$

ეს ნაკადი განჭოლავს პირველად და მეორეულ გრაგ-
 ნილებს და დააინდუქცირებს მათში ემძებს

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi_0}{dt};$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\phi_0}{dt}.$$

რამდენადაც $u_1 = -e_1$ და $u_2 = -e_2$, მივიღებთ $\frac{u_2}{u_1} = \frac{e_2}{e_1} = \frac{W_2}{W_1} = K$;

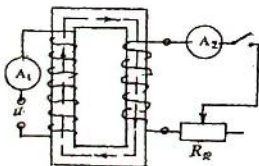
ამ ფარდობას ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ეწოდება.

ე.ი. ტრანსფორმატორი პირველად გრაგნილზე მოდებულ ძაბვას გარდაქმნის იმავე სიხშირის $u_2 = Ku_1$ სიდიდის ძაბვად. თუ გრაგნილების რიცხვი ისეა შერჩეული, რომ $W_2 > W_1$, ანუ $K_1 > 1$, $u_2 > u_1$ აამაღლებს ძაბვას, პირიქით შემთხვევაში – დააბალებს.

ტრანსფორმატორის გრაგნილის აქტიური წინაღობა (R), ფანტეის ნაკადის ($\Phi_{ფ}$) და ჰისტერეზისზე დანაკარგების გათვალისწინებით ემპ-ები და ძაბვები ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ($e \approx u$) და ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი $K = \frac{e_1}{e_2} \approx \frac{u_1}{u_2}$. ძაბვებით განსაზღვრა მიახლოებითია, მაგრამ პრაქტიკული გამოთვლებისათვის სახსებით დასაშვებია.

16.2. ტრანსფორმატორის უქმი სვლისა და დატვირთვის რეჟიმების აღწერა

თუ ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი წრედშია ჩართული და მეორეულ გრაგნილზე ჩართულ R_{Σ} დატვირთვის წინაღობაში დენი არ გადის ეამბობთ, რომ ტრანსფორმატორი მუშაობს უქმი სვლის რეჟიმში. ამ დროს ტრანსფორმატორი წრედიდან მოითხოვს განსაზღვრული სიდიდის ენერგიას, მაგრამ კოჭის დიდი ინდუქციურობის გამო გულარის ე.წ. დამამაგნიტებელი დენი მეტად მცირეა და ტრანსფორმატორის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრეც მცირეა.



უქმი სვლის რეჟიმში ენერგიის გადაცემა პირველადი გრაგნილიდან მეორეულ გრაგნილზე არ ხდება.

ჩაერთოთ „ჩ“ ჩამრთველი. დატვირთვის წინაღობაში გაივლის i_2 ინდუქციური დენი. ლენცის პრინციპის თანახმად ეს დენი გამოიწვევს გულარაში მაგნიტური ნაკადის შემცირებას, მაშინ უნდა შემცირდეს პირველადი გრაგნილის თვითინდუქციის ემპ და ელექტრული

წონასწორობა დაირღვევა გენერატორიდან პირველად გრაგნილზე მიწოდებულ u_1 ძაბვასა და თვითინდუქციის e_1 ემპ-ს შორის. წონასწორობის შესანარჩუნებლად უნდა გაიზარდოს პირველადი გრაგნილის ნაკადის სიდიდე, რაც ცხადია მასში i_1 დენის გაზრდას ნიშნავს.

რეოსტატის საშუალებით გაეზარდოთ დენი მეორეულ გრაგნილში i_2 ; ელექტრული წონასწორობა კვლავ დაირღვევა, მაგრამ აღდგება i_1 დენის ისევე გაზრდით. ასე, რომ მეორეულ გრაგნილში დენის ზრდა იწვევს პირველად გრაგნილში დენის ზრდას, რაც იმას ნიშნავს, რომ პირველადი გრაგნილი წრედიდან მოითხოვს მეტ ენერგიას. ე.ი. დატვირთვის რეჟიმში მომხმარებელში დახარჯულ ენერგიას ტრანსფორმატორი მოითხოვს წრედიდან ანუ ხდება ენერგიის გადაცემა წყაროდან მომხმარებელამდე.

მართალია ტრანსფორმატორს შეუძლია აამაღლოს პირველადი წრედის ძაბვა, მაგრამ საერთო ჯამში ტრანსფორმატორი წრედის პასიური ელემენტია. ენერგიას იგი კი არ გასცემს, არამედ გადასცემს წყაროდან მომხმარებელზე.

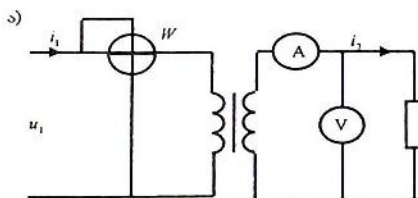
16.3. ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

როგორც აღვნიშნეთ ტრანსფორმატორში დანაკარგების შემცირების მიზნით გრაგნილი მზადდება მცირე წინააღობიანი მასალისაგან (უმეტესად სპილენძი), ხოლო გულარად აიღება კარგი მაგნიტური თვისებების მქონე ფოლადი. გრიგალური დენების შემცირების მიზნით გულარა მზადდება ერთმანეთისაგან იზოლირებული თხელი ფირფიტებისაგან აკრეფილი პაკეტით, მაგრამ დანაკარგები ნულამდე არ არის დაყვანილი და ტრანსფორმატორის მქკ იანგარიშება ფორმულით:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%,$$

სადაც P_1 წრედიდან მოთხოვნილი სიმძლავრეა და P_2 - მომხმარებელზე გადაცემული სიმძლავრე.

ტრანსფორმატორის მქკ-ის განსასაზღვრავად მიღებულია გაიზომოს აქტიური სიმძლავრე პირველადი გრაგნილის



წრედში, მეორეული გრაგნილი დაიტვირთოს R_g აქტიური

წინაღობით და P_2 სიმძლავრე განისაზღვროს ამპერმეტრისა და ვოლტმეტ-

რის ჩვენებებით (ნახ. ა). მქკ-ის განსაზღვრის ამ ხერხს ეწოდება პირდაპირი გაზომვის მეთოდი, მაგრამ იმის გამო, რომ გაზომვის სიზუსტე არც ისე დიდია და გაზომვები დაკავშირებულია ენერჯიის ხარჯვასთან, ეს მეთოდი გამოიყენება მხოლოდ დაბალი სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისათვის ლაბორატორიულ პირობებში.

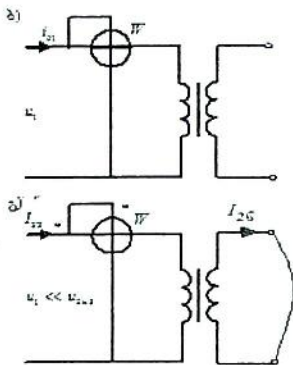
უფრო მძლავრი ტრანსფორმატორების მქკ განისაზღვრება არაპირდაპირი მეთოდებით, რაც დანაკარგების ნაწილ - ნაწილ განსაზღვრას ითვალისწინებს. თუ ტრანსფორმატორში დანაკარგებს ფოლადში ჰისტერეზისზე და გრიგალურ დენებზე $P_{ფლ}$ აღვნიშნავთ, ხოლო დანაკარგებს გრაგნილის აქტიურ

წინააღობაში $\left(R = \rho \frac{l}{S}\right) P_{\omega}$ -ით, მაშინ ტრანსფორმატორის მქკ

შეიძლება ჩავწეროთ ასე:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{ფლ} + P_{\omega}}$$

დანაკარგების განსასაზღვრავად მიღებულია ექსპერიმენტალური მეთოდები, რომელიც ითვალისწინებს ორი რეჟიმის კვლევას. ესენია: უქმი სვლის და მოკლედ შერთვის რეჟიმები; უქმი სვლის რეჟიმში (ნახ. ბ) პირველადი გრაგნილი ჩაერთვება ნომინალურ u_1 ძაბვაზე, ხოლო მეორეული გრაგნილის ბოლოები გახსნილია. ამ დროს პირველადი გრაგნილის წრედში ჩართული ვატმეტრით იზომება დანაკარგები ჰისტერეზისზე და გრიგალურ დენებზე. რამდენადაც მეორეულ გრაგნილში დენი არ გადის, ამიტომ პირველადი დენის სიმცირის გამო დანაკარგები სპილენძში ნულის ტოლად შეიძლება მივიღოთ.



მეორეული გრაგნილის ბოლოები გადავამოკლოთ (მოკლედ შერთვის რეჟიმი) და პირველად გრაგნილზე მოვდოთ $u \ll u_{1\text{ნომ}}$ -ზე მცირე ძაბვა, ისე, რომ დენი მეორეულ გრაგნილში ტოლი იყოს ნომინალური მნიშვნელობის, მაშინ ტრანსფორმატორის წრედიდან მოთხოვნილი სიმძლავრე გრაგნილებში დენის მნიშვნელობით განისაზღვრება. რამდენადაც ამ დროს ძაბვა ბევრად ნაკლებია ნომინალურ ძაბვაზე და მაგნიტური

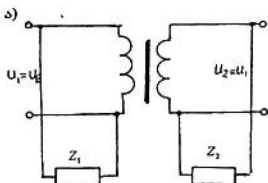
ნაკადი მცირეა.

ამ ორი ცდით განისაზღვრება დანაკარგები ფოლადში და სპილენძში ცალ - ცალკე და ზემოთმოყვანილი ფორმულით განისაზღვრება მქკ.

თანამედროვე წარმოების ტრანსფორმატორებში მქკ (98 - 99) %-ს აღწევს.

16. 4. ტრანსფორმატორის გამოყენების ზოგიერთი მაგალითი

პრაქტიკულად არ შეიძლება ჩამოითვალოს ყველა ის დანადგარი, სადაც გამოიყენება ტრანსფორმატორი. იგი გვხვდება ცვლადი დენის ყველა წრედში რამდენადაც ყველგან და ყოველთვის საჭიროა სხვადასხვა სიდიდის ძაბვები. გარდა ამისა ტრანსფორმატორს გააჩნია აგრეთვე სხვა დანიშნულებებიც, მაგალითად, ელექტრული წრედების განმხოლოება, ელექტროტექნიკური დანადგარების რგოლების მუშაობის რეჟიმების შეთანხმება და სხვა. მოვიყვანოთ ტრანსფორმატორის გამოყენების ზოგიერთი მაგალითი.

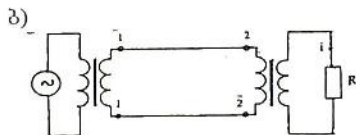


ა) ტრანსფორმატორი, როგორც

მომხმარებელთა განმხოლოებელი (ნახ. ა) - თუ ორი Z_1 და Z_2 მომხმარებელი იკვებება ერთნაირი სიდიდის ძაბვით, მაგრამ

საჭიროა მათი ელექტრულად ერთმანეთისაგან განმხილვა. ამ დროს გამოიყენება ტრანსფორმატორი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით $K=1$. ამ შემთხვევაში Z_1 და Z_2 მომხმარებლებს შორის ელექტრული კავშირი აღარ არსებობს.

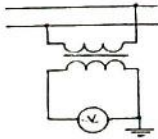
ბ) ტრანსფორმატორი ელექტრული ენერჯიის გადაცემ ხაზში (ნახ. ბ) - პრაქტიკულად ელექტრული ენერჯიის გადაცემის ხაზის სიგრძე ასეული კილომეტრით განისაზღვრება და ხაზის ელექტრული წინაღობა ($R = \rho \frac{l}{S}$) მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს. ამ წინაღობის გამტარში გამოიყოფა ხითბო ($Q = I^2 R t$), რომელიც ცხადია დაკარგული ენერჯიაა და საჭიროა მისი შემცირება. სითბური დანაკარგების შესამცირებლად უნდა შემცირდეს R წინაღობა და I დენი. წინაღობის შემცირების მიზნით გადაცემის ხაზი შესრულებულია დაბალ-



წინაღობიანი სადენით (ალუმინით) წყაროსა და მომხმარებელს შორის უმოკლესი მანძილის არჩევით. გადა-

ცემის ხაზის წინაღობის ოპტიმალური მნიშვნელობამდე დაყვანის შემდეგ დაისმება დენის შემცირების საკითხი, მაგრამ დენის შემცირებით მცირდება გადასაცემი სიმძლავრე ($P = UI$). დენის შემცირებისას გადასაცემი სიმძლავრე მუდმივი რომ შევინარჩუნოთ უნდა გავზარდოთ ძაბვა. ამ მიზნით ხაზის დასაწყისში იდგმება ამწვევი ტრანსფორმატორი; ენერჯია 1-1' 2-2' გადაცემის ხაზით გადაიცემა მაღალი ძაბვით და მცირე დენით, ხოლო ხაზის ბოლოში 2-2' მომჭერებზე ჩართვება

ბ) დამწვევი ტრანსფორმატორი, რომლის მეორეულ გრაგნილზე ჩართულია მომხმარებელი.



ეს არის ენერჯიის გადაცემის პრინციპული სქემა. პრაქტიკულად ძაბვების სიდიდით გარდაქმნა უშუალო მომხმარებლამდე ხდება საფეხურობრივად რამდენჯერმე.

გ) მშობი ტრანსფორმატორი - ეს ტრანსფორმატორები სპეციალური დანიშნულების ტრანსფორმატორებია და გამო-

იყენება იმ შემთხვევაში, როცა გასაზომი სიდიდე საგრძნობლად აღემატება ხელსაწყოთა გაზომვის ზედა ზღვარს. მზომი ტრანსფორმატორი არსებობს ორი სახის - ძაბვისა და დენის.

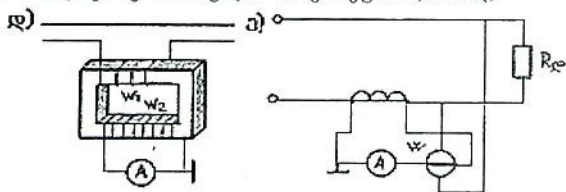
ძაბვის ტრანსფორმატორის (ნახ. გ) პირველადი გრაგნილების რიცხვი მნიშვნელოვნად აჭარბებს მეორეული გრაგნილის ხვეების რიცხვს. პირველადი გრაგნილი ირთება გასაზომი ძაბვის ქსელში. მეორეულ გრაგნილზე დადაბლებულ ძაბვას ზომავს ვოლტმეტრი.

თუ ცნობილია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, მაშინ გასაზომი ძაბვა

$$U_1 = \frac{U_2}{K}.$$

ძაბვის ამ მეთოდით გაზომვის ნაკლია შედარებით დიდი ცდომილება, მაგრამ საგრძნობლად ამცირებს უსაფრთხოების პირობებს.

როცა მუშა დენი წრედში დიდია და მზომი ხელსაწყოების გაზომვის ზედა ზღვარი ნაკლებია ამ დენზე, წრედში დენისა და სიმძლავრის გასაზომად გამოიყენება ე.წ. დენის ტრანსფორმატორი. დენის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი გასაზომ წრედში ირთება მიმდევრობით. მეორეული გრაგნილის ბოლოებზე ჩართულია ამპერმეტრი (ნახ. დ).



დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ხვეების რიცხვი გაცილებით მეტია პირველადი გრაგნილის ხვეების რიცხვზე. ამის გამო პირველადი გრაგნილის ბოლოებზე ძაბვის ვარდნა მცირეა, მაგრამ დიდია მეორეული ძაბვა, რის გამოც განსაკუთრებული სიფრთხილეა საჭირო დენის ტრანსფორმატორებთან მუშაობის დროს. დაუშვებელია ტრანსფორმატორის მუშაობა უქმი სვლის რეჟიმში რამდენადაც უქმი სვლის მეორეული ძაბვა სიცოცხლისათვის საშიშია. პრაქტიკულ სქემებში დენის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნი-

ლი დამოკლებულია ამპერმეტრით, რომლის წინაღობა, როგორც წესი, მცირეა და ნულის ტოლად შეიძლება მივიღოთ. გარდა ამისა ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ერთი ბოლო საიმედოდ უნდა დამიწდეს, რადგან იზოლაციის მოსალოდნელი გარღვევის შემდეგ მაღალი პოტენციალის ბოლო აღმოჩნდეს დამიწებული.

დენის ტრანსფორმატორი ყოველთვის მზადდება ისეთი, რომ მეორეულ წრედში ნომინალური დენი იყოს 5 ა. ტრანსფორმატორზე მითითებულია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, მაგალითად „ $\frac{100}{5}$ “, რაც იმას ნიშნავს, რომ იგი შეიძლება გამოვიყენოთ წრედებში 100 ა-მდე დენით და მზომი ხელსაწყოს გაზომვის ზედა ზღვარი იყოს 5 ა. გასაზომი დენი აღნიშნულ შემთხვევაში გაზომილ მეორეულ დენზე $\frac{100}{5} = 20$ - ჯერ მეტია. ხშირად გამზომი ხელსაწყო სკალა დაგრაღულირებულია გასაზომი დენის ერთეულებში.

ნახ. ე-ზე მოცემულია აქტიური სიმძლავრის გაზომვის სქემა.

დენის ტრანსფორმატორები დანიშნულების მიხედვით მზადდება სხვადასხვა კონსტრუქციის.

ა)



ბ)

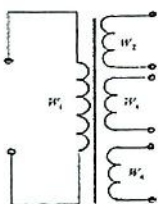


ნახ. ვ-ზე ნაჩვენებია დენის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი ალუმინის ფირფიტაა, რომლის ბოლოებზე ხვრეულებში იგი ირთება წრედში ხრახნიანი მომჭერებით. ნახ. ზ-ზე *TTTCNI* - C ტიპის მზომი უნივერსალური ხელსაწყოთი

იზომება როგორც დიდი დენები, ასევე სხვა ელექტრული სიდიდეები, მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებში.

დ) მრავალგრადნილა ტრანსფორმატორი (ნახ. თ) - არის

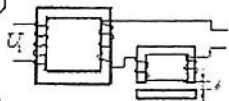
თ)



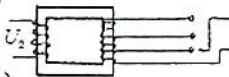
შემთხვევები, როცა ერთ მთლიან ელექტროტექნიკურ სისტემაში სხვადასხვა უბნებზე საჭიროა სხვადასხვა სიდიდის ძაბვები. ამ შემთხვევაში გამოიყენება ტრანსფორმატორი, რომელსაც გააჩნია რამოდენიმე მეორეული გრადნილი მოთხოვნილი ძაბვების შესაბამისი ხვეების რიცხვით. ასეთ ტრანსფორმატორს მრავალგრადნილა ეწოდება და მისი გამოყენების უმარტივესი შემთხვევაა რადიომიმღების ან ტელევიზორის ე.წ. ძალური ტრანსფორმატორი. ასეთი ტრანსფორმატორის პირობითი აღნიშვნა ნაჩვენებია ნახ. თ-ზე. პირველადი გრადნილი გაანგარიშებული W_1 ხვეების რიცხვით, ირთვება ქსელში. მეორეული გრადნილებზე W_2, W_3, W_4 ხვეების ბოლოებზე ირთვება სხვადასხვა უბნები, რომლებიც თხოულობენ ქსელის ძაბვაზე მეტ ან ნაკლებ ძაბვებს. შესაბამისად აირჩევა $W_2 > W_1$;

$W_3 < W_1$ და ა.შ.

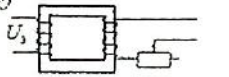
ი)



ქ)



ლ)



ე) შემდუღებელი ტრანსფორმატორი - შემდუღებელი ტრანსფორმატორები გამოიყენება ლითონების რკალური შედუღების დროს. როგორც წესი შემდუღებელი ტრანსფორმატორია დამწვევი ტრანსფორმატორია და წრედის ძაბვას ადაბლებს (40 - 70) ვოლტამდე.

შედუღების ტექნოლოგია მოითხოვს ტრანსფორმატორს ჰქონდეს ამაღლებული ფანტეის ნაკადი. ამ მიზნით ტრანსფორმატორის მეორეული გრადნილის წრედში ირთვება ფერომაგნიტურ გულარაზე დახვეული კოჭა δ საჰაერო ღრქოს ცვლილების შესაძლებლობით. საჰაერო ღრქოს რეგულირება ხდება სახელურის საშუალებით იცვლება ფანტეის ნაკადის სიდიდე და შეირჩევა შემდუღებელი დენის სიდიდე (ნახ. ი).

313

დაბალსიმპლავრიან შემდუღებელ ტრანსფორმატორში შემდუღებელი დენის სიდიდე შეიძლება ვარეგულიროთ გამოუსავალი ძაბვის ცვლილებით. ამ მიზნით გამოსავალ გრაგნილს გააჩნია რამოდენიმე მომჭერი და შედუღების პროცესში შეირჩევა შესაბამისი ძაბვის სიდიდე (ნახ. კ).

ან კიდევ მეორეულ წრედში ჩავრთოთ აქტიური წინაღობა (ნახ. ლ). ჩვეულებრივ ეს წინაღობა სიდიდით დიდი არ არის [(4 - 7) ომი] და მასში გამავალი დენის სიდიდის გამო მზადდება ზოლოვანი ფორმის მაღალწინაღობიანი მასალისაგან.

არსებობს კონტაქტური შედუღების ტრანსფორმატორები, რომლის მეორეული ძაბვა იცვლება (2 - 20) ვ-ის დიაპაზონში. მეორეული გრაგნილი ერთი ან ორი მაღალი კვეთიანი ხვიაა. შედუღება ხდება იმპულსურ რეჟიმში და შედუღების დენი 100 000 ა და მეტ მნიშვნელობასაც კი აღწევს.

მ)



ნ)

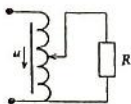


ვ) მაღალსიმპირული ტრანსფორმატორი (ნახ. მ, ნ) - რადიოტექნიკაში გამოიყენება მაღალსიმპირული ტრანსფორმატორები. როგორც წესი ისინი მზადდება გულარის გარეშე და წარმოადგენს რამდენიმე ათეულ ხვიას, რომელიც დახვეულია კერამიკულ ან ქაღალდის მილზე.

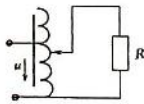
16.5. ავტოტრანსფორმატორი

თუ ელექტრული წრედის მუშაობის რეჟიმში ისეთია, რომ U_1 და U_2 ძაბვები სიდიდით ერთმანეთთან ახლოა, უფრო ეკონომიურია გამოიყენოთ ერთგრაგნილიანი ტრანსფორმატორი. ეს გრაგნილი ირთვება კვების წყაროზე ე.ი. ასრულებს პირველადი გრაგნილის როლს, მეორეული გრაგნილი პირველადი გრაგნილის ნაწილია. ასეთ ტრანსფორმატორს ავტოტრანსფორმატორი ეწოდება.

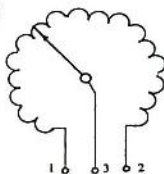
ა)



ბ)



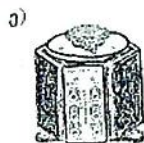
გ)



ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია ავტოტრანსფორმატორის ჩართვა დამწვევ რეჟიმში და მისი პირობითი აღნიშვნა. ნახ. ბ-ზე კი - ამწვევ რეჟიმში. განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება ავტოტრანსფორმატორი ძაბვის მდოვრედ რეგულირებისათვის (ნახ. გ).

ისინი მზადდება სხვადასხვა კონსტრუქციით და ნახ. დ და ნახ. ე - ზე ნაჩვენებია ორი მათგანი.

უმარტივესი ლაბორატორიული ავტოტრანსფორმატორი (ЛАТР) წარმოადგენს



ცილინდრული ფორმის გულარას, რომელზეც დახვეულია გრაგნილი. გრაგნილის ზედა ფენის იზოლაცია გადახეხილია (ნახ. გ) და მასზე

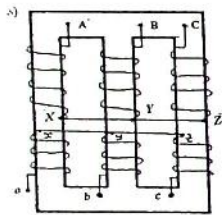
დაგორავს გამტარი მასალისაგან დამზადებული გორგოლაჭი. გორგოლაჭის გადაადგილება შესაძლებელია სასელურის საშუალებით. გრაგნილის 1 - 2 ბოლოები ჩართულია ქსელში, ხოლო მომხმარებელი ირთვება 1-3 მომჭერებზე. როცა ცოცია 1 მდგომარეობაშია, მაშინ მეორეული ძაბვა U_{13} ნულის ტოლია. ცოციას მაქსიმალურ მდგომარეობაში ანუ 2 მდგომარეობაში $U_{13} = U_{12}$ ე.ი. მეორეული ძაბვა წრედზე მოდებული ძაბვის ტოლია. აქედან გამომდინარე შეიძლება ვთქვათ, რომ ავტოტრანსფორმატორის საშუალებით ხდება მდოვრედ რეგულირებადი ძაბვის მიღება ($0 \div U$ ქსელის) დიაპაზონში. ავტოტრანსფორმატორის მუშაობის რეჟიმიც ძირითადადში ქსელზე მოდებული ძაბვის მდოვრედ დადაბლებაა.

ავტოტრანსფორმატორები მზადდება როგორც ერთფაზა, ისე სამფაზა.

16.6. სამფაზა ტრანსფორმატორი

სამფაზა ძაბვის ტრანსფორმაციისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ სამი ერთფაზა ტრანსფორმატორი, რომლებიც თითოეული ჩაირთვება ცალკე ფაზაში ან ერთი სამფაზა ტრანსფორმატორი, რომელიც მოქმედების პრინციპით არაფრით განსხვავდება ერთფაზა ტრანსფორმატორისაგან; განსხვავება კონსტრუქციულ შესრულებაშია, სადაც სამივე ფაზის

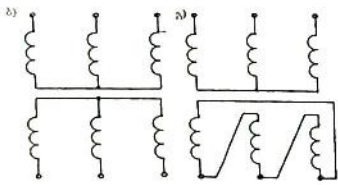
ტრანსფორმაციისათვის გამოყენებულია ერთი საერთო გულარი.



ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია სამფაზა ტრანსფორმატორის კონსტრუქციული სქემა.

საერთო გულარის სამ ღეროზე დახვეულია თითოეული ფაზისათვის განკუთვნილი წყვილი გრაგნილები. პირველადი გრაგნილის საწყისებია A, B, C ბოლოები X, Y, Z , ხოლო მეორეულის შესაბამისად a, b, c და x, y, z .

სამფაზა ტრანსფორმატორის ჩართვისას დიდი ყურადღება აქცევთ გრაგნილთა დასაწყისებისა და ბოლოების შერჩევას. ისინი ჩართული უნდა იყვნენ შეთანხმებულად.



შეთანხმებულობა უპირველესად გამოიხატება იმაში, რომ ერთი ფაზის პირველად გრაგნილს უნდა შეესაბამებოდეს იმავე ღეროზე დახვეული მეორეული გრაგნილი, მხოლოდ ამ შემთხვევაში იქნება პირველადი

და მეორეული ძაბვები ერთ ფაზაში.

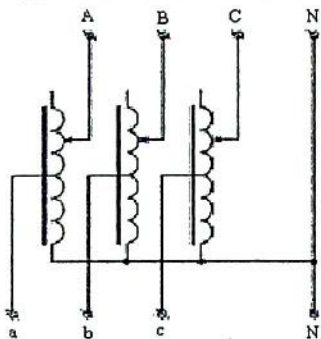
რაც შეეხება გრაგნილთა საწყისებისა და ბოლოების შეთანხმებას. ეს იმას ნიშნავს, რომ თითოეული ფაზის ნაკადი გულარაში უნდა იკვრებოდეს ერთი მიმართულებით.

სამფაზა ტრანსფორმატორის როგორც პირველადი, ისე მეორეული გრაგნილები შეიძლება შევავართოთ ვარსკვლავად ან სამკუთხედად შეერთებული სქემით, მაშინ მათი შეერთების კომბინაციები შეიძლება იყოს მრავალი, მაგრამ სტანდარტით დაშვებულია ვარსკვლავი - ვარსკვლავზე (ნახ. ბ) და ვარსკვლავი - სამკუთხედზე (ნახ. გ) სქემები.

16.7. სამფაზა ავტოტრანსფორმატორი

სამფაზა ძაბვის ტრანსფორმატორებში ძაბვის მდლორედ ცვლილების შესაძლებლობით გამოიყენება სამფაზა ავტოტრანსფორმატორი. სამფაზა ავტოტრანსფორმატორის სამივე ფაზის გრაგნილი, როგორც წესი, შეერთებულია ვარსკვლავად

შეერთებული სქემით და თითოეული მოთავსებულია III - მაგ-



ვარ საერთო მაგნიტური გუ-
ლარის ღეროებზე. სამივე გრა-
გნილის ცოცია ერთმანეთთან
მექანიკურადაა დაკავშირებული
და მათი გადაადგილება ხდება
ერთდროულად ერთი სახელუ-
რით. ასე, რომ თუ შესავალი
ძაბვა სიმეტრიულია, გამოსა-
ვალიც იქნება სიმეტრიული.

დამწვე რეჟიმში პირვე-
ლადი ძაბვა მოდებულია
A B C მომჭერებზე და მომხმა-

რებელი ირთება abc-ზე, ამწვე რეჟიმში - პირიქით.

16.8. ძალური ტრანსფორმატორების კონსტრუქციული შესრულება

ძალური ტრანსფორმატორები ჩვეულებრივ მზადდება ზეთიანი გაცივებით (ნახ. ა). ზეთი ტრანსფორმატორში ასრუ-
ლებს ორ როლს:

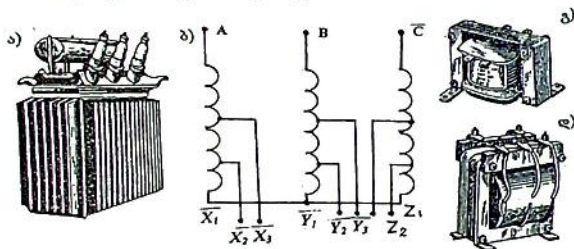
1) ტრანსფორმატორში გამოყენებული ბამბეულის იზო-
ლაცია ინარჩუნებს მაღალ საიზოლაციო თვისებებს და 2)
ზეთი ავზში ცირკულირებს და გადააქვს გრაგნილებში გამო-
ყოფილი სითბო კორპუსის კედლებზე და შემდეგ გარემოში.
გაგრილების პროცესის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით კორ-
პუსზე მიმაგრებულია რადიატორები. იმის გამო, რომ ზეთი
გათბობით ფართოვდება და ზაფხულობით იკავებს მეტ მოცუ-
ლობას, ვიდრე ზამთრობით, ტრანსფორმატორის კორპუსის
თავზე მაგრდება ავზი, რომელშიც გადადის ზეთი გაფართო-
ების შემდეგ და ბრუნდება კორპუსში მოცულობის შემცირების
დროს.

ძაბვის მცირე ფარგლებში სარეგულიროდ, დამწვევი
სამფაზა ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილზე გამოტა-
ნილია გამომყვანები (X_2X_3 , Y_2Y_3 , Z_2Z_3) რომელთა გადარ-
თვებით იცვლება პირველადი გრაგნილის ხეიების რიცხვი და
შესაბამისად ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი. ამ მეთოდით

შესაძლებელია მეორეული ძაბვის $\pm 5\%$ ფარგლებში რეგულირება (ნახ. ბ).

არსებობს შემთხვევები, როცა ტრანსფორმატორს წაყენება სახანძრო უსაფრთხოების მოთხოვნები, გამოიყენება ე.წ. მშრალი ტრანსფორმატორები. აქ ზეთი არა გვაქვს და გაბრილება ხდება ჰაერით.

(ნახ. გ) და (ნახ. დ) - ზე ნაჩვენებია დაბალსიმძლავრიან ტრანსფორმატორთა კონსტრუქციული სახეები, როგორც წესი ისინი მშრალი ტრანსფორმატორებია.



სტანდარტით მიღებულია, რომ სამრეწველო საწარმოებისა და მოსახლეობის ელექტრომომარაგებისათვის ტრანსფორმატორები დამზადდეს პირველადი გრაგნილებით 6 და 10 კვ-ზე, ხოლო მეორეული გრაგნილებიდან მიიღება 400/230 ვ ძაბვა. ასეთი ტრანსფორმატორები მზადდება 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000 და 6300 კვა სიმძლავრეებზე. ენერგოსისტემებში იდგმება სამფაზა ტრანსფორმატორები შედარებით მაღალ ძაბვაზე და მაღალ სიმძლავრეზე.

16.9. ტრანსფორმატორის გამარტივებული გაანგარიშების მაგალითები

ტრანსფორმატორში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები გაცილებით დიდი ვიდრე ჩვენ ეს აღვწერეთ. ამიტომ მისი დაპროექტების დროს მხედველობაშია მისაღები მთელი რიგი მოთხოვნები, რომ ტრანსფორმატორი უსაფრთხო, საიმედო, ეკონომიკური და მდგრადი იყოს ექსპლუატაციის პროცესში.

ტრანსფორმატორი სტაციონალური დანადგარია, არ გააჩნია მუშა მოძრავი ნაწილები, არ განიცდის მექანიკურ დატვირთვას. ამის გამო იგი არ ცვდება, ლითონი მექანიკურად არ

“იღლება” და სწორად გაანგარიშებული ტრანსფორმატორი, გარკვეული პროფილაქტიკური სამუშაოების ჩატარებითი და ექსპლუატაციის პირობების მკაცრად დაცვით, პრაქტიკულად მუდმივად მომუშავე დანადგარია.

მიუხედავად ამისა, პრაქტიკაში ვიყენებთ გაანგარიშების გამარტივებულ ვარიანტებს, სადაც ვაკეთებთ გარკვეულ დაშვებებს და ამგვარად გაანგარიშებული ტრანსფორმატორი აკმაყოფილებს ძირითად ტექნიკურ მოთხოვნებს.

ქვემოთ მოყვანილია ასეთი გაანგარიშების რამდენიმე მაგალითი.

ა) ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გაანგარიშება - ტრანსფორმატორის ანგარიში ითვალისწინებს მაგნიტური გულარისა და გრაგნილის ანგარიშს. მაგნიტური გულარის ანგარიში ითვალისწინებს მისი მასალის, ფორმისა და გეომეტრიული ზომების დადგენას. გრაგნილების ანგარიში კი ხეივების რაოდენობის, მასალისა და განიკვეთის განსაზღვრას პირველად და მეორეულ წრედში.

გამოსავალ სიდიდედ ითვლება მეორეული წრედის სრული სიმძლავრე:

$$S_2 = U_2 I_2 \text{ ვა,}$$

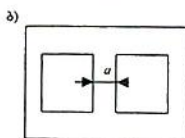
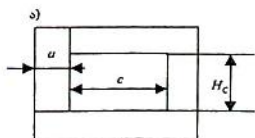
საიდანაც განისაზღვრება პირველი წრედის სრული სიმძლავრე: $S_1 = \frac{S_2}{\eta}$, სადაც η ტრანსფორმატორის მქკ-ია და განისაზღვრება შემდეგი ცხრილიდან 1.

ცხრილი №1

S_2	15 - 50	50 - 150	150 - 300	300 - 1000	1000-ზე მეტი
η	0,5÷0,8	0,8÷0,9	0,9÷0,93	0,93 0,95	0,95 0,98

გულარის ანგარიში - გულარის კვეთი განისაზღვრება ემპირიული, ანუ ცდებით დადგენილი ფორმულებით:

$$Q_c = \sqrt{S_1} \text{ სმ}^2 \text{ II-ს მაგვარი გულარისათვის (ნახ. ა) და}$$



$Q_c = 0,7\sqrt{S_1} \text{ სმ}^2$ III-ს მაგვარი გულარისათვის (ნახ. ბ) თავის მხრივ $Q_c = ab$, სადაც a გულარის სიგანეა, b

ფირფიტების ჯამური სისქე, გულარის სიმაღლე $H_C = (2,5 \div 3,5)a$, ხოლო a და b სიდიდეებს შორის ფარდობა აიღება $\frac{b}{a} = (1,5 \div 2)$, ფანჯრის სიგანე $C = \frac{H_C}{K}$ ($K = 2,5 \div 3$)

გრაგნილების ანგარიში - პირველადი და მეორეული გრაგნილების კვეთი განისაზღვრება მასში გამავალი დენებით:

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} \text{ და } I_2 = \frac{S_2}{U_2}, \text{ ხოლო კვეთი } S_1 = \frac{I_1}{\delta} \text{ და } S_2 = \frac{I_2}{\delta}, \text{ სადაც}$$

δ დენის დასაშვები სიმკვრივეა, იგი აიღება $(1,8 \div 3) \text{ ა/მმ}^2$ დიპაზონში. დიდი სიმკვრივე აიღება ტრანსფორმატორებისათვის, რომელთაც გააჩნია გაგრილების კარგი სისტემა.

ძალური ტრანსფორმატორებისათვის $\delta = 2 \text{ ა/მმ}^2$, როცა $S > 10 \text{ მმ}^2$. ხეიების სადენად არჩეულია სპილენძი და პირველადი გრაგნილის ხეიების რიცხვი $W_1 = \frac{U_1 10^4}{222 B_C Q_C}$, სადაც

$B_C = (0,9 \div 1,5)$ მაგნიტური ინდუქციის მნიშვნელობა გულარაში, რომლის სიდიდე შეირჩევა ცხრილი 2-დან.

$$\text{მეორეული გრაგნილის ხეიების რიცხვი } W_2 = W_1 \frac{U_2}{U_1}.$$

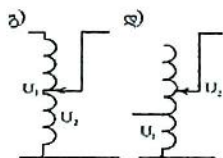
ხშირ შემთხვევაში ხეიების რიცხვი განისაზღვრება 13 მუშა ძაბვაზე დამოკიდებულებით: $W_0 = \frac{55}{Q_C}$, სადაც 55 მუდმივი კოეფიციენტი საშუალო ხარისხის ფოლადის გულარისათვის.

ცხრილი №2

ფოლადის მარკა	მაგნიტური ინდუქცია
<p>Э 41 Э 42 Э 310, Э 320, Э 330</p>	<p>მშრალი ტრანსფორმატორისათვის 0,9 - 1 1 - 1,2</p>
<p>Э 41, Э 42 Э 310, Э 320, Э 330</p>	<p>ზეთიანი ტრანსფორმატორისათვის 0,9 - 1,2 1,1 - 1,5</p>

შემდეგ განისაზღვრება ხვეების რიცხვი $W_1 = U_1 W_0$ და $W_2 = (1,05 \div 1,1) U_2 W_0$, სადაც $(1,05 \div 1,1)$ კოეფიციენტი ითვალისწინებს დანაკარგებს.

ბ) ერთფაზიანი ავტოტრანსფორმატორის გაანგარიშება.



როგორც ვიცით ავტოტრანსფორმატორი შეიძლება შესრულდეს დამწვევ (ნახ. გ) და ამწვევ რეჟიმში (ნახ. დ).

ავტოტრანსფორმატორის გაანგარიშება იწყება სიმძლავრის განსაზღვრით:

$$S_{21} = S_2 \left(\frac{K-1}{K} \right) \text{ ვა}$$

დამწვევი ტრანსფორმატორისათვის და $S_{21} = S_2 (1-K)$ ვა

ამწვევი ტრანსფორმატორისათვის, სადაც $K = \frac{U_1}{U_2}$ ტრანსფორ-

მაციის კოეფიციენტია და აიღება $(0,5 \div 2)$ დიაპაზონში.

$S_2 = U_2 I_2$ - მეორეული წრედის სიმძლავრეა.

დენები გრაგნილის თითოეულ ნაწილში

$$I_1 = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{U_1 \eta \cos \varphi_1} \text{ ა და } I_2 = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{U_2} \text{ ა,}$$

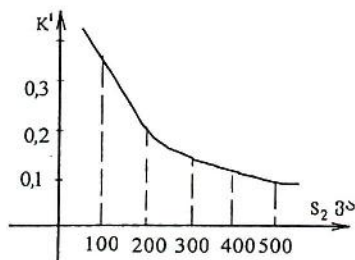
სადაც
$$\eta = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{S_2 \cos \varphi_2 + K' S_{21}}$$

აქტიური დატვირთვის დროს $\cos \varphi_2 = 1$; $\cos \varphi_1 = 0,85 \div 0,95$.

გ) K' სიდიდე ახასიათებს ელექტრომაგნიტურ დანაკარგებს და განისაზღვრება გრაფიკიდან (ნახ. ე).

გულარის განიკვეთი:

$$Q_c = 3 \sqrt{\frac{S_{21}}{\delta}} \text{ სმ}^2,$$



სადაც δ დენის სიმკვრივეა ავტოტრანსფორმატორის გრაგნილში. ეს სიდიდე

აირჩევა ცხრილი 3 - დან.

სიმძლავრე ვა	δ ა/მმ ²
100-მდე	3,5 ÷ 4,5
100-ზე მეტი	2,5 ÷ 3,5

გრაგნილის გამტარის განიკვეთი შეირჩევა დენის სიმკვრივის მიხედვით. დამწვევი ტრანსფორმატორებისათვის

$$S_{W1} = \frac{I_1}{\delta} \text{ მმ}^2 \quad \text{და} \quad S_{W2} = \frac{I_2 - I_1}{\delta} \text{ მმ}^2.$$

ამწვევი ტრანსფორმატორებისათვის:

$$S_{W1} = \frac{I_1 - I_2}{\delta} \text{ მმ}^2 \quad \text{და} \quad S_{W2} = \frac{I_2}{\delta} \text{ მმ}^2$$

გრაგნილის თითოეული ნაწილის ხვეების რიცხვი იანგარიშება ფორმულებით:

ამწვევი ტრანსფორმატორისათვის:

$$W_1 = 55 \frac{U_1}{Q_c}; \quad W_2 = \frac{U_2 - U_1}{U_2} W_1;$$

დამწვევი ტრანსფორმატორისათვის:

$$W_1' = 55 \frac{U_1}{Q_c} = (W_1 + W_2); \quad W_2 = \frac{U_2}{U_1} W_1';$$

$$W_1 = W_1' - W_2.$$

განვიხილოთ რიცხობრივი მაგალითი. გავიანგარიშოთ ამწვევი ავტოტრანსფორმატორი, რომლის მონაცემებია $U_1 = 127$ ვ,

$$U_2 = 220 \text{ ვ}, \quad f = 50 \text{ კც}, \quad S_2 = 220 \text{ ვა}.$$

ამოხსნა

- 1) ავტოტრანსფორმატორის საანგარიშო სიმძლავრე:

$$S_{2i} = S_2(1 - K) = 220 \left(1 - \frac{127}{220} \right) = 93,1 \text{ ვა}$$

- 2) დენები პირველად და მეორეულ გრაგნილებში:

$$I_1 = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{U_1 \eta \cos \varphi_1} = \frac{220}{127 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 2,02 \text{ ა}$$

$$\eta = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{S_2 \cos \varphi_2 + K'S_{2i}} = \frac{220 \cdot 1}{220 + 0,125 \cdot 93,1} = 0,95$$

სადაც $K' = 0,125$ განისაზღვრება გრაფიკიდან (ნახ. ე).

მივიღოთ $\cos \varphi_1 = 0,9$; $\cos \varphi_2 = 1$, მაშინ

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2} = \frac{220}{220} = 1 \text{ ა.}$$

3) ტრანსფორმატორის გულარის კვეთი:

$$Q_C = 3\sqrt{\frac{S_{2f}}{\delta}} = 3\sqrt{\frac{93,1}{3}} = 5,56 \text{ სმ}^2.$$

მივიღოთ მასთან მიახლოებული და დამრგვალებული რიცხვი

$$Q_C = 2 \cdot 3 = 6 \text{ სმ}^2.$$

4) პირველადი და მეორეული გრაგნილების კვეთი

$$S_{W1} = \frac{I_1 - I_2}{\delta} = \frac{2,02 - 1}{3} = 0,34 \text{ მმ}^2;$$

$$S_{W2} = \frac{I_2}{\delta} = \frac{1}{3} = 0,333 \text{ მმ}^2.$$

№3 ცხრილიდან განესაზღვროთ კვეთი, რომელიც ორივე გრაგნილისათვის მივიღოთ ერთნაირი და სტანდარტით არსებული:

$$S_{W1} = S_{W2} = 0,3525 \text{ მმ}^2.$$

5) გრაგნილების რიცხვი თითოეულ სექციაში:

$$W_1 = 55 \frac{U_1}{Q_C} = 55 \frac{127}{6} = 1165;$$

$$W_2 = \frac{U_2 - U_1}{U_2} W_1 = \frac{220 - 127}{220} \cdot 1165 = 492.$$

ბ) (5 - 10) კვა-მდე სიმძლავრის სამფაზა ტრანსფორმატორის გაანგარიშება. სამფაზა ტრანსფორმატორის გაანგარიშების დროს მოცემული სიდიდეებია: პირველადი წრედის ძაბვა U_1 ; მეორეული წრედის ძაბვა U_2 ; სიხშირე f ; ტრანსფორმატორის სრული სიმძლავრე S კვა. დატვირთვის ხასიათი.

საშუალო სიმძლავრის სამფაზა ტრანსფორმატორები გაიანგარიშება ერთფაზიანების ანალოგიურად. ერთადერთი განსხვავებული პუნქტია გრაგნილებში დენებისა და ძაბვების ანგარიში.

ტრანსფორმატორის სრული სიმძლავრის მიხედვით გამოითვლება გულარის კვეთი შემდეგი მიახლოებითი ფორმულით:

$$Q_c = 0,47 \sqrt{\frac{S \cdot 10^3}{B_c f}} \text{ სმ}^2,$$

სადაც B_c მაგნიტური ინდუქციის მნიშვნელობაა გულარაში და აიღება (0,8 - 1,4) ტესლა.

S ტრანსფორმატორის სრული სიმძლავრეა - (კვა). სხვადასხვა მარკის ტრანსფორმატორის ფოლადის მიხედვით მაგნიტური ინდუქცია შეიძლება ავიღოთ №2 ცხრილიდან (იხ. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გაანგარიშება).

ხეიების რიცხვი პირველადი და მეორეული წრედის თითოეულ ფაზაში:

$$W_1 = \frac{U_{1\text{ფ}} \cdot 10^4}{222 \cdot B_c Q_c}; \quad W_2 = \frac{U_{2\text{ფ}} \cdot 10^4}{222 \cdot B_c Q_c}.$$

გრაგნილების ვარსკვლავური შეერთების დროს $U_{\text{ფ}} = \frac{U_{\text{ხ}}}{\sqrt{3}}$;

სამკუთხედური შეერთების დროს $U_{\text{ხ}} = U_{\text{ფ}}$;

დენები პირველად და მეორეულ წრედებში:

$$I_1 = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{\text{ხ1}}}; \quad I_2 = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{\text{ხ2}}};$$

გრაგნილების კვეთი $S_1 = \frac{I_1}{\delta}$ მმ²; $S_2 = \frac{I_2}{\delta}$ მმ².

დენის სიმკვრივე δ აიღება (1,8 - 4) დიაპაზონში. შიგა დანადგარებისათვის იგი აიღება მცირე; გარე დანადგარებისათვის შედარებით მეტი.

განვიხილოთ რიცხობრივი მაგალითი. გავინგარიშოთ სამფაზა ტრანსფორმატორი, რომლის მონაცემებია: $U_1 = 6000$ ვ, $U_2 = 380/220$ ვ; სრული სიმძლავრე 5 კვა, სიხშირე 50 ჰც.

ამოხსნა

1) გულარის კვეთი:

$$Q_c = 0,47 \sqrt{\frac{S \cdot 10^3}{B_c f}} = 0,47 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^3}{1 \cdot 50}} = 47 \text{ სმ}^2.$$

2) მაგნიტური ინდუქცია $\mathfrak{H}41$ მარკის ფოლადისათვის $B = 1$ ტლ; მივიღოთ ღეროს შემდეგი ზომები: სიგანე 5 სმ; პაკეტის სისქე $b = 10$ სმ, მაშინ

$$Q_C = a \cdot b = 50 \text{ სმ}^2.$$

3) პირველადი და მეორეული გრაგნილების ხეივების რიცხვი:

$$W_1 = \frac{U_{1\text{თ}} \cdot 10^4}{222 \cdot B_C Q_C} = \frac{6000 \cdot 10^4}{222 \cdot 1 \cdot 50} = 3130;$$

$$W_2 = \frac{U_{2\text{ყ}} \cdot 10^4}{222 \cdot B_C Q_C} = \frac{220}{222 \cdot 1 \cdot 50} = 198.$$

მივიღოთ გრაგნილების შეერთების წესი ვარსკვლავი - ვარსკვლავზე და მივიღებთ:

$$U_{1\text{თ}} = \frac{U_{1\text{ს}}}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{\sqrt{3}} = 3470 \text{ ვ};$$

$$U_{2\text{ყ}} = \frac{U_{2\text{ს}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ ვ}.$$

4) გრაგნილების კვეთი:

$$S_1 = \frac{I_1}{\delta} = \frac{0,48}{2} = 0,24 \text{ მმ}^2; \quad S_2 = \frac{I_2}{\delta} = \frac{7,6}{2} = 3,8 \text{ მმ}^2.$$

$$I_1 = \frac{5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 0,48 \text{ ა}; \quad I_2 = \frac{5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 7,6 \text{ ა};$$

დენის სიმკვრივე მივიღოთ $\delta = 2$ ა/მმ² და შევირჩიოთ სტანდარტული კვეთის სადენი პირველადი გრაგნილისათვის:

$$S_1 = 0,238 \text{ მმ}^2 \quad (d_1 = 0,555 \text{ მმ});$$

და მეორეული გრაგნილისათვის:

$$S_2 = 4,01 \text{ მმ}^2 \quad (d_2 = 2,268 \text{ მმ});$$

ნ ა წ ი ლ ი მ ე ს უ თ ი
ე ლ ე კ ტ რ უ ლ ი ძ რ ა ვ ე ბ ი ლ ა
გ ე ნ ე რ ა ტ ო რ ე ბ ი

ელექტრული მანქანების კლასიფიკაცია

ელექტრული ძრავა და ელექტრული გენერატორი ურთიერთშექცევადი მანქანაა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ერთი და იგივე ხელსაწყოს შეუძლია მექანიკური ენერგია გარდაქმნას ელექტრულ ენერგიად და პირიქით ელექტრული ენერგია გარდაქმნას მექანიკურ ენერგიად. პირველ შემთხვევაში მანქანას ეწოდება გენერატორი, მეორე შემთხვევაში – ძრავა.

ელექტრული გენერატორის უმარტივეს მოდელად შეიძლება განვიხილოთ მუდმივ მაგნიტურ ველში მბრუნავი გამტარი ჩარჩო. თუ მუდმივ მაგნიტურ ველში დავაბრუნებთ გამტარ ჩარჩოს, მაშინ მის ბოლოებზე დაინდუქტირდება ემპ და თუ ამ ჩარჩოს ბოლოებს გამტარით შევაერთებთ, მასში გაივლის დენი. ე.ი. ამ მანქანაში მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად. თუ მოვიქცევით პირიქით – ჩარჩოს ბოლოებზე მოვდებთ ემპ-ს იგი დაბრუნდება. ორივე შემთხვევაში მანქანის მოქმედებას საფუძვლად უდევს ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა და ეს მოვლენა უდევს საფუძვლად ყველა ძრავასა და გენერატორს, რომელიც კი არსებობს და შეგვხვედრია პრაქტიკაში.

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენაზე დასაკვირვებლად საჭიროა მაგნიტური ველი და შეკრული ჩარჩო. ელექტრულ მანქანებში მაგნიტური ველის შექმნის მექანიზმისა და შეკრული ჩარჩოს სახესხვაობების მიხედვით გვხვდება მრავალი ტიპის ძრავა და გენერატორი. დენის მიხედვით ისინი იყოფიან ორ ძირითად ჯგუფად: მუდმივი დენის მანქანები და ცვლადი დენის მანქანები.

მცირე სიმძლავრის ძრავებსა და გენერატორებში მაგნიტურ ველს ქმნის მუდმივი მაგნიტები, ხოლო შედარებით უფრო მძლავრ მანქანებში – ელექტრომაგნიტები. არსებობს დამოუკიდებელაგზნებიანი და თვითაგზნებიანი მუდმივი დენის მანქანები. აგზნების გრაგნილის მაგნიტურ ველში მბრუნავი გამტარი ჩარჩოს ანალოგს ეწოდება ღუზა. გენერატორებში ღუზის გრაგნილის ბოლოებიდან მოიხსნება ემპ, ხოლო

ძრავებში ღუზის გრაგნილზე მოედება ძაბვა. დამოუკიდებელ-
აგზნებიან გენერატორებში აგზნების გრაგნილზე ძაბვა მოე-
დება გარე წყაროდან, ხოლო თვითაგზნებიან გენერატორებში
აგზნების გრაგნილსა და ღუზის გრაგნილს შორის ელექტ-
რული კავშირია და აგზნების გრაგნილში გამაეადლი დენი თვი-
თონ გენერატორის მიერ გამომუშაებული დენის ნაწილია. ამ
გენერატორებს უფრო დაწვრილებით გავეცნობით ქვემოთ.

რაც შეეხება ცვლადი დენის მანქანებს, უპირველესად
ისინი არსებობენ ერთფაზა და სამფაზა. ამ მანქანებში უძრავ
ნაწილს, რომელშიც იქმნება მაგნიტური ველი, ეწოდება
სტატორი, ხოლო მოძრავ ნაწილს, რომელიც მბრუნავი ჩარჩოს
ანალოგია – როტორი. შესაბამისად გვაქვს სტატორისა და
როტორის გრაგნილები. ცვლადი დენის მანქანებში, მუდმივი
დენის მანქანებისაგან განსხვავებით, ბრუნავს როგორც რო-
ტორი, ისე სტატორის მაგნიტური ველი. ამ ბრუნვების ურთი-
ერთდამოკიდებულებით არსებობს ასინქრონული და სინქრო-
ნული სამფაზა ძრავები. როტორის კონსტრუქციის მიხედვით
არსებობს მოკლედშერთული და ფაზურ როტორიანი ძრავები
და ა.შ. დანიშნულებისა და კონსტრუქციული შესრულების მი-
ხედვით ელექტრული მანქანების კლასიფიკაცია მეტად მრავა-
ლფეროვანია და ჩვენ მათ გავეცნობით თუნდაც დანიშ-
ნულების მიხედვით.

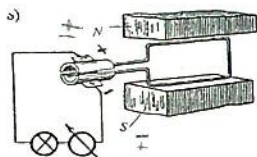
თავი XVII. მუდმივი დენის მანქანები

17.1. მუდმივი დენის გენერატორის მოქმედების

პრინციპი ზოგადად

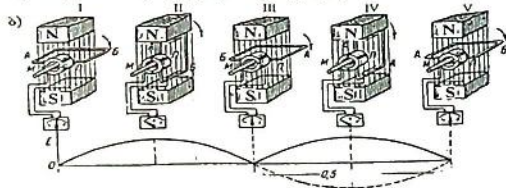
როგორც ზემოთ განვმარტეთ გენერატორი წარმოადგენს ელექტრულ მანქანას, რომელშიც მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერჯიად.

გენერატორის უმარტივეს (ნახ. ა) მოდელს ჩვენ გავეცანით როგორც მაგნიტურ ველში შეტანილი ჩარჩო, რომელიც გარე მექანიკური ძალების გავლენით ბრუნავს. აღვნიშნეთ, რომ ამ დროს აღიძვრება სინუსოიდური კანონით ცვლადი ემპ.



მუდმივი დენის მიღებაც გენერატორის საშუალებით იგივე მოდულით ხდება, იმ განსხვავებით, რომ მუდმივი დენის გენერატორს გააჩნია დამატებითი მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს მაგნიტურ ველში გამტარი ჩარჩოს ბრუნვის დროს დაინდუქცირებული ცვლადი ემპ გადააქციოს მუდმივი ემპ-დ. ამ მოწყობილობას ეწოდება კოლექტორი.

ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია მუდმივი დენის გენერატორის უმარტივეს მოდელზე კოლექტორს წარმოადგენს ორი ნახევარარგოლი, რომელიც დამაგრებულია ჩარჩოს ბოლოებზე.



განვიხილოთ კოლექტორის მოქმედების პრინციპი, როგორც გამმართველი.

დროის იმ მომენტში, როცა ჩარჩოს B გვერდი უახლოვდება მაგნიტის სამხრეთ პოლუსს S დენი გამ-

ტარში იწყებს ზრდას და „მარცხენა ხელის წესის“ თანახმად მიმართულია ჩვენსკენ. დენი თავის მაქსიმუმს მიაღწევს ჩარჩოს

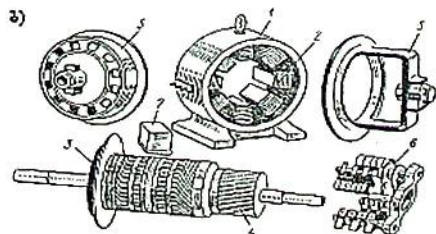
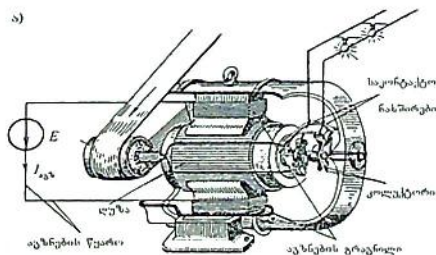
II მდგომარეობაში და შემდეგ იწყებს კლებას. IV მდგომარეობაში E გვერდის ანალოგიურ მდგომარეობაში აღმოჩნდება A გვერდი და ამ მომენტიდან მოდებამა უკვე მეორე ნახევარ-გოლი. დატვირთვაში გადის იმავე მიმართულების დენი. ჩარჩოს ერთი სრული შემობრუნების პროცესში ცვლადი ემპ-ს ორივე ნახევარპერიოდში გადის ერთი მიმართულების დენი.

ეს დენი მიმართულებითა მუდმივია, სიდიდით კი იცვლება და პულსირებული დენი ეწოდება (ნახ. გ).

რეალურ გენერატორებში ბრუნავს არა ერთი ჩარჩო, არამედ რამდენიმე. ნახ. დ-ზე ნაჩვენებია ორი ჩარჩოს შემთხვევა. ამ ჩარჩოების სიბრტყეები 90° -თაა დაძრული და დენს დატვირთვაში აქვს გამუქებული მრუდის სახე. მეტი რაოდენობის ჩარჩოების შემთხვევაში ეს მრუდი უფრო „გასწორებული“ და წრფესთან მიახლოებული იქნება.

17.2. გენერატორის კონსტრუქცია

მცირე სიმძლავრიან გენერატორებში მაგნიტურ ველს



ქმნის მუდმივი მაგნიტები, რომელიც ჩაწებებულია მანქანის უძრავი ნაწილის სტატორის შიგა ზედაპირზე. შედარებით მძლავრ გენერატორებში მაგნიტური ველის წყაროა ელექტრომაგნიტი, რომლის გრაგნილი ჩაწყობილია სტატორის შიგა ზედაპირზე ამოღარულ კილოებში (ღარებში) ამ გრაგნილს ავზნების გრაგნილი ეწოდება. ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია გენერატორის კონსტრუქცია ჭრილში, ხოლო ნახ. ბ-ზე მისი შემადგენელი კონს-

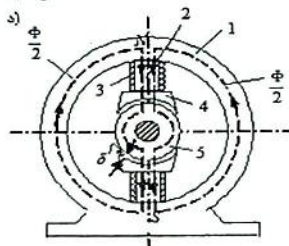
ტრექციული კვანძები ცალკ - ცალკე მანქანის უძრავი ნაწილი სტატორი (1) წარმოადგენს თუჯისაგან დამზადებულ ცილინდრს, რომლის შიგა ზედაპირზე დამაგრებულია მთავარი პოლუსები (2) აგზნების გრაგნილებით და დამატებითი პოლუსები გრაგნილებით, რომლებიც აკომპენსირებენ თვითინდუქციის ემძ-ს და ღუზის რეაქციას. მაგნიტურ ველს ქმნის აგზნების გრაგნილში გამავალი დენი. აგზნების წესის მიხედვით გენერატორები არსებობს დამოუკიდებელაგზნებიანი და თვითაგზნებიანი. დამოუკიდებელაგზნებიან გენერატორში აგზნების გრაგნილი იკვებება დამოუკიდებელი წყაროდან, როგორც ეს ნახ. ა-ზეა ნაჩვენები. თვითაგზნებიან გენერატორებში აგზნების გრაგნილი იკვებება თვით გენერატორში გენერირებული დენით და მათ ნაირგვარობას განვიხილავთ შემდეგ.

სტატორის ცილინდრის ბოლოები დახურულია სახურავებით (5), რომელთა ცენტრებზე დამაგრებულია ღუზა (3). ღუზა წარმოადგენს ფოლადის ფირფიტებისაგან აკრეფილ ცილინდრს, რომლის კილოებში (დრმულებში) ჩალაგებულია ღუზის გრაგნილი. ღუზის გრაგნილი შესრულებულია სექციებად, რომლებიც ერთმანეთთან არიან დაკავშირებული. დაინდუქციებული ემძ-ს პულსაციის შემცირების მიზნით ღუზის გრაგნილი თანაბრადაა განაწილებული ღუზის ცილინდრზე და გრაგნილის სექციების ბოლოები მირჩილულია კოლექტორის ფირფიტებზე (4). ღუზისა და აგზნების პოლუსებს შორის არსებობს მცირე სიდიდის საპაერო ღრეჩო და ღუზა თავისუფლად ბრუნავს სტატორის დრმულში. კოლექტორის ზედაპირზე ბრუნვის დროს დასრიალებს საკონტაქტო ნახშირები, რომლებიც ჩალაგებულია სპეცკონსტრუქციის ბუდეებში (6). ელექტრული წინაღობის შემცირების მიზნით ნახშირები მზადდება ნახშირისა და სპილენძის ფხვნილის დაწნეხვით, ხოლო საიმედო ელექტრული კონტაქტის მისაღწევად ნახშირები კოლექტორის ფირფიტებს აწევა ზამბარებით.

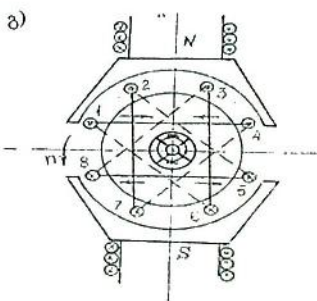
17.3. გენერატორის ემძ-ის სიდიდე

განვიხილოთ მუდმივი დენის გენერატორის მოქმედების პრინციპი ორპოლუსიანი მანქანის მაგალითზე (ნახ. ა) და გამოვთვალოთ გენერირებული ემძ-ის სიდიდე.

ორპოლუსიან მანქანაში მაგნიტურ ველს ქმნის სტატორზე (1) დამაგრებული ერთი ელექტრომაგნიტი ორი NS პოლუსით (2). პოლუსზე ჩამოცმულ ე.წ. საპოლუსე ბუნიკს (4) აქვს ორი დანიშნულება: იგი მექანიკურად ამაგრებს ავზნების გრაგნილის კოჭას (3) და მისი ფორმა უზრუნველყოფს მაგნიტური ძაღწირების განაწილების საჭირო ფორმას δ საპაერო ღრეწოში.

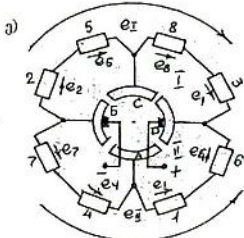
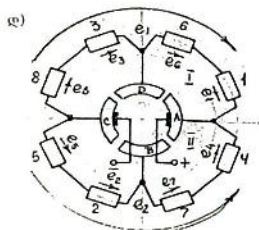


როგორც ზემოთ აღენიშნეთ, ღუზა (5) წარმოადგენს ცილინდრული ფორმის დეტალს, რომლის ღარებშიც ჩალაგებულია ღუზის გრაგნილი. მეტი სიცხადისათვის ღუზის გრაგნილი წარმოვადგინოთ ღუზის კილოებში (ნახ. ბ) ჩალაგებული ღეროების სახით და მათი შეერთების პრინციპი ავხსნათ უმარტივესი რვაღარიანი ღუზის მაგალითზე (ნახ. გ).



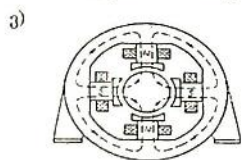
მაგნიტურ ველში ღუზის ბრუნვის დროს ღეროები გადაკვეთს მაგნიტურ წირებს და ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენის თანახმად მათში დაინდუქცირდება ემძ-ები. ამ ემძ-თა მიმართულებები განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით და ნახ გ-ზე ნაჩვენებია ისრებით. N პოლუსიდან S -ზე გადასვლისას ღუზის თითოეულ ღეროში ინდუქციის ემძ-ის მიმართულება იცვლება საწინააღმდეგოთი. გენერატორის გამოსავალზე მაქსიმალური სიდიდის ემძ-ის მისაღებად ღეროები უნდა შეერთდეს ისე, რომ მათი ემძ-ები შეიკრიბოს. განხილულ მაგალითში ღეროები შეერთებულია ორის

გამოტოვებით შესამესთან: 1 - 4-თან, 4 - 7-თან და ა.შ. ღუზის წინა მხარეზე განლაგებული 1 - 4, 7 - 2, 5 - 8 და 3 - 6 ბოლოები შეერთებულია კოლექტორის A, B, C, D ფირფიტებთან. მეტი სიცხადისათვის ღუზის გრაგნილი გავშალოთ სიბრტყეზე (ნახ. დ) და დავადგენთ, რომ ღუზის გრაგნილში შეიქმნა ორი პარალელური შტო (I,II), აქედან ერთში მიმდევრობითაა შეერთებული 1,6,3,8 ღეროები და $e_I = e_1 + e_6 + e_3 + e_8$, მეორეში 4, 7, 2, 5 ღეროები და $e_{II} = e_4 + e_7 + e_2 + e_5$. $e_I = e_{II}$ მიმართულნი არიან ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ და დენი ღუზის გრაგნილში არ წარმოიქმნება. ჯამური $e_I = e_{II} = E$ ემპ მოიხსნება კოლექტორის A და C ფირფიტებიდან. ღუზის 90° -ით შემობრუნებისას ზემოთ აღწერილი პროცესი ილუსტრირებულია ნახ. ე-ზე. დიდი ზომის და მძლავრ მუდმივი დენის მანქანებში მაგნიტურ სისტემას ქმნის არა ერთი, არამედ რამდენიმე



ელექტრომაგნიტი, რომელთაგან თითოეულს თავისი წყვილი პოლუსი აქვს და მანქანა მრავალპოლუსიანია. ნახ. ე-ზე ნაჩვენებია

ოთხპოლუსიანი მანქანის სისტემა. ღუზის გრაგნილსაც გააჩნია რამდენიმე წყვილი პარალელური შტო.



ერთი პოლუსის მაგნიტური ნაკადი აღენიშნოთ Φ -ით, პოლუსთა რიცხვი, რომელიც ყოველთვის წყვილია $2P$ -ით, ღუზის დიამეტრი d -თი და სიგრძე l -ით, მაშინ ღუზის ზედაპირზე მაგნიტური ინდუქციის

საშუალო მნიშვნელობა იქნება: $B_{საშ} = \frac{\Phi \cdot 2P}{\pi dl}$. თუ ღუზა n ბრ/წთ

სიჩქარით ბრუნავს მაშინ მისი წრფივი სიჩქარე იქნება n -ჯერ შემოწერილი წრეწირის სიგრძე შეფარდებული დროსთან

წამებში. $l\dot{\varphi} = 60$ ვმ-ს. წრეხაზის სიგრძე განისაზღვრება ფორმულით: πd , n -ჯერ შემობრუნებისას იქნება $n\pi d$ და წრფივი სიჩქარე - $v = \frac{\pi dn}{60}$ მ/წმ, მაშინ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად თითოეულ ღეროში დაინდუქცირებული ემძ-ის საშუალო მნიშვნელობა იქნება:

$$E_{\text{სს}} = B_{\text{სს}} l v = \frac{\Phi 2P}{\pi d l} \cdot l \frac{\pi dn}{60} = 2P\Phi \frac{n}{60}$$

გენერატორის ემძ ღუზის გრაგნილის ერთი პარალელური შტოს ჯამური ემძ-ის ტოლია; N -ით აღვნიშნოთ ღუზის გრაგნილის ღეროების საერთო რიცხვი, ხოლო $2a$ -თი პარალელური შტოების რიცხვი და მივიღებთ; $E = E_{\text{სს}} \cdot \frac{N}{2a} = \frac{N}{2a} 2P\Phi \frac{n}{60}$.

თითოეული მანქანისათვის P, N, a სიდიდეები ექსპლუატაციის პირობებში არ იცვლება, მუდმივია და ეს მუდმივი აღვნიშნეთ

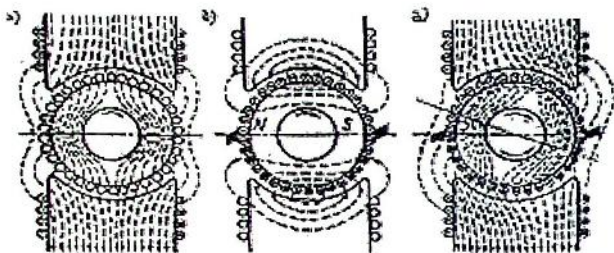
$$C = \frac{P}{a} \cdot \frac{N}{60} \text{ და გვექნება } E = Cn\Phi. \text{ ამ ფორმულით იანგარიშება}$$

გენერატორის ემძ-ის სიდიდე და როგორც ჩანს იგი მაგნიტური ნაკადის სიდიდისა და ბრუნვის სიჩქარის პროპორციულია, შესაბამისად გენერატორის ემძ-ის მუდმივი სიდიდის შესანარჩუნებლად უნდა ვცვალოთ ან მაგნიტური ნაკადის სიდიდე ან ბრუნვის სიჩქარე.

17.4. ღუზის რეაქცია

როგორც აღვნიშნეთ, თუ გენერატორის გამოსავალზე დატვირთვა არ არის ჩართული (უქმი სვლის რეჟიმი) გენერატორის I და II სექციების ემძ-ები ერთმანეთს აკომპენსირებენ და ღუზის გრაგნილში დენის არ გადის. შესაბამისად არსებობს ერთი აგზნების მაგნიტური ველი. თუ გენერატორზე დატვირთვას ჩავრთავთ ღუზის გრაგნილში დენი გაივლის და გაჩნდება მისი მაგნიტური ნაკადი, რომელიც დაედება აგზნების ნაკადს. ეს პროცესი ხასიათდება ე.წ. ღუზის რეაქციით.

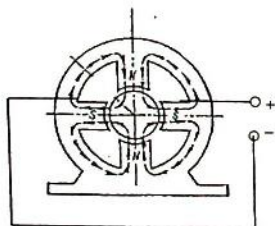
თვალსაჩინოების მიზნით ნახ. ა-ზე გამოვსახოთ აგზნების ნაკადი, ნახ. ბ-ზე ღუზის დენის დენის ნაკადი და ნახ. გ-ზე ჯამური ველის სურათი.



ღუზის რეაქციის შედეგად მაგნიტური წირების სიმკვრივე თითოეული პოლუსის ერთ მხარეს იზრდება, მეორე მხარეს მცირდება, მოკლედ ნაკადი დეფორმირდება, რაც არასასურველ მოვლენებს იწვევს: ამცირებს გენერატორის ემპ-ს და წარმოიქმნება ნაპერწკალი მოსრიალე მუსებს შორის. ღუზის რეაქციის შესამცირებლად გამოიყენება ე.წ. საკომპენსაციო გრაგნილები, რომლებიც დახვეულია აგზნების გრაგნილთან ერთად და მიმდევრობითაა მასთან შეერთებული. საკომპენსაციო გრაგნილის მაგნიტური ველი მიმართულია ღუზის გრაგნილის მაგნიტური ველის საწინააღმდეგოდ და მისი ხეიათა რიცხვის შერჩევით შეიძლება მივალწიოთ ღუზის რეაქციის სრულ კომპენსაციას.

17.5. კომუტაცია

მუდმივი დენის მანქანებში მეტად არასასურველი ამოცანაა ნაპერწკლიანობა კოლექტორის ფირფიტებსა და მუსებს შორის.



ნაპერწკლიანობის მიზეზი, გარდა ღუზის რეაქციისა, შეიძლება იყოს მოსრიალე ზედაპირის ხორკლიანობა, მუსების სუსტი დაწოლა კოლექტორის ფირფიტებზე, კოლექტორის გაჭუჭყიანება, ვიბრაცია და სხვა. გარდა მექანიკური დარღვევებისა ნაპერწკლიანობის მიზეზია აგრეთვე მუსის კოლექტორის ერთი ფირფიტიდან მეორეზე გადასვლის პროცესი. კერძოდ ბრუნვის დროს კოლექტორის ფირფიტები მონაცვლეობით შედიან კონტაქტში მუსებთან. როდესაც მუსა ერთი ფირფიტიდან გადადის მეორეზე, ღუზის გრაგნილის შესაბამის სექციაში დე-

ნი ერთი პარალელური შტოდან გადაირთვება მეორეში და იცვლება $\left[\left(+\frac{I_{\Sigma}}{2} \right) + \left(-\frac{I_{\Sigma}}{2} \right) \right]$ დიაპაზონში. სექციაში დენის სწრა-

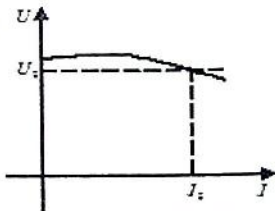
ვად შეცვლის შედეგად წარმოიქმნება თვითინდუქციის ემპ, რომელიც იზრდება ღუზის ბრუნვის სიჩქარის ზრდასთან ერთად, ამ პროცესს ეწოდება კომუტაცია. კომუტაციის დროს დაინდუქცირებული ემპ იწვევს რკალს მუსის ნაპირსა და მისგან წამავალ კოლექტორის ფირფიტას შორის, რაც ნაპერ-წკლიანობის ანალოგიურია. ამ დეფექტის შესამცირებლად გამოიყენება დამატებითი პოლუსები. ამ პოლუსების მაგნიტური ნაკადი მოძრავ კომუტირებულ სექციაში აინდუქცირებს ემპ-ს, რომელიც თვითინდუქციის ემპ-ის საწინააღმდეგოდაა მიმართული და აკომპენსირებს მას. თუ მანქანის ბრუნვის სიჩქარე იზრდება კომპენსაციის პირობა ირღვევა და მანქანა იწყებს ნაპერწკლიანობას.

17.6. გენერატორის გარე მახასიათებელი

ისე, როგორც ყველა წყაროსათვის, მუდმივი დენის გენერატორის ერთ - ერთი ტექნიკური მახასიათებელია დამოკიდებულება გენერატორის მომჭერებზე U ძაბვასა და I დენს შორის, როცა ბრუნვის სიჩქარე მუდმივია და აგზნების წრედის წინაღობა უცვლელი. ამ დამოკიდებულებას გენერატორის გარე მახასიათებელი ეწოდება. ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე განისაზღვრება ფორმულით $U = E - I_{\Sigma} R_{\Sigma}$. დატვირთვის გაზრდით ძაბვა მის მომჭერებზე მცირდება, რადგან იზრდება ღუზის გრაგნილზე ძაბვის ვარდნა და რამდენადმე სუსტდება მანქანის მაგნიტური ნაკადი. ღუზის რეაქციის არასრულყოფილი კომპენსაციის გამო U_{Σ} და I_{Σ} გენერატორის ძაბვისა და დენის ნომინალური მნიშვნელობებია და გენერატორის ექსპლოატაციის პროცესში სასურველია ძაბვა მის მომჭერებზე შევინარჩუნოთ U_{Σ} -თან ახლო მნიშვნელობის. დატვირთვის ცვლილებების შემთხვევაში U_{Σ} -ის სიდიდის მუდმივობის შენარჩუნება აგზნების დენის რეგულირებით ხდება.

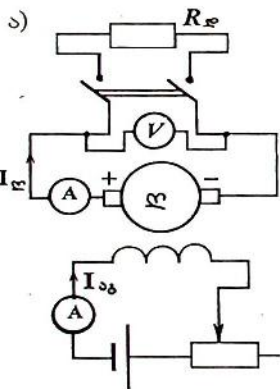
17.7. მულმივი დენის გენერატორების კლასიფიკაცია აგზნების მიხედვით

როგორც ზემოთ აღენიშნეთ აგზნების გრაგნილი შეიძლება იკვე-
 ზებოდეს გარე წყაროდან ან თავის
 მიერ გამომუშავებული დენით. ამ
 მხრივ არსებობს დამოუკიდებელ-
 აგზნებიანი და თვითაგზნებიანი გე-
 ნერატორები.



ა) დამოუკიდებელ აგზნებიანი
 გენერატორი - დამოუკიდებელაგზნებიან გენერატორში მაგნი-
 ტურ ველს ქმნის აგზნების გრაგნილი, რომელიც ღუზის გრაგ-

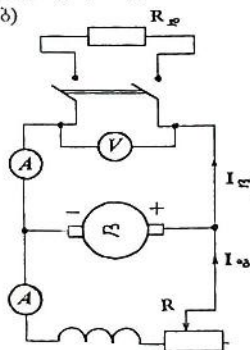
ნილთან ელექტრულ კავშირში არ
 არის და იკვებება დამოუკიდებელი
 წყაროდან (ნახ. ა) ამ გენერატორის
 ანალოგიურად მუშაობს მულმივ მაგ-
 ნიტებიანი გენერატორები.



ბ) თვითაგზნებიანი გენერატო-
 რები - თვითაგზნებიან გენერატო-
 რებში აგზნების გრაგნილი ღუზის
 გრაგნილთან ელექტრულ კავშირშია
 და მაგნიტურ ველს ქმნის ღუზაში
 აღძრული ელექტრული დენი.

აგზნე ბ)

ბის გრაგ-
 ნილი შეიძ-
 ლება იყოს



ერთი და მიერთებული ღუზის გრაგ-
 ნილთან პარალელურად (ნახ. ბ) ან
 მიმდევრობით (ნახ. გ). არსებობს გენე-
 რატორი ორი აგზნების გრაგნილით,
 რომელთაგანაც ერთი მიმდევ-
 რობითაა ჩართული ღუზის გრაგ-
 ნილთან, ხოლო მეორე პარალელუ-
 რად (ნახ. დ).

ნახ. ბ-ზე აგზნების გრაგნილის
 მიმდევრობით ჩართულია წინაღობათა მაღაზია, რომლის სა-

შუალეობითაც ხდება აგზნების დენის რეგულირება. აგზნების დენი იზომება ამპერმეტრით. იმ მიზნით, რომ საჭირო მაგნიტური ნაკადი მივიღოთ მცირე სიდიდის აგზნების დენით, აგზნების გრაგნილი მზადდება ხვეების დიდი რაოდენობით და ვიწრო კვეთიანი გამტარით. აგზნების დენი ღუზის დენის (2 - 3) %-ია.

ისმის კითხვა საიდან ჩნდება აგზნების სიმძლავრე თვით-აგზნებად გენერატორებში. საჭირო ხომ არ არის დამატებითი წყარო. მაგრამ როგორც ეს სიმენსმა (1816 - 1892) უჩვენა დამატებითი წყარო საჭირო არ არის.

როცა მანქანა მუშაობდა და გაჩერდა, აგზნების მაგნი-

ბ) 

ვ) 

ტური ველი მთლიანად არ ქრება. ფოლადი რჩება დამაგნიტებულ მდგომარეობაში. ნარჩენი მაგნეტიზმი სიდიდით მცირეა, მაგრამ საკმარისია იმისათვის, რომ გენერატორის შემდეგი ამოძრავებისას აგზნების გრაგნილზე გაჩნდეს მცირე სიდიდის ძაბვა,

რომელიც აღძრავს დენს აგზნების გრაგნილში. თუ აგზნების გრაგნილი სწორი პოლარობითაა ჩართული სუსტი ძაბვის ნაკადი აძლიერებს ძირითად ნაკადს, რის შემდეგაც ინდუქცირდება უკვე დიდი ემძ. დიდი ემძ ზრდის ველს და ა.შ.

იმისათვის, რომ ეს პროცესი იყოს შეთანხმებული და არ მოხდეს აგზნების ფოლადის განმაგნიტება გენერატორის კორპუსზე ისრით ნაჩვენებია ბრუნვის საჭირო მიმართულება.

მიმდევრობითაგზნებიან გენერატორში (ნახ. ვ) აგზნების გრაგნილი ჩართულია ღუზის გრაგნილის მიმდევრობით. მასში გადის დატვირთვის დენი და ამიტომ იგი შესრულებულია მცირე რაოდენობის ხვეებით და მსხვილი კვეთის სადენით. მძლავრი მაგნიტური ნაკადი ამ შემთხვევაში აღიძვრება დენის ხარჯზე. რამდენადაც აგზნებისათვის აუცილებელია აგზნების

გრაფიკში დენის არსებობა, უქმი სვლის რეჟიმში მიმდევრობით აგზნებიან გენერატორს მუშაობა არ შეუძლია.

შერეულაგზნებიან გენერატორში (ნახ. დ) პარალელურად ჩართული აგზნების გრაფიკი ქმნის ძირითად მუშა მაგნიტურ ნაკადს, ხოლო მიმდევრობით ჩართული გრაფიკის დანიშნულებათა შეინარჩუნოს გენერატორის მომჭერებზე ძაბვის სიდიდით უცვლელობა გენერატორის დატვირთვის გაზრდის დროს.

17.8. სიმძლავრე და მარგი ქმედების კოეფიციენტი

გენერატორის მიერ გარე წრედზე გადაცემული სიმძლავრე $P = UI$, სადაც I გარე წრედის დენია და U ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე.

გენერატორის მიერ გადაცემული სიმძლავრე ყოველთვის ნაკლებია იმ სიმძლავრეზე, რომელიც ვითარდება ღუზის დაბრუნების დროს. ეს უპირველესად განპირობებულია იმით, რომ ადგილი აქვს დანაკარგებს. დანაკარგები არსებობს სამი სახის: მექანიკური, მაგნიტური და ელექტრული. მექანიკურ დანაკარგებში შედის: ჰაერის წინაღობა, ხახუნის ძალები საკისრებში და კოლექტორზე საკონტაქტო ნახშირების ხახუნისას, მაგნიტური დანაკარგები გვაქვს აგზნებისა და ღუზის გულარებში და ბოლოს ელექტრული დანაკარგები, ანუ ენერგია, რომელიც იხარჯება აგზნებისა და ღუზის გრაფიკების აქტიური წინაღობის დაძლევაზე, რის შედეგადაც გრაფიკები თბება.

პროცენტებში გამოსახული სასარგებლოდ განვითარებული სიმძლავრის მთლიან სიმძლავრეზე ფარდობით გამოისახება მქ

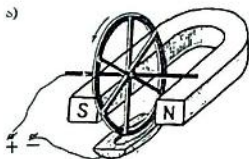
$$\eta = \frac{P_{\text{სარგ}}}{P_{\text{მთელ}}} \cdot 100\%.$$

სრული დატვირთვის დროს გენერატორის მქ (0,8 - 0,85)%-ს აღწევს. არასრული დატვირთვის დროს მქ მცირდება რამდენადაც დანაკარგები თითქმის არ იცვლება და სასარგებლო სიმძლავრე მთლიანი სიმძლავრის უფრო მცირე ნაწილია.

მქ მცირდება გადატვირთვების დროსაც. ამ დროს შესამჩნევად იზრდება მაგნიტური კარგები ფოლადში, ელექტრული დანაკარგები გრაფიკთა სპილენძში და ხახუნის ძალები.

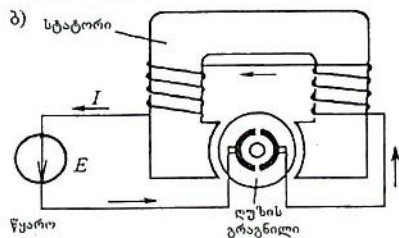
17.9. მუდმივი დენის ძრავები

მუდმივი დენის ძრავების მოქმედების პრინციპი ემყარება მაგნიტური ველის იმ თვისებას, რომ იგი მასში შეტანილ დენიან გამტარზე მოქმედებს ძალით. ამ ძალის სიდიდე და მიმართულება გარდა მაგნიტური ველის პარამეტრებისა, გამტარში გამავალი დენის სიდიდეზე და მიმართულებაზე დამოკიდებული.



პირველი ელექტრული მანქანა, სადაც ელექტრული ველის ენერგია მექანიკურ ენერგიად გარდაიქმნებოდა, ანუ პირველი ელექტრული ძრავა იყო ე.წ.

ბარლოვის ბორბალი, რომლის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახ. ა-ზე. იგი წარმოადგენს ბორბალს დიაგონალური ღერძებით და შეუძლია თავისუფლად ბრუნვა. ბორბლის ნაწილი ჩაშვებულია გამტარ სითხეში, საიდანაც ელექტრულ კვებას იღებს თითოეული დიაგონალური ღერძი, ეს ღერძები მაგნიტურ ველში შეტანილი დენიანი გამტარია. მაგნიტური ველის გავლენით როცა ერთი ღერძი შეიზიდება ველში და ბორბალი მობრუნდება გარკვეული კუთხით, მის ადგილს იკავებს მეორე, ამჯერად იგი შეიზიდება და ა.შ. ბორბალი იწყებს ბრუნვას. მექანიკური მამბრუნი მომენტის სიმცირის გამო ეს მანქანა ვერ დაინერგა როგორც ძრავა, მაგრამ წარმოადგენს ხელსაწყოს, რომლითაც ვიზუალურად ვაკვირდებით დენიან გამტარზე მაგნიტური ველის ძალური ზემოქმედების უნარს.



აღნიშნული ეფექტით ძრავას შექმნის იდეაზე გაწეული შემდგომი კვლევებით შეიქმნა მუდმივი დენის ძრავა, რომლის მოდელად შეიძლება წარმოვიდგინოთ მაგნიტურ ველში შეტანილი ჩარჩო, რომელიც სა-

კონტაქტო რგოლების საშუალებით ჩართულია მუდმივი ძაბვის ქსელში (ნახ. ბ).

ჩარჩოს გამტარებში დენებს აქვთ ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულება, მაშასადამე მაგნიტური ველის გავლენით

თითოეულზე მოქმედებს ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული ძალები, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მაბრუნე მომენტი და ჩარჩო დაიწყებს ბრუნვას.

გარდა ზემოდთქმულისა, როგორც ლენცმა უჩვენა, ელექტრული მანქანა შექცევადი მანქანაა, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ აღებულ მოდელში ჩარჩოში დენის გავლით ჩარჩო ბრუნავს და ახლა თუ წყაროს ნაცვლად ჩაერთავთ მომხმარებელს და ჩარჩოს დავაბრუნებთ, მომხმარებელში გაივლის დენი. ამ მოდელს ჩვენ გავეცანით ზემოთ.

აქედან გამომდინარე თამამად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მუდმივი დენის ძრავები საესებით ანალოგიურია მუდმივი დენის გენერატორებისა და შეიძლება იყოს დამოუკიდებელ აგზნებიანი და თვითაგზნებიანი. უმეტესად გამოიყენება პარალელურ აგზნებიანი ძრავები.

17.10. პარალელურაგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავა

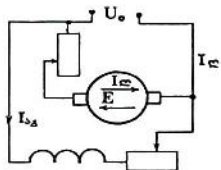
პარალელურაგზნებიანი მუდმივი დენის ელექტრული მანქანის ძრავულ რეჟიმში მუშაობის დროს ღუზის გრაგნილზე მოდებულია ძაბვა დაინდუქციურებული ემპ-ის საწინააღმდეგოდაა მიმართული. ამიტომ ვწერთ:

$$I_c = \frac{U - E}{R_c}, \text{ საიდანაც } U = E + I_c R_c.$$

ე.ი. ძაბვა ღუზის მომჭერებზე აწონასწორებს უკუელექტრომამოძრავებელ ძალას და აკომპენსირებს ძაბვის ვარდნას ღუზის გრაგნილის წინააღმდეგ. გენერატორისაგან განსხვავებით ძრავას ემპ ნაკლებია მის მომჭერებზე მოდებულ U ძაბვაზე ძრავას მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში $I_c R_c$ მცირე სიდიდეა E ემპ U ძაბვის (90 - 95)%-ია. ქსელიდან მოთხოვნილი დენი: $I = I_{აგ} + I_c$.

ძრავას წრედში ჩართვის დროს ღუზა გაჩერებულია უკუ ემპ არ არსებობს და U ძაბვით აღძრული დენი ბევრად აღემატება მოთხოვნილი დენის ნომინალურ მნიშვნელობას. ამის გამო ძრავა შეიძლება დაზიანდეს. ამუშავების დენის შემცირების მიზნით ღუზის გრაგნილის მიმდევრობით ირთვება ე.წ. ამუშავების რეოსტატი, რომელიც თანდათან ამოირთვება

წრდიდან და ბრუნვის სიჩქარის ნომინალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ მთლიანად ამოირთვება.



არის შემთხვევები როცა საჭირო ხდება ძრავას ბრუნვის მიმართულების შეცვლა ანუ რევერსი. ეს მიიღწევა ღუზის დენის ან აგზნების დენის მიმართულების შეცვლით. ე.ი. მუდმივი დენის ძრავის რევერსისათვის საჭიროა ადგილები შეეუცვალოთ ღუზის ან აგზნების

გრაგნილების მომჭერებს. ორივეს ერთდროულად შეცვლისას ძრავა იბრუნებს იგივე მიმართულებით.

17.11. მუდმივი დენის ძრავის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება

მუდმივი დენის ძრავების ერთ - ერთი საგრძნობი უპირატესობაა სიჩქარის მდოვრედ რეგულირების შესაძლებლობა. იგი შეიძლება განხორციელდეს სამი გზით: აგზნების დენის რეგულირებით, ღუზაზე მოდებული ძაბვის სიდიდის რეგულირებით და მაგნიტური ნაკადის სიდიდის რეგულირებით. ყველაზე გავრცელებული მეთოდია აგზნების დენის რეგულირება. ამ მიზნით აგზნების გრაგნილის მიმდევრობით ჩართულია რეოსტატი, რომლის წინაღობის ცვალებით იცვლება აგზნების დენის სიდიდე და მაშასადამე ბრუნვის სიჩქარეც.

ბრუნვის სიჩქარის მდოვრედ რეგულირების საშუალება განსაზღვრავს მუდმივი დენის ძრავების გამოყენების არეს. ისინი ფართოდ გამოიყენება წვეის ტექნიკაში და სხვა მოწყობილობებში, როცა სიჩქარის დიდ დიაპაზონში ცვლილებაა საჭირო. ქალაქის ელექტრულ ტრანსპორტში გამოყენებულია მუდმივი დენის ძრავები და ენერგიაც მათ მუდმივი დენით მიეწოდება. ელმაველის ძრავაც მუდმივი დენის ძრავაა, მაგრამ ენერგიის დანაკარგების შემცირების მიზნით, ელმაველის მკვებავ სადენში გადის ცვლადი დენი, რომელიც იმართება თვითონ ელმაველის კორპუსში და ძრავა მუდმივ დენზე მუშაობს.

მუდმივი დენის პირველი ელექტრული ძრავა შექმნა იაკობიმ 1834 წელს.

თავი XVIII. ცვლადი დენის მანქანები

18.1. ცვლადი დენის მანქანების ტიპები

მუდმივი დენის მანქანის ანალოგიურად ცვლადი დენის მანქანაც შექცევადია, ე.ი. შეუძლია იმუშაოს როგორც ძრავულ, ისე გენერატორულ რეჟიმში. გენერატორის მოქმედების პრინციპს და მოწყობილობას გავეცანით ცვლადი დენის მიღების შესწავლის დროს; რაც შეეხება ძრავებს, მოქმედების პრინციპით და მკვებავი ძაბვის ხასიათის მიხედვით არსებობს: ასინქრონული და სინქრონული ძრავები; ერთფაზა და სამფაზა; სამფაზა, რომელსაც შეუძლია იმუშაოს ერთფაზა ძაბვის წრედში. ამ შემთხვევაში მათი მართვის წრედში ირთება კონდენსატორები და ამ ძრავებს კონდენსატორულსაც ეუწოდებთ.

დამუშავებულია და არსებობს წრფივი გადაადგილების ძრავები, იონური ძრავები, მაგრამ ისინი სპეცშესრულების ძრავებია და ამ კურსში არ განვიხილავთ.

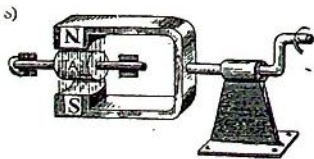
18.2. ასინქრონული ძრავა და მისი მოქმედების პრინციპი

ასინქრონული ძრავა გამოიგონა დოლივო – დობროვოლსკიმ 1889 წელს. მის მოქმედებას საფუძვლად უდევს ე.წ. არაგოს მოვლენა, რომელსაც შეიძლება დავაკვირდეთ ნახ. ა-ზე ნაჩვენები მოდულით.

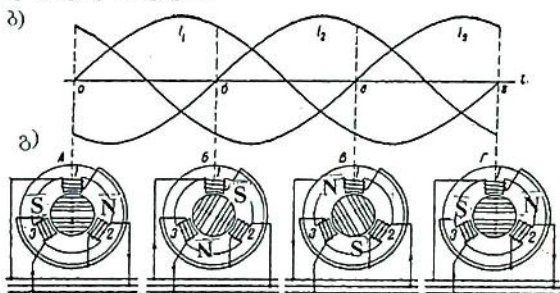
დავაბრუნოთ მაგნიტი. ცხადია დაბრუნდება მაგნიტური ველის ნაკადი და ბრუნვის პროცესში ძალწირები გადააკმთენ ველში მოთავსებულ *A* ცილინდრს. ცილინდრში აღიძვრება გრიგალური დენები, რომლებიც შექმნის თავის მაგნიტურ ველს.

ცილინდრის ველისა და მაგნიტის ველების ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება მბრუნავი მომენტი, რომელიც დააბრუნებს ცილინდრს. ასე, რომ მბრუნავ მაგნიტურ ველში მოთავსებული ცილინდრი აჰყვება ბრუნვაში ველს.

ეს მოდელი ელექტრულ ძრავად გადააქცია დოლივო – დობროვოლსკიმ სამფაზა დენის იმ თვისებით, რომ მის მიერ აღძრული მაგნიტური ველი ბრუნავს. სამფაზა დენის მაგნიტური ველის ბრუნვასაც შეიძლება დავაკვირდეთ ცდით. ავილოთ



ასინქრონული ძრავას უძრავი ნაწილი – სტატორი, რომელშიც ჩალაგებულია სიბრტყით ერთმანეთისაგან 120° -ით დაძრული სამი ერთნაირი გრაგნილი (ნახ. გ) სტატორის ღრმულში ჩავდოთ თხელი ქალაღდისაგან დამზადებული ცილინდრი იმ მოსასრებით, რომ გრაგნილის პოლუსების ზედაპირი გახდეს გლუვი. ჩავდოთ ცილინდრში (4 – 5) მმ დიამეტრის ლითონის ბურთულა და სტატორის გრაგნილი ჩაერთოთ სამფაზა დენის წრედში. ბურთულა დაიწყებს ქალაღდის ცილინდრის გლუვ ზედაპირზე წრეზე ბრუნვას.



ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია სამფაზა დენის დროითი დიაგრამა და ნახ. გ-ზე მაგნიტური ველის ბრუნვის სურათი.

დადგენილია, რომ ცილინდრის ბრუნვის სიჩქარე ჩამორჩება მაგნიტური ველის სიჩქარეს, ე.ი. ცილინდრი მაგნიტურ ველთან ბრუნავს ასინქრონულად (არასინქრონულად) და ძრავამაც მიიღო დასახელება - ასინქრონული.

ცილინდრისა და მაგნიტური ველის ბრუნვის სიჩქარეების თანაფარდობა ხასიათდება სიდიდით: $S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$,

რომელსაც სრიალი ეწოდება, სადაც n_1 მაგნიტური ველის, ხოლო n_2 ცილინდრის ბრუნვის სიჩქარეებია.

სიჩქარეები რომ ერთნაირი ყოფილიყო არ ექნებოდა ადგილი მაგნიტური წირების ცილინდრთან გადაკეთას და არც გრიგალური დენები აღიძვრებოდა, მაშინ არ აღიძვრებოდა არც მაგნიტური მომენტი. ე.ი. სრიალი ასინქრონული ძრავის მუდმივი თანამგზავრია.

18.3. ასინქრონული ძრავის სინქარე

ასინქრონული ძრავის უძრავ ნაწილს, რომელშიც აღიძვრება მბრუნავი მაგნიტური ველი, ეწოდება სტატორი. მოძრავ ნაწილს – (ცილინდრს განხილულ მოდეულში) როტორი. განხილულ მაგალითში სტატორზე განლაგებულია სამი გრაგნილი ერთ ფაზაში ჩართულ მაგნიტურ სისტემას გააჩნია ორი პოლუსი (ერთი წყვილპოლუსი). ველი ერთ სრულ შემობრუნებას ასრულებს ცველადი დენის ერთი პერიოდის განმავლობაში. 50ჰც სიხშირის დროს $n = \frac{50 \cdot 60}{1} = 3000$ ბრ/წთ. თუ სტატორში განვალაგებთ გრაგნილების კიდევ ერთ სამეულს, მაშინ ერთ ფაზაში ჩართული გრაგნილების პოლუსების რიცხვი იქნება ოთხი ანუ 2 წყვილპოლუსი და როტორის სინქარე იქნება

$$n = \frac{50 \cdot 60}{2} = 1500 \text{ ბრ/წთ}$$

გრაგნილების კიდევ ერთი სამეულის დამატებისას გვექნება 6 პოლუსი ანუ 3 წყვილ-პოლუსი და $n = \frac{50 \cdot 60}{3} = 1000$ ბრ/წთ.

ასე, რომ ასინქრონული ძრავის მაგნიტური ველის ბრუნვის სინქარე დამოკიდებულია სიხშირეზე, სტატორის წყვილპოლუსების რიცხვზე და იანგარიშება ფორმულით $n = \frac{60 \cdot f}{p}$ ბრ/წთ.

რამდენადაც წყვილპოლუსების რიცხვი ყოველთვის მთელი რიცხვია მაგნიტური ველის ბრუნვის სინქარე არ შეიძლება იყოს ნებისმიერი და წყვილპოლუსების რიცხვზე დამოკიდებულებით განისაზღვრება შემდეგი ცხრილით.

2P	2	4	6	8	10	12	16	24	48
n	3000	1500	1000	750	600	500	428	375	125

რეალურ მანქანაში მბრუნავი ნაწილის ე.წ. როტორის ბრუნვის სინქარე, ოდნავ ჩამორჩება ველის ბრუნვის სინქარეს. უქმი სელის რეჟიმში განსხვავება მხოლოდ 3%-ია, დატვირთვის რეჟიმში (5 – 7)%. ამავე დროს როტორის ბრუნვის სინქარე თითქმის მუდმივია და არ არის დამოკიდებული დატვირთვის სიდიდეზე. ეს ფაქტი ასინქრონული ძრავის ერთ – ერთი საგულისხმო უპირატესობაა.

18.4. ასინქრონული ძრავის კონსტრუქცია

რეალური ასინქრონული ძრავას სტატორი წარმოადგენს ფოლადის ან თუჯის კორპუსს (ნახ. ა), რომელშიც ჩადგმულია სტატორის გულარი. გრივალურ დენებზე დანაკარგების შემცირების მიზნით გულარა აკრეფილია ფურცლოვანი ფოლადისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან იზოლირებულია ლაქის ფენით. გულარაზე ამოღარულია კილოები, რომელშიც ჩალაგებულია სტატორის გრაგნილები. გრაგნილების ბოლოები ამოტანილია კორპუსის გარეთ დამაგრებულ დაფაზე გრაგნილების საწყისებისა და ბოლოების ჩვენებით. ამ დაფაზე ვირჩევთ გრაგნილების ჩართვის სქემას ვარსკვლავურს თუ სამკუთხედურს.



ასინქრონული ძრავას მოძრავი ნაწილი – როტორი ჩადგმულია სტატორში და მისი ღერძი საკისრებით გამაგრებულია ხუფებზე. როტორის გულარაც სტატორის გულარის ანალოგიურად ფურცლოვანი ფოლადისაგანაა აკრეფილი და მასში ამოღარულია კილოები.

როტორი მზადდება ორგვარი კონსტრუქციით. ეს არის ე.წ. მოკლედ შერთული როტორი და ფაზური როტორი.

მოკლედ შერთულ როტორს აქვს ე.წ. „ციყვის ბორბალის“ (ნახ. ბ) კონსტრუქცია და ჩალაგებულია როტორის ღრმულებში. ნახ. გ-ზე და ნახ. დ-ზე ნახაზებზე ნაჩვენებია მოკლედ შერთული როტორიანი ას-

ინქრონული ძრავას საერთო სახე და ცალკე როტორი.

ზოგიერთ მანქანაში „ციყვის ბორბალი“ შეცვლილია სხმული ალუმინის მასიური დეტალით. ფაზური როტორი მზადდება დიდ სიმძლავრეიანი ძრავებისათვის და გააჩნია საკონტაქტო რგოლები, რომელთა დანიშნულებაა როტორის გრაგნილზე მიერთდეს ე.წ. გამშვი რეოსტატი, რომლის დანიშნულებაა შეამციროს გაშვების დენი, რომელიც ძრავას ჩართვის მომენტში საკმაო სიდიდეს აღწევს.

ნახ. ე-ზე და ნახ. ვ-ზე ნაჩვენებია ფაზურ - როტორიანი ძრავას საერთო ხედი და როტორი.

18.5. სრიალის გამოსახვა ბრუნვის კუთხური სიჩქარით და სრიალის გავლენა ძრავას მქკ - ზე

ზემოთ განსაზღვრული სრიალი $S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$ გამოე-

სახოთ ველისა (ω_1) და (ω_2) კუთხური სიჩქარეებით.

თუ ბრუნვის n_1 და n_2 სიჩქარეები ბრ/წთ-ითაა მოცემული, მაშინ მათი შესაბამისი კუთხური სიჩქარე, რომელიც ზოგადად განისაზღვრება როგორც შემობრუნების კუთხის ფარდობა ამ შემობრუნებისათვის საჭირო დროის შუალედთან, ერთი სრული შემობრუნებისათვის ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} \text{ და } \omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}; \quad (2\pi \text{ სრული შემობრუნების კუთხე რადიანებში, } 60 \text{ წამის რაოდენობა წუთში) \text{ საიდანაც}$$

$n_1 = \frac{60\omega_1}{2\pi}; \quad n_2 = \frac{60\omega_2}{2\pi}$. თუ ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ სრიალის განმარტებაში გვექნება:

$$S = \frac{\frac{60}{2\pi}(\omega_1 - \omega_2) \cdot 100\%}{\frac{60}{2\pi} \cdot \omega_1} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \cdot 100\%$$

უჩვენოთ სრიალის გავლენა ძრავას მოთხოვნილ P_1 და განვითარებულ P_2 სიმძლავრეებზე, რაც თავის მხრივ ძრავას მქკ-ს განსაზღვრავს.

სიმძლავრე განისაზღვრება როგორც მუშაობის ფარდობა დროსთან, მუშაობა კი ძალისა და გადაადგილების ნამრავლით, მაშინ $P_1 = \frac{F_1 \cdot l}{t} = \frac{F_1 \cdot 2\pi r}{T}$ და $P_2 = \frac{F_2 \cdot l}{t} = \frac{F_2 \cdot 2\pi r}{T}$.

სადაც F_1 და F_2 მოთხოვნილი ელექტრომაგნიტური ძალაა, F_2 განვითარებული მექანიკური ძალა, l როტორის წრის

სიგრძე, რომელიც განისაზღვრება მისი რადიუსით $l = 2\pi r$;
 $\frac{2\pi}{T} = \omega$ და გვექნება:

$$P_1 = F_1 r \omega_1, \quad P_2 = F_2 r \omega_2, \quad \text{საიდანაც } \omega_1 = \frac{P_1}{F_1 r}, \quad \omega_2 = \frac{P_2}{F_2 r} \quad \text{და}$$

$$\text{მივიღებთ: } \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} \left(\frac{P_1}{F_1 r} - \frac{P_2}{F_2 r} \right).$$

სისტემის წონასწორულ მდგომარეობაში $F_1 = F_2$, მაშინ ბოლო ტოლობა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

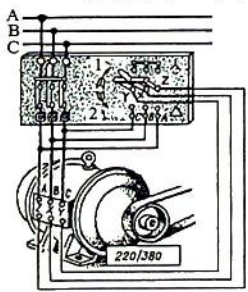
$$\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} \cdot \frac{1}{F_1 r} (P_1 - P_2) \quad \text{და } S = \frac{P_1 - P_2}{P_1}, \quad \text{საიდანაც სა-}$$

ბოლოოდ მივიღებთ: $P_2 = P_1(1 - S)$ ე.ი. ძრავას მიერ განვი-
 თარებული სიმძლავრე მოთხოვნილ სიმძლავრესთან ახლოს
 რომ იყოს სრიალი უნდა იყოს რაც შეიძლება მცირე. პრაქ-
 ტიკულად (1 - 1000) კვა სიმძლავრის ძრავებში სიმძლავრე (3 -
 6) %-იან დიდ სიმძლავრიანში (1 - 3)%.

18.6. ასინქრონული ძრავას ამუშავება

ასინქრონული ძრავების ამუშავება საკმაოდ პრობლემა-
 ტური საკითხია განსაკუთრებით მაღალი სიმძლავრის ძრავ-
 ებში. საქმე იმაშია, რომ ამუშავების მომენტში გაშვების დენი
 (4 - 10) - ჯერ ამეტებს ნომინალური დენის მნიშვნელობას და
 შეიძლება გამოიწვიოს ძრავას დაზიანება.

მოკლედ შერთულ როტორიანი ძრავების ამუშავება უმეტე-
 სად სამფაზა წრედში პირდაპირი
 ჩართვით ხდება. მართალია ამუშავების
 დენი ამეტებს ნომინალურ დენს, მაგ-
 რამ ასინქრონული ძრავის ნორმალური
 სიჩქარის დამყარება და შესაბამისად
 ამუშავების დენის ნომინალურ მნიშ-
 ვნელობამდე შემცირება, დროის
 მოკლე შუალედში ხდება და დიდი
 დენი არ იწვევს ძრავას დაზიანებას.
 გამონაკლისია დიდი ინერციის



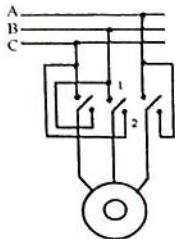
მანქანები, სადაც დენის დამყარებას 20 – 40 წმ სჭირდება. ამ დროში შეიძლება დაზიანდეს ძრავა ან კვების წყარო და ამის თავიდან ასაცილებლად ასინქრონული ძრავას ჩართვა ხდება სტატორის გრაგნილის სამკუთხედური სქემიდან ვარსკვლავურზე გადართვით. ამუშავების ეს მეთოდი გამოიყენება ისეთი ძრავებისათვის, რომლის სტატორის გრაგნილი მუშა რეჟიმში სამკუთხედური (Δ) სქემითაა ჩართული. ძრავას გაშვება ხდება გადამრთველის 1 მდგომარეობაში გადართვით, ამ დროს სტატორის გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავური სქემით (Λ) და გაშვების დენი ახლოა ნომინალურთან, როცა ძრავას ბრუნვათა რიცხვი მიაღწევს საკმარის სიდიდეს ხდება გადამრთველის 2 მდგომარეობაში გადაყვანა და ძრავა აგრძელებს მუშაობას სამკუთხედური (Δ) სქემით.

არსებობს აგრეთვე ძრავას ავტოტრანსფორმატორით ამუშავების სქემა. გაშვების მომენტში ძრავას გრაგნილზე მიჰყავთ დადაბლებული ძაბვა, რომელსაც თანდათან ზრდიან ნომინალურ მნიშვნელობამდე. ზოგჯერ ამუშავების დენის შესამცირებლად სტატორის წრედში მიმდევრობით ჩართავენ წინაღობებს და ძრავა მიაღწევს ბრუნვის ნომინალურ მნიშვნელობას. დამატებით წინაღობებს დააშუნტებენ სპეციალური ჩამრთველით.

რაც შეეხება ფაზურ – როტორიანი ძრავების გაშვებას მათი ჩართვა ხდება დამატებითი წინაღობების გამოყენებით. ეს წინაღობები რამდენიმე საფეხურიანია და გაშვების მომენტში ხდება მათი თანდათანობით ამორთვა.

18.7. ასინქრონული ძრავის რევერსი

როგორც აღვნიშნეთ სამფაზა დენის მბრუნავი მაგნიტური ველის ბრუნვის მიმართულება შეიძლება შეცვალოთ ნებისმიერი ორი ფაზის ადგილების შეცვლით. ამ პრინციპით ხდება ასინქრონული ძრავას ბრუნვის მიმართულების შეცვლა. სამფაზა ჩამრთველის ცენტრალურ ღარებზე მიყვანილია ასინქრონული ძრავას მკვებავი გრაგნილები. ჩამრთველის 1 – მდგომარეობაში ფაზათა თანმიმდევრობაა



$A B C$, ჩამრთველის 2 - მდგომარეობაში გადმორთვისას უზაათა მიმდევრობა იქნება $B A C$.

18.8. ასინქრონული ძრავების დამუხრუჭება

ქსელიდან ამორთული ძრავა ინერციით აგრძელებს მოძრაობას და ხშირ შემთხვევაში საჭირო ხდება მისი დამუხრუჭება. პრაქტიკაში გამოიყენება დამუხრუჭების მექანიკური და ელექტრული მეთოდები.

მექანიკური მეთოდებით დამუხრუჭება ითვალისწინებს ძრავას მოძრაობის შეჩერებას მექანიკური სამუხრუჭე ხუნდების საშუალებით, რომელიც საჭიროების შემთხვევაში შემოეჭირება მანქანის მბრუნავ დეტალებს და საგრძნობლად იზრდება ხახუნის ძალები.

ელექტრული მეთოდებით დამუხრუჭებისას გამოიყენება ელექტროძრავას თვისება - გარკვეულ მომენტში მატრუნი მომენტის ნაცვლად განავითაროს დამამუხრუჭებელი მომენტი.

არსებობს ელექტროძრავას დამუხრუჭების სამი ხერხი, ესენია: დინამიკური, გენერატორული და უკუჩართვით.

ასინქრონული ძრავას დინამიკური ხერხით დამუხრუჭებისას სტატორის გრაგნილი ამოირთვება ცვლადი ძაბვის სამფაზა წრედიდან და მიუერთდება მუდმივი ძაბვის წრედს. მუდმივი დენის უძრავ მაგნიტურ ველში ინერციით მბრუნავ როტორის გრაგნილში დაინდუქცირებული ემპ იწვევს დენს, რომელიც მაგნიტურ ველთან ურთიერთქმედებისას იწვევს დამამუხრუჭებელ მომენტს.

დამუხრუჭებას გენერატორულ რეჟიმში მიიღწევა იმ შემთხვევაში, როცა როტორის ბრუნვის სიჩქარე ამეტებს მაგნიტური ველის ბრუნვის სიჩქარეს, ანუ უარყოფითი სრიალის დროს. ეს მოხდება მძიმე ტვირთის დაშვებისას ან მოძრავი ტრანსპორტის დაღმართში მოძრაობისას. ამ პირობებში ელექტრული ძრავა მექანიკურ ენერგიას გარდაქმნის ელექტრულ ენერგიად და აბრუნებს მას ქსელში. ადვილი მისახვედრია, რომ ეს პროცესი აჩერებს ძრავას. უარყოფითი ნიშნის სრიალს შეიძლება მივაღწიოთ მრავალსიჩქარიან ძრავებში მაღალი სიჩქარიდან დაბალ სიჩქარეზე გადასვლისას.

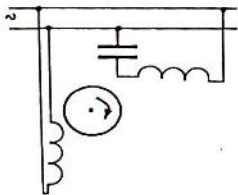
რაც შეეხება დამუხრუჭების უკუჩართვის მეთოდს იგი სწარმოებს ძრავას ბრუნვის მიმართულების რევერსირებით, ანუ მკვებავი ძაბვის ორი ფაზის გადაადგილებით. ძრავას დამუხრუჭების უკუჩართვის მეთოდი მანქანის ყველაზე სწრაფად გაჩერების ხერხია, მისი ნაკლია წყაროდან მოხმარებული ენერჯის ზრდა და ხშირი გადართვა გადმორთვის დროს გრაგნილების მნიშვნელოვნად გახურება.

18.9. ერთფაზია ცვლადი დენის ძრავები

თუ სამფაზა დენი ქმნის მბრუნავ მაგნიტურ ველს, ერთფაზა დენის მიერ შექმნილი ველი არ ბრუნავს, მაგრამ ნაკადი იცვლება სინუსოიდური კანონით $\varphi = \Phi_m \sin \omega t$, Φ_m -დან ($-\Phi_m$)-მდე. ასეთ ველს მფეთქარი ველი ეწოდება. მაგნიტური ნაკადის ღერძი სივრცეში უძრავია და ველი ექვივალენტურია ორი ველისა, რომლებიც ბრუნავენ ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით ერთნაირი სიჩქარით.

ერთფაზა ასინქრონულ ძრავას გააჩნია სტატორის ერთი გრაგნილი და მის ბოლოებზე სინუსოიდური ძაბვის მოდების დროს შექმნილ მფეთქარ მაგნიტურ ველში შეტანილ როტორის გრაგნილზე მოქმედებს სიდიდით ტოლი და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მიმართული მბრუნავი მომენტები. ამის გამო როტორი გაწონასწორებულია, ანუ ინარჩუნებს უძრაობის მდგომარეობას. საკმარისია, როტორი გარე ძალებით ერთი რომელიმე მიმართულებით დავაბრუნოთ, რომ იგი გააგრძელებს ბრუნვას მფეთქარი ველის გავლენით გარე ძალების მოხსნის შემდეგ.

ძრავას ჩართვის მომენტში საწყისი მაბრუნე მომენტის არ არსებობა ერთფაზა ძრავას დიდი ნაკლია და მისი გამოსწორების მიზნით სტატორში ჩადგმულია კიდევ ერთი გრაგნილი, რომლის ნაკადი ძირითადი ნაკადისაგან დაძრულია 90° -ით. ამ გრაგნილს ამუშავების გრაგნილი ეწოდება და მისი ნაკადის ძირითად ნაკადისაგან დაძვრას უზრუნველყოფს მასთან მიმდევრობით ჩართული კონდენსატორი. ამუშავების გრაგნილის მიერ შექმნილი ველი



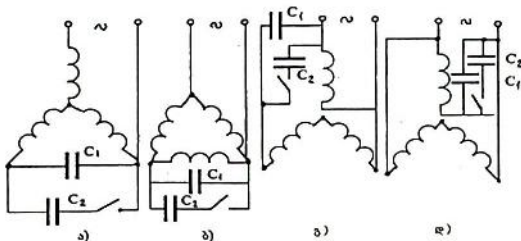
ასრულებს იმ გარე ძალების როლს, რომელიც როტორს დააბრუნებდა საწყის მომენტში. ძრავას ბრუნვის სიჩქარის დამყარების შემდეგ გამშვი გრაგნილი შეიძლება ამოირთოს. ასეთი ერთფაზა ძრავები წრედში ირთვება სპეციალური კონსტრუქციის ჩამრთველით, რომელსაც გააჩნია სამი ჩანგალი. ჩამრთველის ღილაკზე ხელის დაჭერით ირთვება სამივე ჩანგალი და კვებას იღებს როგორც ძირითადი გრაგნილი, ისე ამუშავების გრაგნილი. ძრავა იწყებს ბრუნვას. ღილაკზე თითის ადების შემდეგ ორი ჩანგალი რჩება ჩართულ მდგომარეობაში და კვებას იღებს ძირითადი გრაგნილი, ხოლო მესამე ჩანგალი, რომელიც მიმდევრობითაა ჩართული ამუშავების გრაგნილთან, ამოირთვება.

ერთფაზა ძრავების ჩართვის აღწერილი მექანიზმი არც ისე მოხერხებულია და დამუშავებული იქნა ძრავები, რომლის ამუშავების გრაგნილიც მუშაობის ხანგრძლივ რეჟიმზეა გათვლილი და მისი ამორთვა ძრავას ამუშავების შემდეგ აუცილებელი აღარ არის. ასეთ ძრავებს კონდენსატორული ძრავები ეწოდება და მათი ტექნიკური მახასიათებლები უკეთესია.

როგორც წესი ერთფაზა ცვლადი დენის ძრავები მცირე სიმძლავრის ძრავებია და გამოყენების ძირითადი სფერო საყოფაცხოვრებო ტექნიკაა – მაცივარი, მტვერსასრუტი და ა.შ.

18.10. ასინქრონული ძრავას ჩართვა ერთფაზა წრედში

ერთფაზა ცვლადი დენის წრედის მაგნიტური ველი არ არის ბრუნვადი და მასში შეტანილი როტორის დასაბრუნებლად საჭიროა ამუშავების გრაგნილი, რომელთანაც მიმდევრობით შეერთებულია კონდენსატორი.



სამფაზა ასინქრონული ძრავას ერთფაზა ცვლადი დენის წრედში ჩართვის დროს ერთ - ერთი ფაზის გრაგნილი შეიძლება გამოიყენოთ, როგორც მუშა გრაგნილი, ხოლო დანარჩენები როგორც ამუშავეების გრაგნილები. ჩართვის სქემების ვარიანტები მოცემულია ნახ. ა, ბ, გ, დ - ზე.

C_8 გამშივი კონდენსატორის ტევადობა C_1 მუშა კონდენსატორისა და C_2 დამატებითი კონდენსატორების ტევადობების ჯამის ტოლია:

$$C_8 = C_1 + C_2.$$

ძრავას გაშვების შემდეგ C_2 დამატებითი კონდენსატორი წრედიდან ამოირთვება. თუ ძრავის ჩართვა ხდება დატვირთვის გარეშე მაშინ დამატებითი კონდენსატორი საჭირო არ არის და გამშივი და მუშა კონდენსატორები ერთი და იგივეა. ამ რეჟიმისათვის მუშა კონდენსატორის ტევადობები იანგარიშება ფორმულებით:

$$\text{ნახ. ა. სქემისათვის } C_8 = C_1 = 2800 \frac{I_6}{U} \text{ მკვ;}$$

$$\text{ნახ. ბ. სქემისათვის } C_8 = C_1 = 4800 \frac{I_6}{U} \text{ მკვ;}$$

$$\text{ნახ. გ. სქემისათვის } C_8 = C_1 = 1600 \frac{I_6}{U} \text{ მკვ;}$$

$$\text{ნახ. დ. სქემისათვის } C_8 = C_1 = 2740 \frac{I_6}{U} \text{ მკვ;}$$

სადაც I_6 ძრავას ნომინალური დენია და U წრედის ძაბვა.

ნომინალურთან მიახლოებული სიდიდის დატვირთვის დროს გამშივი კონდენსატორის ტევადობა $C_8 = (2,5 + 3)C_1$.

კონდენსატორის დასაშვები ნომინალური ძაბვები აირჩევა:

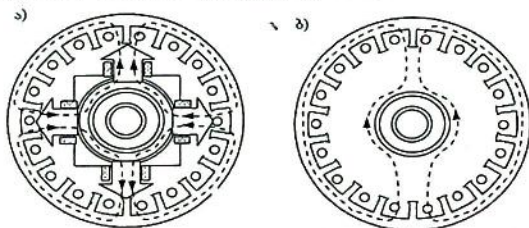
ნახ. ა. და ნახ. ბ. სქემებისათვის $U_j = 1,15U$; ნახ. გ. სქემისათვის $U_j = 2,2U$; ნახ. დ. სქემისათვის $U_j = 1,3U$, სადაც U_j კონდენსატორის ნომინალური ძაბვის სიდიდეა, U - წრედის ძაბვაა.

აღნიშნულ სქემებში გამოიყენება $MBTЧ$ ტიპის ქაღალდის კონდენსატორები.

18.11. სინქრონული მანქანები

სინქრონული მანქანები ასინქრონულისაგან განსხვავდება მანქანის მოძრავი ნაწილის, როტორის აგებულებით. სინქრონული მანქანის როტორი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტების სისტემას, რომელიც იკვებება მუდმივი დენის გარე წყაროდან. სტატორის მბრუნავ მაგნიტურ ველში მოთავსებისას, მაგნიტთა ეს სისტემა აჰყვება ველის ბრუნვას. მუშა რეჟიმში სტატორის მაგნიტური ველი და როტორის მაგნიტური სისტემა ბრუნავს ერთნაირი სიჩქარით ანუ სინქრონულად და აქედან მიიღო ამ ტიპის მანქანებმა დასახელება – სინქრონული.

ა) დამოუკიდებელაგზნებიანი სინქრონული გენერატორი – სინქრონული მანქანა შექცევადია, რაც იმას ნიშნავს, რომ იგი მუშაობს, როგორც ძრავულ, ისე გენერატორულ რეჟიმში. თანამედროვე ცვლადი დენის გენერატორები თითქმის ყველა სინქრონული ტიპის მანქანაა. სინუსოიდური ემპ-ის მისაღებად საჭიროა, რომ მაგნიტური წირები სტატორსა და როტორს შორის საპერო ღრეოში განაწილებული იყოს სინუსოიდურად. ეს მიიღწევა ორი გზით: ელექტრომაგნიტების პოლუსების სპეციალური ფორმით ან კიდევ როტორის კილოებში გრაგნილის განლაგებით. პირველ შემთხვევაში როტორი მზადდება ცხადად გამოსახული გამოშვებული პოლუსებით და მას ცხადპოლუსიანი როტორი ეწოდება (ნახ. ა).



საპოლუსე ბუნიკებს ისეთი მოხაზულობა აქვს, რომ საპერო ღრეო პოლუსის შუა ნაწილიდან ნაპირისაკენ იზრდება, რის გამოც მაგნიტური ინდუქცია მცირდება.

მეორე შემთხვევაში როტორი მასიური ფოლადის ცილინდრია (ნახ. ბ), რომლის კილოებში განლაგებულია აგზნების გრაგნილი. ამ გრაგნილის ცალკეული კოჭები სხვადასხვა ზომისაა და მაგნიტური ინდუქციის მაქსიმუმები თანხვდება NS

პოლუსების ღერძს, ამ ღერძიდან დაშორებით კი მაგნიტური ნაკადის სიმკვრივე მცირდება. ამ ღერძს მაგნიტური ინდუქციის განაწილება საჰაერო ღრეოში სინუსოიდურს უახლოვდება. ამ ტიპის როტორს არაცხადპოლუსიანი ეწოდება.

ცხადპოლუსიანი როტორები გამოიყენება ნელსვლიან გენერატორებში, რომლებიც მოძრაობაში მოჰყავთ ჰიდროტურბინებს ან შიგაწვის ძრავებს. სწრაფსვლიან გენერატორებში, მაგალითად, ორთქლის ტურბინიან გენერატორებში. მექანიკური სიმტკიცის პირობების მოთხოვნით ცხადპოლუსიანი როტორის გამოყენება არ შეიძლება და გამოიყენება არაცხადპოლუსიანი როტორები. ორივე შესრულების როტორის აგზნების გრაგნილის ბოლოები მიერთებულია ლილვისაგან იზოლირებულ ორ რგოლთან, რომლებიდანაც მოსრიალე ნახშირის მუსებით გარე წყაროდან კვებას იღებს როტორის გრაგნილი, როგორც წესი გარე წყარო მუდმივი დენის გენერატორია. იგი მოთავსებულია სინქრონული გენერატორის როტორის ლილვზე და მისი სიმძლავრე გენერატორის ნომინალური სიმძლავრის (1 - 3)%-ია.

სტანდარტული სიხშირის ცვლადი დენის მისაღებად მზადდება მრავალპოლუსიანი ნელსვლიანი გენერატორები. როტორის ელექტრომაგნიტების კოჭები ერთმანეთთან ირთვება ისე, რომ ჩრდილოეთი და სამხრეთ პოლუსები მონაცვლეობენ. როტორის $360/p$ კუთხით შემობრუნებას, შეესაბამება სტატორში აღძრული სინუსოიდური ემპს ერთი სრული პერიოდი. თუ P წყვილპოლუსებიანი მანქანა წუთში n -ჯერ შემობრუნდება,

მაშინ სიხშირე $f = \frac{Pn}{60}$. ახლა თუ სტატორის გრაგნილებს

სიმეტრიულად დავტვირთავთ, მის გრაგნილში გაივლის სამი ერთნაირი სიდიდის სინუსოიდური დენი, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ პერიოდის მესამედით იქნებიან დაძრული. თითოეული ფაზის დენი შექმნის ცვლად მაგნიტურ ნაკადს, რომლის ღერძი თანხვდება ამ ფაზის გრაგნილის ღერძს. ისე, როგორც ასინქრონულ მანქანებში, სამი ფაზის ცვლადი ნაკადების მაგნიტური წირები ქმნიან $n_0 = \frac{60f}{P}$ სიჩქარით მბრუნავ

მაგნიტურ ველს. თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ $f = \frac{Pn}{60}$

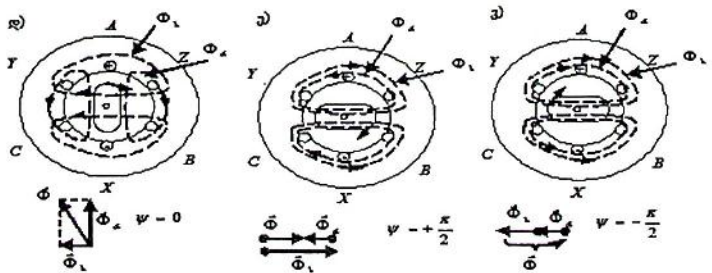
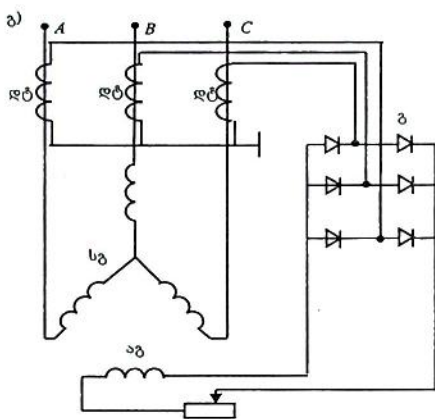
სისწიროს მნიშვნელობას, მივიღებთ: $n = n_0$, ე.ი. როტორი და სტასორის მაგნიტური ველი ბრუნავენ ერთნაირი სიჩქარით, ანუ სინქრონულად.

ბ) თვითაგზნებადი სინქრონული გენერატორი – მცირე სიმძლავრის (100 კე-მდე) სინქრონული გენერატორები მზადდება თვითაგზნებით. აგზნების

გრაგნილი იკვებება გენერატორიდან გამომუშავებული გამართული დენით (ნახ. გ).

აგზნების წრედს ქმნის სინქრონული გენერატორის თითოეულ ფაზაზე მიერთებული დენის ტრანსფორმატორები (დტ), სამფაზა დენის გამმართველი (გ) და აგზნების გრაგნილი (აგ). გენერატორის აგზნება ხდება შემდეგნაირად:

გაშვების მომენტში ნარჩი მაგნეტიზმის ხარჯზე გენერატორის გრაგნილებში აღიძვრება მცირე ემპ და მცირე დენები გენერატორის გრაგნილებში. ეს დენები აღძრავს ემპ-ს დენის ტრანსფორმატორების მეორად გრაგნილებში. გენერატორის ემპ იზრდება მანქანის სრულ აგზნებამდე.



გ) სინქრონული გენერატორის ემპ – სინქრონული გენერატორის როტორის დაბრუნებისას მუშა გრაგნილის თითოეულ

ფაზაში დაინდუქცირდება ემძ $e = -K \frac{d\Phi}{dt}$, რომელიც მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია. მაგნიტური ნაკადი იცვლება სინუსოიდურად, მისი სიხშირე განისაზღვრება როტორის n ბრუნვის სიჩქარით და მისი კუთხური სიხშირე $\omega = 2\pi f$. ემძ-ის მოქმედი მნიშვნელობა ზოგადად შეიძლება ჩაეწეროს ასე: $E = Cn\Phi$. ამ გამოსახულებაში მუდმივი სიდიდე C ითვალისწინებს მანქანის კონსტრუქციულ მონაცემებს. ასე, რომ სინქრონული გენერატორის ემძ-ის მოქმედი მნიშვნელობა მისი ძირითადი ნაკადის პროპორციული სიდიდეა.

იხე როგორც ყველა წყაროსა და გენერატორში, ძაბვა სინქრონული გენერატორის მომჭერებზე მის ემძ-ისაგან განსხვავდება მის შიგა წინაღობაზე ძაბვის ვარდნით

$$\bar{U} = \bar{E} - \bar{I}Z$$

სადაც \bar{I} დენის სიდიდეა სტატორის გრაგნილში, რომელიც დატვირთვის დენს წარმოადგენს და Z თითოეული ფაზის სრული წინაღობა.

ემძ-ის ამპლიტუდური მნიშვნელობის ცვლილება შესაძლებელია მაგნიტური ნაკადის სიდიდის ცვლილებით, რომელიც მიიღწევა აგზნების დენის სიდიდის რეგულირებით.

ღ) სტატორის რეაქცია – სინქრონული გენერატორის ჯამური მაგნიტური ველი უქმი სვლის რეჟიმში განპირობებულია მხოლოდ როტორის მაგნიტური ველით, ხოლო დატვირთვის რეჟიმში მას ემატება როტორის ბრუნვის ტოლი სიჩქარით მბრუნავი სტატორის ველი. სტატორის ველის გავლენას როტორის ველზე სტატორის რეაქცია ეწოდება, რაც ანალოგიურია მუდმივი დენის მანქანებში განხილული დუზის რეაქციისა. ადვილი მისახვედრია, რომ სტატორის რეაქციის ხასიათი დამოკიდებულია დატვირთვის წრედის ხასიათზე. სუფთა აქტიური ხასიათის დატვირთვის დროს დენი თითოეულ ფაზაში ფაზით ემთხვევა ემძ-ს და იგი მაქსიმუმს აღწევს იმ მომენტში, როცა როტორისა და სტატორის მაგნიტური ველის ძალწირები ურთიერთმართობულია (ნახ. დ). $\bar{\Phi}_{\text{სტ}}$ და $\bar{\Phi}_{\text{როტ}}$ შეკრებით მანქანის ჯამური ველი იზრდება და შესაბამისად იზრდება ემძ-ც.

სუფთა ინდუქციური დატვირთვის დროს დენი ჩამორჩება ემპ-ს 90⁰-ით. ამიტომ დენი მაქსიმუმს აღწევს, როცა როტორი მობრუნებულია 90⁰-ით და ამ დროს შესაბამისად $\Phi_{სტ}$ და $\Phi_{როტ}$ მიმართულია შემხვედრად, ჯამური ველის ნაკადი მათი სხვაობის ტოლია. სტატორის რეაქციის შედეგად მაგნიტური სისტემა განმაგნიტდება და ემპ მცირდება. ხოლო სუფთა ტევადური დატვირთვის დროს დენი წინგასწრებულია ემპ-საგან, დენის მაქსიმუმის დროს $\Phi_{სტ}$ და $\Phi_{როტ}$ ერთნაირადაა მიმართული, მანქანის ჯამური ველი იზრდება და შესაბამისად იზრდება ემპ-ც.

ცხადია, რომ გენერატორის ემპ-ის დამოკიდებულება დატვირთვის ხასიათზე არასასურველია და საჭირო ხდება სტატორის რეაქციის შემცირება. ეს შესაძლებელია სტატორსა და როტორს შორის საპაერო ღრეჩოს გაზრდით, მაგრამ ამ დროს მცირდება ჯამური მაგნიტური ველი. საჭირო სიდიდის ნაკადის შესანარჩუნებლად უნდა გაიზარდოს აგზნების დენი, რაც თავის მხრივ როტორის გრაგნილის კვეთის გაზრდას იწვევს; ამავე დროს იზრდება ამგზნები გენერატორის სიმძლავრეც.

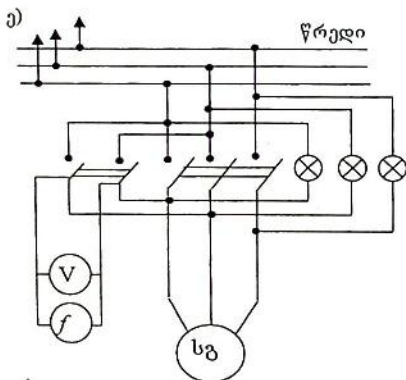
საპაერო ღრეჩოს ოპტიმალური ზომების შერჩევის შემდეგ სინქრონული გენერატორებისათვის დამუშავებულია ავტომატური სისტემები, რომელიც არეგულირებს აგზნების დენს დატვირთვის ხასიათის მიხედვით.

ე) სინქრონული გენერატორების პარალელურად მუშაობა – იმის გამო, რომ ელექტროსადგურებიდან მოთხოვნილი სიმძლავრე საკმაოდ დიდ დიაპაზონში იცვლება სეზონურად და შეიძლება ითქვას დღე – ღამის განმავლობაშიც, მიღებულია სადგურები დაპროექტდეს არა ერთ და მძლავრ გენერატორზე, არამედ ერთმანეთთან დაკავშირებულ რამდენიმე გენერატორზე, მაშინ მოთხოვნილი სიმძლავრე შეირჩევა მუშა გენერატორების რაოდენობის მიხედვით. ეს გაცილებით ეკონომიურს ხდის წყლის მარაგის ხარჯს ჰიდროსადგურებში და საწვავის ხარჯს თბოელექტრულ სადგურებში.

მუშა გენერატორების პარალელურად მუშაობის დროს აუცილებელია დაცული იყოს შემდეგი პირობები:

1. ერთნაირი იყოს თითოეული გენერატორის გამოსავალზე ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები. ეს მიიღწევა აგზნების დენის რეგულირებით;
2. ერთნაირი უნდა იყოს გენერირებული ემპ-ების სიხშირეები. ეს მიიღწევა გენერატორის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირებით;
3. ერთნაირი უნდა იყოს ფაზათა თანმიმდევრობა თითოეულ გენერატორზე. ეს კონტროლდება სპეციალური ხელსაწყოებით, რომელსაც ფაზომანქნელები ეწოდება.
4. აუცილებელია ჩართვის მომენტში ძაბვები ერთმანეთს ემთხვეოდეს ფაზით.

ამ პირობებიდან ყველაზე რთული შესასრულებელია ჩართვის იმ მომენტის შერჩევა, როცა ძაბვები ერთმანეთს ემთხვევა ან თითქმის ემთხვევა ფაზით. ამ მიზნით გამოიყენება ხელსაწყო, რომელსაც სინქრონოსკოპი ეწოდება.

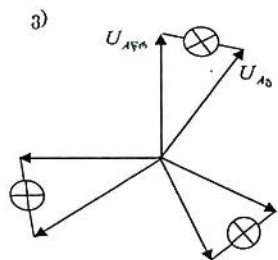


განვიხილოთ გენერატორის წრედიში პარალელურად ჩართვის ერთ-ერთი მარტივი პროცესი (ნახ. ე). აქ სამი ნათურა ჩართულია წრედისა და გენერატორის ძაბვათა სხვაობაზე, ხოლო წრედისა და გენერატორის ძაბვისა და სიხშირის ერთნაირობა კონტროლდება V ვოლტმეტრითა და f სიხშირის გამზომით. ფაზათა სიხშირეებისა და ძაბვების ტოლობის შემთხვევაში ნათურები არ უნდა ენთოს. როცა წრედის სიხშირე და გენერატორის ბრუნვის სიჩქარე ერთმანეთს არ ემთხვევა, იცვლება კუთხეები წრედისა და გენერატორის ერთსახელა ფაზებს შორის (ნახ. 3).

$(0 \neq \pi)$ დიაპაზონში შესაბამისად იცვლება ძაბვაც 0-დან (როცა ვექტორები ემთხვევა) ორმაგ ამპლიტუდამდე (როცა ვექტორები ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არიან მიმართულნი).

რაც უფრო ნაკლებად განსხვავდება სიხშირეები, მით ნაკლებად კაშკაშებს ნათურა და სიხშირეების გათანაბრება ხდება გენერატორის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირებით. გენერატორის ჩართვა ხდება დროის იმ მომენტში, როცა ნათურები არ ანთია.

გენერატორის ჩართვა ხდება აგრეთვე აგზნების რეგულირებით. თავდაპირველად გენერატორის როტორს მივიყვანთ



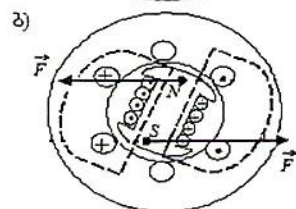
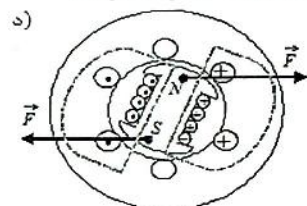
ინი აგზნებული არ არის და შემდეგ ხდება მისი აგზნება. აგზნების ჩართვის მომენტში ჩნდება მექანიკური იმპულსი, რომელსაც შეყავს გენერატორი წრედთან სინქრონულ რეჟიმში.

თანამედროვე ელექტროსადგურებში გენერატორების ჩართვა — ამორთვის პროცესები მთლიანად

ავტომატიზირებულია.

18.12. სინქრონული ძრავა

სინქრონული მანქანის ძრავულ რეჟიმში მუშაობისას მისი



ჩართვა წრედში მარტივი ჩართვით შეუძლებელია. ეს შეიძლება ავსნათ შემდეგნაირად: ვთქვათ ჩართვის მომენტში უძრავ როტორზე მოქმედებს \vec{F} ძალის მიერ შექმნილი მაბრუნე მომენტი (ნახ. ა), რომელიც ცდილობს დააბრუნოს როტორი საათის ისრის მიმართულებით, მაგრამ ინერტულობის გამო როტორი რჩება უძრავი. ნახევარი პერიოდის შემდეგ დენის მიმართულება სტატორის გრაფნილში იცვლება საწინააღმდეგოთი (ნახ. ბ) და როტორზე მოქმედებს \vec{F}_1 ძალის მიერ შექმნილი

უკუმაბრუნე მომენტი. ინერტულობის გამო როტორი კვლავ უძრავი რჩება. ამიტომ სინქრონული ძრავას ჩართვისას ხდება მისი წინასწარი გაქანება. მცირე სიმძლავრიან მანქანებში ეს შეიძლება განხორციელდეს ხელით. მძლავრ სინქრონულ ძრავებში მის როტორზე აგზნების გრაგნილთან ერთად მაგრდება ამუშავების გრაგნილი, რომელიც ასინქრონული ძრავას როტორის ანალოგიურია სინქრონული მანქანის ასამუშავებლად თავდაპირველად გამორთავენ აგზნების გრაგნილს მუდმივი ძაბვის წყაროდან და სტატორის გრაგნილზე მიაწოდებენ სამფაზა დენს. ასინქრონული ძრავას ანალოგიურად სინქრონული ძრავა იწყებს ბრუნვას, როცა როტორი მიაღწევს სინქრონულ სიჩქარესთან მიახლოებულ სიჩქარეს სპეციალური გადამრთველით ხდება აგზნების გრაგნილის ჩართვა და ძრავა შედის სინქრონულ რეჟიმში.

დანაკარგები სინქრონულ ძრავებში განისაზღვრება ასინქრონული მანქანის ანალოგიურად ეს არის ელექტრული, მაგნიტური და მექანიკური დანაკარგები, მაგრამ ძრავას ზოგიერთი თავისებურება ანიჭებს მას როგორც დადებით ისე უარყოფით მხარეებს ასინქრონულ მანქანასთან შედარებით. სინქრონული მანქანის მნიშვნელოვან უპირატესობად ითვლება რომ იგი ბრუნავს სტაბილური სიჩქარით და მისი ბრუნვის სიჩქარე დამოკიდებული არ არის ძრავას ლილვზე განვითარებული მექანიკური მომენტის სიდიდეზე. ეს თვისება ბევრი ელექტროტექნიკური დანადგარის მოთხოვნაა. გარდა ამისა სინქრონული მანქანის მაბრუნე მომენტის სიდიდე ნაკლებადაა დამოკიდებული მკვებავი ძაბვის სიდიდეზე და გარდა ამისა მუშაობს წინგასწრებული სიმძლავრის კოეფიციენტით ანუ გააჩნია უნარი აამაღლოს დანადგარის ჯამური სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi$.

უარყოფით მხარეებად ითვლება ორმაგი ძაბვის აუცილებლობა, ამუშავების შედარებითი სირთულე, სიჩქარის რეგულირება შესაძლებელია მხოლოდ სიხშირის ცვლილებით და გადატვირთვების დროს ამოვარდება სინქრონიზმის რეჟიმიდან.

ნ ა წ ი ლ ი მ ე ე ქ ს ე
ე ლ ტ ე ქ ნ ი კ უ რ ი ბ ა გ ო მ ე ე ბ ი

თავი XIX. ელემტრო მგომელოზის საშუაქვლები

19.1. ერთეულთა სისტემები

გაზომვები ადამიანის „თანდაყოლილი“ თვისებაა. იგი გაზომვებს იწყებს გაჩენისთანავე. დაბადების პირველი საანკტო მონაცემები, დაბადების თარიღთან ერთად, მისი სიგრძე და წონაა.

იზომება ყველაფერი, ყველგან და ყოველთვის; გაზომვის აუცილებლობას მოითხოვს ნებისმიერი ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის გაკონტროლება, მანქანა - დანადგარების მუშაობის რეჟიმების შესწავლა, გამომუშავებული და დახარჯულ ენერჯიებს შორის ფარდობის დადგენა, უსაფრთხოების პირობების დაცვა, მართვის ავტომატური რეჟიმების შესაძლებლობა და მრავალი სხვა.

მეტი სიცხადისა და მოხერხებულობისათვის საერთაშორისო შეთანხმებით მიღებულია, რომ ერთი ფიზიკური სიდიდის აღნიშვნა ყველგან იყოს ერთნაირი, ყველგან იზომებოდეს ერთნაირ ერთეულებში და დაცული იყოს ამ ერთეულის სტანდარტი. ამ მიზნით შემოღებულია ერთეულთა სისტემები, რომელთაგან ყველაზე გაერცვლებულია ე.წ. SI (System International) სისტემა, შედარებით ნაკლებად - CGSE სისტემა.

ქვემოთ ნაჩვენებია ზოგიერთი ფიზიკური სიდიდის საერთაშორისო აღნიშვნა და ერთეული ამ სისტემებში (ცხრ. №1).

ცხრილი №1

№	ფიზიკური სიდიდე	აღნიშვნა	ერთეული		დამოკიდებულება ერთეულებს შორის
			SI	CGSE	
1	სიგრძე (მანძ)	$l(S)$	მ	სმ	$1\text{მ}=100\text{სმ}$
2	მასა	m	კგ	გ	$1\text{კგ}=1000\text{გ}$
3	დრო	t	წმ	წმ	-
4	ძალა	\bar{F}	ნიუტონი	დინი	$1\text{ნ}=10^5\text{დნ}$
5	მუხტი	q	კულონი		
6	დენი	I	ამპერი		
7	ძაბვა	U	ვოლტი		
8	სიმძლავრე	P	ვატი		
9	წინაღობა	R	ომი		
10	გამტარობა	$G = 1/R$	სიმენსი		

19.2. ელექტრომზომი ხელსაწყოების კლასიფიკაცია

საზომი ტექნიკის სხვა სახეებთან შედარებით ელექტრული გაზომვები გამოირჩევა დიდი სიზუსტით, სიმარტივით და საიმედოობით. ამის გამო ელექტრომზომი ხელსაწყოების მექანიზმები იხმარება არა მარტო უშუალოდ ელექტრული სიდიდეების გასაზომად, არამედ სხვა, ბევრი არაელექტრული სიდიდის გასაზომადაც. გასაზომი სიდიდეების ნაირგვარობის გამო გამზომი მექანიზმებიც ნაირგვარია და მათი კლასიფიკაცია ხდება მთელი რიგი ფაქტორებით. ასე მაგალითად: გასაზომი სიდიდის მიხედვით არსებობს დენის, ძაბვის, სიმძლავრის დახარჯული ენერჯის, სიხშირის, ძერის კუთხის და სიმძლავრის კოეფიციენტის საზომი ხელსაწყოები; გასაზომი დენის სახის მიხედვით ელექტრომზომი ხელსაწყოებია: მუდმივი დენის, ერთფაზა ცვლადი დენის და სამფაზა დენის; გასაზომი სიზუსტის მიხედვით მზომი ხელსაწყოები დაყოფილია რვა კლასად: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 და 4,0 კლასის. ნომერი და დასაშვები ცდომილების მნიშვნელობა ამოტანილია ხელსაწყოს სკალის პანელზე. 1,5 კლასის ხელსაწყოების ცდომილების დასაშვები მნიშვნელობაა 1,5% და ა.შ. ხელსაწყოები, რომელთა ცდომილება 4%-ს აღემატება კლასებით კლასიფიკაციას არ ექვემდებარება, ესენია, უმეტესად ფარის ხელსაწყოები, რომელთა მთავარ დანიშნულებად გასაზომი სიდიდის ინდიკაცია ითვლება. 0,05 – 0,5 ფასის ხელსაწყოების დანიშნულებაა გაზომვის დიდი სიზუსტე და გამოიყენება როგორც სხვა მზომი ხელსაწყოების მაკონტროლებელი ხელსაწყოები და ლაბორატორიული კვლევების დროს.

ერთეული არის ძირითადი და წარმოებული. ძირითადი ერთეულებია: მეტრი, წამი, კილოგრამი, კულონი და ა.შ. წარმოებული ერთეული მიიღება ამა თუ იმ სიდიდის გამოსათვლელი ფორმულიდან და ხშირად აქვს თავისი დასახელება.

მაგალითად, მოძრაობის სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით: $V = \frac{S}{t}$. მისი ერთეული SI სისტემაში არის მ/წმ და სხვა დასახელება მას არა აქვს. ელექტრული დენის საანგარიშო ფორმულაა: $I = \frac{q}{t}$, მის ერთეულს (კულონი/წმ) ეწოდება ამპერი.

ერთეულის ერთი სისტემიდან მეორეში გადასვლა ხდება გამოსათვლელ ფორმულაში გამოყენებულ ძირითად ერთეულ-

თა შორის დამოკიდებულებით. მაგალითად, ძალა გამოითვლება ფორმულით: $F = ma$. ერთეულთა SI სისტემაში მისი ერთეულია კგ $\frac{მ}{წმ^2}$, რომელსაც ეწოდება ნიუტონი (ნ); CGSE სისტემაში გ $\frac{სმ}{წმ^2}$. ამ ერთეულს ეწოდება დინი (დნ).

$$\text{კგ } \frac{მ}{წმ^2} = 1000 \text{ გ} \cdot \frac{100 \text{ სმ}}{წმ^2} = 10^5 \text{ გ } \frac{სმ}{წმ^2}, \text{ ე.ი. } 15 = 10^5 \text{ დნ.}$$

ჯერადი ერთეულები – გაზომვის შედეგების ჩაწერის გამარტივებისა და მოხერხებულობის მიზნით შემოღებულია ფიზიკურ სიდიდეთა ჯერადი ერთეულები. ხშირ შემთხვევაში ეს ჯერადობა გამოისახება 10-ის ხარისხებით შემდეგი დასახელებებით: მილიონჯერ მეტი – მეგა, ათასჯერ მეტი – კილო, ათასჯერ ნაკლები – მილი, მილიონჯერ ნაკლები – მიკრო და ა.შ. ცხრილი №2-ში მოცემულია მამრავლები, მათი დასახელებები და საერთაშორისო აღნიშვნები

ცხრილი 2

მამრაველი	დასახელება	ქართული აღნიშვნა	საერთაშორისო აღნიშვნა
10^{18}	ექსა	ე	E
10^{15}	პეტა	პ	P
10^{12}	ტერა	ტ	T
10^9	გიგა	გ	G
10^6	მეგა	მგ	M
10^3	კილო	კ	K
10^2	ჰექტო	ჰ	h
10^1	დეკა	დეკ	da
10^{-1}	დეცი	დეც	d
10^{-2}	სანტი	ს	c
10^{-3}	მილი	მ	m
10^{-6}	მიკრო	მკ	mk(μ)
10^{-9}	ნანო	ნ	n
10^{-12}	პიკო	პ	p
10^{-15}	ფენტო	ფ	f
10^{-18}	ატო	ა	a

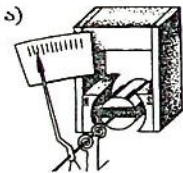
დავალება: 1) გამოვსახოთ წელიწადის ხანგრძლივობა: საუკუნეებში, თვეებში, დღე – ღამეებში; საათებში; წუთებში და წამებში. ჩაეწეროს ეს ერთეულები 10-ის ხარისხის ერთეულებში.

2) რას უდრის 5 ლიტრი წყლის მასა - კგ-ში; ტონებში; გრამებში და მილიგრამებში. უჩვენეთ დამოკიდებულებები ამ სიდიდეებს შორის 10-ის ხარისხებში და შესაბამისი დასახელებებით.

193. ელექტრომომი ხელსაწყოების სისტემები

ელექტრომომ ხელსაწყოებს მოქმედების პრინციპად უდევს სხვადასხვა ელექტრული მოვლენები და ეფექტები: მაგნიტური ველის დენიან გამტარზე ძალური ზემოქმედების უნარი, დენიანი კოჭების მაგნიტური ველების ურთიერთქმედება, ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა და ა.შ. შესაბამისად, ხელსაწყოები იყოფა კლასებად. ესენია მაგნიტოელექტრული, ელექტრომაგნიტური, ინდუქციური და სხვა. ძალური ქმედების ეფექტზე მომუშავე ხელსაწყოები ძირითადად მექანიკური სისტემის ხელსაწყოებია, სადაც მოძრავი სისტემის მდგომარეობით განისაზღვრება გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობა. ზოგიერთ მათგანს შეეხებთ შესაბამისი ეფექტის გამოყენების მაგალითებში, მაგრამ მიზანშეწონილად ჩავთვალოთ გავიმეოროთ და თავი მოვუყაროთ ყველა სისტემას ერთად.

ა) მაგნიტოელექტრული სისტემის ხელსაწყოები - ამ სისტემის მზომი ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი ემყარება იმ

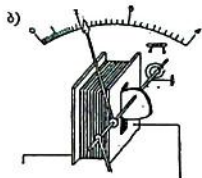


ა) მოვლენას, რომ მუდმივ მაგნიტურ ველში შეტანილ დენიან ჩარჩოზე მოქმედებს მობრუნის მომენტი, რომელიც ჩარჩოში გამავალი დენის პროპორციულია და გამოითვლება ფორმულით: $M_{\text{მაგ}} = WBld$, სადაც l ჩარჩოს სიგრძეა, d - სიგანე, W - ხეიების რიცხვი და B - მაგნიტური ველის ინდუქცია. ეს სიდიდეები მუდმივია, ახასიათებს ხელსაწყოს და ამ მუდმივების გათვალისწინებით გვაქვს: $M_{\text{მაგ}} = C_1 I$. მობრუნის მომენტის უკუ მომენტს ქმნის ზამბარის სიხისტით განპირობებული $M' = C_2 \alpha$ მომენტი, სადაც α მობრუნების კუთხეა. მზომ მექანიზმებში დენის არსებობის დროს ჩარჩო მობრუნდება და გაჩერდება, როცა

$$M_{\text{მაგ}} = M' \text{ ანუ } C_1 I = C_2 \alpha, \text{ საიდანაც } \alpha = \frac{C_1}{C_2} I, \text{ ე.ი. ჩარჩოს}$$

მობრუნების კუთხე წონასწორულ მდგომარეობაში ჩარჩოში გამავალი დენის პროპორციულია. იმის გამო რომ მობრუნის მომენტის მიმართულება ჩარჩოში დენის მიმართულებაზეა დამოკიდებული, ამ სისტემის ხელსაწყოები გამოიყენება მხოლოდ მუდმივი ძაბვისა და დენის გასაზომად.

ბ) ელექტრომაგნიტური სისტემის ხელსაწყოები – ელექტრო-

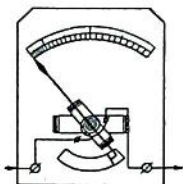


მაგნიტური სისტემის ხელსაწყოებში (ნახ. ბ) მაგნიტური კოჭის ღრმულში შეიზიდება რკინის ფირფიტა. შეზიდვის ძალა კოჭაში გამავალი დენის სიდიდის პროპორციულია. რამდენადაც მაგნიტურ ველს ქმნის როგორც მუდმივი ისე ცვლადი დენები ამ სისტემის ხელსაწყოები გამოიყენება როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი ძაბვისა და დენის

გასაზომად.

გ) ელექტროდინამიური სისტემის ხელსაწყოები (ნახ. გ) – ამ

ა)

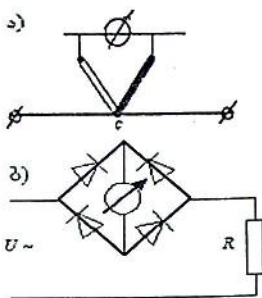


სისტემის ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი დამყარებულია ორი დენიანი კოჭის ურთიერთქმედებაზე. თუ ერთ კოჭაში გასაზომი დენის პროპორციული დენია, ხოლო მეორეში ძაბვისა, მაშინ ველების ურთიერთქმედების ძალა პროპორციულია როგორც დენის ისე ძაბვის ე.ი. ელექტროდი-

ნამიური სისტემის ხელსაწყოებით შეიძლება გაეზომოს სიმძლავრე ($P = UI$), ძერის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის ϕ (ფაზომეტრი). ამ უკანასკნელის სკალაზე შეიძლება დატანილი იქნას დამატებითი დანაყოფები ($\cos \phi$) და ხელსაწყო წარმოადგენს აგრეთვე სიმძლავრის კოეფიციენტის მზომ ხელსაწყოს.

დ) თბოელექტრული და დეტექტორული სისტემის ხელსაწყოები – ამ სისტემის ხელსაწყოებში მზომი მექანიზმი მაგნიტო-ელექტრული სისტემის ხელსაწყოა. მოძრავი კოჭის გრაგნილში გადის თერმოწყვილში აღძრული დენი, თერმოწყვილი კი გამტართანაა მიერთებული, რომელშიც გადის გასაზომი დენი და იგი ცხელდება ამ დენის პროპორციულად. შესაბამისად თერმოწყვილში ბოლოებზე აღძრული ემმ გასაზომი დენის

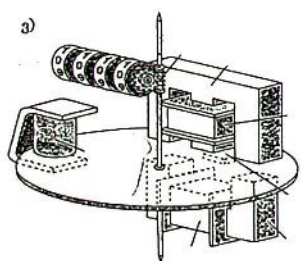
პროპორციულია. ადვილი მისახვედრია, რომ გასაზომი დენი შეიძლება იყოს როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი და გამოდის, რომ მაგნიტოელექტრული სისტემის ხელსაწყოთი შეიძლება გაიზომოს ცვლადი დენიც. იგივე შეიძლება მოხდეს დეტექტორულ სისტემის ხელსაწყოშიც. აქ მაგნიტოელექტრული სისტემის მზომი მექანიზმი ჩართულია გამმართველის ბოგიურში (ნახ. ბ).



ე) ინდუქციური სისტემის ხელსაწყოები - ინდუქციური სისტემის ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპი



ემყარება გამტარში გრიგალური დენების აღძვრის მოვლენას მისი ცვლადი ნაკადით განჭოლვის დროს და თუ ამ გამტარს მოძრაობა შეუძლია, მაშინ მაგნიტური ველის გრიგალურ დენებზე ძალური ზემოქმედების უნარით გამტარი ამოძრავდება. მოძრავი გამტარის სიჩქარით ვმსჯელობთ გრიგალური დენების აღძვრელი გასაზომი ელექტრული სიდიდეების რაოდენობაზე. ამ სისტემის ხელსაწყოებიდან განხილული გვაქვს ინდუქციური ტახომეტრი (ნახ. ე) და ინდუქციური მრიცხველი (ნახ. ე).



1) მრიცხველის ნომინალური მუდმივა - ეს სიდიდე ელექტროენერგიის ის მნიშვნელობაა, რომელსაც აღრიცხავს მთვლელი მექანიზმი დისკის ერთხელ შემობრუნების დროს. პრაქტიკულად გამოიყენება C_6 ნომინალური მუდმივას შებრუნებული სიდიდე: $\frac{1}{C_6} = \frac{n}{1კვსთ}$ - მრიცხველის

ხველის გადაცემის მუდმივა. ეს ციფრი ნაჩვენებია მრიცხველის პანელზე;

2) მრიცხველის ფარდობითი ცდომილება: $\Delta = \frac{W_1 - W_2}{W} 100\%$,

სადაც W მრიცხველის მიერ აღრიცხული ენერგიის სიდიდეა, W_2 - დახარჯული ენერგიის სიდიდე.

3) შესწორების კოეფიციენტი - $K = \frac{W_1}{W_2}$, რომელზეც უნდა

გამრავლდეს მრიცხველის ჩვენება, რომ განისაზღვროს W_2 - დახარჯული ენერგია.

4) მრიცხველის მგრძობიარობა - $\frac{I_{\text{მინ}}}{I_6} 100\% = \frac{P_{\text{მინ}}}{P_6} 100\%$.

განსაზღვრავს მინიმალური დენის მნიშვნელობის განსხვავებას ნომინალურ დენთან, როცა ძაბვა ნომინალური სიდიდისაა.

5) თვითსვლა - ეს არის ბრუნვათა რიცხვი, რომელიც განპირობებულია მხოლოდ ძაბვის გრაგნილის ნაკადით.

მრიცხველი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ნორმებს:

1) მრიცხველს არ უნდა ჰქონდეს თვითსვლა ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობის (90 - 110)% დიაპაზონში.

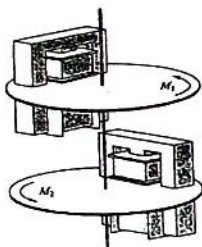
2) მრიცხველის ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს მის კლასს ნომინალური დატვირთვის (25 - 100)% დიაპაზონში.

3) 2,5 კლასის მრიცხველის მგრძობიარობა არ უნდა აღემატებოდეს 2% -ს.

ნომინალური მონაცემების ნორმიდან გადახვევის შემთხვევაში მრიცხველის მოძრავი სისტემის კორექცია შესაძლებელია შემდეგი გზით:

- 1) ელექტრომაგნიტების მაგნიტური ნაკადის შეცვლა შესაძლებელია ამ მაგნიტის მაგნიტური შუნტის მდგომარეობის ცვლილებით.
- 2) დენის გრაგნილის მაგნიტური ნაკადის შესაცვლელად უნდა გაიზარდოს ან შემცირდეს დენის გრაგნილის ხეიათა რიცხვი. შესაძლებელია აგრეთვე დენის გრაგნილზე ჩამოეცვას ალუმინის შეკრული რგოლები მათში დაინდუქცირებული დენები განამაგნიტებს მაგნიტის გულარას.
- 3) დისკოს ბრუნვის სიჩქარის სარეგულირებლად შესაძლებელია მამუხრუჭებელი მუდმივი მაგნიტის მდგომარეობის ცვლილება.

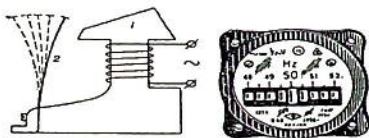
სამფაზა მრიცხველი - სამფაზა მრიცხველებში გამოყენებული იგივე კონსტრუქციული ელემენტები, როგორც ერთფაზაში, მხოლოდ ეს მრიცხველები მზადდება ორ ელემენტიანი ან სამელემენტიანი. ორი (ან სამი) დისკო დამაგრებულია ერთ საერთო ღერძზე. თითოეულ ფაზაში გამავალი დენები და ძაბვები ქმნიან დისკოებზე მობრუნ მომენტებს, რომლებიც ჯამდება და დისკოს ბრუნვის კუთხური სიჩქარე სამივე ფაზაში განვითარებული აქტიური სიმძლავრის და მაშასადამე დახარჯული აქტიური ენერჯიის პროპორციულია.



დღეისთვის აქტიური ენერჯიის აღრიცხვისათვის უფრო ფართოდ გამოიყენება ციფრული ანუ მიკროპროცესორული მრიცხველები და ანალიზატორები, რომლებსაც გააჩნიათ აქტიური და რეაქტიული ენერჯიების გამოთვლის რეჟიმები. გამოთვლები წარმოებს კომპიუტერზე შესაბამისი პროგრამით.

ვ) ვიბრაციული სისტემის ხელსაწყოები - ვიბრაციული სისტემის მექანიზმში ცვლადი დენი იწვევს მგრძობიარე ელემენტის რხევას, რომლის სიხშირე დენის სიხშირის პროპორციულია, ამიტომ აღძრული მექანიკური რხევების სიხშირით შეიძლება ვიმსჯელოთ ცვლადი დენის სიხშირეზე ანუ შეიძლება დავამზადოთ სიხშირის მზომი ვიბრაციული ხელსაწყო.

ელექტრომაგნიტის (1) წინ, რომელშიც გადის გასაზომი დენი მაგრდება რამდენიმე დრეკადი ფირფიტა (2), რომლებიც

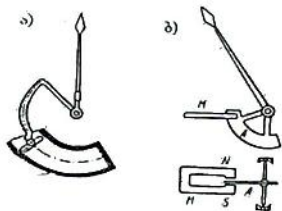


სხვადასხვა სიგრძისაა ანუ გააჩნიათ სხვადასხვა საკუთარი რხევების სიხშირე. (1) კოჭაში დენის გატარების დროს მაქსიმალური ამპლიტუდით ირ-

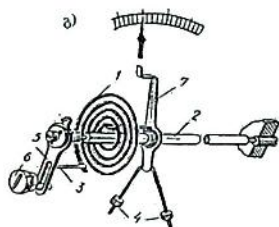
ხევა ის ფირფიტა, რომლის საკუთარი რხევის სიხშირე ემთხვევა დენის სიხშირეს. ამ ფირფიტის ამორჩევიტ ვმსჯელობთ დენის სიხშირეზე.

19.4. მზომი ხელსაწყოების კვანძები

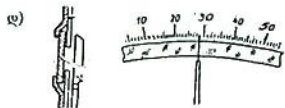
ა) დემფერი მექანიკური – მექანიკური ქმედების გამზომ



ხელსაწყოებში გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობა განისაზღვრება მოძრავი სისტემის გადაადგილებით. ამ დროს წარმოიშვება სისტემის რხევა და საჭირო ხდება კონსტრუქციების დამუშავება მექანიკური რხევების ჩასახშობად. ამ მოწყობილობას დემფერი ეწოდება. გავრცელებულია საჰაერო და მაგნიტონდუქციური ტიპის დემფერები.



საჰაერო დემფერი წარმოადგენს რკალური ფორმის ცილინდრს, რომლის ერთი ბოლო დახურულია. ცილინდრში მოთავსებული დგუში, რომელიც მექანიკურადაა დაკავშირებული გამზომი მექანიზმის ისართან ნახ. ა. ცილინდრში დგუშის მოძრაობის რხევას აქრობს მასში მოთავსებული ჰაერი.



მაგნიტონდუქციური სისტემის დემფერებში მაგნიტურ ველში მოძრაობს ალუმინის ფირფიტა, რომელშიც დაინდუქცირებული გრიგალური დენები ახშობს რხევებს (ნახ.ბ).

ბ) უკუმომენტის აღძვრა – ჩარჩოს ბრუნვის უკუმომენტის აღმძვრელი სისტემა (ნახ.გ) წარმოადგენს სპირალურ ზამბარას (1), რომლის ერთი ბოლო ხისტადაა დამაგრებული, ხოლო მეორე უკავშირდება ბრუნვის ღერძს (2). ზამბარის საწყისი მდგომარეობის სარეგულიროდ გათვალისწინებულია სისტემა (3,5,6) რომელიც საშუალებას იძლევა მზომი ხელსაწყოს ისარი (7) გაზომვის წინ დაეაყენოთ სკალის ნულოვან მდგომარეობაში (6) მანჭვალის საშუალებით. ეს მანჭვალი ამოტანილია ხელსაწყოს პანელზე (4) წარმოადგენს საპირწონეს ისრის წონასწორობის შესანარჩუნებლად.

გ) სკალაზე დაგანილი აღნიშვნები – ელექტრომზომი ხელსაწყოების სკალის უპირველესი დანიშნულებაა ციფერბლატზე ისრის მდგომარეობით წაეკითხოთ გასაზომი სიდიდის რაოდენობრივი მნიშვნელობა. ხშირად ისრის ქვეშ დატანილია სარკე (ნახ. დ), რომლის დანიშნულებაა გაზარდოს ათელის სიზუსტე. ამისათვის სკალას დაეხედავთ ზემოდან იმ კუთხით, რომ ისრის მდგომარეობა დაემთხვეს მის სარკულ ანარეკლს. დაკვირვების ამ კუთხით წაიკითხება ისრის ზუსტი ჩვენება.

გარდა ამისა ელექტრომზომი ხელსაწყოების არჩევის მიზნით მის სკალაზე გამოტანილია მთელი რიგი აღნიშვნები, რომელიც მიუთითებს გასაზომ სიდიდეს, მის ზედა ზღვარს და ხასიათს, ხელსაწყოს სისტემას, კლასს და ა.შ.






ეს აღნიშვნები მოვიყვანოთ ცხრილების სახით

ცხრილი №1

გასაზომი სიდიდე	ხელსაწყოს დასახელ.	პირობითი აღნიშვნა
დენი	ამპერმეტრი	A
	მილიამპერმეტრი	mA
	მიკოამპერმეტრი	μ A
ძაბვა	ვოლტმეტრი	V
	მილივოლტმეტრი	mV
	კილოვოლტმეტრი	kV
სიმძლავრე	ვატმეტრი	W
	კილოვატმეტრი	kW
ენერჯია	მრიცხველი	kWh
ძერის კუთხე და სიმძ.კოეფ	ფაზომეტრი	φ
სიხშირე	სიხშირმზომი	cos φ
წინაღობა	ომმეტრი	Hz
	მეგაომმეტრი	Ω
		M Ω

ცხრილი №2

ხელსაწყოს სისტემა	აღნიშვნა
მაგნიტოელექტრული	
ელექტრომაგნიტური	
ლოგომეტრი	
ელექტროდინამიური, ინდუქციური	

აღნიშვნა	დენის სახეები
	მუდმივი დენი
	მუდმივი და ცვლადი
	ერთფაზა ცვლადი
	სამფაზა ცვლადი
1,5	სიზუსტის კლასი
	იზოლაციის ხარისხი 7კვ -ზე

19.5. ძირითადი მოთხოვნები მზომ ხელსაწყოებზე ისე როგორც ყველა ტიპის ხელსაწყოებს ელექტრომზომ ხელსაწყოებსაც წაეყენებათ შემდეგი ძირითადი მოთხოვნები:

- გაზომვის სიზუსტე;
- უშუალოდ გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობის წაკითხვა სკალაზე;
- მინიმალური მოთხოვნილი სიმძლავრე;
- მინიმალური დროის გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობის დამყარებამდე;
- მდგრადობა გადატვირთვაზე;
- გარემო ფაქტორებზე ნაკლებად მგრძობიარობა;
- გაზომვის პროცესის სიმარტივე;
- ექსპლუატაციის დროის ხანგრძლივობა.

19.6. დანაყოფის ფასის დადგენა ისრიან ხელსაწყოებზე ხშირ შემთხვევაში ელექტრომზომი ხელსაწყოები გამოდის გასაზომი სიდიდის სხედასხვა მნიშვნელობის ზედა ზღვარით. ზღვარის არჩევა ხდება დამატებითი მომჭერით, კლავიშით, შტეფსელური ტიპის ღრმულით და სხვა.

სკალა დაგრაადუირებულია გარკვეულ დიაპაზონში, მაგალითად 0 - 150; 0 - 100 და სხვა.

გასაზომი სიდიდის ზედა ზღვარის არჩევის შემდეგ დანა-
ყოფის ფასი შეიძლება განისაზღვროს პროპორციიდან. აღენიშ-
ნოთ: ისრის მაქსიმალური გადახრა (a) – გაზომვის ზედა
ზღვარი (b); ისრის გადახრა გაზომვის პროცესში (c) ანუ
გაზომილი დანაყოფების რიცხვი – გასაზომი სიდიდე (x). a -ს
შეესაბამება b ; c -ს - x .

$$\frac{a}{c} \frac{b}{x} \text{ საიდანაც } x = \frac{c \cdot b}{a} \text{ დანაყოფის ფასია } \frac{b}{a}.$$

განვიხილოთ მაგალითი: ვთქვათ ვოლტმეტრის პანელზე
ამოტანილია კლავიშები გაზომვის ზედა ზღვრების ჩვენებით,
150 ვ, 300ვ, 600ვ.

სკალა დაგრადუირებულია (0 – 150) დიაპაზონში. ვოლტ-
მეტრის გაზომვის წრედში ჩართვის შემდეგ თუ ავირჩევთ კლავ-
იშს 150 ვ, დანაყოფის ფასი იქნება $\frac{150}{150} = 1$, ე.ი. ისრის გადა-
ხრა პირდაპირ უჩვენებს გასაზომი ძაბვის სიდიდეს. თუ ავირ-
ჩევთ კლავიშს 300ვ, მაშინ დანაყოფის ფასი იქნება $\frac{300}{150} = 2$ ანუ
ისრის ჩვენება უნდა გავამრავლოთ 2-ზე და ა.შ. გაზომვის სი-
ზუსტის გაზრდის მიზნით სასურველია გაზომვის ზედა ზღვა-
რი ხელსაწყოზე ავირჩიოთ ისეთი, რომ მეტი იყოს გასაზომი
სიდიდის მნიშვნელობაზე, მაგრამ რაც შეიძლება მასთან მია-
ხლოებული. მაგალითად, თუ ზემოთ მოყვანილ მაგალითში გა-
საზომია დაახლოებით 100 ვ რიგის ძაბვა, უმჯობესია ავირ-
ჩიოთ ზედა ზღვარი 150ვ და არა 300 და მითუმეტეს 600.

19.7. ცნება გაზომვის ცდომილების შესახებ

არცერთი გაზომვის შედეგი არ არის იდეალურად ზუსტი.
გაზომვის შედეგები ყოველთვის მეტ – ნაკლები სიზუსტით უა-
ხლოვდება გასაზომი სიდიდის ნამდვილ მნიშვნელობას და იმ
მიზნით, რომ განესაზღვროთ რამდენია მათ შორის სხვაობა,
შემოგვაქვს ცნება გაზომვის ცდომილების შესახებ.

გაზომილი (A) და გასაზომი სიდიდის ნამდვილ მნიშვნელო-
ბას (A_0) შორის სხვაობას აბსოლუტური ცდომილება ეწოდება.

$$\Delta A = A - A_0$$

აბსოლუტური ცდომილებით ვერ ვიმსჯელებთ გაზომვის ცდომილებაზე რამდენადაც იგი გასაზომი სიდიდის დიაპაზონზეა დამოკიდებული. ასე მაგალითად, თუ იზომება დენი, რომლის სიდიდე 1 ამპერის რიგისაა და აბსოლუტური ცდომილება 0,3 ამპერია, იმ დენების გაზომვისას, რომლის რიგი 1000 ამპერია და აბსოლუტური ცდომილება 5 ამპერია, გაზომვები უფრო ზუსტია, ვიდრე წინა შემთხვევაში.

ამიტომ გაზომვის ცდომილება ფასდება ფარდობითი ერთეულებით და გამოისახება პროცენტობით.

გაზომვის ფარდობითი ცდომილება - $\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%$. ის-

რიანი მზომი ხელსაწყოების გაზომვის სიზუსტე ხასიათდება სიზუსტის კლასით და როგორც §19.2-ში აღვნიშნეთ, მიღებულია სიზუსტის კლასის შემდეგი მნიშვნელობები: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 და 4. ასე მაგალითად, თუ გაზომვის ხელსაწყო სიზუსტის კლასი 0,5-ია, მაშინ მისი ჩვენება $\pm 5\%$ -ით განსხვავდება გასაზომი სიდიდის ნამდვილი მნიშვნელობისაგან.

პრაქტიკულ საქმიანობაში გაზომვის პირობები მოითხოვს გაზომვის სიზუსტის სხვადასხვა კლასს.

19.8. დენის, ძაბვის, სიმძლავრის გაზომვა და დახარჯული ელექტრული ენერჯიის აღრიცხვა და $\cos \varphi$ -ს განსაზღვრის გზები ერთფაზა წრედებში

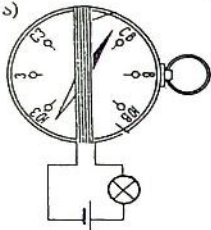
პირდაპირი ეწოდება ისეთ ჩართვას, როცა მზომი ხელსაწყოების შესაძლებლობა ანუ მათი გაზომვის ზედა ზღვარი, ან მგრძნობიარობა აკმაყოფილებს გასაზომი სიდიდეების მნიშვნელობებს და წრედში ირთება უშუალოდ.

პირდაპირი ჩართვის დროს თუ გასაზომი სიდიდე იმდენად მცირეა, რომ ხელსაწყო ვერ გრძნობს მას, მაშინ ხდება მისი წინასწარ გაძლიერება და იზომება გაძლიერებული სიდიდე. გაზომვის შედეგით და გაძლიერების კოეფიციენტით იანგარიშება გასაზომი სიდიდე.

პირიქით შემთხვევაში თუ მზომი ხელსაწყოების გაზომვის ზედა ზღვარი ნაკლებია გასაზომ დენსა და ძაბვაზე, მაშინ გამოიყენება ძაბვისა და დენის ტრანსფორმატორები, რომელთა

საშუალებითაც ხდება მათი წინასწარ დადაბლება და შემდგომ გაზომვა (იხ. § 6.4)

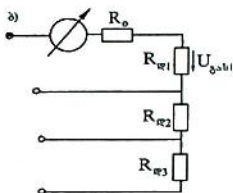
ა) მცირე დენის გაზომვა (გალვანოსკოპი) – გალვანოსკოპი მეტად მგრძობიარე ხელსაწყოა და გამოიყენება მცირე სიდიდის დენების გასაზომად (ნახ. ა).



მისი მოქმედების პრინციპი ემყარება იმ მოვლენას, რომ მაგნიტური ისარი, რომელსაც ჩვეულებრივ მდგომარეობაში უკავია განსაზღვრული ორიენტაცია, დენიან კოჭასთან მიახლოებისას იცვლის ორიენტაციას. გალვანოსკოპი მოწყობილია შემდეგნაირად: კომპასი მოთავსებულია კოჭაში ისე, რომ მისი მაგნიტური ისარის ორიენტირებული მდგომარეობა ხვეების მართობულია. კოჭაში დენის გატარების დროს კოჭის მაგნიტური ველი ცდილობს ისარი მოაბრუნოს ისე, რომ მან დაიკავოს ხვეების პარალელური მდგომარეობა. ისრის ამ მდგომარეობაში გადასვლას ეწინააღმდეგება დედამიწის მაგნიტური ველი და როცა ამ ორი ველის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების მაბრუნე მომენტები გატოლდება ისარი რჩება გარკვეული კუთხით მობრუნებულ მდგომარეობაში. კოჭაში დენის გაზრდით კოჭის მაგნიტური ველის მაბრუნე მომენტის სიდიდე აჭარბებს დედამიწის მაგნიტური ველის მაბრუნე მომენტის სიდიდეს და ისრის მობრუნების კუთხე იზრდება. ახლა თუ კომპასის სკალას დაეაგრადუირებთ დენის სიდიდის შესაბამისად, მივიღებთ დენის საზომ ხელსაწყოს, ე.ი. კოჭაში გაეატაროთ სხვადასხვა და ცნობილი სიდიდის დენები ისრის თითოეულ მდგომარეობას დაეაწეროთ შესაბამისი ცნობილი დენის სიდიდე. შემდგომ კოჭაში გასაზომი უცნობი სიდიდის დენის გატარების დროს, მაგნიტური ისარი კომპასის ციფერბლატზე უჩვენებს დენის სიდიდეს.

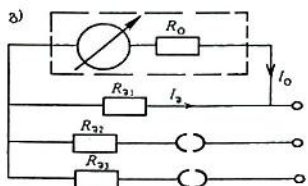
ბ) ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი – ხშირ შემთხვევაში და თითქმის უმეტესად ძაბვისა და დენის მზომი ხელსაწყოების ანუ ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის მგრძობიარე მექანიზმები ერთი და იგივეა. არჩევანია იმაზე, თუ რომელ წრედს გამოვიყენებთ გაზომვების დროს.

თუ R_0 წინაღობის მექანიზმთან მიმდევრობით შევართებთ $R_{\Sigma 1}$ წინაღობას (ნახ. ბ), რომელიც გაცილებით მეტია მზომი მექანიზმის კონტურის R_0 წინაღობაზე, მაშინ $U_{\text{გას1}}$ გასაზომი ძაბვის მეტი ნაწილი მოვა $R_{\Sigma 1}$ დამატებით



წინაღობაზე, ნაკლები ნაწილი R_0 -ზე, რომელიც არ ამეტებს მასზე ძაბვის დასაშვებ მნიშვნელობას და მიიღება ძაბვის მზომი ხელსაწყო – ვოლტმეტრი (ნახ. გ).

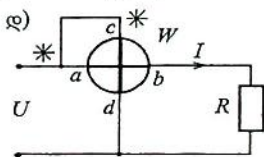
პარალელურად შეერთებული წრედი დენის გამყოფი წრე-



დია. ე.ი. მზომი მექანიზმის R_0 წინაღობასთან პარალელურად ჩავრთოთ $R_{\Sigma 1}$ შუნტი. მაშინ გასაზომი დენის ნაწილი I_{Σ} გაივლის მასში, ნაწილი I_0 მზომ მექანიზმში, რომელიც არ ამეტებს მასში გამავეალი დენის მნიშვნელობას და მიიღება დენის საზომი ხელსაწყო – ამპერმეტრი.

R_{Σ} დამატებითი წინაღობისა და R_{Σ} შუნტის წინაღობების სიდიდით განისაზღვრება ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის გაზომვის ზედა ზღვრები.

როგორც წესი, ხშირ შემთხვევებში ვოლტმეტრები მზადდება მიმდევრობით შეერთებული რამდენიმე დამატებითი წინაღობით (R_{d1} , R_{d2} , R_{d3}), რომელთა ამომყვანებია ამოტანილი ხელსაწყოს პანელზე გაზომვის ზედა ზღვრის ჩვენებით ანალოგიურად ამპერმეტრებსაც რამოდენიმე ($R_{\Sigma 1}$, $R_{\Sigma 2}$, $R_{\Sigma 3}$) შუნტის წინაღობები აქვთ შესაბამის მომჭერების გაზომვის ზღვრის ჩვენებით.



გ) სიმძლავრის გაზომვა – სიმძლავრის მზომ ხელსაწყოს - ვატმეტრს გააჩნია ორი მგრძნობიარე ელემენტი, თუ ერთში გავატარებთ დენს, ხოლო მეორეზე მოვდებთ ძაბვას, მაშინ

ისრის მობრუნების კუთხე ორივე სიდიდის ანუ სიმძლავრის პროპორციულია და იზომება სიმძლავრე.

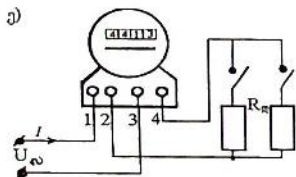
ვატმეტრს გააჩნია 4 მუშა მომჭერი (ნახ. დ). 2 დენის გრაგნილისა (ab) და 2 ძაბვის გრაგნილისა (cd). დენის გრაგნილი წრედში ირთვება მიმდევრობით, ძაბვისა – პარალელურად. გრაგნილების ჩართვის წესის დაცვის მიზნით პანელზე სიმბოლოებით მითითებულია ძაბვისა და დენის გრაგნილების დასაწყისები.

აღნიშნული ტიპის ვოლტმეტრით ცვლადი დენის წრედში იზომება აქტიური სიმძლავრე.

ადვილი მისახვედრია, რომ სიმძლავრე მუდმივი დენის წრედში და აქტიური სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედში შეიძლება გაიზომოს ამპერმეტრითა და ვოლტმეტრით. სიმძლავრე იანგარიშება როგორც მათი ჩვენებები ნამრავლი $P = UI$.

ანალოგიურად ვოლტმეტრებისა და ამპერმეტრებისა ვატმეტრებსაც დენისა და ძაბვის რამოდენიმე მომჭერი აქვთ და არჩეულთა ნამრავლი გასაზომი სიმძლავრის ზედა ზღვარია.

ა) ელექტრული ენერგიის აღრიცხვა ერთფაზა წრედში –



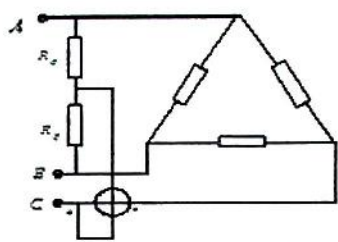
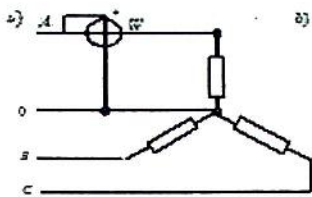
ერთფაზა ცვლადი დენის წრედში დახარჯული ელექტრული ენერგიის აღმრიცხველს ვატმეტრის ანალოგიურად გააჩნია ორი გრაგნილი – დენისა და ძაბვის. სტანდარტით მიღებულია, რომ ერთფაზა მრიცხველის დენის გრაგნილების მომჭერებია 1 – 3 ამათგან

1 საწყისია და 3 – ბოლო. ხოლო ძაბვის გრაგნილისა 2 – 4. 2 – საწყისია 4 – ბოლო.

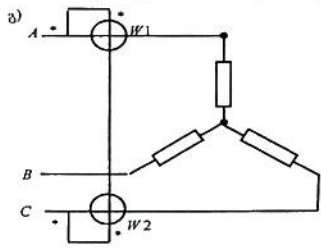
მრიცხველი წრედში ირთვება ვატმეტრის ანალოგიურად. ნახ. ე-ზე ნაჩვენებია ერთფაზა მრიცხველების ჩართვის სამონტაჟო სქემა.

19.9. სიმძლავრის გაზომვა სამფაზა დენის წრედში

სამფაზა დენის წრედებში აქტიური სიმძლავრის გაზომვა წარმოებს სხვადასხვა მეთოდით:

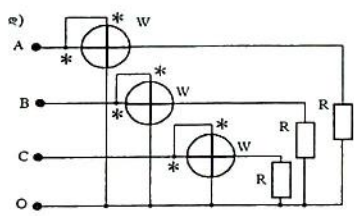


ა) ერთი ვატმეტრის მეთოდი – ეს მეთოდი გამოიყენება სიმეტრიული დატვირთვის დროს. გაზომვის სქემები ვარსკვლავად და სამკუთხედად შეერთების დროს ნაჩვენებია ნახ. ა და ნახ. ბ-ზე. შესაბამისად ორივე შემთხვევაში მთელი წრედის აქტიური სიმძლავრე იქნება ვატმეტრის გასამკეცებელი ჩვენება.



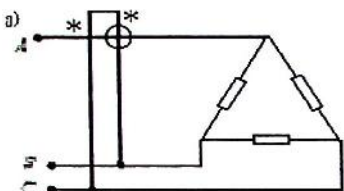
ბ) ორი ვატმეტრის მეთოდი – ამ მეთოდით აქტიური სიმძლავრე იზომება ნებისმიერ სამფაზა წრედში მთელი წრედის აქტიური სიმძლავრე ორი ვატმეტრის ჩვენების ჯამის ტოლია (ნახ. გ).

აქტიური სიმძლავრე ოთხსადენიან სამფაზა წრედში შეიძლება გაიზომოს სამი ერთფაზა ვატმეტრით (ნახ. დ). მთელი წრედის აქტიური სიმძლავრე ინანგარიშება როგორც თითოეული ვატმეტრის ჩვენების ჯამი.



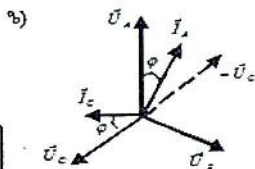
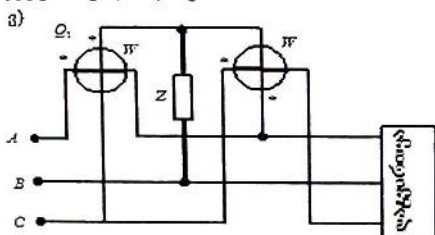
ღ) რეაქტიული სიმძლავრის გაზომვა – სიმეტრიული დატვირთვის დროს როგორც ვარსკვლავად, ისე სამკუთხედად შეერთებისას გამოიყენება ერთი აქტიური სიმძლავრის მზომი – ვატმეტრი (ნახ. ე) დენის გრაგნილი ირთება ერთ – ერთ ფაზაში, ხოლო ძაბვის გრაგნილი დანარჩენ ორზე

$$P = I_A U_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) = U_b I_b \sin \varphi$$



თუ ვატმეტრის ჩვენებას გავამრავლებთ $\sqrt{3}$ -ზე მივიღებთ მთელი წრედის რეაქტიულ სიმძლავრეს $Q = \sqrt{3} U_b I_b \sin \varphi$.

პრაქტიკაში მიღებულია სამფაზა წრედის რეაქტიული სიმძლავრის გაზომვის სქემა ორი ვატმეტრით (ნახ. ე). ამ სქემაზე ვატმეტრების ძაბვის გრაგნილები ირთვება ხელოვნურად შემოღებულ ნულოვან წერტილზე, რომელიც Z წინაღობით შეერთებულია B ფაზასთან. ნახ. ზ-ზე ნაჩვენებია ექვტორული დიაგრამა.



რეაქტიული სიმძლავრის განმარტების თანახმად

$$Q = U_C I_A \cos \left(-\vec{U}_C \vec{I}_A \right), \text{ როგორც ნახ. ი-დან ჩანს კუთხე } (-\vec{U}_C)\text{-სა}$$

და I_C დენს შორის $(60 - \varphi)$ -ს ტოლია. ტრიგონომეტრიის კურსიდან ცნობილი ფორმულით: $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ შეიძლება დავწეროთ:

$$Q_1 = U_C I_A \left(\cos 60^\circ \cos \varphi - \sin 60^\circ \sin \varphi \right) = U_C I_A \left(\frac{1}{2} \cos \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right).$$

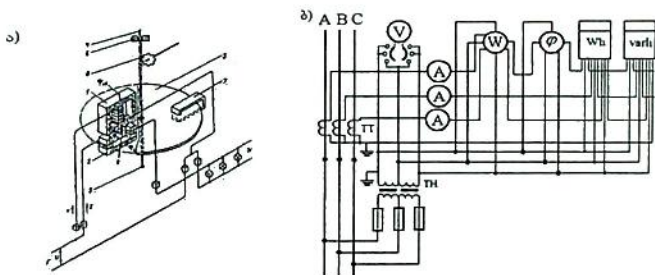
ანალოგიურად,

$$Q_2 = I_C U_A \cos (120^\circ - \varphi) = I_C U_A \left(\frac{1}{2} \cos \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) = I_C U_A \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right),$$

მაშინ $Q' = Q_1 + Q_2 = \sqrt{3} I_b U_b \sin \varphi$. თუ მიღებულ შედეგს $\sqrt{3}$ -ზე გავამრავლებთ, მივიღებთ მთელი წრედის რეაქტიული სიმძლავრის საანგარიშო ფორმულას:

$$Q = \sqrt{3} Q' = 3 I_b U_b \sin \varphi = U_b I_b \sin \varphi.$$

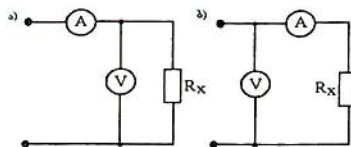
19.10. ელექტრული ენერჯის აღრიცხვა სამფაზა წრედში საშუალო სიმძლავრის სამფაზა წრედებში ენერჯია აღირიცხება ორელემენტიანი სამფაზა მრიცხველით პირდაპირი ჩართვის სქემით (ნახ. ა). ბოლო წლებში დამუშავებულია მრიცხველები, რომლებიც პირდაპირი ჩართვით ირთებიან წრედში 100 ამპერამდე ფაზური დენებისათვის.



მაღალი სიმძლავრეების დროს, როცა ძაბვები და დენები სიდიდით ამეტებს ხელსაწყოს დასაშვებ მნიშვნელობებს, გამოიყენება მზომი ტრანსფორმატორები (ნახ. ბ). აქვე ნაჩვენებია აგრეთვე ფაზომეტრი და რეაქტიული ენერჯის აღმრიცხველი ხელსაწყოები.

19.11. წინაღობის გაზომვა

ელექტრულ გაზომვებში წინაღობის გაზომვა აქტუალურია, რამდენადაც იგი საინტერესოა არა მარტო რეზისტორების წინაღობის დასადგენად, არამედ მთელ რიგ სხვა გაზომვებში, განსაკუთრებით არაელექტრული სიდიდეების ელექტრული მეთოდებით გაზომვის დროს, როდესაც გასაზომი სიდიდის პროპორციულად იცვლება გადამწოდის წინაღობა. ამ საკითხებს შევეხებით ქვემოთ.



ა) წინაღობის გაზომვა ამპერმეტრით და ვოლტმეტრით - ქვემოთ ნაჩვენებია ამპერმეტრითა და ვოლტმეტრით წინაღობის გაზომვის ორი სქემა. განსხვავება მათ შორის

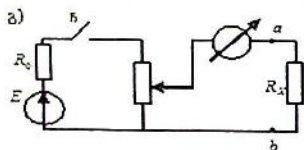
მხოლოდ ვოლტმეტრის ჩართვის ადგილია. ეს იმიტომ, რომ მზომ ხელსაწყოებს გააჩნიათ წინაღობები. იდეალური ამპერმეტრისაგან განსხვავებით რეალური ამპერმეტრის წინაღობა არ არის ნულის ტოლი. ანალოგიურად არც რეალური ვოლტმეტრის წინაღობაა უსასრულოდ დიდი.

მცირე წინაღობების გაზომვის დროს უნდა გამოვიყენოთ ნახ. ა-ზე მოცემული სქემა, მაშინ ვოლტმეტრში გამავალი დენი შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ და ჩავთვალოთ, რომ ამპერმეტრი ზომავს R_x წინაღობაში გამავალ დენს.

დიდი წინაღობების გაზომვის დროს გასასზომ წინაღობაში გამავალ დენს ზომავს ნახ. ბ-ზე მოცემულ სქემით ჩართული ამპერმეტრი.

ძალიან დიდი წინაღობები ($10^3 - 10^4$ ომი რიგის) შეიძლება გაეზომოთ ერთი ვოლტმეტრით (ნახ ბ).

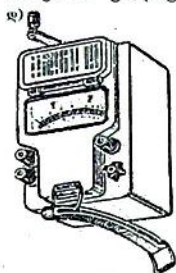
ბ) ომმეტრი - ხელსაწყო, რომლის დანიშნულებაა უშუალოდ გაზომოს წინაღობა ეწოდება ომმეტრი.



უმარტივესი ომმეტრი შეიცავს E , R_0 კვების წყაროს (ნახ. გ), ცვლადი წინაღობის რეზისტორს R_x და მაგნიტო ელექტ-

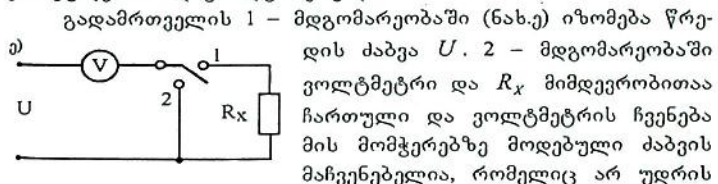
რული სისტემის მზომ მექანიზმს. ამ ტიპის ომმეტრის მოქმედების პრინციპი ემყარება ომის კანონს, რომ მცირე წინაღობებს შეესაბამება დიდი დენი და პირიქით მეტ წინაღობას მცირე დენი. ხელსაწყოს ab მომჭერებზე ირთვება გასასზომი R_x წინაღობა. გაზომვის წინ ვამოკლებთ ab მომჭერებს და რეოსტატის ცოციას საშუალებით ხელსაწყოს ისარს ვაყენებთ ნულოვან მდგომარეობაში (მაქსიმალური გადახრა). ეს პროცედურა უნდა შევასრულოთ ყოველი გაზომვის წინ, რამდენადაც ექსპლუატაციის პროცესში კვების წყაროს ემძს სიდიდე მცირდება. დენის სიდიდის R_x -ზე პირდაპირი დამოკიდებულება საშუალებას გვაძლევს ხელსაწყოს სკალა დაგრადუირებული იყოს წინაღობის ერთეულებში. ამ ტიპის ომმეტრი ხშირად გამოიყენება. დავადგინოთ კაბელში სადენი მთელია თუ არა; მრავალძარღვა კაბელებში თუ სადენების მაიზოლირებული გარსაცმები სხვადასხვა ფერის არ არის

გავარჩიოთ სადენები ერთმანეთისაგან, ინდუქციურ კოჭებში, ტრანსფორმატორებში, თუ სხვადასხვა ელექტნიკურ დანადგარებში აღგილი ხომ არა აქვს გრაგნილების ერთმანეთში გადაფარვას, კორპუსზე ელექტრულ კაეშირს და ა.შ.



გ) მეგომეტრი - დიდი წინააღობების (მაგალითად იზოლაციის ხარისხი) გასაზომად გამოიყენება ხელსაწყო მეგომეტრი (ნახ. დ). ამ ხელსაწყოში ზემოთ განხილული ომმეტრის წრედის E ემპ-ის ნაცვლად გამოყენებულია მაღალი ძაბვის გენერატორი, რომელიც გაზომვის პროცესში ბრუნავს ხელით და გამოიმუშავებს (500 - 2000)ვ რივის ემპ-ს. ასეთი ემპ-ის მოქმედების დროს R_x წინააღობის დიდი მნიშვნელობის მიუხედავად წრედში აღიძვრება მნიშვნელოვანი სიდიდის დენი, რომელიც R_x წინააღობის პროპორციულია და იზომება ამპერმეტრით. ომმეტრის ანალოგიურად მეგომეტრის მზომი ხელსაწყო სკალაც წინააღობის ერთეულებშია დაგრადუირებული.

გადამართელის 1 - მდგომარეობაში (ნახ.ე) იზომება წრედის ძაბვა U . 2 - მდგომარეობაში ვოლტმეტრი და R_x მიმდევრობითაა ჩართული და ვოლტმეტრის ჩვენება მის მომჭერებზე მოდებული ძაბვის მაჩვენებელია, რომელიც არ უდრის U -ს. მათი სხვაობა ($U - U_3$) მოდებულია R_x -ზე და მიმდევრობით შეერთებულ წრედში ძაბვების განაწილების კანონით დავწერთ:

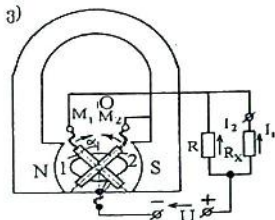


$$\frac{U - U_3}{U_3} = \frac{R_x}{R_3}$$

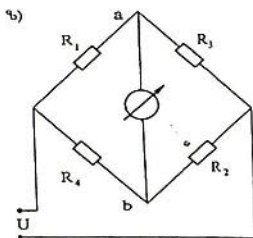
საიდანაც $R_x = R_3 \left(\frac{U}{U_3} - 1 \right)$ სადაც R_3 აღებული ვოლტმეტრის წინააღობაა და ცნობილი სიდიდეა.

დ) ლოგომეტრი - ლოგომეტრი წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურ ველში

ბრუნავს (ნახ. ვ). ორივე კოჭა მიერთებულია ერთი და იგივე კვების წყაროზე R მუდმივი და R_x გასაზომი წინაღობების გავლით. კოჭაში აღძრული I_1 და I_2 დენები აღძრავს მამბრუნ მომენტს, რომელიც დენის სიდიდეზეა დამოკიდებული. დენები კი თავის მხრივ R და R_x წინაღობებზე. როცა R მუდმივია მობრუნების კუთხე ცალსახად იქნება დამოკიდებული R_x წინაღობაზე და არ იქნება დამოკიდებული U ძაბვის სიდიდეზე.



ვ) წინაღობის გამოშვა ბოგური სქემით - როცა მოითხოვება წინაღობების დიდი სიზუსტით გაზომვა გამოიყენება ბოგური სქემები (ნახ. ზ). ბოგირის წონასწორობის პირობა:



$R_1 \cdot R_2 = R_3 \cdot R_4$, მაშინ a და b წერტილების პოტენციალები ტოლია და მათ შორის ჩართულ მგრძობიარე მზომი ხელსაწყო დენს არ გვიჩვენებს. ახლა თუ ბოგირის ერთ მხარში უცნობ გასაზომ წინაღობას ჩაერთავთ მაგ: $R_1 = R_x$, ხოლო მეორე მხარში R_2 ცვლადი წინაღობების მადაზიას, მაშინ ამ მხარში წინაღობის რეგულირებით მივალწვეთ ბოგირის წონასწორობას, რასაც მზომი ხელსაწყო დააფიქსირებს იმით, რომ მისი ჩვენება გაუტოლდება ნულს. წონასწორობის პირობიდან: $R_x \cdot R_2 = R_3 \cdot R_4$, R_3 და R_4 წინაღობების უცვლელი მნიშვნელობების დროს,

განვსაზღვრავთ გასაზომი წინაღობის სიდიდეს: $R_x = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_2}$.

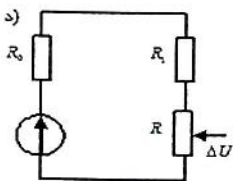
9.12. არაელექტრული სიდიდეების გამოშვა ელექტრული მეთოდებით

ყველას გვსმენია და გვინახავს ელექტრული სასწორი, თერმომეტრი, ელექტრული წნევის აპარატი და ა.შ. ყველა ამ ხელსაწყოს მოქმედების პრინციპი ასეთია: ამა თუ იმ ეფექტზე

დაყრდნობით გასაზომი არაელექტრული სიდიდე გარდაიქმნება მის პროპორციულ ელექტრულ სიდიდეთ, იზომება ის სიდიდეები და ემსჯელობთ არაელექტრული სიდიდის მნიშვნელობაზე, საზომი სისტემის იმ ელემენტს, რომელიც შეიგრძნობს გასაზომ სიდიდეს და წარმოქმნის ელექტრულ სიგნალს, გადამწოდი ეწოდება.

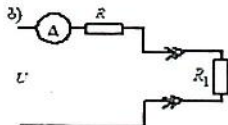
გადამწოდები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად. ერთი ჯგუფის გადამწოდები არაელექტრული სიდიდის გავლენით იცვლის პარამეტრს, მაგალითად, გამტარის სიგრძის ან ტემპერატურის ცვლილებით იცვლება მისი წინაღობა; ფირფიტებს შორის მანძილის ცვლილებით იცვლება კონდენსატორის ტევადობა და ა.შ. ამ ჯგუფის გადამწოდებს პარამეტრული ეწოდება. არსებობს აგრეთვე ე.წ. გენერატორული ჯგუფის გადამწოდები. როგორც დასახელებიდან ჩანს არაელექტრული სიდიდის გავლენით გადამწოდი გამოიმუშავებს მის პროპორციულ ელექტრულ სიგნალს. მაგალითად, თერმოწყვილის გაცხელების დროს მის ბოლოებზე ჩნდება ტემპერატურის პროპორციული ემპ, მაგნიტურ ველში მბრუნავი ჩარჩოს ბოლოებზე ინდუქციონდება ბრუნვის სიჩქარის პროპორციული ემპ და ა.შ.

განვიხილოთ ზოგიერთი გადამწოდის მოქმედების პრინციპი და შესაბამისად არაელექტრული სიდიდის გაზომვის მექანიზმი.

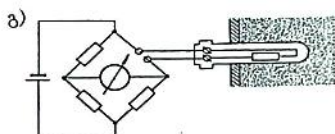


ა) რეოსტატულიადამწოდი - განვიხილოთ პოტენციომეტრის სქემით ჩართული რეოსტატი (ნახ. ა). ეთქვათ, რეოსტატის ცოცია მექანიკურადაა დაკავშირებული სითხიან ჭურჭელში ჩადგმულ ტივტივასთან. ჭურჭელში სითხის დონის ცვლილებით გადაადგილდება ტივტივა, მაშასადამე ცოციაც და R წინაღობის ნაწილიდან მოხსნილი ΔU ძაბვის სიდიდით შეიძლება ვიმსჯელოთ ჭურჭელში სითხის დონეზე. ამ პრინციპით იზომება ავტომობილის ავზში საწვავის დონე.

ბ) თერმოწინაღობიანი გადამწოდი - ამ გადამწოდის მოქმედება ემყარება გამტარის წინაღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებას.



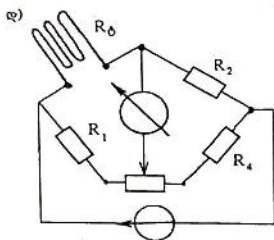
ტემპერატურის მგრძობიარე რეზისტორს თერმორეზისტორი ეწოდება. ასე მაგალითად, R_1 თერმორეზისტორი შეიტანოთ გარემოში (ნახ.ბ), სადაც უნდა გაიზომოს ტემპერატურა. ამ გარემოში თავდაპირველად მოვათავსოთ აგრეთვე თერმომეტრი. გარემოს ტემპერატურის ცვლილებით იცვლება თერმორეზისტორის წინაღობა და მაშასადამე დენი წრედშიც. ვზომავთ ტემპერატურას და თერმო-მეტრის ჩვენებაზე დაყრდნობით ამპერმეტრის სკალა შეიძლება დავაგრადუიროთ ტემპერატურულ გრადუსებში. ამ პროცესს დავაგრადუირება ეწოდება და ამის შემდეგ ხელსაწყო ელექტრული თერმომეტრია.



დიდი სიზუსტით გაიზომება ტემპერატურა თუ თერმოწინაღობას წინაღობის გამზომი ბოგირის ერთ - ერთ

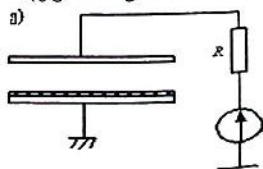
მხარში ჩავრთავთ(ნახ.გ), მაშინ მისი წინაღობის ცვლილებით იცვლება დენი ბოგირის დიაგონალში, რომლის მნიშვნელობითაც ვიმსჯელებთ გარემოს იმ ტემპერატურაზე, რომელშიც მოთავსებულია თერმორეზისტორი.

ბ) მავთულის გადამწოდი (ტენზორეზისტორი) - ტენზორეზისტორში გამოიყენება გამტარის სიგრძეზე დამოკიდებულების ეფექტი. ტენზორეზისტორი წარმოადგენს ქაღალდის ფუძეზე დაკრულ ვიწროდიამეტრიან კონსტანტანის მავთულს (ნახ. დ). ეს გადამწოდი ეკვრება ზედაპირზე, რომელიც განიცდის დეფორმაციას. დეფორმაციის ხარისხის მიხედვით იცვლება ტენზორეზისტორის სიგრძე, მაშასადამე წინაღობა და ბოგირის მხარში

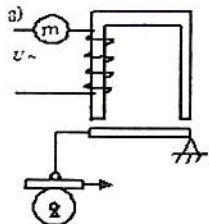


ჩართული გალვანომეტრის ჩვენება დეფორმაციის პროპორციულია.

დ) ტევადური გადამწოდი - ტევადური გადამწოდი წარმოადგენს ორ პარალელურ ფირფიტას, რომელთაგანაც ერთი უძრავადაა დამაგრებული და მეორეს შეუძლია გა-



დაადგილება. (ნახ. ე). ფირფიტებს შორის მანძილის ცვლილებით იცვლება ტევადობა. ამ გადამწოდით შეიძლება გაიზომოს მერხევი სხეულის სიხშირე, ნამზადის გეომეტრიული ზომები და სხვა.

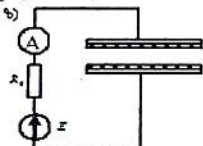


ე) ინდუქციური გადამწოდი - ინდუქციურ გადამწოდს საფუძვლად უდევს ფერომაგნიტურ გულარიანი კოჭის ინდუქციურობის დამოკიდებულება საჰაერო ღრეჩოს სიდიდეზე. ნახ.ვ-ზე ნაჩვენებია თხელი ფირფიტის სისქის მზომი ხელსაწყო სქემა. ღუზა გორგოლაჭითაა დადებული გასაზომ ფირფიტაზე. საჰაერო ღრეჩოს ცვლილებით იცვლება კოჭას ინდუქციურობა და

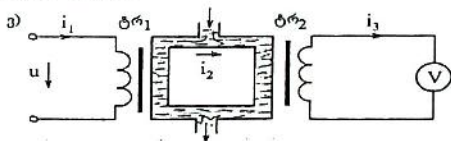
მაშასადამე დენიც წრედში.

ვ) რადიოაქტიური გადამწოდი - ეს გადამწოდი წარმოადგენს ორ უძრავ პარალელურ ფირფიტას, რომელიც დაფარულია რადიოაქტიური მასალით. თუ ფირფიტებს შორის გარემოს იონიზაციის ხარისხი იცვლება, იცვლება დენიც წრედში და ემსჯელობთ გარემოს მდგომარეობაზე (ნახ. ზ).

ზ) ელექტროლიტური გადამწოდი - ელექტროლიტური გადამწოდის მოქმედების პრინციპი ექვემდებარება სითხის ელექტრული პარამეტრების ცვლილებას მისი შემადგენლობის მიხედვით.



სტუ-ს ზოგადი და თეორიული ელექტროტექნიკის კათედრაზე ავტორთა ჯგუფის მიერ დამზადებული იქნა ხელსაწყოები და მიღებული იქნა საავტორო მოწმობები, რომელთა საშუალებით შეიძლება გაიზომოს სისხლისა და ზღვის წყლის კუთრი ელგამტარობა. ამ ხელსაწყოს კონდუქტომეტრი ეწოდება. ნახ. თ-ზე ნაჩვენებია კონდუქტომეტრის გამარტივებული პრინციპიალური სქემა.



სქემა მუშაობს შემდეგნაირად: მკვებავ ტრანსფორმატორზე (ტრ. 1) ძაბვის მიწოდების შემდეგ მასში გაივლის i_1 დენი, რომელიც ქმნის მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც განსჭოლავს საკვლევი სითხის სვეტს და ქმნის ურთიერთინდუქციის ნაკადშეზღვევას თხევად ხვიაში. ურთიერთინდუქციის ნაკადშეზღვევის ცვლილება აღძრავს ემძ-ს და თხევად ხვიაში გაივლის i_2 დენი, რომელიც თავის მხრივ ქმნის მაგნიტურ ნაკადს. ეს ნაკადი განსჭოლავს გამოსასვლელი ტრანსფორმატორის (ტრ. 2) ხვიებს და ქმნის აგრეთვე თვითინდუქციის ნაკადშეზღვევას, რომლის ცვლილება აღძრავს ურთიერთინდუქციის ემძ-ს.

ეს ემძ იზომება ვოლტმეტრით, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია საკვლევი სითხის ელგამტარობაზე და მისი მნიშვნელობით ვაკეთებთ დასკვნებს საკვლევი სითხის შემადგენლობაზე.

19.13. ავტომატური კონტროლისა და მართვის სისტემები

არაელექტრული სიდიდეების ელექტრულ სიგნალად გარდაქმნის ეფექტი ფართოდაა გამოყენებული არა მარტო გაზომვების სფეროში, არამედ მთელ რიგ მაკონტროლებელ დანადგარებში. ასე მაგალითად, თანამედროვე ტექნოლოგიები მოითხოვს დეტალების დამზადებას ცდომილების მეტად მცირე დიაპაზონში. დეტალის ზედაპირის სისუფთავის დაცვას, დამზადების პროცესში გარკვეული ტემპერატურული რეჟიმის დაცვას და ა.შ.

პირდაპირი გაზომვებით ამ პროცესების გაკონტროლება თითქმის შეუძლებელია და ეს ხდება ავტომატურად სხვადასხვა ტიპის გადამწოდების მოქმედებაზე დაყრდნობით. ამ მხრივ ავტომატური სისტემები იყოფა სხვადასხვა ჯგუფებად. მაგალითად, ავტომატურ გამზომ დანადგარებში გადამწოდებიდან მოსული სიგნალები განუწყვეტლივ მიეწოდება გამზომ მექანიზმებს; ავტომატურ სიგნალიზატორებში გადამწოდის სიგნალით ირთვება მცირე დენებზე მომუშავე რელეები, რომელთა კონტაქტები ჩართავს ბგერით სიგნალიზატორებს ან მაკონტროლებელ ნათურებს და ა.შ.

ავტომატური მართვის სისტემები უზრუნველყოფს მანქანა - დანადგარების ჩართვა - გამორთვას საჭირო ტექნოლოგიური

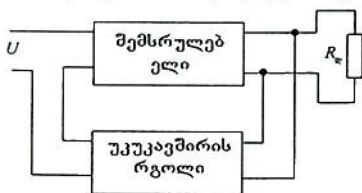
პროცესიდან გადახვევის დროს. ამ სისტემებს ავტომატური ამომრთველები ეწოდება. მაგალითად, გარემოში ტემპერატურის სტაბილური მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად შეიძლება გამოიყენოს თერმორეზისტორი;

მართვის წრედში ჩართული თერმორეზისტორის დენი ჩართავს გამაცხელებელს ტემპერატურის საჭირო მნიშვნელობის ნაკლებ მნიშვნელობაზე და ამორთავს პირიქით შემთხვევაში. ანალოგიურად მოქმედებს სითხის დონის ავტომატურად შემანარჩუნებელი მოწყობილობა ტივტივას მდგომარეობის მიხედვით, რომელიც მექანიკურადაა დაკავშირებული პოტენციომეტრის ცოცხასთან.

დამუშავებულია მთელი რიგი ავტომატურად მართვის დანადგარები პროგრამული მართვით, რომელთა გადამწოდები ჩართავს-ამორთავს ობიექტს წინასწარ მიწოდებული პროგრამით.

19.14. ავტომატური რეგულირება

როგორც სათაურიდან ჩანს, ავტომატური რეგულატორი ააჩქარებს ან შეანელებს შებრუნებული მექანიზმის ქმედებას,



თუ გამოსავალი სიდიდე გადაუხვევს დასაშვები მნიშვნელობიდან. ამ რეგულატორებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ე.წ. უკუკავშირის რგოლს. ნახაზზე ნაჩვენებია ავტომატური რეგულატორის

გამართლებული სქემა უკუკავშირის რგოლით. შებრუნებულ მექანიზმიდან გამოსავალი სიდიდის „ნამატი“ მიეწოდება უკუკავშირის რგოლს, რომლის გამოსავალი სიგნალი შესაბამისად არეგულირებს შემსრულებლის ქმედებას.

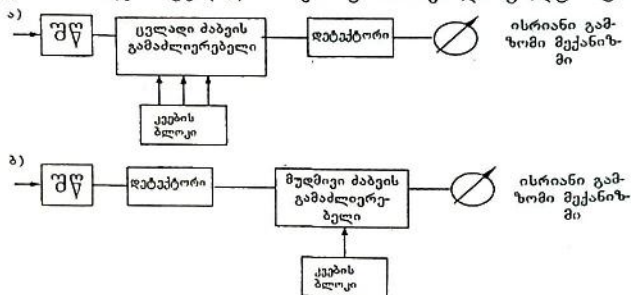
თანამედროვეობის ავტომატური კონტროლის მართვის თუ რეგულირების ყველა სისტემის ჩამოთვლა პრაქტიკულად შეუძლებელია. ეს სისტემები მეტად მრავალგვარი და მრავალფეროვანია ტელევიზორის ავტომატურად ამომრთველიდან დაწყებული ურთულესი ოპერაციების შემსრულებელი მექანიზმებით დამთავრებული. ყველა დანადგარის „თვალი“, „ყური“ და „ხელი“ გადამწოდი ელემენტებია.

19.15. ელექტრონული გამზომი ხელსაწყოები

ბოლო დროს ელმზომელობის ტექნიკაში ფართოდ დაინერგა და გამოიყენება ელექტრონული გამზომი ხელსაწყოები (ეგხ) მათი მოწყობილობა უფრო რთულია ვიდრე ელექტრომექანიკურისა. ისინი შეიცავენ სხვადასხვა ფუნქციონალურ ბლოკებს, რომელთა დანიშნულებაა ელექტრული სიდიდეების გაყოფა, გაძლიერება, გამართვა და ფილტრაცია. ხშირ შემთხვევაში ეგხ-ის ბოლო რგოლი, ანუ საინფორმაციო რგოლი, რომელზეც იკითხება გაზომვის შედეგი, მაგნიტო ელექტრული სისტემის გამზომი მექანიზმია შესაბამის ერთეულებში დაგრაფირებული სკალით.

ელექტრონული ვოლტმეტრები - ცველადი ძაბვის ელექტრონული ვოლტმეტრები ძირითადადში მზადდება შემდეგი სტრუქტურული სქემებით

ხელსაწყოს შემავალი წრედი (შწ) გაზომვის ზღერის შესარჩევად შეიცავს ძაბვის გამყოფს, გადამრთველებს, დამხმარე გარდამქმნელებს. გამაძლიერებლის დანიშნულებაა სიგნალის გაძლიერება საჭირო სიდიდემდე, ხოლო დეტექტორში ხდება ცველადი ძაბვის გამართვა და ფილტრაცია.

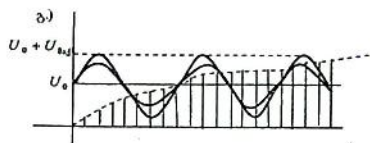
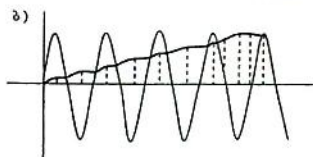
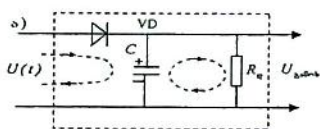


ნახ. ა და ბ სქემები განსხვავდება ძირითადი ეტაპების თანმიმდევრობით. ნახ. ა სქემაზე გასაზომი სიდიდე ჯერ ძლიერდება და შემდეგ გაიმართება. ამ სქემის ხელსაწყოები ხასიათდება მაღალი მგრძნობიარობით, იგი შეიგრძნობს მიკროვოლტის რიგის სიგნალებს, მაგრამ შეზღუდულია გასაზომი სიდიდეების სიხშირული დიაპაზონი (20 მჰც).

ნახ. ბ სქემაზე გასაზომი სიდიდე ჯერ გაიმართება და შემდეგ გაძლიერდება. მათი გაზომვის სიხშირული დიაპაზონი

უფრო მაღალია (20 კც - 50 მკც), მაგრამ შედარებით დაბალ მგრძობიარეა. ძაბვის გაზომვის ქვედა ზღვარი 0,5 ვ-ის რიგისაა.

ელექტორი - ელექტრონული ვოლტმეტრის ერთ - ერთი ძირითადი ელემენტი გამმართველი (დეტექტორი) - ცვლადი ღენის მუდმივ ძაბვად გარდამქმნელი.



ვოლტმეტრის დანიშნულებიდან გამომდინარე განვასხვავებთ დეტექტორების სხვადასხვა ტიპებს:

- ა) გასამართი ძაბვის ამპლიტუდური დეტექტორები
- ბ) გასამართი ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის დეტექტორები
- გ) გასამართი ძაბვის საშუალო კვადრატული მნიშვნელობის ანუ მოქმედი მნიშვნელობის დეტექტორები.

ამპლიტუდურ დეტექტორებს პიკური დეტექტორებიც ეწოდება. უმარტივეს შემთხვევაში იგი შეიცავს

ნახევარგამტარულ VD დიოდს C კონდენსატორსა და დატვირთვის R წინაღობას. (ნახ ა.) გასაზომი ძაბვის დადებით ნახევარპერიოდში VD დიოდი ღიაა და კონდენსატორი იმუხტება, უარყოფით ნახევარპერიოდში დიოდი დაკეტილია და კონდენსატორი გადაიმუხტება R_e დატვირთვის წინაღობაზე და ა.შ. ამ პროცესით ძაბვა კონდენსატორზე მდოვრედ იზრდება გასაზომი ძაბვის პიკურ მნიშვნელობამდე (ნახ. ბ).

თუ გასაზომი სიდიდე ცვლად ძაბვასთან ერთად შეიცავს მუდმივ მდგენელს კონდენსატორი იმუხტება ($U_0 + U_{max}$) ძაბვამდე (ნახ. გ) გასამართი ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის დეტექტორი წარმოადგენს ცვლადი ძაბვის გამართვის ადრე განხილულ სქემას გამოსავალზე დაბალი სიხშირის ფილტრით.

ელექტრონული გამზომი ხელსაწყოების თავისებურებანი
ელექტრონული გამზომი ხელსაწყოების უპირატესობად შექან-
კურთან შედარებით შეიძლება ჩაითვალოს:

- ა) გასაზომი წრედიდან მოთხოვნილი მცირე სიმძლავრე, რა-
უპირველესად განპირობებულია შესავეალი წინაღობის დიდ-
მნიშვნელობით ($10^5 - 10^7$ ომი) ;
- ბ) გასაზომი ძაბვის დიდი დიაპაზონი (10 მკე-1000ე), რომელიც
მიიღწევა ძაბვის გამყოფებითა და გამაძლიერებლებით;
- გ) მაღალმგრძობიარობა (0,1 - 1,0 მკე);
- დ) გასაზომი ძაბვის მაღალი სიხშირული დიაპაზონი (500მკც);
- ე) უნივერსალიზმი-ერთი ხელსაწყოთი შეიძლება გაიზომო
რამდენიმე სიდიდე საკმაოდ დიდ დიაპაზონში: მუდმივი დ-
ცვლადი დენები, აქტიური და სრული წინაღობები, დაადგო-
ნო ნახევარგამტარული ელემენტების პარამეტრები და ა.შ.
მათი უარყოფითი მხარეა:
ა) მოწყობილობის სირთულე და შესაბამისად სიძვირე;
ბ) დამატებითი კვების წყაროს აუცილებლობა;
გ) შედარებით დიდი გაზარიტები და მასა.

თავი XX. ექსპერიმენტალური კურსი

ამ თავში შეეხებით უმარტივეს ელექტრულ წრედებს, პრაქტიკაში ხშირად ხმარებულ ელტექნიკურ დანადგარებს და მზომ ხელსაწყოებს, მიეცემთ ელემენტარულ რჩევებს დამწყებ ელექტრიკოსებს და მოვიყვანთ ზოგიერთი ელტექნიკური კვანძის გაანგარიშების უმარტივეს მაგალითებს.

20.1. ელექტროზენკალი – შენი საქმიანობა

ელექტროზენკალი ის ელექტრიკოსია, ვინც პრაქტიკული საქმიანობითაა ჩართული ელტექნიკურ სფეროში. პირველ რიგში დამწყებმა ელექტრიკოსმა უნდა გასცეს პასუხი კითხვაზე, არის თუ არა მზად გახდეს ელექტროზენკალი?

აქ საუბარი არ არის მომავალ და ძირითად სპეციალობაზე აქ საუბარია იმ უნარ – ჩვევებზე, რომელიც უნდა გააჩნდეს ნებისმიერს ამ საქმიანობაში ჩასაბმელად.

გვეშინია დენის?

აღამიანი ვერ გახდება ცხოველთა მომთენიერებელი, თუ მას არ უყვარს და ეშინია ცხოველის; ვერც ის ვისაც უყვარს და არ ეშინია მისი.

მაშინ ვინ? – ის, ვისაც ზომიერება აქვს შეცნობილი. ვერ გახდები ელექტროზენკალი, თუ ნებისმიერ ჩართვა-გამორთვაზე უნებლიედ ხელი გიკანკალებს და ავარიას ელოდები. არ გირჩევდით არც მაშინ, თუ ნებისმიერი ჩამრთველის სახელურის აწვევა შეგიძლია ნებისმიერ დროს და მზადა ხარ გამტარში დენის არსებობა თითის დადებით შეამოწმო.

მშიშარა და ფრთხილი სხვადასხვა მცნებებია, ისე როგორც უშიშარი და დაუკვირებელი. დენი საკმაოდ ძლიერი, მაგრამ თვინიერი და დამჯერია: აღნობს ლითონს, აბრუნებს ძრავას, ათბობს სახლს, იგი ჩვენი მეგობარია და მეგობარი უნდა გიყვარდეს, მეგობრის არჩევას უპირველესად მისი გაცნობა და თვისებების შესწავლა სჭირდება.

ცხადზე ცხადია, რომ ნებისმიერი ტექნიკური დისციპლინის და მითუმეტეს ელექტროტექნიკის ხარისხიანად ათვისება ნიშნავს გამოგვიმუშავდეს უნარი დამოუკიდებლად გადავწყვიტოთ ესა თუ ის ტექნიკური ამოცანა, გავერკვიოთ ამა თუ იმ ტექნოლოგიურ პროცესში, დავსვათ პრობლემატური ამოცანები და ვექებოთ მათი ამოხსნის გზები.

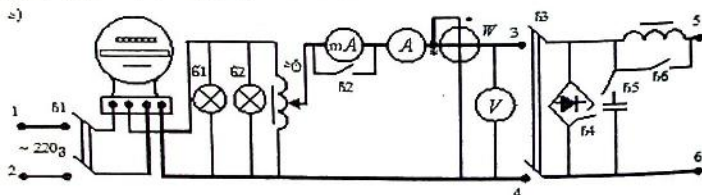
ყველა ჩამოთვლილის მიღწევაში, თეორიულ მომზადებასთან ერთად, გარკვეულ და შეიძლება ითქვას მეტად მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ექსპერიმენტალური პრაქტიკა, სადაც გვეძლევა საშუალება პრაქტიკულად შევამოწმოთ თეორიულად მიღებული დასკვნები, გავეცნოთ და ავითვისოთ სხვადასხვა ელტექნიკური დანადგარები და მზომი ხელსაწყოები, შევძლოთ სამრეწველო დანადგარების ლაბორატორიული მოდელებით კვლევა და ა.შ.

20.2. ექსპერიმენტალური მაგიდა

ნებისმიერი სახის პრაქტიკული საქმიანობის უპირველესი მოთხოვნაა შესაბამისი სამუშაო მაგიდა და გამართული ხელსაწყო – იარაღები, ანუ ერთად აღებული თქვენი ლაბორატორია.

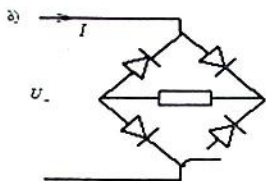
ნახ. ა-ზე ნაჩვენებია ელექტრული სქემა, რომლითაც შეიძლება აკრეფილი იქნეს თქვენი სამუშაო მაგიდა.

მზომი ხელსაწყოების დანიშნულება ცხადია და კომენტარს არ საჭიროებს, ატ-წარმოადგენს ავტოტრანსფორმატორს, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ძაბვის მდოვრედ ცვლილება ($0 \div U_{\text{კ}}$) დიაპაზონში.



მილიამპერმეტრი დაშუნტულია ჩ2 ჩამართველით. მცირე დენების გაზომვისას ჩ2 გამორთულია და დენი იზომება mA -ით. დიდ დენებზე იგი დაშუნტდება და დენი იზომება ამპერმეტრით.

შემდეგ ნაჩვენებია გამმართველი (ნახ. ბ), რომლის ერთ-ერთი მხარის ჩართვა – გამორთვის შესაძლებლობა საშუალებას გვაძლევს გამმართველი იყოს ნახევარპერიოდისანი (ჩამართველი ამორთულია) ან სრულპერიოდისანი გამმართველი (ჩამართველი ჩართულია).



გამმართველის მუდმივი ძაბვის გამოსავალ მომჭერებზე ანუ დატვირთვის პარალელურად ჩართულია მაღალი ტევადობის ელექტროლიტური კონდენსატორი და რკინის გულარიანი დროსელი, რომლებიც უმართივეს ელექტრულ ფილტრს წარ-

მოადგენენ და შესაძლებელია მათი ჩართვა – გამორთვაც.

როგორც ნახ. ა-დან ჩანს 3, 4 მომჭერებზე მოიხსნება ძაბვა ($0 \div 220$)ვ დიაპაზონში, U, I, P სიდიდეების ჩვენებით, ხოლო 5, 6 მომჭერებზე-გამართული ძაბვა ფილტრით ან ფილტრის გარეშე, ($0 \div U_{\text{ს}}$)ვ დიაპაზონში.

სქემის მონტაჟი უნდა შესრულდეს მაგიდის ფარის უკან. ფარზე გამოტანილი უნდა იყოს მზომი ხელსაწყოები, საკომუტაციო ჩამრთველები და მომჭერები, ძაბვის მარეგულირებელი სახელური, საინდიკაციო და განათების ნათურები.

20.3. მზადება ექსპერიმენტალური სამუშაოს შესასრულებლად

ექსპერიმენტალური ამოცანა ხარისხიანად შესრულდება და ექსპერიმენტალურ დასკვნებს საიმედოდ დავყვრდნობით, თუ ექსპერიმენტატორი საფუძვლიანადაა მომზადებული სამუშაოს შესასრულებლად. ეს უპირველესად ნიშნავს:

- ა) ერკვეოდეს დასმული ამოცანის მიზანში და არჩევდეს გადასაწყვეტ პრობლემატურ საკითხებს;
- ბ) მოამზადოს საკვლევი წრედის პრინციპული ელექტრული სქემა და ცხრილები, რომლებშიც უნდა შეიტანოს დაკვირვებისა და ანგარიშის შედეგები;
- გ) ექსპერიმენტის დაწყებამდე წინასწარ დაადგინოს წრედში მოქმედი ძაბვებისა და დენების მოსალოდნელი მნიშვნელობები და შეარჩიოს შესაბამისი ხელსაწყოების გაზომვის დიაპაზონი და დაადგინოს დანაყოფის ფასი;
- დ) თუ ექსპერიმენტი მოითხოვს სპეციალურ ელტექნიკური ხელსაწყოების გამოყენებას (ოსცილოგრაფი, გამმართველი, გენერატორი და ა.შ.) მაშინ ექსპერიმენტატორი თავდაპირველად უნდა გაეცნოს მისთვის უცნობი მოწყობი-

ლობის ექსპლუატაციისა და ხმარების წესს. უკიდურეს შემთხვევაში დახმარება სთხოვოს სხვას, ვისთვისაც ნაცნობია ამ ხელსაწყოების ხმარების წესი და გარკვევით და გასაგებად დაუსვას მას ხელსაწყოს გამოყენების ამოცანა.

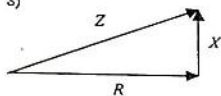
20.4. მითითება გრაფიკული სამუშაოს შესრულებაზე

ვექტორული დიაგრამის თუ გრაფიკის მიახლოებითი სახე ნაჩვენებია შესაბამისი ამოცანის თეორიულ ნაწილში.

ვექტორული დიაგრამის აგების დროს წინასწარ ვირჩევთ მასშტაბს შემდეგი რიცხვითი მნიშვნელობების დაშვებით: 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5; 10; 20; 25; 50; 100; 200; 250; 500 ერთეული დანაყოფში.

ვთქვათ უნდა ავაგოთ ე.წ. წინაღობათა სამკუთხედის ვექტორული დიაგრამა, რომელსაც აქვს ნახ. ა-ზე ნაჩვენები სახე. ვთქვათ, ექსპერიმენტალური კვლევით და შეაბამისი ანგარიშით მივიღეთ: $R = 30$ ომი; $X = 40$ ომი; $Z = 50$ ომი.

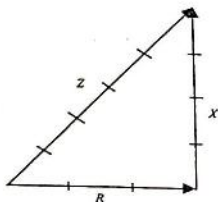
ა)



შვირჩიოთ წინაღობის მასშტაბი: $M_R = 10 \frac{\text{ომი}}{\text{დან}}$, მაშინ R -ის მოდული გრადან

ფიკულად იქნება სამი დანაყოფი, X -ისა ოთხი და Z -ისა ხუთი. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია წინაღობათა სამკუთხედი აგებული ექსპერიმენტის შედეგებით, მასშტაბის ჩვენებით.

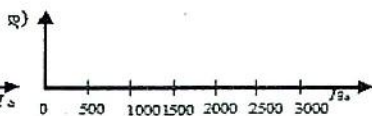
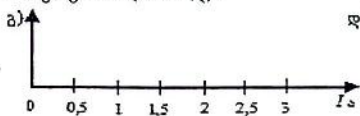
ა)



რაც შეეხება გრაფიკებს, მას ვაგებთ მილიმეტრებიან ქაღალდზე შესაბამისი ღერძების დაგრადუირებით. ღერძების დაგრადუირება ნიშნავს: აბსცისთა ღერძზე გადავზომოთ დამოუკიდებლად ცვლადს და დავაგრადუირებთ ღერძს ყოველ სანტიმეტრზე გადასაზომი სიდიდის მნიშვნელობის 10-ის ჯერად რიცხვებში. მაგალითად: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 100; 200; 500 და ა.შ.

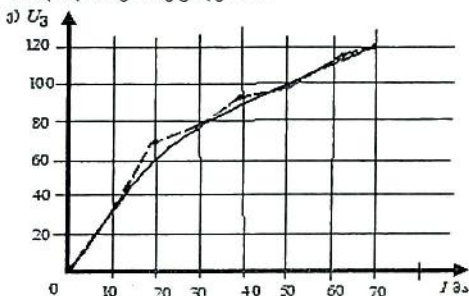
მაგალითად ვთქვათ აბსცისთა ღერძზე უნდა გადაიზომოს დენი, რომლის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 3 ამპერი; აქ და-

საშეგებია ღერძის დაგრადუირება ამპერებში (ნახ გ) ან მილი-ამპერებში (ნახ. დ).



ანალოგიურად დაგრადუირდება ორდინატთა ღერძიც, შესაბამისი ელექტრული სიდიდის ერთეულებში.

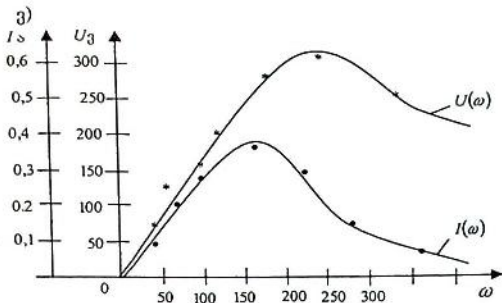
I	U
მა	ვოლტი
11	36
20	68
30	78
37	90
50	98
63	116
70	118



განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ უნდა ავაგოთ $U(I)$ გრაფიკი, რომლის ექსპერიმენტალური თუ ანგარიშის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილში.

მართკუთხა კოორდინატთა სისტემაში აბსცისთა და ორდინატთა ღერძები დავაგრადუიროთ ნახ. ე-ზე ნაჩვენები სახით და ავაგოთ ცხრილში ნაჩვენები ყველა წერტილი. $U(I)$ გრაფიკი გავავლოთ როგორც ამ წერტილების საშუალო მნიშვნელობებზე გავლებული მრუდი (მთლიანი ხაზით) და არა როგორც ყველა წერტილზე გამავალი ტეხილი (წყვეტილი ხაზით). ექსპერიმენტალური წერტილები ზუსტად არ დამთხვევა მთლიან მრუდს, რამდენადაც გაზომვები წარმოებს გარკვეული ცდომილებით.

თუ მაგალითად ექსპერიმენტის რომელიმე წერტილი შესამჩნევად დაშორდება მის მიახლოებით მნიშვნელობას, ცდის ამ შედეგს მხედველობაში არ ვიღებთ. ამ წერტილს „აცდენა“ ეწოდება და გრაფიკზე არ დაიტანება.



არის შემთხვევები, როცა ერთი და იგივე კოორდინატთა სისტემაში უნდა აიგოს ერთი არგუმენტის რამდენიმე ფუნქცია. მაშინ მეტი თვალსაჩინოების მიზნით ვაველებთ რამდენიმე ორდინატთა ღერძს შესაბამისი სიდიდის ჩვენებით და თითოეულ მრუდს ვაგებთ 0 წერტილის მიმართ. ნახ. ვ-ზე ერთდროულად ნაჩვენებია ძაბვისა და დენის ω -ზე დამოკიდებულება. აქ სასურველია სხვადასხვა მრუდის ექსპერიმენტალური წერტილები სხვადასხვა ნიშნაკებით იყოს მოცემული.

20.5. უსაფრთხოების მოთხოვნები

მართალია, ექსპერიმენტალური წრედი შექმლებისდაგვარად დაბალი ძაბვის ელტექნიკური დანადგარია, მაგრამ მასზე არის ქსელის ძაბვის (220 ვ) წერტილები, რომელიც სიცოცხლისათვის სახიფათოა. ამიტომ სამუშაოების ჩატარებისას უნდა ვიყოთ ფრთხილად და მკაცრად დავიცვათ ყველა ის მოთხოვნა, რომელსაც ითვალისწინებს უსაფრთხოების წესები.

დადგენილია, რომ როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის წრედებში ადამიანის ორგანიზმისათვის 0,05 ა დენი საშიშია, ხოლო 0,1 ა დამღუპველი. ცხადია, რომ საფრთხე იზრდება ძაბვის ზრდასთან ერთად. იმისათვის, რომ შევაფასოთ ძაბვის რა მნიშვნელობაა ორგანიზმისათვის საშიში, საჭიროა ვიცოდეთ ადამიანის სხეულის წინაღობა, რომელიც მთელ რიგ ფაქტორებზეა დამოკიდებული, კერძოდ: კანის ხარისხზე, ადამიანის ფსიქოლოგიურ განწყობაზე, დაღლილობაზე და ა.შ. გაზომვები გვიჩვენებს, რომ სხეულის წინაღობა იცვლება 700 ომიდან რამდენიმე ათეულ კილოომის ფარგლებში და ძნელი არ არის იმის მიხვედრა, რომ (40 - 60) ვ რივის ძაბვები უკვე საშიშ ძაბვებად ითვლება.

„უსაფრთხოების ტექნიკა ექსპერიმენტალური სამუშაოების შესრულების დროს“ ითვალისწინებს შემდეგ პუნქტებს:

1. სანამ დავიწყებდეთ ელექტრული წრედის აწყობას ჯერ დავრწმუნდეთ, რომ წრედი გამორთულია და მისი არცერთი მომჭერი ძაბვის ქვეშ არ არის;
2. ძაბვის არსებობა მომჭერებზე არ შეიძლება შევამოწმოთ შიშველი ხელით ან ნაპერწკლიანობით, ამისათვის გამოვიყენოთ ვოლტმეტრი ან სასიგნალო ნათურები;
3. გვახსოვდეს, რომ გამორთულ კონდენსატორზე შეიძლება მუხტის შენახვა და წრედის აწყობის წინ საჭიროა მათი განმუხტვა.
4. დავრწმუნდეთ შემაერთებელი გამტარობის ვარგისიანობაში და წრედის აწყობის დროს ვეცადოთ თავიდან ავიცილოთ მათი ერთმანეთში გადაგრეხვა. ერთ საკონტაქტო წერტილში ნუ დავაგროვებთ სამზე მეტ გამტარს;
5. ავტოტრანსფორმატორის ჩართვის დროს მკაცრად დავაკვირდეთ რომ ერთმანეთს არ ეხებოდეს გამტართა შიშველი კონტაქტები.
6. არ ჩაერთოთ წრედი დამოუკიდებლად მისი გულდასმითი შემოწმების გარეშე.
7. არ შეეხოთ ხელით დენგამტარ შიშველ მავთულს.
8. განსაკუთრებული სიფრთხილით მოექცეთ მბრუნავ ღილვეებს – არ ჩაითრიოს ტანსაცმლის ან თმის ნაწილები.
9. კატეგორიულად იკრძალება საკვლევი სქემის ყოველგვარი გადართვა ძაბვის ქვეშ.
10. სპეციფიკური სუნის ან სხვა ნებისმიერი უწყესრიგობის შემჩნევისას დაუყოვნებლივ გამოვრთოთ წრედი.
11. დნობადი მცველის ან ავტომატური ამომრთველის მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში გამოვრთოთ წრედი, აღვადგინოთ მცველი და არც ერთ შემთხვევაში არ ჩაერთოთ წრედი მანამ, სანამ არ დავადგენთ უწყესრიგობას და არ აღმოვფხვრით მას.
12. ექსპერიმენტის მსვლელობისას გარკვეული გადაანგარიშების დროს ნუ დავტოვებთ წრედს ჩართულ მდგომარეობაში.
13. უნებური შეცდომის შემთხვევაში, რომელსაც შეიძლება მოჰყვეს გატაცუნება წრედში, სუნის ან კვამლის გაშ-

ეება ნუ შეეკმნით პანიკას და დაუყოვნებლივ გამოვ-
როთოთ წრედი.

14. ნუ გავაჩერებთ მაგიდაზე მზომ ხელსაწყოებს, რომლებიც საჭირო არ არის ექსპერიმენტის დროს. დაიცვათ გამოყენებული ხელსაწყოები მექანიკური დარტყმებისაგან. თუ ხელსაწყო არ უჩვენებს, ნუ ვეცდებით მის „მოწესრიგებას“ შენჯღრევით, ხელის დარტყმით და ა.შ.
15. სათავსოში აუცილებელია გეკონდეს სააფთიაქო ყუთი პირველადი დახმარების აუცილებელი აქსესუარებით და გამართული ცეცხლმქრობი ხელმისაწვდომ ადგილზე.

20.6. მუდმივი და ცვლადი დენის წრედების ექვივალენტურობის შემთხვევა

ზოგადად მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები პრინციპულად განსხვავებულია, მაგრამ არის შემთხვევები, როცა პროცესები საესებით ანალოგიურია და გაზომვებიცა და დასკვნებიც კეთდება ერთნაირად. ეს ხდება მაშინ, როცა წრედში ჩართულია რეზისტორები. სამრეწველო სიხშირის ძაბვის სიმცირის გამო ($f = 50$) კვ ზედაპირული ეფექტი არ შეიმჩნევა და რეზისტორის ომური და აქტიური წინაღობები ერთნაირია. ომისა და კირხჰოფის კანონები იწერება და გამოითქმის ერთნაირად. მიმდევრობითი და პარალელური შეერთების კანონები აბსოლუტურად ერთნაირია. სიმძლავრე რეზისტორზე როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის წრედებში იანგარიშება ერთნაირი ფორმულით $P = UI$ და ორივე შემთხვევაში იზომება ვატებში და მის ჯერად ერთეულებში.

ამიტომ ზოგიერთი პროცესის კვლევის დროს, სადაც ჩართულია მხოლოდ რეზისტორები, საკვლევი წრედი ირთება ცვლადი დენის წრედში და მიღებული დასკვნები და შედეგები სამართლიანია როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის წრედებისათვის.

ცვლადი დენის წრედი აღებულია იმ მოსაზრებით, რომ არ თხოულობს კვების სპეციალურ წყაროებს; აღებულია სამრეწველო სიხშირის ქსელური ძაბვა, რომლის სიდიდის რე-


გულირება ლაბორატორიული ავტოტრანსფორმატორით ადვილი და მოხერხებულია.

20.7. პირდაპირი და ირიბი გაზომვები

ა) პირდაპირი და ირიბი გაზომვის სქემები და მეთოდები – პირდაპირი ეწოდება გაზომვის იმ მეთოდს, როცა მზომი ხელსაწყოების შესაძლებლობები, როგორცაა გაზომვის ზღვარი და მგრძნობიარობა, აკმაყოფილებს გასაზომი სიდიდის პარამეტრებს და მზომი ხელსაწყო უშუალოდ გეიჩვენებს ამ სიდიდის მნიშვნელობას. ირიბი გაზომვის მეთოდები ითვალისწინებს არაელექტრული სიდიდეების ელექტრული მეთოდებით გაზომვას. გამაძლიერებლების და სხვადასხვა ტიპის ელექტრული გარდამქმნელების გამოყენებას გაზომვის დროს როცა გაზომილი სიდიდე მრავლდება ან იყოფა გამაძლიერებელი მოწყობილობის გაძლიერების კოეფიციენტზე და ა.შ. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ზემოთ განხილული მზომი ტრანსფორმატორების გამოყენება და სხვა.

ბ) პირდაპირი და ირიბი გაზომვის ხელსაწყოები – ზემოთ განვიხილეთ გაზომვის მეთოდი. რაც შეეხება ხელსაწყოებს პირდაპირი გაზომვის ხელსაწყოები თითქმის არ არსებობს. მაგალითად, სინდიყიანი თერმომეტრით ტემპერატურის გაზომვის დროს იზომება სინდიყის მოცულობა, რომელიც იმატებს ტემპერატურის ზრდით და პირიქით. ამპერმეტრით დენის გაზომვის დროს იზომება გამზომი მექანიზმის მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე და ემსჯელობთ დენის სიდიდეზე. უფრო მეტიც, ვოლტმეტრით ძაბვის გაზომვის დროს მოძრაობის კუთხე დენის პროპორციულია, დენი კი – ძაბვის. დენებია გასაზომი სიდიდეები ვატმეტრის დენის გრაგნილშიც და ძაბვის გრაგნილშიც. ჯამური მობრუნების კუთხე სიმძლავრის პროპორციულია და ა.შ.

20.8. ამპერმეტრის შუნგისა და ვოლტმეტრის დამატებითი წინაღობის გაანგარიშების მაგალითები

ა)  ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის მზომი მექანიზმის ელექტრული სქემა პირობითად წარმოვადგინოთ ნახ. ა-ზე

ნაჩვენები სქემით, სადაც \otimes სიმბოლოთი ნაჩვენებია მზომი ხელსაწყო. R_0 -ით ამ ხელსაწყოს გრაგნილის შიგა წინაღობა. R_0 -ის ხელოვნურად ზრდა ან შემცირება საშუალებას გვაძლევს მზომი მექანიზმი გამოვიყენოთ, როგორც დენის, ისე ძაბვის საზომად.

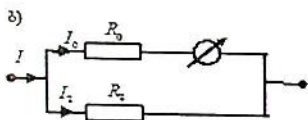
როგორც ზემოთ განვიხილეთ პარალელურად შეერთებული წრედი დენის გამყოფი წრედია.

განვიხილოთ მაგალითი:

როგორ გავიანგარიშოთ შუნტის წინაღობა, თუ ამპერმეტრის გაზომვის ზედა ზღვარი ნაკლებია გასაზომი დენის მნიშვნელობაზე.

გვაქვს ამპერმეტრი, რომლის გასაზომი დენის ზედა ზღვარია 5ა; ამპერმეტრის შიგა მექანიზმის წინაღობა, როგორც წესი, მცირეა და $R_0 = 0,15$ ომის ტოლია. გავიანგარიშოთ შუნტის წინაღობა, რომელიც ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარს 55 ა-მდე გაზრდის.

ამოხსნა

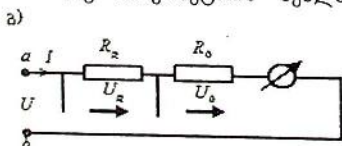


პარალელურად შეერთებულ წრედში (ნახ. ბ) დენები ნაწილდება წინაღობის უკუპროპორციულად:

$$\frac{R_0}{R_2} = \frac{I_0}{I_2}, \text{ ანუ } R_2 I_2 = R_0 I_0, \text{ საიდანაც}$$

$$R_2 = \frac{R_0 I_0}{I_2} = \frac{R_0 I_0}{I - I_0} = \frac{0,15 \cdot 5}{55 - 5} = \frac{0,75}{50} = 0,015 \text{ ომი.}$$

თუ ამპერმეტრის სკალა დაყოფილია 150 ერთეულად, მაშინ ახალი ამპერმეტრის დანაყოფის ფასი იქნება:

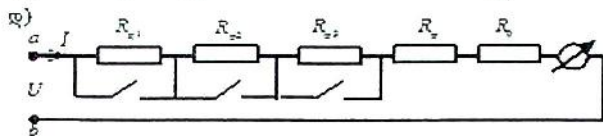


$$\frac{55}{150} = 0,37 \text{ ა.}$$

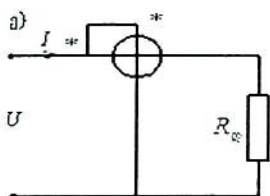
ძაბვის გაზომვის დროს გამზომ მექანიზმში გამავალი დენი მცირე უნდა იყოს, ამიტომ ხელოვნურად იზრდება მისი შიგა წინაღობა ვოლტმეტრთან დიდი R_x დამატებითი წინაღობის მიმდევრობითი შეერთებით. მიმდევრობით შეერთებულ წრედში ძაბვები ნაწილდება

წინალობის პირდაპირპროპორციულად (ნახ. გ):

$$\frac{R_w}{R_0} = \frac{U_w}{U_0}, \text{ ანუ } \frac{R_w}{R_0} = \frac{U - U_0}{U_0}, \text{ საიდანაც } R_w = R_0 \frac{U - U_0}{U_0};$$



დამატებითი წინალობის ცვლილებით შეიძლება ვცვალოთ ვოლტმეტრის გაზომვის ზედა ზღვარი. ამ მიზნით ვოლტმეტრი მზადდება რამდენიმე დამატებითი წინალობით (ნახ. დ), რომელთა ბოლოები ამოტანილია ხელსაწყოთა ფარზე მომჭერების, გადამრთველების, ან კიდევ კლავიატურის სახით, გასაზომი ზღვრის მანქანებელი შესაბამისი წარწერებით. *ab* ვოლტმეტრის წრედში ჩამრთველი მომჭერებია. ვატმეტრის წრედში კი გაზომვი მექანიზმი კომბინირებული ამპერმეტრი და ვოლტმეტრია, რომლის დენის გრაგნილი წრედში ირთება მიმდევრობით, ძაბვის გრაგნილი – პარალელურად. ამ გრაგნილების დასაწყისები (*) სიმბოლოთია აღნიშნული და გენერატორული მომჭერები ეწოდება. გაზომვის ზღვარი შეირჩევა დენის გრაგნილის R_g შუნტისა და ძაბვის გრაგნილის R_w დამატებითი წინალობების შერჩევით. ვატმეტრის გაზომვის ზღვარი დენისა და ძაბვის ზღვრების ნამრავლით განისაზღვრება.



20.9. ექსპერიმენტალური კვლევის რეკომენდირებული ამოცანები

ზემოთ აღწერილ სტენდზე შეიძლება შევასრულოთ ზოგიერთი კვლევა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ექსპერიმენტით შევამოწმოთ თეორიულად განხილული ზოგიერთი კანონი და დებულება. განვიხილოთ ეს ამოცანები:

1) წინაღობის გამოშვა - რეზისტორის წინაღობა გამოთვალეთ ომის კანონით: $R = \frac{U}{I}$. ამისათვის ჩაერთოთ იზ-

სტენდის (§ 2.2) (3 - 4) მომჭერებზე. გავზომოთ UI სიდიდეები და გამოვთვალოთ წინაღობა. გაზომვის ცდომილების შემცირების მიზნით ცდა გავიმეოროთ ძაბვის რამდენიმე მნიშვნელობისათვის და წინაღობის საშუალო მნიშვნელობა გამოვთვალოთ როგორც ცალკეული ექსპერიმენტის დროს მიღებული მნიშვნელობების ჯამი შეფარდებული ექსპერიმენტის რიცხვზე. თუ რომელიმე ექსპერიმენტის შედეგი მკვეთრად განსხვავდება სხვებისაგან, მაშინ გაზომვის ეს შედეგი მხედველობაში არ მივიღოთ.

2) მიმდევრობით შეერთებული წრედის ჯამური წინაღობის განსაზღვრა - (3-4) მომჭერებზე მიმდევრობით ჩაერთოთ ცნობილი წინაღობის რეზისტორები. $R = \frac{U}{I}$ ფორმულით განსაზღვროთ გაზომილი ექვივალენტური წინაღობა და შევამოწმოთ ტოლობა: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

3) პარალელურად შეერთებული წრედის ჯამური წინაღობის განსაზღვრა - (3-4) მომჭერებზე პარალელურად ჩაერთოთ ცნობილი წინაღობის რეზისტორები. $R = \frac{U}{I}$ ფორმულით განსაზღვრეთ ექვივალენტური წინაღობა და შევამოწმოთ ტოლობები: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$, ხოლო ორი წინაღობისათვის:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

4) ვოლტ - ამპერული მახასიათებლის გაზომვა - ჩაერთოთ (3-4) მომჭერებზე საკვლევი რეზისტორი და ავტოტრანსფორმატორის საშუალებით ვცვალოთ ძაბვა ($0 \div U_{\text{დას}}$) დიაპაზონში 10-10 ვოლტის ბიჯით. ეზომოთ შესაბამისი დენები და ავაგოთ $U(I)$ ვოლტ - ამპერული მახასიათებელი.

5) რეალური კოქის R, L პარამეტრების დადგენა - ჩაერთოთ კოქა (3-4) მომჭერებზე და ავტოტრანსფორმატორის საშუალებით დავამყაროთ კოქის მომჭერებზე დასაშვები

ძაბვის მნიშვნელობა. P, U, I გაზომილი სიდიდეებით გავიანგარიშოთ:

კოჭის სრული წინაღობა $-Z = \frac{U}{I}$ ომი;

კოჭის აქტიური წინაღობა $-R = \frac{P}{I^2}$ ომი;

კოჭის რეაქტიული წინაღობა $-X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$ ომი.

რეაქტიული წინაღობის ფორმულიდან: $X_L = \omega L = 2\pi fL$.

განვსაზღვროთ კოჭის ინდუქციურობა $-L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{X_L}{314}$ ჰენრი.

6) რეალური კონდენსატორის R, C პარამეტრების დადგენა – გაზომვები და ანგარიში ვაწარმოოთ №5 ამოცანის ანალოგიურად.

7) უცნობპარამეტრებიანი ორპოლუსას პარამეტრების დადგენა – ჩაერთოთ (3 – 4) მომჭერებზე საკვლევი ორპოლუსა და №5 პუნქტში მითითებული გაზომვებით დავადგინოთ მისი რეალური წინაღობის მნიშვნელობა $-X_1$; მიუყუროთ ორპოლუსას მიმდევრობით ცნობილი X_C წინაღობის კონდენსატორი და იგივე გაზომვებით დავადგინოთ ჯამური რეაქტიული წინაღობა: $X_2 = X_1 - X_C$. თუ $|X_2| > |X_1|$, მაშინ $X_1 < 0$, ე.ი ტევადური ხასიათისაა და პირიქით, თუ $|X_2| < |X_1|$, მაშინ $X_1 > 0$, ანუ ინდუქციური ხასიათისაა.

20.10. მიმდევრობით შეერთებული R, L, C წრედის გამოკვლევა. ძაბვების რეზონანსი და რეზონანსული წრედის თავისებურებანი

გამოვიკვლიოთ ცვლადი დენის განუშტოებელი წრედი სრული წინაღობის სხედასხვა ხასიათის დროს (აქტიურ – ინდუქციური, აქტიურ – ტევადური, აქტიური)

ცდა №1. 3 – 4 მომჭერებს შორის მიმდევრობით შევაერთოთ R, L, C წრედი V_1, V_2, V_3 მზომი ხელსაწყოებით ისე, რომ შესაძლებელი იყოს კონდენსატორის ბატარეის ტევადობის ცვლილება (ნახ. ა).

ჩვერთოთ წრედი და დავამყაროთ წრედში ძაბვის განსაზღვრული მნიშვნელობა - $U = 80$ ვ. კონდენსატორის ბატარეის ტევადობა შევარჩიოთ ისეთი, რომ V_2 ვოლტმეტრის ჩვენებამეტი იყოს V_3 ვოლტმეტრის ჩვენებაზე. ე.ი. $U_1 > U_{j6}$. გაზომილი სიდიდეების მნიშვნელობები შევიტანოთ ცხრილი №1-ში. საანგარიშო ფორმულები:

$$\text{წრედის სრული წინაღობა} - Z = \frac{U}{I};$$

წრედის სრული აქტიური წინაღობა

$$R = \frac{P}{I^2};$$

წრედის სრული რეაქტიური წინაღობა

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2};$$

$$\text{კოჭის სრული წინაღობა} - Z_j = \frac{U_2}{I};$$

$$\text{რეზისტორის წინაღობა} - R_n = \frac{U_1}{I};$$

$$\text{კოჭის აქტიური წინაღობა} - R_j = R - R_n$$

(კონდენსატორის აქტიური წინაღობა სიმცირის გამო მხედველობაში არ მიიღება)

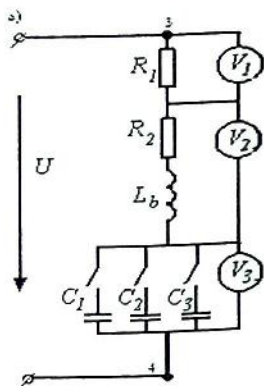
$$\text{კოჭის რეაქტიური წინაღობა} - X_j = \sqrt{Z_j^2 - R_j^2};$$

$$\text{ძვრის კუთხე კოჭის ძაბვასა და დენს შორის} - \varphi_j = \arctg \frac{X_j}{R_j};$$

$$\text{კოჭის ინდუქციურობა} - L = \frac{X_j}{\omega} \quad (\omega = 314; f = 50 \text{ ჰც სიხშირის დროს});$$

კონდენსატორის სრული წინაღობა, რომელიც აქტიური წინაღობის სიმცირის გამო, შეიძლება მივიღოთ რეაქტიული წინაღობის ტოლად - $Z_{j6} = X_{j6} = \frac{U_3}{I};$

$$\text{კონდენსატორის ტევადობა} - C = \frac{1}{\omega X_C} \quad (\omega = 314);$$



ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის - $\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$;

დავადგინოთ ამ კუთხის ნიშანი ($\varphi > 0$ ან < 0 , რადგან $X_L > 0$ ან X_C) (§ 20.9.7);

წრედის სრული სიმძლავრე - $S = UI$;

წრედის რეაქტიული სიმძლავრე გამოვთვალოთ ორი გზით:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; \quad Q = UI \sin \varphi.$$

ცხრილი №1

გავზომოთ						
U, ვ	I, მა	P, ვტ	φ°	U ₁ , ვ	U ₂ , ვ	U, ვ

გაეიანგარიშოთ											
Z, ომი	R, ომი	X, ომი	Z _კ , ომი	R _კ , ომი	X _კ , ომი	L _კ , მჰს	Z _კ =X _კ , ომი	C _კ , მკვ	φ°	Q, ვარი	S, ვა

II. ავავთ ძაბვების ვექტორული დიაგრამა, რომელსაც აქვს ნახ. ბ-ზე ნაჩვენები სახე. აგება ვაწარმოთ ცხრილი №1 მონაცემების მიხედვით შესაბამის მასშტაბის დაცვით და შევამოწმოთ აგებული, ნაანგარიშები და გაზომილი მნიშვნელობები.

გავზომოთ \vec{U} -ის სიგრძე სმ-ში $|\vec{U}|$, გაემრავლოთ იგი ძაბვის არჩეულ მასშტაბზე M_u -ზე და მივიღებთ მნიშვნელობას ვოლტებში $|\vec{U}| \cdot M_U = U_{\text{აგებული}}$;

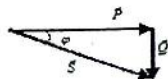
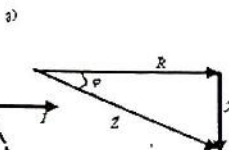
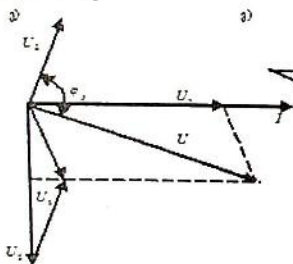
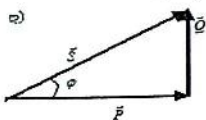
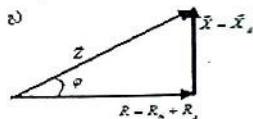
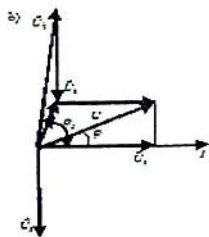
$$U_{\text{გაზ}} = U_{\text{აგებ}} ;$$

III. ავავთ წინაღობათა სამკუთხედი (ნახ. გ). შევირჩიოთ მასშტაბი $M_R = \dots$ ომი/სმ. გავზომოთ $|Z|$ მოდული. გაეიანგარიშოთ სრული წინაღობის აგებული მნიშვნელობა და $|Z| \cdot M_R$

და შევადართო ნაანგარიშებ სიდიდეს $-Z = \frac{U}{I}$; გავიანგარიშოთ φ და შევადართოთ გაზომილ სიდიდეს.

IV. ავაგოთ სიმძლავრეთა სამკუთხედი (ნახ. დ). შევირჩიოთ მასშტაბი $M_p = \dots$ ვტ/სმ. გაეზომოთ $|S|$ გაემარაველოთ M_p -ზე და შევადართოთ ნაანგარიშებ სიდიდეს $S = UI$. წრედი ატარებს აქტიურ ინდუქციურ ხასიათს ($\varphi > 0$).

ცლა №2 გავიმეოროთ №1 ცლა კონდენსატორის ბატარეის ტევადობის ისეთი მნიშვნელობისათვის, რომ $U_2 < U_3$. შევადგინოთ და შევავსოთ ცხრილი №1-ის ანალოგიური ცხრილი №2. ამ ცხრილის მონაცემებით ავაგოთ ვექტორული დიაგრამები ზემოთ ნაჩვენების ანალოგიურად, რომელთა სახეები ნაჩვენებია ნახ. ე, ნახ. ვ და ნახ. ზ-ზე.



წრედი ატარებს აქტიურ - ტევადურ ხასიათს, $\varphi < 0$.

ცლა №3 კონდენსატორის ტევადობა შევირჩიოთ ისეთი, რომ $U_2 \approx U_3$.

შევადგინოთ და შევავსოთ ცხრილი №1 -ის ანალოგიური ცხრილი №3. $U_2 \approx U_3$ ტოლობა მიიღწევა მაშინ, როცა გათანაბრდება ინდუქციური კოჭისა და კონდენსატორის რეაქტიული წინააღობები - $X_j = X_{\text{კ}}$. ამ დროს წრედის რეაქტიული წინა-

დობა $X = X_j - X_{j\phi} = 0$ და სრული წინაღობა -
 $Z = \sqrt{R^2 - 0} = R$ აქტიური წინაღობის ტოლია. ძვრის კუთხე
 დაბვასა და დენს შორის $\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{0}{R} = 0^\circ$.

რეზონანსული წრედი ხასიათდება მთელი რიგი თავისებურებებით, ეუწვევნოთ ისინი ექსპერიმენტალური კვლევით:

1. წრედის სრული წინაღობა აქტიური წინაღობის ტოლია $Z = R$;
2. დენი რეზონანსულ წრედში მაქსიმალურია $I_{\text{რეზ}} > I$;
3. დაბევები ინდუქციურობაზე და ტევადობაზე ერთმანეთის ტოლია - $U_j = U_{j\phi}$;
4. წრედზე მოდებული დაბვა აქტიურ წინაღობაზე მოდებული დაბვის ტოლია $-U = U_1$; $IZ = IR$; ($Z = R$);
5. თუ წრედის პარამეტრები ისე შერჩეული, რომ $X_j = X_{j\phi} > R_n$, სამართლიანია ტოლობა: $IX_j = IX_{j\phi} > IR_n$, ე.ი. $U_1 = U_2 > U_n = U$; ამ დროს დაბევები ინდუქციურობაზე და ტევადობაზე წრედზე მოდებულ დაბვაზე მეტია.

ფარდობას: $\frac{U_d}{U} = \frac{X_d}{R_n} = K$ ვარგისობა ეწოდება და თუ X_j

ბევრად აღემატება რეზისტორის წინაღობას, მაშინ $K > 1$ ანუ $U_j = KU$ იმდენადვე მეტია წრედზე მოდებულ დაბვაზე.

ეს ფაქტი უნდა გავითვალისწინოთ ელექტრული წრედების დაპროექტების დროს. გამტართა იზოლაცია შერჩეული უნდა იყოს რეზონანსული რეჟიმის დაბევების მიხედვით და არა წრედზე მოდებული დაბვისათვის, რომ არ მოხდეს წრედის დაზიანება რეზონანსის დროს. კვლევის შედეგები გავაფორმოთ საექსპერიმენტო ოქმის სახით.

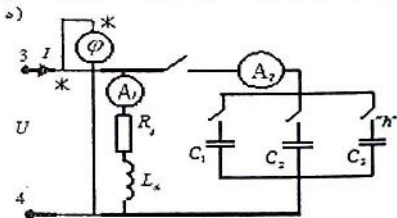
20.12. სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესება

გავეცნოთ ე.წ. „cosφ-ს პრობლემას“ ელექტროტექნიკაში, დაავადგინოთ წრედის პარამეტრების გავლენა ამ სიდიდეზე და გავეცნოთ მისი ამაღლების ერთ - ერთ პრაქტიკაში ყველაზე მეტად გავრცელებულ მეთოდს: ჩავრთოთ აქტიურ - ინდუქციუ-

რი მომხმარებლის პარალელურად ე.წ. მაკომპენსირებელი კონდენსატორები.

სამუშაოს შესრულების თანმიმდევრობა:

ა) ავაწყოთ გასასომი წრედი (ნახ. ა) და ჩაერთოთ ექსპერიმენტული მაგიდის (3 - 4) მომჭერებზე (§ 20.2).

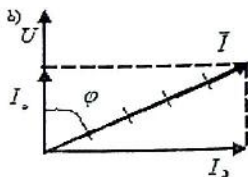


ცლა №1 - გამოვრთოთ „ჩ“ ჩამრთველი და ავტორანსფორმატორის საშუალებით დაეაყენოთ წრედში (3 - 5) ა რიგის დენი. ამ დროს წრედში ჩართულია აქტიური ინდუქციური ხასიათის R_1, L_1 დატვირთვა. გავზომოთ U, I, P, φ პარამეტრები და გავიანგარიშოთ კოჭაში გამავალი დენის (ცხრილი №1) აქტიური და რეაქტიული მდგენელები. თუ \vec{I} დენის ვექტორს დავშლით ურთიერთმართობ \vec{I}_a, \vec{I}_b აქტიურ და რეაქტიულ მდგენელებად:

$$I_a = I \cos \varphi; I_b = I \sin \varphi,$$

ცხრილი №1

გავზომოთ				გავიანგარიშოთ		
U , ვ	I , მა	P , ვტ	φ°	I_a	I_b	$\cos \varphi$
	5					

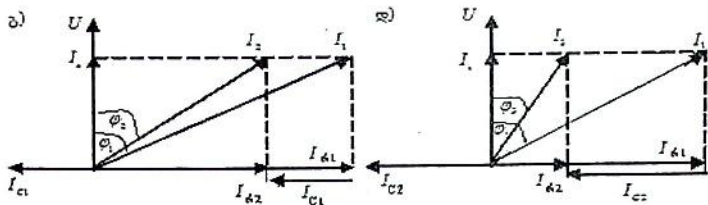


მაშინ ვექტორულ დიაგრამაზე

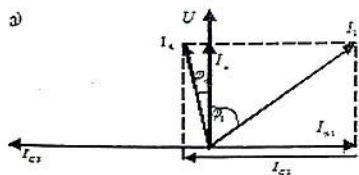
დენის აქტიური მდგენელი მიმართულებით დაემთხვევა ძაბვის ვექტორს (ნახ. ბ), ხოლო რეაქტიული მდგენელი ჩამორჩება მას 90° -ით. ძერის კუთხე ძაბვასა და დენის შორის φ -ს ტოლია და სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos \varphi = \cos \dots^\circ = \dots (< 1)$.

ცლა №2 - ჩაერთოთ C_1 კონდენსატორი. მასში გამავალი დენი I_2 90° -ით წინ გასწრებულია ძაბვის ვექტორისაგან ანუ მიმართულია დენის რეაქტიული მდგენელის საწინააღმდეგოდ.

$I_c = \dots$; $I_b = I_{b1} - I_{c1}$ და ვექტორულ დიაგრამას ექნება ნახ. გ-ზე ნაჩვენები სახე:



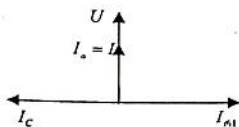
ცლა №3 - ჩაერთოთ C_2 კონდენსატორი გაიზრდება კონდენსატორის ბატარეაში გამავალი დენი. შესაბამისად შემცირდება დენის რეაქტიული მდგენელი და \bar{I}_3 დენის ვექტორი კიდევ უფრო მიუახლოვდა \bar{U} ძაბვის ვექტორს (ნახ. დ). შემცირდა φ_3 კუთხე და შესაბამისად გაიზარდა $\cos \varphi_3 > \cos \varphi_2$. ამ მეთოდით სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესება შეიძლება C კონდენსატორის ტევადობის იმ ოპტიმალურ მნიშვნელობამდე, რომ I_{δ} დენმა სიდიდით არ გადაამეტოს $I_{\delta 1}$ დენის რეაქტიულ მდგენელს.



ცლა №4 - ჩაერთოთ C_3 კონდენსატორი. კონდენსატორთა ბატარეის ჯამური ტევადობის ამ მნიშვნელობის დროს $I_{C3} > I_{\delta 1}$ და დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში

კელაე დაშორდება ძაბვას, ახლა უკვე საწინააღმდეგო ნიშნით (ნახ. ე). ტევადობის შემდგომი ზრდით სიმძლავრის კოეფიციენტი უფრო დაშორდება ერთს.

20.13. დენების რეზონანსი



ცლა №5 - თუ აღებულ წრედში კონდენსატორის ბატარეის ტევადობას შევარჩევთ ისეთნაირად, რომ $I_C = I_{\delta 1}$ -ს, მაშინ დენის რეაქტიული მდგენელი $I_{\delta} = I_{\delta 1} - I_C = 0$. ამ დროს ძაბვა და

დენი ფაზით ერთმანეთს ემთხვევა ($\varphi = 0$), წრედი ატარებს წმინდა აქტიურ ხასიათს და სიმძლავრის კოეფიციენტი ($\cos \varphi = \cos 0^\circ = 1$) მაქსიმალურია.

20.14. ინდუქციურად დაკავშირებული წრედის გამოკვლევა

ავიღოთ ერთ გულარაზე დახვეული ორგრაგნილიანი კოჭა. ჩავრთოთ (3 - 4) მომჭერებზე ერთი გრაგნილის ბოლოები. მე - 5 პუნქტში ნაჩვენები გაზომვებით დავადგინოთ ამ გრაგნილის R_1, L_1 პარამეტრები; შემდეგ ჩავრთოთ მეორე კოჭის ბოლოები და დავადგინოთ R_2, L_2 პარამეტრები. შევაერთოთ კოჭები მიმდევრობით, დავადგინოთ ექვივალენტური R', L' პარამეტრები. შევაბრუნოთ ერთ - ერთი კოჭას მომჭერები და დავადგინოთ R'', L'' პარამეტრები. ექვივალენტური L' და L'' პარამეტრებით დავადგენთ კოჭების ერთსახელა მომჭერებს და ურთიერთინდუქციის M კოეფიციენტს. (§10.6).

20.15. ერთფაზა მრიცხველის გამოკვლევა

მრიცხველის 1 - 3 მომჭერები შევაერთოთ სტენდის 3 - 4 მომჭერებთან, ხოლო 2 - 4 მომჭერებზე მივეურთოდ (20 - 40) ომი წინაღობის რეოსტატი. დავამყაროთ ნომინალური ძაბვა 220 ვ და დატვირთვის სხვადასხვა ცნობილ მნიშვნელობებზე გავზომოთ დენი, წამშრომით გავზომოთ $n' = (50 - 100)$ ბრუნვისათვის საჭირო დრო.

$W_1 = UIt$ ფორმულით გამოვთვალოთ დახარჯული სიმძლავრე კვტსთ - ში. მრიცხველის ფარზე მითითებულია მისი მუდმივა $n \frac{\text{ბრ}}{\text{კვტსთ}}$ და შევადგინოთ პროპორცია:

$$1 \text{ კვტ.სთ} - n \frac{\text{ბრ}}{\text{კვტ.სთ}} \text{ (მრიცხველის მუდმივა),}$$

$$W_1 \text{ კვტ.სთ} - n_x.$$

$$\text{გამოვთვალოთ } n_x = \frac{W_1 \cdot n_{\text{ბრ}}}{1}$$

$$\text{აქედან } n_x = \frac{W_1 \cdot n_{\text{ბრუნვების}}}{1}$$

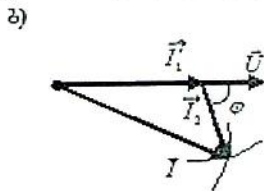
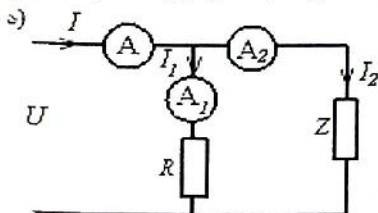
გამართული მრიცხველისათვის $n_x = n'$.

20.16 სიმძლავრის კოეფიციენტის განსაზღვრა

ა) ერთფაზა მრიცხველის საშუალებით – პირველ ცდაში ერთფაზა მრიცხველის გამოსავალ მომჭერებზე ჩაერთოთ საკვლევი ორპოლუსა და (2 - 3) წუთის განმავლობაში დავევალოთ ბრუნთა რიცხვი. მრიცხველი აღრიცხავს აქტიურ ენერჯიას და ბრუნთა რიცხვი n' - $UIt \cos \varphi$ სიდიდის პროპორციულია, ხოლო სრული წინაღობა $Z = \frac{U}{I}$;

მეორე ცდაში ერთფაზა მრიცხველის გამოსავალზე ჩაერთოთ იგივე წინაღობის რეოსტატი და დავევალოთ ბრუნთა რიცხვი დროის იმავე შუალედში; აქტიური დატვირთვის დროს ბრუნთა რიცხვი n'' პროპორციულია UIt სიდიდის, მაშინ ფარდობა $\frac{n'}{n''} = \frac{KIt \cos \varphi}{KIt} = \cos \varphi$ სიმძლავრის კოეფიციენტის ტოლია.

ბ) სამი ამპერმეტრით – სტენდის 3 - 4 მომჭერებზე მიუერთოთ ნახ. ა-ზე ნაჩვენები წრედი, სადაც Z საკვლევი ორპოლუსაა და R აქტიური წინაღობა. გაავზომოთ I_1, I_2, I_3 დენები;



ავაგოთ ვექტორული დიაგრამა. საწყის ვექტორად ავიღოთ \vec{U} ძაბვის ვექტორი. I_1 დენი ფაზით ემთხვევა ძაბვას და გადავზომოთ \vec{I}_1 დენის ვექტორი \vec{U} ძაბვას ვექტორის მიმართულებით (ნახ. ბ). კირხჰოფის I კანონით: $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 = \vec{I}$, მაშინ \vec{I}_1 ვექტორის ბოლოდან შემოვხაზოთ რკალი $|\vec{I}_2|$

რადიუსით, ხოლო \vec{I}_1 ვექტორის დასაწყისიდან $|\vec{I}|$ რადიუსით, ამ რკალების გადაკვეთის წერტილში შეხვედებიან \vec{I} და \vec{I}_2 ვექტორები. გავზომოთ კუთხე φ დაბვისა და \vec{I} დენის ვექტორების შორის და სპეციალური ცხრილიდან განვსაზღვროთ $\cos \varphi$.

20.17. არაწრფივი წრედების გაანგარიშება გრაფიკული მეთოდით

ექსპერიმენტული მაგიდის 3-4 მომჭერებზე რიგრიგობით მკუერთოთ R_1 და R_2 არაწრფივი წინაღობები და დაბვის ცვლილებებისას ავიღოთ შესაბამისი დენის მნიშვნელობები. გრაფიკული აგების სიზუსტის გაზომვის მიზნით გაზომვები ჩაუტაროთ დაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობებზე. მისი სიდიდით ცვლილების ახლო საფეხურებით. (ცხრილი 1, ცხრილი 2).

ცხრილი 1

$U, \text{ვ}$	$I, \text{მა}$
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

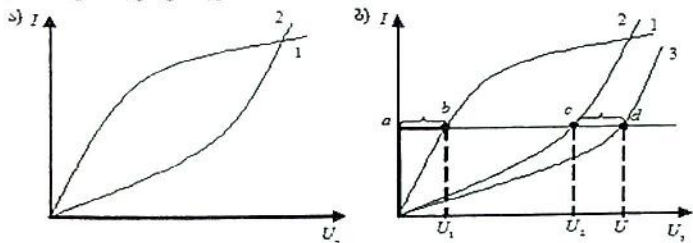
ცხრილი 2

$U, \text{ვ}$	$I, \text{მა}$
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

ამ ცხრილების მონაცემებით ავაგოთ R_1 და R_2 არაწრფივი რეზისტორების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები, რომელთა მიახლოებითი სახე ნაჩვენებია 1 და 2 მრუდებით ნახ. ა-ზე.

ნახ. ა-ზე მიღებული ექსპერიმენტალური 1, 2 მრუდებით ავაგოთ მიმდევრობით შეერთებული წრედის ჯამური ვოლტ - ამპერული მახასიათებელი (მრუდი 3) (ნახ. ბ) გრაფიკული შეკრების წესით. რამდენადაც მიმდევრობით შეერთებულ წრედში გადის ერთი და იგივე დენი და წრედზე მოდებული დაბვა $U = U_1 + U_2$, ამიტომ დენების სხვადასხვა მნიშვნელო-

ბებზე შეეკრიბოთ U_1 და U_2 დაბეების შესაბამისი აბსცისები. ნახ. ბ-ზე ნაჩვენებია ჯამური 3 მრუდის ერთ - ერთი d წერტილის აგების წესი. ანალოგიურად აიგება მე-3 მრუდის დანარჩენი წერტილები: $ad = ac + ab$ ($U = U_1 + U_2$).



გ) გადავწყვიტოთ მიმდევრობით შეერთებულ წრედში დასმული შესაძლო ამოცანები:

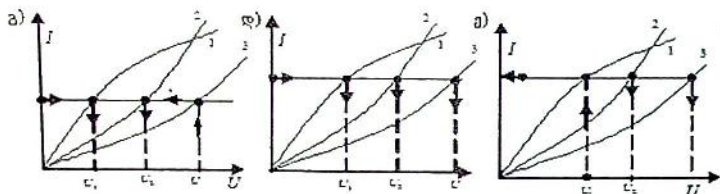
I. მოცემულია წრედზე მოდებული დაბვა (U) განვსაზღვროთ დენი წრედში (I) და დაბვები თითოეულ რეზისტორის ბოლოებზე. (U_1, U_2).

II. მოცემულია წრედში გამავალი დენის სიდიდე (I) განვსაზღვროთ წრედზე მოდებული დაბვა (U) და დაბვები თითოეული რეზისტორის ბოლოებზე (U_1, U_2).

III. მოცემულია დაბვა ერთ - ერთი რეზისტორის ბოლოებზე (მაგალითად U_1). განვსაზღვროთ დენი წრედში (I); წრედზე მოდებული დაბვა (U); მეორე ელემენტზე მოდებული დაბვა (U_2).

ამოხსნა

თითოეული ამოცანა გადაწყდება 1, 2, 3 ვოლტ - ამპერული მახასიათებლით გრაფიკული აგების წესით. დიაგრამაზე აიღება მოცემული ელექტრული სიდიდე და დანარჩენების განსაზღვრა ისრებით ნაჩვენებია ნახ. გ-ზე (ამოცანა I); ნახ. დ-ზე (ამოცანა II); ნახ. ე-ზე (ამოცანა III).



დავალება: გადავწყვიტოთ ამოცანები ექსპერიმენტალური მონაცემებით თუ:

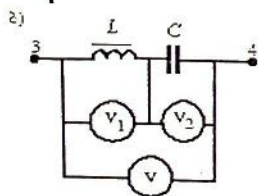
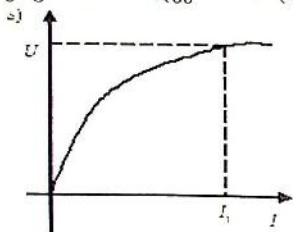
$$I - U = 80 \text{ ვ;} \quad II - I = \dots \text{ მა;} \quad III - U_1 = 40 \text{ ვ;}$$

§ 20.18. ძაბვების ფერორეზონანსული მოვლენის გამოკვლევა

ჩაერთოთ (3-4) მომჭერებზე ფერომაგნიტურგულარიანი კოჭა (§14.6) და გადავიღოთ მისი ვოლტამპერული მახასიათებელი (ნახ. ა). განვსაზღვროთ გაჯერებული კოჭას წინა-

ლობა - $X_L = \frac{U_1}{I_1}$. ავიღოთ $X_C = X_L = \frac{1}{\omega C}$ წინალობის კონდენსა-

ტორი, რომლის ტევადობა $C = \frac{1}{X_L \omega} = \frac{1}{314 X_L}$ და შევაერთოთ იგი კოჭასთან მიმდევრობით (ნახ. ბ).



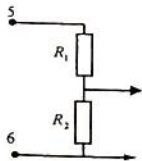
დავაყენოთ ავტოტრანსფორმატორის სახელური ნულთან მდგომარეობაში, ჩაერთოთ წრედი და მდოვრედ ვცვალოთ წრედზე მოდებული ძაბვის სიდიდე. ჩავინიშნოთ დენის ზრდის ნახტომისებური ცვლილებისას U ძაბვის მნიშვნელობა და გავაგრძელოთ ძაბვის ზრდა. შემდეგ შევამციროთ U ძაბვის მნიშვნელობები. დენის შემცირების ნახტომისებური ცვლილების შემთხვევაში ძაბვის მნიშვნელობა ნაკლებია ნახტომისებური ზრდის შესაბამის ძაბვაზე.

20.19. ფერომაგნიტური სტაბილიზატორი

(§14.7) აღწერილ სქემაზე შეიძლება დავაკვირდეთ ფერომაგნიტურ სტაბილიზატორის მოქმედების პრინციპს. გავზომოთ ძაბვა ფერომაგნიტურგულარიანი კოჭის მომჭერებზე და დავადგინოთ სტაბილიზატორის ძაბვის სტაბილიზაციის დიაპაზონი.

20.20. დაკვირვება გამართული დენის ფორმაზე

დენის ფორმას რომ დავაკვირდეთ იგი უნდა გადაიდეს წრფივ რეზისტორში და ამ რეზისტორის ბოლოები შევაერთოთ ოსცილოგრაფის შესავალზე.



ოსცილოგრაფის ეკრანზე მივიღებთ რეზისტორზე მოდებული ძაბვის ფორმას, რომელსაც შეესაბამება გამართული დენის ფორმაც. ავიღოთ მიმდევრობით შეერთებული $R_1 = 10$ კომი და $R_2 = 2$ კომი 1 ეტ სიმძლავრეზე

გათვლილი რეზისტორები; R_2 -დან მოხსნილი ძაბვა მიუერთოდ ოსცილოგრაფის შესავალზე. ავტოტრანსფორმატორის საშუალებით დავამყაროთ ძაბვა 100ვ რივის. მოვამზადოთ ოსცილოგრაფი მისი მოხმარების წესის მიხედვით და დავაკვირდეთ გამართული დენის ფორმებს: ნახევარპერიოდიანი და სრულპერიოდიანი გამართვის დროს უფილტროდ, ტკეადური ფილტრით, ინდუქციური ფილტრით, L , C ფილტრით. ვილტრის სახე ნაჩვენებია ცხრილში ჩ4, ჩ5, ჩ6 ჩამრთველების კომბინაციით. (+) სიმბოლოთი ნაჩვენებია ჩართული მდგომარეობა, (-) - გამორთული.

№	გამართული ძაბვის სახე	ჩ4	ჩ5	ჩ6
1	ნახევარპერიოდიანი გამართველი უფილტროდ	-	-	+
2	C ფილტრით	-	+	+
3	"....." L ფილტრით	-	-	-
4	"....." LC ფილტრით	-	+	-
5	სრულპერიოდიანი გამართველი უფილტროდ	+	-	+
6	"....." C ფილტრით	+	+	+
7	"....." L ფილტრით	+	-	-
8	"....." LC ფილტრით	+	+	-

გაზომვებით შევამოწმოთ დამოკიდებულებები მოდებულ და გამართულ ძაბვებს შორის:

ნახევარპერიოდული გამართვის დროს $U_0 = 0,45U$,

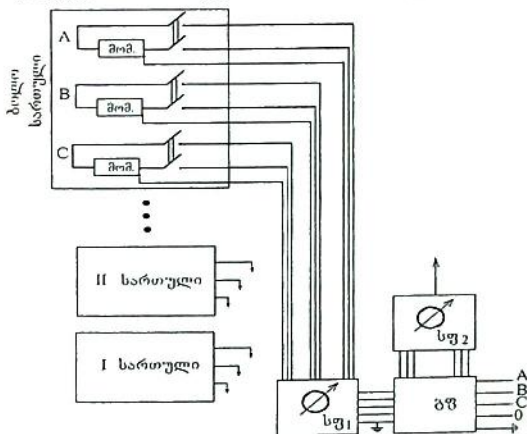
სრულპერიოდული გამართვის დროს $U_0 = 0,9U$.

თაზი XXI საყოფაცხოვრებო ელექტროტექნიკა

ამ თავში შევეხებით შენობა - ნაგებობების ელმომარაგების რეკომენდირებულ სქემებს, ელექტროაღჭურვილობის ელემენტებს, მათ ტიპებს, დანიშნულებასა და ჩართვის სქემებს.

21.1. ელექტრომომარაგების პირობითი სქემა

ნახაზზე ნაჩვენებია მრავალსართულიანი საცხოვრებელი სახლის ელექტრომომარაგების პირობითი სქემა.



ასეთი სახლების ელექტროენერგიით მომარაგება ხდება გამანაწილებელი ფარიდან (გფ), რომელსაც 380/220 ვ ძაბვა მიეწოდება სატრანსფორმატორო ქვესადგურიდან. გფ-ში განლაგებულია ავტომატური - ამომართველები და მართვის მოწყობილობები. გფ-დან ელენერგია მიეწოდება სართულების გამანაწილებელი ფარებს (სფ₁, სფ₂). სართულების გამანაწილებელი ფარების შემადგენლობაში შედის მრიცხველები, ავტომატური ამომართველები და დამცავი დამიწების მოწყობილობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ელექტროენერგიის მიწოდებას მომხმარებლებზე და ავარიის შემთხვევაში ახდენენ აბონენტის ამორთვას ქსელიდან. მრიცხველების გავლით ხდება თითოეული მობინადრის ქსელში ჩართვა-ამორთვა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. აქვე ხდება მათ მიერ დახარჯული ელექტროენერგიის აღრიცხვა.

მრიცხველები დალუქულია და ხელმიუწვდომელია ნებისმიერისათვის. დახარჯული ენერჯიის შემოწმება ხდება გარედან ვიზუალური დაკვირვებით.

ნახაზზე გაშიფრულია ბოლო სართულის A, B, C ფაზებზე ჩართული თითოეული მობინადრის ელექტროენერჯიით მომარაგების სქემა. დანარჩენებს ენერჯია მიეწოდება ანალოგიურად და ნაჩვენებია პირობითი ისრებით. მობინადრები ჯგუფებად ირთვებიან თვითოეული ფაზის წრედში ვარსკვლავური სქემით. მობინადრების რაოდენობრივი განაწილება ფაზებზე წარმოებს იმისი წინასწარი გადათვლებით რომ ფაზათა დატვირთვა მეტ - ნაკლებად იყოს სიმეტრიული.

გფ-ის სიმძლავრის შერჩევა წარმოებს მობინადრეთა მოხმარებული ენერჯიის, გარეგანათების, ლიფტებისა და სხვა სახის გარე მომხმარებელთა სიმძლავრეების გათვალისწინებით.

21.2. კაბელები და ელექტროსადენები

ელექტრული ენერჯიის გადაცემა და განაწილება ხდება კაბელებისა და ელექტროსადენების საშუალებით, რომლებიც შეირჩევა მკვებაეი ელექტროსისტემის მიხედვით (ერთფაზა, სამფაზა,საკაბელო, საკაბელო) გადასაცემი სიმძლავრისა და საიზოლაციო პირობების გათვალისწინებით.

ძალური კაბელები. დანიშნულების მიხედვით არსებობს რამდენიმე სახის (მარკის) ძალური კაბელი.



BBГ, BBГ_{HF} ტიპის კაბელების გარე ხედი

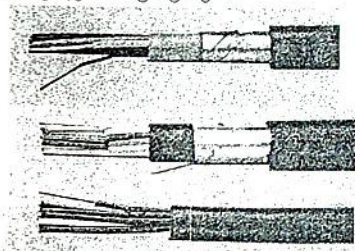
BBГ, BBГ_{HF} მარკის კაბელები გამოიყენება ელექტროენერჯიის მისაწოდებლად სტაციონალურ დანადგარებზე 50 კვ სიხშირისა და არაუმეტეს 600 ვ ძაბვის დროს. კაბელი მზადდება პოლიმერული გარსაცმით, (1,5 ÷ 35) მმ² კვეთის სპილენძის სადენებით. სადენთა რაოდენობა შეიძლება იყოს 2,3,4.

NYM მარკის ძალური კაბელი გამოიყენება სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო სტაციონალურ სათავსოების ელექტრომონტაჟის დროს. შიდა ძარღვების კვეთი იცვლება (1,5 ÷ 4) მმ²

დიაპაზონში და ჩასმულია ღია ნაცრისფერ ცეცხლმედვე მასალისაგან (ПВХ) დაშლადებულ გარსაცმში. შიგა ძარღვების იზოლაცია შესრულებულია რეზინისაგან. ორძარღვა კაბელის ძარღვები შავი და ლურჯი ფერისაა, სამძარღვიანის – შავი, ლურჯი და მწვანე ზოლიანი ყვითელი, ოთხძარღვა – შავი, ლურჯი, ყავისფერი, შავი მწვანე ზოლიანი და ყვითელი მწვანე ზოლიანი.

საკონტროლო კაბელები. КВБНШ₆ და КВББНГ მარკის კაბელები გათვალისწინებულია 600 ვ მაქსიმალურ ძაბვაზე და 100 კვ სიხშირეზე და 1000 ვ-მდე ძაბვაზე მუდმივი ძაბვისათვის.

ქვემოთ ნაჩვენებია სხვადასხვა ტიპის საკონტროლო კაბელების ფოტოები:

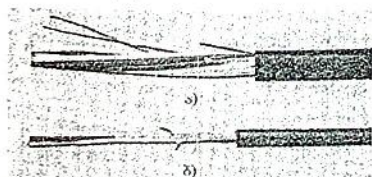


КВБНШ₆ და КВББНГ

КВВГЭ, КВВГЭ_{III}

КВВГ, КВВГ_{III}

შემაერთებელი კაბელები. МКШ და МКЭШ მარკის კაბელები გამოიყენება ელექტრული ბლოკების გადასაბმელად 500 ვ ძაბვაზე და 400 კვ სიხშირის დროს. გარემოს ტემპერატურა დასაშვებია (- 50 + + 70⁰ C) დიაპაზონში. ძარღვების კვეთები იცვლება (0,35 + 0,75) მმ² დიაპაზონში ძარღვთა რაოდენობა - 2,3,5,7,10,14).

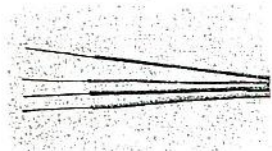


ამ ტიპის კაბელებში გამოყენებული ПВХ ტიპის გარსაცმის გარდა გამოყენებულია ალუმინის ფოლგის ეკრანი.

მრავალძარღვა კაბელების ძარღვების კვეთები იცვლება (1,5 + 6) მმ² დიაპაზონში; ძარღვთა რიცხვი (10 + 37).

სამონტაჟო სადენები. ქვემოთ მოცემულია სამონტაჟო სადენების ჩამონათვალი დანიშნულების და აგებულების მიხედვით:

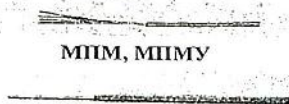
МГШВ, МГШВ-1, МГШВЭ, МГШВЭ-1, МГШВЭВ და МГШВЭВ-1 ტიპის სადენები გა-



მოიყენება ცვლადი დენის წრედებში 380 ვ ძაბვამდე კვეთით (0,12+0,14)მმ²; 1000 ვ ძაბვამდე კვეთით (0,2+1,5)მმ² და მუდმივი დენის წრედებში 500 ვ-მდე და 1500 ვ-მდე

აღნიშნული კვეთის შესაბამისად.

დენგამტარში ძარღვი მზადდება ტყვია-კალის შენადნობით დაფარული სპილენძის სადენისაგან. სადენებს გააჩნია კომბინირებული ლენტური და ПВХ იზოლაცია; ყველა სადენი ერთძარღვაა МГШВЭ-1 -ის გარდა, რომელიც შეიძლება იყოს ორი ან სამძარღვა.



МПМ, МПМУ



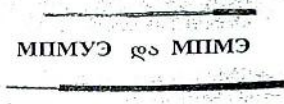
ПВ-1



ПВС



ШВВП



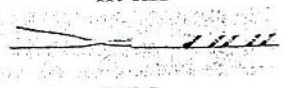
МПМУЭ და МПМЭ



ПВ-3



ПУНП



ШВО

МПМ, МПМУ, МПМУЭ და МПМЭ, ტიპის სადენები გამოიყენება ცვლადი დენის წრედებში 250 ვ ძაბვამდე და 5000 ჰვ სისწირის დროს და მუდმივი ძაბვის წრედში 350 ვ ძაბვაზე. ძარღვი დამზადებულია ტყვიის ფენით დაფარული სპილენძის სადენისაგან, ყველა სადენი იზოლირებულია დაბალი წნევის პოლიეთილენის ფენით.

სადენები გამოდის:

МПМ - 0,12 ÷ 1,5 მმ² კვეთით - ერთძარღვაა;

МПМУ - 0,12 ÷ 1,5 მმ² კვეთით - ერთძარღვაა;

МПМУЭ - 0,43 ÷ 3,34 მმ² კვეთით - 1,2,3 ძარღვაა;

МПМЭ - 1,43 ÷ 3,33 მმ² კვეთით - 1,2,3 ძარღვაა; МПМУЭ და МПМЭ ტიპის სადენებს დამატებით გააჩნია ეკრანი. გარემოს ტემპერატურა (- 50 ÷ 85) °C, იზოლაციის წინაღობა 10⁵ მომი/მ.

ПВ - 1, ПВ - 3 - წარმოადგენს ერთძარღვა ПВ - 1 და მრავალძარღვა (ПВ - 3 ПВ - 4) სპილენძის სადენს ფერადი ПВХ იზოლაციით. სადენის კვეთები იცვლება (0,12 ÷ 1,5) მმ² დიაპაზონში. გარემოს ტემპერატურა (- 50 ÷ 70) °C. ПВС ტიპის სადენები გამოიყენება 380 ვ ძაბვამდე ცვლადი დენის წრედში და მზადდება (0,75 ÷ 2,5) მმ² კვეთის დიაპაზონში. ძარღვების რიცხვი შეიძლება იყოს 2, 3, 4, 5. გარემოს ტემპერატურა (- 40 ÷ 70) °C.

АУНП სადენებს გააჩნიათ პლასტმასის იზოლაცია ПВХ გარსაცმში. მზადდება კვეთით (1 ÷ 6) მმ² დიაპაზონში ძარღვების რიცხვი 2,3,4. ЦВВП - ძარღვის კვეთები (0,5 ÷ 0,75) მმ² დიაპაზონში. ძარღვების რიცხვი 2 ან 3.

21.3. სადენების კვეთის შერჩევა გახურებაზე

დენგამტარი გამტარის კვეთი შეირჩევა დენის სიმკვრივის მიხედვით. ცხრ.1 და ცხრ.2 მოცემულია სპილენძისა და ალუმინის სადენების კვეთების დასაშვები მნიშვნელობები ძარღვთა რიცხვისა და ენერგიის გადაცემის პირობების გათვალისწინებით. თუ ძარღვთა რიცხვი ოთხზე მეტია მხედველობაში მიიღება კოეფიციენტები 0,68-5 ან 6 სადენისათვის; 0,63(7÷9) და 0,6-(10÷12) სადენისათვის.

ცხრილი 1

დენგამტარი სადენის კვეთის მძ	დენი ამპერებში სპილენძის სადენებში რეზინის ან PBX იზოლაციით					
	ღია გაყვანილობა	სადენები მოთავსებულია ერთ მილში				
		ორი ერთპარლვა სადენი	სამი ერთპარლვა სადენი	ოთხი ერთპარლვა სადენი	ერთი სპამპარლვა სადენი	ერთი სპამპარლვა სადენი
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1,0	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2,0	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3,0	34	32	28	26	28	24
4,0	41	38	35	30	32	27
5,0	46	42	39	34	37	31
6,0	50	46	42	40	40	34
8,0	62	54	51	46	48	43
10,0	80	70	60	50	55	50

ცხრილი №2

დენგამტარი სადენის კვეთის მძ	დენი ამპერებში ალუმინის სადენებში რეზინის ან PBX იზოლაციით					
	ღია გაყვანილობა	სადენები მოთავსებულია ერთ მილში				
		ორი ერთპარლვა სადენი	სამი ერთპარლვა სადენი	ოთხი ერთპარლვა სადენი	ერთი სპამპარლვა სადენი	ერთი სპამპარლვა სადენი
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3,0	27	24	22	21	22	18
4,0	32	28	28	23	25	21
5,0	36	32	30	27	28	24
6,0	39	36	32	30	31	26
8,0	46	43	40	37	38	32
10,0	60	50	47	39	42	38

სადენის კვეთი დატვირთვის სიმძლავრისა და სადენის მასალის მიხედვით.

ცხრილი №3

სადენის კევი, გვ²	ღია გაყვანილობის წრედი						მილში ჩადებული სადენები					
	სპილენძის სადენი			ალუმინის სადენი			სპილენძის სადენი			ალუმინის სადენი		
	სიმძლავრე კვტ		დენი, ა	სიმძლავრე კვტ		დენი, ა	სიმძლავრე კვტ		დენი, ა	სიმძლავრე კვტ		დენი, ა
	220 ვ	380 ვ		220 ვ	380 ვ		220 ვ	380 ვ		220 ვ	380 ვ	
0,5	11	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	15	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	17	3,7	6,4	-	-	-	14	3,0	5,3	-	-	-
1,5	23	5,0	8,7	-	-	-	15	3,3	5,7	-	-	-
2,0	26	5,7	9,8	21	4,6	7,9	19	4,1	7,2	14	3,0	5,3
2,5	30	6,6	11,0	24	5,2	9,1	21	4,6	7,9	16	3,5	6,0
4,0	41	9,0	15,0	32	7,0	12,0	27	5,9	10,0	21	4,6	7,9
6,0	50	11,0	19,0	39	8,5	14,0	34	7,4	12,0	26	5,7	9,8
10,0	80	17,0	30,0	60	13,0	22,0	50	11,0	19,0	38	8,3	14,0

ნულოვანი სადენის შერჩევისას უნდა გაეითვალისწინოთ, რომ მისი გამტარობა არ უნდა იყოს 50 %-ზე დაბალი ვიდრე დენგამტარი ძარღვისა.

მოცემული ცხრილებით გამტარის კვეთის შერჩევის შემდეგ უნდა შევამოწმოთ არჩეული სადენის ეკონომიურობა შემდეგი ფორმულით: $S = \frac{I}{J}$, სადაც S - გამტარის კვეთია, I -

დენი მაქსიმალური დატვირთვის დროს, J - დენის ნორმირებული სიმკვრივე. ანგარიშის დამრგვალებული შედეგები მოყვანილია №4 ცხრილში.

ცხრილი №4

იზოლაციის ტიპი	სადენის მასალა	დენის ნორმირებული სიმკვრივე (ა/მმ²)
არაიზოლირებული სადენი	სპილენძი ალუმინი	1,8 1,0
ПВХ ან რეზინის იზოლაცია	სპილენძი ალუმინი	2,0 1,2
კაბელები და სადენები რეზინის და პლასტმასის იზოლაციით	სპილენძი ალუმინი	2,7 1,6

21.4. სადენებისა და კაბელების კვეთის ანგარიში დასაშვები მნიშვნელობის ძაბვის დანაკარგებზე

დასაშვები მნიშვნელობის ძაბვის დანაკარგებზე სადენებისა და კაბელების გაანგარიშება ხდება ძირითადად განათების ქსელებში. ძალურ წრედებში ეს მეთოდი გამოიყენება შედარებით შორ მანძილებზე ენერგიის გადაცემის დროს. ტოლი სიდიდის სადენების კვეთი განისაზღვრება ფორმულებით:

დენი, ძაბვა და ენერგიის გადაცემის სისტემა	C	
	სპილენძის სადენები	ალუმინის სადენები
380/220 ვ სისტემის ოთხსადენიანი გადაცემის ხაზი ფაზათა თანაბარი დატვირთვით	83	50
ორფაზა სისტემა (ორი ფაზა და ნული) 380/220 ვ სისტემის სამფაზიანი წრედი	32	22
120 ვ-იანი სამფაზა ხაზი ფაზების თანაბარი დატვირთვის დროს	8	5
სამფაზიანი სისტემის ორფაზა ხაზი (ორი ფაზა) 120 ვ ძაბვის დროს	3,6	2,2
220/127 ვ სამფაზა სისტემის ოთხსადენიანი ხაზი ფაზების თანაბარი დატვირთვის დროს	28	17
ორი ფაზა და ნული 220/127 ვ სამფაზიანი სისტემის წრედი	12,2	7,3
ერთფაზიანი ხაზი 127 ვ ძაბვის დროს	4,6	2,75

1. სამფაზა წრედებში, როცა დატვირთვა ჩართულია ხაზის ბოლოში

$$S = \frac{PI}{CAU\%} \text{ მ}^2,$$

სადაც C კოეფიციენტი დამოკიდებულია ძაბვაზე და სადენის კუთრ წინაღობაზე და განისაზღვრება შემოთმომოყვანილი ცხრილიდან.

მაგალითად 100მ სიგრძის 380/220 ვ სამფაზა სისტემის განათების ხაზის სპილენძის კვეთი, რომლის დატვირთვის სიმძლავრე 10 კე-ია იქნება იანგარიშება ფორმულით:

$$S = \frac{Pl}{C\Delta U\%} = \frac{10 \cdot 100}{83 \cdot 2,5\%} = 4,83 \text{ მმ}^2,$$

სადაც $\Delta U\%$ ძაბვის ნაზრდია პროცენტებში (2,5%).

მასთან მეტობით მიახლოებული კვეთის სადენია 6მმ².

21.5. ელექტროგაყვანილობა

ელექტროგაყვანილობის ქვეშ იგულისხმება დენგამტარი სადენების კაბელების, საკომუნიკაციო და მართვა კონტროლის წრედების ერთობლიობა შესაბამისი სამაგრებითა და კონსტრუქციული შესრულებებით.

გაყვანილობის მიხედვით არსებობს ღია და დახურული ელგაყვანილობის ქსელები.

ღია გაყვანილობა შენობის შიგნით სრულდება. მოქნილ მილებში ჩადებული სადენებით, საკონტაქტო კვანძები თავს იყრის კოლოფებში, გამოიყენება საკონტაქტო საღტეები და ამკრეფი საკვანძო მომჭერები და ა.შ. დახურულ გაყვანილობებში სადენი სათანადო საიზოლაციო და კვეთის პირობების დაცვით თავსდება ბათქაშის ქვეშ.

ელექტროგაყვანილობის ტიპის არჩევა ხდება გარემო, უსაფრთხოების, ელექტრო და სახანძრო პირობების გათვალისწინებით და ელგაყვანილობის დანიშნულებით. კაბელებისა და ელგაყვანილობის სადენების ჩადებისას გათვალისწინებული უნდა იყოს მთელი რიგი ქვემოთ ჩამოთვლილი მოთხოვნები:

- ჯგუფური წრედების ყველა ხაზი უნდა იყოს სამხაზიანი (ფაზური სადენი, ნულოვანი სადენი და დამცავი ჩამიწების სადენი).

- სადენი ადვილმისაწედლომი უნდა იყოს გაყვანილობის მთელ სიგრძეზე და დაცული უნდა იყოს ფაზირება იზოლაციის დადგენილი ფერებით: ნულოვანი სადენი – ლურჯი; დამცავი ჩამიწების სადენი – ყვითელი მწვანე ზოლით; ფაზური სადენები შეიძლება იყოს შავი, ყავისფერი, წითელი, იისფერი, ვარდისფერი, თეთრი და ცისფერი. სადენები უნდა ჩაიდოს ისე, რომ ადვილი იყოს მათი შეცვლა. დასაშვებია ფაზური და ნულოვანი სადენების ჩადება ერთ ლითონის მილში, შედარებით მცირე დენების დროს. 25 ა-ზე მეტი

დენების დროს ფაზური და ნულოვანი სადენები ჩაიდება ცალ - ცალკე.

სადენების შეერთება კვანძებად უნდა შესრულდეს ბუნიკების მიწნეხვით, შედუღებით, მირჩილვით ან ხრახნული მომჭერებით. ამავე დროს შეერთების წერტილებში უნდა გავითვალისწინოთ სადენის სიგრძის მარაგი, შემდგომი შეერთებებისათვის. ეს წერტილები უნდა იყოს ხელმისაწვდომი სადენის გამოცვლის ან რემონტის საწარმოებლად. შეერთებები ხორციელდება შესაბამის ყუთებში, სადაც სადენები არ უნდა იყოს დაჭიმული.

საუნებში, საშხაპებში და სანტექნიკურ სათავსოებში ელგაყვანილობის წრედი უნდა იყოს ღია. არ დაიშვება სადენების ჩადება ლითონის მილებში და შალითებში.

21.6. ელექტრომომარაგების ქსელის დეტალები

ელექტრომომარაგების ქსელის ერთი და იგივე დანიშნულების დეტალები ელექტროგაყვანილობის ტიპის მიხედვით სრულდება სხვადასხვა კონსტრუქციებით და აკმაყოფილებენ სხვადასხვა მოთხოვნებს.

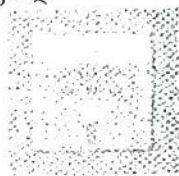
შტეფსელები - შტეფსელის დანიშნულება ქსელში ჩაერთოს გადასატანი ან სტაციონალური ელექტროდანადგარები. ამ დანადგართა ტიპის მიხედვით შტეფსელები სხვადასხვა სახისაა, რომელთა ერთი ტიპის ფოტოები ნაჩვენებია ქვემოთ.



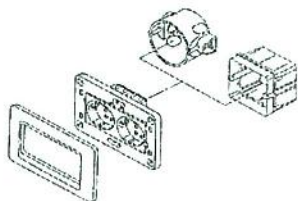
შტეფსელი ჩამიწების კონტაქტებით



შტეფსელი ჩამიწების კონტაქტის გარეშე



შტეფსელი ღია გაყვანილობი-სათვის



შტეფსელი დახურული გაყვანილობისათვის

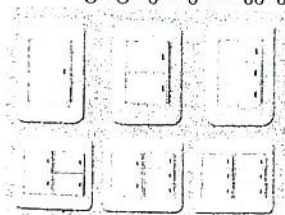


სატელეფონო შტეფსელები

ანტენის ბუდეები

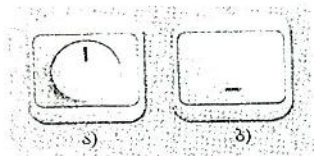
ჩამრთველები - დანიშნულება სტაციონალურ დანადგარების ჩართვა-ამორთვა. ისინი შეიძლება იყოს გათვლილი ერთი ობიექტებისათვის ან მომხმარებელთა ჯგუფისათვის.

ფოტოებზე ნაჩვენებია სხვადასხვა ტიპის ჩამრთველები.



ჩამრთველის სახეები

შუქმარეგულირებლები - შუქმარეგულირებელი უზრუნველყოფს განათებული მოწყობილობის სინათლის ნაკადის მდოვრედ ცვლილებას. როგორც წესი შუქმარეგულირებელს გააჩნია ბრუნავი სახელური (ნახ. ა), რომელიც არეგულირებს გამანათებლის სიმძლავრის ნულიდან ნომინალურ მნიშვნელობამდე. სიმძლავრის რეგულირება შეიძლება მოხდეს აგრეთვე კლაიშით (ნახ. ბ).



შუქმარეგულირებლები:

ა) მბრუნავი სახელურით ბ) კლავიშით

დისტანციური მართვის ჩამრთველები - ბოლო დროს ფართოდ დაინერგა დისტანციური მართვის ჩამრთველები, რომელთა საშუალებით ხდება მომხმარებელთა დისტანციური მართვა. მაგალითად, იმართება რადიოაპარატურა, კონდენსატორები, გამანათებლები და ა.შ.

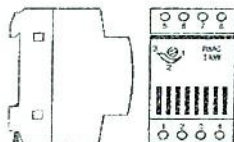
ავტომატური ამომრთველები - ელექტროქსელების დაცვით წრედებში ადამიანების დაცვისათვის და ელექტროდანადგარების ნომინალურზე მეტი ელექტრული სიდიდეების თავიდან აცილების მიზნით გამოიყენება ავტომატურად ამომრთველები.

ღნობადი მცველებისაგან განსხვავებით ავტომატურ ამომრთველებში გამოიყენება ბიმეტალური ფირფიტის ის თვისება, რომ მასში ნომინალურზე მეტი დენი იწვევს ფირფიტის გახურებას, რის შედეგადაც ფირფიტა დეფორმირდება და ფირფიტის დეფორმაციის დროს ამომრთველი მოწყობილობა უზრუნველყოფს წრედის გაწყვეტას. ფირფიტის გაციების შემდეგ იგი მოიყვანება საწყის მდგომარეობაში, ე.ი. ავტომატურად ამომრთველი მრავალჯერადი ხმარების მოწყობილობაა.



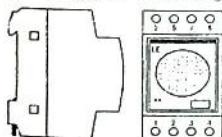
მკვებავი წრედის გათიშვის ხერხის მიხედვით ამომრთველები იყოფა შემდეგ ტიპებად: ერთპოლუსა, ერთპოლუსა ნეიტრალით, ორპოლუსა, სამპოლუსა, სამპოლუსიანები ნეიტრალით და ოთხპოლუსიანები.

გადაკვირთვის სიგნალიზატორი. ამ სიგნალიზატორების დანიშნულებაა მოთხოვნილი სიმძლავრის კონტროლი. სიმძლავრის გადამეტების შემთხვევაში სიგნალიზატორი იძლევა ბგერით სიგნალებს. სიგნალიზატორის წრედში ჩართულია დროის რელე 1 წმ-ის დაყოვნებით, რომელიც გამორიცხავს სიგნალიზატორის ჩართვას დანადგარის გაშვების მომენტში, როცა მოთხოვნილი სიმძლავრე მეტია ნომინალურზე დროის მცირე მონაკვეთში.



RMC ტიპის სიგნალიზატორის გარე ხედი

ავარიული ნათების შუქფარი. იმ შემთხვევაში თუ მომხმარებელზე შეწყდა ძაბვის მიწოდება შუქფარი უზრუნველყოფს ამ დანადგარის ადგილობრივ განათებას. შუქფარი აღჭურვილია აკუმულატორით, რომლის მუშა პერიოდია 45 წთ. აკუმულატორის გამართულობას აკონტროლებს ორი ნათურა - მწვანე ნათების ნათურა მიუთითებს აკუმულატორის ნორმალურ მდგომარეობაზე, ხოლო წითელი გვამცნობს აკუმულატორის დამუხტვის მოთხოვნის შესახებ.



LE 30 ტიპის შუქფარის გარე ხედი

კონტაქტორი - კონტაქტორის საშუალებით ხდება მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ძრავების გაშვება 600 ვ ძაბვამდე. ქვემოთ ნაჩვენებია **КМИ** და **ПКИ** ტიპის კონტაქტორების გარე ხედები.



КМИ ტიპის კონტაქტორი

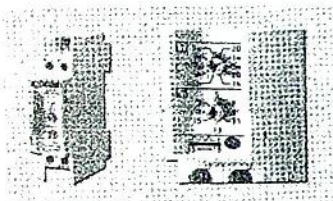
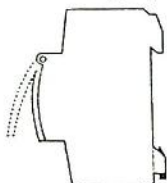


ПКИЛЕ 30 ტიპის კონტაქტორი

დროის რელები. დროის რელეს დანიშნულებაა კონტაქტების ჩართვა-გამორთვა დროითი პროგრამით.

E 234 ტიპის დროითი რელები გამოდის 12 - 48 და 110 - 230 ვ ძაბვაზე. კონტაქტები გათვლილია 230 ვ-ზე 10ა დენის შესაძლო კომუტაციით. დროითი დაყოვნება 0,1 წმ - 24 სთ დიაპაზონში. მოთხოვნილი სიმძლავრე 2 კტ.

რელეს პანელზე გამოტანილია გადამრთველები პროგრამის ასარჩევად.



E234 ტიპის დროითი რელეს და გარე ხედი

21.7. ელექტროსამონტაჟო მიღები, კოლოფები

როგორც დახურული ისე ღია გაყვანილობის სისტემაში გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის მიღები რომლებშიც გადის დენმიმყვანი სადენები. ამ დროს სადენები დაცულია მექანიკური დაზიანებისგან, ატმოსფერულ ზემოქმედებისაგან (მზის სხივი, წვიმა და ა.შ.). კოლოფებში წარმოებს საკვანძო შეერთებები; სადენების გადაბმები და ა.შ.

ფოტოებზე ნაჩვენებია სხვადასხვა ტიპის მიღები (ნახ. ა და ნახ. ბ); მილთა გადასაბმული ქუროები (ნახ. გ); მილისა და კოლოფის შეერთები კვანძები (ნახ. დ)



21.8. კლემები, ბუნიკები და სამაგრები

როგორც ეთქვით სადენების შეერთება ხორციელდება უშუალო გადაგრეხვით და მოპრესვით, კლემების საშუალებით, ბუნიკებითა და ხრახნული დამჭერებით.

ფართოდ გამოიყენება მცირე გაბარიტიანი D სერიის კლემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ერთძარღვა ან მრავალძარღვა 0,75+4 მმ² კვეთის სპილენძის ან ალუმინის სადენების საიმედო გადაბმას.



სადენების გადაბმა D სერიის კლემებით

D - lux ტიპის კლემები

განათების სისტემების შესაერთებლად გამოიყენება D - lux ტიპის კლემები ცხრილში ნაჩვენებია D ტიპის კლემების ფიზიკური მონაცემები.

საიმედო კონტაქტების განსახორციელებლად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის ბუნიკები და პილზები.

ტიპი	პოლუსების რიცხვი	დენი, ა	სადენის კვეთი
D 2,5/2	2	25	0,75 + 2,5
D 2,5/3	3	25	0,75 + 2,5
D 2,5/4	4	25	0,75 + 2,5
D 2,5/5	5	25	0,75 + 2,5
D 2,5/7	8	25	0,75 + 2,5
D 4,0/3	3	35	1,5 + 4
D -lux კალებისათვის	-	24	2X1 + 2,5



ბუნიკები იზოლაციით



ბუნიკები იზოლაციის გარეშე



მილისებური ბუნიკები



შემაერთებელი ჰილზები
მარტივი და თბურმწნეხი
მილით



საკაბელო მწნეხები

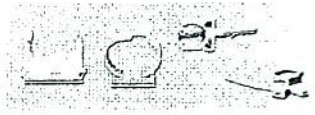
სამაგრები. გაყვანილობის სქემებში საჭირო ხდება მილების ან დენმიმყვანი სადენების მექანიკურად გამაგრება.



მეტალური
სამაგრები



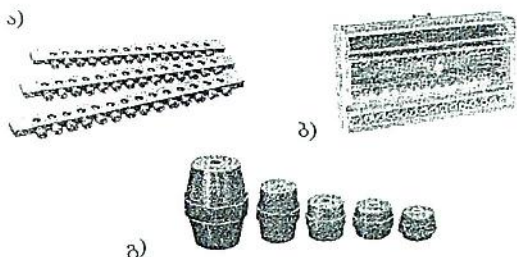
პლასმასური
სამაგრები



ამისთვის გამოიყენება სხვადასხვა სახის სამაგრები. რომელთა ზოგიერთი სახე ნაჩვენებია სურათებზე.

21.9. ნულოვანი სალტე და სალტის იზოლატორები

ელექტრული წრედის მონტაჟის დროს ნებისმიერი მომხმარებლისათვის რომლებით ირთვება სხვადასხვა ფაზაში, საერთო აქვთ ნულოვანი გამომყვანი. ამის გამო მიღებულია ნულოვანი მომჭერიბი გაერთიანდნენ სალტეებზე, რომლებიც სხვადასხვა ტიპისაა. ნახ. ა-ზე მოცემულია მოცემულია ნულოვანი სალტეს გარე ხედი, ხოლო ნახ.ბ-ზე მოცემულია ნულოვანი სალტის გარე ხედი, რომელიც მოთავსებულია DIN-ლარტყის კორპუსში (DIN-საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის სტანდარტია, სადაც რეგლამენტირებულია ავტომატური ამორთველების დამაგრების ხერხები და ზომები.)



ნულოვანი სალტეები მზადდება ელექტროტექნიკური ბრინჯაოსაგან.

მრავალხაზიან წრედებში ნულოვანი სალტეები შეიძლება იყოს აკრეფილი ერთ ჯგუფად და დამონტაჟდეს ენერჯის გამანაწილებელ ფარებში.

არის შემთხვევა, როცა დენგამტარის სალტე უნდა დამაგრდეს გამანაწილებელი ფარის შიგნით. ამ დროს გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის სალტის იზოლატორები (ნახ. გ), რომლებიც ერთი მხრით ქანჩის საშუალებით მაგრდება კორპუსზე ან სამონტაჟო ფირფიტაზე. ხოლო მეორე მხარეზე მაგრდება დენგამტარე სალტე უძრაობის დაფიქსირების მიზნით. აღნიშნულ სალტეზე შეიძლება მიერთებულ იქნეს ელენერჯის გამანაწილებელი ძალოვანი გამტარები.

შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების ტექნიკის
საკითხები

22.1. შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების წესები

შრომა ადამიანის სიცოცხლის აუცილებელი პირობაა და ყოველი მოქალაქის მოვალეობას წარმოადგენს. თავის მხრივ შრომა უნდა იყოს დაცული ანუ უნდა შეიქმნას უსაფრთხოების ყველა პირობა მშრომელთა ჯანმრთელობის შესანარჩუნებლად საწარმოო ტრავმებისა და პროფესიული დაავადებების თავიდან ასაცილებლად და ა.შ. ამ მიზნების შესასრულებლად საჭიროა ჩამოყალიბდეს უსაფრთხოების წესები მეცნიერულ დონეზე და შემდეგ მკაცრად დაეიცვათ იგი.

სახელმწიფო ზედამხედველობას, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროდანადგარების უაფარიო მომსახურეობას, ახორციელებს ენერგოზედამხედველობის სახელმწიფო ინსპექცია. სახელმწიფო ზედამხედველობაში შედის აგრეთვე სახელმწიფო სახანძრო ზედამხედველობა და სახელმწიფო სანიტარული ზედამხედველობა.

საწარმოო ტრავმატიზმის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია დრო და ყველამ გაიაროს პერიოდულად ტექნიკური სწავლება და გაეცნოს უსაფრთხოების წესებს მიუხედავად სამუშაოს ხასიათისა, ხარისხისა, კვალიფიკაციისა და მუშაობის სტაჟისა.

22.2. ელექტრო დენის მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე

ელექტრული დენის გავლა ცოცხალ ორგანიზმში იწვევს თერმულ, ელექტროლიტურ და ბიოლოგიურ ზემოქმედებას, რომელიც ვლინდება ელექტრული ტრავმებისა და ელექტრული დარტყმის სახით.

ელექტრულ ტრავმებს განეკუთვნება სიდამწვრე, კანის მოლითონება, ელექტრული ნიშნები კანზე და მექანიკური დაზიანება.

დაიწვრობა ყველაზე უფრო გავრცელებული ელექტროტრავმაა. მისი გამომწვევი მიზეზია დენის სითბური მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე ელექტრული რკალით გადაფარვის გახურებულ დეტალებთან შეხების ან სხეულში მნიშვნელოვანი სიდიდის (1ა-ზე მეტი) დენის გავლის შემთხვევაში.

კანის მოლითონება არის კანის სიღრმეში ელექტრული რკალის სითბური ზემოქმედებით გამდნარი ლითონის უმცირესი ნაწილების შეჭრა. ასეთ მოვლენას ადგილი აქვს ქსელებში მოკლედ ჩართვის დროს, გამთიშეელებისა და დენმკვეთების გამორთვისას დიდი დატვირთვის ქვეშ და ა.შ.

ელექტრული დაზიანების ნიშნები წარმოადგენენ ადამიანის კანის ზედაპირზე დენის გავლით წარმოქმნილ მკვეთრად გამოხატულ მონაცრისფრო ან ღია მოყვითალო ფერის ლაქებს. ხშირად ნიშნებს წრიული ან ოვალური ფორმა აქვს ცენტრში ჩაღრმავებით.

მექანიკური დაზიანება დენის ზემოქმედებით კუნთების ძალაუნებური კრუნჩხვითი შეკუმშვის შედეგია, რის გამოც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს კანისა და სისხლძარღვის გაგლეჯას, სახსრების ამოვარდნას და ძვლების მოტეხილობასაც კი.

ელექტრული დარტყმის ძირითადი გამომწვევი მიზეზია დენის ბიოლოგიური მოქმედება, რომელიც მდგომარეობს ორგანიზმის სასიცოცხლო ფუნქციებისათვის მნიშვნელოვანი ბიოელექტრული პროცესების დარღვევაში. ეს დარღვევები უმეტეს შემთხვევაში მთავრდება მძიმე შედეგებით. გულის მუშაობის შეწყვეტით და სუნთქვის მოშლილობით.

დაზიანების ხარისხი ფასდება დენის სიდიდით და იმ დროით რა დროშიც დენი გადიოდა ორგანიზმში. ეს ორი ფაქტორი ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია. დენის ძალის სიდიდე განისაზღვრება ძაბვითა და ადამიანის სხეულის წინააღობით (ომის კანონი).

ძაბვის სიდიდე ვოლტი	ადამიანის წინააღობა ომი	დენის ძალა მა	ძაბვის ზემოქმედების დასაშვები დრო, წმ
50	1725	29	არაუმეტეს 5
75	1625	46	0,6
100	1600	62	0,5
150	1550	97	0,28
230	1500	153	0,17
300	1480	203	0,12
400	1450	276	0,07
500	1430	350	0,04

უსაფრთხო ძაბვის სიდიდედ ითვლება ძაბვა, რომლის შედეგადაც აღძრული დენი ორგანიზმისათვის საშიში არ არის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. დენის ეს მნიშვნელობებია

(50 + 75) მკა; ასეთი დენი აღიძვრება 50 ვოლტამდე ძაბვის მოქმედებით.

ადამიანის წინალობა მუდმივი სიდიდე არ არის და იგი დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე: ძაბვის მოდების ხანგრძლივობაზე, ადამიანის ფიზიკურ მდგომარეობაზე და გუნება განწყობაზეც კი. ცხრილში მოყვანილია მონაცემები ადამიანის წინალობისა და ძაბვის ზემოქმედების დროის დასაშვებ მნიშვნელობებზე.

ეს მონაცემები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც საორიენტაციო საშუალო მნიშვნელობები.

განვიხილოთ ცალკეული ფაქტორების გავლენა დენით დაშვების შედეგზე:

დენი მა	ორგანიზმის მოქმედების ხასიათი
0,6 - 1,5	ნერვული სისტემის მსუბუქი გაღიზიანება.
3 - 5	გამაღიზიანებელ ზემოქმედებას შეიგრძნობს ხელის მთელი მტევანი.
8 - 10	ტკივილი მკვეთრად ძლიერდება და მოიცავს მთლიანად ხელს. ადგილი აქვს ხელის კუნთების ძალაუნებურ შეკუმშვებს.
10 - 15	ტკივილი ხდება აუტანელი. ადამიანს არ ძალუძს დაუხმარებლად გახსნას ხელი, რომელშიდაც უკავია დენიანი სადენი.
25 - 50	გაღიზიანება გადაეცემა გულმკერდის კუნთებს და სუნთქვა გაძნელებულია.
50 - 100	ირღვევა ფილტვებისა და გულის მუშაობა.
100 - 500	ზემოქმედებას განიცდის უშუალოდ გული, კუნთი. . .

1. არსებობს სხვადასხვა აზრი სასიკვდილო შედეგების გამომწვევი ზღვრული დასაშვები დენის შესახებ. მრავალი გამოკვლევებისა და ელექტროტრავმატიზმის შემთხვევების ანალიზის საფუძველზე ადამიანზე გამაღიზიანებელი მოქმედების უნარის მიხედვით, სამრეწველო სიხშირის დენისათვის პირობითად შეიძლება მიცემული იქნას შემდეგი კლასიფიკაცია:

2. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ერთნაირ პირობებში 250 + 300 ვოლტ ძაბვამდე ადამიანის ორგანიზმზე მუდმივი დენი შედარებით ნაკლებ ზეგავლენას ახდენს, ვიდრე სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენი. უფრო მეტი ძაბვისას მუდმივი დენისაგან მეტი საფრთხეა მოსალოდნელი.

50 + 60 კვ-ს სიხშირის ზევით გაზრდის შედეგად ცვლადი დენის ზეგავლენა მცირდება და 400 + 500 კვ სიხშირეზე გამორიცხულია ელექტრული დარტყმის საფრთხე, მაგრამ დენები ინარჩუნებენ სხეულის დამწვრობის შესაძლებლობას.

3. დაშავეების შედეგზე დიდ გავლენას ახდენს სხეულში დენის გავლის გზა. თუ დენის გავლის გზაზე აღმოჩნდება ისეთი მნიშვნელოვანი ორგანოები, როგორცაა ფილტვები, გული, ტვინი, მაშინ დაშავეების საფრთხე მეტად დიდია. ადამიანის სხეულში დენის გავლის შესაძლებელი გზებიდან მარჯვენა ხელი - ფეხები, მარცხენა ხელი - ფეხები, ხელი - ხელი და ფეხი - ფეხი. ეს უკანასკნელი ყველაზე უსაფრთხოა.

4. რაც შეეხება ადამიანის წინააღობას, როგორც ვთქვით იგი არაწრფივი სიდიდეა და დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. მაგალითად, კანის მდგომარეობაზე, შეხების ფართობზე, ძაბვის სიდიდეზე, დენის სიხშირეზე და ა.შ.

სხეულის წინააღობა მშრალი სუფთა დაუშიანებელი კანის შემთხვევაში გაზომილი (15 + 20) ვ-ის დროს იცვლება 3000 დან 100 000 ომამდე და ზოგჯერ უფრო მეტიც. ყველაზე მეტი წინააღობა კანის ზედა, რქოვანა გარსს აქვს, რომლის სისქე (0,05 + 0,2) მმ-ის ტოლია. რქოვანა გარსის მოცლის შემდეგ სხეულის წინააღობა მცირდება (1000 + 5000) ომამდე.

ჩვეულებრივ სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენის დროს ადამიანის წინააღობა მიღებულია 1000 ომის ტოლად.

ელექტრო ტრავმატიზმის უდიდესი ნაწილი მოდის 220 - 380 ვ ძაბვაზე, რომლებიც უფრო მეტადაა გავრცელებული მრეწველობასა და ყოფაცხოვრებაში. განსაკუთრებით სახიფათო პირობებისათვის (მიწისქვეშა შახტები და განსაკუთრებით ტენიანი გარემო) სამუშაო ძაბვებად მიღებულია 36 ვ და 12 ვ.

22.3. ელექტრო დენით დაშავებულთათვის პირველადი დახმარების აღმოჩენის წესები

ელექტრული დენით გამოწვეული უბედური შემთხვევების დროს პირველი დახმარება მოიცავს ორ ეტაპს: დაზარალებულის განთავისუფლებას დენის მოქმედებისაგან და მისთვის სამედიცინო დახმარების დმოჩენა.

დაზარალებულის განთავისუფლება დენის ზემოქმედებისაგან შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა ხერხით, რომელთაგანაც პირველია და ძირითადი ელექტროდანადგარის იმ ნაწილის გამორთვა, რომელსაც ეხება დაზარალებული.

თუ დანადგარის სწრაფი გამორთვა შეუძლებელია, მაშინ საჭიროა დაშავებული მოვაცილოთ დენგამტარ ნაწილებს. ამ დროს დამხმარემ თვითონ უნდა დაიცვას უსაფრთხოების შესაბამისი ღონისძიებები. 400 ვ-მდე ძაბვის ელექტრო დანადგარებში დაშავებული დენგამტარი ნაწილიდან შეიძლება გამოვართვიოთ მშრალი ტანსაცმლის ბოლოებზე ხელის მოკიდებით, ამ დროს სასურველია ხელების იზოლირება დიელექტრიკული ხელთათმანებით ან მშრალი ქსოვილის დახვევით.

შეიძლება გამოიყენოთ მშრალი ფიცარი, ჯოხი ან გადავტრათ სადენი მშრალი ხისტარიანი ცულით, იზოლირებულ სახელურიანი მაკრატლით და ა.შ.

400 ვ - ზე მეტი ძაბვის დროს დამხმარემ უნდა ჩაიცვას დიელექტრიკული ბოტები და ხელთათმანები და გამოიყენოს შტანგები იზოლირებელი მარწუსებით.

შეიძლება აგრეთვე მოვახდინოთ დენიანი სადენის მოკლედ შერთვა მასზე დენის წყაროს მხრიდან ჩამიწებული სადენის გადაგდებათ.

დენგამტარი დეტალიდან დაზარალებულს განთავისუფლების შემდეგ უნდა აღმოუჩინოთ პირველადი სამედიცინო დახმარება: თუ დაზარალებული გონებაზეა, საჭიროა დაეაწვინოთ იგი და ექიმის მოსვლამდე უზრუნველყოთ მისი სრული სიმშვიდე.

თუ დაზარალებული გრძნობადაკარგულია უნდა დაეაწვინოთ გულაღმა, გაეუხსნათ ტანსაცმელი, ქამარი და მიეცეთ თავისუფალი სუნთქვის საშუალება: ვაყნოსოთ ნიშადური, სახეზე მიეასხუროთ წყალი. თუ მას არ ესინჯება პულსი და სუნთქავს იშვიათად და არათანაბრად, საჭიროა დაუყოვნებლივ ჩაუტარდეს ხელოვნური სუნთქვა და გულის მასაჟი.

ხელოვნური სუნთქვის არსებული ხერხებიდან ყველაზე ეფექტურია “პირიდან პირში” ან “პირიდან ცხვირში”, ჰაერის ნაბერვით. თუ დაზარალებულს პირი მაგრად აქვს მოკუმული, მაშინ მის გასაღებად საჭიროა ქვედა ყბის გამოწევა სახეზე შემოხვეული ორივე ხელის წესით, კოვზის ტარით და ა.შ.

ხორხის გასახსნელად საჭიროა დაზარალებულს გადა-
 ეუხაროთ თავი უკან, ცალი ხელი მოვლით კევის ქვეშ. ხოლო
 მეორე ხელით დავაწვეთ მის შუბლს სანამ ნიკაპი და ყელი არ
 აღმოჩნდება ერთ სწორ ხაზზე. თავის ასეთი მდგომარეობის
 დროს ენა დაცილებულია ხორხის შესასვლელიდან, რითაც
 უზრუნველყოფილია ჰაერისათვის თავისუფალი გასასვლელი
 ფილტვებში.

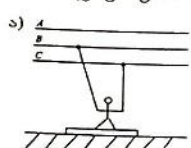
მოსამზადებელი ოპერაციების დამთავრების შემდეგ, ძლი-
 ერად ჩაეუბერავთ ჰაერს დაზარალებულს პირში. ამ დროს
 დაზარალებულის გულ-მკერდი დაეშევა და იგი აკეთებს პა-
 სიურ ამოსუნთქვას. ერთ წუთში ჰაერის ჩაბერვა უნდა მოხდეს
 (10 - 12)-ჯერ.

თუ დაზარალებულს დარღვეული აქვს გულის ნორ-
 მალური მუშაობა, აუცილებელია გულის გარე მასაჟის ჩატა-
 რება. ამ დროს დაზარალებულის გულმკერდზე ხდება რიტმუ-
 ლი დაწოლა, რის გამოც გული შეიკუმშება მკერდის ძვალსა
 და ხერხემალს შორის და გამოდევნის სისხლს ღარიდან.
 დაწოლის შეწყვეტის შემდეგ გულმკერდი და გული სწორდება
 და უკანასკნელი იესება ვენებიდან მიწოდებული სისხლით.

ხელოვნური სუნთქვა და გულის გარე მასაჟი უნდა
 ჩატარდეს ფილტვებისა და გულის დამოუკიდებლად მუშაობის
 აღდგენამდე.

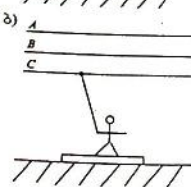
22.4. ადამიანის ელექტრული დენით დაშავების პირობები

დენგამტარ ნაწილებთან ორპოლუსა შეხება - ეს შემთხვევა

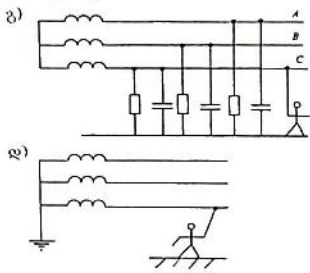


ითვლება ყველაზე სახიფათოდ, ვინაიდან
 ამ დროს ადამიანი იმყოფება წყაროს
 სრული ძაბვის ქვეშ. და მას მიწისაგან
 იზოლაცია (რეზინის ბოტები, დიელექტრი-
 კული ხალიჩა და სხვა) ვერ იცავს (ნახ.ა).

დენგამტარ ნაწილებთან ერთპოლუსა
 შეხება - ამ შემთხვევაში ადამიანის
 სხეულში გამავალი დენის სიდიდეზე დიდ
 გავლენას ახდენს წყაროს ნეიტრალის
 რეჟიმში ამ მხრივ ქსელები განსხვავდება
 ყრუდ ჩამიწებული ნეიტრალით და
 იზოლირებული ნეიტრალით (ნახ.ბ).



ყრუდჩამიწებულ ნეიტრალი ეწოდება ტრანსფორმატორის ან გენერატორის ნეიტრალს, რომელიც ჩამამიწებელ მოწყობილობასთან მიერთებულია უშუალოდ, ან მცირე წინაღობიანი გამტარით.



იზოლირებული ნეიტრალი ეწოდება, ისეთ ნეიტრალს, რომელიც არ არის მიერთებული ჩამამიწებელ მოწყობილობასთან, ან შეიძლება მიერთებული იყოს მასთან დიდი წინაღობის გამტარით.

იზოლირებულ ნეიტრალიან ქსელში ადამიანის სხეულში გამავალი დენის წრედი იკვრება მიწისა და ქსელის ფაზების მიწის მიმართ გამტარობის გავლით (ნახ. გ).

ყრუდჩამიწებულ ნეიტრალიან ქსელში დენის წრედი იკვრება ადამიანის, მიწისა და ნეიტრალის ჩამიწების გავლით (ნახ. დ).

ბიჯური ძაბვის შემოქმედება – ელექტროდანადგარების ექსპლოატაციის პროცესში შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ავარიულ მდგომარეობას, როდესაც იზოლაციის დაზიანების ან შიშველი სადენის მიწასთან შეხების გამო დენი იწყებს მიწაში გაჟონვას. თუ ამ დროს ადამიანი აღმოჩნდება დენის გაჟონვის უბანში, მაშინ მიწის იმ წერტილებს, რომლებსაც ადამიანი ეხება ფეხებით გააჩნია სხვადასხვა პოტენციალი და იგი მოხვდება ბიჯური ძაბვის ქვეშ. ეს ძაბვა მცირდება, რაც უფრო ეშორებით დენის გაჟონვის წერტილს და 20 მ მანძილზე პრაქტიკულად ნულის ტოლია.

ბიჯური ძაბვის სიდიდის გაზომვის დროს ბიჯის სიდიდე მიიღება 0,8 მ-ის ტოლად. ამ დროს დენი სხეულში იკვრება შედარებით უსაფრთხო წრედით “ფეხი - ფეხი”, მაგრამ 100 ვ-ზე მეტ ძაბვაზე იწყება ფეხის კუნთების კრუნჩხვები და შეიძლება ადამიანი დაეცეს, რის გამოც გაიზრდება სხეულზე მოდებული პოტენციალთა სხვაობა და გაიზრდება დაზიანების საფრთხე.

ბიჯური ძაბვის ზონიდან გამოსვლის დროს უნდა გადაედგათ მოკლე ნაბიჯები ან გამოვიდეთ ცალფეხზე ასკინკილათი.

22.5. ჩამიწების სისტემები

დღეისათვის ელექტრომომარაგების ქსელებში გამოიყენება ჩამიწების სამი ძირითადი სისტემა: TN, TT, IT.

ჩამიწების სისტემის აღნიშვნებში პირველი ასო მიუთითებს ელექტრო ენერჯიის წყაროს ჩამიწების სახეს, ხოლო მეორე შეესაბამება ჩამიწების მდგომარეობას:

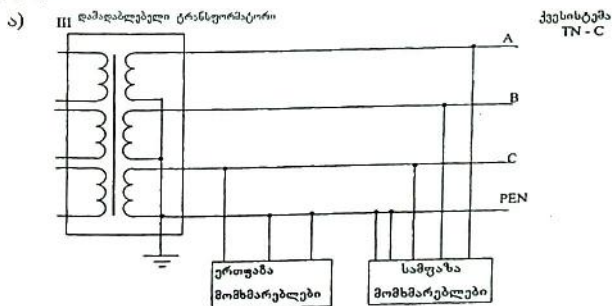
T – წყაროს (უმეტეს შემთხვევაში დამწვევი ტრანსფორმატორი) ნეიტრალური სადენი უშუალოდ ელექტრულადაა დაკავშირებული მიწასთან.

I – წყაროს ნეიტრალური სადენი მიწასთან ელექტრულ კავშირშია გარკვეული სიდიდის წინაღობით.

T – (მეორე ასო) წყაროსა და ელექტრო დანადგარების ადგილობრივი ჩამიწება.

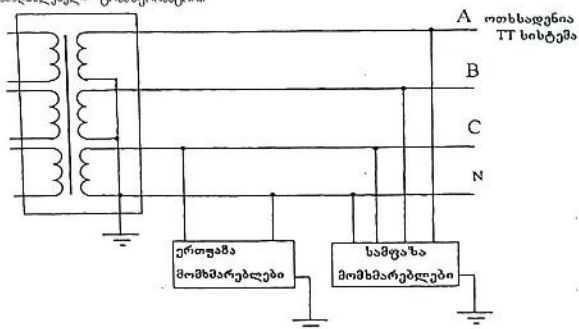
N – (მეორე ასო) წყარო ჩამიწებულია, ხოლო მომხმარებელთა ჩამიწება ხდება PEN – გამტარით.

ნახ. ა, ბ, გ-ზე ნაჩვენებია TN ჩამიწების სისტემის ქვესისტემები:

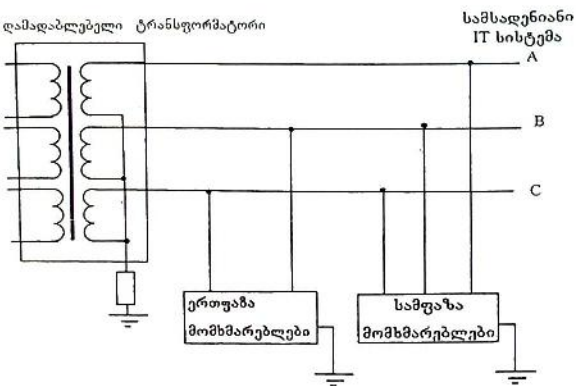


TN – C ქვესისტემაში მუშა ნეიტრალური სადენი N გაერთიანებულია დამცავი ჩამიწების PE სადენთან, იგი წარმოდგება ერთიან PEN სადენად, (ნახ ა) და გამოიყენება მომხმარებელთა ჩამიწების მიზნით. TT და IT ჩამიწების სისტემები მოცემულია ნახ. ბ და ნახ. გ-ზე.

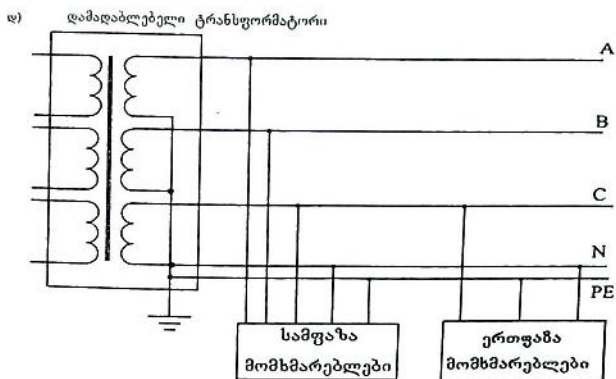
ბ) დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი



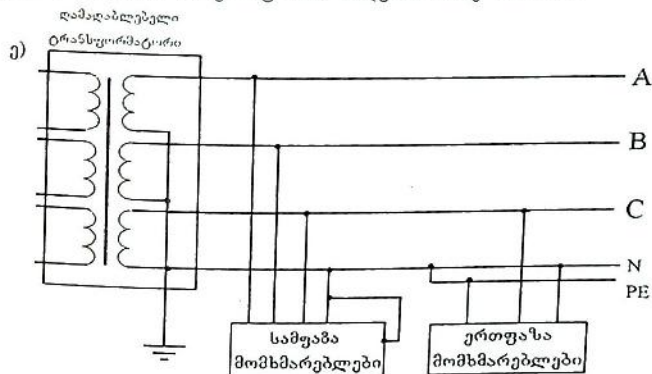
პ) დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი



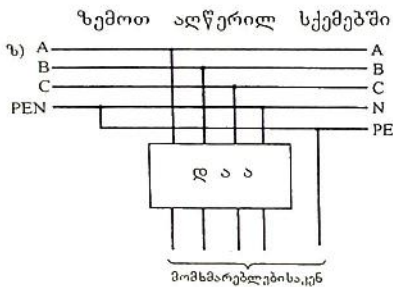
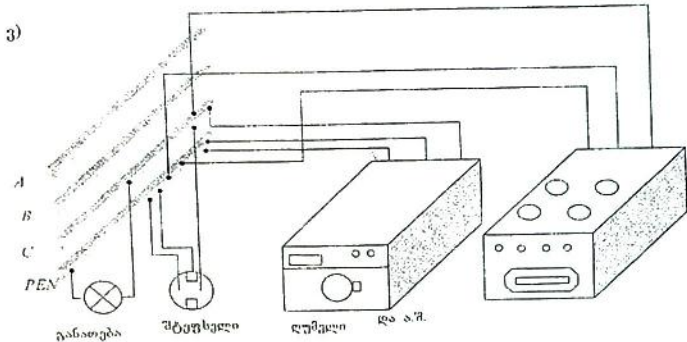
TN - S ქვესისტემაში (ნახ. დ) ჩამიწებისათვის გამოყენებულია ცალკე დამცავი სადენი PE რომელიც მიერთებულია წყაროს ჩამიწების წერტილში ნეიტრალურ სადენთან.



TN - C - S ქვესისტემაში (ნახ. ე) გამოიყენება მომხმარებელთა ჩამიწება როგორც PEN სადენით, ისე PE - თი.



უფრო მეტად გამოიყენება TN - C - S ქვესისტემა, რომელიც აადვილებს მომხმარებელთა წრედში ჩართვას (ნახ. ე).



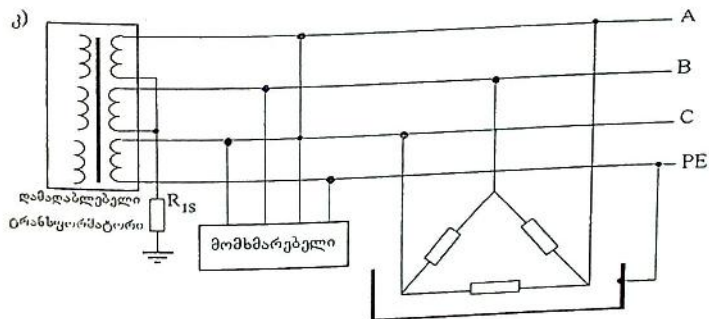
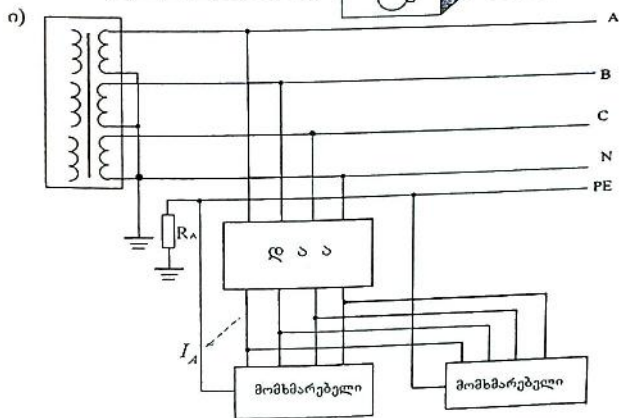
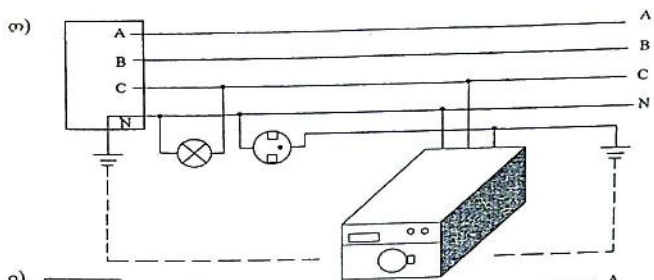
გამოიყენება დაცვის სხვადასხვა მოწყობილობები: დნობადი მცველები, ავტომატურად ამომრთველები, დაცვის ავტომატურად ამომრთველი (დაა) და დიფერენციული ავტომატური ამომრთველები. მხედველობაში უნდა მივიდეთ, რომ

დაცვის ავტომატურად ამომრთველებს ნორმალური ფუნქციონირება შეუძლიათ მხოლოდ TN-S და TNC-S ქვესისტემებში (ნახ. ზ).

TT - სისტემა. ნახ. თ-ზე ნაჩვენებია მომხმარებელთა ჩართვა TT - სისტემაში.

R_A ჩამოწების სადენის წინაღობა (ნახ. ი) უნდა იყოს ისეთი, რომ მოკლედ შერთვის I_A დენმა გამოიწვიოს დაცვის სქემის ამუშაება მანამ, სანამ. ძაბვა კორპუსზე მიაღწევს დასაშვებ 50 ვ მნიშვნელობას.

IT - სისტემა. გამოიყენება 380/220 ვ ძაბვის ქსელში, როცა ქსელს მოეთხოვება უსაფრთხოებისა და საიმედოობის განსაკუთრებული ამაღლებული პირობები (ნახ. კ).

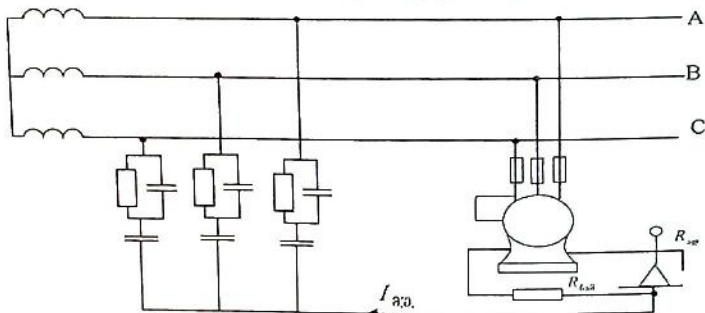


IT - სისტემის ნულოვანი წერტილი მიწისგან იზოლირებულია და გააჩნია მის მიმართ საკმაოდ მაღალი წინაღობა (R_{IS}). ამ სისტემის მიწაზე ან კორპუსზე გაკონენის დენები მცირეა და არ იქონიებს გავლენას სისტემაზე მიერთებულ მომხმარებელთა მუშაობის რეჟიმზე.

22.6. დამცავი ჩამიწება

დამცავი ჩამიწება წარმოადგენს ელექტროდანადგარების არადენგამტარი ნაწილების მიწასთან წინასწარ განზრახვით შეერთებას დამამიწებელი სადენების და ჩამამიწებლის საშუალებით. ჩამამიწებლებს ლითონური ელექტროდების სახით თავსებენ მიწაში. მათ უნდა ჰქონდეთ მიწაში მცირე წინაღობა.

დამცავი ჩამიწების მოქმედების პრინციპის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ნახაზზე ნაჩვენები სქემა.



ელექტროდანადგარის კორპუსზე რომელიმე ფაზის გარღვევისას წარმოქმნილი მოკლედ შერთვის დენი $I_{გაგ}$ განშტოვდება მიწაში - ერთ მხრივ დამცავ ჩამიწების ($R_{ჩამ}$) მეორეს მხრივ ადამიანის სხეულის ($R_{ად}$) გავლით.

დენი, რომელიც გაივლის ადამიანის სხეულში იანგარიშება პარალელურად შეერთების კანონებიდან

$$I_{ად} = I_{გაგ} \frac{R_{ჩამ}}{R_{ჩამ} + R_{ად}}$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს, ადამიანის სხეულში გამავალი დენი მცირდება დამცავი ჩამიწების წინაღობის შემ-

ცირებასთან ერთად. ე.ი. $I_{\text{აღ}} \rightarrow 0$, როცა $R_{\text{ნაა}} \rightarrow 0$. $R_{\text{ნაა}}$ უმნიშვნელო მნიშვნელობის დროს $I_{\text{აღ}}$ შეიძლება ჩაითვალოს უსაფრთხოდ.

დამცავი ჩამიწების წინააღობის სიდიდეს მოეთხოვება შემდეგი:

1000 ვ-მდე ძაბვის ელექტროდანადგარებში ჩამიწების წინააღობა უნდა იყოს არანაკლებ 4 ომისა; თუ ქსელთან მიერთებული მომხმარებლის ჯამური სიმძლავრე არ აღემატება 100 კვტ-ს მაშინ ჩამიწების წინააღობა შეიძლება იყოს 10 ომამდე.

1000 ვ-ზე მეტი ძაბვის ელექტროდანადგარებში მიწასთან მოკლედშერთვის დენების მნიშვნელობის დროს $I_{\text{აგ}} < 500$ ა-ზე

დასაშვებია ჩამიწების წინააღობა $R_{\text{ნაა}} \leq \frac{250}{I_{\text{აგ}}}$, მხოლოდ არაუმეტეს

10 ომისა. თუ იგივე ჩამიწებულ მოწყობილობა გამოიყენება 1000 ვ-მდე ძაბვის ელექტროდანადგარებისათვის, მაშინ

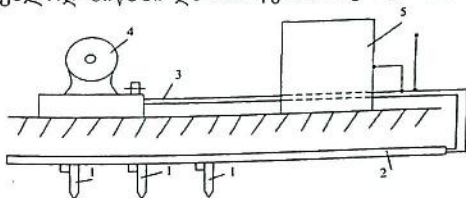
$R_{\text{ნაა}} \leq \frac{125}{I_{\text{აგ}}}$, მხოლოდ არაუმეტეს 1000 ვ-მდე დანადგარებისათვის

განკუთვნილი ნორმისა (4 ან 10 ომი).

ელექტროდანადგარებში მიწასთან მოკლედ შერთვის დენების დიდი მნიშვნელობის დროს ($I_{\text{აგ}} > 500$ ა) ჩამიწების წინააღობა უნდა იყოს არაუმეტეს 0,5 ომისა.

22.7. ჩამიწების მოწყობა

დამცავი ჩამიწება შედგება ჩამამიწებლის ჯგუფისა (1) და შემაერთებელი ზოლოვანასაგან (2), რომლებიც მოთავსებული არიან უშუალოდ მიწაში და ჩამიწების მაგისტრალისაგან (3).



ელექტრული მანქანებისა (4) და აპარატების (5) კორპუსები უერთდებიან ჩამიწების მაგისტრალს ტანტიკური შეერთებით ან შედუღებით.

ჩამამიწებელი შეიძლება იყოს ბუნებრივი და ხელოვნური, ბუნებრივ ჩამამიწებლად იყენებენ შენობის ლითონურ კონსტრუქციებს, წყალგაყვანილობის მილებს, კაბელის ტყვიის გარსაცმს და სხვა ლითონურ ნაგებობას. კატეგორიულად აკრძალულია წვადი სითხეებისა და ფეთქებადი აირების მილგაყვანილობის გამოყენება.

ხელოვნურ ჩამამიწებლად იყენებენ დაახლოებით 60X60 მმ ზომის კუთხოვანებს და არანაკლებ 100 მმ² კვეთის ფოლადის სალტეებს, ვერტიკალური ჩამამიწებლის სიგრძე უნდა უდრიდეს (2,5 - 3) მ-ს.

22.8. ჩამიწების გაანგარიშება და კონტროლი

ჩამიწების გაანგარიშების მიზანია განისაზღვროს ვერტიკალური ჩამამიწებლის რაოდენობა და შემაერთებელი ზოლოვანის სიგრძე.

პრაქტიკაში შედარებით ფართოდ გამოიყენება მილისებრი ჩამამიწებელი სტაციონალური და გადასატანი ელექტროდანგარებისათვის. ასეთი ჩამამიწებლის გაჟონვის წინააღობა გამოითვლება ფორმულით:

$$R_0 = \frac{0,366}{l} \lg \frac{4l}{d} \text{ ომი,}$$

სადაც ρ - ნიადაგის კუთრი წინააღობა;

l - მილის სიგრძე (სმ);

d - მილის დიამეტრი (სმ).

იმის გამო, რომ ნიადაგის ზედა ფენების გამტარობას ახასიათებს დიდი სეზონური რხევები გარემოს ტემპერატურისა და ტენიანობის მიმართ, საჭიროა ჩამამიწებელი ელექტროდები ჩაიმარხოთ მიწაში ისეთ სიღრმეზე, რომ ელექტროდის ზედაპირამდე მანძილი იყოს არანაკლებ 0,5 მ-ისა.

ერთეული ვერტიკალური ჩამამიწებლის წინააღობა ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_0 = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \text{ ომი,}$$

სადაც l მანძილია მიწის ზედაპირიდან ელექტროდის შუა წერტილამდე.

იმისათვის რომ უზრუნველყოფილი იქნას ჩამიწების წინააღობის მოთხოვნილი ნორმა, საჭიროა ნიადაგში ჩაეწყოს რამდენიმე ელექტროდი, რომელშიც ერთმანეთთან შეერთებული იქნებიან ფოლადის ზოლოვანათი, ელექტროდები განლაგდებიან ერთმანეთისაგან დაახლოებით გაორმაგებული სიგრძის ტოლ მანძილზე.

განვიხილოთ მაგალითი. გავიანგარიშოთ ჩამიწების კონტური, თუ მკეებავი ძაბვის სიდიდე 220 ვ-ია. დადგმული სიმძლავრე 500 კვტ. ნიადაგი თიხნარია.

მოცემულ პირობებში ჩამამიწებელი მოწყობილობის წინააღობა არ უნდა აღემატებოდეს 4 ომი.

გამოვთვალოთ ნიადაგის საანგარიშო წინააღობა:

$$R_{\text{ნაღ}} = K\rho = 2 \cdot 0,6 \cdot 10^4 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ ომი. სმ,}$$

სადაც K არის კლიმატური კოეფიციენტი და აიღება ცხრილიდან; ხოლო ρ ნიადაგის კუთრი წინააღობა და ისიც საცნობარო სიდიდეა. ჩამამიწებელ ელექტროდად გამოვიყენოთ ფოლადის მილი სიგრძით 250 სმ, დიამეტრით 5 სმ, მიწაში ჩამარხვის სიღრმე 70 სმ.

ერთეული მილის გაჟონვის წინააღობა განისაზღვრება R_0 -ის საანგარიშო ფორმულით

$$R_0 = \frac{0,366 \cdot 1,2 \cdot 10^4}{250} \left(\lg \frac{2 \cdot 250}{50} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 195 + 250}{4 \cdot 195 - 250} \right) = 38 \text{ ომი.}$$

მილების გამოყენების კოეფიციენტი ავიღოთ $\eta = 0,5$, მაშინ მილების რაოდენობა იქნება:

$$n = \frac{R_0}{\eta \cdot R_{\text{ნაღ}}} = \frac{38}{0,5 \cdot 4} = 19.$$

მილებს შორის მანძილი $2l = 5$ მ და შემაერთებელი ფოლადის ზოლის წინააღობის გათვალისწინებით შეიძლება შევამოციროთ მილების რაოდენობა 11 - 12 მდე თუ ზოლის სიგრძე დარჩება 100 მ. ჩამამიწებელი მოწყობილობის გარეგანი დათვალიერება და წინააღობის გაზომვა წარმოებს მათი ექსპლოატაციაში გაშვებისას და შემდეგ პერიოდულად წესებით გათვალისწინებულ ვადებში.

22.9. დამცავი დანულება

დამცავი დანულება გამოიყენება 1000 ვოლტამდე ძაბვის ქსელებში, რომელთა ნეიტრალი ყრუდ არის ჩამიწებული. მისი დანიშნულებაა უზრუნველყოს დაზიანებული ელექტროდანადგარების სწრაფი და საიმედო ავტომატური გამორთვა. ამ მიზნით ელექტროდანადგართა ლითონურ ნაწილებს, რუმბლებიც ნორმალურად არ იმყოფებიან ძაბვის ქვეშ, უერთებენ გამტარით (ნულოვანი სადენით) ჩამიწებულ ნეიტრალს ისეთი ანგარიშით, რომ კორპუსზე მოკლედ შერთვისას ფაზური და ნულოვანი სადენებით შექმნილ შეკრულ წრედში წარმოქმნილმა მოკლედ შერთვის დენმა დააკმაყოფილოს შემდეგი პირობა:

$$I_{აა} \geq \frac{U_{ფ}}{\sqrt{(R_{\text{გ}} + R_{\text{გ}})^2 + X^2}} \geq 3I_{აა} \quad \text{ან} \quad I_{აა} \geq 1,3I_{აა}, \quad \text{სადაც}$$

$(R_{\text{გ}} + R_{\text{გ}})$ ხაზისა და ნულოვანი სადენი აქტიური წინაღობაა;

X - რეაქტიული;

$I_{აა}$ - დნობადი მცველის ნომინალური დენი.

$I_{აა}$ - ავტომატური ამომრთველის ამორთვის დენი.

მოკლედ შერთვის დენის ასეთი მნიშვნელობის დროს ადგილი აქვს დნობადი მცველის ძაფის დნობას ან ავტომატური ამომრთველის ამორთვას და ამოირთვება ქსელის ავარიული უბანი.

კვების წყაროს მუშა ჩამიწების წინაღობა უნდა იყოს არაუმეტეს 4 ომისა. 100 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორებისა და გენერატორებისათვის დასაშვებია ნეიტრალის ჩამიწების წინაღობა იყოს 10 ომამდე.

დანულების მოწყობის გაიაფებისა და გამარტივების მიზნით ნებადართულია დამანულებელ სადენებად გამოყენებული იქნას კაბელების ლითონური გარსაცმები, შენობის ფოლადური კონსტრუქციები და ელგაყვანილობის ფოლადის მილები.

22.10. ელექტროტექნიკური დამცავი საშუალებები

და ტექნიკური ექსპლუატაციის წესები

ელექტროდანადგარების ექსპლუატაციის დროს ხშირად ადგილი აქვს პირობებს, როდესაც დანადგარების სრულყოფილი შესრულებაც კი ვერ უზრუნველყოფს მომუშავის უსაფრთხოებას

და საჭირო ხდება სპეციალური დამცავი საშუალებების გამოყენება. მაგალითად საკომუტაციო აპარატები – ამომრთველები, გამთიშველები და ა.შ.

ოპერაციების ჩატარებისას შესაძლებელია ამ აპარატების ან ძრავებზე ძაბვის გადასვლა, ამიტომ აუცილებელი ხდება ისეთი დამცავი საშუალებების გამოყენება, რომლებიც ადამიანს იზოლირებას უკეთებენ ძრავასაგან ან მიწისაგან.

ელექტროდანადგარებში გამოყენებული დამცავი საშუალებანი პირობითად შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად:

1. მაიზოლირებელი საშუალებანი;
2. ხელით გადასატანი დროებით დასაყენებელი ჩამამიწებელი გადასატანი შემომღობი მოწყობილობა და გამაფრთხილებელი პლაკატები;
3. ელექტრული რკალის გამოსხივებისაგან, მისი წვის შედეგად გამოყოფილი პროდუქტებისა და მექანიკური დაზიანებისაგან დაცვის საშუალებები. მას ეკუთვნის დამცავი სათვალეები, აირწინაღები, სპეციალური ხელთათმანები და ა.შ.

მაიზოლირებელი საშუალებანი იყოფა ორ ძირითად და დამატებით ჯგუფებად. ძირითად მაიზოლირებელ დამცავ საშუალებებს გააჩნიათ მაღალი ელექტრული სიმტკიცე და შეუძლიათ ხანგრძლივად გაუძლონ ელექტროდანადგარის მუშა ძაბვას და მისი მეშვეობით შეიძლება დენგამტარ ნაწილებთან მუშაობა. მათ განეკუთვნება:

- 1.) 1000 ვოლტამდე ელექტროდანადგარებში – დიელექტრიკული ხელთათმანები, მონტიორის ინსტრუმენტები იზოლირებული სახელურებით და დენის მაძიებლები;
- 2.) 1000 ვოლტზე ზევით ელექტროდანადგარებში – მაიზოლირებელი შტანგები, მაიზოლირებელი და დენგამზომი მარწუხები და ძაბვის მაჩვენებლები.

დამატებითი მაიზოლირებელი საშუალებანი, არასაკმარისი საიზოლაციო თვისებების გამო ვერ უზრუნველყოფენ ელექტროდანადგარის მუშა ძაბვაზე უსაფრთხო მუშაობას და გამოიყენება ძირითად საშუალებებთან ერთად. მათ განეკუთვნება 1000 ვ-მდე დანადგარებში დიელექტრიკული ბოტები, ხალიჩები და მაიზოლირებელი სადგარები, ხოლო 1000 ვ ზევით დანადგარებში ზემოთ ჩამოთვლილი და დიელექტრიკული ხელთათმანები.

დიელექტრიკული თვისებების შემოწმების მიზნით პერიოდულად უნდა ჩატარდეს მაიზოლირებელი საშუალებების ელექტრული გამოცდა.

გამოცდა წარმოებს სამრეწველო სისშირის ცვლადი დენით (15 – 20)⁰ ტემპერატურის დროს. ასეთივე ტემპერატურა უნდა გააჩნდეს გამოსაცდელ ობიექტებსაც. რეზინისაგან დამცავი საშუალებები შეიძლება გამოიცადოს მუდმივი დენითაც. გამოცდის ვადები და ნორმები მოყვანილია ცხრილში.

№	დამცავი საშუალებები	ელ დანადგ. ძაბვა (ვვ)	გამოსაცდელი ძაბვა (ვვ)	გამოცდის ხანგრძლივობა (წთ)	გამოცდების ვადა (თვე)
1	დენის მზომელი	0,5 მდე	1	1	12
2	ინსტრუმენტი იზოლირებული სახელწურით	1-მდე	2	1	12
3	რეზინის დიელექტრიკული ხელთათმანები	1-მდე	2,5	1	6
4	რეზინის დიელექტრიკული ხელთათმანები	1 და მეტი	6	1	6
5	რეზინის დიელექტრიკული ბოტები	ნებისმ	15	1	36
6	რეზინის დიელექტრიკული კალოშები	1-მდე	3,5	1	12

მუშაობის დაწყების წინ აუცილებელია დამცავი საშუალებების გარეგანი დათვალიერება, დეფექტების აღმოჩენის შემთხვევაში დამცავი საშუალებები ამოღებული უნდა იქნას ხმარებიდან.

გამაფრთხილებელი პლაკატების დანიშნულებაა გაფრთხილება დენით დაშავების საშიშროების შესახებ. შინაარსის მიხედვით პლაკატები იყოფა ოთხ ჯგუფად:

1. გამაფრთხილებელი – მაგ: “სდექ საშიშია სიცოცხლისათვის”, “სდექ მაღალი ძაბვაა” და სხვა;
2. ამკრძალავი – “არ ჩართოთ მუშაობენ ადამიანები”;
3. ნებადართული – “იმუშავეთ აქ”;
4. გამახსენებელი – “ჩამიწებულა”.

22.11. სახანძრო უსაფრთხოების წესები

ელექტრო დანადგარებში

საწარმოებსა და დაწესებულებებში, სადაც არსებობს ელ. დანადგარები, აუცილებელი პირობაა – მკაცრად იქნას დაცული ხანძარსაწინააღმდეგო უსაფრთხოების წესები.

ხანძარსაწინააღმდეგო პროფილაქტიკური ღონისძიებებისათვის აუცილებელია, რომ ყველა ობიექტზე მოწყობილი იყოს ხანძარსაწინააღმდეგო სტენდები, რომელიც დაკომპლექტებული უნდა იყოს ყველა საჭირო ინვენტარით. უნდა არსებობდეს სახანძრო უსაფრთხოების ინსტრუქციები, ადამიანის სახანძრო და ელენერგიით დაზიანების შემთხვევაში პირველადი სამედიცინო დახმარების მეთოდები და პლაკატები. ყველაფერ ამის შესახებ პასუხისმგებელი არის პიროვნება, რომელსაც ბრძანებით ევალება ხანძარსაწინააღმდეგო უსაფრთხოების წესების დაცვაზე კონტროლი.

ყველა საწარმოო დაწესებულებებსა და ობიექტებზე უნდა არსებობდეს თავისუფალი მისასვლელი, რათა ხანძრის შემთხვევაში მეხანძრეებს ჰქონდეთ მოქმედების საშუალება. გამოყოფილი უნდა იყოს ადგილები თამბაქოს მოსაწვეად.

სასტიკად აკრძალულია თამბაქოს მოწვევა იმ ადგილებში და შენობებში, სადაც არსებობს ადვილად აალებადი და შეთქებად საშიში ნივთიერებები.

ელექტრო მეურნეობაში ელ დანადგარებზე მოწყობილი უნდა იყოს ჩამიწების კონტურები, რომელიც დაიცავს ელ. დანადგარებს გაუონილი და მიწასთან მოკლე შერთვის დენებისაგან და სხვა ავარიის გამომწვევი მიზეზებისაგან.

ელ. გამანაწილებელ ფარებში გამოყენებული უნდა იქნეს დამამზადებელი ქარხნის მიერ დაკალიბრებული დნობადი მცველები, გამტარებისა კაბელების დაბოლოებები მიერთებული უნდა იყოს მჭიდროთ, რათა არ მოხდეს მიერთების ადგილების გადახურება, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ხანძარი.

დაუშვებელია დროებითი გაყვანილობების მოწყობა და ექსპლოატაცია სამშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოების ობიექტებზე. არ შეიძლება საჭაერო ხაზების გადაყვანა ადვილად აალებად სახურაეებზე, გადახურებზე და სხვა მსგავსი სახის აალებად სახურაეებზე, გადახურებზე და სხვა მსგავსი სახის მასალებზე. საწარმოებსა და დაწესებულებებში ელ. გამანათებელი მოწყობილობები უნდა იყოს დახურულ მდგომარეობაში

შუშის ან გამჭვირვალე ხუფებით, რომელიც შეხებაში არ იქნება ადვილად აალებად ნივთიერებებთან. ელ. დანადგარები და მოწყობილობები საჭიროა თვეში 1 – ჯერ გაიწმინდოს ნამწვევი მტერისაგან.

საწარმოს ელ. მეურნეობაში ახალი ობიექტების ჩართვა და მათი შემდგომი ექსპლოატაცია შეთანხმებული უნდა იყოს ელ. მეურნეობაზე პასუხისმგებელ პირთან.

იმ ადგილებში, სადაც შესაძლებელია კაბელებისა და ელ. გაყვანილობის მექანიკური დაზიანება, გაყვანილობა უნდა გაკეთდეს მეტალის მილებში ან კუთხოვანებში, რათა დაცული იყოს ხანძარსაწინააღმდეგო პირობები.

არ დაიშვება საპაერო კაბელების გადაყვანა საკვამლეებზე და სხვა მილგაყვანილობებზე. ასევე არ დაიშვება გამაცხელებლების ქსელში ჩართვა ცეცხლგამძლე დგარების გარეშე და მათი დატოვება ყურადღების გარეშე დიდი ხნის განმავლობაში. აკრძალულია თვითნაკეთი გამაცხელებლების ექსპლოატაცია გათბობის მიზნით. დაუშვებელია გაყვანილობის მონტაჟი ლურსმნების საშუალებით, კარებისა და ფანჯრების ღრიტოებში სადენის მოთავსება, ელ ნათურების შეფუთვა ქაღალდით და სხვა აალებადი მასალებით.

სამუშაოს დამთავრების შემდეგ მთლიანად უნდა გამოირთოს ყველა ის ელ. დანადგარი, რომელზეც არ ხდება მორიგეობა ხოლო მიმდინარეობს სამუშაო პროცესი მორიგე პერსონალის ზედამხედველობით. ასევე შეიძლება ჩართული იყოს მორიგე ელ. განათება.

ხანძარსაშიშ ზონებში სამუშაოს ჩატარებისათვის მოწყობილობების შერჩევისას უნდა გავითვალისწინოთ გარემო პირობები.

უძრავი კონტაქტური შეერთებები შეიძლება შესრულდეს ელ. შედუღების საშუალებით, დაწნეხვით ან დარჩილვით. ხანძარსაშიშ ზონაში მუშაობისას უნდა გავითვალისწინოთ ის ღონისძიებები, რომელიც გამოიხატება დანადგარებიდან სტატიკური ელექტრობის მოხსნაში.

უნდა გვახსოვდეს, რომ ჰაერი, რომლის ვენტილაციასაც ახდენენ ელ. დანადგარები, არ უნდა შეიცავდეს ფეთქებადსაშიშ ორთქლს და მტყერს.

ის ელექტრული მანქანები და დანადგარები, რომელთა ექსპლუატაციისას ნაპერწკალი გამოიყოფა, უნდა იყოს იზოლირებული და ერთი მეტრით დაშორებული იმ ობიექტებიდან, სადაც განთავსებულია ფეთქებადსაშიში ნივთიერებები.

სასურველია, თუ გამომრთველებსა და ავტომატური ჩამრთველებს ხანძარსაშიშ ზონიდან გამოვიტანთ იმ ადგილებში, სადაც მათი ექსპლოატაცია არ იქნება საშიში. იმ შემთხვევაში, თუ ეს ავტომატური ამომრთველი და გამთიშველები მოთავსებული იქნება ყუთებში, მათი ექსპლოატაცია შესაძლებელი იქნება ასეთ ზონებში. ელ. დანადგარებზე ხანძრის გაჩენის შემთხვევაში, დაუყოვნებლივ უნდა ვაცნობოთ სახანძრო დაცვის სამსახურს. ელ. მეურნეობაზე პასუხისმგებელმა პირმა უნდა იცოდეს, რომ ელ. დანადგარებზე გაჩენილი ხანძრის ჩაქრობა უნდა მოხდეს იმ შემთხვევაში, თუ აღნიშნულ დანადგარებზე სრულად მოხსნილია ძაბვა. ხანძრის შედეგად წარმოქმნილი ბოლი შეიცავს მავნე ნივთიერებებს, როგორცაა ქლორი, მსუთავი და ნახშირჟანგის გაზები.

იმ შემთხვევაში, თუ შეუძლებელია ძაბვის მოხსნა, ხანძრის ჩაქრობა უნდა მოხდეს OY - 2, OY - 5, OY - 8 ტიპის ცეცხლმაქრებით. ასეთი ტიპის ცეცხლმაქრებით შეიძლება ვიმოქმედოთ 1000ვ - მდე ძაბვის შემთხვევაში. ხანძრის ჩაქრობა ძაბვის მოუხსნელად წყლის ჭავლით, შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ გამოყენებული იქნება ლულიანი ცეცხლმაქრი, რომლის ლულაც იქნება ჩამიწებული, ხოლო ცეცხლმაქრობს, რომელსაც უჭირავს ლულა, უნდა ეცვას დიელექტრიკული ბოტები და ხელთათმანები.

უნდა იყოს დაცული მანძილები ელ. დანადგარსა და მქრობელს შორის:

1კვ. ძაბვის შემთხვევაში - 3,5 მ.

1 - 3 კვ ძაბვის შემთხვევაში - 4,0 მ

3 - 10 კვ ძაბვის შემთხვევაში - 4,5 მ.

აღნიშნული დიელექტრიკული საშუალებები ყოველწლიურად უნდა იქნას გამოცდილი ძაბვის ქვეშ და უნდა იყოს აღნიშვნა ვარგისიანობის შესახებ გამოცდის თარიღი და ვადა.

რეკომენდირებული ლიტერატურა

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа. 1967.
2. Билимович В.Ф. Физическое викторины. М.: Просвещение. 1977.
3. Евдокимов Ф.Е. Теоретичесик основы электротехники. М.: Высшая школа. 1972.
4. Иванов А. Справочник по электротехнике. Киев: Вища школа. 1972.
5. Княжицкий Г.М. Основы электротехники. М.: Военное издательство. 1973.
6. Коннов А. Электрооборудование жилых зданий. М.: Издательский дом. Додзка ХХІБ 2005.
7. Конрад В. Электротехника кратко и наглядно. Ленинград: Энергия. 1980.
8. Олейникова Л.Д. Единицы физических величин в энергетике. М.: Энергоатомиздат. 1983.
9. Туричин А.М, Электрические измерения. М.: Госэнергоиздат. 1967.
10. Частоедов Л.А. Электротехника. М.: Высшая школа. 1984.
11. კასატკინი ა., პერეკალინი მ. ელექტროტექნიკა, გამოთვლითი ტექნიკა და შრომა. 1958.
12. მუხნიკი ა., პარფიონოვი კ. ზოგადი ელექტროტექნიკა. თბილისი: განათლება. 1978.
13. პერიშკინი ა. ფიზიკის კურსი. თბილისი: ცოდნა. 1964.
14. "შრომის დაცვა". ვ. ქაშიბაძის რედაქციით. თბილისი: განათლება. 1975.
15. რაზმაძე ნ., ავალიანი მ. ელექტროუსაფრთხოება. საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", თბილისი, 2007.

ტექნიკური სწოება

პროპორცია და მისი თვისებები – ორი თანასწორი ფარდობა, შეერთებული ტოლობის ნიშნით, გვაძლევს პროპორციას:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \text{ ანუ } a:b = c:d.$$

a და d პროპორციის კიდურა წევრებია, b და c შუა წევრები. პროპორციის ერთ – ერთი კიდურა (შუა) წევრი უდრის შუა (კიდურა) წევრების ნამრავლი შეფარდებული მეორე კიდურა (შუა) წევრზე:

$$a = \frac{bc}{d}, \quad d = \frac{bc}{a}, \quad b = \frac{ad}{c}, \quad c = \frac{ad}{b}.$$

საშუალო არითმეტიკული – რამდენიმე რიცხვის საშუალო არითმეტიკული მოიძებნება ფორმულით:

$$\text{საშ. არით} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}, \text{ სადაც } n\text{-შესაკრებთა რიცხვია.}$$

საშუალო გეომეტრიული – რამდენიმე რიცხვის საშუალო გეომეტრიული მოიძებნება ფორმულით:

$$\text{საშ. გეომ} = \sqrt[n]{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}.$$

პირდაპირი და უკუპროპორციული დამოკიდებულება – თუ ორ სიდიდეს შორის არსებობს ისეთი დამოკიდებულება, რომ ერთი სიდიდის რამდენჯერმე გადიდებით მეორე იმდენჯერვე დიდდება, მაშინ ამ სიდიდეებს შორის არსებობს პირდაპირ-პროპორციული დამოკიდებულება.

ხოლო თუ ერთის რომდენჯერმე გადიდებით მეორე იმდენჯერვე მცირდება, მაშინ ამ სიდიდეებს შორის არსებობს უკუპროპორციული დამოკიდებულება.

მაგალითად, თუ R წინააღობის ბოლოებზე მოვდებთ U ძაბვას, მაშინ რამდენჯერაც გავზრდით ძაბვას, იმდენჯერვე გაიზრდება დენი და ვამბობთ დენი ძაბვის პირდაპირპროპორციულია, ხოლო თუ ძაბვა სიდიდით მუდმივია და გავზრდით წინააღობას დენი იმდენჯერვე შემცირდება, მაშინ ვამბობთ – დენი წინააღობის უკუპროპორციულია.

რიცხვის აბსოლუტური მნიშვნელობა – დადებითი ან უარყოფითი რიცხვის აბსოლუტური მნიშვნელობა ეწოდება

იმავე რიცხვს უნიშნოდ აღებულს, რომელიც აღინიშნება ასე:
 $|a|$, $|b|$ და ა.შ.

მაგალითად, $|10| = 10$; $|-5| = 5$ და ა.შ.

ორი უარყოფითი რიცხვიდან ის არის მეტი, რომლის
აბსოლუტური სიდიდე ნაკლებია მაგალითად, $-10 > -15$;

შემოკლებული გამრავლება – გაყოფის ფორმულები:

$$1) (a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2;$$

$$2) (a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3;$$

$$3) (a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2ac + 2bc;$$

$$4) a^2 - b^2 = (a + b)(a - b);$$

$$5) a^3 + b^3 = (a + b)(a^2 - ab + b^2);$$

$$6) a^3 - b^3 = (a - b)(a^2 + ab + b^2).$$

არითმეტიკული მოქმედებები წილადებზე და ხარისხებზე:

$$1) \frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm cb}{bd};$$

$$2) \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd};$$

$$3) \frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{ad}{bc};$$

$$4) \left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n};$$

$$5) a^n \cdot a^m = a^{(n+m)};$$

$$6) \frac{a^n}{a^m} = a^{(n-m)};$$

$$7) (a^k)^n = a^{kn};$$

$$8) \sqrt[n]{a} = \sqrt[n \cdot p]{a^p};$$

$$9) \sqrt[n]{ab} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b};$$

$$10) \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab};$$

$$11) \sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}.$$

კვადრატული განტოლება და მისი ფესვები:

$$ax^2 + bx + c = 0; \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

$$x^2 + px + q = 0; \quad x = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}.$$

ფესვთა თვისებები - (ვიეტას თეორემა) $x_1 + x_2 = -p$; $x_1 \cdot x_2 = q$;

დისკრიმინანტი: $\Delta = b^2 - 4ac$.

თუ: $b^2 - 4ac > 0$, მაშინ განტოლებას ორი ნამდვილი ფესვი;

$b^2 - 4ac < 0$, მაშინ განტოლების ფესვები ურთიერთშეუღლებული კომპლექსური რიცხვებია;

$b^2 - 4ac = 0$, მაშინ განტოლებას აქვს ორი ნამდვილი და ტოლი ფესვი;

ერთუცნობიანი განტოლების ამოხსნა

$$ax + b + cx + k = mx + d + nx,$$

სადაც x უცნობია და მის მნიშვნელობას, რომელიც დააკმაყოფილებს გოლობას განტოლების ფესვი ეწოდება.

დავაღაგოთ უცნობი წევრები განტოლების ერთ მხარეს, ცნობილი ანუ თავისუფალი წევრები, მეორე მხარეს:

$$ax + cx - mx - nx = d - b - k.$$

გავიგანოთ ფრჩხილებს გარეთ x .

$$x(a + c - m - n) = d - b - k \text{ და განვსაზღვროთ იგი:}$$

$$x = \frac{d - b - k}{a + c - m - n}.$$

ორუცნობიანი განტოლებათა სისტემის ამოხსნა

$$\begin{cases} ax + by = d & (\text{ა}) \\ xy = k & (\text{ბ}) \end{cases}$$

უცნობებია x და y .

ა) ჩასმის ხერხი - (ბ) დან განვსაზღვროთ y და ჩავსვათ

$$(\text{ა})\text{-ში: } y = \frac{k}{x} \quad (\text{ვ});$$

$$ax + b \frac{k}{x} = d \quad (\text{დ});$$

(დ) განტოლების ორივე მხარე გავამრავლოთ x -ზე:

$$ax^2 + bk = dx.$$

დავალაგოთ: $ax^2 - dx + bk = 0$.

ამოვხსნათ კვადრატული განტოლება $x_{1,2} = \frac{d \pm \sqrt{d^2 - 4ab}}{2a}$.

$x_{1,2}$ მნიშვნელობებით (გ)-დან განვსაზღვრავთ $y_{1,2} = \frac{k}{x_{1,2}}$;

მივიღეთ ამონახსნთა წყვილები $x_1; y_1$ და $x_2; y_2$.

ჩავსვათ $x_1; y_1$ და $x_2; y_2$ წყვილები (ა) და (ბ) სისტემებში. წყვილი, რომელიც დააკმაყოფილებს სისტემას მისი ამონახსნია.

ბ) ლეგერმინანტის ხერხი

$$\begin{cases} ax + by = c \\ dx + ky = m \end{cases}$$

სისტემის მთავარი განმსაზღვრელი $\Delta = \begin{vmatrix} a & b \\ d & k \end{vmatrix} = ak - bd$;

დამატებით განმსაზღვრელები:

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} c & b \\ m & k \end{vmatrix} = ck - mb; \quad \Delta_y = \begin{vmatrix} a & c \\ d & m \end{vmatrix} = am - cd;$$

$$x = \frac{\Delta_x}{\Delta}; \quad y = \frac{\Delta_y}{\Delta};$$

სამუცნობიანი სისტემის ამოხსნა ლეგერმინანტის ხერხით:

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \end{cases}$$

სისტემის მთავარი განმსაზღვრელი:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & a_3 & b_3 \end{vmatrix} = a_1b_2c_3 + b_1c_2a_3 + c_1a_2b_3 - \\ - c_1b_2a_3 - a_1c_2b_3 - b_1a_2c_3.$$

x განმსაზღვრელში x -ის კოეფიციენტები შევცვალოთ თავისუფალი წევრებით და ამოვხსნათ:

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} d_1 & a_2 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} d_1 & a_2 & c_1 & d_1 & a_2 \\ d_2 & b_2 & c_2 & d_2 & b_2 \\ d_3 & c_2 & c_3 & d_3 & c_2 \end{vmatrix}.$$

ანალოგიურად გამოეთვალეთ Δ_y და Δ_z :

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix} = \dots; \quad \Delta_z = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix} = \dots;$$

$$x = \frac{\Delta_x}{\Delta}; \quad y = \frac{\Delta_y}{\Delta}; \quad z = \frac{\Delta_z}{\Delta}.$$

კუთხე და მისი გრადუსული ზომა - რკალის გრადუსი - წრეხაზის სიგრძის $1/360$

$$1^\circ = 60' \text{ მინ};$$

$$1 \text{ მინ} = 60'' \text{ სეკ}.$$



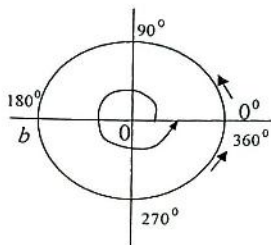
მართი კუთხე - $\alpha = 90^\circ$; $ac \perp oa$.

მახვილი კუთხე - $\alpha < 90^\circ$;

ბლაგვი კუთხე - $\alpha > 90^\circ$;

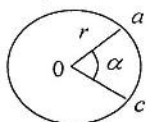
გაშლილი კუთხე - $\alpha = 180^\circ$;

სრული კუთხე - $\alpha = 360^\circ$.



კუთხის რადიანული ზომა - $\pi = const = 3,14$ - მუდმივი რიცხვია და წარმოადგენს წრეხაზის სიგრძის ფარდობას დიამეტრთან.

წრეხაზის სიგრძე - $2\pi r$ (r წრეხაზის რადიუსია)



წრის ფართობი $\pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ ($d = 2r$ წრეხაზის დიამეტრია).

ერთი რადიანი ის კუთხეა, რომლის მომჭიმავი რკალის სიგრძე რადიუსის ტოლი $ac = r$.

სრული კუთხის რადიანული ზომა - $2\pi = 360^\circ$;

მართი კუთხის რადიანული ზომა - $\frac{\pi}{2} = 90^\circ$;

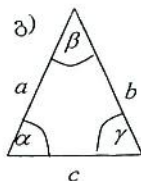
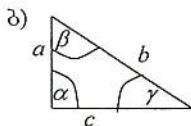
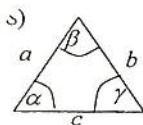
გაშლილი კუთხის რადიანული ზომა - $\pi = 180^\circ$;

$1^\circ = 0,0174$ რად; 1 რად = $57,3^\circ$.

α	30°	45°	60°	90°	180°	270°	360°
α რად	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	π	$3\pi/2$	2π

სამკუთხედი - $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$

$a + b + c$ - პერიმეტრია.



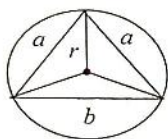
ა) თუ $a = b = c$ სამკუთხედს ეწოდება ტოლგვერდა (ნახ. ა); ტოლგვერდა სამკუთხედში $\alpha = \beta = \gamma = 60^\circ$.

ბ) თუ $a \perp b$ ანუ $\alpha = 90^\circ$ - სამკუთხედს ეწოდება მართკუთხა (ნახ. ბ); მართკუთხა სამკუთხედის a, b გვერდებს ეწოდება კათეტები, c -ს ჰიპოტენუსა.

მართკუთხა სამკუთხედში $a^2 + b^2 = c^2$ (პითაგორას თეორემა);

მართკუთხა სამკუთხედში თუ $\beta = 30^\circ$, მაშინ

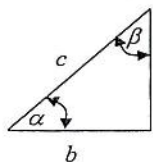
$$b = \frac{c}{2}.$$



გ) თუ სამკუთხედის ორი გვერდია ტოლი სამკუთხედს ეწოდება ტოლფერდა (ნახ. გ) $a = b$; ტოლფერდა სამკუთხედის a, b გვერდებს ეწოდება ფერდები, c - ფუძე; ტოლფერდა სამკუთხედში $\alpha = \gamma$.

დ) ტოლგვერდა სამკუთხედზე შემოიწერება წრეხაზი, რომლის რადიუსი მისი გვერდის $\frac{1}{\sqrt{3}}$ -ის ტოლია: $r = \frac{a}{\sqrt{3}}$ ანუ $a = r\sqrt{3}$.

სწორხაზოვანი ტრიგონომეტრია - „ტრიგონომეტრია“ ბერძნული სიტყვაა და სამკუთხედის გაზომვას ნიშნავს. მახვილი კუთხის ტრიგონომეტრიული ფუნქციები:



$$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \cos \alpha = \frac{b}{c}; \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \operatorname{ctg} \alpha = \frac{b}{a};$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

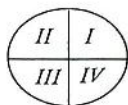
სამკუთხედის ამოხსნა:

ა) მოც: $c, \alpha - \beta = 90^\circ - \alpha$; $a = c \sin \alpha$; $b = c \cos \alpha$;

ბ) მოც: $a, \alpha - \beta = 90^\circ - \alpha$; $b = a \operatorname{ctg} \alpha$; $c = \frac{a}{\sin \alpha}$;

გ) მოც: $a, c - \sin \alpha = \frac{a}{c}$; $\beta = 90^\circ - \alpha$, $b = \sqrt{c^2 - a^2}$.

ზოგიერთ ტრიგონომეტრიულ ფუნქციათა მნიშვნელობები:



ფუნქც სახელ	მეოთხედები				გრადუსები								
	I	II	III	IV	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°	360°	
sin	+	+	-	-	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	-1	0	
cos	+	-	-	+	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1	0	1	
tg	+	-	+	-	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	∞	0	$-\infty$	0	
ctg	+	-	+	-	∞	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\infty$	0	$-\infty$	

ტრიგონომეტრიულ ფუნქციათა გამოსათვლელი ფორმულების ცხრილი, თუ ვიციტ რომელიმე კუთხის ერთ - ერთი ფუნქცია

საპოვნო ფუნქცია	მოცემული ფუნქციები			
	$\sin x$	$\cos x$	$\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ctg} x$
$\sin x =$	$\sin x$	$\sqrt{1 - \cos^2 x}$	$\frac{\operatorname{tg} x}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 x}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 x}}$
$\cos x =$	$\sqrt{1 - \sin^2 x}$	$\cos x$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 x}}$	$\frac{\operatorname{ctg} x}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 x}}$
$\operatorname{tg} x =$	$\frac{\sin x}{\sqrt{1 - \sin^2 x}}$	$\frac{\sqrt{1 - \cos^2 x}}{\cos x}$	$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\operatorname{ctg} x}$
$\operatorname{ctg} x =$	$\frac{\sqrt{1 - \sin^2 x}}{\sin x}$	$\frac{\cos x}{\sqrt{1 - \cos^2 x}}$	$\frac{1}{\operatorname{tg} x}$	$\operatorname{ctg} x$
$\operatorname{sec} x =$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 x}}$	$\frac{1}{\cos x}$	$\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 x}$	$\frac{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 x}}{\operatorname{ctg} x}$
$\operatorname{csc} x =$	$\frac{1}{\sin x}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \cos^2 x}}$	$\frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 x}}{\operatorname{tg} x}$	$\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 x}$

დაყვანის ფორმულების ცხრილი

φ	$-\alpha$	$90^\circ \pm \alpha$	$180^\circ \pm \alpha$	$270^\circ \pm \alpha$	$360^\circ - \alpha$
$\sin \varphi$	$-\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$
$\cos \varphi$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\pm \sin \alpha$	$+\cos \alpha$
$\operatorname{tg} \varphi$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$
$\operatorname{ctg} \varphi$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$\pm \operatorname{ctg} \alpha$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$
\sec	$+\sec \alpha$	$\pm \operatorname{csc} \alpha$	$-\sec \alpha$	$\mp \operatorname{csc} \alpha$	$+\sec \alpha$
csc	$-\operatorname{csc} \alpha$	$+\sec \alpha$	$\pm \operatorname{csc} \alpha$	$-\sec \alpha$	$\mp \operatorname{csc} \alpha$

კუთხეების ჯამისა და სხვაობის ტრიგონომეტრიული ფორმულები:

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \mp 1}{\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta}$$

კუთხეების გამრავლებისა და გაყოფის ტრიგონომეტრიული ფუნქციები:

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\sin \alpha = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2}; \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\cos \alpha = \cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}; \quad \cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}; \quad \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{1 + \cos 2\alpha}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}};$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha};$$

$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}};$$

$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha};$$

შექცეული ტრიგონომეტრიული ფუნქციები - $y = \sin x$ ეს ნიშნავს y არის x რკალის სინუსი; მაშინ მისი შექცეული ფუნქციაა x რკალი, რომლის სინუსია y .

შექცეული ფუნქცია იწერება "arc"(arcus - რკალი) სიმბოლოთი, ე.ი.

$$\frac{1}{2} = \sin 30^\circ \text{ მაშინ } 30^\circ = \arcsin \frac{1}{2};$$

$$\frac{1}{2} = \cos \frac{\pi}{3} \text{ მაშინ } \frac{\pi}{3} = \arccos \frac{1}{2} \text{ და ა.შ.}$$

შექცეული ფუნქციები განისაზღვრება ცხრილიდან უკუქმედებით.

a	0	1/2	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{3}/2$	1
$\arcsin a$	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$

a	0	1/2	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{3}/2$	1
$\arccos a$	$\pi/2$	$\pi/3$	$\pi/4$	$\pi/6$	0

a	0	$\sqrt{3}/3$	1	$\sqrt{3}$
$\operatorname{tg} a$	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$

$$\arcsin (-a) = -\arcsin a;$$

$$\arccos (-a) = \pi - \arccos a;$$

$$\operatorname{arctg} (-a) = -\operatorname{arctg} a.$$

ფუნქციის წარმოებული - $y = f(x)$ ფუნქციის წარმოებული აღებულ წერტილზე არის ფუნქციის ნაზრდის და არგუმენტის ნაზრდის ფარდობის ზღვარი, როცა არგუმენტის ნაზრდი მიისწრაფის ნულისაკენ:

$$f'(x) = \frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}.$$

ღროში ცვალებადი სიდიდის წარმოებული ამ სიდიდის ცვლილების სიჩქარის ტოლია.

მაგალითად, წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს განვლილი გზა იცვლება დროში და $S(t)$ ფუნქციის დროით წარმოებული $\frac{dS}{dt} = V$ მოძრაობის სიჩქარის ტოლია.

ანალოგიურად აჩქარებული მოძრაობის დროს სიჩქარე იცვლება დროში და სიჩქარის დროით წარმოებული აჩქარების ტოლია: $\frac{dv}{dt} = a$.

ვექტორული და სკალარული ფიზიკური სიდიდეები - თუ ფიზიკური სიდიდე ხასითდება როგორც სიდიდით, ისე მიმართულებით, მას ეწოდება ვექტორული. მაგალითად, ძალა \vec{F} ; სიჩქარე \vec{V} და ა.შ.

თუ ფიზიკური სიდიდე ხასითდება მხოლოდ სიდიდით მას ეწოდება სკალარული - მაგალითად, ტემპერატურა და სხვა.

ვექტორული სიდიდის რაოდენობრივ მახასიათებელს ანუ მისი სიდიდის რიცხვით მნიშვნელობას ეწოდება მოდული, ხოლო მიმართულების განმსაზღვრელ სიდიდეს - არგუმენტი.

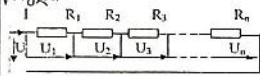
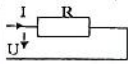
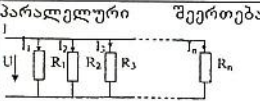
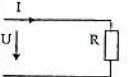
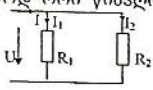
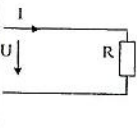
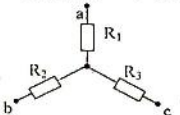
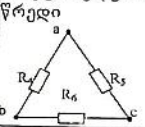


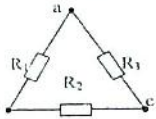
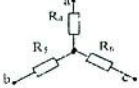
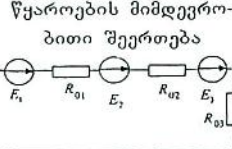
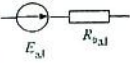
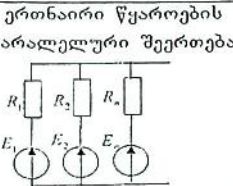
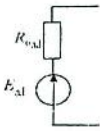
მაგალითად, \vec{F} ძალა მოდებულია 0 წერტილში, ათვლის მიმართულებად აღებულია კორიზონტალური მიმართ-

თულება, მაშინ \vec{F} ძალის მოდულია მასშტაბში გამოსახული \vec{F} ვექტორის სიგრძე და აღინიშნება $|\vec{F}|$, ხოლო არგუმენტი α კუთხე.

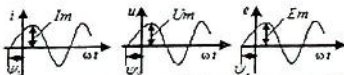
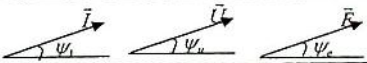
ტემპერატურა და სითბო - სითბო ენერჯიის ერთ - ერთი თვისებაა და მ.გ. ლომონოსოვის განმარტებით განპირობებულია სხეულის შემადგენელი უმცირესი ნაწილაკების - მოლეკულების მოძრაობით. ტემპერატურის საზომია გრადუსი, რომელიც ყინულის დნობისა და წყლის დუღილის ტემპერატურებს შორის ზღვრის 1/100-ია. ტემპერატურულ სკალას 0-დან 100-მდე ცელსიუსის სკალა ეწოდება. მიღებულია აგრეთვე ე.წ. აბსოლუტური სკალა ანუ კელვინის

სკალა, რომლის 0 ყინულის დნობის ტემპერატურიდან გადავიდა მინუს ნიშნით 273⁰-ით (273,16⁰) ამ სკალის 0-ს აბსოლუტური ნული ეწოდება.

მოცემული წრედი	ეკვივალენტური წრედი	გადასვლის ფორმულები
<p>1</p> <p>მიმდევრობით შერტებული წრედი</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n;$ $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n;$ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2};$ $R_1 = R_2 = R_3 = \dots; \quad \text{მაშინ}$ $R = nR_1$
<p>პარალელური შერტება</p> 	<p>2</p> 	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n};$ $G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n;$ $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n.$ <p>როცა $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n$,</p> <p>მაშინ $R = \frac{R_1}{n}$.</p>
<p>კერძო შემთხვევა: პარალელურად შერტებულია მხოლოდ ორი წინაღობა</p> 	<p>2</p> 	$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2};$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$
<p>ვარსკვლავური წრედი</p> 	<p>სამკუთხედური წრედი</p> 	$R_4 = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3};$ $R_5 = R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2};$ $R_6 = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}.$

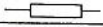
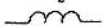

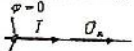
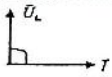
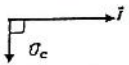
1	2	3
<p>სამკუთხედური წრედი</p> 	<p>ვარსკვლავური წრედი</p> 	$R_1 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3};$ $R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3};$ $R_3 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$
<p>წყაროების მიმდევრობითი შეერთება</p> 		$E_{საქ} = E_1 + E_2 + E_3;$ $R_{საქ} = R_{01} + R_{02} + R_{03}.$
<p>ერთნაირი წყაროების პარალელური შეერთება</p> 		$E_{საქ} = E;$ $R_{0საქ} = \frac{R_0}{n}.$

სინუსოიდური ფუნქციის მახასიათებლები ცხრილის სახით მეტი სიცხადისათვის სინუსოიდური ძაბვების (დენების, ემძ) მახასიათებლები მოყიყვანოთ ცხრილის სახით.

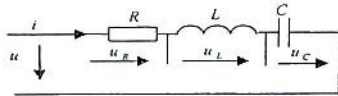
მახასიათებლები	აღნიშვნა და განმარტება
სინუსოიდური ფუნქციის განტოლება ანუ მყისი მნიშვნელობა	$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ ა) სინუსოიდური ფუნქციის მნიშვნელობა $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ ე) დროის აღებულ $e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$ ე) მომენტში
ტალღური დიაგრამა	
ვექტორული სახე	
ამპლიტუდა	I_m, U_m, E_m - მაქსიმალური მნიშვნელობა

მოქმედი მნიშვნელობა	$I = \frac{Im}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{Um}{\sqrt{2}}; \quad E = \frac{Em}{\sqrt{2}};$
კუთხური სიხშირე	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ [რად/წმ]
პერიოდი	T - ცვალებადობის ერთი სრული ციკლის შესასრულებლად საჭირო დრო [წმ].
სიხშირე	$f = \frac{1}{T}$ პერიოდის შებრუნ. სიდიდე [ჰც]
ფაზა	$\omega t + \psi_i; \quad \omega t + \psi_u; \quad \omega t + \psi_e.$
საწყისი ფაზა	$\psi_i; \psi_u; \psi_e$ - უჩვენებს სინუსოიდური ფუნქციის მნიშვნ-ს საწყის მომენტში.
ძვრის კუთხე ძაბვისა და დენს შორის	$\varphi = \psi_u - \psi_i$ - ძაბვისა და დენის საწყისი ფაზების სხვაობა. $\varphi > 0$; როცა $\psi_u > \psi_i$; $\varphi < 0$ როცა $\psi_u < \psi_i$; $\varphi = 0$; როცა $\psi_u = \psi_i$;

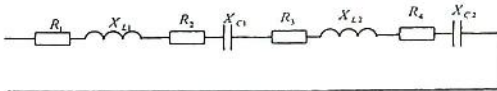
დამოკიდებულებები ცვლადი დენის წრედის პასიურ ელემენტებზე

ელემენტი		რეზისტორი R	ინდუქციური კოა L	კონდენსატორი C
პარამეტრი	პარამეტრი			
	წინაობა	$R = \rho \frac{l}{S}$	0	∞
	ცვლადი დენის წრედში	$R = \frac{U^2}{P}$	$X_L = \omega L$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$
ძაბა და დენი	კომპლექსური სახეში	$\underline{Z} = R$	$\underline{Z} = j\omega L$	$\underline{Z} = -j \frac{1}{\omega C}$
	დოფერენციალური სახეში	$u = IR; \quad i = \frac{u}{R}$	$u_L = L \frac{di}{dt}$ $i = \frac{1}{L} \int u dt$	$i_C = C \frac{du}{dt}$ $u = \frac{1}{C} \int i dt$
	მოქმედი მნიშვნელობები სათვის	$U = IR; \quad I = \frac{U}{R}$	$U_L = I\omega L$	$U_C = I \frac{1}{\omega C}$
ძვრის კუთხე ძაბვისა და დენს შორის	კომპლექსურ სახეში	$\varphi = 0$	$\varphi = 90^\circ$	$\varphi = -90^\circ$
	ვექტორული დიაგრამა			
სიმძლავრე	აქტიური (ვარი)	$P = \frac{U^2}{R} = I^2 R = U I \cos \varphi$	0	0
	რეაქტიული (ვარი)	$Q = 0$	$Q = I^2 \omega L$	$Q = I^2 \frac{1}{\omega C}$
	სრული (ვოლტ-ამპერი)	$S = P$	$S = Q$	$S = Q$

ძირითადი დამოკიდებულებები ცვლადი ღენის განუშტოებელ წრელებში



წრედის განტოლებები დოფერენციალურ, ემპტორულ და კომპლექსურ სახეში	$R + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = U$ $\bar{R}i + aL \dot{i} + \frac{1}{ac} \int i - U_R + U_L + U_C = U$ $R\dot{i} + jaL\dot{i} - j\frac{1}{ac}\int i - U_R + U_L + U_C = U$
სრული წინაღობა და φ	$z = \sqrt{R^2 + \left(aL - \frac{1}{ac}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \varphi = \arctg \frac{aL - \frac{1}{ac}}{R}$
კომპლ.წინაღობა	$\underline{Z} = R - jaL - j\frac{1}{ac} = R + j\left(aL - \frac{1}{ac}\right) = \bar{R} + jX = Z_2^{1*}$
ვეტორული დიაგრამა	
ძაბუათა წინაღობათა და სიმძლავრეთა სამკუთხედები	<p> $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $U = \sqrt{U_s^2 + U_n^2}$ ძაბვის აქტიური მდგენელი $U_s = IR = UC \cos \varphi$ ძაბვის რეაქტიული მდგენელი $U_n = IX = U \sin \varphi$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad P = UI \cos \varphi \quad Q = UI \sin \varphi$ $\varphi = \arctg \frac{aL - \frac{1}{ac}}{R} = \arctg \frac{U_n}{U_s} = \arctg \frac{Q}{P}$ </p>

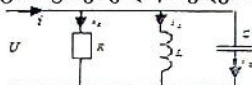


მიმდევრობით შეერთებული წრედის ზოგადი შემთხვევა:

იკრებება ერთსახელა წინაღობები (აქტიური - არითმეტიკული, რეაქციული - ალგებრალური)

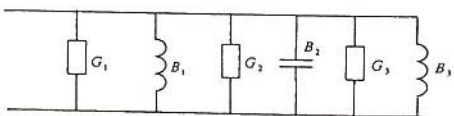
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4; X = X_{L1} - X_{C1} + X_{L2} - X_{C2}; z = \sqrt{R^2 + X^2}; \varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

ძირითადი დამოკიდებულებები ცვლადი ღენის განშტოებულ წრეებში



<p>წრედის განტოლებები დიფერენციალურ, ემპირიულ და კომპლექსურ სახეში</p>	$i_R + i_L + i_C = \frac{U}{R} + \frac{1}{L} \int U dt + C \frac{dU}{dt} = i;$ $\overline{i}_R + \overline{i}_L + \overline{i}_C = \frac{\overline{U}}{R} + \frac{\overline{U}}{j\omega L} + j\omega C \overline{U} = \overline{i};$ $\overline{i}_R + \overline{i}_L + \overline{i}_C = \overline{i} = \frac{\overline{U}}{R} + \frac{1}{j\omega L} \overline{U} + j\omega C \overline{U} = \overline{Y} \overline{U};$
<p>სრული და კომპლექსური გამტარობა</p>	$Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$ $Y = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} - \frac{1}{j\omega C} = G - jB_C + jB_L$
<p>ემპირიული დიაგრამა</p>	
<p>გამტარობების, ღენების, სიმძლავრეების სამკვლევადები</p>	<p> $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ $I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$ </p> <p> ღენის აქტიური მდგენელი $I_a = GU - I_C \cos \varphi$ ღენის რეაქტიული მდგენელი $I_r = BU = I \sin \varphi$ </p> <p> $S = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad P = UI \cos \varphi; \quad Q = UI \sin \varphi;$ $\varphi = \arctg \frac{B_L - B_C}{G} = \arctg \frac{I_r}{I_a} = \arctg \frac{Q}{P}.$ </p>

პარალელურად შეერთებული წრედის ზოგადი შემთხვევა:

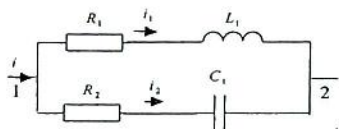


$G = G_1 + G_2 + G_3; \quad B = B_1 - B_2 + B_3;$

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{B}{G}$$

ბა: აქტიური არითმეტიკული; რეაქტიული ალგებრალური.
 კომპლექსური გამტარობა: $Y = G_1 + jB_1 + G_2 - jB_2 + G_3 + jB_3 = G \pm jB$

ძირითადი დამოკიდებულებები დენებსა და ძაბვებს შორის
 პარალელურად შეერთებულ რეალურ ელემენტებთან
 წრედებში



წრედის დიფერენციალური განტოლება	$I = I_1 + I_2$ $U = R_1 I_1 + L \frac{dI}{dt}; U = R_2 I_2 + \frac{1}{C} \int I_2 dt$
წრედის განტოლება კომპლექსური სახეში	$I = I_1 + I_2$ $\dot{U} = I_1 Z_1 - I_1 (R_1 + j\omega L) - I_2 Z_2 e^{j\omega t}; Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L)^2}; \varphi_1 = \arctg \frac{\omega L}{R_1} > 0$ $\dot{U} = I_2 Z_2 - I_2 (R_2 - j \frac{1}{\omega C}) - I_1 Z_1 e^{j\omega t}; Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}; \varphi_2 = \arctg \frac{-1/\omega C}{R_2} < 0$
კომპლექსური გამტარობა	$Y_1 = \frac{1}{R_1 + j\omega L} = \frac{R_1}{Z_1^2} - j \frac{\omega L}{Z_1^2} = G_1 - jB_1$ $Y_2 = \frac{1}{R_2 - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{R_2}{Z_2^2} + j \frac{X_2}{Z_2^2} = G_2 + jB_2$ $Y = Y_1 + Y_2$
ვექტორული დიაგრამა	$I = I_1 + I_2$ $U_R = I_1 R_1 + I_2 R_2$ $U_L = I_1 \omega L$ $U_C = I_2 / \omega C$ $X_1 = \omega L; \varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{R_1}$ $X_2 = -\frac{1}{\omega C}; \varphi_2 = \arctg \frac{X_2}{R_2}$

ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვაობა - - - - -3

შესავალი- - - - -4

პირველი ნაწილი

უძრავი მუხტი, თანაბარი სიჩქარით მოძრავი მუხტი, დენის

გამოვლენის სახეები- - - - -6

თავი I - ელექტროსტატიკა

1.1. ელექტრული მუხტი და მისი ორი ნიშანი - - - - -6

1.2. ელექტრული ველი- - - - -7

1.3. ელექტრული ველის გამოსახვა გრაფიკულად- - - - -7

1.4. ელექტრული ველის დაძაბულობა- - - - -8

1.5. ძაბვა; ელექტრული ველის პოტენციალი- - - - -8

1.6. ელექტროტევადობა- - - - -9

1.7. კონდენსატორი- - - - -10

1.8. კონდენსატორების შეერთება ბატარეად- - - - -12

1.9. ელექტრული ველის ენერჯია- - - - -13

1.10. სტატიკური მუხტი პრაქტიკაში- - - - -14

თავი II - მუხტის მოწესრიგებული მოძრაობა და მისი სახეები სხვადასხვა გარემოში

2.1. ცნება ელექტრული ენერჯიის შესახებ- - - - -16

2.2. ელექტრული დენი და მისი აღძვრის უპირველესი პირობა- - - - -17

2.3. ელექტრული დენის დადებითი მიმართულება- - - - -17

2.4. მუხტის მოძრაობისა და ენერჯიის გადაცემის სიჩქარეები- - - - -18

2.5. თავისუფალი მუხტი- - - - -19

2.6. გამტარი, არაგამტარი და ნახევარგამტარი გარემო- 20

2.7. დიელექტრიკი პრაქტიკაში- - - - -21

თავი III - მუდმივი დენის ელექტრული წრედები

3.1. ელექტრული დენის სახეები. დენის ძალა- - - - -25

3.2. დენის არსებობის პირობა- - - - -26

3.3. ელექტრული წრედი- - - - -28

3.4. ელექტრული წრედის სქემა. მარტივი და რთული წრედები- - - - -29

3.5. ელექტრული წინაღობა და გამტარობა- - - - -31

3.6. გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე- - - - -35

3.7. კვების წყაროს ელექტრული პარამეტრები- - - - -	38
3.8. ომის კანონი- - - - -	38
3.9. წყაროს გარე მახასიათებელი- - - - -	41
3.10. ჯოულ - ლენცის კანონი. ელექტრული სიმძლავრე- - - - -	44
3.11. სიმძლავრის გაზომვა- - - - -	46
3.12. სიმძლავრეთა ბალანსის განტოლება- - - - -	46
3.13. წყაროების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება- - - - -	47
3.14. გადამუხტვის მოვლენა- - - - -	49
3.15. ელექტრული ენერჯიის ერთეულები და ენერჯიის აღრიცხვა- - - - -	49
3.16. მარგი ქმედების კოეფიციენტი- - - - -	50
3.17. კირხჰოფის კანონები- - - - -	51
3.18. ცნება ეკვივალენტური გარდაქმნების შესახებ- - - - -	53
3.19. ელექტრული წრედების ანალიზისა და სინთეზის ამოცანები- - - - -	64

ნაწილი მეორე

დენის გამოვლენის სახეები- - - - - 71

თაზო IV - დენის სითბური გამოვლინება

- 4.1. ზეგამტარობის მოვლენა- - - - - 72
- 4.2. დამოკიდებულება სითბოს რაოდენობის
ელექტროტექნიკურ და თბოტექნიკურ ერთეულებს
შორის- - - - - 73
- 4.3. საყოფაცხოვრებო თბოტექნიკური დანადგარები- - 75
- 4.4. ელექტროგამაცხელებლები წარმოებაში- - - - - 79
- 4.5. რკალური განმუხტვა და მისი გამოყენება- - - - - 80
- 4.6. სითბური ეფექტი არასრულყოფილ
ელექტრულ კონტაქტში- - - - - 84
- 4.7. შექცევადი პროცესი - სითბო გვაძლევს დენს- - - 85

თაზო V - ელექტრული დენის ქიმიური გამოვლინება

- 5.1. ელექტრონეიტრალური მოლეკულა და მისი იონი- - 87
- 5.2. ელექტროლიზი- - - - - 88
- 5.3. ელექტროლიზის გამოყენება- - - - - 89
- 5.4. ელექტრული ენერჯიის ქიმიური წყაროები- - - - - 91

თაზო VI - ელექტრული დენი გაზებში

- 6.1. გაზის იონიზაცია- - - - - 98

6.2. დენი გაიშვიათებულ გაზებში. მღვივადი განმუხტვა- - - - -	99
6.3. კათოდური სხივები და მათი ბუნება- - - - -	100
თაპი VII - ელექტრული დენის მაგნიტური გამოვლენა	
+ 7.1. მაგნიტური ველი - ელექტრული დენის ძირითადი თვისება- - - - -	-101
7.2. მაგნიტური ველის გამოვლინება- - - - -	-101
7.3. მაგნიტური ველის გამოსახვა გრაფიკულად- - - - -	-102
7.4. დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი- - - - -	103
7.5. მაგნიტური ველის მახასიათებლები- - - - -	-106

თაპი VIII - ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

+ 8.1. შექცევადი პროცესი - მაგნიტური ველი აღძრავს ელექტრულ დენს- - - - -	-112
+ 8.2. ინდუქციური დენის მიმართულება. ლენცის წესი- - - - -	-114
+ 8.3. ელ მაგნიტური ინდუქციის კანონი. ინდუქციის ემპ-ის სიდიდე შეკრულ კონტურში- - - - -	-116
+ 8.4. მექანიკური ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის მექანიზმი (ელექტრული გენერატორის მოქმედების პრინციპი)- - - - -	-117
- 8.5. ელექტრული ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის მექანიზმი (ელექტრული ძრავას მოქმედების პრინციპი)- - - - -	117
8.6. გრივალური დენები- - - - -	118
+ 8.7. თვითინდუქციის მოვლენა- - - - -	-119
8.8. ურთიერთინდუქციის მოვლენა. ურთიერთინდუქციის კოეფიციენტი- - - - -	122
8.9. თანხვედრილი და შემხვედრი შეერთება- - - - -	123
8.10. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენაზე აგებული ელტექნიკური დანადგარები- - - - -	--123
8.11. მუდმივი დენის „ტრანსფორმაცია“- - - - -	129
8.12. გამტარი ინდუქციურობის გარეშე- - - - -	132

ნაწილი მესამე

ცვლადი დენი

თაპი IX. - სინუსოიდური დენი

9.1. სინუსოიდური ემპ-ის გენერატორი- - - - -	-134
9.2. ელექტროსადგური და მათი ტიპები- - - - -	-135
9.3. სინუსოიდური ემპ-ის ჩაწერის ზოგადი ფორმა.	

საწყისი უაზა-	138
9.4. ცვლადი ემძ-ის (ძაბვის, დენის) მოქმედი მნიშვნელობა-	140
9.5. სინუსოიდური ემძ-ის წარმოდგენა მბრუნავი ვექტორის სახით-	140
9.6. სინუსოიდური ფუნქციის წარმოდგენა ვექტორულად დროის აღებულ მომენტში. ვექტორული დიაგრამა-	141
9.7. სინუსოიდური ფუნქციის წარმოდგენა კომპლექსური რიცხვით-	142
9.8. ელექტრული წრედების განტოლებების ჩაწერის წესი ცვლადი დენის წრედში-	146
9.9. ძვრის კუთხე ძაბვასა და დენს შორის-	149
9.10. დადებითი და უარყოფითი კუთხეები ზოგადად-	149
9.11. ცნება სამფაზა დენის შესახებ-	150

თა30 X - ელექტრომაგნიტური პროცესები RLC ელემენტებში და განუშტოებელ და განშტოებულ ელექტრულ წრედებში

10.1. ელექტრომაგნიტური პროცესები რეზისტორში-	157
10.2. ელექტრომაგნიტური პროცესი იდეალურ ინდუქციურ კოჭაში-	166
10.3. ელექტრომაგნიტური პროცესი რეალურ კოჭაში-	170
10.4. მაგნიტური ველის ენერჯია-	175
10.5. ცვლადი დენის წრედი კოჭების მიმდევრობით შეერთების დროს -	176
10.6. კოჭების მიმდევრობით შეერთებული წრედი ინდუქციური კავშირის დროს-	177
10.7. ინდუქციური კოჭა მუდმივი დენის წრედში-	183
10.8. ელექტრომაგნიტური პროცესები იდეალურ კონდენსატორში-	186
10.9. ელექტრომაგნიტური პროცესი რეალურ კონდენსატორში -	188
10.10. კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი-	191
10.11. ცვლადი დენის მიმდევრობით შეერთებული წრედის ზოგადი შემთხვევა-	192
10.12. ცვლადი დენის წრედი RLC ელემენტების პარალელურად შეერთების დროს-	194

10.13. ექვივალენტური გარდაქმნები ცვლადი დენის წრედში- - - - -	197
10.14. რთული წრედის ანგარიში ექვივალენტური გარდაქმნებით- - - - -	201
10.15. ცვლადი დენის წრედის ანგარიში გრაფო - ანალიზური მეთოდით- - - - -	203
10.16. სიმძლავრის კოეფიციენტი და მისი ამალღების გზები- - - - -	208
10.17. რეზონანსული მოვლენები- - - - -	212
10.18. რეზონანსული მოვლენის გამოყენების მაგალითები- - - - -	216
10.19. ცვლადი დენის წრედების ანალიზი კომპლექსურ სახეში- - - - -	219
თავი XI - არასინუსოიდური დენი და ცვლადი დენის გარდაქმნა მუდმივ დენად	
11.1. არასინუსოიდური ცვლადი დენი- - - - -	231
11.2. ცვლადი დენის გარდაქმნა მუდმივ დენად- - - - -	236
11.3. მუდმივი დენის გარდაქმნა ცვლად დენად- - - - -	247
11.4. მუდმივი დენის ელექტრული წრედები გამმართველებით- - - - -	249
თავი XII - სამფაზა დენის წრედები	
12.1. სამფაზა დენის დაუკავშირებელი სისტემა- - - - -	253
12.2. სამფაზა დენის დაკავშირებული სისტემები- - - - -	254
12.3. ხაზური და ფაზური ძაბვები და დენები. სიმეტრიული სამფაზა სისტემა- - - - -	255
12.4. ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზა დენის წრედის მუშაობის რეჟიმები- - - - -	256
12.5. ნეიტრალური სადენის როლი- - - - -	260
12.6. სამფაზა წრედი სამკუთხედად შეერთების დროს- - - - -	262
12.7. სიმძლავრე სამფაზა დენის წრედებში- - - - -	265
12.8. ფაზათა თანმიმდევრობის დადგენა- - - - -	266
ნაწილი მეოთხე	
მაგნიტიზმი	
თავი XIII - მუდმივი მაგნიტი და მისი მაგნიტური ველი	
13.1. მუდმივი მაგნიტის ქმედება ნივთიერებებზე- - - - -	267
13.2. მაგნიტური ველი- - - - -	268

13.3.	დამაგნიტებული სხეულის მაგნიტო – მოლეკულური აგებულება-	269
13.4.	ნივთიერებათა დამაგნიტება – განმაგნიტების მექანიზმი-	270
13.5.	ნივთიერებათა მაგნიტური თვისებები-,-	272
თაპი XIV	- ელექტრომაგნიტიზმი	
14.1.	ელექტრომაგნიტური პროცესი-	277
14.2.	მუდმივი მაგნიტის ველი + დენიანი სადენი-	278
14.3.	ფერომაგნიტური მასალის შეზიდვა სოლენოიდში-	279
14.4.	ფერომაგნიტური მასალის დამაგნიტება ელექტრული მეთოდით-	280
14.5.	ინდუქციური კოჭა ფერომაგნიტური გულარით-	283
14.6.	ცვლადი დენის წრედი ფერომაგნიტურ გულარიანი კოჭით-	285
14.7.	ძაბვის ფერორეზონანსული სტაბილიზატორი-	288
14.8.	ელექტრომაგნიტი და მისი გამოყენების მაგალითები-	289
14.9.	ინდუქციური გადამწოდი-	291
თაპი XV	- მაგნიტური წრედები	
15.1.	მაგნიტური წრედების ორი სახის ამოცანა-	293
15.2.	მაგნიტური წრედების კანონები-	293
15.3.	მაგნიტური წრედების ანგარიშის პირდაპირი ამოცანა-	297
15.4.	მაგნიტური წრედების ანგარიშის შებრუნებული ამოცანა-	299
თაპი XVI	- ტრანსფორმატორები	
16.1.	ტრანსფორმატორის მოქმედების პრინციპი-	302
16.2.	ტრანსფორმატორის უქმი სელისა და დატვირთვის რეჟიმების აღწერა-	306
16.3.	ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი-	307
16.4.	ტრანსფორმატორის გამოყენების ზოგიერთი მაგალითი-	309
16.5.	ავტოტრანსფორმატორი-	314
16.6.	სამფაზა ტრანსფორმატორი-	315
16.7.	სამფაზა ავტოტრანსფორმატორი-	316
16.8.	ძალური ტრანსფორმატორების კონსტრუქციული	

შესრულება - - - - -	317
16.9. ტრანსფორმატორის გამარტივებული გაანგარიშების მაგალითები- - - - -	318
ნაწილი მესამე	
ელექტრული ძრავები და გენერატორები. ელექტრული მანქანების კლასიფიკაცია- - - - -	-326
თავი XVII - მუდმივი დენის მანქანები	
17.1. მუდმივი დენის გენერატორის მოქმედების პრინციპი ზოგადად- - - - -	-328
17.2. გენერატორის კონსტრუქცია- - - - -	329
17.3. გენერატორის ემმ-ის სიდიდე- - - - -	330
17.4. ლუზის რეაქცია- - - - -	-333
17.5. კომუტაცია- - - - -	-334
17.6. გენერატორის გარე მახასიათებელი- - - - -	335
17.7. მუდმივი დენის გენერატორების კლასიფიკაცია აგზნების მიხედვით- - - - -	-336
17.8. სიმძლავრე და მარგი ქმედების კოეფიციენტი- - -	338
17.9. მუდმივი დენის ძრავები- - - - -	339
17.10. პარალელურაგზნებიანი მუდმივი დენის ძრავა -	-340
17.11. მუდმივი დენის ძრავის ბრუნვის სიჩქარის რეგულირება- - - - -	341
თავი XVIII - ცვლადი დენის მანქანები	
18.1. ცვლადი დენის მანქანების ტიპები - - - - -	342
18.2. ასინქრონული ძრავი და მისი მოქმედების პრინციპი- - - - -	-342
18.3. ასინქრონული ძრავის სიჩქარე- - - - -	344
18.4. ასინქრონული ძრავის კონსტრუქცია- - - - -	-345
18.5. სრიალის გამოსახვა ბრუნვის კუთხური სიჩქარით და სრიალის გაფლენა ძრავას მქკ - ზე- - - - -	-346
18.6. ასინქრონული ძრავას ამუშავება- - - - -	-347
18.7. ასინქრონული ძრავის რევერსი- - - - -	-348
18.8. ასინქრონული ძრავების დამუხრუჭება- - - - -	-349
17.9. ერთფაზიანი ცვლადი დენის ძრავები- - - - -	-350
18.10. ასინქრონული ძრავას ჩართვა ერთფაზა წრედში - - - - -	-351
18.11. სინქრონული მანქანები- - - - -	-353
18.12. სინქრონული ძრავი- - - - -	-359

ნაწილი მეექვსე

ელექტნიკური გამოკვები

თაპი XIX - ელექტრო მზომელობის საფუძვლები

- 19.1. ერთეულთა სისტემები- - - - - 361
- 19.2. ელექტრომზომი ხელსაწყოების კლასიფიკაცია- - - 362
- 19.3. ელექტრომზომი ხელსაწყოების სისტემები- - - - - 364
- 19.4. მზომი ხელსაწყოების კვანძები- - - - - 369
- 19.5. ძირითადი მოთხოვნები მზომ ხელსაწყოებზე- - - 371
- 19.6. დანაყოფის ფასის დადგენა ისრიან
ხელსაწყოებზე- - - - - 371
- 19.7. ცნება გაზომვის ცდომილების შესახებ- - - - - 372
- 19.8. დენის, ძაბვის, სიმძლავრის გაზომვა და დახარჯული
ელექტრული ენერჯიის აღრიცხვა და *cos φ*-ს
განსაზღვრის გზები ერთფაზა წრედებში- - - - - 373
- 19.9. სიმძლავრის გაზომვა სამფაზა დენის წრედში- - 376
- 19.10. ელექტრული ენერჯიის აღრიცხვა სამფაზა
წრედში- - - - - 379
- 19.11. წინაღობის გაზომვა- - - - - 379
- 19.12. არაელექტრული სიდიდეების გაზომვა
ელექტრული მეთოდებით- - - - - 382
- 19.13. ავტომატური კონტროლისა და მართვის
სისტემები- - - - - 386
- 19.14. ავტომატური რეგულირება- - - - - 387
- 19.15. ელექტრონული გამზომი ხელსაწყოები- - - - - 388

თაპი XX - ექსპერიმენტალური კურსი

- 20.1. ელექტროზენკალი - შენი საქმიანობა- -- - - - 391
- 20.2. ექსპერიმენტალური მაგიდა - - - - - 392
- 20.3. მზადება ექსპერიმენტალური სამუშაოს
შესასრულებლად- - - - - 393
- 20.4. მითითება გრაფიკული სამუშაოს შესრულებაზე- 394
- 20.5. უსაფრთხოების მოთხოვნები- - - - - 396
- 20.6. მუდმივი და ცვლადი დენის წრედების
ექვივალენტურობის შემთხვევა- - - - - 398
- 20.7. პირდაპირი და ირიბი გაზომვები- - - - - 399
- 20.8. ამპერმეტრის შუნტისა და ვოლტმეტრის - - - - - 399

20.9. ექსპერიმენტალური კვლევის რეკომენდირებული ამოცანები- - - - -	401
20.10. მიმდევრობით შეერთებული <i>RLC</i> წრედის გამოკვლევა. ძაბვების რეზონანსი და რეზონანსული წრედის თავისებურებანი- - - - -	403
20.12. სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესება- - - - -	407
20.13. დენების რეზონანსი- - - - -	409
20.14. ინდუქციურად დაკავშირებული წრედის გამოკვლევა- - - - -	410
20.15. ერთფაზა მრიცხველის გამოკვლევა- - - - -	410
20.16 სიმძლავრის კოეფიციენტის განსაზღვრა- - - - -	411
20.17. არაწრფივი წრედების გაანგარიშება გრაფიკული მეთოდით- - - - -	412
20.18. ძაბვების ფერორეზონანსული მოვლენის გამოკვლევა - - - - -	414
20.18. ფერომაგნიტური სტაბილიზატორი- - - - -	415
20.19. დაკვირვება გამართული დენის ფორმაზე- - - - -	415
თაპი XXI - საყოფაცხოვრებო ელექტროტექნიკა	
21.1. ელექტრომომარაგების პირობითი სქემა- - - - -	417
21.2. კაბელები და ელექტროსადენები- - - - -	418
21.3. სადენების კვეთის შერჩევა გახურებაზე- - - - -	421
21.4. სადენებისა და კაბელების კვეთის ანგარიში დასაშვები მნიშვნელობის ძაბვის დანაკარგებზე- - - - -	424
21.5. ელექტროგაყვანილობა - - - - -	425
21.6. ელექტრომომარაგების ქსელის დეტალები- - - - -	426
21.7. ელექტროსამონტაჟო მიღები, კოლოფები- - - - -	430
21.8. კლემები, ბუნიკები და სამაგრები- - - - -	431
21.9. ნულოვანი საღტე და საღტის იზოლატორები- - - - -	432
თაპი XXII	
შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების ტექნიკის საკითხები	
22.1. შრომის დაცვისა და უსაფრთხოების წესები- - - - -	434
22.2. ელექტრო დენის მოქმედება ადამიანის ორგანიზმზე - - - - -	434
22.3. ელექტრო დენით დაშავებულთათვის პირველადი დახმარების აღმოჩენის წესები- - - - -	437
22.4. ადამიანის ელექტრული დენით დაშავების პირობები- - - - -	439

22.5. ჩამიწების სისტემები-	- - - - -	-441
22.6. დამცავი ჩამიწება-	- - - - -	-446
22.7. ჩამიწების მოწყობა-	- - - - -	-447
22.8. ჩამიწების გაანგარიშება და კონტროლი-	- - - - -	448
22.9. დამცავი დანულება-	- - - - -	450
22.10. ელექტროტექნიკური დამცავი საშუალებები და ტექნიკური ექსპლუატაციის წესები-	- - - - -	-450
22.11. სახანძრო უსაფრთხოების წესები ელექტრო დანადგარებში-	- - - - -	-453
რეკომენდირებული ლიტერატურა-	- - - - -	-456
ტექნიკური ცნობარი -	- - - - -	-457

იბეჭდება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი
სახით

კომპიუტერული უზრუნველყოფა ნ. ჯაშის

გადაეცა წარმოებას 01.06.2008. ხელმოწერილია დასაბუჭ-
დად 24.07.2008. ქაღალდის ზომა 60X84 1/16. პირობითი
ნაბეჭდი თაბახი 30,25. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი",
თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent



მუსელიანი თენგიზ გრიგოლას ძე
დაბ. 01.01.1952 ამბროლაურის რ-ის, სოფ. II ტოლა.
- დაამთავრა II ტოლის რვაწლიანი (1967) და
ჭრებდალოს საშუალო (1959) სკოლა; ქუთაისის 35-ე
ტექნიკური სასწავლებელი (1972);
- გაიარა სავალდებულო სამხედრო სამსახური (1972 -
1974);
- ამბროლაურის ელქსელების სარეგულ დაცვის მონ-
ტიორი (1974 - 1975);
- წარჩინებით დაამთავრა საქართველოს პოლი-
ტექნიკური ინსტიტუტის, ენერგეტიკის ფაკულტეტი
(1975- 1980);
- სტუდენტთა საკავშირო ოლიმპიადის ლაურეატი
ელტექნიკაში (1977);

- სტუ-ს ზოგადი და თეორიული ელექტროტექნიკის კათედრის ინჟინერი,
ასისტენტი, უფროსი მასწავლებელი, დოცენტი, პროფესორი (1981
წლიდან - დღემდე);
- ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი (1993);
- საქართველოს ეროვნული ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი
(2006);
- ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტთან არსებული
სასწავლო სამეცნიერო ცენტრის უფროსი (2007);
- სერთიფიცირებული ენერგომენეჯერი (2008);
გამოქვეყნებული აქვს 77 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის: 1
სახელმძღვანელო, 3 დამხმარე სახელმძღვანელო, 1 მონოგრაფია და 3
გამოგონება (1982-დან - დღემდე). მისი ხელმძღვანელობით დაცულია 6
სამაგისტრო და 1 სადოქტორო დისერტაცია.



დოლაბერიძე გიორგი ერასტის-ძე
დაბ. 07.02.1946წ. წყალტუბოს რ-ის, სოფ. ოფშკეითი.
- დაამთავრა ბათუმის №1 საშუალო სკოლა, ოქრის
მედალზე (1964);
- სპი-ს ავტ ფაკულტეტი, წარჩინებით (1969);
- დ.ი. მენდელეევის სახელობის სამეცნიერო კვლ-
ვითი ინსტიტუტის თბილისის ფილიალის ინჟინერი
(1969 - 1972);
- სტუ-ს ზოგადი და თეორიული ელექტროტექნიკის
კათედრის ინჟინერი, ასისტენტი, უფროსი მასწავლ-
ბელი, დოცენტი 1972-დან;
- ლენინგრადის მეტროლოგიის
ინსტიტუტის ასპირანტი (1971 - 1974);
- გამოქვეყნებული აქვს 56 სამეცნიერო
ნაშრომი, მათ შორის 1 სახელმძღვანელო, 3
დამხმარე სახელმძღვანელო, 7 გამოგონება

