ვ. პოპოვი, ს. ნიკოლაევი

ზოგადი ელექტროტექნიკა ელექტრონიკის საფუძვლებით

თარგმანი მეორე გადამუშავებული და შევსებული რუსული გამოცემიდან

სსრ კავშირის უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ დაშვებულია სახელმძღვანელოდ არაელექტროტექნიკური საშუალო სპეციალური სასწავლებლებისათვის

გამომცემლობა „განათლება“

თბილისი — 1985

წინასიტყვაობა

წინამდებარე წიგნი „ზოგადი ელექტროტექნიკა ელექტრონიკის საფუძვლებით" წარმოადგენს სახელმძღვანელოს არაელექტროტექნიკური სპეციალობის ტექნიკუმებისათვის.

წიგნის შინაარსი მთლიანად შეესაბამება სსრ კავშირის უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სამინისტროს მიერ 1974 წელს დამტკიცებულ პროგრამას.

ამ სახელმძღვანელოს მეორე გამოცემაში მასალათა განლაგების წესი მთლიანად შეესაბამება აღნიშნულ პროგრამას.

მეორე გამოცემაში შეტანილია შესწორებანი, დაზუსტებანი და დამატებანი. კერძოდ, რამდენადმე დაწვრილებითაა განხილული მაძლიერებლები.

წიგნის მეტად შეზღუდულმა მოცულობამ, ერთი მხრივ, და მასალების სიმრავლემ გამოიწვია განმარტებათა სიმჭიდროვე.

4, 9, 10, 11 და 22 თავები დაწერა ს. ნიკოლაევმა, ხოლო დანარჩენი 18 თავი და შესავალი — ვ. პოპოვმა.

ავტორები დიდ მადლობას უხდიან ი. ქერებცოვს წიგნის პირველი გამოცემის ზედმიწევნით ყურადღებით განხილვისა და არსებითი წინადადებებისათვის, რამაც საშუალება მოგვცა მნიშვნელოვნად გაგვეუმჯობესებია წიგნის მეორე გამოცემა; ტექნიკური მეცნიერების კანდიდატს, დოცენტ დ. ლიპატოვს რეცენზიისა და ხელნაწერში მთელი რიგი მნიშვნელოვანი შენიშვნებისათვის, აგრეთვე ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატს პ. ერმურატსკის წიგნის რედაქტირებისას გაწეული დიდი მუშაობისათვის.

ელექტროტექნიკა — ეს არის მეცნიერება ელექტრული ენერგიის პრაქტიკული მიზნით გამოყენების შესახებ. ელექტროტექნიკა განიხილავს ელექტრული ენერგიის წარმოების, მისი განაწილებისა და ენერგიის სხვა სახედ გარდაქმნის საკითხებს. ელექტრულ ენერგიას აქვს მთელი რიგი მნიშვნელოვანი თვისებები. ის ადვილად მიიღება სხვა სახის ენერგიისაგან (მექანიკური, ქიმიური და სხვ.). მცირე დანაკარგებით შეიძლება მისი გადაცემა დიდ მანძილზე (ასეული კილომეტრებით) და მიეწოდება ქალაქებს, ქარხნებსა და ფაბრიკებს.

მოხმარების პუნქტებში ელექტროენერგია უბრალოდ ნაწილდება და გარდაიქმნება ენერგიის საჭირო სახედ (მექანიკური, თბური, ქიმიური და სხვ.). ამრიგად, ელექტრობა საშუალებას იძლევა გადავიტანოთ და გამოვიყენოთ ბუნებაში დაგროვილი იაფი ენერგია (დაგუბებული წყლის ენერგია) ან აიაფებს მის გამოყენებას (ტორფი, დაბალი ხარისხის ქვანახშირი).

პერიოდი, რომელიც მოიცავს გასული საუკუნის დიდ ნაწილს, ითვლება ელექტროტექნიკის განვითარების პერიოდად. განვიხილოთ მოკლედ რუსი მეცნიერების მნიშვნელოვანი მიღწევები, რომლებმაც უდიდესი წვლილი შეიტანეს თანამედროვე ელექტროტექნიკის განვითარებაში.

რუსი აკადემიკოსი ვ. პეტროვი (1761—1834) სამართლიანად ითვლება რუსული ელექტროტექნიკის მამად. 1802 წელს მან აღმოაჩინა რკალური განმუხტვა და მიიღო ელექტრული რკალი. გამოიკვლია და დაადგინა რკალის გამოყენების შესაძლებლობა ელექტროგანათებაში, ლითონების გამოსადნობად და შესადუღებლად.

პეტერბურგის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა პ. შილინგმა (1786—1837) პირველმა შემოიტანა წინადადება და 1812 წელს განახორციელა მინის ელექტრული აფეთქება. მან გამოიგონა მსოფლიოში პირველი ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფი, რომელიც აჩვენა 1832 წელს, პ. შილინგმა ააგო პირველი მაგნიტოელექტრული მანქანა და შექმნა იზოლირებული სადენი.

პეტერბურგის უნივერსიტეტის რექტორი აკადემიკოსი ე. ლენცი (1804—1865) ელექტრომაგნეტიზმის თეორიისა და ფიზიკოსთა რუსული სკოლის ერთ-ერთი შემქმნელია; მან ახსნა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის პრინციპი და ჩამოაყალიბა კანონი, რომელიც მისი სახელითაა ცნობილი (1833 წ). ე. ლენცმა თეორიულად დაადგინა ელექტრული მანქანე-

ბის შემქმნელობა და დენის თბური მოქმედების კანონი (ჯოულ-ლენცის კანონი).

აკადემიკოსმა ბ. იაკობმა (1801—1874) 1834 წელს გამოიგონა მსოფლიოში პირველი, პრაქტიკული მიზნებისათვის გარგისი ელექტროძრავა, რომელიც მანვე მსოფლიოში პირველმა გამოიყენა 1838 წელს გემის ელექტროამძრავად (ნავის ელექტრომამოძრავე). 1839 წელს ბ. იაკობმა აღმოაჩინა გალვანოპლასტიკა და შეიმუშავა მისი გამოყენების სამრეწველო ხერხი. მან 1850 წელს მსოფლიოში პირველმა გამოიგონა ასოთსაბეჭდი ტელეგრაფის აპარატი.

პეტერბურგის უნივერსიტეტის პროფესორმა ა. სტოლეტოვმა (1839—1896) 1872 წელს პირველმა აგო რკინის დამაგნიტების მრუდი, რაც საფუძვლად დაედო მაგნიტური წრედების გაანგარიშებას. მან კაპიტალურად გამოიკვლია ელექტრომაგნიტური მოვლენები და შექმნა მსოფლიოში პირველი ფოტოელემენტი. სტოლეტოვის შრომებმა გზა გაუხსნა ფოტოელექტრული ტექნიკის [illegible] შესწავლის [illegible] ქვეყნებში.

ცნობილმა რუსმა მეცნიერმა ა. ლოდიგინმა (1847—1923) არა მარტო გამოიგონა ვარვარის ნათურა, არამედ 1873 წელს პირველმა მსოფლიოში უჩვენა პეტერბურგში ქუჩის განათება მის მიერ გამოგონილი ნათურით.

გამოჩენილმა გამომგონებელმა, კონსტრუქტორმა და მეცნიერმა პ. იაბლოჩკოვმა (1847—1894) უდიდესი წვლილი შეიტანა ელექტროტექნიკის განვითარებაში. 1876 წელს მან გამოიგონა რკალური ნათურა-ელექტროსანთელი. იაბლოჩკოვის სანთელი სინათლის პირველი ელექტრული წყაროა, რომელიც ფართოდ გავრცელდა ყველა ქვეყანაში. მან [illegible] ცვლადი დენის შემოღება ელექტროგანათებაში, ტექნიკაში და საერთოდ ელექტროტექნიკაში, რითაც ფართო გზა გაუხსნა ელექტრული ენერგიის გამოყენებას, კერძოდ, ცვლადი დენის გამოყენებას. პ. იაბლოჩკოვს ეკუთვნის აგრეთვე მსოფლიოში პირველი ტრანსფორმატორის გამოგონება, რომელსაც უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა ჰქონდა.

სამხედრო ინჟინერი ფ. პიროცკი (1845—1898) ელექტროენერგიის შორს მანძილზე გადაცემის პირველი პიონერია. 1874 წელს მან პეტერბურგში პირველმა უჩვენა ელექტროგადამცემი ხაზი, 1876 წელს ფ. პიროცკიმ იქვე ჩაატარა ცდები ელექტროენერგიის გადაცემაზე რკინიგზის რელსის საშუალებით, 1880 წელს კი — ტრამვაის მოძრაობის განხორციელებაზე ელექტროენერგიის გამოყენებით.

დ. ლაჩინოვმა (1842—1902) 1880 წელს პირველმა დაამუშავა ელექტროენერგიის გადაცემის თეორია და ელექტროგადამცემი ხაზების გაანგარიშების პრინციპი.

1882 წელს რუსმა გამომგონებელმა ნ. ბენარდოსმა (1842—1905) შექმნა მსოფლიოში პირველი ელექტროშესადუღებელი აპარატი.

სამთო ინჟინერმა ნ. სლავიანოვმა (1854—1897) შეიმუშავა ლითონების გაცხელებისა და ჩამოსხმის მეთოდები ელექტრული რკალის გამოყენებით. 1889 წელს მან მსოფლიოში პირველმა გამოიყენა რკალური ელექტროშედუღება გემთმშენებლობაში.

მ. დოლივო-დობროვოლსკი (1862—1919) ითვლება სამფაზა სისტემისა და მასზე დამყარებული ელექტროფიკაციის ფუძემდებლად. ის იყო ბრწყინვალე თეორეტიკოსი, ნიჭიერი კონსტრუქტორი და გამოჩენილი პრაქტიკული მოღვაწე. მან 1888 წელს გამოიგონა სამფაზა სისტემა, სამფაზა მბრუნავი მაგნიტური ველი, შექმნა სამფაზა ასინქრონული ძრავა. სამფაზა გენერატორი, სამფაზა ტრანსფორმატორი, სხვადასხვა კონსტრუქციის ელექტრული მანქანები, აპარატები და ხელსაწყოები. 1891 წელს შექმნა მსოფლიოში პირველი სამფაზა ელექტროგადამცემი ხაზი, რომლის ხაზური ძაბვა იყო 15 კვტ, სიმძლავრე — 200 კვტ. სიგრძე 170 კმ და მარგი ქმედების კოეფიციენტი 0.75. მ. დოლივო-დობროვოლსკის გამოგონებებმა საფუძველი ჩაუყარეს ძირეულ გარდაქმნებს ელექტროტექნიკაში, რადგან სამფაზა სისტემას უდიდესი ტექნიკური და ეკონომიკური უპირატესობა აქვს მუდმივ და ერთფაზა ცვლად დენთან შედარებით.

ა. პოპოვმა (1859—1906) 1896 წელს გამოიგონა რადიო, რამაც დასაბამი მისცა ახალ მეთოდებს კავშირგაბმულობის ტექნიკასა და რადიოელექტრონიკაში.

თანამედროვე ელექტროტექნიკის შექმნა XIX და XX საუკუნეებში მთელი რიგი ქვეყნების მეცნიერებისა და ინჟინრების შემოქმედებითი მოღვაწეობის შედეგია. ამიტომ არ შეიძლება არ აღინიშნოს საზღვარგარეთელი მეცნიერების შრომები, რომელთაც შორის თვალსაჩინო ადგილი უკავიათ: დევის, რომელმაც პირველმა 1807 წელს განახორციელა ელექტროლიზი; ა. ამპერს, რომელმაც 1820 წელს აღმოაჩინა დენების ურთიერთქმედება; გ. ომს, რომელმაც 1827 წელს ჩამოაყალიბა თავისი სახელწოდების კანონი (ომის კანონი); მ. ფარადეის, რომელმაც 1831 წელს აღმოაჩინა ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენები; გ. კირხჰოფს, რომელმაც 1845 წელს დაადგინა კანონები განშტოებული ელექტრული წრედებისათვის, რომლებსაც დიდი მნიშვნელობა აქვთ ელექტროტექნიკაში და მისი სახელითაა ცნობილი (კირხჰოფის I და II კანონი); ზ. გრამის, რომელმაც 1870 წელს შექმნა პირველი მუდმივი დენის სამრეწველო გენერატორი; კ. მაქსველს, რომელმაც 1873 წელს გამოაქვეყნა ტრაქტატი ელექტრობისა და მაგნეტიზმზე, სადაც მოცემულია ელექტრომაგნიტური მოვლენების თეორიული დამუშავება.

ამრიგად, გასული საუკუნის დასასრულისათვის დაიწყო განვითარება: ელექტრომაგნიტურმა ტელეგრაფმა, ელექტროძრავამ, გალვანოპლასტი-

კამ. ელექტროგანათებამ და სამხედრო საქმეში ელექტრობის გამოსაყენებლად საჭირო მოწყობილობებმა, ელექტროძრავამ და ელექტროსაზომმა ტექნიკამ.

მაგრამ იმის გამო, რომ არ იყო საიმედო და ეკონომიკური კვების წყარო-გენერატორი, მნიშვნელოვნად ყოვნდებოდა ელექტრული ენერგიის განვითარება და გამოყენება. 1870 წლამდე იყენებდნენ როგორც დენის ქიმიურ წყაროებს, ასევე სხვადასხვა მეტად არასრულყოფილ მაგნიტოელექტრულ გენერატორებს, რომლებიც სამრეწველო მნიშვნელობით არ გამოიყენებოდა.

1891 წ. სამფაზა გენერატორების, ტრანსფორმატორებისა და ელექტროძრავების დამუშავებამ და გამოყენებამ, რომლებიც უდიდესი უპირატესობით ხასიათდებოდნენ ელექტროენერგიის გადაცემისა და გამოყენების, წარმოების ყველა სხვა სახესთან შედარებით, დასაბამი მისცა ელექტროტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპს.

ამ დროიდან იწყება ელექტროსადგურებისა (უმთავრესად სამფაზიანი დენის) და ელექტროგადამცემი ხაზების გაფართოებული მშენებლობა. სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ელექტროენერგია მრეწველობის სხვადასხვა დარგში, ტრანსპორტზე, სოფლის მეურნეობაში, ყოფაცხოვრებაში და სხვ.

თავიდანვე რუსი მეცნიერების მიღწევები მთლიანად არ გამოიყენებოდა რევოლუციამდელი რუსეთის ჩამორჩენილი მრეწველობის გამო. ამიტომ ზოგიერთი რუსი მეცნიერი (იაბლოჩკოვი, ლოდიგინი, დოლივო-დობროვოლსკი) იძულებული იყო ემუშავა საზღვარგარეთ.

რევოლუციამდელი რუსეთის მცირერიცხოვანი ელექტროტექნიკური ქარხნები, რომლებიც უცხოელ მეპატრონეებს ეკუთვნოდათ, ნახევრადაც ვერ აკმაყოფილებდა ქვეყნის მოთხოვნილებას. დანარჩენი მოთხოვნილება კმაყოფილდებოდა იმპორტით. უცხოეთის კაპიტალი ყოველნაირად ხელს უშლიდა რუსული მრეწველობის განვითარებას.

დიდი ოქტომბრის სოციალისტური რევოლუციის შემდეგ, კომუნისტური პარტიის ხელმძღვანელობით გაიზარდა მოწინავე ინდუსტრიულ-საკოლმეურნეო წყობა — საბჭოთა სოციალისტური რესპუბლიკების კავშირი.

სსრ კავშირში ქვეყნის ელექტრიფიკაცია ტარდება გრანდიოზული მასშტაბებით. ვ. ი. ლენინის შესანიშნავი მოწოდება, რომელიც მან 1920 წელს ჩამოაყალიბა: „კომუნიზმი—ეს არის საბჭოთა ხელისუფლებას პლუს მთელი ქვეყნის ელექტრიფიკაცია" — წარმატებით ხორციელდება ცხოვრებაში.

სამოქალაქო ომის მძიმე პირობებში საბჭოთა მთავრობა და კომუნისტური პარტია დაუღალავად ზრუნავდნენ ახალი ელექტროსადგურების მშენებლობაზე, უპირველესად ადგილობრივი ენერგეტიკული რესურსების ბა-

ზაზე, 1918 წ. დაიწყო ვოლხოვის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა. 1919 წელს გაიშალა კაშირის ელექტროსადგურის მშენებლობა, რომელიც მოსკოვის ოლქში მოპოვებული ნახშირით მუშაობდა; 1920 წელს ექსპლუატაციაში გაუშვეს ტორფით მომუშავე ელექტროსადგური ქ. შატურში.

ვ. ი. ლენინს ნათლად ჰქონდა წარმოდგენილი, რომ ქვეყნის ელექტროფიკაციის, მისი ენერგეტიკული ბაზის განვითარების გარეშე შეუძლებელი იყო რუსეთის ინდუსტრიალიზაცია. ამიტომ პროლეტარიატის მიერ ხელისუფლების ხელში ჩაგდებისთანავე მან დასვა საკითხი ელექტროფიკაციის გეგმის შემუშავების შესახებ. ასეთი გეგმა შეადგინა რუსეთის ელექტროფიკაციის სახელმწიფო კომისიამ — **გოელროს** გეგმა და დამტკიცდა 1920 წელს საბჭოების VIII ყრილობაზე.

გოელროს გეგმის მიხედვით გათვალისწინებული იყო 10—15 წელიწადში 38 ახალი სარაიონო ელექტროსადგურის ამოქმედება, რომელთა საერთო სიმძლავრე 1,75 მლნ კვტ იქნებოდა და მოქმედი ელექტროსადგურების გაფართოება იმ ანგარიშით, რომ მათი სიმძლავრე გაზრდილიყო 250 ათასი კვტ-ით.

როგორც ცნობილია, პირველი გეგმა არა მარტო შესრულდა, არამედ გადაჭარბებულ იქნა. 1934 წელს, ე. ი. გეგმის დამტკიცებიდან 14 წლის შემდეგ, სსრ კავშირის ელექტროსადგურების სიმძლავრემ 3666 ათ. კილოვატს მიაღწია, რითაც **გოელროს** საგეგმო დავალება ორმაგად და მეტად შესრულდა.

1929 წლიდან ქვეყნის ელექტროფიკაცია ხორციელდებოდა დიადი ხუთწლედების გეგმით. ისტორიას არ ახსოვს ასეთი გრანდიოზული მასშტაბები და მშენებლობის ასეთი მაღალი ტემპები, როგორც ელექტროსადგურების შექმნაში ხორციელდებოდა ხუთწლედების წლებში. პირველი ხუთწლედის პერიოდში აიგო ევროპაში ყველაზე მძლავრი დნეპროს ჰიდროელექტროსადგურის ნაგებობები, გაშვებულ იქნა ჩელიაბინსკის, ზუევსკის, კუზნეცკისა და სხვა მრავალი თბოელექტროსადგური.

არ შეიძლება არ აღინიშნოს გამოჩენილი მეცნიერები და ინჟინრები, რომლებიც სსრ კავშირის ელექტროფიკაციისა და ენერგეტიკის პიონერები იყვნენ, მათ შორის აკადემიკოსი გ. კრჟიჟანოვსკი (1872—1959) იყო სოციალისტური მეურნეობის ენერგეტიკის მეცნიერების ფუძემდებელი. ის ხელმძღვანელობდა **გოელროს** გეგმის შედგენას, იყო სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ენერგეტიკული ინსტიტუტის ხელმძღვანელი; რ. კლასონი (1868—1926) — ჰიდროტორფის გამომგონებელი. მან ააშენა ელექტროსადგურები ბაქოში, მოსკოვში, ბოგოროდსკში, ელექტროგადამცემი ხაზი ბოგოროდსკი—მოსკოვი, რომლის ძაბვა 70 კვტ იყო, მონაწილეობდა **გოელროს** კომისიაში; გ. გრაფტიო (1869—1949) — აკადემიკოსი, უმსხვილესი ჰიდროელექტროსადგურების: ვოლხოვის, ქვე-

მო სვირის და მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების მშენებელი, გოელროს კომისიის წევრი; ა. ვინტერი (1878—1959) — შატურისა და დნეპროგესის ჰიდროელექტროსადგურების მშენებელი, სსრ კავშირის ელექტროფიკაციის ერთ-ერთი გამოჩენილი მოღვაწე; ბ. ველიკაძე (1884—1940) — მონაწილეობდა საბჭოთა ჰიდროელექტროსადგურების პირმშოს — ვოლხოვის ჰესის მშენებლობაში, იყო დნეპროგესის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობის მთავარი ინჟინერი.

ელექტროტექნიკური აზრის ზრდა მნიშვნელოვან ფაქტორად იქცა ჩვენი ქვეყნის აქტიური თავდაცვისათვის მომზადების საქმეში.

დიდი სამამულო ომის წინ (1940 წელს) სსრ კავშირის ელექტროსადგურები აწარმოებდნენ 50 მლრდ-მდე კვტ-სთ ელექტროენერგიას — 25-ჯერ მეტს, ვიდრე რუსეთის ელექტროსადგურები 1913 წელს.

სსრ კავშირში ხუთწლედის მანძილზე თითქმის ახლად შეიქმნა ელექტროტექნიკური მრეწველობა. ათვისებულ იქნა მძლავრი ტურბინებისა და გენერატორების, ზემძლავრი მაღალი ძაბვის ტრანსფორმატორების, ნორმალური და სპეციალური ელექტროძრავების წარმოება, აგრეთვე სხვადასხვა სადენებისა და კაბელების, ზუსტი ელექტროსაზომი ხელსაწყოებისა და აპარატების დამზადება. ძველი ელექტრომანქანათსაშენებელი ქარხნები — „დინამო“, „ელექტროსილა“ და სხვები რეკონსტრუირებულ იქნენ და არსებითად ახალ წარმოებებად გადაიქცნენ.

მიუხედავად იმისა, რომ დიდი სამამულო ომის დროს მნიშვნელოვნად დაინგრა, ჩვენი ქვეყნის ენერგეტიკა უმოკლეს დროში იქნა აღდგენილი და წარმატებით ვითარდება. 1950 წელს ენერგიის გამომუშავებამ მიაღწია 92 მლრდ კვტ-სთ, რაც 87%-ით აღემატებოდა 1940 წლის ენერგიის გამომუშავებას, ხოლო ელექტროსადგურების სიმძლავრემ იმავე 1950 წელს 19.6 მლნ კვტ-ს მიაღწია, ნაცვლად 11 მლნ კვტ-ისა 1940 წელთან შედარებით. ელექტროენერგიის გამომუშავება 1960 წლისათვის 292 მლრდ კვტ-სთ-მდე გაიზარდა, ხოლო ელექტროსადგურების დადგმულმა სიმძლავრემ — 66.7 მლნ კვტ მიაღწია.

საბჭოთა კავშირის სათბობი რესურსების კოლოსალური რაოდენობა აქვს, მაგრამ ისინი არაა განუსაზღვრელი. მომავალში ელექტროსადგურებში ქვანახშირი, ნავთობი და აირი [illegible] შეიცვლება ატომური საწვავით.

მსოფლიოში პირველი 5000 კვტ სიმძლავრის ატომური ელექტროსადგური სსრ კავშირში (ქ. ობნინსკში) გაშვებულ იქნა 1954 წელს. ამ სადგურის ექსპლუატაციამ ცხადყო, რომ ელექტროენერგიის მდგრადი გამომუშავება სითბოს ბაზაზე, რომელსაც ურანის ბირთვის დაყოფის რეაქცია არეგულირებს, შესაძლებელია.

ატომური ელექტროსადგური — ეს არსებითად თბოელექტროსადგურია, რომლის ორთქლის ქვაბი შეცვლილია ატომური რეაქტორის მქონე

ორთქლის გენერატორით, რადგან 1 კგ ატომური საწვავი, მაგალითად, ეკვივალენტურია ურანის წვის ტემპერატურის მიხედვით დაახლოებით 2700 ტ ქვანახშირისა, მაშასადამე, მიზანშეწონილია **აეს** (ატომური ელექტროსადგური) ავაშენოთ ისეთ რაიონებში, სადაც განლაგებული არ არის საწვავ-სათბობის საკმაო რესურსები და აუცილებელი საწვავ-სათბობის შემოტანა ხდება შორეული რაიონებიდან. მაგალითად, ბილიბინის აეს, რომელიც აგებულია ჩუკოტკის ეროვნული ოლქის შორეულ რაიონში ან შევჩენკოს აეს.

ამასთან პირველი ატომური ელექტროსადგურის აგებამ ხელი შეუწყო სამეცნიერო-კვლევითი და საკონსტრუქტორო სამუშაოების ჩატარებას, რათა შეექმნათ სხვადასხვა ტიპის რეაქტორები უფრო მსხვილი ატომური ელექტროსადგურებისათვის. ასეთი სამუშაოების ჩატარების შედეგად 1964 წელს აიგო ნოვოვორონეჟის 210 მგვტ სიმძლავრის ატომური ელექტროსადგურის პირველი რიგი და ბელოიარსკის ატომური ელექტროსადგურის პირველი რიგი 100 მგვტ სიმძლავრის. ნოვოვორონეჟის 365 მგვტ სიმძლავრის ატომური ელექტროსადგურის მეორე რიგი ექსპლუატაციაში შევიდა 1969 წელს, ხოლო ბელოიარსკის 200 მგვტ სიმძლავრის მეორე რიგი გაშვებულ იქნა 1967 წელს.

საბჭოთა კავშირის ენერგეტიკის შემდგომი განვითარება ხასიათდება ელექტროენერგიის გამომუშავებისა და ელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრის სულ უფრო ზრდით.

1975 წ. ქვეყნის ელექტროენერგიის გამომუშავებამ 1038 მილიარდ კვტ-სთ-ს მიაღწია, ხოლო ელექტროსადგურების სიმძლავრემ — 215 მლნ კვტ-ით.

საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის პროგრამა დიდ მნიშვნელობას ანიჭებს ელექტროფიკაციას, როგორც ჩვენი ქვეყნის საწარმოო ძალების განვითარების საფუძველს.

ამჟამად სსრ კავშირს ელექტრული ენერგიის წარმოების მხრივ მეორე ადგილი უჭირავს მსოფლიოში, ხოლო პირველი — ევროპაში.

საბჭოთა კავშირის კომუნისტური პარტიის XXVI ყრილობამ წინ დასახა ამოცანა თანამიმდევრულად მოვახდინოთ სახალხო მეურნეობის ელექტროფიკაცია. მეთერთმეტე ხუთწლედი გახდება ამხანაგ ლ. ი. ბრეჟნევის ინიციატივით შემუშავებული სსრ კავშირის ენერგეტიკული პროგრამის რეალიზაციის პირველი ეტაპი.

მეთერთმეტე ხუთწლედში გადადგმული იქნება ახალი დიდი ნაბიჯი ქვეყნის ელექტროფიკაციის საქმეში. ელექტროენერგიის წარმოება 1985 წელში 1555 მილიარდ კვტ/სთ მიაღწევს. მათ შორის 450 მილიარდ კვტ/სთ ენერგია ატომურ და ჰიდროელექტროსადგურებზე მოვა, ე. ი. ენერგიის გამომუშავება 1,7-ჯერ და მეტად გაიზრდება. გათვალისწინებულია ატომური ენერგეტიკის მიზანსწრაფული განვითარე-

[illegible] ატომურ სადგურებში ექსპლუატაციაში შევა 24-25 მლნ კვტ ახალი სიმძლავრეები. სსრ კავშირის ევროპულ ნაწილში ელექტროენერგიის [illegible] ძირითადად ატომური ელექტროსადგურების ხარჯზეა გათვალისწინებული.

[illegible] ხუთწლედში დაჩქარებული ტემპით განხორციელდება [illegible] თბოელექტროსადგურების მშენებლობა, სადაც გამოყენებული იქნება იაფი საწვავი.

მიმდინარე ხუთწლედში გაგრძელდება საბჭოთა კავშირის ერთიანი ენერგოსისტემის შექმნის სამუშაოები, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ელექტროენერგია [illegible] ციმბირიდან და ყაზახეთიდან ქვეყნის ევროპულ ნაწილს.

სსრ კავშირის ენერგოსისტემასთან [illegible] ერთად აღსანიშნავია [illegible] ქვეყნების ელექტროენერგეტიკის ზრდა და მიღწევები, [illegible] ენერგოსისტემის შექმნა.

[illegible] ქვეყნების ენერგეტიკის [illegible] მჭიდრო თანამშრომლობის ძირითადი [illegible] საკითხები, რომლებიც [illegible] ამ ქვეყნების ელექტროენერგეტიკის განვითარების გეგმების [illegible] ელექტროსადგურების სიმძლავრის [illegible] ელექტროენერგიის [illegible].

[illegible] განვითარების [illegible] მუშაობაში უმნიშვნელოვანესი საკითხია სეგ-ის წევრი ქვეყნების ენერგეტიკული სისტემების გაერთიანება და სოციალისტური ქვეყნების ენერგოსისტემის შექმნა. სეგ-ის [illegible] შეთანხმებული რეკომენდაციების [illegible] მიხედვით შეიქმნა სახელმწიფოთაშორისო ელექტროგადამცემი ხაზები 220 კვტ [illegible] (გდრ) — [illegible] (პსრ); [illegible] (გდრ) — [illegible] (ჩსსრ); [illegible] (პსრ) — [illegible] და სხვები. აღნიშნული ელექტროგადამცემი ხაზების ამუშავებამ [illegible] უზრუნველყო გერმანიის დემოკრატიული რესპუბლიკის (გდრ), პოლონეთის სახალხო რესპუბლიკისა (პსრ) და ჩეხოსლოვაკიის სოციალისტური რესპუბლიკის (ჩსსრ) ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობა. შემდეგ სხვადასხვა დროს აგებულ და [illegible] იქნა სხვა სახელმწიფოთაშორისო ელექტროგადამცემი ხაზები, სახელდობრ: მუკაჩევო (სსრკ) — [illegible] (უსრ); მუკაჩევო (სსრკ) — [illegible] (რსრ) — [illegible] (უსრ); მოლდავეთის თბოსადგური (სსრკ) — [illegible] (ბსსრ) და სხვა მრავალი. მუკაჩევოს 400/220 კვტ მსხვილი [illegible] ქვესადგური უშუალოდ აერთებს უნგრეთის სახალხო რესპუბლიკის, რუმინეთის სოციალისტური რესპუბლიკის, ჩეხოსლოვაკიის სოციალისტური რესპუბლიკისა და [illegible] ენერგოსისტემებს.

ამგვარად, სეგ-ის წევრი ქვეყნების ყველა ენერგოსისტემა გაერთიანებულია ერთ მთლიან სისტემად. გაერთიანებული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობისათვის ოპერატიულ ხელმძღვანელობას ახორციელებს საერთაშორისო ცენტრალური სადისპეტჩერო სამმართველო, რომელიც ქ. პრაღაშია.

ელექტროტექნიკა ელექტრული ენერგიის წარმოებასა და განაწილებასთან ერთად განიხილავს ელექტროენერგიის პრაქტიკული მიზნებისათვის გამოყენების საკითხებსაც.

სახალხო მეურნეობის ყველა დარგსა და ცხოვრებაში ელექტროენერგიის ფართო გამოყენება აუცილებელს ხდის წარმოებაში დაინერგოს მოწინავე ტექნიკა და საწარმოო პროცესების კომპლექსური მექანიზაცია და ავტომატიზაცია. ელექტრობის გამოყენება ქმნის ახალ ტექნოლოგიურ პროცესებს, მაგალითად, ელექტროშედუღება, ელექტროლიზი, მაღალი სიხშირის დენით წრთობა და ა. შ. ახალი ელექტროტექნოლოგიის საფუძველი საშუალებას გვაძლევს ერთდროულად გადაწყვეტილი წარმოების ტექნოლოგიური საკითხები და ცხოვრებისეული დანიშნულების მეცნიერული მიღწევები, რომლებიც საბოლოო ანგარიშში უზრუნველყოფენ შრომის ნაყოფიერების ზრდას.

ელექტრონიკა, რომელიც ელექტროტექნიკის დამოუკიდებელი დარგია, განიხილავს მეცნიერებაში ნახევარგამტარიან, ელექტრონულ და იონურ ხელსაწყოების მოქმედების პრინციპს, მოწყობილობასა და მათი გამოყენების ჩარჩოებს მრეწველობის ყველა სხვა დარგსა და ტექნიკაში. მაგალითად, ენერგეტიკაში ცვლადი დენის მუდმივად გარდაქმნისათვის ფართოდ გამოიყენება ნახევარგამტარიანი და იონური ვენტილები, რომლებიც აუცილებელია ელექტროამძრავებში, ელექტროწევაში, ელექტროქიმიურ და სხვა წარმოებაში.

საწარმოო და ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაცია წარმოუდგენელია ამ პროცესების კონტროლის, რეგულირებისა და მართვისათვის ნახევარგამტარიანი, ელექტრონული და იონური ხელსაწყოების ფართოდ გამოყენების გარეშე.

ელექტრონული გამომთვლელი ტექნიკის მძლავრი განვითარება არა მარტო ავტომატური მართვის სისტემების მუშაობის დონის ამაღლების საშუალებას გვაძლევს, არამედ სახალხო სამეურნეო მნიშვნელობის ბევრ ეკონომიკურ ამოცანასაც წყვეტს.

ინფორმაციის მიღების, გადამუშავების, გადაცემისა და ასახვის ელექტროტექნიკური მოწყობილობა მართვის ავტომატიზებული სისტემების ტექნიკურ საშუალებათა ძირითადი ელემენტია ნებისმიერ დონეზე.

სკკპ XXVI ყრილობის გადაწყვეტილებებით გათვალისწინებულია მართვის ავტომატიზებული სისტემების სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში ფართოდ დანერგვა.

თანამედროვე ტექნიკა საშუალებას გვაძლევს რთულ ელექტრულ მოწყობილობებში გამოვიყენოთ მინიატიურული ხელსაწყოთა უდიდესი რაოდენობა (დიოდები, ტრანზისტორები, რეზისტორები, ინდუქციურობანი, კონდენსატორები და სხვ.), რომლებიც დამზადებულია აფსკური მიკროსქემების სახით. ასეთი მიკროსქემების წარმოებაში გამოიყენება ელექტრონულ-სხივური და ლაზერის ტექნიკა. ელექტრონული ტექნოლოგიის მეშვეობით შეიძლება მივიღოთ ისეთი მასალები, როგორიცაა ვოლფრამი, მოლიბდენი, ტანტალი, ზედმიწევნით სუფთა მდგომარეობაში ნიობიუმი, რომლებიც ესოდენ აუცილებელია თანამედროვე ტექნიკაში.

ბუნებრივია, რომ თანამედროვე ტექნიკის გასაცნობადაც კი აუცილებელია გამოყენებითი მეცნიერებების საფუძვლების, კერძოდ, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის ცოდნა.

პირველი ნაწილი

ზოგადი ელექტროტექნიკა

პირველი თავი

ელექტრული ველი

1-1. ძირითადი ცნებები

ნებისმიერი სხეული შეიცავს ნივთიერების ელემენტარული ნაწილაკების უდიდეს რაოდენობას, რომლებსაც გააჩნიათ ელექტრული მუხტი: პროტონებს — დადებითი მუხტი და ელექტრონებს — უარყოფითი მუხტი. ელემენტარული დამუხტული ნაწილაკების ნაწილი შედის ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების შედგენილობაში, ხოლო დანარჩენი — თავისუფალ მდგომარეობაში. დამუხტულ სხეულში შეიძლება ჭარბობდეს დადებითი ან უარყოფითი მუხტები, ხოლო ელექტრულად ნეიტრალურ სხეულში დადებითი და უარყოფითი მუხტების რაოდენობა ერთი და იგივეა.

მოძრავი ელემენტარული ნაწილაკები, რომლებსაც ელექტრული მუხტი აქვთ, ანუ ელექტრული მუხტები, მჭიდროდაა დაკავშირებული მათ გარშემო არსებულ **ელექტრომაგნიტურ ველთან**, რომელიც მატერიის ერთ-ერთ სახეს წარმოადგენს. ელექტრომაგნიტური ველი შედგება ორი ურთიერთკავშირში მყოფი შემდგენისაგან: ელექტრული და მაგნიტური ველებისაგან, რომელთა ამოცნობა შეიძლება დამუხტულ ელემენტარულ ნაწილაკზე ან სხეულზე ძალის ზემოქმედების შედეგად.

სხვადასხვა სახით დამუხტული სხეულები ერთმანეთთან მიიზიდება, ხოლო ერთი და იმავე სახით დამუხტული — განიზიდება. თითოეული მუხტი მჭიდროდაა დაკავშირებული მის გარშემო არსებულ ელექტრულ ველთან, ასე, რომ დამუხტული სხეულების ურთიერთმოქმედება ხდება მხოლოდ ელექტრული ველის საშუალებით.

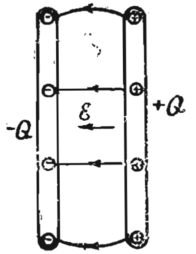
იმის გამო, რომ ელექტრული ველი რაღაც ძალით მოქმედებს მასში შეტანილ ელექტრულად დამუხტულ სხეულზე ან ნაწილაკზე, იგი ამ დროს ასრულებს მუშაობას. მაშასადამე, ელექტრულ ველს აქვს ენერგია, რომელსაც ელექტრული ენერგია ეწოდება.

ნივთიერების ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკები და მათი ელექტრული ველი მატერიის ორი ერთმანეთისაგან განუყოფელი ფორმაა.

ელექტრული ველის ნებისმიერი წერტილი ხასიათდება ε ველის დაძაბულობით.

ელექტრული ველის დაძაბულობა განისაზღვრება იმ F ძალის შეფარდებით მუხტის სიდიდეზე, რომლითაც ველი მოქმედებს მოცემულ წერტილში ათავსებულ წერტილოვან Q საცდელ მუხტზე, მაშასადამე,

$$\varepsilon = \frac{F}{Q}. \qquad (1\text{-}1)$$



ნახ. 1-1. ელექტრული ველი ორ პარალელურ ფირფიტას შორის, რომლებიც დამუხტული არიან სხვადასხვა ნიშნის მუხტებით.

წერტილოვანი საცდელი მუხტი ეწოდება დამუხტულ სხეულს, რომლის ხაზური განზომილება მეტად მცირეა და რომლის მუხტიც მისი სიმცირის გამო პრაქტიკულად ვერავითარ გავლენას ვერ ახდენს განსახილველ ველზე.

დავუშვათ, Q 1 კულონის ტოლია, მაშინ ε რიცხობრივად F-ის ტოლი იქნება. მაშასადამე, ელექტრული ველის დაძაბულობა რიცხობრივად ტოლია ველის ძალისა, რომლითაც ის მოქმედებს ერთეულ მუხტზე.

ველის დაძაბულობა ხასიათდება არა მარტო სიდიდით, არამედ მიმართულებითაც, რომელიც ემთხვევა მოცემულ წერტილში არსებულ დადებით მუხტზე ველის ძალის მოქმედების მიმართულებას, ე. ი. ველის დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა.

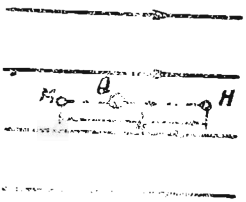
1-1 ნახაზზე მოყვანილია ელექტრული ველის დაძაბულობის ε ვექტორი ორ პარალელურ ფირფიტას შორის, რომელთა მუხტებია $+Q$ და $-Q$.

ელექტრული ველი გრაფიკულად შეიძლება გამოისახოს ელექტრული ველის ხაზებით. დაძაბულობის ხაზები ისე უნდა გავატაროთ, რომ თითოეულ მის წერტილში ველის დაძაბულობის ვექტორი მიმართული იყოს მისი მხების გასწვრივ ამ წერტილში. ელექტრული ველის დაძაბულობის ხაზები იწყება დადებითი მუხტიდან და მთავრდება უარყოფითი მუხტით, ე. ი. დაძაბულობის ხაზები არ არიან შეკრული.

თუ ერთეულ ფართობში (მაგ., 1 სმ^2) ხაზების მიმართულების პერპენდიკულარულად გავატარებთ რაღაც რაოდენობის ხაზებს, რომლებიც ამ ნაწილში ველის დაძაბულობის ტოლი ან პროპორციული იქნება, მაშინ დაძაბულობის ხაზების სიმკვრივით შეიძლება დავახასიათოთ ველის დაძაბულობის სიდიდე.

ველს ეწოდება ერთგვაროვანი, თუ მის ყოველ წერტილში დაძაბულობის ვექტორი ერთმანეთის ტოლია. მაგალითისათვის შეიძლება ავიღოთ ელექტრული ველი ორ პარალელურ ფირფიტას შორის (ნახ. 1-1), ფირფიტების ნაპირებიდან საკმაოდ დაშორებულ უბანში.

დავუშვათ, რომ რაღაც საცდელი დადებითი Q მუხტი გადაადგილდება ერთგვაროვან ელექტრულ ველში ამავე ველის ძალების მოქმედებით M წერტილიდან H წერტილში l მანძილზე (ნახ. 1-2) მოცემული ველის მიმართულებით.



ნახ. 1-2. $+Q$ ელექტრული მუხტის გადაადგილება ერთგვაროვან ველში.

ამ დროს ველის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა მისი პოტენციური ენერგიის ხარჯზე ტოლია

$$A=Fl.$$

ხოლო, თუ (1-1)-დან შევიტანთ F-ის მნიშვნელობას, მივიღებთ

$$A=Fl=\varepsilon Ql. \qquad (1\text{-}2)$$

სიდიდეს, რომელიც მიიღება ველის ორ წერტილს შორის Q მუხტის გადატანის დროს შესრულებული მუშაობის შეფარდებით თვით მუხტის სიდიდესთან, ეწოდება ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი ძ ა ბ ვ ა[1] მოცემულ M და H წერტილებს შორის.

მაშასადამე, ძაბვა

$$U=A/Q.$$

ამგვარად, ძაბვა ორ წერტილს შორის რ ი ც ხ ო ბ რ ი ვ ა დ ტ ო ლ ი ა ვ ე ლ ი ს ძ ა ლ ე ბ ი ს მ ი ე რ შ ე ს რ უ ლ ე ბ უ ლ ი მ უ შ ა ო ბ ი ს ა ე რ თ ე უ ლ ი დ ა დ ე ბ ი თ ი მ უ ხ ტ ი ს გ ა დ ა ტ ა ნ ი ს ა ს ა მ ო რ წ ე რ ტ ი ლ ს შ ო რ ი ს.

რადგან $A=\varepsilon Ql$, მაშინ ძაბვა

$$U=\frac{A}{Q}=\frac{\varepsilon Ql}{Q}=\varepsilon l. \qquad (1\text{-}3)$$

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (СИ) მიღებულია ერთეულები: სიგრძის — მეტრი (მ); მასის — კილოგრამი (კგ); დროის — წამი (წმ); ძალის — ნიუტონი (ნ); მუშაობის — ჯოული (ჯ); ელექტრული მუხტის — კულონი (კლ); ელექტრული ძაბვის — ვოლტი (ვ);

(1-3) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავწეროთ

$$1\ \text{ვ}=1\ \text{ჯ}/1\ \text{კლ}.$$

ელექტრული ველის დაძაბულობა, (1—3)-ის თანახმად, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\varepsilon=\frac{U}{l}. \qquad (1\text{-}4)$$

---

[1] ჩვეულებრივად „ელექტრული ძაბვის“ ნაცვლად გამოიყენება ტერმინი „ძაბვა“.

საიდანაც ველის დაძაბულობა გაიზომება ფარდობით

$$[\varepsilon] = ვ/მ.$$

ძაბვას ელექტრული ველის მოცემულ M წერტილსა და ველის პირობითად აღებულ მეორე წერტილს შორის, რომლის პოტენციალი პირობითად ნულის ტოლია, ველის მოცემული წერტილის φ პ ო ტ ე ნ ც ი ა ლ ი ეწოდება. ხშირად დედამიწის პოტენციალს თვლიან ნულის ტოლად.

რ ი ც ხ ო ბ რ ი ვ ა დ პ ო ტ ე ნ ც ი ა ლ ი ტ ო ლ ი ა მ უ შ ა ო ბ ი ს ა, რ ო მ ე ლ ი ც შ ე ი ძ ლ ე ბ ა შ ე ა ს რ უ ლ ო ს ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი ვ ე ლ ი ს ძ ა ლ ე ბ მ ა დ ა დ ე ბ ი თ ი ე რ თ ე უ ლ ი მ უ ხ ტ ი ს გ ა დ ა ტ ა ნ ი ს დ რ ო ს ვ ე ლ ი ს მ ო ც ე მ უ ლ ი წ ე რ ტ ი ლ ი დ ა ნ ი ს ე თ წ ე რ ტ ი ლ შ ი, რ ო მ ლ ი ს პ ო ტ ე ნ ც ი ა ლ ი ნ უ ლ ი ს ტ ო ლ ი ა.

ერთეული დადებითი მუხტის გადაადგილების დროს M წერტილიდან, რომლის პოტენციალია φ_M, H წერტილში φ_H პოტენციალით, ველის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, ანუ ძაბვა მოცემულ წერტილებს შორის ტოლი იქნება პოტენციალთა სხვაობისა

$$U_{MH} = \varphi_M - \varphi_H, \tag{1-5}$$

ე. ი. ძ ა ბ ვ ა ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი ვ ე ლ ი ს ო რ წ ე რ ტ ი ლ ს შ ო რ ი ს ა მ წ ე რ ტ ი ლ ე ბ ი ს პ ო ტ ე ნ ც ი ა ლ თ ა ს ხ ვ ა ო ბ ი ს ტ ო ლ ი ა. პოტენციალი იზომება ვოლტობით, ანუ იმავე ერთეულებით როგორც ძაბვა. ზედაპირებს, რომელთა ყველა წერტილს ერთნაირი პოტენციალი აქვს, ეკვიპოტენციური, ანუ ტოლპოტენციური ეწოდება.

1-3. ელექტროგამტარობა

ქიმიური ელემენტის ატომები, რომლებიც შედიან ნებისმიერი ნივთიერების შედგენილობაში, შედგება დადებითად დამუხტული ბირთვისა და მის გარშემო მოძრავი უარყოფითად დამუხტული ელექტრონებისაგან. ატომები ჩვეულებრივად ელექტრულად ნეიტრალურია, რადგან ბირთვის მუხტი მის გარშემო მოძრავი ელექტრონების მუხტების ჯამის ტოლია.

თუ ნეიტრალურ ატომს (ან მოლეკულას) გამოეყოფა ელექტრონი, მაშინ ატომი გარდაიქმნება დ ა დ ე ბ ი თ ი ო ნ ა დ. ატომიდან ამოგლეჯილი ელექტრონი უერთდება სხვა ნეიტრალურ ატომს და ქმნის უ ა რ ყ ო ფ ი თ ი ო ნ ს ან რჩება თავისუფლად. ასეთ თავისუფალ ელექტრონებს ეწოდება გ ა მ ტ ა რ ო ბ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ ე ბ ი, ხოლო იონების წარმოქმნის პროცესს — ი ო ნ ი ზ ა ც ი ა; თავისუფალი ელექტრონების ან იონების რაოდენობას ნივთიერების ერთეულ მოცულობაში ეწოდება ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი მ უ ხ ტ ი ს მ ა ტ ა რ ე ბ ლ ი ს კ ო ნ ც ე ნ ტ რ ა ც ი ა.

Гос. Республиканская
Библиотека ГССР
им. К. Маркса

ელექტრულ ველში მოთავსებულ ნივთიერებაში ველის ძალების მოქმედებით წარმოიქმნება მუხტების მატარებელთა მოძრაობა (გამტარობის ელექტრონები ან იონები), რომელსაც ელექტრული დენი ეწოდება. ნივთიერების თვისებას — ელექტრული ველის ზემოქმედებით წარმოქმნას ელექტრული დენი, ეწოდება ნივთიერების ელექტროგამტარობა. ელექტროგამტარობის ხარისხი ხასიათდება ამა თუ იმ მასალის კუთრი ელექტროგამტარობით (§ 2-4). ნივთიერების (სხეულის) ელექტრული გამტარობა დამოკიდებულია მუხტის მატარებელთა კონცენტრაციაზე. მაღალი კონცენტრაციის დროს ნივთიერების გამტარობა მეტია, ვიდრე დაბალი კონცენტრაციის შემთხვევაში. ყველა ნივთიერება, ელექტრული გამტარობისა და მისი ფიზიკური ფაქტორების მიხედვით, იყოფა გამტარებად, დიელექტრიკებად (ელექტროსაიზოლაციო მასალები) და ნახევრად გამტარებად.

გამტარები ხასიათდება მაღალი გამტარობით, მათ მიეკუთვნება უმთავრესად ლითონები და მათი შენადნობები, ნახშირი, ელექტროლიტები (მარილების წყალხსნარები, მჟავები, ტუტეები) და ნაღნობები.

დიელექტრიკებს მიეკუთვნება ისეთი ნივთიერებები, რომელთაც უმნიშვნელო გამტარობა ახასიათებთ, მაგალითად: აირები, მინერალური ზეთები, ლაქები და მყარი არალითონური სხეულები დიდი რაოდენობით.

ნახევრად გამტარები ხასიათდება შუალედური გამტარობით გამტარებსა და დიელექტრიკებს შორის. მათ მიეკუთვნებათ ისეთი ელემენტები, როგორიცაა სილიციუმი, გერმანიუმი, სელენი, ლითონთა ჟანგეულები და სხვ. მათთვის დამახასიათებელია აგრეთვე კუთრი ელექტრული გამტარობის ძლიერი დამოკიდებულება გარე ფაქტორებზე.

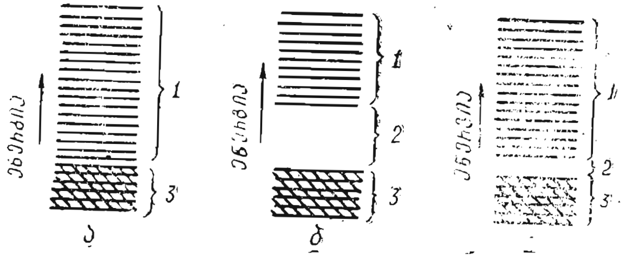
ატომის თითოეულ ელექტრონს შეიძლება ჰქონდეს ენერგიის მხოლოდ განსაზღვრული რაოდენობა, ე. ი. იმყოფება ნებადართულ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში, ანუ დონეზე, რადგან ელექტრონის ენერგიის შეცვლა შეიძლება მოხდეს მხოლოდ პორციებით — კვანტებით. ელექტრონის გადასვლა უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე, ანუ უფრო შორეულ ორბიტაზე, მოითხოვს ენერგიის დახარჯვას, რომელიც საჭიროა ელექტრონის ბირთვთან მიზიდულობის დასაძლევად. ამგვარად, ბირთვიდან მეტად დაშორებულ ელექტრონებს უფრო მეტი ენერგია აქვს. ელექტრონის დაბალ დონეზე გადასვლისას გამოიყოფა ატომის გამოსხივებული ენერგია.

მყარ ნივთიერებებში, რომელიც ატომების ერთობლიობას წარმოადგენს, მეზობელი ატომების ურთიერთქმედების შედეგად, ენერგეტიკული დონეები რამდენადმე იცვლება და ქმნის ე. წ. ენერგეტიკულ ზონებს. ეს ზონები ერთმანეთისაგან განცალკევებულია არეებით, რომლებ-

შიც ელექტრონებს არ შეუძლიათ არსებობა და ამიტომაც ამ ზონებს **აკრძალული ზონები** ეწოდება.

ენერგეტიკული ზონები ნებადართული დონეების მიხედვით იყოფა შევსებულ და თავისუფალ ზონებად. ელექტროგამტარობის წარმოსაქმნელად აუცილებელია ელექტრონების ნაწილი შევსებული ზონიდან გადავიდეს თავისუფალში. ასეთი გადასვლის შესაძლებლობა განისაზღვრება აკრძალული ზონის სიგანით, რომელიც პროპორციულია იმ ენერგიისა, რაც აუცილებელია დაიხარჯოს ელექტრონების აღნიშნული გადასვლისათვის.

გამტარების, ნახევრად გამტარებისა და დიელექტრიკების ელექტრულ გამტარობათა შორის განსხვავება გამოწვეულია მათი აგებულების თავისებურებით. მყარი სხეულების ზონათა თეორიის თანახმად, ლითონების გამტარებს მაღალი ელექტრული გამტარობა აქვს, რაც იმით აიხსნება, რომ შევსებული ზონა მჭიდროდ ეყრდნობა თავისუფალ ზონას (ნახ. 1-3, ა), ამის გამო ლითონის ელექტრონებს შეუძლიათ გადავიდნენ შევსებული ზონის დონიდან თავისუფალი ზონის დონეზე. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ლითონის სადენებში ადვილად წარმოიქმნება თავისუფალი ელექტრონები. ადვილად წარმოქმნილი ელექტრონების მნიშვნელოვანი კონცენტრაცია უზრუნველყოფს სადენების მაღალ ელექტრულ გამტარობას.



ნახ. 1-3. ენერგეტიკული დონეები.

ა — გამტარი; ბ — დიელექტრიკი; გ — ნახევრად გამტარი;
1 — თავისუფალი ზონა; 2 — აკრძალული ზონა; 3 — შევსებული ზონა.

თუ ელექტრულ ძაბვას მოვდებთ ლითონის სადენის ბოლოებზე, მასში აღიძვრება ელექტრული ველი, რომლის ზემოქმედებითაც თავისუფალი ელექტრონების ქაოსური მოძრაობა მოწესრიგდება და ისინი დაიწყებენ მოძრაობას ელექტრული ველის გავრცელების საწინააღმდეგო მიმართულებით (რადგან მათ აქვთ უარყოფითი მუხტი), ე. ი. სადენში აღიძვრება ელექტრული დენი.

თუ მოცემული ნივთიერების თავისუფალი ზონა დაშორებულია შევსებული ზონისაგან (ნახ. 1-3, ბ) საკმაოდ ფართო აკრძალული ზონით, მაშინ ელექტრონებს აღარ აქვთ საშუალება გადავიდნენ თავისუფალ ზონაში და როგორც თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია, ისე ნივ-

თიერებების გამტარობა აღმოჩნდება უმნიშვნელო, რის შედეგადაც საქმე გვექნება დიელექტრიკთან.

ნახევრად გამტარების აკრძალული ზონის სიგანე მნიშვნელოვნად ვიწროა, ვიდრე დიელექტრიკების შემთხვევაში (ნახ. 1-3, გ), რის გამოც ელექტრონების გადასაყვანად თავისუფალ ზონაში საკმარისია არა დიდი აგზნება, მაგალითად, ატომების თბური მოძრაობის გაძლიერების ხარჯზე ტემპერატურის გაზრდის დროს, რის შედეგადაც ნახევრად გამტარები ღებულობენ ისეთი სიდიდის გამტარობას, რომელსაც შუალედური მნიშვნელობა აქვს გამტარებისა და დიელექტრიკების გამტარობებს შორის. უნდა აღინიშნოს, რომ ნახევრად გამტარების გამტარობა ძლიერაა დამოკიდებული გარე ფაქტორებზე, კერძოდ, ტემპერატურაზე.

სადენებს, რომლებშიც ელექტროდენი იქმნება მხოლოდ ელექტრონების გადაადგილებით, ეწოდება **ელექტრონული გამტარობის მქონე სადენები**, ანუ პირველი გვარის სადენები, რომელთა ძირითადი წარმომადგენელია ლითონები და შენადნობები.

სადენებს, რომლებშიც ელექტრული დენი იქმნება როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი იონების გადაადგილებით, ეწოდება **იონური გამტარობის მქონე სადენები**, ანუ მეორე გვარის სადენები. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება ელექტროლიტები, რომლებიც წარმოადგენენ მჟავების, მარილებისა და ტუტეების წყალხსნარებს.

1-4. ელექტრული ტევადობა. კონდენსატორები

ორი გამტარის (შემონაფენის) სისტემას, რომლებიც ერთმანეთისაგან განმხოლოებულია დიელექტრიკით, **ელექტრული კონდენსატორი** ეწოდება.

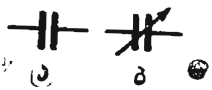
ბუნებრივი კონდენსატორების მაგალითებად შეიძლება მოვიყვანოთ: ელექტრული წრედის ორი სადენი, კაბელის ორი ძარღვი, კაბელის ძარღვი—ჯავშანი, გასასვლელი იზოლატორი (ლითონის გარსაცმის კედლისაგან ან კედლისაგან განმხოლოებული სადენი). პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა მოწყობილობის კონდენსატორები, კერძოდ, ბრტყელი, რომელიც წარმოადგენს ერთმანეთის პარალელურად განლაგებულ და ერთმანეთისაგან განმხოლოებულ ლითონის ფირფიტებს (ამონაფენებს).

კონდენსატორების პირობითი აღნიშვნები ნაჩვენებია 1-4 ნახაზზე. კონდენსატორს აქვს თვისება თავის ამონაფენებზე დააგროვოს და შეინარჩუნოს სიდიდით ტოლი და ნიშნით სხვადასხვა ელექტრული მუხტები.

კონდენსატორის თითოეული ამონაფენის ელექტრული Q მუხტი პროპორციულია ამონაფენებს შორის არსებული U ძაბვისა, საიდანაც

$$Q=CU.$$

C სიდიდეს, რომელიც ტოლია ერთ-ერთი ამონაფენის მუხტის შეფარდებისა ამ ამონაფენებს შორის არსებულ ძაბვასთან, ეწოდება *კონდენსატორის ელექტრული ტევადობა* და წარმოადგენს მის ერთ-ერთ პარამეტრს. მაშასადამე, ტევადობა



ნახ. 1-4. კონდენსატორების პირობითი აღნიშვნები.
ა—მუდმივი ტევადობით; ბ—ცვლადი ტევადობით.

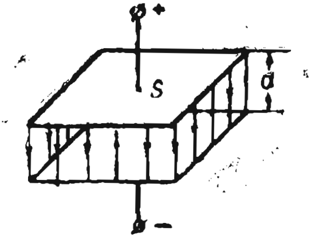
$$C = \frac{Q}{U}. \qquad (1\text{-}6)$$

ვინაიდან СИ სისტემაში მუხტის ერთეულად მიღებულია კულონი და ძაბვის ერთეულად — ვოლტი, ტევადობის ერთეული ტოლი იქნება კულონი გაყოფილი ვოლტზე, რასაც *ფარადე* (ფ) ეწოდება, ე. ი.

$$1 \text{ ფ} = 1 \text{ კლ}/1 \text{ ვ}.$$

ჩვეულებრივად სარგებლობენ უფრო მცირე ერთეულით — მიკროფარადით (1 მკფ$=10^{-6}$ ფ) ან პიკოფარადით (1 პფ$=10^{-12}$ ფ). კონდენსატორის ტევადობა დამოკიდებულია მისი ამონაფენების — ელექტროდების ფორმასა და ზომებზე, მათ ურთიერთგანლაგებასა და მათ შორის მანძილზე, აგრეთვე ამონაფენების გამამხოლოებელი დიელექტრიკის თვისებებზე.

მაგალითად, ბრტყელი კონდენსატორის ტევადობა, რომლის ამონაფენები (ნახ. 1-5) მოთავსებულია ვაკუუმში, გამოისახება ფორმულით



ნახ. 1-5. ბრტყელი კონდენსატორი.

$$C = \varepsilon_0 S/d,$$

სადაც S არის თითოეული ამონაფენის ზედაპირის ფართობი, მ²;
d — მანძილი ამონაფენებს შორის, მ;
ε_0 — ელექტრული მუდმივა, რომელიც ახასიათებს ელექტრულ ველს სიცარიელეში (ვაკუუმში).

ელექტრული მუდმივას ერთეული გამოითვლება ფორმულით

$$[\varepsilon_0] = \left[\frac{Cd}{S}\right] = \frac{\text{ფ}\cdot\text{მ}}{\text{მ}^2} = \frac{\text{ფ}}{\text{მ}}.$$

ამგვარად, ელექტრული მუდმივა გამოისახება *ფარადე შეფარდებული მეტრთან*.

ელექტრული მუდმივა დამოკიდებულია ერთეულთა სისტემაზე. *СИ* ერთეულთა სისტემაში მისი მნიშვნელობა გამოისახება შემდეგნაირად

$$\varepsilon_0=\frac{10^{-9}}{36\ \pi}\approx 8{,}85\cdot 10^{-12}\ \text{ფ/მ}. \tag{1-7}$$

სხვადასხვა ნივთიერების დიელექტრული თვისებები შეიძლება შევადაროთ ვაკუუმის თვისებებს.

თუ ბრტყელი კონდენსატორის ამონაფენებს შორის სივრცეს შევავსებთ რაიმე ნივთიერებით, ვთქვათ დიელექტრიკით, მაშინ კონდენსატორის ტევადობა გაიზრდება ε-ჯერ და შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით

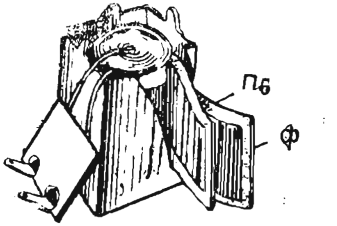
$$C=\varepsilon_0\varepsilon\frac{S}{d}=\varepsilon_ა\frac{S}{d}, \tag{1-8}$$

სადაც ε, რომელსაც ნივთიერების ფ ა რ დ ო ბ ი თ ი დ ი ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი შ ე ღ წ ე ვ ა დ ო ბ ა ე წ ო დ ე ბ ა, განყენებული რიცხვია. ზოგიერთი დიელექტრიკის ფარდობითი დიელექტრული შეღწევადობა მოცემულია 1-1 ცხრილში (იხ. 27-ე გვ.).

დიელექტრული შეღწევადობისა და ელექტრული მუდმივას ნამრავლს ეწოდება აბსოლუტური დიელექტრული შეღწევადობა და გამოისახება ფორმულით

$$\varepsilon_ა=\varepsilon\varepsilon_0.$$

სამამულო მრეწველობა ამზადებს სხვადასხვა ტევადობის კონდენსატორებს (1 პფ=1000 მკფ) ნომინალური ძაბვით 100 კვ-მდე (სხვადასხვა მოწყობილობისა და დანიშნულებისათვის).



1-6. ქაღალდის კონდენსატორი. *Ф*—კილიტა; *ПБ*— გაპარაფინული ქაღალდი.

მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებისათვის გამოიყენება ქაღალდის, ქარსისა და კერამიკული კონდენსატორები, ხოლო ელექტროლიტურ კონდენსატორებს იყენებენ მხოლოდ მუდმივი დენის წრედებში.

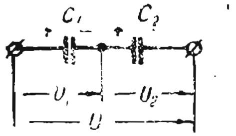
ქაღალდის კონდენსატორები (ნახ. 1-6) შედგება ალუმინის კილიტას ორი გრძელი ლენტისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან განმხოლოებულია გაპარაფინული ქაღალდის ლენტებით.

ელექტროლიტურ კონდენსატორებში დიელექტრიკად გამოყენებულია კონდენსატორის ერთ-ერთი ამონაფენის ალუმინის კილიტას ზედაპირზე დატანილი ჟანგის თხელი ფენა, მეორე ამონაფენად კი ელექტროლიტის სქელ ხსნარში გაჟღენთილი ქაღალდი ან ქსოვილი.

1-5. კონდენსატორების შეერთება

საჭირო ტევადობის მისაღებად ან როცა ქსელის ძაბვა აღემატება კონდენსატორების ნომინალურ ძაბვას, მათ აერთებენ თანამიმდევრულად, პარალელურად ან შერეულად.

თ ა ნ ა მ ი მ დ ე ვ რ უ ლ ი შ ე ე რ თ ე ბ ი ს დ რ ო ს (ნახ. 1-7) კონდენსატორების ელექტროდებზე იქმნება სიდიდით ტოლი მუხტი, რადგან კვების წყაროდან ისინი შემოდიან მხოლოდ გარე ელექტროდებზე, ხოლო შიგა ელექტროდებზე ისინი მიიღებიან მხოლოდ მუხტების გაყოფით, რომლებიც ადრე ერთმანეთს ანეიტრალებდნენ.



ნახ. 1-7. კონდენსატორების თანამიმდევრული შეერთება.

თუ კონდენსატორის ერთი ელექტროდის მუხტს აღვნიშნავთ Q-თი, მაშინ თანამიმდევრობით შეერთებული ორი კონდენსატორისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$U_1 = Q/C_1 \text{ და } U_2 = Q/C_2,$$

ე. ი. სხვადასხვა ტევადობის შემთხვევაში ძაბვა კონდენსატორებზე სხვადასხვა იქნება.

თუ წრედის მომჭერებზე ძაბვა ორი კონდენსატორისათვის გვაქვს

$$U = U_1 + U_2,$$

მაშინ მუხტებისა და კონდენსატორების ტევადობათა ფარდობისათვის გვექნება

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2},$$

ან, თუ Q-ზე გავყოფთ, მივიღებთ

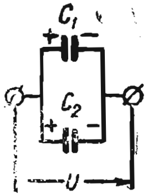
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \qquad (1-9)$$

საიდანაც ორი მიმდევრობით შეერთებული კონდენსატორის საერთო ეკვივალენტური ტევადობა

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}. \qquad (1-10)$$

კონდენსატორების პარალელურად შეერთების დროს (ნახ. 1-8) ძაბვა ყველა კონდენსატორზე იქნება ტოლი, ხოლო მუხტი ზოგად შემთხვევაში არათანაბარია. მაშასადამე, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$Q_1 = C_1 U \text{ და } Q_2 = C_2 U.$$



ნახ. 1-8. კონდენსატორების პარალელური შეერთება.

ყველა პარალელურად შეერთებული კონდენსატორისაგან მიღებული მუხტი ტოლია ცალკეული კონდენსატორის მუხტების ჯამისა, ე. ი. პარალელურად შეერთებული ორი კონდენსატორის შემთხვევაში გვექნება

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

საიდანაც საერთო ან ეკვივალენტური ტევადობა გამოისახება ფორმულით

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2}{U} = C_1 + C_2, \qquad (1\text{-}11)$$

ე.ი. საერთო ტევადობა ტოლია ცალკეული კონდენსატორის ტევადობების ჯამისა.

თანამიმდევრულად ან პარალელურად შეერთებული სხვა რაოდენობის კონდენსატორების შემთხვევაში თუ ვისარგებლებთ (1-9) და (1-11) ფორმულებით, ძნელი არაა განვსაზღვროთ ეკვივალენტური ტევადობები.

მაგალითი 1-1. განვსაზღვროთ ორი კონდენსატორის ეკვივალენტური ტევადობები მათი თანამიმდევრულად და პარალელურად შეერთების დროს, თუ $C_1 = 2$ მკფ და $C_2 = 4$ მკფ.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

ეკვივალენტური ტევადობა კონდენსატორების თანამიმდევრულად შეერთების დროს

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = 1,33 \text{ მკფ}.$$

ეკვივალენტური ტევადობა კონდენსატორების პარალელურად შეერთების დროს

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 4 = 6 \text{ მკფ}.$$

1.6. ელექტრული ველის ენერგია

კონდენსატორზე ძაბვის გაზრდისას, რომელიც მიერთებულია კვების წყაროსთან, მის ამონაფენებზე იზრდება მუხტი და ველის დაძაბულობა კონდენსატორის დიელექტრიკზე. ამ დროს, ბუნებრივია, გაიზრდება კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგიაც, რომელიც კონდენსატორში შემოდის კვების წყაროდან, ე. ი. ძაბვის du გაზრდას კონდენსატორზე შეესაბამება მისი ელექტრული ველის ენერგიის ნამატი dW_C (1-3). მაშასადამე,

$$dW_C = dA = Q du.$$

კონდენსატორის ელექტრულ ველში დაგროვილი მთლიანი W_C ენერგია, როცა მის მომჭერებზე ძაბვა იზრდება $u_C = 0$-დან $u_C = U_C$-მდე, შეიძ-

ლება ვიპოვოთ ელემენტარული ენერგიების (dW_C) შეკრებით. ამგვარად, კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგია შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად

$$W_C = \int_{u_C=0}^{u_C=U_C} Q\,du_C = C\int_0^{U_C} u_C\,du_C = \frac{CU_C^2}{2} = \frac{QU_C}{2}. \qquad (1\text{-}12)$$

თუ დამუხტულ კონდენსატორს განვრთავთ კვების წყაროდან და მის ამონაფენებს შევაერთებთ გამტარით, მოხდება კონდენსატორის განმუხტვა, ხოლო განმუხტვის დენი გამტარში გამოყოფს სითბოს, რომელიც ეკვივალენტური იქნება დამუხტული კონდენსატორის ველის პოტენციური ენერგიისა.

მაგალითი 1-2. განვსაზღვროთ 10 მკფ ტევადობის კონდენსატორის ელექტრულ ველში დაგროვილი ენერგია, თუ ძაბვა კონდენსატორის მომჭერებზე 300 ვ-ის ტოლია.

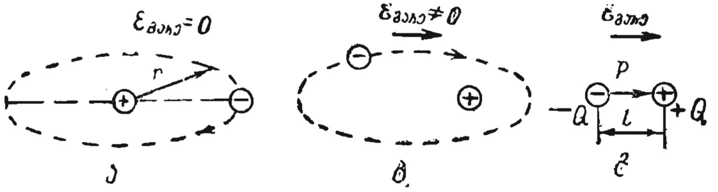
ა მ ო ხ ს ნ ა.

ელექტრული ველის ენერგია

$$W_C = \frac{CU_C^2}{2} = \frac{10\cdot 10^{-6}\cdot 300^2}{2} = \frac{10\cdot 10^{-6}\cdot 90000}{2} = 0,45\ ჯ.$$

1-7. დიელექტრიკის პოლარიზაცია

დიელექტრიკის შეტანისას ელექტრულ ველში, ველის ძალების მოქმედებით ელექტრონების ორბიტები გადაიწევს ველის საწინააღმდეგო მიმართულებით, რის გამოც ატომის ბირთვი აღმოჩნდება არა ელექტრონების ორბიტების ცენტრში (ნახ. 1-9, ა), არამედ მისგან რაღაც მანძილზე (ნახ. 1-9, ბ).



ნახ. 1-9. არაპოლარული მოლეკულა.
ა — როცა გარე ველი არ არსებობს; ბ — როცა გარე ველი არსებობს; გ — მისი ეკვივალენტური დიპოლი.

თუ ამ საკითხს განვიხილავთ ელექტრული თვისებების მიხედვით, ასეთი ატომი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი დ ი პ ო ლ ი, ანუ როგორც ორი სხვადასხვა ნიშნის წერტილოვანი $+Q$ და $-Q$

მუხტი (ნახ. 1-9, გ), რომლებიც ერთმანეთისაგან იმყოფებიან რაღაც l მანძილზე (დიპოლის მხარი). მუხტებს, რომლებიც დიელექტრიკის დიპოლს ქმნიან, ბ მ უ ლ ი მ უ ხ ტ ე ბ ი ეწოდება, ხოლო Q მუხტისა და l მხარის ნამრავლს—დიპოლის ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი მ ო მ ე ნ ტ ი, ე. ი.

$$p=Ql.$$

ელექტრული მომენტი p—ვექტორული სიდიდეა და მიმართულია დიპოლის უარყოფითი მუხტიდან დადებითისაკენ. ამგვარად, ატომები გარე ელექტრულ ველში გადაიქცევა დიპოლებად, რომელთა ელექტრული მომენტები ცდილობენ განლაგდნენ გარე ველის მიმართულებით. ველის გაქრობისას ქრება ელექტრონების ორბიტების გადაწევაც. ასეთი გ ა დ ა წ ე ვ ი ს მ ო ვ ლ ე ნ ა ს დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ი ს პ ო ლ ა რ ი ზ ა ც ი ა ს უ წ ო დ ე ბ ე ნ.

პოლარიზებული ატომები ან მოლეკულები ქმნიან თავის ელექტრულ ველს, რომელიც ძირითადი ველის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, რის შედეგადაც ხდება ძირითადი ველის შესუსტება.

დიელექტრიკის უნარი—პოლარიზაცია განიცადოს ელექტრული ველის ზემოქმედებით—შეფასდება მისი დიელექტრული შეღწევადობით, რაც გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ სუსტდება ძირითადი ველი პოლარიზაციის შედეგად.

დიელექტრიკში, რომელიც მოთავსებულია პერიოდულად ცვალებად ელექტრულ ველში, ორბიტის გადაწევაც ასევე პერიოდული იქნება, რაც გამოიწვევს მის გაცხელებას.

რაც უფრო ხშირად იცვლება ელექტრული ველი, მით მეტად გახურდება დიელექტრიკი. ეს მოვლენა ფართოდ გამოიყენება დიელექტრიკის გასაშრობად ან ქიმიური რეაქციებისათვის, რომლებიც მაღალ ტემპერატურას მოითხოვს.

სიმძლავრეს, რომელიც დიელექტრიკის გახურებაზე იხარჯება, რაც მუხტების პერიოდული გადაწევითაა გამოწვეული და მოდის ერთეულ მოცულობაზე, ეწოდება კუთრი დ ი ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ი.

ელექტრული ველის ძაბვის გაზრდით, რომელშიც დიელექტრიკია მოთავსებული, შეიძლება მივაღწიოთ მის ისეთ მნიშვნელობას, რომელსაც დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ი ს გ ა რ ღ ვ ე ვ ა, ანუ მისი ადგილობრივი დაშლა მოჰყვება. ველის ასეთ დაძაბულობას გამრღვევი დაძაბულობა $\varepsilon_{\text{გამ.}}$, ანუ დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი ს ი მ ტ კ ი ც ე ეწოდება, ხოლო ძ ა ბ ვ ა ს გ ა რ ღ ვ ე ვ ი ს ა ს—გ ა მ რ ღ ვ ე ვ ი ძ ა ბ ვ ა $U_{\text{გამ.}}$

გარღვევის ხასიათი შეიძლება იყოს სხვადასხვაგვარი. ელექტრული გარღვევისას საწყის მომენტში დიელექტრიკის თავისუფალი ელექტრო-

ნები ელექტრული ველის ზემოქმედებით აღწევს კრიტიკულ სიჩქარეს, რომელიც საკმარისია ახალი ელექტრონების ამოსაგლეჯად. დიელექტრიკის ნეიტრალური ატომებისა და მოლეკულებიდან წარმოიქმნება *დარტყმითი იონიზაცია*, რაც *იწვევს გარღვევას*.

თბური გარღვევისას ხორციელდება დიელექტრიკის გახურება ელექტრულ ველში, რის შედეგადაც ხდება თერმული დაზიანება ან დაშლა, როგორიცაა დასკდომა, ამობურცვა და ა. შ. გადახურების მიზეზი შეიძლება იყოს დიელექტრული დანაკარგები ან დიელექტრიკის ელექტრული გამტარობის გაზრდა და მოცულობითი დენის მნიშვნელოვანი, არაპროპორციული ზრდა (§ 2-4) ძაბვის ამაღლების დროს.

დიელექტრიკის ელექტრული სიმტკიცე დამოკიდებულია მთელ რიგ პირობებზე: ძაბვის გვარობასა და მის ცვლილებაზე, ძაბვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე, ელექტრული ველის ფორმაზე (ელექტროდების ფორმაზე), დიელექტრიკის სისქეზე, მის ტემპერატურაზე, ტენიანობაზე, ხოლო აირებისათვის — მის წნევაზე.

ელექტროდანადგარის მუშაობის საიმედოობისათვის აუცილებელია მისი ყველა დიელექტრიკი მუშაობდეს ძაბვაზე, რომელიც არ აღემატება *დასაშვებ სიდიდეს*, რაც რამდენჯერმე ნაკლები უნდა იყოს გამრღვევ ძაბვაზე. ზოგიერთი დიელექტრიკის ელექტრული სიმტკიცე E მოყვანილია 1-1 ცხრილში.

ცხრილი 1-1

ზოგიერთი ელექტროსაიზოლაციო მასალის პარამეტრები

დიელექტრიკი	$E_{გამ}$	ε	ρ
	10^3 კვ/მ	—	ომ. მ
ზეთში გაჟღენთილი ქაღალდი	10—25	3,6	—
ჰაერი	3	1	—
გეტინაქსი	10—15	4—7	10^8—10^{10}
მიკანიტი	15—40	5—6	10^9—10^{11}
პოლივინილქლორიდი	32,5	3,2	10^{12}
რეზინი	15—20	3—6	10^{11}—10^{12}
მინა	10—15	6—10	10^{12}
ქარსი	50—100	5,4	$5\cdot10^{11}$
სოვოლი	15	5,3	10^{11}—10^{12}
ტრანსფორმატორის ზეთი	5—18	2—2,5	$5\cdot10^{12}$—$5\cdot10^{13}$
ფაიფური	15—20	5,5	10^{12}—10^{13}
ელექტროსაიზოლაციო მუყაო	8—12	3—5	10^6—10^8

მაგალითი 1-3. 0,3 სმ ($3 \cdot 10^{-3}$ მ) სისქის ელექტრომუყაოს ფურცელი მოჭერილია ორ ბრტყელ ლითონის ელექტროდებს შორის. განვსაზღვროთ დასაშვები და გამრღვევი ძაბვა, თუ დასაშვები ძაბვა 3-ჯერ ნაკლებია გამრღვევ ძაბვაზე.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

1.1 ცხრილიდან ვპოულობთ ელექტრომუყაოს გამრღვევ დაძაბულობას

$$\varepsilon_{გამ} = 10 \cdot 10^3 \text{ კვ/მ}.$$

გამრღვევი ძაბვა

$$U_{გამ} = \varepsilon_{გამ} \cdot d = 10 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 30 \text{ კვ}.$$

დასაშვები ძაბვა

$$U_{დას} = U_{გამ}/3 = 30/3 = 10 \text{ კვ}.$$

1-8. ელექტროსაიზოლაციო მასალები

ელექტროსაიზოლაციო ეწოდება ნივთიერებას — დიელექტრიკს, რომელსაც უმნიშვნელო ელექტრული გამტარობა გააჩნია.

ელექტროსაიზოლაციო მასალები გამოიყენება ელექტრული მანქანების, აპარატების, ხელსაწყოებისა და სხვათა გამტარი ელემენტების იზოლაციისათვის, რომლებიც სხვადასხვა პოტენციალის ქვეშ იმყოფებიან.

ელექტროსაიზოლაციო მასალებს ზედმიწევნით მრავალფეროვანი მოთხოვნილებანი წარედგინება, რომელთა შორის მთავარია: საკმარისი ელექტრული სიმტკიცე (ცხრ. 1-1); დიდი კუთრი მოცულობითი და ზედაპირული წინაღობა (§ 2-4); ელექტრული და მექანიკური პარამეტრების მაღალი სტაბილურობა; მცირე დიელექტრული დანაკარგები. ამის გარდა, დიდი მნიშვნელობა აქვს მექანიკურ, თერმულ და სხვა თვისებებს.

მრავალფეროვანი მოთხოვნილების შესაბამისად ელექტროტექნიკაში გამოიყენება ბევრი სხვადასხვა ელექტროსაიზოლაციო მასალა.

ელექტროსაიზოლაციო მასალები შეიძლება დავყოთ სხვადასხვა ნიშანთვისების მიხედვით, მაგალითად, მათი აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით—აირისებრად, თხევადად, მყარად; მათი ქიმიური ბუნების მიხედვით—კლასებად და ა. შ.

ა ი რ ი ს ე ბ რ ი დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ე ბ ი. აირისებრი იზოლატორებიდან მთავარია ჰაერი. ნორმალური ტემპერატურის (+20°C) და ნორმალური წნევის 0,13 მა (720 მმ ვერცხ. სვ.) დროს ჰაერის ელექტრული სიმტკიცე ($3 \cdot 10^3$ კვ/მ) ნაკლებია, ვიდრე უმრავლესი თხევადი და მყარი დიელექტრიკისა. ამიტომ ზოგჯერ ადგილი აქვს საჰაერო ღრეჩოს გარღვევას უშუალოდ იზოლატორის ზედაპირთან, რასაც ზ ე დ ა პ ი რ უ ლ გ ა ნ მ უ ხ ტ ვ ა ს უწოდებენ.

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

თ ხ ე ვ ა დ ი დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ე ბ ი. თხევად დიელექტრიკებს მიეკუთვნება: მინერალური ზეთები, სინთეზური სითხეები, ფისები, ლაქები და სხვ.

მინერალური ზეთები ნავთობის გადამუშავების პროდუქტებია და წარმოადგენს თხევადი ნახშირბადების ნარევს. ისინი გამოიყენებიან ზეთის ტრანსფორმატორებში, ზეთის ამომრთველებში, კაბელებსა და კონდენსატორებში.

ტრანსფორმატორებში ზეთი გამოიყენება დენგამტარი ნაწილების გასამხოლოებლად და გასაცივებლად მისი ცირკულაციის გზით.

ზეთის ამომრთველებში ზეთი ხელს უწყობს ელექტრული რკალის ჩაქრობას წრედის გამორთვის დროს.

კაბელებსა და კონდენსატორებში ზეთი გამოიყენება ქაღალდის იზოლაციის გასაჟღენთად.

ზეთს უნდა ჰქონდეს მაღალი ელექტრული სიმტკიცე (10—20 მვ/მ). ის მკვეთრად ეცემა ტენის არსებობის დროს, ამიტომ ჩასხმის წინ და პერიოდულად ექსპლუატაციის დროს ზეთი უნდა გამოვაშროთ და გავასუფთაოთ. ზეთის ზოგიერთი მახასიათებელი მოყვანილია 1-1 ცხრილში.

ხელოვნური თხევადი დიელექტრიკი ს ო ვ ო ლ ი წარმოადგენს სხვადასხვა ხარისხის დაქლორილი დიფენილის მოლეკულების ნარევს და გამოიყენება მინერალური ზეთების მაგივრად კონდენსატორების გასაჟღენთად და შესავსებად. ამ დროს კონდენსატორების ტევადობა იზრდება 2-ჯერ.

ტრანსფორმატორების შესავსებად გამოიყენება ე. წ. ს ო ვ ტ ო ლ ი, რომელიც იგივეა, მხოლოდ ის განზავებულია ტ რ ი ქ ლ ო რ ბ ე ნ ზ ო ლ ი თ. ვინაიდან სოვტოლი უწვადია, ამით შევსებული ტრანსფორმატორები ხანძრის თვალსაზრისით უსაფრთხოა.

ფისები დაბალ ტემპერატურაზე — ამორფული მინის მსგავსი მასაა. გაცხელებისას ისინი რბილდებიან და ხდებიან მოქნილი, ხოლო შემდეგ — თხევადი. ფისები არაჰიგროსკოპულია და არ იხსნება წყალში, მაგრამ კარგად იხსნება სპირტში და სხვა გამხსნელებში. ფისები წარმოადგენს ერთ-ერთ უმთავრეს ნაწილს მრავალი ლაქისა, კომპაუნდისა, პლასტმასისა, აფსკებისა და სხვათა შედგენილობაში.

ბუნებრივი ფისები — ეს არის ზოგიერთი მწერის ცხოველმოქმედების (მაგალითად, შელაქი) ან ფისოვანი მცენარეების პროდუქტი. უმეტესი მნიშვნელობა აქვს სინთეზურ (პოლიმერულ) ფისებს. მაგალითად, პოლიეთილენს, პოლივინილქლორიდს (ცხრ. 1-1), ასეთ ფისებზე დამზადებული პლასტმასები გამოიყენება სადენებისა და კაბელების საიზოლაციოდ, დამცავის დასაფარავად და ლაქების დასამზადებლად.

ლაქები წარმოადგენს აფსკწარმომქმნელი ნივთიერებების: ფისების, გუდრონის, შრობადი მცენარეული ზეთების (მაგალითად, სელის), მერქნის ცელულოზისა და სხვათა ხსნარებს. შრობის პროცესში წარმოიქმნება ლაქის აფსკი. ლაქები გამოიყენება გასაჟღენთად ტენისა და ქიმიურად აქტიური გარემოსაგან დაცვის მიზნით და აგრეთვე ქარსის ფურცლების ერთმანეთთან ან ქაღალდისა და ქსოვილის შესაწებებლად.

მ ყ ა რ ი დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ე ბ ი. მყარი დიელექტრიკები შეადგენს საიზოლაციო მასალების ყველაზე მრავალრიცხოვან ჯგუფს (ცხრ. 1-1).

1. ბ ო ჭ კ ო ვ ა ნ ი ო რ გ ა ნ უ ლ ი მ ა ს ა ლ ე ბ ი: ქაღალდი, მუყაო, ფიბრა, ქსოვილი — მზადდებიან მერქნის ბოჭკოებისაგან, ბამბისაგან ან კაპრონისაგან. ისინი ხასიათდებიან მოქნილობით, საკმაო მექანიკური სიმტკიცითა და ჰიგროსკოპულობით, რის შესამცირებლად გამოიყენება მინერალური ზეთებით ან კომპაუნდებით გაჟღენთვა.

ქ ა ღ ა ლ დ ი ძირითადად მზადდება მერქნისაგან. მრეწველობა ამზადებს საკაბელე, საკონდენსატორო და დასახვევ ქაღალდს ბაკელიტის ნაკეთობათა დასამზადებლად, ასაკრავ ქაღალდს ელექტროტექნიკური ფოლადის ფურცლების საიზოლაციოდ და სხვ.

ე ლ ე ქ ტ რ ო ს ა ი ზ ო ლ ა ც ი ო მ უ ყ ა ო (ელექტრომუყაო) მზადდება ცელულოზისაგან და შემდეგ იწნეხება. ის ფართოდ გამოიყენება შუასადებისათვის ელექტრონულ მანქანებში, ტრანსფორმატორებსა და სხვა ელექტროტექნიკურ ნაკეთობებში.

ფ ი ბ რ ა მზადდება ფორებიანი ქაღალდისაგან, რომელიც დამუშავებულია ქლოროვანი თუთიით. გამოიყენება პანელების, ღვარების, მილისებისა და სხვათა დასამზადებლად.

გ ე ტ ი ნ ა ქ ს ი — ეს არის დაწნეხილი ქაღალდის მრავალი ფენა, რომლებიც გაჟღენთილია ბაკელიტის ლაქში.

2. პ ლ ა ს ტ მ ა ს ე ბ ი — ეს არის მასალები, რომლებიც ორი შემადგენელი ნაწილისაგან — შემვსებისა და მაკავშირებლისაგან შედგება. მაკავშირებლად გამოიყენება პოლიმერები (სინთეზური ფისები), თხევადი მინა ან ცემენტი.

პლასტმასები ფართოდ გამოიყენება ელექტროტექნიკაში საიზოლაციო და კონსტრუქციულ მასალებად.

3. ე ლ ა ს ტ ო მ ე რ ე ბ ი. ელასტომერებს უწოდებენ მასალებს, რომლებსაც ელასტიკურობა ახასიათებთ, ანუ მათ უნარი აქვთ ძლიერ წაგრძელდნენ გაჭიმვისას და დაუბრუნდნენ საწყის ზომებს დატვირთვის მოხსნის შემდეგ.

ნ ა ტ უ რ ა ლ უ რ ი დ ა ს ი ნ თ ე ზ უ რ ი კ ა უ ჩ უ კ ი ხასიათდება მაღალი ელასტიკურობითა და ტენისა და აირების დაბალი შეღწევადობით.

რ ე ზ ი ნ ი — ელასტიკური მასალა, მიიღება კაუჩუკში გოგირდის შეყვანით და შემდეგში ვულკანიზაციის გზით მაღალ ტემპერატურაზე. თუ კაუჩუკი შეიცავს 1—3% გოგირდს, მაშინ მიიღება რბილი ელასტიკური რეზინი, ხოლო, როცა გოგირდის შემცველობა 25—50%, ღებულობთ მაგარ რეზინს — ებონიტს, რომელიც არაელასტიკურია, მაგრამ კარგად დასამუშავებელი მასალაა.

უკანასკნელ დროს რეზინი წარმატებით იცვლება ელასტიკური პლასტ-მასებით, მაგალითად, პოლივინილქლორიდით და პოლიეთილენით, რომლებიც გაცილებით მედეგი არიან ტუტეების, მჟავებისა და მინერალური ზეთების მოქმედებისადმი.

4. მ ი ნ ა მიიღება კაჟმიწის (SiO_2) ნატრიუმის, კალიუმისა და კალციუმის ჟანგეულებთან გამოდნობით შემდგომი გაცივების გზით. ჩვეულებრივი მინა მყიფეა. მინის სპეციალურ სორტს, მაგალითად, სტალინიტს აქვს მაღალი სიმტკიცე.

მინა ელექტროტექნიკაში გამოიყენება იზოლატორების, კოლბების, აირვარვარების ნათურებისა და ელექტრონმილაკების დასამზადებლად. მინის ბოჭკოებსა და მინის ნართს იყენებენ, მაგალითად მაღალ ტემპერატურაზე მომუშავე სადენების საიზოლაციოდ.

5. ე ლ ე ქ ტ რ ო ფ ა ი ფ უ რ ი მზადდება კაოლინისა, მხურვალმედეგი თიხისა, კვარცისა და მინდვრის შპატისაგან. ფაიფურის ნაკეთობანი ჰიგროსკოპულობის შესამცირებლად იფარება ჭიქურით და გამოიწვება.

ფაიფურს აქვს მაღალი მექანიკური და ელექტრული სიმტკიცე და მხურვალმედეგობა. ის ფართოდ გამოიყენება დაბალი და მაღალი ძაბვის იზოლატორების დასამზადებლად.

6. ქ ა რ ს ი — ეს არის კრისტალური სტრუქტურის მინერალი, რომელიც ადვილად იპობა თხელ ფურცლებად. ის ხასიათდება მაღალი მხურვალმედეგობით, ტენმედეგობითა და საუკეთესო ელექტროსაიზოლაციო თვისებებით (ცხრ. 1-1).

მ ი კ ა ნ ი ტ ი — ეს არის ლაქით ან ფისით შეწებებული ქარსის ფურცლები, რომლებიც გამოიყენება სხვადასხვა შუასადებებისა და ფასონური ნაწილების დასამზადებლად დაყალიბების გზით.

7. პ ა რ ა ფ ი ნ ი არის ნავთობის გადამუშავების პროდუქტი, არაჰიგროსკოპულია, დნება 55°C ტემპერატურაზე. გამოიყენება ქაღალდის, მუყაოსა და ხის გასაჟღენთად მათი ჰიგროსკოპულობის შემცირების მიზნით.

მ ე ო რ ე თ ა ვ ი

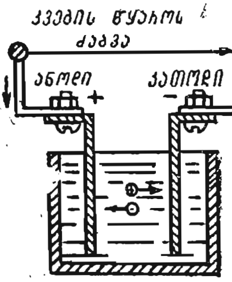
მუდმივი დენის ელექტრული წრედები

2-1. ელექტრული დენი

თავისუფალი ელექტრონები ლითონის სადენში (პირველი გვარის სადენები), როცა გარე ელექტრული ველი არ არსებობს, იმყოფება მოუწესრიგებელ მოძრაობაში და გამტარის ნებისმიერ განივკვეთში გადატანილი ელექტრობის რაოდენობა საშუალოდ ნულის ტოლია.

გამტარში ელექტრული ველის არსებობისას $\varepsilon = U/l$ დაძაბულობით, რომელიც მიმართულია გამტარის გასწვრივ, თავისუფალ ელექტრონებზე მოქმედებენ ამ ველის ძალები, რის შედეგად ისინი ღებულობენ ველის საწინააღმდეგო მიმართულების აჩქარებას. ამგვარად, უწესრიგოდ მოძრავი ელექტრონები ღებულობს თანაბარ აჩქარებულ მოძრაობას ზემოთ ნაჩვენები მიმართულებით. აჩქარებული მოძრაობა ხდება მანამ, ვიდრე ელექტრონი დაეჯახებოდეს ლითონის გამტარის კრისტალური გისოსის იონს, რის შემდეგ პროცესი მეორდება თავიდან. ამგვარად, გამტარში გრძივი ელექტრული ველის არსებობისას გამტარის ნებისმიერ კვეთში გაივლის განსაზღვრული რაოდენობის ელექტრონები. დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობას გამტარში ელექტრული ველის ზემოქმედებით *ელექტრული დენი* ეწოდება.

მეორე გვარის გამტარები — *ელექტროლიტები* — არის მჟავების, მარილებისა და ტუტეების ხსნარები. ელექტროლიტის მოლეკულების ნაწილი გამხსნელის ზემოქმედებით დადებით და უარყოფით იონებად იყოფა, რომლებიც ლითონის ელექტრონების მსგავსად გადაადგილდებიან გამტარის მოცულობაში. წყალბადისა და ლითონის მოლეკულები წარმოქმნიან დადებით იონებს, ხოლო ელექტროლიტის არალითონური ნარჩენების მოლეკულები — უარყოფით იონებს.



ნახ. 2-1. დენი ელექტროლიტში.

მოვდოთ ძაბვა ელექტროლიტში ჩაშვებული ელექტროდების მომჭერებზე (ნახ. 2-1). ელექტრული ველის ზემოქმედებით დადებითი იონები გადაადგილდება უარყოფითი ელექტროდისაკენ (კათოდისაკენ), ხოლო უარყოფითი იონები — დადებითი ელექტროდისაკენ (ანოდისაკენ). დადებითი და უარყოფითი იონების სწორედ ასეთი მოძრაობა ელექტროლიტში ელექტრული ველის ზემოქმედებით წარმოადგენს ელექტრულ დენს. მიაღწევს რა იონები ელექტროდამდე, ისინი დაჯდებიან მის ზედაპირზე ან შედიან მათთან ქიმიურ რეაქციაში, ელექტროლიტის უარყოფითი იონები უტოვებს ანოდს თავის ელექტრონებს და განაგრძობს მოძრაობას წრედში, ხოლო ელექტროლიტის დადებითი იონები უერთდება კათოდის თავისუფალ ელექტრონებს, რომლებიც წრედიდან შემოდიან. ამგვარად, კვების წყაროდან მომავალ გამტარებში თავისუფალი ელექტრონები მოძრაობს კათოდის მიმართულებით.

ამრიგად, ელექტროლიტებში დენის გავლა დაკავშირებულია მათი ნივთიერებების შემადგენელი ნაწილების გადაადგილებასთან.

ფარადეის კანონის მიხედვით, გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობა G პროპორციულია ელექტროლიტში გავლილი ელექტრობის რაოდენობისა, ანუ

$$G = cQ, \qquad (2\text{-}1)$$

სადაც c — ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, რომელიც [illegible] ნივთიერების მასის რაოდენობას გამოყოფს ერთი კულონი მუხტის მიერ. სხვადასხვა ნივთიერებისათვის მას სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს. მაგალითად, ვერცხლისათვის c = 1,118 მგ/კლ., ხოლო სპილენძისათვის — c = 0,329 მგ/კლ.

ელექტროლიზი ფართოდ [illegible] მრეწველობაში. ნივთიერების გამოყოფის [illegible] ეწოდება. ის ფართოდ გამოიყენება სუფთა ლითონების (სპილენძის, ალუმინის) წარმოებაში.

ელექტრობის [illegible] დენის ინტენსივობის დასახასიათებლად [illegible], რომელსაც დენის ძალა¹ ეწოდება.

დენის ძალა [illegible] ელექტრობის რაოდენობა [illegible] განივკვეთის [illegible] დროში. დენს, რომელიც [illegible] სიდიდის [illegible] და არც მიმართულებას [illegible] ეწოდება [illegible] და აღინიშნება I ასოთი.

თუ [illegible] განივკვეთში t დროში გადის Q რაოდენობის ელექტრობა, [illegible]

$$I = Q/t. \qquad (2\text{-}2)$$

დენს, რომელიც დროის ერთეულში იცვლის სიდიდესაც და მიმართულებასაც, ეწოდება ცვლადი დენი და აღინიშნება i ასოთი.

დენის ძალის ერთეული CH სისტემაში მიღებულია ამპერი (ა).

დენის ძალა უდრის 1 ამპერს, თუ გამტარის განივკვეთში 1 წამის განმავლობაში გადის 1 კულონი მუხტი, ე. ი.

$$1\ ა = \frac{1\ კლ}{1\ წმ}.$$

დენის დადებით მიმართულებად მიღებულია დადებითად დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულება, ანუ ელექტრონების მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება.

¹ ტერმინი „დენი" გამოიყენება ტერმინის — „დენის ძალა" — სინონიმად.

2-2. ელექტრული წრედი და მისი ელემენტები

მოწყობილობათა ერთობლიობას, რომლებიც საჭიროა მათში ელექტრული დენის მისაღებად, ელექტრული წრედი ეწოდება. ძირითადი წრედი შედგება კვების წყაროსა, ენერგიის მიმღებისა, ანუ მომხმარებლისაგან და გამტარებისაგან, რომელთა საშუალებით გადაეცემა ელექტრული ენერგია.

2-2 ნახაზზე მოყვანილია უმარტივესი წრედის გრაფიკული გამოსახულება, ანუ მისი ელექტრული სქემა. კვების წყარო წარმოადგენს წრედის შიგა უბანს, ხოლო მისი დანარჩენი ნაწილი — АБВГ, რომელიც შედგება მომხმარებლისაგან (მ) და გამტარებისაგან (АБ და ВГ), შეადგენენ წრედის გარე უბანს.

2-1 ცხრილში მოყვანილია ელექტრულ სქემებში გამოყენებული პირობითი აღნიშვნები.

კვების წყაროებად გამოიყენება ელექტრული (ელექტრომანქანური) გენერატორები, რომლებიც მექანიკურ ენერგიას გარდაქმნიან ელექტრულად, აკუმულატორები და პირველადი ელემენტები, რომლებიც ქიმიურ ენერგიას გარდაქმნიან ელექტრულად და სხვ.

ელექტრული ენერგიის მიმღებებს მიეკუთვნება, მაგალითად, ელექტროძრავები, რომლებიც ელექტრულ ენერგიას გარდაქმნიან მექანიკურად; ელექტროლიტური აბაზანები სუფთა ლითონების მისაღებად, სადაც ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება ქიმიურად; ვარვარების ნათურები და სახურებელი მოწყობილობები, სადაც ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება შესაბამისად სინათლისა და თბურ ენერგიად და ა. შ.

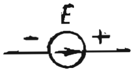
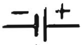
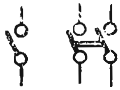
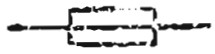
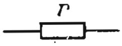
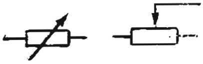
კვების წყაროში წარმოებს რაიმე ენერგიის გარდაქმნა ელექტრულად. გარე (არაელექტრული) ძალების მუშაობის შედეგად თითოეული ერთეული მუხტი წყაროს შიგნით მოძრაობისას იძენს რაღაც რაოდენობის ენერგიას. ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ) ეწოდება სიდიდეს, რომელიც რიცხობრივად ტოლია წყაროს შიგნით ერთეული ელექტრული მუხტით მიღებული ენერგიისა. გარე წრედის გამორთვის დროს E ემ ძალა წყაროს მომჭერებს შორის ძაბვის ტოლია.

ელექტრომიმღებში ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება თბურად, მექანიკურად ან ქიმიურად. ამ დროს ძაბვა (U) მიმღების მომჭერებზე გვიჩვენებს, თუ რა რაოდენობის ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება (იხარჯება) მასში თითოეული ერთეული მუხტისაგან.

განსხვავება ემ ძალას (E) და ძაბვას (U) შორის წარმოადგენს ენერგიას, რომელიც გარდაიქმნება სითბოდ (იხარჯება) კვების წყაროში ერ-

ცხრილი 2-1

ელექტრულ სქემებში გამოყენებული პირობითი გრაფიკული აღნიშვნები

დასახელება	პირობითი აღნიშვნები
ელექტრული ენერგიის წყარო, ემ ძალის წყარო	
მუდმივი დენის ელექტრული გენერატორი	
მუდმივი დენის ელექტროძრავა	
ენერგიის ქიმიური წყარო (ელემენტი ან აკუმულატორი) .	
ელექტრული ნათურა	
გამტარი, კაბელი, ელექტრული წრედის სალტე	
ელექტრული, გასართი და არაგასართი შეერთებები . . .	
ერთ- და ორპოლუსიანი ამომრთველები	
დნობადი მცველები	
ელექტრული ენერგიის მიმღები, რეზისტორი	
რეოსტატი ან სარეგულირებელი რეზისტორი	
ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ვატმეტრი	

თეული მუხტის გადაადგილების დროს და ეწოდება ძ ა ბ ვ ი ს U_0 ვ ა რ დ ნ ა.

მაშასადამე,

$$E - U = U_0 \quad \text{ან} \quad E = U + U_0. \tag{2-3}$$

ძაბვა კვების წყაროდან მომხმარებელს გადაეცემა გამტარებით. ენერგიის დანაკარგებს მოკლე გამტარში უგულებელყოფენ, როგორც ეს ჩვენს შემთხვევაშია განხილული.

ტექნიკაში გამოიყენება განმხოლოებული ან შიშველი ალუმინისა და სპილენძის სადენები.

განხილული სამი ელემენტის გარდა, ელექტრულ წრედებში გამოიყენება: საკომუტაციო აპარატურა — ჩამრთვი, გამთიშველები; დაცვის ხელსაწყოები — დნობადი მცველები, რელე; საზომი ხელსაწყოები — ამპერმეტრები, ვოლტმეტრები და ა. შ.

2-3. ომის კანონი

I დენის ძალის შეფარდებას გამტარის განივკვეთის ფართობთან (S), რომელშიაც დენი გადის, დ ე ნ ი ს ს ი მ კ ვ რ ი ვ ე ე წ ო დ ე ბ ა, ე. ი.

$$\delta = I/S. \tag{2-4}$$

მაშასადამე, დენის სიმკვრივე გამტარში განისაზღვრება გამტარის ერთეულ განივკვეთში გამავალი მუხტების რაოდენობით, რომელიც პროპორციულია დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარისა გამტარის გასწვრივ. ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარე პროპორციულია ველის ძალებისა, რომლებიც ამ ნაწილაკებზე მოქმედებენ, ანუ ელექტრული ველის დაძაბულობისა.

ამგვარად, დენის სიმკვრივე გამტარში პროპორციულია ელექტრული ველის დაძაბულობისა, ანუ

$$\delta = \gamma\varepsilon. \tag{2-5}$$

პროპორციულობის კოეფიციენტს ($\gamma = \delta/\varepsilon$) კ უ თ რ ი ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი გ ა მ ტ ა რ ო ბ ა ეწოდება.

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ $\varepsilon = U/l$, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\delta = \gamma \frac{U}{l}.$$

თუ უკანასკნელი ტოლობის მარცხენა და მარჯვენა ნაწილს გავამრავლებთ გამტარის განივკვეთის ფართობზე, მივიღებთ

$$I = U\frac{\gamma S}{l} = \frac{U}{r}, \tag{2-6}$$

საიდაც სიდიდეს

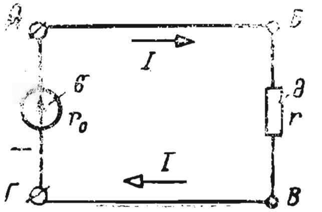
$$r = \frac{l}{(\gamma S)} \qquad (2\text{-}7)$$

გამტარის ელექტრული წინაღობა ეწოდება.

(2-6)-დან გამომდინარეობს, რომ დენის ძალა გამტარში პირდაპირპროპორციულია ძაბვისა მის ბოლოებზე და უკუპროპორციულია გამტარის წინაღობისა.

(2-6) გამოსახულება წარმოადგენს ომის კანონს — ყველაზე გავრცელებულ კანონს ელექტროტექნიკაში, რომელიც ფართოდ გამოიყენება წრედების გაანგარიშების დროს.

თუ ენერგიის მიმღების წინაღობა არის r (ნახ. 2-2), ხოლო კვების წყაროს შიგა წინაღობა — r_0, მაშინ 2-2 ნახაზზე მოყვანილი წრედისათვის შეგვიძლია დავწეროთ (2-3)



ნახ. 2-2. ელექტრული წრედის სქემა.

$$E = U + U_0 = Ir + Ir_0 = I(r + r_0). \qquad (2\text{-}8)$$

საიდანაც ომის კანონის გამოსახულებას მთლიანი ელექტრული წრედისათვის მივიღებთ ფორმულით

$$I = \frac{E}{r + r_0}; \qquad (2\text{-}9)$$

დატვირთვის დროს ძაბვა წრედის (ნახ. 2-2) მომჭერებზე

$$U = E - U_0 = E - Ir_0. \qquad (2\text{-}10)$$

ძაბვა იმავე წრედის მომჭერებზე დატვირთვის მოხსნის დროს, ე. ი. როცა დენის ძალა $I = 0$, ტოლია დენის წყაროს ემ ძალისა.

მაგალითი 2-1. ვარვარების ნათურა, რომლის წინაღობა $r = 440$ ომს, ჩართულია $U = 110$ ვ ძაბვის წრედში. განსაზღვრეთ დენის ძალა ნათურაში.

ამოხსნა.

ომის კანონის თანახმად, დენის ძალა

$$I = \frac{U}{r} = \frac{110}{440} = 0{,}25 \text{ ა.}$$

მაგალითი 2-2. განვსაზღვროთ ძაბვა სარჩილავი ხელსაწყოს მომჭერებზე, რომლის წინაღობა $r = 44$ ომს და დენის ძალა მასში $I = 5$ ა.

ამოხსნა.

ძაბვა ხელსაწყოს მომჭერებზე

$$U = Ir = 5 \cdot 44 = 220 \text{ ვ.}$$

2-4. ელექტრული წინაღობა და გამტარობა

თავისუფალი ელექტრონები (იონები), მიმართული მოძრაობის დროს გამტარში, ეჯახება მის ატომებსა და მოლეკულებს, ხვდება თავიანთი მოძრაობის საწინააღმდეგო მოქმედებას, რასაც გ ა მ ტ ა რ ი ს წ ი ნ ა ღ ო ბ ა ს უწოდებენ. (2-6) გამოსახულების თანახმად, წინაღობა გამოისახება გამტარის ბოლოებზე მოდებული ძაბვის შეფარდებით მასში არსებულ დენთან, ე. ი. წინაღობა გამოისახება ფორმულით

$$r=U/I. \tag{2-11}$$

წინაღობის ერთეულად *СИ* სისტემაში მიღებულია ომი

$$\frac{1\ \text{ვ}}{1\ \text{ა}}=1\frac{\text{ვ}}{\text{ა}}=1\ \text{ომი}.$$

1 ომი წინაღობა აქვს გამტარს, რომელშიაც 1 ვ ძაბვის დროს გადის 1 ა დენი.

კუთრი გამტარობის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება კ უ თ რ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა ρ, ანუ

$$\rho=1/\gamma. \tag{2-12}$$

კუთრი წინაღობა, ისევე, როგორც კუთრი გამტარობა, დამოკიდებულია მასალის თვისებებსა და ტემპერატურაზე.

თუ (2-7) გამოსახულებაში γ კუთრ გამტარობას შევცვლით კუთრი წინაღობით, მივიღებთ

$$r=\frac{l}{(\gamma S)}=\frac{\rho l}{S}, \tag{2-13}$$

საიდანაც კუთრი წინაღობა

$$\rho=\frac{1}{\gamma}=\frac{rS}{l}. \tag{2-14}$$

წინაღობის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი გ ა მ ტ ა რ ო ბ ა და გამოისახება ფორმულით

$$g=\frac{1}{r}=\frac{\gamma\cdot S}{l}=\frac{I}{U}. \tag{2-15}$$

გამტარობის ერთეულად მიღებულია ს ი მ ე ნ ს ი

1 სიმ=1/ომი.

კუთრი წინაღობის ერთეულად *СИ* სისტემაში მიღებულია ომი·მ, რადგან

$$[\rho]=\left[\frac{r\cdot S}{l}\right]=\frac{\text{ომი}\cdot\text{მ}^2}{\text{მ}}=\text{ომი}\cdot\text{მ}.$$

ლითონების კუთრი წინაღობა განზომილების ასეთ ერთეულებში გამოისახება მეტად მცირე მნიშვნელობით, რაც უხერხულია — პრაქტიკულად. ამიტომ კუთრი წინაღობის ერთეულს განსაზღვრავენ გამტარის გაზომვით მეტრობით და განივკვეთს—კვადრატული მილიმეტრობით. ასეთ პირობებში კუთრი წინაღობის ერთეული

$$[\rho]=\left[\frac{r\cdot S}{l}\right]=\frac{\text{ომი}\cdot\text{მმ}^2}{\text{მ}}=\text{ომი}\ \frac{\text{მმ}^2}{\text{მ}},$$

მაგრამ, რადგან ომი მმ²/მ=10^{-6} ომი.მ=1 მკომ.მ.

კუთრი გამტარობის ერთეული CN სისტემაში

$$[\gamma]=\text{სიმენსი/მეტრი}=\text{სიმ/მ},$$

ან როცა გამტარის ზომები გაზომილია მეტრობითა და მილიმეტრობით

$$[\gamma]=\left[\frac{l}{\rho}\right]=\frac{\text{მ}}{(\text{ომი მმ}^2)}.$$

რიგი მასალების კუთრი წინაღობების მნიშვნელობები 20°C ტემპერატურის დროს მოცემულია 2-2 ც ხ რ ი ლ შ ი.

დიელექტრიკებში (ელექტროსაიზოლაციო მასალებში) დენს შეუძლია გაიაროს როგორც მის სისქეში, ანუ მასალის მოცულობაში — მ ო ც უ ლ ო ბ ი თ ი დ ე ნ ი — $I_{\text{მოც}}$, ისე დიელექტრიკის ზედაპირზე — ზედაპირული დენი $I_{\text{ზედ}}$; ამასთან დაკავშირებით არსებობს ორი განმარტება: მ ო ც უ ლ ო ბ ი თ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა $r_{\text{მოც}}$ და ზ ე დ ა პ ი რ უ ლ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა $r_{\text{ზედ}}$.

ც ხ რ ი ლ ი 2-2

ზოგიერთი გამტარული ელექტროტექნიკური მასალის პარამეტრები

მასალები	დნობის ტემპერატურა, °C	კუთრი ელექტრული წინაღობა 20°C-ის დროს, მკომ·მ=10^{-6} ომი.მ	წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა (0-დან 100°C-მდე) $°C^{-1}$
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
სპილენძი	1083	0,0175	0,004
ნიქრომი	1360	1,1	0,00015
ფოლადი	1400	0,13—0.25	0,006
ფექრალი (რკინა-ქრომალუმინი)	1450	1,2	0.00005

დიელექტრიკის მოცულობითი დენი გამოითვლება ფორმულით

$$I_{\text{მოც}}=\frac{U}{r_{\text{მოც}}}=\frac{U}{\frac{Pl}{S}}=\frac{US}{\rho l}.$$

კუთრი მოცულობითი წინაღობა $\rho_მ$ რიცხობრივად ტოლია ისეთი დიელექტრიკის წინაღობისა, რომლის კვეთი $S = 1$ მ² და სიგრძე $l = 1$ მ.

ამგვარად, კუთრი მოცულობითი წინაღობის ერთეული, ... ლითიანის, იქნება ომი·მ, რადგან

$$|\rho| = \left[\frac{\rho_მ \cdot S}{l}\right] = \frac{ომი \cdot მ^2}{მ} = ომი \cdot მ.$$

ასევე შეიძლება განვსაზღვროთ ისეთი კუბიკის კუთრი მოცულობითი წინაღობა, რომლის წიბო ტოლია 1 სმ, როცა

$$|\rho| = 1 \ ომი \cdot სმ = 10^{-2} \ ომი \cdot მ.$$

რიგი მასალების ρ კუთრი მოცულობითი წინაღობის მნიშვნელობები მოყვანილია 1-1 ცხრილში.

ზედაპირული დენი

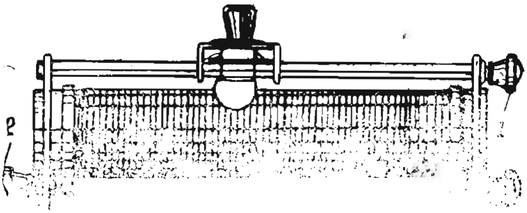
$$I_{ზედ} = \frac{U}{r_{ზედ}} = \frac{U}{\rho_{ზედ} \cdot \frac{l}{d}} = \frac{U \cdot d}{\rho_{ზედ} \cdot l}. \qquad (2\text{-}16)$$

კუთრი ზედაპირული წინაღობა $\rho_{ზედ}$ რიცხობრივად ტოლია ისეთი ზედაპირის წინაღობისა, რომლის სიგანე $d = 1$ მ და სიგრძე $l = 1$ მ. ამგვარად, კუთრი ზედაპირული წინაღობის ერთეული იქნება 1 ომი, რადგან

$$|\rho_{ზედ}| = \left[\frac{r_{ზედ} \cdot d}{l}\right] = ომი \cdot მ/მ = ომი. \qquad (2\text{-}17)$$

მოწყობილობას, რომელიც წრედში ჩაირთვება დენის შეზღუდვის ან რეგულირების მიზნით, ეწოდება რ ე ზ ი ს ტ ო რ ი (ნახ. 2-3), ანუ რ ე ო ს ტ ა ტ ი (ნახ. 2-4). ისინი მზადდებიან მავთულის ან არამავთულისაგან წინაღობის მუდმივი მნიშვნელობით, რომლის რეგულირება შესაძლებელია. ადრე ტერმინი „წინაღობა" გამოყენებული იყო რეზისტორის აღსანიშნავად.

ნახ. 2-3. რეზისტორი.



ნახ. 2-4. რეოსტატი.

სახურებელი ხელსაწყოების, რეოსტატებისა და რეზისტორებისათვის გამოიყენება მაღალი კუთრი წინაღობის მასალა (ცხრ. 2-2), რაც ხშირ-

ლებას გამოიწვევს მოძრავი კონტაქტის მცირე ხიგაძის დროს მივიღოთ საჭირო წინაღობა. მავთული ხვიარის სახით ეხვევა კერამიკის ან სხვა საიზოლაციო მასალისაგან დამზადებულ სალტეებზე. მოძრავი კონტაქტის 1 საშუალებით შეიძლება ცვლადი წინაღობა 1 და 2 კონტაქტებს შორის.

ზოგიერთ ტიპის 5 დამზადებულ რეზისტორებში ლენტამდგარი ნაწილი ნახშირის ფირის სახით, რომელიც საიზოლაციო მასალისაგან დამზადებული ცილინდრის ზედაპირზე დაფენილია.

2-7. წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

გამტარში ტემპერატურის მომატებისას იზრდება თავისუფალი ელექტრონების ატომებთან შეჯახების რიცხვი. შესაბამისად მცირდება ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, რაც საბოლოოდ იწვევს გამტარის წინაღობის გაზრდას.

მეორე მხრივ, ტემპერატურის გადიდებით იზრდება თავისუფალი ელექტრონებისა და იონების რიცხვი გამტარის ერთეულ მოცულობაში, რაც გამტარის წინაღობის შემცირებას იწვევს.

იმის მიხედვით, თუ რომელი ფაქტორი ჭარბობს ტემპერატურის გაზრდის დროს, წინაღობა ან იზრდება (ლითონებში), ან მცირდება (ნახშირში, ელექტროლიტებში), ან რჩება უცვლელი (ლითონების შენადნობებში, მაგალითად, მანგანინი).

ტემპერატურის უმნიშვნელო ცვლილებისას (0—100°C) წინაღობის ფარდობითი ნამატი $\Delta r/r$, რომელიც შეესაბამება 1°C-ით გახურებას და რომელსაც წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი α ეწოდება, უმთავრესად ლითონებისათვის მუდმივი რჩება.

თუ აღვნიშნავთ წინაღობებს r_1-ით და r_2-ით, Θ_1 და Θ_2 ტემპერატურების დროს, მაშინ წინაღობის ფარდობითი ნამატისათვის, როცა ტემპერატურა Θ_1-დან Θ_2-მდე იზრდება

$$\frac{\Delta r}{r_1}=\frac{r_2-r_1}{r_1}=\alpha(\Theta_2-\Theta_1), \tag{2-18}$$

საიდანაც

$$r_2=r_1+r_1\alpha(\Theta_2-\Theta_1)=r_1[1+\alpha(\Theta_2-\Theta_1)]. \tag{2-19}$$

წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტის მნიშვნელობა სხვადასხვა მასალებისათვის მოყვანილია 2-2 ცხრილში.

(2-18) გამოსახულებიდან შეიძლება დავწეროთ

$$\Theta_2=\frac{r_2-r_1}{r_1\alpha}+\Theta_1. \tag{2-20}$$

მიღებული (2-20) ფორმულა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ Θ_2 ტემპერატურა გამტარში (გრაგნილში), თუ გავზომავთ r_2 წინაღობას, როცა მოცემულია ან ცნობილია r_1, Θ_1 და α.

მაგალითი 2-3. განვსაზღვროთ საჰაერო ხაზის სადენების წინაღობა +20°C და —10°C ტემპერატურების დროს, თუ სადენის სიგრძე ტოლია 400 მ, ხოლო სპილენძის სადენების კვეთი $S=10$ მმ$^2=10\cdot10^{-6}$ მ^2.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

ხაზის სადენების წინაღობა +20°C ტემპერატურის დროს

$$r_1=\rho\frac{2l}{S}=0{,}0175\cdot10^{-6}\frac{2\cdot400}{10\cdot10^{-6}}=1{,}4 \text{ ომ}.$$

იმავე სადენების წინაღობა —10°C ტემპერატურის დროს

$$r_2=r_1[1+\alpha(\theta_2-\theta_1)]=1{,}4[1+0{,}004(-30)]=1{,}232 \text{ ომ}.$$

მაგალითი 2-4. ელექტროძრავას სპილენძის გრაგნილის წინაღობა $\theta_1=20$°C ტემპერატურის დროს $r_1=1{,}2$ ომის ტოლია. ერთი საათი მუშაობის შემდეგ მისი წინაღობა $r_2=1{,}4$ ომს. განვსაზღვროთ ტემპერატურა ელექტროძრავას გრაგნილში ერთი საათი მუშაობის შემდეგ.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

$$\theta_2=\frac{r_2-r_1}{\alpha r_1}+\theta_1=\frac{1{,}4-1{,}2}{0{,}004\cdot1{,}2}+20\text{°C}\approx62\text{°C}.$$

2-6. გამტარების მასალები

ელექტროტექნიკური გამტარების მასალები იყოფა ორ ჯგუფად. პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება მასალები მცირე კუთრი წინაღობით. მათ უნდა ჰქონდეთ წინაღობის დაბალი ტემპერატურული კოეფიციენტი, საკმაო მექანიკური სიმტკიცე და კოროზიისადმი მედეგობა.

ს პ ი ლ ე ნ ძ ი ფართოდ გამოიყენება, რადგან მას აქვს მცირე კუთრი წინაღობა (ცხრ. 2-2), საკმაო მექანიკური სიმტკიცე, კარგად მუშავდება და მედეგია კოროზიის მიმართ. ის გამოიყენება მავთულის სახით, სხვადასხვა დანიშნულების სადენებისათვის, სალტის სახით. ელექტროლიტური სპილენძი შეიცავს არაუმეტეს 0,1% მინარევებს.

გარდა სუფთა სპილენძისა, ელექტროტექნიკაში გამოიყენება მისი შენადნობები სხვა ლითონებთან (კადმიუმთან, ბერილიუმთან, თუთიასთან) ბრინჯაოსა და თითბრის სახით.

ა ლ უ მ ი ნ ი. მიუხედავად იმისა, რომ სპილენძთან შედარებით ნაკლები ელექტრული და მექანიკური თვისებები აქვს (ცხრ. 2-2), მაინც ფართოდაა გავრცელებული. სპილენძის სადენების ალუმინით შეცვლისას ერთი და იმავე წინაღობისა და სიგრძისას, მისი კვეთი 60%-ით მეტი აილება, ხოლო მისი მასა 52%-ით ნაკლებია სპილენძისაზე.

ელექტროგადამცემი ხაზებისათვის იყენებენ ალუმინის სადენებს შიგნით ფოლადის მავთულით (ფოლადალუმინის).

ფ ო ლ ა დ ი, მისი მაღალი კუთრი წინაღობის გამო, გამოიყენება მხოლოდ დაბალი სიმძლავრის ხაზებსა და კავშირგაბმულობის ხაზებში.

მეორე ჯგუფის მასალებს (მაღალი კუთრი წინაღობით) მიეკუთვნება შენადნობები: ნიკელი — ქრომი — რკინა (ნიქრომი); რკინა—ქრომი—ალუმინი (ფექრალი) და სხვ. მაღალი ტემპერატურისადმი მედეგობის გამო, მათ იყენებენ სახურებელი ელემენტების, რეოსტატებისა და სხვათა დასამზადებლად.

მ ა ნ გ ა ნ ი ნ ი წარმოადგენს შენადნობს, რომელშიც შედის 86% სპილენძი, 12% მანგანუმი და 2% ნიკელი. წინაღობის დაბალი ტემპერატურული კოეფიციენტისა და მაღალი კუთრი წინაღობის გამო მას იყენებენ გაზომვით ტექნიკაში (სანიმუშო წინაღობები და სხვ.).

ე ლ ე ქ ტ რ ო ტ ე ქ ნ ი კ უ რ ი ნ ა ხ შ ი რ ი ძირითადად შედგება ნახშირბადის ნაირსახეობისაგან — გრაფიტისა და ნახშირისაგან. მას იყენებენ ელექტრული მანქანების მუსებისა, ელექტროდებისა და უმავთულო რეზისტორებისათვის.

2-7. მუშაობა და სიმძლავრე

შეკრულ ელექტრულ წრედში (ნახ. 2-2) კვების წყაროს ემ ძალის ზემოქმედებით ხორციელდება ელექტრული მუხტების უწყვეტი მოძრაობა.

ემ ძალის განსაზღვრიდან (§ 2-2) გამომდინარეობს, რომ მუშაობა, რომელსაც გარე ძალა ხარჯავს Q ელექტრული მუხტის გადასაადგილებლად წყაროს შიგნით, ანუ სხვა სახის ენერგიის ხარჯზე მიღებული ელექტრული ენერგია შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად:

$$A_{\text{წყ}} = W_{\text{წყ}} = EQ = EIt. \qquad (2\text{-}21)$$

ენერგიის მუდმივოდენობის კანონის თანახმად, ენერგიის წყაროს მიერ t დროში გამომუშავებული ელექტრული ენერგია ამავე დროს გარდაიქმნება ენერგიის სხვა სახედ წრედის უბნებზე.

თუ ძაბვა წყაროს მომჭერებზე $U_{\text{АГ}} = U_{\text{БВ}} = U$, მაშინ გარე წრედში დახარჯული ენერგია

$$W = UQ = UIt. \qquad (2\text{-}22)$$

როგორც ვიცით, ენერგიის ნაწილი იხარჯება (იკარგება) წყაროს შიგნით მის გახურებაზე; მაშასადამე,

$$W_0 = W_{\text{წყ}} - W = (E - U)It = U_0 It.$$

როგორც ცნობილია, E წყაროს ემ ძალისა და U ძაბვას შორის სხვაობას ეწოდება შიგა ძაბვის ვარდნა, ე. ი.

$$U_0 = E - U. \tag{2-23}$$

A მუშაობის შეფარდებას t დროსთან, რომლის განმავლობაშიც იგი შესრულებულია, ეწოდება **სიმძლავრე**, ე. ი.

$$P = A/t. \tag{2-24}$$

სიმძლავრე — ეს არის სიჩქარე, რომლითაც სრულდება მუშაობა, ან სიჩქარე, რომლითაც ხდება **ენერგიის გარდაქმნა**.

სიჩქარეს, რომლითაც მექანიკური ან სხვა ენერგია [illegible] წყაროში გარდაიქმნება ელექტრულად, ეწოდება **გენერატორის (წყაროს) სიმძლავრე** და იგი განისაზღვრება ფორმულით

$$P_{წყ} = \frac{EIt}{t} = IE. \tag{2-25}$$

სიჩქარეს, რომლითაც ელექტრული ენერგია წრედის გარე უბანზე გარდაიქმნება სხვა სახის ენერგიად, ეწოდება **მომხმარებლის სიმძლავრე** და განისაზღვრება შემდეგნაირად

$$P = \frac{UIt}{t} = UI. \tag{2-26}$$

სიმძლავრეს, რომელიც განსაზღვრავს ელექტრული ენერგიის არამწარმოებლურ ხარჯს გენერატორში, ეწოდება დანაკარგის სიმძლავრე, ე. ი.

$$P_0 = \frac{W_0}{t} = \frac{U_0 It}{t} = U_0 I. \tag{2-27}$$

ენერგიის შენახვის კანონის თანახმად გენერატორის სიმძლავრე ტოლია მომხმარებლის სიმძლავრისა და გენერატორში სიმძლავრის დანაკარგების ჯამისა.

$$P_{წყ} = P + P_0. \tag{2-28}$$

ერთეულთა $CИ$ სისტემაში სიმძლავრის ერთეულად მიღებულია ვატი (ვტ), რომელიც ტოლია ერთი ჯოულისა ერთ წამში, ანუ სიმძლავრე, რომლის დროს თითოეულ წამში 1 ჯ ელექტრული ენერგია გარდაიქმნება ენერგიის სხვა სახედ, ე. ი.

1 ვტ = 1 ჯ/1 წმ ან 1 ჯ = 1 ვტ · 1 წმ = 1 ვტ·წმ.

(2-26) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავწეროთ

$$[P] = [U \cdot I] = ვ \cdot ა.$$

მაშასადამე, 1 ვტ = 1 ვ · 1 ა, ანუ ვატი — ეს არის სიმძლავრე, როცა დენის ძალაა 1 ა და ძაბვა 1 ვ.

მაგალითი 2-5. ელექტროძრავა, რომლის სიმძლავრე 10 კვტ-ია, ჩართულია 220 ვ ძაბვის ქსელში. განვსაზღვროთ ელექტროძრავის დენის ძალა.

ამოხსნა.

სიმძლავრე $P=UI$,

საიდანაც დენის ძალა $I=\frac{P}{U}=\frac{10000}{220}=45,4$ ა.

მაგალითი 2-6. ელექტრული ხელსაწყოს წრედში, რომელიც ჩართულია 220 ვ ძაბვაზე, დენის ძალა ტოლია 5 ა. განვსაზღვროთ ხელსაწყოს სიმძლავრე და ენერგიის ღირებულება, რომელსაც მოიხმარს ხელსაწყო 4 საათის განმავლობაში, თუ 1 კვტ. სთ ელექტროენერგიის ღირებულებაა 4 კაპ.

ამოხსნა.

ხელსაწყოს სიმძლავრე

$P=UI=220\cdot5=1100$ ვტ $=1,1$ კვტ.

ხელსაწყოს მიერ დახარჯული ელექტროენერგია

$$W=P\cdot t=1100\cdot4=4400 \text{ ვტ·სთ}=4,4 \text{ კვტ·სთ},$$

ხოლო მისი ღირებულება

$$4\cdot4,4=17,6 \text{ კაპ.}$$

[illegible] ელექტრული ენერგიის გარდაქმნა სითბურ ენერგიად

დენის გავლისას ერთ r წინაღობის გამტარში ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკები ეჯახება გამტარის ატომებს და მოლეკულებს. ამ დროს ნივთიერების ნაწილაკების განუწყვეტელი მოძრაობა იზრდება და მატულობს, რაც იწვევს გამტარის გახურებას.

ელექტრული ენერგიის სიმძლავრე, გამოყოფილი გამტარში სითბოს სახით, რომელიც ტოლია სიმძლავრით

$$P=UI;$$

მხედველობაში გვაქვს, რომ $U=Ir$, მივიღებთ

$$P=Ir\cdot I=I^2r \text{ ან } P=U^2/r. \qquad (2\text{-}29)$$

ელექტრული ენერგიის რაოდენობა, რომელიც სითბოდ გარდაიქმნება t დროში

$$W=Pt=I^2rt,$$

რადგან $CИ$ სისტემაში ენერგიისა და სითბოს რაოდენობის ერთეული ჯოულია, დენის მიერ r წინაღობაში გამოყოფილი სითბო

$$Q=I^2rt. \qquad (2\text{-}30)$$

მიღებულ დამოკიდებულებას, რომელიც ცდებით იყო დადგენილი 1844 წელს რუსი აკადემიკოსის ე. ლენცისა და მასთან ერთდროულად ინგლი-

სული მეცნიერის ჯოულის მიერ, ეწოდება ჯოულ-ლენცის კანონი, რაც შემდეგნაირად გამოითქმის: დენის მიერ გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა პროპორციულია დენის ძალის კვადრატისა, გამტარის წინაღობისა და დენის დინების დროისა.

ე. ხ. ლენცი (1804—1865).

ელექტრული ენერგიის სითბოდ გარდაქმნას ელექტრულ ღუმლებსა და სხვადასხვა სახურებელ ხელსაწყოებში სასარგებლო გამოყენება აქვს, ხოლო ელექტრულ მანქანებსა და აპარატებში ელექტრული ენერგიის სითბოდ გარდაქმნა ენერგიის არამწარმოებლური ხარჯვაა, ანუ უბრალოდ ენერგიის დანაკარგია, რაც ამცირებს მქ კოეფიციენტს. სითბო, რომელიც ამ მოწყობილობათა გახურებას იწვევს, ზღუდავს მათს დატვირთვას; გადატვირთვისას ტემპერატურის მომატებას შეუძლია დააზიანოს იზოლაცია ან შეამციროს დანადგარის სამსახურის ვადა.

მაგალითი 2-7. განვსაზღვროთ ხელსაწყოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა 1 სთ განმავლობაში, როცა ხელსაწყოს წინაღობა $r=88$ ომს და ძაბვა მის მომჭერებზე $U=$ $=220$ ვ.

ამოხსნა.

დენის ძალა, როგორც ვიცით,

$$I=\frac{U}{r}=\frac{220}{88}=2,5 \text{ ა.}$$

ხელსაწყოში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა

$$Q=I^2rt=2,5^2 \cdot 88 \cdot 1 \cdot 3600=1980000 \text{ ჯ}=1,98 \text{ მჯ.}$$

2-8. სადენების ელექტრული დატვირთვა და მათი დაცვა გადატვირთვისაგან

დენის მიერ გამტარის გახურების დასაწყისში, რადგან გამტარისა და გარემომცველი გარემოს ტემპერატურა ერთნაირია, დენის მიერ გამოყოფილი სითბო იხარჯება გამტარის გახურებაზე და მისი ტემპერატურაც სწრაფად იზრდება. გამტარის ტემპერატურის გადიდებასთან ერთად იზრდება სითბოს გადაცემა გარემომცველ გარემოში, რადგან გამტარისა და გარემოს ტემპერატურებს შორის სხვაობა თანდათან იზრდება. ამის შემდეგ გამტარის ტემპერატურის ზრდა ნელდება. ბოლოსდაბოლოს, რადაც

ტემპერატურის დროს მყარდება წონასწორობა დენის მიერ გამოყოფილ სითბოსა და გარემომცველ გარემოზე გადაცემულ სითბოს შორის. ასეთ ტემპერატურას დამყარებულ ტემპერატურას უწოდებენ. სხვადასხვა მოწყობილობისათვის დამყარებულ ტემპერატურამდე გათბობის დრო სხვადასხვაა; ვარვარების ნათურის ძაფი ამ ტემპერატურას აღწევს რაღაც წამის ნაწილში, ელექტრული მანქანა — რამდენიმე საათში.

გამტარების გახურება დასაშვებია განსაზღვრულ ტემპერატურამდე (65 — 80°C), რომელიც განსაზღვრულია იზოლაციის ან თვით გამტარის თვისებებით.

დენს, რომლის დროსაც მიიღწევა დამყარებული მაქსიმალურად დასაშვები ტემპერატურა, გამტარის დასაშვები დენი ეწოდება (ცხრ. 2-3).

ც ხ რ ი ლ ი 2-3

დასაშვები დატვირთვები იზოლირებული სადენებისათვის

სადენის განივკვეთი, მმ²	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
დასაშვები დენი, ა . . .	11/—	15/—	17/—	23/—	30/24	40/32	50/39	80/55	100/80	140/105	170/130	215/165

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: მრიცხველი — დატვირთვები სპილენძის სადენებისათვის.
მნიშვნელი — ალუმინის სადენებისათვის.

სადენის კვეთის განსაზღვრა მათი დასაშვები გახურების მიხედვით ხდება ზემოთ მოყვანილი ცხრილის მიხედვით, სადაც იზოლირებული სადენების სტანდარტული კვეთისათვის მოცემულია ზღვრული ხანგრძლივად დასაშვები დენი $I_{დას}$. ისეთი კვეთის სადენი შეირჩევა, რომ მისი დასაშვები დენი ტოლი იყოს მოცემულზე ან ს ა ა ნ გ ა რ ი შ ო დ ე ნ ზ ე რამდენადმე მეტი, ე. ი.

$$I_{დას} \geq I_{საანგ}.$$

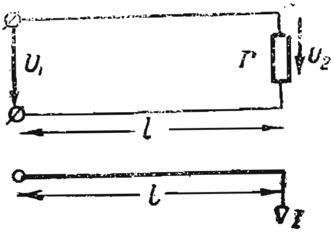
მ ო კ ლ ე შ ე რ თ ვ ა ეწოდება ორი სხვადასხვა პოტენციალის მქონე სადენის შეერთებას უმნიშვნელოდ მცირე წინაღობის სადენით. მოკლედ შერთვის დენს, რომელიც რამდენიმე ათეულჯერ აღემატება დანადგარის ნომინალურ დენს, შეუძლია გამოიწვიოს მისი ცალკეული ნაწილების მექანიკური ან თბური დაზიანება.

ელექტრული წრედის უბნების დაცვა გადატვირთვის დენების ან მოკლედ შერთვისაგან ხდება მდნობადი მცველებით (§ 11-10) ან რელეებით (§ 11-13).

მცველის დნობადი ჩადგმები შედგება მავთულის ნაჭრისაგან, რომელიც განსაზღვრული გადატვირთვის დენის დროს დნება და წყვეტს დენის წრედს.

მოკლე სადენებით ელექტრული ენერგიის გადაცემის დროს, მათი წინაღობა შეიძლება უგულებელვყოთ, ხოლო გრძელი სიგრძეების შემთხვევაში ($l > 10$ მ) სადენების წინაღობის უგულებელყოფა არ შეიძლება, რადგან ელექტრული დენი მათში გამოიწვევს ძაბვის შესამჩნევ ვარდნას

$$\Delta U = Ir = I\frac{2l}{\gamma S}. \qquad (2\text{-}31)$$



ნახ. 2-5. ორსადენიანი ხაზი დატვირთვით ბოლოში.

ხაზის სათავისა და ბოლოს ძაბვათა სხვაობას (ნახ. 2-5) $U_1 - U_2$, რომელიც ტოლია სადენებში ძაბვის ვარდნისა, ეწოდება ძაბვის დანაკარგები და გამოისახება ფორმულით

$$U_1 - U_2 = \Delta U = Ir. \qquad (2\text{-}32)$$

უქმი სვლის დროს ხაზის ბოლოში ძაბვა ხაზის ბოლოში არ იცვლება, ე. ი. დენის ნულზე ტოლობისას $U'_2 = U_1$-ია, ხოლო $I \neq 0$, $U''_2 = U_1 - \Delta U$-მდე დატვირთვის დროს.

ძაბვის მერყეობა განათებაში არ უნდა აღემატებოდეს ნომინალური მნიშვნელობის — 2,5, +5%, ხოლო ძალოვანი დანადგარებისათვის ±5 და ზოგჯერ +10%. ამიტომ ძაბვის დანაკარგი ხაზში არ უნდა აღემატებოდეს მოყვანილ მნიშვნელობებს.

მოცემული ძაბვის დანაკარგის დროს, თუ გამოვიყენებთ (2-31) ფორმულას, შეიძლება განვსაზღვროთ ხაზის სადენების საჭირო კვეთი

$$S = \frac{2Il}{\gamma \Delta U}. \qquad (2\text{-}33)$$

ამ ფორმულით ნაპოვნი კვეთი, რომელიც უნდა დავამრგვალოთ უახლოეს მეტობით სტანდარტულამდე, უნდა შემოწმდეს სადენის დასაშვებ გახურებაზე (ცხრ. 2-3).

სიმძლავრის დანაკარგები ხაზში განისაზღვრება ძაბვის დანაკარგებისა და დენის ნამრავლით, ე. ი.

$$\Delta P = I\Delta U = I^2 r,$$

ხოლო ხაზის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

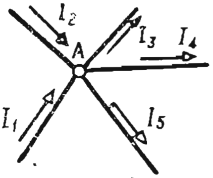
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1}.$$

რომელიც დატვირთვის გაზრდისას მცირდება.

როცა ძაბვის დანაკარგები 2—5%-ია, მაშინ ხაზის მქ კოეფიციენტი 98—95%-ს შეადგენს.

2-11. კირხჰოფის პირველი კანონი

ელექტრული წრედის წერტილს, სადაც თავს იყრის სამი ან მეტი სადენი, საკვანძო ან განშტოების წერტილი ეწოდება (ნახ. 2-6).



ნახ. 2-6. ელექტრული წრედის ერთ-ერთი კვანძი.

მუდმივი დენის დროს წრედში, მის არც ერთ წერტილში არ შეიძლება ელექტრული მუხტების დაგროვება, რადგან ეს გამოიწვევდა წრედის წერტილების პოტენციალთა შეცვლას. ამრიგად, წრედის ნებისმიერ კვანძში შემოსული ელექტრული მუხტები რაიმე ერთეულ დროში ტოლი უნდა იყოს ამ კვანძიდან გამავალი ელექტრული მუხტებისა იმავე დროში. ამ მდგომარეობას გამოსახავს კირხჰოფის პირველი კანონი, რომელიც შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს: კვანძში შემოსული დენების ჯამი კვანძიდან გამოსული დენების ჯამის ტოლია.

მაგალითად, A კვანძისათვის (ნახ. 2-6) შეიძლება დავწეროთ

$$I_1+I_2=I_3+I_4+I_5,$$

ან, თუ ამ ტოლობას მივცემთ სხვა სახეს, მივიღებთ

$$I_1+I_2+(-I_3)+(-I_4)+(-I_5)=0,$$

ხოლო ზოგადი სახით შეიძლება დავწეროთ შემდეგნაირად

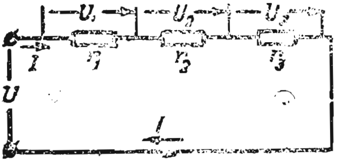
$$\Sigma I=0, \qquad (2\text{-}34)$$

ე. ი. დენების ალგებრული ჯამი კვანძში ნულის ტოლია. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ დროს დენები, რომლებიც კვანძიდან გამოდიან, უარყოფითად ითვლებიან.

2-12. რეზისტორების — ენერგიის მიმღებთა თანამიმდევრული შეერთება

რეზისტორების — ენერგიის მიმღებთა თანამიმდევრული შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, როდესაც ელექტრომიმღებები შეერთებულია ერთმანეთის მიყოლებით განშტოების გარეშე (ნახ. 2-7) და კვების წყაროდან მათში გადის ერთი და იგივე დენი.

ენერგია, რომელიც იხარჯება ერთეული მუხტის გადასატანად მთლიან წრედში ტოლია იმ ენერგიათა ჯამისა, რომელიც იხარჯება ამავე მუხტის გადასატანად წრედის ყველა უბანზე. სხვა სიტყვებით: ძაბვა წრედის [illegible]



ნახ. 2-7. [illegible]

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \ldots$$

[illegible]

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I}.$$

[illegible]

$$U_1 = Ir_1; \quad U_2 = \ldots; \quad U_3 = \ldots$$

ამიტომ

$$U_1 : U_2 : U_3 = r_1 : r_2 : r_3 \ldots$$

ანუ სხვანაირად, [illegible]

ამოხსნა.

წრედის ეკვივალენტური წინაღობა $r=r_1+r_2$. როცა $r'_2=0$ დენის ძალა წრედში

$$I'=\frac{U}{(r_1+r'_2)}=\frac{120}{(24+0)}=5\ ა.$$

ხოლო, როცა $r_2''=96$ ომს, დენის ძალა წრედში

$$I''=\frac{U}{(r_1+r''_2)}=\frac{120}{(24+96)}=1\ ა.$$

2-14. რეზისტორების — მიმღების [illegible] პარალელური შეერთება

[illegible] (ნახ. 2-[illegible]) [illegible] ... [illegible]

ნახ. 2-[illegible]. რეზისტორების პა-რალელური შეერთება.

[illegible]

$$U=U_1=U_2=U_3 \qquad (2\text{-}37)$$

[illegible] დენის ძალის განსაზღვრავთ [illegible]

$$I_1=\frac{U_1}{r_1}=Ug_1;\quad I_2=\frac{U_2}{r_2}=Ug_2;\quad I_3=\frac{U_3}{r_3}=Ug_3 \qquad (2\text{-}38)$$

[illegible]

$$I_1:I_2:I_3=\frac{1}{r_1}:\frac{1}{r_2}:\frac{1}{r_3}=g_1:g_2:g_3 \qquad (2\text{-}39)$$

ე. ი. დენები პარალელურ შტოებში [illegible] ბიან ამ შტოების წინაღობისა [illegible] პორციულად ან მათი გამტარობის [illegible] ციულად.

[illegible] წინაღობით [illegible] და ΣI განშტოებაში დენის [illegible] ძალით. [illegible]

$$I=\frac{U}{r}=\frac{U}{r_1+r_2+r_n},$$

ხოლო ეკვივალენტური გამტარობა

$$\frac{1}{r}=\frac{I_1+I_2+I_3}{U}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}=g_1+g_2+g_3. \qquad (2\text{-}40)$$

მიღებული ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ პარალელურად შეერთებული რეზისტორების ეკვივალენტური გამტარობა ტოლია ყველა პარალელური შტოების გამტარობათა ჯამისა.

თუ გარდავქმნით (2-40) ფორმულას, შეგვიძლია მივიღოთ განშტოებული წრედის ეკვივალენტური წინაღობის გამოსახულება.

მაგალითად, სამი რეზისტორისათვის

$$\frac{1}{r}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}=\frac{r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3}{r_1r_2r_3},$$

საიდანაც

$$r=\frac{r_1r_2r_3}{r_1r_2+r_1r_3+r_2r_3}. \qquad (2\text{-}41)$$

თუ შტოების წინაღობები ტოლია, მაშინ

$$r=\frac{r_1^3}{3r_1^2}=\frac{r_1}{3}.$$

ზოგად შემთხვევაში, თუ შტოების რაოდენობაა n, ხოლო რეზისტორის წინაღობა r_1 ყველგან ერთნაირია, მაშინ განშტოების ეკვივალენტური წინაღობა

$$r=r_1/n. \qquad (2\text{-}42)$$

ეკვივალენტური წინაღობა პარალელურად შეერთებული ორი რეზისტორისათვის, (2-40)-ის თანახმად,

$$r=\frac{r_1r_2}{r_1+r_2}. \qquad (2\text{-}43)$$

ელექტრული ენერგიის მიმღებებს — ელექტროძრავებს, ვარვარების ნათურებს, სახურებელ ხელსაწყოებს, რომლებმაც უნდა იმუშაონ მუდმივ ნომინალურ ძაბვაზე, ერთმანეთთან აერთებენ მხოლოდ პარალელურად.

მაგალითი 2-9. 220 ვ ძაბვის მქონე წრედში ჩართულია: ელექტროძრავა 5.5 კვტ სიმძლავრით და 11 ვარვარების ნათურა, თითოეული სიმძლავრით 100 ვტ. განვსაზღვროთ დენი მიმყვან სადენებში.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

ძრავას დენი

$$I_1=\frac{P_1}{U}=\frac{5500}{220}=25 \text{ ა}.$$

დენი, რომელსაც ხარჯავს ვარვარების ყველა ნათურა ერთად

$$I_2=\frac{P_2}{U}=\frac{100\cdot 11}{220}=5 \text{ ა}.$$

დენი მიმყვან სადენებში

$$I=I_1+I_2=25+5=30 \text{ ა}.$$

მაგალითი 2-10. განვსაზღვროთ ეკვივალენტური წინაღობა პარალელურად ჩართული 10 ვარვარების ნათურისათვის, თუ ნათურის ნომინალური სიმძლავრე 200 ვტ და ნომინალური ძაბვა 220 ვ.

ამოხსნა.

ერთი ნათურის წინაღობა

$$r_ნ=\frac{U_ნ^2}{P_ნ}=\frac{220^2}{200}=242 \text{ ომ}.$$

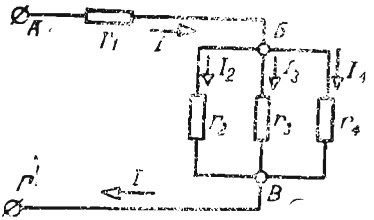
ეკვივალენტური წინაღობა 10 ნათურისათვის

$$r=\frac{r_ნ}{n}=\frac{242}{10}=24,2 \text{ ომ}.$$

2-14. რეზისტორების შერეული შეერთება

შერეული შეერთება ეწოდება რეზისტორების ან წრედის უბნების თანამიმდევრულ-პარალელურ შეერთებას.

შერეული შეერთების ყველაზე უფრო ტიპურ მაგალითს წარმოადგენს, როცა პარალელურად შეერთებული რამდენიმე ენერგიის მიმღები მიერთებულია თანამიმდევრულობით მიმყვან სადენში ჩართულ წინაღობასთან (ნახ. 2-9). ასეთი წრედის გაანგარიშება, როცა ცნობილია ძაბვა მომჭერებზე და უბნების წინაღობები, მდგომარეობს იმაში, რომ ვიპოვოთ დენი და ძაბვა წრედის თითოეულ უბანზე. 2-9 ნახაზზე წარმოდგენილი წრედი შედგება ორი თანამიმდევრულად შეერთებული უბნისაგან: $БВ$ უბნისაგან, რომელიც სამი პარალელური შტოსაგან შედგება და $АБ$ უბნისაგან r_1 წინაღობით.



ნახ. 2-9. რეზისტორების შერეული შეერთება.

განშტოებული უბნის გამტარობა

$$g_{БВ}=\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}+\frac{1}{r_4},$$

ხოლო მისი წინაღობა

$$r_{БВ}=\frac{1}{g_{ГВ}}.$$

მთელი წრედის ეკვივალენტური წინაღობა

$$r = r_{АБ} + r_{БВ} = r_1 + r_{БВ}.$$

ომის კანონის თანახმად, წრედის დენი

$$I = \frac{U}{r} = \frac{U}{r_1 + r_{БВ}}.$$

ძაბვები $АБ$ და $БВ$ უბნებზე

$$U_{АБ} = U_1 = Ir_1 \text{ და } U_{БВ} = Ir_{БВ}.$$

დენები პარალელურ შტოებში

$$I_2 = \frac{U_{БВ}}{r_2}; \quad I_3 = \frac{U_{БВ}}{r_3}; \quad I_4 = \frac{U_{БВ}}{r_4}.$$

მაგალითი 2-11. განვსაზღვროთ წრედის ყველა უბნის დენები და ძაბვები (ნახ. 2-9), თუ ვიცით, რომ: $U=240$ ვ; $r_1=2,12$ ომს; $r_2=20$ ომს; $r_3=10$ ომს; $r_4=50$ ომს.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

$БВ$ განშტოებული უბნის გამტარობა

$$g_{БВ} = \frac{1}{r_{БВ}} = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} + \frac{1}{50} = 0,17 \text{ სმ}.$$

განშტოებული უბნის წინაღობა

$$r_{БВ} = \frac{1}{g_{БВ}} = \frac{1}{0,17} = 5,88 \text{ ომს}.$$

მთლიანი წრედის ეკვივალენტური წინაღობა

$$r = r_1 + r_{БВ} = 2,12 + 5,88 = 8 \text{ ომს}.$$

წრედის დენი

$$I = \frac{U}{r} = \frac{240}{8} = 30 \text{ ა}.$$

ძაბვა პირველ წინაღობაზე

$$U_1 = Ir_1 = 30 \cdot 2,12 = 63,6 \text{ ვ}.$$

ძაბვა წრედის განშტოებულ უბანზე

$$U_{БВ} = Ir_{БВ} = 30 \cdot 5,88 = 176,4 \text{ ვ}.$$

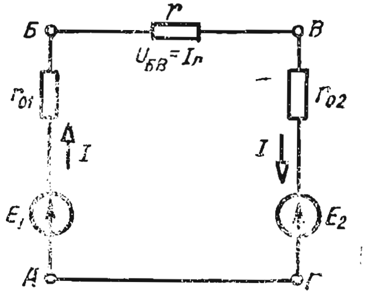
დენები წრედის განშტოებული უბნის პარალელურ შტოებში

$$I_2 = \frac{U_{БВ}}{r_2} = \frac{176,4}{20} = 8,82 \text{ ა}; \quad I_3 = \frac{U_{БВ}}{r_3} = \frac{176,4}{10} = 17,64 \text{ ა}.$$

$$I_4 = \frac{U_{БВ}}{r_4} = \frac{176,4}{50} = 3,53 \text{ ა}.$$

2-11. კვების წყაროს მუშაობის ორი რეჟიმი

2-10 ნახაზზე ნაჩვენებია წრედი ორი კვების წყაროთი, რომელთა შიგა წინაღობებია r_{01} და r_{02}. ასეთი წრედის დენი შეიძლება განვსაზღვროთ ზედდებების მეთოდით, როგორც ალგებრული ჯამი, რომლებსაც თითოეული წყარო ქმნის. დავუშვათ, რომ პირველი წყაროს ემ ძალა $E_1 \neq 0$, ხოლო მეორისა $E_2 = 0$. შემდეგ, პირიქით, $E_1 = 0$, ხოლო $E_2 \neq 0$.



ნახ. 2-10. წრედი კვების ორი წყაროთი.

პირველ შემთხვევაში წრედის დენი, რომელიც მიმართულებით ემთხვევა E_1 ემ ძალას, შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად

$$I_1 = \frac{E_1}{r_{01}+r_{02}+r}.$$

მეორე შემთხვევაში როცა დენი მიმართულებით ემთხვევა E_2 ემ ძალას

$$I_2 = \frac{E_2}{r_{01}+r_{02}+r}.$$

ემ ძალების ერთდროული მოქმედების დროს, ე. ი. როცა $E_1 \neq 0$ და $E_2 \neq 0$, წრედის დენს ვპოულობთ I_1 და I_2 დენების შეკრებით (დენების შეკრების მეთოდით), ე. ი.

$$I = I_1 + I_2 = \frac{E_1+E_2}{r_{01}+r_{02}+r}. \tag{2-44}$$

თუ E_1 და E_2 ემ ძალების მიმართულება კონტურის შიგნით ერთი და იგივეა, მაშინ I_1 და I_2 დენების მიმართულებაც ერთი და იგივე იქნება.

თუ E_1 და E_2 ემ ძალების მიმართულება ერთმანეთის საწინააღმდეგოა (ნახ. 2-10), მაშინ წრედის მთლიანი დენი ტოლი იქნება დენების სხვაობისა

$$I = I_1 - I_2 = \frac{E_1 - E_2}{r_{01}+r_{02}+r}, \tag{2-45}$$

ე. ი. ის აღიძვრება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა $E_1 \neq E_2$, ხოლო დენის მიმართულება დაემთხვევა უდიდესი ემ ძალის მიმართულებას. დავუშვათ, რომ $E_1 > E_2$, მაშინ I დენის მიმართულება დაემთხვევა E_1-ის მიმართულებას და საწინააღმდეგოდ იქნება მიმართული E_2-სადმი. E_2 ელექტრომამოძრავებელ ძალას, რომელიც მიმართულია დენის საწინააღმდეგოდ, შემხვედრი, ანუ უკუელექტრომამოძრავებელი ძალა ეწოდება.

ნება სითბოდ, რომლის სიმძლავრე

$$P_{БВ} = I^2 r,$$

ხოლო ძაბვის ვარდნა ამ უბანზე

$$U_{БВ} = \frac{P_{БВ}}{I} = Ir.$$

ВГ უბანზე, გარდა $I^2 r_{02}$ თბური სიმძლავრისა, ვითარდება კიდევ $E_2 I$ სიმძლავრე, რომელიც გარდაიქმნება ქიმიურ ან მექანიკურ ენერგიად, იმის მიხედვით, თუ როგორია წყაროს მოწყობილობა (აკუმულატორი, თუ ელექტრული მანქანა), რადგან ელექტრული ძალები ასრულებს მუშაობას უკუელექტრომამოძრავებელი ძალის გადალახვის დროს. ამგვარად, წყარო E_2 უკუელექტრომამოძრავებელი ძალით წარმოადგენს ელექტრული ენერგიის მიმღებს.

ВГ უბანზე განვითარებული სიმძლავრე

$$P_{ВГ} = E_2 I + I^2 r_{02},$$

ხოლო ძაბვა მის მომჭერებზე

$$U_{ВГ} = \frac{P_{ВГ}}{I} = E_2 + I r_{02}. \qquad (2\text{-}46,\ ა)$$

მაშასადამე, ძაბვა წყაროს მომჭერებზე, რომლებიც მომხმარებლის რეჟიმით მუშაობს, ემ ძალისა და შიგა ძაბვის ვარდნის ჯამის ტოლია. *БА* უბანზე E_1 ემ ძალა მიმართულებით ემთხვევა I დენის მიმართულებას, ე. ი. წყარო E_1 ემ ძალით (აკუმულატორი, თუ ელექტრული მანქანა) მუშაობს გენერატორის რეჟიმით. ამიტომ მისი ემ ძალა მომჭერებზე არსებული ძაბვისა და შიგა ძაბვის ვარდნის ჯამის ტოლია (2-8)

$$E_1 = U_{БА} + U_0 = U_{БА} + I r_{01},$$

ხოლო ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე

$$U_{БА} = E_1 - I r_{01}. \qquad (2\text{-}46,\ ბ)$$

ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარეობს, რომ ძაბვა წყაროს მომჭერებზე, რომლებიც გენერატორის რეჟიმით მუშაობს (რომელიც აძლევს ენერგიას) ემ ძალისა და შიგა ძაბვის ვარდნის სხვაობის ტოლია.

გენერატორის რეჟიმზე მომუშავე წყაროს მიერ განვითარებული სიმძლავრე (2-25) ფორმულის ტოლია.

$$E_1 I = U_{БА} I + U_0 I = U_{БА} I + I^2 r_{01}.$$

კვების წყაროს შეუძლია იმუშაოს როგორც გენერატორის, ისე ელექტრული ენერგიის მომხმარებლის რეჟიმით. პირველ შემთხვევაში მისი ძაბვა ემ ძალაზე ნაკლებია ($U<E$), ხოლო დენისა და ემ ძალის მიმართულებები — თანამთხვეული. მეორე შემთხვევაში მისი ძაბვა ემ ძალაზე ($U>E$) მეტია, ხოლო დენსა და ემ ძალას ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებები აქვს.

2-16. კირხჰოფის მეორე კანონი

ელექტროწრედის შტო — ეს არის მისი უბანი ორ კვანძს შორის. შეკრულ გზას, რომელიც რამდენიმე შტოში გადის, *ელექტრული წრედის კონტური* ეწოდება.

ზოგად შემთხვევაში ელექტრული წრედი შეიძლება შეიქმნას კვების რამდენიმე წყაროთი და რეზისტორით, რომლებიც შეერთებულია ნებისმიერი ხერხით, მაგალითად ისე, როგორც მოყვანილია 2-1 ნახაზზე.

დავუშვათ რომ ორივე წყარო მუშაობს გენერატორის რეჟიმით, ე. ი. დენების მიმართულება ემთხვევა ემ ძალების მიმართულებას. მაშინ ერთი და იგივე ძაბვა $БА$ ან $ЖЭ$ წერტილებს შორის განისაზღვრება (2-46) ფორმულით

$$U_{БА}=E_1-I_1r_1; \quad U_{БА}=E_2-I_2r_2,$$

აქ r_1 და r_2 წინაღობებში შედის წყაროების შიგა r_{01} და r_{02} წინაღობებიც.

თუ ამ ფორმულებს შევადარებთ, ვიპოვით, რომ $АБВГДА$ შეკრული კონტურისათვის მართებულია ტოლობა

$$E_1-I_1r_1=E_2-I_2r_2,$$

საიდანაც

$$E_1-E_2=I_1r_1-I_2r_2$$

ან ზოგადად

$$\Sigma E=\Sigma(Ir). \qquad (2\text{-}47)$$

ეს ტოლობა გამოსახავს კირხჰოფის მეორე კანონს, რომელიც შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

ელექტრული წრედის ყოველგვარ ჩაკეტილ კონტურში E ემ ძალების ალგებრული ჯამი ტოლია ძაბვათა ვარდნების Ir ჯამისა ამ კონტურის ცალკეულ წინაღობებში.

ამ კანონით განტოლებების შედგენის დროს („+“) ნიშნით ჩაიწერება ის E ემ ძალები, რომელთა მიმართულება ემთხვევა კონტურის შემოვლის პირობითად შერჩეულ მიმართულებას; („—“) ნიშნით კი — ის ემ ძალები,

რომელთა მიმართულება შერჩეული შემოვლის მიმართულების საწინააღმდეგოა.

ძაბვის ვარდნები Ir ჩაიწერება („+“) ნიშნით, თუ შემოვლის მიმართულება ემთხვევა r წინაღობაში გამავალი I დენის მიმართულებას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ძაბვის ვარდნა ჩაიწერება („—“) ნიშნით.

მაგალითად, $АБВГА$ კონტურისათვის (ნახ. 2-10), თუ მას შემოვუვლით საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, შეგვიძლია დავწეროთ

$$E_1+(-E_2)=Ir_{01}+Ir+Ir_{02},$$

რაც ეთანხმება § 2-15-ში ნათქვამს.

2-17. რთული წრედების გაანგარიშება

რთულ ელექტრულ წრედს უწოდებენ წრედს რამდენიმე შეკრული კონტურით, სადაც ნებისმიერადაა განლაგებული კვების წყაროები და მომხმარებლები, რომლებიც არ შეესაბამებიან არც თანმიმდევრულ და არც პარალელურ შეერთებებს.

წრედების გასაანგარიშებლად ომის კანონთან ერთად ძირითადად ითვლება კირხჰოფის ორი კანონიც, რომელთა საშუალებით შეიძლება ვიპოვოთ დენებისა და ძაბვების განაწილება ნებისმიერი რთული წრედის ყოველ უბანზე.

§ 2-15-ში გავეცანით რთული წრედების გაანგარიშების ერთ მეთოდს — დენების შეკრების მეთოდს. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ დენი ნებისმიერ შტოში წარმოადგენს იმ დენების ალგებრულ ჯამს, რომლებიც შეიქმნებიან მათში წრედის ემ ძალისაგან ცალ-ცალკე.

განვიხილოთ რთული წრედის გაანგარიშება კვანძურ და კონტურულ განტოლებათა მეთოდით, ანუ როგორც მას უწოდებენ კირხჰოფის კანონებით.

იმისათვის, რომ ვიპოვოთ დენები წრედის ყოველ შტოში, საჭიროა ვიცოდეთ ამ შტოების წინაღობები და ყველა ემ ძალის სიდიდე და მიმართულება.

სანამ განტოლებებს შევადგენდეთ კირხჰოფის კანონების მიხედვით, საჭიროა პირობითად დავადგინოთ დენის მიმართულება შტოებში და ვუჩვენოთ ის სქემაზე ისრებით. თუ დენის შერჩეული მიმართულება რომელიმე შტოში ნამდვილი მიმართულების საწინააღმდეგოა, მაშინ განტოლების ამოხსნის შემდეგ ეს დენი მიიღება მინუს (—) ნიშნით.

განტოლებათა რიცხვი ტოლია უცნობი დენების რიცხვისა. ამ დროს, კირხჰოფის პირველი კანონის თანახმად, შედგენილი განტოლებების რიცხვი ერთით ნაკლები უნდა იყოს წრედის კვანძების რიცხვზე, ხოლო დანარჩენი განტოლებები შედგენილი უნდა იქნეს კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად.

განტოლებების კირხჰოფის მეორე კანონით შედგენისას უნდა ავირჩიოთ შეიძლება მარტივი კონტურები, მაგრამ იმ პირობით, რომ თითოეული მათგანი უნდა შეიცავდეს ერთ შტოს მაინც, რომელიც არ შედის აქამდე შედგენილ კონტურებში.

რთული წრედის გაანგარიშება კირხჰოფის ორი განტოლების გამოყენებით განვიხილოთ შემდეგ მაგალითზე.

მაგალითი 2-12. განსაზღვრეთ დენები წრედის ყველა შტოში (ნახ. 2-11), თუ წყაროთა ემ ძალებია $E_1=246$ ვ; $E_2=230$ ვ, ხოლო შტოთა წინაღობები $r_1=0,3$ ომი; $r_2=1$ ომი; $r_3=24$ ომი. წყაროთა შიგა წინაღობებს მხედველობაში არ ვღებულობთ.

დენების მიმართულებები შტოებში ნაჩვენებია 2-11 ნახაზზე.

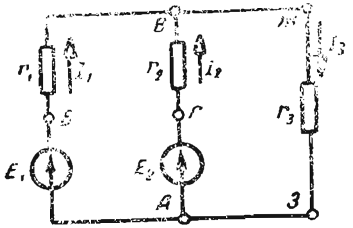
ამოხსნა.

რადგან უცნობი დენების რიცხვი სამია, საჭიროა შევადგინოთ სამი განტოლება.

წრედში ორი კვანძის შემთხვევაში, საჭიროა ერთი საკვანძო განტოლება. დავწეროთ ეს განტოლება B წერტილისათვის

$$I_1+I_2-I_3=0. \qquad (2\text{-}48)$$

მეორე განტოლებას შევადგენთ $АБВЖЗА$ კონტურის შემოვლით საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით



ნახ. 2-11. რთული ელექტრული წრედი კვების ორი წყაროთი.

$$E_1=I_1r_1+I_3r_3. \qquad (2\text{-}49)$$

მესამე განტოლებას შევადგენთ $АГВЖЗА$ კონტურის შემოვლით საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით

$$E_2=I_2r_2+I_3r_3. \qquad (2\text{-}50)$$

თუ (2-49) და (2-50) განტოლებებში შევიტანთ რიცხობრივ მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$246=0,3I_1+24I_3; \qquad (2\text{-}51)$$

$$230=1I_2+24I_3. \qquad (2\text{-}52)$$

თუ უკანასკნელ განტოლებაში I_2 დენს შევცვლით მისი მნიშვნელობით (2-48) გამოსახულებიდან, მივიღებთ

$$230=1I_3-1I_1+24I_3=-I_1+25I_3. \qquad (2\text{-}52,\ ა)$$

ახლა (2-52, ა) განტოლება გავამრავლოთ 0,3-ზე და შევკრიბოთ (2-51) განტოლებასთან, მივიღებთ

$$\begin{array}{r} 69=-0,3I_1+7,5I_3 \\ +\ 246=0,3I_1+24I_3 \\ \hline 315=31,5I_3 \end{array}, \qquad (2\text{-}53)$$

საიდანაც განისაზღვრება დენი მესამე შტოში

$$I_3=\frac{31,5}{3,15}=10 \text{ ა}.$$

ძაბვა საერთო შტოს ბოლოებზე

$$U_{ЖЗ}=I_3r_3=10\cdot 24=240 \text{ ვ.}$$

დენები პირველ და მეორე შტოებში

$$I_1=\frac{E_1-U_{ЖЗ}}{r_1}=\frac{246-240}{0,3}=20 \text{ ა.}$$

$$I_2=\frac{E_2-U_{ЖЗ}}{r_2}=\frac{230-240}{1}=-10 \text{ ა.}$$

I_2-ს მიღებული უარყოფითი მნიშვნელობა ნიშნავს იმას, რომ სინამდვილეში ამ დენის მიმართულება (ნახ. 2-11) სქემაზე ნაჩვენები მიმართულების საწინააღმდეგოა. მაშასადამე, E_1 წყარო მუშაობს გენერატორის რეჟიმზე, ხოლო E_2 — მომხმარებლის რეჟიმში.

2-18. დენის ქიმიური წყაროები

ა) ელემენტები

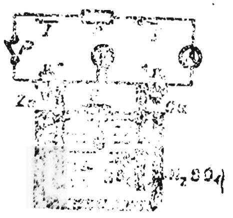
ელექტროლიტსა და მასში ჩაშვებულ ელექტროდს შორის ყოველთვის არსებობს რაიმე პოტენციალთა სხვაობა, რომელიც დამოკიდებულია ელექტროდის მასალასა და ელექტროლიტის შედგენილობაზე.

ელექტროდული პოტენციალის არსებობა იმით აიხსნება, რომ ელექტროდის ნივთიერება ქიმიური ძალების ზემოქმედებით იხსნება ელექტროლიტში (ძირითადად, თუნდაც განზავებულ ხსნარში) და მისი დადებითი იონები გადადიან ელექტროლიტში. ამიტომ უარყოფითი მუხტები ელექტროდზე და დადებითი — მის მოსაზღვრე ელექტროლიტის შრეში იწვევენ ორმაგი ელექტრული შრის წარმოქმნას, შესაბამისად, ელექტრული ველის წარმოქმნას ელექტროდის საზღვარზე, რომელიც მიმართულია ელექტროლიტიდან ელექტროდისაკენ. ამ ველის ელექტრული ძალები ეწინააღმდეგებიან დადებითი იონების გადასვლას ელექტროდიდან ხსნარში, ვიდრე ისინი არ გაუტოლდება ელექტროდის გამხსნელ ქიმიურ ძალებს. ამგვარად, წარმოიქმნება ელექტროდის პოტენციალი.

თუ ელექტროლიტში მოვათავსებთ ორ სხვადასხვა ლითონის ელექტროდს, მაშინ მათ შორის მივიღებთ პოტენციალთა სხვაობას — ემ ძალა $E=\varphi_1-\varphi_2$.

მაშასადამე, მოწყობილობა, რომელიც შედგება ელექტროლიტში ჩაშვებული ორი სხვადასხვაგვარი ელექტროდისაგან, წარმოადგენს ემ ძალის წყაროს, ანუ *დენის პირველად წყაროს* ან *ელემენტს*, *რომელშიაც მიმდინარეობს ქიმიური ენერგიის ელექტრულად გარდაქმნის შეუქცევადი პროცესი.*

მრავალი ტიპის ელემენტებიდან, როგორც მაგალითს, განვიხილავთ ვ ო ლ ტ ა ს ელემენტს (ნახ. 2-12). ის შედგება გოგირდმჟავას (H_2SO_4) წყლიან ხსნარში ჩაშვებული თუთიისა (Zn) და სპილენძის (Cu) ელექტროდებისაგან, რომელთაგან პირველს აქვს უარყოფითი მუხტი (კათოდი) და მეორეს — დადებითი (ანოდი). ამ ელემენტის ელექტრომამოძრავებელი ძალა დაახლოებით 1,1 ვ-ის ტოლია.

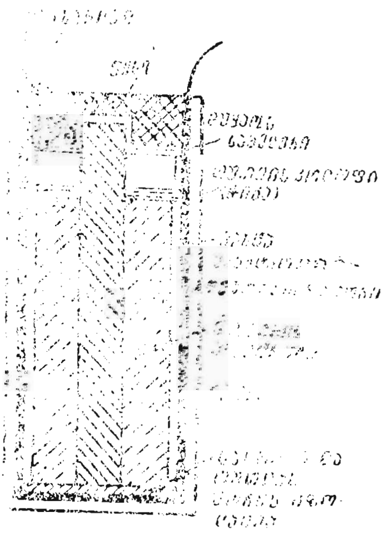


ნახ. 2-12. ვოლტას ელემენტი და მისი ჩართვის სქემა.

ელემენტის დატვირთვისას, ანუ მასში დენის გავლის დროს SO_4-ის უარყოფითი და თუთიის (Zn) დადებითი იონები უახლოვდებიან ერთმანეთს, შეერთდებიან და წარმოქმნიან თუთიის [illegible] $ZnSO_4$. ამავე დროს წყალბადის დადებითი იონები ანოდსართმევს ელექტრონებს და გარდაიქმნება წყალბადის ნეიტრალურ ატომებად. წყალბადის ატომები, რომლებიც ფარავენ ანოდს თხელი ფენით, იწვევენ ელემენტის შიგა წინაღობის გაზრდას, მისი ემ ძალის შემცირებას. ხშირად ამ მოვლენას უწოდებენ პ ო ლ ა რ ი ზ ა ც ი ა ს. ანოდიდან წყალბადის შრის მოსაშორებლად იყენებენ ე. წ. დ ე პ ო ლ ა რ ი ზ ა ტ ო რ ს — ნივთიერებას, რომელიც ადვილად გამოჰყოფს ჟანგბადს (მაგალითად, მანგანუმის ზეჟანგი). ჟანგბადი უერთდება წყალბადს და წარმოქმნის წყალს.

დღეისათვის გავრცელდა მშრალი და ნახევრადმშრალი მანგანუმ-თუთიის ელემენტები. კონსტრუქციის მიხედვით მანგანუმ-თუთიის ელემენტები იყოფიან ჭიქისებრ და [illegible].

ჭიქისებრი კონსტრუქციის ელემენტში თუთიის ელექტროდს ჭიქის ფორმა აქვს (ნახ. 2-13), რომლის შიგნით მოთავსებულია ნახშირის ღეროს დადებითი ელექტროდი. ნახშირის ელექტროდი გარემოცულია მანგანუმის ორჟანგის, გრაფიტისა და მურის დეპოლარიზატორით. თუთიის ჭიქა ივსება ელექტროლიტით — ქლორიანი ამონიუმის (ნიშადურის) წყლიანი ხსნარით,



ნახ. 2-13. ჭიქის ტიპის მანგანუმ-თუთიის ელემენტი.

რომელისაც შესაბამებელი ელემენტის სისტემების. ელემენტის ელექტ-
რომამოძრავებელი ძალა $E = 1.5$ ვ.

ელემენტის წინაღობის განზოგადის [illegible] [illegible], რომელიც
[illegible]

ნახ. 24. [illegible]

[illegible]

ელექტროლიტის ძაბვა (ვ/ს) 2,2 ვ-დან დასაწყისში სწრაფად ეცემა 2 [illegible] 1,8 ვ-მდე, [illegible]

[illegible]

[illegible] (2-54)

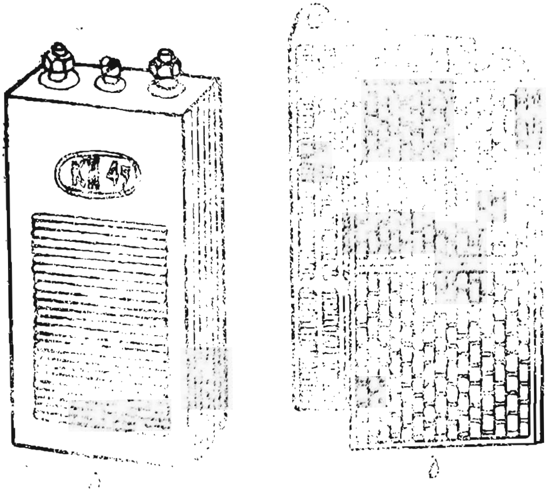
[illegible] 0,65.

[illegible]

$$[illegible] \quad (2-55)$$

[illegible] 0,75 — 0,8 [illegible]

[illegible]



ნახ. 2-15. ტუტე აკუმულატორი.
ა — საერთო ხედი; ბ — ფირფიტები.

ტ უ ტ ე ა კ უ მ უ ლ ა ტ ო რ ე ბ მ ა ძირითადი სახელწოდება მიიღეს მათი ელექტროლიტის მიხედვით, რომელიც შედგება მწვავე კალიუმის (KOH) ან მწვავე ნატრიუმის ($NaOH$) 21% წყალხსნარისაგან. ისინი შედგებიან ფირფიტების ორი ბლოკისაგან, რომლებიც ელექტროლიტთან ერთად მოთავსებულია ფოლადის ჭურჭელში (ნახ. 2-15). ფირფიტები ეს არის ფოლადის ჩარჩოები, რომლებშიც ჩაყენებულია აქტიური მასით შევსებული ფოლადისავე ყუთები. უარყოფითი ფირფიტების, ნიკელ-კადმიუმის ელემენტების აქტიური მასა შედგება დაფქვილი კადმიუმისაგან, ხოლო ნიკელ-რკინისა — დაფქვილი რკინისაგან. დადებითი ფირფიტების აქტიური მასა ორივე აკუმულატორისათვის შედგება ნიკელის ჟანგის ჰიდრატისაგან $Ni(OH)_2$.

განმუხტვისას ნიკელის ჰიდრატის ჟანგი გადადის ნიკელის ქვეჟანგის ჰიდრატში, ხოლო დაფქვილი კადმიუმი (რკინა) — მისი ჟანგის ჰიდრატში. დამუხტვის დროს რეაქცია მიმდინარეობს საწინააღმდეგო მიმართულებით და, მაშასადამე, ხდება ელექტროდების აქტიური მასის აღდგენა, ელექტროლიტის კონცენტრაცია განმუხტვისას უცვლელი რჩება.

განმუხტვის დროს 1,4 ვ ძაბვა დასაწყისში სწრაფად მცირდება 1,3-მდე, ხოლო შემდეგ ნელა 1,1 ვ-მდე, ამ დროს აუცილებლად უნდა შეწყვიტოთ განმუხტვა. დამუხტვის დროს ძაბვა 1,15 ვ-დან სწრაფად იზრდება 1,75 ვ-მდე, ხოლო უმნიშვნელო დაყოვნების შემდეგ ნელა იზრდება 1,85 ვ-მდე. ტუტე აკუმულატორების შიგა წინაღობა მეტია, ვიდრე მჟავე აკუმულატორებისა, ამიტომ მათ უფრო დაბალი მქ კოეფიციენტი აქვთ $\eta = 0{,}5 \div 0{,}6$

და ნაკლებად მგრძნობიარე არიან მოკლე შერთვისადმი. ტუტე აკუმულატორებს დიდი მექანიკური სიმტკიცე აქვს, დიდხანს მუშაობს და მჟავე აკუმულატორებთან შედარებით მოსავლელადაც იოლია.

ვ ე რ ც ხ ლ-თ უ თ ი ი ს აკუმულატორი შედგება ფირფიტების ორი ბლოკისაგან, რომლებიც ელექტროლიტთან ერთად მოთავსებულია პლასტმასის ქილაში. აკუმულატორის ელექტროდები ფოროვან ფირფიტებს წარმოადგენს. დადებითი — ვერცხლის ზეჟანგია (Ag_2O), ხოლო უარყოფითი — თუთია (Zn). ელექტროლიტი — 1,4 სიმკვრივის მქონე მწვავე კალიუმის (KOH) წყალხსნარია.

აკუმულატორის განმუხტვის დროს ვერცხლის ზეჟანგი გადადის ლითონურ ვერცხლში, ხოლო ლითონური თუთია—თუთიის ზეჟანგში. დამუხტვის დროს მიმდინარეობს შებრუნებული პროცესი.

დამუხტვის დროს ძაბვა დასაწყისში თითქმის უცვლელია (1,65 ვ), ხოლო შემდეგ სწრაფად იზრდება 1,9 ვ-მდე და შემდეგ ნელა 2,1 ვ-მდე; ასეთი ძაბვის მიღებისას საჭიროა შევწყვიტოთ დამუხტვა.

განმუხტვისას ძაბვა 1,75 ვ-დან ნელა მცირდება 1,5 ვ-მდე და განმუხტვის ბოლოს ის 1,25—1 ვ-მდე ეცემა; ამ დროს განმუხტვას წყვეტენ.

ასეთი აკუმულატორების დადებითი თვისებებიდან საჭიროა აღინიშნოს: 1) მნიშვნელოვნად დიდი ტევადობა და სიმძლავრე მასის ერთეულზე სხვა ტიპის აკუმულატორებთან შედარებით; 2) სტაბილური ძაბვა განმუხტვისას (1,5 ვ) და მეტად დიდი დენების მიღების შესაძლებლობა ხანმოკლე განმუხტვის დროს; 3) მაღალი მქ კოეფიციენტი $\eta \approx 0,85$.

2-10. დენის ქიმიური წყაროების შეერთება

თუ მომხმარებლის კვებისათვის საჭირო დენი და ძაბვა აღემატება ერთი წყაროს სათანადო მონაცემებს, მაშინ რამდენიმე წყაროსას შეაერთებენ ერთ ბატარეად, რომლებიც ერთობლივად მუშაობენ.

ბატარეაში შეერთებულ ელემენტებს ერთნაირი E_0 ემ ძალა და r_0 შიგა წინაღობა უნდა ჰქონდეთ.

არსებობს ელემენტების შეერთების თანამიმდევრული, პარალელური და ჯგუფური შეერთების ხერხები:

ელემენტების თ ა ნ ა მ ი მ დ ე ვ რ უ ლ ი შ ე ე რ თ ე ბ ა (ნახ. 2-16) გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა მომხმარებლის დენი არ აღემატება ერთი ელემენტის ნომინალურ დენს, ხოლო მომხმარებლის U ძაბვა მეტია ელემენტის ემ ძალაზე (E_0). ამ შემთხვევაში თანამიმდევრული შეერთებული ელემენტების რიცხვი n განისაზღვრება შეფარდებით $n \geq U/E_0$. ემ ძალების ერთნაირი მიმართულების დროს, როცა ერთი ელემენტის უარყოფითი მომჭერი უერთდება შემდეგის დადებით მომჭერს და ა. შ., ბატა-

რეის ემ ძალა n-ჯერ მეტია ერთი ელემენტის ემ ძალაზე, რაც შემდეგნაირად გამოისახება

$$E=nE_0. \qquad (2\text{-}56)$$

ბატარეის შიგა წინაღობა კი

$$r=nr_0. \qquad (2\text{-}57)$$

ნახ. 2-16. კვების წყაროების თანამიმდევრული შეერთება.

ბატარეის განმუხტვის დენი ტოლია ელემენტის განმუხტვის დენისა.

ელემენტების პარალელური შეერთება (ნახ. 2-17) გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როცა მომხმარებლის U ძაბვა ტოლია ელემენტის U_0 ძაბვისა, ხოლო მომხმარებლის I დენი მნიშვნელოვნად აღემატება ელემენტის განმუხტვის $I_{\text{გან.}}$ დენს. ამ შემთხვევაში პარალელურად შეერთებული ელემენტების რიცხვი m განისაზღვრება შეფარდებით $m>I/I_{\text{გან}}$. ასეთი შეერთების დროს ყველა ელემენტის დადებითი მომჭერები ერთდება ერთ კვანძში, ხოლო უარყოფითი მომჭერები — მეორეში. ამგვარად, ბატარეის E ემ ძალა ტოლია თითოეული ელემენტის E_0 ემ ძალისა, ე. ი.

$$E=E_0; \qquad (2\text{-}58)$$

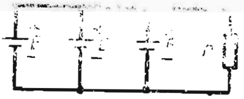
ბატარეის შიგა წინაღობა კი

$$r=r_0/m, \qquad (2\text{-}59)$$

ხოლო ბატარეის განმუხტვის დენი m-ჯერ მეტია ელემენტის განმუხტვის დენზე, ე. ი.

$$I=m\cdot I_{\text{გან}}. \qquad (2\text{-}60)$$

ჯგუფური შეერთება — ეს არის ელემენტების თანამიმდევრული და პარალელური შეერთებების ერთობლიობა (ნახ. 2-18). ის გამოიყენება ისეთ შემთხვევებში, როცა მომხმარებლის დენი და ძაბვა მეტია ელემენტის დენისა და ძაბვის ნომინალურ მნიშვნელობაზე. თანამიმდევრულად შეერთებული ელემენტების n რიცხვი და პარალელურად შეერთებული ელემენტების m რიცხვი ჯგუფში განისაზღვრება ზემოთ მოყვანილი ფორმულებით.



ნახ. 2-17. კვების წყაროების პარალელური შეერთება.

მაგალითი 2-13. განვსაზღვროთ აკუმულატორების ბატარეის პარამეტრები, რომლებიც საჭიროა განათების ავარიული კვებისათვის, თუ მისი სიმძლავრე 2,9 კვტ, ძაბვა $U=120$ ვ, აკუმულატორის ემ ძალა $E_0=2$ ვ, ხოლო მისი განმუხტვის დენი $I_{\text{გან}}=6$ ა.

ამოხსნა.

დენი ავარიული განათებისათვის

$$I=\frac{P}{U}=\frac{2900}{120}\approx 24 \text{ ა.}$$

თანამიმდევრულად შეერთებული ელემენტების რიცხვი ერთ შტოში

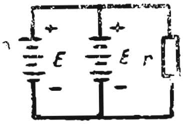
$$n=\frac{U}{E_{ე}}=\frac{120}{2}=60.$$

პარალელური შტოების რიცხვი

$$m=\frac{I}{I_{ელ}}=\frac{24}{6}=4.$$

ელემენტების რიცხვი ბატარეაში

$$nm=60\cdot 4=240.$$

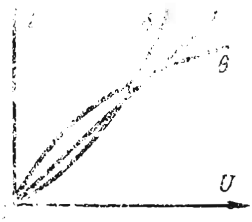


ნახ. 2-18. კვების წყაროების ჯგუფური შეერთება.

2-20. არაწრფივი ელექტრული წრედები

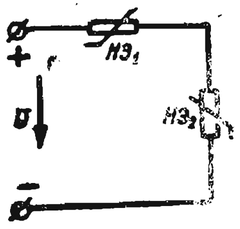
ელექტრულ წრედს, რომლის წინაღობა არაა დამოკიდებული არც დენზე და არც ძაბვაზე, წრფივი ეწოდება. თუ ელექტრული წრედის რომელიმე უბნის ელემენტის წინაღობა დამოკიდებულია დენზე ან ძაბვაზე, მაშინ როგორც უბანს, ისე მთლიან წრედს ეწოდება არაწრფივი, არაწრფივი ელემენტების მაგალითს წარმოადგენს ვარვარების ნათურები, ელექტრონული და ნახევრად გამტარიანი ხელსაწყოები. არაწრფივი წრედის წინაღობა იცვლება, ამიტომ დენი მასში არაპროპორციულია ძაბვისა მის მომჭერებზე, ე. ი. ასეთი წრედის საანგარიშოდ ომის კანონი არ გამოგვადგება. არაწრფივი წრედების საანგარიშოდ ჩვეულებრივად სარგებლობენ გრაფიკული მეთოდებით.

დენის ძალის დამოკიდებულებას წრედში მის მომჭერებზე არსებულ ძაბვასთან $I=f(U)$ ეწოდება **ვოლტამპერული მახასიათებლები**. ვოლტამპერული მახასიათებელი წრფივი ელემენტისათვის წარმოადგენს სწორ ხაზს Oa (ნახ. 2-19), რომელიც კოორდინატთა სათავეზე გადის. არაწრფივი ელემენტისათვის ის არაწრფივია, მაგალითად, $Oб$ და Ob მრუდები წარმოადგენენ ნახშირის ან ლითონის ძაფების მქონე ნათურების ვოლტამპერულ მახასიათებლებს.



ნახ. 2-19. ვოლტამპერული მახასიათებლები.

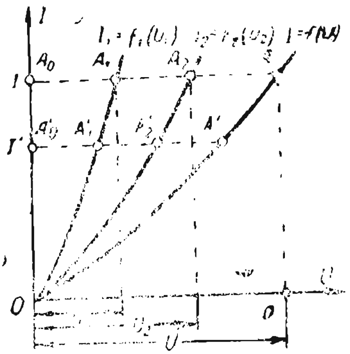
არაგანშტოებული წრედის გაანგარიშებისათვის, რომელიც ორ არაწრფივ ელემენტს შეიცავს (ნახ. 2-20), დენისა და ძაბვისათვის წინასწარ შერჩეული მასშტაბით ავაგებთ კოორდინატთა ღერძებში ვოლტამპერულ მახასიათე-



ნახ. 2-20. არაგანშტოებული წრედი ორი არაწრფივი ელემენტით.

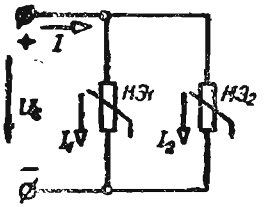
ბლებს (ნახ. 2-21) წრედის ორი ელემენტისათვის: $НЭ_1$-სათვის — $I_1=f_1(U_1)$ და $I_2=f_2(U_2)$—$НЭ_2$-ისათვის. რადგან გადავდებთ U_1 და U_2 ძაბვებს, რომლებიც შეესაბამებიან დენის ერთსა და იმავე მნიშვნელობას, წრედის მომჭერებზე მივიღებთ U ძაბვას, ანუ წრედის ვოლტამპერული მახასიათებლის წერტილებს $I=f(U)$ (ნახ. 2-21). მაგალითად, წრედის ვოლტამპერული მახასიათებლის A' წერტილი დენის ნებისმიერი I' მნიშვნელობისათვის მიიღება $A'_0A'_1$ და $A'_0A'_2$ აბსცისათა გადაზომვით.

წრედში დენის განსაზღვრისას, როცა მოცემულია ძაბვა, მას გადადებენ აბსცისათა ღერძზე (მონაკვეთი OO'). $O'A$ პერპენდიკულარი, აღმართული O' წერტილიდან ვოლტამპერული მახასიათებლის $I=f(U)$ გადაკვეთამდე, გამოსახავს წრედის I დენის სიდიდეს. სწორი ხაზის A_0A_1 და A_0A_2 მონაკვეთები, რომლებიც გადიან A წერტილზე აბსცისათა ღერძის პარალელურად, განსაზღვრავენ U_1 და U_2 ძაბვებს წრედის არაწრფივ უბნებზე.



ნახ. 2-21. არაგანშტოებული წრედის ვოლტამპერული მახასიათებლები.

ისეთი წრედის გაანგარიშება, რომელშიაც არაწრფივი ელემენტები შეერთებულია პარალელურად (ნახ. 2-22), როცა განშტოების მომჭერებზე $U_{აბ}$ ძაბვა ცნობილია, მდგომარეობს შტოთა დენების მოძებნაში მათი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის მიხედვით (ნახ. 2-23).



ნახ. 2-22. ორი არაწრფივი ელემენტის პარალელური შეერთება.

ძაბვა შტოებში ერთნაირია, ამიტომ გადავდებთ მათ აბსცისათა ღერძზე OO' მონაკვეთს, ვპოულობთ I_1 და I_2 დენებს (მონაკვეთები $O'A_1$ და $O'A_2$). წრედის საერთო დენი ტოლია თითოეული შტოების დენების ჯამისა $I=I_1+I_2$.

თუ საჭიროა ვიპოვოთ დენები შტოებში, როცა წრედის საერთო დენი I ცნობილია, მაშინ აგებენ საერთო ვოლტამპერულ მახასიათებელს $I=f(U)$, განშტოებათა ვოლტამპერული მახასიათებლის ორდინატთა გადადებით,

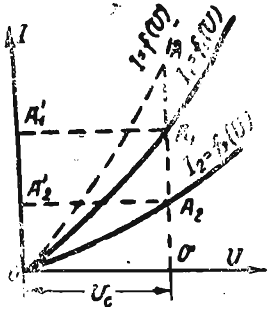
რომლებიც ძაბვის ერთსა და იმავე მნიშვნელობას შეესაბამება (ნახ. 2-23).

თუ მოცემულია დენი I (A წერტილი საერთო მახასიათებელზე), ვიპოვით $U_{ქს}=U_1+U_2$ ძაბვას (O' წერტილი) და I_1 და I_2 დენებს (A_1 და A_2 წერტილები).

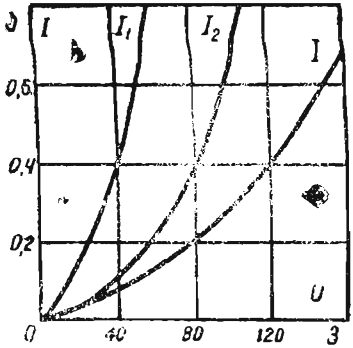
მაგალითი 2-14. განვსაზღვროთ დენი და ძაბვა ორ არაწრფივ ელემენტზე, რომლებიც შეერთებულია თანამიმდევრულად, როცა ქსელის ძაბვა $U_{ქს}=120$ ვ.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

ვოლტამპერული მახასიათებელი იგება 2-4 ცხრილის მონაცემების მიხედვით.



ნახ. 2-23. ვოლტამპერული მახასიათებლები (პარალელური წრედი).



ნახ. 2-24. 2-14 მაგალითისათვის.

ც ხ რ ი ლ ი 2-4

U	ვ	0	20	40	60	80	100
I_1	ა	0	0,16	0,4	0,8	—	—
I_2	ა	0	0,04	0,12	0,22	0,40	0,65

თუ ავაგებთ უბნების მახასიათებლებს, ვიპოვით და დავაწყობთ დენებს 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 ა ორივე უბნის ერთი და იმავე მნიშვნელობისათვის და გადავზომავთ მათ აბსცისებს, მივიღებთ წრედის ვოლტამპერული მახასიათებლის წერტილებს, როგორც ეს 2-24 ნახაზზეა მოყვანილი.

ამ მახასიათებლის მიხედვით, როცა ძაბვა $U_{ქს}=120$ ვ, ვპოულობთ დენს წრედში $I=0,4$ ა. დენის ამ მნიშვნელობას შეესაბამება ძაბვები: პირველ უბანზე $U_1=40$ ვ და მეორეზე $U_2=80$ ვ.

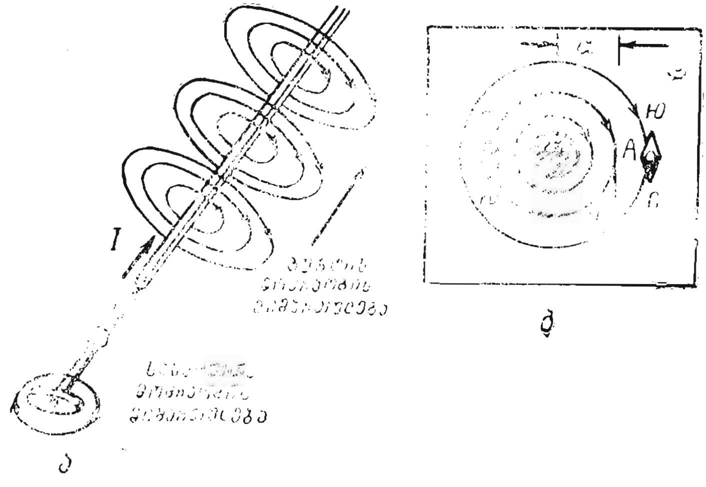
ელექტრომაგნიტიზმი

3-1. დენის მაგნიტური ველი

გამტარის გარშემო, რომელშიც გადის ელექტრული დენი, წარმოიქმნება მაგნიტური ველი, რომელიც, როგორც § 1-1-ში იყო ნაჩვენები, წარმოადგენს მატერიის ერთ-ერთ სახეს. ცდებით დადგენილია, რომ მაგნიტური ველი აღიძვრება არა მარტო დენიანი გამტარის გარშემო, არამედ მის შიგნითაც, ნებისმიერი ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობისას, აგრეთვე ელექტრული ველის ცვლილების დროს. მაგალითად, მუდმივი მაგნიტების მაგნიტური ველი იქმნება მოლეკულური დენებით, ანუ ელექტრონების ორბიტებზე მოძრაობისა და მათი თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვის შედეგად.

მაგნიტური ველი ვლინდება მისი ძალური მოქმედებით მოძრავ დამუხტულ ნაწილაკებზე და, კერძოდ, გამტარში გამავალ ელექტროდენზე (§ 3-5), აგრეთვე მუდმივ მაგნიტებზე ან ელექტრომაგნიტზე.

მაგნიტური ველის აღმოსაჩენად ყველაზე ადვილად შეგვიძლია ვისარგებლოთ მაგნიტური ისრით. დენიანი გამტარის მაგნიტურ ველში შეტანილი მაგნიტური ისარი განიცდის ამ ველის ძალების ზემოქმედებას, რის შედეგადაც ის ცდილობს დადგეს დენიანი გამტარის ღერძის პერპენდიკულარულად (ნახ. 3-1). მიმართულება, რომელსაც გვიჩვენებს მაგნიტური



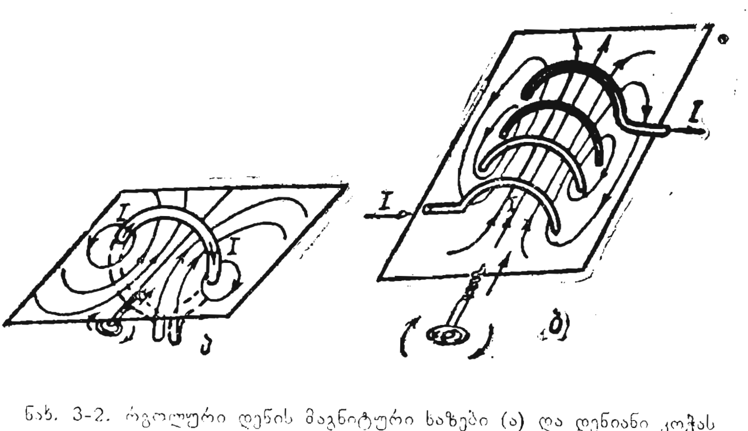
ნახ. 3-1. დენიანი სადენის მაგნიტური ველი.

ისრის ჩრდილოეთი ბოლო, მიღებულია „მაგნიტური ველის მიმართულება“ იმ არეში, სადაც ისარი იმყოფება.

იმისათვის, რომ თვალსაჩინოდ გრაფიკულად გამოვსახოთ მაგნიტური ველი. მიღებულია ცნება მაგნიტური ხაზების შესახებ. მაგნიტურ ხაზებს გაატარებენ ისეთნაირად, რომ მხების მიმართულება თითოეულ მის წერტილში ემთხვეოდეს ველის მიმართულებას.

თუ მაგნიტური ხაზების მიმართულების პერპენდიკულარული სიბრტყის თითოეულ ერთეულ ფართობში (1 $м^2$, 1 $სმ^2$) გავატარებთ რაღაც რაოდენობის ხაზებს, რომლებიც მოცემულ წერტილში ველის ინტენსივობის პროპორციული იქნება, მაშინ ხაზების სიმჭიდროვით შეიძლება განვსაზღვროთ თვით ველის ინტენსიურობა, რომელიც ხასიათდება მაგნიტური ინდუქციით (იხ. § 3-4). მაგნიტური ხაზები ან, რაც იგივეა, მაგნიტური ნაკადის ხაზები ყოველთვის შეკრულია. მაგალითად, სწორხაზოვანი დენიანი გამტარის მაგნიტურ ხაზებს (ნახ. 3-1, ბ) კონცენტრული რგოლების სახე აქვს, რომლებიც განლაგებულია გამტარის ღერძის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში.

დენიანი გამტარის მაგნიტური ხაზების მიმართულება შეიძლება განვსაზღვროთ ე. წ. ბურღის წესით (ნახ. 3-1, ა): თუ ბურღის გადატანით მოძრაობას დავამთხვევთ დენის მიმართულებას გამტარში, მაშინ სახელურის ბრუნვის მიმართულება გვიჩვენებს მაგნიტური ხაზების მიმართულებას. ამ წესის გამოყენებით შეიძლება გადავწყვიტოთ შებრუნებული ამოცანაც: მაგნიტური ხაზების ცნობილი მიმართულების მიხედვით ვიპოვოთ დენის მიმართულება გამტარში. 3-2, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ხვიას ველის მაგნიტური ხაზები, ხოლო 3-2, ბ ნახაზზე — დენიანი კოჭას მაგნიტური ხაზები.



ნახ. 3-2. რგოლური დენის მაგნიტური ხაზები (ა) და დენიანი კოჭას მაგნიტური ველი (ბ).

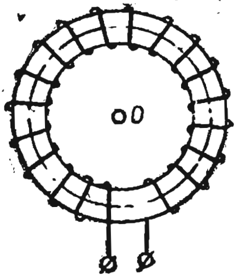
ხვიას ან კოჭას შემთხვევაში უფრო მოხერხებულია ბურღის წესი გამოვიყენოთ რამდენადმე შეცვლილი სახით, რაც შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება: თუ ბურღის სახელურის ბრუნვის მიმართულებას დავამთხვევთ დენის მიმართულებას ხვიაში ან კოჭაში, მაშინ ბურღის წინსვლითი მოძრაობა გვიჩვენებს მაგნიტური ხაზების მიმართულებას, რომლებიც გამსჭვალავენ დენის კონტურით შემოფარგლულ ზედაპირს.

ამგვარად, მაგნიტური ველის მიმართულება დამოკიდებულია დენის მიმართულებაზე.

მაგნიტურ ველს ეწოდება *ერთგვაროვანი*, თუ მის ყოველ წერტილში ველს აქვს ერთნაირი მიმართულება და ინტენსივობა, წინააღმდეგ შემთხვევაში იგი *არაერთგვაროვანია*. გრაფიკულად ერთგვაროვანი ველი გამოისახება პარალელური მაგნიტური ხაზებით, რომლებიც ერთნაირი სიმჭიდროვითაა გავლებული. ასეთი ველი შეიძლება მივიღოთ, მაგალითად, მაგნიტის ან ელექტრომაგნიტის ორ ბრტყელ პოლუსს შორის ვიწრო საჰაერო ღრეჩოში.

სწორხაზოვანი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველი სიმეტრიულია. ეს ნიშნავს, რომ გამტარის ღერძის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში ყველა წერტილი, რომლებიც ტოლი მანძილითაა დაშორებული დენიანი გამტარის ღერძიდან, იმყოფება ერთნაირ ფიზიკურ პირობებში. აქედან გამომდინარეობს, რომ ველის ინტენსივობა ყველა ასეთ წერტილში ერთნაირია ანუ, სხვანაირად რომ ვთქვათ, ველის ნებისმიერ, უძრავ წერტილში, რომელიც დენიანი გამტარის ღერძიდან მდებარეობს რაღაც r მანძილზე, ველის ინტენსივობა გამტარის თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვის დროს უცვლელი დარჩება.

სიმეტრიული ველის მეორე მაგალითია წრიული კოჭას ველი, რომლის ხვიები თანაბრადაა განაწილებული კოჭას გულარის გასწვრივ (ნახ. 3-3). სიმეტრიის პირობებიდან გამომდინარეობს, რომ გულარში მაგნიტურ ხაზებს წრეების ფორმა აქვს, რომელთა ცენტრები მდებარეობენ ნახაზის სიბრტყის პერპენდიკულარული რგოლისებრი კოჭას O ცენტრზე გამავალ სწორ ხაზზე. ასევე ცხადია, რომ ერთი და იმავე მაგნიტური ხაზის ყველა წერტილში ველის ინტენსივობა ერთნაირი იქნება.



ნახ. 3-3. რგოლური კოჭა.

3-2. მაგნიტომამოძრავებელი ძალა. მაგნიტური ველის დაძაბულობა

ელექტრული დენი გამტარში და მისი მაგნიტური ველი ერთნაირი ელექტრომაგნიტური პროცესის ერთმანეთისაგან განუყოფელი მხარეა, მაგრამ მიღებულია გამოთქმა, რომ ელექტრულ დენს აქვს თვისება აღძრას მაგნიტური ველი. დენის ამ თვისებას ახასიათებენ დამამაგნიტებელი (დძ), ან რაც იგივეა, მაგნიტომამოძრავებელი ძალით (მმძ), რომელსაც აღნიშნავენ F ასოთი.

ფორმალურად მმ ძალას აღაგზნებს მაგნიტური ველი (იხ. § 3-4) ისევე, როგორც ემ ძალა იწვევს ელექტრულ დენს ელექტრულ წრედში.

СИ სისტემაში ძალა რიცხობრივად იმ დენის ძალის ტოლია, რომელიც მაგნიტურ ველს ქმნის. ასე, რომ დენიანი გამტარის მმ ძალა $F = I$.

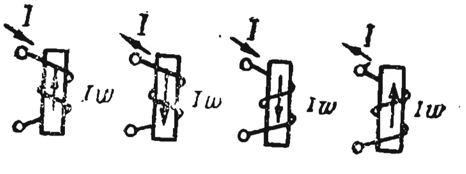
თუ დენი გადის კონტურში ან კოჭაში, რომლის ხვიათა რიცხვი w, მაშინ მაგნიტომამოძრავებელი ძალა ტოლი იქნება დენის ძალისა და ხვიათა რიცხვის ნამრავლისა, ე. ი. $F = Iw$.

ბუნებრივია, რომ მმ ძალა, ისევე როგორც დენის ძალა, იზომება ამპერობით, ე. ი.

$$[F] = [I] = \text{ა}.$$

მმ ძალის მიმართულების განსასაზღვრავად დენიან ხვიაში ან კოჭაში მოხერხებულია ვისარგებლოთ ე. წ. მარჯვენა ხელის წესით, რაც შემდეგნაირად გამოითქმება: *თუ ხვიას ან კოჭას მარჯვენა ხელს მოვხვევთ ისეთნაირად, რომ ოთხი თითი ემთხვეოდეს დენის მიმართულებას კოჭას ხვიაში, მაშინ აღუნული ცერა თითი გვიჩვენებს მმ ძალის მიმართულებას.*

3-4 ნახაზზე ნაჩვენებია რამდენიმე დენიანი კოჭა და მმ ძალის მიმართულებები.



ნახ. 3-4. დენიანი კოჭას მაგნიტომამოძრავებელი ძალები.

მაგნიტომამოძრავებელი ძალა სიმეტრიულ ველში, მაგალითად, რგოლისებრ კოჭაში, თანაბრად ნაწილდება მაგნიტური ხაზების გასწვრივ. მმ ძალის ნაწილს, რომელიც მაგნიტური ხაზის ერთეულ სიგრძეზე მოდის,

ეწოდება მაგნიტური ველის დაძაბულობა H და წარმოადგენს ველის ერთ-ერთ პარამეტრს.

მაგნიტური ველის დაძაბულობა მოცემულ წერტილში დამოკიდებულია დენის ძალაზე, გამტარის ფორმაზე და ერთგვაროვან გარემოში არაა დამოკიდებული გარემოს (ნივთიერების) თვისებაზე. ველის დაძაბულობა ვექტორული სიდიდეა. დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება იზოტროპულ გარემოში, ე. ი. გარემოში, სადაც ყველა მიმართულებით მაგნიტური თვისებები ერთნაირია, მაგნიტური ხაზების მიმართულებას ემთხვევა მოცემულ წერტილში; მაგნიტური ველის დაძაბულობა $CИ$ სისტემაში იზომება ამპერობით მეტრზე:

$$[H] = \left[\frac{F}{l} \right] = ა/მ.$$

ზოგჯერ ველის დაძაბულობის ერთეულად გამოიყენება ერსტედი (ე), რომელიც $CИ$ სისტემაში არ შედის

$$1\ ე \approx 80\ ა/მ = 0,8\ ა/სმ.$$

თუ მაგნიტური ველი სიმეტრიულია, მაშინ ველის დაძაბულობის გამოთვლა არაა ძნელი. მაგალითად, ველის დაძაბულობა A წერტილში, რომელიც სწორხაზოვანი დენიანი გამტარის ღერძიდან დაშორებულია a მანძილით (ნახ. 3-1, ბ), ზემოთ მოყვანილი განმარტების თანახმად, შეიძლება ვიპოვოთ შემდეგი ფორმულით

$$H = \frac{I}{l} = \frac{I}{2\pi a}, \tag{3-1}$$

სადაც l — მაგნიტური ხაზის სიგრძეა, რომლის რადიუსია a.

მაგალითად, თუ დენი გამტარში $I = 100$ ა, მაშინ ველის დაძაბულობა გამტარის ღერძიდან 10 სმ (0,1 მ) დაშორებით

$$H = \frac{I}{2\pi a} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1} = \frac{100}{0,628} \approx 160\ ა/მ.$$

ელექტრულ პოტენციალთა სხვაობის მსგავსად, მაგნიტური ველების გაანგარიშების დროსაც სარგებლობენ ცნებით მაგნიტურ პოტენციალთა სხვაობა, ანუ მაგნიტური ძაბვა $U_მ$.

მაგნიტურ პოტენციალთა სხვაობა ერთგვაროვანი მაგნიტური ველის ორ წერტილს შორის, რომლებიც ერთ მაგნიტურ ხაზზე მდებარეობენ, ტოლია ველის დაძაბულობისა და ამ წერტილებს შორის მანძილის ნამრავლისა

$$U_მ = Hl. \tag{3-2, ა}$$

არაერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მაგნიტურ პოტენციალთა სხვაობა ველის ორ წერტილს შორის ტოლია $H\Delta l$ ელემენტარული ძაბვების და Δl ელემენტარული უბნების ჯამისა შერჩეული გზით ამ წერტილებს შორის

$$U_მ = \Sigma H\Delta l. \tag{3-2, ბ}$$

მაგნიტურ პოტენციალთა სხვაობა СИ სისტემაში იზომება ამპერობით

$$[U_{\text{მ}}]=[Hl]=\frac{\text{ა}}{\text{მ}}\cdot\text{მ}=\text{ა}.$$

მაგნიტურ პოტენციალთა სხვაობა ნებისმიერი შეკრული კონტურის გასწვრივ წარმოადგენს მმ ძალას, მაშასადამე, მმ ძალა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც მაგნიტურ პოტენციალთა სხვაობათა ($H\Delta l$) ჯამი მაგნიტური წრედის შეკრული კონტურის გასწვრივ, ე. ი.

$$F=\Sigma H\Delta l.$$

3-3. სრული დენის კანონი

სრული დენი ეწოდება დენების ალგებრულ ჯამს, რომლებიც გამსჭვალავენ ჩაკეტილი კონტურით შემოზღუდულ ზედაპირს.

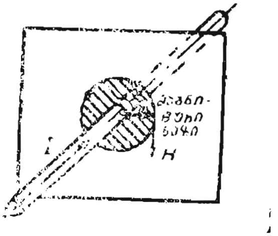
(3-1) გამოსახულებიდან მაგნიტური ველის დაძაბულობისათვის სწორხაზოვანი I-დენიანი გამტარის ღერძიდან a მანძილზე (ნახ. 3-1, ბ) შეგვეძლია დავწეროთ

$$I=H\cdot 2\pi a=Hl. \tag{3-3}$$

მაგნიტური ველის H დაძაბულობისა და $l=2\pi a$ მაგნიტური ხაზის ნამრავლი, რომელიც შეკრულ კონტურს შემოსაზღვრავს, წარმოადგენს მმ ძალას $F_{\text{მ}}$.

მაგნიტური ხაზებით შემოსაზღვრულ ზედაპირს (ნახ. 3-5) ზემოგანხილულ შემთხვევაში გამსჭვალავს ერთი დენი I, ასე რომ დენების ალგებრული ჯამი

$$\Sigma I=I.$$



ნახ. 3-5. დენიანი სადენი, რომელიც თავისი ღერძის პერპენდიკულარულ ზედაპირში გადის.

(3-3) გამოსახულება შეიძლება გადავწეროთ სხვა სახით

$$\Sigma I=F_{\text{მ}}. \tag{3-4}$$

ამგვარად, მმ ძალა კონტურის გასწვრივ ტოლია სრული დენისა, რომელიც გამსჭვალავს ამ კონტურით შემოსაზღვრულ ზედაპირს. მიღებულ თანაფარდობას უწოდებენ სრული დენის კანონს, რომელიც განხილულია მეტად მარტივ მაგალითზე.

თუ ველის დაძაბულობა მაგნიტური ხაზის სხვადასხვა უბანზე სხვადასხვაა, მაშინ მმ ძალა შეიძლება ვიპოვოთ როგორც Hl-ის ნამრავლთა ჯამი ყველა უბნისათვის, ე. ი.

$$F_{\text{მ}}=H_1l_1+H_2l_2+H_3l_3+\ldots=\Sigma Hl.$$

3-4. მაგნიტური ინდუქცია, მაგნიტური შეღწევადობა, მაგნიტური ნაკადი

თუ კოჭაში, რომლის ხვიათა რიცხვია w, გადის უცვლელი I დენი, ველის დაძაბულობა H უცვლელი რჩება. კერძოდ, ის უცვლელი რჩება, თუ კოჭას შიგნით მოვათავსებთ ფოლადის გულარს. ამ დროს ველის ინტენსიურობა კოჭას შიგნით მნიშვნელოვნად იზრდება გულარის მოლეკულური დენების ხარჯზე, ანუ იმ გარემოს მდგომარეობის შეცვლით, სადაც მაგნიტური ველია. ინტენსიურობა თითოეულ მის წერტილში, თუ მხედველობაში მივიღებთ გარემოს ზეგავლენას, ხასიათდება ე. წ. მაგნიტური ინდუქციით და B ასოთი აღინიშნება.

მაგნიტური ინდუქცია არის ვექტორი, რომელიც განისაზღვრება მაგნიტური ველის ძალური მოქმედებით დენზე (§ 3-5). ამგვარად, **მაგნიტური ინდუქცია წარმოადგენს ველის ძალურ მახასიათებელს.**

მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულება ემთხვევა მაგნიტური ხაზების მხებების მიმართულებას იზოტროპულ გარემოში, ანუ, რაც იგივეა, ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას. მაგრამ, რადგან მაგნიტური ხაზების სიმჭიდროვე პროპორციულია ველის ინტენსიურობისა, რომელიც მაგნიტური ინდუქციით ხასიათდება, ამიტომ მაგნიტური ხაზები მაგნიტური ინდუქციის ხაზებიცაა.

მაგნიტური ინდუქცია და ველის დაძაბულობა, ერთმანეთთან დაკავშირებულია მარტივი თანაფარდობით

$$B=\mu_ა \cdot H, \tag{3-5}$$

სადაც $\mu_ა$ **აბსოლუტური მაგნიტური შეღწევადობაა.**

თუ შევადარებთ დენიანი გამტარის მაგნიტურ ველს მოცემულ გარემოსა და ვაკუუმში, დავინახავთ, რომ გარემოს (მასალის) თვისების მიხედვით ველი მიიღება უფრო ინტენსიური, ვიდრე ვაკუუმში (პარამაგნიტური მასალები) ან, პირიქით, ნაკლებად ინტენსიური (დიამაგნიტური მასალები). ამგვარად, მაგნიტური ველის ინტენსიურობა, ანუ B ინდუქცია დამოკიდებულია გარემოზე, რომელშიაც არსებობს ველი.

ვაკუუმის აბსოლუტურ მაგნიტურ შეღწევადობას ეწოდება მაგნიტური მუდმივა μ_0. *СИ* სისტემაში ის ტოლია $\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}$ ომი.წმ/მ. ერთეულს ომი·წამი (ომ·წმ) ეწოდება ჰენრი (ჰ). ეს ერთეული კი ინდუქციურობის საზომი ერთეულია (იხ. § 3-16). ამგვარად,

$$\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}ჰ/მ\approx125\cdot10^{-8}\quad ჰ/მ. \tag{3-6}$$

სხვადასხვა მასალის (გარემოს) აბსოლუტურ მაგნიტურ შეღწევადობას ადარებენ მაგნიტურ მუდმივასთან. ნებისმიერი მასალის აბსოლუტური მაგნიტური შეღწევადობის შეფარდებას მაგნიტურ მუდმივასთან უწოდებენ

მაგნიტურ შეღწევადობას μ (ანუ ფარდობით მაგნიტურ შეღწევადობას), ასე რომ

$$\mu = \mu_ა/\mu_0. \tag{3-7}$$

ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობა განყენებული რიცხვია. დიამაგნიტური მასალებისა და გარემოსათვის $\mu<1$. მაგალითად, სპილენძისათვის $\mu=0{,}999995$. პარამაგნიტური ნივთიერებებისათვის $\mu>1$, მაგალითად, ჰაერისათვის $\mu=1{,}0000031$. ტექნიკურ გაანგარიშებებში როგორც დიამაგნიტური, ისე პარამაგნიტური მასალებისა და გარემოსათვის მაგნიტური შეღწევადობა მიიღება ერთის ტოლი.

ფერომაგნიტური მასალებისათვის (§ 3-9), რომლებიც განსაკუთრებით დიდ როლს ასრულებენ ელექტროტექნიკაში, მაგნიტური შეღწევადობა ათეულ ათასს აღწევს და დამოკიდებულია მასალის სახეზე, ტემპერატურაზე, მაგნიტური ველის ინდუქციასა და დაძაბულობაზე.

(3-5) გამოსახულებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ მაგნიტური ინდუქციის საზომი ერთეული

$$[B]=[\mu_ა \cdot H]=[\mu_0 \mu H]=\frac{ჰ}{მ}\cdot\frac{ა}{მ}=\frac{ომ\cdot წმ\cdot ა}{მ^2}=ვ\ წმ/მ^2=ტესლა\ (ტ).$$

ერთეულს ვოლტ-წამი (ვწმ) ეწოდება ვებერი (ვბ), ეს არის მაგნიტური ნაკადის საზომი ერთეული. ერთეულს, ვებერი გაყოფილი ერთ კვადრატულ მეტრზე (ვბ/მ²), ეწოდება ტესლა (ტ). ამგვარად, *СИ* სისტემაში მაგნიტური ინდუქცია იზომება ვებერობით კვადრატულ მეტრზე ან ტესლობით

$$[B]=ვბ/მ^2=ტ.$$

მაგნიტური ველების გაანგარიშების დროს ხშირად იყენებენ ერთეულს ჰაუსი (ჰს), რომელიც *СИ* სისტემაში არ შედის. ამ დროს

$$1\ ჰს=10^{-4}ტ=10^{-4}\ ვბ/მ^2.$$

B მაგნიტური ინდუქციის ნამრავლს მისი ვექტორის პერპენდიკულარული ზედაპირის S ფართობთან ერთგვაროვანი ველისათვის ეწოდება **მ ა გ ნ ი ტ უ რ ი ნ ა კ ა დ ი**, ე. ი. თუ მაგნიტურ ნაკადს აღვნიშნავთ Φ ასოთი, მივიღებთ

$$\Phi=B\cdot S. \tag{3-8}$$

СИ სისტემაში, როგორც აღვნიშნეთ, მაგნიტური ნაკადის ერთეულად მიღებულია ვებერი (ვბ) ან ვოლტ-წამი (ვ·წმ), ე. ი.

$$[\Phi]=[BS]=\frac{ვ\cdot წმ}{მ^2}\cdot მ^2=ვ\cdot წმ=ვბ.$$

მაგნიტური ნაკადის უფრო მცირე ერთეულად, რომელიც *СИ* სისტემას არ ეკუთვნის, მიღებულია მაქსველი (მქს):

$$1 \text{ მქს} = 10^{-8} \text{ ვბ}.$$

მაგნიტური ნაკადი წარმოადგენს მნიშვნელოვან ფიზიკურ სიდიდეს. მაგალითად, როგორც ქვემოთ იქნება აღნიშნული, I-დენიანი გამტარის მიერ შესრულებული მუშაობა, როცა ის გადაკვეთს მაგნიტურ ნაკადს Φ, ტოლია მაგნიტური ნაკადის და დენის ნამრავლისა, ე. ი. $A = \Phi \cdot I$.

როგორც § 3-12-შია ნაჩვენები, მაგნიტური ნაკადის ცვლილების სიჩქარე, რომელიც ნებისმიერ გამტარ კონტურს (ჩარჩოს) კვეთს, ტოლია ამ კონტურში დაინდუქცირებული ემ ძალისა.

ერთგვაროვანი გარემოს მაგნიტური ველის დაძაბულობა, რომელიც სწორხაზოვანი დენიანი გამტარის გარშემო არსებობს (ნახ. 3-1, ბ), განისაზღვრება (3-1) ფორმულით.

მაგნიტური ველის დაძაბულობის, და აბსოლუტური მაგნიტური შეღწევადობის ნამრავლი განსაზღვრავს მაგნიტურ ინდუქციას

$$B = \mu_a H = \mu_0 \mu \frac{I}{2\pi a} = 4\pi\mu \frac{I}{2\pi a} \cdot 10^{-7}, \tag{3-9}$$

სადაც I არის დენი ამპერობით, a — მანძილი მეტრობით, B — მაგნიტური ინდუქცია ტესლობით.

თუ გამტარი არაფერომაგნიტურ გარემოშია, მაშინ $\mu = 1$ და მივიღებთ

$$B = 4\pi \frac{I}{2\pi a} \cdot 10^{-7} = \frac{2I}{a} \cdot 10^{-7}. \qquad (3\text{-}9, \text{ა})$$

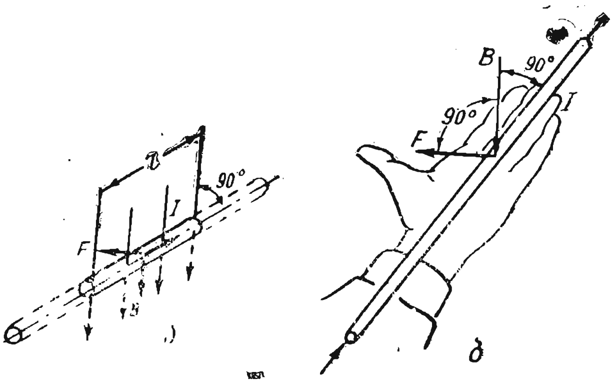
მოყვანილი ფორმულა სწორია a-ს ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის, გამტარის დიდი რადიუსისა და უსასრულოდ დიდი სიგრძისას, მაგრამ ის შეიძლება გამოვიყენოთ გამტარის სასრული სიგრძის შემთხვევაში, თუ a მანძილი მნიშვნელოვნად მცირეა გამტარის სიგრძესთან შედარებით.

3-3. ელექტრომაგნიტური ძალა

ა) სწორხაზოვანი დენიანი გამტარი მაგნიტურ ველში

სწორხაზოვანი I-დენიანი გამტარი, მოთავსებული მაგნიტურ ველში მისი მიმართულების პერპენდიკულარულად (ნახ. 3-6, ა), განიცდის ელექტრომაგნიტური F ძალის მოქმედებას. ეს ძალა პროპორციულია ამ I დენისა, გამტარის იმ l სიგრძისა, რომელიც მოთავსებულია მაგნიტურ ველში (აქტიური სიგრძე) და B მაგნიტური ინდუქციისა, მაშასადამე,

$$F = IBl. \tag{3-10}$$



ნახ. 3-6. დენიანი სადენი მაგნიტურ ველში (ა); მარცხენა ხელის წესი (ბ).

თუ დენი გაზომილია ამპერობით, მაგნიტური ინდუქცია ტესლობით, ხოლო გამტარის აქტიური სიგრძე — მეტრობით, მაშინ ელექტრომაგნიტური ძალა გამოისახება ნიუტონობით (ნ)

$$[F]=[IBl]=\text{ა. ტ. მ.}=\text{ა}\,\frac{\text{ვ}\cdot\text{წმ}}{\text{მ}^2}\cdot\text{მ}=\frac{\text{ა}\cdot\text{ვ}\cdot\text{წმ}}{\text{მ}}=\frac{\text{ჯ}}{\text{მ}}=\text{ნ}.$$

ელექტრომაგნიტური ძალის მიმართულება განისაზღვრება ე. წ. მარცხენა ხელის წესით, რაც შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ: თუ მარცხენა ხელის გულს დავიჭერთ ისე, რომ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი შედიოდეს მასში, ხოლო გაშლილი ოთხი თითი ემთხვეოდეს დენის მიმართულებას გამტარში, მაშინ მართი კუთხით ადუნული ცერა თითი გვიჩვენებს ელექტრომაგნიტური ძალის მიმართულებას.

თუ ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარს მოვაბრუნებთ ისე, რომ შეიცვალოს გამტარის მიმართულებასა და ველის მიმართულებას შორის არსებული α კუთხე, მაშინ უცვლელი I, B და l-ის დროს გამტარზე მოქმედი ძალა შეიცვლება $\sin\alpha$ სიდიდის პროპორციულად. როცა გამტარი განლაგებულია მაგნიტური ხაზების პარალელურად, ელექტრომაგნიტური ძალა უდრის ნულს.

ამგვარად, ზოგად შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ძალა გამოისახება შემდეგი ფორმულით

$$F=IBl\sin\alpha. \qquad (3\text{-}10,\ \text{ა})$$

მაგნიტური ველის ძალური ზემოქმედება დენიან გამტარზე ფართოდაა გამოყენებული მთელ რიგ ელექტრომაგნიტურ მექანიზმებში, კერძოდ, ელექტროძრავებში.

მაგალითი 3-1. დენიანი გამტარი, რომლის სიგრძეა 20 სმ (0,2 მ) და $I=300$ ა, მოთავსებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ინდუქციით 1,2 ტ.

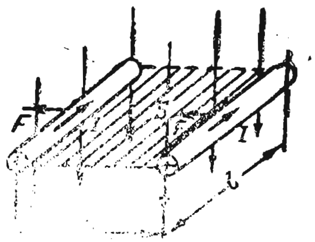
განვსაზღვროთ გამტარზე მოქმედი ელექტრომაგნიტური ძალა, თუ ის მოთავსებულია ველის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

$$F=BIl=1,2\cdot 300\cdot 0,2=72 \text{ ნ}.$$

დავუშვათ, რომ სწორხაზოვანი I დენიანი გამტარი მოთავსებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში (ნახ. 3-7). თუ ეს გამტარი ელექტრომაგნიტური ძალის მოქმედებით აღნიშნულ სიბრტყეში გადაადგილდება მისი ღერძის პერპენდიკულარულად b მანძილზე, მაშინის „გადაკვეთს" მაგნიტურ ნაკადს $\Phi=B\cdot S=Blb$. ამგვარად, ელექტრო მაგნიტური ძალა შეასრულებს მუშაობას

$$A=Fb=IBlb=I\Phi. \qquad (3-11)$$



ნახ. 3-7. გამტარის გადაადგილება მაგნიტურ ველში b მანძილზე.

მაშასადამე, ელექტრომაგნიტური ძალების მიერ შესრულებული მექანიკური მუშაობა კვების წყაროს ენერგიის ხარჯზე დენიანი გამტარის მაგნიტურ ველში გადაადგილების დროს, ტოლია გამტარში არსებული დენისა და მის მიერ გადაკვეთილი მაგნიტური ნაკადის ნამრავლისა.

მაგალითი 3-2. განვსაზღვროთ მუშაობა 30 სმ (0,3მ), სიგრძის გამტარის 20 სმ (0,2მ) მანძილზე გადაადგილებისას ველის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში, თუ ველი ერთგვაროვანია ინდუქციით 1,5 ტეს, ხოლო დენი გამტარში 200 ა.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

გამტარის მიერ გადაკვეთილი მაგნიტური ნაკადი

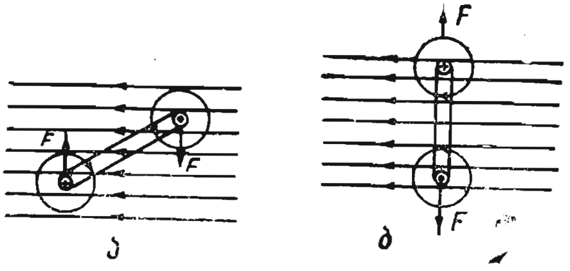
$$\Phi=B\cdot S=Blb=1,5\cdot 0,3\cdot 0,2=0,09 \text{ ვბ}.$$

გამტარის გადაადგილების დროს შესრულებული მუშაობა

$$A=\Phi\cdot I=0,09\cdot 200=18 \text{ ჯ}.$$

ბ) კონტური მაგნიტურ ველში

სწორკუთხოვანი დენიანი კოჭას ან ჩარჩოს გვერდები (ნახ. 3-3,ა), განლაგებული ნახატის სიბრტყის პერპენდიკულარულად, იმყოფება ერთგვაროვან ველში. F ელექტრომაგნიტური ძალები ქმნიან მაბრუნ მომენტს.



ნახ. 3-8. დენიან კონტურზე მოქმედი ელექტრომაგნიტური ძალები.

ამ მომენტის ზემოქმედებით ჩარჩო ცდილობს ისეთი მდებარეობა დაიკავოს, როცა ეს ძალები გაწონასწორდებიან (ნახ. 3-8, ბ). ამ დროს ჩარჩო გადაკვეთს უდიდეს მაგნიტურ ნაკადს. ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ მაგნიტურ ველში მოთავსებული დენიანი კონტური ელექტრომაგნიტური ძალების მოქმედებით ცდილობს დაიკავოს ისეთი მდებარეობა, როცა კონტურის გამჭოლავი მაგნიტური ნაკადი მაქსიმალური იქნება.

გ) მაგნიტურ ველში მოძრავი ელექტრონი

როგორც აღვნიშნეთ, l სიგრძის დენიან გამტარზე მოქმედი ელექტრომაგნიტური ძალა (ნახ. 3-6) გამოისახება ფორმულით

$$F=IBl.$$

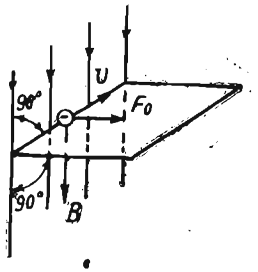
ეს ძალა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გამტარის თავისუფალ ელექტრონებზე მოქმედი ძალების ჯამი, რომელთა მართული მოძრაობა წარმოადგენს დენს.

l სიგრძის გამტარში თავისუფალი ელექტრონების რიცხვი აღვნიშნოთ N-ით, მაშინ ელექტრონზე მოქმედი ძალა

$$F_0=F/N. \qquad (3\text{-}12)$$

თუ თავისუფალი ელექტრონების ჯამურ მუხტს აღვნიშნავთ $Q=Ne$, ხოლო მათი მოძრაობის საშუალო სიჩქარეს — $v=l/t$, მივიღებთ ელექტრომაგნიტური ძალის გამოსახულებას, რომელიც მოქმედებს ველის პერპენდიკულარულად მოძრავ ელექტრონზე

$$F_0=\frac{F}{N}=\frac{Q}{t}Bl\frac{1}{N}=\frac{Ne}{t}Bl\frac{1}{N}=Bev. \qquad (3\text{-}13)$$



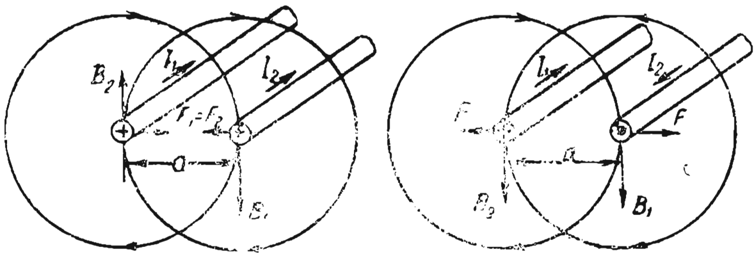
ნახ. 3-9. მოძრავ ელექტრონზე მოქმედი ელექტრომაგნიტური ძალების მიმართულება.

ამ ძალის მიმართულება (ნახ. 3-9) განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით. მაგრამ გაშლილი ოთხი თითი მიმართული უნდა იყოს ელექტრონების მოძრაობის საწინააღმდეგოდ.

3-6. პარალელურდენიანი გამტარების ურთიერთქმედება

თუ გვაქვს ორი პარალელური გამტარი I_1 და I_2 დენებით (ნახ. 3-10), თითოეული მათგანის გარშემო იქმნება მაგნიტური ველი. ამიტომ პირველ გამტარზე, რომელიც I_2 დენის მაგნიტურ ველში იმყოფება, იმოქმედებს F_1 ელექტრომაგნიტური ძალა, ხოლო მეორეზე, რომელიც I_1 დენის მაგნიტურ ველშია,— F_2 ძალა.

თუ პარალელურად მოთავსებული გამტარების სიგრძე მნიშვნელოვნად მეტია მათ შორის a მანძილზე, მაშინ, (3-9) ფორმულის თანახმად, თითოეული



ნახ. 3-10. დენიან სადენებს შორის მოქმედი ელექტრომაგნიტური (ელექტროდინამიკური) ძალები.

დენის მაგნიტური ველის მაგნიტური ინდუქცია გამტარიდან a მანძილზე ტოლი იქნება

$$B_1=\mu_{\text{ა}}\frac{I_1}{2\pi a} \text{ და } B_2=\mu_{\text{ა}}\frac{I_2}{2\pi a}. \qquad (3\text{-}14)$$

B_1 და B_2 ვექტორების მიმართულება პერპენდიკულარულია გამტარების ღერძებზე გამავალი სიბრტყისა და განისაზღვრება ბურღის წესით.

(3—10) გამოსახულების თანახმად, პირველ გამტარზე მოქმედი ძალა

$$F_1=I_1B_2l=\mu_{\text{ა}}\frac{I_1I_2}{2\pi a}l, \qquad (3\text{-}15)$$

ხოლო მეორე გამტარზე მოქმედი ძალა

$$F_2 = I_2 B_1 l = \mu_ა \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l. \qquad (3\text{-}16)$$

მიღებული გამოსახულებებიდან გამომდინარეობს, რომ გამტარებზე მოქმედი ძალები ერთმანეთის ტოლია, ე. ი. $F_1 = F_2$. ამ ძალებს ელექტროდინამიკურ ძალებს უწოდებენ.

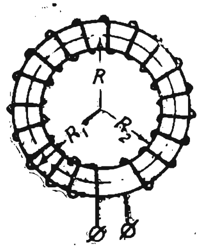
ვაკუუმში ან ჰაერში მოთავსებული გამტარებისათვის (3-15) და (3-16) გამოსახულებებში $\mu_ა$-ს მაგივრად ჩასვამენ μ_0, რადგან $\mu = 1$ და $\mu_ა = \mu\mu_0 = \mu_0$.

3-7. ლენიანი კოჭას მაგნიტური ველი

სივრცის განსაზღვრულ არეში ველის კონცენტრაციისათვის გამტარებისაგან ამზადებენ კოჭას, რომელშიაც ატარებენ დენს.

ველის მაგნიტური ინდუქციის გასადიდებლად ზრდიან კოჭას ხვიათა რიცხვს და მათ ათავსებენ ფოლადის გულარზე, რომლის მოლეკულური დენები ქმნის საკუთარ ველს და ზრდის კოჭას მარეზულტირებელ ველს.

რგოლისებრ კოჭას (ნახ. 3-11) აქვს w ხვიები, რომლებიც თანაბრად არიან განლაგებული არამაგნიტური გულარის გასწვრივ. ზედაპირი, შემოზღუდული R რადიუსის მქონე წრეხაზით, რომელიც დამთხვეულია საშუალო მაგნიტურ ხაზთან, გადაიკვეთება სრული დენით $\Sigma I = Iw$.



ნახ. 3-11. რგოლური კოჭა.

სიმეტრიულობის გამო, ველის H დაძაბულობა ყოველ წერტილში, რომლებიც საშუალო მაგნიტურ ხაზზე მდებარეობენ, ერთი და იგივეა, ამიტომ მმ ძალა

$$F_მ = Hl = H \cdot 2\pi R.$$

სრული დენის კანონის თანახმად,

$$Iw = Hl, \qquad (3\text{-}17)$$

საიდანაც მაგნიტური ველის დაძაბულობა საშუალო მაგნიტურ ხაზზე, რომელიც რგოლური კოჭას ღერძულ ხაზს ემთხვევა,

$$H = Iw/l, \qquad (3\text{-}18)$$

ხოლო მაგნიტური ინდუქცია ტესლობით

$$B = \mu_ა H = \mu_ა \frac{Iw}{l} = 125\mu \frac{Iw}{l} \cdot 10^{-8}. \qquad (3\text{-}19)$$

როცა $R_1 - R_2 \ll R_1$, მაგნიტური ინდუქცია ღერძულ ხაზზე საკმაო სიზუსტით შეიძლება ჩავთვალოთ მისი საშუალო მნიშვნელობის ტოლად, მაშასადამე, მაგნიტური ნაკადი კოჭას განივკვეთის გამჭოლად

$$\Phi = BS = \mu_{\text{ა}} \frac{IwS}{l}. \qquad (3\text{-}20)$$

(3-20) განტოლებას შეიძლება მივცეთ ომის კანონის ფორმა მაგნიტური წრედისათვის

$$\Phi = \frac{Iw}{\dfrac{l}{(\mu_{\text{ა}} S)}} = \frac{F_{\text{მ}}}{R_{\text{მ}}}. \qquad (3\text{-}21)$$

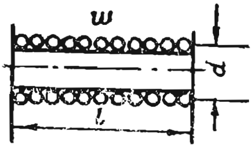
სადაც Φ არის მაგნიტური ნაკადი;

$F_{\text{მ}}$ — მმ ძალა;

$R_{\text{მ}} = \dfrac{l}{\mu_{\text{ა}} S}$ — მაგნიტური წრედის (გულარის) წინაღობა.

(3-21) განტოლება ანალოგიურია ომის კანონისა ელექტრული წრედისათვის, ე. ი. მაგნიტური ნაკადი ტოლია მმ ძალა შეფარდებული მაგნიტური წრედის წინაღობასთან.

ცილინდრული კოჭა (ნახ. 3-12) შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ისეთი რგოლისებრი კოჭას ნაწილი, რომელსაც აქვს საკმაოდ დიდი რადიუსი და გრაგნილი, რომელიც განლაგებულია გულარის მხოლოდ იმ ნაწილზე, რომლის სიგრძე კოჭას სიგრძის ტოლია. ველის დაძაბულობასა და მაგნიტურ ინდუქციას, ღერძულ ხაზზე ცილინდრული კოჭას ცენტრში, განსაზღვრავენ (3-18) და (3-19) ფორმულებით, რომლებიც ამ შემთხვევაში მიახლოებითია და მათი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ ისეთი კოჭებისათვის, რომელთათვისაც $l \gg d$ (ნახ. 3-12).



ნახ. 3-12. ცილინდრული კოჭა.

მაგალითი 3-5. ფერომაგნიტურგულარიანი $\mu = 1$, ცილინდრული კოჭას ხვიათა რიცხვი არის 2000, სიგრძე 30 სმ (0,3 მ) და დიამეტრი 5 სმ (0.05 მ), განვსაზღვროთ კოჭას მაგნიტური ნაკადი, თუ დენი 5 ა-ის ტოლია.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

კოჭას მაგნიტური ნაკადი

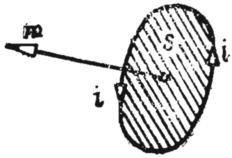
$$\Phi = 4\pi\mu\frac{IwS}{l}\cdot 10^{-7} = 4\pi\cdot 1\cdot\frac{5\cdot 2000\cdot 3,14\cdot 0,05^2}{0,3\cdot 4}\cdot 10^{-7} = 8,1\cdot 10^{-6} \text{ ვბ}.$$

3-8. ფერომაგნეტიკები, მათი დამაგნიტება და გადამაგნიტება

მასალებს, რომლებსაც დიდი მაგნიტური შეღწევადობა ახასიათებთ, **ფერომაგნეტიკებს** უწოდებენ. მათ მიეკუთვნება: ფოლადი, რკინა, ნიკელი, კობალტი და მათი შენადნობები.

ნივთიერების მაგნიტური თვისებები დამოკიდებულია მაგნიტიზმის ელემენტარული მატარებლების მაგნიტურ თვისებებზე, რომლებიც მოძრაობენ ატომებისა და ელექტრონების შიგნით, აგრეთვე მათი ჯგუფების ერთობლივ მოქმედებაზე.

ელექტრონები ატომებში ორბიტაზე ატომგულის გარშემო მოძრაობით წარმოქმნის **ელემენტარულ დენებს**, ანუ **მაგნიტურ დიპოლებს**, რომლებიც ხასიათდებიან დიპოლის მაგნიტური m მომენტით. დიპოლის მაგნიტური მომენტი ტოლია ელემენტარული i დენისა და ელემენტარული S ფართობის ნამრავლისა (ნახ. 3-13), რომელიც შემოსაზღვრულია ელემენტარული კონტურით, ე. ი. $m = iS$. m ვექტორი, ბურღის წესის თანახმად, მიმართულია S ფართობის პერპენდიკულარულად.



ნახ. 3-13. ელემენტარული დენის მაგნიტური მომენტი.

სხეულის მაგნიტური მომენტი წარმოადგენს ყველა დიპოლის მაგნიტური მომენტების გეომეტრიულ ჯამს.

განხილული ორბიტული მომენტების გარდა, ელექტრონები თავისი ღერძის გარშემო ბრუნვით წარმოქმნის კიდევ ეგრეთ წოდებულ **ზურგის მომენტებს**, რომლებიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ფერომაგნეტიკების დამაგნიტებაში.

ფერომაგნეტიკებში წარმოიქმნება ცალკეული თვითნებურად დამაგნიტებული არეები (10^{-2}—10^{-6} სმ^3) ე. წ. მაგნიტური დომენები, რომელთა ზურგის მომენტები მიმართულია პარალელურად. თუ ფერომაგნეტიკი არ იმყოფება გარე ველში, მაშინ ცალკეული დომენების მაგნიტური მომენტები გაბნეულია სხვადასხვა მიმართულებით, სხეულის ჯამური მომენტი ტოლია ნულისა და ფერომაგნეტიკი არ დამაგნიტდება. ფერომაგნეტიკის გარე მაგნიტურ ველში შეტანისას, მაგალითად, დენიანი კოჭას ველში, ნაწილი დომენების მომენტები შემობრუნდება გარე ველისაკენ და გაიზრდება იმ დომენების ზომები, რომელთა მაგნიტური მომენტების მიმართულება ახლოსაა გარე ველის მიმართულებასთან. ამის შედეგად ფერომაგნეტიკი დამაგნიტდება.

თუ გარე ველის გაზრდისას ყველა დომენი მიმართული იქნება გარე ველის მიმართულებით და წყდება დომენების ზრდა, მაშინ დადგება ზღვრული დამაგნიტების მდგომარეობა, რასაც **მაგნიტური გაჯერება** ეწოდება.

ა. გ. სტოლეტოვი (1839—1896).

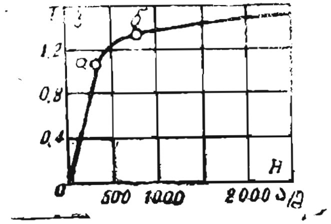
უმთავრესად ფერომაგნიტური უბნებისაგან წარმოქმნილ მაგნიტურ წრედში შეიძლება მივიღოთ დიდი მაგნიტური ინდუქცია შედარებით მცირე მმ ძალის დროს.

მოსკოვის უნივერსიტეტის პროფესორმა ა. სტოლეტოვმა 1872 წ. ფოლადის გულარი მოათავსა დენიან კოჭაში და, რომელსაც გაზომა მასში მაგნიტური ინდუქცია B ველის სხვადასხვა H დაძაბულობის დროს, პირველმა მიიღო დამოკიდებულება $B=f(H)$, რომელიც გამოისახება დამაგნიტების მრუდის საწყისით (ნახ. 3-14). მრუდი შედგება სამი უბნისაგან: 1) სწორხაზოვანი უბანი Oa გვიჩვენებს, რომ დასაწყისში მაგნიტური ინდუქცია სწრაფად იზრდება — თითქმის დაძაბულობის პროპორციულად; 2) ab უბანი — მრუდის მუხლი. ამ უბანზე მაგნიტური ინდუქციის ზრდა შენელებულია; 3) მრუდის მუხლის იქით მდებარე უბანი გვიჩვენებს, რომ აქ B-სა და H-ს შორის დამოკიდებულება ხაზურია, მაგრამ მაგნიტური ინდუქციის ზრდა წარმოებს ნელა, რადგან აქ უკვე ადგილი აქვს მაგნიტურ გაჯერებას.

არაწრფივი დამოკიდებულება $B=f(H)$ გვიჩვენებს, რომ ფერომაგნეტიკის მაგნიტური შეღწევადობა $\mu_a = B/H$ არამუდმივია და დამოკიდებულია ველის დაძაბულობაზე.

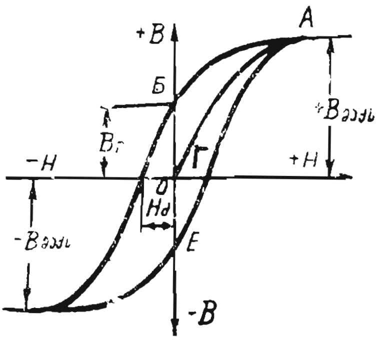
ცვლადი დენის წრედებში მუშაობის დროს ხდება ფერომაგნეტიკის პერიოდული გადამაგნიტება.

დამმაგნიტებელი დენის გაზრდისას, რაც ველის დაძაბულობის გაზრდასაც იწვევს, მაგნიტური ინდუქცია თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს $+B_a$ (ნახ. 3-15). H-ის შემცირების დროს მაგნიტური ინდუქციაც მცირდება, ხოლო H-ის იმავე მნიშვნელობის დროს მაგნიტურ ინდუქციას აქვს რამდენადმე მეტი მნიშვნელობა, ვიდრე H-ის გადიდებისას (მრუდის $AБ$ უბანი), როცა ველის დაძაბულობა $H=0$, მაგნიტურ ინდუქციას ეწოდება ნ ა რ ჩ ე ნ ი B_r (ნახ. 3-15, მონაკვეთი $OБ$).

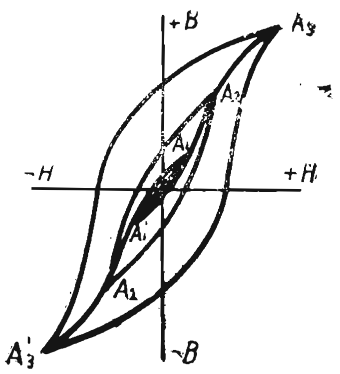


ნახ. 3-14. ფოლადის დამაგნიტების საწყისი მრუდი.

ზემომოყვანილიდან შეიძლება ვთქვათ, რომ მაგნიტური ინდუქცია დამოკიდებულია არა მარტო ველის დაძაბულობაზე, არამედ ფერომაგნეტიკის წინასწარ მაგნიტურ მდგომარეობაზეც.



ნახ. 3-15. ჰისტერეზისის მარყუჟი.



ნახ. 3-16. ჰისტერეზისის სამი მარყუჟი და ფოლადის დამაგნიტების ძირითადი მრუდი.

მაგნიტური ინდუქციის დაგვიანების განხილულ მოვლენას მაგნიტური ჰისტერეზისი ეწოდება. ის გამოწვეულია შიგა ხახუნით, რასაც ადგილი აქვს დომენების მაგნიტური მომენტების ორიენტაციის შეცვლის დროს.

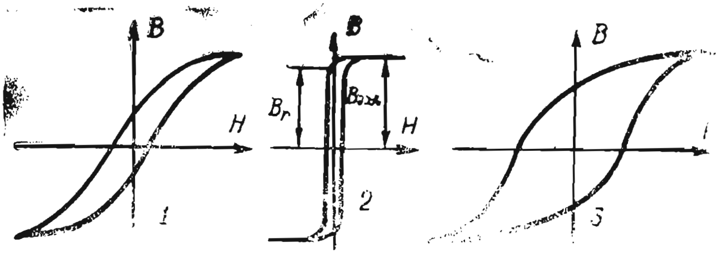
დამმაგნიტებელი დენის მიმართულების შეცვლისას იცვლება ველის დაძაბულობის მიმართულებაც. როცა ის მიიღებს H_C მნიშვნელობას, რომელსაც კოერციტიული ძალა ეწოდება (მონაკვეთი $O\Gamma$), მაგნიტური ინდუქცია $B=0$.

H-ის შემდგომი ზრდისას უკუმიმართულებით, მაგნიტური ინდუქცია მიაღწევს—$B_{\text{მ}}$ მნიშვნელობას. შემდეგ H-ის შემცირება ნულამდე გამოიწვევს B-ს შემცირებას ნარჩენი ინდუქციის მნიშვნელობამდე (მონაკვეთი OE). დაბოლოს, თუ შევცვლით ერთხელ კიდევ H-ის მიმართულებას და გავზრდით ახლიდან, მივიღებთ $+B_{\text{მ}}$ ინდუქციას.

ამგვარად, ფერომაგნეტიკის ციკლური გადამაგნიტებისას დამოკიდებულება $B=f(H)$ გრაფიკულად ჩაკეტილი მრუდით შეიძლება წარმოვიდგინოთ, რომელსაც ჰისტერეზისის სიმეტრიულ $АБГДЕЖА$ მარყუჟს უწოდებენ. ყველაზე დიდ მარყუჟს მოცემული მასალისათვის ზღვრული მარყუჟი ეწოდება.

თუ მოცემული ფერომაგნეტიკისათვის რამდენიმე სიმეტრიულ მარყუჟს ავაგებთ სხვადასხვა $B_{\text{მ}}$-ისათვის (ნახ. 3-16) და ამ მარყუჟების წვეროებს შევაერთებთ, მივიღებთ დამაგნიტების ძირითად მრუდს, რომელიც ახლოს იქნება საწყისი დამაგნიტების მრუდთან.

ფოლადის დამაგნიტება იწვევს მის გაცხელებას, რაც დაკავშირებულია ჰისტერეზისზე ენერგიის დანაკარგებთან. ჰისტერეზისის მარყუჟის ფართობი პროპორციულია გადამაგნიტების ერთ ციკლზე დახარჯული ენერგიისა.



ნახ. 3-17. ჰისტერეზისის მარყუჟები სხვადასხვა მასალისათვის:
1 — მაგნიტურრბილი მასალა, ელექტროტექნიკური ფოლადი;
2 — მაგნიტურრბილი მასალა, პერმალოი (მართკუთხა მარყუჟი);
3 — ფერომაგნიტური მასალა.

ერთ კგ მასაზე ვატობით გამოსახული ვულარის ჰისტერეზისზე კუთრი დანაკარგების სიმძლავრე დამოკიდებულია ფოლადის სორტზე, მაგნიტურ ინდუქციასა და ფოლადის გადამაგნიტების ციკლების რიცხვზე წამში, ანუ, რაც იგივეა, ცვლადი დენის f სიხშირეზე ელექტრომაგნიტის გრაგნილში.

დამაგნიტების ძირითადი მრუდი და ჰისტერიზისის მარყუჟი ახასიათებენ მაგნიტური მასალების თვისებებს. სამი მარყუჟი ტიპურია რბილი ფოლადისათვის, პერმალოისა და მაგარი ფოლადისათვის, რომელიც მოყვანილია 3-17 ნახაზზე.

3-9. ფერომაგნიტური მასალები

ა) მაგნიტურრბილი მასალები

მ ა გ ნ ი ტ უ რ რ ბ ი ლ მ ა ს ა ლ ე ბ ს ახასიათებთ მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა, დაბალი კოერციტიული ძალა H_c (400 ა/მ-ზე ნაკლები) და მცირე კუთრი დანაკარგები. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება: ტექნიკური რკინა; ნახშირბადმცირე ფოლადები, ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადები, ზოგიერთი რკინა-ნიკელის შენადნობი (პერმალოი) და ოქსიდური ფერომაგნეტიკები. ისინი გამოიყენებიან მუდმივი და ცვლადი ნაკადების მაგნიტური წრედების დასამზადებლად.

ტ ე ქ ნ ი კ უ რ რ კ ი ნ ა ს (ნახშირბადი 0.04%-მდე) ახასიათებს გაჯერების მაღალი ინდუქცია (2,2 ტ-მდე), მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა ($\mu = 3500 \div 7000$), დაბალი კოერციტიული ძალა ($H_c = 50 \div 100$ ა/მ). ტექნიკური რკინა, ნახშირბადოვანი ფოლადი და თუჯი გამოიყენება მუდმივ მაგნიტურ ველში მომუშავე მაგნიტური წრედებისათვის.

ფ უ რ ც ლ ო ვ ა ნ ი ე ლ ე ქ ტ რ ო ტ ე ქ ნ ი კ უ რ ი ფ ო ლ ა დ ი წარმოადგენს რკინის სილიციუმთან შენადნობს (1 — 4%). კაჟბადი აუმჯობესებს ტექნიკური ფოლადის თვისებებს: ზრდის მაგნიტურ შეღწევადობას, ამ-

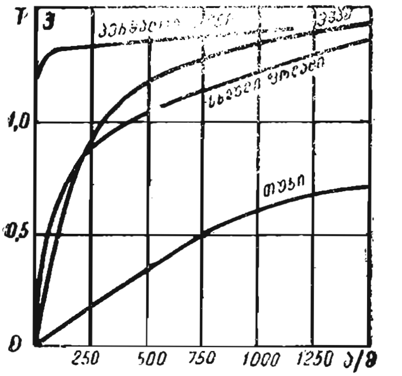
ცირებს კოერციტიულ ძალას, ამცირებს დანაკარგებს ჰისტერეზისზე და რაც მთავარია, ზრდის კუთრ ელექტრულ წინაღობას, რის შედეგადაც მცირდება გრიგალური დენები (§ 3-15) და მასთან დაკავშირებული დანაკარგები.

ფოლადებს კაჟბადის მცირე შემცველობით აქვს დაბალი მაგნიტური შეღწევადობა, ენერგიის დიდი კუთრი დანაკარგები. ასეთი ფოლადები გამოიყენება დაბალი სიხშირის მუდმივი და ცვლადი დენებისა და მაღალი მაგნიტური ინდუქციის შემთხვევაში.

ფოლადები კაჟბადის დიდი შემცველობით (2,8—4,8%) გამოიყენება სამრეწველო და მაღალი სიხშირის დროს. როცა აუცილებელია გვქონდეს მცირე დანაკარგები ჰისტერეზისსა და გრიგალურ დენებზე ან როცა არის საჭირო მაღალი მაგნიტური შეღწევადობა სუსტ და საშუალო ველებში.

ГОСТ 802-58-ის თანახმად, ელექტროტექნიკური ფოლადი აღინიშნება Э ასოთი და ციფრებით. პირველი ციფრი აღნიშნავს კაჟბადის პროცენტულ შემცველობას. მეორე განსაზღვრავს ელექტრომაგნიტურ თვისებებს, მესამე — 0 აღნიშნავს ფოლადის ცივ ნაგლინს.

3-18 ნახაზზე მოყვანილია დამაგნიტების ძირითადი მრუდები ფოლადის ზოგიერთი სორტისათვის.



ნახ. 3-18. ზოგიერთი ფერომაგნიტური მასალის დამაგნიტების მრუდები.

პ ე რ მ ა ლ ო ი — 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).

პერმალოის მაგნიტური თვისებები მეტად ძლიერადაა დამოკიდებული ნიკელის შემცველობასა და მათი დამზადების ტექნოლოგიაზე.

პერმალოის მარკის აღნიშვნაში ასო *П* მიუთითებს იმაზე, რომ ჰისტერეზისის მარყუჟი მართკუთხაა (ნახ. 3-17, 2). მარყუჟის მართკუთხოვნებას ახასიათებს ნარჩენი ინდუქციის B_r შეფარდება მაქსიმალურ $B_მ$ ინდუქციასთან ($B_r/B_მ$), რომელიც აღწევს 0,95—0,99 სიდიდეს.

ფ ე რ ი ტ ე ბ ი — ეს არის ფერომაგნიტური მასალა, რომელიც მიიღება, კერამიკული ხერხით, რკინის ჟანგეულის, თუთიის, ნიკელისა და სხვა ელემენტების წმინდა ფხვნილის ნარევისაგან. დაწნეხისა და მოწვის შემდეგ მიიღება საჭირო ფორმის გულარები. ფერიტებს აქვს მეტად დიდი კუთრი წინაღობა, თუმცა დანაკარგები გრიგალურ დენებზე ძალიან მცირეა, რის საშუალებას გვაძლევს ისინი გამოვიყენოთ მაღალი სიხშირეების დროს.

ნიკელ-თუთიის ფერიტებს, რომლებიც მარილების თერმული გახრწნის გზით მიიღება, ოქსიდური ფერომაგნეტიკები ანუ ოქსიფერები ეწოდება. მაგნიტური თვისებებით ისინი ახლოსაა ლითონკერამიკულ ფერიტებთან.

ფერიტები და ოქსიფერები მეტად განსხვავდება ერთმანეთისაგან მაგნიტური თვისებებით და, მაშასადამე, გამოყენების მხრივაც (მაგნიტომაგარი, მაგნიტორბილი, ჰისტერეზისის მართკუთხა მარყუჟითა და სხვ.).

მ ა გ ნ ი ტ ო დ ი ე ლ ე ქ ტ რ ი კ ი — ეს არის მასალა, რომელიც ფერომაგნიტური ფხვნილისა და დიელექტრიკის ნარევისაგან მიიღება, მაგალითად, პოლივინილქლორიდთან, პოლიეთილენთან და სხვა. ნარევი ყალიბდება, იწნეხება და გამოიწვება.

ფერიტებსა და მაგნიტოდიელექტრიკებს ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა დანიშნულების ტრანსფორმატორების გულარებისათვის, გამტარი და რადიოკავშირგაბმულობის აპარატურათა გულარებისათვის, გამომთვლელ მოწყობილობებში, ავტომატიკაში და ა. შ. კერძოდ, დამამახსოვრებელ მოწყობილობებში ფართოდ გამოიყენება ფერიტის რგოლისებრი კოჭები სწორკუთხოვანი მარყუჟით, რომლებსაც გაჯერებამდე დამაგნიტების თვისება აქვთ დენის იმპულსის დროს და შემდეგ ხანგრძლივად ინარჩუნებენ ნარჩენ დამაგნიტებას.

ბ) მაგნიტოსალი მასალები

მაგნიტოსალი მასალები ხასიათდება დიდი კოერციტიული ძალით, დიდი ნარჩენი ინდუქციით, რის გამოც მათ იყენებენ ნებისმიერი დანიშნულების მუდმივი მაგნიტების დასამზადებლად. ამ მასალებს მიეკუთვნება: ნახშირბადიანი, ვოლფრამიანი, ქრომიანი და კობალტიანი ფოლადები, რომელთა კოერციტიული ძალა $5000 \div 13000$ 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, კაჟბადსა და კობალტს. ისინი ცნობილი არიან შემდეგი სახელწოდებით: ალნი, ალნისი, ალნიკო, მაგნიკო და სხვა. მათ ახასიათებთ გაცილებით უკეთესი მაგნიტური თვისებები, ვიდრე ზემოთ მოყვანილ მასალებს. მათი კოერციტიული ძალა 20000—60000 ა/მ, ხოლო ნარჩენი ინდუქცია — 0,2—2,25 ტ. აღნიშნული შენადნობებიდან მაგნიტები მზადდება ჩამოსხმით და დამუშავდება მხოლოდ ხეხვით.

ლითონკერამიკული მაგნიტები მიიღება ალნისა და ალნიკოს შენადნობთა ფხვნილის გამოცხობით.

3-10. მაგნიტური წრედი და მისი გაანგარიშება

მაგნიტური წრედი—ეს არის ფერომაგნიტური გულარების მოწყობილობა საჰაერო ღრეჩოთი ან უმისოდ, რომელშიც შეირთვება მაგნიტური ნაკადი. ფერომაგნეტიკების გამოყენების მიზანია უმცირესი მაგნიტური წინაღობის

მიღება (3-21), რომლის დროს საჭირო მაგნიტური ინდუქციის ან მაგნიტური ნაკადის მისაღებად საკმარისია უმცირესი მმ ძალა.

უმარტივესი მაგნიტური წრედი — ეს არის რგოლისებრი კოჭას გულარი (ნახ. 3-11). ტექნიკაში გამოიყენება განშტოებული და არაგანშტოებული მაგნიტური წრედები, რომელთა ცალკეული უბნები მზადდება ერთი ან სხვადასხვა მასალებისაგან.

მაგნიტური წრედის გაანგარიშება ნიშნავს მოცემული მაგნიტური ნაკადის, წრედის ზომებისა და მისი მასალის მიხედვით განვსაზღვროთ მმ ძალა.

გასაანგარიშებელ წრედს ყოფენ l_1, l_2 და ა. შ. უბნებად. ერთნაირი კვეთით უბნის მთელ სიგრძეზე, ანუ ერთგვაროვან ველად. თითოეულ უბანზე განვსაზღვრავთ მაგნიტურ ინდუქციას $B = \Phi/S$ და დამაგნიტების მრუდის მიხედვით (ნახ. 3-18) ვპოულობთ მაგნიტური ველის შესაბამის დაძაბულობას.

ველის დაძაბულობა საჰაერო ღრეჩოში ან არაფერომაგნიტურ მასალაში

$$H_0 = B_0/\mu_0 \approx 0.8 \cdot 10^6 B_0, \qquad (3\text{-}22)$$

სადაც H_0 გამოსახულია ამპერობით მეტრზე, ხოლო B_0 ტესლობით ან $H_0 = 0.8\ B_0$, თუ H_0-ს გამოვსახავთ ამპერობით სანტიმეტრზე, ხოლო B_0-ს გაუსობით.

სრული დენის კანონის თანახმად, თითოეული უბნის მაგნიტურ დაძაბულობათა ჯამი ტოლია სრული დენისა, ე. ი.

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_0 l_0 + \ldots = Iw.$$

მაგალითი 3-6. რამდენი ხვია უნდა მოვათავსოთ გულარზე (ნახ. 3-19) $\Phi = 47 \cdot 10^{-4}$ ვბ მაგნიტური ნაკადის მისაღებად, თუ გრაგნილის დენი 25 ა-ის ტოლია. გულარის ზედა ნაწილი დამზადებულია Э330 ფოლადისაგან, ხოლო ქვედა — ფოლადის სხმულისაგან.

სამი უბნიდან პირველის სიგრძე, რომელიც დამზადებულია Э330 ფოლადისაგან $l_1 = 54$ სმ (0,54 მ), კვეთი $S_1 = 36$ სმ² (0,0036 მ²); მეორის სიგრძე (სხმული ფოლადისაგან) $l_2 = 17$ სმ (0,17 მ) და $S_2 = 48$ სმ² (0,0048 მ²); მესამე უბნის — საჰაერო ღრეჩოს $l_0 = 0,5 \cdot 2 = 1$ სმ (0,01 მ), კვეთი $S_0 = 36$ სმ² (0,0036 მ²).

ამოხსნა.

მაგნიტური ინდუქციები პირველ, მეორე და მესამე უბნებზე:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{47 \cdot 10^{-4}}{36 \cdot 10^{-4}} = 1,3 \text{ ტ};$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{47 \cdot 10^{-4}}{48 \cdot 10^{-4}} = 0.98 \text{ ტ};$$

$$B_0 = \frac{\Phi}{S_0} = \frac{47 \cdot 10^{-4}}{36 \cdot 10^{-4}} = 1,3 \text{ ტ}.$$

დამაგნიტების მრუდიდან Э330 ფოლადისათვის (ნახ. 3-18) 1,3 ტ ინდუქციას შეესაბამება ველის დაძაბულობა 750 ა/მ. მაშასადამე, მაგნიტური ძაბვა პირველ უბანზე

$$U_{მ_1}=H_1 l_1=750\cdot 0,54=405 \text{ ა.}$$

ველის დაძაბულობა მეორე უბნისათვის (ნახ. 3-18)

$$H_2=400 \text{ ა/მ.}$$

მაგნიტური ძაბვა მეორე უბანზე

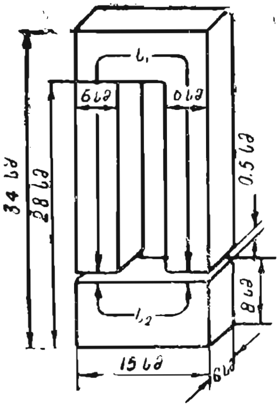
$$U_{მ_2}=H_2 l_2=400\cdot 0,17=68 \text{ ა.}$$

ველის დაძაბულობა საჰაერო ღრეჩოში

$$H_0=0,8\cdot 10^6 B_0=0,8\cdot 10^6\cdot 1,3=1,04\cdot 10^6 \text{ ა/მ.}$$

მაგნიტური ძაბვა საჰაერო ღრეჩოში

$$U_{მ_0}=H_0 l_0=1,04\cdot 10^6\cdot 0,01=10400 \text{ ა.}$$



ნახ. 3-19. 3-5 მაგალითისათვის.

მაგნიტომამოძრავებელი ძალა

$$F_მ=U_{მ_1}+U_{მ_2}+U_{მ_0}=405+68+10400=10873 \text{ ა.}$$

გრაგნილის ხვიათა რიცხვი

$$w=\frac{F_მ}{I}=\frac{10873}{25}=435 \text{ ხვია.}$$

3-11. ელექტრომაგნიტები

თუ დენიანი კოჭას ახლოს მოვათავსებთ ფოლადის გულარს (ნახ. 3-20), ის დამაგნიტდება და ელექტრომაგნიტური ძალების ზემოქმედებით შეიზიდება კოჭაში ისე, რომ შეეცდება მოთავსდეს კოჭას შუაში, რომლის მაგნიტური ველი მაქსიმალური იქნება.

ელექტრომაგნიტი ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც შედგება დამმაგნიტებელი კოჭასა და მაგნიტოგამტარისაგან (ნახ. 3-21), რომლის მოძრავი ნაწილი — ღუზა (2) მიიზიდება მაგნიტოგამტარის ძირითად ნაწილთან (1) ძალით, რომელიც ტოლია

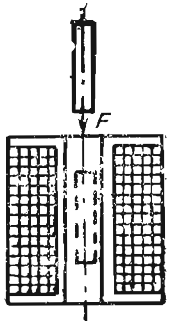
$$F\approx 4\cdot 10^5 B^2 S, \tag{3-23}$$

სადაც F არის ძალა, ნ;

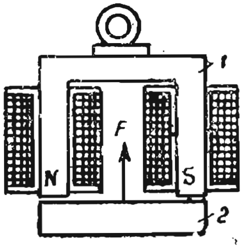
B — მაგნიტური ინდუქცია, ტ;

S — პოლუსების კვეთის ფართობი, მ².

თუ ელექტრომაგნიტის მაგნიტოგამტარი მუშაობს არაგაჯერებულ მდგომარეობაში, მაშინ დენის შეცვლით შეიძლება ვცვალოთ მაგნიტური ინდუქცია და, მაშასადამე, F ელექტრომაგნიტის ძალაც.



ნახ. 3-20. ელექტრომაგნიტი განრთული მაგნიტოგამტარით.



ნახ. 3-21. ელექტრომაგნიტი შეკრული მაგნიტოგამტარით.

ელექტრომაგნიტები ფართოდ გამოიყენება, მაგალითად, ლითონსაჭრელ ჩარხებზე დასამუშავებელი ნაწილების დასამაგრებლად, ელექტროავტომატებში, რელეებში, სამუხრუჭო მოწყობილობებში და ა. შ.

მაგალითი 3-7. განვსაზღვროთ ელექტრომაგნიტის მიზიდულობის F ძალა, თუ ინდუქცია $B=1,2$ ტ., ხოლო პოლუსების კვეთი $S=200$ სმ² (0,02 მ²).

ამოხსნა.

მიზიდულობის ძალა

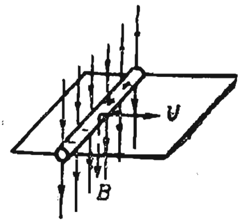
$$F\approx 4\cdot 10^5\cdot B^2S=4\cdot 10^5\cdot 1,2^2\cdot 0,02=1,15\cdot 10^4 \text{ ნ.}$$

3-12. ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

ა) გამტარში აღძრული ელექტრომამოძრავებელი ძალა

გამტარის მუდმივი v სიჩქარით მოძრაობის დროს ამავე სიჩქარით გადაადგილდება გამტარის თავისუფალი ელექტრონები და დადებითი იონებიც. თუ გამტარი მოძრაობს ერთგვაროვან ველში მაგნიტური ხაზების პერპენდიკულარულად (ნახ. 3-22), მაშინ თითოეულ დამუხტულ ნაწილაკზე იმოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა (§ 3-5), რომლის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით. ამ ძალების მოქმედებით ელექტრონები გადაადგილდება გამტარის ერთ ბოლოზე და შექმნის იქ უარყოფით მუხტს, ხოლო მეორე ბოლოზე ელექტრონების ნაკლებობა გამოიწვევს დადებით მუხტს. მუხტების ასეთი გაყოფა შეწყდება, თუ ელექტრომაგნიტური ძალები გაწონასწორდება სხვადასხვასახელიანი მუხტების მიზიდულობის ელექტრული ძალებით.

მაშასადამე, ელექტრომაგნიტური ძალების მუშაობის შედეგად გამტარში აღიძვრება ემ ძალა, რომელსაც ელექტრომაგნიტური



ნახ. 3-22. სადენის მოძრაობა მაგნიტურ ველში.

ინდუქციის ემ ძალა ეწოდება, ხოლო თვით მოვლენას — ელექტრომაგნიტური ინდუქცია ეწოდება. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მოვლენა აღმოაჩინა ინგლისელმა ფიზიკოსმა მ. ფარადეიმ 1831 წელს.

ღია გამტარის ბოლოებზე U ძაბვა ტოლია ელექტრომაგნიტური ინდუქციის E ემ ძალისა. ამგვარად, (1-3)-ის თანახმად

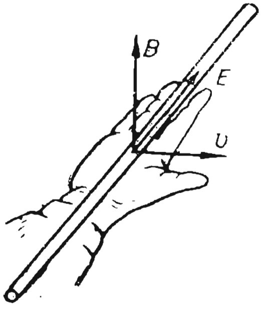
$$E=\varepsilon l.$$

მაგრამ, რადგან $\varepsilon=F_e/l$, ხოლო ელექტრონზე მოქმედი ძალა (3-6) $F_e=Bvl$, მაშინ

$$E=Bvl. \qquad (3\text{-}24)$$

მაშასადამე, სადენში დაინდუქციებული ელექტრომაგნიტური ინდუქციის ემ ძალა პროპორციულია ველის მაგნიტური ინდუქციისა, რომელშიაც მოძრაობს გამტარი, გამტარის სიგრძისა და მისი მოძრაობის სიჩქარისა მაგნიტური ხაზების პერპენდიკულარულად.

დაინდუქციებული ემ ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: თუ მარჯვენა ხელისგულს დავიჭერთ ისე, რომ მაგნიტური ხაზები შედიოდნენ მასში და სწორი კუთხით აღუნული ცერა თითი ემთხვევა გამტარის მოძრაობის მიმართულებას, მაშინ გაშლილი ოთხი თითი გვიჩვენებს დაინდუქციებული ემ ძალის მიმართულებას (ნახ. 3-23).



ნახ. 3-23. მარჯვენა ხელის წესი.

თუ გამტარი მოძრაობს სიბრტყეში, რომელიც მაგნიტური ინდუქციის ვექტორთან ადგენს α კუთხეს, მაშინ ემ ძალა განისაზღვრება მაგნიტური ინდუქციის ნორმალური ვექტორის მხოლოდ შესაკრები სიჩქარით, ანუ $v_{ნ}=v\sin\alpha$, მაშასადამე,

$$E=Blv_{ნ}=Blv\sin\alpha, \qquad (3\text{-}25)$$

თუ გამტარი გადაადგილდება $v=\Delta b/\Delta t$ სიჩქარით ველის მაგნიტური ხაზებისადმი ნორმალურ სიბრტყეში, მაშინ მასში დაინდუქციებული ემ ძალა

$$E=Blv=Bl\frac{\Delta b}{\Delta t}.$$

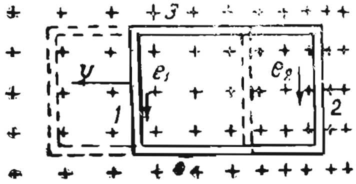
თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ B მაგნიტური ინდუქციისა და $\Delta S = l\Delta b$ ფართობის ნამრავლი ტოლია Δt დროში გამტარის მიერ გადაკვეთილი მაგნიტური $\Delta\Phi = B\Delta S$ ნაკადისა, მაშინ მასში დაინდუქციებული ემ ძალა

$$E = Bl\frac{\Delta b}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (3\text{-}26)$$

მაშასადამე, დაინდუქციებული ემ ძალა ტ ო ლ ი ა გ ა მ ტ ა რ ი ს მ ი ე რ მ ა გ ნ ი ტ უ რ ი ნ ა კ ა დ ი ს გ ა დ ა კ ვ ე თ ი ს ს ი ჩ ქ ა რ ი ს ა.

ბ) კონტურში დაინდუქციებული ელექტრომამოძრავებელი ძალა

თუ კონტური (ნახ. 3-24) არაერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოძრაობს, მაგნიტური ხაზებისადმი ნორმალურ სიბრტყეში (ნახ. 3-24 აღნიშნულია ჯვრისებრად) ისრით ნაჩვენები მიმართულებით, მაშინ კონტურის 1 და 2 მხარეებში დაინდუქცირდება e_1 და e_2 ემ ძალები. მარჯვენა ხელის წესით ნაპოვნი ამ ემ ძალის მიმართულებები ნაჩვენებია ისრებით. კონტურის 3 და 4 მხარეებში ემ ძალები არ დაინდუქცირდება, რადგან ისინი არ გადაკვეთენ მაგნიტურ ველს.



ნახ. 3-24. კონტურის მოძრაობა მაგნიტურ ველში.

თუ კონტურის 1 და 2 მხარეების მიერ გადაკვეთილ ნაკადებს Δt დროში აღვნიშნავთ $\Delta\Phi_1$-ითა და $\Delta\Phi_2$-ით, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ (3-26):

$$e_1 = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} \text{ და } e_2 = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}.$$

კონტურის მოძრაობის შედეგად Δt დროში გადაკვეთილი $\Delta\Phi_1$ მაგნიტური ნაკადი აღმოჩნდება კონტურის შიგნით, ხოლო $\Delta\Phi_2$ ნაკადი — კონტურის გარეთ (ნახ. 3-24). ვინაიდან ემ ძალის დადებითი მიმართულება, ბურღის წესის თანახმად, დაკავშირებულია მაგნიტური ნაკადის მიმართულებასთან, ამიტომ e_2 მიმართულება იქნება დადებითი, ხოლო e_1 —უარყოფითი. ამგვარად, კოჭაში დაინდუქციებული ემ ძალა

$$e = e_2 - e_1 = \frac{\Delta\Phi_2 - \Delta\Phi_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2}{\Delta t} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (3\text{-}27)$$

სხვაგვარად, როცა ნაკადისა და დროის ელემენტარული $\Delta\Phi$ და Δt ნამატები შეიცვლება უსასრულოდ მცირე $d\Phi$ და dt ნამატებით, ნებისმიერი დროის

მომენტში მივიღებთ კონტურში დაინდუქციებული ემ ძალის გამოსახულებას

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (3-28)$$

მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის ემ ძალა კონტურში ტოლია კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის შემცირების სიჩქარისა. ეს არის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის მეორე ფორმულირება.

ცდებით დადგინდა, რომ სულ ერთია, ნაკადის ცვლილება ხდება კონტურის მოძრაობისას მაგნიტურ ველში, თუ უძრავი კოჭას გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით (ზრდა, თუ შემცირება).

თუ კონტური შედგება თანამიმდევრულად შეერთებული w ხვიებისაგან, მაშინ დაინდუქციებული ემ ძალა

$$e = -w\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (3-29)$$

ხვიების რიცხვისა და მათი გამჭოლი მაგნიტური ნაკადის ნამრავლს ეწოდება ნაკადთგადაბმულობა და აღინიშნება Ψ ასოთი, ე. ი.

$$\Psi = w\Phi. \qquad (3-30)$$

მაშასადამე, დაინდუქციებული ემ ძალა

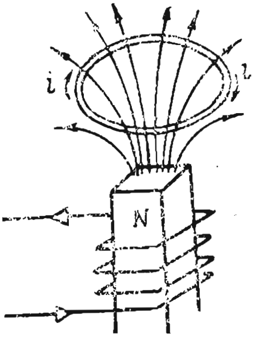
$$e = w\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt} \qquad (3-31)$$

ტოლია ნაკადთგადაბმულობის შემცირების სიჩქარისა.

თუ კონტური მოძრაობს 3-24 ნახაზზე ნაჩვენები მიმართულებით, მაშინ კონტურის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი მცირდება, ე. ი. მისი ნამატი უარყოფითია $\Delta\Phi < 0$, რადგან $\Delta\Phi_2 > \Delta\Phi_1$, მაშასადამე, ემ ძალა (3-28) დადებითია და აქვს საათის ისრის მიმართულება. ასეთნაირადვეა მიმართული ამ ემ ძალისაგან გამოწვეული დენი. ამ დენის მიერ შექმნილ მაგნიტურ ნაკადსაც იგივე მიმართულება აქვს, როგორიც შესამცირებელ მაგნიტურ ნაკადს, რაშიაც ადვილად დავრწმუნდებით ბურღის წესის გამოყენებით. მაშასადამე, კონტურის გამჭოლი ნაკადის შემცირება იწვევს ემ ძალასა და დენს, რომლის მაგნიტური ნაკადი, თავის მხრივ, ეწინააღმდეგება მაგნიტური ნაკადის შემცირებას.

კონტურის საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობის დროს, კონტურის გამჭოლი ნაკადი იზრდება ($\Delta\Phi > 0$), ემ ძალა (3-28)-ის თანახმად უარყოფითია და მიმართულია საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. ასეთივე მიმართულება ექნება მის მიერ გამოწვეულ დენს. ამ დენის მიერ

შექმნილი მაგნიტური ნაკადი მიმართულია კონტურის მზარდი მაგნიტური ნაკადის შემხვედრად. მაშასადამე, კონტურის ნაკადის ზრდა იწვევს ემ ძალისა და დენის წარმოქმნასაც, რომლის მაგნიტური ნაკადი ისწრაფვის წინააღმდეგობა გაუწიოს კონტურის ნაკადის ზრდას.



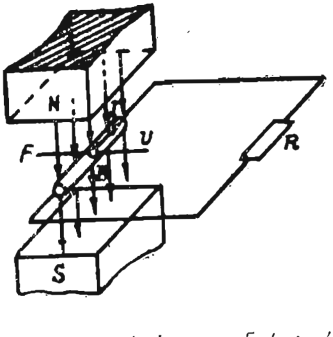
ნახ. 3-25. რგოლში დაინდუქციებული დენი.

ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს, რომ *დაინდუქციებული ემ ძალის მიმართულება ყოველთვის ისეთია, რომ მის მიერ გამოწვეული დენი უკუმოქმედებს ემ ძალის გამომწვევ მიზეზზე*. ეს მდგომარეობა დაადგინა რუსმა აკადემიკოსმა ე. ლენცმა 1833 წ. და იგი *ლენცის კანონის* სახელწოდებას ატარებს.

ელექტრომაგნიტის კოჭაში (ნახ. 3-25) დენის გაზრდისას ან რგოლის და ელექტრომაგნიტის დაახლოებისას იზრდება რგოლის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი და მასში დაინდუქცირდება ემ ძალა და i დენი, ლენცის კანონის თანახმად, i დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადის მიმართულება რგოლში ელექტრომაგნიტის ნაკადის მიმართულების საწინააღმდეგოა, მაშასადამე, დაინდუქციებული i დენის მიმართულება ადვილად განისაზღვრება ბურღის წესით.

3-13. ელექტრული გენერატორის მუშაობის პრინციპი

მაგნიტური ხაზების პერპენდიკულარულ სიბრტყეში გამტარის მოძრაობისას (ნახ. 3-26) v სიჩქარის ვექტორის მიმართულებით, მასში აღიძვრება ემ E ძალა. მისი ზემოქმედებით R წინაღობის მქონე შეკრულ წრედში გაივლის I დენი. დენიან გამტარზე მაგნიტურ ველში მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა $F = BlI$, რომლის მიმართულება (მარცხენა ხელის წესის თანახმად) საწინააღმდეგო იქნება სიჩქარის ვექტორის მიმართულებისა, მაშასადამე, ის იქნება დამმუხრუჭებელი.



ნახ. 3-26. ელექტრული გენერატორის მუშაობის პრინციპი.

როგორც ჩანს, გამტარის მოძრაობისათვის აუცილებელია გარე ძალა, რომელიც ტოლი იქნება სამუხრუჭო ძალისა და მის საწინააღმდეგოდ იქნება მიმართული, მაშასადამე,

აუცილებელია პირველადი ძრავა, რომელიც განავითარებს მექანიკურ სიმძლავრეს $P_მ = Fv$, ანუ

$$P_მ = Fv = BIlv = EI = P.$$

ამგვარად, გამტარის მიერ მიღებული მექანიკური ენერგია, მაგნიტურ ველში მისი მოძრაობის დროს, გარდაიქმნება ელექტრულად, ხოლო მაგნიტურ ველში მექანიკური ძალების მოქმედებით მოძრავი გამტარი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც უმარტივესი ელექტრული გენერატორი.

როგორც ცნობილია (2-8)-დან, გენერატორის ემ ძალა

$$E = U + U_0 = IR + Ir_0,$$

ხოლო მექანიკური სიმძლავრე

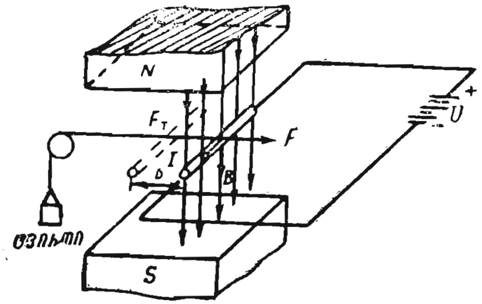
$$P_მ = EI = I^2R + I^2r_0 = UI + P_0 = P_{სას} + P_0$$

ტოლია ელექტრული სიმძლავრისა, რომელიც შედგება ენერგიის მომხმარებლის სიმძლავრისა $P_{სას} = UI$ და გენერატორში სიმძლავრის დანაკარგისაგან $P_0 = I^2r_0$.

3-14. ელექტროძრავას მუშაობის პრინციპი

თუ l სიგრძის გამტარი მოთავსებულია ერთგვაროვან ველში (ნახ. 3-27) მაგნიტური ხაზების პერპენდიკულარულად და U ძაბვის მქონე ენერგიის წყაროდან გადის I დენი, მაშინ მასზე მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა (3-1)

$$F = BIl,$$



ნახ. 3-27. ელექტროძრავას მუშაობის პრინციპი.

რომლის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით. ამ ძალების მოქმედებით გამტარი იმოძრავებს v სიჩქარით, შეასრულებს გარკვეულ მექანიკურ მუშაობას და მასში დაინდუქცირდება ემ ძალა, რომლის მიმარ-

თულება (მარჯვენა ხელის წესით) დენის მიმართულების საწინააღმდეგო იქნება. შემხვედრი ემ ძალა

$$E=Blv.$$

თუ გამტარის წინაღობა r_0-ია, მაშინ, კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად, შეგვიძლია დავწეროთ

$$U-E=Ir_0,$$

ანუ

$$U=E+Ir_0, \tag{3-32}$$

საიდანაც წრედის დენი

$$I=\frac{U-E}{r_0}. \tag{3-33}$$

თუ (3-32) განტოლების ორივე ნაწილს გავამრავლებთ დენზე, ვიპოვით ელექტრულ სიმძლავრეს

$$UI=EI+I^2r_0=BlvI+I^2r_0=Fv+I^2r_0. \tag{3-34}$$

ნამრავლი I^2r_0—ეს არის თბური დანაკარგების სიმძლავრე გამტარში, ხოლო Fv—მექანიკური სიმძლავრე.

ამგვარად, მაგნიტურ ველში მოძრაობის დროს გამტარის მიერ მიღებული ელექტროენერგია გარდაიქმნება მექანიკურად, ხოლო ენერგიის გარდაქმნის პროცესი დაკავშირებულია უკუელექტრომამოძრავებელი ძალის აღძვრასთან. მაგნიტურ ველში მოძრავი გამტარი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც უმარტივესი ელექტროძრავა.

მაგალითი 3-8. 1,2 ტ ინდუქციის მაგნიტურ ველში მაგნიტური ხაზების პერპენდიკულარულად მოძრაობს 0,5 მ სიგრძის 20 მ/წმ სიჩქარის გამტარი, რომლის წინაღობაა 0,1 ომი. ძაბვა მის მომჭერებზე 15 ვ.

განსაზღვრეთ: 1) წრედის სიმძლავრე; 2) გამტარის მიერ განვითარებული მექანიკური სიმძლავრე; 3) თბური სიმძლავრე.

ამოხსნა.

გამტარში აღძრული უკუელექტრომამოძრავებელი ძალა

$$E=Blv=1{,}2\cdot 0{,}5\cdot 20=12 \text{ ვ}.$$

დენი გამტარში

$$I=\frac{U-E}{r_0}=\frac{15-12}{0{,}1}=30 \text{ ა}.$$

წრედის სიმძლავრე

$$P=IU=15\cdot 30=450 \text{ ვტ}.$$

მექანიკური სიმძლავრე

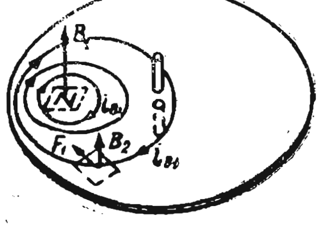
$$P_{მ}=EI=12\cdot 30=360 \text{ ვტ}.$$

თბური სიმძლავრე

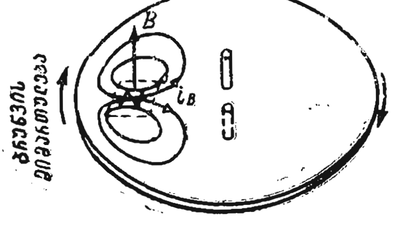
$$P_{თბ}=I^2r_0=30^2\cdot 0{,}1=90 \text{ ვტ}.$$

§-15. გრიგალური დენები

3-28 ნახაზზე გამოსახულია ღერძზე დამაგრებული ხელსაწყოს დისკო და ორი ელექტრომაგნიტის პოლუსის კვალი, რომლებიც ქმნიან დისკოს გამჭოლ Φ_1 და Φ_2 მაგნიტურ ნაკადებს; მათი მაგნიტური ინდუქციების ვექტორები ნაჩვენებია 3—28 ნახაზზე.



ნახ. 3-28. გრიგალური დენი დისკოში, რომელიც გამოწვეულია მაგნიტური ნაკადის ცვლილებით.



ნახ. 3-29. გრიგალური დენი დისკოში უცვლელი მაგნიტური ნაკადისა და დისკოს ბრუნვის დროს.

პირველ ელექტრომაგნიტში, გრაგნილებში დენის ყოველგვარი ცვლილებისას იცვლება Φ_1 მაგნიტური ნაკადი და დისკოში დაინდუქციროდება რგოლისებრი ან, როგორც მას ეძახიან, გრიგალური დენები $i_{გ1}$, რომლებიც ანალოგიური იქნებიან დენებისა რგოლში (ნახ. 3-25). გრიგალური დენების მიმართულება განისაზღვრება ისეთნაირად, როგორც დენების მიმართულება რგოლში.

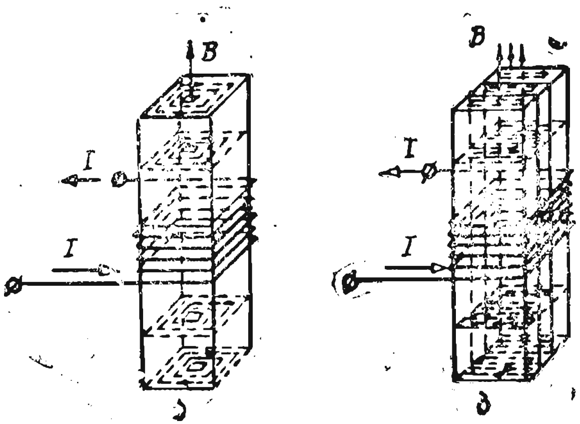
გრიგალური დენების $i_{გ1}$, Φ_2 მაგნიტურ ნაკადთან ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრება ელექტრომაგნიტური ძალა F_1, რომელიც გამოიწვევს დისკოს ბრუნვას.

2-29 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტრული ენერგიის მრიცხველის ლითონის დისკო და მუდმივი მაგნიტის პოლუსების კვალი.

დისკოს ბრუნვის დროს მაგნიტის პოლუსების ქვეშ მოთავსებული მისი უბნები გადაკვეთენ მაგნიტურ ხაზებს და დისკოში აღიძვრება გრიგალური დენები $i_გ$, აღძრული ემ ძალისა და მასთან დამთხვეული გრიგალური დენების მიმართულებანი განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით.

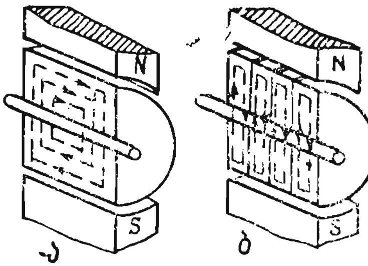
ამ დენების, იმავე მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურ ველთან ურთიერთმოქმედების შედეგად იქმნება ელექტრომაგნიტური ძალა და წარმოიქმნება სამუხრუჭო მომენტი, რომელიც აუცილებელია ელექტრომრიცხველის ნორმალური მუშაობისათვის.

გრიგალური დენები წარმოიქმნება აგრეთვე მაგნიტური ნაკადების ცვლილების დროს, როცა ისინი გამსჭვალავენ ლითონის გულარებს (ნახ. 3-30, ა და 3-31, ა), გარსაცმებსა და ელექტრული მანქანებისა და აპარატების სხვა



ნახ. 3-30. გრიგალური დენები ფოლადის გულარში.

ნაწილებს. ამ შემთხვევაში გრიგალური დენები არა მარტო ახურებენ ლითონს, რომელშიაც ისინი გადიან, არამედ ქმნიან მაგნიტურ ველებსაც, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან თავის წარმომშობ მიზეზებს. გრიგალური დენებით გახურება წარმოებს დახარჯული ელექტროენერგიისა და მათ თბურ ენერგიად გარდაქმნის ხარჯზე, რომელსაც უწოდებენ დ ა ნ ა კ ა რ გ ე ბ ს გ რ ი გ ა ლ უ რ დ ე ნ ე ბ ზ ე. კუთრი დანაკარგების სიმძლავრე ფოლადში გრიგალურ დენებზე გამოისახება ვატობით კილოგრამზე. გრიგალური დენები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ელექტროღუმელებში და სხვადასხვა დანიშნულების გამახურებელ მოწყობილობებში.



ნახ. 3-31. გრიგალური დენები ელექტრული მანქანის ღუზაში.

ა—ღუზის გულარი მასიურია; ბ—გულარი ფოლადის დისკოებისაგანაა შედგენილი.

ელექტრულ მანქანებსა და აპარატებში გრიგალური დენები ჩვეულებრივად არასასურველია, რადგან ისინი იწვევენ დამატებით დანაკარგებს და ამცირებენ მათ მქ კოეფიციენტს.

გრიგალური დენების შესამცირებლად იყენებენ ისეთ გულარებს, რომლებიც დამზადებულია მაღალი კუთრი ელექტრული წინაღობის მქონე ფოლადებისაგან. ასეთი ფოლადი უნდა შეიცავდეს 0,5—4,8% კაჟბადს. ამის გარდა, მანქანების გულარებს, რომლებშიც აღიძვრებიან გრიგალური დენები, აწყობენ ფოლადის თხელი (0,1—0,5) ერთმანეთისაგან განმხოლოებული ფურცლებისაგან (ნახ. 3-30, ბ და 3-31, ბ).

3-16. ინდუქციურობა. თვითინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა

წრედში დენის გავლის დროს კოჭას თითოეული კონტური, თუ ხვია გაიმსჭვალება საკუთარი მაგნიტური ნაკადით, რომელსაც თვითინდუქციის ნაკადი ეწოდება. კონტურის ან კოჭას ყველა ხვიას თვითინდუქციის ნაკადთა ჯამს თვითინდუქციის ნაკადგადაბმულობას უწოდებენ. გარემოს მუდმივი მაგნიტური შეღწევადობის დროს თვითინდუქციის ნაკადი და ნაკადგადაბმულობა დენის პროპორციულია.

თვითინდუქციის ნაკადგადაბმულობის შეფარდება კონტურის ან კოჭას დენთან გარემოს მუდმივი მაგნიტური შეღწევადობის დროს მუდმივია და *ინდუქციურობა ეწოდება*.

$$L = \Psi_L / I. \qquad (3\text{-}35)$$

ინდუქციურობა ახასიათებს კავშირს თვითინდუქციის ნაკადგადაბმულობისა და კონტურის დენს შორის.

ინდუქციურობის საზომ ერთეულად *СИ* სისტემაში მიღებულია ჰენრი (ჰ):

$$[L] = \left[\frac{\Psi_L}{I}\right] = \frac{\text{ვბ}}{\text{ა}} = \frac{\text{ვ}\cdot\text{წმ}}{\text{ა}} = \text{ომი}\cdot\text{წმ} = \text{ჰ}.$$

ომი—წამი, ანუ ჰენრი — მსხვილი ერთეულია. ამიტომ ხშირად იყენებენ მილიჰენრს (1 მჰ $= 1\cdot10^{-3}$ ჰ) და მიკროჰენრს (1 მკ. ჰ $= 1\cdot10^{-6}$ ჰ). წრედის ინდუქციურობის შემცველი უბნის პირობითი აღნიშვნა ნაჩვენებია 3—32 ნახაზზე.

განვსაზღვროთ რგოლისებრი კოჭას ინდუქციურობა. ასეთი კოჭას ნაკადთა გადაბმულობა (3-20) გამოსახულების თანახმად,

$$\Psi_L = w\Phi = \mu_{\text{ა}}\cdot\frac{Iw^2}{l}\cdot S,$$

ხოლო მისი ინდუქციურობა

$$L = \mu_{\text{ა}}\frac{w^2}{l}\cdot S. \qquad (3\text{-}36)$$

ნახ. 3-32. ინდუქციურობის პირობითი აღნიშვნა.

ამგვარად, კოჭას ინდუქციურობა დამოკიდებულია მისი ზომებზე, ხვიათა რიცხვსა და გარემოს მაგნიტურ შეღწევადობაზე.

მაგალითი 3-9. კოჭას სიგრძეა 30 სმ (0,3 მ), დიამეტრი—5 სმ (0,05 მ), ხვიათა რიცხვი—2000. გულარი არამაგნიტურია ($\mu_{\text{ა}} = \mu_0$). განვსაზღვროთ კოჭას ინდუქციურობა.

ამოხსნა.

კოჭას ინდუქციურობას განვსაზღვრავთ (3-36) გამოსახულების მიხედვით

$$L = \mu_0\frac{w^2 S}{l} = 125\cdot10^{-8}\cdot\frac{2^2\cdot10^6\pi\cdot5^2\cdot10^{-4}}{0,3\cdot4} \approx 33 \text{ მჰ}.$$

წრედში (კონტურში) ყოველგვარ ცვლილებას თან ახლავს მაგნიტური ნაკადისა და თვითინდუქციის ნაკადთგადაბმულობის ცვლილება, ხოლო შემდეგ ემ ძალის წარმოქმნა, რომელსაც ამ შემთხვევაში თვითინდუქციის ემ ძალა ეწოდება. კონტურში ემ ძალის წარმოქმნის მოვლენას ამავე კონტურში დენის ცვლილების შედეგად თ ვ ი თ ი ნ დ უ ქ ც ი ა ე წ ო დ ე ბ ა.

თვითინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა განისაზღვრება (3-31) გამოსახულებით

$$e_L = -\frac{d\Psi_L}{dt}$$

ან, თუ $d\Psi_L$-ს შევცვლით მისი მნიშვნელობით $d\Psi_L = d(Li)$, მივიღებთ

$$e_L = -\frac{d\Psi_L}{dt} = -\frac{d(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt}. \qquad (3\text{-}37)$$

მაშასადამე, თ ვ ი თ ი ნ დ უ ქ ც ი ი ს ე მ ძ ა ლ ა პ რ ო პ ო რ ც ი უ ლ ი ა ი ნ დ უ ქ ც ი უ რ ო ბ ი ს ა დ ა წ რ ე დ შ ი დ ე ნ ი ს ც ვ ლ ი ლ ე ბ ი ს ს ი ჩ ქ ა რ ი ს ა.

თვითინდუქციის ემ ძალის მიმართულება განისაზღვრება ლენცის კანონის მიხედვით. დენის გაზრდისას, ე. ი. როცა $di/dt > 0$, e_L ემ ძალა — უარყოფითია და, მაშასადამე, მიმართულია დენის საწინააღმდეგოდ, დენის შემცირებისას, პირიქით, ანუ როცა $di/dt < 0$, e_L ემ ძალა—დადებითია და, მაშასადამე, მისი მიმართულება ემთხვევა დენის მიმართულებას.

მაგალითი 3-10. განვსაზღვროთ თვითინდუქციის ემ ძალა, თუ წრედში, რომლის ინდუქციურობა $L=5$ მჰ, დენი იცვლება 600 ა/წმ სიჩქარით.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

ვინაიდან დენის შემცირების სიჩქარე

$$-\frac{di}{dt} = 600 \text{ ა/წმ},$$

თვითინდუქციის ემ ძალა

$$e_L = -L\frac{di}{dt} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 3 \text{ ვ}.$$

3-17. მაგნიტური ველის ენერგია

თუ შევკრავთ წრედს, რომელიც წინაღობასა და ინდუქციურობას შეიცავს მუდმივ ძაბვაზე, მაშინ დენი მასში თანდათანობით გაიზრდება ნულიდან მის საბოლოო მნიშვნელობამდე

$$I = U/r.$$

დენის ზრდასთან ერთად გარემომცველ სივრცეში შეიქმნება მაგნიტური ველი, რომელშიაც თავს იყრის დენის წყაროს მიერ დახარჯული ენერგიის ნაწილი. ეს ენერგია თავს იჩენს, მაგალითად, წრედის მოკლე შერთვისას, რომელიც დენის გავლას უზრუნველყოფს მანამ, ვიდრე ის მთლიანად არ დაიხარჯება წრედის გამტარების გახურებაზე. ის ასევე გამოვლინდება მოცემულ ველში მოთავსებულ დენიან გამტარზე ძალური ზემოქმედებით.

წრედის მუდმივ ძაბვაზე ჩართვის დროს კოჭაში დენის გაზრდის პროცესში დაინდუქცირდება თვითინდუქციის ემ ძალა

$$e=-L\frac{di}{dt}.$$

თუ გამოვიყენებთ კირხჰოფის მეორე კანონს, შეგვიძლია დავწეროთ

$$U+e_L=ir,$$

საიდანაც

$$U=ir-e_L=ir+L\frac{di}{dt}. \qquad (3\text{-}38)$$

ამგვარად, ძაბვა წრედის მომჭერებზე შედგება ორი შემდგენისაგან. პირველი შემდგენი ir განისაზღვრება ომის კანონით, მეორე შემდგენი $L\frac{di}{dt}$ ტოლია და მიმართულებით საწინააღმდეგო e_L-ისა და ის აწონასწორებს წრედში წარმოქმნილ თვითინდუქციის ემ ძალას.

თუ (3-38) განტოლების ორივე მხარეს გავამრავლებთ idt ნამრავლზე, მივიღებთ

$$Uidt=i^2rdt+Lidi.$$

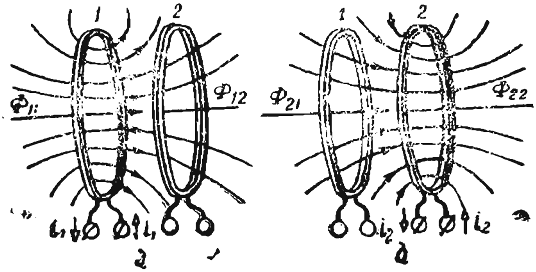
ამ განტოლების მარცხენა მხარე გამოხატავს ენერგიას, რომელიც წრედმა მიიღო dt დროში, მარჯვენა კი გვიჩვენებს, რომ ენერგიის ნაწილი i^2rdt იხარჯება წრედის გამტარების გახურებაზე, ხოლო ენერგიის სხვა დანარჩენი ნაწილი $Lidi$ ინახება წრედის მაგნიტურ ველში.

თუ შევაჯამებთ ენერგიის ნამატებს დენის ნულიდან I მნიშვნელობამდე გაზრდის დროს, მივიღებთ წრედის მაგნიტურ ველში მარაგ ენერგიას

$$W_{\text{მ}}=\int_0^I Lidi=\frac{LI^2}{2}=\frac{\Psi I}{2}. \qquad (3\text{-}39)$$

3-18. ურთიერთინდუქცია

ემ ძალის დაინდუქციების მოვლენას ერთ წრედში (კოჭაში), მეორე წრედში (კოჭაში) დენის ცვლილებისას, ეწოდება ურთიერთინდუქცია.



ნახ. 3-33. ორი კოჭას მაგნიტური კავშირი.

პირველი კოჭას (ნახ. 3-33, ა) I_1 დენი იწვევს მაგნიტურ ნაკადს, რომლის Φ_{12} ნაწილი გამსჭვალავს მეორე კოჭას w_2 ხვიებს, რის შედეგადაც წარმოქმნის ურთიერთინდუქციის ნაკადთგადაბმულობას $\Psi_{12}=w_2\Phi_{12}$. Φ_{12} მაგნიტური ნაკადი და, მაშასადამე, ნაკადთგადაბმულობაც პროპორციულია I_1 დენისა, ე. ი.

$$\Psi_{12}=M_{12}I_1 \text{ ან } M_{12}=\frac{\Psi_{12}}{I_1}. \qquad (3\text{-}40)$$

ერთი კოჭას ნაკადთგადაბმულობის შეფარდებას ამავე ნაკადთგადაბმულობის წარმომქმნელ მეორე კოჭას დენთან ეწოდება **ორი კოჭას ურთიერთინდუქცია**. (3-35) და (3-40) გამოსახულებათა შედარებიდან გამომდინარეობს, რომ ურთიერთინდუქციის საზომი ერთეული იგივეა, რაც თვითინდუქციისა, ე. ი. ჰენრი (ჰ).

მეორე კოჭას (ნახ. 3-33, ბ) I_2 დენი იწვევს Φ_{21} მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც გამსჭვალავს პირველი w_1 კოჭას ხვიებს, და წარმოქმნის ურთიერთინდუქციის ნაკადთგადაბმულობას

$$\Psi_{21}=w_1\Phi_{21}.$$

ზემოგანხილული შემთხვევის ანალოგიურად ნაკადთგადაბმულობისა და ურთიერთინდუქციის გამოსახულებებს ექნებათ შემდეგი სახე

$$\Psi_{21}=M_{21}I_2 \text{ ან } M_{21}=\frac{\Psi_{21}}{I_2}, \qquad (3\text{-}41)$$

საიდანაც შეიძლება დავასკვნათ, რომ ორი კონტურისათვის

$$M_{12}=M_{21}=M,$$

ე. ი. ინდექსები M-ის დროს არაა საჭირო.

ურთიერთინდუქცია დამოკიდებულია კოჭას ხვიათა რიცხვზე, მათ ზომებზე, ფორმაზე, მათ ურთიერთგანლაგებასა და გარემოს მაგნიტურ შეღწევადობაზე.

პირველ კოჭაში დენის შეცვლის დროს იცვლება ურთიერთინდუქციის ნაკადთგადაბმულობა და, ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად, (§ 3-12) მეორე კოჭაში დაინდუქცირდება ურთიერთინდუქციის ემ ძალა

$$e_2 = -\frac{d\Psi_{12}}{dt} = -M\frac{di_1}{dt}. \qquad (3\text{-}42)$$

მეორე კოჭაში დენის შეცვლის დროს ასევე იცვლება ურთიერთინდუქციის ნაკადთგადაბმულობა და პირველ კოჭაში დაინდუქცირდება ურთიერთინდუქციის ემ ძალა

$$e_1 = -\frac{d\Psi_{21}}{dt} = -M\frac{di_2}{dt}. \qquad (3\text{-}43)$$

ამგვარად, *ურთიერთინდუქციის ემ ძალა პროპორციულია კოჭას ურთიერთინდუქციისა და დენის ცვლილების სიჩქარისა.*

ორი კოჭას ურთიერთინდუქცია L_1 და L_2 კოჭების ინდუქციურობებთან დაკავშირებულია გამოსახულებით

$$M = k\sqrt{L_1 L_2},$$

სადაც k — *ორი კოჭას კავშირის კოეფიციენტია*, რომელიც ახასიათებს კოჭების ინდუქციურ კავშირს.

კავშირის კოეფიციენტი დამოკიდებულია კოჭების ურთიერთგანლაგებაზე. რაც ახლოსაა ერთმანეთთან კოჭები, მით მეტი მნიშვნელობა აქვს კავშირის კოეფიციენტს და, პირიქით, კოჭებს შორის მანძილის გაზრდისას ის მცირდება და მიისწრაფვის ნულისაკენ.

ურთიერთინდუქციის მოვლენა ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა აპარატებსა და მანქანებში, მაგალითად, ენერგიის გადასაცემად ერთი ელექტროწრედიდან მეორეში, ძაბვის ამაღლების ან დადაბლების მიზნით ტრანსფორმატორების საშუალებით.

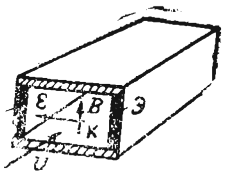
ზოგჯერ ურთიერთინდუქციის მოვლენა შეიძლება უკიდურესად არასასურველი იყოს, მაგალითად, როცა საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების პარალელურად გადის კავშირგაბმულობის ხაზი, მაშინ ამ უკანასკნელში შეიძლება დაინდუქცირდეს ურთიერთინდუქციის ემ ძალა, რაც დაბრკოლებებს ქმნის კავშირგაბმულობის ხაზების მუშაობაში.

3-19. მაგნიტოჰიდროდინამიკური გენერატორი

მაგნიტოჰიდროდინამიკური გენერატორის (მჰდ გენერატორის) მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში.

ჟანგბადით შემთბარი და გამდიდრებული ჰაერი მიეწოდება წვის კამერაში, რომელშიც ხდება აიროვანი საწვავის დაწვა 2500°C-მდე ტემპერატურაზე. ასეთ ტემპერატურაზე წარმოქმნილ აირულ პლაზმას გააჩნია მაღალი გამტარობა. წვის კამერიდან პლაზმა v სიჩქარით გადადის მაგნიტოჰიდროდინამიკურ K არხში (ნახ. 3—34), ამ არხის სწორკუთხოვანი კვეთი მიიღება ორი წყვილი კედლით. ერთი წყვილი — ლითონის $Э$ კედელი წარმოადგენს მჰდ გენერატორის ელექტროდებს, ხოლო მეორე წყვილი კედელი გაკეთებულია საიზოლაციო მასალისაგან. აგზნების ელექტრომაგნიტები აღნიშნულ არხში ქმნის მაგნიტურ ველს B ინდუქციით, რომელიც მიმართულია K არხის ღერძის პერპენდიკულარულად.

პლაზმის მაგნიტურ ველში მოძრაობისას არხის ღერძის მიმართულებით (ნახ. 3-34), მასში წარმოიქმნება ელექტრული ველი, რომელიც მიმართულია პლაზმის მოძრაობისა და ელექტრული ველის პერპენდიკულარულად. ამგვარად, $Э$ ელექტროდებს შორის წარმოიქმნება გენერატორის ემ ძალა, რომელსაც განსაზღვრავს დაინდუქცირებული ε ელექტროველი.



ნახ. 3-34. მაგნიტოჰიდროდინამიკური გენერატორის სქემა.

თუ გენერატორის ელექტროდებთან ჩავრთავთ მომხმარებლებს, ისინი ელექტრულ ენერგიას მიიღებენ მჰდ გენერატორიდან. გენერატორის დატვირთვით მუშაობისას წარმოიქმნება პლაზმის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულების ძალები. ასე რომ დატვირთვის გაზრდა გამოიწვევს პლაზმის მოძრაობის სიჩქარის შემცირებას. მაშასადამე, გენერატორთან მიყვანილი თბური ენერგია დასაწყისში გარდაიქმნება პლაზმის მოძრაობის ენერგიად, ხოლო შემდეგ — ელექტრულად.

მჰდ გენერატორით გაწყობილი დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტი შეიძლება აყვანილ იქნეს 60%-მდე, რაც მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივი თბური ელექტროდანადგარებისათვის (43%).

მეოთხე თავი

მუდმივი დენის ელექტრული მანქანები

4-1. მუდმივი დენის მანქანების დანიშნულება

ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი მ ა ნ ქ ა ნ ე ბ ი ეწოდება მოწყობილობას, რომლის დანიშნულებაა მექანიკური ენერგია გარდაქმნას ელექტრულად ან ელექტრული ენერგია — მექანიკურად. პირველ შემთხვევაში მათ ეწოდებათ გენერატორები, ხოლო მეორეში — ელექტროძრავები.

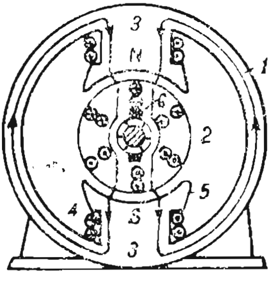
მუდმივი დენის გენერატორი გამოიყენება ელექტროძრავებისა და ელექტროლიზის დანადგარების მკვებავად, აკუმულატორების დასამუხტავად და ა. შ. მუდმივი დენის ელექტროძრავების მეშვეობით მექანიზმები, რომლებიც საჭიროებენ დიდ გამშვებ მაბრუნ მომენტებს და ბრუნვის სიხშირის ფართო რეგულირებას, მაგალითად: ელექტრული ტრანსპორტი, საშახტო ამწევები, საგლინავი დგანები და სხვ. მუდმივი დენის მანქანები ავტომატურ მოწყობილობებში გამოიყენება შემსრულებელ ძრავებად, ბრუნვის სიხშირის გასაზომად, სიგნალების გარდამქმნელებად და სხვ. ლითონდამმუშავებელი ჩარხების სპეციალურ მოწყობილობებში მუდმივი დენის მანქანები საშუალებას გვაძლევს მნიშვნელოვნად გავამარტივოთ სიჩქარის რეგულირების მექანიკური სქემები.

4-2. მუდმივი დენის მანქანების მოწყობილობა

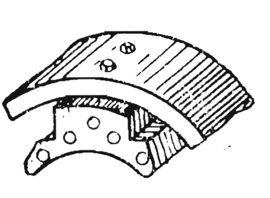
მუდმივი დენის მანქანების მუშაობას საფუძვლად უდევს § 3-13 და 3-14-ში მოყვანილი განმარტებანი. მუდმივი დენის ორპოლუსიანი მანქანის ესკიზი წარმოდგენილია 4-1 ნახაზზე. მანქანა შედგება ფოლადის ს ა დ გ ა რ ი ს ა (1) და მბრუნავი ღ უ ზ ი ს ა გ ა ნ (2). სადგარზე ჭანჭიკებით დამაგრებულია პოლუსები (3). პოლუსებზე მოთავსებულია (ნახ. 4-2) აგზნების გრაგნილები (4) (ნახ. 4-1), რომელთა ხვიებში $w_{ხვ}$ გადის აგზნების დენი $I_{აგზ}$. აგზნების გრაგნილის $I_{აგზ} \cdot w_{აგზ}$-ის ტოლი მაგნიტომამოძრავებელი ძალა (მმძ) ქმნის $\Phi_{აგზ}$ აგზნების მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც შერთავადია პოლუსებში, პოლუსებსა და ღუზას შორის საჰაერო ღრეჩოსა და ღუზის გავლით სადგარში (ნახ. 4-1).

პოლუსებს კრებენ ფოლადის ფურცლებისაგან და მათი სხეული მთავრდება პოლუსების ბუნიკებით (5), რომელთა ფორმა განსაზღვრავს მაგნიტური ინდუქციის განაწილებას საჰაერო ღრეჩოში.

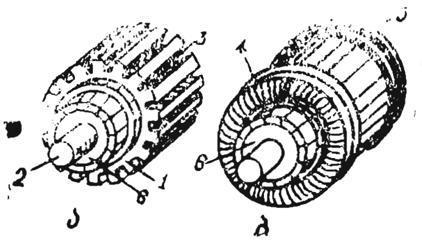
მანქანის ღუზის მოწყობილობა მოყვანილია 4-3 ნახაზზე. ეს არის ერთმანეთისაგან იზოლირებული დატვიფრული ფოლადის ფურცლებისაგან აკრე-



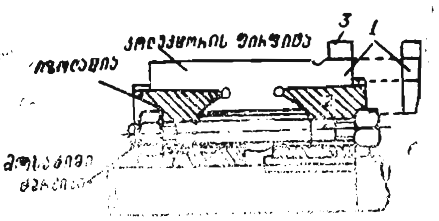
ნახ. 4-1. მუდმივი დენის ორპოლუსიანი მანქანა.



ნახ. 4-2. მანქანის პოლუსი.



ნახ. 4-3. მანქანის ღუზა.



ნახ. 4-4. კოლექტორის მოწყობილობა.

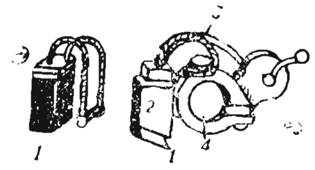
ბილი ცილინდრი (1), რომელიც ჩაწნეხილია ლილვზე (2) (ნახ. 4-3, ა). მის კილოებში (3) ეწყობა ღუზის (4) გრაგნილის გამტარები (ნახ. 4-3, ბ), რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია განსაზღვრული სქემის მიხედვით, თანამიმდევრულად და პარალელურად (ან შერეულად). ღუზის გრაგნილები იზოლირებულია კილოებისაგან და მათში მაგრდება სპეციალური სოლებით ან ბანდაჟებით (5).

ღუზის ლილვზე 2 თავსდება ელექტრული ლილვისაგან იზოლირებული ცილინდრული კოლექტორი (6). კ ო ლ ე ქ ტ ო რ ი (ნახ. 4-4) შედგება სოლისებრი სპილენძის ფირფიტებისაგან (1), რომლებიც ერთმანეთისაგან იზოლირებულია მიკანიტის შუასადებით. ისინი აწყობილია მილისაგან (2) და მასზე მაგრდებიან ქანჩიკებით. კოლექტორის ფირფიტების (ა) შვერილებზე მიარჩილავენ ღუზის გრაგნილის გამტართა განსაზღვრულ ბოლოებს. კოლექტორის ზედაპირზე მიყრდნობილია ნახშირის ან გრაფიტის უძრავი მუსები (6) (ნახ. 4-1), რომლებთანაც შეერთებულია გარე ქსელის სადენები. ამგვარად, გარე ქსელის სადენები მუსებისა და კოლექტორის საშუალებით უერთდება ღუზის მბრუნავ გრაგნილებს.

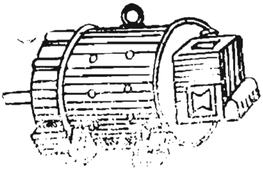
მუსების მექანიზმის მოწყობილობა ნაჩვენებია 4-5 ნახაზზე. ელექტროგრაფიტირებული ან გრაფიტის პრიზმის ფორმის მუსები (1) მოთავსებულია მუსადამჭერის 2 გარსაკრებში. მუსადამჭერი მაგრდება სპეციალურ ქანჩიკზე, რომელიც გადის ნახვრეტში (4), დაყენებულია მანქანის საკისრების ფარზე და იზოლირებულია მისგან.

მოქნილი სპილენძის გამტარები (3) უზრუნველყოფენ მუსების კონტაქტს ღუზის წრედის მომჭერებთან საიზოლაციო ფარზე, რომლებიც აღნიშნულია $Я_1$ და $Я_2$ ასოებით.

აგზნების გრაგნილის მომჭერების აღნიშვნებია: $Ш_1$ და $Ш_2$ — პარალელური (შუნტური) გრაგნილი; C_1 და C_2 — თანამიმდევრული (სერიესული) გრაგნილი და $Д_1$ და $Д_2$ — დამატებითი პოლუსების გრაგნილი (§ 4-11 და 4-13). მუდმივი დენის მანქანის გარე ხედი ნაჩვენებია 4-6 ნახაზზე.



ნახ. 4-5. მუსა და მუსის დამჭერი.

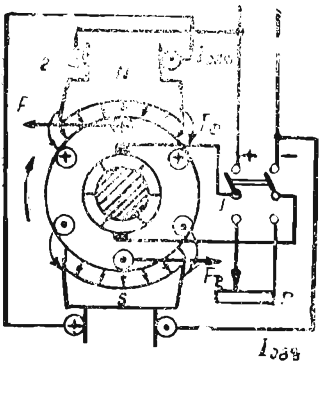


ნახ. 4-6. მუდმივი დენის მანქანის გარე ხედი.

4-2. მუდმივი დენის მანქანის მუშაობის პრინციპი

მუდმივი დენის მანქანის მუშაობის გამარტივებული სქემა ნაჩვენებია 4-7 ნახაზზე. მუსები მიერთებულია გადასართავის ჩამრაზ-გადამრთველის დანასთან (1), რაც საშუალებას გვაძლევს ღუზა შევაერთოთ r მომხმარებელთან ან ქსელის მკვებავთან. აგზნების გრაგნილი (2) ჩართულია გარე ქსელში.

დავუშვათ, ენერგიის r მიმღებთან მიერთებული ღუზა ბრუნვაში მოდის პირველადი, მაგალითად, თბური ძრავას საშუალებით. მაშინ $I_{\text{აგზ}}$ აგზნების დენით შექმნილ მაგნიტურ ველში მბრუნავი ღუზის გრაგნილში წარმოიქმნება ემ ძალა და r წინაღობაში გაივლის დენი. ემ ძალისა და დენის მიმართულება ღუზაში, რომელსაც მარჯვენა ხელის წესით ვპოულობთ, ნაჩვენებია 4-7 ნახაზზე. მაგნიტურ ველში მყოფ დენიან გამტარზე მოქმედი ელექტრომაგნიტური ძალების $F_{\text{ესგ}}$ მიმართულებაც ასევე ნაჩვენებია 4-7 ნახაზზე. ეს ძალები მანქანის ღერძზე ქმნის სამუხრუჭო მომენტს. პირველადი ძრავა ქმნის $M_{\text{ბრ}}$ მაბრუნ მომენტს, რომელიც აწონასწორებს სამუხრუჭო მომენტს. ამგვარად, როგორც ეს ნაჩვენები იყო § 3-13-ში, მანქანა მუშაობს გენერატორის რეჟიმზე, ე. ი. მექანიკურ ენერგიას გარდაქმნის ელექტრულად.



ნახ. 4-7. მუდმივი დენის მანქანის მუშაობის პრინციპი.

ომის კანონის თანახმად,

$$I=I_{\text{ღ}}=\frac{E}{r+r_{\text{ღ}}}. \qquad (4\text{-}1)$$

მაშასადამე,

$$E=Ir+Ir_{\text{ღ}}=U+Ir_{\text{ღ}}, \qquad (4\text{-}2)$$

ე. ი. E გენერატორის ემ ძალა U ძაბვაზე მეტია ღუზაში ძაბვის ვარდნით $Ir_{\text{ღ}}$.

თუ ამ მანქანის ლილვს გამოვრთავთ პირველადი ძრავასაგან, ხოლო გადამრთველის დანას (1) გადავიყვანთ ზედა მდგომარეობაში (ნახ. 4-7), მაშინ ღუზის გრაგნილში დამყარდება დენი $I=I_{\text{ღ}}$, რომლის

მიმართულებაც ზემოთ განხილული დენის საწინააღმდეგო იქნება. ამ დენისა და ამ მაგნიტური ველის ურთიერთქმედების შედეგად შექმნილი ელექტრომაგნიტური ძალები ასევე საწინააღმდეგოდ იქნება მიმართული და წარმოქმნის $M_{\text{მაბ}}$ მაბრუნ მომენტს, რომლის მოქმედებით ღუზა დაბრუნდება ადრინდელი მიმართულებით. ამ შემთხვევაში ელექტრული ენერგია, რომელიც ქსელიდან შემოდის, გარდაიქმნება მექანიკურად (§ 3-14) და მანქანა იმუშავებს ელექტროძრავად.

კოლექტორი და მუსები მბრუნავი ღუზის გრაგნილის სექციების გადართვას ახორციელებენ ისეთნაირად, რომ ჩრდილოეთის პოლარობის ზონიდან აქტიური გამტარების სამხრეთის პოლარობის ზონაში გადასვლის დროს მათში შეიცვალოს დენის მიმართულება, რაც აუცილებელია ბრუნვის მუდმივი მიმართულების შესანარჩუნებლად.

ელექტროძრავას ღუზის გრაგნილში, ისევე როგორც გენერატორის გრაგნილში აღიძვრება E ემ ძალა. მხოლოდ ახლა მისი მიმართულება იქნება დენის შემხვედრი, რაშიაც ადვილად დავრწმუნდებით, თუ გამოვიყენებთ მარჯვენა ხელის წესს. ამ ემ ძალას ეწოდება შემხვედრი ემ ძალა, ანუ უკუ ემ ძალა.

კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად,

$$U-E=I_{ღ}\cdot r_{ღ} \text{ ან } E=U-I_{ღ}\, r_{ღ}, \qquad (4\text{-}3)$$

ხოლო დენი

$$I_{ღ}=\frac{U-E}{r_{ღ}}. \qquad (4\text{-}4)$$

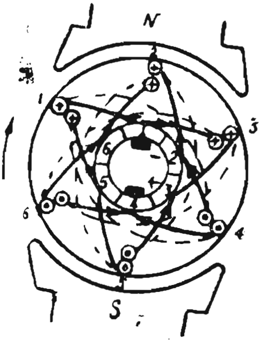
მანქანის ელექტროძრავად მუშაობის დროს E ემ ძალა ნაკლებია ღუზის მომჭერებზე არსებულ U ძაბვაზე, ღუზის გრაგნილში $I_{ღ}r_{ღ}$ ძაბვის ვარდნით.

ელექტროძრავას ბრუნვის მიმართულების შეცვლა ხდება ღუზის წრედში ან აგზნების გრაგნილში დენის მიმართულების შეცვლით. დენის მიმართულების ერთდროულად შეცვლა ორივე გრაგნილში არ იწვევს ბრუნვის მიმართულების შეცვლას (ნახ. 4-7).

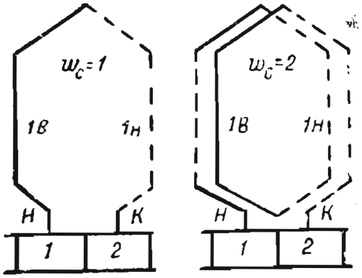
4-4. ღუზის გრაგნილის მოწყობილობა

ღუზის გრაგნილის გამარტივებული სქემა ნაჩვენებია 4-8 ნახაზზე. ორ პოლუსს შორის ბრუნავს ღუზა ექვსი კილოთი, რომლებშიაც მოთავსებულია ღუზის გრაგნილის იზოლირებული სადენები ორ შრედ. ღუზის გამარტივების მიზნით კილოები ნახაზზე არაა ნაჩვენები. 4-8 ნახაზიდან ჩანს, რომ კოლექტორის ფირფიტიდან (1) გამტარი ღუზასთან ახლოს მდებარე ტორსით მიემართება პირველი კილოს ზედა შრეში (ჩვენგან ნახაზის სიბრტყის იქით), ხოლო შემდეგ ღუზისაგან შორს მდებარე ტორსით (ნახაზზე წყვეტილითაა ნაჩვენები) ის ხვდება მეოთხე კილოს ქვედა შრეში და იქიდან

კი ღუზის ახლოს მდებარე ტორსით გამოდის და უერთდება კოლექტორის ფირფიტას (2). მეორე კოლექტორის ფირფიტიდან გამტარი ხვდება მეორე კილოს ზედა შრეში და ა. შ.



ნახ. 4-8. ღუზის გრაგნილის სქემა.



ნახ. 4-9. ღუზის გრაგნილის სექციები.

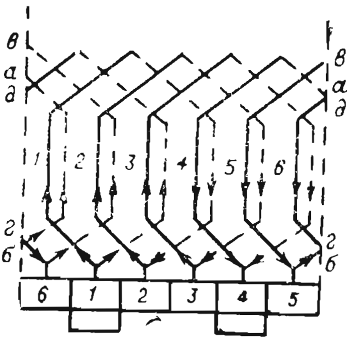
თუ ბოლომდე დავაკვირდებით გრაგნილის გამტართა სვლას, შეიძლება შევნიშნოთ, რომ ის შეკრულია და შედგება ერთნაირი ნაწილებისაგან—სექციებისაგან, რომლებიც მიერთებულია კოლექტორის ორ მეზობელ ფირფიტასთან. კილოებში ჩაწყობილი სექციების გამტარებში ღუზის ბრუნვის დროს აღიძვრება ემ ძალა, ამიტომ მათ სექციის აქტიური მხარე ეწოდება. გამტარის იმ ნაწილებში, რომლებიც მოთავსებულია ღუზის ტორსებზე და რომლებსაც შუბლური გამტარები ეწოდებათ, ემ ძალა არ აღიძვრება. ცალკეული სექციების ხედი ნაჩვენებია 4-9 ნახაზზე. ზედა შრის აქტიური მხარეები გამოსახულია მთლიანი ხაზით, ხოლო ქვედა — წყვეტილით. სექციაში შეიძლება იყოს ერთი ან რამდენიმე ხვია. იმისათვის რომ სექციებს მივცეთ საჭირო ფორმა, მათ ამზადებენ სპეციალური თარგებით, უკეთებენ იზოლაციას და აწყობენ ღუზის გულარის კილოებში.

ვინაიდან კოლექტორის თითოეულ ფირფიტაზე მიერჩილება ორი გამტარი — წინა სექციის ბოლო და შემდეგის საწყისი, კოლექტორის ფირფიტების რიცხვი K ტოლი უნდა იყოს ღუზის გრაგნილების სექციების რიცხვისა. 4-8 ნახაზზე მოყვანილი გრაგნილისათვის ღუზას აქვს ექვსი კილო $Z=6$ და ამავე რაოდენობის სექციები. თუ ვიცით K, ღუზის გრაგნილის შემადგენელი აქტიური გამტარების რიცხვი, შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფორმულით

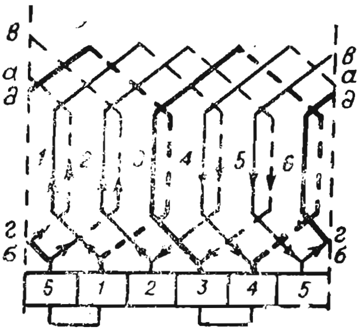
$$N=2w_c\cdot K,$$

სადაც w_c — სექციის ხვიათა რიცხვია.

გრაგნილების განსახილველად მოხერხებულია 4-10 ნახაზზე მოყვანილი სქემა. ეს არის ღუზის ცილინდრული ზედაპირის გაშლა თავისი გრაგნილე-



ნახ. 4-10. ღუზის გრაგნილის გაშლილი სქემა.



ნახ. 4-11. ღუზის გრაგნილის გაშლილი სქემა.

ბით. რომლებიც გამოსახულია 4-8 ნახაზზე. 4-8 და 4-10 ნახაზებზე ნაჩვენებია აქტიურ გამტარებში აღძრული ემ ძალების მიმართულებები, რომლებიც განსაზღვრულია მარჯვენა ხელის წესით. ყველა ემ ძალის ჯამი შეკრულ გრაგნილებში ნულის ტოლია. მაგრამ, თუ შემოვუვლით გრაგნილს, მაგალითად, კოლექტორის პირველი ფირფიტიდან ემ ძალის მიმართულებით, შეიძლება შევნიშნოთ, რომ კოლექტორის მეოთხე ფირფიტასთან ემ ძალა იცვლის ნიშანს. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გარე წრედის მიმართ იქმნება ღუზის გრაგნილის ორი პარალელური შტოს კვანძი. თუ გავყვებით შემდეგ გრაგნილს ემ ძალის საწინააღმდეგოდ, შეიძლება კოლექტორის ფირფიტასთან (1) აღმოვაჩინოთ მეორე კვანძი, სადაც ემ ძალა ისევ იცვლის მიმართულებას.

ამგვარად, გრაგნილი შედგება ორი კვანძის მქონე ორი პარალელური შტოსაგან ($2a=2$). კვანძი კოლექტორის მეოთხე ფირფიტასთან პოტენციალის უმაღლესი (+) წერტილია, ხოლო პირველ ფირფიტასთან — პოტენციალის უდაბლესი (—) წერტილი. სწორედ კოლექტორის ამ ფირფიტებზე დევება მუსები.

ორ მუსას შორის ძაბვა იმ დროის მომენტისათვის, რომელსაც შეესაბამება 4-8 და 4-10 ნახაზებზე მოყვანილი ღუზის მდგომარეობა, შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად

$$u_1=e_1+e_4'+e_2+e_5'+e_3+e_6'=e_4+e_1'+e_5+e_2'+e_6+e_3'.$$

აქ შტრიხებით აღნიშნულია სექციის ქვედა შრის ემ ძალები.

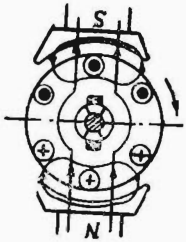
თუ ღუზას შემოვაბრუნებთ 60°-ით, მუსების პოლარობა და u_1 სიდიდე უცვლელი დარჩება, რადგან მეექვსე კილო დაიკავებს პირველის ადგილს, პირველი — მეორეს და ა. შ. თუ ღუზას შემოვაბრუნებთ 60°-ზე ნაკლები კუთხით, მაგალითად, 30°-ზე, გრაგნილების მდგომარეობა იქნება ისეთი, როგორიც წარმოდგენილია 4-11 ნახაზზე, სადაც გამარტივების მიზნით

მარცხნივაა გადაწეული მუსები და არა გრაგნილები. ამ შემთხვევაში ორი სექცია აღმოჩნდება მოკლედ შერთული და თითოეულ ორ პარალელურ შტოში ჩართული იქნება მხოლოდ ორი სექცია.

მანქანის ძაბვა ამ მომენტში

$$u_2=e_1+e_4'+e_2+e_5'=e_4+e_1'+e_5+e_2'.$$

ამგვარად, ღუზის ბრუნვის დროს ძაბვა ღუზის მომჭერებზე მიმართულებით მუდმივია, მაგრამ იცვლება u_1-დან u_2-მდე. რაც ბევრი სექცია იქნება ჩართული თითოეულ პარალელურ შტოში, მით ნაკლებია ძაბვის პულსაცია. თანამედროვე მანქანებში, სექციების დიდი რიცხვით, პულსაცია ისე მცირეა, რომ ძაბვა პრაქტიკულად უცვლელია.



ნახ. 4.12. ღუზის გაბივი რეაქცია გენერატორული რეჟიმის დროს.

პოლუსების ღერძის პერპენდიკულარულ სიბრტყეს, რომელიც ღუზის ღერძზე, ე. ი. პოლუსებიდან ტოლ მანძილზე გადის, **გეომეტრიული ნეიტრალი** ეწოდება (ნახ. 4-12).

მოკლედ შერთული სექციები ყოველთვის გეომეტრიული ნეიტრალის ზონაში მოძრაობს, სადაც B_δ ინდუქცია ტოლია ნულისა ან მეტად მცირეა. ამიტომ სექციებში აღძრული ემ ძალა უდრის ნულს ან უმნიშვნელოა.

ღუზის გრაგნილების მოწყობილობის განხილული პრინციპი ძალაში რჩება თანამედროვე მანქანებშიაც, მიუხედავად პოლუსების, პარალელური შტოების, სექციებისა და კოლექტორის ფირფიტების რიცხვისა.

4-5. ღუზის გრაგნილის ელექტრომამოძრავებელი ძალა

როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, მანქანის ემ ძალა ტოლია თანამიმდევრულად შეერთებული ერთი პარალელური შტოს გამტარების ემ ძალების ჯამისა. ეს ემ ძალები სხვადასხვაა, რადგან საჰაერო ღრეჩოს სხვადასხვა წერტილში ღუზის წრეწირზე მაგნიტური ინდუქცია არ არის ერთნაირი. მაგრამ მანქანის ემ ძალა შეიძლება განვსაზღვროთ, თუ გამტარის ემ ძალის საშუალო მნიშვნელობას გავამრავლებთ ერთი პარალელური შტოს გამტარების რიცხვზე.

დავუშვათ, ერთი პოლუსის მაგნიტური ნაკადი Φ ია, მანქანის პოლუსების რიცხვი — $2p$, ღუზის გულარის ღერძული სიგრძე — l, მისი დიამეტრი — d, ხოლო გვერდითი ზედაპირი — S. მაშინ მაგნიტური ინდუქციის მნიშვნელობა ღუზის ზედაპირზე

$$B_{საშ}=\frac{\Phi\cdot 2p}{S}=\frac{\Phi\cdot 2p}{\pi dl}, \qquad (4\text{-}5)$$

ხოლო თითოეული გამტარის ემ ძალის საშუალო მნიშვნელობა

$$E_{საშ} = B_{საშ}\cdot lv = \frac{\Phi\cdot 2p\cdot \pi d n l}{\pi d l\cdot 60} = \Phi\cdot 2p\cdot\frac{n}{60},$$

სადაც n არის ღუზის ბრუნვის სიხშირე, ბრ/წთ.

თუ გრაგნილის გამტართა მთელი რიცხვია N, ხოლო მისი პარალელური შტოების რიცხვი — $2a$, მაშინ თითოეულ პარალელურ შტოში თანმიმდევრულად იქნება ჩართული $N/2a$ გამტარი და პარალელური შტოს ემ ძალა ან, რაც იგივეა, ემ ძალა

$$E = E_{საშ}\cdot\frac{N}{2a} = 2p\cdot\frac{n}{60}\cdot\frac{N}{2a}\cdot\Phi = \frac{p}{a}\cdot\frac{n}{60}N\Phi, \qquad (4\text{-}6)$$

ანუ

$$E = C_E\Phi n, \qquad (4\text{-}7)$$

სადაც $C_E = \frac{pN}{60a}$ — მანქანის მუდმივაა.

მაშასადამე, მანქანის ემ ძალა პროპორციულია მაგნიტური ნაკადისა და ღუზის ბრუნვის სიხშირისა.

4-6. მანქანის ელექტრომაგნიტური მომენტი

§ 4-5-დან ცნობილია, რომ მაგნიტურ ველში მყოფ დენიან გამტარზე მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალა

$$F_{გამ} = B_{საშ} l I = \frac{\Phi\cdot 2p}{\pi d l}\cdot l\frac{I_ღ}{2a} = \frac{p\Phi}{\pi d a}\cdot I_ღ,$$

სადაც $B_{საშ}$ არის მაგნიტური ინდუქციის საშუალო მნიშვნელობა;

d და l — ღუზის სიგრძე და დიამეტრი;

$\Phi\cdot 2p$ — მრავალპოლუსიანი მანქანის სრული ნაკადი;

$I = \frac{I_ღ}{2a}$ — პარალელური შტოს დენი, ანუ ერთი გამტარის დენი;

ღუზის გრაგნილის თითოეული გამტარის მიერ შექმნილი მომენტი გამოისახება ფორმულით

$$M_{გამ} = F_{გამ}\frac{d}{2} = \frac{\Phi\cdot p}{\pi d a}\cdot\frac{d}{2} I_ღ = \frac{p\Phi}{2\pi a}\cdot I_ღ.$$

მანქანის სრული ელექტრომაგნიტური მომენტი, თუ გრაგნილის გამტართა რიცხვია N,

$$M = M_{გამ}\cdot N = \frac{p}{2\pi a}N\cdot\Phi\cdot I_ღ = C_M\cdot\Phi\cdot I_ღ, \qquad (4\text{-}8)$$

სადაც $C_M = \frac{p}{2\pi a}\cdot N$ — მუდმივი სიდიდეა.

თუ მანქანა გენერატორად მუშაობს, მაშინ დატვირთვის დროს (თუ ღუზის გრაგნილში გადის დენი) მომენტი იქნება სამუხრუჭო ($M_{სამ}$), ხოლო ძრავად მუშაობისას მომენტი იქნება მაბრუნი ($M_{მაბრ.}$).

ელექტრულ ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტი M ნებისმიერ რეჟიმზე მუშაობის დროს გაწონასწორდება წინაღობის სტატიკური მომენტით $M_{სტატ}$ და მბრუნავი მასის დინამიკური მომენტით $M_j = \frac{Idw}{dt}$, სადაც I — ინერციის მომენტია, ხოლო წარმოებული $\frac{dw}{dt}$ — კუთხური აჩქარება.

ინერციის მომენტი $I = mp^2$, სადაც m — მბრუნავი სხეულის მასაა; p — ინერციის რადიუსი.

მაშინ მოძრაობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე

$$M = -(M_{სტატ} + M_j).$$

თუ გაიზრდება სიჩქარე $\omega = \frac{2\pi n}{60}$, დინამიკური მომენტი M_I დადებითი იქნება, ხოლო მისი შემცირებისას — უარყოფითი. თუ მხედველობაში მივიღებთ არა წინაღობის მომენტებს, არამედ მაბრუნი მომენტის შემდგენებს, მაშინ

$$M = M_{სტატ} + M_j. \qquad (4\text{-}9)$$

როცა $M > M_{სტატ}$, ღერძზე გაჩნდება დადებითი მომენტი M_j და სიჩქარე გაიზრდება, ხოლო წინააღმდეგ შემთხვევაში ის მცირდება.

თუ ბრუნვის სიხშირე მუდმივია (n = const), მაშინ ელექტრომაგნიტური მბრუნავი მომენტი $M = C_M I_ღ \cdot \Phi$ გაწონასწორებულია $M_{წინ}$ წინაღობის მომენტით, რომელიც შედგება: M_0 — უქმი სვლის მომენტისა (გამოწვეული ხახუნითა და ძრავას ფოლადში დანაკარგებით) და მოძრაობაში მოყვანილი მექანიზმის მუშაობით გამოწვეული M_2 სასარგებლო მომენტის ჯამისაგან, ე. ი.

$$M_{წინ} = M_0 + M_2. \qquad (4\text{-}10)$$

4-7. მუდმივი დენის მანქანის მექანიკური სიმძლავრე

ზემოთ აღვნიშნეთ (§ 3-13 და 3-14), რომ მექანიკური ენერგიის ელექტრულად გარდაქმნის პროცესში ან, პირიქით, მექანიკური სიმძლავრე ტოლია EI-სა. გამოვიყენოთ ეს ელექტრული მანქანისათვის. დავუშვათ, რომ F არის წრიული ძალა, რომელიც მოდებულია ღუზაზე მისი წრის მხებად, ხოლო v ხაზური სიჩქარე ღუზის გარე ზედაპირზე, მაშინ სრული მექანიკური სიმძლავრე

$$P_{მექ} = F \cdot v.$$

თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ მნიშვნელობებს

$$F=\frac{2M}{d} \text{ და } v=\frac{\omega d}{2},$$

მივიღებთ

$$P_{მექ}=\frac{2M}{d}\,\omega\,\frac{d}{2}=M\omega. \qquad (4\text{-}11)$$

მანქანის მაბრუნი მომენტი

$$M=\left(\frac{p}{2\pi a}\right)N\Phi I_{ღ},$$

მაშასადამე, მექანიკური სიმძლავრე

$$P_{მექ}=\frac{p}{2\pi a}N\Phi I_{ღ}\cdot\frac{2\pi n}{60}=\Phi N\frac{p}{a}\frac{n}{60}I_{ღ}=EI_{ღ}. \qquad (4\text{-}12)$$

ნამრავლს $E\cdot I_{ღ}$ ხშირად უწოდებენ მ ა ნ ქ ა ნ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ ო მ ა გ-ნ ი ტ უ რ ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე ს და აღნიშნავენ $P_{ემ}$ ასოთი. როცა მანქანა გენერატორის რეჟიმით მუშაობს, $EI_{ღ}$ სიმძლავრე მეტია $U\cdot I_{ღ}$ სიმძლავრეზე, რადგან $E>U$; მანქანის ელექტროძრავას რეჟიმით მუშაობის დროს $U\cdot I_{ღ}$ მეტია $E\cdot I_{ღ}$-ზე, რადგან უკუ ემ ძალა $E<U$. სიმძლავრეთა სხვაობა ორივე შემთხვევაში რიცხობრივად ტოლია ღუზის გრაგნილში თბური დანაკარგების სიმძლავრისა $I^2_{ღ}\cdot r_{ღ}$.

4-8. მუდმივი დენის მანქანის ღუზის რეაქცია

მანქანების უქმი სვლის დროს, მიუხედავად იმისა, თუ როგორი რეჟიმით მუშაობს ის, დენი $I_{ღ}$ გრაგნილში ან ნულის ტოლია, ან მეტად მცირეა. ამ შემთხვევაში მანქანის მაგნიტური ნაკადი Φ იქმნება მხოლოდ F მაგნიტომამოძრავებელი ძალის ხარჯზე და იკვრება ღუზაში პოლუსების გასწვრივ. 4-12 ნახაზზე ეს ნაკადი ნაჩვენებია ზემოდან ქვემოთ მიმართული (N პოლუსიდან S პოლუსისაკენ).

დატვირთული მანქანის ღუზის გამტარებში გაივლის $I_{ღ}$ დენი, რომელიც გენერატორული რეჟიმით მუშაობის დროს (ნახ. 4-12) მიმართულია ემ ძალის მიმართულებით და განისაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით.

მაშინ ღუზის მმ ძალა $F_{ღ}$ ქმნის თავის მაგნიტურ ნაკადს $\Phi_{ღ}$, რომელიც ღუზის გავლით იკვრება საჰაერო ღრეჩოსა და პოლუსების ბოლოებში.

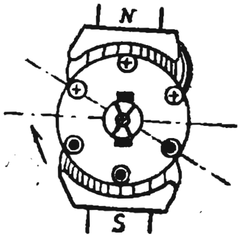
თუ ბრუნვის მიმართულების მიხედვით პოლუსის ბუნიკის მარცხენა მხარეს ჩავთვლით, როგორც ამავალს ღუზის ზედაპირზე, ხოლო მარჯვენას — როგორც ჩამავალს, შეიძლება შევნიშნოთ, რომ პოლუსის ამავალი ბოლო განმაგნიტდება ღუზის განივი ნაკადით, ხოლო ჩამავალი — დამაგნიტდება. მაგნიტური ინდუქციის განაწილების სურათი საჰაერო ღრეჩოში მოცემული

შემთხვევისათვის მოყვანილია 4-13 ნახაზზე. მანქანის მარეზულტირებელი ნაკადი Φ გადაიწევა ღუზის ბრუნვის მიმართულებით, იმავე მხარეზე გადაიწევა მანქანის ნეიტრალიც, რომელსაც, გეომეტრიულისაგან განსხვავებით, ფ ი ზ ი კ უ რ ი   ნ ე ი ტ რ ა ლ ი ეწოდება.

ფოლადის გაჯერების შედეგად (§ 3-8) განივი ნაკადის განმამაგნიტებელი მოქმედება პოლუსის ამავალ ნაპირზე მეტია, ვიდრე დამამაგნიტებელი ჩამავალ ნაპირზე და მანქანის მაგნიტური ნაკადი მცირდება ($\Phi<\Phi_0$).

ღ უ ზ ი ს ე მ ძ ა ლ ი ს ზ ე გ ა ვ ლ ე ნ ა ს მ ა ნ ქ ა ნ ი ს მ ა გ ნ ი ტ უ რ ი ნ ა კ ა დ ი ს ს ი დ ი დ ე ზ ე დ ა ტ ვ ი რ თ ვ ი ს დ რ ო ს ღ უ ზ ი ს რ ე ა ქ ც ი ა ე წ ო დ ე ბ ა.

მანქანის ელექტროძრავად მუშაობისას დენი ღუზაში (ნახ. 4-12) მიმართული იქნება ემ ძალის საწინააღმდეგოდ, ღუზაც საწინააღმდეგო მიმართულებით იბრუნებს გენერატორულ რეჟიმთან შედარებით და ღუზის განივი რეაქცია გადაწევს Φ მარეზულტირებელ ნაკადს და ფიზიკურ ნეიტრალს ღუზის ბრუნვის მიმართულების საწინააღმდეგოდ.



ნახ. 4-13. მაგნიტური ინდუქცია საჰაერო ღრეჩოში ღუზის განივი რეაქციის დროს.

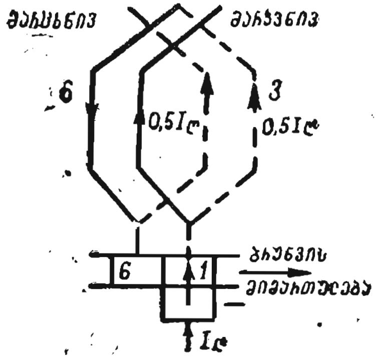
ღუზის განივი ნაკადის საკომპენსაციოდ ძირითადი პოლუსების ზონაში აყენებენ ე. წ. საკომპენსაციო გრაგნილს, რომლის გამტარებს საპოლუსო ბუნიკის ზედაპირზე არსებულ კილოებში აწყობენ. ეს გრაგნილი თანამიმდევრულად ერთდება ღუზასთან ისე, რომ მის გამტარებში დენის მიმართულება საწინააღმდეგო იყოს ღუზის გამტარებში გამავალი დენისა.

4-9. კომუტაცია

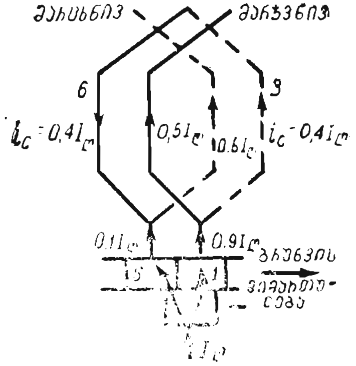
§ 4-4-ში ნაჩვენები იყო, რომ მუდმივი მიმართულებისა და თითქმის უცვლელი E ემ ძალის მისაღებად ღუზის გრაგნილი სრულდება ისეთნაირად, როცა $2a=2,4,6$ და ა. შ., რომლის სექციის პარალელური შტოები ერთმანეთის თანამიმდევრობით უწყვეტად გადაირთვება ერთი შტოდან მეორეზე. სექციების მექანიკური გადამრთველის როლს ასრულებს კოლექტორი და მუსები. სექციების ასეთი გადართვის პროცესსა და ამ დროს მომხდარი მოვლენების ერთობლიობას   კ ო მ უ ტ ა ც ი ა ეწოდება.

გადასართავი სექცია მოკლედაა შერთული მუსით და ამ დროს ახლოს იმყოფება ფიზიკურ ნეიტრალთან. სექციაში პოლუსების გარე ველის აღძრული ელექტრომამოძრავებელი ძალა ახლოსაა ნულთან. T დროს, რომლის განმავლობაში სრულდება გადართვა და სექცია მოკლედ შერთული რჩება, (წამის მეათასედი ნაწილია) ეწოდება კ ო მ უ ტ ა ც ი ი ს პ ე რ ი ო დ ი.

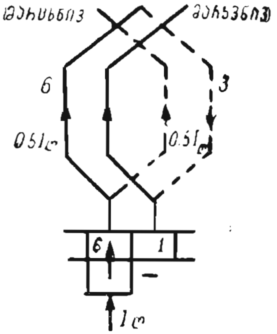
განსახილველი სექცია (ნახ. 4-10), რომელიც მოთავსებულია 6 და 3 კილოებში, ნაჩვენებია ცალკე 4-14 ნახაზზე. ვთქვათ, გრაგნილი ბრუნავს ძალიან ნელა ($T \rightarrow \infty$), მუსის სიგანე ტოლია კოლექტორის ფირფიტის სიგანისა და გაანგარიშებაში ვღებულობთ მხოლოდ მუსისა და კოლექტორის ფირფიტას შორის გარდამავალი ფენის წინაღობას $r_{გარ} = R$. მაშინ $I_{ლ}$ დენი მუსიდან გადადის კოლექტორის ფირფიტაზე (1) და იყოფა ორ ტოლ დენად $i = 0,5\ I_{ლ}$. 4-14 ნახაზზე ნაჩვენებია, რომ მარცხნივ მიმავალ პარალელურ შტოში ჩართულ სექციაში გადის დენი $i = 0,5\ I_{ლ}$ საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით.



ნახ. 4-14. კომუტაციის დასაწყისი ($t=0$).

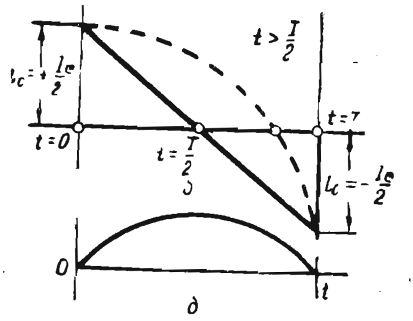


ნახ. 4-15. კომუტაცია, როცა $t=0,1\ T$.

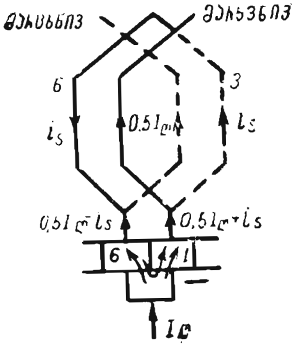


ნახ. 4-16. კომუტაციის დასაწყისი ($t=T$).

დროის შემდეგ მომენტში, როცა კოლექტორის ფირფიტა (6) შეეხება მუსას, $I_{ლ}$ დენი გაიყოფა სხვანაირად. თუ, მაგალითად, რაღაც დროის მონაკვეთში $t = 0,1T$, მუსა თავის საკონტაქტო ზედაპირის ერთი მეათედით ეხება ფირფიტას (6), მაშინ ამ ფირფიტაში გაივლის დენი $i_6 = 0,1\ I_{ლ}$, ხოლო ფირფიტაში (1) — დენი $i_1 = 0,9 I_{ლ}$. დენები პარალელურ შტოებში წინანდებურად უნდა იყოს უცვლელი და ტოლი: $0,5\ I_{ლ}$. თუ $I_{ლ} = \mathrm{const}$, მაშინ, თუ მიმართულება იგივეა, სექციაში დენი $i_{ს} = i_1 - 0,5\ I_{ლ} = (0,9 - 0,5)I_{ლ} = 0,4\ I_{ლ}$, ხოლო სხვა პარალელურ შტოში დენი $i_6 - i_{ს} = (0,1 + 0,4)I_{ლ} = 0,5\ I_{ლ}$. კომუტირებული სექცია განხილულ მომენტში ნაჩვენებია 4-15 ნახაზზე.



ნახ. 4-17. დენის ცვლილების გრაფიკი საკომუტაციო სექციაში ბუნებრივი პირობების დროს.



ნახ. 4-18. შენელებული კომუტაცია.

თუ განვიხილავთ მდგომარეობას მომენტში, როცა $t = 0.5\,T$, აღმოჩნდება, რომ სექციის დენი $i_ს = 0$, ხოლო დენი პარალელურ შტოებში, როგორც ადრე გვქონდა, ტოლია $0.5 I_ღ$. შემდეგში სექციის დენი დაიწყებს ზრდას საწინააღმდეგო მიმართულებით და როცა $t = T$, ის ტოლი იქნება $i_ს = -0.5\,I_ღ$, ე. ი. სექცია გადართულია მეორე პარალელურ შტოზე და კომუტაცია დამთავრებულია (ნახ. 4-16). $i_ს$—დენის ცვლილების დამოკიდებულება t დროსთან ნაჩვენებია 4-17 ნახაზზე, რომელიც სწორ ხაზს წარმოადგენს.

ამ შემთხვევაში კომუტაციას ეწოდება **სწორხაზოვანი** და ყოველთვის ცდილობენ ასეთი დამოკიდებულება მიიღონ მანქანების დაპროექტების დროს.

მაგრამ პრაქტიკულად კომუტაციის დრო T მცირეა, სექციის დენი $i_ს$ სწრაფად იცვლება და მასში აღიძვრება თვითინდუქციის ემ ძალა e_s.

ვინაიდან დამოკიდებულება $i_ს = f(t)$ სწორი ხაზია, ე. ი. $\frac{di}{dt} = \operatorname{tg}\alpha = \mathrm{const}$.

$e_s = -L_ს \frac{di_ს}{dt}$ — მუდმივი სიდიდეა და მის მიერ გამოწვეული დამატებითი დენი

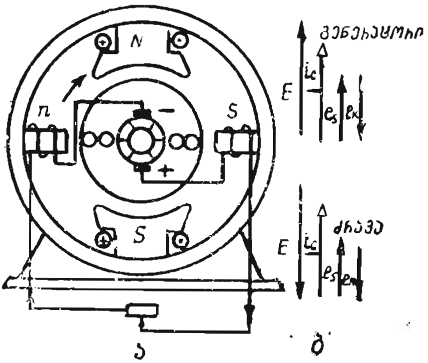
$$i_s = \frac{e_s}{r_{მუღ}} = \frac{e_s}{r_6 + r_1},$$

სადაც r_6 და r_1 — მუსებსა და სათანადო კოლექტორის ფირფიტას შორის გარდამავალი დენის წინაღობებია. თუ გამოვთვლით t-ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის $r_{მუღ}$ წინაღობას, შეგვიძლია ვიპოვოთ i_s დენი, როცა $t = T/2$, მაგალითად, $r_{მუღ} = r_6 + r_1 = 2R + 2R = 4R$, ხოლო, როცა $t = 0$ და $t = T$-ს, $r_{მუღ}$ ტოლია უსასრულობისა. i_s დენისა და t დროის დამოკიდებულება ნაჩვე-

ნებია 4-17, ბ ნახაზზე. ჯამური დენი $i_k + i_s$ წარმოდგენილია 4-17, ა ნახაზზე, ხოლო წყვეტილი მრუდი, რომლის მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ, რომ e_s-ის დროს სექციის ჯამური დენი ნულოვან მნიშვნელობას გადის უფრო გვიან, ვიდრე დაცული იქნება უტოლობა ($t > T/2$). ასეთ კ ო მ უ ტ ა ც ი ა ს შ ე ნ ე ლ ე ბ უ ლ ი ეწოდება.

შენელებული კომუტაციის დროს დენის სიმკვრივე მუსის ამავალ ნაპირზე ძლიერ იზრდება (ნახ. 4-18), რაც მუსების გაუთვალისწინებელ გადახურებას იწვევს და აჩქარებს მის გაცვეთას. მაგრამ ყველაზე საშიში ის არის, რომ შენელებული კომუტაციის დროს ადგილი აქვს ნაპერწკლებს კოლექტორსა და მუსების ამავალ ნაპირებს შორის. ის აღიძვრება იმიტომ, რომ სექციის გამორთვისას მისი შენახული ელექტრომაგნიტური ენერგია $L_s i_s^2/2$ გამოიყოფა მუსის ამავალ ნაპირზე ელექტრორკალის სახით.

თუ ღუზის განივი რეაქციის გამო ინდუქცია B_δ პოლუსების ნაპირებში გაიზრდება 30—50%-ით, მაშინ სექციის კოლექტორის ფირფიტებს შორის, რომელიც მაღალი ინდუქციის ზონაში გადაადგილდება, აღიძვრება პოტენციალთა სხვაობა 25—35 ვ-ზე მეტი. ამ ძაბვით ხდება ცალკეული ელექტრული რკალის შენარჩუნება, რომელიც შეერწყმება კოლექტორის გარშემო არსებულ იონიზებულ სივრცეს, შეუძლიათ წარმოქმნან მძლავრი რკალი და დაფარონ სხვადასხვა მუსების ტრავერსი. ამას უწოდებენ კ ო ლ ე ქ ტ ო რ ი ს ი რ გ ვ ლ ი ვ ც ე ც ხ ლ ს, რასაც შეუძლია გამოიწვიოს სერიოზული ავარია.



ნახ. 4-19. დამატებითი პოლუსები.

კომუტაციის გასაუმჯობესებლად ამცირებენ i_s დამატებით დენს, რისთვისაც იყენებენ დამატებით პოლუსებს.

4-19 ნახაზზე მოყვანილია ორპოლუსიანი გენერატორი, რომელსაც, მთავარი პოლუსების N-ისა და S-ის გარდა, აქვს ორი დამატებითი პოლუსი

n და s, რომლებიც განლაგებულია გეომეტრიულ ნეიტრალზე და როგორც ნაჩვენებია, იცვლებიან ღუზის ბრუნვის მიმართულებით. დამატებითი პოლუსების აგზნების გრაგნილები ღუზასთან შეერთებულია თანამიმდევრულად. ნახაზზე წრეებით გამოსახულ ორ სექციაში ხდება კომუტაცია. E ემ ძალა და სექციის i_s შემცირებული დენი მიმართულია ერთ მხარეს; ამავე მიმართულებით იქნება მიმართული e_s თვითინდუქციის ემ ძალაც, რომელიც ინარჩუნებს კლებად დენს (ნახ. 4-19, ბ). 4-19, ა ნახაზზე ნაჩვენები დამატებითი პოლუსების პოლარობის დროს სექციის აქტიურ მხარეებში აღიძვრება კომუტაციის დამატებითი ემ ძალა $e_з$, რომლის მიმართულება E-სა და e_s-ისაც საწინააღმდეგოა. თუ $e_з$ რიცხობრივად ტოლია e_s-ისა, მაშინ სექციის დამატებითი დენი

$$i=\frac{e_s-e_з}{r_{მუკ}}=0.$$

მანქანის ელექტროძრავად მუშაობისას მთავარი პოლუსების მონაცვლეობა დამხმარეებთან ბრუნვის მიმართულებით იქნება $NnSs$.

ვინაიდან e_s ემ ძალა პროპორციულია ღუზის $I_ღ$ დენისა, მისი ავტომატური კომპენსაციისათვის ყოველგვარი დატვირთვისას დამატებით პოლუსებს აკეთებენ არაგაჯერებულს, მაშინ ემ ძალა $e_s\sim\Phi_{დამ.\ მუკ}\sim I_ღ$.

„თვალით“ დასაშვები კომუტაციის შესამოწმებლად დადგენილია კოლექტორზე ნაპერწკლიანობის შემდეგი ხარისხები:

I ხარისხი — ნაპერწკლიანობა არ არის, კოლექტორის გაშავება და ნამწვი მუსებზე.

$1\frac{1}{4}$ ხარისხი — სუსტი ნაპერწკლიანობა მუსების მცირე ნაწილზე: ამ შემთხვევაში კოლექტორზე არაა გაშავებული ადგილები და არაა ნამწვი მუსებზე.

$1\frac{1}{2}$ ხარისხი — სუსტი ნაპერწკლიანობა მუსების ზედაპირის დიდ ნაწილზე. ამ დროს კოლექტორზე ჩნდება გაშავებული ადგილები, რომლებიც ადვილად შორდება ბენზინში დასველებული ჩვრით გაწმენდისას, მუსებზე არის ნამწვის კვალი.

4-10. ცნება ელექტრული მანქანების მახასიათებლებსა და ნომინალურ პარამეტრებზე

ყოველი ელექტრული მანქანის კორპუსის თვალსაჩინო ადგილზე მიმაგრებულია საქარხნო ცხრილი, რომელზედაც ნაჩვენებია: მუშაობის ნომინალური რეჟიმი, ნომინალური სიმძლავრე, ძაბვა, დენი, ბრუნვის სიხშირე, მქ კოეფიციენტი და ა. შ.

ნომინალური პარამეტრები მანქანის მუშაობისათვის არის ის, თუ როგორი პირობებისთვისაცაა ქარხნის მიერ მანქანა გამოშვებული. ყველა ნომინალური მონაცემი (პარამეტრი) შემდგომში აღინიშნება ნომ ასოთი, მაგალითად: ნომინალური სიმძლავრე $P_{ნომ}$, ნომინალური ძაბვა $U_{ნომ}$, ნომინალური დენი $I_{ნომ}$ და სხვ.

ამ ნომინალური პარამეტრების ცოდნა აუცილებელია სწორი ტექნიკური ექსპლუატაციისათვის, რაც უზრუნველყოფს საიმედო მუშაობას მისთვის დადგენილი დროის განმავლობაში (დაახლოებით, 10 წელი, სტაციონარული მანქანებისათვის, რომლებიც გარემომცველი გარემოს ნომინალურ პირობებში მუშაობენ).

ექსპლუატაციის პირობებში მთავარია ვიცოდეთ მანქანის ძირითადი მახასიათებლები, რომლებიც გამოხატავენ ერთი ცვლადის დამოკიდებულებას მეორესთან. მაგალითად, გენერატორის მომჭერებზე ძაბვის დამოკიდებულებას მის დატვირთვასთან (დენი წრედში), როცა ბრუნვის სიხშირე და აგზნების გრაგნილის დენი მუდმივია, ე. ი. $n=\text{const}$ და $I_{აგზ}=\text{const}$, ეწოდება *გენერატორის გარე მახასიათებელი* $U=f(I)$ (ნახ. 4-22). ელექტროძრავის ბრუნვის სიხშირესა n და მის ლილვზე მექანიკურ დატვირთვას შორის დამოკიდებულებას (P_2 სიმძლავრე ან M მომენტი), როცა ძაბვა ღუზის მომჭერებზე და აგზნების გრაგნილის დენი მუდმივებია, ე. ი. $U=\text{const}$ და $I_{აგზ}=\text{const}$, ეწოდება *ელექტროძრავას მექანიკური მახასიათებელი* (ნახ. 10-20) და სხვ.

ამ მახასიათებლების გრაფიკის სახით ასაგებად საჭირო მონაცემებს ცდებით ღებულობენ, ხოლო ფორმულებში შემავალი სიდიდეების მნიშვნელობები იქნება: დენი — ამპერებში; ძაბვა — ვოლტებში და ა. შ. მაგრამ პრაქტიკული გამოყენებისათვის უფრო მოხერხებულია გრაფიკები ავაგოთ პროცენტობით, ამისათვის ცდებით მიღებული მნიშვნელობები გადავიყვანოთ პროცენტობით, მაშინ

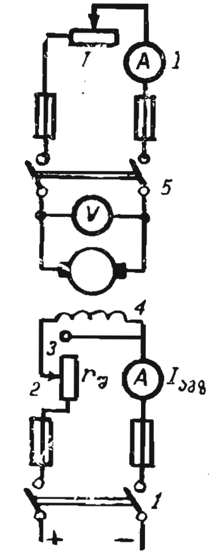
$$I\%=\frac{I}{I_{ნომ}}\cdot 100;\quad U\%=\frac{U}{U_{ნომ}}\cdot 100;\quad P\%=\frac{P}{P_{ნომ}}\cdot 100;$$

$n\%=\frac{n}{n_{ნომ}}\cdot 100$ და ა. შ., სადაც I, U, P, n აღებულია ცდებით, ხოლო $I_{ნომ}$, $U_{ნომ}$, $P_{ნომ}$, $n_{ნომ}$ — ნომინალური პარამეტრებია, მანქანის ცხრილიდან აღებული. ასეა აგებული გრაფიკები 4-22; 10-19; 10-20 ნახაზებზე.

ხშირად გრაფიკებს აგებენ ფარდობით ერთეულებში, რომლებიც აღინიშნება I_*, U_*, P_* და ა. შ. ისინი მიიღებიან პროცენტობით მიღებული სიდიდეების გაყოფით ასზე, ე. ი. $I_*=\frac{I\%}{100}$; $U_*=\frac{U\%}{100}$ და ა. შ. ფარდობითი მნიშვნელობებით სარგებლობა მოხერხებულია ელექტროტექნიკური გამოთვლების დროს.

4-11. დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორი

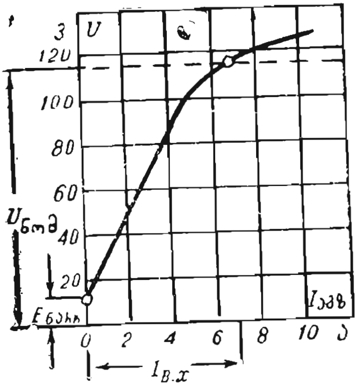
დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორში აგზნების გრაგნილი მიერთებულია გარეშე კვების წყაროსთან (ნახ. 4-20). ჩამრაზთან (1) ამპერმეტრით მიერთებულია აგზნების გრაგნილი (4) და სარეგულირებელი რეოსტატი (2) უქმი კონტაქტით (3), რომელიც მიერთებულია აგზნების გრაგნილთან. თუ აგზნების დენის შესამცირებლად რეოსტატის ცოციას გადავწევთ ზევით, მაშინ ის მოხვდება უქმ კონტაქტზე და მოკლედ შერთავს აგზნების გრაგნილს. თუ უქმი კონტაქტი გამორთულია, მაშინ $e_{აგზ}$ აგზნების გრაგნილი გათიშება და განრთვის ადგილზე წარმოიქმნება ელექტრული რკალი, რომელშიაც გამოიყოფა მაგნიტური ველის ენერგია.



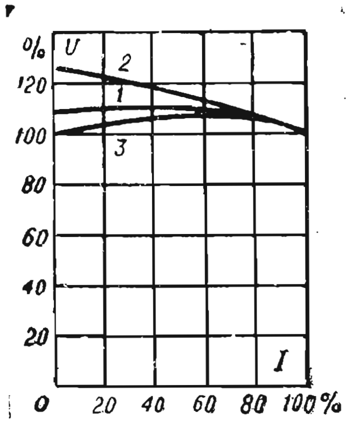
ნახ. 4-20. დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორის სქემა.

გრაგნილის ინდუქციურობა ჩვეულებრივად დიდია და, მაშასადამე, დიდია თვითინდუქციის ემ ძალაც, რომელიც განრთული გრაგნილის ბოლოებზე ინარჩუნებს მნიშვნელოვან ძაბვას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს გრაგნილის იზოლაციის დარღვევა და საშიშროება შეუქმნას მომსახურე პერსონალს. ელექტრული რკალი ამავე დროს იწვევს კონტაქტების ზედაპირის ჩამოდნობას და მის დაჟანგვას.

ღუზის მომჭერებთან მიერთებულია r ენერგიის მომხმარებელი, V ვოლტმეტრი და A ამპერმეტრი. ღუზის მბრუნავი პირველადი ძრავა ნახაზზე ნაჩვენები არ არის. უქმი სვლის მახასიათებელს $E_0 = f(I_{აგზ})$, როცა $n = \text{const}$ და $I_ღ = 0$, სხვა მასშტაბში წარმოადგენს გრაფიკი $\Phi_{აგზ} = f(I_{აგზ})$, რადგან E პროპორციულია Φ-სა. ის გამოიყენება გრაფიკულად აგებული საანგარიშო მონაცემების შესამოწმებლად და ეწოდება მანქანის მაგნიტური მახასიათებელი. მას ღებულობენ შემდეგნაირად: გენერატორის ღუზას, როცა (1) და (5) ჩამრაზები გამორთულია, აბრუნებენ მუდმივი სიხშირით $n = n_{ნომ}$ შემდეგ, თუ ჩართავენ ჩამრაზს (1) და შეამცირებენ წინაღობას $r_{მეგ}$, ზრდიან გენერატორის ძაბვას $U_0 = (1,1 \div 1,2)\, U_{ნომ}$-მდე, ჩაიწერენ $I_{აგზ}$ და U_0-ის მნიშვნელობებს, ამცირებენ აგზნების დენს, რისთვისაც $I_{აგზ}$ და U_0-ს 5—6-ჯერ გაზომავენ. ბოლო გაზომვას ახდენენ, როცა $I_{აგზ} = 0$. ამ დროს ნარჩენი ინდუქციის ნაკადით აღძრულ ემ ძალას ეწოდება ნ ა რ ჩ ე ნ ი ე მ ძ ა ლ ა $E_{ნარ}$ და ტოლია (2—2,5%) $U_{ნომ}$. წერტილი, რომელიც შეეფარდება ნომინალურ ძაბვას $V_{ნომ}$, ჩვეულებრივ დევს მუხლზე $I_{აგზ.უქმ}$ დენის დროს, რომელსაც ეწოდება აღმგზნები დენი უქმი სვლისა და ნომინალური ძაბვის დროს (ნახ. 4-21).



ნახ. 4-21. გენერატორის უქმი სვლის მახასიათებელი.



ნახ. 4-22. გენერატორის გარე მახასიათებლები.

გენერატორის გარე მახასიათებელი $U=f(I)$, როცა $I_{აგზ}=$const და $n=$const ახასიათებს გენერატორის ძაბვის ცვლილებას დატვირთვის შეცვლისას და ნაჩვენებია 4-22 ნახაზზე (1 მრუდი).

მახასიათებლის მისაღებად ღუზას აბრუნებენ მუდმივი სიჩქარით და მანქანას აღაგზნებენ უქმ სვლაზე $U=(1,1\div 1,2)U_{ნომ}$-მდე. ჩამრაზის (5) ჩართვით (ნახ. 4-20) თანდათანობით ამცირებენ დატვირთვის r წინაღობას, ერთდროულად არეგულირებენ აგზნებ დენს ისეთნაირად, რომ, როცა $I=I_{ნომ}$, მივიღოთ $U_{ნომ}$ ნომინალური ძაბვა. ეს იქნება მახასიათებლის პირველი წერტილი $U_{ნომ}$ და $I_{ნომ}$ დროს (ნახ. 4-22). შემდეგ უცვლელი $I_{აგზ}$-ისა და n-ის დროს თანდათან ზრდიან r წინაღობას და 5—6 წერტილში ზომავენ U-ისა და I-ის მნიშვნელობებს გენერატორის უქმ სვლამდე განტვირთვის დროს.

განტვირთვის დროს ამცირებენ ღუზის I დენს, ძაბვის ვარდნას $Ir_{ღ}$ ღუზის წრედში და ღუზის რეაქციის განმამაგნიტებელ მოქმედებას (იხ. § 4-8). მანქანის Φ ნაკადი იზრდება და მასთან ერთად იზრდება E ემ ძალა, ვინაიდან $U=E-Ir$, მანქანის U ძაბვა გაიზრდება.

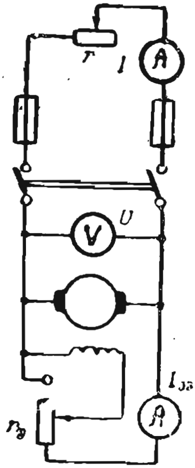
სიდიდეს

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{ნომ}}{U_{ნომ}} \cdot 100\% \qquad (4\text{-}13)$$

ძაბვის პროცენტული ცვლილება ეწოდება და დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორებისათვის ის 5—10% შეადგენს. დატვირთვის მერყეობისას მუდმივი ძაბვის შესანარჩუნებლად არეგულირებენ აგზნების დენს. ეს შეიძლება გაკეთდეს ხელით ან ავტომატურად. დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორები გამოიყენება ელექტროძრავების ბრუნვის სიხშირის ფართოდ რეგულირების სქემებში, ავტომატურ მოწყობილობებში და იქ, სადაც $U_{ღ}\neq U_{აგზ}$ (§ 4-16).

4-12. პარალელური აგზნების გენერატორი

პარალელური აგზნების გენერატორებში აგზნების გრაგნილი ღუზის მომჭერებთან მიერთებულია დატვირთვის წრედის პარალელურად (ნახ. 4-23). ღუზის დენი $I_{ღ} = I + I_{აგზ}$, სადაც $I_{აგზ} = (1 \div 7\%)\, I_{ნომ}$.



ნახ. 4-23. პარალელური აგზნების გენერატორი.

ასეთი გენერატორის აგზნებისათვის აუცილებელია, რომ აგზნების დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადი მიმართულებით ემთხვეოდეს ნარჩენი ინდუქციის ნაკადს. მხოლოდ ამ შემთხვევაში ამაგნიტებს მანქანას ნარჩენი ემ ძალის $E_{ნარ}$-ის მიერ აგზნების გრაგნილში წარმოქმნილი დენი, რის შედეგად იზრდება გენერატორის მაგნიტური ნაკადი და მისი ემ ძალა. ეს უკანასკნელი გამოიწვევს $I_{აგზ}$-ისა და Φ ნაკადის გაზრდას. თვითაგზნების ეს პროცესი მიმდინარეობს მანამ, სანამ ემ ძალა არ გაუტოლდება ძაბვის ვარდნას აგზნების გრაგნილში, ე. ი.

$$E = I_{აგზ} \cdot r_{აგზ}.$$

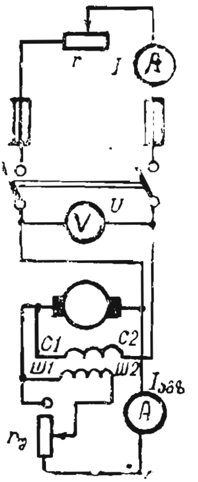
თუ აღმოჩნდება, რომ გენერატორი არ აღიგზნება, მაშინ აუცილებელია შევცვალოთ დენის მიმართულება $I_{აგზ}$ აგზნების გრაგნილში. გენერატორის უქმი სვლის მახასიათებელი იმავე სახისაა, როგორც დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორი და იგივე დანიშნულება აქვს.

პარალელური აგზნების გენერატორის გარე მახასიათებელი $U = f(I)$, როცა $n =$ const და $r_{აგზ} =$ const, მიიღება ისეთნაირადვე, როგორც დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორისათვის და იგივე სახე აქვს (ნახ. 4-22, მრუდი 2). მხოლოდ ძაბვის პროცენტული ცვლილება $\Delta U\%$ აქ მიიღება უფრო მეტი და 30%-მდე აღწევს. ამის მიზეზი ის არის, რომ ამ გენერატორის აგზნების გრაგნილი მიერთებულია ღუზის მომჭერებთან. დატვირთვის მოხსნისას ძაბვა იმატებს და იზრდება აგზნების დენიც $I_{აგზ} = U/r_{აგზ}$, მაშასადამე, მაგნიტური ნაკადიც და მასთან E ემ ძალა უფრო მეტად იზრდება, ვიდრე დამოუკიდებელი აგზნების მანქანებში. მუდმივი დენის ასეთი გენერატორები უფრო ფართოდაა გავრცელებული, რადგან ის არ საჭიროებს აგზნებისათვის ენერგიის დამატებით წყაროს.

4-13. შერეული აგზნების გენერატორი

4-24 ნახაზზე ნაჩვენებია შერეული აგზნების გენერატორის სქემა. მას, როგორც ნახაზიდან ჩანს, აქვს აგზნების ორი გრაგნილი — პარალელური (შუნტური) და მიმდევრობითი (სერიესული), რომელიც ღუზის-

თან მიმდევრობითაა შეერთებული. ასეთი ჩართვისას თანამიმდევრული გრაგნილის დენი ქმნის თავის $F_{მ}$ მმ ძალას, რომელიც შედგება პარალელური გრაგნილის $F_{პ}$ მმ ძალისაგან ან მისგან გამოკლებით, ე. ი. $F_{მ} = F_{მ.მ} \pm F_{პს}$. პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება აგზნების გრაგნილების შეთანხმებული შეერთება, რომლის დროს მმ ძალები იკრიბება და გენერატორის დატვირთვის გაზრდით ავტომატურად შემაგნიტდება ღუზის რეაქციის განმამაგნიტებელი მოქმედება და ძაბვის ვარდნა $Ir_{ღ}$ კომპენსირდებიან და ასეთი გენერატორის ძაბვა დატვირთვის მერყეობისას პრაქტიკულად უცვლელია (ნახ. 4-22, მრუდი 3). ასეთი გენერატორი გამოიყენება იქ, სადაც აუცილებელია თითქმის უცვლელი ძაბვა დატვირთვის ხშირი ცვლილების დროს.



ნახ. 4-24. შერეული აგზნების გენერატორი.

აგზნების მიმდევრობითი გრაგნილის შემხვედრად ჩართვის დროს მმ ძალა გამოაკლდება და ასეთი გენერატორის გარე მახასიათებელი წარმოადგენს ციცაბოდ ვარდნად მრუდს. გენერატორები შემხვედრად ჩართული მიმდევრობითი გრაგნილით გამოიყენება იქ, სადაც ხშირად ნორმალურ რეჟიმს წარმოადგენს მოკლე შერთვა, მაგალითად, შედუღებისათვის.

4-10. მუდმივი დენის ელექტროძრავები

ცნობილია, ერთსა და იმავე მანქანას შეუძლია იმუშაოს გენერატორის ან ძრავას რეჟიმით, ბუნებრივია, რომ ძაბვის ვარდნა ღუზის გრაგნილში ნომინალური დენის დროს ერთი და იგივე იქნება. ძაბვის ეს ვარდნა $I_{ნომ} r_{ნომ} = (4-10)\% \, U_{ნომ}$. მაშასადამე, თუ უძრავი ღუზის მომჭერებზე მოვდებთ ძაბვას $U = U_{ნომ}$, მაშინ მისი დენი 25—10-ჯერ მეტი იქნება $I_{ნომ}$-ზე. ასეთ დენზე არაა გაანგარიშებული არც ღუზის გრაგნილი, არც მისი მუსვ-ბი და არც კოლექტორი. ამიტომ ძაბვა ღუზის მომჭერებზე ნომინალური დენით ამუშავებისას უნდა დავადაბლოთ (90 — 96%) $U_{ნომ}$-ით ღუზასთან მიმდევრობით r რეოსტატის ჩართვით. ამუშავების დენის რეგულირების და შეზღუდვისათვის გამოყენებულ რეოსტატს ამუშავების რეოსტატი ეწოდება. ჩვეულებრივად ძრავას ამუშავებენ (2 — 2,5) $I_{ნ}$-ის ტოლი ამუშავების დენით. მაშინ ამუშავების დენი

$$I_{ამუშ} = \frac{U_{ნომ}}{r_{ღ} + r_{ა}}, \qquad (4-14)$$

საიდანაც შეიძლება გამოვთვალოთ $r_{ა}$ წინაღობა.

ღუზის ბრუნვისას მის გრაგნილებში აღიძვრება უკუ ემ ძალა, მაშასადამე, ღუზის დენი

$$I_{ღ} = \frac{U-E}{r_{ღ} + r_{გ}},$$

რომელიც სიჩქარის ზრდასთან ერთად მცირდება, რის შედეგად რეოსტატი თანდათან აღარაა საჭირო, მისი წინაღობა საფეხურებით მცირდება და ბოლოს უტოლდება ნულს. მაშინ დენი ღუზაში

$$I_{ღ} = \frac{U-E}{r_{ღ}}. \qquad (4\text{-}14, ა)$$

თუ ძრავა ბრუნავს უქმად, მაშინ უკუ ემ ძალა, როცა უქმი სვლის დენი $I_{აგზ}' = I_{მუქ} \approx (5 \div 10\%) I_{ნომ}$ აღწევს 99% $U_{ნ}$-ს. ლილვზე დატვირთვის დროს კი, თუ დენი $I_{ღ} = I_{ნომ}$, უკუ ემ ძალა შეადგენს (90—96%) $U_{ნომ}$.

ძრავას ბრუნვის სიხშირე შეიძლება გამოვთვალოთ, თუ გამოვიყენებთ (4-15) ფორმულას

$$n = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{E}{\Phi}. \qquad (4\text{-}15)$$

ამგვარად, ძრავას ბრუნვის სიხშირე პროპორციულია გრაგნილებში აღძრული ემ ძალისა და უკუპროპორციულია Φ მაგნიტური ნაკადისა. ვინაიდან $E = U - I_{ღ} \cdot r_{ღ}$, მაშინ

$$n = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{U - I_{ღ} \cdot r_{ღ}}{\Phi}. \qquad (4\text{-}16)$$

ლილვზე დატვირთვის, ანუ P_2 გამოსავალი სიმძლავრის გაზრდით, იზრდება სიმძლავრე ძრავას მომჭერებზე, ანუ P_1 შესავალი სიმძლავრე. მაშინ, როცა $U = \text{const}$ აუცილებლად გაიზრდება დენი $I_{ღ}$. (4-16)-დან შეიძლება შევამჩნიოთ, რომ ძრავას სიჩქარე უნდა შემცირდეს. მეორე მხრივ $I_{ღ}$ დენის მომატებით იზრდება ღუზის რეაქციის განმამაგნიტებელი მოქმედება, რის შედეგადაც სიჩქარე უნდა გაიზარდოს. მუშაობაში მდგრადობისათვის ძრავებს აგეგმარებენ ისე, რომ ძაბვის $I_{ღ} r_{ღ}$ ვარდნისა და მასტაბილირებელი გრაგნილის ზეგავლენა (იხ. §4-17) ყოველთვის მეტია ღუზის რეაქციის ზეგავლენაზე და სიჩქარე დატვირთვის გაზრდით ჩვეულებრივად რამდენადმე მცირდება.

ძრავას მაბრუნი მომენტი და მის მიერ განვითარებული ელექტრომაგნიტური სიმძლავრე, ხახუნზე დანაკარგების მხედველობაში მიღებით (4-8) და (4-12) ფორმულების თანახმად, შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი სახით

$$M = C_M I_{ღ} \Phi$$

და

$$P_{ემ} = EI_{ღ} = C_E I_{ღ} \Phi n.$$

ლილვზე სამუხრუჭო მომენტის M_2-ის გაზრდით $I_{ღ}$ დენის ზრდის ხარჯზე ავტომატურად დიდდება M მაბრუნი მომენტი მანამ, ვიდრე განსაზღვრული n-ის დროს არ დამყარდება მომენტთა ტოლობა $M = M_2$. ამგვარად, თითოეულ დატვირთვას შეესაბამება ბრუნვის განსაზღვრული სიხშირე.

თავისი საექსპლუატაციო თვისებებით ელექტროძრავები, ისევე როგორც გენერატორები, იყოფა ოთხ ჯგუფად: პარალელური, დამოუკიდებელი, თანამიმდევრული და შერეული აგზნების. თუ გენერატორებში უმთავრესად აინტერესებთ მათი ელექტრული თვისებები, ძრავებში იხილავენ მათ მექანიკურ თვისებებს, მაგალითად,

$$n = f(I); \quad n = f(I_{აგზ}); \quad M = f(I) \text{ და სხვ.}$$

4-15. პარალელური აგზნების ელექტროძრავა

პარალელური აგზნების ძრავა ყველაზე უკეთესია მუდმივი დენის ძრავებს შორის და გამოიყენება ისეთი მექანიზმების ამძრავად, რომლებიც მოითხოვენ ბრუნვის თითქმის მუდმივ სიხშირეს. ამავე დროს ის ცნობილია სიჩქარის ეკონომიკური რეგულირებით. ასეთი ძრავას სქემა მოყვანილია 4-25 ნახაზზე.

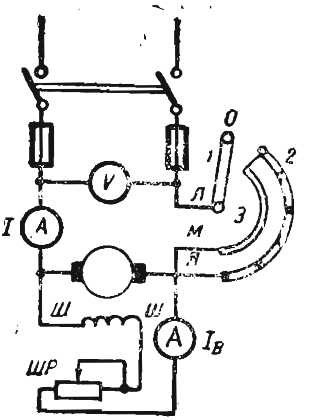
ამუშავების რეოსტატის მომჭერები აღინიშნება: $Л$—ხაზში მისაერთებელი (მკვებავ წრედთან); M—აგზნების გრაგნილის მომჭერებთან და $Я$—ღუზის მომჭერებთან. შავი წრეებით (ნახ. 4-25) აღნიშნულია მუშა კონტაქტები, ხოლო მათ შორის სიცარიელე შეესაბამება რეოსტატის წინაღობის სექციებს. ლითონის რკალი (3) ძრავას მუშაობის დროს მუდმივად აერთებს $Л$ მომჭერს, აგზნების დენის $I_{აგზ}$ მარეგულირებელი შუნტისებრ რეოსტატის მომჭერებთან. ჩამრაზის ჩართვამდე აუცილებელია დავრწმუნდეთ, რომ ამუშავების რეოსტატის (2) ბერკეტი (1) (მოძრავი კონტაქტი) დგას უქმ კონტაქტზე O. შუნტისებრი რეოსტატის $ШР$ მოძრავი კონტაქტი აგზნების წრედში მარცხენა კიდურ მდგომარეობაში უნდა იყოს, როდესაც რეოსტატის წინაღობა მინიმალურია.

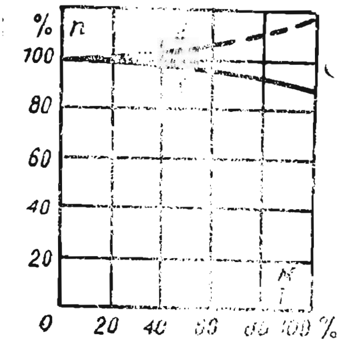
ჩამრაზის ჩართვისა და გამშვები რეოსტატის ბერკეტის გადაყვანისას მუშა კონტაქტებიდან პირველზე ძრავას I დენი განშტოვდება ღუზის $I_{აგზ}$ დენად და აგზნების გრაგნილის $I_{აგზ}$ დენად.

ამგვარად, მკვებავი წრედის დენი

$$I = I_{ღ} + I_{აგზ}, \tag{4-17}$$

სადაც $I_{აგზ} = (1 \div 7\%)\, I_{ნომ}$.





ნახ. 4-25. პარალელური აგზნების ძრავა.

ნახ. 4-26. პარალელური აგზნების ძრავას ჩქაროსნული მახასიათებლები.

დენის პირველი გადასროლისას გამშვები წინაღობის სიდიდის მიხედვით $I_{გად}=(2,0 \div 2,5)\ I_{ნომ}$. საწყისი მაბრუნი მომენტის ზემოქმედებით ღუზა იწყებს ბრუნვას და ბრუნვის სიხშირის მომატებით ღუზის დენი მცირდება, მაშინ გამშვები რეოსტატის ბერკეტი შეიძლება გადავიყვანოთ მეორე კონტაქტზე. ამ დროს ღუზის დენი, რომელიც გადასროლით მოიმატებს, გამოიწვევს მაბრუნი მომენტის გაზრდას და შემდგომ სიჩქარის გადიდებას, ხოლო შემდეგ თავიდან შემცირდება. ამის შემდეგ რეოსტატის ბერკეტი გადაჰყავთ შემდეგ კონტაქტზე და ა. შ. გაშვება მთავრდება, როცა ყველა წინაღობა გამოყვანილია და ღუზაზე მიწოდებულია სრული $U_{ნომ}$ ძაბვა, გამშვები რეოსტატის წინაღობა $r_{რ}$ ჩვეულებრივად გაანგარიშებულია მოკლე დროით სამუშაოდ გაშვებისას და რეოსტატის სახელურის დატოვება შუალედურ კონტაქტებზე ხანგრძლივად არ შეიძლება.

რაც უფრო სწრაფად გაიზრდება ღუზის უკუ ემ ძალა, მით ჩქარა შემცირდება დენი და მით ნაკლებად გაცხელდება ღუზის გრაგნილი. ამიტომ გაშვებას ახდენენ ყოველთვის აგზნების უდიდეს დენზე, რადგან შერთავენ მოკლედ სარეგულირებელი რეოსტატის წინაღობას (ნახ. 4-25). ამ დროს Φ მანქანის მაგნიტური ნაკადი და უკუ ემ ძალა მაქსიმალური იქნება. ამას გარდა, ელექტროძრავამ გაშვებისას უნდა განავითაროს მაღალი მაბრუნი მომენტი, რაც შეიძლება აგრეთვე უდიდესი Φ მაგნიტური ნაკადის დროს [იხ. (4-8) ფორმულა].

ძრავას გამორთვის წინ გამშვები რეოსტატის ბერკეტი გადაჰყავთ ნულოვან კონტაქტზე და შემდეგ გამორთავენ ჩამრთველს. ამით გამოირიცხება ჩამრთველის კონტაქტების მიწვა და მზადდება ძრავას მორიგი ჩართვა.

ძ რ ა ვ ა ს ჩ ქ ა რ ო ს ნ უ ლ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ე ლ ი $n=f(I)$, როცა $U=$const და $I_{აგ}=$const, 4-26 ნახაზზე მოცემულია მრუდით (1).

როცა მექანიკური დატვირთვა არაა, უქმი სვლის დენი $I_{\text{უქ}} < 10\%$ $I_{\text{ნომ}}$ და სიჩქარეც ყველაზე მეტია, ე. ი.

$$n_{\text{უქ}} = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{U - I_{\text{უქ}} r_{\text{ღ}}}{\Phi} \approx \frac{1}{C_E} \cdot \frac{U}{\Phi}, \qquad (4\text{-}18)$$

რადგან $I_{\text{უქ}} \cdot r_{\text{ღ}} = 0$.

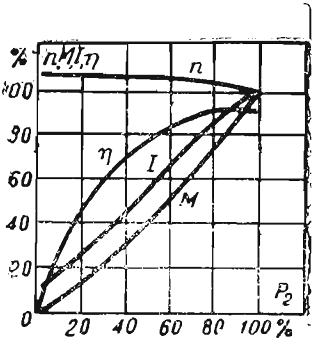
ძრავას ლილვზე დატვირთვის გაზრდისას ბრუნვის სიხშირე უმნიშვნელოდ მცირდება, რადგან მაბრუნი მომენტი ავტომატურად იზრდება ღუზის წრედში დენის გაზრდის ხარჯზე, რომელიც, (4-14, ა) განტოლების თანახმად, მკვეთრად იზრდება უკუ ემ ძალის უმნიშვნელოდ შემცირებისას, რადგან ღუზის წრედის $r_{\text{ღ}}$ წინაღობა მცირეა. ასეთ მახასიათებელს ხ ი ს ტ ი ეწოდება.

უცვლელი აგზნების დენის დროს Φ მაგნიტური ნაკადიც შეიძლება ჩავთვალოთ დაახლოებით მუდმივად, რადგან ღუზის რეაქციის ზეგავლენა უმნიშვნელოა, მაშინ ძრავას მაბრუნი მომენტი

$$M = C_M I \Phi \approx (C_M \Phi) I \qquad (4\text{-}19)$$

დაახლოებით პროპორციულია I დენისა. ამიტომ, თუ აბსცისათა ღერძზე გადავდებთ M-ს (ნახ. 4-26), მაშინ მიიღება ძრავას მ ე ქ ა ნ ი კ უ რ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ე ლ ი, ანუ როცა $U = \text{const}$ და $I_{\text{აგზ}} = \text{const}$,

$$n = f(M).$$



ნახ. 4-27 პარალელური აგზნების ძრავას მუშა მახასიათებლები.

გამოსაყენებლად მეტად მოსახერხებელია მუშა მახასიათებელი (ნახ. 4-27), რომელიც მოცემულია კატალოგსა და ელექტროძრავების აღწერაში. ეს არის

$$n,\ M,\ I,\ \eta = f(P_2),$$

როცა $U_{\text{ნომ}}$ და $I_{\text{აგზ}} = \text{const}$, სადაც η ძრავას მქ კოეფიციენტია, ხოლო P_2 — სასარგებლო სიმძლავრე ლილვზე.

ლილვზე განვითარებული ძრავას სიმძლავრე

$$P_2 = \frac{M \cdot 2\pi \cdot n}{60},$$

ხოლო მაბრუნი მომენტი

$$M = \frac{60 P_2}{2\pi n}. \qquad (4\text{-}20)$$

უცვლელი ბრუნვის სიხშირისას $M=f(P_2)$ დამოკიდებულება იქნებოდა წრფივი, რომელიც კოორდინატთა სათავეზე გაივლიდა. მაგრამ n სიჩქარე P_2-ის გაზრდისას მცირდება და მომენტი P_2-ის არაპროპორციულია. I დენი უცვლელი U-ის დროს პროპორციულია კვების წრედის სიმძლავრისა $P_1=UI$. რადგან ძრავას $P_1—P_2$-ის დანაკარგები მცირეა, I დენი დაახლოებით P_2-ის პროპორციულია.

პარალელური აგზნების ძრავების სიჩქარის რეგულირება ჩვეულებრივად აგზნების დენის ცვლილებით ხდება. ეს ხერხი იძლევა ეკონომიკურ მდოვრე რეგულირებას ზღვრებში 1:1,5, ხოლო, თუ ძრავა სპეციალურია — 1 : 8-მდე, რეგულირება მიმდინარეობს შემდეგნაირად: ძრავას მაბრუნი მომენტი $M=C_M I\Phi$, როცა $\Phi=\text{const}$ პროპორციულია I დენისა, ხოლო დენი

$$I=\frac{U—E}{r_{ღ}}.$$

მცირე $r_{ღ}$-ის გამო ძაბვის ვარდნა $I_{ღ}r_{ღ}$ ღუზის წრედში მცირეა. ამიტომ U-ისა და $r_{ღ}$-ის მუდმივი მნიშვნელობის დროს ღუზის დენი შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს უკუ ემ ძალის უმნიშვნელოდ შემცირებისას.

მაგალითად, როცა $r_{ღ}=0,5$ ომს და $U=220$ ვ, ღუზის დენი უდრის 10 ა; უკუ ემ ძალა $E=U—I_{ღ}r_{ღ}=220—10\cdot0.5=215$ ვ, თუ უკუ ემ ძალა შემცირდება სულ 10 ვ-ით (მაგალითად, 5%-ით) და იქნება $E'=205$ ვ, მაშინ ღუზის დენი

$$I'_{ღ}=\frac{220 — 205}{0,5}=30 \text{ ა, ე. ი. გაიზრდება 3-ჯერ.}$$

ამგვარად, თუ რაღაც მუდმივი დატვირთვისა ($M_{\text{მაბ}}=M_{\text{საწ}}$) და ბრუნვის სიხშირის დროს შევამცირებთ აგზნების დენს, მაგალითად, 0,5%-ით, მაშინ ამდენჯერვე შემცირდება Φ მაგნიტური ნაკადი და E უკუ ემ ძალა. ეს გამოიწვევს ღუზის დენისა და მაბრუნი მომენტის მკვეთრ გაზრდას, რომლის დროსაც ჭარბი მომენტი დააჩქარებს ღუზის ბრუნვას. მაგრამ ღუზის სიჩქარის მომატებით უკუ ემ ძალა თავიდან გაიზრდება. ღუზის დენი შემცირდება ისეთ მნიშვნელობამდე, რომლის დროს მაბრუნი მომენტი $M=C_M\Phi I_{ღ}$ მიიღებს ადრინდელ მნიშვნელობას. ამგვარად, $M_{\text{მაბ}}=M_{\text{საწ}}$ ტოლობის დროს დამყარდება ადრინდელზე მეტი ახალი მუდმივი ბრუნვის სიხშირე.

რეგულირების ასეთი ხერხის დროს დანაკარგები სარეგულირებელ რეოსტატში (დანაკარგების სიმძლავრე $P_{\text{სარ}}—I_{\text{აგზ}}\, r_{\text{აგზ}}$) ძალიან მცირეა, რადგან $I_{\text{აგზ}}$ შეადგენს $I_{\text{ნომ}}$-ის მხოლოდ ($1\div7\%$)-ს.

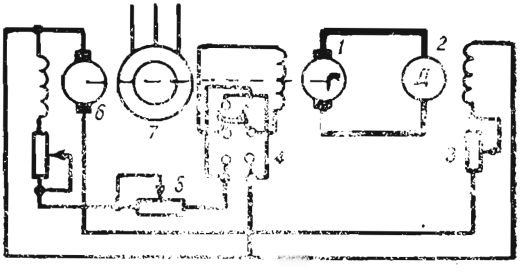
აღნიშნული ხერხი საშუალებას გვაძლევს ძრავას ბრუნვის სიხშირე გავზარდოთ ნომინალურზე ზევით.

თუ უცვლელი დატვირთვის დროს ძრავას ღერძზე ღუზის გრაგნილის თანამიმდევრულად ჩავრთავთ $r_{\text{დამ}}$ დამატებით რეზისტორს, მაშინ საწყის მომენტში ღუზის დენი შემცირდება, რადგანაც მცირდება მაბრუნი მომენტიც და ვინაიდან წინაღობის მომენტი მეტი აღმოჩნდება, სიჩქარეც შემცირდება. მაგრამ სიჩქარისა და უკუ ემ ძალის შემცირების გამო ღუზის დენი დაიწყებს ზრდას, გაიზრდება მაბრუნი მომენტიც და მომენტების ტოლობისას სიჩქარის შემდგომი შემცირება შეწყდება. ძრავა გააგრძელებს მუშაობას მუდმივი, მაგრამ ბრუნვის დაბალი სიხშირით. რეგულირების აღნიშნული ხერხი არაეკონომიკურია, რადგან ამ დროს ადგილი აქვს რეზისტორში ენერგიის მნიშვნელოვან დანაკარგებს.

4-16. დამოუკიდებელი აგზნების ელექტროძრავა

დამოუკიდებელი აგზნების ელექტროძრავა თავისი თვისებებით მსგავსია პარალელური აგზნების ელექტროძრავასი. მაგრამ იმის გამო, რომ ღუზისა და აგზნების გრაგნილები ცალკე ენერგიის წყაროდან იკვებება და არა საერთო ქსელიდან, ღუზის მომჭერებზე ძაბვის შემცირებით ბრუნვის სიხშირის ეკონომიკური და ფართო რეგულირებისა და ურეოსტატო გაშვების შესაძლებლობა გვექმნება.

4-28 ნახაზზე ნაჩვენებია დამოუკიდებელი აგზნების ძრავას მუშაობის ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა. ამ სქემაზე, რომელსაც გ ე ნ ე რ ა ტ ო-



ნახ. 4-28. გენერატორ-ელექტროძრავას სქემა.

რ ი-ძ რ ა ვ ა (გ-ძ) ეწოდება, ძრავას ღუზა (2), გამშვები რეოსტატის გარეშე, უერთდება გენერატორის ღუზას (1), რომლის დანიშნულებაც ამ ძრავას კვებაა. გენერატორსა და ძრავას დამოუკიდებელი აგზნება აქვთ, რომელსაც სპეციალური გენერატორიდან (6), ე. წ. აგზნებიდან ღებულობენ. გენერატორი (1) და ამგზნები (6) ბრუნვაში მოდიან, როგორც წესი, ასინქრონული ელექტროძრავადან (7).

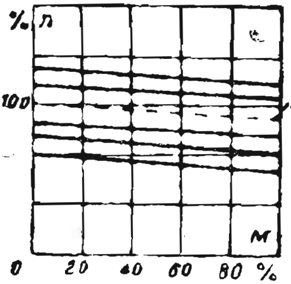
ძრავას (2) ბრუნვის სიხშირე შეიძლება შევცვალოთ, თუ ვარეგულირებთ მის აგზნების დენს რეოსტატითა (3) და გენერატორის (1) U ძაბვის ცვლით და გენერატორის აგზნების დენს რეოსტატით (5) ვცვლით.

გენერატორის (1) აგზნების დენის მიმართულების ცვლილება გადამრთველით (4) იწვევს გენერატორის მუსების პოლარობისა და, მაშასადამე, ძრავას (2) ბრუნვის მიმართულების შეცვლას, რომელსაც ბრუნვაში მოჰყავს საწარმოო მექანიზმები.

ასეთი სქემა გამოიყენება საშახტო ტვირთამწევ დანადგარებში, საგლინავ დგანებზე, გემებზე წევის ხრახნისა და ზოგიერთი ლითონსაჭრელი ჩარხის ამძრავებად. ამ აგრეგატის მექანიკური მახასიათებელი (ნახ. 4-29) ძალიანად მ სგავსია 4-26 ნახაზზე ნაჩვენებისა. მრუდი (1) 4-26 და 4-29 ნახაზებზე წარმოადგენს ბუნებრივ მახასიათებელს, რომელიც მიიღებოდა ნომინალური ძაბვის დროს, რადგან

$$n=\frac{1}{C_E}\cdot\frac{U-Ir_ღ}{\Phi};\quad n_0=\frac{1}{C_E}\cdot\frac{U}{\Phi}.$$

თუ გენერატორის ძაბვას შევამცირებთ $U_გ=U_{ძრ}$, მაშინ მახასიათებლების ოჯახი $n=f(M)$, რომლებიც მოთავსებული იქნებიან მახასიათებლის (1) ქვემოთ, ძრავას აგზნების დენის შემცირებისას მახასიათებლები განლაგდება მის ზემოთ.



ნახ. 4-29. ამძრავი ძრავას მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც გენერატორ-ელექტროძრავას სისტემით მუშაობენ.

4-17. თანამიმდევრული და შერეული აგზნების ელექტროძრავები

თანამიმდევრული აგზნების ელექტროძრავები გამოიყენება ავტომანქანების (სტარტერი) ასამუშავებლად, ზოგიერთი ამწის მოწყობილობაში და ელექტრულ ტრანსპორტზე. ყველა ამ მოწყობილობაში ბრუნვის სიხშირის მნიშვნელოვანი შეცვლა დასაშვებია. ლერძზე სტატიკური მომენტის შეცვლის დროს $M=f(P_2)$ და $n=f(P_2)$ მახასიათებლები, როცა $U=\text{const}$, ამ ძრავებისათვის ნაჩვენებია 4-30 ნახაზზე, ხოლო მისი ჩართვის სქემა 4-31 ნახაზზე.

ძრავას აგზნების გრაგნილი თანამიმდევრულად უერთდება ღუზის გრაგნილს და მისი $r_{სერ}$ წინაღობა, ისევე როგორც $r_ღ$, მცირეა. ამიტომ ამუშავების რეოსტატი სქემაში ისევე აუცილებელია, როგორც სხვა მუდმივი დენის ძრავაში.

ძრავას დენი მუშაობის დროს

$$I=\frac{U-E}{r_ღ+r_{სერ}}. \tag{4-21}$$

მცირე I დენის დროს დაახლოებით (25 — 50%) $I_ნ$-მდე, მანქანების ნაკადი პროპორციულია დენისა ($\Phi \sim I$) და

$$M = C_M I \Phi = C'_M I \cdot I = C'_M I^2, \qquad (4\text{-}22)$$

ე. ი. მ ო მ ე ნ ტ ი პ რ ო პ ო რ ც ი უ ლ ი ა დ ე ნ ი ს კ ვ ა დ რ ა ტ ი ს ა. ლილვზე დიდი დატვირთვის დროს დენი ახლოსაა $I_ნ$-თან, მანქანის გულარი გაჯერდება და მომენტი პროპორციული ხდება I დენისა.

ბრუნვის სიხშირე

$$n = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{U - I(r_ღ + r_{სერ})}{\Phi} \qquad (4\text{-}23)$$

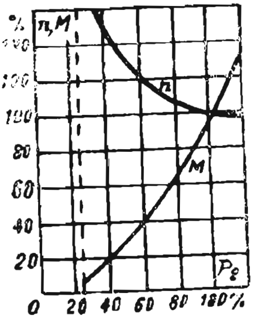
დატვირთვის გადიდებისას მკვეთრად ეცემა, რადგან ერთდროულად იზრდება Φ და I ($r_ღ + r_{სერ}$). ასეთ მახასიათებლებს რ ბ ი ლ ი ეწოდება.

(25 — 30%) $P_{2\,ნომ}$-ზე ნაკლები დატვირთვის დროს ელექტროძრავა, მაგნიტური ნაკადის სიმცირის გამო, დაუშვებელი დიდი სიჩქარით ბრუნავს. ასეთი რეჟიმი ლუზის მექანიკური დაზიანების საფრთხის გამო დაუშვებელია.

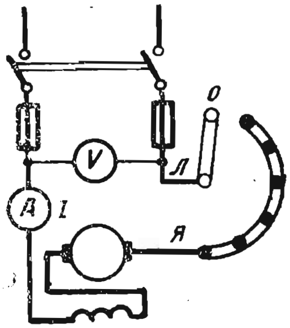
შერეული აგზნების ელექტროძრავებს, რომელსაც მთავარ პოლუსებზე განლაგებული თანამიმდევრული და პარალელური აგზნების გრაგნილები აქვს, წილად პარალელური და თანამიმდევრული აგზნების ძრავების თვისებებისა. ორივე გრაგნილები ისეთნაირად ერთდებიან, რომ მათი მმ ძალა და $\Phi_{შ}$ და $\Phi_{სერ}$ ნაკადები შეიკრიბნენ. ასეთ შეერთებას შ ე თ ა ნ ხ მ ე ბ უ ლ ი ეწოდება, მაშინ

$$n = \frac{1}{C_E} \cdot \frac{U - I_ღ(r_ღ + r_{სერ})}{\Phi_{შუნ} + \Phi_{სერ}}; \qquad (4\text{-}24)$$

$$M = C_M I_ღ(\Phi_{შუნ} + \Phi_{სერ}). \qquad (4\text{-}25)$$



ნახ. 4-30. თანამიმდევრული აგზნების ძრავას სიჩქარისა და მომენტის მახასიათებლები.



ნახ. 4-31. თანამიმდევრული აგზნების ძრავას სქემა.

ასეთი სახის ელექტროძრავები გამოიყენება ისეთ შემთხვევებში, როცა ჩქაროსნული მახასიათებელი უნდა იყოს რამდენადმე უფრო მაგარი, ვიდრე თანამიმდევრული აგზნების ძრავებში. ისინი გამოიყენებიან, როგორც ძრავები ისეთი მექანიზმების მოძრაობაში მოსაყვანად, სადაც იყენებენ მქნევარებს (მაკრატლები, წნეხები და სხვ.). მბრუნავი მქნევარას ენერგია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მექანიზმების ამძრავად მისი შემცირებული სიჩქარის დროს. დარტყმითი დატვირთვისას რბილი მახასიათებლის მქონე ელექტროძრავა მიისწრაფვის შეამციროს სიჩქარე, რის გამო მქნევარას მომარაგებული კინეტიკური ენერგია გადაეცემა მუშა მექანიზმს. მქნევარიანი მუშაობა საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ შედარებით ნაკლები ნომინალური სიმძლავრის ელექტროძრავა.

თანამიმდევრული გრაგნილის გამოყენების მეორე შემთხვევა — ეს არის პარალელური აგზნების ძრავები პოლუსებსა და ღუზას შორის მცირე საჰაერო ღრეჩოთი და ღუზის დიდი დენით, რომელიც ღუზის წრეხაზის ერთეულზე მოდის. ასეთ ძრავებში ღუზის რეაქციის განმამაგნიტებელი მოქმედება ბრუნვის სიხშირეზე მეტია, ვიდრე ღუზაში ძაბვისვარდნის გავლენა [(4-19) ფორმულა]. ასეთი ძრავას სიჩქარე დატვირთვის გადიდებით კი არ ეცემა, არამედ იზრდება, რაც დაუშვებელია (ნახ. 4-26, მრუდი 2). თუ ასეთ ძრავას დავუყენებთ დამატებით თანამიმდევრულ გრაგნილს (მასტაბილიზებელი), მაშინ მისი მუშაობა უფრო მდგრადი იქნება.

4-18. დანაკარგები და მარგი ქმედების კოეფიციენტი

ელექტრულ მანქანასთან მოყვანილი ენერგიის ნაწილი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სასარგებლოდ მანქანაში და სითბოს სახით გაიფანტება გარემომცველ სივრცეში. ენერგიის ამ ნაწილს დანაკარგებს უწოდებენ.

დანაკარგები ფოლადში $P_{ფოლ}$, ანუ მაგნიტური დანაკარგები აღიძვრება ღუზის სხეულსა და პოლუსების ბუნიკებში გადამაგნიტების დროს ჰისტერეზისისა და გრიგალური დენების გამო. ამ დანაკარგების სიმძლავრე დამოკიდებულია გადამაგნიტების $f = pn/60$ სიხშირესა და მაგნიტური ინდუქციის $B_{მაქს}$ მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე.

მექანიკური დანაკარგები $P_{მექ}$ აღიძვრება საკისრებში, მბრუნავი ნაწილების ხახუნისას ჰაერთან და მუსების ხახუნისას კოლექტორთან. მექანიკური დანაკარგების სიმძლავრე პროპორციულია მანქანის n ბრუნვის სიხშირისა. თუ n ბრუნვის სიხშირე და აგზნების $I_{აგზ}$ დენი უცვლელია, მაშინ დანაკარგები $P_{ფოლ} + P_{მექ}$ მუდმივია. მათ ეწოდება უქმი სვლის დანაკარგები $P_{უქმ}$.

ელექტრული დანაკარგები აღიძვრება დენისაგან ღუზის გრაგნილში და მუსებსა და კოლექტორს შორის გადასასვლელ კონტაქტში, აგრეთვე აგზნებისა და დამატებითი პოლუსების ყველა გრაგნილში:

$$P_ე = I^2_ღ r_ღ + P_მ + I^2_ღ r_{დ.პ} + I^2_ღ r_ს + U_{აგზ} I_{აგზ}.$$

დანაკარგები მუსების კონტაქტებში $P_{მუს}=\Delta U_{მუს}$. $I_{ღ}$ განისაზღვრება $\Delta U_{მუს}$ ძაბვის ვარდნით, რომელიც მიიღება: 2 ვ ნახშირის, გრაფიტისა და ელექტროგრაფიტირებული მუსებისათვის და 0,6 ვ — სპილენძგრაფიტის მუსებისათვის.

დამატებითი დანაკარგები $P_{დამ}$ ღუზის ფოლადსა და გრაგნილში გამოწვეულია ღუზის რეაქციისა და ველებისაგან მაგნიტური ველის დამახინჯებით, რომლებიც აღიძვრებიან იმ სექციების გარშემო, სადაც კომუტაცია ხდება. ეს დანაკარგები შეადგენს 0,01-დან 0,005$UI_{ნ}$-მდე და $I^2_{ღ}$-ის პროპორციულია.

ელექტრული მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ეწოდება სასარგებლო სიმძლავრის P_2-ის შეფარდებას დახარჯულ (სრულ) P_1 სიმძლავრესთან, მაშინ გენერატორისათვის, თუ მქ კოეფიციენტს აღვნიშნავთ $\eta_{გ}$-ით, გვექნება:

$$\eta_{გ}=\frac{P_2}{P_1}=\frac{UI}{UI+(P_{ელ}+P_{მქ}+P_{ფ}+P_{დამ})}\cdot 100\%, \tag{4-26}$$

ხოლო ელექტროძრავასათვის $\eta_{ძ}$ ტოლი იქნება

$$\eta_{ძ}=\frac{P_2}{P_1}=\frac{UI-(P_{ელ}+P_{მქ}+P_{ფ}+P_{დამ})}{UI}\cdot 100\%. \tag{4-27}$$

სასარგებლო სიმძლავრის მიხედვით მქ კოეფიციენტის ცვლილების გრაფიკი მოყვანილია 4-27 ნახაზზე. როცა სასარგებლო სიმძლავრე მცირეა და უქმი სვლის დანაკარგები $P_{უქმ}$ გაუტოლდება მას, მაშინ მქ კოეფიციენტიც მცირეა. სასარგებლო სიმძლავრის ზრდასთან სწრაფად დიდდება მქ კოეფიციენტიც, რადგან უქმი სვლის დანაკარგები მუდმივია. დატვირთვის გადიდებისას $P_{ელ}$ ელექტრული დანაკარგები დენის კვადრატის პროპორციულად იზრდება და მქ კოეფიციენტის ზრდა ნელდება. მქ კოეფიციენტის ყველაზე დიდ მნიშვნელობას ღებულობს (75—100%) $P_{ნომ}$-ის დროს და ის ტოლია 70—93%-ისა. მქ კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობები აქვს უფრო მძლავრ მანქანებს.

მეხუთე თავი

ძირითადი ცნებები ცვლად დენებზე

5-1. ცვლადი დენი

სხვადასხვაგვარი ძაბვის ცვლადი დენის მიღების შესაძლებლობამ მაღალი ძაბვის ენერგიის დიდ მანძილზე გადასაცემად, დაბალი ძაბვის ახლო მანძილზე გადასაცემად და ენერგიის მომხმარებელთა კვებისათვის, ერთ- და სამფაზიანი გენერატორებისა და ძრავების მოწყობილობის

სიმარტივემ, მუშაობაში საიმედოობამ და მათი ექსპლუატაციის მოხერხებულობამ და მაღალმა ტექნიკურ-ეკონომიკურმა მაჩვენებლებმა განაპირობა ცვლადი დენის ფართოდ გამოყენება. გამონაკლისს წარმოადგენს ტექნიკის ზოგიერთი დარგი, მაგალითად, ელექტროქიმია, ელექტრული წევა, რომლებშიაც უმთავრესად მუდმივი დენი გამოიყენება; იგი ცვლადი დენის გამართვით მიიღება.

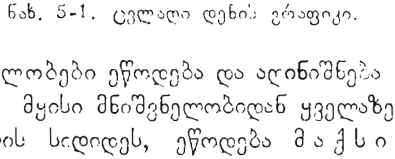
ც ვ ლ ა დ დ ე ნ ს ჩვეულებრივად უწოდებენ პერიოდულ დენს, რომლის მნიშვნელობა დროის ერთნაირ შუალედში მეორდება. დროის ამ შუალედს პერიოდს უწოდებენ და აღნიშნავენ T-თი. ერთი ნახევარი პერიოდის განმავლობაში დენს აქვს ერთი მიმართულება, ოლო შემდეგი ნახევარი პერიოდის განმავლობაში — საწინააღმდეგო.

ცვლადი სიდიდის ყოველგვარი ცვლილების ერთობლიობას, რომელსაც ადგილი აქვს პერიოდის განმავლობაში, ციკლი ეწოდება. ხოლო პერიოდების რიცხვს ერთ წამში — სიხშირე f. სიხშირე პერიოდის შებრუნებული სიდიდეა და გამოისახება ფორმულით

$$f = 1/T. \qquad (5\text{-}1)$$

სიხშირის ერთეულს ეწოდება ჰერცი (ჰც), 1ჰც = 1/წმ.

სსრ კავშირში სამრეწველო ელექტროდანადგარებისათვის, მიღებულია სტანდარტული სიხშირე 50 ჰც. ელექტროთერმიაში იყენებენ სიხშირეს 50 ჰც — 50 მჰც (1 მჰც = 10^6 ჰც), ხოლო რადიოტექნიკაში 10^5—10^{10} ჰც.



ნახ. 5-1. ცვლადი დენის გრაფიკი.

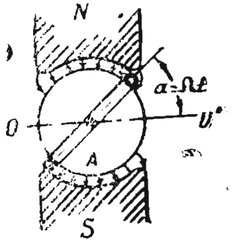
ცვლადი სინუსოიდური დენის გრაფიკზე (ნახ. 5-1) აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია დრო, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — დენის მნიშვნელობა.

დენის, ძაბვისა და ემ ძალის ცვლად მნიშვნელობებს დროის ნებისმიერ t მომენტში მყისი მნიშვნელობები ეწოდება და აღინიშნება i, u და e ასოებით.

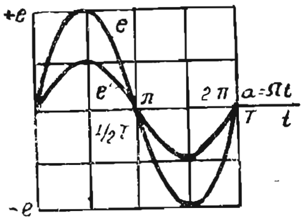
მყისი მნიშვნელობიდან ყველაზე დიდს, რომელიც პერიოდულად იცვლის სიდიდეს, ეწოდება მ ა ქ ს ი მ ა ლ უ რ ი ა ნ ა მ პ ლ ი ტ უ დ უ რ ი სიდიდე და აღინიშნება ჩვეულებრივი ასოებით მხოლოდ ინდექსით — მ, მაგალითად, $I_მ$, $U_მ$, $E_მ$ (ნახ. 5-1).

5-2. სინუსოიდური ემ ძალის მიღება

ტექნიკაში უმთავრესად გამოიყენება ისეთი დენი, ძაბვა და ემ ძალა, რომლებიც იცვლებიან უბრალოდ ჰარმონიული (სინუსოიდური) კანონის მიხედვით. ელექტრული სიდიდეების მრუდთა სინუსოიდური ფორმა



ნახ. 5-2. ცვლადი დენის გენერატორის სქემატური მოწყობილობა.



ნახ. 5-3. ცვლადი ემ ძალების გრაფიკები.

ნაკარნახევია ტექნიკური და ეკონომიკური თვალსაზრისით, რადგან ამ შემთხვევაში მაღალია ელექტრული მანქანებისა და ელექტრომაგნიტური აპარატების მქ კოეფიციენტი, ენერგიის დანაკარგების შემცირების ხარჯზე უმჯობესდება მათი მახასიათებლები და მათი იზოლაციის მუშაობის პირობები. ამის გარდა, საგრძნობლად მარტივდება ყოველგვარი გაანგარიშება.

უმარტივესი გენერატორის ელექტრომაგნიტის N და S პოლუსებს შორის (ნახ. 5-2) მოთავსებულია ფოლადის ფურცლებისაგან აწყობილი ცილინდრული A ღუზა. მის ზედაპირზე დამაგრებულია გამტარების w ხვიის მქონე კოჭა, რომლის ბოლოები საკონტაქტო რგოლებისა და მუსების საშუალებით შეერთებულია გარე წრედთან.

პოლუსებს ისეთი ფორმა აქვს მიცემული, რომლის დროსაც B მაგნიტური ინდუქცია საჰაერო ღრეჩოში ღუზის წრეხაზის გასწვრივ სინუსოიდური კანონით იცვლება, ე. ი.

$$B = B_მ \sin \alpha,$$

სადაც α არის კუთხე ნეიტრალურ OO' სიბრტყესა და კოჭას ხვიების სიბრტყეს შორის.

თუ ღუზა ბრუნავს $\omega = \dfrac{d\alpha}{dt}$ კუთხური სიჩქარით, მაშინ კოჭას ხვიების თითოეულ აქტიურ მხარეში აღიძვრება ემ ძალა (ნახ. 5-3), რომელიც ტოლი იქნება

$$e' = Blv = B_მ lv \sin \alpha = B_მ lv \sin \omega t. \qquad (5\text{-}2)$$

ვინაიდან კოჭას ხვიათა რიცხვია w, ხოლო მხარეთა რიცხვი — $2w$, მაშინ ღუზის კოჭაში აღძრული ემ ძალა გამოისახება შემდეგნაირად

$$e = e'2w = 2B_მ wlv \sin \omega t = E_მ \sin \omega t, \qquad (5\text{-}3)$$

სადაც $E_მ = 2B_მ w\, lv$ — ემ ძალის ამპლიტუდაა.

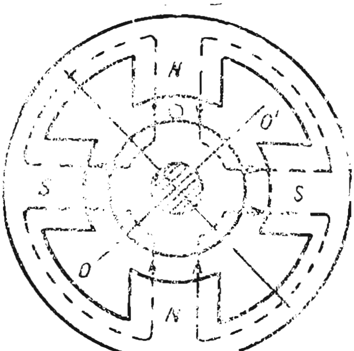
დროის საწყისში, როცა $t=0$, ხვიათა სიბრტყე ემთხვევა ნეიტრალურ სიბრტყეს, რადგან $\alpha=\omega t=0$.

ერთ წყვილპოლუსიან გენერატორში ($p=1$) ღუზის ერთ ბრუნს, ე. ი. როცა $\alpha=2\pi$, შეესაბამება ემ ძალის ცვლილების ერთი პერიოდი. თანაბარი ბრუნვის დროს კუთხური სიჩქარე ω მუდმივია, ე. ი.

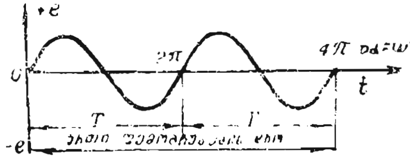
$$\omega=\frac{\alpha}{t}=\frac{2\pi}{T}=2\pi f=\omega. \tag{5-4}$$

p-წყვილპოლუსიან გენერატორში (ნახ. 5-4) ერთი სრული ბრუნვის განმავლობაში ღუზის გრაგნილის თითოეული აქტიური გამტარი გაივლის p წყვილი პოლუსების ქვეშ, მაშასადამე, ერთ ბრუნს შეესაბამება p პერიოდი. ამგვარად,

$$e=E_0\sin(p\alpha)=E_0\sin(p\omega t)=E_0\sin\omega t. \tag{5-5}$$



ნახ. 5-4. ცვლადი დენის გენერატორი ორი წყვილი პოლუსით.



ნახ. 5-5. ორი წყვილპოლუსიანი გენერატორის ცვლადი ემ ძალის გრაფიკი.

ორი წყვილპოლუსიანი ($p=2$) გენერატორის ღუზის ერთი სრული ბრუნვის შესაბამისი გრაფიკი $e=f(t)$ მოყვანილია 5-5 ნახაზზე.

$p\alpha$ ნამრავლს უწოდებენ ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ კ უ თ ხ ე ს. ელექტრული კუთხის შეფარდებას მისი ცვლილების დროსთან ეწოდება ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი კ უ თ ხ უ რ ი ს ი ჩ ქ ა რ ე, ანუ კ უ თ ხ უ რ ი ს ი ხ შ ი რ ე. მაშასადამე,

$$\omega=p\Omega=\frac{p\alpha}{t}=\frac{p2\pi}{p\cdot T}=\frac{1}{T}2\pi=2\pi f. \tag{5-6}$$

თუ მბრუნავი ღუზა წუთში ასრულებს n ბრუნს, მაშინ წამში ბრუნთა რიცხვი იქნება $n/60$, ხოლო სიხშირე

$$f=\frac{n}{60}p. \tag{5-7}$$

მაგალითი 5-1. ორი წყვილპოლუსიანი ($P=2$) გენერატორი ბრუნავს 1500 ბრ/წთ სიხშირით. განვსაზღვროთ გენერატორის ცვლადი დენის სიხშირე.

ამოხსნა.

(5-7) ფორმულის გამოყენებით მივიღებთ

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

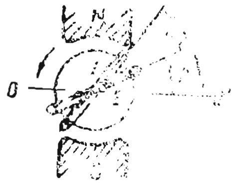
მაგალითი 5-2. ჰიდროგენერატორს აქვს ბრუნვის ნომინალური სიხშირე $n=250$ ბრ/წთ და სიხშირე $f=50$ ჰც. რამდენი წყვილი პოლუსი აქვს გენერატორს?

ამოხსნა.

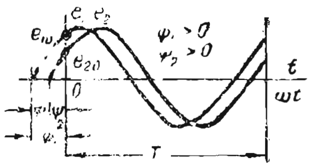
ისევ (5-7) ფორმულიდან $p=\frac{60f}{n}=\frac{60\cdot 50}{250}=12$ წყვილი.

5-3. ფაზათა ძვრა

გენერატორის ღუზაზე დამაგრებულია ერთმანეთის მიმართ დაძრული ორი ერთნაირი ხვია (1) და (2) (ნახ. 5-6). ღუზის ბრუნვის დროს ხვიებში აღიძვრება ერთი სიხშირისა და ერთნაირი ამპლიტუდის მქონე ემ ძალა,



ნახ. 5-6. გენერატორის ღუზის გრაგნილის ორი შტო.



ნახ. 5-7. ორი ცვლადი ემ ძალის გრაფიკი.

რადგან ხვიები ბრუნავენ ერთსა და იმავე მაგნიტურ ველში, ერთნაირი კუთხური სიჩქარით სივრცეში ხვიების დაძვრის გამო ისინი არაერთდროულად გადიან პოლუსების შუა ნაწილის ქვეშ და, მაშასადამე, ემ ძალაც არაერთდროულად მიაღწევს თავის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას.

თუ ღუზა ბრუნავს საათის ისრის საწინააღმდეგოდ ω კუთხური სიჩქარით, დასაწყისში, როცა ($t=0$) ხვიები ნეიტრალურ OO' სიბრტყესთან განლაგდება φ_1 და φ_2 კუთხეებით (ნახ. 5-6). ხვიებში აღძრული ემ ძალები

$$e_1=E_მ \sin(\omega t+\varphi_1) \quad \text{და} \quad e_2=E_მ \sin(\omega t+\varphi_2), \tag{5-8}$$

სადაც ($\omega t+\varphi$) კუთხეს ფაზურ კუთხეს ან უბრალოდ ფაზურს უწოდებენ. ასე რომ სინუსოიდური სიდიდეების მყის მნიშვნელობებს განსაზღვრავენ ამპლიტუდითა და ფაზით.

ასეთი ემ ძალების გრაფიკები აგებულია 5-7 ნახაზზე.

დროის დასაწყისში, როცა $t=0$, ხვიებში აღძრული ემ ძალები

$$e_{10}=E_მ \sin\psi_1 \quad \text{და} \quad e_{20}=E_მ \sin\varphi_2.$$

5-7 ნახაზზე ისინი გამოსახულია საწყისი ორდინატებით. φ_1 და φ_2 ელექტრულ კუთხეებს, რომლებიც განსაზღვრავენ ემ ძალების მნიშვნელობებს, დროის საწყის მომენტში ეწოდება საწყისი ფაზური კუთხეები ან უბრალოდ — *საწყისი ფაზები*.

ამგვარად, *სინუსოიდური სიდიდე ხასიათდება*: 1) *ამპლიტუდით*, 2) *სიხშირით*, *ანუ პერიოდით* და 3) *საწყისი ფაზით*.

ერთსიხშირიანი ორი სინუსოიდური სიდიდის საწყისი ფაზების სხვაობას *ფაზათა ძვრის კუთხე* (ფაზათ ძვრა) ეწოდება და გამოისახება ფორმულით

$$\varphi=\varphi_1-\varphi_2. \tag{5-9}$$

ფაზათა ძვრა გვიჩვენებს, თუ პერიოდის რა ნაწილში ან დროის რომელ მონაკვეთში $t=\frac{\psi}{\omega}=\frac{\psi T}{2\pi}$ აღწევს ერთი სინუსოიდური სიდიდე პერიოდის საწყის მომენტს მეორე სიდიდეზე ადრე.

პერიოდის საწყისად თვლიან დროის მომენტს, როცა სინუსოიდური სიდიდე გადის თავის ნულოვან მნიშვნელობას და ამის შემდეგ ის დადებითია. სიდიდე, რომლის პერიოდის საწყისი ადრე დგება, ვიდრე მეორისა, ითვლება, რომ ის ფაზას წინ უსწრებს, ხოლო ის, რომლისთვისაც გვიან დგება — ფაზით ჩამორჩება.

ორი სინუსოიდური სიდიდე, რომლებსაც ერთნაირი საწყისი ფაზები აქვთ, ემთხვევიან ფაზით. ორი სინუსოიდური სიდიდე, რომელთა ფაზათა ძვრის კუთხე 180°-ის ტოლია, იცვლება უკუფაზაში.

მაგალითი 5-3. ორი ემ ძალა მოცემულია შემდეგი განტოლებებით:

$$e_1=E_მ \sin(\omega t+60^\circ) \quad \text{და} \quad e_2=E_მ \sin(\omega t+30^\circ).$$

განვსაზღვროთ e_1 და e_2 ემ ძალების ფაზათა ძვრის კუთხე და ძვრის დრო, თუ სიხშირე 50 ჰც-ის ტოლია.

ამოხსნა.

საწყისი ψ_1 და ψ_2 ფაზები გამოვსახოთ რადიანებით:

$$\psi_1=\frac{60\cdot 2\pi}{360}=\frac{\pi}{3}; \quad \psi_2=\frac{30\cdot 2\pi}{360}=\frac{\pi}{6}.$$

ფაზათა ძვრის კუთხე

$$\psi=\psi_1-\psi_2=\frac{\pi}{3}-\frac{\pi}{6}=\frac{\pi}{6}.$$

პერიოდი

$$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{50}=0{,}02 \text{ წმ.}$$

e_1 და e_2 ემ ძალების ფაზათა ძვრის დრო

$$t=\frac{\psi}{\omega}=\frac{\pi\cdot T}{6\cdot 2\pi}=\frac{T}{12}=\frac{0{,}02}{12}=0{,}00166 \text{ წმ.}$$

5-4. დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები

ცვლადი დენის წრედების განგარიშების დროს ჩვეულებრივად სარგებლობენ ცნებით ცვლადი დენის, ძაბვისა და ემ ძალის მოქმედი მნიშვნელობებით.

დენის, ძაბვისა და ემ ძალის მოქმედი მნიშვნელობები აღინიშნება I, U და E ასოებით.

საზომი ხელსაწყოების სკალაზე და ტექნიკურ დოკუმენტებში აგრეთვე ნაჩვენებია სიდიდეთა მოქმედი მნიშვნელობები.

ცვლადი დენის მოქმედი მნიშვნელობა ტოლია ისეთი ეკვივალენტური მუდმივი დენის მნიშვნელობისა, რომელიც გაივლის იმავე წინაღობაში, რომელშიაც ცვლადი დენი და რაღაც დროში გამოყოფს მასში იმავე რაოდენობის სითბოს.

ცვლადი დენის მიერ r წინაღობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა დროის უსასრულო მცირე dt მონაკვეთში გამოისახება ფორმულით

$$dw_{სით}=i^2 r\,dt,$$

ხოლო ცვლადი დენის ერთი T პერიოდის განმავლობაში

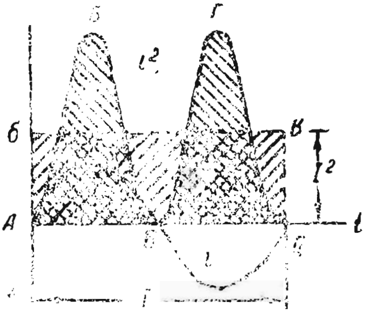
$$w_{სით}=\int_0^T dw_{სით}=\int_0^T i^2 r\,dt.$$

თუ $w_{სით}$-ს მიღებულ გამოსახულებას გავუტოლებთ იმავე r წინაღობაში მუდმივი I დენის მიერ გამოყოფილ I^2rT სითბოს რაოდენობას იმავე დროში, მივიღებთ

$$I^2 rT=\int_0^T i^2 r\,dt.$$

თუ ორივე მხარეს გავყოფთ r-ზე, მივიღებთ დენის მოქმედ მნიშვნელობას

$$I=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt}. \quad (5\text{-}10)$$



ნახ. 5-8. ცვლადი დენისა და დენის კვადრატის გრაფიკები.

5-8 ნახაზზე აგებულია დენის i მყისი მნიშვნელობის და i^2 მყისი მნიშვნელობის კვადრატის მრუდები. ფართობი, რომელიც შემოფარგლულია უკანასკნელი მრუდით (i^2) და აბსცისათა ღერძით, რაღაც მასშტაბში წარმოადგენს სიდიდეს, რომელსაც განსაზღვრავს $\int_0^T i^2 dt$ გამოსახულებას,

АБВДА სწორკუთხედის *АБ* სიმაღლე

i^2 მრუდითა და აბსცისათა ღერძით შემოფარგლული ფართობის (*АБВГД*) ტოლდიდია, რომელიც i^2 მრუდის ორდინატის საშუალო მნიშვნელობის ტოლია და წარმოადგენს დენის მოქმედი მნიშვნელობის I^2 კვადრატს.

თუ დენი იცვლება სინუსოიდური კანონის მიხედვით, ე. ი.

$$i = I_\text{მ} \sin \omega t,$$

მაშინ

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I^2_\text{მ} \sin^2 \omega t \, dt},$$

მაგრამ, რადგან

$$\int_0^T \sin^2 \omega t \, dt = \int_0^T \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \, dt = \frac{1}{2}\int_0^T dt - \frac{1}{2}\int_0^T \cos 2\omega t \, dt = \frac{T}{2} - 0 = \frac{T}{2},$$

მაშინ

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} I^2_\text{მ} \cdot \frac{T}{2}} = \sqrt{\frac{I^2_\text{მ}}{2}} = \frac{I_\text{მ}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707 I_\text{მ}. \qquad (5\text{-}11)$$

ანალოგიურად, სინუსოიდური ძაბვისა და ემ ძალის მოქმედი მნიშვნელობებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$U = \frac{U_\text{მ}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\, U_\text{მ} \text{ და } E = \frac{E_\text{მ}}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707\, E_\text{მ}. \qquad (5\text{-}12)$$

მაგალითი 5-4. ვოლტმეტრით გაზომილი ძაბვა $U = 220$ ვ. განვსაზღვროთ ძაბვის ამპლიტუდა.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

$$U_\text{მ} = \sqrt{2} U = \sqrt{2} \cdot 220 = 1{,}41 \cdot 220 = 310 \text{ ვ.}$$

გარდა დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობისა, ზოგჯერ სარგებლობენ ცნებით ე. წ. დენისა და ძაბვის ს ა შ უ ა ლ ო მ ნ ი შ ვ ნ ე ლ ო ბ ა.

სინუსოიდური დენის საშუალო მნიშვნელობა ერთი პერიოდის განმავლობაში ნულის ტოლია, ვინაიდან პერიოდის პირველი ნახევრის განმავლობაში, რომელიც Q ელექტრობის რაოდენობით განისაზღვრება, გამტარის განივკვეთში გადის ერთი მიმართულებით, ხოლო პერიოდის მეო-

რე ნახევრის განმავლობაში იმავე რაოდენობის ელექტრობა გამტარის განივკვეთში გადის საწინააღმდეგო მიმართულებით, მაშასადამე, გამტარის განივკვეთში ერთი პერიოდის განმავლობაში გავლილი ელექტრობის რაოდენობა ნულის ტოლია; ასევე ნულის ტოლია პერიოდის განმავლობაში სინუსოიდური დენის საშუალო მნიშვნელობაც. ამიტომ სინუსოიდური დენის საშუალო მნიშვნელობას $I_{საშ}$ გამოთვლიან ნახევარ პერიოდში, რომლის განმავლობაში დენი რჩება დადებითი.

დენის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია გამტარის განივკვეთში ნახევარი პერიოდის განმავლობაში გავლილი ელექტრობის რაოდენობის შეფარდებისა ამ ნახევარი პერიოდის ხანგრძლივობასთან.

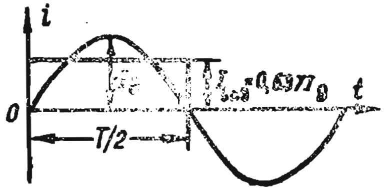
ამგვარად

$$I_{საშ}=\frac{Q}{T/2}=\frac{2}{T}\cdot Q=\int_{0}^{T/2} i\,dt, \qquad (5\text{-}13)$$

მხოლოდ დროის ათვლის საწყისი $t=0$ უნდა დაემთხვეს პერიოდის საწყისს. ანალოგიურად განისაზღვრება ძაბვისა და ემ ძალის საშუალო მნიშვნელობები

$$U_{საშ}=\frac{2}{T}\int_{0}^{T/2} u\,dt \quad და \quad E_{საშ}=\frac{2}{T}\int_{0}^{T/2} e\,dt. \qquad (5\text{-}14)$$

ნახევარ პერიოდში დენის საშუალო მნიშვნელობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ გრაფიკულად იმ მართკუთხედის სიმაღლით, რომლის ფუძე $T/2$-ის ტოლია, და ფართობით, რომელიც შემოფარგლულია აბსცისათა ღერძითა და დენის მრუდით პერიოდის დასაწყისიდან პერიოდის ნახევრამდე (ნახ. 5-9).



ნახ. 5-9. დენის საშუალო მნიშვნელობა ერთ ნახევარ პერიოდში.

სინუსოიდური დენის საშუალო მნიშვნელობა მისი ამპლიტუდური მნიშვნელობის მიხედვით შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად

$$I_{საშ}=\frac{2}{T}\int_{0}^{T/2} i\,dt=\frac{2I_м}{T}\int_{0}^{T/2}\sin\omega t\,dt=$$

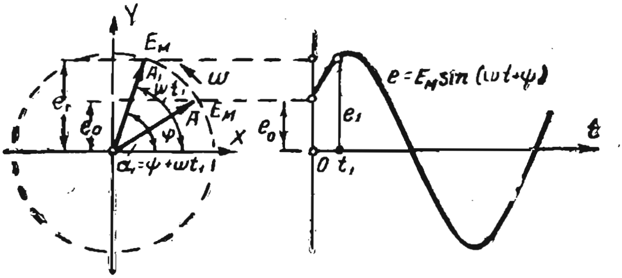
$$=-\frac{2I_м}{T\omega}\cos\omega t\Big|_{0}^{T/2}=\frac{2}{\pi}I_м=0,637\,I_м. \qquad (5\text{-}15)$$

ასეთივე შეფარდება გვექნება ძაბვისა და ემ ძალისათვის:

$$U_{საშ} = \frac{2}{\pi} U_{მ} \quad და \quad E_{საშ} = \frac{2}{\pi} E_{მ}. \tag{5-16}$$

5-5. ვექტორული დიაგრამა

სინუსოიდურ სიდიდეებს გამოსახავენ მრუდებით — სინუსოიდებით (იხ. § 5-1—5-3) ან მბრუნავი ვექტორებით. უკანასკნელი მეთოდი საშუალებას გვაძლევს მნიშვნელოვნად გავამარტივოთ სინუსოიდური სიდიდეების გრაფიკული გამოსახვა და რამდენიმე სიდიდის ჯამისა და სხვაობის გრაფიკული განსაზღვრა.



ნახ. 5-10. სინუსოიდური სიდიდეების გამოსახვა მბრუნავი ვექტორით.

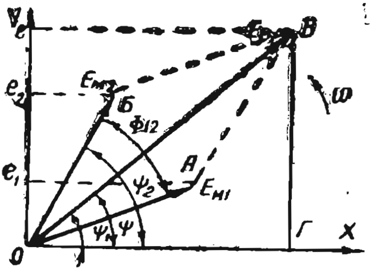
სინუსოიდური სიდიდის, მაგალითად, ემ ძალა $e = E_{მ} \sin(\omega t + \varphi)$, მბრუნავი ვექტორით გამოსახვისას (5-10) მისი OA სიგრძე განსაზღვრულ მასშტაბში წარმოადგენს $E_{მ}$ ამპლიტუდას; კუთხე ვექტორსა და აბსცისათა ნახევარღერძს შორის X, დასაწყისში, როცა $t=0$, ტოლია საწყისი φ ფაზისა, ხოლო ვექტორის კუთხური სიჩქარე — ω კუთხური სიხშირისა. ვექტორის პროექცია ორდინატთა Y ღერძზე იმავე მასშტაბში გვაძლევს ემ ძალის მყის მნიშვნელობას.

მართლაც, დროის მომენტში, როცა $t=0$ ემ ძალა $e_0 = E_{მ} \sin\varphi$ გამოისახება OA ვექტორის პროექციით Y ღერძზე. როცა $t = t_1$, ემ ძალა $e_1 = E_{მ} \sin(\omega t_1 + \varphi)$ გამოისახება ვექტორის პროექციით, რომელიც ახალ OA_1 მდგომარეობას იკავებს Y ღერძზე.

რამდენიმე ვექტორის ერთობლიობას, რომელიც გამოსახავს ერთი სიხშირის სინუსოიდურ სიდიდეებს, ვ ე ქ ტ ო რ უ ლ ი დ ი ა გ რ ა მ ა ე წ ო დ ე ბ ა.

ვინაიდან ყველა ვექტორის კუთხური სიჩქარე ვექტორულ დიაგრამაზე ერთნაირია, მათი ურთიერთგანლაგება დიაგრამაზე არ იცვლება. დროის ათვლის საწყისი პერიოდული მრუდებისათვის შეიძლება შევარ-

ჩიოთ ნებისმიერი, ამიტომ მათ შორის ერთ-ერთი ვექტორის აგებისას ვექტორულ დიაგრამაზე, შეიძლება ის გადავდოთ ნებისმიერად, ხოლო დანარჩენი ვექტორები მის მიმართ უნდა განვალაგოთ ფაზათა ძვრის კუთხის ტოლი კუთხით.



ნახ. 5-11. ემ ძალის ორი ვექტორის შეკრება.

ორი სინუსოიდური სიდიდის დალაგება შეიძლება შევცვალოთ ვექტორების დაწყობით, რომელთაგან თითოეული გამოხატავს შესაბამის სინუსოიდურ სიდიდეს. მაგალითად, თუ მოცემული გვაქვს ორი ემ ძალა $e_1 = E_{\text{მ}1}\sin(\omega t + \varphi_1)$ და $e_2 = E_{\text{მ}2}\sin(\omega t + \varphi_2)$, რომლებიც წარმოდგენილია OA და $OБ$ ვექტორებით (ნახ. 5-11), OA ვექტორის მოდებისათვის ის გადააქვთ თავის პარალელურად ისე, რომ მისი საწყისი დაემთხვეს $OБ$ ვექტორის ბოლოს, მაშინ მათი შემკვრელი OB ვექტორი იქნება ემ ძალების ჯამური e ვექტორი. ზემოთ ნათქვამი დასტურდება იქიდან, რომ OA და $OБ$ ვექტორების პროექციები ორდინატთა ღერძზე წარმოადგენს e_1-ისა და e_2-ის მყის მნიშვნელობებს, ხოლო ამ პროექციათა ჯამი ტოლია OB ვექტორის პროექციისა, რომელიც ჯამური ემ ძალის ვექტორს წარმოადგენს.

ვექტორთა სამკუთხედიდან შეიძლება ვიპოვოთ ჯამური ემ ძალის ამპლიტუდა და მისი საწყისი ფაზური კუთხის ტანგენსი (ნახ. 5-11).

სინუსოიდური სიდიდეების გამოკლება ხდება, როგორც სამცირებელი სიდიდეების შეკრება მამცირებელ სიდიდესთან შებრუნებული ნიშნით, ე. ი.

$$e_1 - e_2 = e_1 + (-e_2) \text{ ან } E_{\text{მ}1} - E_{\text{მ}2} = E_{\text{მ}1} + (-E_{\text{მ}2}).$$

მეექვსე თავი

ცვლადი დენის ერთფაზიანი წრედები

6-1. ცვლადი დენის წრედების თავისებურებანი

ელექტროწრედში, მის მომჭერებზე მუდმივი ძაბვის დროს, ელექტრულ და მაგნიტურ ველში შენახული დენი, სიმძლავრე და ენერგია უცვლელი რჩებიან.

წრედის მომჭერებზე ცვლადი ძაბვის დროს ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი სიდიდე იცვლება დროის მიხედვით.

ელექტრულ წრედს, რომელშიაც ხდება ელექტრული ენერგიის გარდაქმნა თბურად და ელექტრულ და მაგნიტურ ველებში თავმოყრილი ენერ-

გიის შეცვლა, ახასიათებს სამი პარამეტრი: r წინაღობა, L ინდუქციურობა და C ტევადობა.

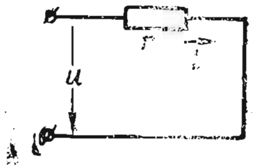
ტექნიკაში გვხვდება წრედები, რომლებშიაც ფიზიკური მოვლენები განისაზღვრება ერთ-ერთი ზემოთ მოყვანილი r, L ან C პარამეტრით, ვინაიდან სხვა პარამეტრების გავლენა შეიძლება უგულებელვყოთ. მაგალითად, ვარვარების ნათურები, რეზისტორები ან სახურებელი ხელსაწყოები ხასიათდებიან მხოლოდ r წინაღობით; დაუტვირთავად მომუშავე ტრანსფორმატორები L ინდუქციურობით; უქმად მომუშავე კაბელი ხასიათდება მხოლოდ მისი C ტევადობით.

6-2. ცვლადი დენის აქტიურწინაღოგიანი წრედი

ა) ძაბვა და დენი

სინუსოიდური ძაბვის დროს $u=U_{\text{მ}}\sin\omega t$ წრედის მომჭერებზე, რომლის წინაღობაა r, (ნახ. 6-1) ომის კანონის თანახმად, დენი მასში

$$i=\frac{u}{r}=\frac{U_{\text{მ}}}{r}\sin\omega t=I_{\text{მ}}\sin\omega t.$$



ნახ. 6-1. წრედი წინაღობით.

მაშასადამე, დენი r წინაღობაში იცვლება სინუსოიდურად და ფაზით ემთხვევა ძაბვას (ნახ. 6-2, ა და 6-3).

მოცემული წრედისათვის ომის კანონი მისაღებია როგორც მყისი და ამპლიტუდური მნიშვნელობისა $i=u/r$ და $I_{\text{მ}}=U_{\text{მ}}/r$, ისე მოქმედი მნიშვნელობისათვის

$$I=0{,}707\,I_{\text{მ}}=0{,}707\,\frac{U_{\text{მ}}}{r}=\frac{U}{r}. \qquad (6\text{-}1)$$

ბ) სიმძლავრე

სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა ან უბრალოდ მ ყ ი ს ი ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე — ეს არის ძაბვისა და დენის მნიშვნელობათა ნამრავლი დროის ერთი და იმავე მომენტისათვის, ე. ი.

$$P=ui=i^2r=I_{\text{მ}}^2r\sin^2\omega t.$$

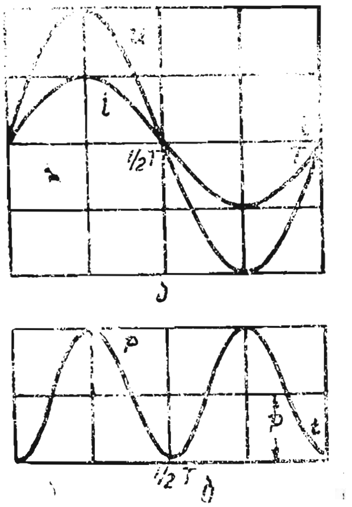
ელექტრული ენერგია სითბოდ გარდაიქმნება, მიუხედავად დენის მიმართულებისა, ამიტომ მყისი სიმძლავრე დადებითია დენის პირდაპირ და საწინააღმდეგო მიმართულების დროს (ნახ. 6-2, ბ).

ვინაიდან

$$\sin^2\omega t=\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos 2\omega t \text{ და } \frac{1}{2}I_{\text{მ}}^2=\left(\frac{I_{\text{მ}}}{\sqrt{2}}\right)^2=I^2,$$

შეიძლება დავწეროთ

$$P = I_{\text{მ}}^2 r \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} I_{\text{მ}}^2 r - \frac{1}{2} I_{\text{მ}}^2 r \cos 2\omega t = I^2 r - I^2 r \cos 2\omega t.$$



ნახ. 6-2. წინაღობის შემცველი წრედის დენის, ძაბვისა და სიმძლავრის გრაფიკები.

მუდმივი I^2r შემდგენი წარმოადგენს ელექტროენერგიის სითბოდ გარდაქმნის საშუალო სიჩქარეს ანუ, რაც იგივეა, საშუალო სიმძლავრეს პერიოდის განმავლობაში

$$P = I^2 r = IIr = UI. \qquad (6\text{-}2)$$

ამას უწოდებენ **აქტიურ სიმძლავრეს**, ხოლო r წინაღობას — **აქტიურ წინაღობას**.

ნახ. 6-3. წინაღობის შემცველი წრედის ვექტორული დიაგრამა.

აქტიური სიმძლავრის საზომ ერთეულად, ისე როგორც მუდმივი დენის წრედში, მიღებულია ვატი (ვტ).

6-3. ინდუქციურობა ცვლადი დენის წრედში

ა) ძაბვა და დენი

როცა ინდუქციურობის შემცველ წრედში დენი $i = I_{\text{მ}}\sin\omega t$ (ნახ. 6-4), მასში აღიძვრება თვითინდუქციის ემ ძალა (3-37)

$$e_L = -L\frac{di}{dt} = -L\frac{d(I_{\text{მ}}\sin\omega t)}{dt} = -LI_{\text{მ}}\,\omega\cos\omega t =$$

$$= E_{L\text{მ}}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \qquad (6\text{-}3)$$

თუ ინდუქციურობის შემცველი წრედის წინაღობა უმნიშვნელოდ მცირეა ($r = 0$), მაშინ კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად

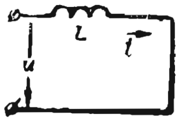
$$u + e_L = ir = 0,$$

საიდანაც ძაბვა წრედის მომჭერებზე

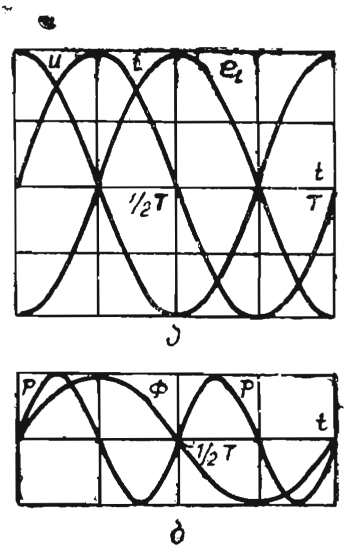
$$u = -e_L = LI_a\omega \cos \omega t = U_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \tag{6-4}$$

მაშასადამე, წრედზე მოდებული ძაბვა იწვევს მასში დენს, რომლის მაგნიტური ველი თავისი ცვლილების დროს დროის თითოეულ მომენტში აინდუქციებს თვითინდუქციის ემ ძალას, რომელიც მოდებული ძაბვის ტოლია და მის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, ანუ აწონასწორებს ამ ძაბვას (ნახ. 6-5, ა და 6-6).

(6-4) განტოლებიდან და 6-5 და 6-6 ნახაზებიდან გამომდინარეობს, რომ დენი ფაზით ჩამორჩება ძაბვას 1/4 პერიოდით,

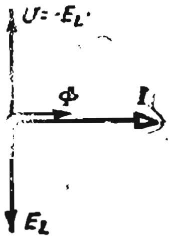


ნახ. 6-4. წრედი ინდუქციურობით.



ნახ. 6-5. ინდუქციურობის შემცველი წრედის დენის, მაგნიტური ნაკადის, ძაბვისა და სიმძლავრის გრაფიკები.

ანუ $\frac{\pi}{2}$-ით, ან წინ უსწრებს ფაზით e_L ემ ძალას 1/4 პერიოდით. ეს გამოწვეულია იმით რომ დაინდუქციებული e_L ემ ძალა პროპორციულია დროის მიხედვით დენის ცვლილების სიჩქარისა.



ნახ. 6-6. ინდუქციურობის შემცველი წრედის ვექტორული დიაგრამა.

მაქსიმალური დენის გავლის დროს, როცა მისი ცვლილების სიჩქარე ნულის ტოლია, e_L ემ ძალაც ასევე ნულის ტოლია, როცა დენი გადის თავის ნულოვან მნიშვნელობას და მისი ცვლილების სიჩქარე ყველაზე დიდია, ემ ძალა $e_L = E_{La}$. ლენცის კანონის თანახმად, დენის დადებითი ზრდისას $\left(\frac{di}{dt} > \right)$ e_L ემ ძალა მიმართულია დენის შემხვედრად და, პირიქით, დენის უარყოფითი ზრდისას $\left(\frac{di}{dt} < 0\right)$ e_L ემ ძალა მიმართულია დენის თანმხვედრად, ამიტომ, მაგალითად, პე-

რიოდის პირველ მეოთხედში (ნახ. 6-5) დენის ზრდის დროს e_L ემ ძალა უარყოფითია, ხოლო პერიოდის მეორე მეოთხედის განმავლობაში დენის კლების დროს e_L ემ ძალა დადებითია.

ბ) ინდუქციური წინაღობა

(6-3) და (6-4)-დან გამომდინარეობს

$$U_მ = E_{Lმ} = I_მ \omega L, \tag{6-5}$$

საიდანაც ამპლიტუდური მნიშვნელობებისათვის შეიძლება დავწეროთ ომის კანონი

$$I_მ = \frac{U_მ}{\omega_L} = \frac{U_მ}{x_L}. \tag{6-6}$$

თუ ამ ფორმულას გავყოფთ $\sqrt{2}$-ზე, მივიღებთ ომის კანონს მოქმედი მნიშვნელობებისათვის

$$I = \frac{U}{\omega_L} = \frac{U}{x_L}. \tag{6-7}$$

ძაბვის გაყოფით წრედის დენზე მივიღებთ

$$U/I = X_L = \omega L = 2\pi f L. \quad (6-8($$

ამ შეფარდებას ინდუქციურობის რეაქტიულ წინაღობას ან მოკლედ ინდუქციურ წინაღობას უწოდებენ. ინდუქციური წინაღობა პროპორციულია ინდუქციურობისა და დენის სიხშირისა. მუდმივი დენის შემთხვევაში ის ნულის ტოლია.

გ) სიმძლავრე

ინდუქციურობის შემცველი წრედის მყისი სიმძლავრე

$$P = ui = U_მ \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) I_მ \sin \omega t = U_მ I_მ \cos \omega t \sin \omega t =$$

$$= U_მ I_მ \frac{1}{2} \sin 2\omega t = UI \sin 2\omega t. \tag{6-9}$$

სიმძლავრე იცვლება ორმაგი სიხშირით (ნახ. 6-5); 2-ჯერ პერიოდის განმავლობაში აღწევს დადებით მაქსიმუმს $UI = I^2 \omega L$ და 2-ჯერ კი — ასეთივე უარყოფით მაქსიმუმს.

დენისა და, შესაბამისად, მაგნიტური ნაკადის ზრდისას (პერიოდის პირველ და მესამე მეოთხედში ნახ. 6-5), მიუხედავად მისი მიმართულებისა, ხდება მაგნიტური ველის ენერგიის დაგროვება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე (§ 3-39)

$$W_მ = LI^2_მ/2 = LI^2,$$

რომელიც მიეწოდება გენერატორიდან; ამგვარად, წრედი მუშაობს მომხმარებლის რეჟიმით, რაც შეესაბამება წრედის დადებით მნიშვნელობას.

დენისა და, შესაბამისად, მაგნიტური ნაკადის შემცირებისას (პერიოდის მეორე და მეოთხე მეოთხედში, ნახ. 6-5) ხდება მაგნიტური ველის ენერგიის შემცირება მაქსიმალური მნიშვნელობიდან ნულამდე, რომელიც უბრუნდება გენერატორის წრედს. ამგვარად, პერიოდის ამ ნაწილებში წრედი მუშაობს გენერატორის რეჟიმით, რაც შეესაბამება ინდუქციურობის შემცველი წრედის სიმძლავრის უარყოფით მნიშვნელობას.

ინდუქციურობის შემცველი წრედის P აქტიური სიმძლავრე ტოლია ნულისა. სიმძლავრის მაქსიმალურ მნიშვნელობას Q, ინდუქციურობის შემცველ წრედში სხვანაირად უწოდებენ რეაქტიულ სიმძლავრეს.

(6-9)-დან გამომდინარეობს, რომ

$$Q=\frac{U_{მ}I_{მ}}{2}=UI=I^2\omega L=\omega W_{მ}. \qquad (6\text{-}10)$$

რეაქტიული სიმძლავრის საზომ ერთეულად მიღებულია ე. წ. რეაქტიული ვოლტ-ამპერი (რვა).

მაგალითი 6-1. წრედზე, რომლის ინდუქციურობა ტოლია 0,02 ჰ და სიხშირე — 50 ჰც, მოდებულია 127 ვ ძაბვა.

1. განვსაზღვროთ წრედის ინდუქციური წინაღობა, დენი და რეაქტიული სიმძლავრე.

ამოხსნა.

$$X_L=2\pi fL=2\pi\cdot50\cdot0,02=6,28 \text{ ომ};$$
$$I=U/X_L=127/6,28=20,25 \text{ ა};$$
$$Q=UI=127\cdot20,25\approx2572 \text{ რვა}.$$

2. განვსაზღვროთ ინდუქციურობის რეაქტიული წინაღობა და დენი წრედში როცა სიხშირე ტოლია 1000 ჰც.

ამოხსნა

$$X_L=2\pi fL=2\pi\cdot1000\cdot0,02=125,6 \text{ ომ};$$
$$I=U/x_L=127/125,6\approx1,01 \text{ ა}.$$

დ) ინდუქციურობის ძაბვის დამოკიდებულება მაგნიტურ ნაკადთან

ზოგ შემთხვევაში ცვლადი დენის წრედების გაანგარიშების დროს ინდუქციურობის ძაბვას მაგნიტური ნაკადით გამოსახავენ.

თუ კოჭას (კონტურის) ყველა ხვია გაიმსჭვალება ერთი მაგნიტური ნაკადით, მაშინ თვითინდუქციის ნაკადგადაბმულობის ამპლიტუდა

$$\Psi_{მ}=w\Phi_{მ}=LI_{მ}.$$

ამ შემთხვევაში თვითინდუქციის ემ ძალა და მისი ტოლი ძაბვა მომ-ჭერებზე გამოისახება შემდეგნაირად

$$U = E_L = \frac{\omega L I_მ}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w \Phi_მ}{\sqrt{2}} = 4,44 f w \Phi_მ. \qquad (6\text{-}11)$$

6-4. აქტიური წინაღობა და ინდუქციურობა ცვლადი დენის წრედში

ა) ძაბვა და დენი

თუ კოჭაში, რომლის აქტიური წინაღობაა r და ინდუქციურობა L (ნახ. 6-7), გადის ცვლადი დენი (ნახ. 6-8 და 6-9)

$$i = I_მ \sin \omega t,$$

მაშინ კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად,

$$u + e_L = ir,$$

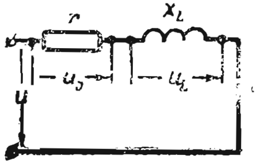
საიდანაც ძაბვა კოჭას მომჭერებზე

$$u = ir - e_L = ir + L\frac{di}{dt} = U_{აქტ} + U_L.$$

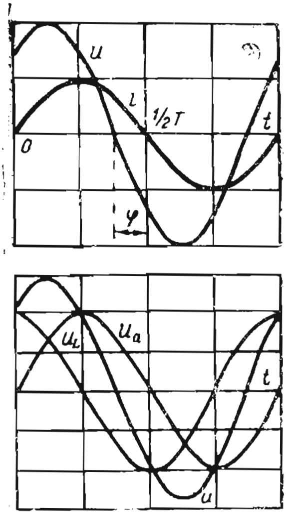
ძაბვის პირველ შემდგენს $U_{აქტ} = ir$ ეწოდება აქტიური ძაბვა, ხოლო მეორეს $U_L = -e_L = L\frac{di}{dt}$ — რეაქტიული.

აქტიური ძაბვა (ნახ. 6-8 და 6-9)

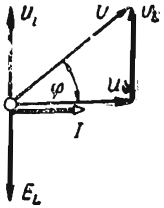
$$U_{აქტ} = ir = I_მ r \sin \omega t = U_{ამ} \sin \omega t$$



ნახ. 6-7. წრედი აქტიური წინაღობითა და ინდუქციურობით.



ნახ. 6-8. აქტიური წინაღობისა და ინდუქციურობის შემცველი წრედის დენისა და ძაბვის გრაფიკები.



ნახ. 6-9. აქტიური წინაღობისა და ინდუქციურობის შემცველი წრედის ვექტორული დიაგრამა.

იცვლება სინუსოიდურად და ფაზაში ემთხვევა დენს.

აქტიური ძაბვის ამპლიტუდა

$$U_{ამ} = I_მ r,$$

ხოლო მისი მოქმედი მნიშვნელობა

$$U_{აქტ}=Ir.$$

რეაქტიული ძაბვა (ნახ. 6-8 და 6-9), რომელიც დენს წინ უსწრებს ფაზაში, 90°-ით იცვლება სინუსოიდურად, გამოისახება შემდეგნაირად

$$u_L=L\frac{d}{dt}=\omega LI_მ\cos\omega t=U_{Lმ}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right).$$

რეაქტიული ძაბვის ამპლიტუდა

$$U_{Lმ}=\omega LI_მ,$$

ხოლო მისი მოქმედი მნიშვნელობა

$$U_L=\omega LI=X_LI.$$

ძაბვა წრედის მომჭერებზე (ნახ. 6-8 და 6-9), რომელიც დენს წინ უსწრებს ფაზაში φ კუთხით და სინუსოიდურად იცვლება, შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად:

$$u=u_ა+u_L=U_{ამ}\sin\omega t+U_{Lმ}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)=U_მ\sin(\omega t+\varphi). \qquad (6\text{-}12)$$

$U_ა$, U_L და U ძაბვის ვექტორები (ნახ. 6-9) წარმოქმნის მართკუთხა სამკუთხედს, რომელსაც ძ ა ბ ვ ი ს ს ა მ კ უ თ ხ ე დ ი ეწოდება.

ამ სამკუთხედიდან, პითაგორის თეორემის თანახმად, შეგვიძლია დავწეროთ:

$$U=\sqrt{U_ა^2+U_L^2}. \qquad (6\text{-}13)$$

ასეთივე დამოკიდებულება შეიძლება დავამყაროთ შესაბამისი ძაბვების ამპლიტუდებისათვის

$$U_მ=\sqrt{U^2_{ამ}+U^2_{Lმ}}.$$

ფაზათა ძვრის კუთხე წრედის ძაბვასა და დენს შორის შეიძლება განვსაზღვროთ ძაბვის სამკუთხედიდან (ნახ. 6-9) შემდეგი გამოსახულებებით:

$$\cos\varphi=U_ა/U \text{ ან } \mathrm{tg}\,\varphi=U_L/U_ა$$

ბ) წრედის სრული წინაღობა

თუ (6-13) ტოლობაში ძაბვებს შევცვლით დენისა და წინაღობის ნამრავლით, მივიღებთ

$$U=\sqrt{(Ir)^2+(IX_L)^2}=I\sqrt{r^2+X_L^2}=IZ,$$

სადაც $\sqrt{r^2+X_L^2}=Z$.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულიდან წრედის დენისათვის შეგვიძლია დავწეროთ

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_L{}^2}}. \tag{6-14}$$

მიღებული ფორმულები გამოსახავს ომის კანონს ისეთი წრედის მოქმედი მნიშვნელობებისათვის, რომლის წინაღობაა r და ინდუქციურობა — L. სიდიდეს

$$Z = \sqrt{r^2 + x_L{}^2} = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2} \tag{6-15}$$

წრედის სრული წინაღობა ეწოდება და აღინიშნება Z ასოთი.

გრაფიკულად r, X_L და Z წინაღობები გამოსახავს მართკუთხა სამკუთხედის გვერდებს, რომელიც მიიღება ძაბვის სამკუთხედიდან მისი გვერდების I-ზე გაყოფის შედეგად. ასეთნაირად მიღებულ მართკუთხა სამკუთხედს წ ი ნ ა ღ ო ბ ა თ ა ს ა მ კ უ თ ხ ე დ ი ეწოდება (ნახ. 6-10).

კუთხე სამკუთხედის Z და r გვერდებს შორის ტოლია ძაბვასა და დენს შორის ფაზათა ძვრის φ კუთხისა, ვინაიდან

$$\cos\varphi = \frac{U_ა}{U} = \frac{Ir}{Iz} = \frac{r}{Z}, \text{ ხოლო } \operatorname{tg}\varphi = \frac{U_L}{U_ა} = \frac{X_L}{r}. \tag{6-16}$$

რეაქტიული ძაბვა, რაც უფრო მეტია აქტიურზე ან, რეაქტიული წინაღობა, რაც უფრო მეტია აქტიურზე, მით მეტი კუთხით ჩამორჩება ფაზაში დენი წრედის ძაბვას.

გ) სიმძლავრე

წრედში, რომლის წინაღობაა r და ინდუქციურობა L, სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა

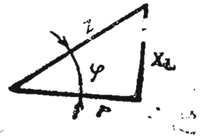
$$p = ui = U_მ \sin(\omega t + \varphi) I_მ \sin\omega t = \frac{U_მ I_მ}{2}\cos\varphi - \frac{U_მ I_მ}{2}\cos(2\omega t + \varphi) =$$
$$= UI\cos\varphi - UI\cos(2\omega t + \varphi). \tag{6-17}$$

(6-17) ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ მყისი სიმძლავრე შედგება სიმძლავრის მუდმივი $UI\cos\varphi$ შესაკრებისა და ცვლადი $UI\cos(2\omega t + \varphi)$ შესაკრებისაგან, რომელიც იცვლება სინუსოიდურად ორმაგი სიხშირით.

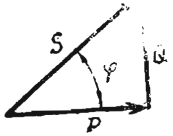
პერიოდის განმავლობაში საშუალო სიმძლავრე, რომელსაც ჩვეულებრივად იყენებენ გაანგარიშების დროს, ტოლია $UI\cos\varphi$ მუდმივი სიმძლავრისა, ვინაიდან პერიოდის განმავლობაში ჰარმონიული ფუნქციის საშუალო მნიშვნელობა ნულის ტოლია.

მაშასადამე, წრედის საშუალო სიმძლავრე უდრის ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობათა ნამრავლს გამრავლებულს $\cos\varphi$-ზე, ე. ი.

$$P = U \cdot I\cos\varphi. \tag{6-18}$$



ნახ. 6-10. აქტიური წინაღობისა და ინდუქციურობის შემცველი წრედის წინაღობის სამკუთხედი.



ნახ. 6-11. სიმძლავრის სამკუთხედი.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $U\cos\varphi = U_a = Ir$, მივიღებთ

$$P = UI\cos\varphi = U_a I = I^2 r.$$

ამგვარად, აქტიური წინაღობის საშუალო მნიშვნელობა (6-2) $P = U_a I$ ამავე დროს წარმოადგენს წრედის საშუალო, ანუ აქტიურ სიმძლავრეს, როცა წინაღობაა r და ინდუქციურობა — L, ე. ი.

$$P = UI\cos\varphi.$$

წრედის რეაქტიული სიმძლავრე, რომელიც ახასიათებს გენერატორისა და წრედს შორის ენერგიის ცვლას (6-10), ტოლია ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობათა ნამრავლისა გამრავლებული $\sin\varphi$-ზე, ე. ი.

$$Q = U_L I = I^2 X_L = I^2 z\sin\varphi = UI\sin\varphi. \qquad (6\text{-}19)$$

ძაბვისა და დენის მოქმედ მნიშვნელობათა ნამრავლს აღნიშნავენ S ასოთი, ე. ი.

$$S = UI \qquad (6\text{-}20)$$

და უწოდებენ წრედის სრულ სიმძლავრეს.

სრული სიმძლავრის საზომ ერთეულად მიღებულია ვოლტ-ამპერი (ვ. ა).

აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები გრაფიკულად გამოსახავენ მართკუთხა სამკუთხედის გვერდებს, რომელსაც სიმძლავრის სამკუთხედი ეწოდება (ნახ. 6-11). ისე, როგორც ძაბვის სამკუთხედისათვის, აქაც შეგვიძლია დავწეროთ

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

ან $(UI\cos\varphi)^2 + (UI\sin\varphi)^2 = (UI)^2$. (6-21)

სიმძლავრის სამკუთხედს მივიღებთ ძაბვის სამკუთხედიდან, თუ მის თითოეულ გვერდს გავამრავლებთ I დენზე.

აქტიური სიმძლავრის შეფარდებას სრულ სიმძლავრესთან აღნიშნავენ $\cos\varphi$-თი და უწოდებენ სიმძლავრის კოეფიციენტს, ე. ი.

$$\frac{P}{S} = \cos\varphi. \qquad (6\text{-}22)$$

ელექტრული მანქანის ან აპარატის გაბარიტებს, მასას, ღირებულებას და კონსტრუქციას განსაზღვრავენ მათი ნომინალური სრული სიმძლავრით

$$S_{\text{ნ}} = U_{\text{ნ}} I_{\text{ნ}},$$

ხოლო სრულ S სიმძლავრეს, ამა თუ იმ რეჟიმით მუშაობისას, განსაზღვრავს მათი გამოყენების ხარისხი.

მაგალითი 6-2. კოჭა, ინდუქციურობით $L=102$ მჰ$=0,102$ ჰ და აქტიური წინაღობით $r=24$ ომს, იმყოფება $U=240$ ვ ძაბვის ქსელში და სიხშირე $f=50$ ჰც. განვსაზღვროთ X_L; Z; I; U_a; U_L; $\cos\varphi$ და P.

ამოხსნა.

$$X_L=2\pi fL=2\pi\cdot 50\cdot 0,102=32 \text{ ომს};$$

$$Z=\sqrt{r^2+X^2_L}=\sqrt{24^2+32^2}=40 \text{ ომს};$$

$$I=U/Z=240/40=6 \text{ ა}; \quad U_a=Ir=6\cdot 24=144 \text{ ვ};$$

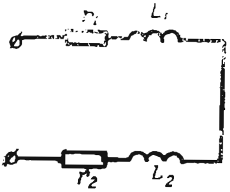
$$U_L=IX_L=6\cdot 32=192 \text{ ვ}; \quad \cos\varphi=r/Z=24/40=0,6;$$

$$P=UI\cos\varphi=240\cdot 6\cdot 0,6=864 \text{ ვტ}.$$

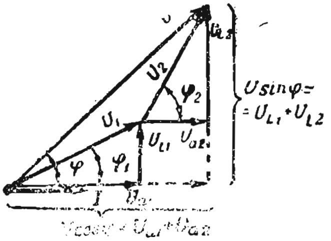
6-5. არაგანშტოებული წრედი აქტიური წინაღობითა და ინდუქციურობით

ძაბვები თანამიმდევრულად შეერთებული ორი კოჭას აქტიურ წინაღობებში (ნახ. 6-12) დამთხვეულია I დენთან ფაზებში და გამოისახება შემდეგნაირად:

$$U_{a1}=Ir_1 \text{ და } U_{a2}=Ir_2.$$



ნახ. 6-12. ორი კოჭის თანამიმდევრულად შეერთების სქემა.



ნახ. 6-13. ვექტორული დიაგრამა არაგანშტოებული წრედისათვის.

ხოლო ძაბვები კოჭების რეაქტიულ $U_{L1}=IX_{L1}$ და $U_{L2}=IX_{L2}$ წინაღობებში წინ უსწრებს დენს ფაზაში 90°-ით (ნახ. 6-13).

ძაბვას არაგანშტოებული წრედის მომჭერებზე, რომელიც ორი კოჭასაგან შედგება, ვიპოვით სამკუთხედის წესით

$$U=\sqrt{(U_{a1}+U_{a2})^2+(U_{L1}+U_{L2})^2}=\sqrt{U_a^2+U_L^2}.$$

თუ შესაკრებ ძაბვებს გამოვსახავთ დენითა და წინაღობებით, მივიღებთ

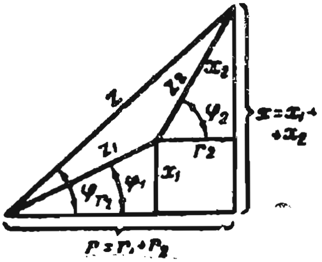
$$U=I\sqrt{(r_1+r_2)^2+(X_{L1}+X_{L2})^2}=I\sqrt{r^2+X_L^2}=IZ,$$

სადაც $r=r_1+r_2$ — წრედის აქტიური წინაღობაა;

$X_L=X_{L1}+X_{L2}$ — წრედის რეაქტიული წინაღობა.

წრედის სრული წინაღობა

$$Z=\sqrt{r^2+X_L^2}.$$



ნახ. 6-14. არაგანშტოებული წრედის წინაღობის სამკუთხედი.

6-14 ნახაზზე წრედის სრული წინაღობა გამოსახულია წინაღობის მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზით, რომელიც შეიძლება მივიღოთ ძაბვის სამკუთხედიდან, თუ მის გვერდებს შესაბამისად გავყოფთ I-ზე

წრედის დენი

$$I=U/Z$$

წრედის ძაბვას ჩამორჩება ფაზაში φ კუთხით, რომელიც შეიძლება განვსაზღვროთ მისი კოსინუსით ან ტანგენსით

$$\cos\varphi=r/Z \text{ და } \operatorname{tg}\varphi=X_L/r.$$

ორი კოჭას წრედის საშუალო, ანუ აქტიური სიმძლავრე

$$P=P_1+P_2=UI\cos\varphi.$$

ამავე წრედის რეაქტიული და სრული სიმძლავრე

$$Q=UI\sin\varphi \text{ და } S=UI.$$

6-6. განშტოებული წრედი აქტიური წინაღობითა და ინდუქციურობით

დენი პირველ პარალელურ შტოში (ნახ. 6-15)

$$I_1=\frac{U}{z_1}=\frac{U}{\sqrt{r_1^2+X_{L1}^2}}$$

ძაბვისაგან ჩამორჩება ფაზაში კუთხით, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს მისი ტანგენსით

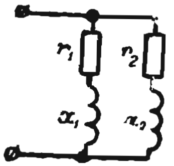
$$\operatorname{tg}\varphi_1=\frac{X_{L1}}{r_1}.$$

დენი მეორე პარალელურ შტოში (ნახ. 6-15)

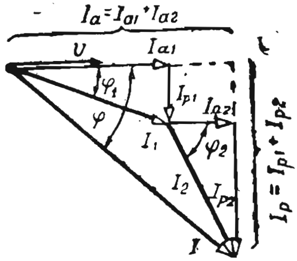
$$I_2=\frac{U}{Z_2}=\frac{U}{\sqrt{r_2^2+X_{L2}^2}}$$

ძაბვისაგან ჩამორჩება ფაზაში კუთხით, რომლის ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\varphi_2=\frac{X_{L2}}{r_2}.$$



ნახ. 6-15. ორი კოჭას პარალელურად შეერთების სქემა.



ნახ. 6-16. ცვლადი დენის განშტოებული წრედის ვექტორული დიაგრამა.

განშტოებული წრედების გაანგარიშების გასამარტივებლად თითოეული შტოს დენი იყოფა შემდგენებად. ერთი შემდგენი — აქტიური ($I_ა$) ფაზაში ემთხვევა ძაბვას, მეორე—რეაქტიული ($I_რ$) დაძრულია ფაზაში ძაბვისაგან 90°-ით.

პირველი პარალელური შტოს დენის შემდგენები (ნახ. 6-16) გამოისახება შემდგენაირად:

$$\left.\begin{aligned} I_{ა1} &= I_1 \cos \varphi_1 = \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{r_1}{Z_1} = U\frac{r_1}{Z_1^2} = Ug_1 \\ \text{და} \\ I_{რ1} &= I_1 \sin \varphi_1 = \frac{U}{Z} \cdot \frac{x_{L1}}{Z_1} = U\frac{X_{L1}}{Z_1^2} = Ub_1, \end{aligned}\right\} \qquad (6\text{-}23)$$

სადაც — g_1 და b_1 — აქტიური და რეაქტიული გამტარობებია.

ელექტრული დიაგრამის აგების დროს დენის აქტიური შემდგენის ვექტორი გადაიდება ძაბვის ვექტორის მიმართულებით. რეაქციული, ინდუქციური შემდგენის ვექტორი გადაიდება 90°-იანი კუთხით მისგან საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით.

დენების სამკუთხედის შემკვრელი ვექტორი წარმოადგენს პირველი შტოს დენის ვექტორს, ე. ი.

$$I_1 = \sqrt{I_{ა1}^2 + I_{რ1}^2} = \sqrt{(Ug_1)^2 + (Ub_1)^2} = U\sqrt{g_1^2 + b_1^2} = Uy_1, \qquad (6\text{-}23,\ ა)$$

სადაც $y_1 = \frac{1}{Z_1} = \sqrt{g_1^2 + b_1^2}$ — შტოს სრული გამტარობაა.

მეორე პარალელური შტოსათვის

$$I_{ა2} = I_2 \cos \varphi_2 \qquad I_{რ2} = I_2 \sin \varphi_2$$

$$I = \sqrt{I_{ა2}^2 + I_{რ2}^2}.$$

შტოებში დენების ფაზაში დამთხვეულ აქტიურ შემდგენთა ჯამი ტოლია საერთო დენის აქტიური შემდგენისა, ე. ი.

$$I_{\text{ა}}=I_{\text{ა}1}+I_{\text{ა}2}.$$

შტოების დენების რეაქტიულ შემდგენთა ჯამი, რომლებსაც ერთი და იგივე ფაზა აქვთ, ტოლია საერთო დენის რეაქტიული შემდგენისა, ე. ი.

$$I_{\text{რ}}=I_{\text{რ}1}+I_{\text{რ}2}.$$

წრედის განუშტოებელ ნაწილში გამავალი საერთო დენი

$$I=\sqrt{I_{\text{ა}}^2+I_{\text{რ}}^2}.$$

ეს დენი ფაზაში ჩამორჩება ძაბვას φ კუთხით, რომელიც შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{I_{\text{რ}}}{I_{\text{ა}}}.$$

წრედის აქტიური სიმძლავრე ტოლია ცალკეული განშტოებების აქტიურ სიმძლავრეთა ჯამისა, ე. ი.

$$P=P_1+P_2=UI_1\cos\varphi_1+UI_2\cos\varphi_2=UI\cos\varphi.$$

ანალოგიურად წრედის რეაქტიული სიმძლავრე

$$Q=Q_1+Q_2=UI_1\sin\varphi_1+UI_2\sin\varphi_2=UI\sin\varphi.$$

წრედის სრული სიმძლავრე გამოისახება ფორმულით

$$S=\sqrt{P^2+Q^2}.$$

მაგალითი 6-3. გვაქვს ორი შტოსაგან შემდგარი წრედი (ნახ. 6-15), მათგან ერთში ჩართულია კოჭა აქტიური წინაღობით $r_1=1$ ომს და რეაქტიული წინაღობა $x_{L1}=3$ ომს, მეორეში—კოჭა წინაღობებით: $r_2=3$ ომს და $x_{L2}=2$ ომს.

მთლიანი წრედი ჩართულია გარე ქსელთან, რომლის ძაბვა 230 ვ-ის ტოლია. განვსაზღვროთ დენები განშტოებებში და წრედის საერთო დენი.

ამოხსნა

$$I_1=\frac{U}{Z_1}=\frac{U}{\sqrt{r_1^2+X_{L1}^2}}=\frac{230}{\sqrt{1^2+3^2}}=\frac{230}{\sqrt{10}}=72,8\ \text{ა};$$

$$I_2=\frac{U}{Z_2}=\frac{U}{\sqrt{r_2^2+X_{L2}^2}}=\frac{230}{\sqrt{13}}=64\ \text{ა}.$$

$$\cos\varphi_1=\frac{r_1}{Z_1}=\frac{1}{3,16}=0,317;\qquad \sin\varphi_1=\frac{x_{L1}}{Z_1}=\frac{3}{3,16}=0,95;$$

$$\cos\varphi_2=\frac{r_2}{Z_2}=\frac{3}{3,6}=0,833;\qquad \sin\varphi_2=\frac{X_{L2}}{Z_2}=\frac{2}{3,6}=0,556.$$

პირველი პარალელური შტოს დენის შემდგენები

$$I_{\text{ა}1}=I_1\cos\varphi_1=72,8\cdot0,317=23 \text{ ა};$$
$$I_{\text{რ}1}=I_1\sin\varphi_1=72,8\cdot0,95=69 \text{ ა}.$$

მეორე პარალელური შტოს დენის შემდგენები

$$I_{\text{ა}2}=I_2\cos\varphi_2=64\cdot0,833=53,2 \text{ ა};$$
$$I_{\text{რ}2}=I_2\sin\varphi_2=64\cdot0,556=35,4 \text{ ა}.$$

საერთო დენის შემდგენები

$$I_{\text{ა}}=I_{\text{ა}1}+I_{\text{ა}2}=23+53,2=76,2 \text{ ა};$$
$$I_{\text{რ}}=I_{\text{რ}1}+I_{\text{რ}2}=69+35,4=104,4 \text{ ა}.$$

წრედის საერთო დენი

$$I=\sqrt{I_{\text{ა}}^2+I_{\text{რ}}^2}=\sqrt{76,2^2+104,4^2}=129,4 \text{ ა}.$$

6-7. ტევადობა ცვლადი დენის წრედში

ა) ძაბვა და დენი

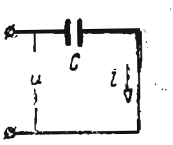
თუ კონდენსატორის მომჭერებზე (ნახ. 6-17) ძაბვა $u=U_{\text{მ}}\sin\omega t$, მაშინ მის შემონაფენებზე მუხტი

$$q=Cu=CU_{\text{მ}}\sin\omega t$$

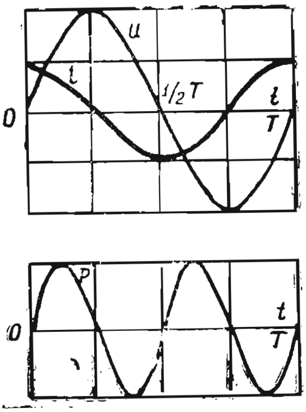
ძაბვის პროპორციულად იცვლება (ნახ. 6-18).

დენი კონდენსატორის წრედში ტოლია დროში მუხტის ცვლილების სიჩქარისა, ანუ მის მომჭერებზე ძაბვის ცვლილების სიჩქარის პროპორციულია, რაც შემდეგნაირად გამოისახება

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



ნახ. 6-17. წრედი ტევადობით.



ნახ. 6-18. ტევადობის შემცველი წრედის დენის, ძაბვისა და სიმძლავრის გრაფიკები.

სინუსოიდურ ძაბვას ნულოვან მნიშვნელობაზე გავლის მომენტში (ნახ.6-18) შეცვლის დაბალი სიჩქარე აქვს, მაშასადამე დროის ამ მომენტში დენის ძალას კონდენსატორის წრედში ექნება მაქსიმალური მნიშვნელობა. ამპლიტუდურ მნიშვნელობაზე გავლის მომენტში ძაბვის ცვლილების სიჩქარე და დენის ძალაც წრედში ნულის ტოლი იქნება.

ამგვარად, დენი კონდენსატორის წრედში ძაბვას წინ უსწრებს ფაზაში 90°-იანი კუთხით, სინუსოიდურად იცვლება და გამოისახება შემდეგნაირად (ნახ. 6-19)

$$i=C\frac{du}{dt}=CU_{\text{მ}}\frac{d\sin\omega t}{dt}=C\omega U_{\text{მ}}\cos\omega t=I_{\text{მ}}\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right). \qquad (6\text{-}24)$$

ბ) ტევადური წინაღობა

(6-24) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ დენის ამპლიტუდა

$$I_{\text{მ}}=C\omega U_{\text{მ}}.$$

თუ ამ გამოსახულებას $\sqrt{2}$-ზე გავყოფთ, მივიღებთ

$$I=C\omega U=\frac{U}{1/\omega C}=\frac{U}{x_C}. \qquad (6\text{-}25)$$

მიღებული ფორმულა გამოსახავს ომის კანონს წრედის მოქმედი მნიშვნელობებისათვის, როცა წრედში ჩართულია კონდენსატორი C ტევადობით. სიდიდეს

$$x_C=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{2\pi fC} \qquad (6\text{-}26)$$

ეწოდება ტ ე ვ ა დ ო ბ ი ს რ ე ა ქ ტ ი უ ლ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა, ანუ ტ ე ვ ა დ უ რ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა.

ტევადური წინაღობა უკუპროპორციულია ტევადობისა და ცვლადი დენის სიხშირისა, როცა სიხშირე იცვლება $f=0$-დან (მუდმივი დენი) $f=\infty$-მდე, ტევადური წინაღობა კი — $x_C=\infty$-დან $x_C=0$-მდე.

გ) სიმძლავრე

სიმძლავრის მყისი მნიშვნელობა

$$p=ui=U_{\text{მ}}\sin\omega t\cdot I_{\text{მ}}\cos\omega t=UI\sin 2\omega t.$$

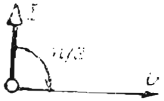
6-18 ნახაზზე ნაჩვენებია მყისი სიმძლავრის გრაფიკი.

ტევადობის შემცველი წრედის მყისი სიმძლავრე იცვლება ორმაგი სიხშირით და აღწევს ზოგჯერ დადებით მაქსიმუმს $UI=U^2\omega C$, ზოგჯერ კი — ასეთივე სიდიდის უარყოფით მაქსიმუმს.

ძაბვის ზრდისას (პერიოდის პირველ და მესამე მეოთხედში, ნახ. 6-18) ხდება ელექტრული ველის ენერგიის დაგროვება ნულიდან მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, ე. ი.

$$W_{\text{მ}}=CU_{\text{მ}}^2/2=CU^2. \qquad (6\text{-}27)$$

ეს ენერგია მიიღება გენერატორიდან. ე. ი. წრედი მუშაობს მომხმარებლის რეჟიმით, რაც შეესაბამება სიმძლავრის დადებით მნიშვნელობას.



ნახ. 6-19. ტევადობითი წრედის ვექტორული დიაგრამა.

ძაბვის შემცირების დროს (მეორე და მეოთხე მეოთხედებში, ნახ. 6-18) ელექტრული ველის დაგროვილი ენერგია მცირდება მაქსიმალური მნიშვნელობიდან ნულამდე და ის უბრუნდება გენერატორის წრედს. ამგვარად, პერიოდის ამ ნაწილებში წრედი მუშაობს გენერატორის რეჟიმით, რაც შეესაბამება ტევადობის შემცველი წრედის სიმძლავრის უარყოფით მნიშვნელობას. წრედის მიერ მიღებული ენერგია ნახევარ პერიოდში ნულის ტოლია, მაშასადამე, ნულის ტოლია წრედის საშუალო სიმძლავრეც.

ტევადობის შემცველი წრედის სიმძლავრის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ეწოდება რეაქტიული სიმძლავრე და გამოისახება ფორმულით

$$Q = UI = U^2\omega C = W_{მ}\omega.$$

ის ახასიათებს ენერგიის გაცვლის სიჩქარეს გენერატორსა და ტევადობის შემცველ წრედებს შორის.

მაგალითი 6-[illegible]. 80 მკფ ტევადობის კონდენსატორი ჩართულია წრედში, რომლის ძაბვაა 380 ვ და სიხშირე 50 ჰც.

განსაზღვრეთ: x_C, I და $W_{მ}$.

ამოხსნა.

$$x_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 80 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{2500} = 40 \text{ ომ};$$

$$I = \frac{U}{x_C} = \frac{380}{40} = 9,5 \text{ა};$$

$$W_{მ} = CU^2 = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 = 11,5 \text{ ჯ}.$$

6-[illegible]. რხევადი კონტური

დროის საწყის მომენტში, როცა დამუხტული კონდენსატორი ჩაირთვება უმნიშვნელოდ მცირე აქტიური წინაღობის მქონე რეაქტიულ კოჭასთან (ნახ. 6-20), ძაბვას კონდენსატორზე აქვს მაქსიმალური მნიშვნელობა $U_{Cმ}$ და კონდენსატორის ელექტრულ ველში შენახულია ენერგია

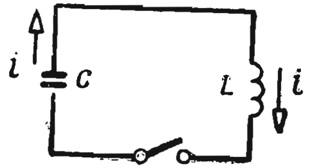
$$W_{Cმ} = CU^2_{Cმ}/2.$$

ამომრთველის ჩართვის შემდეგ კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას და წრედში გაივლის დენი. ამ დროს ძაბვა კონდენსატორის ელექტროდებზე მცირდება და კონდენსატორის ელექტრული ველის პოტენციური ენერგია გადადის კოჭას მაგნიტური ველის კინეტიკურ ენერგიაში.

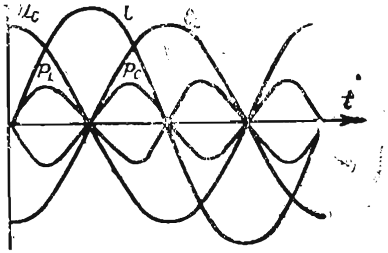
კონდენსატორის განმუხტვის მიხედვით დენი წრედში თანდათანობით იზრდება და მაშინ მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, როცა კონდენ-

სატორი საბოლოოდ განიმუხტება. ამ დროს წრედის მაგნიტურ ველში დაგროვდება ენერგია, რომელიც ტოლი იქნება

$$W_{\text{მ}}=\frac{LI^2_{\text{მ}}}{2}=\frac{CU^2_{C\text{მ}}}{2}. \tag{6-28}$$



ნახ. 6-20. რხევადი კონტური.



ნახ. 6-21. რხევადი კონტურის ძაბვის, დენისა და სიმძლავრის გრაფიკები.

კონდენსატორზე ძაბვის ნულამდე შემცირება მაგნიტური ველის არსებობის გამო არ გამოიწვევს წრედში დენის შეწყვეტას. დენს წრედში შეინარჩუნებს თვითინდუქციის ემ ძალა, რომელსაც ძაბვის შემცირებისას დადებითი მნიშვნელობა აქვს.

ადრინდელი მიმართულების დენი, განმუხტული კონდენსატორის წრედში, იწვევს ელექტრონების გადატანას ადრე ყოფილი უარყოფითი ფირფიტიდან, ადრე ყოფილ დადებით ფირფიტაზე. ამგვარად, პირველი დაიწყებს დამუხტვას დადებითად, ხოლო მეორე — უარყოფითად.

როცა არა გვაქვს აქტიური წინაღობა, ეს პროცესი გაგრძელდება მანამ, ვიდრე კონდენსატორი არ დაიმუხტება იმ ძაბვამდე, დასაწყისი რომ ჰქონდა, მაგრამ საწინააღმდეგო ნიშნით. შემდეგ კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას საწინააღმდეგო მიმართულებით, ხოლო შემდეგ ისევ დამუხტვას და ეს პროცესი განმეორდება პერიოდულად.

განხილულ წრედში ელექტრული ველის ენერგია გადადის მაგნიტური ველის ენერგიაში და, პირიქით, ე. ი. წრედში აღინიშნება ენერგიის არამილევადი რხევა, რისთვისაც მან **რხევადი კონტურის სახელწოდება** მიიღო.

დენისა და ძაბვის ცვლილება სინუსოიდურ კანონს ექვემდებარება (ნახ. 6-21), თანაც ძაბვა იმ კონდენსატორის ფირფიტებზე, რომელიც ნებისმიერ მომენტში თვითინდუქციის ემ ძალის ტოლია, დენის მიმართ დაძრულია ფაზაში პერიოდის მეოთხედით.

კონდენსატორის შემონაფენებზე მუხტის ცვლილება პროპორციულია ძაბვის ცვლილებისა, ე. ი.

$$dq=idt=Cdu_c,$$

საიდანაც წრედის დენი

$$i=C\frac{du_C}{dt}$$

პროპორციულია ძაბვის წარმოებულისა დროში.

ძაბვა კონდენსატორის მომჭერებზე

$$u_C=-e_L=L\frac{di}{dt} \tag{6-29}$$

პროპორციულია დენის წარმოებულისა დროში. ორი ცვლადი სიდიდის ასეთი ურთიერთდამოკიდებულება შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როცა დენი იცვლება სინუსოიდის, ხოლო ძაბვა კოსინუსოიდის მიხედვით.

f_0 დენის სიხშირის განსაზღვრისათვის — წრედში დავწეროთ დენის ამპლიტუდის გამოსახულება

$$I_მ=U_{Cმ}\omega_0C=U_{Cმ}2\pi f_0C. \tag{6-30}$$

თუ ამ გამოსახულებას ჩავსვამთ (6-28) ფორმულაში, მივიღებთ

$$\frac{CU^2_{Cმ}}{2}=\frac{LU^2_{Cმ}\cdot 4\pi^2 f^2_0C^2}{2},$$

საიდანაც

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}};\quad \omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}. \tag{6-31}$$

f_0 სიდიდეს რხევადი კონტურის საკუთარი სიხშირე ეწოდება, ხოლო ω_0-ს — კონტურის საკუთარი კუთხური სიხშირე.

დენის ამპლიტუდა წრედში (6-30)-დან და (6-31)-დან

$$I_მ=\sqrt{\frac{CU^2_{Cმ}}{L}}=\frac{U_{Cმ}}{\sqrt{\frac{L}{C}}}=\frac{U_{Cმ}}{z_ტ}.$$

$\sqrt{\frac{L}{C}}=z_ტ$ — სიდიდეს წინაღობის განზომილება აქვს და კონტურის ტალღური წინაღობა ეწოდება.

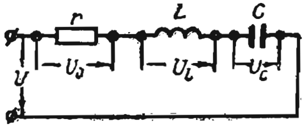
როცა წრედი შეიცავს r წინაღობას, რომელიც კონტურის ორმაგ ტალღურ წინაღობას არ აღემატება, ენერგიის ნაწილი თითოეული რხევის დროს გარდაიქმნება სითბოდ, რის გამოც დენისა და ძაბვის ამპლიტუდები ყოველ ნახევარპერიოდში მცირდება, ე. ი. ხდება რხევის მილევა. თუ r ნაჩვენებზე დიდია, მაშინ კონდენსატორის განმუხტვა ხორციელდება რხევის გარეშე, ე. ი. აპერიოდულად: კონდენსატორის ძაბვა და მუხტი თანდათანობით მცირდება ნულამდე.

C-ს, L-სა და r-ის შემცველ კონტურში *არამილევადი რხევების* უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ცვლადი დენის კვების წყარო, რომელიც კონტურს მიაწვდის მის აქტიურ წინაღობაში დაკარგული ენერგიის ტოლ ენერგიას. კვების წყარო კონტურთან შეიძლება მივაერთოთ თანამიმდევრულად ან პარალელურად (მიმდევრობითი რხევადი კონტური (§ 6-9) ან პარალელური კონტური (§ 6-10).

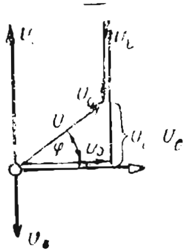
6-9. ძაბვის რეზონანსი

$i=I_{\text{მ}}\sin\omega t$ — სინუსოიდური დენის დროს წრედში, რომელიც შეიცავს r წინაღობას, L ინდუქციურობას და C ტევადობას (ნახ. 6-22), ძაბვა მის მომჭერებზე შედგება სამი შემდგენისაგან (ნახ. 6-23): აქტიური $U_{\text{ა}}=Ir$ ძაბვისაგან, რომელიც ფაზაში ემთხვევა დენს, ინდუქციურისაგან — $U_L=IX_L$, რომელიც დენს წინ უსწრებს 90° ფაზით და ტევადური $U_c=IX_c$ ძაბვისაგან, რომელიც დენს ჩამორჩება 90° ფაზით.

წრედის მომჭერებზე ძაბვა შეიძლება ვიპოვოთ მართკუთხა სამკუთხედიდან (ნახ. 6-23), რომლის ერთ კათეტს აქტიური ძაბვის ვექტორი წარმოადგენს, ხოლო მეორეს — ინდუქციურობასა და ტევადობაზე არსებული ძაბვების ვექტორების სხვაობა. მაშასადამე, ძაბვა



ნახ. 6-22. წრედი აქტიური წინაღობით, ინდუქციურობითა და ტევადობით.



ნახ. 6-23. აქტიური წინაღობის ინდუქციურობისა და ტევადობის შემცველი წრედის ვექტორული დიაგრამა (როცა $x_L>x_C$).

$$U=\sqrt{U_{\text{ა}}^2+(U_L-U_C)^2}. \tag{6-32}$$

თუ ამ გამოსახულებაში $U_{\text{ა}}$-ს, U_L-სა და U_C-ს მნიშვნელობებს შევიტანთ დენისა და წინაღობის სახით, მივიღებთ

$$U=\sqrt{(Ir)^2+(Ix_L-Ix_C)^2}=I\sqrt{r^2+(x_L-x_C)^2}=Iz, \tag{6-33}$$

საიდანაც მოქმედი მნიშვნელობებისათვის შეგვიძლია დავწეროთ ომის კანონი

$$I=U/z. \tag{6-34}$$

წრედის სრული წინაღობა

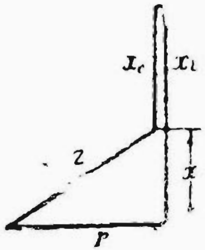
$$z=\sqrt{r^2+(x_L-x_C)^2}=\sqrt{r^2+x^2} \tag{6-35}$$

შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ იმ წინაღობის სამკუთხედის ჰიპოტენუზით, რომელიც მიიღება ძაბვის სამკუთხედის გვერდების გაყოფით I დენზე.

ამ დროს $x = x_L - x_C$ სიდიდეს — ინდუქციური და ტევადური წინაღობების სხვაობას — **წრედის რეაქტიული წინაღობა** ეწოდება.

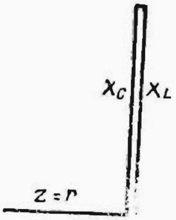
დენი წრედის ძაბვისაგან დაძრულია φ კუთხით, რომლის ტანგენსი შეიძლება განვსაზღვროთ

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_a} = \frac{x_L - x_C}{r}.$$



ნახ. 6-24. წრედის წინაღობის სამკუთხედი, რომელიც შეიცავს r, x_L, და x_C (როცა $x_L > x_C$).

ნახ. 6-25. ვექტორული დიაგრამა ძაბვის რეზონანსის დროს.



ნახ. 6-26. r-ის, L-ისა და C-ს შემცველი წრედის წინაღობის სამკუთხედი (როცა $x_L = x_C$).

როცა $x_L > x_C$, ე. ი. როცა $U_L > U_C$ (ნახ. 6-23 და 6-24), დენი ჩამორჩება ძაბვას ფაზაში φ კუთხით, ხოლო, როცა $x_L < x_C$ და $U_L < U_C$, დენი წინ უსწრებს U ძაბვას.

თუ $x_L = x_C$ და $U_L = U_C$ (ნახ. 6-25 და 6-26), აღინიშნება **ძაბვის რეზონანსი**, რომლის დროსაც წრედის სრული წინაღობა ტოლია მისი აქტიური წინაღობისა, ე. ი.

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = r.$$

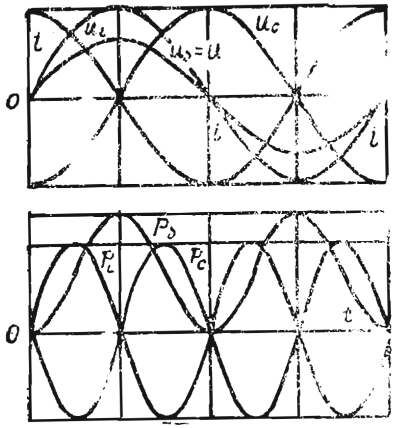
წრედის ასეთი უმცირესი სრული წინაღობისა ($z = r$) და მის მომჭერებზე U ძაბვის დროს, წრედის დენი იქნება უდიდესი და ტოლი

$$I_0 = U/r. \tag{6-36}$$

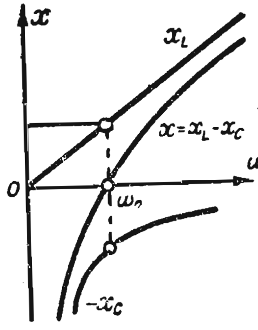
რეზონანსის დროს წრედის რეაქტიული წინაღობა ნულის ტოლია და დენი ფაზაში ემთხვევა ძაბვას

$$\operatorname{tg} \varphi = x/r = 0, \quad \varphi = 0.$$

ინდუქციურობისა და ტევადობის ძაბვები U_L და U_C ტოლებია სიდიდით და რადგან იცვლებიან უკუფაზით (ნახ. 6-25 და 6-27), აწონასწორებენ ერთმანეთს, ხოლო წრედის ძაბვა ტოლია აქტიური ძაბვისა.



ნახ. 6-27. დენის, ძაბვისა და სიმძლავრის გრაფიკები ძაბვის რეზონანსის დროს.



ნახ. 6-28. სიხშირული მახასიათებლები.

ნებისმიერი რეაქტიული უბნის ძაბვის შეფარდებას წრედის ძაბვასთან **კონტურის გამძლეობა** ეწოდება და გამოისახება შემდეგნაირად

$$Q=\frac{U_L}{U}=\frac{U_C}{U}=\frac{I_{\text{რ}}x_L}{I_{\text{რ}}r}=\frac{I_{\text{რ}}x_C}{I_{\text{რ}}r}=\frac{x_L}{r}=\frac{x_C}{r}=\frac{z_B}{r}. \qquad (6\text{-}37)$$

გამძლეობა გვიჩვენებს, თუ რეზონანსის დროს U_L და U_C ძაბვა რამდენჯერ მეტია წრედის მომჭერებზე U ძაბვაზე.

Q-ს დიდი მნიშვნელობისას U_L და U_C მნიშვნელოვნად აღემატებიან წრედის მომჭერებზე U ძაბვას.

U_L და U_C ძაბვების ტოლობა, მათი ფაზაში ნახევარი პერიოდის დაძვრის დროს, გვიჩვენებს, რომ დროის ნებისმიერ მომენტში ძაბვები ტევადობასა და ინდუქციურობაზე ტოლებია, მხოლოდ საწინააღმდეგო ნიშნით $U_L=-U_C$.

მაშასადამე, დროის ნებისმიერ მომენტში ტოლები და საწინააღმდეგო ნიშნით მყისი სიმძლავრეებიც რეაქტიულ უბნებზე, ე. ი. $p_L=-p_C$ (ნახ. 6-27), ვინაიდან $p_L=iu_L$ და $p_C=iu_C$.

აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაგნიტური ველის ენერგიის გაზრდა ხდება მხოლოდ ელექტრული ველის ენერგიის შემცირების ხარჯზე და, პირიქით. მაშასადამე, გენერატორის წილად რჩება მხოლოდ აქტიურ წინაღობაში დახარჯული ენერგიის აღდგენა.

ამგვარად, ძაბვის რეზონანსი ხასიათდება იმით, რომ წრედში ხდება ენერგიის სრული პერიოდული გაცვლა მაგნიტურ და ელექტრულ ველებს შორის.

ძაბვის რეზონანსის დროს

$$\omega L = 1/\omega C \quad \text{ან} \quad \omega^2 LC = 1, \tag{6-38}$$

კუთხური რეზონანსული სიხშირე

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0, \tag{6-39}$$

ხოლო რეზონანსული სიხშირე

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_0. \tag{6-40}$$

სხვანაირად რომ ვთქვათ, რეზონანსს ადგილი აქვს გენერატორის ისეთი სიხშირის დროს, რომელიც ტოლია კონტურის (წრედის) საკუთარი რხევების სიხშირისა.

წრედში რეზონანსის მისაღებად მისი პარამეტრების შერჩევას უწოდებენ წრედის აწყობას რეზონანსში.

რეზონანსის დროს ω, L და C სიდიდეებს აკავშირებთ (6-38) ურთიერთდამოკიდებულება, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ წრედის აწყობა შეიძლება სხვადასხვაგვარად. მაგალითად, როცა ω და L უცვლელია, ვარეგულირებთ C ტევადობას, როცა უცვლელია L და C — ვცვლით მკვებავი გენერატორის ω სიხშირეს, ხოლო თუ უცვლელია მარტო ω — ვარეგულირებთ L-სა და C-ს და ა. შ.

6-28 ნახაზზე მოცემულია $X_L = \omega L$, $X_C = 1/\omega C$ და $X = X_L - X_C$ წინაღობების დამოკიდებულების მრუდები $\omega = 2\pi f$ სიხშირესთან, რომლებსაც არაგანშტოებული წრედის სიხშირული მახასიათებლები ეწოდება.

ინდუქციური წინაღობა $X_L = \omega L$ იზრდება სიხშირის პროპორციულად. ის ტოლია ნულისა, როცა $\omega = 0$ და ტოლია ∞-ისა, როცა $\omega = \infty$.

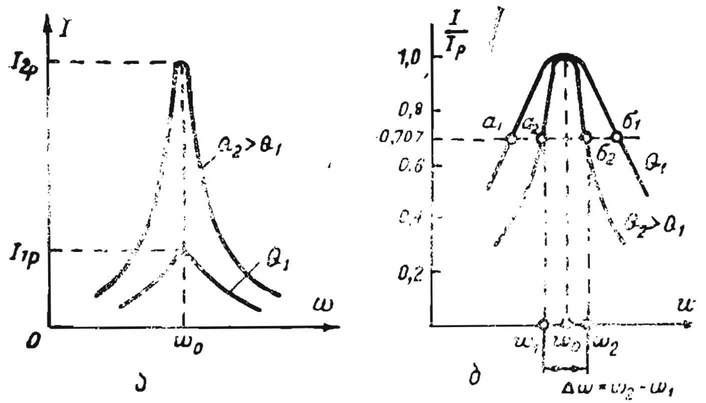
ტევადური წინაღობა $X_C = 1/\omega C$ კი იცვლება სიხშირის უკუპროპორციულად, ე. ი. $-\infty$-დან 0-მდე. რეაქტიული წინაღობა $x = x_L - x_C$ სიხშირის ნულიდან რეზონანსულ სიდიდემდე ($\omega = 0$-დან $\omega = \omega_0$-მდე) და შემდეგ $\omega = \infty$-მდე, იცვლება $x = -\infty$-დან 0-მდე და შემდეგ $x = \infty$-მდე.

თუ წრედი, რომელიც r, L-სა და C-ს შეიცავს, იმყოფება უცვლელი U ძაბვის ქვეშ, ω სიხშირე იცვლება, მაშინ იცვლება ყველა სიდიდე, რომლებიც მუშაობის რეჟიმს განსაზღვრავენ. კერძოდ, წრედის დენი, როცა $\omega = 0$,

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

და როცა $\omega = \infty$, ის ნულს უდრის, ხოლო, როცა $\omega = \omega_0$, ე. ი. რეზონანსული სიხშირის დროს ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აქვს და ტოლია

$I = U/r$ (ნახ. 6-29).



ნახ. 6-29. დენის რეზონანსული მრუდები კონტურების სხვადასხვაგვარი ვარგისობის დროს.

დენის რეზონანსული მრუდები $I=f(\omega)$ მიმდევრობითი კონტურისათვის, როცა U, L, C ერთნაირია და კონტურის გამძლეობას აქვს ორი მნიშვნელობა Q_1 და $Q_2>Q_1$, ნაჩვენებია 6-29, ა ნახაზზე.

იგივე დამოკიდებულებებია მოყვანილი 6-29 ნახაზზე, მხოლოდ აქ ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია დენის არა აბსოლუტური მნიშვნელობა, არამედ მისი ფარდობითი მნიშვნელობა რეზონანსულ მნიშვნელობასთან, ე. ი.

$$I/I_{რ}=f(\omega).$$

ამ მრუდებიდან ჩანს, რომ კონტურში დენის ინტენსიური რხევები აღიძვრებიან მხოლოდ ისეთ სიხშირეზე, რომელიც ახლოსაა კონტურის საკუთარი რხევების ω_0 სიხშირესთან, ანუ სხვანაირად, კონტური ატარებს სიხშირის განსაზღვრული დიაპაზონის რხევებს.

ეს თვისებები ხასიათდება კონტურის ამუშავების ზოლით ან სიხშირის არეებით, რომელთა ზღვრებში კონტურში დენის მნიშვნელობა არანაკლებია

$$\frac{I_{რ}}{\sqrt{2}}=0,707\,I_{რ}\text{-სა.}$$

თუ ორდინატით 0,707 (ნახ. 6-29, ბ) გავატარებთ აბსცისათა ღერძის პარალელურ სწორ ხაზს და ამ სწორი ხაზის რეზონანსულ მრუდებთან გადაკვეთის a და δ წერტილებიდან დავუშვებთ პერპენდიკულარებს, მაშინ აბსცისათა ღერძზე მივიღებთ ω_1-ისა და ω_2-ის ზღვრულ სიხშირეებს და კონტურის გაშვების ზოლის სიგანეს

$$\Delta\omega=\omega_2-\omega_1.$$

6-29 ნახაზიდან გამომდინარეობს, რომ კონტურის დიდი გამძლეობას უფრო ვიწრო რეზონანსის მრუდი შეესაბამება და შესაბამისად კონტურის გაშვების ნაკლები $\Delta\omega$ ზოლი.

ელექტრულ წრედში რეზონანსის მოვლენა ფართოდ გამოიყენება მთელ რიგ დარგებში, კერძოდ, რადიოტექნიკასა და ელექტრონიკაში. მაგრამ ძაბვის რეზონანსის აღძვრას ძლიერი დენის წრედში, რომელიც არ შეესაბამება დანადგარების მუშაობის ნორმალურ რეჟიმს, შეიძლება სახიფათო შედეგი მოჰყვეს დენის უსაზღვროდ გაზრდისა და წრედის რეაქტიულ ელემენტებზე გადამეტებული ძაბვის აღძვრის გამო.

6-10. დენების რეზონანსი

ა) პარალელური რხევადი კონტური უდანაკარგოდ

ორშტოიან განშტოებულ წრედში (ნახ. 6-32), როცა ერთი შეიცავს L ინდუქციურობას, ხოლო მეორე C ტევადობას, შტოების წინაღობათა ტოლობის დროს, ე. ი. როცა

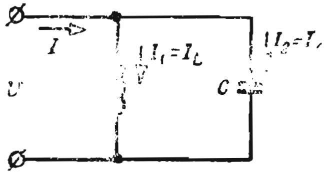
$$\omega L = 1/\omega C$$

აღიძვრება დ ე ნ ე ბ ი ს რ ე ზ ო ნ ა ნ ს ი.

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ რეზონანსი შეიძლება მივიღოთ, თუ შევარჩევთ ინდუქციურობას, ტევადობას ან სიხშირეს, რადგან

$$L = 1/\omega^2 C; \quad C = 1/\omega^2 L \quad \text{და}$$

$$\omega = 1/\sqrt{LC} = \omega_0. \qquad (6\text{-}41)$$



ნახ. 6-30. განშტოებული წრედი ინდუქციურობითა და ტევადობით.

დენების რეზონანსის დროს დენი შტოებში

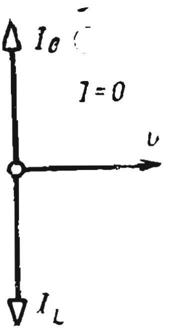
$$I_1 = I_L = U/\omega L = I_2 = I_C = U\omega C$$

ტოლებია აბსოლუტური მნიშვნელობებით და იცვლებიან მხოლოდ იმის გამო, რომ ისინი იმყოფებიან უკუფაზებში (6-31), ვინაიდან I_L დენი ძაბვას ფაზით ჩამორჩება 90° კუთხით, ხოლო I_C დენი ძაბვას წინ უსწრებს ფაზით 90° კუთხით.

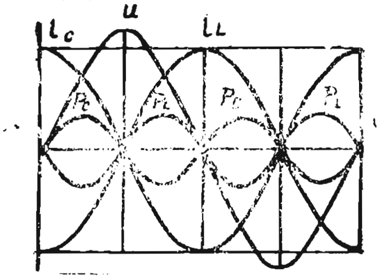
კირხჰოფის პირველი კანონის თანახმად, დენი წრედის არაგანშტოებულ უბანზე (საერთო დენი) $i = i_L + i_C$, მაგრამ, რადგან $i_C = -i_L$, მაშინ $i = i_L + i_C = 0$, ე. ი. საერთო დენი უდრის ნულს.

6-32 ნახაზზე მოცემულია დენების, ძაბვებისა და სიმძლავრის მრუდები.

წრედში აქტიური წინაღობის არყოფნა უჩვენებს, რომ კონტურში დაგროვილი ენერგია არ განიბნევა.



ნახ. 6-31. ვექტორული დიაგრამა დენე-ბის რეზონანსის დროს (როცა $r=0$).



ნახ. 6-32. დენების, ძაბვების და სიმძლავრის გრაფიკები დენის რეზონანსის დროს (როცა $r=0$).

პერიოდის პირველი მეოთხედის განმავლობაში (6-32) კონდენსატორის ძაბვა ნულიდან იზრდება მაქსიმუმამდე $U_{C\,მაქს}$ და მის ელექტრულ ველში დაგროვდება ენერგია $W_{C\,მაქს}=CU^2_{C\,მაქს}/2$. პერიოდის შემდეგ მეოთხედში კონდენსატორის ძაბვა მცირდება ნულამდე, მცირდება ელექტრული ველიც და გამოთავისუფლდება მისი ენერგია.

დენი კოჭაში პერიოდის პირველი მეოთხედის განმავლობაში $I_{L\,მაქს}$-დან მცირდება ნულამდე, მცირდება მაგნიტური ველიც და გამოთავისუფლდება მისი ენერგია. შემდეგი მეოთხედის განმავლობაში დენი კოჭაში იზრდება $I_{L\,მაქს}$-მდე და მაგნიტური ველის ენერგიაც იზრდება ნულიდან მაქსიმუმამდე

$$W_{L\,მაქს}=\frac{LI^2_{L\,მაქს}}{2}.$$

ზემოთქმულიდან და 6-32 ნახაზიდან ძნელი არაა განვსაზღვროთ, რომ პერიოდის პირველი მეოთხედის განმავლობაში მაგნიტური ველის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრული ველის პოტენციურ ენერგიად, ხოლო პერიოდის მეორე მეოთხედის განმავლობაში პირიქით ხდება, ელექტრული ველის ენერგიის გარდაქმნა მაგნიტური ველის ენერგიად. შემდეგში ენერგიის პერიოდული გაცვლის პროცესი მეორდება.

ენერგიის გაცვლა წრედსა და კვების წყაროს შორის შეუძლებელია, რადგან დენი წრედის არაგანშტოებულ წრედში ნულის ტოლია.

ბ) პარალელური რხევადი კონტური დანაკარგებით

წრედი (ნახ. 6-33) შედგება პარალელურად შეერთებული კოჭასა და კონდენსატორისაგან, რომლებიც იმყოფებიან საერთო U ძაბვის ქვეშ.

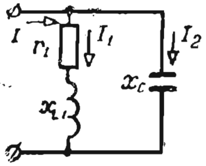
დენი კოჭაში

$$I_1=\frac{U}{z_1}=\frac{U}{\sqrt{r_1^2+x^2_{L1}}}.$$

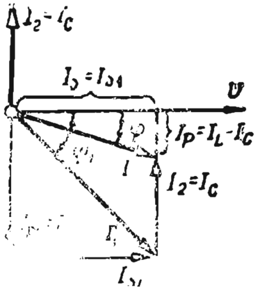
ეს დენი ძაბვისაგან ჩამორჩება ფაზით φ_1 კუთხით, რომლის ტანგენსი

$$\mathrm{tg}\,\varphi_1=\frac{x_{L1}}{r_1}.$$

კოჭას დენი, როგორც ცნობილია, შეიძლება დაიშალოს ორ შემდგენად: აქტიურად $I_{ა1}=I_1\cos\varphi_1$, რომელიც ფაზაში ემთხვევა



ნახ. 6-33. განშტოებული წრედის სქემა.



ნახ. 6-34. განშტოებული წრედის ვექტორული დიაგრამა.

ძაბვას, და რეაქტიულად $I_{რ1}=I_L=I\sin\varphi_1$, რომელიც ძაბვას ჩამორჩება ფაზით $\pi/2$ კუთხით (ნახ. 6-34).

კონდენსატორის დენი გამოისახება შემდეგნაირად

$$I_2=I_C=\frac{U}{x_C}=\frac{U}{1/\omega C}=U\omega C.$$

ეს დენი ძაბვას წინ უსწრებს ფაზით $\pi/2$ კუთხით.

საერთო დენს განვსაზღვრავთ დენის მართკუთხა სამკუთხედიდან (ნახ. 6-34), რომლის ერთ კათეტს წარმოადგენს დენის აქტიური შემდგენი $I_ა=I_{ა1}$, ხოლო მეორეს — საერთო დენის რეაქტიული შემდგენი, რომელიც წარმოადგენს კოჭასა და კონდენსატორის დენების რეაქტიული შემდგენების სხვაობას $I_რ=I_{რ1}-I_2=I_L-I_C$.

ამგვარად, საერთო დენი გამოისახება შემდეგნაირად

$$I=\sqrt{I_ა^2+I_რ^2}.$$

საერთო დენის ძვრის კუთხე ძაბვასთან გამოისახება ამ კუთხის ტანგენსით, ე. ი. (ნახ. 6-34)

$$\mathrm{tg}\,\varphi=\frac{I_რ}{I_ა}=\frac{I_L-I_C}{I_{ა1}}.$$

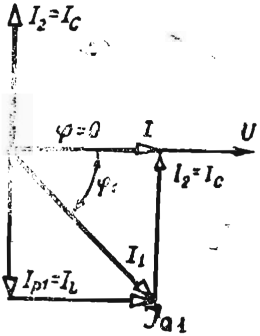
წრედის არაგანშტოებულ ნაწილში დენი ჩამორჩება ძაბვას φ კუთხით, როცა $I_L>I_C$, ან წინ უსწრებს მას, როცა $I_L<I_C$, ან ბოლოს ემთხვევა

ფაზით ძაბვას (ნახ. 6-35), როცა $I_L = I_C$ უკანასკნელ შემთხვევაში წრედში აღინიშნება დენების რეზონანსი, რომლის დროსაც

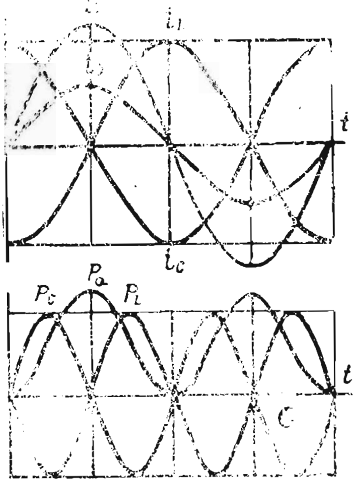
$$I=\sqrt{I_{\text{ა}}^2+I_{\text{რ}}^2}=I_{\text{ა}},$$

ხოლო სიმძლავრე $P=U\cdot I\cos\varphi=U\cdot I$, რადგან $\varphi=0$ და $\cos\varphi=1$.

ამგვარად, საერთო დენი ტოლია კოჭას დენის აქტიური შემდგენისა. ამ დროს საერთო დენი ყოველთვის ნაკლებია კოჭას დენზე, ვინაიდან კოჭას დენის აქტიური შემდგენი ყოველთვის ნაკლებია კოჭას დენზე ($I_{a1}<I_1$).



ნახ. 6-35. ვექტორული დიაგრამა დენების რეზონანსის დროს.



ნახ. 6-36. დენების, ძაბვისა და სიმძლავრის მრუდების გრაფიკები პარალელური წრედისათვის, როცა $I_L=I_C$.

კონდენსატორის ან კოჭას დენის ($I_1 \approx I_2$) შეფარდება საერთო დენთან რეზონანსის დროს წარმოადგენს კონტურის ვარგისიანობას Q-ს, ე. ი.

$$I_1/I=Q$$

და გვიჩვენებს, თუ დენი პარალელურ კონტურში რეზონანსის დროს რამდენჯერ მეტია საერთო დენზე შემომავალ სადენებში.

ამ შემთხვევაში მაგნიტური ველის მიხედვით დახარჯული მაქსიმალური სიმძლავრე UI_L ტოლია ელექტრული ველის მიხედვით დახარჯული მაქსიმალური სიმძლავრისა UI_C-სი და, მაშასადამე, ტოლია ენერგიათა მაქსიმალური მნიშვნელობები წრედის მაგნიტურ და ელექტრულ ველში. ე. ი.

$$W_{L\,\text{მაქს}}=W_{C\,\text{მაქს}}.$$

როგორც ზემოთ განხილულ რხევად კონტურში, პერიოდის ერთი მეოთხედის განმავლობაში ელექტრულ ველში დაგროვილი ენერგია

მთლიანად მიიღება მაგნიტური ველიდან, ხოლო პერიოდის მეორე მეოთხედის განმავლობაში მაგნიტურ ველში დაგროვილი ენერგია მთლიანად ბრუნდება ელექტრული ველიდან. გენერატორიდან წრედში შემოდის მხოლოდ ის ენერგია, რომელიც იხარჯება აქტიურ წინაღობაზე.

ვინაიდან დენის რეაქტიული შემდგენები აკომპენსირებს ერთმანეთს, ამიტომ გენერატორის წრედში გადის მხოლოდ აქტიური დენი, რომელიც იხარჯება დანაკარგებზე აქტიურ წინაღობაში.

6-34 ნახაზზე წარმოდგენილია (ნახ. 6-33) წრედის დენის, ძაბვისა და სიმძლავრის მრუდები დენის რეზონანსის შემთხვევისათვის.

6-11. სიმძლავრის კოეფიციენტი

ელექტრული მანქანის, ტრანსფორმატორისა და თუ ელექტრომაგნიტური ნებისმიერი აპარატის ნომინალური $I_{ნ}$ დენი განისაზღვრება იმის მიხედვით, თუ როგორია მისი გრაგნილების დასაშვები გახურება, ხოლო ნომინალური $U_{ნ}$ ძაბვა, თუ როგორია მაგნიტოგამტარის დასაშვები გაჯერება. ამგვარად, ნომინალური დენი და ნომინალური ძაბვა წარმოადგენენ ზღვრულ დასაშვებ სიდიდეებს ექსპლუატაციის დროს. ამიტომ უდიდესი აქტიური სიმძლავრე გენერატორს შეუძლია განავითაროს, როცა $\cos\varphi=1$, როდესაც

$$P_{ნ}=U_{ნ}I_{ნ}\cos\varphi=U_{ნ}I_{ნ}=S_{ნ}. \qquad (6-42)$$

ამ შემთხვევაში გენერატორი გამოყენებულია ყველაზე უფრო ეფექტურად, ვინაიდან მისი აქტიური სიმძლავრე ტოლია ნომინალური სრული სიმძლავრისა.

$\cos\varphi$-ს შემცირებისას გენერატორის მიერ განვითარებული აქტიური სიმძლავრე მცირდება $\cos\varphi$-ის პროპორციულად. მაგალითად, როცა $\cos\varphi=0.5$, გენერატორის მიერ განვითარებული აქტიური სიმძლავრე

$$P_{ნ}=U_{ნ}I_{ნ}\cdot 0.5=0,5\ S_{ნ}$$

და ნომინალური სრული სიმძლავრის მხოლოდ 50% შეადგენს, მაშასადამე, ადგილი აქვს გენერატორის ნომინალური სიმძლავრის არასრულ გამოყენებას, რაც ღარიბულია.

გენერატორის (ელექტროსადგურის) სიმძლავრის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მომხმარებელზე, ამიტომ დირექტიული მითითებებით დადგენილია სიმძლავრის კოეფიციენტი (0,9 — 0,92), რომლისკენაც უნდა ისწრაფვოდეს თითოეული სამრეწველო საწარმო.

თუ წარმოების სიმძლავრის კოეფიციენტი დადგენილზე ნაკლები იქნება, მაშინ ასეთ წარმოებას ტარიფზე მეტს ახდევინებენ ელექტროენერგიის ხარჯისათვის; ხოლო, თუ წარმოების სიმძლავრის კოეფიციენტი დად-

გენილზე მაღალია, მაშინ, პირიქით, ელექტროენერგიის ხარჯისათვის უკლებენ ტარიფს.

სამრეწველო ორგანიზაციების მომხმარებელთა უმრავლესობას წარმოადგენს ელექტროძრავები და სხვა ელექტრომაგნიტური აპარატები და მექანიზმები, რომლებშიც აღიძვრება მათი მუშაობისათვის აუცილებელი ცვლადი მაგნიტური ნაკადი.

ასეთი ნაკადის აღძვრა შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როცა წრედი შეიცავს დენის ინდუქციურ რეაქტიულ შემდგენს, $I_{რ1}=I_L$ (ნახ. 6-33 და 6-34), რომელიც განსაზღვრავს მომხმარებლის Q რეაქტიულ სიმძლავრეს.

ელექტროენერგიის სხვა სახის ენერგიად (მექანიკურ, თბურ) გარდაქმნა შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როცა წრედში არის დენის აქტიური შემდგენი $I_{ა1}=I_ა$ (ნახ. 3-33 და 6-34), რომელიც მომხმარებლის აქტიურ სიმძლავრეს განსაზღვრავს $P=UI_ა$. მომხმარებლის, მაგალითად, ასინქრონული ძრავას დენი შეიძლება გამოვსახოთ (ფორმულა 6-23, ა და ნახ. 6-34) შემდეგნაირად

$$I_1=\sqrt{I_{ა1}^2+I_{რ1}^2},$$

I_1 დენი ძაბვას ჩამორჩება ფაზით φ კუთხით, რომლის ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\varphi_1=I_{რ1}/I_{ა1},$$

ხოლო კოსინუსი

$$\cos\varphi_1=I_{ა1}/I_1.$$

ძრავას დენი შეგვიძლია განვსაზღვროთ სიმძლავრის ცნობილი ფორმულით

$$I_1=\frac{P_1}{U\cos\varphi_1}=\frac{P_1}{U}\cdot\frac{1}{\cos\varphi_1}.$$

ამ ფორმულიდან შეიძლება აღინიშნოს, რომ P_1 მუდმივი სიმძლავრისა და U-ს მუდმივი ძაბვის დროს $\cos\varphi_1$-ის შემცირებით ძრავას I_1 დენი იზრდება $\cos\varphi_1$-ის უკუპროპორციულად, ხოლო სიმძლავრის დანაკარგი ძრავას გენერატორთან შემაერთებელ გამტარში შეიცვლება დენის კვადრატის პროპორციულად ($\Delta P=I_1^2r_{გამ}$) და, მაშასადამე, სიმძლავრის კოეფიციენტის კვადრატის პროპორციულად, ე. ი.

$$\Delta P=I_1^2r_{გამ}=\left(\frac{P_1}{U}\cdot\frac{1}{\cos\varphi_1}\right)^2r_{გამ}=\frac{P_1^2}{U^2}\,r_{გამ}\cdot\frac{1}{\cos^2\varphi_1}.$$

ეს მეორე მიზეზია, რომელიც მოითხოვს დანადგარის $\cos\varphi$-ს გაზრდას 0,9—0,92 მნიშვნელობამდე.

ძრავას უქმი სვლის დროს მისი $\cos\varphi_{უქმ.სვ}=0,1\div0,3$, ხოლო ნომინალური დატვირთვისას $\cos\varphi_{ნომ}=0,8\div0,85$.

სიმძლავრის კოეფიციენტის გასაზრდელად შეიძლება:

1. გავადიდოთ ძრავას დატვირთვა და შევინარჩუნოთ ის ნომინალურთან ახლოს;

2. სუსტად დატვირთული ძრავები შევცვალოთ ნაკლები სიმძლავრის ძრავებით ისეთნაირად, რომ ისინი მუშაობდნენ ნომინალურთან ახლო დატვირთვით;

3. დავაყენოთ სინქრონული ძრავა, რომელიც საკმაოდ დიდი აგზნების დროს წრედში გამოიწვევს წინ წასწრებულ რეაქტიულ დენს (§ 10-14).

4. ძრავას პარალელურად ჩავრთოთ კონდენსატორის ბატარეა.

თუ მომხმარებლის პარალელურად, მაგალითად, ასინქრონულ ძრავასთან, რომლის სიმძლავრის კოეფიციენტია $\cos\varphi_1$ (ნახ. 6-33), ჩავრთავთ კონდენსატორის ბატარეას, წრედში აღიძვრება ტევადური $I_C = I_2$ დენი, რომელიც ძაბვას წინ უსწრებს ფაზით 90° კუთხით. I დენი ხაზის სადენებში, რომლებიც I_1 და I_2 დენების ჯამს წარმოადგენს, ნაკლები იქნება I_1 დენზე და ძაბვისაგან დაძრული იქნება $\varphi<\varphi_1$ კუთხით (ნახ. 6-34). ამგვარად, დანადგარის სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi$ გაიზრდება კონდენსატორის $I_C = I_2$ დენით, ძრავას დენის რეაქციული $I_{\text{რ}1}$ შემდგენის ნაწილობრივ (ან სრულად) კომპენსაციის შედეგად.

ამ შემთხვევაში ინდუქციური მომხმარებელი (ძრავა), მაგალითად, პერიოდის მეორე და მეოთხე მეოთხედებში კი აძლევს მას უკან, იმ დროს, როცა კონდენსატორი, პირიქით, პერიოდის პირველ და მესამე მეოთხედში იძლევა დაგროვილ ენერგიას, ხოლო მეორე და მეოთხე მეოთხედში უკან ღებულობს მას.

მაშასადამე, ენერგია ძრავას მაგნიტურ ველში ნაწილობრივ ან მთლიანად გროვდება კონდენსატორის ელექტრული ველის ენერგიის ხარჯზე და, პირიქით. ხოლო გენერატორი და გენერატორსა და ძრავას შორის გადამცემი ხაზები ნაწილობრივად ან მთლიანად განიტვირთებიან გაცლილი ენერგიისაგან.

კონდენსატორის ჩართვის შემდეგ დენი არაგანშტოებულ ნაწილში

$$I=\sqrt{I_{\text{ა}}^2+I_{\text{რ}}^2},$$

ხოლო დანადგარის მარეზულტირებელი რეაქტიული დენი

$$I_{\text{რ}}=I_{\text{რ}1}-I_{\text{რ}2}.$$

ძრავას ძვრის კუთხის ტანგენსი

$$\operatorname{tg}\varphi_1=\frac{I_L}{I_{\text{ა}}},$$

ხოლო ძრავას რეაქტიული დენი

$$I_L=I_{\text{ა}}\operatorname{tg}\varphi_1.$$

დანადგარის ძრავა-კონდენსატორი ძვრის კუთხის ტანგენსი (ნახ. 6-34)

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{I_{\text{ა}}\operatorname{tg}\varphi_1-I_C}{I_{\text{ა}}},$$

საიდანაც

$$I_C = I_{\text{ა}} \operatorname{tg} \varphi_1 - I_{\text{ა}} \operatorname{tg} \varphi = I_{\text{ა}} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi) = P/U (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi).$$

ვინაიდან $I_C = U\omega C$, მაშინ

$$U\omega C = P/U (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi).$$

უკანასკნელი ფორმულიდან ადვილად შეგვიძლია განვსაზღვროთ კონდენსატორის ბატარეის ტევადობა, რომელიც აუცილებელია დანადგრის სიმძლავრის კოეფიციენტის მოთხოვნილ მნიშვნელობამდე გასაზრდელად, მაშასადამე,

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi).$$

უმეტეს შემთხვევაში რეაქტიული დენის კომპენსაცია ($\cos \varphi$) კეთდება არა მთლიანად, არამედ კმაყოფილდებიან $\cos \varphi$-ს გადიდებით 0,95 მნიშვნელობამდე. $\cos \varphi$-ს ზემოთ აღნიშნულზე მეტად გადიდება მოითხოვს მნიშვნელოვანი ტევადობის დამატებითი კონდენსატორების ბატარეას, რაც ეკონომიურად არაა გამართლებული.

ელექტროდანადგარების $\cos \varphi$-ს გადიდება წარმოადგენს მნიშვნელოვან ტექნიკურ-ეკონომიკურ პრობლემას, ვინაიდან $\cos \varphi$-ს გაზრდა — ეს ნიშნავს ელექტრული ენერგიის მნიშვნელოვან ეკონომიას, რაც განაპირობებს დანაკარგების შემცირებას და გენერატორებისა და ენერგიის გადაცემის ყველა რგოლის დადგმული სიმძლავრის უკეთ გამოყენებას.

მაგალითი 6-5. მომხმარებლის ძაბვა U=400 ვ, სიმძლავრე P=50 კვტ, მომხმარებლის გენერატორთან შემაერთებელი ხაზის სადენების წინაღობა r=0,04 ომ.

განვსაზღვროთ სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის სადენებში, თუ $\cos \varphi_1 = 0{,}9$ და $\cos \varphi_2 = 0{,}3$.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

დენი მომხმარებელსა და ხაზის სადენებში მოცემული რეჟიმების დროს:

$$I_1 = \frac{P}{(U \cos \varphi_1)} = \frac{50\,000}{(400 \cdot 0{,}9)} = 139 \text{ ა};$$

$$I_2 = \frac{P}{(U \cos \varphi_2)} = \frac{50000}{(400 \cdot 0{,}3)} = 417 \text{ ა}.$$

სიმძლავრის დანაკარგები ხაზის სადენებში:

$$\Delta P_1 = I_1^2 r = 139^2 \cdot 0{,}04 = 19320 \cdot 0{,}04 = 772 \text{ ვტ};$$

$$\Delta P_2 = I_2^2 r = 417^2 \cdot 0{,}04 - 173900 \cdot 0{,}04 = 6956 \text{ ვტ}.$$

იმავე სიმძლავრის დანაკარგები (პროცენტობით) მომხმარებლის სიმძლავრესთან შედარებით:

$$\Delta P_1 = \frac{772 \cdot 100}{50000} = 1{,}54\%;$$

$$\Delta P_2 = \frac{6956 \cdot 100}{50000} = 13{,}8\%.$$

მაგალითი 6-6. ძრავა მუშაობს ძაბვით $U=220$ ვ; სიხშირით $f=50$ ჰც, $\cos\varphi=0,6$, ავითარებს სიმძლავრეს $P=20$ კვტ.

როგორი ტევადობის კონდენსატორის ბატარეა უნდა ჩაირთოს ძრავას პარალელურად, იმისათვის, რომ დანადგარის $\cos\varphi=0,9$?

ა მ ო ხ ს ნ ა.

კონდენსატორის ბატარეის ტევადობას ვპოულობთ ადრე გამოყვანილი ფორმულით

$$C=\frac{P}{\omega U^2}(\operatorname{tg}\varphi_1-\operatorname{tg}\varphi)=\frac{20000}{2\cdot 3,14\cdot 50\cdot 220^2}(1,327-0,484)=0,00113 \text{ ფ}=1130 \text{ მკფ},$$

ე. ი. ძრავას პარალელურად საჭიროა ჩაირთოს კონდენსატორის ბატარეა ტევადობით 1130 მკფ.

6-12. აქტიური და რეაქტიული ენერგია

ელექტრულ ენერგიას, რომელიც ცვლადი დენის წრედში იხარჯება დროში, ეწოდება ა ქ ტ ი უ რ ი ე ნ ე რ გ ი ა. უცვლელი სიმძლავრის დროს აქტიური ენერგია

$$W_{ა}=Pt=UI\cos\varphi t. \qquad (6\text{-}43)$$

თუ სიმძლავრე იცვლება, მაშინ აქტიური ენერგია განისაზღვრება როგორც ჯამი

$$P_1t_1+P_2t_2+\ldots=W_{ა1}+W_{ა2}+\ldots=W_{ა},$$

სადაც თითოეული შემდგენი წარმოადგენს ენერგიას, რომელსაც წრედი ღებულობს t_1, t_2, t_3 დროის მონაკვეთებში, რომელთა განმავლობაში სიმძლავრე უცვლელი იყო.

უცვლელი რეაქტიული Q სიმძლავრისა და t დროის ნამრავლს ეწოდება რ ე ა ქ ტ ი უ ლ ი ე ნ ე რ გ ი ა

$$W_{რ}=Qt=UI\sin\varphi t. \qquad (6\text{-}44)$$

თუ აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები მუდმივია, მაშინ შეფარდება

$$\frac{W_{ა}}{\sqrt{W^2_{ა}+W^2_{რ}}}=\frac{UI\cos\varphi t}{\sqrt{(UI\cos\varphi t)^2+(UI\sin\varphi t)^2}}=\frac{UIt\cos\varphi}{UIt\sqrt{\cos^2\varphi+\sin^2\varphi}}=\cos\varphi$$

ტოლია სიმძლავრის კოეფიციენტისა.

ცვალებადი სიმძლავრის დროს, თუ დროის განსაზღვრულ მონაკვეთში გავზომავთ აქტიურ და რეაქტიულ ენერგიას შესაბამისად აქტიური და რეაქტიული ენერგიის მრიცხველებით შეგვიძლია ვიპოვოთ შეფარდება, რომელსაც დანადგარის საშუალო სიმძლავრის კოეფიციენტი ეწოდება და გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\frac{W_{ა}}{\sqrt{W^2_{ა}+W^2_{რ}}}=\cos\varphi_{საშ}$$

ეს წარმოადგენს დანადგარის მუშაობის მნიშვნელოვან ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებელს.

მაგალითი 6-7. აქტიური ენერგიის მრიცხველის ჩვენება თვის დასაწყისში და ბოლოს შესაბამისად იყო 2326 და 2476 კვტ-სთ. რეაქტიული მრიცხველის ჩვენება კი —1673 და 1773 კვტ-სთ.

განვსაზღვროთ სიმძლავრის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

თვის განმავლობაში დახარჯული აქტიური ენერგია

$$W_ა = 2476 - 2326 = 150 \text{ კვტ-სთ},$$

იმავე დროში დახარჯული რეაქტიული ენერგია

$$W_რ = 1773 - 1673 = 100 \text{ კვტ-სთ};$$

$$\cos\varphi_{საშ} = \frac{W_ა}{\sqrt{W^2_ა + W^2_რ}} = \frac{150}{\sqrt{150^2 + 100^2}} = 0,83.$$

მეშვიდე თავი

სამფაზიანი წრედები

7-1. სამფაზიანი სისტემები

ელექტრული წრედების ს ა მ ფ ა ზ ი ა ნ ი (მრავალფაზიანი) ს ი ს ტ ე მ ა ეწოდება ერთი სიხშირის ცვლადი დენის სამი (მრავალი) ელექტრული წრედის ერთობლიობას, რომელთა ემ ძალებს აქვთ სხვადასხვა საწყისი ფაზები და იქმნებიან ენერგიის საერთო წყაროდან.

ცვლადი დენის სამფაზიანი სისტემა ფართოდ გავრცელდა, როგორც სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგიის უფრო ეკონომიკურ გადაცემას, ვიდრე ერთფაზიანი. ამის გარდა, ის საშუალებას გვაძლევს შევქმნათ მოწყობილობითა და გამძლეობით მარტივი გენერატორები, ძრავები და ტრანსფორმატორები.

სამფაზიანი სისტემის გამოგონება და სამფაზიანი გენერატორის, ელექტროძრავასა და ტრანსფორმატორის შექმნა მიეკუთვნება გამოჩენილ რუს ინჟინერს მ. დოლივო-დობროვოლსკის.

სამფაზიანი სისტემის ცალკეულ წრედს შემოკლებულად უწოდებენ ფაზებს, ელექტრული წრედების ერთმანეთთან შეერთებულ სამფაზიან სისტემას კი — ს ა მ ფ ა ზ ი ა ნ წ რ ე დ ს.

სამფაზიანი წრედის ფაზებში მოქმედი დენების, ძრავების ან ემ ძალების ერთობლიობას უწოდებენ დენების, ძაბვების ან ემ ძალების სამფაზიან სისტემას.

უმარტივესი სამფაზიანი გენერატორი (ნახ. 7-1) მოწყობილია ერთფაზიანის (ნახ. 5-2) ანალოგიურად, იმ განსხვავებით, რომ ღუზაზე განლაგებულია სამი ერთნაირი გრაგნილი (ფაზები), რომელთა დასაწყისი და ბოლოები, შესაბამისად, აღინიშნებიან A, B, C, X, $У$, Z ასოებით.

მ. ო. დოლივო-დობროვოლსკი (1862—1919).

გრაგნილების ღერძები სივრცეში ერთმანეთის მიმართ დაძრულია ტოლი $2\pi/3$ ან $120°$ კუთხით. ამიტომ გრაგნილებში დაინდუქციებული ერთნაირი ამპლიტუდის მქონე ემ ძალები ერთმანეთის მიმართ დაძრულია ფაზით $120°$ კუთხით ან $1/3$ პერიოდით.

სამი ემ ძალის ასეთ სისტემას სიმეტრიული სისტემა ეწოდება. პირიქით, თუ ემ ძალების ამპლიტუდები ან ძვრის კუთხეები მათ შორის არ არიან ტოლები, ემ ძალების სისტემა იქნება ა რ ა ს ი მ ე ტ რ ი უ ლ ი.

თუ დროის ათვლის საწყისად მივიღებთ ($t=0$) ემ ძალის პერიოდის საწყისს, მაშინ პირველ ფაზაში (A) მივიღებთ მის გამოსახულებას

$$e_A = E_{მაქს} \sin \omega t. \qquad (7\text{-}1)$$

(B) მეორე ფაზის ელექტრომამოძრავებელი ძალა პირველი ფაზის ემძ ძალისაგან ჩამორჩება ფაზით $1/3$ პერიოდით, ამიტომ

$$e_B = E_{მაქს} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right). \qquad (7\text{-}2)$$

მესამე ფაზის (C) ელექტრომამოძრავებელი ძალა e_A ემ ძალას ჩამორჩება $2/3$ პერიოდით ან წინ უსწრებს მას $1/3$ პერიოდით, ამიტომ მას ექნება შემდეგი სახე

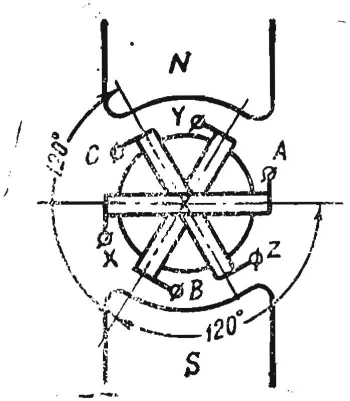
$$e_C = E_{მაქს} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_{მაქს} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right). \qquad (7\text{-}3)$$

ემ ძალების გრაფიკები და მათი ვექტორული დიაგრამა მოყვანილია 7-2 და 7-3 ნახაზებზე.

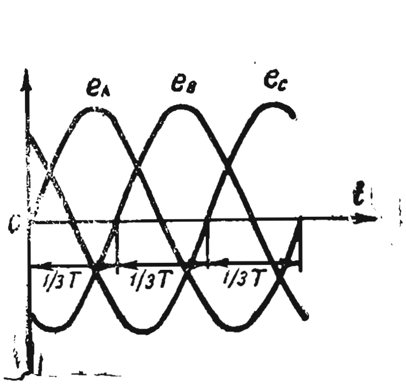
გენერატორის გრაგნილებში ემ ძალების დადებით მიმართულებად მიღებულია ჩაითვალოს გრაგნილის X, $У$, Z ბოლოებიდან მათი A, B, C საწყისისაკენ.

თუ სამფაზიანი გენერატორის თითოეულ გრაგნილს შევაერთებთ ენერგიის ცალკეულ მომხმარებელთან (ნახ. 7-4), მივიღებთ შეუკვრელ სამფაზიან სისტემას ექვსი სადენით, ის არის არაეკონომიკური და ამიტომ პრაქტიკაში არ გამოიყენება, ამიტომ სამფაზიანი გენერატორის გრაგნილებს აერთებენ ე. წ. ვარსკვლავად ან სამკუთხედად, რაც საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ სამი ან ოთხი სადენი.

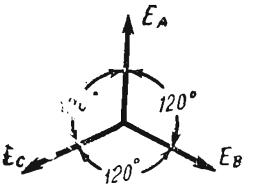
სამფაზიანი წრედებისათვის სტანდარტულ ძაბვებად ითვლება: 127, 220, 380, 660 ვ და მეტი.



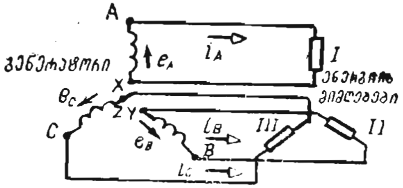
ნახ. 7-1. უმარტივესი სამფაზა გენერატორი.



ნახ. 7-2. სამფაზა სისტემის სიმეტრიული ემ ძალების გრაფიკები.



ნახ. 7-3. სიმეტრიული ემ ძალების ვექტორული დიაგრამა.



ნახ. 7-4. არაბმული სამფაზა სისტემა.

7-2. გენერატორის გრაგნილების ვარსკვლავად შეერთება

გრაგნილების ვარსკვლავად შეერთებისას გრაგნილის *X*, *Y*, *Z* ბოლოები შეერთებულია ერთ წერტილში, რომელსაც გენერატორის ნულოვან წერტილს ან ნეიტრალს უწოდებენ (ნახ. 7-5).

ორსადენიან სისტემაში ნეიტრალთან აერთებენ ე. წ. ნეიტრალურ, ანუ ნულოვან სადენს. გენერატორის გრაგნილების საწყისებთან აერთებენ სამ ხაზურ სადენს.

ძაბვას ფაზის საწყისსა და ბოლოს შორის, ანუ, რაც იგივეა, ძაბვას ერთ-ერთ ხაზურ სადენსა და ნულოვან სადენს შორის ფაზური ძაბვა ეწოდება და აღინიშნება U_A, U_B, U_C ან ზოგადი სახით $U_ფ$.

თუ გენერატორის გრაგნილებში ძაბვის ვარდნას უგულებელვყოფთ, მაშინ ფაზური ძაბვები შეგვიძლია გენერატორის შესაბამის გრაგნილებში ემ ძალის ტოლად მივიღოთ.

ძაბვას გრაგნილების საწყისებს შორის, რაც იგივეა, ძაბვას ხაზურ სადენებს შორის ხაზური ძაბვა ეწოდება და აღინიშნება U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}-თი ან ზოგადად $U_ხ$.

დავამყაროთ დამოკიდებულება ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის, როცა გენერატორის გრაგნილები შეერთებულია ვარსკვლავად.

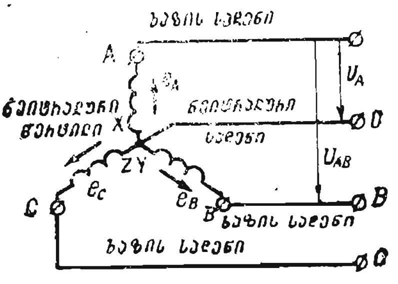
ვინაიდან პირველი ფაზის X ბოლო შეერთებულია არა მეორე ფაზის საწყისთან, არამედ მის Y ბოლოსთან, მაშინ ხაზური ძაბვის მყისი მნიშვნელობა A და B სადენებს შორის, კირხჰოფის კანონის თანახმად, ტოლი იქნება შესაბამისი ფაზური ძაბვების სხვაობისა, ე. ი.

$$U_{AB}=U_A-U_B.$$

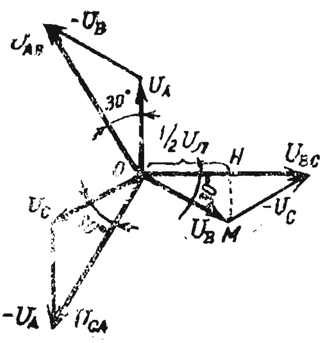
ანალოგიურად, სხვა ხაზური ძაბვების მყისი მნიშვნელობებისთვისაც გვექნება

$$U_{BC}=U_B-U_C;$$
$$U_{CA}=U_C-U_A.$$

ამგვარად, ხაზური ძაბვის მყისი მნიშვნელობა ტოლია შესაბამისი ფაზური ძაბვების მყისი მნიშვნელობების ალგებრული სხვაობისა.



ნახ. 7-5. გენერატორის გრაგნილების ვარსკვლავისებრი შეერთების სქემა.



ნახ. 7-6. სამფაზა წრედის ძაბვის ვექტორული დიაგრამა.

ვინაიდან U_A, U_B და U_C იცვლებიან სინუსოიდური კანონის მიხედვით და აქვთ ერთნაირი სიხშირე, ხაზური ძაბვებიც შეიცვლებიან სინუსოიდურად, თანაც ხაზური ძაბვების მოქმედი მნიშვნელობები შეიძლება განვსაზღვროთ ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 7-6).

$$\overline{U}_{AB}=\overline{U}_A-\overline{U}_B;\quad \overline{U}_{BC}=\overline{U}_B-\overline{U}_C;\quad \overline{U}_{CA}=\overline{U}_C-\overline{U}_A.$$

ზემონათქვამიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ *ხაზური ძაბვის ვექტორი ტოლია შესაბამისი ფაზური ძაბვების ვექტორების სხვაობისა.*

ფაზური U_A, U_B და U_C ძრავები დაძრულია ფაზაში ერთმანეთის მიმართ 120° კუთხით. ხაზური ძაბვის $\overline{U}_{AB}$ ვექტორის გასაგებად საჭიროა

$\bar{U}_A$ ძაბვის ვექტორს გეომეტრიულად გამოვაკლოთ $\bar{U}_B$ ვექტორი ან, რაც იგივეა მივუმატოთ $\bar{U}_B$ ვექტორის ტოლი და საწინააღმდეგონიშნის $-\bar{U}_B$ ვექტორი.

ანალოგიურად, $\bar{U}_{BC}$ ხაზური ძაბვის ვექტორს მივიღებთ, როგორც $\bar{U}_B$ და $\bar{U}_C$ ძაბვების ვექტორების სხვაობას და $\bar{U}_{CA}$ ხაზური ძაბვის ვექტორს, როგორც $\bar{U}_C$ და $\bar{U}_A$ ვექტორების სხვაობას.

თუ ნებისმიერად აღებული ფაზური ძაბვის ვექტორის ბოლოდან დავუშვებთ პერპენდიკულარს, მაგალითად, U_B, U_{BC} ხაზური ძაბვის ვექტორზე, მივიღებთ OHM მართკუთხა სამკუთხედს, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ

$$\frac{1}{2}U_{\text{ხ}}=U_{\text{ფ}}\cos 30^{\circ}=U_{\text{ფ}}\frac{\sqrt{3}}{2},$$

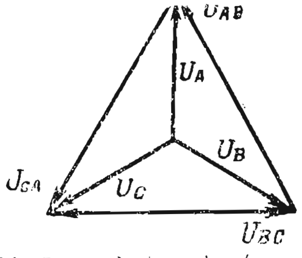
აქედან

$$U_{\text{ხ}}=\sqrt{3}U_{\text{ფ}}. \qquad (7\text{-}4)$$

ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 7-6) და უკანასკნელი ფორმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ *ხაზური ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა* $\sqrt{3}$-*ჯერ* მეტია ფაზური ძაბვის მოქმედ მნიშვნელობაზე და რომ ხაზური U_{AB} ძაბვა 30°-ით უსწრებს წინ ფაზურ U_A ძაბვას. ამავე კუთხით უსწრებს წინ ხაზური U_{BC} ძაბვა ფაზურ U_B ძაბვას და U_{CA} ძაბვა — U_C ფაზურ ძაბვას.

ხაზური ძაბვები ერთმანეთისაგან დაძრულია ისეთივე კუთხით (120°), როგორითაც ფაზური ძაბვები. *ხაზური ძაბვების ვექტორების ვარსკვლავი დადებითი მიმართულებით 30° კუთხითაა შემობრუნებული ფაზური ძაბვების მიმართ.*

აუცილებელია ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ ხაზურ და ფაზურ ძაბვებს შორის მიღებულ დამოკიდებულებას ვღებულობთ მხოლოდ ძაბვათა სიმეტრიული სისტემის დროს.



ნახ. 7-7. ძაბვის ვექტორული დიაგრამა გენერატორის გრაგნილების ვარსკვლავისებრი შეერთების დროს.

ვინაიდან ხაზური ძაბვების ვექტორები ფაზური ძაბვების ვექტორების სხვაობით განისაზღვრება, მაშინ, თუ ვარსკვლავად შეერთებულ ფაზური ძაბვების ვექტორების ბოლოებს შევაერთებთ, მივიღებთ ხაზური ძაბვების ვექტორთა სამკუთხედს (ნახ. 7-7).

თუ ნეიტრალურ სადენსაც გამოვიყენებთ, მაშინ სამსადენიანი წრედი ოთხსადენიანად გადაიქცევა.

ასეთი წრედის ღირსებაა ის, რომ ამ დროს

შესაძლებელია გამოვიყენოთ ძაბვის ორი სისტემა: ფაზური, თუ მომხმარებელს ნეიტრალურ და ნებისმიერ ხაზურ სადენებს შორის ჩავრთავთ, და ხაზური, თუ მომხმარებელს ორ ხაზურ სადენებს შორის ჩავრთავთ.

მაგალითი 7-1. განვსაზღვროთ გენერატორის ხაზური ძაბვა, თუ მისი ფაზური ძაბვაა 127 და 220 ვ.

ამოხსნა.

$$U_{ხ} = \sqrt{3}\, U_{ფ} = 1{.}73 \cdot 127 = 220 \text{ ვ}.$$

როცა ფაზური ძაბვა 220 ვ-ია, მაშინ

$$U_{ხ} = \sqrt{3}\, U_{ფ} = 220 \cdot 1{,}73 = 380 \text{ ვ}.$$

7-3. გენერატორის გრაგნილების სამკუთხედად შეერთება

სამფაზიანი გენერატორის გრაგნილების სამკუთხედად შეერთების დროს (ნახ. 7-8) პირველი გრაგნილის X ბოლო უერთდება მეორე გრაგნილის B საწყისს, მეორე გრაგნილის Y ბოლო უერთდება მესამე გრაგნილის C საწყისს და მესამე გრაგნილის Z ბოლო — პირველის A საწყისს.

ენერგიის მომხმარებლისაკენ მიმავალი სამი ხაზური სადენი მიერთებულია A, B და C ფაზების საწყისებთან.

7-8 ნახაზიდან ჩანს, რომ გრაგნილების ასეთი შეერთების დროს ფაზური და ხაზური ძაბვები ტოლია, ე. ი.

$$U_{AB} = U_A; \quad U_{BC} = U_B; \quad U_{CA} = U_C. \tag{7-5}$$

გენერატორის სამფაზა სამკუთხედად შეერთების დროს ქმნის შეკრულ კონტურს მეტად მცირე წინაღობით. ცხადია, რომ ასეთი შეერთება დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ამ კონტურში მოქმედი ემ ძალების ჯამი ნულის ტოლია, ვინაიდან, წინააღმდეგ შემთხვევაში კონტურში, თუნდაც დატვირთვის გარეშე, აღიძვრება მნიშვნელოვანი დენი, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს გენერატორის დაზიანება.

გენერატორის გრაგნილებში მოქმედი სამი სიმეტრიული ემ ძალის ჯამი ნულის ტოლია.

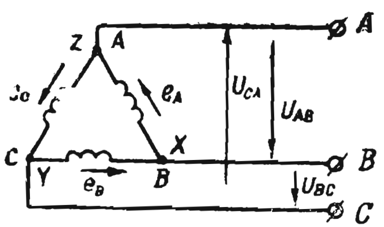
ამაში ადვილად დავრწმუნდებით ემ ძალის ვექტორების შეკრებით. 7-9 ნახაზზე მოცემულია ემ ძალების სამი ვექტორი.

$\overline{E}_A$ და $\overline{E}_B$ ვექტორების შეკრებით მივიღებთ $\overline{E}_C$ ვექტორის ტოლ და საწინააღმდეგო მიმართულების ვექტორს, ე. ი.

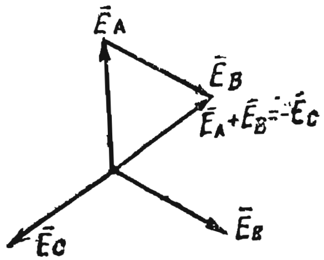
$$\overline{E}_A + \overline{E}_B = -\overline{E}_C,$$

ხოლო, რადგან ემ ძალების სამი ვექტორის ჯამი ნულის ტოლია, მაშასადამე,

$$\overline{E}_A + \overline{E}_B + \overline{E}_C = 0. \tag{7-6}$$



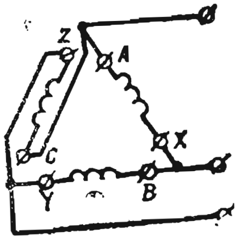
ნახ. 7-8. გენერატორის გრაგნილების სამკუთხედად შეერთების სქემა.



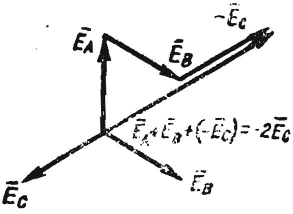
ნახ. 7-9. ემ ძალების ვექტორული დიაგრამა გენერატორის გრაგნილების სამკუთხედად შეერთების დროს.

გენერატორის გრაგნილების არასწორად სამკუთხედად შეერთება საშიშია. 7-10 ნახაზზე მოცემულია ერთი შესაძლებელი შეერთების არასწორი სქემა, რომელშიაც პირველი ფაზის X ბოლო სწორადაა შეერთებული მეორე გრაგნილის B საწყისთან, არამედ მის Z ბოლოსთან, და მესამე ფაზის საწყისი შეერთებულია პირველი ფაზის საწყისთან, რის შედეგადაც E_C ემ ძალა კი არ ემატება დანარჩენ ემ ძალებს, არამედ აკლდება მათ ჯამს; მარეზულტირებელი ემ ძალა შეიძლება განვსაზღვროთ ვექტორული დიაგრამიდან (ნახ. 7-11), რომელზეც შესრულებულია E_A, E_B და E_C ვექტორების შეკრება. როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ამ ვექტორების ჯამი ტოლია გაორკეცებული $\overline{E}_C$ ვექტორისა, ანუ

$$\overline{E}_A+\overline{E}_B-\overline{E}_C=-2\overline{E}_C.$$



ნახ. 7-10. გენერატორის გრაგნილების სამკუთხედად შეერთების არასწორი სქემა.

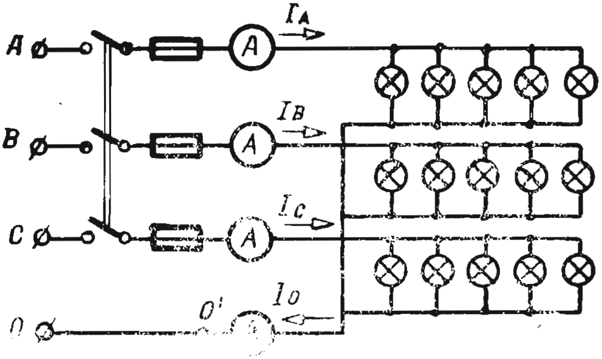


ნახ. 7-11. ემ ძალის ვექტორული დიაგრამა 7-10 ნახაზზე მოყვანილი სქემით შეერთებული გენერატორისათვის.

ამგვარად, ამ შემთხვევაში შეკრული კონტურის ემ ძალები აბსოლუტური სიდიდით ტოლია გაორკეცებული ფაზური ემ ძალისა, რაც კონტურის მცირე წინაღობის დროს იგივეა, რაც მოკლე შერთვა.

7-4. ენერგიის მომხმარებელთა ვარსკვლავად შეერთება

ენერგიის მომხმარებლები, ისე როგორც გენერატორის გრაგნილები, შეიძლება შეერთებული იყოს ვარსკვლავად. ამ დროს სამფაზიანი სისტემა შეიძლება იყოს ო თ ხ ს ა დ ე ნ ი ა ნ ი (განათების დატვირთვისას) ან ს ა მ ს ა დ ე ნ ი ა ნ ი (ძალური დატვირთვისას).



ნახ. 7-12. ენერგიის მიმღებთა ვარსკვლავისებრი შეერთების სქემა ნეიტრალური სადენით.

ოთხსადენიან სამფაზიან სისტემაში ნათურები ჩაირთვება ნეიტრალურ ადენსა და თითოეულ ხაზურ სადენს შორის (ნახ. 7-12). თანაც ნათურების ნომინალური ძაბვა ტოლი უნდა იყოს ქსელის ფაზური ძაბვისა. ამ დროს ნერგიის მომხმარებელთა მუშაობის პირობები იგივეა, რაც ერთფაზიან ისტემაში, რადგან ნეიტრალური სადენი უზრუნველყოფს გენერატორისა და მომხმარებლის შესაბამისი ფაზური ძაბვების თანასწორობას.

როგორც 7-12 ნახაზიდან ჩანს, დენი ხაზურ სადენებში ტოლია დენისა გენერატორის ან მომხმარებლის შესაბამის ფაზებში, ე. ი.

$$I_{ხ} = I_{ფ}. \qquad (7\text{-}7)$$

მომხმარებელთა ფაზური დენები ისევე, როგორც ცვლადი დენის ერთფაზიან წრედებში ტოლია,

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}; \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B}; \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C}.$$

დენების ძვრის კუთხე ფაზურ ძაბვასთან განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\cos\varphi_A = \frac{r_A}{Z_A}; \quad \cos\varphi_B = \frac{r_B}{Z_B}; \quad \cos\varphi_C = \frac{r_C}{Z_C}.$$

ან

$$\operatorname{tg}\varphi_A = \frac{X_A}{r_A}; \quad \operatorname{tg}\varphi_B = \frac{X_B}{r_B}; \quad \operatorname{tg}\varphi_C = \frac{X_C}{r_C}.$$

დენის მყისი მნიშვნელობა ნეიტრალურ სადენში, კირხჰოფის პირველი კანონის თანახმად, ტოლია ფაზური დენების მყის მნიშვნელობათა ჯამისა, ე. ი.

$$i_0 = i_A + i_B + i_C.$$

დენის მოქმედი მნიშვნელობა ნეიტრალურ სადენში განისაზღვრება ფაზური დენების ვექტორების გეომეტრიული შეკრებით, ე. ი.

$$\overline{I}_0 = \overline{I}_A + \overline{I}_B + \overline{I}_C. \tag{7-8}$$

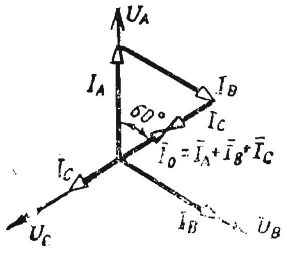
მაგალითი 7-2. გენერატორის ფაზური ძაბვა $U_ფ = 125$ ვ, მომხმარებლის ფაზათა წინაღობა $Z_A = Z_B = r_A = r_B = 12{,}5$ ომს, $Z_C = r_C = 25$ ომს. ვიპოვოთ ფაზური დენები.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

$$I_A = I_B = \frac{125}{12{,}5} = 10 \text{ ა};$$

$$I_C = \frac{125}{25} = 5 \text{ ა}.$$

7-13 ნახაზზე მოცემულია ფაზური ძაბვები და დენები, აგრეთვე შესრულებულია ფაზური დენების შეკრება. შეკრების შედეგად მიღებულია დენი ნეიტრალურ სადენში $I_0 = 5$ ა, რომელიც U_A-ს ფაზით ჩამორჩება $\varphi_0 = 60°$ კუთხით.



ნახ. 7-13. ოთხსადენიანი სამფაზა წრედის ვექტორული დიაგრამა, აქტიური დატვირთვის დროს.

ნულოვან სადენს შეიძლება ჰქონდეს ხაზური სადენის ტოლი კვეთი ან 2—3-ჯერ ნაკლები, ვინაიდან ჩვეულებრივად დენი ნეიტრალურ სადენში ნაკლებია, ვიდრე დენი ხაზურ სადენებში.

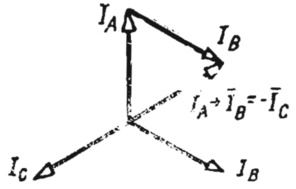
საჭიროა ერთხელ კიდევ აღინიშნოს, რომ ნეიტრალური სადენი ფაზების ნებისმიერი დატვირთვის დროს უზრუნველყოფს ელექტრომომხმარებლების ფაზური ძაბვების თანასწორობას.

ნეიტრალური სადენის გაწყვეტის შემთხვევაში ენერგიის მიმღებთა ფაზების არაერთნაირი წინაღობის დროს ძაბვა მომხმარებელთა ცალკეულ ფაზებში სხვადასხვაგვარი იქნება.

ზოგიერთ ფაზაში (ნაკლები წინაღობით) ძაბვა შემცირდება, ხოლო სხვებში, ნორმალურთან შედარებით, გაიზრდება, რაც დაუშვებელია. განსაკუთრებით საშიშია, თუ ნულოვანი სადენის გაწყვეტისას ერთ-ერთ ფაზაში მოხდება მოკლე შერთვა.

ამ დროს ძაბვა სხვა ფაზებში გაიზრდება $\sqrt{3}$-ჯერ და ამ ფაზაში ჩართული ყველა ნათურა გადაიწვება. ამის გამო, ნეიტრალური სადენის გაწყვეტის თავიდან ასაცილებლად, მასში არ აყენებენ მცველებსა და გამომრთველებს.

თუ მომხმარებლის სამივე ფაზა ერთნაირადაა დატვირთული (მაგალითად, სამფაზიანი ძრავა), მაშინ ფაზური დენები ერთმანეთის ტოლი იქნება და შესაბამისი ფაზური ძაბვებისაგან დაძრული იქნება ერთი და იმავე კუთხით, ე. ი. ფაზური დენების სისტემაც სიმეტრიული იქნება.



ნახ. 7-14. სამფაზა წრედის სიმეტრიული დენები.

ამ შემთხვევაში დენი ნეიტრალურ სადენში, რომელიც ფაზური დენების გეომეტრიულ ჯამს უდრის, ნულის ტოლი იქნება. ცხადია, ამ შემთხვევაში ნეიტრალური სადენი არაა საჭირო.

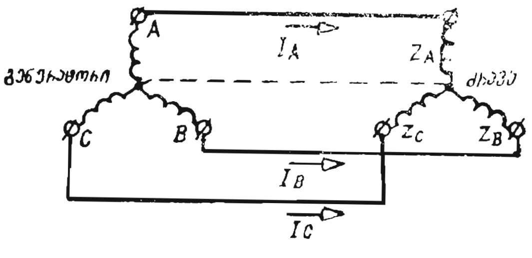
ფაზური დენების I_A და I_B ვექტორების შეკრებით (ნახ. 7-14) ვღებულობთ ვექტორს, რომელიც I_C ვექტორის ტოლია და მის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, ე. ი.

$$I_A+I_B=-I_C,$$

ხოლო სამი დენის ვექტორების ჯამი ნულის ტოლია

$$I_A+I_B+I_C=0.$$

სიმეტრიული სამფაზიანი წრედის გაანგარიშება შეიძლება დაყვანილ იქნეს ერთი ფაზის გაანგარიშებამდე.



ნახ. 7-15. სამფაზა გენერატორისა და მიმღების ვარსკვლავისებრი შეერთების სქემა.

თუ ვარსკვლავისებრ შეერთებულ ენერგიის მომხმარებელს (ნახ. 7-15) ფაზების ერთნაირი წინაღობა აქვთ, მაშინ ფაზური ძაბვა

$$U_ფ=\frac{U_ხ}{\sqrt{3}}, \tag{7-9}$$

ფაზური დენი

$$I_ფ = U_ფ / Z_ფ. \qquad (7\text{-}10)$$

ფაზური დენის ფაზურ ძაბვასთან ძვრის კუთხის კოსინუსი

$$\cos\varphi = r_ფ / Z_ფ. \qquad (7\text{-}11)$$

ამავე კუთხის სინუსი და ტანგენსი

$$\sin\varphi_ფ = X_ფ / Z_ფ; \quad \mathrm{tg}\,\varphi_ფ = X_ფ / r_ფ. \qquad (7\text{-}12)$$

ერთი ფაზის აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრე განისაზღვრებიან გამოსახულებებით:

$$P_ფ = U_ფ I_ფ \cos\varphi_ფ; \quad Q_ფ = U_ფ I_ფ \sin\varphi_ფ; \quad S_ფ = U_ფ I_ფ. \qquad (7\text{-}13)$$

ძაბვისა და დენის სიმეტრიული სისტემის დროს სამივე ფაზის სიმძლავრე შეიძლება განვსაზღვროთ გამოსახულებებით:

$$P = 3P_ფ = 3U_ფ I_ფ \cos\varphi_ფ; \qquad (7\text{-}14)$$

$$Q = 3Q_ფ = 3U_ფ I_ფ \sin\varphi_ფ; \qquad (7\text{-}15)$$

$$S = 3S_ფ = 3U_ფ I_ფ. \qquad (7\text{-}16)$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ენერგიის მომხმარებელთა ვარსკვლავისებრი შეერთების დროს $I_ფ = I_ხ$, ხოლო $U_ფ = \frac{U_ხ}{\sqrt{3}}$, აქტიური სიმძლავრისათვის გვექნება

$$P = 3U_ფ I_ფ \cos\varphi_ფ = \frac{3}{\sqrt{3}} I_ხ U_ხ \cos\varphi_ფ = \sqrt{3} I_ხ U_ხ \cos\varphi_ფ \qquad (7\text{-}17)$$

რეაქტიული სიმძლავრისათვის

$$Q = \sqrt{3} U_ხ I_ხ \sin\varphi_ფ \qquad (7\text{-}18)$$

და სრული სიმძლავრისათვის

$$S = \sqrt{3} U_ხ I_ხ. \qquad (7\text{-}19)$$

ძაბვის არასიმეტრიული სისტემის ან მომხმარებლის ფაზების არათანაბარი დატვირთვის დროს სამფაზიანი სისტემის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები განისაზღვრებიან, როგორც ცალკეული ფაზების სიმძლავრეთა ჯამი.

მაგალითი 7-3. ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზიანი გენერატორის ფაზური ძაბვა 220 ვ. მომხმარებლის ფაზური აქტიური წინაღობა ტოლია 6 ომისა და ინდუქციური — 8 ომის. განვსაზღვროთ ხაზური დენები და ენერგიის მომხმარებლის აქტიური სიმძლავრე.

ა მ ო ხ ს ნ ა. ხაზური ძაბვა

$$U_ხ = \sqrt{3} U_ფ = 1{,}73 \cdot 220 = 380 \text{ ვ}.$$

მომხმარებლის ფაზების სრული წინაღობა

$$Z_ფ = \sqrt{r^2_ფ + X^2_ფ} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ ომს}.$$

ფაზური დენი

$$I_ფ = U_ფ / Z_ფ = 220/10 = 22 \text{ ა}.$$

მომხმარებლის ვარსკვლავად შეერთების დროს ფაზური დენი ტოლია ხაზური დენისა $I_ხ = 22$ ა.

ფაზური დენის ძვრის კუთხე ფაზურ ძაბვასთან.

$$\cos\varphi_ფ = r_ფ / Z_ფ = 6/10 = 0,6.$$

სამფაზიანი წრედის აქტიური სიმძლავრე

$$P = \sqrt{3}\, U_ხ\, I_ხ \cos\varphi_ფ = 1,73 \cdot 380 \cdot 22 \cdot 0,6 = 8,7 \text{ კვტ}.$$

მაგალითი 7-4. ვარსკვლავად შეერთებული სამფაზიანი გენერატორი ჩართულია წრედში, რომლის ძაბვაა 380 ვ და ხარჯავს 10 კვტ სიმძლავრეს, როცა $\cos\varphi = 0,8$. განვსაზღვროთ ძრავას დენი.

ა მ ო ხ ს ნ ა. სიმძლავრე წრედში

$$P = \sqrt{3}\, U_ხ\, I_ხ \cos\varphi,$$

საიდანაც

$$I_ხ = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_ხ \cos\varphi} = \frac{10000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,8} = 19 \text{ ა}.$$

7-5. ენერგიის მომხმარებლის სამკუთხედად შეერთება

ენერგიის მომხმარებელთა სამკუთხედად შეერთების დროს (ნახ. 7-16) მომხმარებლის ცალკეული ფაზები უერთდებიან გენერატორიდან გამომავალ ხაზურ სადენებს. ამ დროს მომხმარებლის თითოეული ფაზა უშუალოდ ჩაირთვება ხაზურ ძაბვაში, რომელიც ამავე დროს არის ფაზური ძაბვაც, ე. ი.

$$U_A = U_{AB}; \quad U_B = U_{BC}; \quad U_C = U_{CA}.$$

ამ შემთხვევაში ფაზური ძაბვები (ვარსკვლავად შეერთების სქემისაგან განსხვავებით) არაა დამოკიდებული მომხმარებლის ფაზური წინაღობისაგან.

ფაზური დენების დადებით მიმართულებად ვღებულობთ მიმართულებას A'-იდან B'-საკენ, B'-იდან C'-საკენ და C'-იდან A'-საკენ. ხაზური დენებისათვის დადებით მიმართულებად ვღებულობთ მიმართულებას გენერატორიდან მომხმარებლისაკენ.

კირხჰოფის პირველი კანონის თანახმად, დენების მყისი მნიშვნელობებისათვის A^1 წერტილში შეიძლება დავწეროთ

$$i_A + i_{CA} = i_{AB},$$

საიდანაც

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}.$$

ანალოგიურად, B' წერტილში

$$i_B = i_{BC} - i_{AB}$$

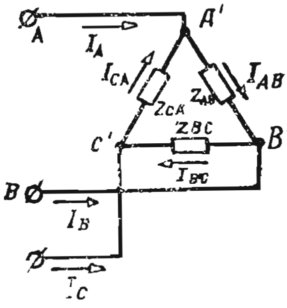
და C' წერტილისათვის

$$i_C = i_{CA} - i_{BC}.$$

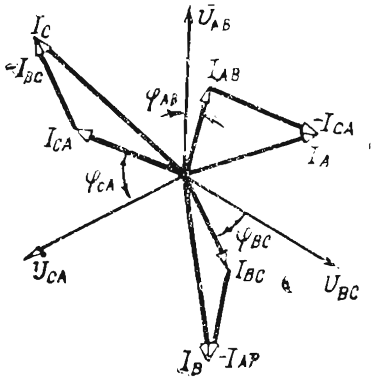
ამგვარად, ხაზური დენის მყისი მნიშვნელობა ტოლია იმ ფაზების ფაზური დენების მყისი მნიშვნელობების ალგებრული სხვაობისა, რომლებიც შეერთებულია მოცემულ სადენთან.

ზემოთ ნათქვამიდან გამოდის, რომ ხაზური დენის ვექტორი ტოლია შესაბამისი ფაზური დენების ვექტორების სხვაობისა, ე. ი.

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}; \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB}; \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}. \quad (7\text{-}20)$$



ნახ. 7-16. ენერგიის მიმღებთა სამკუთხედად შეერთება.



ნახ. 7-17. ვექტორული დიაგრამა მიმღებთა სამკუთხედად შეერთების დროს.

დიაგრამაზე (ნახ. 7-17) ხაზური დენების ვექტორები მიღებულია, როგორც შესაბამისი ფაზური დენების ვექტორების სხვაობა, თანაც ყველა ვექტორი გამოყვანილია საერთო საწყისიდან.

ზოგჯერ მეტი თვალსაჩინოებისათვის ვექტორებს გადაადგილებენ თავის პარალელურად ისე, რომ ძაბვის ვექტორებმა შექმნან ჩაკეტილი სამკუთხედი (ნახ. 7-18).

თუ ფაზების დატვირთვა თანაბარია, ე. ი.

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_{ფ}$$

და

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi_{ფ},$$

მაშინ ფაზური დენების მოქმედი მნიშვნელობა ერთმანეთის ტოლია და დენები დაძრულია ფაზაში ერთი და იმავე კუთხით შესაბამისი ძაბვებისაგან (ნახ. 7-19), ე. ი. 120° კუთხეებით ერთიმეორის მიმართ.

მაშასადამე, ფაზური დენები წარმოქმნის სიმეტრიულ სისტემას. თუ ნებისმიერად აღებული ფაზური დენის I_{AB} ვექტორის ბოლოდან დავუშ-

ვებთ პერპენდიკულარს ხაზური დენის I_A ვექტორზე, OMH მართკუთხა სამკუთხედიდან მივიღებთ

$$\frac{1}{2}I_ხ = I_ფ \cos 30^\circ = I_ფ \frac{\sqrt{3}}{2},$$

საიდანაც

$$I_ხ = \sqrt{3} I_ფ. \tag{7-21}$$

ე. ი. ხაზური დენების მოქმედი მნიშვნელობები ფაზურზე 3-ჯერ მეტია.

იმავე ნახაზიდან გამომდინარეობს, რომ ხაზური დენები ჩამორჩება შესაბამისი ფაზური დენებისაგან 30° კუთხით.

სამკუთხედად შეერთებული სამფაზიანი სიმეტრიული წრედის გაანგარიშება შეიძლება დაყვანილ იქნეს ერთი ფაზის გაანგარიშებამდე.

ფაზური ძაბვა

$$U_ფ = U_ხ.$$

ფაზური დენი

$$I_ფ = U_ფ / Z_ფ.$$

ხაზური დენი

$$I_ხ = \sqrt{3} I_ფ.$$

ფაზური დენის ძვრის კუთხე ფაზური ძაბვისადმი განისაზღვრება მისი კოსინუსის, სინუსის ან ტანგენსის საშუალებით:

$$\cos\varphi_ფ = \frac{r_ფ}{Z_ფ}; \quad \sin\varphi_ფ = \frac{X_ფ}{Z_ფ}; \quad \operatorname{tg}\varphi_ფ = \frac{X_ფ}{r_ფ}.$$

ერთი ფაზის აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეები განისაზღვრება გამოსახულებებით

$$P_ფ = U_ფ I_ფ \cos\varphi_ფ; \quad Q_ფ = U_ფ I_ფ \sin\varphi_ფ; \quad S_ფ = U_ფ I_ფ.$$

ძაბვისა და დენების სიმეტრიული სისტემის დროს სამივე ფაზის შესაბამისი სიმძლავრეები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$P = 3P_ფ = 3U_ფ I_ფ \cos\varphi_ფ = \sqrt{3} U_ხ I_ხ \cos\varphi_ფ; \tag{7-22}$$

$$Q = \sqrt{3} I_ხ U_ხ \sin\varphi_ფ; \tag{7-23}$$

$$S = \sqrt{3}\, U_ხ I_ხ. \tag{7-24}$$

ძაბვების არასიმეტრიული სისტემის ან მომხმარებლის ფაზების არათანაბარი დატვირთვის დროს სამფაზიანი სისტემის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეები განისაზღვრება, როგორც ცალკეულ ფაზათა სიმძლავრეების ჯამი, ე. ი. იმავე გამოსახულებით, რომლებიც მოყვანილი იყო მომხმარებელთა ვარსკვლავად შეერთების შემთხვევაში.

სამკუთხედად შეერთება გამოიყენება როგორც ნათურების, ისე ელექტროძრავების ჩასართავად (ნახ. 7-20). ამ დროს აუცილებელია, რომ ნათურების ნომინალური ძაბვა ტოლი იყოს ქსლის ხაზური ძაბვისა.

სამფაზიანი ელექტროძრავა ჩაირთვება სამკუთხედად, თუ მისი ნომინალური ფაზური ძაბვა ტოლია ქსლის ხაზური ძაბვისა, ან ვარსკვლავად, თუ მისი ნომინალური ფაზური ძაბვა $\sqrt{3}$-ჯერ ნაკლებია ქსლის ხაზურ ძაბვაზე.

მაგალითი 7-5. სამფაზიანი ელექტროძრავას, **რომლის გრაგნილები** შეერთებულია სამკუთხედად, ძაბვა 220 ვ. $\cos\varphi=0{,}8$ და **სიმძლავრეა 3 კვტ. განვსაზღვროთ** ხაზური და ფაზური დენები.

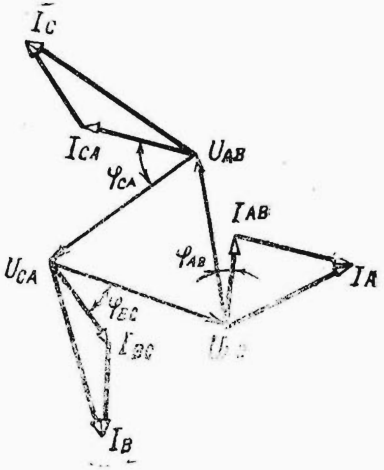
ა მ ო ხ ს ნ ა.

(7-22) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

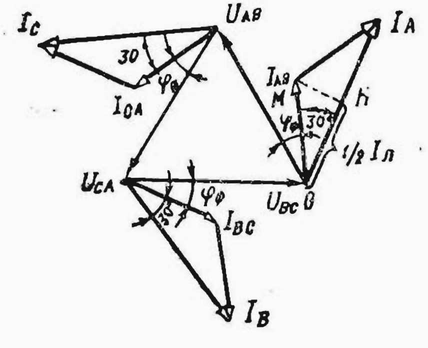
$$I_ხ=\frac{P}{\sqrt{3}\,U_ხ\cos\varphi}=\frac{3000}{1{,}73\cdot 220\cdot 0{,}8}=10 \text{ ა},$$

ხოლო ფაზური დენი

$$I_ფ=\frac{I_ხ}{\sqrt{3}}=\frac{10}{1{,}73}=6 \text{ ა}.$$



ნახ. 7-18. ვექტორული დიაგრამა მიმღებთა სამკუთხედად შეერთების დროს.



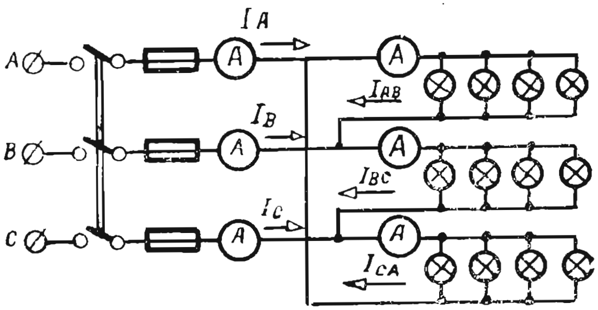
ნახ. 7-19. სამკუთხედად შეერთებული წრედის ვექტორული დიაგრამა, ფაზების თანაბარი დატვირთვის დროს.

მაგალითი 7-6. სამკუთხედად შეერთებული სამფაზიანი ძრავას ძაბვაა 120 ვ და დენი 25 ა; ძრავას სიმძლავრე 3 კვტ. განვსაზღვროთ ძრავას სიმძლავრის კოეფიციენტი.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

(7-2) გამოსახულებიდან შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$\cos\varphi=\frac{P}{\sqrt{3}\,U_ხ I_ხ}=\frac{3000}{1{,}73\cdot 120\cdot 25}=0{,}58.$$



ნახ. 7-20. ელექტრული ნათურების სამკუთხედად შეერთების სქემა.

მაგალითი 7-7. 120 ვ ძაბვის მქონე სამფაზიან ქსელთან მიერთებულია ენერგიის მომხმარებელი, რომლის წინაღობა $r_{AB}=10$ ომს, $r_{BC}=r_{CA}=20$ ომს. განვსაზღვროთ, როგორი ძაბვის ქვეშ აღმოჩნდება მომხმარებელი, თუ სადენში გადაიწვება მცველი.

ამოხსნა.

მცველის გადაწვისას AB და BC მომხმარებლები აღმოჩნდება თანამიმდევრულად შეერთებული და $U_ხ=120$ ვ. ხაზურ ძაბვასთან ჩართული დენი მომხმარებელში

$$I_{AB}=I_{BC}=\frac{U_{AC}}{r_{AB}+r_{BC}}=\frac{120}{10+20}=4 \text{ ა.}$$

ძაბვა მომხმარებლის მომჭერებზე

$$U'_{AB}=I_{AB}\cdot r_{AB}=4\cdot 10=40 \text{ ვ;}$$

$$U'_{BC}=I_{BC}\cdot r_{BC}=4\cdot 20=80 \text{ ვ;}$$

$$U_{CA}=U_ხ=120 \text{ ვ.}$$

ენერგიის მომხმარებელთა ნებისმიერი შეერთების დროს სამსადენიან სამფაზიან წრედში ხაზური დენების მყისი მნიშვნელობების ჯამი ნულის ტოლია.

ვარსკვლავად შეერთების დროს ნულოვანი სადენის გარეშე, თუ ხაზური დენების დადებით მიმართულებად მივიღებთ გენერატორიდან მომხმარებლისაკენ, კირხჰოფის პირველი კანონის თანახმად, შეგვიძლია დავწეროთ

$$i_A+i_B+i_C=0. \tag{7-25}$$

ენერგიის მომხმარებლის სამკუთხედად შეერთების დროს ხაზური დენების ჯამი ნულის ტოლია, რადგან

$$i_A+i_B+i_C=i_{AB}-i_{CA}+i_{BC}-i_{AB}+i_{CA}-i_{BC}=0.$$

ბუნებრივია, ხაზური დენების ვექტორების ჯამიც ნულის ტოლი იქნება

$$\bar{I}_A+\bar{I}_B+\bar{I}_C=0. \tag{7-26}$$

ამიტომ, მაგალითად, სამი ხაზური დენის მმ ძალა სამფაზიან კაბელში ტოლია ნულისა, ნულის ტოლია აგრეთვე კაბელის მაგნიტური ნაკადიც.

ეს საშუალებას გვაძლევს, მექანიკური დაზიანებისაგან კაბელის დასაცავად გამოვიყენოთ ფოლადის ჯავშანი ისე, რომ სრულებით არაა გადამაგნიტებისაგან მისი გახურების საშიშროება, რასაც ადგილი ექნებოდა, თუ დენების ჯამი არ იქნებოდა ნულის ტოლი.

მერვე თავი

ელექტროტექნიკური გაზომვები და საზომი ხელსაწყოები

8.1. ძირითადი ცნობები

გ ა ზ ო მ ვ ა ეწოდება ფიზიკური სიდიდეების მნიშვნელობათა პოვნას ცდების გზით სპეციალურ ტექნიკურ საშუალებათა (ზომა და საზომი ხელსაწყოები) მეშვეობით, გაზომვის შედეგს გამოსახავენ სახელდებული რიცხვით, რომელიც შედგება რიცხვისაგან ერთეულის დასახელებით, მაგალითად, დენი ტოლია 15 ა.

ს ა ზ ო მ ი ეწოდება გაზომვის საშუალებას, რომლის დანიშნულებაა მოცემული ზომის ფიზიკური სიდიდის აღწარმოება.

ს ა ზ ო მ ი ხ ე ლ ს ა წ ყ ო ე წ ო დ ე ბ ა გაზომვის საშუალებას, რომლის დანიშნულებაა საზომი ინფორმაციის სიგნალის გამომუშავება ისეთი ფორმით, რომ ხელმისაწვდომი იყოს უშუალოდ აღქვას მეთვალყურემ.

საზომი და ხელსაწყო იყოფა ს ა ნ ი მ უ შ ო დ და მ უ შ ა დ.

სანიმუშო საზომი და ხელსაწყო გამოიყენებიან გაზომვის მუშა საშუალებათა შესამოწმებლად მათ მიხედვით. ამ დროს გასაზომი სიდიდის ერთეულთა მნიშვნელობანი განსაზღვრული უტყუარობით გადაეცემა საზომებს ან საზომ ხელსაწყოებს. სანიმუშო საზომებისა და ხელსაწყოების დამტკიცება ხორციელდება სახელმწიფო მეტროლოგიური სამსახურის ორგანოების მიერ.

მუშა საზომები გამოიყენება პრაქტიკული გაზომვებისათვის, რომელიც არაა დაკავშირებული ერთეულთა ზომების გადაცემასთან, ე. ი. რომლებიც არ გადასცემენ სხვა საზომებს ან ხელსაწყოებს გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობებს.

ყოველგვარი გაზომვისას მისი შედეგი რამდენადმე განსხვავდება ნამდვილი მნიშვნელობისაგან, რომელიც წარმოადგენს სანიმუშო საშუალებათა მეშვეობით ნაპოვნ მნიშვნელობას.

გაზომვის შედეგის გადახრას გასაზომი სიდიდის ნამდვილი ან ჭეშმარიტი მნიშვნელობიდან ან, რაც იგივეა, გ ა ნ ს ხ ვ ა ვ ე ბ ა ს გ ა ს ა-

ზომი სიდიდის ნაპოვნ და ნამდვილ მნიშვნელობას შორის, გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება ეწოდება.

გაზომვის ხარისხი ფასდება ე. წ. გაზომვის ფარდობითი ცდომილებით, რომელიც წარმოადგენს აბსოლუტური ცდომილების შეფარდებას გასაზომი სიდიდის ნამდვილ ან მიახლოებით ნაპოვნ სიდიდესთან პროცენტობით.

მაგალითი. 8-1. დენის ნაპოვნი მნიშვნელობა $I_1=26$ ა, ხოლო მისი ნამდვილი მნიშვნელობა — $I=25$ ა. განვსაზღვროთ გაზომვის აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

ამოხსნა.

გაზომილი დენის აბსოლუტური ცდომილება

$$\Delta I = I_1 - I = 26 - 25 = 1 \text{ ა}.$$

დენის გაზომვის ფარდობითი ცდომილება კი

$$\gamma_1 = \frac{\Delta I}{I}\,100\% = \frac{1}{25}\,100\% = 4\% \approx \frac{1}{26}100 = 3,8\%.$$

8.2. ელექტროსაზომი ხელსაწყოების კლასიფიკაცია

ელექტროსაზომი ხელსაწყოები იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად:

1. უშუალო შეფასების ხელსაწყოები, რომლებიც თავისი ამთვლელი მოწყობილობით იძლევიან გასაზომი სიდიდის რიცხობრივ მნიშვნელობას. მაგალითად, ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი და სხვ.

2. შედარების ხელსაწყოები, რომლებიც გამოიყენებიან გაზომილი სიდიდის შესადარებლად საზომთან, მაგალითად, საზომი ხიდი.

ჩვენებათა ათვლის სისტემის მიხედვით ხელსაწყოები იყოფა უწყვეტი ათვლის, მაგალითად, ისრიან ხელსაწყოებად და დისკრეტული ათვლის — ციფრიან ხელსაწყოებად, რომელთა ჩვენება ციფრებით გამოისახება.

ფართოდ გავრცელდა უშუალო შეფასების ხელსაწყოები, რომლებიც უფრო მარტივი, იაფი ხელსაწყოებია და გასაზომად საჭიროა ნაკლები დრო. შედარების ხელსაწყოები გამოიყენება უფრო ზუსტი გაზომვებისათვის.

ხელსაწყოები გასაზომი სიდიდეების გვარობის მიხედვით, მაგალითად, დენის, ძაბვის, სიმძლავრის, სიხშირის, ფაზური ძვრის კუთხის, წინაღობის, ელექტრული ენერგიის და ა. შ. გასაზომად იყოფა ამპერმეტრებად, ვოლტმეტრებად, ვატმეტრებად, სიხშირმზომებად, ფაზომეტრებად, ომმეტრებად, მეგაომმეტრებად, მრიცხველებად და სხვ.

მოქმედების პრინციპების მიხედვით ელექტროსაზომი ხელსაწყოები დაიყოფა სისტემებად, რომლებიც ნაჩვენებია 8-1 ცხრილში.

ცხრილი 8-1

ელექტროსაზომი ხელსაწყოების ზოგიერთი სისტემა და პირობითი ნიშნები მათ სკალაზე

სისტემების აღნიშვნები	სისტემა	აღნიშვნები ხელსაწყოს სკალაზე	განმარტება
	მაგნიტოელექტრული	სიზუსტის კლასები (0.05) (0.1) (0.2) (0.5) (1) (1,5) (2,5) (4)	ძირითადი დაყვანილი ცდომილებები %-ობით 0,05; 0,1; 0,2; 0.5; 1; 1,5; 2,5; 4
	მაგნიტოელექტრული ლოგომეტრი	დენის სახეები — ~ ≈	 მუდმივი დენი ცვლადი დენი სამფაზიანი დენი
	გამმართველის	ხელსაწყოს დანადგარისა ⊥ ⌐ ∠	 სკალის ვერტიკალური მდგომარეობა სკალის ჰორიზონტალური მდგომარეობა სკალის დახრილი მდგომარეობა
	თერმოელექტრული	ხელსაწყოს იზოლაციის სიმტკიცე 	საზომი წრედი კორპუსისაგან გამხოლოებულია და გამოცდილია 2 კვ ძაბვაზე
   	ელექტრომაგნიტური ელექტროდინამიკური ელექტროდინამიკური ლოგომეტრი	მომჭერები * ⊥ ⏚	გენერატორული მომჭერი კორპუსთან შეერთებული მომჭერი დამიწების მომჭერი

ცხრილი 8-1 გაგრძელება

სისტემების აღნიშვნები	სისტემა	აღნიშვნები ხელსაწყოს სკალაზე	განმარტება
	ფეროდინამიკური	მაგალითი	ელექტრომაგნიტური სისტემის ხელსაწყო, სიზუსტის კლასით 1,5, ცვლადი დენისა, სკალა დაყენებულია 60° კუთხით ჰორიზონტთან
	ინდუქციური		
	ელექტროსტატიკური		
	ვიბრაციული		

საზომი ხელსაწყოს სისტემის შერჩევა გასაზომად განისაზღვრება მისი თვისებებით. ის უნდა შეესაბამებოდეს მოთხოვნილებებს, რომლებიც წარედგინება გაზომვას, და იმ პირობებს, რომლებშიაც ხდება გაზომვა.

ГОСТ 1845—59-ის თანახმად, ელექტროსაზომი ხელსაწყოები იყოფა სიზუსტის რვა კლასად: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 და 4.

ხელსაწყოთა სკალაზე ნაჩვენებია სიზუსტის კლასი, რომელიც ჩასმულია წრეში.

სიზუსტის კლასის რიცხვი გვიჩვენებს ხელსაწყოს ძირითად დასაშვებ დაყვანილ ცდომილებას, რომელიც უნდა გავიგოთ, როგორც ხელსაწყოს უდიდესი დასაშვები აბსოლუტური ΔX ცდომილების (როცა ხელსაწყო იმყოფება მუშაობისათვის ნორმალურ პირობებში) შეფარდება მანორმირებელ მნიშვნელობასთან, ხელსაწყოს გაზომვის ზედა $X_{ზღ}$ ზღვართან.

ამგვარად, ხელსაწყოს დაყვანილი ცდომილება გამოისახება ფორმულით

$$\gamma_{დაყ}=\frac{\Delta x}{x_{ზღ}}\,100\%. \qquad (8\text{-}1)$$

ხელსაწყოს მუშაობის ნორმალურ პირობებს შეესაბამება: ხელსაწყოს დაყენების მდებარეობა, როგორც მოყვანილია მის სკალაზე, გარემომცველი არის ნორმალური ტემპერატურა (+20°C), გარე ელექტრომაგნიტური ველის (გარდა დედამიწისა) არარსებობა.

სიდიდის გაზომვის ფარდობითი ცდომილება შეიძლება განვსაზღვროთ ხელსაწყოს უდიდესი აბსოლუტური Δx ცდომილების გაყოფით x_1 სიდიდის ნამდვილ (გაზომილთან მიახლოებული) მნიშვნელობაზე, ე. ი.

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_1} 100\% , \qquad (8\text{-}2)$$

თუ (8-2)-ში ΔX-ს შევცვლით, თავისი მნიშვნელობით (8-1)-დან

$$\Delta x = \frac{\gamma_{\text{ხელ}} x_{\text{ნორ}}}{100\%},$$

მივიღებთ

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_1} 100\% = \frac{\gamma_{\text{ხელ}} x_{\text{ნორ}}}{100\% x_1} 100\% = \gamma_{\text{ხელ}} \frac{x_{\text{ნორ}}}{x_1} . \qquad (8\text{-}3)$$

მაშასადამე, გაზომვის ცდომილება ტოლია ხელსაწყოს ცდომილებისა გამრავლებული ხელსაწყოს გაზომვის ზედა ზღვრის და გაზომილი სიდიდის ნამდვილ ან ნაპოვნ მნიშვნელობასთან შეფარდებაზე.

ცდომილება, რაიმე სიდიდის მოცემული ხელსაწყოთი გაზომვის დროს, მით ნაკლებია, რაც უფრო ახლოსაა ამ სიდიდის მნიშვნელობა ხელსაწყოს გაზომვის ზედა ზღვართან; მაშასადამე, ხელსაწყოს სიზუსტის უკეთ გამოყენებისათვის იმით უნდა გავზომოთ ისეთი სიდიდეები, რომელთა მნიშვნელობა შეესაბამება ხელსაწყოს სკალის მეორე ნახევარს.

ხელსაწყოს გაზომვის ცდომილება შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი.

მაგალითი 8-2. განვსაზღვროთ ცდომილება დენის გაზომვის დროს, თუ ამპერმეტრის სიზუსტის კლასია 1,5, ამპერმეტრის გაზომვის ზედა ზღვარი 30 ა და ამპერმეტრის ჩვენება 15 ა.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

უდიდესი შესაძლებელი ცდომილბა დენის გაზომვის დროს

$$\gamma_I = \gamma_{\text{ხელ}} \frac{I_{\text{ნ.ვ}}}{I_1} = \pm 1,5\% \frac{30}{15} = \pm 3\% .$$

ელექტროსაზომ ხელსაწყოებს წაიედგინებათ მეტად სხვადასხვაგვარი მოთხოვნები, რომელთაგან მთავარია:

1. ხელსაწყო ცდომილება არ უნდა აღემატებოდეს ГОСТ 1845—59-ით დადგენილ მნიშვნელობას მისი სიზუსტის კლასის მიხედვით.

2. სიმძლავრის დანაკარგები ხელსაწყოში უნდა იყოს რაც შეიძლება ნაკლები.

3. ხელსაწყოს სკალა უნდა იყოს შეძლებისდაგვარად თანაბარი.

4. ხელსაწყოს უნდა ჰქონდეს რხევის დაწყნარების კარგი თვისება ისრის გადაადგილების დროს და კარგი იზოლაცია.

5. ხელსაწყომ უნდა გაუძლოს გადატვირთვას გაზომვის დროს.

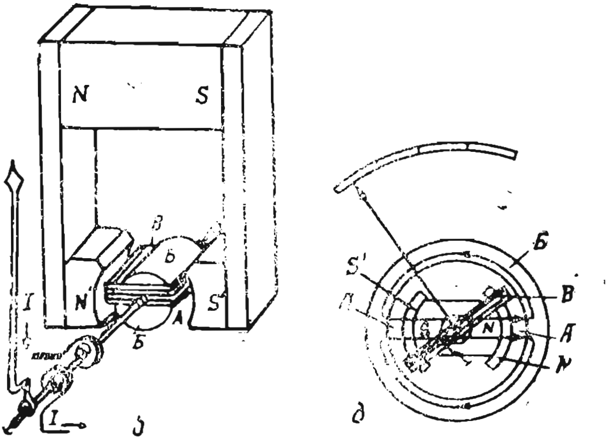
ბ-3. ხელსაწყოთა საზომი მექანიზმები

უშუალო შეფასების ხელსაწყოთა ძირითად ნაწილს საზომი მექანიზმი (სმ) წარმოადგენს.

საზომი მექანიზმი — ეს არის ხელსაწყოს კონსტრუქციის ნაწილი, რომელიც ისეთი ელემენტებისაგან შედგება, რომელთა ურთიერთქმედება იწვევს მათს ურთიერთგადაადგილებას. საზომი მექანიზმის მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხის მიხედვით განისაზღვრება გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობა.

ა) მაგნიტოელექტრული საზომი მექანიზმი

საზომი მექანიზმის ორი ძირითადი ნაირსახეობა გარე მაგნიტითა და შიგა ჩარჩოსებრი მაგნიტით ნაჩვენებია ბ-1 ნახაზზე.



ნახ. ბ-1. მაგნიტოელექტრული საზომი მექანიზმები უძრავი მაგნიტით (ა) და შიგაჩარჩოსებრი მაგნიტით (ბ).

უძრავი ფოლადის ცილინდრისა ($Б$) და $N'S'$ საპოლუსო ბუნიკებს შორის საჰაერო ღრეჩოთი NS მაგნიტი ქმნის ერთგვაროვან რადიალურ მაგნიტურ ველს; ამ ველში მოთავსებულია მართკუთხა კოჭა — ჩარჩო B, რომელიც დამაგრებულია საყრდენებში დაყენებულ ნახევარღერძზე.

წინა ნახევარღერძზე დამაგრებულია საჩვენებელი ისარი, რომლის თავისუფალი ბოლოს ქვეშ მოთავსებულია სკალა; ჩარჩოს გრაგნილი შედგება მცირე კვეთის იზოლირებული გამტარებისაგან, რომლებიც გაანგარიშებულია ნომინალურ დენზე — 10—100 მა.

ჩარჩოში დენი შემოდის სპირალური ზამბარის საშუალებით. ეს დენი, ურთიერთქმედებს მაგნიტურ ველთან და ქმნის FF წყვილ ძალას (ნახ. 8-2), რომლებიც წარმოქმნიან **მაბრუნ მომენტს**. ამ მომენტის ზემოქმედებით ჩარჩო (მოძრავი ნაწილი) შემობრუნდება α კუთხით, რომლის დროს ის გაწონასწორდება ზამბარის დაჭიმულობით შექმნილი **უკუმოქმედი მომენტით**.

რადგან მაბრუნი მომენტი პროპორციულია $M=KI$ დენისა, ხოლო უკუმოქმედი მომენტი — ზამბარის დახვევის $M_{უკუ}=D\alpha$ კუთხისა, შეიძლება დავწეროთ

$$M=M_{უკუ}=KI=D\alpha, \tag{8-4}$$

სადაც K და D — პროპორციულობის კოეფიციენტებია.

ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარეობს, რომ მოძრავი ნაწილის შემობრუნების კუთხე

$$\alpha=\frac{k}{D}I=S_1I,$$

ხოლო დენი კოჭაში

$$I=\frac{D}{k}\alpha=C_1\alpha, \tag{8-5}$$

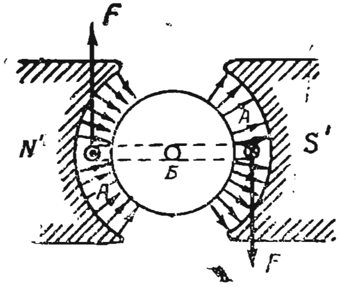
სადაც $S_1=\alpha/I$ არის ხელსაწყოს მგრძნობიარობა დენისადმი და განისაზღვრება დენის ერთეულის შესაბამისი სკალის დანაყოფთა რიცხვით;

$C_1=D/k=I/\alpha$ მუდმივია დენის მიმართ და ცნობილია თითოეული ხელსაწყოსათვის.

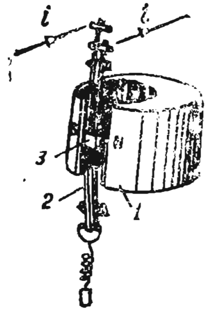
მაშასადამე, გასაზომი დენის მნიშვნელობა შეიძლება განვსაზღვროთ, შემობრუნების კუთხისა (აღრიცხვით სკალაზე) და დენის მიმართ C_1 მუდმივას ნამრავლით.

მამშვიდებელი ეწოდება მოწყობილობას, რომლის დანიშნულებაა შეამციროს მოძრავი ნაწილის რხევის დრო, რაც აღინიშნება გასაზომი სიდიდის თითოეული გაზომვის შემდეგ.

მაგნიტოელექტრულ საზომ მექანიზმებში გამოყენებულია **მაგნიტურ-ინდუქციური დამშვიდება**. მამშვიდებლად გამოყენებულია ჩარჩოს კარკასი. ჩარჩოს შემობრუნებისას იცვლება კარკასის გამჭოლი მაგნიტური ნაკადი. კარკასში დაინდუქციებული დენისა და მაგნიტური ველის ურთიერთქმედების შედეგად იქმნება ე. წ. **სამუხრუჭო მომენტი**, რომელიც უზრუნველყოფს დამშვიდებას.



ნახ. 8-2. მბრუნავი მომენტის მიღება მაგნიტოელექტრულ საზომ მექანიზმში.



ნახ. 8-3. მაგნიტოელექტრული ოსცილოგრაფის ვიბრატორი.

ცვლადი დენის დროს მაბრუნი მომენტი პროპორციულია დენის მყისი მნიშვნელობისა; სტანდარტული სიხშირის დროს მომენტი იცვლება იმდენად სწრაფად, რომ ინერციის გამო მოძრავი ნაწილი შემობრუნდება კუთხით, რომელიც პროპორციული იქნება მაბრუნი მომენტის საშუალო მნიშვნელობისა და, მაშასადამე, დენის საშუალო მნიშვნელობისაც ერთი პერიოდის განმავლობაში. სინუსოიდური დენის საშუალო მნიშვნელობა ნულის ტოლია და მოძრავი ნაწილი არ გადაიხრება. მაშასადამე, განხილული საზომი მექანიზმი გამოსადეგია მხოლოდ მუდმივი დენის წრედებში.

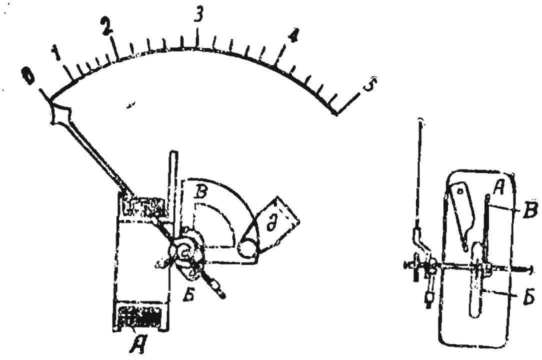
მაგრამ, თუ მუდმივი მაგნიტის (1) NS პოლუსებს შორის მოთავსებული საზომი მექანიზმის მოძრავ ნაწილს გავაკეთებთ ვიწრო მარყუჟის (2) სახით (ნახ. 8—3), მაშინ მარყუჟში ცვლადი დენის გავლის დროს მისი უმნიშვნელო ინერციის შედეგად, მარყუჟის შუა ნაწილი, რომელზეც სარკეა (3) დამაგრებული, შემობრუნდება დენის მყისი მნიშვნელობის პროპორციული კუთხით.

სარკიდან არეკლილი სხივის გადახრის ამპლიტუდით შეიძლება ვიმსჯელოთ დენის ძალაზე მარყუჟში.

მაგნიტოელექტრული სისტემის ასეთი საზომი მექანიზმებით სარგებლობენ ფოტოაფსკზე გასაზომი დენის მრუდის მისაღებად და დენის მრუდზე ვიზუალური დაკვირვებისათვის ოსცილოგრაფებში.

ბ) ელექტრომაგნიტური საზომი მექანიზმი

ე ლ ე ქ ტ რ ო მ ა გ ნ ი ტ უ რ ს ა ზ ო მ მ ე ქ ა ნ ი ზ მ ს (ნახ. 8-4) აქვს უძრავი კოჭა A და მოძრავი ნაწილი, რომელიც შედგება ღერძზე დამაგრებული ფოლადის გულარის $Б$, მაჩვენებელი ისრის, ზამბარებისა და მამშვიდებლის ალუმინის B სექტორისაგან.



ნახ. 8-4. ელექტრომაგნიტური ოსცილოგრაფის ვიბრატორი.

გასაზომი დენი გაივლის კოჭაში, დაამაგნიტებს გულარს და შეიზიდავს მას კოჭაში. მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხის მიხედვით განსაზღვრავენ დენის ძალას.

საზომი მექანიზმის მოძრავი ნაწილის შემობრუნებისას, M მაგნიტის ველში მოთავსებულ მამშვიდებლის B სექტორში აღიძვრება გრიგალური დენები; მათი ურთიერთქმედება ამავე მაგნიტის ველთან ქმნის სამუხრუჭო მომენტს, რომელიც იწვევს დამშვიდებას.

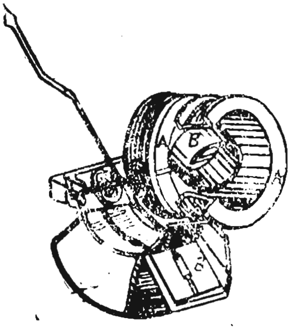
ელექტრომაგნიტური საზომი მექანიზმი გამოიყენება მუდმივი და ცვლადი დენების გასაზომად, რადგან გულარი შეიზიდება კოჭაში დენის ნებისმიერი მიმართულების დროს.

გულარის ნარჩენი ინდუქციის გამო მისი შემობრუნების კუთხე, დენის ერთნაირი მნიშვნელობისას, გაზრდისა და ვარდნის დროს შეიძლება სხვადასხვა იყოს, რაც იწვევს ცდომილებას ნარჩენი ინდუქციის გამო. მის შესამცირებლად გულარს ამზადებენ ისეთი მასალისაგან, რომელსაც მცირე ნარჩენი ინდუქცია აქვს (მაგალითად, პერმალოისაგან).

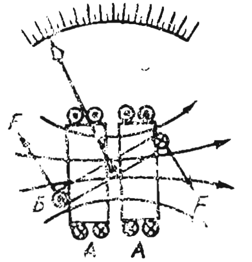
საზომი მექანიზმის ჩვენებაზე გარე მაგნიტური ველის გავლენის შემცირებას აღწევენ შემდეგი ღონისძიებით: 1) საზომ მექანიზმს უკეთებენ ფოლადის ეკრანით გარემოცვას ან ფარავენ გარსაცმით; 2) იყენებენ ასტატიკურ საზომ მექანიზმს ორი გულარით ერთ ღერძზე და, შესაბამისად, თანმიმდევრულად შეერთებული ორი კოჭათი. გასაზომი დენის მიერ კოჭებში შექმნილი ველები მიმართულია ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ. ამიტომ გარე ერთგვაროვანი ველი ასუსტებს ერთი კოჭას ველს და აძლიერებს მეორისას, რის შედეგად გარე ველის ზეგავლენა საკმაოდ სუსტი იქნება.

გ) ელექტროდინამიკური საზომი მექანიზმი

ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ი ნ ა მ ი კ უ რ ი საზომი მექანიზმი (ნახ. 8-5) შედგება ორი კოჭასაგან: A უძრავისა და $Б$ მოძრავისაგან. მოძრავი კოჭა, ისარი, საჰაერო მამშვიდებლის B ფრთა და ორი ზამბარის ბოლოები დამაგრებულია ერთ ღერძზე. კოჭებში გამავალ I_1 და I_2 დენებს შორის ელექტროდინამიკური ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრება მაბრუნი მომენტი (ნახ. 8-6), რომლის ზემოქმედებით მოძრავი ნაწილი შემობრუნდება α კუთხით; ამ დროს ის გაწონასწორდება ზამბარის უკუქმედი მომენტით.



ნახ. 8-5. ელექტროდინამიკური საზომი მექანიზმი.



ნახ. 8-6. მბრუნავი მომენტის მიღება ელექტროდინამიკურ საზომ მექანიზმში.

მუდმივი დენის წრედში მაბრუნი მომენტი და მოძრავი ნაწილის შემობრუნების კუთხე α პროპორციულია დენების ნამრავლისა, ე. ი.

$$\alpha = K_1 I_1 I_2. \tag{8-6}$$

ცვლადი დენის წრედში მყისი მაბრუნი მომენტი პროპორციულია დენების მყისის მნიშვნელობების ნამრავლისა. პერიოდის განმავლობაში საშუალო მაბრუნი მომენტი და მოძრავი ნაწილის შემობრუნების კუთხე დამოკიდებულია არა მარტო დენების მოქმედ მნიშვნელობაზე, არამედ მათ შორის ძვრის კუთხის კოსინუსზეც, ე. ი.

$$\alpha = K_1 I_1 I_2 \cos\varphi. \tag{8-7}$$

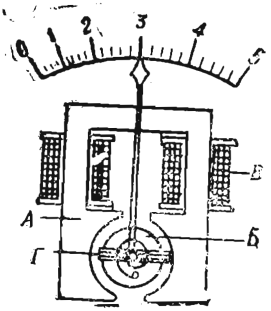
შემობრუნების ამ კუთხით განსაზღვრავენ გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობას.

საზომის სუსტ მაგნიტურ ველს სუსტი მაბრუნი მომენტი შეესაბამება და მაღალი სიზუსტის მისაღებად, რომელიც აქვს ამ საზომებს, აუცილებელია შევამციროთ ცდომილება, რომელიც საკისრების ხახუნითაა გამოწვეული. ამას აღწევენ მოძრავი ნაწილის მასის შემცირებითა და ღერძებისა და საყრდენების კარგად დამუშავებით.

გარე მაგნიტური ველის ზემოქმედების შემცირება შეიძლება მისი დაეკრანებით ან ასტატიკური საზომი მექანიზმის გამოყენებით. ელექტროდინამიკური საზომი მექანიზმები მგრძნობიარეა გადატვირთვისადმი.

დ) ფეროდინამიკური საზომი მექანიზმი

ფეროდინამიკურ საზომ მექანიზმში (ნახ. 8-7) A მაგნიტოგამტარი და უძრავი ცილინდრული $Б$ გულარი დამზადებულია ფურცლოვანი ფოლადისაგან. დენი $В$ კოჭაში აღძრავს მაგნიტურ ნაკადს, რომელიც ისრის ღერძზე დამაგრებულ მოძრავი კოჭას $Г$ დენთან ურთიერთქმედებს. ამგვარად, ასეთი საზომი მექანიზმის მუშაობის პრინციპი იგივეა, რაც ელექტროდინამიკური მექანიზმისა. ძალაში რჩება აგრეთვე (8-6) და (8-7) ფორმულები.



ნახ. 8-7. ფეროდინამიკური საზომი მექანიზმი.

ფოლადი მექანიზმში აძლიერებს მაგნიტურ ნაკადსა და მაბრუნ მომენტს, რაც უფრო მტკიცე კონსტრუქციის მიღების საშუალებას იძლევა. გარე ველი პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას საზომი მექანიზმის ჩვენებაზე.

8-4. დენისა და ძაბვის გაზომვა

ამპერმეტრის ჩვენებანი დამოკიდებულია მასში გამავალ $I_ა$ დენზე, ამიტომ რომელიმე მომხმარებელში დენის გასაზომად ამპერმეტრს ჩართავენ მომხმარებლის თანმიმდევრულად, ისე რომ $I_ა = I_{მომ}$ (ნახ. 8—8).

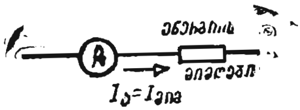
ამპერმეტრის ჩართვა არ უნდა მოქმედებდეს გასაზომ დენზე, ამიტომ მისი წინაღობა მცირე უნდა იყოს მომხმარებლის წინაღობასთან შედარებით. ამპერმეტრის მცირე $r_ა$ წინაღობას შეესაბამება მასში დანაკარგების მცირე ნომინალური სიმძლავრე: $P_{ა.ნომ} = I^2_{ა.ნომ} r_ა$.

ისეთი დენების გასაზომად, რომელიც აღემატება ამპერმეტრის გაზომვის ზღვრებს, იყენებენ საზომ გარდამსახებს, მუდმივი დენის შემთხვევაში — შუნტებს (§ 8-4), ცვლადი დენისათვის — დენის ტრანსფორმატორებს (§ 9-11).

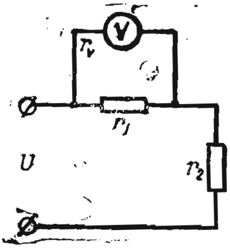
ვოლტმეტრი ზომავს მის მომჭერებზე მოყვანილ $U_ვ$ ძაბვას, ამიტომ რაიმე მომხმარებლის ძაბვის გასაზომად $U_{მომ}$ ვოლტმეტრის მომჭერებს აერთებენ მომხმარებლის მომჭერებთან (ნახ. 8-9).

ამ შემთხვევაში $U_ვ = U_{მომ}$ ვოლტმეტრის ჩვენება დამოკიდებულია მის $I_ვ$ დენზე. იმისათვის, რომ მათი $U_ვ$ ძაბვასთან დამოკიდებულება იყოს ერთნიშნა, ვოლტმეტრის წინაღობა უნდა იყოს მუდმივი, რადგან მხოლოდ ამ შემთხვევაში გვაქვს ტოლობა: $U_ვ = I_ვ r_ვ = I_ვ \, \mathrm{const}$. ანა-

ლოგიურად ნომინალური პარამეტრებისათვის მივიღებთ $U_{ვნ}=I_{ვნ}r_{ვ}$, ე. ი. ვოლტმეტრის წინაღობა პროპორციულია მისი გაზომვის ზედა ზღვრისა.



ნახ. 8-8. ამპერმეტრის ჩართვის სქემა.



ნახ. 8-9. ვოლტმეტრის ჩართვის სქემა.

ვოლტმეტრის ჩართვამ არ უნდა იმოქმედოს გასაზომ ძაბვაზე, ამიტომ ვოლტმეტრის წინაღობა დიდი უნდა იყოს ენერგიის მომხმარებლის წინაღობასთან შედარებით, რომლის პარალელურადაცაა ის ჩართული.

როცა ვოლტმეტრის $r_{ვ}$ წინაღობა დიდია, მისი ნომინალური დენი მცირეა და მცირეა დანაკარგების ნომინალური სიმძლავრეც, ვინაიდან

$$I_{ვნ}=\frac{U_{ვნ}}{r_{ვ}} \text{ და } P_{ვნ}=U_{ვნ}I_{ვნ}=\frac{U^2_{ვნ}}{r_{ვ}}.$$

საზომ მექანიზმთან საკმაოდ დიდი წინაღობის მქონე მანგანინის $r_{დ}$ დამატებითი რეზისტორის თანამიმდევრულად ჩართვა, რომელიც პრაქტიკულად უცვლელია, უზრუნველყოფს ვოლტმეტრის წინაღობის მუდმივობას $r_{ნ}=r_{დ}=r_{ვ}=\text{const}$ და მის ტემპერატურისაგან დამოუკიდებლობას.

ა) მაგნიტოელექტრული ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები

მცირე დენების გასაზომი მაგნიტოელექტრული ხელსაწყოები — გალვანომეტრები, მიკროამპერმეტრები და მილიამპერმეტრები წარმოადგენენ საზომ მექანიზმებს (ნახ. 8-1), რომელთა კოჭა მიერთებულია ხელსაწყოს მომჭერებთან, ხოლო სკალაზე დატანილია დენის სხვადასხვა მნიშვნელობის შესაბამისი დანაყოფები.

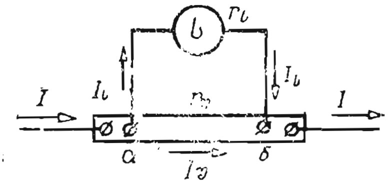
მაგნიტოელექტრული ამპერმეტრი — ეს არის საზომი მექანიზმი (ნახ. 8-1), რომელიც ხელსაწყოს ნომინალური დენის გასაზრდელად მიერთებულია შუნტის პარალელურად (ნახ. 8-10).

გასაზომი დენი იყოფა $I_{შ}$ შუნტის და $I_{საზ}$ საზომი მექანიზმის დენებად. ძაბვა $U_{(აბ)}$ განშტოებაზე (ნახ. 8-10)

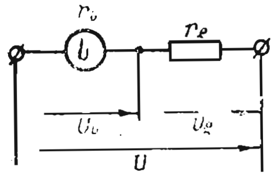
$$I_{საზ}r_{საზ}=I\frac{r_{საზ}r_{შ}}{r_{საზ}+r_{შ}},$$

საიდანაც გასაზომი დენი

$$I=I_{საზ}\frac{r_{საზ}+r_{შ}}{r_{შ}}=I_{საზ}p. \qquad (8-8)$$



ნახ. 8-10. საზომი მექანიზმი შუნტით.



ნახ. 8-11. საზომი მექანიზმი დამატებითი წინაღობით.

როცა საზომი მექანიზმისა და შუნტის წინაღობები ($r_{საზ}, r_{შ}$) უცვლელია, მაშინ I და $I_{საზ}$ დენებს შორის შენარჩუნებული იქნება მუდმივი შეფარდება, რაც საშუალებას მოგვცემს ისრის შემობრუნების კუთხის მიხედვით განვსაზღვროთ I დენი.

შუნტებს ათავსებენ ან ხელსაწყოს გარემოში, ან მის გარეთ (გარე).

მაგნიტოელექტრული ვოლტმეტრი — ეს არის საზომი მექანიზმი (ნახ. 8-1) თანამიმდევრულად მიერთებული დამატებითი რეზისტორით (ნახ. 8-11), რომელიც საჭიროა ძაბვის გაზომვის ზღვრების გასადიდებლად და ვოლტმეტრის წინაღობის მუდმივობის უზრუნველსაყოფად. მის სკალაზე დაიტანება ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობის შესაბამისი დანაყოფები

$$U_{ვ} = I_{საზ}(r_{საზ} + r_{დ}).$$

ვოლტმეტრის მომჭერებზე არსებული $U_{ვ}$ ძაბვის შეფარდება საზომი მექანიზმის $U_{საზ} = I_{საზ} \cdot r_{საზ}$ ძაბვასთან მუდმივია

$$p = \frac{U_{ვ}}{U_{საზ}} = \frac{r_{საზ} + r_{დ}}{r_{საზ}}. \qquad (8\text{-}9)$$

ტექნიკურ ვოლტმეტრებს აქვს ერთზღვრული დამატებითი რეზისტორი, ხოლო სანიმუშო და ლაბორატორიულ ვოლტმეტრებს — მრავალზღვრული, რაც საშუალებას გვაძლევს მისი ცალკეული ნაწილები გამოვიყენოთ გაზომვის სხვადასხვა ზღვრების მისაღებად.

ძაბვის გაზომვის ზღვრების გასაფართოებლად, ცვლადი დენის წრედებში დამატებითი რეზისტორების გარდა, იყენებენ საზომ გარდამსახებს — ძაბვის ტრანსფორმატორებს (§ 9-11).

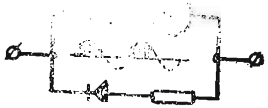
მაგნიტოელექტრული ხელსაწყოები მზადდება 0,1—2,5 სიზუსტის კლასებით.

ამ ხელსაწყოების თვისებებიდან შეგვიძლია აღვნიშნოთ: ისინი შეიძლება გამოვიყენოთ ცვლადი დენის წრედებში, აქვთ მაღალი მგრძნობიარობა, ტემპერატურისა და გარე მაგნიტური ველების უმნიშვნელო ზეგავლენა, თანაბარი სკალა, დანაკარგების მცირე სიმძლავრე და გადატვირთისადმი მგრძნობიარობა.

ბ) გამმართველიანი ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები

გამმართველიანი ამპერმეტრი შედგება მაგნიტოელექტრული სისტემის მექანიზმისაგან (ნახ. 8-11) და ცვლადი დენის მუდმივად სახით ნახევარგამტარიანი გარდამქმნელისაგან. ასეთი გამმართველ ვოლტმეტრს, ამის გარდა, აქვს კიდევ დამატებითი რეზისტორი.

უმარტივეს შემთხვევაში გამმართველი ამპერმეტრი (ნახ. 8-12) შედგება ნახევარგამტარული დიოდისა D (§ 10-4) და მაგნიტოელექტრული სისტემის მექანიზმისაგან. ასე რომ სისტემის მექანიზმში პერიოდის განმავლობაში გადის ცვლადი დენის მხოლოდ ერთი ნახევარპერიოდი. დენის ნახევარპერიოდ-ლი კი დიოდის უკუმიმართულებით ჩართულ მეორე შტოში.



ნახ. 8-12. უმარტივესი გამმართველი ამპერმეტრის სქემა.

ამ შემთხვევაში სისტემის ... მიმართულებით და ამპერმეტრის მაჩვენებელი ნაწილის მობრუნების კუთხე განისაზღვრება სისტემის მექანიზმში გამავალი დენის საშუალო მნიშვნელობით, რომელიც სინუსოიდური დენის დროს ეფექტური დენის მოქმედი მნიშვნელობისა. ამიტომ ეს მნიშვნელობები ამპერმეტრის სკალაზე, დენის მოქმედი მნიშვნელობების გასათვალისწინებლად გამოიყენება შუნტები.

დენის ფორმის დამოკიდებულების გამო, დენის მოქმედი მნიშვნელობა ... მოქმედი მნიშვნელობით, რომელიც ... აითვლება ხელსაწყოს სკალაზე.

გამმართველიანი ხელსაწყოები ... დენის ... რომლის სიხშირე 10 კჰც-მდე სიზუსტის კლასი 1,5–2,5.

გ) თერმოელექტრული ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები

თერმოელექტრული ამპერმეტრი შედგება მაგნიტოელექტრული სისტემის ... (ნახ. 8-13, ა) ... თერმოგარდამქმნელისაგან ... ვოლტმეტრს აქვს კიდევ დამატებითი რეზისტორი.

ნახ. 8-13. თერმოელექტრული ... და ამპერმეტრები.

თერმოწყვილი ... გამახურებელი H (ნახ. 8-13) და მასთან შედუღებული თერმოწყვილი T. ეს უკანასკნელი ... რომელიც ... მაგნიტოელექტრული სისტემის მექანიზმთან.

გასაზომი დენი გაივლის გამხურებელში, გაახურებს მას და თერმომეტრის მუშა ბოლოებს. ამის შედეგად მის თავისუფალ ბოლოებზე აღიძვრება თერმო-ემ ძალა, ხოლო საზომი მექანიზმის ჩარჩოში — დენი, რომლის ზემოქმედებითაც ჩარჩო შემობრუნდება კუთხით, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია გასაზომ დენზე. ამპერმეტრის სკალაზე დაიტანება გასაზომი დენის მნიშვნელობის შესაბამისი დანაყოფები, ხოლო ვოლტმეტრის სკალაზე — ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის შესაბამისი დანაყოფები, რომლებიც ვოლტმეტრის წინაღობის მუდმივობის გამო პროპორციულია დენის მოქმედი მნიშვნელობისა.

თერმოელექტრული ხელსაწყოები გამოიყენება ცვლადი დენის წრედებში 10—50 მჰც-მდე სიხშირით, 1,5—2,5 სიზუსტის კლასით.

დ) ელექტრომაგნიტური ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები

ელექტრომაგნიტური ამპერმეტრი — ეს არის საზომი მექანიზმი (ნახ. 8—4), რომლის სკალაზე დატანილია მის კოჭაში გამავალი დენის მნიშვნელობა. ამპერმეტრის კოჭას ამზადებენ გამტარისაგან, რომლის კვეთი შეესაბამება ნომინალურ დენს.

ელექტრომაგნიტური ვოლტმეტრი შედგება საზომი მექანიზმისაგან (ნახ. 8-4) 20—30 მა ნომინალურ დენზე, მანგანინის დამატებითი რეზისტორისა და სკალისაგან, რომელიც დაგრადუირებულია ძაბვის მნიშვნელობებზე.

წინაღობიანი დამატებითი რეზისტორის დროს, როცა საზომ მექანიზმს განუზომლად დიდი რეაქტიული წინაღობა აქვს, ვოლტმეტრის წინაღობა პრაქტიკულად აქტიურია და არაა დამოკიდებული ტემპერატურასა და სიხშირეზე.

მოძრავი ნაწილის შემობრუნების კუთხე დამოკიდებულია კოჭას დენზე და პროპორციულია მისი ძაბვის ვოლტმეტრის მომჭერებზე.

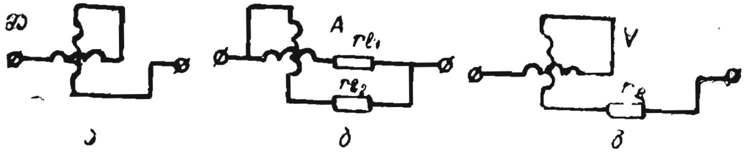
ელექტრომაგნიტური ხელსაწყოები გამოიყენება სამრეწველო სიხშირის ცვლადი დენის წრედებში, 0,5—2,5 სიზუსტის კლასით.

სიიაფის, სიმარტივისა და კონსტრუქციის საიმედოობის გამო ისინი ფართოდაა გამოყენებული ტექნიკური გაზომვებისათვის.

ე) ელექტროდინამიკური და ფეროდინამიკური ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები

ელექტროდინამიკური ამპერმეტრი შედგება საზომი მექანიზმისა (ნახ. 8-5) და პარალელურად შეერთებული კოჭასაგან (ნახ. 8-14, ბ). სკალაზე დატანილია ამპერმეტრში გამავალი დენის მნიშვნელობები.

ხახუნისაგან გამოწვეული ცდომილების შემცირების მიზნით საზომი მექანიზმის მოძრავი კოჭა მზადდება მსუბუქი, მცირე კვეთის გამტარისაგან.



ნახ. 8-14. ელექტროდინამიკური მილიამპერმეტრის, ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის კოჭების შეერთების სქემები (ა, ბ, გ).

უძრავი კოჭა მზადდება ისეთი გამტარისაგან, რომლის კვეთი განისაზღვრება ამპერმეტრის ნომინალური დენით.

მილიამპერმეტრებში კოჭები ერთდება თანამიმდევრულად (ნახ. 8-14,ა).

კოჭების თანამიმდევრულად შეერთების დროს მათში გადის გასაზომი დენი $I_1=I_2=I$ და ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის შემობრუნების კუთხე პროპორციულია დენის კვადრატისა (8—9)

$$\alpha = K_1 I_1 I_2 \cos\varphi = K_2 I^2. \qquad (8\text{-}10)$$

ამპერმეტრის კოჭების პარალელურად შეერთების დროს ისრის შემობრუნების კუთხე პროპორციულია დენის კვადრატისა (8-10), თუ დამატებით რეზისტორებს $r_{დ1}$ და $r_{დ2}$ შტოებში შევარჩევთ ისე, რომ I_1 და I_2 დენი მათში ემთხვეოდეს ერთმანეთს ფაზაში ($\varphi=0$) და თითოეული მათგანი პროპორციული იყოს გასაზომი I დენისა.

ელექტროდინამიკური ვოლტმეტრი შედგება საზომი მექანიზმისაგან, (ნახ. 8-5), რომლის კოჭები (ნომინალური დენი ტოლია 20—50 მა) დამატებით რეზისტორთან შეერთებულია თანამიმდევრულად (ნახ. 8-14, გ). ეს უკანასკნელი გამოიყენება ძაბვის გაზომვის ზღვრების გასაფართოებლად და ტემპერატურის, დენის სახისა და სიხშირის ზეგავლენის შესამცირებლად ვოლტმეტრის ჩვენებაზე.

ელექტროდინამიკური ხელსაწყოები მზადდება 0,1—0,5 სიზუსტის კლასებით სტანდარტული და ამაღლებული სიხშირის (2 კჰც-მდე) მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებისათვის. ისინი მგრძნობიარეა გადატვირთვის და გარე მაგნიტური ველისადმი. გარე მაგნიტური ველის ზეგავლენის შესამცირებლად გამოიყენება ეკრანები და ასტატიკური საზომი მექანიზმები.

ფეროდინამიკური ამპერმეტრები და ვოლტმეტრები უმთავრესად გამოიყენება ცვლადი დენის წრედებში როგორც თვითმწერი ხელსაწყოები. მათ იგივე შიგსაზომი სქემები აქვს, როგორც ელექტროდინამიკურ ხელსაწყოებს. ფეროდინამიკურ ხელსაწყოებს აქვს დიდი მაბრუნი მომენტი, მტკიცე და საიმედო კონსტრუქცია.

ისინი ნაკლებად მგრძნობიარეა გარე მაგნიტური ველისადმი. მათი სიზუსტის კლასია 1,5—2,5.

გ) ციფრებიანი ხელსაწყოები

ციფრებიანი ხელსაწყო წარმოადგენს ისეთ მოწყობილობას, რომელშიც გამუდმებით ცვლადი გასაზომი სიდიდე გარდაიქმნება დისკრეტულ სიდიდედ — სამ-ოთხნიშნიან რიცხვებად, რომლებიც გამოისახება მის ანათვლელ მოწყობილობაზე.

ციფრიანი ხელსაწყოები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ელექტრომექანიკურად, რომლებშიც გასაზომი სიგნალი გარდაიქმნება ელექტრომექანიკური მოწყობილობის მეშვეობით, და ელექტრონულად, რომლებშიც გამოყენებულია იმპულსური ტექნიკის მოწყობილობა.

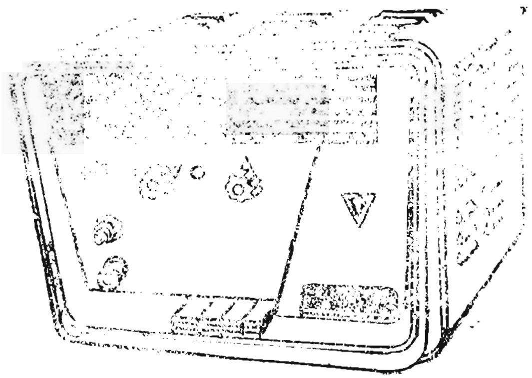
პირველი ჯგუფის ხელსაწყოებიდან ყველაზე გავრცელებულია ვოლტმეტრები და ომმეტრები, მეორე ჯგუფის ხელსაწყოებიდან — ვოლტმეტრები, სიხშირემზომები და ფაზომეტრები.

ციფრიან ვოლტმეტრებში გაზომვა ხდება გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობის შედარებით სანიმუშო ძაბვის მნიშვნელობასთან, ე. ი. ნულოვანი მეთოდით.

გასაზომი სიდიდის შემომყვან მომჭერებზე მიწოდებისას სტანდარტული ელექტრონული სქემის მეშვეობით ის ავტომატურად გარდაიქმნება ციფრობრივ ფორმაში. ამის შემდეგ ციფრებიანი ინდიკატორის მილაკი ჩართავს ნათურებს (იხ. ნახ. 12-13), რომლებიც მიუთითებენ გასაზომი სიდიდის რიცხობრივ მნიშვნელობას (ნახ. 8-15).

ციფრებიანი ვოლტმეტრები [illegible] 100 მკვ-დან 1 კვ-მდე. [illegible] არ აღემატება 1 %-ს [illegible] მილიონამდე.

ზუსტი ციფრებიანი ხელსაწყოების [illegible] (ცდომილება 0,01—0,1 %) [illegible].



ნახ. 8-15. Щ 1411 ციფრული ვოლტმეტრის საერთო ხედი.

ეს ხელსაწყოები გამომთვლელ მანქანებთან ერთად გამოიყენება საწარმოო პროცესების ავტომატური კონტროლისა და მართვისათვის.

ასეთი ხელსაწყოების ნაკლოვანებად ითვლება მათი მოწყობილობის სირთულე და მაღალი ღირებულება.

8-ა. სიმძლავრის გაზომვა

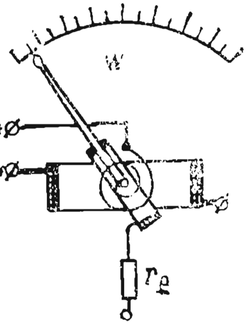
თუ გავზომავთ მუდმივი დენის წრედში U ძაბვას და I დენის ძალას, მისი სიმძლავრე შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$P=UI. \qquad (8\text{-}11)$$

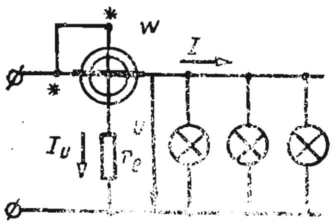
ეს სიმძლავრე აგრეთვე შეიძლება გაიზომოს ელექტროდინამიკური ვატმეტრით.

ელექტროდინამიკური ვატმეტრი შედგება იმავე სისტემის საზომი მექანიზმისაგან, რომლის სკალა დაგრადუირებულია სიმძლავრის მნიშვნელობებში. ვატმეტრის უძრავ კოჭას ეძახიან დენის, ანუ თანმიმდევრულს, რადგან ის ენერგიის მიმღებთან შეერთებულია თანმიმდევრულად (ნახ. 8-16 და 8-17)[1].

ვატმეტრის მოძრავი კოჭა და მანგანინის ურეაქტივო დამატებითი წინაღობა $r_{და}$ წარმოადგენს ძაბვის წრედს, ანუ ვატმეტრის პარალელურ წრედს, რადგან ის მომხმარებელთან, რომლის სიმძლავრე იზომება, შეერთებულია პარალელურად (ნახ. 8-17).



ნახ. 8-16. ელექტროდინამიკური ვატმეტრის მოწყობილობის სქემა.



ნახ. 8-17. ელექტროდინამიკური ვატმეტრის შეერთების სქემა.

---

[1] 8—17 ნახაზზე და შემდგომებში სქემის აღნიშვნებში ხაზგასმული ორი წრეწირი, შიგა — აღნიშნავს ორივე კოჭას ელექტროდინამიკურ საზომ მექანიზმს, ხოლო გარე — ხელსაწყოს გარსშემოს.

ელექტროდინამიკური საზომი ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე პროპორციულია მისი კოჭების დენების ნამრავლისა (8-6)

$$\alpha = K_1 I I_{\text{საზ}},$$

ხოლო, რადგან პარალელური წრედის $r_{\text{საზ}}$ წინაღობა მუდმივია, მისი დენი პროპორციულია $\left(I_{\text{საზ}}=\frac{U}{r_{\text{საზ}}}\right)$ ძაბვისა და ვატმეტრის მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე პროპორციულია სიმძლავრისა

$$\alpha = K_1 I I_{\text{საზ}} = K_1 \frac{1}{r_{\text{საზ}}} IU = K_{12} IU = K_{12} P. \tag{8-12}$$

ცვლადი დენის წრედის აქტიური სიმძლავრის გასაზომად ($P = UI\cos\varphi$) გამოიყენება ელექტროდინამიკური და ფეროდინამიკური ვატმეტრები.

ამ შემთხვევაში საზომი მექანიზმის მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე (8-7)

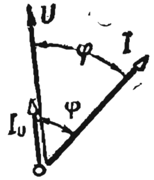
$$\alpha = K_1 I I_{\text{საზ}} \cos\varphi.$$

ვინაიდან დენი $I_{\text{საზ}}=\frac{U}{r_{\text{საზ}}}$ პარალელურ წრედში პროპორციულია ძაბვისა და ემთხვევა მას ფაზაში (ნახ. 8-18), ხელსაწყოს კოჭას დენებს შორის ძვრის კუთხე ტოლია U ძაბვისა და I დენს შორის ძვრის კუთხისა φ ფაზაში და, მაშასადამე, ვატმეტრის მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე პროპორციულია წრედის აქტიური სიმძლავრისა, ე. ი.

$$\alpha = K_1 I I_{\text{საზ}} \cdot \cos\varphi = K_1 \frac{1}{r_{\text{საზ}}} IU\cos\varphi = K_2 IU\cos\varphi = K_2 P. \tag{8-13}$$

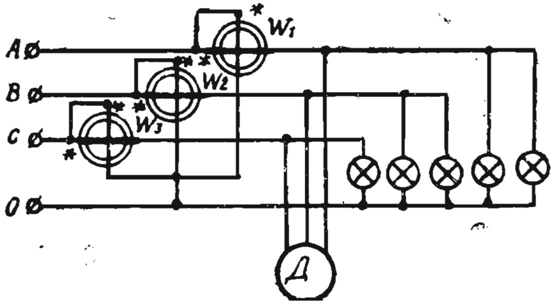
ვატმეტრის დენის კოჭას მომჭერს, რომელიც კვების წყაროსთანაა შეერთებული, ეწოდება გენერატორის მომჭერი, დენის კოჭასთან შეერთებულ პარალელურ წრედის მომჭერსაც უწოდებენ გენერატორის მომჭერს. გენერატორის მომჭერები ხელსაწყოზე აღინიშნება ვარსკვლავებით.

სქემების აკრების დროს არ შეიძლება ადგილი შევუცვალოთ დენის კოჭას მომჭერებს ან წრედის ძაბვის მომჭერებს, ვინაიდან ასეთი შეცვლა გამოიწვევს დენის მიმართულების შეცვლას, ანუ შესაბამისი დენის ფაზის შეცვლას 180°-ით, ხოლო ეს გამოიწვევს ვატმეტრის მოძრავი ნაწილის შემობრუნებას საწინააღმდეგო მიმართულებით.



ნახ. 8-18. ელექტროდინამიკური ვატმეტრის ვექტორული დიაგრამა

220 ვ-ზე მეტი ძაბვისა და 5ა-ზე მეტი დენის ცვლადი დენის წრედში ვატმეტრის ჩართვა ხდება საზომი ტრანსფორმატორის საშუალებით (§9-11).

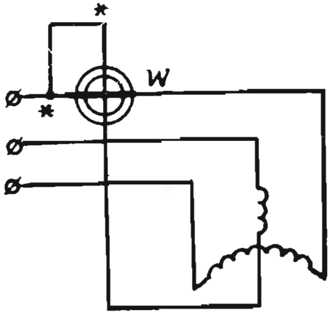


ნახ. 8-19. ვატმეტრების შეერთების სქემა ოთხსადენიანი სამფაზა წრედის სიმძლავრის გასაზომად.

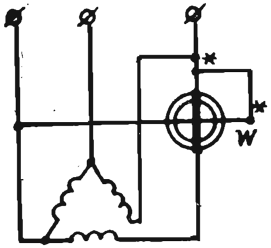
ორსადენიანი სამფაზიანი წრედის აქტიური სიმძლავრე

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A U_A \cos\varphi_A + I_B U_B \cos\varphi_B + I_C U_C \cos\varphi_C. \quad (8\text{-}14)$$

მათი გაზომვა ხდება სამი ვატმეტრით, რომლებიც 8—19 ნახაზზე სქემის მიხედვით არიან შეერთებული და უზრუნველყოფენ თითოეული ვატმეტრით თითო ფაზის სიმძლავრის გაზომვას. მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სამელემენტიანი ვატმეტრები, რომლებიც შედგებიან სამი უძრავი და სამი მოძრავი კოჭასაგან, რომლებიც ზემოქმედებენ მაჩვენებელი ისრის ღერძზე, რადგან ისინიც ამ ღერძზე არიან განლაგებული.



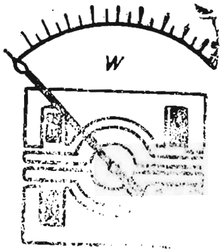
ნახ. 8-20. ვატმეტრის ჩართვის სქემა ძრავას სიმძლავრის გასაზომად მისადგომი ნულოვანი წერტილის დროს.



ნახ. 8-21. ვატმეტრის ჩართვის სქემა ძრავას სიმძლავრის გასაზომად, როცა ის შეერთებულია სამკუთხედად.

სამფაზიანი წრედის სიმძლავრე აითვლება უშუალოდ ხელსაწყოს სკალაზე. სამფაზიან სიმეტრიულ წრედში, თუ ვატმეტრით (ნახ. 8-20 და 8-21) გავზომავთ ერთი ფაზის სიმძლავრეს $P_W = P_ფ$ და გავამრავლებთ მას სამზე, ვიპოვით მთელი წრედის სიმძლავრეს $P = 3P_W = 3P_ფ$.

სამფაზიანი სამსადენიანი წრედის სიმძლავრე სიმეტრიული და არასიმეტრიული დატვირთვის დროს იზომება ორელემენტიანი ვატმეტრით.



ნახ. 8-22. ორელემენტიანი ვატმეტრის ჩართვის სქემა.

ვატმეტრი — და … ელექტროდინამიკური სისტემის ორელემენტიან ვატმეტრს აქვს დენის ორი უძრავი კოჭა და, შესაბამისად, ძაბვის ორი მოძრავი კოჭა, რომლებიც დამაგრებულია იმავე ღერძზე, რომელზედაც დამაგრებულია მაჩვენებელი ისარი (ნახ. 8-22).

სამფაზიანი წრედის მყისი სიმძლავრე ტოლია სამივე ფაზის მყისი სიმძლავრეების ჯამისა, ე. ი.

$$P = p_A + p_B + p_C = i_A U_A + i_B U_B + i_C U_C. \qquad (8\text{-}15)$$

თუ ამ გამოსახულებაში i_C-ს შევცვლით მისი მნიშვნელობით (7-…)-დან

$$i_C = -i_A - i_B \qquad (8\text{-}16)$$

მივიღებთ

$$p = i_A U_A + i_B U_B - i_A U_C - i_B U_C =$$
$$= i_A(U_A - U_C) + i_B(U_B - U_C) = i_A U_{AC} + i_B U_{BC} = P_1 + P_2. \qquad (8\text{-}17)$$

(8-17)-დან გამომდინარეობს, რომ სამფაზიანი წრედის მყისი სიმძლავრე შედგება ორი შემდგენისაგან P_1 და P_2.

ორელემენტიანი ვატმეტრი ჩავრთოთ (ნახ. 8-23) (8-17) გამოსახულების მიხედვით. პირველი ელემენტის დენის კოჭა ჩავრთოთ A ფაზის ჭრილში (დენი i_A), ხოლო მეორე ელემენტის დენის კოჭა — B ფაზის ჭრილში (დენი i_B). პირველი ელემენტის ძაბვის წრედი შევაერთოთ AC გამტართან (ძაბვა U_{AC}), ხოლო მეორე ელემენტის ძაბვის წრედი — BC გამტართან (ძაბვა U_{BC}). შეერთების ასეთი სქემის დროს მოძრავ ნაწილზე მოქმედი მყისი მომენტი პროპორციულია წრედის მყისი სიმძლავრისა, ხოლო მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე პროპორციულია საშუალო მაბრუნი მომენტისა, რომელიც, თავის მხრივ, პროპორციულია სამფაზიანი წრედის საშუალო, ანუ აქტიური სიმძლავრისა, ე. ი.

$$P = I_A U_{AC} \cos\varphi_{A-AC} + I_B U_{BC} \cos\varphi_{B-BC}, \qquad (8\text{-}18)$$

სადაც φ_{A-AC} და φ_{B-BC} ძვრის კუთხეებია I_A-სა და U_{AC}-ს და I_B-სა და U_{BC}-ს შორის.

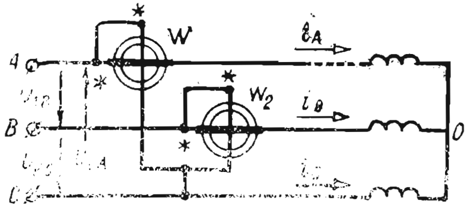
ზემოთ განხილული სქემა გამოიყენება მომხმარებელთა ნებისმიერი შეერთების დროს, ე.ი. როგორც ვარსკვლავად, ისე სამკუთხედად შეერთების დროს, რადგან ყოველგვარი სამკუთხედი შეიძლება შევცვალოთ ეკვივალენტური ვარსკვლავით.

ვატმეტრის ორი დენის კოჭები შეიძლება ჩართული იქნეს არა მარტო A და B გამტარებთან, არამედ სამფაზიანი წრედის ნებისმიერ ორ გამტართან. ვატმეტრის ძაბვის თითოეული წრედის გენერატორული მომჭერი

შეერთებული უნდა იყოს იმ ხაზურ სადენთან, რომელთანაც ჩართულია თავისი ელემენტის დენის კოჭა. ძაბვის წრედის არაგენერატორული მომჭერები უერთდება ხაზურ სადენებს, რომელშიც ვატმეტრის დენის კოჭები არაა ჩართული.

ორელემენტიანი ვატმეტრი შეიძლება შეცვლილ იქნეს ორი ერთფაზიანი ვატმეტრით, რომლებიც იმავე სქემით იქნებიან შეერთებული, როგორც 8-23 ნახაზზეა მოცემული. სამფაზიანი წრედის აქტიური სიმძლავრე ამ დროს განისაზღვრება მათი ჩვენების ალგებრული ჯამით.

ერთ-ერთი ვატმეტრის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით გადახრის დროს ამ ვატმეტრის პარალელური წრედის მომჭერებთან მიერთებული გამტარების პოლუსებს საჭიროა შევუცვალოთ ადგილები და მისი ჩვენება ჩავთვალოთ უარყოფითად.



ნახ. 8-23. ორელემენტიანი ვატმეტრის ჩართვის სქემა სამსადენიანი სამფაზა წრედის სიმძლავრის გასაზომად.

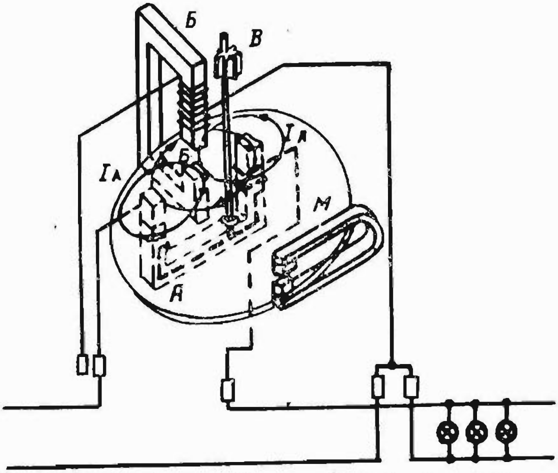
8-[illegible]. ელექტრული ენერგიის გაზომვა

ერთ- და სამფაზიან წრედებში დახარჯული ელექტრული ენერგია იზომება ინდუქციური მრიცხველებით. მუდმივი დენის წრედებში გამოიყენება ელექტროდინამიკური, ფეროდინამიკური და სხვა მრიცხველები.

ელექტრული მრიცხველი წარმოადგენს მაჯამებელ ხელსაწყოს. მისი ძირითადი განსხვავება ისრიანი ხელსაწყოსაგან მდგომარეობს იმაში, რომ მისი მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე განუსაზღვრელი ზამბარით თანდათან იზრდება და მრიცხველის ჩვენება ჯამდება. მრიცხველის მოძრავი ნაწილის თითოეულ ბრუნს შეესაბამება დახარჯული ენერგიის განსაზღვრული რაოდენობა.

ინდუქციური მრიცხველი (ნახ. 8-24) შედგება ორი ელექტრომაგნიტის ღერძზე დამაგრებული ალუმინის დისკოსაგან (*A*-ს თანამიმდევრული და *Б*-ს პარალელური), სამუხრუჭო *M* მაგნიტის და მრიცხველი მექანიზმისაგან, რომელიც მოძრაობაში მოდის *B* კბილანასაგან.

ელექტრომაგნიტების გრაგნილებში დენის გავლისას იქმნება ორი მაგნიტური ნაკადი, რომელიც გადაკვეთს დისკოს და დააინდუქციებს მასში I_A და $I_Б$ გრიგალურ დენს. I_A დენისა და $Ф_Б$ მაგნიტური ნაკადისა და



ნახ. 8-24. ინდუქციური მრიცხველის მოწყობილობისა და ჩართვის სქემა.

$I_Б$ დენისა და Φ_A ნაკადის ურთიერთქმედების შედეგად იქმნება M მაბრუნი მომენტი, რომელიც პროპორციულია მომხმარებლის სიმძლავრისა

$$M=K_1P, \tag{8-19}$$

რომლის ზემოქმედებითაც წარმოებს მრიცხველის დისკოს ბრუნვა.

სამუხრუჭო მაგნიტის ველში დისკოს ბრუნვის დროს, მასში დაინდუქცირდება გრიგალური დენი (ნახ. 8-24); ამ დენების ურთიერთქმედების შედეგად იმავე მაგნიტის ველთან აღიძვრება სამუხრუჭო მომენტი, რომელიც პროპორციულია დისკოს ბრუნვის n სიხშირისა, ე. ი.

$$M_{სამ}=K_2n. \tag{8-20}$$

მრიცხველის დისკოს ბრუნვის მუდმივი სიხშირის დროს მაბრუნი და სამუხრუჭო მომენტები ტოლია, ე. ი.

$$M=M_{სამ} \text{ ანუ } K_1P=K_2n,$$

საიდანაც მომხმარებლის სიმძლავრე

$$P=\left(\frac{K_2}{K_1}\right)n=Kn.$$

ამგვარად, მრიცხველის დისკოს ბრუნვის სიხშირე პროპორციულია სიმძლავრისა.

თუ ქსელში დაიხარჯა $W=Pt$ ენერგია, მაშინ ამავე დროში დისკო გააკეთებს N ბრუნს

$$W=Pt=Knt=KN. \tag{8-21}$$

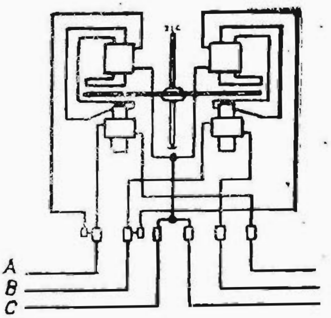
მაშასადამე, მრიცხველის ბრუნთა რიცხვი პროპორციულია დახარჯული ენერგიისა, ხოლო მრიცხველის დისკოს ერთი ბრუნვის დროს წრედში დახარჯულ ენერგიას ეწოდება მრიცხველის მუდმივა და გამოისახება ფორმულით

$$\frac{W}{N} = K. \tag{8-22}$$

წრედში დახარჯული ენერგიის რეგისტრირება ხდება მრიცხველის მთვლელი მექანიზმით. რაღაც დროში დახარჯული ენერგიის განსაზღვრისათვის დროის ბოლოში მრიცხველის ჩვენებას უნდა გამოვაკლოთ ამ დროის მონაკვეთის დასაწყისში მრიცხველის ჩვენება.

აქტიური ენერგიის მრიცხველები იყოფა სიზუსტის კლასებად: 1,2 და 2,5, ხოლო რეაქტიული ენერგიის მრიცხველები — სიზუსტის კლასებად 2 და 3 (ГОСТ 6570-60).

სამფაზიან ოთხსადენიან წრედში ელექტრულ ენერგიას ზომავენ სამელემენტიანი მრიცხველით. მას აქვს სამი ელექტრომაგნიტური სისტემა, ისევე, როგორც ერთფაზიან მრიცხველს, რომლებიც მოქმედებენ მრიცხველი მექანიზმის მამოძრავებელი კბილანას ღერძზე დამაგრებულ სამ დისკოზე. მრიცხველის ჩართვის სქემა იგივეა, რაც სამელემენტიანი ვატმეტრისა (ნახ. 8-19).



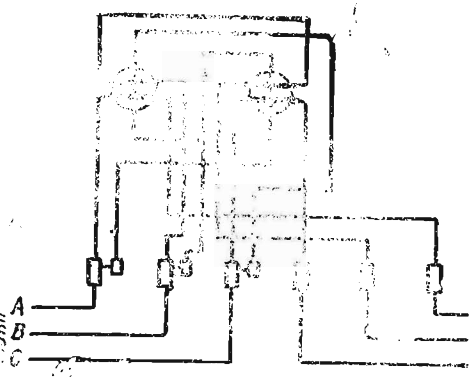
ნახ. 8-25. ორელემენტიანი ერთდისკოიანი მრიცხველის მოწყობილობისა და ჩართვის სქემა.

სამფაზიანი სამსადენიანი წრედის ენერგიას ზომავენ ორვალენტიანი ორდისკოიანი ან ერთდისკოიანი მრიცხველებით (ნახ. 8-25) ან წყვილი მრიცხველით (ორი ერთფაზიანით).

რეაქტიული ენერგიის გაზომვა სამფაზიან წრედებში ხდება რეაქტიული მრიცხველებით; მაგალითად, СР4-ИТР ტიპისა (ნახ. 8-26).

ეს მრიცხველი არის ინდუქციური ორელემენტიანი ორი გრაგნილით თითოეულ თანამიმდევრულ ელექტრომაგნიტზე. ეს გრაგნილები გულარებში აღაგზნებენ ისეთ მაგნიტურ ნაკადებს, რომლებიც პარალელური ელექტრომაგნიტების ნაკადთან ერთად ქმნიან მაბრუნ მომენტებს, ეს უკანასკნელი პროპორციულია რეაქტიული სიმძლავრისა. აღმრიცხველი მექანიზმი აქ უშუალოდ აღრიცხავს რეაქტიულ ენერგიას.

ვატმეტრებითა და მრიცხველებით დენისა და ძაბვის გაზომვის დიაპაზონის გაფართოება ხდება საზომი ტრანსფორმატორების მეშვეობით (§ 9—11).



ნახ. 8-26. СРЧ–ИТР ტიპის [illegible] [illegible] ჩართვის სქემა

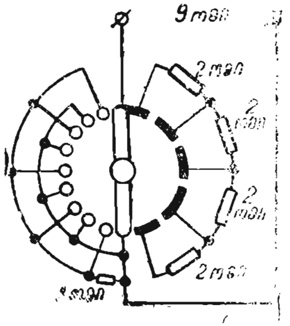
8-7. წინაღობის გაზომვა

ა) წინაღობის საზომი ხიდი

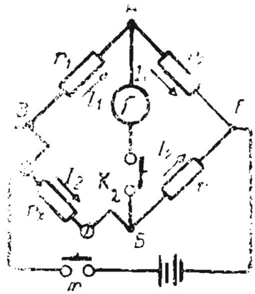
ელექტრული წინაღობის საზომად გამოყენებულია წინაღობის [illegible]-მეემა კოჭა.

განსაზღვრული სქემით შეერთებული წინაღობის კოჭების [illegible]. რიცხვებიც საერთო [illegible]ზმით ჩამჭიდებით. ეწოდება წინაღობის [illegible]ბილი (ნახ. 8-27).

წყობილი [illegible] [illegible] მეტეზგ[illegible] და [illegible]. [illegible] კოჭები [illegible] შეერთებებით, [illegible] — [illegible] [illegible]. [illegible] კოჭიან [illegible] წინაღობათა წყობილი[illegible] კოჭიან [illegible] (ნახ. 8-27) წინაღობის [illegible] [illegible] 0- [illegible]



ნახ. 8-27. მარეგულირებელი [illegible] წინაღობის წყობილი.



ნახ. [illegible] წინაღობის გაზომვა [illegible] ხიდი.

ომამდე თითო ომის საფეხურებით. ანალოგიური ლეკალები მზადდება 0.9; 9; 90; 900; 9000 ომი და მეტი წინაღობებით.

უიტსტონის საზომი ხიდი (ნახ. 3-25) შედგება სამი მხრისაგან — წინაღობის სამი r_1, r_2, r_3 წყობისაგან, რომლებიც მეოთხე მხართან ერთად — გასაზომი r_x წინაღობით — ქმნიან АГБВ შეკრულ კონტურს. В და Г წერტილებთან უერთდება კვების წყარო, ხოლო А და Б წერტილებთან — გალვანომეტრი. r_1, r_2 და r წინაღობების რეგულირებით აღწევენ გალვანომეტრის ისრის ნულოვან გადახრას, ამ შემთხვევაში (ხიდი გაწონასწორებულია) პოტენციალი А და Б წერტილებში ერთნაირია; მაშასადამე,

$$U_{АВ}=U_{БВ} \text{ და } U_{АГ}=U_{БГ}$$

ანუ

$$I_1r_1=I_2r_x \text{ და } I_1r_2=I_2r.$$

თუ ერთ ტოლობას წევრებს მეორის შესაბამის წევრებზე გავყოფთ, მივიღებთ

$$\frac{I_1r_1}{I_1r_2}=\frac{I_2r_x}{I_2r},$$

საიდანაც

$$r_x=\frac{r r_1}{r_2}. \qquad (3-23)$$

(3-23) ფორმულით გამოითვლება გასაზომი წინაღობა.

მცირე წინაღობების გაზომვის [illegible] ცდომილებას იწვევს მიერთებული გამტარების წინაღობა. ასეთ შემთხვევებში იყენებენ ორმაგ ხიდს (ტომსონის).

თუ ხიდის სამი მხრის წინაღობა და კვების ძაბვა [illegible], მაშინ გალვანომეტრის [illegible] დამოკიდებულია მხოლოდ [illegible]. [illegible] წინაღობის მნიშვნელობა [illegible] [illegible] [illegible].

ბ) წინაღობის გაზომვა ამპერმეტრით და ვოლტმეტრით.

[illegible] წინაღობის [illegible] [illegible] ამპერმეტრის [illegible] [illegible] წინაღობის, ე. ი.

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

[illegible] ჩართავენ [illegible].

გ) ომმეტრები

ხელსაწყოს, რომელიც უშუალოდ წინაღობის გასაზომად გამოიყენება, ეწოდება **ომმეტრი**, ანუ **მეგაომმეტრი**. ისინი იყოფიან ორ ჯგუფად: ომმეტრებად, რომელთა ჩვენება დამოკიდებულია კვების წყაროს ძაბვაზე, და ომმეტრებად, რომელთა ჩვენებაც არაა დამოკიდებული კვების წყაროს ძაბვაზე. როგორც პირველს, ისე მეორეს შეიძლება ჰქონდეს ორი საზომი სქემა — თანამიმდევრული და პარალელური.

პირველი ჯგუფის ომმეტრი თანამიმდევრული სქემით (ნახ. 8-29), წარმოადგენს მაგნიტოელექტრულ საზომ მექანიზმს დამატებითი $r_{\text{დ}}$ წინაღობით, რომელთანაც თანამიმდევრულადაა ჩართული გასაზომი r_x წინაღობა.

ომმეტრს აქვს დამოუკიდებელი კვების წყარო — მშრალი ელემენტების ბატარეა.

როცა K ღილაკი გამორთულია, დენი საზომ მექანიზმში

$$I = C_I\,\alpha = \frac{U}{r_x + (r_{\text{წყ}} + r_{\text{დ}})}, \tag{8-24}$$

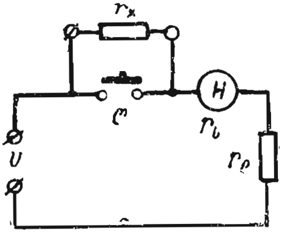
სადაც C_I-მუდმივია საზომი მექანიზმის დენის მიმართ.

(8-24)-დან შეგვიძლია მივიღოთ, რომ მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე

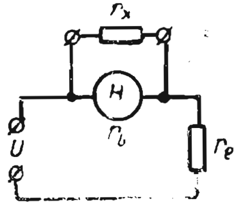
$$\alpha = \frac{U}{C_I} = \frac{1}{r_x + (r_{\text{წყ}} + r_{\text{დ}})}.$$

$(r_{\text{წყ}} + r_{\text{დ}})$ წინაღობა მუდმივია. თუ $\frac{U}{C_I}$ შეფარდებაც მუდმივი იქნება, მაშინ α კუთხე დამოკიდებული იქნება მხოლოდ გასაზომ r_x წინაღობაზე და ომმეტრის სკალაზე შეიძლება დავიტანოთ მისი მნიშვნელობა.

U/C_1 შეფარდების მუდმივობის შესანარჩუნებლად, როცა კვების წყაროს ძაბვა იცვლება, საჭიროა ვარეგულიროთ C_I, რასაც მივაღწევთ ჯაგნი-



ნახ. ბ-29. ომმეტრის მიმდევრობითი სქემა, რომლის ჩვენებები დამოკიდებულია კვების წყაროს ძაბვაზე.



ნახ. 3-30. ომმეტრის პარალელური სქემა, რომლის ჩვენებები დამოკიდებულია კვების წყაროს ძაბვაზე.

ტური შუნტის საშუალებით საზომის საჰაერო ღრეჩოში მაგნიტური ინდუქციის ცვლილებით. მაგნიტური შუნტი — ეს არის ფოლადის ფირფიტა, რომელსაც ხრახნის მობრუნებით მიუახლოებენ ან დააშორებენ საზომი მექანიზმის პოლუსების $N'S'$ ბუნიკებთან (ნახ. 8-1).

როცა ბატარეა და r_x წინაღობა ჩართულია, მაშინ C_l-ს რეგულირებისათვის შერთავენ K ღილაკს და მაგნიტური შუნტის მდებარეობას ცვლიან მანამ, ვიდრე ომმეტრის ისარი არ დადგება სკალის ნულოვან დანაყოფზე. გამორთავენ ღილაკს და აითვლიან სკალაზე გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობას.

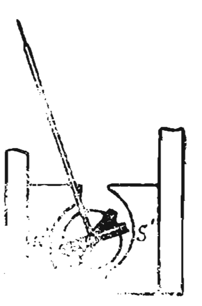
8—30 ნახაზზე მოყვანილია მეორე — იმავე ომმეტრის პარალელური სქემა, რომელშიაც გასაზომი r_x წინაღობა ირთვება საზომი მექანიზმის პარალელურად. შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ, როცა r_{Vg} და r_{φ} წინაღობები მუდმივია და $\frac{U}{C_l}$ შეფარდება უცვლელი, მაშინ მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხე ცალსახადაა დამოკიდებული გასაზომი წინაღობისაგან.

მეორე ჯგუფის ომმეტრებს აქვს ერთ ღერძზე ორჩარჩოიანი მაგნიტოელექტრული საზომი მექანიზმი (ნახ. 8—31). ჩარჩოებთან დენი მიჰყავთ ლენტების მეშვეობით, რომლებიც არ ქმნიან უკუქმედ მომენტებს.

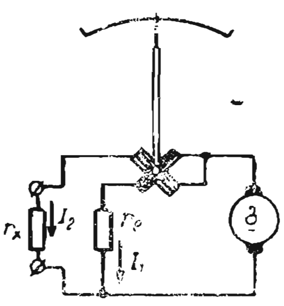
დენი ჩარჩოებში მიმართულია საწინააღმდეგოდ ისე, რომ მათი მაგნიტის ველთან ურთიერთქმედების შედეგად იქმნება სხვადასხვა მხარეზე მიმართული ორი მომენტი. ამ მომენტების სხვაობა იწვევს მოძრავი ნაწილის ისეთი კუთხით მობრუნებას, რომლის დროსაც მომენტები ერთმანეთს აწონასწორებენ.

მოძრავი ნაწილის მობრუნების კუთხეს განსაზღვრავენ ჩარჩოების დენების შეფარდებით, ე. ი.

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right).$$



ნახ. 8-31. ლოგომეტრის საზომი მექანიზმი.



ნახ. 8-32. ლოგომეტრის ომმეტრის სქემა.

საზომ მექანიზმებს, რომელთა მობრუნების კუთხე დამოკიდებულია დენების შეფარდებაზე, ეწოდება ლ ო გ ო მ ე ტ რ ე ბ ი.

ომმეტრის ლოგომეტრის (ნახ. 8-32) ერთი პარალელური შტო შედგება ჩარჩოსა და გასაზომი r_x წინაღობისაგან, ხოლო მეორე შტო — მეორე ჩარჩოსა და $r_დ$ დამატებითი წინაღობისაგან. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ დენი პარალელურ შტოებში მათი წინაღობების უკუპროპორციულად ნაწილდება, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{r_x}{r_დ}\right).$$

ვინაიდან $r_დ$ მუდმივია, მობრუნების კუთხე დამოკიდებულია მხოლოდ გასაზომ წინაღობაზე.

კვების წყაროდ ჩვეულებრივად გამოყენებულია ელექტროგენერატორი, რომლის ღუზა ბრუნავს ომმეტრის კორპუსში მოთავსებული მუდმივი მაგნიტების ველში, რომელსაც ხელით ვაბრუნებთ.

დ) იზოლაციის წინაღობის გაზომვა

ელექტრული დანადგარების იზოლაცია დროთა განმავლობაში თანდათან იცვლება. ამიტომ იზოლაციის წინაღობა აუცილებლად პერიოდულად უნდა იზომებოდეს.

ელექტროდანადგარების მოწყობილობის წესების თანახმად:

ა) გამანაწილებელი და ძალური ელექტროგამტარების იზოლაციის წინაღობის გაზომვა ხდება მეგომმეტრით, რომლის ძაბვა 1000 ვ-ია.

ბ) იზოლაციის უმცირესი წინაღობა დაიშვება 0.5 მომი.

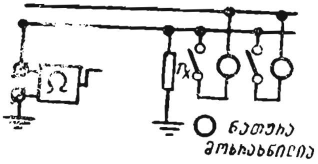
გ) იზოლაციის წინაღობა, როცა ჩართულია ყველა მიმღები (ან ამოღებულია დამცველების ჩამჭერები), ორ მეზობელ მცველს შორის ან უკანასკნელი მცველის შემდეგ ნებისმიერ სადენსა და მიწას შორის, ასევე შეიძლება ორ გამტარს შორის.

ქსელის იზოლაციის წინაღობის გასაზომად მეგომმეტრის Л-ით აღნიშნულ მომჭერს უერთებენ გამოსაცდელ გამტარს, ხოლო მეორე, З-თი აღნიშნულს, უერთებენ მიწას (ნახ. 8-33). ვაბრუნებთ მეგომმეტრის სახელურს და სკალაზე ვკითხულობთ მაჩვენებელს.

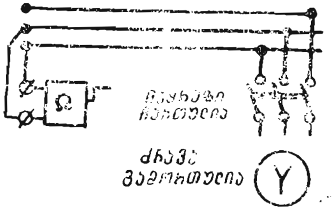
შევაერთებთ მეგომმეტრის Л მომჭერს მეორე გამტართან, ანალოგიურად განვსაზღვრავთ მეორე გამტარის იზოლაციის წინაღობას მიწასთან მიმართებით.

ორ გამტარს შორის იზოლაციის გასაზომად მათ უერთებენ მეგომმეტრის Л და З მომჭერებს (ნახ. 8-34).

ანალოგიურად შეიძლება გავზომოთ ელექტრული მანქანებისა და აპარატების იზოლაციის წინაღობა.



ნახ. 8-33. სადენის იზოლაციის ელექტრული მოწყობილობის წინაღობის გაზომვის სქემა.



ნახ. 8-34. სადენებს შორის იზოლაციის წინაღობის გაზომვის სქემა.

არაელექტრული სიდიდეების გაზომვა ელექტრული მეთოდებით

არაელექტრული სიდიდეების ელექტრული მეთოდებით გაზომვა ფართოდ გამოიყენება უწყვეტი გაზომვების შესაძლებლობის, მანძილზე გაზომვის, მაღალი სიზუსტისა და მგრძნობიარობის გამო.

უმეტეს შემთხვევაში არაელექტრული სიდიდეების გაზომვა დაიყვანება მისგან ცალსახად დამოკიდებულ ელექტრულ სიდიდედ გარდაქმნამდე, რომლის გაზომვაც განსაზღვრავს არაელექტრულ სიდიდეს.

სახომი მოწყობილობის ასეთ გარდამქმნელ ელემენტს ეწოდება პირველადი საზომი გარდამქმნელი, ანუ გადამწოდი.

პირველადი საზომი გარდამქმნელები იყოფა ორ ჯგუფად: პარამეტრულად, რომელიც არაელექტრულ სიდიდეს გარდაქმნის წრედის ერთ-ერთ r, L ან C პარამეტრად, და გენერატორულად, რომელშიც არაელექტრული სიდიდე გარდაიქმნება ემ ძალად.

უმეტესად გავრცელებულ პარამეტრულ გარდამქმნელებს მიეკუთვნება:

1. რეოსტატული გარდამქმნელი. მათი მუშაობა დამყარებულია რეოსტატის წინაღობის ცვლილებაზე, რომლის ცოცია გადაადგილდება გასაზომი არაელექტრული სიდიდის ზემოქმედებით, მაგალითად, სითხის დონე, ნაწილების სწორხაზოვანი გადაადგილება და ა. შ.

2. მავთულის გარდამქმნელები (ტენზო წინაღობები). მათი მუშაობა დამყარებულია ნახევარგამტარის ან მავთულის წინაღობის ცვლილებაზე მისი დეფორმაციის დროს.

3. გარდამქმნელები — თერმორეზისტორები (თერმოწინაღობები). მათი მუშაობა დამყარებულია გარდამქმნელის წინაღობის დამოკიდებულებაზე ტემპერატურისაგან.

4. ინდუქციური გარდამქმნელები. გასაზომი სიდიდის ზემოქმედებით მისი ერთ-ერთი ნაწილის მდგომარეობის შეცვლის

შედეგად გარდამქმნელის ინდუქციურობის შეცვლა გამოიყენება ძალის, წნევის და ნაწილების სწორხაზოვანი გადაადგილების გასაზომად.

5. ტ ე ვ ა დ უ რ ი გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ე ბ ი. გასაზომი არაელექტრული სიდიდეების: ძალის, წნევის სწორხაზოვანი ან კუთხური გადაადგილების, ტენის შემცველობის და ა. შ. ზემოქმედებით გარდამქმნელის ტევადობის ცვლილება გამოიყენება ამ სიდიდეების გასაზომად.

6. ფ ო ტ ო ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ე ბ ი (იხ. მე-18 თავი). ფოტოდენის მიღება, რომელიც დამოკიდებულია გასაზომ სიდიდეზე, ან ფოტოდენის იმპულსების მიღება, რომელიც დამოკიდებულია გასაზომ სიდიდეზე, ან ფოტოდენის იმპულსების მიღება, რომლის სიხშირე დამოკიდებულია გასაზომ არაელექტრულ სიდიდეზე, გამოიყენება განათებულობის, ტემპერატურის, სითხის გამჭვირვალობისა და ამღვრევის, ხაზოვანი ზომებისა და სხვა სიდიდეების გასაზომად.

გენერატორული გარდამქმნელები, მათი მუშაობის პრინციპის მიხედვით, იყოფა შემდეგ ჯგუფებად:

1. ი ნ დ უ ქ ც ი უ რ ი გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ე ბ ი. მათი მუშაობა დამყარებულია გასაზომი არაელექტრული სიდიდეების, მაგალითად, სიჩქარის, სწორხაზოვანი ან კუთხური გადაადგილების გარდაქმნაზე დაინდუქციებულ ემ ძალად.

2. თ ე რ მ ო ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ე ბ ი. თერმო ემ ძალის აღძვრას და მის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებას იყენებენ მის გასაზომად.

3. პ ი ე ზ ო ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ე ბ ი. პიეზოელექტრული ეფექტი, ანუ ზოგიერთ კრისტალში მექანიკური ძალის ზემოქმედებით ემ ძალის აღძვრა, გამოიყენება ამ ძალების, წნევისა და სხვა სიდიდეების გასაზომად.

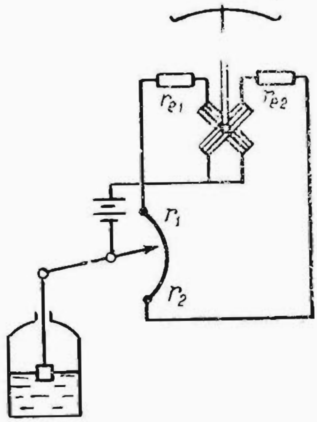
4. ფ ო ტ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ უ ლ ი გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ე ბ ი (იხ. მე-18 თავი). არაელექტრული სიდიდეების გასაზომი მოწყობილობები, რომლებიც შედგებიან გარდამქმნელის, მაერთებელი სადენების და საზომი მექანიზმისაგან, რომელიც დაგრადუირებულია გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობებში, ნამდვილად მნიშვნელოვნად რთულია, რადგან ისინი შეიცავენ კვების წყაროებს, სტაბილიზატორებს, გამმართველებს, გამაძლიერებლებსა და ა. შ.

მაგალითისათვის განვიხილოთ არაელექტრული სიდიდეების გაზომვის ზოგიერთი ზემოგანხილული მეთოდი.

ა) რეოსტატული გარდამქმნელები

რეოსტატული გარდამქმნელი წარმოადგენს რეოსტატს, რომლის ცოცია გადაადგილდება გასაზომი არაელექტრული x სიდიდის ზემოქმედებით.

რეოსტატული გარდამქმნელის გამოყენების მაგალითი სითხის დონის გასაზომად ნაჩვენებია 8-35 ნახაზზე. ტივტივას მდებარეობის ცვლილება, რაც დამოკიდებულია სითხის დონეზე, ცვლის r_1 და r_2 წინაღობებს, რომლებიც თანამიმდევრულადაა შეერთებული ლოგომეტრის კოჭებთან; კოჭებში დენების შეფარდების შეცვლა გამოიწვევს საზომი ხელსაწყოს ჩვენების შეცვლას.



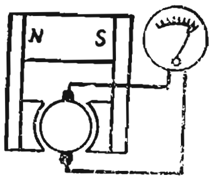
ნახ. 8-35. დონესაზომის სქემა.

ბ) ინდუქციური გარდამქმნელები

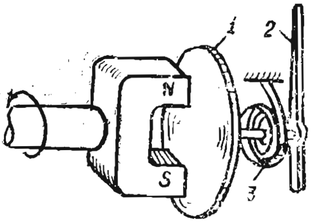
ინდუქციური ტაქომეტრი — ეს არის ბრუნვის სიხშირის გასაზომი ხელსაწყო, რომელშიც გასაზომი სიდიდე გარდაიქმნება მისი ემ ძალის პროპორციულ სიდიდედ. ტაქომეტრი წარმოადგენს მცირე გენერატორს, რომლის ღუზა ბრუნავს მუდმივი მაგნიტის მაგნიტურ ველში (ნახ. 8-36) და, მაშასადამე, რომლის ემ ძალა პროპორციულია ღუზის ბრუნვის სიხშირისა.

ღუზა მექანიკურად დაკავშირებულია მანქანის ღერძთან, რომლის სიჩქარე იზომება, ამიტომ ვოლტმეტრის ჩვენება, რომლის მომჭერები მიერთებულია ღუზასთან, პროპორციულია ბრუნვის გასაზომი სიხშირისა.

ინდუქციურ ტაქომეტრში NS მუდმივი მაგნიტი (ნახ. 8-37) მექანიკურადაა დაკავშირებული მანქანის ღერძთან, რომლის ბრუნვის სიხშირე იზომება მისი ბრუნვის დროს ალუმინის დისკოში (1), რომელიც ისრის (2) ღერძზეა დასმული, დაინდუქცირდება გრიგალური დენები. ამ დენების მუდმივი მაგნიტის ველთან ურთიერთქმედება ქმნის მაბრუნ მომენტს, რომელიც გამოიწვევს დისკოსა და მასთან ერთად მაჩვენებელი ისრის მობრუნებას კუთხით, რომლის დროს ეს მომენტი გაწონასწორდება ზამბარის (3) მომენტთან. ტაქომეტრის სკალაზე დატანილია ბრუნვის სხვადასხვა სიხშირის შესაბამისი დანაყოფები.



ნახ. 8-36. ინდუქციური ტაქომეტრის სქემა.



ნახ. 8-37. მბრუნავი მაგნიტური ველის მქონე ტაქომეტრის მოწყობილობა.

გ) თერმოელექტრული გარდამქმნელები

მაგნიტოელექტრული საზომი მექანიზმის თერმოწყვილთან შეხამებას, რომელიც ტემპერატურის გასაზომად გამოიყენება (ნახ. 8-38), თერმოელექტრული თერმომეტრი ეწოდება.

თერმოწყვილის მუშა ბოლოების გახურება იწვევს თერმო ემ ძალისა და დენს საზომი მექანიზმის წრედში, რომლის მოძრავი ნაწილის გადახრითაც განისაზღვრება გამოსასვლელი ტემპერატურა.

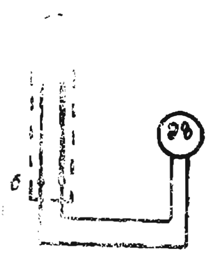
თერმოწყვილის გამტარები საკმაოდ გრძელი უნდა იყოს, რათა მათი თავისუფალი ბოლოები მოთავსდნენ ისეთ ტემპერატურიან არეში, რომლის მიხედვითაცაა დაგრადუირებული ხელსაწყო.

თერმოწყვილისათვის მასალებად გამოიყენება: სპილენძი-კონსტანტანი (300°C-მდე), სპილენძი-კოპელი (600°C-მდე), რკინა-კოპელი (800°C-მდე), ქრომელი-კოპელი (900°C-მდე), ქრომელი-ალუმელი (1300°C-მდე), პლატინა-პლატინოროდი (1600°C-მდე).

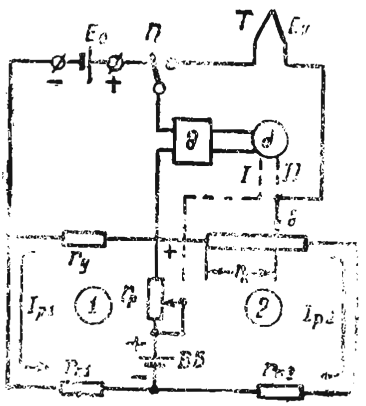
მექანიკური დაზიანებისა და აირების ზემოქმედებისაგან დასაცავად თერმოწყვილს ათავსებენ თიხის, ფოლადის, ფაიფურისა და სხვა მასალის დამცავ მილში.

თერმოელექტრული თერმომეტრების გარდა ფართოდ გამოიყენება ავტომატური კომპენსატორები, ანუ პოტენციომეტრები, რომლებიც თერმოწყვილის გასაზომი ემ ძალის ან ტემპერატურის მნიშვნელობათა უწყვეტი გაზომვისა და სადიაგრამე ქაღალდზე მათი ჩაწერის საშუალებას იძლევა. ერთ-ერთი ასეთი კომპენსატორის გამარტივებული სქემა მოყვანილია 8-39 ნახაზზე.

კომპენსატორის ორ (1) და (2) კონტურში გადის $I_{მ1}$ და $I_{მ2}$ მუშა დენები. $r_{მ.ო1}$ და $r_{მ.ო2}$ რეზისტორები საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვ-



ნახ. 8-38. თერმოელექტრული თერმომეტრის სქემა.



ნახ. 8-39. ავტომატური კომპენსატორის (პოტენციომეტრის) გამარტივებული სქემა.

რული შეფარდება მივიღოთ მუშა დენებს შორის. მუშა $I_{მ1}$ დენის საჭირო მნიშვნელობის დასამყარებლად II გადამრთველს აყენებენ საკონტროლო K მდგომარეობაში. ამ დროს პოტენციალთა სხვაობა სანიმუშო ელემენტის $E_{ნ}$ ემ ძალისა და $I_{მ1} \cdot r_{ნ}$ ძაბვის ვარდნას შორის, ე. ი. ძაბვა $U_{ძდ} = E_{ნ} - I_{მ1} r_{ნ}$ გაძლიერებულით გაძლიერების შემდეგ გადაეცემა რევერსიულ D ძრავას, რის შედეგად გამოიწვევს მისი როტორის ბრუნვას და რეოსტატის ცოცის გადაადგილებას. როტორის ბრუნვა გაგრძელდება მანამ, ვიდრე $I_{მ1}$ დენი არ მიაღწევს ისეთ მნიშვნელობას, რომლის დროს $U_{ძდ}$ ძაბვა ნულამდე არ შემცირდება. ამ დროს მუშა $I_{მ1}$ დენს ექნება საჭირო მნიშვნელობა. ამის შემდეგ II გადამრთველი ავტომატურად გადაიყვანება გაზომვის H მდგომარეობაში, ამავე დროს (წინაღობის) ძრავა გამოირთვება $r_{რ}$ რეოსტატის ცოცისაგან და ჩაირთვება $r_{ვ}$ რეოქორდის g ცოცისათან. III თერმოწყვილის E_x ემ ძალების სხვაობისა და რეოქორდზე ძაბვის ვარდნას ზემოქმედებით, ე. ი. D ძრავას ძაბვა $U_{ძდ} = E_x - I_{მ2} r_{ვ}$ გადააადგილებს რეოქორდის ცოცის E_x-სა და $I_{მ2} r_x$-ს კომპენსაციის მომენტამდე. რეოქორდის ცოცია მექანიკურადაა დაკავშირებული თვითმწერი ხელსაწყოს კალამთან და მაჩვენებელი ხელსაწყოს მაჩვენებელთან, რომლებიც აფიქსირებენ გასაზომი სიდიდეების მნიშვნელობას კომპენსაციის მომენტში.

მეცხრე თავი

ტრანსფორმატორები

9.1. ტრანსფორმატორების დანიშნულება

ტრანსფორმატორი ეწოდება სტატიკურ ელექტრომაგნიტურ აპარატს, რომლის დანიშნულებაა ერთი-ცვლადი დენის პირველადი სისტემა გარდაქმნას სხვა -მეორეულად, რომელსაც სხვა ძაბვა და დენი აქვს უცვლელი სიხშირის დროს. ამგვარად, ტრანსფორმატორი ღებულობს U_1 ძაბვის ენერგიას და I_1 დენს, ხოლო ტრანსფორმაციის შემდეგ მიიღება სხვა U_2 ძაბვის ენერგია და I_2 დენი.

თანამედროვე ენერგეტიკულ სისტემაში[1], თბოელექტროსადგურებში, რომლებიც განლაგებულია ისეთ რაიონებში, სადაც ნახშირის, ნავთო-

[1] ენერგეტიკული სისტემა ეწოდება სახელმწიფო ელექტროსადგურების ერთობლიობას, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზებით.

ბისა და აირის დიდი მარაგია, ან ჰიდროელექტროსადგურებში, სადაც დიდი მდინარეების ენერგიაა გამოყენებული, გამომუშავებული ელექტროენერგია გადაეცემა დიდ მანძილზე — 1000 კმ-მდე და მეტი.

ენერგიის ეკონომიკური გადაცემისათვის ძაბვა ელექტროგადამცემ ხაზებში საჭიროა ავამაღლოთ ათეულ და ასეულ კილოვოლტამდე, ხოლო მისი გამოყენების ადგილზე უნდა დავადაბლოთ საჭირო დონემდე. თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ ელექტროსადგურებში ელექტროენერგია გამოყენების ადგილამდე გზაში განიცდის სამ და ოთხჯერად ტრანსფორმაციას, საჭიროა ტრანსფორმატორის მქ კოეფიციენტი იყოს ძალიან მაღალი.

ტრანსფორმატორის გამომგონებლად ითვლება გამოჩენილი მეცნიერი და კონსტრუქტორი პ. იაბლოჩკოვი.

9-2. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის მოწყობილობა და მოქმედების პრინციპი

ტრანსფორმატორის მუშაობა დამყარებულია ურთიერთინდუქციის მოვლენაზე (იხ. § 3—18).

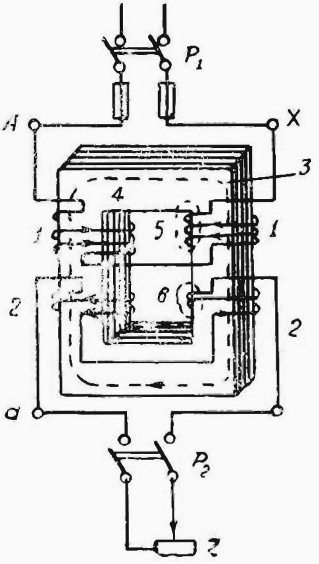
ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის მოწყობილობის გამარტივებული სქემა ნაჩვენებია 9-1 ნახაზზე. ტრანსფორმატორის ფოლადის ორმხრივ გალაქული ფურცლებისაგან აკრებილ მაგნიტოგამტარზე (3), რომელიც 4—5 % სილიციუმს შეიცავს, მოთავსებულია ტრანსფორმატორის (1) და (2) გრაგნილები. მკვებავი ქსელიდან ენერგია მიეწოდება (1) გრაგნილს, რომელსაც *პირველადი* ეწოდება.

P_1 სიმძლავრეს ეწოდება ტრანსფორმატორის *პირველადი სიმძლავრე*, ანუ *სიმძლავრე შემომყვანზე*. (2) გრაგნილი შეერთებულია Z ენერგიის მომხმარებელთან და ეწოდება *მეორეული*, ხოლო P_2 სიმძლავრეს — *მეორეული სიმძლავრე*, ანუ სიმძლავრე გამომყვანზე.

პ. ნ. იაბლოჩკოვი (1847—1894).

ჩვეულებრივად გრაგნილების ძაბვები ტოლი არაა. მეტ ძაბვაზე გაანგარიშებულ გრაგნილს *მაღალი ძაბვის გრაგნილი* ეწოდება, ხოლო მეორეს— *დაბალი ძაბვის გრაგნილი*. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის თითოეული გრაგნილი (ნახ. 9-1) შედგება ორი ნახევრისაგან, რომლებიც მოთავსებულია მაგნიტოგამტარის სხვადასხვა ღეროზე და ერთმანეთს ისეთნაირად უერ-

თდებიან, რომ მათი მაგნიტომამოძრავებელი ძალები იკრიბებოდეს და ერთ მთლიან მაგნიტურ ნაკადს ქმნიდეს. ამ Φ ნაკადის უდიდესი ნაწილი მაგნიტოგამტარის (3) გასწვრივ შეიკვრება და სასარგებლო ნაკადი (4) ეწოდება. ის ჩაჭიდებულია ორივე გრაგნილთან. მაგნიტური ნაკადის ნაწილს, რომელიც ჰაერში შეიკვრება და ჩაჭიდებულია მხოლოდ ერთ გრაგნილთან (5 ან 6) შესაბამისი გრაგნილის გაფანტვის ნაკადი ეწოდება.



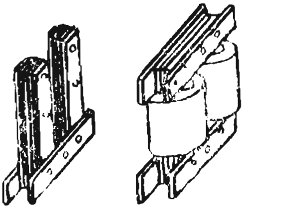
ნახ. 9-1. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორი.

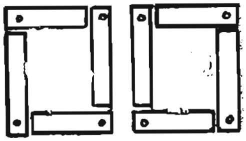
9-1 ნახაზზე პირველადი და მეორეული გრაგნილი ნახაზის გასამარტივებლად ნაჩვენებია ცალ-ცალკე, ჩვეულებრივად კი ისინი კონცენტრულადაა განლაგებული: დაბალი ძაბვის გრაგნილი ახლოსაა მაგნიტოგამტართან, ხოლო მაღალი ძაბვის — მისგან მოშორებით.

ტრანსფორმატორს ეწოდება დამდაბლებელი, თუ პირველადი ძაბვა მეტია მეორეულზე ($U_1 > U_2$), ხოლო საწინააღმდეგო შემთხვევაში ამმაღლებელი ($U_1 < U_2$).

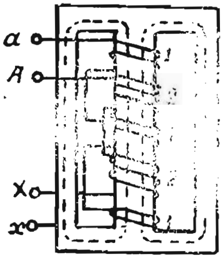
ერთფაზიან ტრანსფორმატორებში მაღალი ძაბვის მხარეზე გრაგნილების საწყისი და ბოლო აღინიშნება A და X ასოებით, ხოლო დაბალი ძაბვის მხარეზე—a და x ასოებით. სამფაზიან ტრანსფორმატორებში მაღალი ძაბვის გრაგნილების გამომყვანები აღინიშნება: საწყისები A, B, C ასოებით, ხოლო ბოლოები — X, Y, Z ასოებით, დაბალი ძაბვის გრაგნილებისა შესაბამისად a, b, c საწყისები და x, y, z — ბოლოები.

მაგნიტოგამტარის აწყობა ნაჩვენებია 9—2 ნახაზზე, ხოლო ცალკეული ფურცლების განლაგება ფენებში კი — 9—3 ნახაზზე. ფურცლების სისქე


ნახ. 9-2. ტრანსფორმატორის მაგნიტური წრედის აწყობა.


ნახ. 9-3. ფოლადის ფურცლების განლაგება აწყობის დროს.

ნახ. 9-4. ტრანსფორმატორის ღეროების კვეთები.



ნახ. 9-5. ჯავშნიანი ტრანსფორმატორი.

0,5-0,35 მმ-ია. ტრანსფორმატორის ღეროების კვეთის ფორმა აღნიშნულია 9-4 ნახაზზე.

არსებობს ტრანსფორმატორები, რომლებსაც მაგნიტგამტარები აქვს განშტოებული მაგნიტური წრედით (ნახ. 9-5).

ტრანსფორმატორის ნომინალური პარამეტრები: სიმძლავრე, ძაბვა, დენი, სიხშირე ნაჩვენებია საქარხნო ცხრილში. იმის გამო, რომ ტრანსფორმატორის მქ კოეფიციენტი მაღალია, ორივე გრაგნილის ნომინალურ სიმძლავრეებს პირობითად თვლიან ტოლებად

$$S_{1ნ}=S_{2ნ}.$$

§ 2. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის უქმი სვლა

თუ P_2 ჩამრთავი გამორთულია (ნახ. 9-1 და 9-6) და პირველად გრაგნილში (1) ($A—X$) მივაწოდებთ U_1 ნომინალურ ძაბვას, მივიღებთ რეჟიმს, რომელსაც ტ რ ა ნ ს ფ ო რ მ ა ტ ო რ ი ს უ ქ მ ი ს ვ ლ ა ე წ ო დ ე ბ ა.

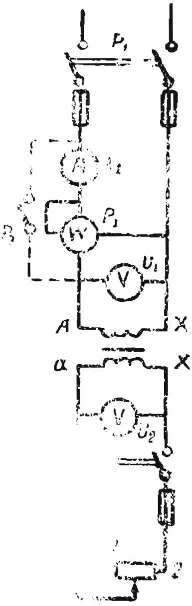
პირველადი U_1 ძაბვის ზემოქმედებით AX გრაგნილში გაივლის უქმი სვლის ცვლადი $I_{უქმ}$ დენი, რომელიც ნომინალური დენის 4—10%-ს არ აღემატება. შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ეს დენი შედგება $I_{რ.უქმ}$ რეაქტიული შემდგენისაგან, რომელიც ინარჩუნებს Φ_0 მაგნიტურ ნაკადს და $I_{ა.უქმ}$ აქტიური შემდგენისაგან, რომელიც პროპორციულია დანაკარგებისა ტრანსფორმატორში უქმი სვლის დროს, ე. ი.

$$I_{უქმ}=\sqrt{I^2_{ა.უქმ}+I^2_{რ.უქმ}}.$$

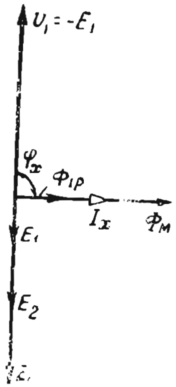
ვინაიდან უქმი სვლის დენი ნომინალურთან შედარებით ძალიან მცირეა და პირველად გრაგნილში მის გახურებაზე დაკარგულ სიმძლავრეს $I^2_{უქმ}\cdot r$ უგულებელყოფენ, თვლიან, რომ უქმი სვლის სიმძლავრე $P_{უქმ}=$

$=P_{ფ.ლ}+I^2_{უქმ}r \approx P_{ფ.ლ}$ დაახლოებით ტოლია დანაკარგების სიმძლავრისა ფოლადში.

ტრანსფორმატორის მაგნიტური ნაკადი იქმნება მაგნიტმამოძრავებელი ძალი-



ნახ. 9-6. ტრანსფორმატორის ჩართვის სქემა.



ნახ. 9-7. ტრანსფორმატორის უქმი სვლის ვექტორული დიაგრამა.

საგან $I_{რ\,უქმ}\,W_1$. მაგრამ ვინაიდან $I_{ა\,უქმ} < 0{,}1\ I_{უქმ}$, ტრანსფორმატორის მაგნიტმამოძრავებელ ძალად შეიძლება მივიღოთ $I_{უქმ}W_1 = F_{უქმ}$.

ვექტორულ დიაგრამაზე უქმი სვლის რეჟიმისათვის (ნახ.9-7) სებისძიერი მიმართულებით გადაღებულია უქმი სვლის დენი $I_{უქმ}$, ხოლო ფაზაში — მასთან მაპულსირებელი ნაკადის $\Phi_{მაქ}$ მაქსიმალური მნიშვნელობა. ამ ნაკადისაგან პირველად და მეორეულ გრაგნილებში აღიძვრება ემ ძალა [იხ. § 6.3, (6—11) ფორმულა].

$$E_1=4{,}44fW_1\Phi_{მაქს} \tag{9-1}$$

და

$$E_2=4{,}44fW_2\Phi_{მაქს}. \tag{9-2}$$

ეს ემ ძალები ნაკადისაგან ჩამორჩებიან 90° კუთხით. პირველადი გრაგნილის გაფანტვის ნაკადი $\Phi_{1გაფ}$, რომელიც ფაზაში იმყოფება $I_{უქმ}$ დენთან, აღძრავს მასში გაფანტვის ემ ძალას, რომელიც დენს ჩამორჩება 90° კუთხით

$$E_{1გაფ}=4{,}44fW_1\Phi_{1გაფ}, \tag{9-3}$$

როგორც ზემოთ გვქონდა (6-3),

$$E_{1გ}=I_1\omega L=I_{1უქმ}\ X_1, \tag{9-4}$$

სადაც X_1 არის გაფანტვის ნაკადით გამოწვეული პირველადი გრაგნილის ინდუქციური წინაღობა.

უქმი სვლის დროს ძაბვის ვარდნა $I_{უქმ}X_1$ პირველად გრაგნილში 0,5 U_1-ზე ნაკლებია და ის შეიძლება უგულებელვყოთ.

კირხჰოფის მეორე კანონის თანახმად, თუ ჩავთვლით, რომ $I_{უქმ}r_1 \approx 0$, ძაბვისა და ემ ძალის მყისი მნიშვნელობები ერთმანეთის ტოლია და ფაზაში დაძრული იქნებიან 180° კუთხით, ე. ი.

$$u_1 = -e_1.$$

ვინაიდან

$$u_1 = U_{1\,მაქს} \sin \omega t,$$

მაშინ

$$e_1 = -U_{1მაქს} \sin \omega t = U_{1\,მაქს} (\sin \omega t + 180^\circ).$$

მაშასადამე, ძაბვისა და ემ ძალის მოქმედი მნიშვნელობები ტოლია და ერთმანეთის საწინააღმდეგოდაა მიმართული (ნახ. 9-7). თუ $E_{1უქმ}$ უგულებელვყოფთ, გვექნება

$$U_1 = E_1 = 4{,}44 f W_1 \Phi_{მაქს}.$$

I_2 დენი და ძაბვის ვარდნა მეორეულ გრაგნილში ნულის ტოლია, ამიტომ u_2-სა და e_2-ს მყისი მნიშვნელობები ერთმანეთის ტოლია და, მაშასადამე,

$$u_2 = E_2 = 4{,}44 f W_2 \Phi_{მაქს}.$$

ხვიათა რიცხვების ან ემ ძალების შეფარდებას უწოდებენ **ტრანსფორმატორის** ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს, ე. ი.

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4{,}44\, f W_1 \Phi_{მაქს}}{4{,}44 f W_2 \Phi_{მაქს}} = \frac{W_1}{W_2}. \qquad (9\text{-}5)$$

ამ კოეფიციენტს ჩვეულებრივად განსაზღვრავენ ძაბვათა შეფარდებით უქმი სვლის დროს, როცა გრაგნილებში ძაბვის ვარდნას უგულებელყოფენ ე. ი.

$$K = \frac{U_{1\,უქმ}}{U_{2\,უქმ}}. \qquad (9\text{-}6)$$

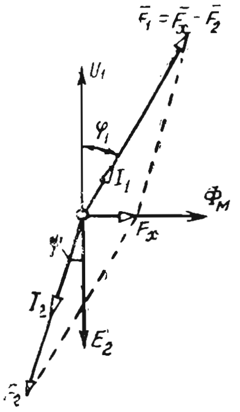
9-4. დატვირთული ტრანსფორმატორის მუშაობა და მაგნიტმამოძრავებელი ძალის (მმძ) დიაგრამა

თუ P_1 ჩამრაზი ჩართულია და ჩავრთავთ P_2 ჩამრაზს (ნახ. 9-1 და 9-6), მაშინ ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილთან ჩაირთვება Z ენერგიის მომხმარებელი. E_2 ემ ძალის ზემოქმედებით მეორეულ წრედში დამყარდება I_2 დენი, რომლის მოქმედი მნიშვნელობა და ძაბვა ლენცის კანონის თანახმად, ისეთია, რომ ინარჩუნებს ტრანსფორმატორის უცვლელ ნაკადს $\Phi_{მაქს}$. სხვანაირად რომ ვთქვათ, **დატვირთვის**

დროს $\Phi_{\text{მაგნ}}$ ნაკადი იქმნება ორივე გრაგნილის მმ ძალების ერთობლივი მოქმედებით

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 = \bar{F}_{\text{უქმ.}} \qquad (9\text{-}7)$$

ისეთნაირად, რომ $F_{\text{უქმ.}}$ პრაქტიკულად უცვლელი რჩება და ტოლია უქმი სვლის მმ ძალისა. ამის მიზეზი შემდეგია: E_1 ელექტრომამოძრავებელი ძალა პროპორციულია $\Phi_{\text{მაგნ}}$-სა ($E_1 \sim \Phi_{\text{მაგნ}}$), ხოლო, რადგან ძაბვის ვარდნა $I_1 r_1 < (2 \div 2{,}5\%)\, U_{1ნ}$, მაშინ ისინი შეიძლება უგულებელვყოთ და ჩავთვალოთ, რომ $E_1 \sim U_1$ და $F_{\text{მაგნ}} \sim U_{1ნ}$. აქედან დაახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ უცვლელი პირველადი ძაბვის დროს $\Phi_{\text{მაგნ}}$ მაგნიტური ნაკადი პრაქტიკულად მუდმივია და თითქმის მუდმივი რჩება მუშაობის ყველა რეჟიმის დროს.



ნახ. 9—8. ტრანსფორმატორის მმ ძალის ვექტორული დიაგრამა.

დატვირთული ტრანსფორმატორის მმ ძალის დიაგრამა ნაჩვენებია 9–8 ნახაზზე.

$\Phi_{\text{მაგნ}}$ მაგნიტური ნაკადი ფაზაში იმყოფება მმ ძალასთან $F_{\text{უქმ}}$. I_2-დენის ფაზაში, რომელიც E_2 ემ ძალისაგან ჩამორჩება ψ კუთხით, ნაჩვენებია F_2 მმ ძალა. იმისათვის, რომ $F_{\text{უქმი}}$ მმ ძალამ შეინარჩუნოს თავისი მნიშვნელობა, საჭიროა პირველადმა გრაგნილმა შექმნას მმ ძალა

$$F_1 = F_{\text{უქმ.}} + (-F_2).$$

ამ შემთხვევაში, თუ I_1 დენი მოცემულ მომენტში მიმართულია გრაგნილის თავიდან ბოლოსაკენ, I_2 დენი მიმართული იქნება ბოლოდან თავისაკენ და I_2 დენის მომატებასთან ავტომატურად უნდა გაიზარდოს I_1 დენიც.

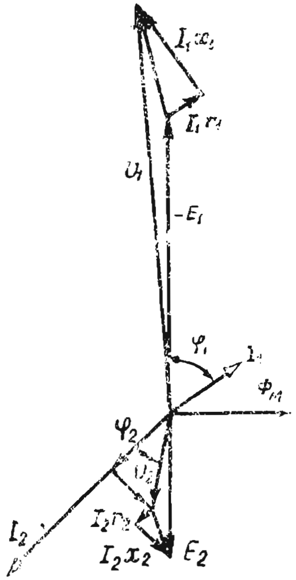
უქმი სვლის დროს მეტად მცირე სიმძლავრის კოეფიციენტი $\cos\varphi_1$ ($\cos\varphi_{\text{უქმი}} < 0{,}1$) დატვირთვის გაზრდასთან დენის აქტიური შემდგენის I_2 ხარჯზე იზრდება (φ_1 კუთხე ნაკლებია $\varphi_{\text{უქმი}}$ კუთხეზე).

თუ შედარებით მცირე $F_{\text{უქმ.}}$-ს უგულებელვყოფთ და ჩავთვლით, რომ $F_1 = F_2$, ე. ი. $I_1 W_1 = I_2 W_2$, მაშინ

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{K} = \frac{E_2}{E_1}. \qquad (9\text{-}8)$$

ამგვარად, ტრანსფორმატორის დენები უკუპროპორციულია ემ ძალებისა.

9-5. ტრანსფორმატორის ძაბვის ცვლილება დატვირთვის დროს



ნახ. 9-9. დატვირთული ტრანსფორმატორის ვექტორული დიაგრამა.

ისევე, როგორც ელექტროგენერატორში, ტრანსფორმატორშიც აუცილებელია ვიცოდეთ ძაბვის ცვლილება მეორეულ მომჭერებზე უქმი სვლიდან ნომინალურ დატვირთვაზე გადასვლის დროს. ის განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta U\% = \frac{U_{2უქმი} - U_{2ნ}}{U_{2ნ}} 100\% \qquad (9\text{-}9)$$

და მას ტრანსფორმატორის ძაბვის პროცენტულ ცვლილებას უწოდებენ. ეს სიდიდე, როცა $I_2 = I_{2ნ}$ და $\cos\varphi_2 = 1$, შეადგენს (2—3%) $U_{2ნომ}$.

დატვირთული ტრანსფორმატორის ძაბვის დიაგრამაზე, გრაგნილებში ნომინალური დენის დროს (ნახ. 9-9, ნახ. 6-9 და § 6—4), პირველადი გრაგნილის ემ ძალა E_1 ნაკლებია, ვიდრე უქმი სვლის დროს, ძაბვის ვარდნის ტოლი სიდიდით I_1r_1, რადგან $\dot U_1 = -\dot E_1 + (I_1r_1 + I_1x_1)$.

E_1-ის შემცირებისას მცირდება Φ_0 ნაკადი და მეორეული გრაგნილის ემ ძალა ნაკლები გახდება, ვიდრე უქმი სვლის დროს, ე. ი. $E_2 < E_{2უქმ}$.

დატვირთული ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის U_2 ძაბვა მიიღება მეორეულ გრაგნილში ძაბვის ვარდნის გამოკლებით არა უქმი სვლის $E_{2უქმ}$ ემ ძალისაგან, არამედ დატვირთული ტრანსფორმატორის E_2 ემ ძალისაგან, ე. ი.

$$U_2 = E_2 - (I_2r_2 + I_2x_2),$$

სადაც x_2 არის ინდუქციური წინაღობა, შექმნილი მეორეული გრაგნილის განბნევის ნაკადით. ამგვარად, (9-9) ფორმულა ითვალისწინებს ძაბვის დანაკარგებს ორივე გრაგნილში.

9-6. სიმძლავრის დანაკარგები დატვირთული ტრანსფორმატორის გრაგნილებში

სიმძლავრის დანაკარგები ტრანსფორმატორის გრაგნილებში დამოკიდებულია I_1 და I_2 დენებზე, გრაგნილების r_1 და r_2 აქტიურ წინაღობებზე და გამოითვლება ფორმულით

$$P_{გ} = I_1^2r_1 + I_2^2r_2.$$

ამ სიმძლავრის განსაზღვრა ხდება ტ რ ა ნ ს ფ ო რ მ ა ტ ო რ ი ს მ ო კ ლ ე დ შ ე რ თ ვ ი ს ც დ ი თ, რომელიც ტარდება 9-6 ნახაზზე მოყვანილი სქემის მიხედვით, თუ მეორეული გრაგნილი ჩართულია მოკლედ, ხოლო პირველადიდან მივიყვანთ ისეთ დაბალ ძაბვას $U_{მოკ}$, რომლის დროს გრაგნილებში დამყარდება $I_{1ნომ}$ და $I_{2ნომ}$ ნომინალური დენები. $U_{მოკ}$ ძაბვას ეწოდება მ ო კ ლ ე დ შ ე რ თ ვ ი ს ძ ა ბ ვ ა; ის არ აღემატება (5—10%) U_1, და ყოველთვის აღნიშნულია ტრანსფორმატორის ფარში. ასეთი ცდის დროს არა აქვს მნიშვნელობა რომელ გრაგნილს მივიღებთ პირველადად.

ამ ცდის დროს გაზომილი აქტიური სიმძლავრე იხარჯება დანაკარგების დაფარვაზე გრაგნილებში $P_{გნ}$ და ფოლადში მოკლედ შერთვის დროს $P_{ფოლ}$, რომლებიც ინდუქციის $B_{მაქს}$ სიმცირის გამო ისე მცირეა, რომ მათ უგულებელყოფენ. მაშასადამე, სრული სიმძლავრე მოკლედ შერთვის დროს

$$P_{მოკ.ნ} = P_{გნ} + P_{ფოლ.ნ} \approx P_{გნ}. \qquad (9\text{-}10)$$

ამგვარად, დატვირთული ტრანსფორმატორის სრული დანაკარგები, ნომინალური დენებისა და ძაბვის დროს

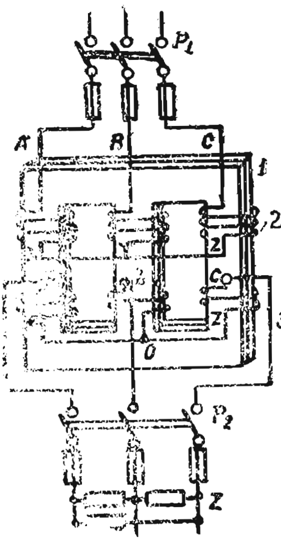
$$\Sigma P = P_{გნ} + P_{ფოლ.ნომ}. \qquad (9\text{-}11)$$

9-7. სამფაზიანი ტრანსფორმატორი

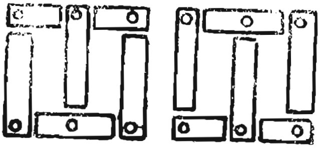
ქვესადგურებში ელექტრული ენერგიის განაწილებისათვის გამოიყენება სამფაზიანი ტრანსფორმატორები (ნახ. 9-10).

ტრანსფორმატორის მაგნიტგამტარი აიწყობა ფოლადის ფურცლებისაგან (§ 9-2) ისე, როგორც ნაჩვენებია 9-11 ნახაზზე. სამიდან თითოეულ ღეროზე კონცენტრულად განლაგებულია ერთი ფაზის პირველადი AX და BY; CZ და ax; by და cz მეორეული გრაგნილები. 9-10 ნახაზზე ისინი გარჩევის მიზნით განლაგებულია ღეროების გასწვრივ.

პირველადი და მეორეული გრაგნილები ერთდებიან ვარსკვლავად Y ან სამკუთხედად

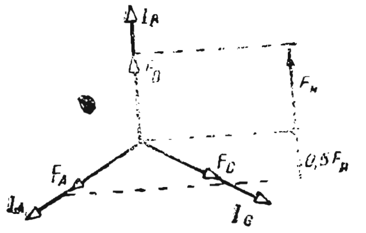


ნახ. 9-10. სამფაზიანი ტრანსფორმატორი.



ნახ. 9-11. ფურცლების განლაგება აწყობის დროს.

ГОСТ 11677—65-ის თანახმად, ტრანსფორმატორების შეერთება ხდება სქემით: ვარსკვლავა — ვარსკვლავაზე ნულოვანი სადენით (Y/Y_0), ვარსკვლავა — სამკუთხედად (Y/Δ) და ვარსკვლავა — ნულოვანი სადენით — სამკუთხედად (Y_0/Δ). მრიცხველში აღნიშნულია მაღალი ძაბვის გრაგნილის შეერთება, მნიშვნელში — დაბალი ძაბვის გრაგნილის შეერთება.



ნახ. 9-12. სამფაზა ტრანსფორმატორის მმ ძალის დიაგრამა.

თუ ცალკე განვიხილავთ (მმ) ძალის მიერ შექმნილ ნაკადს, რომელიც ტოლია

$F_A = I_A W_A$, $F_B = I_B W_B$; $F_C = I_C W_C$,

შევნიშნავთ, რომ AX ფაზის მაგნიტური ნაკადი (ნახ. 9-10) შეიკვრება B და C ღეროებში, BY ფაზის — A და C ღეროებში, CZ — A და B ღეროებში. როცა ყველა სამივე ფაზაში არსებობს დენი, ეს (მმ) ძალები იკრიბება 9-12 ნახაზის მიხედვით.

ტრანსფორმატორის ცხრილში გრაგნილების შეერთების სქემების ციფრებით აღნიშვნის გარდა, მოცემულია შეერთების ჯგუფების აღნიშვნებიც, მაგალითად, Y/Y_0 — 0, Y/Δ — 11. ჯგუფი გვიჩვენებს დაბალი ძაბვის გრაგნილის ხაზური ემ ძალის კუთხურ დაძვრას მაღალი ძაბვის გრაგნილის ემ ძალის მიმართ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით. ხომის ერთეულად მიღებულია 30°-იანი კუთხე. 0 ჯგუფის დროს კუთხე ტოლია 0°-ისა, ხოლო II ჯგუფის დროს — 330°-ის. მომხმარებლისათვის ამ ჯგუფს არა აქვს მნიშვნელობა. ის მხოლოდ გვეხმარება ტრანსფორმატორების პარალელურად ჩართვისა და მუშაობის შესაძლებლობის განსაზღვრისათვის.

ბევრ შემთხვევაში U_1 ძაბვის ქსელმა ერთდროულად უნდა კვებოს ორი სხვადასხვა ძაბვის მქონე ქსელი — U_2 და U_3. ამისათვის საჭიროა ორი ტრანსფორმატორი, რომელთა ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები

$$K_1=\frac{U_1}{U_2} \quad \text{და} \quad K_2=\frac{U_1}{U_3},$$

მაგრამ ამავე წრედისათვის იყენებენ ტრანსფორმატორს, რომელსაც აქვს ერთი, პირველადი მაღალი ძაბვის გრაგნილი და ორი მეორეული გრაგნილი: საშუალო ძაბვისა და დაბალი ძაბვის. ასეთ ტრანსფორმატორს ეწოდება სამგრაგნილიანი. მაგალითად, სამფაზიანი ტრანს-

ფორმატორი ნომინალური სიმძლავრით $S_{ნ}=6300$ კვ. ა და მაღალი ძაბვით 121 კვ, საშუალო ძაბვით — 38,5 კვ და დაბალი ძაბვით — 11 კვ.

სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორების გრაგნილები შეერთებულია შემდეგი სქემების მიხედვით: $Y_0/Y_0/\Delta$—0—11 ან $Y_0/\Delta/\Delta$—11—11.

გრაგნილების ნომინალური სიმძლავრეები ტოლია. სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორი უფრო ეკონომიკურია, ვიდრე ორი ორგრაგნილიანი ტრანსფორმატორი ცალ-ცალკე.

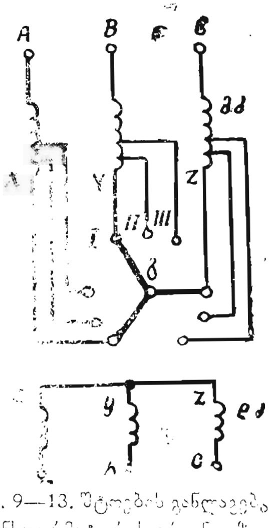
მრავალგრაგნილიან ტრანსფორმატორებს აქვს პირველადი და რამდენიმე მეორეული გრაგნილი, იმის მიხედვით, თუ რამდენი წრედი უნდა კვებოს და გამოიყენება, მაგალითად, რადიომიმღებებში, ტელევიზორებში, მაგნიტოფონებში და სხვ. ყველა გრაგნილი ამ დროს გაანგარიშებული უნდა იყოს შესაბამის ძაბვაზე.

9-. ტრანსფორმატორის ძაბვის რეგულირება

გენერატორის ძაბვის რეგულირება ხდება აგზნების დენის ცვლილებით ე. ი. მაგნიტური ნაკადისა და ემ ძალის ცვლილებით.

ტრანსფორმატორებში, როცა $U_{1ნ}$ პირველადი ძაბვა უცვლელია, $\Phi_{ძ.ძ}$ მაგნიტური ნაკადი და ემ ძალაც პრაქტიკულად უცვლელია და მეორეული ძაბვის რეგულირება შესაძლებელია მხოლოდ ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის ცვლილებით.

9-13 ნახაზზე მოყვანილია სამფაზიანი ტრანსფორმატორი, რომლის პირველადი, მაღალი ძაბვის გრაგნილის თითოეული ფაზიდან გ გადამრთველის კონტაქტებზე გამოყვანილია დამატებითი გამომყვანები, რომელიც ჩამონტაჟებულია ტრანსფორმატორის ავზში.



ნახ. 9—13. შტოების განლაგება ტრანსფორმატორის გრაგნილზე.

გადამრთველის სახელური მოთავსებულია გარედან ავზის სახურავზე. განშტოება გაკეთებულია ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის ცვლილების 5 % ზღვრებში.

პირველად წრედში ძაბვის ნომინალურზე დაბლა დაცემის შემთხვევაში გადამრთველით ამცირებენ ხვიათა რიცხვს (გადამრთველის III მდგომარეობა) ისეთნაირად, რომ მეორეული ძაბვა შენარჩუნებულ იქნეს ნომინალურ დონეზე.

მკვებავ წრედში ძაბვის ნომინალურზე ზევით ამაღლების დროს გადამრთველს აყენებენ I მდგომარეობაში. აღნიშნულ გადართვებს ახდენენ მხოლოდ გამორთულ ტრანსფორმატორებში, რაც შეფერხებას იწვევს მომხმარებლი-

სადმი ენერგიის მიწოდებაში. დატვირთვის დროს ძაბვის რეგულირებისათვის გამოიყენება სპეციალური გადამრთველი მოწყობილობა.

9-9. ავტოტრანსფორმატორები

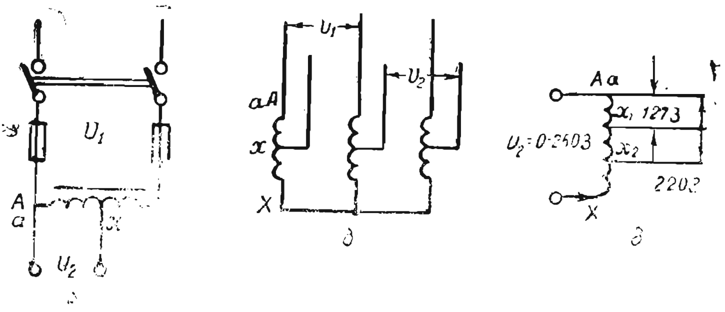
ავტოტრანსფორმატორი ეწოდება ტრანსფორმატორს, რომლის გრაგნილის ნაწილი ერთდროულად ეკუთვნის ორ წრედს — პირველადს და მეორეულს (ნახ. 9—14). ავტოტრანსფორმატორს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როცა ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი $0,5 \leqslant K \leqslant 2$.

ავტოტრანსფორმატორები გამოიყენება მაღალი ძაბვის ქსელების 500 და 220 კვ დასაკავშირებლად, ასინქრონული და სინქრონული ელექტროძრავების ასამუშავებლად, როგორც ძაბვის რეგულატორები ლაბორატორიებში და სხვა. ავტოტრანსფორმატორი მუშაობს შემდეგნაირად: ცვლადი დენის ქსელიდან AX პირველადი გრაგნილის კვების დროს (ნახ. 9—14. ა) მაგნიტგამტარში აღიძვრება მაგნიტური ნაკადი, რომელიც მასში აღძრავს E_1 ემ ძალას. ax უბანზე, რომელიც მეორეულ წრედს წარმოადგენს, დამყარდება მისი ხვიათა რიცხვის პროპორციული ძაბვა.

მეორეული წრედის I_2 დენი გადის ax უბანზე, ხოლო პირველადი წრედის I_1 დენი მთელ AX გრაგნილში. ამგვარად, პირველადი და მეორეული დენების შემხვედრი მიმართულების დროს გრაგნილის ax ნაწილზე გადის $I_{ax} = I_1 - I_2$ დენების სხვაობა, რაც საშუალებას გვაძლევს ამ გრაგნილისათვის გამოვიყენოთ უფრო ნაკლები კვეთის გამტარი.

9-14,ა ნახაზზე ნაჩვენები ტრანსფორმატორი დამდაბლებელია, რადგან $W_1 > W_2$. თუ ax მომჭერებზე მოვდებთ U_1 ძაბვას, მაშინ ის იქნება ამამაღლებელი $W_1 < W_2$. 9—14 ნახაზზე ნაჩვენებია სამფაზიანი დამდაბლებელი ავტოტრანსფორმატორი.

არსებობს ავტოტრანსფორმატორები ცვლადი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტით (ნახ. 9-14, ბ), რაც საშუალებას იძლევა ძაბვა მდოვრედ ვარეგულიროთ 0-დან 1,1 $U_{1ნ}$-მდე.



ნახ. 9-14. ავტოტრანსფორმატორები.

პირველადი გრაგნილის დამატებითი გამომყვანები საშუალებას გვაძლევს ტრანსფორმატორი ჩავრთოთ 127 და 220 ვ ძაბვის ქსელში.

მათში საკონტროლო გორგოლაჭი — X მომჭერი გორავს პირველადი გრაგნილის იზოლაციისაგან გასუფთავებულ გარე ნაწილზე, რაც საშუალებას გვაძლევს მდოვრედ ვცვალოთ მეორეული ძაბვა 1 ვ-ზე ნაკლები ინტერვალით.

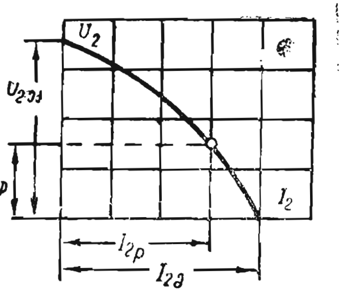
ყველა ავტოტრანსფორმატორის ძირითადი ნაკლოვანება ისაა, რომ მაღალი და დაბალი ძაბვის გრაგნილები ელექტრულად ურთიერთკავშირშია. მაღალი ძაბვის დროს ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს ღებულობენ 2—2,5-ზე ნაკლებს, ვინაიდან მეორეული წრედის იზოლაცია მიწასთან შედარებით ისეთივე უნდა იყოს, როგორიც პირველადისა.

ავტოტრანსფორმატორის ღირსებად ჩაითვლება ლითონის (სპილენძის) ნაკლები ხარჯი გრაგნილების მოწყობაზე, ნაკლები დანაკარგები მათ გახურებაზე და, მაშასადამე, ჩვეულებრივ ტრანსფორმატორთან შედარებით მაღალი მქ კოეფიციენტი.

9-10. ტრანსფორმატორები რკალური ელექტროშედუღებისათვის

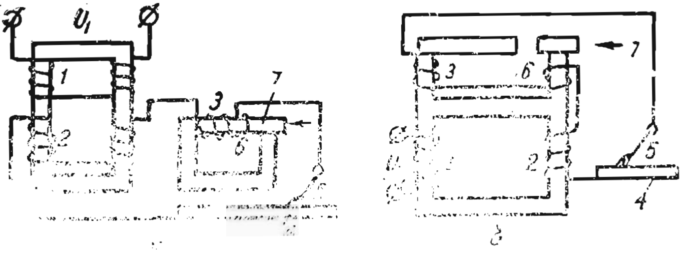
ჩვეულებრივი ტრანსფორმატორი რკალური ელექტროშედუღების მკვებავად სრულიად უვარგისია, იმიტომ, რომ ელექტრორკალის ანთებისა და ელექტროდების მოკლედ ჩართვის წინ აღიძვრება დაუშვებლად დიდი დენი (ნომინალურზე 15—20-ჯერ მეტი).

ელექტრორკალური შედუღების ტრანსფორმატორში მეორეული ძაბვა იცვლება $U_{2უქმ}=70$-დან უქმი სვლის დროს $U_{2უქმ}=0$-მდე მოკლედ შერთვის დროს, როცა ელექტროდი ეხება შესადუღებელ ნაწილს. $I_{2მოკ}$ — უკანასკნელ შემთხვევაში არ უნდა აღემატებოდეს I_2 მუშა დენს 20 — 40 %-ზე მეტით. ასეთი ტრანსფორმატორის გარე მახასიათებელი უნდა იყოს მკვეთრად ვარდებადი (ნახ. 9-15). მაშინ ძაბვის დიდი მერყეობის დროსაც კი, რომელიც გამოწვეულია ელექტრორკალის წინაღობის არამუდმივობით, I_2 დენი იქნება თითქმის უცვლელი, რაც აუცილებელია მაღალხარისხოვანი შედუღებისათვის. ძაბვის ასეთი ვარდნისათვის გამოიყენება ტრანსფორმატორები, რომელთა გრაგნილებს აქვთ განბნევის დიდი $\Phi_{გან}$ მაგნიტური ნაკადი ან მათ აკომპლექსირებენ ცალკე რეაქტორით ან უკეთებენ დამატებით გრაგნილს საერთო მაგნიტგამტარზე.



ნახ. 9-15. საშემდუღებლო ტრანსფორმატორის გარე მახასიათებელი.

პირველი სქემით დამზადებულ ტრანსფორმატორებში (ნახ. 9-16, ა)



ნახ. 9-16. ტრანსფორმატორი რკალური შედუღებისათვის.

პირველადი გრაგნილი (1) გათვლილია სტანდარტულ ძაბვაზე $U_1=220$ ვ ან 380 ვ.

მეორეული გრაგნილი (2), რომელიც თანამიმდევრულადაა შეერთებული ცალკე რეაქტიულ კოჭასთან (3), უქმი სვლის დროს არის ძაბვა $U_{2\,უქმ}=70$ ვ და $I_{2\,ნომ}$ ნომინალური მეორეული დენის დროს $U_2\approx30$ ვ. შედუღების დენს ელექტროდსა (5) და ნაკეთობას (4) შორის არეგულირებენ გულარის მოძრავი ნაწილის (7) გადაადგილებით, კოჭას (3) საჰაერო ღრეჩოს (6) ცვლით.

მეორე სქემით დამზადებულ ტრანსფორმატორებში (ნახ. 9-16, ბ) საერთო მაგნიტგამტარზე განლაგებული მეორეული გრაგნილი (2) და რეაქტიული კოჭა (3) დაკავშირებულია მაგნიტურად. მაგნიტგამტარის მოძრავ ნაწილს (7) იგივე დანიშნულება აქვს, რაც 9-16, ა ნახაზზე. შემდუღებელი ტრანსფორმატორის მქ კოეფიციენტი შეადგენს 80—90%-ს, ხოლო $\cos\varphi=0{,}52\div0{,}62$.

9-11. საზომი ტრანსფორმატორები

საზომი ტრანსფორმატორები გამოიყენება ცვლადი დენის წრედებში გაზომვის ზღვრების გასაფართოებლად. ამის გარდა, ეს ტრანსფორმატორები უზრუნველყოფს მომსახურე პერსონალის უსაფრთხოებას, რადგან საზომი ხელსაწყოები, რელეს კოჭები და ა.შ. იზოლირებულია მაღალი ძაბვის წრედებისაგან.

ამპერმეტრის, ვოლტმეტრისა და ენერგიის მრიცხველის ჩართვის სქემა საზომი ტრანსფორმატორის საშუალებით ნაჩვენებია 9-17 ნახაზზე.

ხელსაწყოთა ძაბვის ყველა წრედი მიერთებულია ძაბვის საზომი ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილთან, რომლის პირველადი გრაგნილი შეერთებულია მაღალი ძაბვის A, B, C წრედთან. მისი მეორეული გრაგნილი გათვლილია 100 ვ ნომინალურ ძაბვაზე. ძაბვის ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის გარე ხედი ნაჩვენებია 9-18 ნახაზზე. შემთხვევითი

მოკლე შერთვისაგან ტრანსფორმატორის დასაცავად ორივე გრაგნილის წრედებში ჩასმულია მდნობი მცველები.

ასეთი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

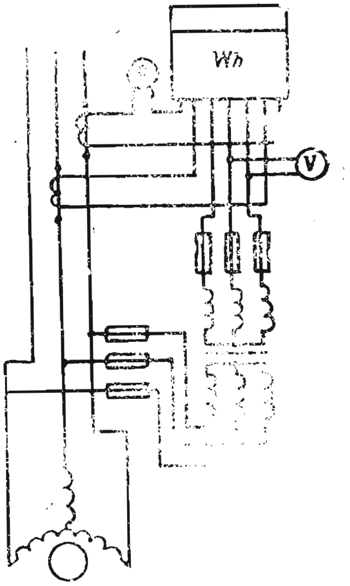
$$K_{ძაბ} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

შეიძლება ჩაითვალოს მუდმივად, მხოლოდ ნომინალური სიმძლავრის ზღვრებში.

მაშინ პირველადი ძაბვა

$$U_1 = K_{ძაბ} U_2 \qquad (9\text{-}12)$$

გაიზრდება დასაშვები ცდომილებით.



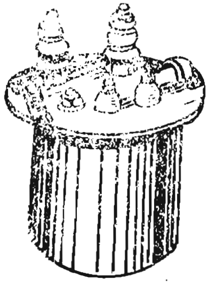
ნახ. 9-17. საზომი ტრანსფორმატორებისა და ხელსაწყოების ჩართვა.

თანამიმდევრულად ჩართული ამპერმეტრის, ვატმეტრისა და მრიცხველის წრედები უერთდება დენის ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილს. ეს გრაგნილები გაანგარიშებულია 5 ა ნომინალურ დენზე (ნახ. 9-17, 9-19).

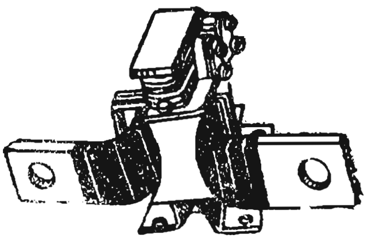
ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი, რომელიც ზოგჯერ ერთი-ორი ხვიისაგან შედგება, თანამიმდევრულად ირთვება გასაზომი დენის წრედში. მისი ტრანსფორმაციის $K_I = \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{W_2}{W_1}$ კოეფიციენტი უცვლელი იქნება მხოლოდ მაშინ, როცა ხელსაწყოების გრაგნილებისა და მაერთებელი გრაგნილების ჯამური წინაღობა არ აღემატება მოცემული ტრანსფორმატორისათვის დასაშვებს. ამ შემთხვევაში

$$I_1 = K_I I_2. \qquad (9\text{-}13)$$

დენის ტრანსფორმატორების მეორეულ წრედებში მცველები არ დაიდგმება. საქმე იმაშია, რომ მეორეულ წრედში მცველის გადაწვა F_2 მმ ძალის გაქრობას გამოიწვევდა უცვლელი F_1 მმ ძალის დროს. ვინაიდან მუშაობის დროს ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მიმართული ეს მმ ძალები (ნახ. 9—2) იძლეოდა ძალიან მცირე მარეზულტირებელ $F_{ჯამ.}$ მმ ძალას, F_2 მმ ძალის გაქრობა გამოიწვევს $F_{ჯამის}$ გაზრდას F_1-მდე. ტრანსფორმატორის მაგნიტური ნაკადი და გახსნილი მეორეული გრაგნილის ემ ძალა გაიზრდება საშიშ მნიშვნელობამდე (შესაძლებელია გულარის გადახურება, იზოლაციის გარღვევა და მომსახურე პერსონალის დენით დაზიანება).



ნახ. 9-18. საზომი ძაბვის ტრანსფორმატორი.



ნახ. 9-19. საზომი დენის ტრანსფორმატორი.

როცა საზომ ტრანსფორმატორებს მაღალი ძაბვის წრედში რთავენ, მათ მეორეულ გრაგნილსა და კორპუსს ამიწებენ.

ხელსაწყოების ჩართვის სქემა საზომი ტრანსფორმატორების გამოყენებით ნაჩვენებია 9-17 ნახაზზე.

9-12. ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ეწოდება გაცემული აქტიური სიმძლავრის, ანუ გამოსავალზე P_2 სიმძლავრის შეფარდებას შესავალზე მიყვანილ P_1 აქტიურ სიმძლავრესთან, ე. ი. თუ მქ კოეფიციენტს აღვნიშნავთ η-თი, გვექნება

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{ფლ} + P_{გრ}} 100\%, \qquad (9\text{-}14)$$

სადაც $P_{ფლ}$ არის დანაკარგები ფოლადში, რომელიც განისაზღვრება უქმი სვლის ცდით (§ 9-3);

$P_{გრ}$—დანაკარგები გრაგნილებში, რომლებიც განისაზღვრება მოკლედ შერთვის ცდით (§ 9-6).

ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი დამოკიდებულია მის დატვირთვაზე, რადგან ფოლადში დანაკარგები მუდმივია, ხოლო გრაგნილებში — დენის ძალის კვადრატის პროპორციული.

თუ სიმძლავრეთა შეფარდება გვაძლევს დატვირთვის კოეფიციენტს, ე. ი.

$$\frac{S_2}{S_ნ} = K_{დატ},$$

მაშინ ტრანსფორმატორის მქ კოეფიციენტი

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{K_{დატ} \cdot S_{2ნ} \cdot \cos\varphi_2}{K_{დატ} S_{2ნ} \cdot \cos\varphi_2 + P_{ფლ} + K^2_{დატ} P_{გრნ}}, \qquad (9\text{-}15)$$

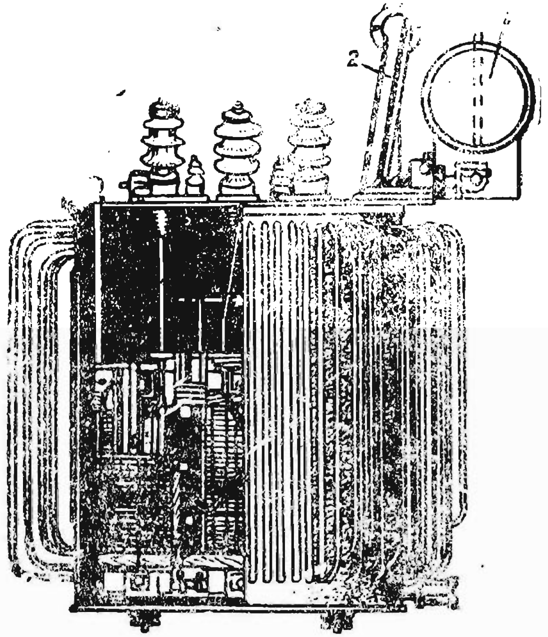
სადაც $P_{გრ.ნომ}$ — დანაკარგებია გრაგნილებში ნომინალური დენის დროს, განისაზღვრება მოკლედ შერთვის ცდით.

განგარიშებანი და ცდები გვიჩვენებენ, რომ ტრანსფორმატორის მქ კოეფიციენტი უდიდესი იქნება მაშინ, როცა დატვირთვის კოეფიციენტი $K_{დატ} \approx 0{,}7 \div 0{,}8$ და როცა დანაკარგები გრაგნილებში ტოლია დანაკარგებისა მაგნიტგამტარში.

9-13. ტრანსფორმატორის გაცხელება და გაცივება

ტრანსფორმატორის მუშაობის დროს მის მაგნიტგამტარსა და გრაგნილებში გამოიყოფა სითბო, რომელიც იწვევს ტემპერატურის ამაღლებას. ეს სითბო უნდა გამოვიყვანოთ გარემომცველ გარემოში. დასაშვები უდიდესი ტემპერატურა დადგენილია: გრაგნილებისათვის 105°C, მაგნიტგამტარის ზედაპირზე 110°C და გამაცივებელი ზეთის ზედა ფენებში 95°C, როცა გარემოს ჰაერის ტემპერატურა 35°C-ია.

ძალური ტრანსფორმატორები, როგორც წესი, ზეთით ცივდება, რომლის დროსაც გრაგნილები კარგად ცივდება და დაცულია დატენიანებისა და ჰაერის ჟანგბადის მავნე მოქმედებისაგან. ტრანსფორმატორს აქვს ფოლადის ავზი მინერალური ზეთით. 20—30 კვ. ა სიმძლავრის დროს ავზი კეთდება გლუვი, ხოლო დიდი სიმძლავრეებისათვის — მილოვანი, გაცივების ზედაპირის გაზრდის მიზნით (ნახ. 9-20). ავზის ზედა სახურავზე



ნახ. 9-20. ძალური ტრანსფორმატორის გარე ხედი.

გასასვლელი იზოლატორების გავლით გაკეთებულია გრაგნილების გამოსასვლელები.

100 კვ ა-ზე მეტი სიმძლავრის დროს, ხოლო, როცა ძაბვა 6300 ვ-ს აღემატება, ნაკლები სიმძლავრის დროსაც კი ავზს უნდა ჰქონდეს ზეთსაფართოებელი (I) (ნახ. 9-20), რომელიც ავზს უერთდება მილით.

გაცხელებისას ზეთის დონე ზეთსაფართოებელში მაღლდება, ხოლო გაცივებისას, პირიქით, დაბლდება. ზეთსაფართოებლის ტევადობამ, ყოველგვარი დატვირთვისას და ჰაერის ტემპერატურის — 35°C-დან +35°C-მდე ცვლილების დროს უნდა უზრუნველყოს ზეთის არსებობა ძირითად ავზში. ზეთის დონეს აკონტროლებენ ზეთმაჩვენებლით.

როცა სიმძლავრე $S > 1000$ კვ ა, ტრანსფორმატორებს აქვს გამომბოლქვი მილი (2), რომელიც შეერთებულია ავზთან და დახურულია გარედან მინის მემბრანით. ტრანსფორმატორის ავარიისა და ზეთის აორთქლების დროს წარმოქმნილი აირები გახსნის მემბრანას, რითაც ავზს იცავს გარღვევისაგან.

მეათე თავი

ცვლადი დენის ელექტრული მანქანები

10-1. ცვლადი დენის მანქანების დანიშნულება. ასინქრონული ელექტროძრავები

ელექტრული ენერგია, როგორც წესი, მიიღება, გადაეცემა და გამოიყენება დენის სამფაზიანი სისტემის სახით. ელექტროსადგურებში მექანიკური ენერგია სინქრონული გენერატორების საშუალებით გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად.

ელექტრული ენერგიის მექანიკურად გარდასაქმნელად სხვადასხვა ძალურ დანადგარებში უმთავრესად გამოიყენება ასინქრონული ელექტროძრავები.

1889 წელს მ. დოლივო-დობროვოლსკიმ გამოიგონა სამფაზიანი ასინქრონული ძრავა, რომელშიც გამოყენებულია მბრუნავი მაგნიტური ველი. იმ დროიდან ეს ელექტროძრავა, რომელიც ფართოდ გავრცელდა ყველა სხვა ელექტრულ მანქანებს შორის, თითქმის უცვლელად ინარჩუნებს თავისი მაშინდელი კონსტრუქციის ნაწილებს.

კონსტრუქციით მარტივი, იაფი და ექსპლუატაციაში საიმედო ამ ძრავას აქვს კარგი მექანიკური მახასიათებელი და მზადდება სიმძლავრით ვატის რაღაც ნაწილიდან ათას კილოვატამდე — 127, 220, 380, 500, 660,

3000, 6000 და 10000 ვ ძაბვისათვის. ის გამოიყენება მანქანებისა და მექანიზმების ასამოძრავებლად, რომლებიც არ მოითხოვენ მუდმივი ბრუნვის სიხშირესა და მის რეგულირებას. საყოფაცხოვრებო ელექტროდანადგარებში — მაცივრებში, იატაკსაპრიალებლებში, სარეცხ მანქანებში და სხვ. ჩვეულებრივად იყენებენ ერთფაზიან ასინქრონულ ძრავებს.

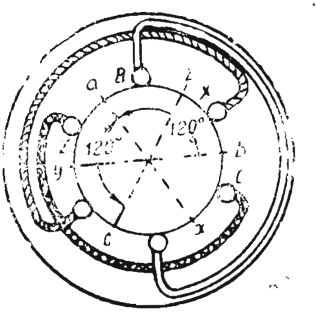
10-2. მბრუნავი მაგნიტური ველის მიღება

ცვლადი დენის მანქანები უმთავრეს შემთხვევაში, მუდმივი დენის მანქანებთან შედარებით, შებრუნებული წესით მზადდება, ე. ი. მათი ღუზის გრაგნილი კეთდება უძრავი (სტატორზე), ხოლო აგზნების გრაგნილი — მბრუნავი. დენების სამფაზიანი სისტემის დროს სტატორის დენი მანქანაში ქმნის მბრუნავ მაგნიტურ ველს, რომლის ბრუნვის სიხშირე დამოკიდებულია დენის f სიხშირესა და წყვილ პოლუსთა p რიცხვზე, რომელზეც დაკონსტრუირებულია გრაგნილი.

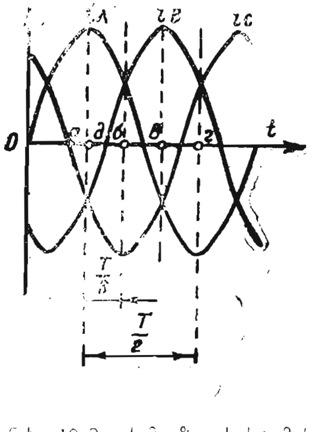
ქვემოთ ნაჩვენებია სტატორის გრაგნილი პოლუსთა რიცხვით $2p=2$, რომელიც, როცა გრაგნილებში დენის სიხშირე $f=50$ ჰც, ქმნის მაგნიტურ ველს, რომლის ბრუნვის სიხშირე $n=3000$ ბრ/წთ.

სამ AX, BY და CZ ერთნაირ უძრავ გრაგნილში, რომლებიც სტატორის შიგა ზედაპირზეა განლაგებული (ნახ. 10-1 და 10-3) $120°$ კუთხით ერთმანეთს შორის გადის სამფაზიანი სისტემის დენები, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ ფაზით დაძრული არიან ასევე $120°$ კუთხით. i_A, i_B, i_C დენების გრაფიკი მოყვანილია 10-2 ნახაზზე.

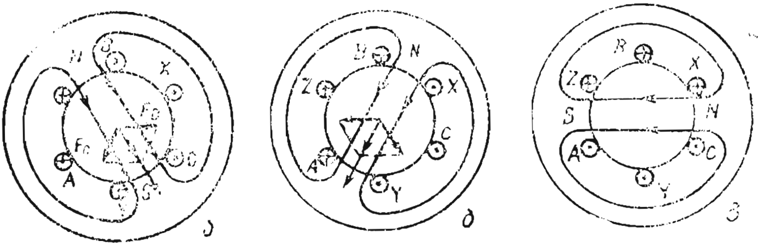
10-3 ნახაზზე, ისევე როგორც 10-1 ნახაზზე, თითოეული კოჭა ნაჩვენებია სქემატურად ერთი ხვიის სახით, კოჭების შუბლური (ტორსუ-



ნახ. 10-1. სამფაზა გრაგნილის მოწყობილობის პრინციპი.



ნახ. 10-2. სამფაზა სისტემის დენების მრუდები.



ნახ. 10-3. ა, ბ და გ დროის მომენტებში (ნახ. 10-2) მმ ძალის ბრუნვა.

ლი) ნაწილი გასამარტივებლად ნახაზზე არაა გამოსახული. დენის მიმართულება კოჭას თავიდან ბოლოსაკენ მივიღოთ დადებითად. ვიხელმძღვანელოთ ამით და დენების მიმართულებები თითოეულ კოჭაში ვაჩვენოთ 10-3 ნახაზზე დროის რამდენიმე ა, ბ, გ მომენტისათვის (ნახ. 10-2).

ა მომენტში დენი AX კოჭაში ყველაზე დიდია და დადებითი (ნახ. 10-2). დენები BY და CZ კოჭებში უარყოფითია, ერთმანეთის ტოლია და ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე დენი AX კოჭაში. ამგვარად, 10-3 ნახაზზე ა დენი კოჭას საწყისში (მომჭერი) მიმართულია ჩვენგან, ხოლო BY და CZ კოჭების B და C საწყისებში ჩვენკენ. ასევეა დატანილი დენები კოჭებში დროის ბ და გ მომენტებისათვის (ნახ, 10-2 და 10-3, ბ და გ).

ადვილად შეგვიძლია შევამჩნიოთ, რომ ველების მაგნიტური ხაზები, რომლებიც ერთნაირი მიმართულების დენებს მოიცავს ა, ბ და გ დროის მომენტებისათვის, ერთმანეთის მიმართ სივრცეში შემობრუნებული აღმოჩნდება საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით და ველი პერიოდის ერთი მეექვსედი ნაწილის განმავლობაში შემობრუნდება 60°-ით, ხოლო მთელი პერიოდის განმავლობაში — მთელი ბრუნით.

10-3 ნახაზზე შეიძლება აგრეთვე შევამჩნიოთ, რომ, როცა დენი რომელიმე ერთ კოჭაში მაქსიმალურ მნიშვნელობას [illegible], მაშინ ველის მიმართულება დაემთხვევა ამ კოჭას [illegible].

ამგვარად, თუ კოჭებში დავამყარებთ დენის [illegible] რიგითობას (A, B, C, A, 10-2 ნახაზზე), შეიძლება [illegible] ველის ბრუნვის მიმართულება. ველის ბრუნვის მიმართულების შესაცვლელად საჭიროა შევცვალოთ კოჭებში დენების მიმართულების ცვლის რიგითობა, ანუ ადგილები უნდა შევუცვალოთ სამიდან ორ [illegible] გამტარს, რომლებითაც გრაგნილი მიერთებულია ქსელთან. ამგვარადვე ხორციელდება ასინქრონული მანქანების რევერსირება.

10-3 ნახაზზე ნაჩვენებია ორპოლუსიანი ველი. თუ გრაგნილს დავამზადებთ ისე, რომ თითოეული ფაზა შედგებოდეს არა თითო კოჭასაგან, როგორც 10-1 ნახაზზე იყო ნაჩვენები, არამედ ორი თანამიმდევრულად შეერთებული კოჭასაგან, მაშინ დენის ერთ პერიოდში ველი შეასრუ-

ლებს მხოლოდ ნახევარ ბრუნს. ამგვარად, ზოგადად მაგნიტური ველის ბრუნვის სიხშირე ერთ წუთში

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} \text{ ბრ/წთ.} \qquad (10\text{-}1)$$

ამ n_1 ბრუნვის სიხშირეს **სინქრონული** ეწოდება.

თუ ნებისმიერს განვიხილავთ 10-3 ნახაზიდან, შეიძლება შევნიშნოთ, რომ კოჭების F_A, F_B და F_C მაგნიტმამოძრავებელი ძალები ჯამდება გეომეტრიულად: მაშინ, თუ მხედველობაში მივიღებთ i_A, i_B და i_C დენების მნიშვნელობებს AX, BY და CZ კოჭებში დროის ა, ბ და გ მომენტებში (ნახ. 10-2), შეიძლება ვთქვათ, რომ სამფაზიანი გრაგნილის ჯამური მმ ძალა $F = F_A + F_B + F_C = 1{,}5\ F_{A\,\text{მაქს}}$. ვინაიდან კოჭების მმ ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობები ერთმანეთის ტოლია, მაშინ $F_1 = 1{,}5\ F_{\text{ფაზ}}$ და უცვლელია მთელი ერთი ბრუნვის განმავლობაში. ამგვარად,

$$\Phi_{\text{რეზ}} = 1{,}5_{\text{ფაზ}} = \text{const.}$$

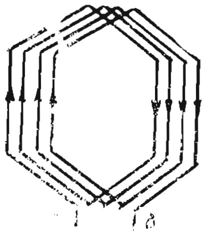
სტატორის გრაგნილის თითოეული ფაზა გადაბმულია მაგნიტურ ნაკადთან, რომელიც მაგნიტური ველის ბრუნვის შედეგად მუდმივად იცვლება დროში $\Phi = 0$-დან $\Phi = \Phi_{\text{მაქს}}$-მდე. ეს საერთო ნაკადი, რომელიც 1,5-ჯერ მეტია თითოეული ფაზის მაპულსირებელი დენის ამპლიტუდაზე, სტატორისა და როტორის გრაგნილებში აღძრავს e_1 და e_2 ელექტრომამოძრავებელ ძალებს.

10-3. ასინქრონული ელექტროძრავას სტატორის გრაგნილი

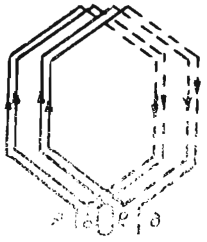
ელექტროძრავას სტატორის გრაგნილი რამდენადმე რთულად მზადდება, ვიდრე 10-1 ნახაზზე იყო ნაჩვენები. სამფაზიანი გრაგნილის თითოეული ფაზა შედგება ცალკეული სექციებისაგან ისევე, როგორც მუდმივი დენის მანქანების ღუზის სექციები (იხ.ნახ. 4-9). სტატორის გრაგნილების გამომყვანები აღინიშნება: C_1-ით, C_2-ით C_3-ით საწყისები და C_4-ით, C_5-ით, C_6-ით ბოლოები.

10-4 ნახაზზე ნაჩვენებია სექცია, რომელიც ოთხი შტოსაგან შედგება, შტოებით სტატორზე დაკავებულია ორი კილო. ეს ოთხი შტო შეიძლება გავყოთ ორ სექციად, როგორც ნაჩვენებია 10-5 ნახაზზე. მათ თანამიმდევრულად აერთებენ იმისათვის, რომ სექციათა ემ ძალები შეიკრიბოს. სექციის ყველა გამტარი იზოლირებულია ერთად და შემდეგ თითოეული სექცია გამოსახულია ერთშტოიანად მიუხედავად მისი შტოების რაოდენობისა (ნახ. 10-6).

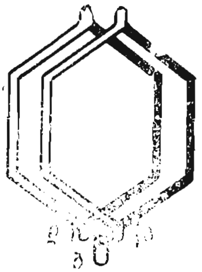
სექციის აქტიური მხარეები შეიძლება მოვათავსოთ კილოებში ერთ შრეში (ნახ. 10-1) ან უფრო ხშირად ორ შრედ, როგორც მუდმივი დენის მანქანების ღუზაში (იხ. ნახ. 4-8, 4-10).



ნახ. 10-4. სტატორის გრაგნილის სექცია.



ნახ. 10-5. ორი სექციის შეერთება.



ნახ. 10-6. სექციების აღნიშვნა.

ვუჩვენოთ, როგორ გაიანგარიშება კილოების რიცხვი სტატორებში ელექტროძრავას სამფაზიანი გრაგნილისათვის. თუ მანქანის პოლუსების რიცხვია $2p$, ფაზათა რიცხვი $m=3$, მაშინ თითოეული ფაზიდან თითოეულ პოლუსზე უნდა მოვიდეს კილოების რაღაც რიცხვი $q=1,2,3,\ 4,\ 5$, რომელიც მოცემულია მანქანების გაანგარიშების დროს. მაშინ სტატორის კილოების მთლიანი რაოდენობა

$$Z=2pmq. \qquad (10\text{-}2)$$

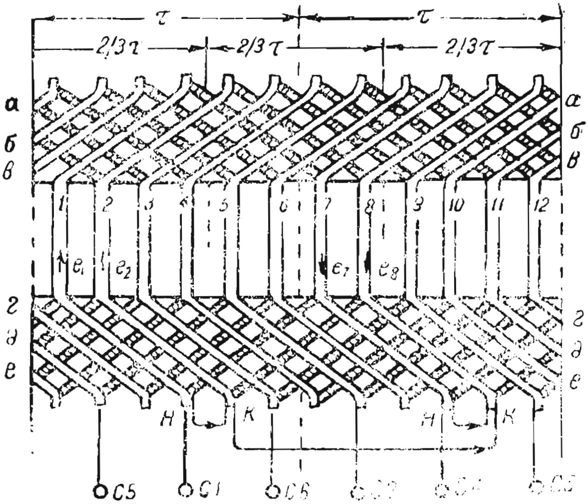
ვთქვათ, მოცემულია, რომ $2p=2$, $m=3$, $q=2$, მაშინ კილოების მთლიანი რიცხვი

$$Z=2pmq=2\cdot 3\cdot 2=12.$$

თუ გრაგნილი ორშრიანია, მაშინ სექციების რიცხვიც ტოლი იქნება 12-ისა. ასეთი გრაგნილი ნაჩვენებია 10—7 ნახაზზე. თითოეულ ფაზაზე მოდის $\frac{Z}{3}=\frac{12}{3}=4$ სექცია, რომელიც დაჯგუფებულია ორ კოჭად. კოჭები განლაგებულია სხვადასხვასახელიანი პოლუსების მოქმედების სფეროში, ე. ი. ორ საპოლუსო დაყოფაზე τ. საპოლუსო დაყოფა, ელექტრულ კუთხეებში გამოსახული, ყოველთვის ტოლია 180°-ისა.

კილოების მონიშვნა ფაზების მიხედვით შემდეგნაირად ხდება. რადგან $q=2$, ნებისმიერად შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $C_1\ C_4$ ფაზის პირველ საპოლუსო დაყოფას 1 და 2 კილოები ეკუთვნის. ამ ფაზის მეორე საპოლუსო დაყოფას ეკუთვნის 7 და 8 კილოები, რადგან $\tau=\frac{Z}{2p}=\frac{12}{2}=6$ კბილი.

$C_2\ C_5$ ფაზა სივრცეში დაძრულია 120°-ით ან $\frac{2}{3}\tau$-თი, ე. ი. $6\cdot\frac{2}{3}=4$ კბილი და უკავია 5,6 და 11, 12 კილოები. მონიშვნა ხდება აქტიური მხარეების ზედა შრის მიხედვით. რა თქმა უნდა, $C_3\ C_6$ ფაზა მოთავსე-



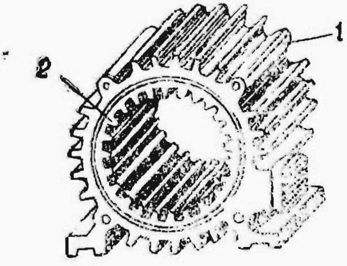
ნახ. 10-7. ორშრიანი გრაგნილის გაშლა.

ბული იქნება დანარჩენ 8, 9 და 3, 4 კილოებში. იმისათვის, რომ ფაზების ეს ძალები შეიკრიბოს, სექციებს კოჭებში აერთებენ თანამიმდევრულად — პირველის ბოლოს მეორის საწყისთან, ხოლო კოჭებს შემხვედრად — პირველის ბოლოს მეორის ბოლოსთან (ნახ. 10-7), მაგალითად,

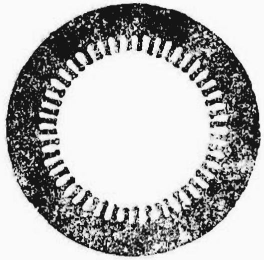
$$e_{C1} = e_1 + e_2 - (-e_7 - e_8) = e_1 + e_2 + e_7 + e_8.$$

გრაგნილებს სამფაზიან ქსელთან შესაერთებლად აერთებენ ვარსკვლავად ან სამკუთხედად.

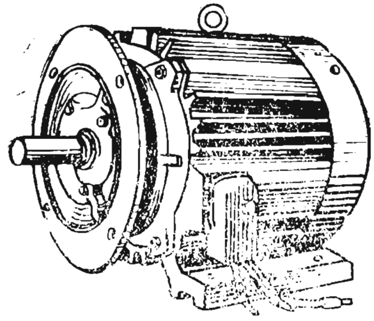
ასინქრონული ელექტროძრავას სტატორი უგრაგნილოდ ნაჩვენებია 10-8 ნახაზზე. მას აქვს გარე თუჯის, ალუმინის ან ფოლადის კორპუსი



ნახ. 10-8. ასინქრონული ძრავას სტატორი უგრაგნილოდ.



ნახ. 10-9. სტატორის გულარის ფოლადის ფურცელი.

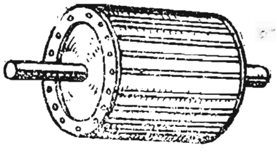


ნახ. 10-10. სამფაზა ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავა.

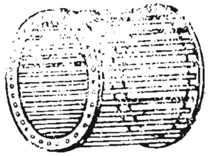
(1) მასში ჩაწნეხილი გულარით (2), რომელიც აწყობილია ელექტროტექნიკური ფოლადის ფურცლებისაგან (ნახ. 10-9). ფურცლები ერთმანეთისაგან იზოლირებულია სპეციალური ლაქით. დახურული ტიპის ძრავების სტატორის გარე წიბოვანი ზედაპირი გრილდება ვენტილატორით. ასეთი ძრავა აწყობილი სახით წარმოდგენილია 10-10 ნახაზზე.

10-4. ასინქრონული ძრავას როტორის გრაგნილი

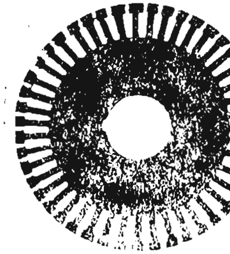
ძრავას სტატორის შიგნით (ნახ. 10-8) მოთავსებულია მისი მბრუნავი ნაწილი — რ ო ტ ო რ ი (ნახ. 10-11). ეს არის ფოლადის ფურცლებისაგან შეკრებილი ცილინდრი, რომლის ზედაპირზე მოთავსებულია კილოები. კილოებში ეწყობა გრაგნილი (სპილენძის ღეროები), რომელიც ტორსებზე შეკრულია სპილენძის რგოლებით. ამ შემთხვევაში კილოები მრგვალი კვეთისაა, ხოლო 10-12 ნახაზზე ცალკე ნაჩვენებ გრაგნილს გალიის სახე აქვს, რომელსაც „ციყვის გალიას" უწოდებენ. კილოები შეიძლება სხვა ტიპისაც იყოს (ნახ. 10-13), ხოლო მოკლედ შერთული გრაგნილი მიიღება კილოებში ალუმინის ჩასხმით. ამავე დროს ცილინდრზე ჩაისხმება მოკლედ შერთული რგოლები ფრთებით ვენტილაციისათვის. ასეთი ტიპის ელექტროძრავას მოკლედ შერთული ეწოდება (ნახ. 10-10). მოკლედ შერთული ძრავას როტორის გრაგნილი მ რ ა ვ ა ლ ფ ა ზ ი ა ნ ი ა.



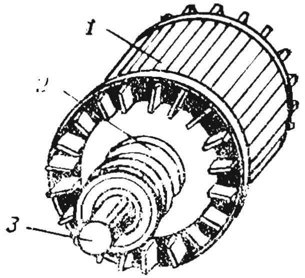
ნახ. 10-11. მოკლედ შერთული ძრავას როტორი.



ნახ. 10-12. ციყვის გალია.

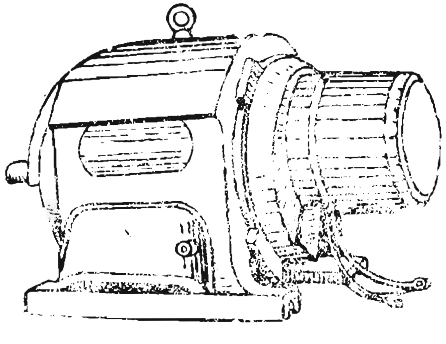


ნახ. 10-13. როტორის ფოლადის ფურცელი.



ნახ. 10-14. ასინქრონული ძრავას როტორი გრაგნილით.

როტორის კილოებში (ნახ. 10-13) შეიძლება ჩავაწყოთ სტატორის გრაგნილის მსგავსი გრაგნილი (ნახ. 10-7). ასეთი როტორი ნაჩვენებია 10-14 ნახაზზე. ამ შემთხვევაში კილოებში (1) ჩაწყობილი გრაგნილების (P_1, P_2, P_3) სამი გამომყვანი ერთდება სამ საკონტაქტო რგოლებთან (2), რომლებიც ღერძზეა (3) დასმული და იზოლირებულია როგორც ერთმანეთის, ისე ღერძისაგან. რგოლებზე დაყრდნობილი მუსების საშუალებით როტორის გრაგნილი უერთდება რეოსტატს, რომელიც საჭიროა ძრავას ასამუშავებლად ან მისი სიჩქარის სარეგულირებლად. ამ შემთხვევაში ძრავას ეწოდება ძრავა ფაზური როტორით ან რგოლებით და ნაჩვენებია 10-15 ნახაზზე.



ნახ. 10-15. სამფაზა ასინქრონული ძრავა რგოლებით.

10-5. ასინქრონული ძრავას მოქმედების პრინციპი

მბრუნავი მაგნიტური ველის მიერ აღძრული როტორის ემ ძალები მის შეკრულ გამტარებში ქმნის მეორეულ i_2 დენებს, რომლებიც ურთიერთქმედებენ სტატორის მბრუნავ მაგნიტურ ველთან. როტორის გამტარებზე მოქმედებს ელექტრომაგნიტური ძალები, რომლებიც როტორის მხებად არიან

მიმართული (მარცხენა ხელის წესი). ელექტრომაგნიტური ძალებისა და როტორის ღერძზე მათი მომენტების შეკრების შედეგად აღიძვრება ჯამური ელექტრომაგნიტური მომენტი, რომელსაც როტორი მოძრაობაში მოჰყავს სტატორის მაგნიტური ველის ბრუნვის მიმართულებით.

როტორის n_2 ბრუნვის სიხშირე ნაკლები უნდა იყოს სტატორის ველის n_1 ბრუნვის სიხშირეზე, რადგან მხოლოდ ასეთ პირობებში იმოძრავებს სტატორის მაგნიტური ველი იმავე მიმართულებით მოძრავი როტორის გამტარების მიმართ და აღძრავს მათში მუშაობისათვის საჭირო მეორეულ i_2 დენებს.

ამ მიზეზის გამო ეწოდება ასეთ ძრავებს ასინქრონული. სტატორისა და როტორის ველების ბრუნვის სიხშირეების სხვაობას, გაყოფილს სტატორის მაგნიტური ველის ბრუნვის სიხშირეზე, ეწოდება სრიალი და გამოისახება ფორმულით

$$S=\frac{n_1-n_2}{n_1} \quad \text{ან} \quad S\%=\frac{n_1-n_2}{n_1}\cdot 100\%. \qquad (10\text{-}3)$$

ასინქრონული ძრავის სრიალი შეიძლება იცვლებოდეს 1-დან, ანუ 100%-დან, როცა როტორი უძრავადაა, ნულამდე, როცა როტორი ველის სიხშირით ბრუნავს. რაც მეტია დატვირთვა ღერძზე, მით მეტია S სრიალი, ვინაიდან მხოლოდ ამ დროსაა ყველაზე დიდი E_2 ემ ძალა, I_2 დენი და როტორის მაბრუნი მომენტი. ასინქრონული ძრავების ნომინალური სრიალი 1-დან 6%-მდე იცვლება. უქმი სვლის დროს, როცა $P_2=0$, სრიალი პრაქტიკულად ნულის ტოლია.

ძრავას უქმი სვლის დროს როტორის დენი შედარებით მცირეა. ღერძზე დატვირთვის არსებობის დროს, ე. ი. როცა $P_2\neq0$, ის თანდათანობით იზრდება, მანქანის მაგნიტოგამტარებში და მაგნიტური ნაკადი იქმნება F_1 და F_2 მმ ძალების ერთობლივი მოქმედების შედეგად ისეთნაირადვე, როგორც ტრანსფორმატორში გვქონდა (§ 9-4, ნახ. 9-5). მაგრამ F_1 და F_2 მმ ძალების შეკრება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როცა ისინი ერთმანეთის მიმართ უძრავია, როგორც ტრანსფორმატორში. აღვნიშნავთ, რომ ასინქრონულ ძრავაში F_1 და F_2 მმ ძალები აგრეთვე ურთიერთუძრავია, მაგრამ ორივე ბრუნავს სივრცეში n_1 ბრუნვის სიხშირით, ე. ი. სინქრონულად.

დენის სიხშირე სტატორში $f_1\sim n_1$, ხოლო როტორში $f_2\sim(n_1-n_2)$. ამ დროს

$$f_2=\frac{P(n_1-n_2)}{60}=\frac{Pn_1S}{60}=f_1S. \qquad (10\text{-}4)$$

როცა როტორი უძრავია $f_2=f_1\cdot1=f_1$, ხოლო სინქრონული სიჩქარის დროს $f_2=f_1\cdot0=0$. სრული დატვირთვით ბრუნვის დროს ($I_1=I_{1б}$),

როცა, მაგალითად, $S_ნ=2\div4\%$, სიხშირე $f_2=f_1S=50\cdot0,2\div50\cdot0,4$, ანუ $1\div2$ ჰც ტოლია.

სტატორის I_1 დენი მის გრაგნილებში ქმნის F_1 მმ ძალას, რომელიც n_1 ბრუნვის სიხშირით ბრუნავს, ხოლო როტორის I_2 დენი მის გრაგნილებში ქმნის მმ ძალას, რომელიც როტორის მიმართ ბრუნავს ბრუნვის სიხშირით

$$n_3=f_2\frac{60}{P}.$$

თვით როტორი ბრუნავს იმავე მიმართულებით n_2 სიხშირით. ამიტომ

$$n_2+n_3=n_2+\frac{f_2 60}{P}=n_2+\frac{f_1S60}{P}=n_2+n_1S=n_2+n_1\frac{n_1-n_2}{n_1}=n_1.$$

ამგვარად, ასინქრონული ძრავასა და ტრანსფორმატორისათვის, რომლის მეორეული გრაგნილი ბრუნავს, მისაღებია § 9-4-ში მოყვანილი ყველა მსჯელობა, რომლებიც შემდგომშიც გამოიყენება.

საჭიროა აღინიშნოს (ნახ. 9-7), რომ ტრანსფორმატორში უქმი სვლის დენი $I_{უქმ.}=(4\div10\%)I_{1ნ}$, ხოლო ასინქრონულ ძრავაში, იმის გამო, რომ სტატორსა და როტორს შორის არსებობს საჰაერო ღრეჩო, $I_{უქმ.}=(20\div40\%)\cdot I_{1ნ}$.

10-3. ელექტრომამოძრავებელი ძალები სტატორისა და როტორის გრაგნილებში

როცა როტორი უძრავია, მბრუნავი მაგნიტური ველის მიერ სტატორისა და როტორის გრაგნილების თითოეულ ფაზაში აღიძვრება ემ ძალები (§ 9-3):

$$E_1=4,44f_1W_1\Phi K_{გ1};\qquad(10\text{-}5)$$

$$E_2=4,44f_2W_2\Phi K_{გ2},\qquad(10\text{-}6)$$

სადაც $K_{გ1}$ და $K_{გ2}$ — საგრაგნილო კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებენ გრაგნილების კონსტრუქციას.

ძრავას ბრუნვისას, მის ლილზე დატვირთვის მიხედვით (საბრუნი მომენტი) როტორის n_2 ბრუნვის სიხშირე და S სრიალი იცვლება.

ამიტომ როტორის ემ ძალის სიხშირეს $f_2=f_1S$ შეიძლება სხვადასხვა მნიშვნელობები ჰქონდეს და შესაბამისად მბრუნავი როტორის თითოეულ ფაზაში ემ ძალები შეიცვლება სრიალის პირდაპირპროპორციულად, ე.ი.

$$E_{2s}=4,44f_2W_2\Phi K_{გ2}$$

ან

$$E_{2s}=4,44f_1W_2\Phi K_{გ2}S.\qquad(10\text{-}7)$$

მბრუნავი როტორის ელექტრომამოძრავებელი ძალა შეიძლება გამოვსახოთ უძრავი როტორის ემ ძალით, თუ ავიღებთ მათ შეფარდებას

$$\frac{E_{2s}}{E_2}=\frac{f_2}{f_1}=\frac{f_1S}{f_1}=S,$$

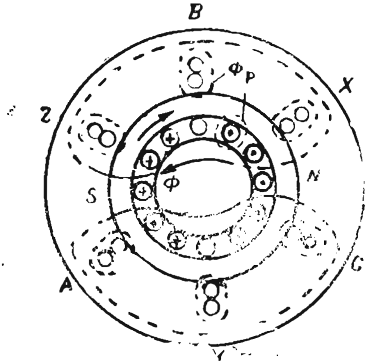
მაშინ

$$E_{2s}=E_2S. \qquad (10\text{-}8)$$

მაშასადამე, როტორის ემ ძალა ფართო ზღვრებში იცვლება ძრავას მუშაობის პროცესში. როცა $S=1$, $E_{2s}=E_2$, ხოლო, როცა $S=0$, ისიც ტოლია ნულისა, ე. ი. $E_2\cdot 0=0$.

10-7. როტორის გრაგნილის წინაღობა

მუშაობის დროს, ორივე გრაგნილის დამაკავშირებელი საერთო Φ მაგნიტური ნაკადის გარდა, არსებობს გრაგნილების ცალკეული ნაკადები რომლებსაც $\Phi_{გაბ}$ განბნევის ნაკადები ეწოდება (ნახ. 10-16). ისინი განაპირობებენ X_1 და X_2 წინაღობებს.



ნახ. 10-16. ასინქრონული ძრავას მუშაობა როტორში აქტიური დენის დროს.

როცა როტორი უძრავია, x_2 ტოლია x_1-ისა და შეიძლება განვსაზღვროთ ისეთნაირადვე, როგორც ტრანსფორმატორების შემთხვევაში გვქონდა (§ 9-3), ე. ი.

$$X_2=\omega L_2=2\pi f_1L_2,$$

როტორის ბრუნვისას $X_2S=2\pi f_1SL_2$.

ამიტომ $\frac{x_{2s}}{x_2}=\frac{f_1S}{f_1}=S$ შეფარდების დროს მბრუნავი როტორის რეაქტიული წინაღობა შეიძლება გამოვსახოთ ამავე წინაღობით უძრავი როტორის დროს

$$X_2S=X_2S. \qquad (10\text{-}9)$$

მუშაობის რეჟიმის შეცვლისას — X_2S-იც გამუდმებით იცვლება

$$X_{2s}=X_2S=X_2\cdot 1=X_2\text{-დან}\quad X_{2s}=X_2\cdot 0=0\text{-მდე}.$$

აქტიური r_2 წინაღობა, ნორმალური შესრულების ძრავებში, როცა $f=0\div 50$ ჰც, შეიძლება ჩავთვალოთ უცვლელად და არაა დამოკიდებული ბრუნვის სიხშირეზე (იხ. § 10-10).

10-8. დენი როტორის გრაგნილებში

დენი როტორის ფაზათა გრაგნილში განისაზღვრება როტორის ემ ძალებითა და წინაღობებით, ე. ი.

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{r_2^2 + x_{2s}^2}}. \qquad (10\text{-}10)$$

ბრუნვის სიხშირის შეცვლისას ის იცვლება E_{2s}-ისა და $z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_{2s}^2}$ მნიშვნელობების მიხედვით და ფაზაში r_2 და X_{2s} შეფარდების მიხედვით.

ამუშავებისას, როცა როტორი ჯერ კიდევ უძრავია, $I_{2ამ}$ დენი უდიდესია, რადგან, როცა $S = 1$, ემ ძალა $E_{2s} = E_{2s} = E_2$ უდიდესი იქნება. დენის ფაზაში დაძვრა, E_2-თან შეფარდებით, ასევე უდიდესია, რადგან $X_2 = (3 \div 10) r_2$. როტორის ამუშავებისას, დენი და გადახრა ფაზაში მცირდება.

10-9. ძრავას მაბრუნი მომენტი

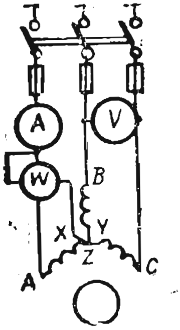
ცვლადი დენის ნებისმიერი ელექტროძრავას მაბრუნი მომენტი განისაზღვრება მისი ნაკადითა და დენის აქტიური შემდგენით, ე. ი.

$$M = K_M \Phi I_2 \cos \varphi_2, \qquad (10\text{-}11)$$

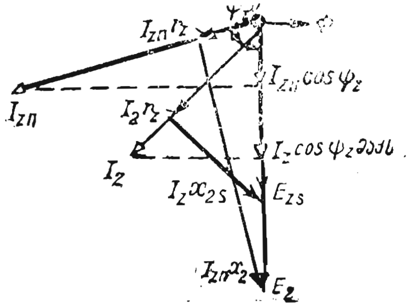
სადაც K_M — მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია ძრავას კონსტრუქციულ მონაცემებზე.

10—17 ნახაზზე მოყვანილია მოკლედ შერწყმული ასინქრონული ძრავას სქემა. ჩამრთველის ჩართვისას როტორის $I_{2ამუშ}$ ამუშავების დენი უდიდესი იქნება, რადგან უძრავი როტორის ემ ძალა უდიდესია. მაგრამ ასამუშავებელი მაბრუნი მომენტი 2—2,5-ჯერ ნაკლებია მაქსიმალურზე. ამის მიზეზი ისაა, რომ ამუშავების დროს $X_2 = (8 \div 10)$ r_2 და E_2-სა და $I_{2ამუშ}$-ს შორის φ_2 კუთხე ახლოსაა 90°-თან. ამის შედეგად დენის აქტიური შემდგენი $I_{2ამუშ} \cos \varphi_2$ — მცირეა (ნახ. 10-18). თანამედროვე ასინქრონულ ძრავებში ასამუშავებელი მომენტის ჯერადობა $\frac{M_{ასამ}}{M_{ნომ}} = 1 \div 1.5$, როცა ასამუშავებელი დენის ჯერადობა $\frac{I_{2ასამუშ}}{I_{2ნომ}} = 4,6 \div 6,5$.

ძრავას ამუშავების პროცესში სიხშირის გაზრდასთან ერთად მცირდება S სრიალი და E_{2s} ემ ძალა, რაც როტორის I_2 დენის შემცირებას იწვევს, მაგრამ, რადგან როტორის X_{2s} ინდუქციური წინაღობაც მცირდება, მაშინ უცვლელი r_2-ს დროს ძვრის φ_2 კუთხე მცირდება, ხოლო დენის აქტიური შემდგენი $I_2 \cos\varphi_2$ იზრდება. მაშასადამე, იზრდება M მაბრუნი მომენტიც. ასე გრძელდება მანამ, ვიდრე X_{2s} არ გაუტოლდება r_2-ს. ძაბვისვარდნის მართკუთხა სამკუთხედი გახდება ტოლფერდა ($I_2 X_{2s} =$



ნახ. 10-17. მოკლედ შერთული ასინქრონული ძრავას სქემა.

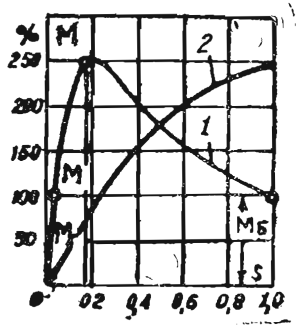


ნახ. 10-18. როტორის წრედის ვექტორული დიაგრამა.

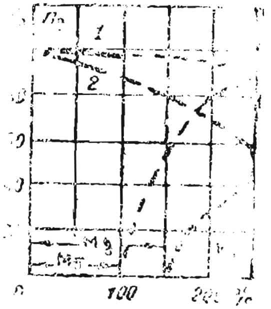
$=I_2r_2$) (ნახ. 10-18), დენის აქტიური შემდგენი $I_2\cos\varphi_2$ უდიდესია და, მაშასადამე, მაბრუნი მომენტიც გახდება მაქსიმალური ($M = M_{მაქს}$). ბრუნვის n სიხშირის შემდგომი გაზრდისას X_{2s} წინაღობა ნაკლები გახდება r_2-ზე და ეს უკანასკნელი დიდ გავლენას მოახდენს დენზე. ასე რომ E_{2s}-ის შემდგომი შემცირებისას ხდება $I_2\cos\varphi_2$-ს შემცირება და რა თქმა უნდა M მომენტისაც.

ჩვეულებრივად ფარდობა $\frac{M_{მაქს}}{M_{ნომ}} = 1,8 \div 2,5$ და ძრავას გადატვირთვის უნარი ეწოდება.

როგორც ჩანს, ელექტრომაგნიტური მაბრუნი მომენტი სრიალის ფუნქციაა, ე. ი. $M=f(S)$, როცა $U_1=\text{const}$ (ნახ. 10-19, მრუდი 1) ძრავა ნომინალურ მომენტს ავითარებს, როცა ნომინალური სრიალი $S = 0,02 \div 0,06$.



ნახ. 10-19. ძრავას მაბრუნი მომენტის დამოკიდებულება სრიალზე.



ნახ. 10-20. ძრავას მექანიკური მახასიათებლები.

მაქსიმალურ მომენტს $M_{მაქს}$ ძრავა ავითარებს ე. წ. კრიტიკული სრიალის დროს, $S_{კრ}\approx 0,2$. როცა სრიალი $S=1$, ძრავა ავითარებს $M_{ასამ}$ ასამუშავებელ მაბრუნ მომენტს.

ცნობილია, რომ Φ მაგნიტური ნაკადი დაახლოებით პროპორციულია U_1 ძაბვისა, ხოლო $M\sim\Phi I_2\cos\varphi_2$ და ვინაიდან $I_2\cos\varphi_2\sim\Phi\sim U_1$, მაშინ

$$M\sim U_1U_1=U_1^2. \qquad (10-12)$$

ამგვარად, ასინქრონული ძრავას მაბრუნი მომენტი პროპორციულია სტატორის გრაგნილებთან მიყვანილი ძაბვის კვადრატისა.

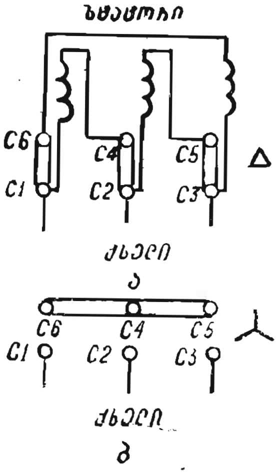
ამ დამოკიდებულებას დიდი მნიშვნელობა აქვს ასინქრონული ძრავას ექსპლუატაციისათვის, რადგან ქსელში ძაბვის ვარდნა, მაგალითად, $0,8U_{ნ}$-მდე გამოიწვევს მაქსიმალური მომენტის შემცირებას $0,8^2M_{მაქს}=$ $=0,64M_{მაქს}$-მდე და ძრავა ვერ შეძლებს გადალახოს უმნიშვნელო გადატვირთვაც კი, ე. ი. ის გაჩერდება.

დამოკიდებულებას $n_2=f(M)$, როცა $U_1=\text{const}$ და $f=\text{const}$, ეწოდება მექანიკური მახასიათებელი (ნახ. 10-20). ეს მახასიათებელი აგებულია ღერძებში $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)\cdot 100\%$ და $\left(\frac{M}{M_{ნომ}}\right)100\%$.
მისი მუშა ნაწილი ზღვრებში 0-დან $M_{ნომ}$-მდე ნაჩვენებია მთლიანი ხაზით. მრუდს (1), რომელიც მოკლედ შერთულ როტორში მიიღება ეწოდება ბუნებრივი მახასიათებელი. ეს მახასიათებელი ხისტია ისევე, როგორც პარალელური აგზნების მუდმივი დენის მანქანებში (იხ. ნახ. 4–26).

მრუდს (2) ხელოვნური მახასიათებელი ეწოდება. ეს მახასიათებელი უფრო რბილია, ვიდრე პირველი და მიიღება როტორის წრედში ფაზურ გრაგნილთან დამატებითი წინაღობის ჩართვისას. რაც შეიძლება გამოვიყენოთ ძრავას ბრუნვის სიხშირის რეგულირებისათვის (ამწევებსა და ამწე მოწყობილობებში).

10-10. ასინქრონული ძრავების ამუშავება

გრაგნილების ვარსკვლავად ან სამკუთხედად მოსართავად გადართვისათვის მისი მომჭერები განლაგებულია ფარზე ისე, როგორც გამოსახულია 10–21 ნახაზზე. სტატორის თითოეული ფაზის გრაგნილი გაანგარიშებულია განსაზღვრულ $U_{ფ}$ ფაზურ ძაბვაზე. ამიტომ სტატორი შეიძლება მივაერთოთ ორ წრედთან, რომელთა ნომინალური ძაბვები $\sqrt{3}$-ჯერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან. მაგალითად, თუ ძრავა პასპორტის თანახმად, $U_{ნომ}=220$ ვ, სტატორის სამკუთხედად შეერთებისას (ნახ. 10-21, ა), თუ ქსელში ძაბვა $U_{ქს}=380$, ვ ამძრავის სტატორის გრაგნილებს აერთებენ



ნახ. 10-21. სტატორის გრაგნილის მომჭერების განლაგება.

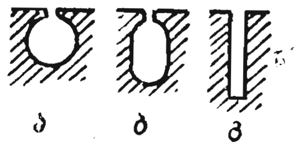
ვარსკვლავად (ნახ. 10-21, ბ). სხვა ძრავაც ამგვარადვე შეიძლება მივაერთოთ ქსელთან, სადაც $U_{ქს}=380$ ვ და $U_{ქს}=660$ ვ.

მოკლედ შერთული ძრავა ჩაირთვება და გამოირთვება ჩამრაზის უბრალო ჩართვითა და გამორთვით (ნახ. 10—17). ამუშავების ასეთი მეთოდის ნაკლოვანებად უნდა ჩაითვალოს მნიშვნელოვნად მაღალი ასამუშავებელი დენი $I_{ასამ}=(4,5\div6,5)\,I_{ნომ}$, შედარებით დაბალი ასამუშავებელი მომენტის $M_{ასამ}=(1\div1.5)\,M_{ნომ}$ დროს.

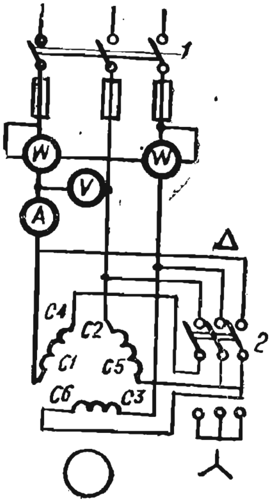
მოკლედ შერთული ძრავების ასამუშავებელი თვისებების გასაუმჯობესებლად როტორის მრგვალი კილოების ნაცვლად (ნახ. 10-22, ა) იყენებენ უფრო ღრმა კილოებს (ნახ. 10-22, ბ). ამ დროს ამუშავების მომენტში, როცა $f_2=f_1$ გამტარის ზედაპირზე დენის გამოძევების შედეგად როტორის გრაგნილების აქტიური წინაღობა გაიზრდება, რაც დენის აქტიური შემდგენი $I_{2ასამ}\cos\varphi_2$ გაზრდას იწვევს (ნახ. 10-18) და, მაშასადამე, საწყისი $M_{ასამ}$ ასამუშავებელი მომენტის გაზრდასაც. როცა ძრავას სიმძლავრე 120—150 კვტ-ზე მეტია, კილოები კეთდება ვიწრო ღრმა ჭვრიტეს სახით (ნახ. 10-22, გ).

თუ ძრავას სტატორი შეერთებულია სამკუთხედად, მაშინ ასამუშავებელი დენის შესამცირებლად ის შეიძლება ამუშავებისას გადავრთოთ ვარსკვლავად (ნახ. 10-23). გადართავენ გადამრთველის (2) დანებს ქვევით და ჩართავენ ჩამრაზს (1). ძრავა იწყებს ბრუნვას $\sqrt{3}$-ჯერ დადაბლებული $U_ფ$ ძაბვით და 3-ჯერ შემცირებული I_1 დენით. ამუშავების შემდეგ დანებს გადართავე ზედა მდებარეობაში და ძრავა იმუშავებს $U_1=U_{ნომ}$ ძაბვით. ასეთი ამუშავება შეიძლება მხოლოდ დაუტვირთავად, მაგალითად, ვენტილატორის ამძრავად. საქმე იმაშია, რომ ამუშავების ასეთი ხერხისას ბრუნვის საწყისი მომენტი მცირდება $\sqrt{3}\cdot\sqrt{3}=3$-ჯერ.

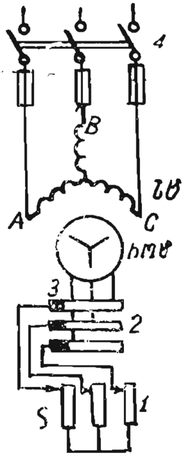
ფაზური როტორის მქონე ძრავას ამუშავების სქემა ნაჩვენებია 10-24 ნახაზზე. რეოსტატის (1) მოძრავი კონტაქტები (5) გამტარებითაა შეერთებული მუსებთან (3), რომლებიც დადებულია როტორის საკონტაქტო რგოლებზე (2). როდესაც რეოსტატის წინაღობა მიაღწევს მაქსიმალურს, ჩართავენ ჩამრაზს (4) და როტორი იწყებს ბრუნვას. $r_რ$ წინაღობის შეყვანით როტორის წრედში ამცირებენ ამუშავების დენს როტო-



ნახ. 10-22. ასინქრონული ძრავას როტორის კილოები.



ნახ. 10-23. ძრავას ამუშავება სტატორის გადართვით ვარსკვლავიდან სამკუთხედზე.



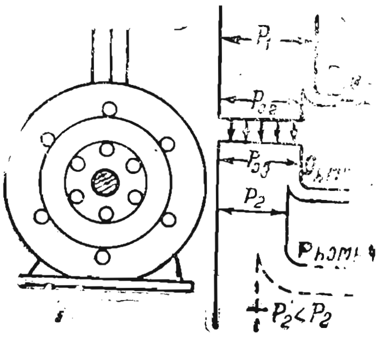
ნახ. 10-24. რგოლებიანი ასინქრონული ძრავას სქემა.

რსა და სტატორში სასურველ სიდიდემდე. როტორის გაქანების მიხედვით დენი მის გრაგნილებში შემცირდება და რეოსტატის წინაღობასაც თანდათანობით ამცირებენ ნულამდე. ამის გარდა, თუ აქტიურ წინაღობას გავზრდით $r_2+r_რ=X_2$-მდე, ამუშავებისას ღებულობენ მაქსიმალურ $I_2\cos\varphi_2$-სა და მომენტს (ნახ. 10-18). როგორც ეს ნაჩვენებია 10-19 ნახაზზე (მრუდი 2).

მაშასადამე, ამ სქემით შეიძლება ავამუშაოთ სრულად დატვირთული ძრავა. ძრავას გასაჩერებლად გამორთავენ ჩამრთველს, ხოლო გასაშვები რეოსტატის სახელურს აყენებენ დასაწყებ მდებარეობაში.

10-11. ასინქრონული ძრავას ბრუნვის სიხშირის რეგულირება

ასინქრონული ძრავას ბრუნვის სიხშირის რეგულირება როტორის წრედში რეოსტატის ჩართვით ხანგრძლივი რეჟიმის დროს დაკავშირებულია ენერგიის დიდ დანაკარგებთან რეოსტატში. ამის გარდა, ასეთი რეგულირება შეიძლება განვახორციელოთ მხოლოდ ძრავებში ფაზური როტორით. რეგულირების პრინციპი შეიძლება ავხსნათ 10—25 ნახაზის მეშვეობით, სადაც გამოსახულია ძრავა და მისი ენერგეტიკული დიაგრამა, რომელზეც ნაკადის სახით ნაჩვენებია ქსელიდან სტატორზე შემო-



ნახ. 10-25. ასინქრონული ძრავას ენერგეტიკული დიაგრამა.

მავალი P_1 სიმძლავრე. მბრუნავი მაგნიტური ველი გადასცემს როტორს ელექტრომაგნიტურ სიმძლავრეს

$$P_{ელმაგ} = P_1 - P_{სტ} = M\omega_1,$$

სადაც $P_{სტ}$ — დანაკარგებია სტატორში, ხოლო ω_1 — სინქრონული კუთხური სიჩქარე $\left(\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}\right)$. სიმძლავრე როტორის ღერძზე $P_2 = P_{ელმაგ} - P_{როტ} = M\omega_2$, სადაც $P_{როტ}$ — დანაკარგებია როტორის გრაგნილებში. თუ ძრავას როტორის წრედში, როცა $M=\text{const}$, ჩავრთავთ რეოსტატს, მაშინ სიმძლავრე ღერძზე

$$P'_2 = P_{ელმაგ} - (P_{როტ} + P_{რეოსტ}) = M\omega'_2,$$

სადაც $P_{რეოსტ}$ სიმძლავრის დანაკარგებია რეოსტატში. ცხადია, რომ $\omega'_2 < \omega_2$ და სიჩქარის შემცირების პროცენტი ტოლია რეოსტატში დანაკარგების პროცენტისა, რაც მეტად არაეკონომიკურია.

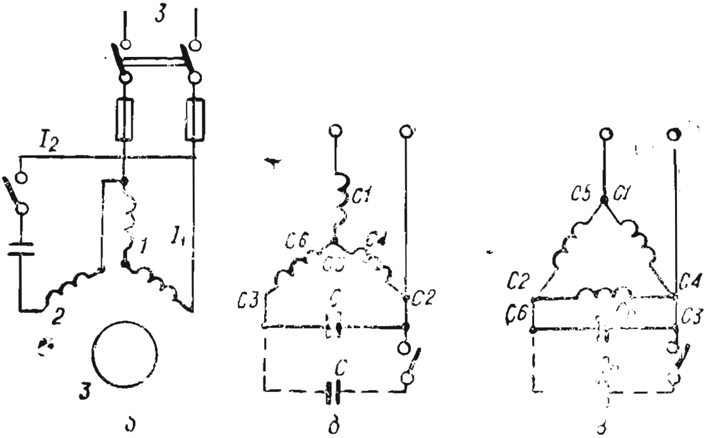
მოკლედ შერთული ძრავების ბრუნვის სიხშირე შეიძლება ვარეგულიროთ სიხშირის f_1 ან წყვილპოლუსთა p ცვლილების დროს, რადგან

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

სიხშირის შეცვლა შეიძლება მხოლოდ სპეციალურ დანადგარებში და შედარებით იშვიათად გამოიყენება. პოლუსთა რიცხვის ცვლილებით სიჩქარის რეგულირებისათვის ამზადებენ მრავალსიჩქარიან (ორ-, სამ- და ოთხსიჩქარიან) ძრავებს. ასეთი ძრავების სტატორის გრაგნილები ჩვეულებრივად შედგება რამდენიმე ტოლი ნაწილისაგან თითოეულ ფაზაში. ეს ნაწილები გადამრთველის მეშვეობით შეგვიძლია ჩავრთოთ თანამიმდევრულად ან პარალელურად ისეთნაირად, რომ დენების გადანაწილების შედეგად იცვლება მაგნიტური ველის პოლუსთა რიცხვი, რისგანაც იცვლება მისი ბრუნვის სიხშირე n_1 (3000—1500 და 1000—500 ბრ/წთ). ამ დროს ვღებულობთ საფეხურებიან რეგულირებას. ასეთი ძრავები გამოიყენება ზოგიერთი ჩარხის ამძრავებად, რაც საშუალებას გვაძლევს გავამარტივოთ ჩარხის სიჩქარის ყუთი.

10-12. ერთფაზიანი ასინქრონული ძრავა

ერთფაზიანი ასინქრონული ძრავები ფართოდ გამოიყენება 0,5 კვტ-ზე დაბალი სიმძლავრეების დროს. მისი ჩართვის სქემა ნაჩვენებია 10-26, ა ნახაზზე. მას აქვს ერთფაზიანი (მუშა) ვარსკვლავად შეერთებული სტატორის გრაგნილი (1), სამფაზიანი გრაგნილის ორი ფაზის მსგავსად, და მოკლედ შერთული როტორი (3).

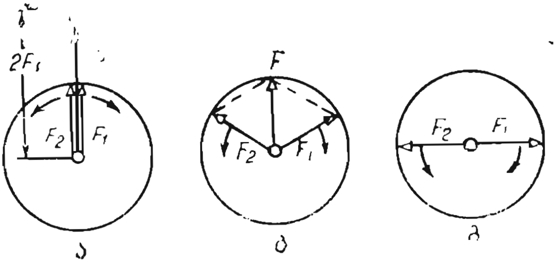


ნახ. 10-26. ერთფაზა ასინქრონული ძრავას სქემა.

სტატორის გრაგნილის ცვლადი I_1 დენი ქმნის მაპულსირებელ მაგნიტურ ველს, რომელიც არ ქმნის ასამუშავებელ მომენტს. ამ მომენტის შესაქმნელად სტატორზე ათავსებენ მეორე გრაგნილს (2), რომელსაც დ ა მ ხ მ ა რ ე ს უწოდებენ და მუშა გრაგნილთან დაძრულია 90°-ით. ეს გრაგნილი მასთან თანამიმდევრულად ჩართული კონდენსატორით მიერთებულია საერთო, მუშა გრაგნილის მკვებავ ქსელთან. დამხმარე გრაგნილის I_2 დენი I_1 დენისაგან ფაზაში დაძრულია პერიოდის 1/4-ით.

ორი დენი, ერთმანეთის მიმართ 1/4 პერიოდით გადაადგილებული, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ 90° კუთხით დაძრულ ორ გრაგნილში გადიან, ქმნის ორფაზიან მბრუნავ ველს. ამ ველისაგან მოკლედ შერთულ როტორში აღიძვრება ემ ძალა და დენი, რომელთა ველთან ურთიერთქმედებით იქმნება მაბრუნი მომენტი. როტორი იწყებს ბრუნვას და ა ს ა მ უ შ ა ვ ე ბ ე ლ ი (დამხმარე) გრაგნილი (2) გამოირთვება, ხოლო როტორი განაგრძობს ბრუნვას მუშა გრაგნილის (1) მაპულსირებელ მაგნიტურ ველში, როგორც ერთფაზიანი.

ამ მოვლენის ახსნა ხდება შემდეგნაირად. ვთქვათ, ორი უცვლელი და ერთმანეთის ტოლი F_1 და F_2 მმ ძალები (ნახ. 10-27, ა) ბრუნავენ n_1 სიხშირით სხვადასხვა მიმართულებით და დენის ერთი პერიოდის განმავ-



ნახ. 10-27. უკუმბრუნავი მმ ძალის კომპენსაციის დიაგრამა.

ლობაში ერთ ბრუნს ასრულებენ 10-27,ა ნახაზზე მოყვანილ F_1 და F_2 ვექტორების მდგომარეობაში მათი ჯამი $F_1+F_2=2F_1$. ჯამური მმ ძალის ღერძი ემთხვევა ამ მმ ძალების ღერძს.

1/6 პერიოდის შემდეგ (ნახ. 10-27, ბ) მმ ძალები სხვადასხვა მხარეს შემობრუნდება 60°-ით და შეჯამებით მოგვცემს მარეზულტირებელ მმ ძალებს $\bar{F}=\bar{F}_1+\bar{F}_2$. 1/4 პერიოდის შემდეგ (ნახ. 10-27, გ) მათი ჯამი ტოლი იქნება ნულისა და ა. შ. ამავე დროს მაპულსირებელი მმ ძალის ღერძი უძრავია. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ტოლი ამპლიტუდების მქონე ბრუნვის ტოლი სიხშირით სხვადასხვა მხარეს მბრუნავი ორი მმ ძალა იძლევა მმ ძალას, რომლის პულსირება ხდება დენის სიხშირით უძრავი ღერძის მიმართ და აღწევს დადებით და უარყოფით მაქსიმუმს, რომელიც ორი მბრუნავი მმ ძალის არითმეტიკული ჯამის ტოლია.

ამგვარად, თუ ასამუშავებელი გრაგნილით (ა) ... ვამუშავებთ ერთფაზიან ძრავას (ნახ. 10—26, ა), მაშინ სტატორის $I_{...}$ მაპულსირებელი მმ ძალის მიერ შექმნილი მაპულსირებელი მაგნიტური ველი შეიძლება ... ტოლი ველისაგან, რომლებიც სხვადასხვა მხარეს ბრუნავენ ტოლი სიხშირით და თითოეული ქმნის თავის მმ ძალას. ეს ველები ... როტორის ... გრაგნილებში აღძრავს ორ ემ ძალას და ორ ტოლ ... , რომლებიც ... ველებთან ქმნიან სხვადასხვა მხარეს მიმართულ ... მომენტს. ბუნებრივია, ამ დროს როტორი არ დატრიალდება.

თუ ასამუშავებელი გრაგნილი ჩართულია, მაშინ ორფაზიანი მბრუნავი ველი ქმნის მაბრუნ მომენტს და როტორი იწყებს ბრუნვას, როგორც სამფაზიან ძრავაში, თითქმის სინქრონულად ველის მიმართულებით, რომლის ბრუნვის სიხშირე $n_2 \approx n_1$ იმ ველს, რომლის მხარეზეც ბრუნავს როტორი, უწოდებენ პირდაპირ ველს, ხოლო მუშა გრაგნილთან შეჭიდულ ნაკადს — პირდაპირ ნაკადს $\Phi_{პირ}$.

თუ მბრუნავი ძრავას ასამუშავებელ გრაგნილს გამოვრთავთ, მაშინ, როგორც აღვნიშნეთ, ძრავას როტორი განაგრძობს ბრუნვას. ეს ხდება შემდეგი მიზეზის გამო.

პირდაპირი ნაკადი $\Phi_{პირ}$ ბრუნავს n_2 სიხშირით მბრუნავ როტორში

ქმნის ემ ძალას $E_{2\text{პირ}}$, დენს $I_{2\text{პირ}}$ და, მაშასადამე, მაბრუნ მომენტს $M_{\text{პირ}}$ ისე, როგორც სამფაზიან ძრავაში. ამ დროს სრიალი

$$S_{\text{პირ}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \approx 0, \text{ რადგან } n_2 \approx n_1.$$

როტორის შემხვედრად მბრუნავ მეორე მმ ძალასა და მის მიერ შექმნილ ნაკადს ეწოდება შებრუნებული (უკუ) $F_{\text{უკუ}}$ და $\Phi_{\text{უკუ}}$. ისინი როტორთან შედარებით ბრუნავენ $n_1 + n_2 \approx 2n_1$ სიხშირით, როცა სრიალი $S_{\text{უკუ}} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} \approx 2$.

სტატორის უკუნაკადის მიერ როტორში აღძრული $E_{2\text{უკუ}}$-სა და $I_{2\text{უკუ}}$-ს სიხშირე დაახლოებით ტოლია $2f_1$-სა. ამიტომ როტორის გრაგნილის რეაქტიული წინაღობა $X_{2\text{უკუ}} = 2\pi f_2 L_2$ იმდენად დიდია, რომ $I_{2\text{უკუ}}$ $E_{2\text{უკუ}}$-ს ჩამორჩება თითქმის 90°-ით. მაშასადამე, $I_{2\text{უკუ}}$ მთლიანად რეაქტიულია და $\Phi_{\text{უკუ}}$-სთან ძალიან მცირე მაბრუნ მომენტს $M_{\text{უკუ}}$ ქმნის, რომელსაც საწინააღმდეგო მიმართულება აქვს.

ამგვარად, ძრავას მარეზულტირებელი მაბრუნი მომენტი

$$M = M_{\text{პირ}} - M_{\text{უკუ}} \approx M_{\text{პირ}}$$

და ძრავას შეუძლია იმუშაოს.

ასეთივე მოვლენა აღინიშნება სამფაზიან ძრავებშიც. მუშაობის დროს ერთი ფაზის გამორთვისას ძრავას როტორი აგრძელებს ბრუნვას, თუ დატვირთვა ნომინალურის 50—55%-ს არ აღემატება, მაგრამ უძრავი სამფაზიანი ძრავის ამუშავება ფაზის გაწყვეტისას შეუძლებელია.

ზემოთ მოყვანილი მსჯელობა საშუალებას გვაძლევს სამფაზიანი ასინქრონული ძრავა გამოვიყენოთ ერთფაზიანი წრედიდან კვების დროს (ნახ. 10-26, ბ, გ). აქ, ისევე, როგორც სამფაზიანი ძრავას შემთხვევაში, სტატორის გრაგნილის ფაზათა მომჭერებზე $U_{ფ}$ ძაბვა მუდმივი უნდა დარჩეს ჩართვის ყველა სქემის დროს, ე. ი. $U_{ფ} = U_{ფ.ნ}$. ძრავას $C_{მ}$ კონდენსატორი უზრუნველყოფს ამ პირობებს. ის რჩება მუდმივად ჩართული და წარმოადგენს მუშა ტევადობას $C_{მ.ნ}$. ის დაახლოებით შეიძლება გამოვთვალოთ შეფარდებებით:

სქემა. ნახ. 10-26, ბ — $C_{მ} \approx 2800 \dfrac{I_{ნ}}{U}$;

სქემა, ნახ. 10-26, გ — $C_{მ} \approx 4800 \dfrac{I_{ნ}}{U}$;

სადაც დენი — ფაზურია, ხოლო ძაბვა — ხაზური, პასპორტის მიხედვით.

როცა აუცილებელია დიდი ასამუშავებელი მომენტის მიღება, ამუშავების დროს ჩაირთვება ასამუშავებელი $C_{\text{ასამ}}$ ტევადობა. ძრავას, რომელ-

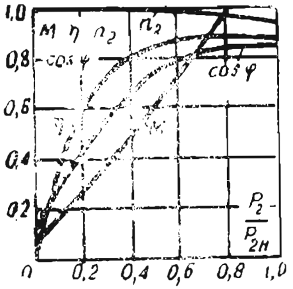
შიც ტევადობა მუდმივადაა ჩართული კ ო ნ დ ე ნ ს ა ტ ო რ ი ა ნ ი ე წ ო-დ ე ბ ა.

კონდენსატორიანი ძრავას ზღვრულ სიმძლავრედ უნდა ჩავთვალოთ 1,7 კვტ სიმძლავრე, რადგან კონდენსატორის ღირებულება 1 კვტ ნომინალური სიმძლავრის დროს დაახლოებით ძრავას ღირებულებას უდრის.

ერთფაზიან ძრავას, სამფაზიანთან შედარებით, უფრო ცუდი საექსპლუატაციო თვისებები, დაბალი მქ კოეფიციენტი cos φ აქვს.

10-13. ასინქრონული ძრავას დანაკარგები და მარგი ქმედების კოეფიციენტი

ენერგეტიკულ დიაგრამაზე (ნახ. 10-25) ნაჩვენები დანაკარგები ასინქრონულ ძრავაში შედგება: სტატორის გრაგნილში დანაკარგის — $P_{ე1}$; სტატორის ფოლადში დანაკარგების — $P_{ფ}$ და ხახუნზე დანაკარგებისაგან — $P_{მექ}$.



ნახ. 10-28. ასინქრონული ძრავას მუშა მახასიათებლები.

მაშასადამე, სიმძლავრე შემომყვანზე (პირველადი)

$$P_1=\sqrt{3}\,U_1 I_1 \cos\varphi. \qquad (10\text{-}13)$$

სიმძლავრე გამომყვანზე (ლილვზე)

$$P_2=P_1-(P_{ე1}+P_{ფ}+P_{ე2}+P_{მექ}) \qquad (10\text{-}14)$$

და ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ)

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}\,100\,\%=\frac{P_1-\Sigma P}{P_1}\,100\,\%. \qquad (10\text{-}15)$$

ძრავას მქ კოეფიციენტი მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს ნომინალური ან მასთან ახლოს მდებარე დატვირთვის დროს. 10-28 ნახაზზე მოყვანილია ასინქრონული ძრავას სამუშაო მახასიათებლები, რომლებიც მსგავსია მუდმივი დენის პარალელური აგზნების ძრავას მახასიათებლებისა. მრუდები აგებულია ფარდობით ერთეულებში.

10-14. სინქრონული მანქანები

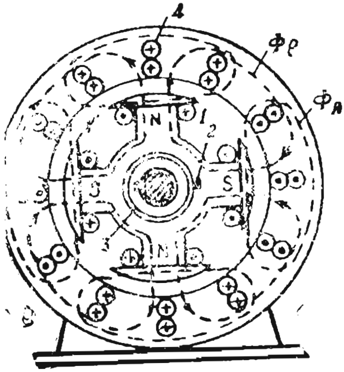
თანამედროვე ელექტროსადგურებში მექანიკური ენერგია ელექტრულად გარდაიქმნება თითქმის მხოლოდ სინქრონული გენერატორების საშუალებით.

ამ მანქანებში სტატორი მოწყობილია ასინქრონული მანქანების სტატორის მსგავსად (ნახ. 10-1, 10-7, 10-29), ხოლო როტორი, რომელიც ბრუნვის მუდმივი სიხშირით მოძრაობაში მოდის ორთქლის ან წყლის ტურ-

ბინებით, თან ატარებს $I_{აგზ}$ მუდმივი დენით გარსშემოდენილ აგზნების გრაგნილს ისევე, როგორც მუდმივი დენის მანქანებში.

ამ დენით შექმნილი აგზნების $\Phi_{აგზ}$ მაგნიტური ნაკადი ბრუნავს უცვლელი ბრუნვის სიხშირით n და სტატორის სამფაზიან გრაგნილში აღძრავს ემ ძალას. რომელიც, როგორც უკვე ცნობილია, განისაზღვრება ფორმულით

$$E_{გრ} = 4,44 f W \Phi_{აგზ} K_{გრ}.$$



ნახ. 10-29. სინქრონული გენერატორის სქემა.

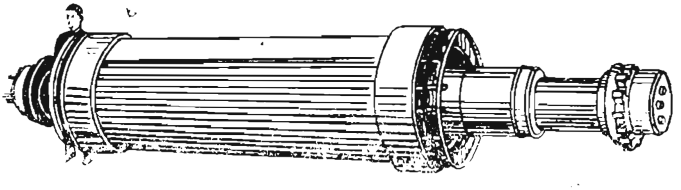
თუ სტატორის გრაგნილის მომჭერები შეერთებულია წინაღობასთან, მაშინ გრაგნილის ფაზებში გაივლის I_A, I_B, I_C დენი, ხოლო ამ დენების F_A, F_B და F_C მმ ძალები იკრიბებიან, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ (§ 10—2), წარმოქმნიან მარეზულტირებელ F მმ ძალას. ეს მმ ძალა ქმნის სტატორის ან $\Phi_ღ$ ღუზის ნაკადს, რომელიც იმავე სიხშირით ბრუნავს, როგორითაც როტორი. ამ ნიშან-თვისების გამო მანქანას ეწოდება **სინქრონული**.

სინქრონულ მანქანებში მჭიდრო კავშირშია ბრუნვის სიხშირე, სტატორის დენის სიხშირე და p წყვილ პოლუსთა რიცხვი, რაც შემდეგნაირად გამოისახება

$$n = \frac{60f}{p}.$$

როცა $f=50$ ჰც და $p=1$, 2, 3, როტორის ბრუნვის სიხშირე შესაბამისად ტოლია $n_1=3000$, 1500, 1000. სინქრონულ გენერატორებს, რომლებიც მოძრაობაში მოდიან ორთქლის ტურბინებით, რომელთა ბრუნვის სიხშირე $n=3000$, 1500 ბრ/წთ, ეწოდება ტურბოგენერატორები. გენერატორებს, რომლებიც წყლის ტურბინების საშუალებით ბრუნავენ, **ჰიდროგენერატორები** ეწოდება. ვაკე მდინარეებისა და წყალსაცავების გამოყენების დროს ჰიდრავლიკური ტურბინები ნელსვლიანია და სამრეწველო სიხშირის $f=50$ ჰც დენის მისაღებად საჭიროა წყვილ-პოლუსთა რიცხვი იყოს დიდი. მაგალითად, ბრატსკის ჰეს-ის ჰიდროგენერატორები აგებულია სიმძლავრით 225000 კვტ, 15 750 ვ, $\cos\varphi=0,85$, ბრუნთა რიცხვი $n=125$ ბრ/წთ. წყვილ პოლუსთა რიცხვი $p=24$. კრასნოიარსკის ჰეს-ის გენერატორები აგებულია 500 000 კვტ სიმძლავრით, $n=93,8$ ბრ/წთ და $p=32$.

10-29 ნახაზზე ნაჩვენებია ცხადპოლუსიანი გენერატორის სტატორი და როტორი. სტატორის კილოებში (4) ჩაწყობილია ორშრიანი გრაგნილი.



ნახ. 10-30. ტურბოგენერატორის როტორის საერთო სახე.

ზემოგანხილულის მსგავსად (ნახ. 10-7) ოთხპოლუსიანი როტორი აგზნების გრაგნილით (1) ბრუნავს პირველადი ძრავას საშუალებით (სქემაზე ნაჩვენები არ არის).

აგზნების დენი, სპეციალური მუდმივი დენის მანქანიდან აგზნებიდან ან გამმართველიდან გრაგნილთან (1) საკონტაქტო რგოლებისა (3) და მუსებას (2) საშუალებით მიიყვანება.

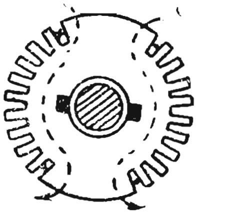
10—30 ნახაზზე ნაჩვენებია არაცხადპოლუსიანი როტორის გარე ხედი, ხოლო 10-31 ნახაზზე—როტორის განივი კვეთი გრაგნილების გარეშე.

გენერატორის უქმი სვლის მახასიათებელი $E_{გნ} = f(I_{აგზ})$, როცა $I =$ const, $I = 0$ და გარე მახასიათებელი $U = f(I)$, როცა $I_{აგზ} =$ const, $\cos\varphi =$ = const მსგავსებია დამოუკიდებელი აგზნების მუდმივი დენის გენერატორის იმავე მახასიათებლებისა (ნახ. 4-22). მაგრამ ძაბვის პროცენტული ცვლილება

$$\Delta U = \frac{E_{გნ} - U_{ნ}}{U_{ნ}} 100\,\%.$$

სინქრონულ გენერატორებში აღწევს $(20 - 40\,\%) U_{ნ}$.

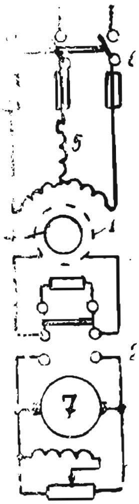
ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ღუზის რეაქციის ნაკადი $\Phi_{ღ}$, რომელიც პოლუსის განივად იკვრება (ნახ. 10-29) როგორც მუდმივი დენის მანქანებში, სინქრონულ მანქანებში ჩამორჩენილი დენის დროს, ე. ი. როცა $\cos\varphi < 1$ შეიკვრება პოლუსის გასწვრივ $\Phi_{მკ}$ ნაკადის შემხვედრად. ამიტომ ხდება მარეზულტირებელი ნაკადის $\Phi = \Phi_{მკ} - \Phi_{ღ}$ ძლიერი შემცირება $E_{გ}$ და ემ ძალისა და U-ს შემცირება.



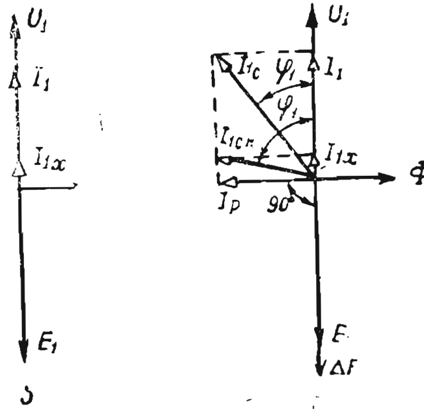
ნახ. 10-31. ტურბოგენერატორის როტორი უგრაგნილოდ და აგზნების გრაგნილის ერთი სექცია.

სინქრონულ მანქანას შეუძლია იმუშაოს ძრავას რეჟიმითაც მუდმივი სიჩქარით მომუშავე მექანიზმების ამძრავად, მაგალითად, ტუმბოების, აირშემბერების ამძრავებად და წარმატებით ცვლიან ათასი კვტ სიმძლავრით ასეულ და ასინქრონულ ძრავებს. გადატვირთვისადმი $\frac{M_{მაქს}}{M_{ნომ}} = 1{,}8 \div 2{,}5$ უნარის დროს, სინქრონულ ძრავებს აქვთ თვისება იმუშაონ, ერთის ტოლი $\cos\varphi$-თი.

10-32 ნახაზზე ნაჩვენებია სინქრონული ძრავების ამუშავების სქემა. როტორის ბუნიკებში, აგზნების გრაგნილის (1) გარდა, მოკლედ შერთული გრაგნილი (4) ჩაწყობილია ისე, რო-



ნახ. 10-32. სინქრონული ძრავას ამუშავების სქემა.



ნახ. 10-33. გადამეტაგზნებული ასინქრონული ძრავას მუშაობის დიაგრამა.

გორც ასინქრონულ ძრავებში. ამუშავების წინ აგზნების გრაგნილი (1) გადამრთველის (2) საშუალებით ჩაირთვება რეზისტორთან (3). სტატორი (5) მკვებავ ქსელთან ჩაირთვება ჩამრთველის (6) საშუალებით და სტატორის მბრუნავი მაგნიტური ველი აღძრავს დენს როტორის (4) მოკლედ შერთულ გრაგნილში და გააქანებს როტორს, როგორც ასინქრონულ ძრავებში $n_2 \approx n_1$ ბრუნვის სიხშირემდე.

იმისათვის, რომ როტორმა იბრუნოს n_1 სიხშირით, ანუ სინქრონულად, გრაგნილში უნდა დავამყაროთ მუდმივი დენი. ამ მიზნით გადამრთველის (2) დანას გადართავენ ქვევით, აგზნების მომჭერებზე (7), და როტორი ავტომატურად შევა სინქრონიზმში, რის შედეგად ძრავა შეიძლება დავტვირთოთ.

ძრავას ნაკადი $\Phi_{აგზ}$ სტატორის გრაგნილში აღძრავს უკუ ემ ძალას E_1-ს, თუ გრაგნილის აქტიურ წინაღობას უგულებელვყოფთ და ჩავთვლით, რომ $I_1 z_1 \approx I_1 x_1$, მაშინ ქსელის ძაბვა $\overline{U}_1 = -(\overline{E}_1 + \overline{I}_1 x_1) \approx -\overline{E}_1$ (ნახ. 10-33, ა). უქმი სვლის დროს სიმძლავრე $P_{უქმი} = \sqrt{3} U_1 I_{1უქმი} \cos \varphi_{უქმი}$ — ძალიან მცირეა და ტოლია ძრავას უქმი სვლის დანაკარგებისა. უქმი სვლის დენი $I_{1უქმი}$ აქტიურია და ისიც მცირეა, ხოლო $\cos \varphi_{უქმი}$ სათანადო აგზნების დროს შეიძლება იყოს ერთის ტოლი. ღერძზე დატვირთვის გაზრდის დროს დენი იზრდება I_1 მნიშვნელობამდე და რჩება აქტიური.

თუ აგზნების $I_{აგზ}$ დენს გავადიდებთ (ნახ. 10-33, ბ) $\Phi_{აგზ}$ ნაკადი და ემ ძალაც გაიზრდება $E_1+\Delta E$ მნიშვნელობამდე, მაშინ სტატორის გრაგნილში წარმოიქმნება დამატებითი დენი

$$I_{რ}=\frac{\Delta E}{x_1}.$$

ეს დენი მთლიანად რეაქტიულია, რადგან სტატორის გრაგნილის წინაღობა $Z_1=\sqrt{r_1^2+X_1^2}\approx X_1 \cdot I_{რ}$ დენი ΔE-საგან ჩამორჩება $\varphi=90^\circ$ კუთხით (ნახ. 10-33, ბ) და წინ უსწრებს U_1 ძაბვას 90°-ით, ხოლო ძრავას ჯამური დენი $I_{1ჯამ}$ წინ უსწრებს U_1 ძაბვას φ_1 კუთხით.

ძალიან ხშირად ამყარებენ ე. წ. სინქრონული კომპენსატორის რეჟიმს, როცა ძრავა მუშაობს ღერძზე დატვირთვის გარეშე, მაგრამ წინ წასწრებული დენით $I_{ჯამ.კ}$. (ნახ. 10—33, ბ). თუ ასეთ მანქანას ჩავრთავთ ქსელში, რომელიც ინდუქციური მომხმარებელია, მაშინ ის იმუშავებს როგორც კომპენსატორი, ქსელში შექმნის ისეთ პირობებს, როცა მიიღება დენების რეზონანსი (იხ. § 6—10).

კონდენსატორებთან შედარებით, რომლებიც გამოიყენებიან ქსელში cos φ-ს ასამაღლებლად, სინქრონული კომპენსატორები შესაძლებელს ხდიან წინ წასწრებული დენით რეგულირებას, მაგრამ სიმძლავრის დანაკარგები მათში მეტია, ვიდრე კონდენსატორებში და ისინი საჭიროებენ მომსახურებას.

მცირე სიმძლავრეების დროს (თუ რამდენიმე ვატს არ აღემატება) სინქრონულ ძრავებს აგეგმარებენ აგზნების გრაგნილის გარეშე. ასეთ ძრავებს უწოდებენ რეაქტიულ სინქრონულ ძრავებს და იყენებენ ისეთი მექანიზმების ამძრავად, რომლებიც მუდმივი ბრუნვის სიხშირეს საჭიროებენ (ხმოვანი კინო, ტელემექანიკა).

10-15. უნივერსალური კოლექტორული ძრავა

10-34 ნახაზზე ნაჩვენებია უნივერსალური კოლექტორული ძრავას ჩართვის სქემა. თუ ამ ძრავას მუდმივი დენის ქსელის (+) და (−) მომჭერებთან მივაერთებთ, მაშინ ის იმუშავებს, როგორც ჩვეულებრივი ძრავა მიმდევრობითი აგზნებით, რომლის თვისებებსა და მახასიათებლებზე ნათქვამი იყო § 4-17-ში. ცნობილია, რომ ღუზასა და აგზნების გრაგნილში ერთდროულად დენის მიმართულების შეცვლა არ იწვევს მაბრუნი მომენტის მიმართულების შეცვლას. მაშასადამე, ძრავა იბრუნებს, თუ მას ჩავრთავთ ცვლადი წრედის მასიურ ნაწილებში, რადგან ის ცვლადი დენით იკვებება, აღიძვრება დიდი გრიგალური დანაკარგები, ხოლო ცვლადი დენის აგზნების გრაგნილს ექნება დიდი ინდუქციური წინაღობა. ამიტომ უნივერ-

ნახ. 10-34. უნივერსალური ძრავას სქემა.

სალური ძრავები მზადდება დგამითა და პოლუსებით, რომლებიც ლუზის მსგავსად აწყობილი არიან ფურცლოვანი ელექტროტექნიკური ფოლადისაგან. მათ დამატებითი პოლუსები არა აქვთ. ცვლადი დენით მუშაობისას ინდუქციური წინაღობის შესამცირებლად ძაბვის ქვეშ ჩაირთვება აგზნების გრაგნილის მხოლოდ ნაწილი (ნახ. 10-34).

ცვლადი დენით მუშაობის დროს ძრავას მაჩვენებლები რამდენადმე ცუდია, ვიდრე მუდმივი დენით მუშაობის შემთხვევაში.

მეთერთმეტე თავი

ელექტროამძრავი და მართვის აპარატურა

11-1. ელექტროამძრავის სისტემა

ელექტროამძრავი (ელექტრული ამძრავი) ეწოდება მანქანური მოწყობილობის ნაწილს, რომელიც შედგება ელექტროძრავისა, მართვის აპარატურისა და გადამცემი მოწყობილობისაგან ელექტროძრავიდან მუშა მანქანამდე. ელექტროამძრავი ავტომატიზაციის გამოყენებით საშუალებას იძლევა გავზარდოთ ძალური დანადგარის მწარმოებლურობა, ავამაღლოთ გამოშვებული პროდუქციის ხარისხი და გავაუმჯობესოთ მუშათა შრომის პირობები.

ძრავას სიმძლავრის სწორ შერჩევას, რომელსაც მოძრაობაში მოჰყავს მანქანა-იარაღები (ჩარხი, ტუმბო, ვენტილატორი, ამწე და ა. შ.), ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს. არასაკმარისი ნომინალური სიმძლავრის დროს ძრავა გადამეტტვირთვის შედეგად დაუშვებლად გადახურდება, რაც გრაგნილის იზოლაციის გარღვევას გამოიწვევს, ხოლო ძრავას მაღალი სიმძლავრე აძვირებს დანადგარს, ამცირებს მქ კოეფიციენტსა და cos φ. ზემოთ ჩვენ გვქონდა ლაპარაკი ძრავას გადამეტტვირთვის უნარზე, რომელიც $\frac{M_{m}}{M_{n}}$ შეფარდებით ხასიათდება, და მიუთითებს სიმძლავრის რეზერვზე, რომელიც ძრავას შეუძლია განავითაროს მოკლე დროში. ძრავას მოკლედროებითი გადატვირთვის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა სამუშაო მომენტი ელექტროამძრავის ლილვზე საწარმოო მექანიზმის მხრიდან არ უნდა აღემატებოდეს $M_{მაქს}$-ს.

საერთო დანიშნულების ასინქრონული ძრავებისათვის შეფარდება საშუალოდ ტოლი უნდა იყოს 1,8—2,5, ამწეების ასინქრონული ძრავებისათვის 2,3—3,3 და სინქრონული ძრავასათვის 1,8—2,5. მუდმივი დენის ძრავების დასაშვები გადამეტტვირთვა განისაზღვრება კოლექტორის

უნაპერწკლო მუშაობით, რადგან გადამეტტვირთვისას უარესდება მათი კომუტაცია და კოლექტორზე შეიძლება გაჩნდეს წრიული ცეცხლი. ამის მხედველობაში მიღებით მათთვის $\frac{M_{მ}}{M_{ნ}} \approx 2,5$, ხოლო ამწევების ძრავებისათვის ეს შეფარდება 3,0—4,0 შეადგენს.

11-2. ელექტრული მანქანების გახურება

საჭიროა განვასხვავოთ ელექტრული მანქანების მუშაობის რეჟიმები: ხანგრძლივი, ხანმოკლე და განმეორებით ხანმოკლე (იხ. ქვემოთ). ზემოთმოყვანილი მაქსიმალური მომენტების მნიშვნელობები დასაშვებია მხოლოდ ხანმოკლე დროში. ნომინალური მომენტის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მანქანას შეუძლია იმუშაოს ხანგრძლივად, განისაზღვრება მისი გრაგნილების იზოლაციის დასაშვები გახურების პირობებით. ვინაიდან გრაგნილების გახურება დამოკიდებულია I^2-ზე, ე. ი. დატვირთვის დენის კვადრატზე, მაშინ ნომინალური სიმძლავრე და მანქანის დენი მით მეტი იქნება, რაც მაღალი იქნება იზოლაციის ზღვრული დასაშვები ტემპერატურა.

უფრო მაღალ ტემპერატურაზე მანქანის მუშაობა ამცირებს იზოლაციის სამსახურის დროს და, მაშასადამე, თვით მანქანისაც, ხოლო დაბალ ტემპერატურაზე მუშაობა — ახანგრძლივებს მას. როგორც მანქანის ტემპერატურა გადააჭარბებს გარემომცველი გარემოს ტემპერატურას, დაიწყება ტემპერატურის გადაცემა გარემოში და ის მით მეტი იქნება, რაც მეტია განსხვავება მანქანისა და გარემოს ტემპერატურებს შორის. მანქანის ტემპერატურის ზრდა შეწყდება მაშინ, როცა მანქანაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გაუტოლდება მის მიერ გარემოში გადაცემულ სითბოს.

ელექტრომანქანათმშენებლობაში გამოყენებული საიზოლაციო მასალები მხურვალმედეგობის მიხედვით იყოფა შვიდ კლასად.

1. *У* კ ლ ა ს ი. გაუჟღენთავი და თხევად ელექტროსაიზოლაციო მასალაში ჩაუყურსავი ცელულოზის, ბამბისა და აბრეშუმის ბოჭკოვანი მასალები. ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 90°C.

2. *A* კ ლ ა ს ი. *У* კლასის მასალები, მაგრამ გაჟღენთილი ან თხევად ელექტროსაიზოლაციო მასალაში ჩაყურსული. ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 105°C.

3. *E* კ ლ ა ს ი. ზოგიერთი სინთეზური ორგანული აფსკი. ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 120°C.

4. *B* კ ლ ა ს ი. ქარსიანი მასალები, რომლებიც შეწებებული ან გაჟღენთილია ორგანული დენადი ნივთიერებებით (ფისებით ან ლაქებით). ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 130°C.

5. კლასი ქარსის, მინაბოჭკოს და აზბესტის არაორგანული

მასალები სინთეზურ შემაკავშირებელ ან გამყლენთ შედგენილობასთან შესაბამისად. ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 155°C.

6. H კ ლ ა ს ი. F კლასის მასალები, მაგრამ სილიციუმორგანული შემაკავშირებლით და გამჟღენთი ნივთიერებით. ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 180°C.

7. C კ ლ ა ს ი. ქარსი, ელექტროკერამიკა, მინა, კვარცი, შემაკავშირებელი ნივთიერების გამოყენების გარეშე ან არაორგანული შემაკავშირებელი შედგენილობით. ზღვრული დასაშვები ტემპერატურაა 180°C და მეტი.

როცა გარემოს ტემპერატურა +35°C-ია, ფოლადის გულარებისა და სხვა ნაწილების, რომლებიც გრაგნილებს ეხებიან, A და B კლასის იზოლაციის დროს მათი ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 65—85°C-ს, საკონტაქტო რგოლებს კი იმავე პირობებში უნდა ჰქონდეს ტემპერატურა არაუმეტეს 70 და 90°C, კოლექტორს 65 და 85°C. ხახუნის საკისრების ტემპერატურა კი არ უნდა აღემატებოდეს 80°C-ს, ხოლო გორვის საკისრებისა — 95°C.

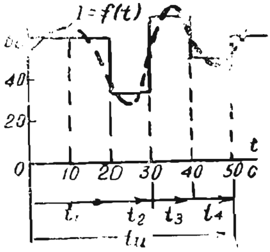
ძრავას საბოლოო ტემპერატურა Θ შედგება გარემოს ტემპერატურასთან შედარებით მისი ტემპერატურის ნამატის τ და გარემოს ტემპერატურის ჯამისაგან. თუ გარემოს ტემპერატურა $\Theta_0 = 35°C$, მაშინ $\Theta = \tau + \Theta_0$. როცა Θ_0-ტემპერატურა ნაკლებია, შეიძლება დავუშვათ ძრავას რამდენადმე გადამეტტვირთვა.

11-3. ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანგრძლივი რეჟიმის დროს

თუ ძრავა უცვლელი დატვირთვით მუშაობს, მაშინ ნომინალური სიმძლავრე ტოლი ან რამდენადმე მეტი უნდა იყოს სიმძლავრეზე, რომელიც საჭიროა მოძრაობაში მოყვანილი მექანიზმის ნორმალური მუშაობისათვის (ჩარხი, ტუმბო, ვენტილატორი, ამწე და სხვ.).

სხვადასხვა მექანიზმის სიმძლავრე განისაზღვრება, მათი მწარმოებლურობის თანახმად, ცნობარებში მოყვანილი ფორმულებით.

ძრავას სიმძლავრის განსაზღვრისათვის, რომელიც ხანგრძლივი რეჟიმით მუშაობს, საჭიროა გვქონდეს დატვირთვის გრაფიკი $I = f(t)$ (ნახ. 11—1). გრაფიკის მდოვრე მრუდს ცვლიან საფეხურებიანი ხაზით, რადგან მხედველობაში აქვთ, რომ t_1 დროში ძრავაში გადის I_1 დენი, t_2 დროში — I_2 დენი და ა. შ. ცვლად



ნახ. 11—1. ძრავას სიმძლავრის შერჩევის დიაგრამა ხანგრძლივი რეჟიმის დროს

დენს ცვლადი მისი ეკვივალენტური $I_{ეკ}$ დენით, რომელიც [illegible] ერთი ციკლის განმავლობაში $t_ც$ დროში იმდენივე სითბურ ზემოქმედებას ახდენს [illegible] გრაგნილებზე, [illegible] ცვლადი დენი, მაშინ

$$I_{ეკ}^2 R (t_1 + t_2 + \dots + t_n) = I_1^2 R t_1 + I_2^2 R t_2 + \dots + I_n^2 R t_n,$$

საიდანაც ეკვივალენტური დენი

$$I_{ეკ} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \qquad (11\text{-}1)$$

[illegible] ნომინალური დენი ეკვივალენტურ დენზე [illegible] ე. ი. $I_ნ \geq I_{ეკ}$.

[illegible] ძრავებისათვის [illegible] მუდმივი [illegible]

$$M = C_M \Phi I \sim I.$$

მაშინ [illegible] ეკვივალენტური მომენტი

$$M_{ეკ} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \qquad (11\text{-}2)$$

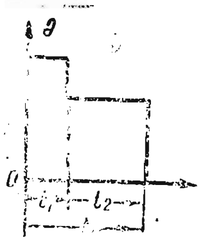
თუ [illegible] $M\omega$ [illegible] შეგვიძლია [illegible] სიმძლავრე

$$P_{ეკ} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \qquad (11\text{-}3)$$

[illegible] ხანმოკლე [illegible] [illegible] ტერიოდული [illegible].

ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე რეჟიმის დროს

[illegible] $t_{მუშ}$ დროში, [illegible] ტემპერატურა [illegible] დამყარებულ მნიშვნელობას [illegible] (ელექტრომაგნიტური [illegible] სამარჯვები, ხიდების მოწყობილობა, გასაშვ[illegible]ლი ხიდები).



ნახ. 11—2. ძრავას მუშაობის დიაგრამა ხანმოკლე რეჟიმის დროს.

11—2 ნახაზზე მოყვანილი გრაფიკის შესაბამისად თვლიან, რომ $t_1 + t_2 + \dots + t_n = t_{მუშ}$ და (11—2) ფორმულის მიხედვით ვანსაზღვრავთ $M_{ეკ}$. შემდეგ კატალოგებიდან შევარჩევთ $t_{მუშ}$ დროში მომუშავე ძრავას, რომ-

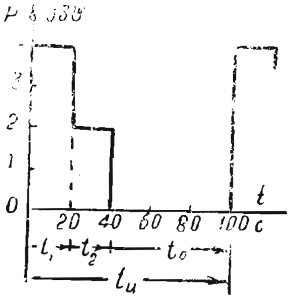
[illegible] შედეგიდან [illegible] დროთ [illegible] როცა $\frac{I_{მ.ძ.}}{I_{ნ}}$ [illegible] [illegible].

[illegible] ძრავის სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე განმეორებითი [illegible] რეჟიმში

[illegible] მუშაობის [illegible] რეჟიმში [illegible] დამყარებულ მნიშვნელობას [illegible] ცოცვება გაცემის [illegible] (ნახ. 11—3) [illegible] ექსპლოატაციის [illegible] წრედები უნდა იყოს [illegible] ტოლი [illegible] შეფარდება მუშა [illegible] ხანგრძლივობა:

$$\frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{\dots + t_n} 100\% \qquad (11\text{-}4)$$

[illegible] მით ნაკლებია ძრავის ნომინალური [illegible] დროის. მაშასადამე, [illegible] 25% [illegible] სიმძლავრის [illegible] 60-ის [illegible] დროის.

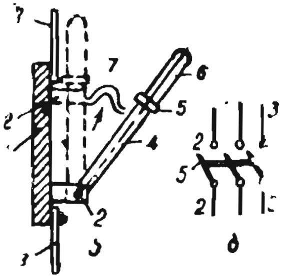


ნახ. 11—3. ძრავის მუშაობის [illegible] გრაფიკი განმეორებით ხანმოკლე რეჟიმის დროს.

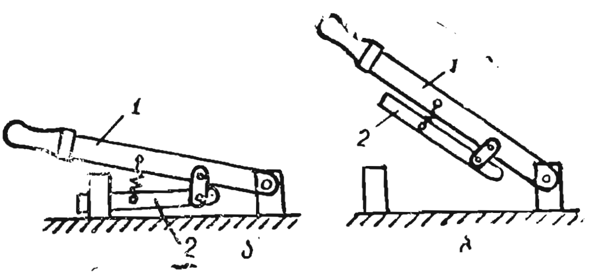
[illegible] ხანგრძლივობისათვის [illegible] 25% [illegible] 10 [illegible] (11—3) ფორმულის მიხედვით, ხოლო შემდეგ მოცემული ჩართვის ხანგრძლივობისათვის პოულობენ ძრავის ნომინალურ სიმძლავრეს ამწევების ძრავების კატალოგიდან. თუ გამოთვლილი ჩართვის ხანგრძლივობა არ შეესაბამება სტანდარტულს, მაშინ (11—3) ფორმულით გამოანგარიშებულ $P_{ექ1}$ სიმძლავრეს განსაზღვრავენ სტანდარტული ჩართვის ხანგრძლივობით

$$P_{ექ2} = P_{ექ1}\sqrt{\frac{(\text{ჩართ. ხანგრძლ})\ 1}{(\text{ჩართ. ხანგრძლ})\ 2}} \qquad (11\text{-}5)$$

ელექტრული მანქანებისა და მუდმივი და ცვლადი დენის წრედების ხელით ჩართვისათვის 500 ვ-მდე ძაბვისა და 1000 ა-მდე დენების დროს გამოიყენება ჩ ა მ რ ა ზ ე ბ ი. 11—4. ა და ბ ნახაზებზე ნაჩვენებია უბრალო ჩამრაზი და მისი პირობითი აღნიშვნები. სქემაზე მაიზოლირებელ ფილაზე (1) დამაგრებულ ბიგებთან (2) მიერთებულია გამტარები (3): ქვედა ბიგებში სახსრულად ჩამაგრებულია ლითონის დანები (4). 11—4. ბ ნახაზზე ნაჩვენებია სამპოლუსიანი ჩამრაზი, რომლის მაიზოლირებელი ტრავერსით (5) შეერთებული დანები ჩაირთვება ერთდროულად. დატვირთული წრედის გამორთვის დროს მართვის სახელურით (6) ზედა ბიგებსა და დანებს შორის წარმოიქმნება ელექტრორკალი (7), რომელსაც შეუძლია შემოადნოს კონტაქტები. ამიტომ აქ ნაჩვენები ჩამრაზი გამოიყენება, როგორც გ ა მ თ ი შ ვ ე ლ ი ცვლადი დენის წრედებში 220 ვ-მდე ძაბვის დროს, ანუ დაუტვირთავი წრედის გამოსართავად.



ნახ. 11—4. უბრალო ჩამრაზი.



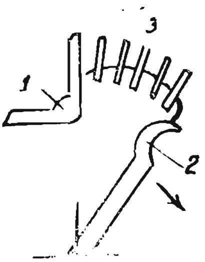
ნახ. 11—5. მყისიერი გამორთვის ჩამრაზი.

დატვირთული წრედების გამოსართავად გამოიყენება რკალჩამქრობი კონტაქტების მქონე ჩამრაზები (ნახ. 11—5). გამორთვისას ჯერ მოწყვეტენ მუშა დანებს (1), ხოლო შემდეგ ზამბარის დაჭიმვის ზემოქმედებით — წრედის გამწყვეტ დანებს (2). გათიშვა ხდება ძალიან სწრაფად, რაც ხელს უწყობს რკალის გაწელვასა და ჩაქრობას.

380 და 500 ვ-იანი ცვლადი დენისა და 220 ვ-იანი და მეტი ძაბვის მუდმივი დენის დანადგარებში დატვირთული წრედების გამომრთველებს უკეთდებათ რკალსაქრობი მოწყობილობა. ერთ-ერთ ასეთ მოწყობილობას წარმოადგენს რ კ ა ლ ს ა ქ რ ო ბ ი გ ი ს ო ს ე ბ ი (ნახ. 11—6).

(1) და (2) მუშა კონტაქტების ზემოთ იდგმება ფოლადის ფირფიტების გისოსი (3), რომელიც მოთავსებულია აზბესტცემენტის, კერამიკისა და

სხვათა კამერაში. გამორთვის დროს წარმოქმნილი რკალი ელექტროდინამიკური ძალებითა და აგრეთვე გაცხელებული ჰაერის ზევით გაწოვით შეიყვანება გისოსში, სადაც ის დაიყოფა ცალკეულ რკალებად. თითოეული ასეთი რკალის ასანთებად საჭიროა სრულიად განსაზღვრული ძაბვა. თუ რკალს დავყოფთ ისეთი რაოდენობის ნაწილებად, რომლის ჯამსაც ძაბვა (1) და (2) კონტაქტებს შორის ნაკლებია, ცალკეული რკალების ასანთებად საჭირო ძაბვის ჯამზე, მაშინ ყველა რკალი სწრაფად ჩაქრება.



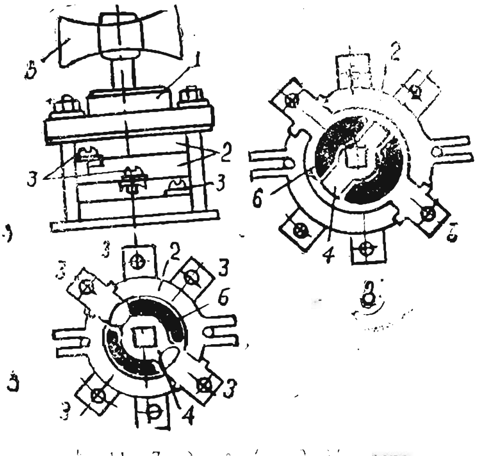
ნახ. 11—6. რკალსაქრობი გისოსი.

რკალსაქრობი გისოსები და ჩამრთველები 220, 380 და 500 ვ ძაბვებზე მზადდება [illegible] და [illegible] გარსაცმებით.

11.7. პაკეტური ამომრთველები

მუდმივი და ცვლადი დენის წრედების ხელით გამორთვისა და ჩართვისათვის, რომელთა ძაბვები 220 და 380 ვოლტია და ხანგრძლივი დენი 10-დან 400 ამპერამდე, [illegible] მოწყობილობათა გაბარიტების შესამცირებლად გამოიყენება მცირეგაბარიტიანი აპარატები — პაკეტური ამომრთველები (ნახ. 11—7 ა).

ქსელის გამტარებს აერთებენ უძრავ კონტაქტებთან (3), რომლებიც დამაგრებულია საიზოლაციო მასალისაგან დამზადებულ უძრავ საყრდენებზე (2). სახელურით (5) ოთხწახნაგოვანი ღერძის შემობრუნებისას მასზე განლაგებულ მოძრავ კონტაქტებს (4) შეუძლიათ დაიკავონ ერთმანეთის მიმართ 90° დაშორებული ორი მდგომარეობა, როგორც ნაჩვენებია 11—7, ბ და გ ნა-



ნახ. 11—7. პაკეტური ამომრთველი.

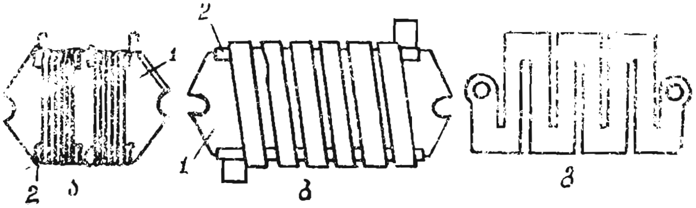
ხაზებზე. ეს კონტაქტები [illegible] და [illegible] შე-
მთ გვერდიდან ზემოდან და ქვემოდან. 11-7. ა [illegible] ... [illegible]
[illegible] კონტაქტები შეერთებულია [illegible]. [illegible] 11-7, გ
ნახაზზე ისინი გამოსახულია. ანალოგიური მეორე [illegible] ... [illegible]
მეორეზე განლაგებულ ყველა სამაგრ [illegible] ( ).

მოძრავ კონტაქტებიდან (4) დენი [illegible] ... [illegible]
[illegible] (6). [illegible] ამ კონტაქტების [illegible] ერთმანეთთან [illegible].
11—7, [illegible] ნახაზზე [illegible] მრავალსაფეხურიანი [illegible] ... [illegible]
რაც კონტაქტების (3) ქვემოდან და ზემოდან. [illegible] ... [illegible]
ნება [illegible] [illegible] 8 [illegible]. [illegible] ... [illegible]
თვის [illegible] ფირფიტის. რისგანაც [illegible] ... [illegible]
მე[illegible] ... ხელის [illegible] ... [illegible]
[illegible] სახელურის (5) შემობრუნებისას [illegible] ... (1) [illegible]
მთ[illegible] [illegible] მექანიზმის მეშვე[illegible] ... [illegible]
[illegible]

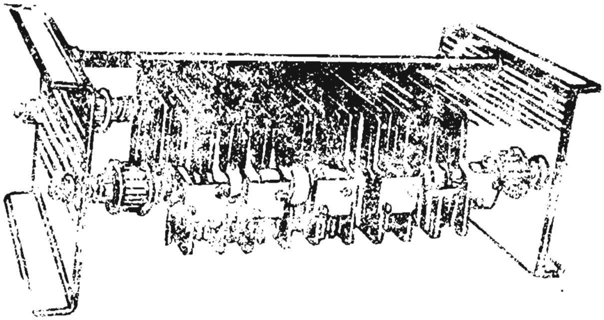
1[illegible] [illegible] ელემენტების [illegible] და რეგულირებისათვის

[illegible] ... [illegible]
[illegible] ფეხ-4 და ფე-10 [illegible] რეოსტატები [illegible] ... [illegible]
სახის [illegible] ... [illegible]
[illegible] ... [illegible]
[illegible] გამოყენებულია [illegible] ... [illegible]
[illegible] და [illegible]. 11-8, ა [illegible] ... [illegible]
[illegible] და [illegible] ... [illegible]
[illegible] ფირფიტაზე (1) [illegible] ... [illegible]
ტის ყ. ჭ. „[illegible]" (2).

11-8, გ ნახაზზე გამოსახულია [illegible] ... [illegible],
რომლის [illegible] რეოსტატების [illegible] ... [illegible]
[illegible] რეოსტატებს [illegible] ... [illegible]
[illegible] რეგულირებისათვის (ნახ. 11-10).



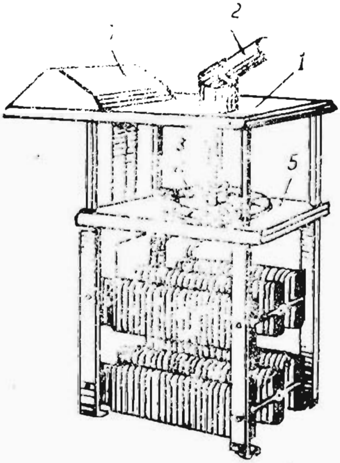
ნახ. 11-8. [illegible]



[illegible] კონტროლერი.

[illegible] (2) [illegible] სახელურზე (1) მეშვეობით [illegible] ღერძი [illegible] ხახუნზე (4). სექციები (6) [illegible] [illegible] (7) ქვეშ [illegible] წინაღობები; [illegible].

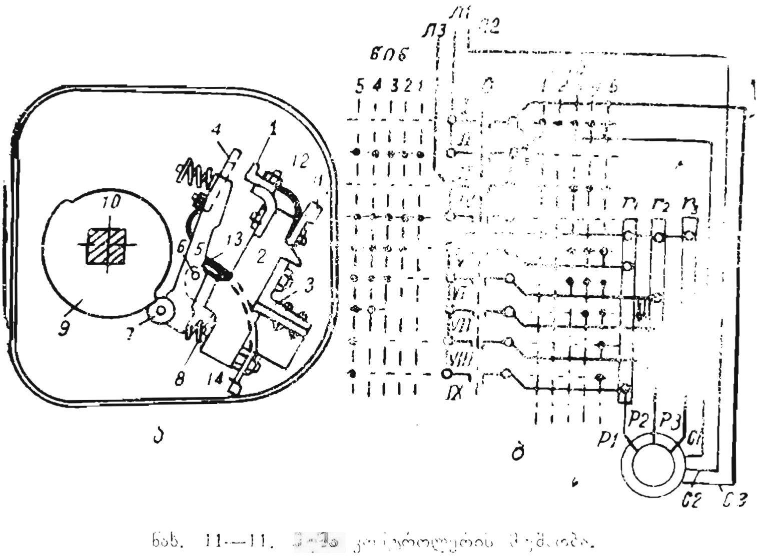
[illegible] რეოსტატების [illegible], [illegible] რეოსტატები, [illegible]. [illegible] 8-დან 10 [illegible]-მდე [illegible]. რეოსტატის წინაღობა [illegible] და [illegible] ხსნარში.



ნახ. 11-12. რეოსტატი.

კონტროლერები ეწოდება აპარატებს, რომლებიც გამოიყენებიან რეზისტორების ჩართვისა და გადართვისათვის ძრავების ამუშავების, რეგულირებისა და ბრუნვის მიმართულების შეცვლის დროს. თვით კონტროლერი შეიცავს გადამრთველ მექანიზმს, ხოლო რეზისტორი ყუთის სახით (ნახ. 11—9) დაყენებულია ცალკე. მრავალპოლუსიანი ჩამრთველებისაგან განსხვავებით კონტროლერი სხვადასხვა წრედს ჩართავს და გამორთავს არა ერთდროულად, არამედ წინასწარ დადგენილი მიმდევრობით. 11—11, ა ნახაზზე ნაჩვენებია მ უ შ ტ ო ვ ა ნ ი ტ ი პ ი ს კ ო ნ ტ რ ო ლ ე რ ი ს ერთი გადამრთველი ზედხედში.

ვერტიკალურ ჩარჩოზე (3) დამაგრებულია პლასტმასის იზოლატორი (2), ამომრთველის (1) უძრავი კონტაქტით, რომელთანაც გამტარით (12) მიყვანილია დენი გადასართავი წრედის საკაბელო ბუნიკიდან. მოძრავი კონტაქტის (4) საფუძველს წარმოადგენს პლასტმასის იზოლატორი (5), რომელსაც შეუძლია შემობრუნდეს ღერძზე (6). ეს კონტაქტი წრედის (14) საკაბელო ბუნიკთან მიერთებულია გამტარით (13). ზამბარა (8) მუდამ ცდილობს მოძრავი კონტაქტი (4) მიაჭიროს კონტაქტთან (1). ვერტიკალურ ლილვზე (10) გორგოლაჭის (7) საწინააღმდეგოდ მოთავსებულია მუშტოვანი საყელური (9), რომლის მეშვეობითაც შემობრუნდება ლილვი (10) და შეიძლება ჩაირთოს და გამოირთოს კონტაქტები (4) და (1). ასეთ ამომრთველებს განალაგებენ (10) ლილვის გასწვრივ, ხოლო მათი რიცხვი განისაზღვრება ძრავას ჩართვის სქემით.



ნახ. 11—11. მუშტა კონტროლერის მუშაობა.

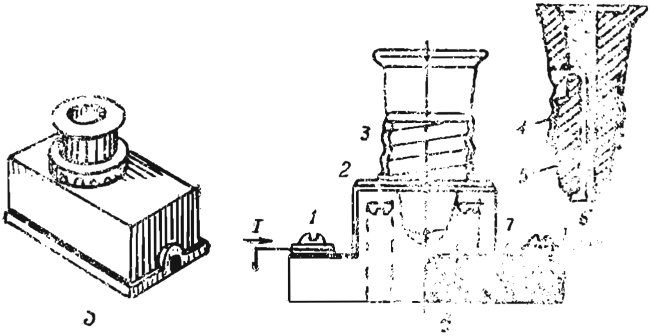
ელექტრო-ასინქრონული ძრავას ამუშავების სქემაზე (ნახ. 11-11, ბ) ნაჩვენებია. ამ ამომრთველები უნდა იყოს ცხრა (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX), ხოლო სქემებზე მათი პირობითი გამოსახულება მოცემულია 11-11, ა ნახაზზე. კონტროლერის სახურავზე სახელურის პირდაპირ, რომლითაც ღერძს (10) აბრუნებენ, აღნიშნულია პოზიციები 1, 2, 3, 4, 5 (წინ და უკან). 11-11,ბ ნახაზის სქემაზე საჭიროა ჩართულად ჩავთვალოთ ის ამომრთველი, რომლის პირდაპირ შესაბამის პოზიციაზე დასმულია წერტილი. (0) პოზიციაში სტატორი ქსელიდან მიერთებულია C2 მომჭერით, როტორში ჩართულია r_1, r_2, r_3 რეზისტორები, რომლებიც შეერთებულია ვარსკვლავად და ძრავა გამორთულია. (1) პოზიციაში წინ ჩაირთვებიან II და IV ამომრთველები. სტატორი უერთდება ქსელს და ძრავა დაიწყებს ბრუნვას როტორის წრედში სრული წინაღობის დროს. სახელურის (2) პოზიციაში მობრუნებისას ჩაირთვება ამომრთველი V და რეზისტორის (r_1) ნაწილი დაშუნტდება. სახელურის შემდგომში შემობრუნებისას 3, 4, 5 პოზიციების მდგომარეობაში თანდათან ჩაირთვებიან VI, VII VIII და IX ამომრთველები, რითაც დაშუნტდებიან რეზისტორები როტორის ყველა ფაზაში.

ღერძის საწინააღმდეგო შემობრუნებისას (უკან) II და IV ამომრთველების მაგივრად ამუშავდებიან I და III ამომრთველები, რის შედეგადაც ადგილს იცვლის ორი ფაზა სტატორის წრედში და ძრავა დაბრუნდება უკუმიმართულებით (რევერსირდება). როტორის წრედში გადართვები იმავე თანმიმდევრობით ხდება.

11-10. დნობადი მცველები

მოკლე შერთვის დენებისაგან დანადგარების დასაცავად გამოიყენება დნობადი მცველები, რომლებშიაც მოკლე შერთვის დროს გადაიწვება სპილენძის, თუთიის, ტყვიის ან ვერცხლის სპეციალური სადგმელი. ტყვია, მისი შენადნობები და თუთია დნება დაბალ ტემპერატურაზე (200—240°C). მაგრამ მათ აქვთ მცირე გამტარობა და მათგან დამზადებული სადგმელები გამოდის დიდი კვეთისა. სპილენძის სადგმელები, რომლებსაც კარგი გამტარობა აქვთ, დნება მაღალ ტემპერატურაზე (960—1080°C). ვერცხლის სადგმელები ძვირია და გამოიყენება 1000 ვ-ზე მეტი ძაბვისა და მცირე დენების დროს. უმთავრეს შემთხვევაში იყენებენ სპილენძის მოვერცხლილ სადგმელებს (დაჟანგვისაგან დასაცავად), რომელზეც მიარჩილავენ ტყვიის ან კალის ბურთულებს (იხ. ქვემოთ).

11-12. ა და ბ ნახაზებზე ნაჩვენებია საცობისებრი მცველის გარე ხედი და მისი ჭრილი. ფაიფურის საფუძველზე ჩამოცმულია თხელკედლიანი ლითონის ქუდი ხრახნილით (4) საცობის ჩასახრახნად მცველის ბუდეში. მომჭერიდან (1) დენი მიდის მომჭერისაკენ (7) გზით: ლითონის ფირფიტა (2),

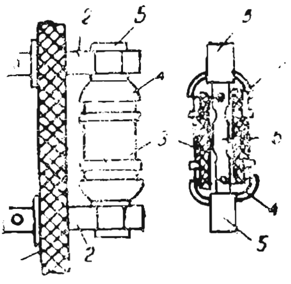


[illegible] 11—12. საცობი[illegible]

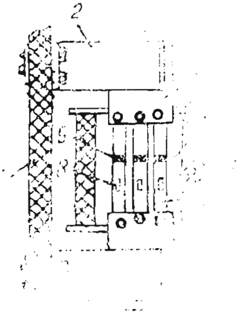
[illegible] (3). [illegible] ქურო (4). ძლბოში [illegible] (5). [illegible] (6). [illegible] (ნახ. 11-12.ბ) ხდება [illegible] საცუმელის შემდეგ ისე, [illegible] ლენჯამეთ ნაწილ[illegible]. [illegible] იწვევენ გა-[illegible] 220 ვ-მდე ძაბვისა და 60 ა-მდე დენის ძალის.

[illegible] ტიპის მცველი ПР-2 ნაჩვენებია [illegible]-13. ა ნახაზზე. მაიზო-ლირებელ [illegible] (1) საკონტაქტო [illegible] ჩამოსხმის [illegible] მუდმივად [illegible] (2) (ნახ. 11-13. ბ).

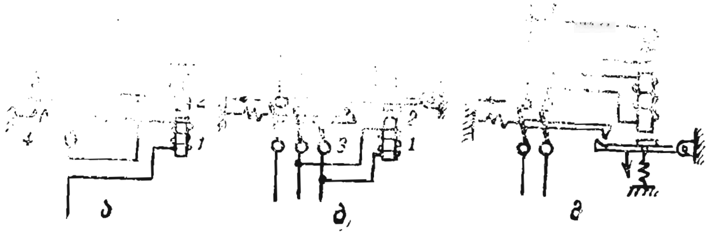
[illegible] (4). [illegible] (5) გამოიყენება [illegible] (6) [illegible] (2) [illegible], [illegible] ძლიერი [illegible] ხელს უწყობს [illegible] ჩაქრობას. [illegible] ნაწილ[illegible] [illegible], [illegible] ნაწილობ-



[illegible] ПР-2 ტიპის [illegible] მცველი.

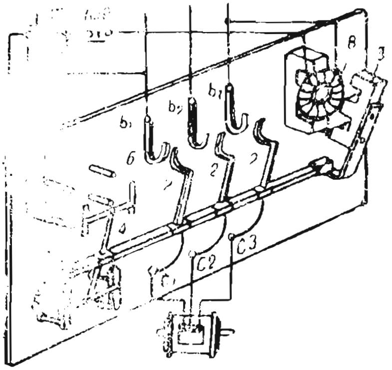


[illegible] ПН-2 ტიპის [illegible].


4
1
2
3
ა
ბ
გ

რომაგნიტი (1) მიიზიდავს ღუზას (2). განთავისუფლდება საკეტელა (3) და ზამბარის (4) მოქმედებით ავტომატის (5) მუშა კონტაქტები განირთვებიან. 11-15. ბ ნახაზზე მინიმალური ძაბვის გამომხსნელის ძაბვის ვარდნის დროს ელექტრომაგნიტი (1) გაუშვებს ღუზას (2). საკეტელა (3) განთავისუფლდება და მუშა წრედი გამოირთვება. დენის დაყომიმართულების გამომხსნელში (ნახ. 11-15, გ) საკეტელა თავისუფლდება დენის მიმართულების შეცვლისას. ამ დროს დენის კოჭას ქამური მმ ძალა კი ძაბვა იცვლება და მუშა წრედი გამოირთვება. დრო $t_{გ.ძ.}$ რომლის განმავლობაშიც ავტომატი გამორთავს წრედს, შეადგენს 0.05—0.025 წამს. თუ ავტომატის დანიშნულებაა ძაბვის შემცირების გამორთვა, მაშინ ის ამოქმედდება, როცა $U=0.4U_{ნ}$.

11-12. კონტაქტორები



ნახ. 11-16. კონტაქტორის პრინციპული სქემა.

კონტაქტორი ეწოდება აპარატს, რომელიც საშუალებას იძლევა ელექტროწრედი ჩავრთოთ და გამოვრთოთ დაახლოებით 1500-ჯერ საათში და გამოიყენება მუდმივი და ცვლადი დენის წრედებში 1000 ვ-მდე ძაბვით. [illegible] კონტაქტორები [illegible] წრედს და [illegible] მუშაობენ დიდხანს მოწყობილობის დაზიანების გარეშე. კონტაქტორები მუშაობს (0.85—1.05) $U_ნ$ ძაბვაზე და ავტომატურად გამორთავს დასაცავის ძაბვის შემცირებისას (0.5—0.6) U-მდე.

ცვლადი დენის სამპოლუსიანი კონტაქტორი (ნახ. 11-16) მზადდება 20—600 ა დენზე და მისი ამოქმედების დრო მერყეობს ზღვრებში 0.05—0.1 წმ.

მართვის წრედში II ღილაკის ჩართვისას დენი გადის ელექტრომაგნიტის (8) გრაგნილში. ღუზა (3) მიიზიდება გულართან (7) და იზოლირებული ლილვი (1) შემობრუნდება საკისრებში, რომლებიც სქემაზე ნაჩვენები არაა. მთავარი (2) და დამხმარე (6) კონტაქტები მუშა წრედში ჩაირთვებიან და ძრავა (9) დაიწყებს ბრუნვას. [illegible] ლილვი (1) შემობრუნდება. განირთვება ქვედა ბლოკ-კონტაქტები (5) და ჩაირთავს ზედა კონტაქტებს. ღილაკი II შეიძლება ავუშვათ. მოქმედების პრინციპის მიხედვით ზედა ბლოკ-კონტაქტები წრედის შემრთველებია, ხოლო ქვედას — განმრთველები. Cm (გაჩერება)

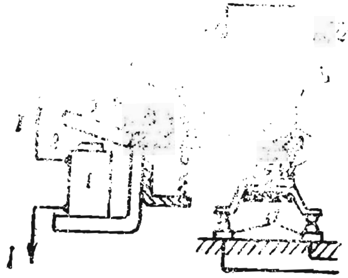
ღილაკის დაჭირებისას დენი კოჭაში (5) გაქრება და მუშა კონტაქტები (2) და (6) განირთვებიან. მუშა კონტაქტებს ათავსებენ სპეციალურ რკალსაქრობ კამერებში. ცვლადი დენის კონტაქტორებში მაგნიტური ნაკადი კოჭაში (3) ორჯერ იცვლის თავის ნულოვან მნიშვნელობას, რაც იწვევს კონტაქტორის ვიბრაციასა და ზუზუნს. ამ მოვლენების თავიდან ასაცილებლად კოჭას გულარის ბოლოზე ჩამოაცვამენ მოკლედ შერთულ შტოს, რომელშიაც, როგორც ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილში, აღიძვრება დენი, რომელიც ფაზით (3) დაძრულია კოჭას დენის მიმართ. მთავარი ნაკადის ნულოვანი მნიშვნელობის გავლის მომენტში მოკლედ შერთული შტოს ნაკადი წინააღმდეგობას უწევს ღუზის ავარდნას.

11-13. რელეები

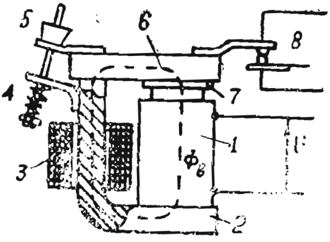
ზემოაღნიშნული ყველა სახის აპარატი მიეკუთვნება მუშა წრედების ძლიერ ზუსტ აპარატებს, რომლებიც კომუტაციას უკეთებენ 5—10 ა-ზე მეტ დენს. ოდნავ მეტი ბუნებრივია არის აპარატები უფრო მცირე დენებზე, რომლებიც მუშაობენ არა მუშა წრედებში, არამედ მართვის წრედებში დაბალ ძაბვაზე. მათი მართვის კონტაქტები მარტივია და რკალსაქრობი მოწყობილობა არა აქვს. რელე ცვლადი ან მუდმივი დენის მართვის წრედის ისეთი ელემენტია, რომელიც სამართავი სიდიდის (დენი, ძაბვა და სხვა) განსაზღვრულ მნიშვნელობაზე ამოქმედდება მყისად ან დროის დაყოვნებით. უმცირეს დენს, რომლის დროსაც ხდება რელეს კონტაქტების შერთვა (ან განრთვა), ეწოდება ამოქმედების დენი. უდიდეს დენს, რომლის დროსაც რელეს კონტაქტები უბრუნდება საწყის მდგომარეობას, ეწოდება მოშვების დენი.

11—17 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტრომაგნიტური დენის რელეს მუშაობის სქემა. იოლაძაღური დანადგარის კოჭაში (1) დენი მიაღწევს ამოქმედების დენს, ელექტრომაგნიტის ღუზა მიიზიდება საპოლუსო ბუნიკთან (2). ამ დროს კონტაქტები (6) და (7) შეირთვებიან, ხოლო (10) და (11) — განირთვებიან. მოძრავი კონტაქტები (7) და (10) დაყენებულია ბერკეტზე (3) პლასტმასის ხუნდებისა (9) და ზამბარის (8) საშუალებით. ამოქმედების დენის რეგულირება ხდება უკუმომქცევი ზამბარის (12) დაჭიმვით, რაც ქანჩისა (5) და ხრახნის (4) მეშვეობით ელექტრომაგნიტის საჰაერო ღრეჩოს ცვლილებით ხდება.

დროის რელე ელექტრომაგნიტური შენელებით სქემატურად ნაჩვენებია 11—18 ნახაზზე. ეს რელე მოუშვებს არა მყისად, არამედ შედარებით მნიშვნელოვანი დროის (5 წმ) გამოშვებით, მისი გრაგნილის მომჭერებზე ძაბვის გაქრობის შემდეგ. რელე ნაჩვენებია ჩართულ მდგომარეობაში, რომელიც წინ უსწრებს დამხმარე წრედის კონტაქტების (3) განრთვას.



ნახ. 11-17. [illegible] რელეს მუშაობის [illegible]



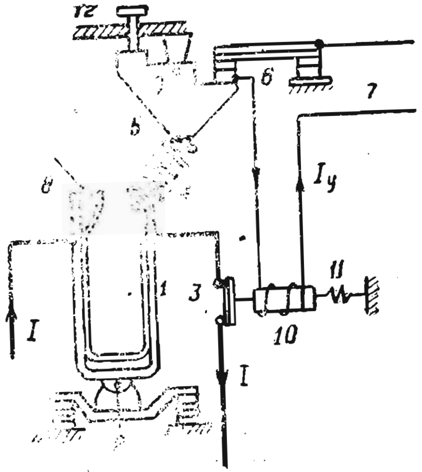
ნახ. 11-18. [illegible]

[illegible] რელე მუშაობს შესრულებას [illegible]

[illegible] (2) [illegible] Φ [illegible] შემდეგ [illegible] Φ [illegible] (3) [illegible] (7) [illegible]

[illegible]

[illegible] რელეს [illegible]



ნახ. 11-19. [illegible] რელეს მუშაობის სქემა.

[illegible] სქემა [illegible] ნახაზზე 11-19 ნახაზზე.

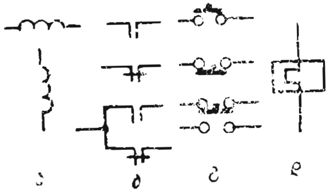
U-სებრი ფორმის მაგნიტის [illegible] (1) მოთავსებულია დენ-

[illegible] (2) და მიმდევრობითა [illegible] მეშვე [illegible] (3). [illegible] ბაზაზე [illegible] (4), [illegible] (1) [illegible] (6) [illegible] [illegible] ლენი [illegible] გზით.

[illegible] (5) [illegible] (6). [illegible]

[illegible]

[illegible]



[illegible]

კრიპტო (K—კონტაქტორი, TT—დენის ტრანსფორმატორი და სხვ.), თუმცა მარკირებას ერთიანი წესი მდგომარეობს იმაში, რომ მოცემული აპარა-

ტის ყველა ელემენტი აღინიშნება იმავე სიმბოლოთი, როგორითაც ერთ აპარატი მთავარ წრედში, მაგალითად, K ასოთი აღნიშნულია კონტაქტორის მთავარი კონტაქტები, მისი ელექტრომაგნიტის აგზნების გრაგნილი და მისი ბლოკ-კონტაქტები.

11-15. სამფაზიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას მართვის სქემა მაგნიტური გამშვების მეშვეობით

კონტაქტორებს, რომლებიც გამოიყენებიან სამფაზიანი ასინქრონული ძრავების მართვისათვის, ეწოდება მ ა გ ნ ი ტ უ რ ი გ ა მ შ ვ ე ბ ი. ასეთი გამშვების ელემენტარული სქემა, რომელიც 11-16 ნახაზისათვის გამოიყენება, ნაჩვენებია 11-21 ნახაზზე. ის შედგება მთავარი და მართვის წრედებისაგან. მთავარ წრედში, მოკლედ შერთვის დენებისაგან ძრავას დაცვის მიზნით, ჩართულია მდნობი მცველები, ხოლო ძრავას გადატვირთვისაგან დასაცავად K კონტაქტორის მთავარი წრედის კონტაქტები და თბური რელეს გამხურებელი T1 და T2 ელემენტები.

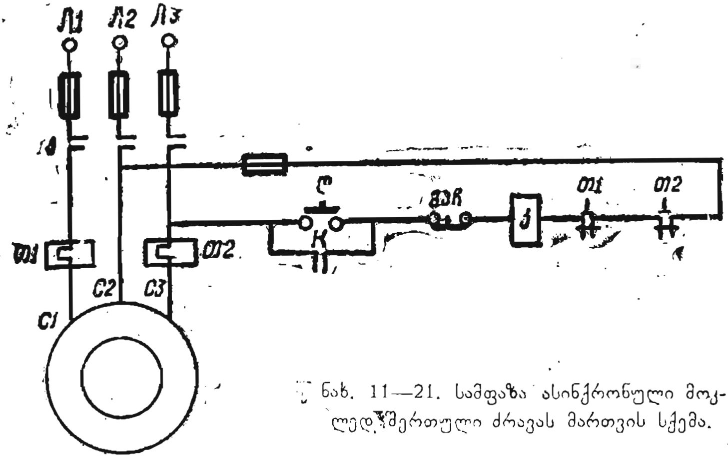
მართვის წრედი შედგება თანამიმდევრულად ჩართული შემრთველი ღილაკის $П$ (გაშვება), განმრთველი ღილაკის $Ст$ (გაჩერება), კონტაქტორის H ელექტრომაგნიტის გრაგნილისა და თბური რელეს განმრთველი კონტაქტებისაგან T1 და T2. ღილაკი $П$ დაშუნტულია შემრთველი ბლოკ-კონტაქტით K, რომელიც კონტაქტორის K მთავარ კონტაქტებთან ერთად შეირთვება.

$П$ ღილაკის დაჭერისას მართვის წრედში $Л_3$ მომჭერიდან გაივლის დენი კონტურში $П$ ღილაკი, $Ст$ ღილაკი, კონტაქტორის K ელექტრომაგნიტის გრაგნილი, თბური რელეების შერთული კონტაქტები T1 და T2 და k_1 მომჭერი. ძრავას როტორი დაიწყებს ბრუნვას. $П$ ღილაკი შეიძლება ავუშვათ, რადგან მთავარი კონტაქტების შერთვისას ძალურ წრედში შეირთვება K ბლოკკონტაქტიც, რომელიც აშუნტებს $П$ ღილაკს. ძრავას გამოსართავად საკმარისია დავაჭიროთ $Ст$ ღილაკს. მართვის წრედში დენი შეწყდება და მთავარი კონტაქტები K განირთვება.

გადამეტტვირთვის შემთხვევაში თბური რელეს გამხურებელი ელემენტები T1 და T2 განრთავენ ამ რელეს შერთულ ელემენტებს მართვის წრედში და კონტაქტორის მთავარი კონტაქტები K განრთავს მუშა წრედს. რელეს კონტაქტებს ზემოთ ნაჩვენებია კონტაქტების მუშა მდგომარეობაში ხელით დასაბრუნებელი ღილაკი.

11-16. სამფაზიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას მართვის სქემა რევერსული მაგნიტური გამშვების მეშვეობით

ძრავას ორივე მიმართულებით მუშაობისათვის სქემის ძალურ ნაწილში (ნახ. 11—22) აყენებენ ორ კონტაქტორს, გაშვებისათვის წინ B და უკან H. როგორც 11—21 ნახაზზე მოყვანილი სქემიდან ჩანს, მოკლედ



ნახ. 11—21. სამფაზა ასინქრონული მოკლედშერთული ძრავას მართვის სქემა.

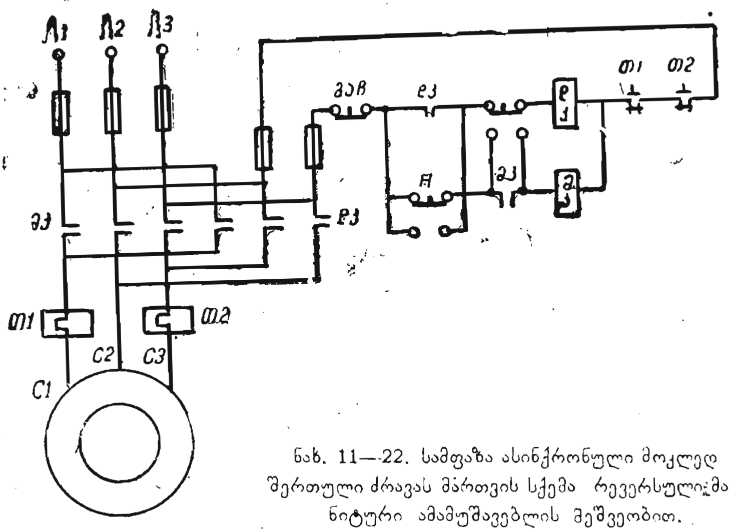
შერთვისაგან დაცვის მიზნით ჩართულია მდნობი მცველები, ხოლო გადამეტტვირთვისაგან დასაცავად — თბური რელეები T_1 და T_2.

მართვის წრედში გაჩერების Cm ღილაკის გარდა დაყენებულია წინ B და უკან H გასაშვები ღილაკები, რომლებსაც აქვთ ბლოკ-კონტაქტები KB და KH. აგრეთვე ჩართულია თბური რელეს განმრთავი კონტაქტები T_1 და T_2 კონტაქტების მუშა მდგომარეობაში დასაბრუნებელი ღილაკებით.

წინ გასაშვებად დააჭერენ B ღილაკს და მისი ზედა კონტაქტები განირთვება, ხოლო ქვედა — შეირთვება. მართვის წრედში გაივლის დენი $Л_3$ მომჭერიდან Cm ღილაკში, H ღილაკის შერთულ ზედა კონტაქტებში, B ღილაკის შერთულ ქვედა კონტაქტებში, KB მთავარი კონტაქტორის კოჭაში, თბური რელეს შერთულ კონტაქტებში T_1 და T_2 და მომჭერში $Л_2$. კონტაქტორის მუშა კონტაქტები შეირთვება და ძრავა დაიწყებს ბრუნვას. (უკან) კონტაქტორს KH ჩართვა არ შეუძლია, რადგან დენის წრედი მის კოჭაში განრთულია. მთავარი კონტაქტების KB შერთვასთან ერთად შეირთვება B ღილაკის KB ბლოკ-კონტაქტები და ის შეიძლება ავუშვათ. Cm ღილაკის დაჭერისას KB კოჭას დენის წრედი განირთვება და ძრავა გაჩერდება.

თუ არ გავაჩერებთ ძრავას და დავაჭერთ H ღილაკს (უკან), მაშინ მისი ზედა შერთული კონტაქტები ადრე განირთვება, ვიდრე ჩაირთვებოდეს ქვედა. მართვის დენის წრედი წინ გამოირთვება, ხოლო შემდეგ ჩაირთვება წრედი უკან.

ამგვარად, ეს წრედები ბლოკირებულია. უკან ბრუნვისათვის დენის წრედი იკვრება $Л_3$ მომჭერიდან Cm ღილაკში გავლით, H ღილაკის შერთული ქვედა კონტაქტები შერთულ B კონტაქტებში, KH კონტაქტორის კოჭა და თბური რელეს კონტაქტები T_1 და T_2 და $Л_3$ მომჭერში.



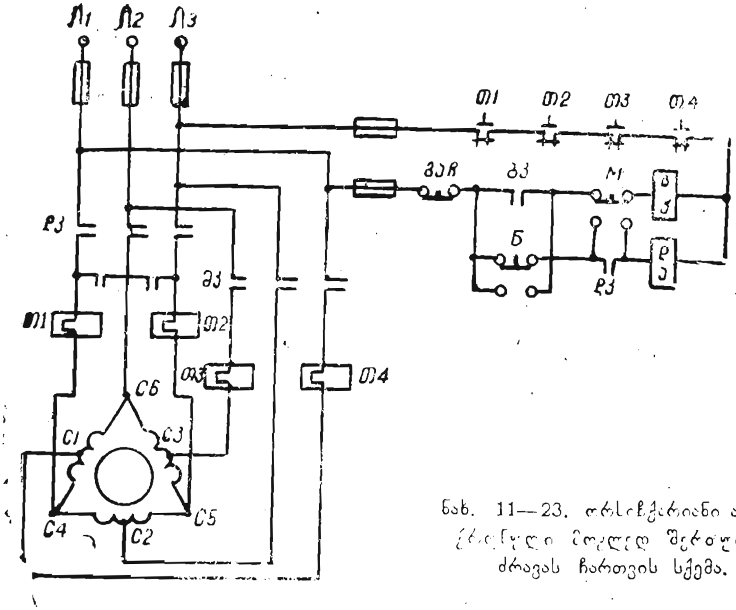
ნახ. 11—22. სამფაზა ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას მართვის სქემა რევერსული მაგნიტური ამამუშავებლის მეშვეობით.

კონტაქტორის მუშა კონტაქტები შეირთვება და როტორი დაბრუნდება უკან. ამის შემდეგ *H* ღილაკი შეიძლება ავუშვათ, რადგან მისი *KH* ბლოკ-კონტაქტები შეირთვება *KH* მუშა კონტაქტებთან ერთად.

11-17. ორსიჩქარიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას ჩართვის სქემა

ორსიჩქარიან ძრავებს სტატორზე აქვს ან ორი გრაგნილი, შესაბამისად ბრუნვის ორი სიხშირით, ან ერთი, რომლის გადართვა შეიძლება ორ სიჩქარეზე. 11—23 ნახაზის სქემაზე ნაჩვენებია უკანასკნელი შემთხვევა. სტატორის გრაგნილი დაბალი სიჩქარისათვის, რომელიც სამკუთხედადაა შეერთებული, უერთდება ქსელს C_4, C_5, C_6 მომჭერებით, ხოლო მაღალი სიჩქარისათვის გადაირთვება პარალელურად შეერთებულ ორ ვარსკვლავზე და ქსელს უერთდება C_1, C_2 და C_3 მომჭერებით. ასეთ ძრავებში ორივე სიჩქარის დროს გრაგნილების სიმძლავრე ტოლებია; ეს ძრავები გამოიყენება ლითონსაჭრელი ჩარხების მოძრაობაში მოსაყვანად.

სტატორის ძალურ წრედში (ნახ. 11—23) ნაჩვენებია *KM* კონტაქტორები დაბალი და *KБ* მაღალი სიჩქარეებისათვის, აგრეთვე ნაჩვენებია მცველები და თბური რელეების გამხურებელი ელემენტები T_1, T_2, T_3 და T_4. მართვის წრედში ჩართულია: განმრთველი ღილაკი *Cm* გადამრთველი გამშვები *Б* (დიდი) და *M* (მცირე) ღილაკები, ამ ღილაკების შემრთველი *KБ* და *KM* ბლოკ-კონტაქტები, ძალური კონტაქტორების ელექტრომაგნიტების კოჭები და თბური რელეების განმრთველი კონტაქტები T_1, T_2, T_3 და T_4.



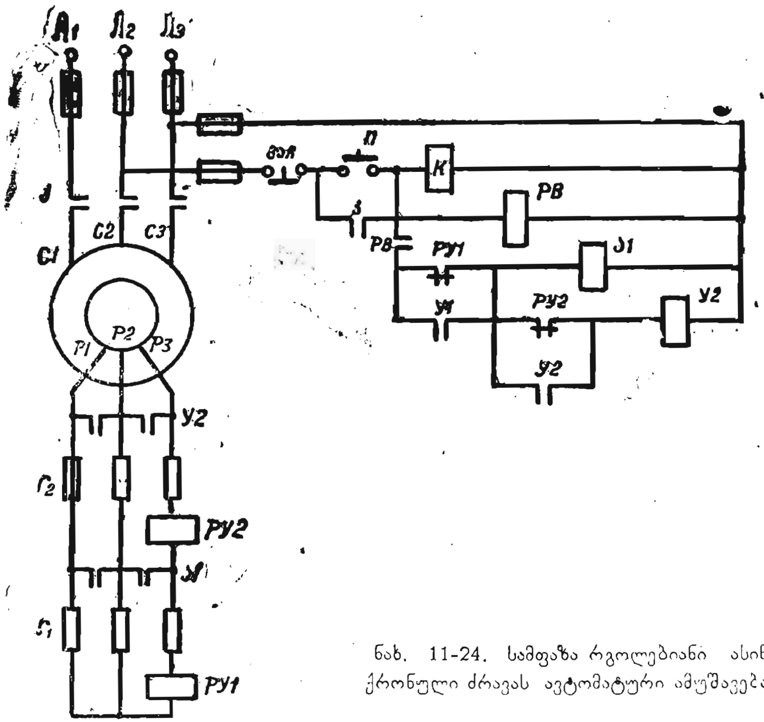
ნახ. 11—23. ორსიჩქარიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას ჩართვის სქემა.

M-ღილაკზე დაჭერისას განირთვება მისი ზედა და შეირთვება ქვედა კონტაქტები. მართვის წრედში გაივლის დენი *Cm* ღილაკის გავლით, *Б* ღილაკის ზედა კონტაქტები, *M* ღილაკის ქვედა კონტაქტები, *KM* კოჭასა და T_1, T_2, T_3 და T_4 კონტაქტებში. *KM* მთავარი კონტაქტები შეირთვება, ძრავა ბრუნავს ბრუნვის მცირე სიხშირით, *KM* ბლოკ-კონტაქტები შეირთვება და *M* ღილაკი შეიძლება ავუშვათ.

Б ღილაკის დაჭერისას მართვის წრედი განირთვება და მასთან ერთად განირთვება *KM* ძალური კონტაქტები და *KM* ბლოკ-კონტაქტიც. ამის შემდეგ შეირთვება *Б* ღილაკის ქვედა კონტაქტები და მართვის წრედში გაივლის დენი შემდეგი მიმართულებით: *Cm* ღილაკი, *Б* ღილაკის კონტაქტები, *M* ღილაკის კონტაქტები, *KБ* გრაგნილი და T_1, T_2, T_3 და T_4 კონტაქტები. შეირთვება მთავარი წრედის ძალური კონტაქტები *KБ* და *KБ* ბლოკ-კონტაქტი. ძრავა დაიწყებს ბრუნვას დიდი სიჩქარით და *Б* ღილაკი შეიძლება ავუშვათ.

11-18. სამფაზიანი ასინქრონული რგოლებიანი ძრავას ავტომატური ამუშავება

ძრავას ამუშავების სქემა ნაჩვენებია 11—24 ნახაზზე. სტატორის გრაგნილი ქსელში ჩაირთვება ხაზური *K* კონტაქტორის საშუალებით, ხოლო როტორთან მიერთებულია სამი ერთნაირი წინაღობათა წყვილი (r_1 და r_2), რომლებიც მიერთებულია ვარსკვლავად. ამუშავება ხდება $У_1$ და $У_2$ აჩქა-



ნახ. 11-24. სამფაზა რგოლებიანი ასინქრონული ძრავას ავტომატური ამუშავება.

რების კონტაქტორების, აჩქარების დენის $РУ_1$ და $РУ_2$ რელეების და PB დროის რელეს მეშვეობით.

$П$ ღილაკის დაჭერისას (გაშვება) ხაზური K კონტაქტორის კოჭა აღმოჩნდება ძაბვის ქვეშ და მისი მთავარი K კონტაქტები შეირთვება. ამასთან ერთდროულად შეირთვება K კონტაქტორის ბლოკ-კონტაქტებიც, რომლებიც აშუნტებს $П$ ღილაკს და იგი შეიძლება ავუშვათ. ამასთან ერთად ძაბვის ქვეშ აღმოჩნდება დროის რელეს PB კოჭაც. ეს რელე თავის კონტაქტებს შერთავს შეყოვნებით. PB კონტაქტების შერთვის მომენტისათვის $РУ_1$ და $РУ_2$ მართვის რელეები ასწრებენ ამოქმედებას და განრთავენ თავის შერთულ კონტაქტებს.

როცა როტორის დენი შემცირდება და მიაღწევს $РУ_1$ რელეს აშვების დენს, ამ უკანასკნელის კონტაქტები შეირთვება, $У_1$ აჩქარების კონტაქტორის კოჭაში გაივლის დენი, $У_1$ კონტაქტორის კონტაქტები შეირთვება მთავარ წრედში, რომლებიც აშუნტებენ r_1 წინაღობას. ამასთან ერთდროულად შერთვება $У_1$ ბლოკ-კონტაქტები, რომლებიც აშუნტებენ $РУ_1$ რელეს კონტაქტებს. ამ დროს $РУ_2$ რელეს კონტაქტებს შერთვა არ შეუძლიათ, რადგან მისი დაბრუნების დენი მცირეა, ვიდრე $РУ_2$ რელესათვისაა საჭირო.

როტორში დენის მეორედ გადატყორცნის შემდეგ, რაღაც დროში ის ვარდება ამუშავების მეორე საფეხურის აშვების დენის სიდიდემდე. $РУ_2$ რელეს კონტაქტები მთავარ წრედში შეირთვება. r_2 წინაღობა დაშუნტდება $РУ_2$ კონტაქტების მართვის წრედში $У_2$ ბლოკ-კონტაქტით დაშუნტებასთან ერთდროულად, რაც ძრავას როტორს შერთავს მოკლედ და ამუშავებაც დამთავრებულია.

მ ე თ ო რ მ ე ტ ე თ ა ვ ი

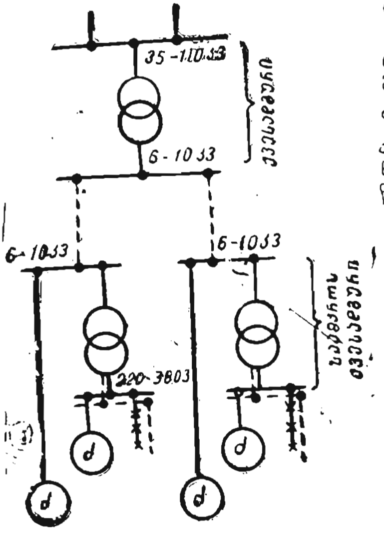
ელექტროენერგიის გადაცემა და განაწილება

12-1. სამრეწველო საწარმოთა ელექტრომომარაგების სქემები

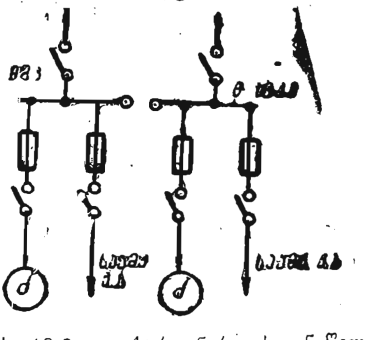
სამრეწველო საწარმოები უმთავრეს შემთხვევაში ელექტროენერგიას ენერგოსისტემებიდან ღებულობენ.

საწარმოოს სიმძლავრისა და სხვა მთელი რიგი პირობების მიხედვით ელექტროენერგია მიეწოდება 110, 35, 6 ან 0,4/0,23 კვ ძაბვით.

ელექტროსადგურებიდან ან ენერგოსისტემის ქვესადგურებიდან სამრეწველო საწარმოების მნიშვნელოვნად დაშორების შემთხვევაში ძაბვა მიეწოდება საწარმოს დ ა მ წ ე ვ ქ ვ ე ს ა დ გ უ რ ს, სადაც ის ტრანსფორმატორების საშუალებით დადაბლდება 35—110-დან 6—10 კვ-მდე (ნახ. 12-1). ასეთი ძაბვის დროს ელექტროენერგია ჩვეულებრივად საკაბელო ხაზებით გადაეცემა საწარმოს ტერიტორიაზე საამქროს ქვესადგურებს. 6—10 კვ ქვესადგურის მანაწილებელ მოწყობილობასთან ($РУ$) უერთდება საკაბელო ხაზები, რომლებიც მაღალი ძაბვის ელექტროძრავებსა და ტრანსფორმატორებს კვებავენ, სადაც ძაბვა 0,4—0,23 კვ-მდე დაბლდება. საამქროს ქვესადგურების ტრანსფორმატორებიდან შიგა ქსელით ენერგია უნაწილდება საამქროს ელექტრომიმღებებს,



ნახ. 12-1. მსხვილი სამრეწველო საწარმოს ენერგიის განაწილების სქემა.



ნახ. 12-2. ელექტროენერგიის განაწილების სქემა საწარმოს მანაწილებელი პუნქტის საშუალებით.

ომლებიც ნომინალურ 380 ან 220 ვ ძაბვაზე მუშაობენ (ელექტროძრავები, განათება და სხვ.).

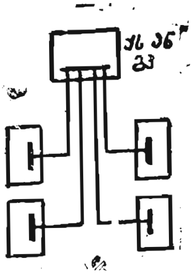
საწარმოოს ელექტრომომარაგებისას 6—10 კვ ძაბვით ენერგია მიეწოდება საწარმოს *მთავარ მანაწილებელ პუნქტში* (ГРП) (ნახ. 12-2). ენერგია მთავარ მანაწილებელ პუნქტამდე მოიყვანება ერთ- და ორკაბელიანი (იშვიათად საჰაერო) ხაზებით, ხოლო მისგან გამოსული ხაზების რიცხვი იმავე ძაბვით, რომელთა საშუალებით ენერგია მიეწოდება *საამქროს სატრანსფორმატორო ქვესადგურებს*, ჩვეულებრივად გაცილებით მეტია.

არადიდი საწარმოები, რომელთაც არა აქვთ მაღალი ძაბვის ენერგიის მიმღებები, ელექტროენერგიას ღებულობენ ენერგოსისტემის დამწევი ქვესადგურებიდან 6—10 კვ ძაბვით უშუალოდ საქარხნო სატრანსფორმატორო ქვესადგურებში, საიდანაც 0,4—0,23 კვ-მდე დაწეული ძაბვა გადაეცემა *საამქროს მანაწილებელ პუნქტს*.

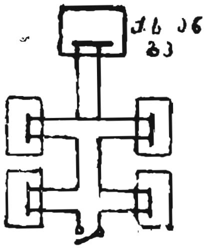
მცირე დადგმული სიმძლავრის მქონე წვრილი წარმოებები ენერგიას ენერგოსისტემიდან ღებულობენ *დაბალი ძაბვის მანაწილებელ პუნქტებში*, საიდანაც ნაწილდება ცალკეული საამქროების მიხედვით[1].

სამრეწველო საწარმოებში მთავარ მანაწილებელ პუნქტებს შორის ან სატრანსფორმატორო ქვესადგურებსა და საამქროს მანაწილებელ პუნქტებს შორის ენერგიის განაწილება ხდება *რადიალური* (ნახ. 12-3) ან *მაგისტრალური* სქემების (ნახ. 12-4) მიხედვით.

რადიალური სქემის ნაკლოვანებად ჩაითვლება მაღალი ღირებულება და მუშაობის ნაკლები საიმედოობა, რადგან რადიალური ხაზის ავარიის დროს წყდება ენერგიის მიწოდება ამ ხაზში. მისი ღირსებაა ექსპლუატაციის, დაცვისა და ავტომატიზაციის სიმარტივე. მაგისტრალური სქემის ღირსება კი არის სიიაფე და ელექტროენერგიის მომარაგების საიმედოობა, თუ მაგისტრალი შეკრულია ერთ რგოლში (ნახ. 12-4).



ნახ. 12—3. ელექტროენერგიის საამქროებში განაწილების რადიალური სქემა.



ნახ. 12—4. ელექტროენერგიის საამქროებში განაწილების მაგისტრალური სქემა.

---

[1] სამფაზიანი დამწევი ტრანსფორმატორების მომჭერებზე უნდა იყოს ნომინალური ძაბვა — 0,4—0,23 კვ იმ ანგარიშით, რომ მანაწილებელ ქსელში დასაშვები ძაბვის დანაკარგების შემდეგ, ელექტრომომხმარებლის მომჭერებზე იყოს ნომინალური ძაბვა 0,38—0,22 კვ.

საპასუხისმგებლო დატვირთვის საწარმოებში, ელექტრომომარაგების საიმედოობის ამაღლების მიზნით, ჩვეულებრივად იყენებენ მაგისტრალურ სქემებს, რომლებიც იკვებებიან ორი მხრიდან სხვადასხვა ტრანსფორმატორიდან.

ძაბვის ცვალებადობის შესამცირებლად ნათურებში, რაც გამოწვეულია ასინქრონული ძრავების დიდი ასამუშავებელი დენებით, რიგ შემთხვევებში იყენებენ ცალ-ცალკე განათებისა და ძალურ ხაზებსა და ქსელებს.

როცა ქსელის ნომინალური ძაბვა 380/220 ვოლტია, ძაბვებს აერთებენ ხაზურ სადენებთან (380 ვ), ხოლო განათების ხელსაწყოებს ჩართავენ ნეიტრალურ (ნულოვან) და ხაზურ სადენებს შორის (220 ვ).

საამქროს შიგნით, სადაც მცირე რაოდენობის მძლავრი ძრავები დგას, გამოიყენება კვების რადიალური სქემა (ნახ. 12-3).

საამქროებში ფართოდ გამოიყენება მარტივი და იაფი მაგისტრალური სქემები, სადაც იყენებენ ფოლადის შიშველ სალტეებს — სალტე-სადენებს, რომლის გასწვრივ საჭირო ადგილებში უერთდება ენერგიის მომხმარებლები.

12-2. სამრეწველო საწარმოთა სატრანსფორმატორო ქვესადგურები და მანაწილებელი მოწყობილობანი

35—110 კვ ძაბვის მანაწილებელი მოწყობილობა და სატრანსფორმატორო ქვესადგურები, როგორც წესი, მზადდება ღ ი ა ტ ი პ ი ს. მათი ყველა ელექტრომოწყობილობა განლაგებულია ღიად ჰაერში.

იმ შემთხვევაში, როცა ჰაერი შეიცავს ნივთიერებას, რომელიც მავნედ მოქმედებს მანაწილებელი მოწყობილობისა და ქვესადგურის ელექტრომოწყობილობაზე ზემოთ აღნიშნული ძაბვის დროს, ისინი მზადდება დ ა ხ უ რ უ ლ ი ტ ი პ ი ს, ე. ი. მათ ათავსებენ შენობაში. ღია ტიპის უფრო იაფია დახურულზე, რადგან უფრო ჩქარა ხდება მათი მონტაჟი და ნაკლებ საშენ მასალებს მოითხოვს.

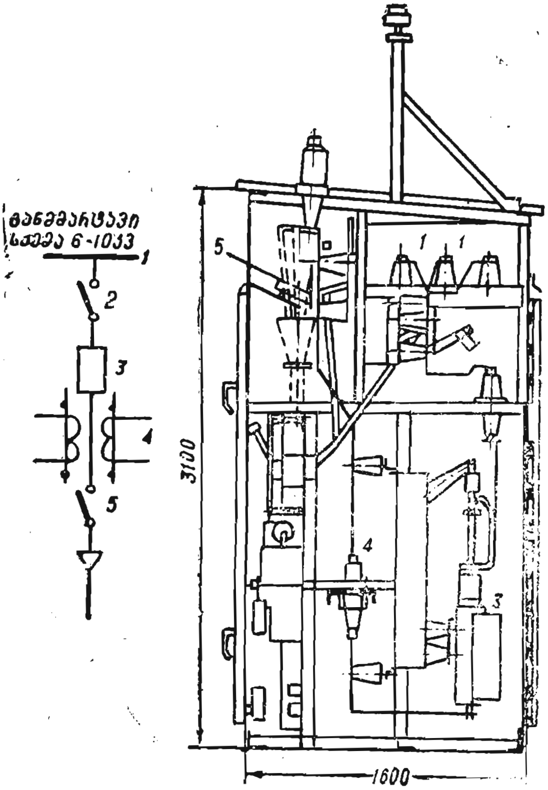
ფართოდ გამოიყენება კომპლექტური მანაწილებელი მოწყობილობა და კომპლექტური სატრანსფორმატორო ქვესადგურები.

კომპლექტური ეწოდება მანაწილებელ მოწყობილობასა და სატრანსფორმატორო ქვესადგურებს, რომლებიც შედგება ცალკეული კარადებისაგან შიგ ჩამონტაჟებული ელექტრომოწყობილობით.

კარადების დამზადება და მათში მოწყობილობის მონტაჟი ხდება ქარხნებში. კარადებს უშვებენ განსაზღვრული ნომენკლატურით. მათი მოწყობილობა და სქემები ისეა შერჩეული, რომ რამდენიმე კარადისაგან შეიძლებოდეს ავკრიბოთ მანაწილებელი მოწყობილობა ან ქვესადგური. კომპლექტური მანაწილებელი მოწყობილობისა და კომპლექტური სატრანსფორმატორო ქვესადგურის გამოყენება აჩქარებს და აიაფებს ელექტროდანადგარების ნაგებობას.

სამრეწველო საწარმოს ღია სატრანსფორმატორო ქვესადგური, მაგალითად, 35/6—10 კვ ძაბვით, შედგება ტრანსფორმატორისაგან (ნახ. 9—20), რომელიც მძლავრი მცველებითა და გამთიშებით მიერთებულია გარე დანადგარის კომპლექტური მანაწილებელი მოწყობილობის სალტეებთან.

კომპლექტური მანაწილებელი მოწყობილობის ერთ-ერთი კარადის სქემა და ჭრილი მოცემულია 12-5 ნახაზზე. სალტედან (1) დენი გადის სალტეს გამთიშში (2), ზეთიან ამომრთველში (3), დენის ტრანსფორმატორში (4), სახაზო გამთიშში (5), საკაბელო ან საჰაერო გამომყვანისაკენ და შემდეგ ხაზით საამქროს ქვესადგურის სალტეებზე.



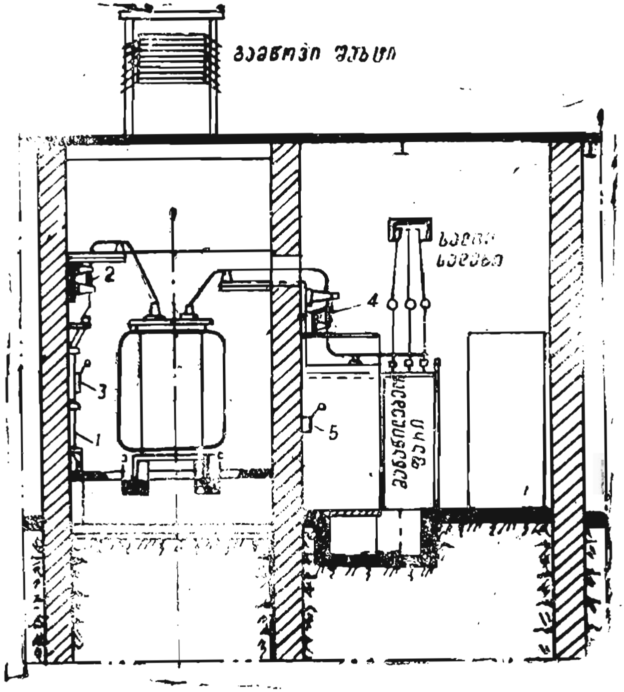
ნახ. 12-5. გარე დანადგარის (КРУ) კარადა ზეთიანი ამომრთველით და საკაბელო ან საჰაერო გამომყვანით.

საწარმოს მთავარი მანაწილებელი პუნქტი, რომელშიაც ელექტროენერგია ენერგოსისტემიდან შემოდის 6—10 კვ ძაბვით, ჩვეულებრივად თავსდება ერთსართულიან შენობაში და გაეწყობა ან კომპლექტური მანაწილებელი მოწყობილობის კარადებით (ნახ. 12-5), ან ასაწყობი კონსტრუქციის კამერებით.

საამქროს ქვესადგური, ისევე როგორც მთავარი მანაწილებელი მოწყობილობა, გაეწყობა ან ასაწყობი კონსტრუქციის კამერებით, ან კომპლექტური სატრანსფორმატორო ქვესადგურის კარადებით.

საამქროს ერთ-ერთი ქვესადგურის მოწყობილობა ნაჩვენებია 12-6 ნახაზზე. ტრანსფორმატორი 6/0,4—0,23 კვ ნომინალური ძაბვით და მანაწილებელი ფარი განლაგებულია მოსაზღვრე სადგომებში. ენერგია ტრანსფორმატორამდე მოიყვანება კაბელით (1), ბერკეტულამძრავიანი (3) გამთიშით (2) და ტრანსფორმატორის მეორეული გამომყვანებით. ბერკეტულამძრავიანი გამთიშით (4) შეერთებულია მანაწილებელი ფარის სალტეებთან.

იმავე სალტეებთანაა მიერთებული საკაბელო ხაზები განათებისათვის და სალტე-გამტარი ელექტროძრავების კვებისათვის. თითოეულ ხაზზე დაყენებულია მცვე-



ნახ. 12-6. საამქროს სატრანსფორმატორო ქვესადგური

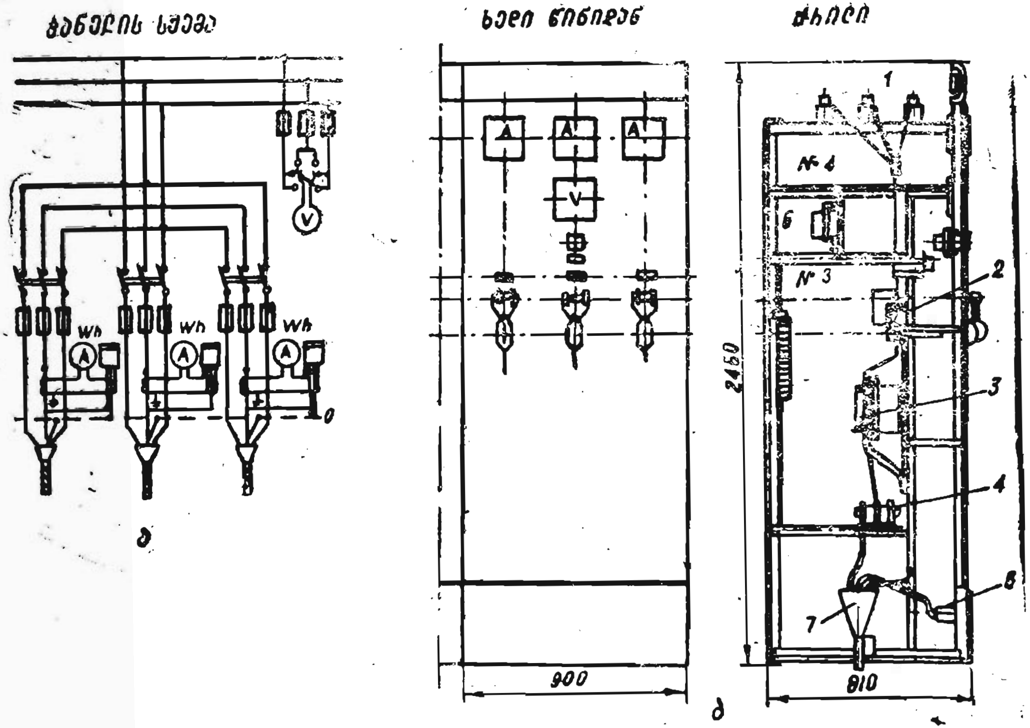
ლი და ჩამრაზი, ხოლო სალტე-გამტარი წრედში — საჰაერო ავტომატური ამომრთველი. სალტე-გამტარი კედელში გაკეთებული ნახვრეტით გადის მეზობელ საწარმოო შენობაში.

საამქროს ქვესადგურების დაბალი ძაბვის მანაწილებელი ფარები მზადდება ერთმხრივი ან ორმხრივი მომსახურების, კარკასული ან უკარკასო კონსტრუქციის. კარკასული კონსტრუქციის ფარებში გამოიყენება ფურცლოვანი ფოლადის პანელები ან საიზოლაციო მასალის ფურცლები, მაგალითად, აზბესტ-ცემენტისა. უკარკასო ფარებში გამოიყენება მხოლოდ ფურცლოვანი ფოლადის პანელები.

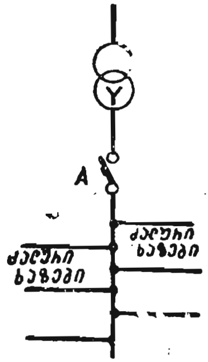
ორმხრივი მომსახურების, კარკასული ტიპის ფარი და ერთ-ერთი პანელის სქემა ნაჩვენებია 12-7 ნახაზზე.

გაიაფების მიზნით გამოიყენება სალტე-გამტართან შეხამებაში საამქროს ქვესადგურის გამარტივებული სქემა, რომელმაც მიიღო სახელწოდება „ბლოკის ტრანსფორმატორი — მაგისტრალი“ (ნახ. 12-8). ამ დანადგარში არ არის მანაწილებელი ფარი. დენი ტრანსფორმატორიდან *A* ავტომატის გავლით უშუალოდ შედის სალტე-სადენში, ხოლო იქიდან — თითოეულ ელექტროძრავასთან.

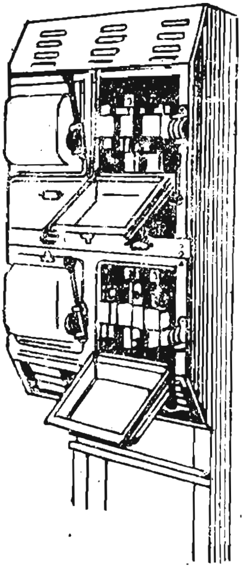
წვრილ ელექტრომიმღებთა არამცირე ჯგუფის კვებისათვის საამქროებში აყენებენ მანაწილებელ პუნქტებს, მაგალითად, ПРБ-59 ტიპისა (ნახ. 12-9), რომელიც აწყობილია ცალკეული ბლოკებისაგან. ისინი წარმოადგენენ კარადებს ან ყუთებს მათში ჩამონტაჟებული ჩამრაზებით ან ამომრთველებითა და მდნობი მცველებით.



ნახ. 12-7. ქარხანა „ელექტროფარის" 380—220 ვ ძაბვის ფარის პანელი და მისი სქემა.
ა — სქემა; ბ — წინა ხედი ჭრილში: 1 — ასაწყობი სალტეები; 2 — ჩამრაზი; 3 — დნობადი მცველი; 4 — დენის ტრანსფორმატორი; 5 — ნულოვანი სალტე; 6 — მრიცხველი; 7 — კაბელის ძაბრი.



ნახ. 12-8. „ტრანსფორმატორი — მაგისტრალის“ ბლოკის სქემა.



ნახ. 12-9. ПРБ-59 ბლოკური მანაწილებელი პუნქტი ოთხი ბლოკით.

12-3. სამრეწველო საწარმოთა ელექტრული ქსელები

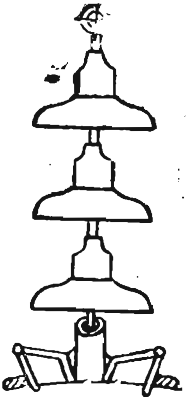
ა) საჰაერო და საკაბელო ქსელები

ელექტრული ენერგია გადაეცემა ელექტროხაზის სადენთა სისტემით, თუ სადენთა სისტემას არა აქვს განშტოება, ან ელექტროქსელით, თუ ის განშტოებულია.

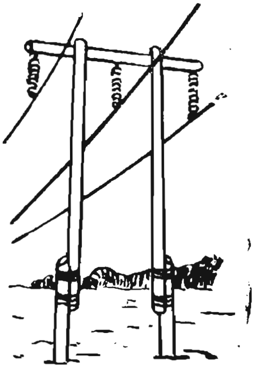
ელექტროდანადგართა მოწყობილობის წესების თანახმად, ხაზები და ქსელები ძაბვის მიხედვით იყოფიან ხაზებად და ქსელებად 1000 ვ-მდე ძაბვით და ხაზებად და ქსელებად 1000 ვ-ზე მეტი ძაბვით.

დანიშნულების მიხედვით ხაზები და ქსელები იყოფიან მკვებავებად, რომლებიც გამოიყენებიან ენერგიის გადასაცემად სადგურიდან ან ქვესადგურიდან ქსელის მნიშვნელოვან საკვანძო წერტილებამდე — მანაწილებელ პუნქტებამდე, და მანაწილებელ ქსელად, რომლითაც ელექტროენერგია მანაწილებელი პუნქტიდან გადაეცემა ელექტრომიმღებებამდე. მოწყობილობის მიხედვით ქსელები იყოფა საჰაეროდ, საკაბელოდ (მიწისქვეშა) და შიგა გაყვანილობის ქსელებად.

საჰაერო ხაზების ნაგებობა უფრო იაფია, ვიდრე მიწისქვეშა, მათი ექსპლუატაცია უფრო მოხერხებულია და მარტივი, რადგან დაზიანება ადვილად აღმოსაჩენია დათვალიერების დროს, მაგრამ ისინი უფრო სახიფათოა და ნაკლებად საიმედო, ვიდრე მიწისქვეშა ხაზები. საჰაერო ხაზები უმთავრესად ეწყობა ღია და ნაკლებად დასახლებულ ადგილებში.



ნახ. 11-10. ჩამოსაკიდებელი იზოლატორების გირლანდა.

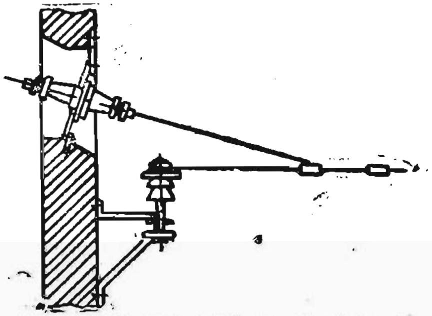


ნახ.12-11. ხის საყრდენი სამფაზა მაღალი ძაბვის ხაზისათვის.

საჰაერო ხაზი შედგება სადენებისა, იზოლატორებისა და საყრდენებისაგან. სადენები მაგრდება იზოლატორებზე, რომლებიც საყრდენებზეა დაყენებული.

35 კვ და მეტი ძაბვის საჰაერო ხაზები შედგება შიშველი ალუმინის ან ფოლადალუმინის სადენისაგან, რომლებიც ჩამოკიდებულია იზოლატორების გირლანდისა და ლითონის, რკინაბეტონის ან ხის საყრდენებისაგან (ნახ. 12-10 და 12-11). საჰაერო ხაზის სადენებს შორის მანძილი საკმაოდ დიდი უნდა იყოს, იმისათვის, რომ ქარისაგან მათი გაქანების დროსაც კი გამორიცხულ იქნეს მათ შორის საჰაერო შუალედის გარღვევა.

ნახ. 12-12. მანჭვლის იზოლატორი 35 კვ ძაბვაზე.

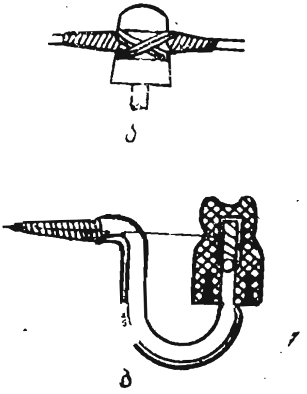


ნახ. 12-13. ხაზის შემომყვანი შენობაში.

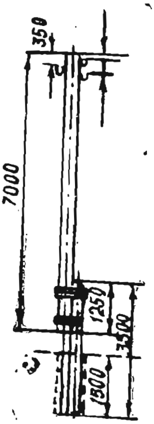
35 კვ და ნაკლები ძაბვის ხაზებისათვის ხშირად იყენებენ მანჭვლიან იზოლატორებს (ნახ. 12-12).

12-13 ნახაზზე ნაჩვენებია საჰაერო ხაზის შემომყვანი შენობაში გამავალი ფაიფურის იზოლატორის გამოყენებით.

1000 ვ-მდე ძაბვის საჰაერო ხაზებში უმთავრესად გამოიყენება ალუმინის ან ფოლადალუმინის სადენები (მაგალითად, AC-16 მარკის სადენი, რომელშიაც შე-



ნახ. 12-14. სადენის დამაგრება დაბალი ძაბვის ფაიფურის იზოლატორზე (ა); იზოლატორის დამაგრება კაკვზე (ბ).



ნახ. 12—15. ხის საყრდენი „ნაჯღით“ 1000 ვ-მდე ძაბვის ხაზებისათვის.

დის 1,8 მმ დიამეტრის ექვსი ალუმინისა და იმავე დიამეტრის ერთი ფოლადის მავთული).

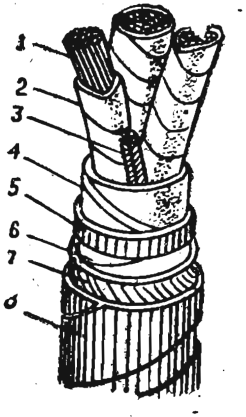
სადენები მონტაჟდებიან დაბალი ძაბვის ფაიფურის იზოლატორებზე (ТФ ტიპის ნახ. 12-14), რომლებიც ჩახრახნილია კაკვის ან მანჭვლის მანჭვალურ ნაწილზე, რის საშუალებითაც იზოლატორები მაგრდება საყრდენებზე. მექანიკური სიმტკიცის მიხედვით ალუმინის სადენების კვეთი უნდა იყოს არანაკლებ 16 მმ². სადენები მაგრდება იზოლატორის ყელზე (იშვიათად თავზე). 1 მმ-მდე დიამეტრის რბილი ფოლადის მოთუთიებული მავთულით.

1000 ვ-მდე ძაბვის ხაზებისათვის გამოიყენება 9 მ-მდე სიგრძის რკინაბეტონის ან ხის საყრდენები. ხის საყრდენი შეიძლება იყოს არაშედგენილი ან შედგენილი. უკანასკნელ შემთხვევაში საყრდენის ქვედა ბოლო უერთდება რკინაბეტონის ან ხის „სკამს“, ან „ნაჯღს“ (ნახ. 12-15), 4 მმ-მდე დიამეტრის და ფოლადის მავთულის 6—8-წვერიანი არტახის საშუალებით.

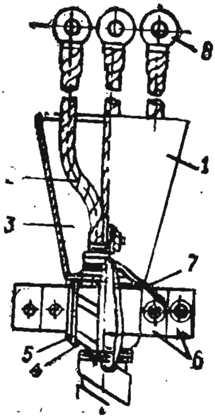
საყრდენებს შორის მანძილი უნდა იყოს 30—80 მ. სადენების დაშორება მიწიდან უნდა იყოს არანაკლებ 5 მ-ისა, მანძილი სადენებს შორის ჰორიზონტალურად — არანაკლებ 20 სმ და ვერტიკალურად არანაკლებ 40 სმ.

მიწისქვეშა ხაზები გამოიყენება ქალაქებსა და სამრეწველო საწარმოთა ტერიტორიაზე. მიწისქვეშა ხაზებში გამოიყენება კაბელები. კაბელი შედგება დენგამტარი ძარღვებისაგან, იზოლაციის, ჰერმეტული გარსისა და გარე დამცავი საფარისაგან. ძარღვების რიცხვის მიხედვით კაბელები მზადდება სპილენძის ან ალუმინისაგან და აქვთ მრავალი ან სექტორული კვეთი. კაბელები მზადდება ძარღვის დიამეტრით 1-დან 240 მმ²-მდე, 1000 ვ-დან 35 კვ-მდე ძაბვისათვის.

დენგამტარი ძარღვების საიზოლაციო მასალად გამოიყენება ზეთკოლოფონის ნაერთში გაჟღენთილი კაბელის ქაღალდი, რეზინი ან პოლიეთილენი. ჰერმეტული გარსი, რომელიც მზადდება ტყვიის, ალუმინის, პლასტიკატის ან რეზინისაგან, კაბელს იცავს მასში ტენის შეღწევისაგან. მექანიკური დაზიანებისაგან დასაცავად კაბელს უკეთებენ ფოლადის ორ ლენტს ან მოთუთიებული მავთულის ჯავშანს. კაბელის ჯავშანი ან გარსი იფარება ჯვალოს ბოჭკოთი, რომელიც მასშია გაჟღენთი-



ნახ. 12—16. СБГ მარკის სამძარღვიანი კაბელი.
1 — კაბელის ძარღვები; 2—ძარღვების ქაღალდის იზოლაცია; 3—შემვსები; 4 — სასარტყლო ქაღალდის იზოლაცია; 5 — ტყვიის გარსი; 6 — ქაღალდ-ბიტუმის დაფარვა; 7 — საკაბელო ნართი; 8 — ჯავშანი ორი ფოლადის ლენტისაგან.



ნახ. 12—17. სამძარღვა კაბელის ბოლოს ჩაკეთება ფოლადის ძაბრში.
1 — ფოლადის ძაბრი; 2 — იზოლირებული ძარღვი; 3 — ბიტუმის მასის ჩასხმა; 4—გაფისული ლენტის დახვევა; 5 — გაფისული ლენტის არტახი; 6—ნახევარცალუღი დასამაგრებლად; 7 — დამიწების სადენი; 8 — ბუნიკი.

ლი და კაბელს იცავს ქიმიური ზემოქმედებისაგან. კაბელის მარკა შეიცავს მითითებას ძარღვების მასალაზე, დამცავ გარსზე, და დამცავი საფარის ტიპს. ალუმინის ძარღვი აღინიშნება А ასოთი, რომელიც პირველ ადგილზე დგას. სპილენძის ძარღვი არ აღინიშნება.

დამცავი გარსის მასალა ნაჩვენებია ასოებით: С — ტყვია, А — ალუმინი. Б ასო აღნიშნავს, რომ კაბელს აქვს ფოლადის ლენტის ჯავშანი. მაგალითად, კაბელის მარკა ААБ აღნიშნავს: ალუმინის ძარღვი, ალუმინის გარსი და ფოლადის ჯავშანი, ჯვალო-ბიტუმის საფარით.

კაბელის მარკა АСВ—ალუმინის ძარღვები, ტყვიის გარსი და ფოლადის ჯავშანი ჯვალოთი და ბიტუმით დაფარული. АСБГ მარკის კაბელი განსხვავდება წინისაგან იმით, რომ კაბელის ჯავშანი არაა დაფარული ჯვალო-ბიტუმით (Г — შიშველი).

12-16 ნახაზზე ნაჩვენებია სამძარღვიანი კაბელის მოწყობილობა, რომელიც გამოიყენება საკაბელო გვირაბებსა და შენობის შიგნით არხებში ჩასაწყობად. კაბელს დებენ 25—50 სმ სიგანისა და 70—80 სმ სიღრმის ტრანშეაში. მიწის ზედაპირიდან ან მიწისქვეშა დერეფან-კოლექტორებში.

კაბელის ბოლოების შესაერთებლად იყენებენ ტყვიის ან თუჯის საკაბელო ქუროებს, რომლებიც შევსებულია საკაბელო მასით. კაბელის ბოლოებს, რომლებიც უერთდება მანქანებს, ტრანსფორმატორებს, აპარატებს და სხვა, ათავსებენ ფოლადის საკაბელო ძაბრში (ნახ. 12-17), რომელიც შევსებულია მასით ან გამოიყენება „მშრალი ჩამაგრება“, ქუროს გარეშე.

ბ) ქსელები შენობის შიგნით

ელექტროენერგიის შენობის შიგნით მოსაყვანად გამოიყენება სადენები, ზონრები, კაბელები და სალტეები.

სადენი ეწოდება ცალკე მავთულს ან ძარღვს, რომელიც შიშველი ან იზოლირებულია. სადენს აქვს რეზინის, პოლივინილქლორიდის ან გაჟღენთილი ბამბის დამცავი გარსი.

ზონარი ეწოდება ორ ან რამდენიმე ერთად შეერთებულ იზოლირებულ მოქნილ ძარღვთა სისტემას.

სალტე ეწოდება ზოლურ ალუმინს ან ფოლადს, იშვიათად მრგვალ სპილენძს.

სადენები, ზონრები და კაბელები შეიძლება იყოს ერთძარღვა და მრავალძარღვა; ძარღვები შეიძლება იყოს ერთ- და მრავალმავთულიანი.

სადენისა და კაბელის ძარღვები მზადდება მხოლოდ სტანდარტული კვეთით: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 500; 625 და 800 მმ².

ძალურ და განათების დანადგარებში უმთავრესად გამოიყენება შემდეგი მარკის სადენები, ზონრები და კაბელები:

1. ПРД — მოქნილი გამტარი, ბამბეულის ნართით შემონაქსოვი, სპილენძის ძარღვით, რეზინის იზოლაციით, ორძარღვა (ნახ. 12-18, ა). მზადდება 0,75-დან 6 მმ²-მდე კვეთით 380 ვ-მდე ძაბვის დანადგარებისათვის.

2. ПР და АПР — ერთძარღვა გამტარები რეზინის იზოლაციით, გაჟღენთილი ბამბეულის ნართით შემონაქსოვით; პირველი — სპილენძისა, ხოლო მეორე — ალუმინის (ნახ. 12-18, ბ). მზადდება კვეთით: პირველი 0, 75-დან, ხოლო მეორე 2,5-დან 400 მმ²-მდე, 660 ვ-მდე ძაბვის დანადგარებისათვის.

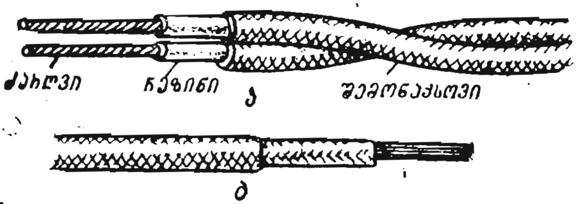
3. ПРГ — იგივეა, რაც ПР, მხოლოდ უფრო მოქნილი, უფრო წვრილი მავთულის ძარღვებით.

4. ПВ და АПВ — სადენები ПР და АПР სადენებისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ იმით, რომ პოლივინილქლორიდის იზოლაცია აქვს. მზადდებიან კვეთით: 0,75-დან 95 მმ²-მდე 660 ვ-მდე ძაბვის დანადგარებისათვის.

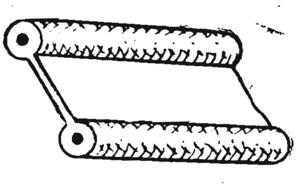
5. ПГВ — მოქნილი სადენი პოლივინილქლორიდის იზოლაციით. იმავე კვეთის მზადდება, როგორიც ПВ 660 ვ-მდე ძაბვაზე.

6. ШР — ზონარი რეზინის იზოლაციით, ორძარღვა, გამოიყენება იმავე შემთხვევებში, სადაც ПРД, მაგრამ განსხვავდება მისგან დიდი მოქნილობით (ნახ. 12-18, ა). მზადდება კვეთით 0,5-დან 1,5 მმ²-მდე 220 ვ — ძაბვამდე.

7. ППВ და АППВ — ბრტყელი სადენები (ნახ. 12-19) ორ- და სამძარღვა, პოლივინილქლორიდის იზოლაციით, სპილენძის ან ალუმინის ძარღვებით (АППВ)



ნახ. 12—18. ა) ПРD ზონარი; ბ) ПР ან АПР სადენი.



ნახ. 12—19. ბრტყელი ორძარღვიანი ППВ ან АППВ სადენი.

კვეთით: პირველი 0,75-დან 2,5 მმ²-მდე, მეორე 2,5-დან 4 მმ²-მდე, 660 ვ-მდე ძაბვაზე.

8. ВРГ — კაბელი რეზინის იზოლაციით პოლივინილქლორიდის გარსში, ВРБ — იგივეა, რაც ВРГ, მხოლოდ ფოლადის ლენტის ჯავშანი აქვს. მზადდება ორ, სამ- და ოთხძარღვა, ძარღვის კვეთით 1—185 მმ², ნომინალური ძაბვა 500 ვ.

9. НРГ და АНРГ კაბელები; პირველი სპილენძის, ხოლო მეორე ალუმინის ძარღვებით, რეზინის იზოლაციით. ნაირიტის გარსში. მზადდება ერთ-, ორ-, სამ- და ოთხძარღვა, ძარღვის კვეთით 4—185 მმ², 500 ვ ნომინალურ ძაბვაზე.

ძირითადი სადენებისა და კაბელების გამოყენება და ჩაწყობის მეთოდები მოცემულია 12—1 ცხრილში.

სპილენძისა და ალუმინის სადენების მრავალმავთულიანი ძარღვებისა და კაბელების ბოლოების დამუშავებასა და შეერთებას ახდენენ ჩაწნეხვით, შედუღებით ან მირჩილვით. ჩაწნეხვა მდგომარეობს იმაში, რომ დენგამტარი ძარღვი შეიტანება ბუნიკის მილოვან ნაწილში ან მაერთებელ მასრაში (მილაკი იმავე მასალისაა, რაც ძარღვი) და მიეჭირება ხელის მარწუხით ან ჰიდრავლიკური წნეხით.

ჩაწნეხვის ხერხი არის მეტად საიმედო, მტკიცე და მოხერხებული. ელექტროშედუღება უმთავრესად გამოიყენება ალუმინის ძარღვების ბოლოების დამუშავებისა და შეერთებისათვის.

როცა შეუძლებელია ჩაწნეხვით ან შედუღებით სარგებლობა, გამოიყენება რჩილვა, სპილენძის ძარღვების რჩილვა ხდება სარჩილავი ნათურის ალში ტყვია-კალის სარჩილისა და კოლოფონის გამოყენებით.

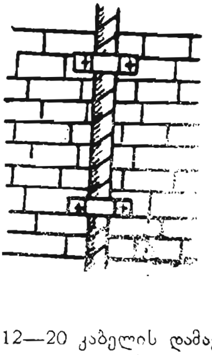
ალუმინის ძარღვების რჩილვა ხდება თუთია-კალის სარჩილის გამოყენებით.

საწარმოთა ძალური ქსელი უმთავრესად კეთდება კაბელებით, სალტეებით ან იზოლირებული სადენებით ფოლადის მილებსა ან იზოლატორებზე.

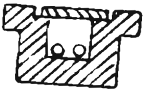
საწარმოს განათების ქსელი ძირითადად კეთდება სადენებით ფოლადის მილებში, სადენებით იზოლატორებზე ან გორგოლაჭებსა (ღია გაყვანილობა) და ბაგირებზე (ბაგირებიანი გაყვანილობა).

კაბელები ეწყობა ღიად ან დახურული. პირველ შემთხვევაში მათ აწყობენ კედელზე ან ჭერზე, რომლებსაც კავებით ამაგრებენ (ნახ. 12—20). მეორე შემთხვევაში კი კაბელს აწყობენ არხებში, რომლებიც იატაკში გადის (ნახ. 12—21). კაბელების ბოლოების დამუშავება განხილულია § 12—3, ა-ში.

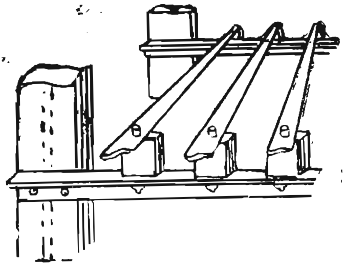
სალტე-სადენები არის ღია და დახურული. ღია სალტე-სადენი (ნახ. 12—22) წარმოადგენს სალტეებს, რომლებიც დამაგრებულია ფოლადის კონსტრუქციაზე დამაგრებულ იზოლატორებზე. ეს ფოლადის კონსტრუქცია მიმაგრებულია კედელზე, სვეტებზე ჭერზე ან ფერმებზე. განშტოებები ენერგიის მომხმარებლებთან კეთდება სადენებით ან კაბელებით.



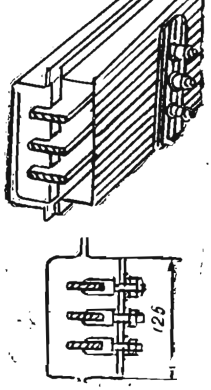
ნახ. 12—20 კაბელის დამაგრება.



ნახ. 12—21. კაბელების ჩადება არხში.



ნახ. 12-22. ღია სალტე-სადენი.



ნახ. 12-23. დახურული სალტე-სადენი.

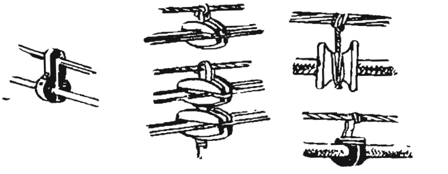
დახურული სალტე-სადენები წარმოადგენს საიზოლაციო სავარცხელზე განლაგებულ სალტეებს ფოლადის ხოკერის შიგნით (ნახ. 12—23). ისინი ჩვეულებრივ შედგებიან ცალკეული ნორმალური 3 მ სიგრძის სექციებისაგან. სალტე-სადენიდან განშტოებანი კეთდება ხოკერზე დამაგრებული სპეციალური კოლოფების ან ყუთების საშუალებით. ყუთები შეიცავენ ან მარტო მომჭერებს სადენების შესაერთებლად, ან მცველებს და მომჭერებს, საიდანაც მომხმარებლის კვება ხდება ფოლადის მილებში ან ლითონის გარსამოსში იზოლირებული სადენებით. სალტე-სადენები მაგრდება ფოლადის მილის ბიგებზე ან ბრჯენებზე, რომლებიც განლაგებულია ბიგებზე ან სვეტებზე, ან ჩამოკიდებულია ფერმებზე დაყენებული ფოლადის საჭიმებზე.

აფეთქებასაფრთხიანი და ხანძარსაფრთხო შენობებში სადენებს აწყობენ ფოლადის მილებში. მილგაყვანილობა უნდა იყოს ჰერმეტული, ხოლო აპარატურა და სანათები — ფეთქებაუსაფრთხო. საწარმოო შენობებში, სადაც განშტოებული ქსელია, მილები ეწყობა იატაკში დაფარული. სადენების განშტოებათა შეერთება ხორციელდება ფოლადის კოლოფებში ან ყუთებში.

გორგოლაჭებსა და იზოლატორებზე იზოლირებული სადენების მოწყობა, ისე როგორც ზონრიანი გაყვანილობა, დღეისათვის იშვიათად გამოიყენება.

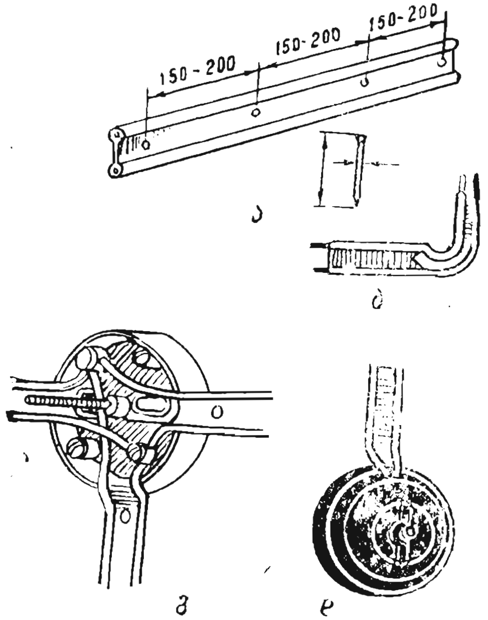
სამრეწველო საწარმოებში განათების ქსელში ფართოდ გამოიყენება გვარლური გაყვანილობა. ასეთი გაყვანილობის სხვადასხვა ვარიანტი ნაჩვენებია 12-24 ნახაზზე.

გვარლურ გაყვანილობას ამზადებენ წინასწარ სანათების ჩამოკიდვით და დაყენების ადგილზე ჩამოკიდებენ მალის ბოლოებზე დამაგრებული სპეციალური დამჭიმავი მოწყობილობის მეშვეობით. გვარლური გაყვანილობისათვის გამოიყენება სპეციალური გვარლური სადენები, რომლებიც ერთ მთლიანს წარმოადგენს იზოლირებულ გვარლთან ერთად. ასეთ გაყვანილობაში განშტოება კეთდება გვარლზე დამაგრებულ კოლოფებში.



ნახ. 12-24. განმხოლოებული სადენების გვარლური გაყვანილობის სხვადასხვა სახე.

ზონრიანი გაყვანილობა გორგოლაჭებზე იშვიათად გამოი-



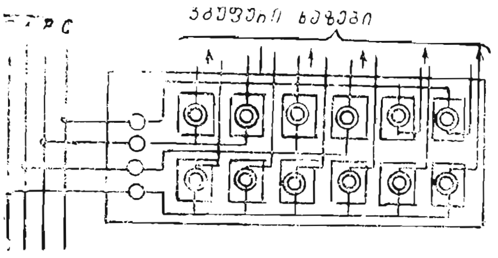
ნახ. 12-25. ППВ სადენების ჩაწყობა.
ა — სწორხაზოვანი უბანი; ბ — სადენების მილუნვა;
გ — სადენების გასამტოებელი და შესაერთებელი კოლოფი;
დ — სადენის ამომრთველთან მიერთება.

ყენება. საყოფაცხოვრებო შენობების განათების ქსელში ღიისათვის იყენებენ ППВ და АППВ მარკების ბრტყელ სადენებს. მათ აწყობენ როგორც ღიად, ისე დახურულად.

ბ რ ტ ყ ე ლ ი გ ა ყ ვ ა ნ ი ლ ო ბ ა მეტად მოხერხებულია და მარტივი მონტაჟისათვის დამცავი გარსის გარეშე. ღია გაყვანილობისას მათ ამაგრებენ კედელსა და ჭერზე სპეციალური წებოთი ან უბრალოდ ლურსმნით. 12—25 ნახაზზე ნაჩვენებია ღია გაყვანილობის ზოგიერთი დეტალი.

განათების ქსელი, სადენების გარდა, შეიცავს ვ ა ზ ნ ე ბ ს ნათურებისათვის, შტეფსელის როზეტებს, ამომრთველებს და მდნობ მცველებს ან ავტომატურ ამომრთველებს (ავტომატებს), რომლებიც ქსელს იცავენ მოკლე შერთვისაგან.

ერთ საერთო საფუძველზე დამონტაჟებული რამდენიმე მცველი შეადგენს ჯგუფურ ფარს (ნახ. 12—26).



ნახ. 12-26. განათების ჯგუფური ფარი.

ძირითადი მარკების სადენების გამოყენება

მეყვანილობის სახეები	[illegible]	[illegible]	შემოწმების დანახარჯები						
			მშრალი						
			[illegible]	სწრაფობით	ტუხიანი	წებოიანი	მტვრიანი	ქიმიურად აქტიური გარემოთი	გარე (ღია) გარემოთი
1	2	3	4	5	6	7	8	9	19
ღია საიზოლაციო საყრდენებზე	გოჭგოლაჭებზე	ПР; ПРД ПР; АПР; ПВ АПВ	× × ×	× × ×	— × ×	— × ×	— — —	— — —	— × ×
	იზოლატორებზე	ПР; АПР; ПВ; АПВ მიმჭერი სადენები	× —	+ +	+ ×	+ ×	× ×	+ ×	+ +
	კედლის ზედაპირისა და ჭერზე	ТПРФ ВРГ; СРГ; АСРГ НРГ; АНРГ ППВ; АППВ	× × × +	+ + + ×	— + + ×	— + + ×	+ + + ×	— × × ×	— × × —
	ლითონისგარსიანქაღალდის მილებში	ПР; АПР; ПВ; АПВ	×	×	—	—	×	—	—
	ფოლადის მილებში	ПР; АПР ПРТО; АПРТО; ПВ; АПВ	× ×	× +	× ×	— ×	× ×	— ×	— ×
	ხოკერებში	ПР; АПР; ПРТО; ПВ; АПВ	—	+	×	—	×	—	—

გაგრძელება ცხრილი 12-1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	მინის მილებში	ПР; АПР	+	×	—	—	×	—	—
	ფოლადის მილებში	ПР; АПР ПРТО; АПРТО	[illegible] ×	+ ×	+ +	— +	+ +	— ×	— ×
	საიზოლაციო ნახ. მაგარ მილებში	ПР; АПР	×	×	—	—	×	—	—
	ლითონისვარსიან ქაღალდის მილებში	ПР; АПР	×	×	×	—	×	—	—
	სამშენებლო კონსტრუქციაში და ლესილის ქვეშ	ППВ; АППВ; ПВ; АПВ; АПН	+	×	×	—	×	—	—

პირობითი აღნიშვნები: „+“ — რეკომენდაცია ეძლევა; „×“ — დასაშვებია; „—“ — აკრძალულია.

გ) სადენის კვეთის განსაზღვრა დასაშვები გახურების მიხედვით

სადენების კვეთის განსაზღვრისას სარგებლობენ ცნებებით:

1) ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე $P_{\text{ნ}}$, რომელიც მომხმარებელზეა აღნიშნული;

2. დადგმული სიმძლავრე $P_{\text{დად}}$—დადგმული მომხმარებლების ნომინალური სიმძლავრეების ჯამი;

3) საანგარიშო სიმძლავრე $P_{\text{საანგ}}$ — სიმძლავრე, რომლის მიხედვით ხდება გაანგარიშება.

ზემოთ აღნიშნულ სიმძლავრეებს შეესაბამება $I_{\text{ნ}}$, $I_{\text{დად}}$, $I_{\text{საანგ}}$ დენები, რომლებსაც იგივე განმასხვავებელი სახელწოდება ენიჭებათ.

პრაქტიკულად ენერგიის ყველა მომხმარებელი ერთდროულად არ არიან ჩართული და ძრავებიც მუდამ არ არიან მაქსიმალურად დატვირთული, ამიტომ გაანგარიშების დროს სარგებლობენ არა დადგმული სიმძლავრით, არამედ მისი იმ ნაწილით, რომელიც შეიძლება მომხმარებელმა მოიხმაროს ერთდროულად.

საანგარიშო სიმძლავრის შეფარდებას დადგმულ სიმძლავრესთან ეწოდება მ ო თ ხ ო ვ ნ ი ლ ე ბ ი ს კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი, რომელიც შემდეგნაირად გამოისახება:

$$K_{\text{მოთხ}}=\frac{P_{\text{საანგ}}}{P_{\text{დად}}} \quad \text{ან} \quad K_{\text{მოთხ}}=\frac{I_{\text{საანგ}}}{I_{\text{დად}}}. \qquad (12\text{-}1)$$

მოთხოვნილების კოეფიციენტი მიიღება განათების დატვირთვის დროს. ა) გარე განათების ქსელისათვის $K_{\text{მოთხ}}=1$; ბ) საყოფაცხოვრებო განათების ქსელისათვის $K_{\text{მოთხ}}=0{,}7\div0{,}8$; გ) სამრეწველო საწარმოების ქსელისათვის $K_{\text{მოთხ}}=0{,}7\div0{,}9$.

განათების დატვირთვისას საანგარიშო დენი ცვლადი და მუდმივი დენის ერთფაზიანი წრედებისათვის

$$I_{\text{საანგ}}=\frac{K_{\text{მოთხ}}\cdot P_{\text{დად}}}{U}=\frac{P_{\text{საანგ}}}{U},$$

ხოლო სამფაზიანი წრედისათვის

$$I_{\text{საანგ}}=\frac{K_{\text{მოთხ}}\cdot P_{\text{დად}}}{\sqrt{3}\,U}=\frac{P_{\text{საანგ}}}{\sqrt{3}\,U}.$$

ძალური დატვირთვისას ლითონთა ცივად დამუშავების საამქროსათვის ერთი-ორი დადგმული ძრავას შემთხვევაში $K_{\text{მოთხ}}=1$; ოთხი ძრავასთვის $K_{\text{მოთხ}}=0{,}8$; ექვსის დროს $K_{\text{მოთხ}}=0{,}6$.

მუდმივი დენის და სამფაზიანი ძრავების ნომინალური დენები შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულებით:

$$I_{\text{ნ}}=\frac{P_{\text{ნომ}}}{U\eta} \quad \text{და} \quad I_{\text{ნ}}=\frac{P_{\text{ნ}}}{\sqrt{3}\,U\eta\cos\varphi}, \qquad (12\text{-}2)$$

სადაც η — ელექტროძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტია (მქკ).

η—სა და cosφ-ის მნიშვნელობები ძრავებისათვის აიღება ცნობარებიდან ან კატალოგებიდან, საორიენტაციო გაანგარიშების დროს უდიდესი სიმძლავრის ძრავებისათვის 10÷12 კვტ-მდე ნამრავლი $\eta\cos L$ შეიძლება მივიღოთ 0,7—0,8-ის ტოლად.

ძრავების საანგარიშო დენი

$$I_{\text{საანგ}}=K_{\text{მოთხ}}\,I_{\text{ნ}}=K_{\text{მოთხ}}\,I_{\text{დად}}.$$

სადენების კვეთის განსაზღვრა მათი დასაშვები გახურების მიხედვით ჩვეულებრივად ხდება 12—2 ცხრილის შესაბამისად, რომელშიაც სხვადასხვა მარკის სადენების სტანდარტული კვეთებისათვის მოცემულია ხანგრძლივად დასაშვები $I_{\text{დას}}$ დენები.

სადენის დასაშვები დენი საანგარიშოზე არანაკლები უნდა იყოს, ე. ი.

$$I_{\text{დას}} \geqslant I_{\text{საანგ}}. \qquad (12\text{-}3)$$

ამგვარად, სადენი შეირჩევა ისეთი კვეთით, რომლის დასაშვები დენი უდრის ან ცოტა მეტია საანგარიშოზე.

მაგალითი 12—1. განვსაზღვროთ საანგარიშო დენი სამფაზიანი ხაზის მაგისტრალურ სადენებში, რომლის ძაბვა 220 ვ, თუ მის ბოლოზე მიერთებულია სამი ელექტროძრავა ნომინალური სიმძლავრეებით: $P_{\text{ნ}_1}=4{,}5$ კვტ, $P_{\text{ნ}_2}=2{,}8$ კვტ და $P_{\text{ნ}_3}=3{,}5$ კვტ.

შევარჩიოთ ПР მარკის სადენის კვეთი, რომელიც მილშია ჩადებული მათი დასაშვები გახურების პირობების დაცვით.

ა მ ო ხ ს ნ ა. დადგმული სიმძლავრე

$$P_{\text{დად}}=4{,}5+2{,}8+3{,}5=10{,}8 \text{ კვტ}.$$

ც ხ რ ი ლ ი 12-2

დასაშვები ხანგრძლივი დენის დატვირთვები სპილენძისა და ალუმინის ძარღვიანი იზოლირებული სადენებისა და კაბელებისათვის

ძარღვის კვეთი, მმ²	დასაშვები ხანგრძლივი დატვირთვა — ა-ობით[1]					
	ღია გაყვანილობის ПР, ПРД, ПВ, ППВ, АПВ, АПР მარკების სადენებისათვის	ღია გაყვანილობის, სპილენძისძარღვიანი, СРБГ, ВРГ, ВРБГ, ТПРФ მარკის სადენებისა და კაბელებისათვის		სადენები ПР, ПРГ, ПВ, ПВГ, АПР და АПВ ერთ მილსა და ПНВ დახურულ გაყვანილობაში		შლანგური სადენი და კაბელი ოთძარღვიანი
		ორძარღვიანი	სამძარღვიანი	ორი სადენი	სამი სადენი	
1	17/—	—	—	16/—	15/—	—
1,5	23/—	19	19	19/—	17/—	—
2,5	30/24	27	25	27/20	25/19	—
4	41/32	38	35	38/28	35/28	50/40
6	50/39	50	42	46/36	42/32	70/55
10	80/55	70	55	70/50	60/47	95/75
16	100/80	90	75	85/60	80/60	130/105
25	140/105	115	95	115/85	100/80	180/135
35	170/130	140	120	135/100	125/95	220/170
50	215/165	175	145	185/140	170/130	270/215
70	270/210	215	180	225/175	210/165	340/265

[1] მრიცხველში მოყვანილია დატვირთვა სპილენძის ძარღვებისათვის; მნიშვნელში — ალუმინის ძარღვებისათვის.

საანგარიშო დენი მაგისტრალში

$$I_{\text{საანგ}}=\frac{K_{\text{მოთხ}} \cdot P_{\text{დად}} 1000}{1{,}73\ U \eta \cos\varphi}=\frac{0{,}9 \cdot 10{,}8 \cdot 1000}{1{,}73 \cdot 220\ 0{,}73}=35 \text{ ა}.$$

გამოთვლილი საანგარიშო დენი $I_{\text{საან}}$—35 ა ემთხვევა დასაშვებ დენს $I_{\text{დას}}$ — 35 მილებში ჩაწყობილი *ПР* მარკის სადენისათვის, რომლის კვეთი $S=4$ მმ² (ცხრილი 12—2). სწორედ ამ კვეთს ($S=4$ მმ²) შევარჩევთ მოცემული პირობისათვის.

სადენის შერჩეული კვეთი აუცილებელია შემოწმდეს ძაბვის დანაკარგებზე,

დ) სადენის კვეთის განსაზღვრა დასაშვები ძაბვის დანაკარგების მიხედვით

როგორც ცნობილია (§ 2—10), ძაბვის დანაკარგი ეწოდება ხაზის თავსა და ბოლოს შორის ძაბვათა არითმეტიკულ სხვაობას.

$$\Delta U = U_1 - U_2.$$

ხშირად ძაბვის დანაკარგებს გამოსახავენ პროცენტობით, რომელსაც ძაბვის ფარდობით დანაკარგებს უწოდებენ. იგი გამოისახება ფორმულით

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} 100\%. \qquad (12\text{-}4)$$

დასაშვები ფარდობითი ძაბვის ვარდნა უბანზე ქვესადგურიდან მომხმარებლამდე განათების დატვირთვისათვის 2—3%-ს შეადგენს, ხოლო ძალური დატვირთვისათვის 4—6%.

§ 2—10-ში მოყვანილი 2—33 ფორმულიდან ჩანს, რომ მუდმივი დენის ორსადენიანი ხაზის სადენების კვეთის გაანგარიშებისთვის

$$S = \frac{2Il}{\gamma \Delta U},$$

თუ ΔU-ს შევცვლით ძაბვის ფარდობითი დანაკარგით, მივიღებთ

$$S = \frac{2 \cdot 100 Il}{\gamma \varepsilon U}.$$

ან, თუ გავამრავლებთ და გავყოფთ U-ზე, ფორმულა მიიღებს სხვა სახეს

$$S = \frac{2 \cdot 100\, Pl}{\gamma \varepsilon U^2}, \qquad (12\text{-}5)$$

საიდანაც შეიძლება დავწეროთ, რომ

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 100\, Pl}{\gamma S U^2}. \qquad (12\text{-}6)$$

(12-5) და (12-6) ფორმულებით განვსაზღვრავთ ძაბვის ფარდობით დანაკარგებს ხაზში სადენების მოცემული კვეთების მიხედვით.

ეს ფორმულები შეიძლება გამოვიყენოთ მუდმივი დენის წრედებში, ერთფაზიანი და სამფაზიანი ცვლადი დენის წრედებში; უკანასკნელ შემთხვევაში მამრავლი 2 მრიცხველიდან უნდა ამოვაგდოთ. U ძაბვა ხაზურ ძაბვას წარმოადგენს, ე. ი. $U = U_ნ$, ხოლო P სიმძლავრე — სამფაზა დატვირთვის აქტიურ სიმძლავრეს.

მ ა გ ა ლ ი თ ი 12-2. განვსაზღვროთ ძაბვის ვარდნა U-220 ვ. ძაბვის სამფაზიან ხაზში, რომელიც დამზადებულია ПР სადენით. სიგრძით $l = 15$ მ. კვეთი $S = 4$ მმ², თუ ხაზში ჩართულია სამი ელექტროძრავა, რომელთა სიმძლავრეებია: $P_1 = 4{,}5$ კვტ; $P_2 = 2{,}8$ კვტ და $P_3 = 3{,}5$ კვტ (იხ. მაგ. 12—1).

ა მ ო ხ ს ნ ა. ძრავას კვების წრედში სიმძლავრე ნომინალური დატვირთვის დროს

$$P = \frac{P_{ნ_1}}{\eta_1} + \frac{P_{ნ_2}}{\eta_2} + \frac{P_{ნ_3}}{\eta_3} = \frac{4{,}5}{0{,}85} + \frac{2{,}8}{0{,}85} + \frac{3{,}5}{0{,}85} = 5{,}3 + 3{,}3 + 4{,}1 = 12{,}7 \text{ კვტ}.$$

საანგარიშო სიმძლავრე

$$P_{საანგ} = K_{მოთხ} P = 0{,}9 \cdot 12{,}7 = 11{,}5 \text{ კვტ}$$

თუ გამოვიყენებთ (12-6) ფორმულას, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\varepsilon=\frac{100\ P_{სააწგ}l}{\varphi SU^2}=\frac{100\cdot 11,5\cdot 1000\cdot 15}{57\cdot 4\cdot 220^2}=2\%.$$

ამგვარად, ძაბვის ფარდობითი დანაკარგი არ აღემატება დასაშვებს და, მაშასადამე, დასაშვები გახურების პირობების მიხედვით შერჩეული სადენის კვეთი $S=4$ მმ² მისაღებია.

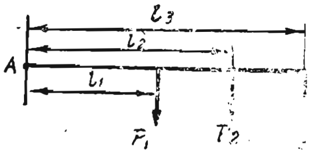
თუ მკვებავი A პუნქტიდან ენერგიის გადამცემი ხაზის (ნახ. 12-27) სხვადასხვა წერტილში რამდენიმე დატვირთვაა ჩართული, მაშინ ხაზის ყველა უბანზე ერთნაირი კვეთისა და მასალის დროს მუდმივი და ერთფაზიანი ცვლადი დენის ორსადენიანი ხაზისათვის სადენების კვეთი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$S=\frac{2\cdot 100(P_1l_1+P_2l_2+P_3l_3+\cdots)}{\gamma\varepsilon U^2}=\frac{2\cdot 100\Sigma Pl}{\gamma\varepsilon U^2}. \qquad (12\text{-}7)$$

ხოლო ძაბვის ფარდობითი დანაკარგები

$$\varepsilon=\frac{2\cdot 100(P_1l_1+P_2l_2+P_3l_3+\cdots)}{\gamma\cdot S\cdot U^2}=\frac{2\cdot 100\Sigma Pl}{\gamma\varepsilon U^2}. \qquad (12\text{-}8)$$

სადენების კვეთისა და ძაბვის ფარდობითი დანაკარგების განსაზღვრა სამფაზიან წრედებში ხდება იმავე (12-7) და (12-8) ფორმულებით, მხოლოდ მრიცხველიდან მამრავლი 2 უნდა მოიხსნას.



ნახ. 12—27. ხაზი სამი დატვირთვით.

ორი უკანასკნელი ფორმულა წინა (12-5) და (12-6) ფორმულებისაგან განსხვავდებიან იმით, რომ გამოსახულება Pl დატვირთვისა და სიგრძის ნამრავლი, რომელსაც დატვირთვის მომენტს უწოდებენ, შეცვლილია დატვირთვის მომენტების ჯამით (ნახ. 12-27).

დასაშვები გახურების პირობებიდან გაანგარიშებული სადენების კვეთები, რომლებიც აკმაყოფილებენ ძაბვის დასაშვები დანაკარგების მოთხოვნებს, მოწმდება მექანიკური სიმტკიცის პირობების მიხედვით (ცხრ. 12-3).

ცხრილი 12-3

მექანიკური სიმტკიცის მიხედვით სადენების უმცირესი დასაშვები კვეთები

სადენების დასახელება და მათი ჩაწყობის ხერხები	კვეთი, მმ² სპილენძის სადენები	კვეთი, მმ² ალუმინის სადენები
სადენები სანათების დასამუხტავად	0,5; 1	—
სადენები შლანგებში მოძრავი დენმიმღებებისათვის	1 და 2,5	—
იზოლირებული სადენები შენობაში საიზოლაციო საყრდენებზე ერთმანეთისაგან დაშორებებით:		
1 მ-მდე	1,0	2,5
2 მ-მდე	1,5	2,5
6 მ-მდე	2,5	4
12 მ-მდე	4	10
12 მ-ზე მეტი	6	16
არაიზოლირებული სადენები შენობაში, იზოლირებული და არაიზოლირებული დაცული სადენები გარე გაყვანილობებში:		
კედელზე	2,5	4
ყველა სხვა შემთხვევაში	4	10
იზოლირებული სადენები მილებში	1	2,5
საჰაერო ხაზები 1000 ვ-მდე	6	16
საჰაერო შეყვანილობა საყრდენიდან 25 მ დაშორებით	4	10

12-4. დამცავი ჩამიწება

დადგენილია, რომ ადამიანის სხეულში გამავალი 50 მა ძალის ელექტროდენი საშიშია სიცოცხლისათვის, ხოლო 100 მა და მეტი ძალის დენი — სასიკვდილოა. ცნობილია, რომ დენის ძალა დამოკიდებულია წრედის ძაბვასა და წინაღობაზე. ამიტომ ადამიანის სიცოცხლის საშიშროება ელექტროდენით იზრდება ძაბვის გადიდებისა და ადამიანის სხეულის წინაღობის შემცირებისას. ადამიანის კანის ყოველგვარი დატენიანება, მისი დაჭუჭყიანება გამტარი ნივთიერებით და ნესტიანი ფეხსაცმელი ამცირებენ სხეულის წინაღობას და ზრდიან სიცოცხლის საშიშროებას. პირიქით, დენის წრედის წინაღობის გაზრდა, რასაც შეიძლება მივაღწიოთ რეზინის ხელთათმანების, რეზინის ფეხსაცმლისა და რეზინის ნოხის გამოყენებით, ამცირებს დენით სავნებ საშიშროებას.

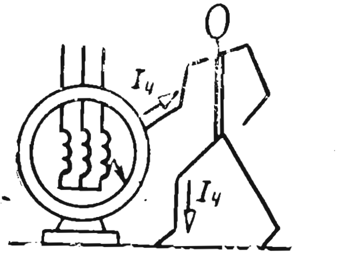
სასიკვდილო შედეგს ჰქონდა ადგილი 60 ვ-ზე ნაკლები ძაბვის დროს; ასე, რომ გადასატანი ხელსაწყოებითა და ნათურებით ხის იატაკიან მშრალ შენობებში მუშაობისას დასაშვებად ითვლება 36 ვ-მდე ძაბვა, ხოლო ნესტიან და ცხელ შენობაში, საქვაბეში, ავზებში და ა. შ. მუშაობის დროს — 12 ვ-მდე ძაბვა. ამ დროს ამ მომხმარებლების მკვებავი დამწევი ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილი და მისი კორპუსი დამიწებული უნდა იყოს.

მომსახურე პერსონალის დანადგარის ძაბვის ქვეშ მყოფ ნაწილებთან შეხებისაგან დაცვისათვის იყენებენ დამცავ გარსაცმებს, შემოკავებას ან, როგორც თვით მოწყობილობის, ისე შენობის ბლოკირებას, რომელშიაც ისინი იმყოფებიან.

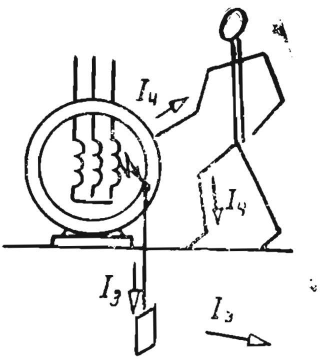
დენისაგან მომსახურე პერსონალის დასაცავად ელექტრომოწყობილობის ლითონის ნაწილებთან შეხების დროს, მაგალითად, ელექტროძრავას კორპუსთან ან ფარის ჩონჩხედთან, რომლებიც ნორმალურად არ იმყოფებიან ძაბვის ქვეშ, მაგრამ შეიძლება აღმოჩნდნენ, მათი ელექტროიზოლაციის დაზიანებისას იყენებენ დამცავ ჩამიწებას.

დამცავი ჩამიწება ეწოდება მოწყობილობის ლითონის ნაწილების, (რომლებიც ნორმალურად არ იმყოფებიან ძაბვის ქვეშ) წინასწარი განზრახვით მიწასთან შეერთებას. მიწასთან შეერთება ხდება ჩამმიწებლის მეშვეობით ან ლითონის გამტართა ჯგუფით, რომელიც უშუალოდ შეერთებულია მიწასთან.

იზოლირებული ნეიტრალის მქონე სამფაზიან წრედებში (ნახ. 12-28) ელექტროძრავას ჩაუმიწებელ კორპუსთან შეხება, რომლის იზოლაცია ერთ-ერთ ფაზაში



ნახ. 12-28. დაუმიწებელი ძრავას კორპუსთან შეხება.

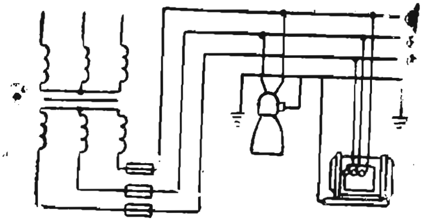


ნახ. 12-29 დამიწებული ძრავას კორპუსთან შეხება.

დაზიანებულია, გამოიწვევს ადამიანის სხეულში დენის გავლას $I_{ად} = \frac{U}{r_{იზ} + r_{ად}}$ (წრედი შეიკვრება სხვა ფაზების იზოლაციის წინაღობაში), რაც საშიშია, რადგან იზოლაციის წინაღობა შეიძლება დიდი არ იყოს.

როცა ძრავას კორპუსი ჩამიწებულია (ნახ. 12-29), დაზიანებულ იზოლაციაში და ჩამმიწებელში გაივლის ჩამიწების დენი $I_{ჩამ} = \frac{U}{r_{იზ} + r_{ჩამ}}$ და ძრავას კორპუსსა და მიწას შორის იქნება ძაბვა $U_{ჩამ} = I_{ჩამ} \cdot r_{ჩამ}$, რომელიც მით ნაკლებია, რაც ნაკლებია ჩამიწების წინაღობა. კორპუსთან ადამიანის შეხებისას ის აღმოჩნდება ჩამიწების წინაღობის პარალელურად ჩართული, აგრეთვე მეტად მცირე ძაბვის $U_{ჩამ} \ll U$ ქვეშ და საშიშროებაც თავიდან იქნება აცილებული.

მაგალითად, როცა $r_{ჩამ} = 0{,}4$ ომს და ადამიანის სხეულის წინაღობა ტოლია 40 000 ომის, ადამიანში გამავალი დენი 10000-ჯერ ნაკლები იქნება ჩამმიწებელში გამავალ დენზე.



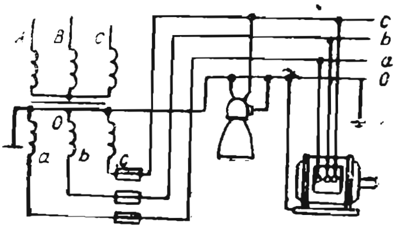
ნახ. 12-30. დენის სამსადენიანი სისტემა იზოლირებული ნეიტრალით.

იზოლირებული ნეიტრალის მქონე წრედებში დამცავი ჩამიწება კეთდება 12-30 ნახაზზე მოცემული სქემის მიხედვით, თუმცა ჩამიწების წინაღობა არ უნდა იყოს 4 ომზე მეტი, ხოლო, როცა მკვებავი გენერატორის ან ტრანსფორმატორის სიმძლავრე არაუმეტეს 100 კვ-ია, ჩამიწების წინაღობა არ უნდა აღემატებოდეს 10 ომს. ჩამმიწებლად იყენებენ შენობის ან მოწყობილობის ლითონკონსტრუქციებს, რომლებიც საიმედოდაა შეერთებული მიწასთან, მიწაში ჩაწყობილი მილგაყვანილობა (აირისა და ცხელი სითხის მილების გარდა).

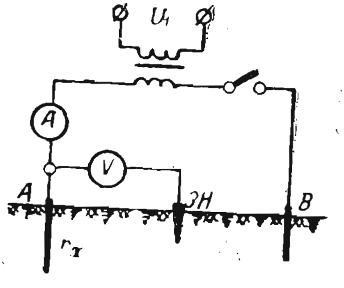
თუ აღნიშნული კონსტრუქციები არაა, მაშინ ჩამმიწებლებს ამზადებენ 2—3 მ სიგრძის, 35—40 მმ დიამეტრის, არანაკლები 3,5 მმ კედლის სისქის ფოლადის მილების ნაჭრების ან კუთხური ფოლადისაგან, თაროს სისქით, არანაკლები 4 მმ. ჩამმიწებლის რაოდენობა უნდა იყოს არანაკლები ორისა. მათ ასობენ მიწაში ისე, რომ მათი ზედა ბოლო მიწის ზედაპირიდან იყოს 0,4—1,5 მ-ით დაბლა და არანაკლები 4 მმ სისქის ზოლოვანი ფოლადის მიდუღებით უერთდებიან ერთმანეთს.

ელექტროდანადგარის ყველა ჩამიწებულ ნაწილს ჩამმიწებელთან აერთებენ 24 მმ^2 კვეთის მქონე ზოლოვანი ფოლადის დამიწებული სადენებით, რომელთა სისქე არანაკლებ 3 მმ-ია, ან 5 მმ დიამეტრის მრგვალი ფოლადის მავთულით. მოწყობილობასთან მათ აერთებენ ჭანჭიკებით ან შედუღებით. ჩამმიწებელ სადენებს ღებავენ იისფრად.

ელექტროდანადგარებს განათებისა და ძალური დატვირთვის კვებისათვის ჩვეულებრივად აგებენ ოთხსადენიანი ძაბვით 380/220 ან 220/127 ვ. მეოთხე ნულოვან სადენს კვების წყაროსთან და მომხმარებელთან (ნახ. 12-31) ამიწებენ მეტად მცირე წინაღობით და, ბუნებრივია, ნულოვანი პოტენციალი აქვს. ამ ნულოვან სადენთან აერთებენ დანადგარის ლითონის ნაწილებს, რომლებიც ნორმალურად არ იმყოფებიან ძაბვის ქვეშ, მაგალითად, ელექტროძრავას, ტრანსფორმატორის, სანათების კორპუსები, საზომი ტრანსფორმატორის გრაგნილები, ფარების ლითონის ჩონჩხედები და ა. შ.



ნახ. 12-31. დენის ოთხსადენიანი სისტემა ყრუდ ჩამიწებული ნეიტრალით.



ნახ. 12-32. ჩამიწების წინაღობის გასაზომი სქემა ამპერმეტრითა და ვოლტმეტრით.

ერთ-ერთი ფაზის, მაგალითად, a ფაზის ჩამიწებისას ადგილი ექნება ერთფაზიან მოკლე შერთვას და მდნობი მცველი ან ავტომატი გამორთავს მას კვების წყაროდან. დანარჩენი ფაზების U_b და U_c ფაზური ძაბვები ამ დროს უცვლელი რჩება.

ჩამიწების მდგომარეობა აუცილებლად უნდა ისინჯებოდეს წელიწადში ერთხელ მაინც და მისი წინაღობა $r_{ჩმ} = \frac{U}{I}$ იზომებოდეს ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის მეთოდის გამოყენებით (ნახ. 12-32, სადაც A — გამოსაცდელი ჩამიწებაა, B — დამხმარე ჩამიწება, ხოლო $ЗН$ — ზონდი — ჩამიწებული ლითონის მანჭვალი ვოლტმეტრის შესაერთებლად).

მეორე ნაწილი

ელექტრონიკის საფუძვლები

შესავალი

ელექტრონიკა ეწოდება მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგს, რომელშიაც განიხილება: 1) ელექტრონული და იონური პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ ვაკუუმში, აირებში, სითხეებში, მყარ სხეულებში, პლაზმაში და მათ საზღვრებზე; 2) ელექტროვაკუუმიანი, იონური და ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოების მოთხოვნები და თვისებები; 3) ამ ხელსაწყოების, ელექტრონული წრედებისა და დანადგარების ამოყენება მეცნიერების სხვადასხვა დარგში, მრეწველობაში, კავშირგაბმულობაში და ა. შ.

ელექტრონიკაში მიღწეული წარმატებები მნიშვნელოვანწილად დაკავშირებულია რადიოტექნიკის განვითარებასა და პროგრესთან.

რადიო 1895 წელს გამოიგონა დიდმა რუსმა მეცნიერმა ა. პოპოვმა. ამ წელს რუსეთის ფიზიკურ-ქიმიური საზოგადოების ფიზიკის განყოფილების სხდომაზე პეტერბურგში მან პირველმა აჩვენა თავისი რადიომიმღები და მისი მუშაობა.

პირველი რადიომიმღების გამოგონების შემდეგ მეოთხედი საუკუნის განმავლობაში მუშავდებოდა რადიოტექნიკის საფუძვლები და ვითარდებოდა რადიოტელეგრაფია. ამ პერიოდში ბევრ ქვეყანაში მიმდინარეობდა ინტენსიური მუშაობა რადიომიმღებების გამარტივებისა და მათი მგრძნობიარობის ამაღლების მიზნით, ასევე მიმდინარეობდა მარტივი და საიმედო დეტექტორების — მაღალი სიხშირის რხევების აღმომჩენის ძიებითი სამუშაოები.

1904 წელს დამზადდა პირველი ორელექტროდიანი ელექტრონმილაკი — დიოდი, ხოლო 1907 წელს — სამელექტროდიანი ელექტრონმილაკი — ტრიოდი. იმავე 1907 წელს რუსმა პროფესორმა ბ. როზინგმა გამოიგონა მანძილზე გამოსახულების ელექტრონული გადაცემის ხერხი, სატელევიზიო გადამცემისა და ელექტრონ-სხივურმილაკიანი სატელევიზიო მიმღების მეშვეობით.

1913 წელს ტრიოდის მეშვეობით მიღებულ იქნა არამილევადი ელექტრული რხევები და დამუშავებულ იქნა მიმღების სქემა.

პირველი სამამულო რადიოლამპები რადიოსიგნალების მისაღებად დამზადდა 1914—1916 წლებში ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად ნ. პაპალექსისა და მ. ბონჩ-ბრუევიჩის მიერ.

დიდი ოქტომბრის რევოლუციამდე რუსეთში არ იყო დაწესებულება, რომელიც დაინტერესებული ყოფილიყო ელექტრონიკის საკითხებით.

1918 წელს ნიჟნი ნოვგოროდში მუშაობა დაიწყო მსოფლიოში პირველმა გადამცემმა რადიოტელეფონის სადგურმა გენერატორულ ელექტრონმილაკებზე.

დიდი კვლევითი სამუშაოები ტარდებოდა ელექტროვაკუუმური ხელსაწყოების შესაქმნელად ლენინგრადში, ელექტროვაკუუმის ქარხანაში „სვეტლანა“ და ელექტროფიზიკის ინსტიტუტში. აქ მუშაობდნენ ა. ჩერნიშევი, მ. ბოგოსლოვსკი, ვ. ვოლინკინი და სხვები. ა. ჩერნიშევის მნიშვნელოვანი გამოგონება იყო შესათბობი კათოდი (1921 წ.). თეორიული და ექსპერიმენტული მუშაობის შედეგად ამ პერიოდში სსრ კავშირში დასაბამი მიეცა სხვადასხვაგვარი ელექტრონული ელექტრონმილაკების მასობრივ წარმოებას.

1922 წელს მოსკოვში ექსპლუატაციაში შევიდა შაბოლოვის რადიოსადგური 12 კვტ ანტენის სიმძლავრით.

იმავე 1922 წელს ნიჟეგოროდსკის რადიოლაბორატორიის თანამშრომელმა ო. ლოსევმა აღმოაჩინა რადიოსიგნალების გენერირებისა და გაძლიერების შესაძლებლობა ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოების მეშვეობით და მანვე შექმნა უელექტრონმილაკო მიმღები — კრისტადინი. მაგრამ იმის გამო, რომ მაშინ არ ჰქონდათ საჭირო ნახევარგამტარების მასალების მიღების მეთოდები, მისმა გამოგონებამ იმ პერიოდში ფართო გამოყენება ვერ ჰპოვა.

1924 წელს შეიქმნა დაეკრანებული ელექტრონმილაკი ორი ბადით — ტეტროდი.

ვითარდებოდა აგრეთვე იონური ხელსაწყოებიც: გაუმჯობესდა ვერცხლისწყლის ვენტილი, გამოჩნდნენ გაზოტრონები (1929 წ), ტირატრონები, სტაბილიტრონები და სხვა ელექტრონმილაკები, მაგალითად ნეონისა.

ოცდაათიან წლებში გრძელდებოდა რადიოტელეფონიის, რადიოტელეგრაფის, და რადიომაუწყებლობის განვითარება, წარმოიშვა რადიონავიგაცია და რადიოლოკაცია, უმჯობესდებოდა ელექტრონვაკუუმური ტექნიკა, ათვისებულ იქნა სხვადასხვაგვარი ელექტრონული და იონური ხელსაწყოების გამოშვება.

1930—1931 წლებში დამუშავდა ელექტრონული ელექტრონმილაკი სამი ბადით — პენტოდი. დაიწყო ელექტრონული ელექტრონმილაკების დამზადება არაპირდაპირი ვარვარის კათოდით, მრავალბადიანი და კომბინირებული ელექტრონმილაკების გამოშვება, რამაც საშუალება მოგვცა შე-

გვემცირებია ელექტრონმილაკების რიცხვი სქემებში და ელექტრონული აპარატურის გაბარიტები.

გამოსახულების გადაცემის ხერხებისა და საზომი ტექნიკის განვითარებას თან სდევდა სხვადასხვაგვარი ფოტოელექტრული ხელსაწყოების — ფოტოელემენტების დამუშავება და გაუმჯობესება. 1930 წელს ლ. კუბეცკიმ გამოიგონა ფოტოელექტრონული მამრავლებელი. 1930—1931 წლებში ა. კონსტანტინოვმა და ი. კატაევმა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად დაამუშავეს პირველი სპეციალური გადამცემი სატელევიზიო მილაკი, რის გამოგონებამაც ფართო შესაძლებლობა მისცა ტელევიზიის განვითარებას.

1932 წელში მოსკოვში მუშაობა დაიწყო მსოფლიოში ყველაზე მძლავრმა კომინტერნის სახელობის რადიომაუწყებლობის სადგურმა 500 კვტ სიმძლავრით.

ამ და შემდგომ წლებში ინტენსიურად ვითარდებოდა ელექტრონვაკუუმური და რადიომრეწველობა, მუშავდებოდა რადიოტექნიკური სქემებისა და მოწყობილობების გაანგარიშების ინჟინრული მეთოდები, ტარდებოდა თეორიული და ექსპერიმენტული ხასიათის უფართოესი მეცნიერული კვლევები.

პირველი სელენის გამმართველისა (1932 წ.) და პირველი სულფიდის გამმართველის (1938 წ.) დამზადების შემდეგ გრძელდებოდა ნახევარგამტარების ელექტრონიკის ინტენსიური განვითარება.

ნახევარგამტარიანი ელექტრონიკის განვითარებაში დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა საბჭოთა მეცნიერების ა. იოფეს, ი. ფრენკელის, ბ. დავიდოვის, ბ. ვულისა და სხვათა შრომებს.

დიდი სამამულო ომი გახდა მიზეზი ელექტრონიკისა და რადიოლოკაციის მიზანსწრაფული განვითარებისა და კვლევებისა ნახევარგამტარების დარგში.

დამუშავებულ იქნა ჯერ წერტილოვანი, ხოლო შემდეგ ბრტყელი გერმანიუმისა და კაჟბადის დიოდები. 1948 წელს შეიქმნა გერმანიუმის წერტილოვანი ტრანზისტორი, შემდეგ კაჟბადის, ხოლო 1951 წელს სიბრტყითი ტრანზისტორი. შემდგომ წლებში წარმოებს კვლევები და ნახევარგამტარების მასალების დამუშავების ახალი პროცესების, ელექტრონულ-ხვრელური გადასასვლელების დამზადების ხერხებისა და ყველაზე მრავალფეროვანი ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოების შექმნა. მაგალითად, გვირაბული დიოდები, ფოტოდიოდები, ფოტოტრანზისტორები და თერმორეზისტორები. 1959—1960 წლებში აკადემიკოს ვ. ტუჩკევიჩის ხელმძღვანელობით დამუშავებულ იქნა ნახევარგამტარიანი ტირისტორები.

ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოების დარგში პროგრესი შეიძლება დავახასიათოთ მუშა სიხშირის განბნევის სიმძლავრისა და მუშა ტემპერატურების ამაღლებით. თუ პირველი ტრანზისტორების ზღვრული მუშა სიხ-

შირე ასეულ კილოჰერცს შეადგენდა, ხოლო განბნევის სიმძლავრე 20 მილივატს არ აღემატებოდა, შემდგომში სიხშირე გადიდდა 5 მჰერც-მდე, სიმძლავრე კი 5 ვტ-მდე, ხოლო დღეისათვის სიხშირე აყვანილია 50 მჰც-მდე და სიმძლავრე 100 ვტ-მდე. დამახასიათებელია აგრეთვე მუშა ტემპერატურების ამაღლებაც: გერმანიუმის ტრანზისტორების ზღვრული მუშა ტემპერატურა +75°C-ია, კაჟბადისა — +150°C, გალიუმის დარიშხანზე ტრანზისტორისა +250°C, ხოლო კაჟბადის კარბიდზე +350°C.

ნახევარგამტარების ტექნიკის განვითარების ტემპები შეიძლება თვალსაჩინო გავხადოთ, მაგალითად, ძალური ნახევარგამტარიანი ვენტილების გამოშვებით, რომელიც 1965 წელს დაახლოებით 7-ჯერ გაიზარდა 1959 წელთან შედარებით, ხოლო 1970 წელს — 5-ჯერ 1965 წელთან შედარებით.

უკანასკნელ დროს ელექტრონვაკუუმური ხელსაწყოები ხშირად იცვლება ნახევარგამტარიანებით, რაც უკანასკნელის უპირატესობით აიხსნება პირველთან შედარებით, მაგრამ ეს იმას არ ნიშნავს, რომ ელექტრონული მილაკები მთლიანად იქნება განდევნილი ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოებიდან. ერთ შემთხვევაში პრაქტიკაში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ელექტრონული ელექტრონმილაკები, ხოლო მეორეში — ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოები.

მეცამეტე თავი

ძირითადი ცნობები ელექტრონულ პროცესებზე. ორელექტროდიანი ელექტრონმილაკები

13-1. ელექტრონული ხელსაწყოების კლასიფიკაცია და გამოყენება

ელექტრონული ეწოდება ხელსაწყოს, რომელშიაც დენის გავლენა დაკავშირებულია მხოლოდ ელექტრონების მოძრაობასთან, როცა ხელსაწყოში უზრუნველყოფილია მაღალი ვაკუუმი, რომელიც გამორიცხავს ელექტრონების დაჯახებას აირის ატომებთან. ხელსაწყოების ამ ჯგუფს მიეკუთვნება ორ-და სამელექტროდიანი ელექტრონული მილაკები, ზოგიერთი ფოტოელემენტი, ელექტრონულ-სხივური მილაკები და სხვ.

ელექტრონული ხელსაწყოები გამოიყენება გამმართველებში, მაძლიერებლებში, გენერატორებში, მაღალი სიხშირის მიმღებ მოწყობილობებში, აგრეთვე ავტომატიკაში, ტელემექანიკაში, გაზომვით და გამოთვლით ტექნიკაში.

ი ო ნ უ რ ი ეწოდება ხელსაწყოს, რომელშიაც დენის მოვლენა გამოწვეულია ელექტრონებისა და იონების მოძრაობით, რომლებიც მიიღებიან აირის ან ვერცხლის ორთქლის ელექტრონების იონიზაციის დროს. ასეთ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება გაზოტრონები, ტირატრონები, ვერცხლისწყლის ვენტილები და სხვ.

იონური ხელსაწყოები ელექტრონულისაგან განსხვავდება პროცესების ინერციულობით, რაც გამოწვეულია იონის დიდი მასით. ამიტომ იონური ხელსაწყოები შეიძლება გამოვიყენოთ ისეთ დანადგარებში, რომელთა სიხშირე არ აღემატება რამდენიმე კილოჰერცს — საშუალო და დიდი სიმძლავრის გამმართველებში, მექანიზმების ავტომატური მართვის სქემებში და სხვ.

ნ ა ხ ე ვ ა რ გ ა მ ტ ა რ ი ა ნ ი ეწოდება ხელსაწყოს, რომელშიაც დენი წარმოიქმნება მყარ სხეულში თავისუფალი ელექტრონებისა და „ხვრელების" მოძრაობით. ელექტრონულ და იონურ ხელსაწყოებთან მთელი რიგი უპირატესობის გამო ბოლო წლებში მკვეთრად გაიზარდა ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოების გამოყენება. ამ უპირატესობიდან მთავარია ენერგიის მცირე ხარჯი, მცირე ზომები, მასა და ღირებულება, მნიშვნელოვანი მექანიკური სიმტკიცე, მუშაობის დიდი ხანგრძლივობა და ექსპლუატაციის სიმარტივე.

რადიოტექნიკის, ენერგეტიკის, ავტომატიკის, ტელემექანიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის მთელ რიგ დარგებში ნახევრადგამტარიანი ხელსაწყოები წარმატებით ცვლიან ელექტრონულ და იონურ ხელსაწყოებს.

13-2. ელექტრონების მოძრაობა ელექტროველში

კათოდიდან საწყისი $V=0$ სიჩქარით მოწყვეტილი ელექტრონი, რადგან იმყოფება ერთგვაროვან ელექტრულ ველში (ნახ. 13-1), რომლის დაძაბულობაა ε, განიცდის ველის ძალის მოქმედებას

$$F=e\varepsilon=e\,U/d, \tag{13-1}$$

რომლის მიმართულება ველის მიმართულების საწინააღმდეგოა, რადგან ელექტრონის მუხტი უარყოფითია.

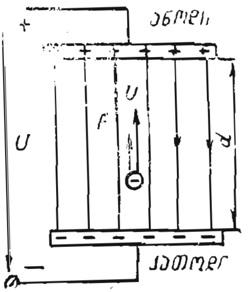
F ძალა ელექტრონს ანიჭებს a აჩქარებას, რომელიც პირდაპირპროპორციულია F-ისა და უკუპროპორციულია ელექტრონის m მასისა, ე. ი.

$$a=\frac{F}{m}=\frac{e\varepsilon}{m}=\frac{e}{m}\cdot\frac{U}{d}, \tag{13-2}$$

სადაც $e/m=\dfrac{1,6\cdot10^{-19}\ \text{კულ}}{9,1\cdot10^{-31}\ \text{კგ}}\approx1,76\cdot10^{11}$ კულ/კგ, ელექტრონის მუხტის შეფარდებაა მის მასასთან.

ელექტრონისათვის, რომლის v სიჩქარის მიმართულება ემთხვევა ველის F ძალის მიმართულებას. ელექტრული ველი იქნება ამჩქარებელი. მოძრაობს რა თანაბარაჩქარებულად, ელექტრონი მიაღწევს ანოდს v სიჩქარით, რომელსაც აქვს კინეტიკური ენერგია

$$W=\frac{mv^2}{2}. \qquad (13\text{-}3)$$



ნახ. 13-1. ელექტრონის მაჩქარებელი ელექტრული ველი.

ეს ენერგია ელექტრონმა შეიძინა d მანძილზე, ველის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის შედეგად, რომელიც გამოისახება ფორმულით

$$A=Fd=e\varepsilon d=eU=\frac{mv^2}{2}, \qquad (13\text{-}4)$$

მაშასადამე, ელექტრონის ენერგია ტოლია ველის ძალების მუშაობისა ელექტრონის გზაზე, რომლის პოტენციალთა სხვაობაა U.

თუ ელექტრონის მუხტს მივიღებთ ერთეულად, როცა $U=1$ ვ, მივიღებთ ელექტრონის ენერგიის ერთეულს 1 ელექტრონ-ვოლტს (1 ევ).

ვინაიდან ელექტრონის მუხტი ტოლია $1{,}6\cdot10^{-19}$ კულ, მაშინ 1 ევ $=1{,}6\cdot10^{-19}$ კულ. 1 ვ $=1{,}6\cdot10^{-19}$ ჯ.

ელექტრონის სიჩქარე ამჩქარებელ ველში (კმ/წმ) (13-4)-დან ტოლი იქნება

$$v=\sqrt{2\frac{e}{m}U}\approx600\sqrt{U}, \qquad (13\text{-}5)$$

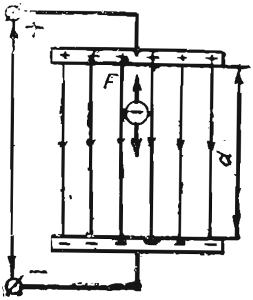
ანუ ის დამოკიდებულია ელექტრონის გზის საწყისსა და ბოლო წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობაზე. მაგალითად, თუ ელექტრონი ძილაკის კათოდს მოსწყდა $v\approx0$ სიჩქარით, მაშინ, როცა კათოდსა და ანოდს შორის ძაბვა $U=100$ ვ-ს, ანოდს მიაღწევს $v=600\cdot\sqrt{100}=6000$ კმ/წმ სიჩქარით.

ძნელი არაა განვსაზღვროთ ელექტრონის გადარბენის დრო ელექტროდებს შორის, თუ მათ შორის მანძილი $d=2$ სმ:

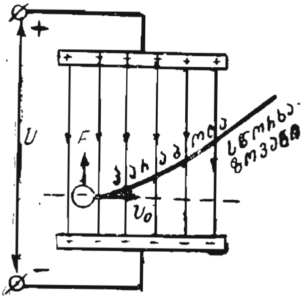
$$t=\frac{2d}{v_{საშ}}\approx\frac{2\cdot2\cdot10^{-5}}{6\cdot10^{3}}\approx0{,}7\cdot10^{-8}\text{ წმ.}$$

დავუშვათ, რომ ელექტრონი ანოდის ზედაპირიდან გამოვარდა $v_0>0$ საწყისი სიჩქარით (ნახ. 13-2) და მოძრაობს კათოდის მიმართულებით. ელექტრონზე მოქმედი ველის F ძალა მიმართულია ველისა და ელექ-

ტრონის მოძრაობის სიჩქარის საწინააღმდეგოდ, რომელიც მუხრუჭდება ველის ძალებით და თანაბარშენელებულად მოძრაობს. ამ შემთხვევაში ველს ეწოდება მ ა მ უ ხ რ უ ჭ ე ბ ე ლ ი.



ნახ. 13-2. ელექტრონი მამუხრუჭებელ ელექტრულ ველში.



ნახ. 13-3. ელექტრონი განივ ელექტრულ ველში.

კინეტიკური ენერგია, $W_0 = mv_0^2/2$, რომელიც ელექტრონს გააჩნდა საწყის მომენტში, მამუხრუჭებელ ველში მოძრაობის დროს მცირდება, რადგან მისი ნაწილი იხარჯება ველის ძალების გადალახვაზე.

თუ ელექტრონის საწყისი ენერგია W_0 მეტია მასზე, რომელიც უნდა დაიხარჯოს ელექტროდებს შორის ელექტრონის მოძრაობაზე, ე. ი.

$$W_0 > W = eU,$$

მაშინ ელექტრონი, რადგანაც გაივლის ელექტროდებს შორის d მანძილს, მიაღწევს კათოდს. მაგრამ, თუ ელექტრონის ენერგია ნაკლებია კათოდამდე მისაღწევად საჭირო ენერგიაზე, ე. ი. თუ $W_0 < W = eU$, მაშინ ელექტრონი კათოდამდე მიღწევამდე დახარჯავს მთელ თავის ენერგიას და რაღაც მომენტში გაჩერდება. შემდეგ ის ველის ძალების ზემოქმედებით დაიწყებს თანაბარაჩქარებულ მოძრაობას უკან. ელექტრონი მოძრაობს აჩქარებელ ველში, რომელიც მას უბრუნებს გაჩერებამდე დახარჯულ ენერგიას.

ახლა დავუშვათ, რომ ელექტრონი, როცა მოძრაობს ელექტრული ველის ვერტიკალური მიმართულებით, მოხვდება მასში v_0 სიჩქარით (ნახ. 13-3). ბუნებრივია, ველის F ძალა, რომელიც ელექტრონზე მოქმედებს, როგორც ყოველთვის, მიმართულია ველის მიმართულების საწინააღმდეგო მხარეს. ამგვარად, ელექტრონი ერთდროულად ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით მოძრაობს: ინერციით მუდმივი სიჩქარით ველის პერპენდიკულარული მიმართულებით და ველის ძალების მოქმედებით თანაბარაჩქარებულად ველის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ე. ი. ელექტრონი გადაადგილდება პარაბოლას მიხედვით (ნახ. 13-4). თუ ელექტრონი გაცდება ველის საზღვრებს, მაშინ ის იმოძრავებს ინერციით თანაბრად და სწორხაზოვნად.

13-3. ელექტრონების მოძრაობა მაგნიტურ ველში

ზოგიერთ ელექტრონულ ხელსაწყოში გამოიყენება მაგნიტური ველის გავლენა მასში მოძრავ ელექტრონებზე.

§ 3-2-ში გვქონდა (3-6) გამოსახულება ძალისათვის, რომლითაც ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი მოქმედებს ამ ველის პერპენდიკულარულად მოძრავ ელექტრონზე. ეს ძალა ტოლია $F=Bev$. ასევე იყო დადგენილი, რომ ამ ძალის მიმართულება განისაზღვრება მარცხენა ხელის წესით.

ძალის (3-6) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ, როცა $v=0$, ძალა $F=0$, ე. ი. მაგნიტური ველი უძრავ ელექტრონზე არ მოქმედებს.

ვინაიდან F ძალის მიმართულება პერპენდიკულარულია ელექტრონის მოძრაობის სიჩქარის მიმართულებისა, მაშინ მის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია. ამგვარად, ელექტრონის ენერგია, მისი სიჩქარე რჩება უცვლელი, ხოლო იცვლება მხოლოდ ელექტრონის მოძრაობის მიმართულება.

თუ ელექტრონზე მოქმედებს მხოლოდ მაგნიტური ველი, მაშინ ის გადაადგილდება ველის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში მოთავსებულ წრეწირზე, რომლის რადიუსი იქნება r.

F ძალა არის ცენტრისკენული ძალა, რომელიც, როგორც ცნობილია, შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით

$$F=mv^2/r.$$

მაშასადამე, შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

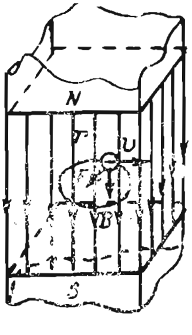
$$\frac{mv^2}{r}=Bev, \tag{13-6}$$

საიდანაც შეიძლება განვსაზღვროთ წრეწირის რადიუსი

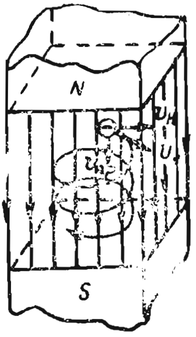
$$r=\frac{m}{e}\cdot\frac{v}{B}. \tag{13-7}$$

შეფარდება m/e მუდმივია, მაშასადამე, წრეწირის რადიუსი პროპორციულია ელექტრონის მოძრაობის სიჩქარისა და უკუპროპორციულია ველის მაგნიტური ინდუქციისა.

თუ ელექტრონის საწყისი სიჩქარის ვექტორი არაა ველის პერპენდიკულარული, მაშინ ის უნდა დაიშალოს ორ შემდგენად: ნორმალურად, ე. ი. ველის პერპენდიკულარულად v_n, და პარალელურად $v_{ძ}$, რომელიც ემთხვევა ველის მიმართულებას (ნახ. 13-5).



ნახ. 13-4. ელექტრონის მოძრაობა მაგნიტურ ველში v საწყისი სიჩქარით ველის მაგნიტური ინდუქციის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში.



ნახ. 13-5. ელექტრონის მოძრაობა მაგნიტურ ველში საწყისი სიჩქარით, რომელიც კუთხითაა მიმართული ველის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორთან.

აქედან პირველი განაპირობებს $v_ნ$ ელექტრონის მოძრაობას ველის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში მოთავსებულ წრეწირზე, ხოლო მეორე შემდგენი $v_{პარ}$ განაპირობებს ელექტრონის თანაბარ და სწორხაზოვან მოძრაობას ველის მიმართულებით. ამგვარად, ელექტრონები მოძრაობენ ხრახნულ ხაზზე (ნახ. 13-5).

13-4. ელექტრონული ემისია

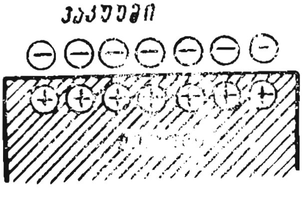
ვაკუუმად უნდა განვსაზღვროთ აირის ან ჰაერის გაიშვიათების ისეთი მაღალი ხარისხი (წნევა დაახლოებით 10^{-5} პა$\approx 10^{-7}$ მმ ვერცხ.წყ.სვ.), რომლის დროსაც ელექტრონების მოძრაობა ხდება პრაქტიკულად აირის დარჩენილ მოლეკულებთან შეჯახების გარეშე.

ვაკუუმი წარმოადგენს გაუმტარ გარემოს. ვაკუუმში ელექტროდენის მისაღებად საჭიროა დამუხტული ნაწილაკების — ელექტრონების წყარო. ასეთ წყაროს ჩვეულებრივად წარმოადგენს ლითონის ელექტროდი — კათოდი. ამ დროს გამოიყენება კათოდის ზედაპირიდან ელექტრონების გამოსვლის მოვლენა გარემომცველ გარემოში, რომელსაც ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ უ ლ ემისიას უწოდებენ.

თავისუფალი ელექტრონები ლითონში, როცა გარე ელექტრული ველი არ არსებობს, უწესრიგოდ გადაადგილდებიან კრისტალური გისოსის იონებს შორის.

ნორმალურ ტემპერატურაზე ლითონის ელექტრონები არ გამოდიან, რადგან მათი კინეტიკური ენერგია ამისათვის არასაკმარისია. ელექტრონების ნაწილი, რომელთაც უდიდესი კინეტიკური ენერგია გააჩნიათ, მოძრაობის დროს გამოდის ლითონის ზედაპირიდან და ქმნიან ელექტრულ ფენას, რომელიც

ლითონში მის ქვემოთ განლაგებულ დადებითი იონების ფენასთან ერთად წარმოქმნის ორმაგ ელექტრულ ფენას (ნახ. 13-6). ამგვარად, ლითონსა და ვაკუუმს შორის წარმოიქმნება რაღაც პოტენციალთა სხვაობა, რომელსაც პ ო ტ ე ნ ც ი ა ლ უ რ ბ ა რ ი ე რ ს უწოდებენ.



ნახ. 13-6. ორმაგი ელექტრული შრე ლითონის ზედაპირზე.

ამ ორმაგი ფენის ელექტრული ველი ეწინააღმდეგება ელექტრონებს, რომლებიც ისწრაფვიან გამოვიდნენ გამტარიდან, ე. ი. ამუხრუჭებს მათ.

ლითონის ზედაპირიდან ელექტრონების გამოსასვლელად საჭიროა ელექტრონს მივანიჭოთ იმ მუშაობის ტოლი ენერგია, რომელიც საჭიროა პოტენციური ან ორმაგი ფენის ველის მამუხრუჭებელი მოქმედების გადასალახავად. ამ მუშაობას ეწოდება გამოსვლის მუშაობა (W_a). გამოსვლის მუშაობის შეფარდებას ელექტრონის მუხტთან გამოსვლის პოტენციალს უწოდებენ და გამოსახავენ ფორმულით

$$\varphi_a = \frac{W_a}{e}.$$

გამოსვლის მუშაობა (პოტენციალი) დამოკიდებულია ლითონის ქიმიურ ბუნებაზე. მაგალითად, ბარიუმისათვის $\varphi_a = 2,1$ ვ, ვოლფრამისათვის $\varphi_a = 4,4$ ვ.

იმის მიხედვით, თუ რა ხერხით ენიჭება ელექტრონებს დამატებითი ენერგია, რომელიც საჭიროა ლითონიდან გამოსასვლელად, განიხილავენ ემისიის შემდეგ სახეებს: თერმოელექტრონულს, ელექტროსტატიკურს, ანუ ავტოელექტრონულს, მეორეული და მძიმე ნაწილაკების დარტყმით.

თ ე რ მ ო ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ უ ლ ი ე მ ი ს ი ა ეწოდება ელექტრონების კათოდიდან გამოსვლის მოვლენას, რომელიც გამოწვეულია მხოლოდ კათოდის გახურებით. ლითონის გახურებისას ელექტრონების მოძრაობის სიჩქარე და მათი კინეტიკური ენერგია იზრდება და ლითონიდან გამოსული ელექტრონების რიცხვიც იზრდება. ერთეულ დროში კათოდიდან გამოვარდნილი ელექტრონები, თუ ისინი კათოდს შორდებიან გარე ველის ზემოქმედებით, წარმოქმნიან $I_{ემ}$ ემისიის ელექტროდენს. კათოდის ტემპერატურის გაზრდისას ემისიის დენიც იზრდება.

თუ კათოდიდან გამოვარდნილი ელექტრონები (ემიტირებული ელექტრონები) არ შორდება მას გარე ამჩქარებელი ველის მიერ, მაშინ ისინი გროვდებიან კათოდის გარშემო და ქმნიან მ ო ც უ ლ ო ბ ი თ უ ა რ ყ ო ფ ი თ მ უ ხ ტ ს (ელექტრონული ნისლი), რომელიც კათოდის ახლოს ქმნის მამუხრუჭებელ ელექტრულ ველს და წინააღმდეგობას უწევს კათოდიდან ელექტრონების შემდგომ გამოვარდნას.

ავტოელექტრონული (ელექტროსტატიკური) ემისია ეწოდება კათოდის ზედაპირიდან ელექტრონების გამოსვლის მოვლენას, რომელიც განპირობებულია განსაკუთრებით ძლიერი ელექტრული ველის არსებობით კათოდის ზედაპირთან.

ელექტრულ ველში მყოფ ელექტრონზე მოქმედი ძალა პროპორციულია ელექტრონის მუხტისა და ველის დაძაბულობისა $F=e\varepsilon$. აჩქარებული ველის საკმაოდ დიდი დაძაბულობის დროს კათოდის ზედაპირთან მყოფ ელექტრონებზე მოქმედი ძალები გახდება საკმაოდ დიდი პოტენციური ბარიერის გადასალახავად და ცივი კათოდიდან ელექტრონების ამოსაგლეჯად.

ფოტოელექტრონული ემისია ეწოდება ელექტრონების გამოსვლის მოვლენას, განპირობებულს განსაკუთრებით გამოსხივების ზემოქმედებით, რომელსაც კათოდი შთანთქავს და არაა დაკავშირებული მის გახურებასთან; ამ დროს კათოდის ელექტრონები გამოსასვლელად საჭირო დამატებით ენერგიას სინათლის ნაწილაკებისაგან — ფოტონებისაგან ღებულობს.

სხივური ენერგია გამოსხივდება და შთაინთქმება განსაზღვრული პორციობით — კვანტობით. თუ პლანკის h მუდმივასა და გამოსხივების υ სიხშირის ნამრავლით განსაზღვრული კვანტის ენერგია, ე. ი. $W_{კვ}=h\upsilon$, მოცემული კათოდის მასალისათვის მეტია W_a გამოსვლის მუშაობაზე, მაშინ ელექტრონს შეუძლია დატოვოს კათოდი, ე. ი. ადგილი ექნება ფოტოელექტრონულ ემისიას.

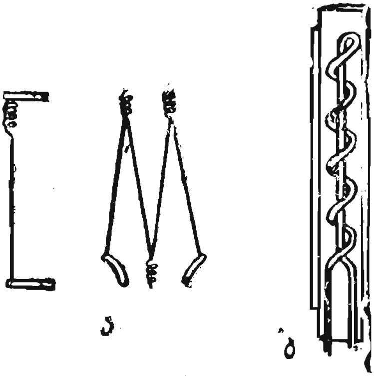
მეორეული ელექტრონული ემისია ეწოდება მეორეული ელექტრონების გამოსვლის მოვლენას, რომელიც განპირობებულია განსაკუთრებით პირველადი ელექტრონების დარტყმებით სხეულის (გამტარის, ნახევარგამტარის) ზედაპირზე. პირველად წოდებული ამოვარდნილი ელექტრონები, შეხვდება რა გზაზე გამტარს, ეცემა მასზე, შეაღწევს მის ზედაპირულ ფენაში და გადასცემს გამტარის ელექტრონებს თავისი ენერგიის ნაწილს. თუ შეჯახების შედეგად ელექტრონებს აღმოაჩნდება მეტი ენერგია, ვიდრე გამოსვლის მუშაობა, მაშინ ამ ელექტრონებს შეუძლიათ გამოვიდნენ გამტარის ზღვრებიდან.

პირველად ელექტრონს, რომელსაც მნიშვნელოვანი ენერგია გააჩნია, შეუძლია გადასცეს ის ან ერთს, ან რამდენიმე ელექტრონს, მაშასადამე, მეორეული ელექტრონების რიცხვი შეიძლება მეტი იყოს პირველადზე.

ელექტრონული ემისია მძიმე ნაწილაკების დარტყმით ეწოდება ელექტრონების გამოსვლის მოვლენას, რომელიც განპირობებულია მხოლოდ იონების ან აგზნებული ატომების (მოლეკულების) დარტყმით სხეულის ელექტროდის ზედაპირზე. ემისიის ეს სახე ანალოგიურია ზემოგანხილული მეორეული ელექტრონული ემისიისა.

ელექტრონვაკუუმური ხელსაწყოს კათოდი ეწოდება ელექტროდს, რომლის ძირითადი დანიშნულებაა ელექტრონების გამოსხივება.

მეტად ფართოდ გამოიყენება თერმოელექტრონული კათოდები, რომლებშიაც გამოყენებულია თერმოელექტრონული ემისიის მოვლენა. ამ კათოდებს შემდგომში ვუწოდებთ უბრალოდ კათოდებს. გამოიყენება კათოდები პირდაპირი ვარვარებით, ძნელდნობადი ლითონის მავთულის სახით, რომელიც ხურდება ვარვარების დენით (ნახ. 13-7,ა) და კათოდები არაპირდაპირი ვარვარებით (შესათბობი). ამ უკანასკნელებში სითბო მიიღება კათოდისაგან იზოლირებული შემთბობისაგან, რომელშიაც გადის ვარვარების დენი. გამხურებელი (ნახ. 13-7, ბ) განლაგებულია ნიკელის მილაკის შიგნით, რომლის ზედაპირი დაფარულია მაემიტირებელი ფენით.



ნახ. 13-7. კათოდების მოწყობილობა.
ა — პირდაპირი ვარვარით; ბ — არაპირდაპირი ვარვარით.

კათოდის ძირითადი თვისებები ხასიათდება მისი პარამეტრებით, რომლებიც მოყვანილია ქვემოთ.

1. კათოდის ემისიის უნარი განისაზღვრება კუთრი ემისიით ან ემისიის დენის სიმკვრივით $j_{ემ}=\frac{I_{ემ}}{S}$ კათოდის ნომინალური ტემპერატურის დროს, სადაც S — კათოდის ზედაპირია. მისი მნიშვნელობაა ასეული მილიამპერი ერთ კვადრატულ სანტიმეტრზე.

2. ვარვარების კუთრი სიმძლავრე - ეს არის კათოდის ვარვარების სიმძლავრე, რომელიც მოდის მისი ზედაპირის 1 სმ²-ზე, ე. ი.

$$P'_{ვარ}=\frac{P_{ვარ}}{S}=\frac{U_{ვარ}\cdot I_{ვარ}}{S}. \tag{13-8}$$

კათოდის გახურებაზე დახარჯული $P_{ვარ}$ სიმძლავრიდან მხოლოდ 2—3% გარდაიქმნება ელექტრონების კინეტიკურ ენერგიად, რომლებიც შორდებიან კათოდს, ხოლო დანარჩენი ნაწილი განიბნევა გარემომცველ გარემოში გამოსხივებისა და თბოგამტარობის სახით.

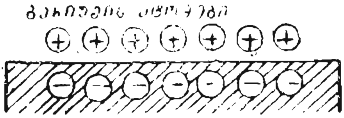
3. ე ფ ე ქ ტ უ რ ო ბ ა, ანუ კ ა თ ო დ ი ს ე კ ო ნ ო მ ი უ რ ო ბ ა განისაზღვრება ემისიის დენის შეფარდებით კათოდის გახურების სიმძლავრესთან, ე. ი.

$$H = \frac{I_{ემ}}{P_{გახ}} = \frac{I_{ემ}}{U_{გახ} \cdot I_{გახ}}. \qquad (13\text{-}9)$$

რაც მეტია კათოდის ვარვარების სიმძლავრის თითოეულ ერთეულზე მოსული ემისიის დენი, მით მეტია კათოდის ეფექტურობა. თანამედროვე კათოდების ეფექტურობა იცვლება ერთიდან ასეულამდე მილიამპერი ვატზე.

4. სხვადასხვა კათოდის ს ა მ უ შ ა ო ტ ე მ პ ე რ ა ტ უ რ ა სხვადასხვაა: 600—2400°C.

კათოდის ტემპერატურის მომატება იწვევს ემისიის გაზრდას, ეფექტურობის ამაღლებასა და კათოდის სამსახურის დროის შემცირებას.



ნახ. 13-8. ორმაგი ელექტრული შრე, რომელიც წარმოქმნილია ბარიუმის პოლარიზებული ატომებისაგან.

5. კ ა თ ო დ ი ს ხ ა ნ გ ა მ ძ ლ ე ო ბ ა ან მისი სამსახურის დრო ეწოდება დროს, რომლის განმავლობაში ემისიის დენი მცირდება მისი ნომინალური მნიშვნელობის 20%-ით. კათოდების ხანგამძლეობა ჩვეულებრივად რამდენიმე საათს შეადგენს.

ელექტრონულ მილაკებში გამოიყენება კათოდები: ა) ს უ ფ თ ა ლ ი თ ო ნ ი ს ა გ ა ნ, მაგალითად ვოლფრამისაგან; ბ) გ ა ა ქ ტ ი უ რ ე ბ უ ლ ი ლ ი თ ო ნ ი ს ა გ ა ნ, რომელიც დაფარულია სხვა ლითონის ფენით, მაგალითად, ბარიუმის. ეს უკანასკნელი მისი ატომების პოლარიზაციის შედეგად ზედაპირთან ქმნის ამაჩქარებელ ველს გამოვარდნილი ელექტრონებისათვის (ნახ. 13-8); გ) ნახევარგამტარიანი ო ქ ს ი დ უ რ ი აქტიური ნახევარგამტარიანი ფენით, რომელიც შედგება ბარიუმის ჟანგის, სტრონციუმისა და კალციუმის ნარევისაგან ბარიუმის ჩაწინწკლული ატომებით.

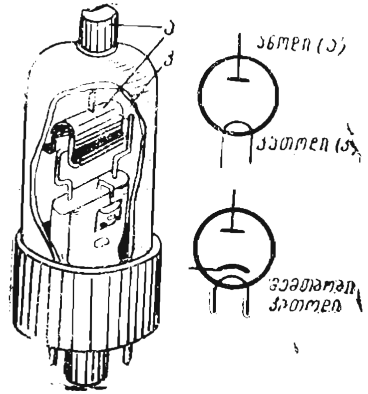
გააქტიურებულ და ოქსიდურ კათოდებს აქვთ გამოსვლის მცირე პოტენციალი და დიდი ეფექტურობა მცირე სამუშაო ტემპერატურის დროს.

13-6. ორელექტროდიანი ელექტრონული მილაკები — დიოდები

დიოდების მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი

დიოდი — ეს არის უმარტივესი ელექტრონული მილაკი, რომელსაც აქვს ორი ელექტროდი — ანოდი და კათოდი. დიოდს აქვს ლითონის, კერამიკის ან მინის ბალონი, რომელშიაც შექმნილია მაღალი ვაკუუმი (10^{-5} პა $\approx 10^{-7}$ მმ ვერცხ. წყ. სვ). ბალონში ჩამაგრებულია ორი ელექ-

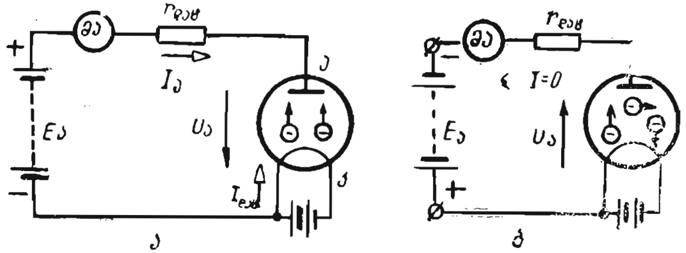
როდი (ნახ. 13-9). ნიკელის A ანოდს აქვს ცილინდრული ან ბრტყელი ფორმა (ღრუ პარალელეპიპედი). ანოდის შიგნით მოთავსებულია პირდაპირი ან არაპირდაპირი ვარვარების K კათოდი. ელექტროდების გამომყვანები ხშირად უერთდება მანჭვლებს, რომლებიც ჩაწნეხილია მილაკის პლასტმასის ცოკოლში ან უშუალოდ გამოყვანილია კოლბის მინაში. ანოდი შეერთებულია ერთ მანჭვალთან. პირდაპირი ვარვარების კათოდი კი — ორი მანჭვლით, ხოლო არაპირდაპირი ვარვარების კათოდი — სამი მანჭვლით. მაღალი ძაბვის დიოდებში ანოდის გამომყვანი ხშირად მილაკის ზედა ნაწილში თავსდება (ნახ. 13-9).



ნახ. 13-9. დიოდის მოწყობილობა და მისი აღნიშვნა სქემებზე.

პირდაპირი და არაპირდაპირი ვარვარების კათოდებიანი დიოდების პირობითი აღნიშვნები ნაჩვენებია 13-9 ნახაზზე.

კათოდები (ნახ. 13-10) იკვებება ვარვარების ბატარეიდან, რომლის ძაბვა რამდენიმე ვოლტია, ან ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილიდან. გახურებული კათოდი გამოასხივებს ელექტრონებს. იმისათვის, რომ ეს ელექტრონები მოხვდნენ ანოდზე, საჭიროა ანოდსა და კათოდს შორის არსებობდეს ამჩქარებელი ელექტრული ველი. ამისათვის მილაკის ანოდს აერთებენ



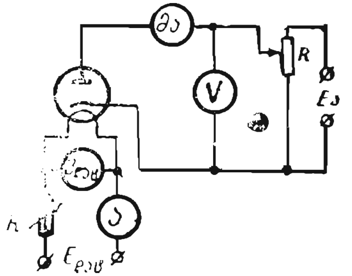
ნახ. 13-10. დიოდის ჩართვის სქემა.
ა — ანოდური ძაბვა პირდაპირია; ბ — ანოდური ძაბვა საწინააღმდეგოა.

ანოდის ბატარეის დადებით მომჭერთან, ხოლო კათოდს — უარყოფითთან (ნახ. 13-10). მილაკის ანოდსა და კათოდს შორის პოტენციალთა სხვაობას ეწოდება ანოდური ძაბვა $U_{ან}$. კათოდიდან გამოსული და ანოდამდე მიღწეული ელექტრონები წრედში ქმნიან ე. წ. $I_{ან}$ ანოდურ დენს. ამ დენის მიმართულება ელექტრონების მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოა.

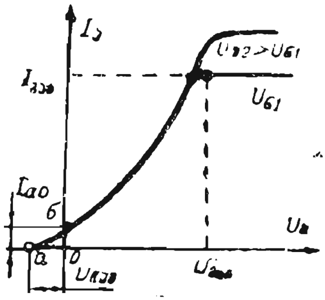
თუ მილაკის ანოდს შევაერთებთ ანოდის ბატარეის უარყოფით მომჭერთან, ხოლო მის დადებით მომჭერს მილაკის კათოდთან, ე. ი. მილაკზე მოვდებთ უკუანოდურ ძაბვას, მაშინ ანოდსა და კათოდს შორის არსებული ელექტრული ველი კათოდიდან გამოსული ელექტრონებისათვის იქნება მამუხრუჭებელი და მისი ზემოქმედებით კათოდიდან გამოსული ელექტრონები დაბრუნდებიან უკან მასზევე და ანოდურ წრედში დენი არ გაივლის.

ამგვარად, დიოდს ახასიათებს მხოლოდ *ერთმხრივი გამტარებლობა*, ე. ი. დენი მასში გადის მხოლოდ ერთი მიმართულებით ანოდიდან კათოდისაკენ — ესაა დიოდის ძირითადი თვისება. მოწყობილობას, რომელსაც ახასიათებს ერთმხრივი გამტარებლობა, *ელექტრული ვენტილი* ეწოდება.

ანოდური დენის დამოკიდებულებას ანოდურ ძაბვასთან უცვლელი ვარვარების ძაბვის დროს, ე. ი. $I_{ან}=f(U_{ან})$, როცა $U_{ვარ}=$ const, ეწოდება დიოდის ანოდური, ანუ ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. ამ მახასიათებლის მოხსნის სქემა 13-11 ნახაზზეა ნაჩვენები. 13-12 ნახაზზე გამოსახულია ორი ანოდური მახასიათებელი სხვადასხვა ვარვარების ძაბვის დროს.



ნახ. 13-11. შეერთების სქემა დიოდის მახასიათებლის მოსახსნელად.



ნახ. 13-12. დიოდის ანოდური მახასიათებლები.

როცა ანოდური ძაბვა ტოლია ნულისა ($U_{ან}=0$), დიოდში გაივლის უმნიშვნელო $I_{ა0}$ დენი, და მას *დიოდის საწყის დენს* უწოდებენ. იგი განპირობებულია კათოდიდან გამოსული იმ ელექტრონებით, რომელთა კინეტიკური ენერგია საკმარისია ანოდამდე მისაღწევად. იმისათვის, რომ ეს დენი შევამციროთ ნულამდე, საჭიროა ელექტროდებს შორის შევქმნათ რაღაც მამუხრუჭებელი ველი, მილაკზე 1 ვ-ის სიდიდის უკუანოდური ძაბვის მოდებით, რომელსაც *ჩამკეტი ძაბვა* $U_{ჩამ}$ ეწოდება.

დადებითი ანოდური ძაბვის გადიდებით ანოდური დენი დასაწყისში ნელა იზრდება, ხოლო შემდეგ დენის ზრდა ჩქარდება. ეს იმით აიხსნება, რომ ანოდური ძაბვის გაზრდით მცირდება ელექტრონების მოძრაობის მამუხრუჭებელი უარყოფითი მოცულობითი მუხტი და იზრდება ამჩქარებელი ანოდური ველის დაძაბულობა.

მუშაობის ასეთ რეჟიმს ეწოდება სივრცული მუხტის რეჟიმი. როცა ანოდური ძაბვა მიაღწევს იმ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც კათოდიდან გამოსული ყველა ელექტრონი მიაღწევს ანოდამდე, იწყება გ ა ჯ ე რ ე ბ ი ს რ ე ჟ ი მ ი ($I_{ან}=I_{ე}$), ამ დროს დენს გაჯერების დენი ეწოდება და ძაბვის შემდგომი ზრდა სხვადასხვაგვარად მოქმედებს ანოდურ დენზე; ვოლფრამის კათოდის შემთხვევაში ის პრაქტიკულად არ იზრდება, ბარიუმის კათოდის შემთხვევაში იზრდება უმნიშვნელოდ, ხოლო ოქსიდური კათოდის დროს — უფრო მნიშვნელოვნად.

მიახლოებითი გაანგარიშებისათვის ზოგჯერ რეალურ მახასიათებელს ცვლიან მიახლოებულით (ნახ. 13-13) წრფის მონაკვეთების სახით (უბან-უბან წრფივი აპროქსიმაცია).

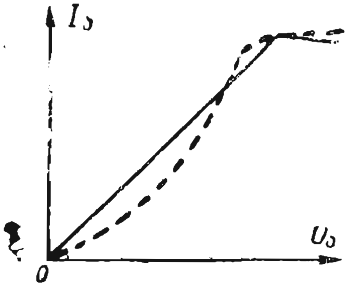
მილაკის პარამეტრები ეწოდება სიდიდეებს, რომლებიც მილაკის ძირითად თვისებებს ახასიათებს.

დიოდის პარამეტრებს წარმოადგენს: მახასიათებლის დახრილობა, შიგა წინაღობა, ანოდზე გამოყოფილი დასაშვები სიმძლავრე და დასაშვები უკუძაბვა.

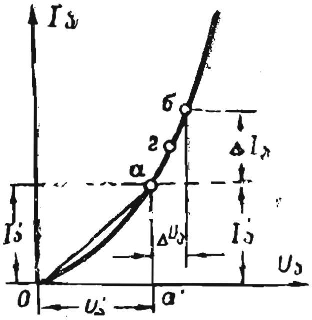
ანოდური $\Delta I_{ან}$ დენის ნამატის შეფარდებას შესაბამისი ანოდური $\Delta U_{ან}$ ძაბვის ნამატთან (ნახ. 13-14) ეწოდება მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ლ ი ს დ ა ხ რ ი ლ ო ბ ა და გამოისახება ფორმულით

$$S=\Delta I_{ან}/\Delta U_{ან} \qquad (13\text{-}10)$$

სხვადასხვა ტიპის დიოდების დახრილობა იცვლება ზღვრებში: 1—50 მა/ვ.



ნახ. 13-13. დიოდის ანოდური მახასიათებელი და მისი უბან-უბან წრფივი აპროქსიმაცია.



ნახ. 13-14. დიოდის წინაღობისა და ქანობის განსაზღვრა.

მახასიათებლის დახრილობის შებრუნებულ სიდიდეს $1/S$, რომელიც განისაზღვრება ანოდური ძაბვის ნამატის შეფარდებით ანოდური დენის ნამატთან, ეწოდება დიოდის შ ი გ ა, ანუ დ ი ფ ე რ ე ნ ც ი ა ლ უ რ ი წ ი ნ ა ღ ო ბ ა ცვლადი დენის დროს, ე. ი.

$$R_i=1/S=\Delta U_ა/\Delta I_ა. \qquad (13\text{-}11)$$

სხვადასხვა ტიპის დიოდებისათვის დიფერენციალური წინაღობა ჩვეულებრივად შეადგენს ასეულ ომს.

ეს წინაღობა გვიჩვენებს, რომ დიოდის ცვლადი დენის წრედში მუშაობისას ანოდური ძაბვის ყოველგვარი ცვლილება იწვევს ანოდური დენის შესაბამის ცვლილებას.

დიოდის დიფერენციალური წინაღობის გარდა, ზოგჯერ სარგებლობენ კიდევ დიოდის სტატიკური წინაღობის ცნებით, ანუ მისი წინაღობით მუდმივი დენის დროს, რომელიც განისაზღვრება მუდმივი ანოდური ძაბვის $U'_{\text{ა}}$ შეფარდებით შესაბამის ანოდურ $I'_{\text{ა}}$ დენთან (ნახ. 13-14):

$$R_0 = U'_{\text{ა}} / I'_{\text{ა}}. \qquad (13\text{-}12)$$

დიოდის სტატიკური წინაღობა R_0 უმეტეს შემთხვევაში მეტია მის დიფერენციალურ წინაღობაზე R_i იმის გამო, რომ დიოდის ანოდური მახასიათებელი არასწორხაზოვანია, მახასიათებლის დახრილობა, ისევე, როგორც დიოდის დიფერენციალური წინაღობა, მახასიათებლის სხვადასხვა უბანზე არაერთნაირია.

მოცემული მახასიათებლის მიხედვით დახრილობის განსასაზღვრავად შეარჩევენ მის *აბ* უბანს (ნახ. 13-14), ამ უბნისათვის გამოთვლიან $\Delta I_{\text{ა}}$ (*ბვ* მონაკვეთი) და $\Delta U_{\text{ა}}$ (*აბ* მონაკვეთი) ნამატებს და განსაზღვრავენ რა მათ შეფარდებას, მიიღებენ დახრილობას *აბ* უბნისათვის, ანუ ამ უბნის შუა წერტილისათვის. ზოგჯერ იყენებენ ცნებას მაქსიმალური დახრილობა, რომელიც მახასიათებლის სწორხაზოვან ნაწილს შეესაბამება.

ეცემიან რა ელექტრონები ანოდზე, მას გადასცემენ თავის კინეტიკურ ენერგიას $mv^2/2$, რომელიც სითბოს სახით გამოიყოფა.

თუ ანოდის მიერ მიღებული სიმძლავრე $P_{\text{ა}}$ მეტია მის მიერ გარემოში გაცემულ (გაბნეულ) სიმძლავრეზე, მაშინ ანოდის ტემპერატურა იზრდება, რასაც შეუძლია გამოიწვიოს ანოდის გადახურება და დეფორმაცია და ანოდის ახლოს მყოფი კათოდის დაშლა.

ელექტრონი კათოდიდან ანოდამდე გზაში იძენს ენერგიას $mv^2/2 = eU_{\text{ა}}$. თუ ანოდზე წამში n რაოდენობის ელექტრონები ეცემა, მაშინ ანოდის მიერ მიღებული ენერგია ამ დროში, ანუ ანოდის სიმძლავრე, ტოლი იქნება

$$P_{\text{ა}} = \frac{nmv^2}{2} = neU_{\text{ა}} = I_{\text{ა}} U_{\text{ა}}. \qquad (13\text{-}13)$$

ანოდის გახურების დასაშვები ტემპერატურა განსაზღვრავს ელექტრონული ნაკადის მიერ ანოდზე გადაცემულ დასაშვებ სიმძლავრეს.

მილაკის მუშაობის დროს ანოდზე გამოყოფილი $P_{\text{ა}}$ სიმძლავრე დასაშვებზე ნაკლები უნდა იყოს, ე. ი.

$$P_{\text{ა}} = U_{\text{ა}} I_{\text{ა}} < P_{\text{ა დას}} = U_{\text{ა}} I_{\text{ა დას}}$$

ული დასაშვები ანოდური დენი

$$I_{a\,დას} = P_{დას\,a}/U_a. \qquad (13\text{-}14)$$

ელექტრონული მილაკების ანოდი მზადდება ნიკელის, მოლიბდენის, ტანტალის ან გრაფიტისაგან.

ანოდის მიერ გაბნეული სიმძლავრის გასაზრდელად იყენებენ ანოდებს დამატებითი წიბოებით ან რადიატორებით. გამოიყენება აგრეთვე ანოდის გაშავება და მისი დაფარვა ცირკონიუმით, რათა ამაღლდეს მისი გამოსხივება და შთანთქას ნარჩენი აირები.

თითოეული მილაკისათვის ნაჩვენები უნდა იყოს ანოდზე გამოყოფილი $P_{დას}$ სიმძლავრის ზღვრული მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ანოდის ტემპერატურა არ აღემატება დასაშვებს.

თუ მოვდებთ დასაშვებზე მეტ უარყოფით (უკუ) ანოდურ ძაბვას, მაშინ შეიძლება მოხდეს დამოუკიდებელი ელექტრული განმუხტვა და მოხდება გარღვევა, ამიტომ თითოეული მილაკისათვის ნაჩვენები უნდა იყოს უდიდესი დასაშვები $U_{უკუ\,დას}$ უკუძაბვა. მილაკების პარამეტრებს მიეკუთვნება აგრეთვე ნომინალური ძაბვა $U_{ნომ}$ და მილაკის ვარვარების ნომინალური დენი.

ბ) დიოდების ტიპები და პირობითი აღნიშვნების სისტემა

დანიშნულების მიხედვით ორელექტროდიანი მილაკები იყოფა კენოტრონებად და მაღალსიხშირიან დიოდებად.

კენოტრონი ეწოდება ორელექტროდიან მილაკს, რომელიც გამოიყენება სამრეწველო თუ მაღალი სიხშირის ცვლადი დენის გასამართავად, ანუ ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდასაქმნელად.

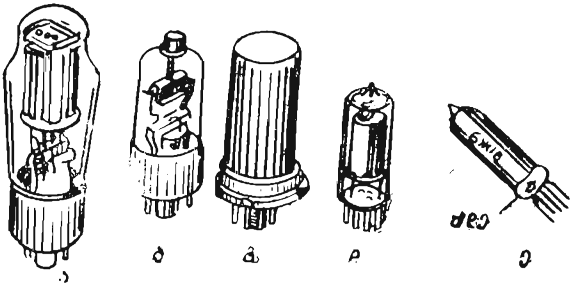
მაღალსიხშირიანი დიოდი ეწოდება ორელექტროდიან მილაკს, რომელიც გამოიყენება მაღალსიხშირიანი რხევების გარდასაქმნელად (სიხშირის გარდაქმნა, მოდულირება და დეტექტირება).

კონსტრუქციის მიხედვით დიოდები არის ერთანოდიანი და ორანოდიანი. ორანოდიანი დიოდი, როგორც სახელწოდებიდან ჩანს, წარმოადგენს ერთ ბალონში ორი ერთნაირი დიოდის შეერთებას. ასეთ დიოდს შეიძლება ჰქონდეს ერთი საერთო ან ორი იზოლირებული კათოდი.

ბალონის ზომები დამოკიდებულია მის სიმძლავრეზე, რადგან, რაც მეტია მილაკის სიმძლავრე, მით მეტ სითბოს გამოასხივებენ ელექტროდები. ბალონის ტემპერატურის შესაზღუდად ადიდებენ მის ზედაპირს.

გაბარიტული ზომების მიხედვით ჩვეულებრივი მინისა და ლითონის ცოკოლიანი მილაკების გარდა, ფართოდ გამოიყენება მინიატიურულ-თითისებრი და ზემინიატიურული (ნახ. 13-15) მილაკები, რომლებსაც არა აქვთ ცოკოლი. ასეთ მილაკებში ელექტროდების გამომყვანები კეთდება ლითონის სადენებისაგან, რომლებიც მირჩილულია სქემის შესაბამის წერ-

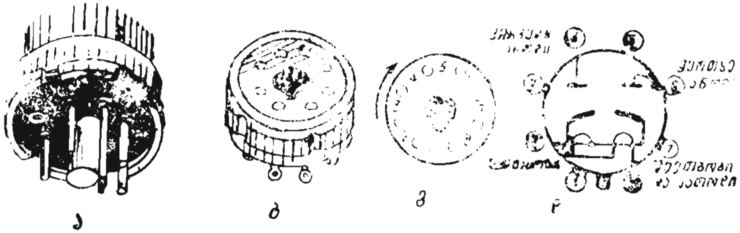
ტილებთან ან ელექტროდების გამომყვანები კეთდება უფრო მსხვილი სადენებისაგან, რომლებიც ამავე დროს გამოიყენებიან, როგორც მანჭვლები მილაკის პანელის ბუდესთან შესაერთებლად.



ნახ. 13-15. ელექტრონული მილაკების გაფორმება:

ა—ორანოდიანი დაბალი ძაბვის კენოტრონი მინის ბალონში; ბ—მაღალი ძაბვის კენოტრონი ანოდის ზედა გამომყვანით მინის ბალონში; გ—მილაკი ლითონის ბალონში; დ—თითისებრი მილაკი; ე—ზემინიატურული მილაკი.

უმეტეს ნორმალურ მინისა და ლითონის მილაკებს აქვს რვამანჭვლიანი (ოქტალური) ცოკოლი. ცოკოლის პერიფერიაში სიმეტრიულად ჩამაგრებულია რვა ლითონის მანჭვალი, რომლებიც შეერთებულია მილაკის ელექტროდებთან, ხოლო ცენტრში მოთავსებულია პლასტმასის წაგრძელებული მანჭვალი — გასაღები შვერილით (ნახ. 13-16, ა), რომელიც უზრუნველყოფს მილაკის სწორად დაყენებას.



ნახ. 13-16. ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებლები და ბადური დენების გრაფიკები.

მანჭვლების დანომვრა ხდება გასაღების შვერილიდან საათის ისრის მიმართულებით (ნახ. 13-16, გ). ზოგიერთ მილაკში მანჭვლების ნაწილი არ არის, უცოკოლო მილაკებში, რომლებშიაც გამომყვანები სპილენძის მავთულისაგან კეთდება, ათვლა ხდება ფეხის ერთ ბოლოზე დასმული ფერადი ნიშნიდან, რომლებშიაც გადიან მავთულები.

მანჭვლებიანი მილაკის ელექტროდების შეერთების სქემას ეწოდება ცოკოლური (მოყვანილია ცნობარში).

ელექტრონვაკუუმური ხელსაწყოების პირობითი აღნიშვნის სისტემა დადგენილია ГОСТ 13393-67-ის მიხედვით. ამ სტანდარტის თანახმად, ელექტრონული მილაკის აღნიშვნა ოთხი ელემენტისაგან შედგება:

აღნიშვნის პირველი ელემენტი — რიცხვი გვიჩვენებს ძაბვას ვოლტობით; მეორე ასო მილაკის ტიპია: Д — დიოდი, Х — ორმაგი დიოდი, Ц — კენოტრონი; მესამე — რიცხვი, რომელიც ნიშნავს მოცემული ტიპის ხელსაწყოს რიგით ნომერს; აღნიშვნის მეოთხე ელემენტი — ასო, რომელიც კონსტრუქციულ გაფორმებას გვიჩვენებს: С—მინის გარსში, რომლის დიამეტრი 22,5 მმ-ზე მეტია; К — კერამიკის გარსში; П — მინის მინიატურული თითისებრი 19 და 22,5 მმ დიამეტრით; Г — მინის ზემინიატურული დიამეტრით 10,2 მმ-ზე ზევით; Б — მინის ზემინიატურული დიამეტრით 8 მმ-მდე; Р — მინის ზემინიატურული დიამეტრით არა უმეტესი 5 მმ-ისა; Н — ლითონკერამიკული.

თუ აღნიშვნაში მეოთხე ელემენტი არ არის, მაშინ მილაკს ლითონის გარსი აქვს.

რამდენიმე ელექტრონული მილაკის პირობითი აღნიშვნები შემდეგია: 5Ц4С—კენოტრონი (Ц), ვარვარების ძაბვა 5 ვ (5), ნორმალური ზომის მინის კოლბაში (С), ტიპი № 4 (4).

6Д6А — მაღალი სიხშირის დიოდი (*Д*), ვარვარების ძაბვა 6,3 ვ (6), ზემინიატურული, მინის კოლბაში დიამეტრით 8 მმ-მდე (*А*), ტიპი № 6 (6). *6Х6С* — ორმაგი დიოდი (*Х*), ვარვარების ძაბვა 6,3 ვ (6), ნორმალური ზომის მინის კოლბაში (*С*), ტიპი № 6 (6).

მეთოთხმეტე თავი

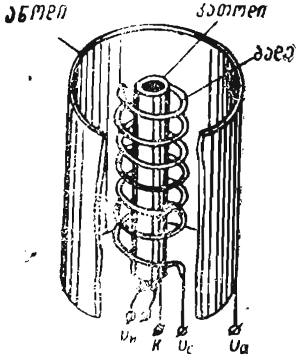
სამელექტროდიანი და მრავალელექტროდიანი მილაკები

14-1. ტრიოდის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი

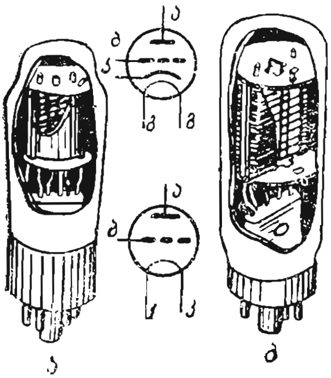
ს ა მ ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ი ა ნ ი ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ უ ლ ი მ ი ლ ა კ ი — ტრიოდი დიოდისაგან განსხვავდება იმით, რომ მას აქვს მესამე ელექტროდი — მ მ ა რ თ ვ ე ლ ი ბ ა დ ე. ბადის დანიშნულებაა — მართოს მილაკის ელექტრონული ნაკადი, რაც იგივეა მართოს მისი დენი. უმეტეს მილაკებში ეს ელექტროდი კეთდება მავთულის სპირალის სახით ვოლფრამის, ნიკელის, მოლიბდენის ან მათი შენადნობებისაგან. ბადეს ათავსებენ კათოდსა და ანოდს შორის კათოდთან ახლოს. კათოდები, ისე როგორც

დიოდები, გამოიყენება პირდაპირი ვარვარებით ან შეთბობით. ტრიოდები და მათი პირობითი აღნიშვნები ნაჩვენებია 14-2 ნახაზზე.

ტრიოდის სამუშაოდ ჩართვისას იქმნება სამი წრედი (ნახ. 14-3): **ვარვარების, ანოდისა და ბადის.** თუმცა ორი უკანასკნელი წრედის საერთო წერტილი O შეერთებულია მილაკის კათოდთან. საერთო O წერტილს ჩვეულებრივად ამიწებენ (აერთებენ კორპუსთან). ამ წერტილს აქვს ნულოვანი პოტენციალი და მის მიმართ საზღვრავენ სქემების დანარჩენი წერტილების პოტენციალებს.



ნახ. 14-1. ტრიოდის მოწყობილობის სქემა.



ნახ. 14-2. პირდაპირი (ბ) და არაპირდაპირი (ა) ვარვარების კათოდიანი ტრიოდის მოწყობილობა და მათი პირობითი აღნიშვნები.

ბადესა და კათოდს შორის პოტენციალთა სხვაობას **ბადური ძაბვა** ეწოდება.

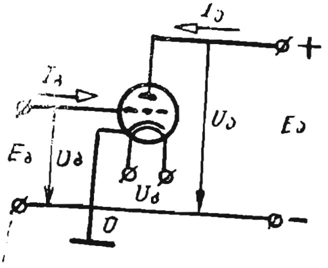
თუ დიოდში გახურებული კათოდიდან გამოსხივებულ ელექტრონებზე მოქმედებს მოცულობითი მუხტი და $U_ა$ ანოდური ძაბვის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი, ტრიოდში ანოდსა და კათოდს შორის ელექტრული ველი იქმნება არა მარტო ანოდური, არამედ $U_ბ$ ბადური ძაბვისაგანაც.

ამ დროს ბადური ძაბვის მოქმედება უფრო ძლიერია, ვინაიდან ბადე კათოდთან უფრო ახლოსაა და, ამის გამო, ის ასუსტებს ანოდური ძაბვის გავლენას, რადგან მოქმედებს როგორც ეკრანი ანოდის ელექტრულ ველში.

თუ ბადეზე მოვდებთ უარყოფით პოტენციალს $U_ბ<0$, მაშინ პოტენციალი შემცირდება ველის წერტილებში ბადის ახლოს. ანოდური ძაბვის მიერ შექმნილ ამჩქარებელ ველს კათოდსა და ბადეს შორის დაეფარება ბადის შემაფერხებელი ველი, ასე რომ მარიგებელი ველი უცვლელი ანოდური ძაბვის დროს დამოკიდებული იქნება ბადეზე არსებულ $U_ბ$ ძაბ-

ვაზე. არადიდი უარყოფითი ბადური ძაბვის დროს მარეზულტირებელი ველი დარჩება კიდევ მეტად ამჩქარებლად და კათოდსა და ანოდს შორის გაივლის — $U_ა$ ანოდური დენი. ბადეზე უარყოფითი ძაბვის ისეთ სიდიდემდე გაზრდისას, რომელსაც *ჩამკეტი ძაბვა* ეწოდება, $U_ბ = U_{ბ\,ჩამ}$, მარეზულტირებელი ველი კათოდსა და ბადეს შორის გახდება მამუხრუჭებელი — მილაკი ჩაიკეტება და ანოდური დენი არ გაივლის.

როცა ბადეზე მოდებულია დადებითი ძაბვა $U_ბ > 0$, ანოდური ძაბვის მიერ შექმნილ ამჩქარებელ ველს დაემატება ბადის ამჩქარებელი ველი და ბადესა და კათოდს შორის ველის დაძაბულობა იზრდება. ბუნებრივია ამ დროს გაიზრდება ანოდური დენიც. როცა $U_ბ > 0$, ემიტირებული ელექტრონების ნაწილი ხვდება ბადეზე და მის წრედში წარმოქმნის ე. წ. $I_ბ$ *ბადურ დენს*.



ნახ. 14-3. ტრიოდის ჩართვის სქემა.

ზემონათქვამიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბადური ძაბვის ცვლილება მეტად ძლიერ მოქმედებს ბადესა და კათოდს შორის ველზე, მოცულობით მუხტსა და ანოდურ დენზე. ამგვარად, *ბადური ძაბვის გავლენა ანოდურ დენზე მნიშვნელოვნად აღემატება ანოდური ძაბვის გავლენას.*

ბადის წრედში სუსტი ელექტრული სიგნალების ან ნებისმიერი ფორმისა და სიხშირის რხევების გამოჩენისას ანოდურ წრედსა და ამ წრედში ჩართულ დატვირთვაში აღიძვრებიან მსგავსი ელექტრული სიგნალები და რხევები, მხოლოდ მეტი სიმძლავრით. ზემოაღნიშნული განაპირობებს ტრიოდის მუშაობის პრინციპს, როგორც მაძლიერებელი.

14-2. ტრიოდის სტატიკური მახასიათებლები

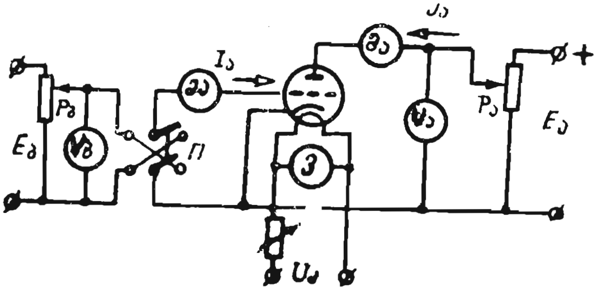
ვინაიდან უცვლელი ვარვარების ძაბვის დროს ანოდური დენი ტრიოდში დამოკიდებულია ანოდურ და ბადურ ძაბვაზე. საინტერესოა ტრიოდის მახასიათებლის ორი სახე:

1) *ანოდური მახასიათებელი*, რომელიც წარმოადგენს დამოკიდებულებას ანოდურ დენსა და ანოდურ ძაბვას შორის უცვლელი ბადური ძაბვის დროს, ე. ი.

$$I_ა = f(U_ა), \quad \text{როცა} \quad U_ბ = \text{const};$$

2) *ანოდურ-ბადური მახასიათებელი* წარმოადგენს დამოკიდებულებას ანოდურ დენსა და ბადურ ძაბვას შორის, როცა ანოდური ძაბვა უცვლელია, ე. ი.

$$I_ა = f(U_ბ), \quad \text{როცა} \quad U_ა = \text{const}.$$



ნახ. 14-4. სქემა ტრიოდის სტატიკური მახასიათებლების მოსახსნელად.

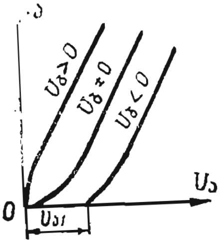
ტრიოდის მახასიათებელს, რომელიც ერთ-ერთი ელექტროდის ფიქსირებული ძაბვის დროს იხსნება, ეწოდება ს ტ ა ტ ი კ უ რ ი.

ტრიოდის სტატიკური მახასიათებლის მოხსნის სქემა მოცემულია 14-4 ნახაზზე.

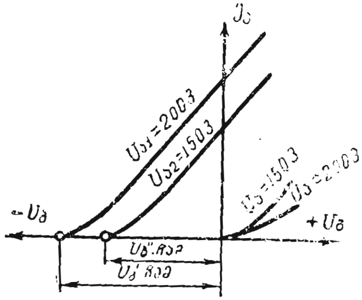
ტრიოდის ანოდურ მახასიათებლებს ხსნიან ვარვარების ნომინალური ძაბვისა და განსაზღვრული საჭირო ბადეური ძაბვის დროს, რომლებსაც ინარჩუნებენ უცვლელად. ანოდური ძაბვის ნულიდან გაზრდისას გარკვეული ინტერვალებით ჩაიწერენ ანოდური დენის მნიშვნელობებს და მათი შესაბამისი ძაბვების მნიშვნელობებს. მიღებული მონაცემებით აგებენ მახასიათებელს, რისთვისაც გადაზომავენ ორდინატთა ღერძზე ანოდურ დენს, ხოლო აბსცისათა ღერძზე ანოდურ ძაბვას. ტრიოდის ანოდური მახასიათებელი, როცა ბადეური ძაბვა ნულის ტოლია, პრაქტიკულად არ განსხვავდება დიოდის ანოდური მახასიათებლისაგან (ნახ. 14-5).

თუ ანოდურ მახასიათებელს მოვხსნით უცვლელი უარყოფითი U_g ბადეური ძაბვის დროს, მაშინ ის ინარჩუნებს ფორმასა და დახრილობას და გადაადგილდება ნულოვანისაგან მარჯვნივ, რომელიც მოხსნილია, როცა U_g 0, ე. ი. გადაადგილდება შედარებით მაღალი ანოდური ძაბვების მხარეს. ეს ხდება იმიტომ, რომ ანოდური ძაბვის ... ელექტრული ველი უარყოფითი ბადეური ძაბვით და იხსნება მხოლოდ მაშინ, როცა ანოდური ძაბვა მიაღწევს განსაზღვრულ ... მნიშვნელობას ... ბადის ... კომპენსირებული ანოდური ველით.

თუ ანოდურ მახასიათებელს მოვხსნით კიდევ მეტად უარყოფითი ბადეური ძაბვის დროს, მაშინ მილაკის გახსნა მოხდება კიდევ უფრო მაღალი ანოდური ძაბვისას. ... ბადეური ძაბვის დროს მახასიათებელი გადაადგილდება მარცხნივ და მით უფრო მეტად, რაც მეტია ბადეური ძაბვა. ანოდური მახასიათებლების ერთობლიობას, რომლებიც მოხსნილია სხვადასხვა ბადეური ძაბვის დროს, ეწოდება ანოდური მახასიათებლების ოჯახი.



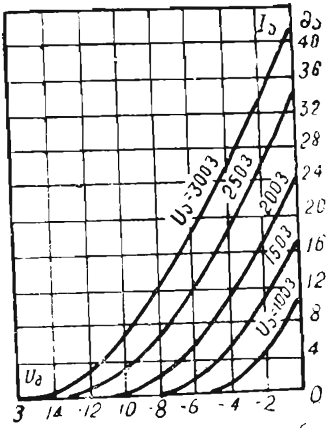
ნახ. 14-5. ტრიოდის ანოდური მახასიათებლები სხვადასხვა ბადის ძაბვის დროს.



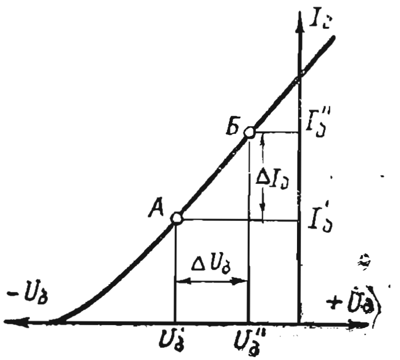
ნახ. 14-6. ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებლები და ბადური დენების გრაფიკები.

ტრიოდის ანოდურ-ბადურ მახასიათებლებს (ნახ. 14-6) ხსნიან ვარვარების ნომინალური ძაბვის დამყარების, განსაზღვრული საჭირო ანოდური ძაბვისა და მაქსიმალური უარყოფითი ბადური ძაბვის დროს. ამის შემდეგ თანდათან ამცირებენ ძაბვას ნულამდე, ბადური ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს იწერენ ანოდური დენის შესაბამის მნიშვნელობებს. შემდეგ (II გადამრთველით, ნახ. 14-4) ცვლიან რა ბადური ძაბვის პოლარობას, ხსნიან მახასიათებლის ნაწილს, რომელიც ბადური ძაბვის დადებით მნიშვნელობებს შეესაბამება. ანალოგიურად ხსნიან მახასიათებლებს ანოდური ძაბვის სხვა მნიშვნელობების დროსაც. ანოდურ-ბადური მახასიათებლის საწყისი წერტილი შეესაბამება ბადური ძაბვის იმ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ანოდური ძაბვის მიერ შექმნილი ამაჩქარებელი ველი კათოდსა და ბადეს შორის მთლიანად აკომპენსირებს მამუხრუჭებელ ველს, რომელსაც უარყოფითი ბადური ძაბვა ქმნის. ამ დროს, ბუნებრივია, რომ მეტია ის ანოდური ძაბვა, რომლის დროსაც იხსნება ანოდურ-ბადური მახასიათებელი, უარყოფითი ბადური ძაბვის მით უფრო დიდი მნიშვნელობებისკენ იძვრება ის. ბადური ძაბვის შემცირება იწვევს ამაჩქარებელი ველის გაძლიერებას ბადესა და კათოდს შორის და შესაბამისად ანოდური დენის გაზრდას.

ბადეზე დადებითი ძაბვის დროს აღიძვრება ბადური დენი, რომელიც [illegible] არაა სასურველი. ის არა მხოლოდ უსარგებლოა, ზოგ შემთხვევებში მავნე გავლენას ახდენს მილაკის მუშაობის რეჟიმზე. ორი ბადური მახასიათებელი $I_{ბ} = f(U_{ბ})$ ნაჩვენებია 14-6 ნახაზზე. ბადური დენი ანოდური ძაბვის გაზრდისას მცირდება, რადგან ანოდური ძაბვის გადიდებისას ამაჩქარებელი ველი ბადესთან ხდება უფრო ძლიერი და იტაცებს ბადის ზედაპირთან მყოფ ელექტრონებს, რითაც ამცირებს შესაძლებელ ბადურ დენს.



ნახ. 14-7. ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებლების ოჯახი.



ნახ. 14-8. ანოდურ-ბადური მახასიათებლის ქანობის განსაზღვრავად.

14-7 ნახაზზე ნაჩვენებია ტრიოდის რიგი ანოდურ-ბადური მახასიათებლებისა, რომლებიც მოხსნილია ანოდური ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, ე. ი. მოცემულია ანოდურ-ბადური მახასიათებლების ოჯახი. თუ მილაკს მეჩხერი ბადე აქვს, მაშინ მისი ჩამკეტი ძაბვა უდიდესია და მისი ანოდურ-ბადური მახასიათებლის უმეტესი ნაწილი მოთავსდება ორდინატთა ღერძის მარცხნივ. ასეთ მახასიათებლებს ეწოდება მარცხენა (ნახ. 14-7), ხოლო, თუ მილაკს აქვს მჭიდრო ბადე, მაშინ მისი ჩამკეტი ძაბვა არაა დიდი და მახასიათებლის უდიდესი ნაწილი მოთავსდება ორდინატთა ღერძის მარჯვნივ, ასეთ მახასიათებლებს მარჯვენა ეწოდება.

14-3. ტრიოდის პარამეტრები

ტრიოდის პარამეტრები ეწოდება მუდმივ სიდიდეებს, რომლებიც კავშირს ამყარებენ ანოდური დენის ცვლილებასა და ანოდსა და ბადეზე ძაბვების ცვლილებათა შორის, ე. ი. სიდიდეებს, რომლებიც ახასიათებენ ელექტრონმილაკის ძირითად თვისებებს.

ტრიოდის ძირითადი პარამეტრებია: მახასიათებლის დახრილობა S: შიგა წინაღობა ცვლადი დენის დროს R_i და გაძლიერების კოეფიციენტი.

ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებლის დახრილობა, ანუ უბრალოდ ტრიოდის დახრილობა, ეწოდება ანოდური დენის ნამატის $\Delta I_ა$ შეფარდებას (ნახ. 14-8) მის გამომწვევ ბადური ძაბვის ნამატთან $\Delta U_ბ$ უცვლელი ანოდური ძაბვის დროს, ე. ი.

$$S=\Delta I_ა/\Delta U_ბ, \text{ როცა } U_ა=\text{const.} \qquad (14\text{-}1$$

ანოდურ-ბადურ მახასიათებელზე (ნახ. 14-3) ნაჩვენებია, რომ ბადური ძაბვის $\Delta U_გ = U''_გ - U'_გ$ სიდიდით შეცვლა გამოიწვევს ანოდური დენის $\Delta I_ა = I''_ა - I'_ა$ სიდიდით შეცვლას.

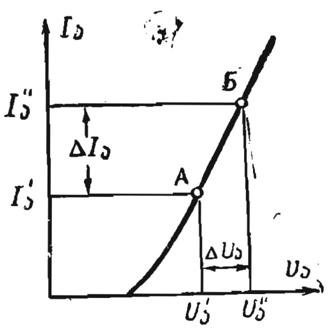
დახრილობა რიცხობრივად ტოლია ანოდური დენის ცვლილებისა, გამოსახული ამპერობით, როცა ბადური ძაბვა 1 ვ-ით იცვლება, ხოლო ანოდური ძაბვა უცვლელია.

დახრილობა არამუდმივია მახასიათებლის სხვადასხვა უბნებზე. აღმავალ უბანზე ის მეტია, ვიდრე საწყისში. სხვადასხვა ტიპის ტრიოდების დახრილობას აღმავალ უბნებზე 1-დან 40 მა/ვ-მდე მნიშვნელობა აქვს.

ამგვარად, ანოდურ-ბადური მახასიათებლის დახრილობა რიცხობრივად განსაზღვრავს ბადის უნარს მართოს ტრიოდის ანოდური დენი.

ტრიოდის შიგა წინაღობა ცვლადი დენის დროს, ანუ ტრიოდის დიფერენციალური წინაღობა, ეწოდება ანოდური ძაბვის ნამატის შეფარდებას (ნახ. 14-9) მისგან გამოწვეულ ანოდური დენის ნამატთან უცვლელი ბადური ძაბვის დროს, ე. ი.

$$R_i = \frac{\Delta U_ა}{\Delta I_ა}, \text{ როცა } U_გ = \text{const.} \quad (14\text{-}2)$$



ნახ. 14-9. ტრიოდის დიფერენციალური წინაღობის განსასაზღვრავად.

ანოდურ მახასიათებელზე (ნახ. 14-9) ნაჩვენებია, რომ ანოდური ძაბვის

$$\Delta U_ა = U''_ა - U'_ა$$

სიდიდით შეცვლა იწვევს ანოდური დენის შეცვლას $\Delta I_ა = I''_ა - I'_ა$ სიდიდით.

ტრიოდის შიგა წინაღობა ახასიათებს ანოდური ძაბვის ცვლილების გავლენას ანოდური დენის ცვლილებაზე (რაც მეტია წინაღობა, მით ნაკლებია ეს გავლენა).

ტრიოდის შიგა წინაღობა სხვადასხვაა მახასიათებლის სხვადასხვა უბნისათვის. აღმავალ უბანზე ის ნაკლებია, ვიდრე საწყისში და აქვს თითქმის მუდმივი მნიშვნელობა. სხვადასხვა ტიპის ტრიოდების შიგა წინაღობა იცვლება 1-დან 100 კ ომამდე.

ტრიოდის გაძლიერების კოეფიციენტი ეწოდება $\Delta U_ა$ ანოდური ძაბვის შეფარდებას ბადური ძაბვის $\Delta U_გ$ ნამატთან, რომლებიც ანოდური დენის ერთნაირ ცვლილებას იწვევენ, ე. ი.

$$\mu = -\left(\frac{\Delta U_ა}{\Delta U_გ}\right), \text{ როცა } I_ა = \text{const.} \quad (14\text{-}3)$$

მინუს ნიშანი იმის მაჩვენებელია, რომ უცვლელი ანოდური დენის შესანარჩუნებლად ანოდური ძაბვის გადიდებას უნდა შეესაბამებოდეს ბადური ძაბვის შემცირება და, პირიქით.

ხშირად გაძლიერების კოეფიციენტს განსაზღვრავენ ძაბვის აბსოლუტური ნამატის მიხედვით, ე. ი.

$$\mu = \frac{|\Delta U_{\text{ა}}|}{|\Delta U_{\text{ბ}}|}.$$

გაძლიერების კოეფიციენტი გვიჩვენებს, თუ ბადური ძაბვის რამდენჯერ შეცვლა უფრო ძლიერ მოქმედებს ანოდურ დენზე, ვიდრე ანოდური ძაბვის იმდენჯერვე შეცვლა.

გაძლიერების კოეფიციენტი განყენებული რიცხვია. სხვადასხვა ტიპის ტრიოდებისათვის მას სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს — ერთეულებიდან რამდენიმე ათეულამდე.

ზოგჯერ გაძლიერების კოეფიციენტის მაგიერ იყენებენ გაძლიერების კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს, რომელსაც შეღწევადობას უწოდებენ. მას აღნიშნავენ D ასოთი და გამოსახავენ ფორმულით

$$D = \frac{1}{\mu} = -\frac{\Delta U_{\text{ბ}}}{\Delta U_{\text{ა}}} \text{ ან } D = \frac{1}{\mu} = \frac{|\Delta U_{\text{ბ}}|}{|\Delta U_{\text{ა}}|}, \text{ როცა } i_{\text{ა}} = I_{\text{ა}} = \text{const}. \quad (14\text{-}4)$$

ტრიოდის შეღწევადობა გვიჩვენებს, თუ ბადის მოქმედების რა ნაწილია ანოდის მოქმედების ტოლფასი, მაგალითად, როცა $\mu = 10$, შეღწევადობა $D = 1/\mu = 1/10 = 0{,}1$, ე. ი. ანოდის მოქმედება ტოლფასია ბადის მოქმედების 0,1-ისა, ანუ ანოდის მოქმედება 10-ჯერ სუსტია ბადის მოქმედებაზე.

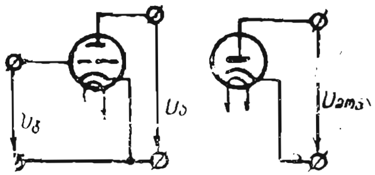
შეღწევადობა ახასიათებს ბადის მაეკრანებელ მოქმედებას და გვიჩვენებს ანოდური ძაბვის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის რა ნაწილი გააღწევს ბადეში მილაკის კათოდამდე. რაც უფრო მჭიდროდაა ბადე, მით ნაკლებია შეღწევადობა და, შესაბამისად, მით მეტია გაძლიერების კოეფიციენტი და, პირიქით, მეჩხერი ბადის დროს შეღწევადობა უდიდესია, ხოლო გაძლიერების კოეფიციენტი მცირე.

შეღწევადობა ასევე გვიჩვენებს, ანოდური ძაბვის რა ნაწილი უნდა დავუმატოთ ბადურ ძაბვას, რომ ტრიოდის შეცვლა შეიძლებოდეს ეკვივალენტური დიოდით.

ტრიოდში ბადესა და კათოდს შორის ელექტრონების ნაკადზე მოქმედებს ჯამური ველი, რომელიც შექმნილია ანოდური და ბადური ძაბვებით.

ზოგიერთ შემთხვევაში მოხერხებულია ტრიოდის ორი ელექტროდი შევცვალოთ ერთი ტოლფასით, რომელიც კათოდთან შექმნის ჯამური ველის ტოლ ველს. ამგვარად, ტრიოდი შეცვლილი იქნება დიოდით, რომ-

ლის ანოდური დენი ტოლია ტრიოდის ანოდური დენისა. ანოდისა და ბადის შემცვლელ ელექტროდს ათავსებენ ბადის ადგილზე (ნახ. 14-10).



ნახ. 14-10. ტრიოდი და ეკვივალენტური დიოდი.

ძაბვას, რომელიც საჭიროა მოვდოთ ეკვივალენტური დიოდის ელექტროდებს შორის, იმისათვის, რომ მივიღოთ იგივე I_a ანოდური დენი, რაც ტრიოდში, ეწოდება მოქმედი ძაბვა $U_{მოქ}$. მოქმედმა ძაბვამ კათოდის არეში უნდა შექმნას იმავე დაძაბულობის ელექტრული ველი, როგორსაც ქმნიდნენ ტრიოდში U_a და U_g ძაბვები. ანოდური ძაბვის შეღწევადობაზე გამრავლებით ($U_a D$) მივიღებთ ტრიოდის ანოდური ძაბვის იმ ნაწილს, რომელიც ეკვივალენტური დიოდის ელექტროდებს შორის მოქმედებით კათოდის არეში წარმოქმნის ისეთსავე ნაკრებ ელექტრულ ველს, როგორსაც ანოდური ძაბვა ტრიოდში.

ამგვარად, ეკვივალენტური დიოდის მოქმედი ძაბვა

$$U_{მოქ} = U_g + DU_a. \qquad (14\text{-}5)$$

ტრიოდის სამი პარამეტრის—S, R_i და D — ნამრავლი ერთის ტოლია, ე. ი.

$$SR_iD = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \cdot \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} = 1. \qquad (14\text{-}6)$$

ტრიოდის სამი პარამეტრის ერთმანეთთან დამაკავშირებელ აქ მოყვანილ განტოლებას ეწოდება ტრიოდის შიგა განტოლება.

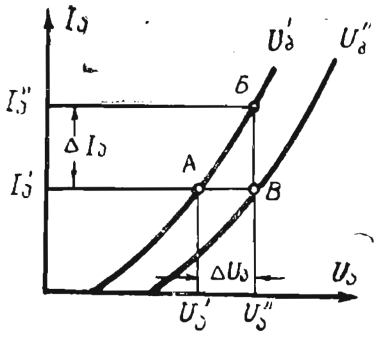
თუ უკანასკნელ ტოლობაში შეღწევადობას შევცვლით მისი მნიშვნელობით, მივიღებთ ტრიოდის შიგა განტოლების სხვა ფორმას

$$\mu = SR_i. \qquad (14\text{-}7)$$

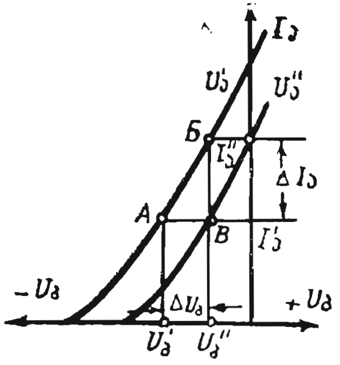
ბუნებრივია, (14-7) ტოლობა საშუალებას გვაძლევს ორი ცნობილი პარამეტრით განვსაზღვროთ მესამე.

ტრიოდის მთავარი პარამეტრები მოცემულ რეჟიმზე (U'_a, I'_a, U'_g) შეიძლება განვსაზღვროთ გრაფიკულადაც, თუ ვისარგებლებთ სტატიკური ანოდურ-ბადური მახასიათებლების ოჯახით, რომლებიც მოხსნილია ექსპერიმენტებით 14-4 ნახაზზე მოყვანილი სქემის მიხედვით ან მილებული ელექტროვაკუუმიანი ხელსაწყოების ცნობარებიდან.

ანოდური მახასიათებლიდან (ნახ. 14-11) პარამეტრების განსასაზღვრავად, რომლებიც მოხსნილია U'_g და U''_g ბადური ძაბვების დროს, აგებენ მახასიათებელ $AБB$ სამკუთხედს. აქ A წერტილი შეესაბამება შერჩეულ რეჟიმს, რომელიც განსაზღვრულია U'_a და I'_a-ის მნიშვნელობებით.



ნახ. 14-11. ტრიოდის პარამეტრების განსაზღვრა ანოდური მახასიათებლის მიხედვით.



ნახ. 14-12. ტრიოდის პარამეტრების განსაზღვრა ანოდურ-ბადური მახასიათებლებით.

თუ A წერტილიდან გავატარებთ აბსცისათა ღერძის პარალელურ ხაზს მეორე ანოდური მახასიათებლის გადაკვეთამდე, მივიღებთ სამკუთხედის მეორე B წვეროს, ხოლო, თუ B წერტილზე გავატარებთ ორდინატს პირველი ანოდური მახასიათებლის გადაკვეთამდე, მივიღებთ სამკუთხედის მესამე $Б$ წვეროს. ამ სამკუთხედის კათეტებს წარმოადგენს ანოდური დენის $\Delta I_ა$ ნამატი და ანოდური ძაბვის $\Delta U_ა$ ნამატი. ბადური ძაბვის ნამატი განისაზღვრება ცნობილი ბადური ძაბვების სხვაობით $\Delta U_ბ = U''_ბ - U_ბ'$, რომელთათვისაც მოიხსნა მახასიათებლები.

თუ ჩავსვამთ $\Delta I_ა$, $\Delta U_ა$ და $\Delta U_ბ$ ნამატების მიღებულ მნიშვნელობებს, (14-1), (14-2), (14-3) ან (14-4) ფორმულებით განვსაზღვრავთ ტრიოდის S_i, R_i და μ ან D პარამეტრებს.

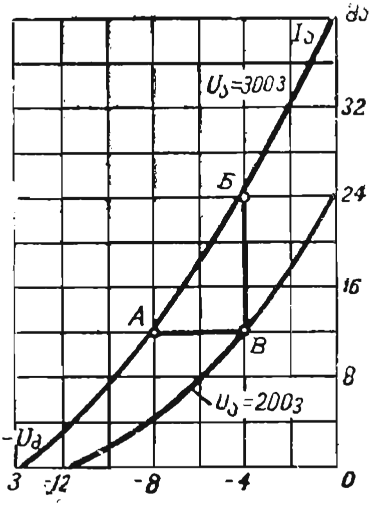
ანალოგიურად აიგება $AБB$ მახასიათებელი სამკუთხედი მილაკის ორ ანოდურ-ბადურ მახასიათებელზე (ნახ. 14-12). ამ სამკუთხედის კათეტებს წარმოადგენს $\Delta U_ბ$ და $\Delta I_ა$ ნამატები. ანოდური ძაბვის ნამატი ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ანოდური ძაბვის სხვაობით $\Delta U_ა = U_ა' - U''_ა$, რომელთა დროს მოიხსნა მახასიათებლები.

მაგალითი 14-1. განვსაზღვროთ 6C5C ტრიოდის S, R_i და μ პარამეტრები და მახასიათებელი $AБB$ სამკუთხედის გამოყენებით (ნახ. 14-13).

ამოხსნა.

1. მახასიათებლის დახრილობა

$$S = \frac{\Delta I_ა}{\Delta U_ბ} = \frac{24 - 12}{8 - 4} = \frac{12}{4} = 3 \text{ მა/ვ}.$$



ნახ. 14-13. 14-1 მაგალითისათვის.

2. ტრიოდის შიგა წინაღობა

$$R_i=\frac{\Delta U_ა}{\Delta I_ა}=\frac{300-200}{12}=\frac{100}{12}=8,33 \text{ კომ}.$$

3. ტრიოდის გაძლიერების კოეფიციენტი

$$\mu=\frac{\Delta U_ა}{\Delta U_გ}=\frac{300-200}{8-4}=\frac{100}{4}=25.$$

4. ტრიოდის შეღწევადობა

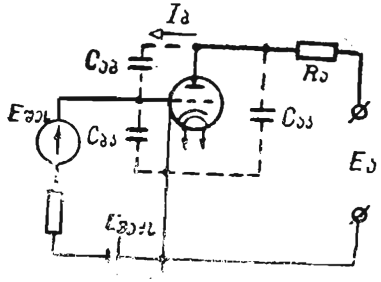
$$D=\frac{1}{\mu}=\frac{1}{25}=0,04.$$

14-4. ტრიოდის ელექტროდთშორისი ტევადობა

ტრიოდს აქვს სამი ელექტროდი, რომლის თითოეულ წყვილს გააჩნია ტევადობა, ასე რომ ტრიოდში არჩევენ სამ ტევადობას (ნახ. 14-14): შემავალი ტევადობა ბადე-კათოდი $C_{გკ}$, გამავალი ტევადობა ანოდი-კათოდი $C_{აკ}$ და გასავლელი ტევადობა ანოდი-ბადე $C_{აგ}$.

ეს ტევადობები დამოკიდებულია ელექტროდების ზომებზე, მათ ფორმებზე, მათ შორის მანძილზე და ა. შ. ჩვეულებრივად ეს ტევადობები მცირეა და საშუალო სიმძლავრის ელექტრონმილაკებში არ არის დიდი: ერთიდან 10—20 პფ-მდე, ხოლო მძლავრ მილაკებში ის აღწევს 30—50 პფ.

ვინაიდან ტევადური გამტარობა $\omega C=2\pi fC$ სიხშირის პროპორციულია, ბუნებრივია, სიხშირის გაზრდისას ტევადურ დენებს შეუძლია მიაღწიოს



ნახ. 14-14. ტრიოდის ელექტროდთშორისი ტევადობა.

დიდ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც უარესდება მილაკების მაძლიერებელი თვისებები.

მაგალითად, შემავალი $C_{გკ}$ ტევადობა იწვევს ტევადურ დენს წრედში ბადე-კათოდი შემავალი ძაბვის $E_{შეყ}$ წყარო. ეს იწვევს ძაბვის ვარდნას წყაროს r შიგა წინაღობასა და $U_{შ.ბ}$ შემავალი ძაბვის შემცირებას ტრიოდზე, შესაბამისად გასავლელი ძაბვისა და მილაკის მიერ გადაცემული სიმძლავრის შემცირებას. გასავლელი ტევადობის უარყოფითი გავლენა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი წინაღობა $1/\omega C$ სიხშირის გაზრდისას მცირდება და ცვლადი ძაბვის ზემოქმედებით ანოდური წრედიდან ამ ტევადობის გავლით განშტოვდება დენი ბადის წრედში (ნახ. 14-14). ამგვარად, გამოსავალი ძაბვა უკუმოქმედებს მილაკის შესასვლელზე. ე. ი. წარმოიქმნება უკუკავშირი, რაც არასასურველად მოქმედებს მილაკის მუშაობაზე.

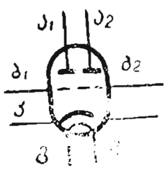
14-5. ტრიოდების ტიპები

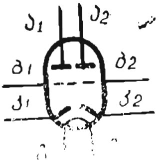
დანიშნულების მიხედვით ტრიოდები იყოფა მაძლიერებლებად, რომლებიც გამოიყენებიან ძაბვისა და სიმძლავრის გასაძლიერებლად, და გენერატორულებლად — ელექტრული რხევების წარმოსაქმნელად.

მაძლიერებელი ტრიოდების გაძლიერების μ კოეფიციენტი განისაზღვრება რამდენიმე ერთეულიდან რამდენიმე ათეულებამდე, მათი შიგა R_i წინაღობა რამდენიმე ათეული კილოომით განისაზღვრება და მახასიათებლის S დახრილობა იცვლება ზღვრებში რამდენიმე მილიამპერიდან ვოლტზე, რამდენიმე ათეულ მილიამპერამდე ვოლტზე.

კონსტრუქციის მიხედვით ტრიოდები იყოფა ერთმაგად და ორმაგად, რომლის ერთ ბალონში ჩამაგრებულია ორი სამელექტროდიანი სისტემა.

ტრიოდებზე ვრცელდება ГОСТ 13393-67 (§ 13-6), რომლის თანახმადაც მეორე ელემენტი აღნიშნავს მილაკის ტიპს: ასო C — ტრიოდს და ასო H — ორმაგ ტრიოდს.





ნახ. 14-15. ორმაგი ტრიოდი საერთო კათოდით.

ნახ. 14-16. ორმაგი ტრიოდი გაყოფილი კათოდით.

მილაკების გაბარიტული ზომების მხრივ ბალონების კლასიფიკაცია იგივე რჩება, რაც მოყვანილი იყო § 13-6, ბ-ში.

14-15 და 14-16 ნახაზებზე მოცემულია ორმაგი ტრიოდის პირობითი აღნიშვნები.

ტრიოდების ძირითადი ღირსებებია — მოწყობილობის სიმარტივე და მუშაობის საიმედოობა და ანოდურ-ბადური მახასიათებლის დიდი სწორხაზოვანი უბანი.

ტრიოდის ძირითადი ნაკლოვანებებია — გაძლიერების დაბალი μ კოეფიციენტი და დიდი გასასვლელი C ტევადობა, რაც აძნელებს მათ გამოყენებას მაღალ სიხშირეებზე.

14-6. ოთხელექტროდიანი ელექტრონმილაკები-ტეტროდები

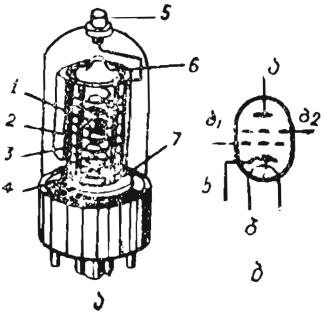
ა) ტეტროდის მოწყობილობა და მუშაობა

ტრიოდის გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდა ბადის სიმჭიდროვის გადიდების გზით არ იძლევა დადებით შედეგს, რადგან ამ დროს ჩამკეტი ძაბვა მცირდება და ტრიოდის ანოდურ-ბადური მახასიათებელი ხდება მარჯვენა. ამ შემთხვევაში მილაკის მუშაობა მაძლიერებლად ბადური დენების გამო შეუძლებელი ხდება.

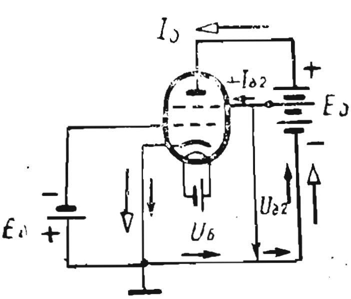
აღნიშნული ნაკლოვანებანი შეიძლება გამოვასწოროთ ანოდსა და მმართველ ბადეს შორის მოთავსებული მაეკრანებელი ბადის გამოყენებით.

ასეთ ელექტრონმილაკს ორი — მაეკრანებელი და მმართველი ბადეებით ეწოდება ოთხელექტროდიანი მილაკი, ანუ ტეტროდი (ნახ. 14-17).

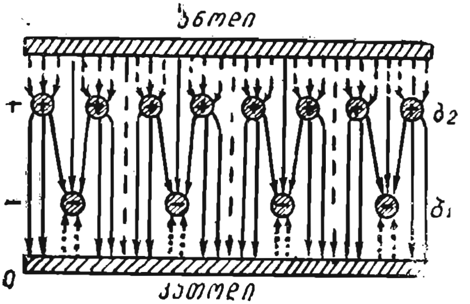
ტეტროდის მმართველი ბადე მეჩხერია, ე. ი. სპირალის დახვევის დიდი ბიჯით, რის გამოც მილაკის უარყოფითი ჩამკეტი ძაბვა დიდია, და რა თქმა უნდა, მას აქვს მარცხენა ანოდურ-ბადური მახასიათებლები. ტეტროდის მ ა ე კ რ ა ნ ე ბ ე ლ ი ბადე კეთდება მჭიდრო, ე. ი. სპირალის დახვევის მცირე ბიჯით. ამიტომ ძლიერ აეკრანებს კათოდსა და მმართველ ბადეს ანოდური ველისაგან, ასე რომ ანოდური ველი კათოდთან სუსტი ხდება. ასევე სუსტი იქნება ანოდური ძაბვის გავლენა ელექტრული ველის დაძაბულობაზე კათოდის ახლოს, რადგან მისი ძირითადი ველი იქმნება მაეკრანებელი ბადისაგან. რისთვისაც მასზე მოდებენ ძაბვას $U_{ბ2} \leqslant 0,5\ U_{ა}$ (ნახ. 14-18).



ნახ. 14-17. ტეტროდი.
ა — მოწყობილობა; ბ — პირობითი აღნიშვნა სქემებზე:
1 — მმართველი ბადე; 2 — მაეკრანებელი ბადე; 3 — ანოდი; 4 — კათოდი; 5 — ანოდის გამომყვანი; 6 — ზედა ეკრანი; 7 — ქვედა ეკრანი



ნახ. 14-18. ტეტროდის ჩართვის სქემა.



ნახ. 14-19. ელექტრული ველის გამარტივებული სურათი ტეტროდში.

მაეკრანებელი ბადის ხვიებში გამავალი ელექტრონების ნაწილი აღწევს ანოდამდე და წარმოქმნის ანოდურ დენს. მათი დანარჩენი ნაწილი ხვდება მაეკრანებელ ბადეზე და წარმოქმნის $I_{ბ2}$ ბადურ დენს, რომელიც შეძლებისდაგვარად მცირე უნდა იყოს.

ტეტროდის ელექტრული ველი გამარტივებული სახით ნაჩვენებია 14-19 ნახაზზე. ვინაიდან მაეკრანებელი ბადე მჭიდროა და მისი პოტენციალი ნაკლებია ანოდისაზე, ამიტომ ანოდიდან გამოსული ელექტრული ხაზების დიდი ნაწილი მაეკრანებელი ბადის ხვეულებზე მთავრდება. ანოდური ველის ელექტრული ხაზების მცირე ნაწილი აღწევს მმართველ ბადემდე და კიდევ უფრო მცირე ნაწილი — კათოდამდე.

ანოდსა და მმართველ ბადეს შორის ველის შემცირება აღნიშნავს ამ ელექტროდთშორისი ტევადობის $C_{ა}$. $_{ბ}$ შემცირებას ათეულ და ასეულჯერ.

კათოდის ახლოს ანოდური ველის შემცირება ამცირებს ანოდური ძაბვის გავლენას ანოდურ დენზე, ხოლო მმართველი ბადის პოტენციალის გავლენა ანოდურ დენზე იგივე რჩება, ვინაიდან მმართველ ბადესა და კათოდს შორის არავითარი ეკრანი არ არის. მაშასადამე, ტეტროდების μ გაძლიერების კოეფიციენტი და R_i შიგა წინაღობა მნიშვნელოვნად დიდია, ვიდრე ტრიოდისა მაშინ, როცა მახასიათებლის S დახრილობა ერთნაირია.

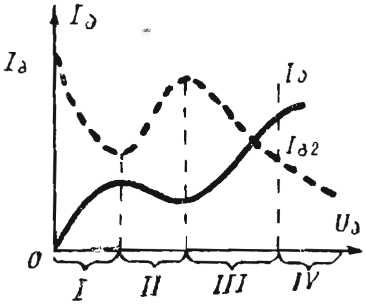
ბ) დინატრონული ეფექტი

ტეტროდის ანოდური მახასიათებელი — ეს არის ანოდური დენის დამოკიდებულება ანოდურ ძაბვასთან (ნახ. 14-20), როცა ბადეებზე ძაბვები მუდმივია, ე. ი. $I_ა=f(U_ა)$; $U_{ბ1}$ =const და $U_{ბ2}$ =const.

ტეტროდის ანოდურ-ბადური მახასიათებელი — ეს არის მაეკრანებელი ბადის $I_{ბ2}$ დენის დამოკიდებულება ანოდურ ძაბვასთან (ნახ. 14-20), როცა ძაბვა ბადეებზე უცვლელია, ე. ი.

$$I_{ბ2}=f(U_ა), \text{ როცა } U_{ბ1}=\text{const და } U_{ბ2}=\text{const}.$$

ტეტროდის ბადეებთან მივიყვანოთ $U_{ბ1}$ და $U_{ბ2}$ ნორმალური ძაბვები და დავიწყოთ ანოდური ძაბვის ზრდა ნულიდან. ანოდური ძაბვის ნულოვანი მნიშვნელობისას მმართველ ბადეში გასული ყველა ელექტრონი ხვდება მაეკრანებელ ბადეზე და ქმნის $I_{ბ2}$ ბადურ დენს, რადგან მას აქვს დადებითი პოტენციალი, მაშინ როცა ანოდის ნულოვანი პოტენციალის გამო ანოდური დენიც ნულის ტოლია.



ნახ. 14-20. ტეტროდის ანოდური მახასიათებელი და მისი ბადურ-ანოდური მახასიათებლები.

ანოდური ძაბვის გაზრდისას, მაგალითად, 20 ვ-მდე, ანოდური დენი იზრდება, ხოლო ბადის დენი მცირდება (ნახ. 14-20, I უბანი). ამ დროს ელექტრონების ნაკადები გადანაწილდება ანოდსა და მაეკრანებელ ბადეს შორის: პირველი ნაკადი იზრდება, მეორე — მცირდება.

ანოდური ძაბვის შემდგომი მომატება გამოიწვევს ელექტრონების ენერგიის გაზრდას და ანოდის მეორეული ემისიის წარმოქმნას. მეორეული ელექტრონები მიემართება მაეკრანებელ ბადისაკენ, რომელსაც ანოდზე მეტი პოტენციალი აქვს და ამიტომ ანოდური დენი მცირდება, ხოლო $I_{ბ2}$ ბადური იზრდება (ნახ. 14-20, II უბანი). ანოდური დენის შემცირების მოვლენას ანოდური ძაბვის გაზრდისას, რომელიც მეორეული ემისიითაა გამოწვეული, დ ი ნ ა ტ რ ო ნ უ ლ ი ე ფ ე ქ ტ ი ეწოდება, რომლის მაქსიმუმი შეესაბამება II და III უბნებს შორის საზღვარს (ნახ. 14-20).

დინატრონული ეფექტი წყდება მაშინ, როცა ანოდური ძაბვა გაუტოლდება ბადურს $U_ა = U_{ბ2}$, რაც შეესაბამება III და I უბნებს შორის საზღვარს.

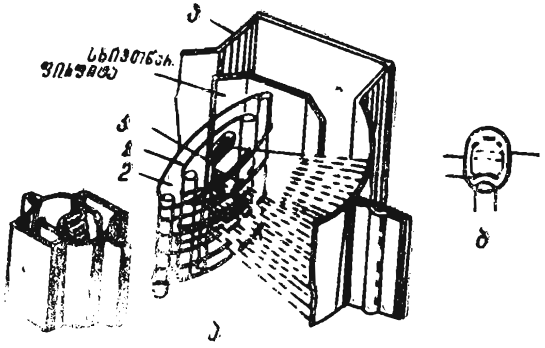
როცა ანოდური ძაბვა აღემატება ბადურ ძაბვას, მეორეული ელექტრონები დაუბრუნდება ანოდს და ანოდური დენი თავიდან დაიწყებს ზრდას ანოდური ძაბვის გაზრდით, ხოლო ბადური დენი — შესაბამისად შემცირდება (ნახ. 14-20, III უბანი).

დინატრონული ეფექტი აძნელებს ტეტროდის გამოყენებას მაძლიერებლების სქემებში მუშაობის რეჟიმის არასტაბილურობის და დიდი დამახინჯების გამო.

გ) სხივური ტეტროდი

ს ხ ი ვ უ რ ტ ე ტ რ ო დ შ ი დინატრონული ეფექტი გამორიცხულია A ანოდსა და მაეკრანებელ ბადეს (2) შორის (ნახ. 14-21) უარყოფითი მოცულობითი მუხტის შექმნით, რომლის ველი ამუხრუჭებს მეორეულ

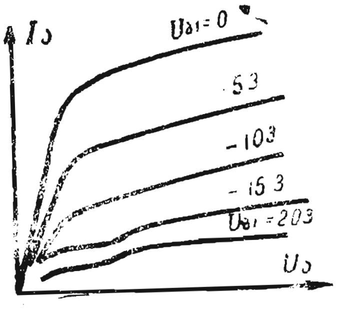
ელექტრონებს და აბრუნებს მათ უკან ანოდზე. ამისათვის A კათოდს აკეთებენ ბრტყელი ფორმისას. მმართველი (1) და მაეკრანებელი (2) ბადეები დამზადებულია დახვევის ერთნაირი ბიჯით და მათი ხვიები გან-



ნახ. 14-21. სხივური ტეტროდის მოწყობილობის სქემა (ა) და მისი აღნიშვნა (ბ).

ლაგებულია ზუსტად ერთმანეთის მიმდევრობით. მაეკრანებელ ბადესა (2) და A ანოდს შორის გვერდიდან დამაგრებულია ორი Ш სხივთ-წარმომქმნელი ლითონის ფირფიტები, რომლებიც შეერთებულია მილის კათოდთან.

ელექტროდების ასეთი მოწყობილობის დროს, კათოდიდან ამოფრქვეული მფრინავი ელექტრონები ყალიბდება ცალკეულ ბრტყელ ელექტრონულ სხივებად, რომლებიც ბადეების ხვიებს შორის გადიან, თუმცა სხივთწარმომქმნელი ფირფიტები გზას [illegible] ელექტრონულ სხივებს [illegible] [illegible] სხივებს [illegible] ნაწილებს [illegible] ელექტრონული [illegible] [illegible] მოცემული [illegible] [illegible] ეფექტი.



ნახ. 14-22. სხივური ტეტროდის ანოდური მახასიათებლები.

14-22 ნახაზზე მოცემული სხივური ტეტროდის ანოდური მახასიათებლები, საიდანაც ჩანს, რომ დინატრონული ეფექტი მნიშვნელოვნად სუსტდება.

სხივური ტეტროდის გაძლიერების კოეფიციენტი რამდენიმე ასეულს შეადგენს. შიგა წინაღობა — ათეულიდან ასეულობით კილოომამდე და მახასიათებლის დახრილობა — ერთიდან რამდენიმე ათეულ მილიამპერამდე ვოლტზე, მისი გასასვლელი ტევადობა $C_{ა1} \approx 0,1 \div 0,2$ პფ.

სხივური ტეტროდის დადებითი თვისებაა მაეკრანებელი ბადის მცირე დენი, რომელიც ანოდის დენის 10%-ს არ აღემატება.

§ 7. ხუთელექტროდიანი ელექტრონმილაკები-პენტოდები

პ ე ნ ტ ო დ ი — არის ხუთელექტროდიანი მილაკი, რომელსაც აქვს ანოდი, კათოდი და ბადეები: მმართველი C_1, მაეკრანებელი C_2 და დამცავი C_3 (ნახ. 14-23).

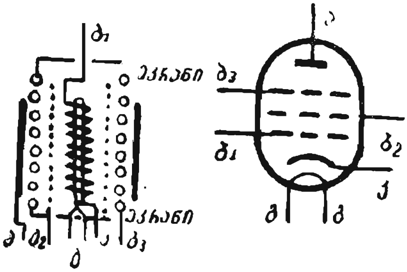
დ ა მ ც ა ვ ი ბ ა დ ე C_3, რომელიც მოთავსებულია მაეკრანებელ ბადესა და ანოდს შორის, შეერთებულია კათოდთან და შესაბამისად, ნულოვანი პოტენციალი $\varphi_{c3}=0$ აქვს. ვინაიდან წერტილთა უმეტესობა დამცავი ბადის ახლოს ანოდის პოტენციალზე დაბალია და ამიტომ ანოდიდან გამოსული მეორეული ელექტრონები მოხვდება მამუხრუჭებელ ველში და ბრუნდება უკან ანოდზე ისე, რომ დინატრონული ეფექტი მოისპობა.

პენტოდებში მაეკრანებელი ბადე მზადდება ნაკლები ბიჯით, ხოლო დამცავი — მსხვილი ბიჯით, ვიდრე მმართველი, რაც მათ დანიშნულებას შეესაბამება. მაეკრანებელი ბადის დანიშნულებაა გასასვლელი ტევადობის შემცირება, ხოლო დამცავისა — მის ახლოს წერტილებში ისეთი პოტენციალის [illegible], რაც უზრუნველყოფს მეორეული ელექტრონების [illegible] ზედაპირზე და ამავე დროს არ [illegible] კათოდიდან გამოსულ [illegible] ელექტრონებზე.

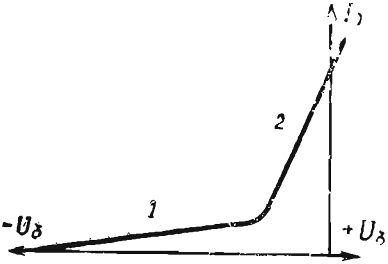
პენტოდის ანოდურ მახასიათებლებს არ აქვს [illegible] და [illegible] სხივური ტეტროდის [illegible] (ნახ. 14-24). [illegible] ანოდური [illegible] დამცავი [illegible] და მაეკრანებელ ბადეს შორის. [illegible] ანოდური ძაბვის დიდ [illegible] ხელი იზრდება, ვინაიდან [illegible] ბადის არსებობა იწვევს ანოდური ძაბვის გავლენის კიდევ უფრო შემცირებას მილაკის ველსა და ანოდურ დენზე. ამიტომ გაძლიერების კოეფიციენტი μ და აგრეთვე შიგა წინაღობა R_i დიდ მნიშვნელობებს აღწევს: μ 1000 და მეტი, ხოლო $R_i = 1 \div 2$ მომს. მახასიათებლის S დახრილობა [illegible], ვიდრე ტეტროდებისა და შეიძლება გაწონასწორდეს [illegible] ათეულ მილიამპერ ვოლტზე.

[illegible] მაეკრანებელი ბადის გამოყენებით და [illegible] დაკავშირების [illegible] გასასვლელ ტევადობას მაღალი სიხშირის

პენტოდებში ღებულობენ არა უმეტეს 0,003- 0,004 პფ. ე. ი. ბევრად ნაკლებს, ვიდრე ტეტროდებს აქვს. ასეთი პენტოდები ფართოდ გამოიყენება მაღალი სიხშირეების დროს და წარმოადგენს ძირითად მიმღებ-მაძლიერებელ და გენერატორულ ელექტრონმილაკებს.



ნახ. 14-23. მაღალი სიხშირის პენტოდის მოწყობილობის სქემა და მისი გრაფიკული აღნიშვნა.



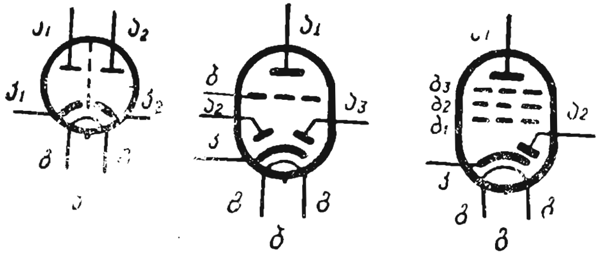
ნახ. 14-24. ცვლადი ქანობის მილაკების ანოდურ-ბადური მახასიათებელი.

მაღალი სიხშირის პენტოდებს, რომელთა ანოდურ-ბადური მახასიათებელი შედგება ორი უბნისაგან—გრძელი დამრეცი (1) და მკვეთრად ზევით მიმავალი (2) (ნახ. 14-24), ეწოდებათ მილაკები წარგძელებული ანოდურ-ბადური მახასიათებლით, ანუ მილაკები ცვლადი დახრილობით. ასეთი პენტოდების მმართველი ბადე დახვევის ცვლადი ბიჯით კეთდება — დიდი ბიჯით შუაში და ნაკლები ბიჯით თავსა და ბოლოში. ამის გამო ბადის ცალკეულ უბნებს ახასიათებს სხვადასხვა შეღწევადობა. დიდი უარყოფითი ბადური ძაბვების დროს ბადის მცირე ბიჯით დახვეული ნაწილი ჩაკეტილია, მუშაობს მხოლოდ ბადის დიდი ბიჯით დახვეული ნაწილი, სადაც მახასიათებლის დახრილობა არ არის დიდი და გაძლიერების კოეფიციენტი მცირე (ნახ. 14-24, უბანი 1). ნაკლები ბადური ძაბვის დროს ბადის ნაკლები ბიჯით დახვეული ნაწილი იღება, რომლის გაძლიერების კოეფიციენტი და მახასიათებლის დახრილობა დიდია (უბანი 2).

მაშასადამე, ამ პენტოდების ანოდურ-ბადური მახასიათებლის დახრილობა დამოკიდებულია ბადურ ძაბვაზე. ასეთი პენტოდები გამოიყენება, მაგალითად, რადიომიმღებებში ძლიერი და სუსტი სიგნალების გაძლიერების ავტომატური რეგულირებისათვის.

14-8. კომბინირებული და მრავალბადიანი ელექტრონმილაკები. ელექტრონმილაკების ტიპები

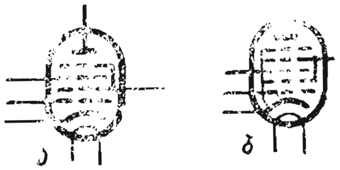
ელექტრონული მოწყობილობების გაბარიტების შესამცირებლად და სქემების მონტაჟის გასამარტივებლად გამოიყენება კომბინირებული და მრავალბადიანი ელექტრონმილაკები.



ნახ. 14-25. კომბინირებული მილაკების პირობითი აღნიშვნები.
ა—ორმაგი დიოდი; ბ—ორმაგი დიოდ-ტრიოდი; გ—დიოდ-პენტოდი.

კ ო მ ბ ი ნ ი რ ე ბ უ ლ ი ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ მ ი ლ ა კ ი ეწოდება ელექტრონმილაკს, რომლის ერთ ბალონში რამდენიმე ელექტრონული სისტემა, რომლებიც შეესაბამებიან ამა თუ იმ ჩვეულებრივ მილაკს, მაგალითად (ნახ. 14-25): ორმაგი დიოდი (ა); ორმაგი დიოდ-ტრიოდი (ბ); დიოდ-პენტოდი (გ); ორმაგი ტრიოდი გაყოფილი კათოდით (ნახ. 14-16) და სხვ.

ელექტრონმილაკებს, რომლებიც შედგებიან ანოდის, კათოდის და სამზე მეტი ბადისაგან, ეწოდება მ რ ა ვ ა ლ ბ ა დ ი ა ნ ი ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ მ ი ლ ა კ ე ბ ი. ასეთ ელექტრონმილაკებში სხვადასხვა ელექტროდს შეუძლია შეასრულოს სხვადასხვაირი ფუნქცია. მაგალითად, ელექტრონმილაკის ერთი ბადე შეიძლება ემსახურებოდეს ორი ... რომლითაც ნ თავისუფალი ... ზე ერთი მმართველი ბადის ... ნებით. ... მმართველი ბადეების შორის ...



ნახ. 14-26. მრავალბადიანი მილაკების აღნიშვნები.
ა—ჰექსოდი; ბ—ჰეპტოდი.

... ასეთ ელექტრონმილაკებს ექვსი ელექტროდით (ნახ. 14-26, ...) ეწოდება ჰ ე ქ ს ო დ ე ბ ი, ხოლო ... ტიპისას — შვიდი ელექტროდით, ეწოდება ჰ ე პ ტ ო დ ე ბ ი (ნახ. 14-26, ა).

§ 13-6 და 14-6-ში ნათქვამი იყო, რომ, ГОСТ 1339...-57-ის თანახმად, მიღებულია ... ელექტრონმილაკების ... ტეტროდების, პენტოდებისა და კომბინირებული ელექტრონმილაკებისათვის დადგენილია შემდეგი აღნიშვნები: П — გამოსასვლელი პენტოდი ან სხივური ტეტროდი; К — მაღალი სიხშირის პენტოდი ცვლადი დახრილობით; Ж — მაღალი სიხშირის პენტოდი; А — სიხშირის გარდამქმნელი ელექტრონმილაკი ორი მმართველი ბადით, პენტოდის გარდა; Г — დიოდ-ტრიოდი; Б — დიოდ-პენტოდი; Ф — ტრიოდ-პენტოდი; Н — ტრიოდ-ჰექსოდი; ტრიოდ-ჰეპტოდი, ტრიოდ-ოქტოდი; Р — ორმაგი ტეტროდი ან პენტოდი.

მეთხუთმეტე თავი

იონური (აირგანმუხტვის) ხელსაწყოები და მათი გამოყენება

15-1. აირული განმუხტვის სახეები და მისი ვოლტამპერული მახასიათებელი

იონურ ხელსაწყოებში, ელექტრონულისაგან განსხვავებით, ელექტრონების მოძრაობის დროს ხდება მათი შეჯახებები აირის ან ვერცხლისწყლის ორთქლის ატომებთან. შეჯახებების დროს ელექტრონები თავისი ენერგიის ნაწილს გადასცემს აირის ატომებს ($mv^2/2$), ელექტრონების მცირე სიჩქარის დროს დაჯახება იქნება დრეკადი, ხოლო დიდი სიჩქარისას — არადრეკადი, რომლის დროსაც აირის ატომის მიერ მიღებული ენერგია საკმარისი აღმოჩნდება მისი აგზნების ან იონიზაციისათვის. აირის ატომის აგზნებისას ერთ-ერთი მისი ელექტრონი, რომელმაც ენერგიის რაღაც პორცია მიიღო, ადის უფრო მაღალ არამდგრად ენერგეტიკულ დონეზე, მაგრამ ძალიან ჩქარა ბრუნდება თავის პირვანდელ დონეზე, რომლის დროსაც ადგილი აქვს ჭარბი ენერგიის გამოყოფას სინათლის სხივების სახით (სინათლის კვანტი), ამ დროს აირი ვაანათებს. ატომის აგზნებისათვის საჭირო ენერგია განისაზღვრება $U_{აგზ}$ აგზნების ძაბვით, რადგან

$$mv^2_{მაქს}/2 > W_{აგზ} = U_{აგზ}e. \qquad (15\text{-}1)$$

ასე, მაგალითად, ჰელიუმისათვის $U_{აგზ}=20,8$ ვ, ხოლო ვერცხლისწყლის ორთქლისათვის — 4,9 ვ.

იონიზაციისათვის, ანუ ატომის ელექტრონად და იონად გასახლეჩად, საჭირო ენერგია განისაზღვრება იონიზაციის პოტენციალით $U_{იონ} > U_{აგზ}$, რადგან

$$mv^2_{მაქს}/2 > W_{იონ} = U_{იონ}e > U_{აგზ}e. \qquad (15\text{-}2)$$

მაგალითად, ჰელიუმისათვის $U_{იონ}=24,5$ ვ, ხოლო ვერცხლისწყლის ორთქლისათვის — $U_{იონ}=10,4$ ვ.

აირი ჩვეულებრივ პირობებში შეიცავს ელექტრონებისა და იონების (მუხტის მატარებელი) უმნიშვნელო რაოდენობას, ამიტომ ის წარმოადგენს კარგ დიელექტრიკს.

აირი იონიზაციის შემდეგ შეიძლება გამტარი გახდეს რადიოაქტიური და კოსმოსური სხივებით, ძლიერი ელექტრული ველითა და მაღალი ტემპერატურით. აირის განუწყვეტელი, მუდმივი ინტენსივობით იონიზაციის დროს ხდება აირის ატომების არა მარტო ელექტრონებად და იონებად დახლეჩა, არამედ ნაწილობრივი შეერთების (რეკომბინაციის) უკუპროცესიც. ასე რომ ელექტრონების რიცხვი ერთეულ მოცულობაში მუდმივი რჩება.

თუ აირგანმუხტვის ხელსაწყოს ელექტროდებზე მოვდებთ ძაბვას (ნახ. 15-1), მაშინ ელექტრული ველის მოქმედებით დაიონებული აირის მუხტის მატარებლები — დადებითი იონები და ელექტრონები — გადაადგილდებიან: პირველნი ველის მიმართულებით, ხოლო მეორენი — საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ დროს მათი მოძრაობის სიჩქარე გაიზრდება მოდებული ძაბვის გადიდებით.

აირში ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი გ ა ნ მ უ ხ ტ ვ ა ეწოდება აირში დენის გავლისას არსებულ მოვლენათა ერთობლიობას.

დასაწყისში დენი იზრდება ელექტროდებზე ძაბვის პროპორციულად (ვოლტამპერული მახასიათებლის OA უბანი, ნახ. 15-2). შემდეგ ძაბვის მომატებისას დენის ზრდა შენელდება, ხოლო ამის შემდეგ მთლად შეწყდება ($AБ$ და $БВ$ უბნები). ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ყველა წარმოქმნილი იონი გადაიტანება ერთი ელექტროდიდან მეორეზე რეკომბინაციის გარეშე, ამ დენს გ ა ჯ ე რ ე ბ ი ს დ ე ნ ი ეწოდება. თუ გავზრდით ძაბვას, დენი თავიდან დაიწყებს გაზრდას ჯერ ნელა, ხოლო შემდეგ ე. წ. ანთების $U_{ანთ}$ ძაბვის დროს მეტად მკვეთრად.

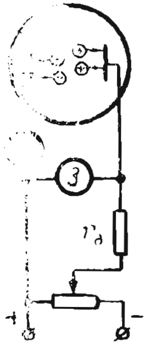
ამ ძაბვის დროს ელექტრონების სიჩქარე და კინეტიკური ენერგია, რომლებიც განპირობებულია ველის მზარდი დაძაბულობით, საკმარისი აღმოჩნდება იმისათვის, რომ ნეიტრალურ ატომებთან შეჯახებისას მათ განიცადონ იონიზაცია. ახლად მიღებული მეორეული მუხტები, თავის მხრივ, ასევე მოახდენენ აირის ნეიტრალური ატომების იონიზაციას და იონების წარმოქმნის პროცესი ვითარდება ზვავისებურად. განმუხტვის შუალედს ავსებს დაიონებული აირი — აირის პლაზმა, რომელსაც დიდი გამტარობა ახასიათებს. ამის გამო დენი მკვეთრად იზრდება, ხოლო ძაბვა მასზე ეცემა (მახასიათებლის $B'Г'$ უბანი, ნახ. 15-2). თავისუფალი ელექტრონების რიცხვის მკვეთრად გაზრდის დროს იწყება ე. წ. ფუყვადი განმუხტვა, რასაც თან სდევს აირის ნათება, დამახასიათებელი შიშინის ხმა. ამ დროს განმუხტვა ხდება დამოუკიდებლად ე. ი. ის აღარ საჭიროებს გარე იონიზატორს განმუხტვის შესანარჩუნებლად. ასეთი განმუხტვის დროს დენის სიმკვრივე იზრდება 10^{-3} ა/სმ²-მდე.

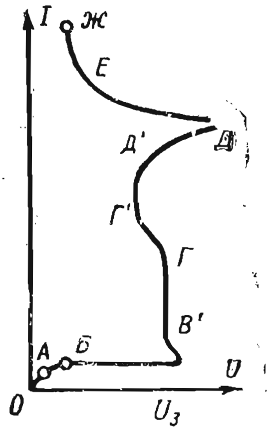
ფუყვადი განმუხტვა გამოიყენება აირმნათ (ნეონის) ნათურებში, სტაბილიტრონებში, ტირატრონებსა და მთელ რიგ სხვა ხელსაწყოებში.

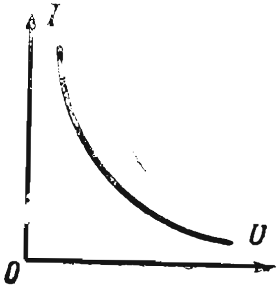
ფუყვადი განმუხტვა ვითარდება ბნელი, ანუ წყნარი განმუხტვით, რომელიც ხასიათდება დენის მცირე სიმკვრივით 10^{-6} ა/სმ².

რ კ ა ლ უ რ ი გ ა ნ მ უ ხ ტ ვ ი ს ა თ ვ ი ს (ელექტრული რკალი) დამახასიათებელია კათოდზე დენის დიდი სიმკვრივე 10^{2} ა/სმ²-მდე, როცა ძაბვა დაახლოებით 15—30 ვოლტია. რკალური განმუხტვა შეიმჩნევა განმუხტულ აირში ნორმალური წნევის დროს.

რკალური განმუხტვა შეიძლება მივიღოთ სხვადასხვა გზით: ა) განმუხტვის შუალედში ძაბვის ამაღლებისას, რაღაც სიდიდემდე, რომელსაც







ნახ. 15-1. ჩართვის სქემა აირული შუალედის ვოლტამპერული მახასიათებლის მისაღებად.

ნახ. 15-2. აირული შუალედის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

ნახ. 15-3. რკალის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

რკალის ანთების $U_{ა}$ ძაბვას — უწოდებენ (Д წერტილი ნახ. 15-2-ზე). ფუძეული განმუხტვა გადადის რკალურში (EЖ უბანი ნახ. 15-2-ზე). ამ დროს რკალის შენარჩუნება ხდება იონების დარტყმით გავარვარებული კათოდის თერმოელექტრონული ემისიის ხარჯზე. ასეთ განმუხტვას დ а м о უ к и д е б е л и ეწოდება. თერმოელექტრონული ემისია იწვევს ელექტრონების რიცხვის გაზრდას, ე. ი. დენის ძალის გაზრდას რკალში. მაშასადამე, იწვევს ძაბვის ვარდნის გაზრდას ბალასტურ წინაღობაზე და ძაბვის შემცირებას ელექტროდებზე.

თუ კათოდის თერმოელექტრონული ემისია გამოწვეულია გარეშე კვების წყაროდან მიღებული დენით კათოდის გახურებით, მაშინ რკალური განმუხტვა იქნება დამოუკიდებელი.

ბ) რკალურ განმუხტვას იწვევენ აგრეთვე ელექტროდების ურთიერთშეხებამდე მიახლოებით. ელექტროდების შეხების ადგილების ძლიერი გახურება უზრუნველყოფს ელექტროდთშორისი შუალედის იონიზაციას და მათი ურთიერთდაშორებისას რკალის წარმოქმნას. ელექტროდებს შორის აირგანმუხტვის პლაზმას აქვს ძალიან მაღალი ტემპერატურა (4000°C-ზე მეტი) და ახასიათებს დიდი გამტარობა. დენის გადიდებისას პლაზმის ტემპერატურა იზრდება და მისი გამტარობაც იზრდება, ხოლო ძაბვა ელექტროდებს შორის ეცემა, ასე რომ რკალის მახასიათებელს ვარდნადი ხასიათი აქვს (ნახ. 15-3).

კათოდის თერმოამპერული ემისიით გამოწვეული რკალური განმუხტვის გარდა, გამოიყენება რკალური განმუხტვა ელექტროსტატიკური ემისიით, რომელიც ვერცხლისწყლის (თხევადი) კათოდისაგან, მაგალითად, ვერცხლისწყლის ვენტილებში მიიღება. აქ რკალური განმუხტვა ხდება ვერცხლისწყლის ორთქლში. რკალის საფუძველს წარმოადგენს ვერცხლისწყლის კათოდის ზედაპირზე განათებული ლაქა, რომელიც ემიტირებას უკეთებს ელექტრონებს. ეს ელექტრონები დააიონებენ იმავე კათოდის ზედაპირიდან მიღებულ ვერცხლისწყლის ორთქლს. ელექტრული რკალი აღმოაჩინა 1802 წელს რუსმა აკადემიკოსმა ვ. პეტროვმა.

ზემოგანხილული აირული განმუხტვის სამი ძირითადი სახის გარდა, განიხილავენ კიდევ განმუხტვის ორ სახესხვაობას:

1) გვირგვინული განმუხტვა (გვირგვინი). მცირე დიამეტრის გამტარების ზედაპირზე ან გამტარების წაწვეტებულ ნაწილზე ადვილად მიიღება ელექტრული ველის მნიშვნელოვანი დაძაბულობა. როცა ის მიაღწევს რაღაც კრიტიკულ მნიშვნელობას, მაშინ ამ ადგილებში ადგილი ექნება წყნარ განმუხტვას, განმუხტვა გამოწვეულია აირის იონიზაციით:

2) ნაპერწკლური განმუხტვა ან უბრალოდ ნაპერწკალი. თუ ორ ელექტროდს შორის ძაბვა მიაღწევს გამრღვევი ძაბვის მნიშვნელობას, ხოლო ელექტროდებს შორის ველის დაძაბულობა— გამრღვევ დაძაბულობას (§1—7), მაშინ ადგილი ექნება ნაპერწკლურ განმუხტვას. მას აქვს ელექტროდების მაერთებელი მნათი კლაკნილი არხის სახე. ელექტრონებისა და იონების ზვავი არხში გადაადგილდება იქით, საითაც უმცირესი წინაღობაა, იწვევს ტემპერატურისა და წნევის მკვეთრ ზრდას, რის გამოც განმუხტვას თან სდევს დამახასიათებელი ტკაცანი.

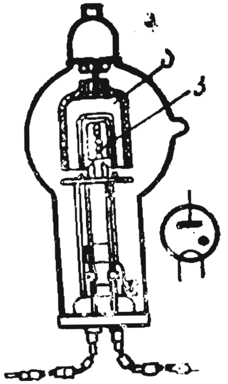
15-2. დამოკიდებული რკალური განმუხტვის ხელსაწყოები

ა) გაზოტრონი

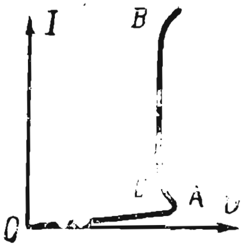
გაზოტრონი წარმოადგენს აირგანმუხტვის ან იონურ ხელსაწყოს, რომლის დანიშნულებაა ცვლადი დენის გამართვა. მისი მინის ან ლითონის ბალონი მასში ვაკუუმის შექმნის შემდეგ ივსება ვერცხლისწყლით ან ინერტული აირით. წნევით 15-20 პა (0,1÷0,5 მმ ვერცხ. წყ. სვ.). გაზოტრონს აქვს ორი ელექტროდი (ნახ. 15-4). მისი ანოდი მზადდება ნიკელისა ან გრაფიტისაგან, კათოდი — ვოლფრამისაგან და იფარება ოქსიდის ფენით. მძლავრ გაზოტრონებში კათოდი თბური დანაკარგების მამცირებელი ცილინდრული ეკრანის შიგნით თავსდება.

კათოდი იკვებება ვარვარების ტრანსფორმატორიდან. ვარვარების ძაბვა ამ დროს უნდა იყოს არა უმეტესი კვ-ისა, რადგან მეტი ძაბვისა და იონიზაციის ნაკლები პოტენციალის დროს (ვერცხლისწყლისათვის 10 ვ-მდე) შეიძლება წარმოიქმნას რკალი კათოდის ბოლოებს შორის. ამგვარად, ვარ-

ვარების დენი მიიღება მეტი — რამდენიმე ამპერიდან რამდენიმე ათეულ ამპერამდე; დიდი იქნება აგრეთვე კათოდის გახურების დროც — რამდენიმე წუთიდან რამდენიმე ათეულ წუთამდე.



ნახ. 15-4. გაზოტრონი და მისი პირობითი აღნიშვნა.



ნახ. 15-5. გაზოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

ანოდური ძაბვის ნულიდან გაზრდისას გაზოტრონში დასაწყისში წარმოიქმნება მხოლოდ არადიდი ელექტრული დენი, რადგან ელექტრონებს კათოდსა და ანოდს შორის სუსტ ელექტრულ ველში აქვს აირის იონიზაციისათვის არასაკმაო სიჩქარე. მუშაობის ამ რეჟიმს შეესაბამება გაზოტრონის ვოლტამპერული მახასიათებლის OA უბანი (ნახ. 15-5). თუ ანოდური აღემატება აირის იონიზაციის პოტენციალს, კათოდიდან გამოსული ელექტრონები, ელექტრული ველის მოქმედებით, მიიღებენ სიჩქარეს, რომელიც საკმარისი აღმოჩნდება აირის ან ვერცხლისწყლის ორთქლის აგზნებისა და იონიზაციისათვის. ამგვარად, ხელსაწყოში დაიწყება აირის იონიზაციის, პლაზმის წარმოქმნის პროცესები და დაიწყება რკალური განმუხტვა, რასაც შეესაბამება გაზოტრონის მახასიათებლის A წერტილი.

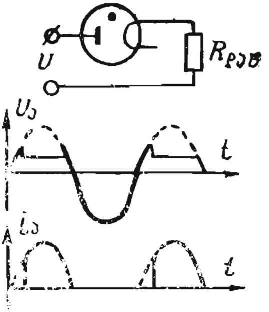
აირის იონიზაციის დროს მიღებული დადებითი იონები კომპენსაციას უკეთებენ მოცულობის უარყოფით მუხტს კათოდის ახლოს, რის შედეგადაც იზრდება ელექტრონული ემისია.

დენის გაზრდა, დატვირთვის ან კვების წყაროს ძაბვის გაზრდის შედეგად ანოდური წრედის წინაღობის შემცირებისას თითქმის არ მოქმედებს ანოდსა და კათოდს შორის ძაბვის ვარდნაზე.

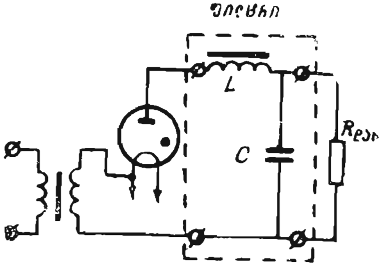
გაზოტრონის მუშა რეჟიმს შეესაბამება მისი ვოლტამპერული მახასიათებლის $БВ$ უბანი. ძაბვისა და დენის შემდგომი ზრდა (B წერტილს იქით) დაუშვებელია, რადგან ამას შეუძლია მწყობრიდან გამოიყვანოს გაზოტრონი.

გაზოტრონის უპირატესობა ვაკუუმურ დიოდთან მდგომარეობს მასში ნაკლები ძაბვის ვარდნაში, რის გამოც გაზოტრონიან გამმართველებს აქვს უფრო მაღალი მქ კოეფიციენტი.

როგორც აღვნიშნეთ, დიდი დროა საჭირო გაზოტრონის კათოდის სამუშაო ტემპერატურამდე გასახურებლად, რაც კათოდის მიერ ემისიის დანაკარგების თავიდან ასაცილებლად უნდა მოხდეს ანოდური ძაბვის ჩართვამდე.



ნახ. 15-6. გაზოტრონის ძაბვისა და დენის გრაფიკები ერთნახევარპერიოდიანი გამართვის სქემაში.



ნახ. 15-7. გაზოტრონული გამმართველი ფილტრით.

15-6 ნახაზზე მოცემულია ძაბვისა და დენების გრაფიკები ერთ ნახევარპერიოდიანი გამართვისათვის. დადებითი ანოდური ძაბვა დასაწყისში იზრდება ანთების მომენტამდე, შემდეგ რამდენადმე ეცემა და მერე მუდმივი რჩება. დადებითი ნახევარპერიოდის ბოლოს ის მცირდება ნულამდე. ანოდური ძაბვის ნახევარტალღას ნახევარსინუსოიდის ჩვეულებრივი ფორმა აქვს. ანოდურ დენს აქვს სინუსოიდური ფორმის იმპულსური ფორმა ჩამოჭრილი საწყისი ნაწილით.

გაზოტრონიან გამმართველებს იგივე სქემები აქვს, როგორიც გამმართველებს ვაკუუმური დიოდებით, მხოლოდ ფილტრის შესასვლელ მომჭერებზე არ უნდა იყოს კონდენსატორი (ნახ. 15-7), რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში კონდენსატორის დამუხტვის დენი შეიძლება მეტი აღმოჩნდეს $I_{ა.მაქს}$ დასაშვებზე და გამოიწვიოს კათოდის ემისიის დანაკარგები, ანუ გაზოტრონი გამოდის წყობიდან.

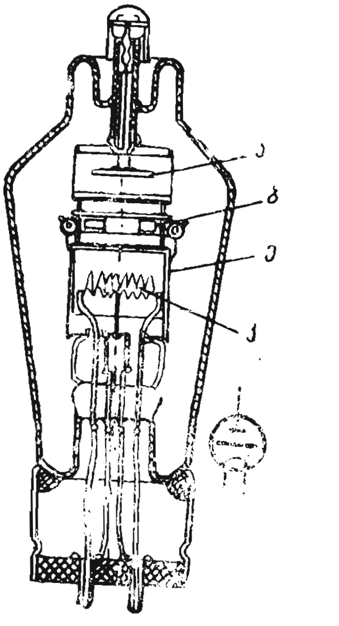
ძირითად პარამეტრებს, რომელთა ცოდნა აუცილებელია გაზოტრონის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის, წარმოადგენს: 1) ვარვარების ძაბვა და დენი: 2) გამართული დენის მაქსიმალური და საშუალო მნიშვნელობა; 3) ძაბვის ვარდნა გაზოტრონზე; 4) დასაშვები უკუძაბვა; 5) კათოდის შეთბობის დრო.

დასაშვები უკუძაბვა — ეს არის უარყოფითი ძაბვა ანოდზე, რომელსაც შეუძლია გაუძლოს გაზოტრონმა, მისი ვენტილად მოქმედების დაურღვევლად, ე. ი. უკურკალის აუნთებლად.

გაზოტრონები გამოიყენება არადიდი სიმძლავრის გამმართველებში (მაგალითად, აკუმულატორების დასამუხტავად, მართვის წრედების კვებისათვის და სხვ.).

ბ) ტირატრონი გავარვარებული კათოდით

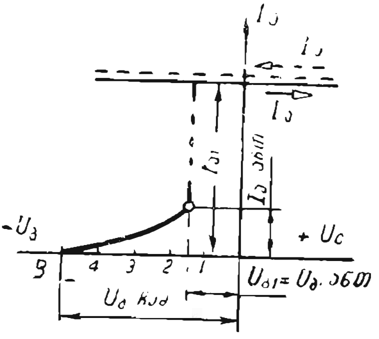
ტირატრონი გაზოტრონისაგან განსხვავდება მესამე ელექტროდით — ბადით (ნახ. 15-8), რომლის დანიშნულებაა რკალის ანთების დაწყების მომენტის მართვა. ტირატრონის კათოდი გარემოცულია ლითონის ეკრანით, რომლის ზედა ნახვრეტი დაფარულია ნახვრეტებიანი დისკოს ფორმის ბადით, ეკრანი გამორიცხავს ელექტრული ველის წარმოქმნას ანოდსა და კათოდს შორის ბადის გვერდის ავლით.



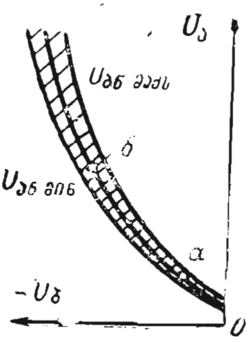
ნახ. 15-8. ტირატრონი და მისი პირობითი აღნიშვნა.

ბადეზე მოვდოთ კათოდის მიმართ უარყოფითი პოტენციალი. ამ შემთხვევაში ბადის ელექტრული ველი კათოდსა და ბადეს შორის სივრცეში მიმართული იქნება ტირატრონის ძირითადი ველის შემხვედრად და საკმაოდ დიდი ბადური ძაბვის $U_ბ > U_{ბ\,ჩაკ}$ დროს ტირატრონი იქნება ჩაკეტილი, ე. ი. ანოდური დენი არ არის. უარყოფითი ბადური ძაბვის შემცირებისას $U_{ბ\,ჩაკ}$-ზე რამდენადმე ნაკლებ მნიშვნელობამდე ანოდურ წრედში გაივლის მეტად მცირე დენი, რომელიც $U_ბ$ ძაბვის შემცირებით თანდათანობით გაიზრდება ისეთნაირადვე, როგორც ვაკუუმურ ტრიოდში (ნახ. 15-9). როცა ბადური ძაბვა შემცირდება $U_ბ = U_{ბ.\,ანთ}$ მნიშვნელობამდე, ელექტრონების მოძრაობის სიჩქარე საკმარისი აღმოჩნდება აირის იონიზაციისათვის, რკალი აინთება და წარმოიქმნება პლაზმა. ამ დროს ანოდური დენი ნახტომებით გაიზრდება I_{a1} მნიშვნელობამდე (ნახ. 15-9), რომელიც განისაზღვრება $R_a = R_{დატ}$ დატვირთვის წინაღობით და U_a ძაბვით. 15-9 ნახაზზე ანოდური დენის მასშტაბი რკალის ანთების მომენტამდე ერთია, ხოლო რკალის ანთების შემდეგ — სხვა.

რკალის ანთების მომენტიდან ანოდური დენი არაა დამოკიდებული ბადურ ძაბვაზე. ეს აიხსნება იმით, რომ ანთებული რკალის დროს ბადე დაფარულია დადებითი ფენით, რომლებიც ანეიტრალებენ ბადის უარყოფით მუხტებს და ის ვეღარ მოახდენს გავლენას ანოდურ დენზე. ამიტომ რკალის ჩასაქრობად საჭიროა ანოდური ძაბვა შევამციროთ თითქმის ნულამდე.



ნახ. 15-9. შესათბობი კათოდიანი ტირატრონის ანოდურ-ბადური მახასიათებელი.



ნახ. 15-10. ტირატრონის გასაშვები მახასიათებელი და არე.

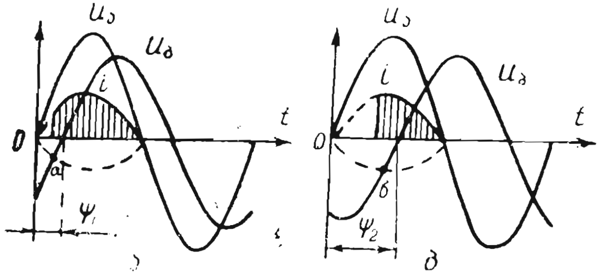
ბადესა და კათოდს შორის უცვლელი $U_გ$ ძაბვის დროს რკალის ანთება ხდება რაღაც ანოდური $U_ა$ ძაბვის დროს, მაშასადამე, ბადეზე ძაბვის ცვლილებით შეიძლება ვარეგულიროთ ანოდური $U_ა$ ძაბვა, რომლის დროსაც ინთება ტირატრონი.

$U_ა$ ბადურ ძაბვასთან $U_{ბად}$ დამოკიდებულების მრუდს ეწოდება ტ ი რ ა ტ რ ო ნ ი ს გ ა ს ა შ ვ ე ბ ი მ ა ხ ა ს ი ა თ ე ბ ე ლ ი (ნახ. 15-10). როცა ბადეზე განსაზღვრული ძაბვაა, ანოდური ძაბვის გაზრდისას ანთება შეიძლება მოხდეს ისეთი ძაბვის დროს, რომელიც საზღვარზე მდებარეობს $U_{ან. მინ}$-დან $U_{ან. მაქს}$-მდე. ვინაიდან ანთების ძაბვა დამოკიდებულია კოლბაში წნევაზე გარემომცველი გარემოს ტემპერატურაზე, ბადის წრედის წინაღობაზე, ვარვარების დენზე და ა. შ., ამიტომ გასაშვები მახასიათებლის მაგივრად ჩვეულებრივად იძლევიან გასაშვებ არეს, რომელიც შეზღუდულია $U_{ბად. მინ}$ და $U_{ბად. მაქს}$ მრუდებით (ნახ. 15-10).

ბადური დენის შესაზღუდავად ბადის წრედში რთავენ 1—100 კომ წინაღობას.

გამმართველის წრედში ტირატრონის მუშაობისას ის თითოეული პერიოდის განმავლობაში ერთხელ ინთება დადებითი ანოდური ძაბვის დროს და ერთხელ ქრება, როცა ანოდური ძაბვა ნულს უახლოვდება. ბადეზე მოვდოთ $U_გ$ ცვლადი ძაბვა, რომლის სიხშირე იგივე იქნება, რაც ანოდური $U_ა$ ძაბვისა, მაგრამ ამ უკანასკნელისაგან დაძრულია ფაზაში

φ_1 კუთხით (ნახ. 15-11, ა). ამ შემთხვევაში ანთება მოხდება, როცა უარყოფითი ბადური ძაბვა მცირდება, ხოლო ანოდური იზრდება ისეთნაირად, რომ ორივე ძაბვა შეესაბამებოდეს გასაშვები მახასიათებლის (ნახ. 15-10) *a* წერტილს.



ნახ. 15-11. ძაბვისა და დენის მრუდები ტირატრონში ანოდურ და ბადურ ძაბვებს შორის სხვადასხვა ძვრის კუთხის დროს.

ბადური ძაბვის ფაზის შეცვლით შეიძლება შევცვალოთ ტირატრონის ანთების მომენტი (ნახ. 15-10, ბ წერტილი). ამგვარად, შეიძლება ვარეგულიროთ ანოდური დენის დინების ხანგრძლივობა პერიოდის განმავლობაში, ე. ი. შეიძლება ვარეგულიროთ დენისა და ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა (ნახ. 15-11, ბ).

ტირატრონები გამოიყენება ცვლადი დენის წრედში სიხშირით არა უმეტესი 1—10 კჰც, რადგან მეტი სიხშირის დროს ბადესთან მყოფი მუხტი ვერ ასწრებს შეწოვას და ტირატრონის მართვა შეუძლებელი ხდება.

ტირატრონები გამოიყენება გამმართველებში, ინვერტორებში, მუდმივი დენის ცვლადად გარდამქმნელებში, ავტომატიკაში, ტელემექანიკაში და ა. შ.

15-3. ფუჟვადი განმუხტვის ხელსაწყოები

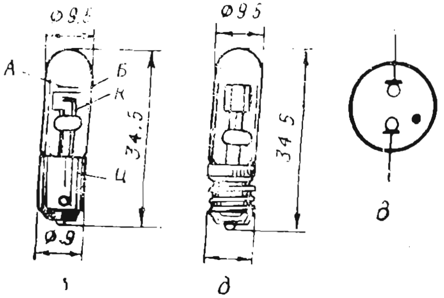
ა) ნეონის ნათურა — ფუჟვადი განმუხტვის სინათლის ინდიკატორი

უმეტეს ინდიკატორებში იყენებენ კათოდის ნათებას, რომელიც ჩნდება ელექტრული ენერგიის გარდაქმნის შედეგად.

საკმაოდ კარგი ნათების მისაღებად ინდიკატორის ბალონს ავსებენ ნეონით ან ნეონის არგონთან ნარევით 2500—4000 ჰა (20—30 მმ ვერცხ. წყ. სვ.) წნევის დროს. ამიტომ სინათლის ინდიკატორებს ხშირად უწოდებენ ნეონის სასიგნალო ნათურებს. სინათლის ინდიკატორები მზადდება ორ ან მრავალ ელექტროდიანი, ამ უკანასკნელს ასევე უწოდებენ ციფრისებრ ნათურებს, რადგან მათ კათოდებს ციფრის ფორმა აქვს.

ცვლადი დენის წრედებისათვის გათვალისწინებული ორელექტროდიანი ინდიკატორების ელექტროდები ერთნაირი კეთდება, მაგალითად, დისკოს სახით, ხოლო მუდმივი დენის წრედებისათვის გათვალისწინებული ინდიკატორების კათოდებს აძლევენ სხვადასხვა ფორმას.

TH—0,2 და TH—0,3 ტიპის (ნახ. 15-12) მცირე გაბარიტის ინდიკატორები იკვებება მუდმივი ძაბვის წყაროდან. მათი სიმძლავრე შეადგენს ვატის ნაწილს.



ნახ. 15-12. სინათლის ინდიკატორები—ნეონის ნათურა (ა და ბ) და მათი პირობითი აღნიშვნა (გ).

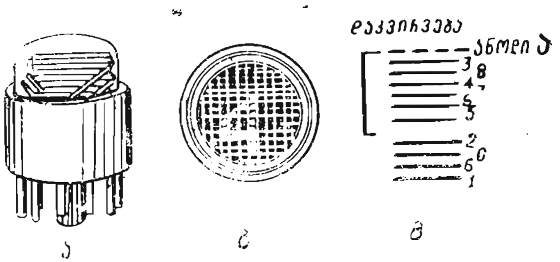
TH—0,2 ტიპის (ნახ. 15-12, ა) ინდიკატორის ანოდს რგოლის, ხოლო კათოდს ქანგით დაფარული დისკოს ფორმა აქვს.

TH—0,3 ტიპის (ნახ. 15-12, ბ) ინდიკატორის ანოდი დამზადებულია 3 მმ-იანი მავთულის სახით, კათოდი—ქანგით დაფარული ცილინდრის სახით. ზემოგანხილული ინდიკატორები გამოიყენება, როგორც სასიგნალო ნათურები.

ფუქვადი განმუხტვის ანთების ძაბვა ყოველთვის რამდენადმე მაღალია განმუხტვის ანთების ძაბვაზე, ამიტომ ინდიკატორების გადატვირთვის თავიდან აცილების მიზნით მათთან მიმდევრობით რთავენ ბალასტურ წინაღობას. ნორმალური გაბარიტის, მაგალითად, TH—03 ტიპის ინდიკატორებში ისინი მოთავსებულია ცოკოლში, ხოლო მცირე გაბარიტის ინდიკატორებში — გარედან.

ციფრისებრი ინდიკატორები, ანუ ციფრისებრი ნათურები საშუალებას იძლევა უშუალოდ ვაწარმოოთ საკონტროლო სიდიდეთა რიცხობრივი მნიშვნელობის ვიზუალური ათვლა.

ციფრისებრ ნათურაში (ნახ. 15-13, ა) თავსდება ათი მავთულის (ვოლფრამის) კათოდი, რომლებიც შეესაბამება ათნიშნა ციფრებს 0—9. თხელი ბადის მსგავსი ანოდი (ნახ. 15-13, ბ) მოთავსებულია კათოდის წინ. ის ელექტრულად დაკავშირებულია კათოდების გარემომცველ გვერდით ეკრან-



ნახ. 15-13. ციფრებიანი ინდიკატორი.
ა — გარე ხედი გვერდიდან; ბ — ხედი ტორსიდან
გ — ელექტროდების განლაგება.

თიან, რაც უზრუნველყოფს თითქმის ერთნაირ მანძილს ანოდსა და თითოეულ კათოდს შორის.

კათოდების განლაგების წესი (ნახ. 15-13, გ), რომელთა ციფრობრივი მნიშვნელობა ნახაზზე ნაჩვენებია მარჯვნივ, უზრუნველყოფს მოცემულ მომენტში მნათი კათოდის მინიმალურ დაბნელებას.

კათოდების ჩართვა ხდება სპეციალური კომუტატორის მეშვეობით.

ბ) სტაბილიტრონი

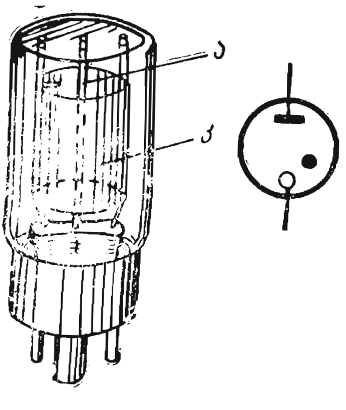
ფუევადი განმუხტვის ხელსაწყოს, რომელიც გამოიყენება ძაბვის სტაბილიზაციისათვის, ანუ დატვირთვაზე ან მუდმივი დენის წრედის განსაზღვრულ უბანზე უცვლელი ძაბვის შესანარჩუნებლად, ეწოდება ფ უ ე ვ ა დ ი   გ ა ნ მ უ ხ ტ ვ ი ს ,   ა ნ უ   ა ი რ-გ ა ნ მ უ ხ ტ ვ ი ს   ს ტ ა ბ ი ლ ი ტ რ ო ნ ი.

სტაბილიტრონი შედგება მინის ბალონისაგან (ნახ. 15-14), რომელშიაც მოთავსებულია ცილინდრული K კათოდი და მის ღერძზე — მავთულის A ანოდი. ბალონი შევსებულია არგონ-ნეონის, არგონ-ჰელიუმის ან სხვა ინერტული აირების ნარევით 2500 — 4000 პა (20 — 30 მმ ვერცხ. წყ. სვ) წნევაზე.

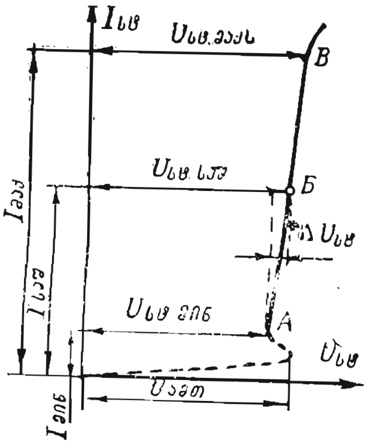
კათოდი მზადდება ფოლადის, ნიკელის ან მოლიბდენისაგან და გამოსასვლელი მუშაობის შესამცირებლად შიგა მხრიდან აქტიურდება ბარიუმით ან ცეზიუმით.

სტაბილიტრონის ვოლტამპერული მახასიათებლის $АБВ$ მუშა უბანი განლაგებულია ორდინატთა ღერძის თითქმის პარალელურად (ნახ. 15-15).

სტაბილიტრონი ჩაირთვება დატვირთვის პარალელურად $R_{დატ}$ წინაღობით (ნახ. 15-16). განშტოებული უბნის მიმდევრობით რთავენ რეზისტორს $R_{ბალ}$ ბალასტური წინაღობით.



ნახ. 15-14. სტაბილიტრონი და მისი პირობითი აღნიშვნა.



ნახ. 15-15. აირგანმუხტვის სტაბილიტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

დენი რეზისტორში კვების წყაროს დენის ტოლია, ე. ი.

$$I = I_{სტ} + I_{დატ}.$$

შესასვლელი ძაბვა ტოლია ძაბვების ვარდნათა ჯამისა ბალასტურ წინაღობაზე $U_{ბალ} = IR_{ბალ}$ და დატვირთვის წინაღობაზე ან სტაბილიტრონზე, ე. ი.

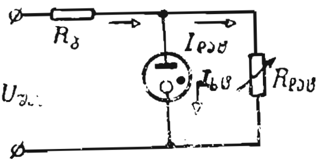
$$U_{შეს} = U_{ბალ} + U_{სტ} = IR_{ბ} + U_{სტ}.$$

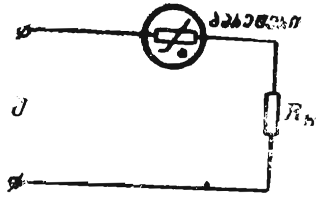
შესასვლელი ძაბვის მნიშვნელოვანი ცვლილება იწვევს ძაბვის თითქმის ანალოგიურ ცვლილებას ბალასტურ რეზისტორზე ($\Delta U_{შეს} \approx \Delta U_{ბ}$) და ძაბვის უმნიშვნელო ცვლილებას სტაბილიტრონზე. ეს აიხსნება იმით, რომ ძაბვის უმნიშვნელო ნამატს სტაბილიტრონზე ($\Delta U_{სტ}$) შეესაბამება $\Delta I_{სტ}$ და ΔI დენების მნიშვნელოვანი ნამატი, მაშასადამე, $\Delta U_{ბალ}$ ძაბვის მნიშვნელოვანი ნამატი.

უცვლელი ძაბვის დროს დატვირთვის დენის გაზრდა იწვევს დენის შემცირებას სტაბილიტრონში და ძაბვის უმნიშვნელო შეცვლას დატვირთვაზე.

სტაბილიზატორის მუშაობა ფასდება სტაბილიზაციის კოეფიციენტით, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ მეტია შესასვლელი ძაბვის ფარდობითი ცვლილება დატვირთვაზე ძაბვის ფარდობით ცვლილებაზე, ე. ი.

$$k_{სტ} = \frac{\Delta U_{შეს}/U_{შეს}}{\Delta U_{დატ}/U_{დატ}} = \frac{\Delta U_{შეს} \cdot U_{დატ}}{\Delta U_{დატ} \cdot U_{შეს}}. \qquad (15\text{-}3)$$





ნახ. 15-16. სტაბილიზატორის სქემა აირგანმუხტვის სტაბილიტ-რონით.

ნახ. 15-17. ბარეტერის ჩართვის სქემა.

დიდი სტაბილიზებული ძაბვის მისაღებად რამდენიმე სტაბილიტრონს რთავენ მიმდევრობით.

სტაბილიტრონები მზადდება 70 ვ და მეტ ძაბვაზე და 5-დან 40 მა-მდე დენზე.

გ) ბარეტერი

ბარეტერი ეწოდება ელექტროვაკუუმურ არააირგანმუხტვის ხელსაწყოს, რომელსაც იყენებენ მუდმივი დენის შესანარჩუნებლად წრედში, როცა კვების ძაბვა იცვლება.

ბარეტერი შედგება მინის ბალონისაგან, რომლის შიგნით ჩამაგრებულია რკინის ან ვოლფრამის მავთული. ბარეტერის ბალონს ავსებენ წყალბადით 6000—25000 პა (50—200 მმ ვერცხ. წყ. სვ) წნევაზე.

ბარეტერის ძაფების გაცივებისა და გახურების პირობები ისეთნაირად არის შერჩეული, რომ მის მომჭერებზე ძაბვის ცვლილება იწვევს ძაფის წინაღობის თითქმის პროპორციულ ცვლილებას. ამგვარად, ცნობილ საზღვრებში ძაბვის ცვლილება იწვევს დენის უმნიშვნელო ცვლილებას.

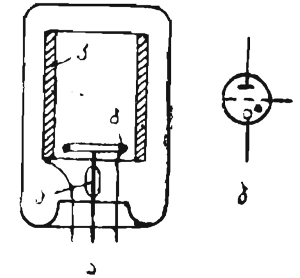
თუ ბარეტერს ჩავრთავთ დატვირთვასთან მიმდევრობით (ნახ. 15-17), მივიღებთ დენის უმნიშვნელო ცვლილებას წრედში, დენის წყაროს ძაბვის მნიშვნელოვანი ცვლილების დროსაც კი. თუ დატვირთვის წინაღობა მუდმივია, მაშინ ქსელში ძაბვის შეცვლისას თითქმის მუდმივი იქნება არა მარტო დენი, არამედ ძაბვაც დატვირთვაზე.

ბარეტერი შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც მუდმივი, ისე ცვლადი დენის წრედში. რადგან მასზე არ მოქმედებს დენის სწრაფი შეცვლა.

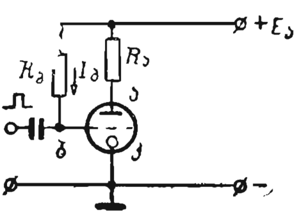
ბარეტერს აქვს მნიშვნელოვანი ინერცია, რომელიც 1—3 წუთს აღწევს. ზოგიერთ დარგში ბარეტერები საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება. ასე, მაგალითად, მორეული კავშირგაბმულობის ტექნიკაში ისინი გამოიყენებიან დენის, სტაბილიზაციისათვის ელექტრონული ელექტრონმილაკების ვარვარების წრედებში.

დ) ფუძვადი განმუხტვის, ანუ ცივკათოდიანი ტირატრონი

ცივკათოდიანი ტირატრონი — ეს არის ფუძვადი განმუხტვის იონური ხელსაწყო. მათ შორის ყველაზე მარტივი ხელსაწყო შედგება სამელექტროდიანი ბალონისაგან (ნახ. 15-18), A ანოდისაგან, K კათოდისა და C მმართველი ბადისაგან. აირის შედგენილობა და წნევა ისეთივეა, როგორც სტაბილიტრონში.



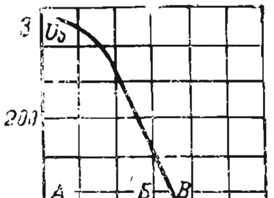
ნახ. 15-18. ფუძვადი განმუხტვის ტირატრონი (ა) და მისი პირობითი აღნიშვნა (ბ).



ნახ. 15-19. ფუძვადი განმუხტვის ტირატრონის ჩართვის სქემა.

ტირატრონის კათოდი ცილინდრულია და გააქტივებულია, ხოლო ანოდი მოლიბდენისაა და ღეროს ფორმა აქვს. ბადე წარმოადგენს რგოლს ან ნიკელის ღრუ ცილინდრს, რომელიც გარს ეცმის ანოდს.

კვების $E_ა$ წყარო (ნახ. 15-19) კათოდსა და ბადეს შორის ქმნის $U_ა$ ძაბვას და მათ შორის წარმოიქმნება დამხმარე წყნარი განმუხტვა, რომელიც კოლბაში გამოიწვევს აირის საწყის იონიზაციას. თუ სქემის შესასვლელ მომჭერებზე მოვდებთ ძაბვის დადებით იმპულსს, ბადის წრედში $I_გ$ დენი (ნახ. 15-20, $AБ$ მონაკვეთი) გაიზრდება $\Delta I_გ$ სიდიდით ($БB$ მონაკვეთი), კათოდსა და ბადეს შორის ბნელი განმუხტვა გადაიზრდება ფუძვადში და თუ ანოდსა და კათოდს შორის $U_ა$ ძაბვა საკმარისია განმუხტვის შესანარჩუნებლად, ის გადადის ანოდზე.



ნახ. 15-20. ფუძვადი განმუხტვის ტირატრონის ანთების მახასიათებელი.

ტირატრონის ანთების შემდეგ ბადე აღარ ახდენს გავლენას ტირატრონის დენზე. ბადის წრედში $I_გ$ დენი შეადგენს ერთეულებს ან ათეულ მიკროამპერს, ხოლო $I_ა$ დენი ანოდის წრედში — ერთეულს ან ათეულ მილიამპერს.

ტირატრონის ანთების მახასიათებელი

(ნახ. 15-20) ეწოდება ანთების ძაბვის — $U_{\text{ანთ}}$ დამოკიდებულებას ბადის $I_{\text{ბ}}$ დენთან. რაც მეტია ბადის $I_{\text{ბ}}$ დენი, მით მეტია იონიზაცია, განმუხტვის შუალედში და მით ნაკლებია ანთების ძაბვა, მაგრამ არანაკლები მუშა სიდიდეზე.

ტირატრონის ჩაქრობა ხდება ან ანოდური წრედის განრთვით, ან ანოდური ძაბვის მუშა სიდიდეზე დაბლა შემცირებით.

ზემოთ განხილული ტირატრონების ღირსებაა მისი მცირე ზომები და მასა, მაღალი მექანიკური სიმტკიცე, სამუშაო ტემპერატურის ფართო დიაპაზონი (—60÷+100°C), ხანგამძლეობა, დიდი ეკონომიურობა (არ არის ვარვარების წრედი), ნაკლოვანებაა მახასიათებლის არასტაბილურობა.

ფუძევადი განმუხტვის ტირატრონები გამოიყენება ავტომატიკის სქემებსა და სხვა დარგებში, როგორც უკონტაქტო რელეები.

15-4. დამოუკიდებელი რკალური განმუხტვის ხელსაწყოები

ა) ზოგადი შენიშვნები

დამოუკიდებელი რკალური განმუხტვის ძირითად ხელსაწყოს, რომელსაც ერთმხრივი გამტარობა ახასიათებს, წარმოადგენს ვ ე რ ც ხ ლ ი ს წ ყ ლ ი ს ვ ე ნ ტ ი ლ ი.

ვერცხლისწყლის ვენტილები წარმოადგენს უმთავრესად გავრცელებულ აირგანმუხტვის ხელსაწყოებს დიდი სიმძლავრის გამმართველებში.

ვერცხლისწყლის ვენტილებში კათოდად გამოყენებულია ვერცხლისწყალი. მისი გამოყენება პრაქტიკულად უზრუნველყოფს კათოდის განუსაზღვრელი დროით სამსახურს და მის დიდი ემისიის შესაძლებლობას.

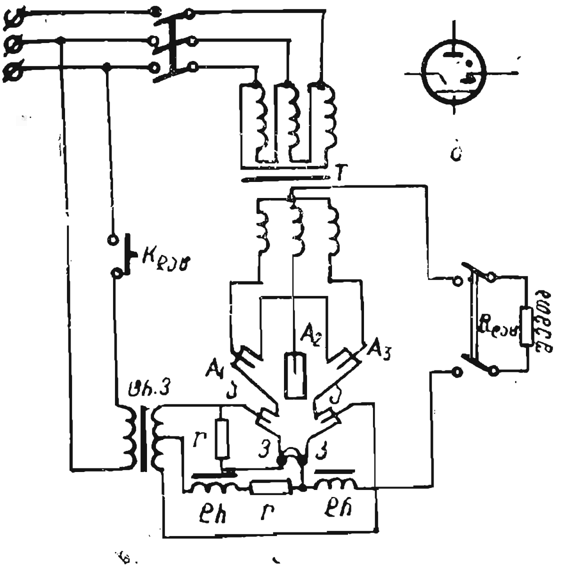
ამჟამად ყველა ვერცხლისწყლის ვენტილები მზადდება ლითონის კორპუსებით.

ვერცხლისწყლის ვენტილები, კათოდზე დამხმარე რკალის მიღებისა და შენარჩუნების ხერხების მიხედვით, იყოფა ორ ჯგუფად — ე ქ ს ი ტ რ ო ნ ე ბ ა დ და ი გ ნ ი ტ რ ო ნ ე ბ ა დ. პირველი მათგანს, მთავარი ანოდების გარდა აქვს აგზნების დამხმარე ანოდები, რომლებიც ამუშავების დროს აღძრავენ რკალს და ინარჩუნებენ მას ნაწილობრივ დატვირთვის მოხსნისას. იგნიტრონებს არა აქვთ აგზნების დამხმარე ანოდები. მათ აქვთ ე ლ ე ქ ტ რ ო დ ა მ ნ თ ე ბ ი, რომლებიც ცვლადი ძაბვის თითოეული დადებითი ნახევარპერიოდის წინ ნაპერწკლით ანთებს რკალს.

ბ) ექსიტრონი

ამჟამად მზადდება მრავალანოდიანი ლითონის ვენტილები ან რამდენიმე ერთფაზიანი ლითონის ვენტილების კომპლექტი რამდენიმე ათას ამპერ დენზე, საშუალო მნიშვნელობის ძაბვასა და რამდენიმე ასეულ ამპერამდე მაღალი ძაბვის დროს.

სამანოდიანი სამფაზიანი ექსიტრონის მოწყობილობისა და შეერთების სქემა ნაჩვენებია 15-21 ნახაზზე.



ნახ. 15-21. სამფაზა ექსიტრონის ჩართვის სქემა, მოწყობილობა (ა) და მისი პირობითი აღნიშვნა (ბ).

ლითონის ჭურჭელში, რომელშიაც შექმნილია ვაკუუმი, განლაგებულია: ვერცხლისწყლის K კათოდი, სამი მთავარი მუშა A_1, A_2 და A_3 ანოდი და ორი აგზნების დამხმარე $A_{აგზ}$ ანოდი. სამი მთავარი ანოდი მიერთებულია სამფაზიანი ტრანსფორმატორის სამ მეორეულ გრაგნილთან. ეს გრაგნილები შეერთებულია ვარსკვლავად, რომლის ნულოვანი წერტილი წარმოადგენს დატვირთვის წრედის მინუსს. აგზნების $A_{აგზ}$ ანოდები იკვებება დამხმარე $T_{pდამხ}$. ტრანსფორმატორიდან. ის გამოიყენება დამხმარე რკალის შესანარჩუნებლად დატვირთვის $R_{დატ}$ წინაღობის მიუხედავად.

გამმართველის ასამუშავებლად რთავენ K_{61} ღილაკებს, რითაც ძაბვას მიაწოდებენ დამხმარე $T_{p\,დამხ}$ ტრანსფორმატორს. ამ ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ზედა ნახევრის ემ ძალის მოქმედებით დენი გაივლის r_0 რეზისტორის წრედში 3-ნახევარგამტარის 3 ამნთებში, K — ვერცხლისწყლის კათოდში, $r_{აგზ}$ — რეზისტორსა და D_p — დროსელში. ნახევარგამტარის ამნთები — ბარიუმის კარბიდის ღერო არ სველდება ვერცხლისწყალში, ამიტომ ღეროსა და ვერცხლისწყალს შორის დენის გავლის დროს წარმოიქმნება სუსტი ნაპერწკალი, რომლებიც გამოიწვევენ იონიზაციას. ელექტრული ველის მოქმედებით ელექტრონები კათოდიდან მიემართება იმ დამხმარე $A_{აგზ}$ ანოდისაკენ, რომლის

პოტენციალი აღებული დროის მომენტში დადებითია კათოდის მიმართ. მოძრაობის დროს ელექტრონები დააიონებენ ვერცხლისწყლის ორთქლს, კათოდსა და დამხმარე ანოდს შორის სივრცე შეივსება პლაზმით და ელექტროდებს შორის დაიწყება რკალური განმუხტვა. პირველი დამხმარე ანოდის პოტენციალის შემცირებითა და მეორე ანოდის პოტენციალის პირველთან შედარებით გაზრდისას რკალი პირველი დამხმარე ანოდიდან გადავა მეორეზე.

პლაზმაზე ძაბვის ვარდნა მცირეა და ვენტილზე ძაბვის ვარდნის დიდი ნაწილი მოდის ვერცხლისწყლის კათოდის მიმდებარე ფენაზე — კათოდსა და იონურ ღრუბელს შორის ფენაზე, რომელიც წარმოიქმნება კათოდიდან რაღაც მანძილზე. ველის დაძაბულობა ამ ფენაში დიდ მნიშვნელობას აღწევს (10^6 ვ/სმ-მდე) და ამ ველის მოქმედებით კათოდის ზედაპირიდან ხდება ელექტრული ემისია. ემისიის წყაროს წარმოადგენს კათოდის ზედაპირზე განუწყვეტლივ მოძრავი მნათი ვერცხლისწყლის ლაქა.

ლაქისა და, მაშასადამე რკალის შესანარჩუნებლად, ანოდური დენი არ უნდა შემცირდეს 4-5 ა-ზე ქვემოთ.

ანოდური ძაბვის შემცირებისას რაღაც კრიტიკულ მნიშვნელობაზე ქვემოთ, ერთ-ერთ ანოდზე დრ-დროსელი (ნახ. 15-21) ინარჩუნებს რკალისათვის საჭირო დენს, ვიდრე საკმაო დენი არ გაივლის მეორე ანოდში, ანოდური ძაბვის ნიშნის შეცვლის დროს. ამგვარად, მიიღება უწყვეტი რკალი და დენი წრედში: დამხმარე ანოდში — კათოდში — ბალ. რეზისტორში — დრ დროსელში — დამხმარე ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ნულოვან წერტილში.

ანოდსა და კათოდს შორის ძაბვის ნიშნის შეცვლისას, ე. ი. უკუანთების დროს ელექტროდებს შორის წარმოიქმნება უმნიშვნელო საწინააღმდეგო მიმართულების დენი.

სამფაზიანი ტრანსფორმატორისა და დატვირთვის ჩართვის დროს რკალი ინთება კათოდსა და იმ მთავარ ანოდს შორის, რომლის პოტენციალი კათოდის მიმართ მეტი იქნება, ვიდრე დანარჩენი ორისა. შემდეგ რკალი გადადის მეორე, მესამე მუშა ანოდზე და ა. შ. ამგვარად, დენი თითოეულ მუშა ანოდში გადის მხოლოდ 1/3 პერიოდის განმავლობაში (§ 18-3).

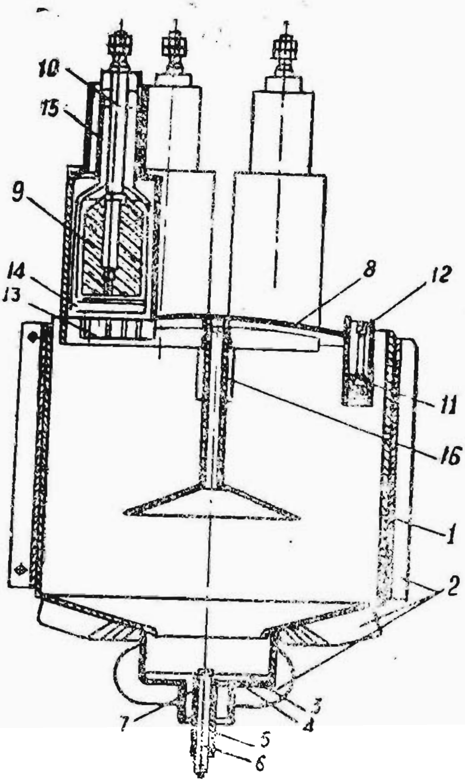
ვენტილზე ძაბვის ვარდნა შედარებით დიდი არაა (20-25 ვ-მდე).

15-22 ნახაზზე ნაჩვენებია ლითონის ერთანოდიანი ექსიტრონი საჰაერო გაცივებით, რომლის დენის სახელობითი მნიშვნელობაა 500 ა (РМ—500 ტიპი).

წიბოვანი (2) კორპუსის (1) ქვედა ნაწილში მოთავსებულია კათოდის ჯამი (3), რომელიც შევსებულია კათოდის (4) ვერცხლისწყლით. კათოდის გამომყვანი (5), ანოდების გამომყვანი (6) და ანოდები (7) განლაგებულია ექსიტრონის ჯამის ქვედა ნაწილში. სახურავზე (8) დამაგრებულია ცეცხ

მთავარი ანოდი (9) გამომყვანებით (10), აგზნების ანოდები (11) გამომყვანებით (12). დეიონიზაციის ფილტრი (13) ზღუდავს იონების მისვლას ანოდამდე (9) და მმართველ ბადემდე (14) გამომყვანით (15), რომელიც არეგულირებს ანთების მომენტს. და ბოლოს ეკრანი (16) იცავს ანოდებსა და ბადეს ვერცხლისწყლის ორთქლის აღმავალი ჭავლისაგან.

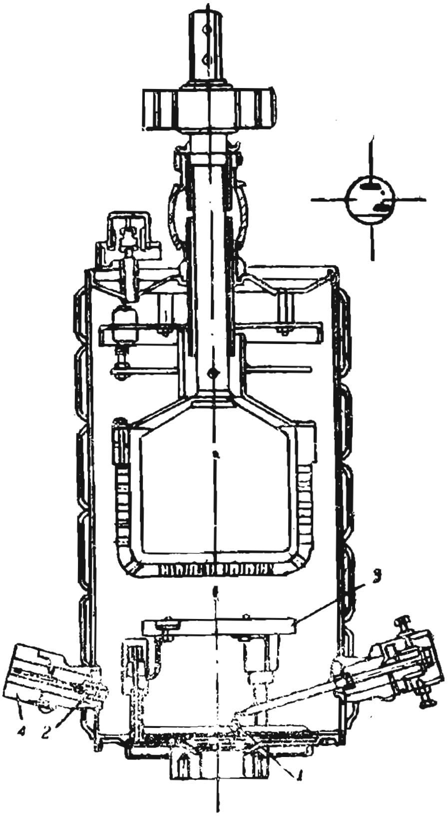
PMHB—500 ტიპის ერთანოდიანი მძლავრი ექსიტრონის მოწყობილობა 500 ა საშუალო დენით ნაჩვენებია 15-23 ნახაზზე.



ნახ. 15-22. ერთანოდიანი ექსიტრონიანი ვენტილის მოწყობილობა საგზნო ანოდებით.

ანოდები წარმოადგენენ მასიური გრაფიტის ნახევარგამტარის წაწვეტებულ ღეროს. ანოდებში ღეროს იმპულსის დროს მისი ვერცხლისწყალთან შეხების საზღვარზე წარმოიქმნება სუსტი ნაპერწკალი, რომელიც სწრაფად გადადის კათოდსა და ანოდს შორის რეალურ განმუხტვაში. აგზნების ანოდი (2) წარმოადგენს გრაფიტის ღეროს, რომელიც მოთავსებულია ცალკე მილყელში (4). გრაფიტის ეკრანი (3) ანოდს იცავს ვერცხლისწყლის

ჭავლისა და წვეთებისაგან და ამავე დროს გამოიყენება, როგორც დეიონიზაციის ფილტრი. მმართველი ბადე შემოწვდომილია ანოდზე ქვედა და გვერდითი მხრიდან. წყლის პერანგი, რომელსაც სპირალური არხის სახე აქვს, გამოიყენება გაცივებისათვის.



ნახ. 15-23. ერთანოდიანი მძლავრი ექსიტრონის მოწყობილობა და მისი პირობითი აღნიშვნა.

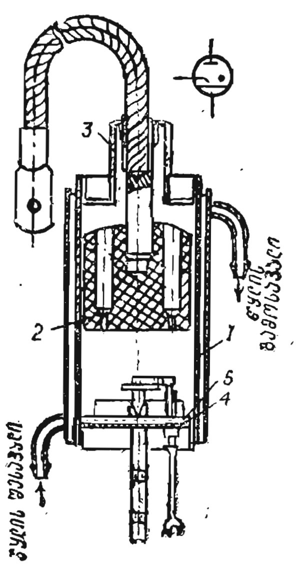
გ) იგნიტრონი

15-24 ნახაზზე ნაჩვენებია მცირე სიმძლავრის ლითონის იგნიტრონის მოწყობილობა და მისი პირობითი გრაფიკული აღნიშვნა. კორპუსი (1) წარმოადგენს ფოლადის ცილინდრს, რომელიც წყლის პერანგში გამავალი წყლით ცივდება. კორპუსში მოთავსებულია გრაფიტის ანოდი (2), მისი იზოლაცია მინის იზოლატორი (3). კათოდი წარმოადგენს ლითონის ჯამს (4) ვერცხლისწყლით (5), ამნთები — ბარიუმის კარბიდის ღეროს.

რკალის ანთება ხდება ანოდური ძაბვის თითოეული პერიოდის საწყისში.

ვენტილის ღირსებაა ძაბვის მცირე ვარდნა 15—20 ვ და მაღალი მქ კოეფიციენტი, რომელიც 98—99%-მდე აღწევს.

იგნიტრონები გამოიყენება გამმართველ და შესადუღებელ დანადგარებში.



ნახ. 15-24. მცირე სიმძლავრის ლითონის იგნიტრონის მოწყობილობა და მისი პირობითი აღნიშვნა.

15-5. აირგანმუხტვის ხელსაწყოების აღნიშვნები

აღნიშვნის პირველი ელემენტი — ასო უჩვენებს ხელსაწყოს ტიპს: СГ — სტაბილიტრონი; ТГ — ტირატრონი აირული შევსებით; Тр — ტირატრონი ვერცხლისწყლის შევსებით; ТГР — ტირატრონი შერეული შევსებით; ТХ — ფუქვადი განმუხტვის ტირატრონი; ГГР — გაზოტრონი შერეული შევსებით; ГХ — ფუქვადი განმუხტვის გაზოტრონი; ГГ — გაზოტრონი აირული შევსებით; ГР — გაზოტრონი ვერცხლისწყლის შევსებით; И — იგნიტრონი; Э — ექსიტრონი; ИН — ფუქვადი განმუხტვის ინდიკატორი; СН — სასიგნალო (ნეონის) ნათურა.

მეორე ელემენტი — რიცხვი აღნიშნავს ხელსაწყოს ტიპის რიგით ნომერს.

მესამე ელემენტი აღნიშნავს: ა) მცირე სიმძლავრის ტირატრონებისათვის — ფუქვად განმუხტვას, სტაბილიტრონებისათვის — ასო გვიჩვენებს ბალონის კონსტრუქციულ გაფორმებას (როგორც ვაკუუმურ მილაკებში); ბ) გაზოტრონების, იგნიტრონებისა და ექსიტრონებისათვის — წილადი რიცხვი, რომლის მრიცხველში მოცემულია დენის საშუალო მნიშვნელობა კილოვოლტობით.

მაგალითად: ИН—1 პირველი ტიპის ინდიკატორული ნეონის ნათურა; СГ—3С — მესამე ტიპის სტაბილიტრონი მინის ბალონში დიამეტრით 22,5 მმ-ზე მეტი; Э1—10/1,5 პირველი ტიპის ექსიტრონი (ერთანოდიანი, ლითონის ბალონით), დენის საშუალო მნიშვნელობა 10 ა, დასაშვები უკუძაბვა 1,5 კვ; ТГ1—0,1/0,3 — პირველი ტიპის ტირატრონი აირული შევსებით, დენის საშუალო მნიშვნელობა 0,1 ა, უკუძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა 0,3 კვ.

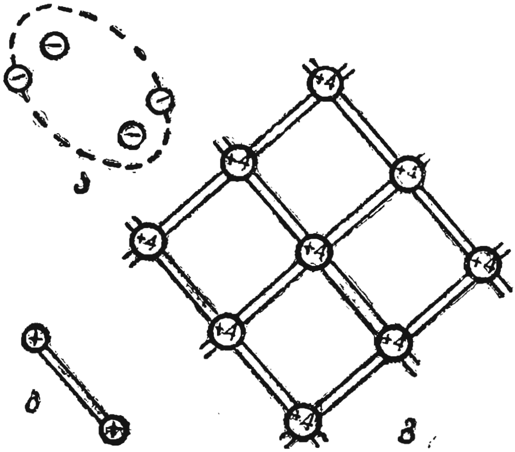
ნახევარგამტარების ხელსაწყოები და მათი გამოყენება

16-1. ნახევარგამტარების საკუთარი ელექტროგამტარობა

ნახევარგამტარი ეწოდება მასალას, რომელსაც საშუალედო ადგილი უჭირავს გამტარებსა და დიელექტრიკებს შორის. გამტარების კუთრი ელექტრული წინაღობა 10^{-8}—10^{-5} ომ. მ ზღვრებში, ნახევარ-გამტარებისა 10^{-5}—10^{7} ომი·მ, დიელექტრიკებისა —10^{7}—10^{16} ომი·მ.

ნახევარგამტარებისათვის დამახასიათებელია გამტარობის ძლიერი დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, ელექტრულ ველზე, განათებაზე, კუმშვაზე და ა. შ. გამტარებისაგან განსხვავებით, მათ აქვთ არა მარტო ელექტრონული, არამედ „ხვრელური" ელექტროგამტარობაც.

ელექტრონიკაში ფართოდ გამოიყენება გერმანიუმი, კაჟბადი, არსენიდი, გალიუმი და სელენი.



ნახ. 16-1. ნახევარგამტარის კრისტალური გისოსი.
ა — ატომების წყვილელექტრონული (კოვალენტური) კავშირი; ბ — მისი სქემატური გამოსახულება; გ) კავშირები გერმანიუმის კრისტალურ გისოსში.

ორი მეზობელი ატომის ქიმიურ კავშირს, რომელიც განპირობებულია ერთ ორბიტაზე ელექტრონების საერთო წყვილების წარმოქმნით (ნახ. 16-1, ა), უწოდებენ წყვილელექტრონულ, ანუ კოვალენტურ კავშირს.

ის პირობით გამოისახება ატომების მაერთებელი ორი ხაზით (ნახ. 16-1, ბ). მაგალითად, გერმანიუმი მიეკუთვნება მენდელეევის ელემენტთა პერიოდული სისტემის მეოთხე ჯგუფის ელემენტებს. მაშასადამე, მას გარე ორბიტაზე აქვს ოთხი ვალენტური ელექტრონი. თითოეული ატომი გერმანიუმის კრისტალში წარმოქმნის წყვილელექტრონულ კავშირებს ოთხი მეზობელი ატომით (ნახ. 16-1, გ).

აბსოლუტურ ნულთან ახლო ტემპერატურაზე და მინარევების უქონლობის დროს ატომების ყველა ვალენტური ელექტრონი გერმანიუმის კრისტალში ურთიერთდაკავშირებულია, თავისუფალი ელექტრონები არ არის: მაშასადამე, კრისტალს არა აქვს გამტარობა. ტემპერატურის ამაღლებისას ან დასხივების დროს ნაწილი ელექტრონების ენერგია იზრდება, რაც იწვევს კოვალენტური კავშირების ნაწილობრივ დარღვევას და თავისუფალი ელექტრონების წარმოქმნას. გერმანიუმი ოთახის ტემპერატურაზედაც კი შეიძლება გახდეს ნახევარგამტარი. გარე ელექტრული ველის მოქმედებით თავისუფალი ელექტრონები გადაადგილდება და უზრუნველყოფს ელექტრონულ ელექტროგამტარობას.

თავისუფალი ელექტრონის წარმოქმნის მომენტში კოვალენტურ კავშირებში უნდა გაჩნდეს თავისუფალი (ვაკანტური) ადგილი — „ელექტრონული ხვრელი". ხვრელის არსებობისას მეზობელი კავშირის რომელიმე ელექტრონს შეუძლია დაიკავოს ხვრელის ადგილი და ამ ადგილზე აღდგება ნორმალური კავშირი, მაგრამ ნორმალური კავშირი ირღვევა იმ ადგილზე, საიდანაც წამოვიდა ელექტრონი; ეს ახალი ხვრელი შეუძლია დაიკავოს კიდევ რომელიღაც ელექტრონმა და ა. შ. გარე ელექტრული ველის მოქმედებით ხდება ამ ხვრელების გადაადგილება ველის მიმართულებით, ანუ ელექტრონების გადაადგილების მიმართულების საწინააღმდეგო მიმართულებით. ხვრელების გადაადგილება ეკვივალენტურია დადებითი მუხტების გადაადგილებისა. ამ პროცესს უწოდებენ ხვრელურ ელექტროგამტარობას. თუ ელექტრონული ელექტროგამტარობის დროს ერთი თავისუფალი ელექტრონი გაივლის მთელ გზას კრისტალში, მაშინ ხვრელური გამტარობის დროს ელექტრონების დიდი რიცხვი რიგრიგობით ცვლიან ერთმანეთს კავშირებში, ე. ი. ადგილი აქვს თითქოს ელექტრონების ესტაფეტას, რომლის დროსაც თითოეული ელექტრონი გადის ამ თავის გზას. ამგვარად, ნახევარგამტარის ელექტროგამტარობა შედგება ელექტრონული და ხვრელური გამტარობებისაგან.

სუფთა ნახევარგამტარის კრისტალში წყვილი ელექტრონული კავშირების დარღვევისას წარმოიქმნება თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელების ერთნაირი რიცხვი.

ამავე დროს ელექტრონი — ხვრელი წყვილის გენერაციით მიმდინარეობს უკუპროცესი — რეკომბინაცია, რომლის დროსაც თავისუფალი ელექტრონი ავსებს ვაკანტურ ადგილს. მოცემულ ტემპერატურაზე

ნახევარგამტარის ერთეულ მოცულობაში წყვილების რიცხვი საშუალოდ მუდმივი რჩება. მაგალითად, 20°C ტემპერატურის დროს ელექტრონებისა და ხვრელების კონცენტრაცია გერმანიუმში 1 სმ^3-ში $n \approx 2{,}5 . 10^{13}$, ხოლო ლითონის გამტარებში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია 1 სმ^3-ში ტოლია $n \approx 10^{22} \div 10^{23}$. ამგვარად, კონცენტრაციების შედარებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გერმანიუმის გამტარობა ნორმალურ ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად ნაკლებია ლითონის გამტარობაზე. ტემპერატურის გაზრდისას თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელების რიცხვი ძლიერ იზრდება და გერმანიუმის გამტარობაც მნიშვნელოვნად მატულობს.

ნახევარგამტარის ელექტროგამტარობას მასში მინარევების უქონლობისას ეწოდება ნახევარგამტარის საკუთარი ელექტროგამტარობა.

ნახევარგამტარებს აქვს წინაღობის უარყოფითი ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომელიც აბსოლუტური სიდიდით 10—20-ჯერ მეტია, ვიდრე ლითონებისა. ლითონის 1°C-ით გაცხელებისას მისი წინაღობა თითქმის 0,4 %-ით იზრდება, ხოლო ნახევარგამტარის წინაღობა 4—8%-ით მცირდება. ნახევარგამტარების ეს თვისება გამოიყენება ტექნიკაში სხვადასხვა მიზნებისათვის, მაგალითად, თერმორეზისტორების დასამზადებლად, რომელთა წინაღობა მკვეთრად იცვლება ტემპერატურის უმნიშვნელოდ შეცვლის დროსაც კი.

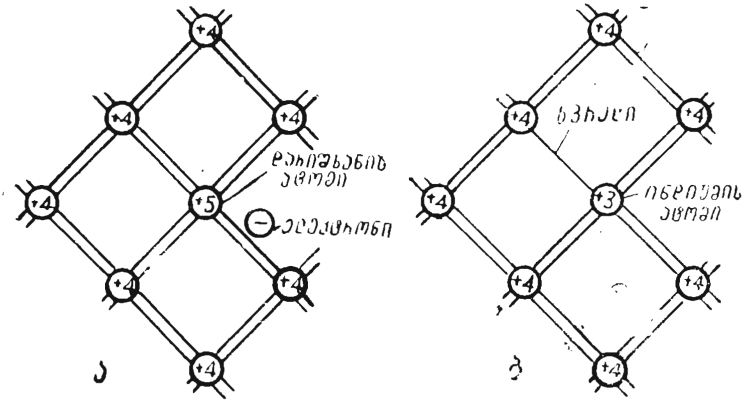
16-2. ნახევარგამტარების მინარევული ელექტროგამტარობა

ნახევარგამტარის თვისებები შეიცვლება, თუ მასში შევიყვანთ მინარევის უმნიშვნელო რაოდენობასაც კი. თუ ნახევარგამტარის კრისტალში შევიყვანთ სხვა ელემენტის ატომებს, შეიძლება კრისტალში აღმოჩნდეს ხვრელებზე მეტი თავისუფალი ელექტრონები ან, პირიქით, ხვრელები მეტი აღმოჩნდეს თავისუფალ ელექტრონებზე.

მაგალითად, თუ კრისტალურ გისოსში გერმანიუმის ატომს შევცვლით დარიშხანის ატომით, რომელსაც ხუთი ვალენტური ელექტრონი აქვს, დარიშხანის ოთხი ელექტრონი კავშირს წარმოქმნის გერმანიუმის მეზობელ ატომებთან, ხოლო დარიშხანის ატომთან სუსტად დაკავშირებული მეხუთე ელექტრონი გადაიქცევა თავისუფალ ელექტრონად (ნახ. 16-2.ა). ამიტომ დარიშხანის ნარევი გაზრდის ელექტრონულ გამტარობას.

თუ გერმანიუმის ატომს შევცვლით ინდიუმის ატომით, რომელსაც სამი სავალენტო ელექტრონი აქვს, ისინი კოვალენტურ კავშირში შევლენ გერმანიუმის სამ ატომთან და გერმანიუმის მეოთხე ატომთან კავშირში არ იქნება, რადგან ინდიუმს არა აქვს მეოთხე ელექტრონი (ნახ. 16—2, ბ). ყველა კავშირის აღდგენა შესაძლებელია, თუ მეოთხე ელექტრონს მივიღებთ გერმანიუმის უახლოესი ატომიდან. მაგრამ ამ შემთხვე-

ვაში იმ ელექტრონის ადგილზე, რომელმაც დატოვა გერმანიუმის მეზობელი ატომი, გაჩნდება ხვრელი, რომელიც შეიძლება შეივსოს გერმანიუმის მეზობელი ატომის ელექტრონით. თავისუფალი კავშირების მიმდევრობით შევსების პროცესი ეკვივალენტურია ხვრელების მოძრაობისა ნახევარგამტარში. ამგვარად, ინდიუმის მინარევი ზრდის გერმანიუმის კრისტალის ხვრელურ გამტარობას.



ნახ. 16-2. მინარევიანი ნახევარგამტარის კრისტალური გისოსი.
ა—დონორული მინარევი (დარიშხანი); ბ—აქცეპტორული მინარევი (ინდიუმი).

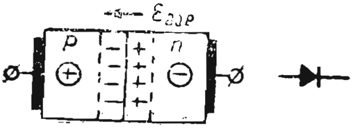
ნახევარგამტარებს, ჭარბი ელექტრონული გამტარობით, უწოდებენ n-ტიპის (ლათინური სიტყვიდან negative — უარყოფითი) ნახევარგამტარებს, ხოლო ნახევარგამტარებს ჭარბი ხვრელური გამტარობით — p ტიპისას (ლათინური სიტყვიდან positive — დადებითი). მუხტის მატარებელს, რომელიც განსაზღვრავს გამტარობის სახეს მინარევულ ნახევარგამტარში, ეწოდება ძ ი რ ი თ ა დ ი (ელექტრონები n-ნახევარგამტარში ან ხვრელები p-ნახევარგამტარში), ხოლო საწინააღმდეგო ნიშნის მუხტის მატარებელს — ა რ ა ძ ი რ ი თ ა დ ი. ნარევს, რომელიც ჭარბ ელექტრონულ გამტარობას იწვევს, ე. ი. ისეთს, რომლის სავალენტო ელექტრონები მეტია, ვიდრე მოცემული ნახევარგამტარის ატომისა, დ ო ნ ო რ უ ლ ი ეწოდება. ნარევს, რომელიც ჭარბ ხვრელურ გამტარობას იწვევს, ე. ი. ისეთს, რომლის სავალენტო ელექტრონები ნაკლებია, ვიდრე მოცემული ნახევარგამტარის ატომისა, ეწოდება ა ქ ც ე პ ტ ო რ უ ლ ი. გერმანიუმისათვის დონორულ მინარევს წარმოადგენს, მაგალითად, დარიშხანი, სტიბიუმი, ფოსფორი, ხოლო აქცეპტორულს — ინდიუმი, გალიუმი, ალუმინი და სხვ.

მინარევების პროცენტული შემცველობის მიხედვით მინარევული ნახევარგამტარის გამტარობა ნახევარგამტარის საკუთარ გამტარობასთან

შედარებით ათეულ და ასეულ ათასჯერ იზრდება. მაგალითად, თუ ნორმალურ პირობებში სუფთა გერმანიუმის 1 სმ^3 შეიცავს $4{,}2 \cdot 10^{22}$ ატომებსა და $2{,}5 \cdot 10^{13}$ გამტარობის ელექტრონებს და ხვრელებს, მაშინ 0,001% დარიშხანის მინარევი იმავე მოცულობაში გამოიწვევს დამატებით 10^{17} გამტარობის ელექტრონების წარმოქმნას, რომლებიც უზრუნველყოფენ ელექტრონული გამტარობის გადიდებას თითქმის 10000-ჯერ.

16-3. ნახევარგამტარის დიოდი

ნახევარგამტარის დიოდი (ვენტილი) წარმოადგენს ორი ნახევარგამტარის კონტაქტურ შეერთებას, რომელთაგან ერთი — ელექტრონული გამტარობისაა, ხოლო მეორე — ხვრელური გამტარობის (ნახ. 16-3), მაგალითად, n ტიპის გერმანიუმი და p ტიპის გერმანიუმი.

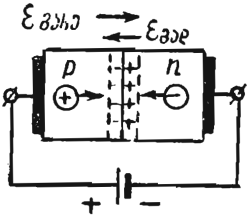


ნახ. 16-3. ნახევარგამტარიანი ვენტილი და მისი პირობითი აღნიშვნა.

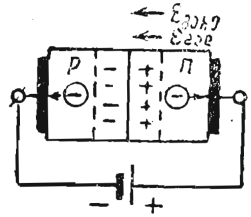
n ნახევარგამტარში ელექტრონების დიდი კონცენტრაციის შედეგად p ნახევარგამტართან შედარებით მოხდება ელექტრონების დიფუზია პირველი ნახევარგამტარიდან მეორეში. ანალოგიურად მოხდება ხვრელების დიფუზია n-ნახევარგამტარში. n ნახევარგამტარის თხელ სასაზღვრო ფენაში წარმოიქმნება დადებითი მოცულობითი მუხტი, ხოლო — ნახევარგამტარის სასაზღვრო ფენაში — უარყოფითი მუხტი. სხვადასხვა ნიშნით დამუხტულ ფენებს შორის წარმოიქმნება პოტენციალთა სხვაობა — პოტენციური ბარიერი და წარმოიშობა $\varepsilon_{ვად}$ დაძაბულობის ელექტრული ველი, რომელიც ეწინააღმდეგება დიფუზიას. მუხტების ძირითადი მატარებლებით გაღარიბებული და დიდი წინაღობის მქონე თხელ სასაზღვრო ფენას უწოდებენ ჩამკეტ ფენას, ანუ p—n — გადასასვლელს.

p—n — გადასასვლელის ელექტრული ველი ასევე ზემოქმედებს მუხტების არაძირითად მატარებლებზეც, რომლებიც თბური მოძრაობის შედეგად ხვდებიან გადასასვლელის ველში; მუხტების არაძირითადი მატარებლების მოძრაობა: ელექტრონებისა — p არედან და ხვრელებისა — n არედან მიმართულია ძირითადი მატარებლების დიფუზიური დენის შემხვედრად და ეწოდება დრეიფული დენი. დრეიფული დენი დამოკიდებულია ნახევარგამტარის ტემპერატურაზე და ხშირად უწოდებენ თბურ დენს. როცა გარე ველი არ არსებობს, დრეიფული დენი წონასწორდება დიფუზური დენით და გადასასვლელში დროის ერთეულში გამავალი ჯამური მუხტი ნულის ტოლია.

თუ კვების წყაროს დადებით მომჭერს მივუერთებთ p ნახევარგამტარის ლითონის ელექტროდთან, ხოლო უარყოფით მომჭერს n ნახევარგამტარის ელექტროდთან, ხელსაწყოში მივიღებთ გარე ელექტრულ ველს $\varepsilon_{გარე}$ მიმართულს p—n – გადასასვლელის ველის შემხვედრად; ამ ველის მოქმედებით ელექტრონები და ხვრელები იმოძრავებენ ერთმანეთის შემხვედრად (ნახ. 16-4). ელექტრონებისა და ხვრელების ასეთი მოძრაობის დროს მუხტის ძირითადი მატარებლების რიცხვი გადასასვლელ ფენაში გაიზრდება, ხოლო მოცულობითი მუხტი შემცირდება და, მაშასადამე, შემცირდება პოტენციური ბარიერი და გადასასვლელი ფენის წინაღობაც. ამგვარად, წრედში დამყარდება $I_{პირ}$ პირდაპირი დენი, რომელიც მნიშვნელოვანი სიდიდის იქნება კვების წყაროს შედარებით მცირე ძაბვის დროსაც კი.



ნახ. 16-4. ვენტილის ჩართვა პირდაპირი მიმართულებით.



ნახ. 16-5. ვენტილის ჩართვა საწინააღმდეგო მიმართულებით.

თუ კვების წყაროს პოლარობას შევცვლით (ნახ. 16-5), მივიღებთ გარე ველს, რომლის მიმართულება იგივე იქნება, რაც p—n – გადასასვლელის ველისა, ე. ი. გააძლიერებს მას. ამ დროს ველი კიდევ მეტ წინააღმდეგობას გაუწევს ხსენებულ შრეში მუხტის ძირითადი მატარებლის გავლას. $I_{უკუ}$ უკუდენი გამოწვეულია მუხტის არაძირითადი მატარებლებით, რომელთა კონცენტრაცია არსებითად დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ამიტომ მას მეორენაირად სითბურ დენს უწოდებენ. ეს დენი მეტად მცირეა და მთელ რიგ პრაქტიკულ შემთხვევაში ის შეიძლება უგულებელვყოთ.

მაშასადამე, სხვადასხვა სახის ელექტროგამტარობის ორი ნახევარგამტარის კონტაქტურ შეერთებას ახასიათებს აშკარად გამოხატული ერთმხრივი გამტარობა, ე. ი. ის წარმოადგენს ნახევარგამტარის ვენტილს. ასეთი ვენტილის პირობითი აღნიშვნა მოყვანილია 16-3 ნახაზზე.

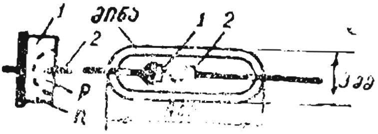
პირდაპირი დენის შეფარდებას უკუდენთან ერთი და იმავე ძაბვის დროს ეწოდება გამართვის კოეფიციენტი და გამოისახება შემდეგნაირად

$$K_{გამ} = I_{პირ}/I_{უკუ}. \qquad (16\text{-}1)$$

16-4. გერმანიუმისა და კაჟბადის დიოდები

ნ ა ხ ე ვ ა რ გ ა მ ტ ა რ ი ს   დ ი ო დ ი,   ანუ ნახევარგამტარის ვენტილი ეწოდება ხელსაწყოს, რომელსაც ახასიათებს ერთმხრივი გამტარობა და აქვს ერთი ელექტრონულ-ხვრელური ($p—n$) გადასასვლელი. დიოდს აქვს ორი გამომყვანი.

ნახევარგამტარის დიოდებში გამოიყენება მოვლენა, რომელსაც ადგილი აქვს ხვრელური ელექტროგამტარობის კრისტალის არესა და ელექტრონული ელექტროგამტარობის არეს შორის $p—n$—გადასასვლელში. დამზადების ტექნოლოგიის მიხედვით დიოდები იყოფა წერტილოვან და ბრტყელ დიოდებად.



ნახ. 16-6. გერმანიუმის წერტილოვანი ვენტილი.

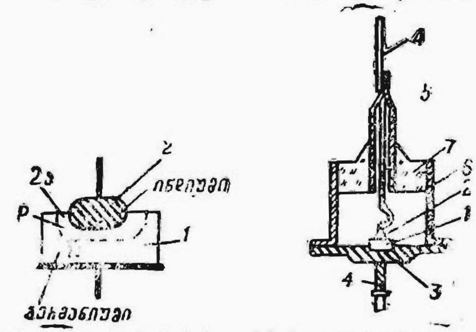
წერტილოვანი გერმანიუმის დიოდი (ნახ. 16-6) შედგება 3 მმ-მდე დიამეტრისა და 9 მმ სიგრძის მინის ან ლითონის ბალონისაგან, რომელშიაც ჩარჩილულია ორი გამომყვანი, რომელთაგან ერთის ბოლოზე დამაგრებულია n-ტიპის გერმანიუმის კრისტალი (1), ხოლო მეორეს ბოლოზე —წვრილი წაწვეტებული მავთულ-ვოლფრამის ან ოქროს ნემსი (2).

ჩამკეტი შრე ($p—n$ — გადასასვლელი) წარმოიშობა დენის იმპულსების გაშვების გზით დიოდის ყალიბების დროს, რომელთა მოქმედებით კონტაქტის ადგილი გათბება და ნემსის ქვეშ წარმოიქმნება მცირე დიამეტრის ნახევარსფერული $p — n$ — გადასასვლელი (ნახ. 16-6). ამ ვენტილის უდიდესი პირდაპირი დენი 16 მა, ხოლო მაქსიმალური დასაშვები უკუძაბვა 50 ვ. $p—n$ — გადასასვლელის მცირე ფართობის გამო დიოდს აქვს მცირე ელექტროდთშორისი ტევადობა (დაახლოებით 1 პფ) და განბნევის მცირე სიმძლავრე გადასასვლელში.

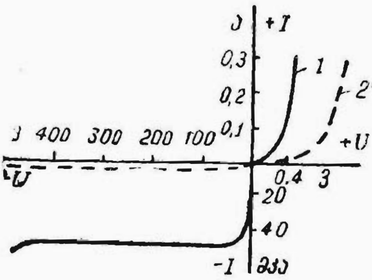
ბ რ ტ ყ ე ლ ი   გ ე რ მ ა ნ ი უ მ ი ს   დ ი ო დ ი (ნახ. 16-7, ა) შედგება გერმანიუმის ფირფიტისაგან (1) დარიშხანის ან სტიბიუმის მინარევით, რომელსაც ელექტრონული გამტარობა ახასიათებს და ინდიუმის ტაბლეტისაგან (2). დიოდის დამზადების დროს ის ცხელდება 500°C-მდე, რომლის დროს ინდიუმის ტაბლეტი ლღვება, მისი ატომები დიფუნდირდება გერმანიუმში და წარმოქმნის ხვრელური გამტარობის მქონე 2 a არეს (ნახ. 16-7, ა). სწორედ ამ ორი არეს საზღვარზე წარმოიქმნება $p—n$ — გადასასვლელი.

16-7, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი გერმანიუმის ბრტყელი დიოდის მოწყობილობა. გერმანიუმის კრისტალი (1) დამაგრებულია კრისტალსაჭერში (3), რომელზეც მიდუღებულია ქვედა გამომყვანი (4). ზედა გამომყვანი (4) შიგა გამომყვანით (5) უერთდება ინდიუმის ელექტროდს (2).

ლითონის კორპუსი (6) შედუღებულია კრისტალსაჭერთან (3) და მინის იზოლატორთან (7). 16-8 ნახაზზე მოყვანილია გერმანიუმის ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი (მრუდი 1). გერმანიუმის დიოდებისათვის 0,8 ვ-მდე პირდაპირი ძაბვის დროს დასაშვებია დენის სიმკვრივე 100 ა/სმ²-მდე, ხოლო მაქსიმალური დასაშვები უკუძაბვა — $U_{უკუ.\ მაქ}$ = 400 ვ. ტემპერატურის სამუშაო დიაპაზონი — 60-დან ÷ +75°C-მდე.



ნახ. 16-7. Д-7 ტიპის გერმანიუმის ბრტყელი ვენტილი.



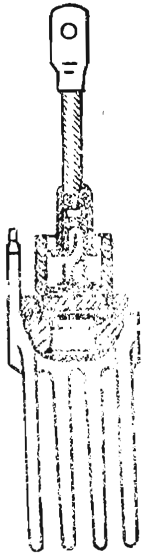
ნახ. 16-8. გერმანიუმისა (1) და კაჟბადის (2) დიოდების შედარებითი ვოლტამპერული მახასიათებლები.

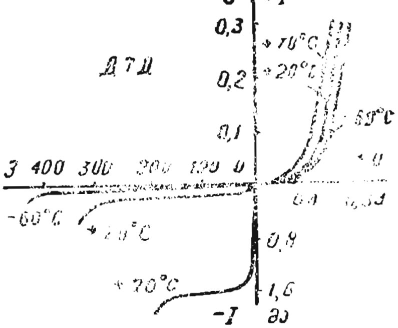
გამმართველი კაჟბადის დიოდები მზადდება n-ტიპის კაჟბადში ალუმინის დნობით. ასეთ დიოდებში დენის სიმკვრივე 200 ა/სმ²-მდე აღწევს, როცა პირდაპირი ძაბვა 1—1,2 ვ-მდეა. დიოდები მზადდება 1000 ა-მდე და მეტ დასაშვებ დენზე. დასაშვები უკუძაბვა 800 ვ და მეტია. ტემპერატურის დასაშვები დიაპაზონი მდებარეობს — 60-დან + 150°C-მდე.

კაჟბადის დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი მოცემულია 16-8 ნახაზზე (მრუდი 2). 16-9 ნახაზზე ნაჩვენებია BK - 100 ტიპის ჰაერით გაციევბის კაჟბადის დიოდი 100 ა დენზე.

ტემპერატურის ამაღლებისას ელექტრონი — ხვრელი წყვილების გენერაციის მომატების შედეგად იზრდება ნახევარგამტარების საკუთარი გამტარობა. ტემპერატურის ამაღლება იწვევს დიოდის პირდაპირი და უფრო მეტად უკუდინების გაზრდას. გერმანიუმისა და კაჟბადის დიოდებში 10°C-ით ტემპერატურის გაზრდისას უკუდენი იზრდება თითქმის 2—2,5-ჯერ. ტემპერატურის გავლენა დიოდის ვოლტამპერულ მახასიათებელზე ნაჩვენებია 16-10 ნახაზზე.

დიოდის ძირითადი პარამეტრებია: მაქსიმალური დასაშვები გამართული $I_{პირ.\ მაქს}$ დენი; დიოდზე პირდაპირი $U_{პირ}$ ძაბვის ვარდნა. $I_{პირ.\ მაქს}$-ის დროს; მაქსიმალური დასაშვები უკუძაბვა $U_{უკუ.\ მაქს}$; მაქსიმალური $I_{უკუ.\ მაქს}$ უკუ დენი $U_{უკუ.\ მაქს}$ ძაბვის დროს; უდიდესი დასაშვები განბნევის სიმძლავრე $p_{გაბ.\ მაქს}$; ელექტროდთშორისი C ტევადობა; მაქსიმალური დასაშვები სიხშირე $f_{ზღვ}$; სამუშაო ტემპერატურის დიაპაზონი.





ნახ. 16-9. ВК-100 ტიპის კაჟბადის დიოდი.

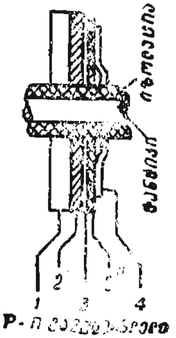
ნახ. 16-10. ტემპერატურის გავლენა გერმანიუმის დიოდის მახასიათებელზე.

16-5. სპილენძჟანგოვანი და სელენის ვენტილები

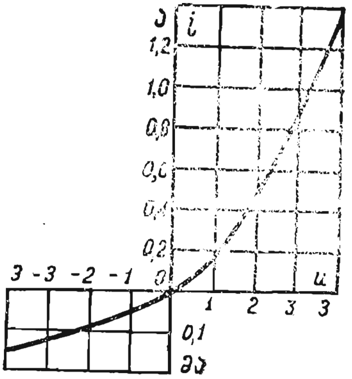
სპილენძჟანგოვანი ვენტილი (ნახ. 16-11) შედგება სპილენძის დისკოსაგან (1), რომელზეც წარმოქმნება სპილენძის ჟანგის შრე (2). ამ ფენასთან კარგი კონტაქტის მისაღებად მიაბჯენენ ტყვიის დისკოს (3), ხოლო მის შემდეგ ათავსებენ თბოგამტარ დიდი დიამეტრის თითბრის დისკოს (4) სითბოს გამოსაყვანად (რადიატორი). სპილენძის ჟანგის შრე მიიღება სპილენძის თერმული დამუშავებით ჟანგბადის ატმოსფეროში. ჭარბი ჟანგბადით მიღებული სპილენძის ჟანგის გარე შრეს (2') ახასიათებს ხვრელური გამტარებლობა. ჟანგბადის ნაკლებობით მიღებულ სპილენძის საყელურთან მიმდებარე ჟანგის შრეს (2'') კი — ელექტრონული ელექტროგამტარობა. სპილენძის ჟანგის ორ შრეს შორის წარმოიქმნება p—n — გადასასვლელი.

ვენტილზე დასაშვები ძაბვა არა უმეტეს 10 ვ-ისა, რადგან უკუმიმართული ძაბვის დროს (20—30) ის გაირღვევა. დიდი ძაბვის დროის გასამართავად რამდენიმე ვენტილს ამონტაჟებენ ერთ მწკრივზე, რითაც წარმოიქმნება ე. წ. გამმართველი სვეტი.

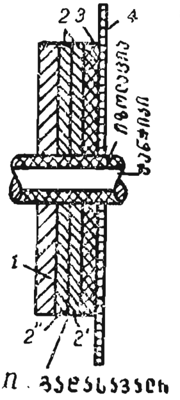
ვენტილების გასაცივებლად რადიატორის საყელურებს აყენებენ ისეთნაირად, რომ ტემპერატურამ — 60°C-ზე ზევით არ აიწიოს, რადგან სხვანაირად შეიძლება ვენტილმა დაკარგოს ვენტილის თვისებები.



ნახ. 16-11. სპილენძჟანგის ვენტილის მოწყობილობა.



ნახ. 16-12. სპილენძჟანგის ვენტილის მოწყობილობა.

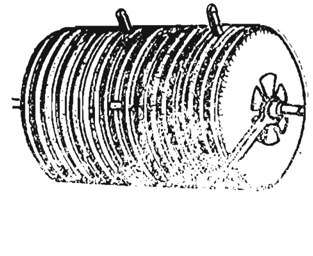


ნახ. 16-13. სელენის ვენტილი.

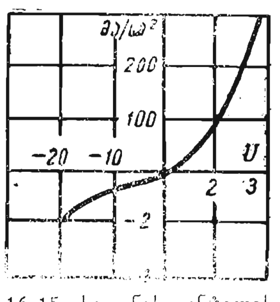
სპილენძჟანგის ვენტილისათვის დასაშვებია დენის სიმკვრივე 0.1 ა/სმ². ამ ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი მოცემულია 16-12 ნახაზზე.

სელენის ვენტილი (ნახ. 16-13) შედგება ალუმინის ან ფოლადის დისკოსაგან (1), რომელიც ერთი მხრიდან დაფარულია კრისტალური სელენის შრით (2''), მას ახასიათებს ხვრელური გამტარობა და გამოიყენება ერთ-ერთ ელექტროდად. მეორე ელექტროდად (2') გამოყენებულია სელენზე დატანილი კადმიუმისა და კალის შენადნობის შრე, რომლისგანაც კადმიუმის ატომების სელენში დიფუზიის დროს წარმოიქმნება ელექტრონული ელექტროგამტარობის მქონე შრე. ამგვარად, ჩამკეტი შრე (3) წარმოიქმნება კრისტალურ სელენსა და კადმიუმის მინარევიან სელენს შორის. ელექტროდთან (2') მიბჯენილია მზამბარავი საყელური (4).

სელენის ვენტილზე დასაშვები ძაბვა 20-40 ვ-ს შეადგენს. როცა უკუმოქმედი ძაბვა 60-80 ვ, ვენტილი ირღვევა. სამუშაო ტემპერატურა არ



ნახ. 16-14. სელენის ვენტილის სვეტი.



ნახ. 16-15. სელენის ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

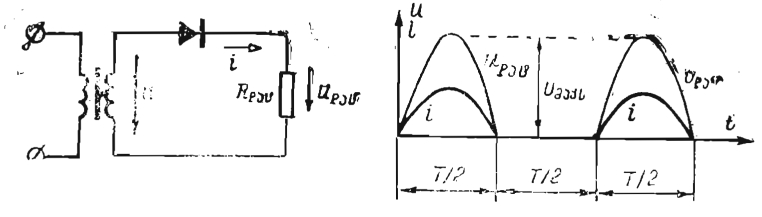
უნდა აღემატებოდეს — 75°C, დენის სიმკვრივე — 0,1—0,2 ა/სმ². 16-14 ნახაზზე ნაჩვენებია სელენის ვენტილების სვეტი, 16-15 ნახაზზე კი — სელენის ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

16-6. ნახევარგამტარის ვენტილების გამოყენება

დანიშნულების მიხედვით დიოდები იყოფა ორ ჯგუფად: დიოდებად, რომლებიც გამოიყენებიან სამრეწველო და მაღალი სიხშირის ცვლადი დენის გასამართავად, და დიოდებად, რომლებიც გამოიყენებიან მაღალი სიხშირის სიგნალების დაბალი სიხშირის სიგნალებად გარდასაქმნელად, ე. ი. დეტექტირებისათვის.

გერმანიუმისა და კაჟბადის ვენტილების გარდა, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება დიდი დენების გარდამქმნელ დანადგარებში, მრეწველობა აგრძელებს ადრინდელი კონსტრუქციის ვენტილების გამოშვებასაც, როგორიცაა სელენისა და სპილენძჟანგის ვენტილები.

ეს აიხსნება იმით, რომ ამ უკანასკნელებში, სადაც შეიძლება დაშვებული იქნეს დენის ნაკლები სიმკვრივე და ნაკლები უკუძაბვები, მარტივია დასამზადებლად, იაფია და გამოიყენება მთელ რიგ დარგებში. მზადდება სელენის დამმუხტავი დანადგარები, გალვანური და ელექტროლიტური დანადგარები, რომლებიც მუშაობენ დაბალი ძაბვის და დიდი დენების დროს, აგრეთვე დაბალი დენისა და მაღალი ძაბვისას, სადაც ვენტილები შეიძლება უბრალოდ მიმდევრობით შევაერთოთ.



ნახ. 16-16. ერთნახევარპერიოდიანი გამართვის სქემა და დატვირთვის დენისა და ძაბვის მრუდები.

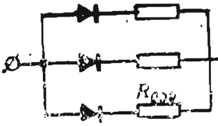
სპილენძჟანგის ვენტილები მათი პარამეტრების სტაბილურობის გამო გამოიყენება საზომ ტექნიკაში და ელექტროლიზის აბაზანების კვებისათვის 4—6 ვ ძაბვის დროს.

ძირითადად ნახევარგამტარის ვენტილები გამოიყენება ცვლადი დენის გასამართავად, ე. ი. მის მუდმივ (მფეთქარი) დენად გარდასაქმნელად.

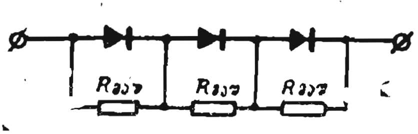
16-16 ნახაზზე მოყვანილია ცვლადი დენის გამართვის უმარტივესი სქემა. ამ სქემაში ნახევარგამტარის დიოდში და $R_{დატ}$ წინაღობაში გამართული i დენი გადის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის $U_{დატ}$ ცვლადი ძაბვის პერიოდის მხოლოდ დადებითი ნახევრის განმავლობაში.

ეს დენი $R_{დატ}$ წინაღობაზე გამოიწვევს გამართულ ძაბვას $U_{დატ}$. ძაბვის მეორე უარყოფითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში დენი დატვირთვაში არ გადის, რადგან დიოდი ჩაკეტილია. ამ ნახევარპერიოდში მაქსიმალური უკუძაბვა დიოდზე ტოლია $U_{მაქს}$ ძაბვის ამპლიტუდისა.

ზემოგანხილული სქემის დიდი ნაკლოვანებაა ძაბვისა და დენის პულსაცია დატვირთვაში. ამ პულსაციის შესამცირებლად გამოიყენება ე. წ. მანაწილებელი ფილტრები. გამმართველებისა და ფილტრების გამოყენების საკითხები უფრო დაწვრილებით განხილული იქნება მეთვრამეტე თავში.



ნახ. 16-17. დიოდების პარალელურად შეერთება.



ნახ. 16-18. დიოდების თანამიმდევრულად შეერთება.

ერთი დიოდით მაქსიმალურ დასაშვებ დენზე მეტი გამართული დენის მიღების აუცილებლობის შემთხვევაში პარალელურად რთავენ ერთი ტიპის დიოდებს (ნახ. 16-17). დიოდებში გამავალი დენების გასათანაბრებლად, მათთან თანამიმდევრობით რთავენ მცირე წინაღობის რეზისტორებს. ეს საშუალებას გვაძლევს ცალკეული დიოდების სხვადასხვა პირდაპირი წინაღობის დროს მივიღოთ პარალელური შტოების თითქმის ერთნაირი წინაღობები.

თუ საჭიროა მივიღოთ უფრო მაღალი უკუძაბვა, ვიდრე ერთი ვენტილის უკუმაქსიმალური ძაბვაა ($U_{უკუ\ მაქს}$), ვენტილებს ერთმანეთთან აერთებენ თანამიმდევრულად (ნახ. 16-18). უკუძაბვების თანაბრად განაწილებისათვის ვენტილებს შორის, რომლებსაც სხვადასხვა უკუწინაღობები აქვთ, ვენტილებს აშუნტებენ $R_შ$ რეზისტორებით, რომელთა წინაღობას იღებენ ვენტილის უკუწინაღობაზე დაახლოებით ერთი რიგით ნაკლებს. მათი პარამეტრების სტაბილურობისა და მათი ვოლტამპერული მახასიათებლის მნიშვნელოვანი სიმრუდის გამო სპილენძჟანგისა და სელენის ვენტილები შეიძლება შევაერთოთ თანამიმდევრულად და პარალელურად მათანაბრებელი წინაღობის გარეშე.

16-7. ნახევარგამტარის დიოდების აღნიშვნები

ГОСТ 10862-64-ის შესაბამისად ნახევარგამტარის დიოდის (მცირე სიმძლავრის) აღნიშვნა შედგება ოთხი ელემენტისაგან:

აღნიშვნის პირველი ელემენტი — ასო ან ციფრი — გვიჩვენებს საწყის მასალას: Г ან 1 — გერმანიუმი, К ან 2 — კაჟბადი, А ან 3 — გალიუმის არსენიდი.

აღნიშვნის მეორე ელემენტი — ასო — გვიჩვენებს ხელსაწყოს ტიპს: *D* — დიოდი, Ц —გამმართველი სვეტები ან ბლოკები, C — სტაბილიტრონი.

აღნიშვნის მესამე ელემენტი — რიცხვი — გვიჩვენებს ხელსაწყოს ან მისი ელექტრული თვისებების დანიშნულებას: 101-დან 199-მდე, 201-დან 299-მდე და 301-დან 399-მდე. ეს რიცხვები აღნიშნავს შესაბამისად გამმართველ დიოდებს პირდაპირი დენის საშუალო მნიშვნელობებით 0,3ა-მდე, 0,3-დან 10ა-მდე და 10 ა-ზე მეტი; 401-დან 499-მდე — — უნივერსალური დიოდები; 501-დან 599-მდე — იმპულსური დიოდები.

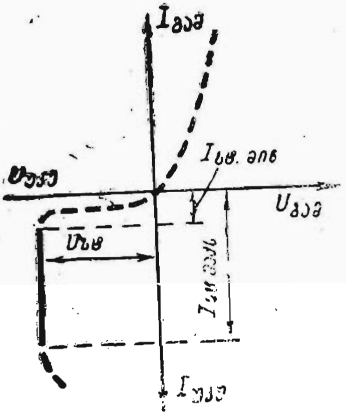
აღნიშვნის მეოთხე ელემენტი — ასო — გვიჩვენებს ხელსაწყოთა მოცემული ჯგუფის სხვადასხვა ტიპს!

მძლავრი ხელსაწყოები სხვანაირად აღინიშნება.

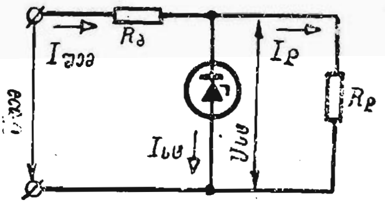
16-8. ᲙᲐᲟᲑᲐᲦᲘᲡ ᲡᲢᲐᲑᲘᲚᲘᲢᲠᲝᲜᲔᲑᲘ (ᲡᲐᲧᲠᲓᲔᲜᲘ ᲓᲘᲝᲓᲔᲑᲘ)

ბრტყელი კაჟბადის დიოდს, რომელიც გამოიყენება მუდმივი ძაბვის სტაბილიზაციისათვის ან საყრდენი (სანიმუშო-უცვლელი) ძაბვის მისაღებად, ეწოდება კ ა ჟ ბ ა დ ი ს ს ტ ა ბ ი ლ ი ტ რ ო ნ ი, ანუ ს ა ყ რ დ ე ნ ი დ ი ო დ ი. ის წარმოადგენს ნახევარგამტარში მუხტების მატარებლების მაღალი კონცენტრაციის მქონე კაჟბადის დიოდების ნაირსახეობას.

კაჟბადის სტაბილიტრონის ვოლტამპერული მახასიათებლის მუშა უბანს წარმოადგენს მისი ის ნაწილი, რომელიც უკუდენსა და უკუძაბვას შეესაბამება და დენის ღერძის პარალელურადაა განლაგებული (16-19 ნახაზზე ნაჩვენებია მთლიანი ხაზით).



ნახ. 16-19. კაჟბადის სტაბილიტრონის ვოლტამპერული მახასიათებელი.



ნახ. 16-20. სტაბილიზატორის სქემა კაჟბადის სტაბილიტრონით.

სტაბილიტრონის $I_{სტ.\ მაქს}$ ზღვრული დენის ძალა განისაზღვრება განბნევის დასაშვები სიმძლავრით

$$I_{სტ.\ მაქს} = P_{მაქს}/U_{უკუ} \qquad (16\text{-}2)$$

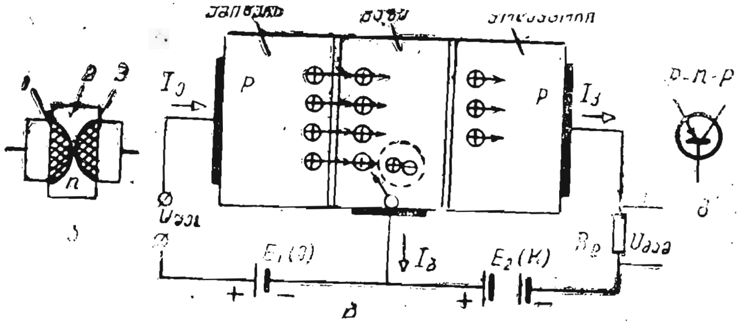
და შეზღუდულია ბალასტური $R_{ბალ}$ წინაღობით.

სხვადასხვა ტიპის სტაბილიტრონის მაქსიმალური დენი 20 მა-დან 2 ა-მდე მერყეობს. ნომინალური ძაბვა 6—400 ვ დიფერენციალური წინაღობა მუშა უბანზე სხვადასხვა ტიპისათვის 1-დან 70 ომამდე შეადგენს.

კაჟბადის სტაბილიტრონის შემცველი ძაბვის სტაბილიზატორის სქემიდან (ნახ. 16-20) ჩანს, რომ დატვირთვა სტაბილიტრონის პარალელურად ირთვება, ხოლო წრედის განუშტოებელ ნაწილში — ბალასტური $R_{\text{ბალ}}$ წინაღობა. სტაბილიტრონი საწინააღმდეგო მიმართულებით ჩაირთვება.

16-9. ტრანზისტორები

ტრანზისტორი ეწოდება ორი p—n-გადასასვლელიანი ნახევარგამტარის ხელსაწყოს, რომელსაც სამი გამომყვანი აქვს სიმძლავრის გასაძლიერებლად და ელექტრული რხევების გენერაციისათვის.



ნახ. 16-21. p—n—p ტიპის ტრანზისტორის სქემა.

ნახევარგამტარის ტრიოდი შედგება გერმანიუმის თხელი ფირფიტისაგან (ნახ. 16-21, ა), ელექტრონული ელექტროგამტარობით (n), რომლის ორივე მხრიდან მიდნობილია ინდიუმის ორი ტაბლეტი. ინდიუმი, რომელიც დიფუნდირდება გერმანიუმში, წარმოქმნის ორ არეს (1 და 3) ხვრელური ელექტროგამტარობით (p). n არეს სისქე შეადგენს რამდენიმე ერთეულ ან რამდენიმე ათეულ მიკრონს. მოსაზღვრე არეებს, რომლებსაც ერთმანეთისაგან გადასასვლელი ანცალკევებს (ნახ. 16-21, ბ და გ), ეწოდებათ ე მ ი ტ ე რ ი (Э), ბ ა ზ ა (Б) და კ ო ლ ე ქ ტ ო რ ი (K).

დავუშვათ, რომ წრედი ემიტერი—ბაზა განრთულია და მასში დენი ტოლია ნულის ($I_{\text{ე}}=0$), ხოლო კოლექტორსა და ბაზას შორის მოდებულია E_2 უკუძაბვა (დაახლოებით ათეული ვოლტი). ამ შემთხვევაში კოლექტორის წრედში გადის მცირე შებრუნებული (თბური) $I_{\text{გოლ}}$ კოლექტორის დენი, რომელიც გამოწვეულია მუხტების არაძირითადი მატარებლებისაგან. ეს დენი წარმოადგენს ტრანზისტორის ერთ-ერთ პარამეტრს და მისი მცირე მნიშვნელობა ნახევარგამტარების მასალების უკეთეს ხარისხზე მიუთითებს.

ემიტერსა და ბაზას შორის ჩავრთოთ მუდმივი E_1 ძაბვის წყარო (ერთეული ვოლტი). ემიტერში მინარევის უფრო მეტი ატომებია, ვიდრე ბაზაში და ხვრელების კონცენტრაცია ემიტერში ბევრად მეტია, ვიდრე ელექტრონების კონცენტრაცია ბაზაში. E_1 ძაბვა წრედში ემიტერი — ბაზა მოქმედებს პირდაპირი მიმართულებით, ხოლო, რადგან $p—n$ — გადასასვლელის პირდაპირი წინაღობა მცირეა, მცირე E_1 ძაბვის დროსაც კი დენი ემიტერი — ბაზა, რომელიც ძირითადად გამოწვეულია ხვრელების ძირითადი მატარებლებით, შედარებით დიდია. ამ დროს ამბობენ, რომ ხდება მუხტების არაძირითადი მატარებლების ინჟექცია (შეშხაპუნება) ემიტერიდან ბაზაში. ხვრელების უმნიშვნელო ნაწილი ბაზაში რეკომბინაციაში შედის თავისუფალ ელექტრონებთან, რომელთა დანაკლისი შეივსება გარე წრედიდან შემოსული ელექტრონებით და წარმოქმნის ბაზის $I_{ბაზ}$ დენს. ბაზაში ხვრელების დიდი ნაწილი დიფუზიის გამო აგრძელებს მოძრაობას და მიემართება კოლექტორის გადასასვლელამდე და წყაროს E_2 ელექტრული ველის მოქმედებით $p — n$ — გადასასვლელით გადადის კოლექტორში. ასე რომ კოლექტორი გამოიყენება ბაზიდან მუხტების არაძირითადი მატარებლების ექსტრაქციისათვის (განდევნისათვის), ამგვარად, წრედში ბაზა — კოლექტორი წარმოიქმნება იმავე სიდიდის $I_{კოლ} = I_ე—I_ბ$ დენი, როგორიც ემიტერი — ბაზა უბანზე. კოლექტორის დენის $\Delta I_კ$ ნამატის შეფარდებას ემიტერის დენის $\Delta I_ე$ ნამატთან კოლექტორზე მუდმივი ძაბვის დროს ეწოდება დენის გადაცემის კოეფიციენტი (ანუ გაძლიერების კოეფიციენტი დენის მიხედვით)

$$\alpha = K_i = \Delta I_კ / \Delta I_ე, \quad \text{როცა} \quad U_კ = \text{const.} \tag{16-3}$$

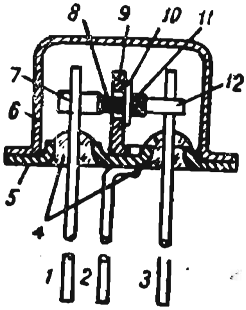
ზემოთ ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ გადაცემის კოეფიციენტი ყოველთვის ერთზე ნაკლებია და 0,9—0,995 ტოლია.

ბრტყელი გერმანიუმის ტრანზისტორის მოწყობილობა ნაჩვენებია 16—22 ნახაზზე. ბაზას წარმოადგენს კრისტალური გერმანიუმის ფირფიტა (10) ელექტრონული ელექტროგამტარობით. ის დამაგრებულია გამომყვანთან (2) შეერთებულ ზოდზე (9). ფირფიტის ორივე მხრიდან ჩადნობილია ინდიუმის ელექტროდები (8) და (11). ინდიუმის ჩადნობისას თითოეულ ამ ელექტროდსა და გერმანიუმის ფირფიტას — ბაზას შორის იქმნება არეები ხვრელური გამტარობით. ტრიოდს ათავსებენ ლითონის კორპუსში (5), (6). ემიტერისა (7, 1) და კოლექტორის (12, 3) გამომყვანები იზოლირებულია კორპუსისგან მინის გასასვლელი იზოლატორებით (4).

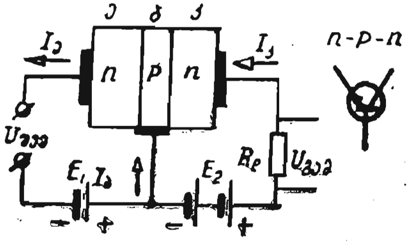
$p—n—p$ ტიპის ტრანზისტორების გარდა გამოიყენება $n—p—n$ ტიპის ტრანზისტორებიც (ნახ. 16-23), რომლებიც ზემოგანხილულის ანალოგიურად მუშაობენ. $n—p—n$ ტიპის ტრანზისტორში ძაბვის მოქმედებით ემიტერსა და ბაზას შორის ელექტრონები ემიტირდებიან n არედან p არეში. წყაროების პოლარობა E_1 და E_2 ამ ძალები საწინააღმდეგო უნდა

იყოს p—n—p ტიპის ტრიოდის სქემებში იმავე წყაროების პოლარობასთან შედარებით.

ზემოგანხილულ სქემებში (16-21 და 16-23) ბაზა წარმოადგენს ემიტერისა და კოლექტორის წრედის საერთო უბანს. ამიტომ მათ ეწოდებათ სქემები საერთო ბაზით.



ნახ. 16-22. სიბრტყითი გერმანიუმის П-13 ტიპის ტრანზისტორი.



ნახ. 16-23. n—p—n ტიპის ტრანზისტორის სქემა.

16-10. ტრანზისტორების გამოყენება

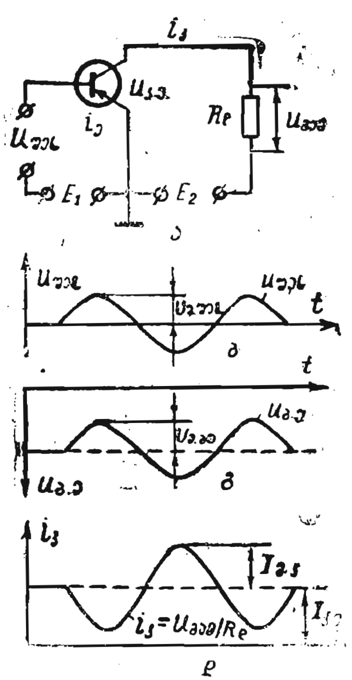
ა) რხევების გაძლიერება

როცა ტრანზისტორი ელექტრული რხევების მაძლიერებლად მუშაობს, $U_{შეს}$ შესასვლელი ცვლად ძაბვას (გასაძლიერებელი სიგნალი) აწვდის ემიტერსა და ბაზას შორის გადაადგილების მუდმივი ძაბვის წყაროს თანამიმდევრულად E_1 (ნახ. 16-24, ა) ან $E_{ბაზ}$ (ნახ. 16-25, ბ), ხოლო დატვირთავ $R_{დამ}$ რეზისტორს, რომლის ძაბვა გაძლიერებულ სიგნალს წარმოადგენს, თანამიმდევრულად რთავენ E_2 წყაროსთან, რომლის პლუსი მომჭერი მიერთებულია ემიტერთან. ამ სქემაში საერთო ელექტროდს წარმოადგენს ემიტერი (სქემა $OЭ$).

თუ ბაზაზე მოდებული იქნება უარყოფითი გადაადგილება, ე. ი. ემიტერის გადასასვლელის პირდაპირი ძაბვა, მაშინ ბაზის წრედში წარმოიქმნება დენი. კოლექტორის წრედშიაც გამოჩნდება დენი და დატვირთვის $R_{დატ}$ რეზისტორზე და ტრანზისტორის $r_{კ0}+r_{ემ}\approx r_{კ0}$ წინაღობაზე წარმოიქმნება მათი პროპორციული ძაბვა. შესავალი სინუსოიდურად ცვლადი სიგნალების წარმოქმნისას (ნახ. 16-24, ბ) დენი ბაზისა და კოლექტორის წრედებში შეიცვლება, ამავე დროს შეიცვლება კოლექტორის გადასასვლელის წინაღობა და მოხდება ძაბვის გადანაწილება $r_{კ0}$-სა და $R_{დამ}$-ს შორის. კოლექტორული დენის გადიდებისას ძაბვა კოლექტორსა და ემიტერს შორის შემცირდება, ხოლო $R_{დამ}$-ზე გაიზრდება. ამ დროს დატვირთვის რეზისტორზე ძაბვის ცვლადი შემდგენი შეიძლება

აღემატებოდეს შესავალ ძაბვას ათეულ-ჯერ, რადგან $I_{კ} \gg I_{ბ}$ და $E_2 > E_1$.

16-24, გ ნახაზზე ნაჩვენებია ბაზა — ემიტერი $U_{ბ.ე}$ ძაბვის მუდმივი და ცვლადი შემდგენები, ხოლო 16-24, დ ნახაზზე კოლექტორის დენის მუდმივი და ცვლადი შემდგენები, მაგრამ, რადგან გამოსასვლელი ძაბვის $U_{გამ} = i_{კ} \cdot R_{დამ}$ ცვლადი შემდგენი დენის პროპორციულია, დენის მრუდი სხვა მასშტაბში წარმოადგენს გამოსავალი ძაბვის $U_{გამ}$ მრუდს.



ნახ. 16-24. ტრანზისტორის ჩართვის სქემა (ა) და დენისა და ძაბვის გრაფიკები (ბ, გ, დ).

ბ) ტრანზისტორების ჩართვის სქემები

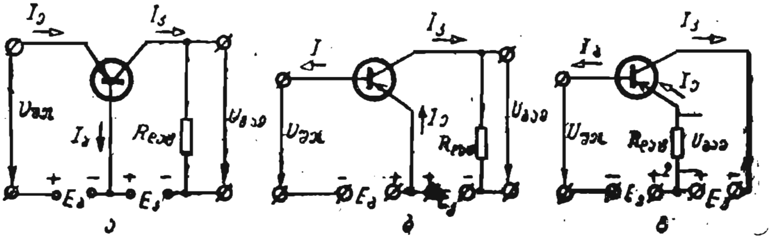
არსებობს ტრანზისტორების ჩართვის სამი ძირითადი სქემა: საერთო ბაზით — ОБ (ნახ. 16-25, ა), საერთო ემიტერით — ОЭ (ნახ. 16-25, ბ) და საერთო კოლექტორით — ОК (ნახ. 16-25 გ). სქემების დასახელება გვიჩვენებს, თუ ტრანზისტორის რომელი ელექტროდი წარმოადგენს საერთოს გამოსასვლელი და შესასვლელი წრედებისათვის.

ჩართვის სქემები განსხვავდება თავისი თვისებებით, მაგრამ რხევების გაძლიერების პრინციპი, რომელიც ზემოთ განვიხილეთ, უცვლელი რჩება.

ОБ-ით სქემა განხილულია ზემოთ. მასში შესავალი ძაბვის წყარო ჩართულია წრედში ემიტერი — ბაზა, ხოლო დატვირთვა და კვების წყარო წრედში კოლექტორი — ბაზა. ОБ-ით სქემის შესავალი წინაღობა მცირეა და შეადგენს რამდენიმე ერთეულ ან რამდენიმე ათეულ ომს. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ემიტერის გადასასვლელი ჩართულია პირდაპირი მიმართულებით.

სქემის გამოსავალი წინაღობა, პირიქით, დიდია — ასეული კილოომი ან ერთეული მეგაომი, რადგან კოლექტორის გადასასვლელი ჩართულია უკუმიმართულებით.

ОБ-ით სქემის დაბალი შესავალი წინაღობა წარმოადგენს მის არსებით ნაკლოვანებას, რაც ზღუდავს ამ სქემის გამოყენებას გამაძლიერებლებში. კერძოდ ის გამოიყენება ზოგიერთ მაძლიერებელში ტრანსფორმატორული კავშირით.



ნახ. 16-25. ტრანზისტორების ჩართვის სქემები:
ა — საერთო ბაზით; ბ — საერთო ემიტერით; გ — საერთო კოლექტორით.

ამ სქემაში შესავალი ძაბვის წყაროში გადის ემიტერის მთლიანი დენი, ამიტომ გაძლიერება დენის მიხედვით არ ხდება. გაძლიერების კოეფიციენტს დენის მიხედვით, როგორც ჩანს, უკეთეს შემთხვევაში აქვს მნიშვნელობა $\alpha=0,9\div0,995$. ძაბვისა და სიმძლავრის მიხედვით გაძლიერება ამ სქემაში რამდენიმე ასეულს აღწევს.

ОЭ-ით სქემა ნაჩვენებია 16-25, ბ ნახაზზე. აქ შესავალი ძაბვის წყარო ჩართულია წრედში ბაზა-ემიტერი, ხოლო დატვირთვის წინაღობა $R_{დატ}$ და კვების წყარო წრედში ემიტერი — კოლექტორი; ასე რომ ემიტერი წარმოადგენს საერთო ელექტროდს შესასვლელი და გამოსასვლელი წრედებისათვის. ОЭ-ით სქემის შესავალი წინაღობა მეტია, ვიდრე სქემებისათვის ОБ-ით და განისაზღვრება ასეულ ომებში. ეს იმით აიხსნება, რომ მასში შესავალ დენს წარმოადგენს ბაზის დენი, რომელიც მნიშვნელოვნად ნაკლებია ემიტერისა და კოლექტორის დენზე. ОЭ-ით სქემის გამოსავალი წინაღობა მნიშვნელოვანია და ას კილოომამდე აღწევს.

16-24 ნახაზიდან ჩანს, რომ ОЭ-ით სქემაში შესავალი ძაბვის გაძლიერებისას ხდება გამოსავალი ძაბვის ფაზაში შემობრუნება შესავალთან შედარებით პერიოდის ნახევრით, ანუ 180°-ით:

დენის მიხედვით გაძლიერების β კოეფიციენტი ამ სქემაში განისაზღვრება როგორც კოლექტორის დენის $\Delta I_კ$ ნამატის შეფარდება ბაზის დენის $\Delta I_ბ$ ნამატთან, როცა კოლექტორზე ძაბვა მუდმივია, ე. ი.

$$\beta=\Delta I_კ/\Delta I_ბ,\ \text{როცა}\ U_კ=\text{const.} \qquad (16\text{-}4)$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ ტოლობას $I_ე=I_კ+I_ბ$, მივიღებთ

$$\beta=\frac{\Delta I_კ}{\Delta I_ე-\Delta I_კ}=\frac{\Delta I_კ/\Delta I_ე}{(\Delta I_ე/\Delta I_ე)-(\Delta I_კ/\Delta I_ე)}=\frac{\alpha}{1-\alpha}. \qquad (16\text{-}5)$$

შესამოწმებელი სქემებისათვის გაძლიერების კოეფიციენტი $\beta=10$—200. გაძლიერების კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით ОЭ-ით სქემისათვის იგივეა, რაც ОБ-ით სქემისათვის, ანუ რამდენიმე ასეულამდე. გაძლიერების კოე-

ფიციენტი სიმძლავრის მიხედვით $k_p = k_i k_u = \beta k_u$ რამდენიმე ათასამდე აღწევს, რაც ბევრად აღემატება გაძლიერების კოეფიციენტს სიმძლავრის მიხედვით OБ-ით სქემისათვის.

ამ სქემის ნაჩვენებმა უპირატესობამ უზრუნველყო მისი უფრო ფართოდ გამოყენება მაძლიერებლებში.

სქემაში საერთო კოლექტორით (ნახ. 16-25, გ) შესავალი ძაბვის წყარო ბაზის წრედში ირთვება, ხოლო დატვირთვის $R_{დატ}$ წინაღობა — ემიტერის წრედში. შესავალ დენს წარმოადგენს ბაზის დენი, ხოლო გამოსავალს — ემიტერის დენი. გაძლიერების კოეფიციენტი დენის მიხედვით ამ სქემისათვის გამოისახება ფორმულით

$$k_i = \frac{\Delta I_{ე}}{\Delta I_{ბ}} = \frac{\Delta I_{ე}}{\Delta I_{ე} - \Delta I_{კ}} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta I_{კ}}{\Delta I_{ე}}} = \frac{1}{1-\alpha} \quad (16\text{-}6)$$

საერთო კოლექტორით სქემის შესავალი წინაღობა დიდია და ათეულ კილოომს აღწევს, ხოლო გამოსავალი კი მცირეა, ერთეულ კილოომამდე, კასკადს საერთო კოლექტორით გაძლიერების კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით აქვს $K = 0{,}9 \div 0{,}95$, ხოლო სიმძლავრის მიხედვით K_p — რამდენიმე ათეულის ტოლია.

სქემა საერთო კოლექტორით შედარებით იშვიათად გამოიყენება. მას ძირითადად იყენებენ მაძლიერებლის ცალკეული კასკადების და სიგნალის წყაროს ან დატვირთვის მაძლიერებელთან შესათანხმებლად. ვინაიდან K_u ახლოსაა ერთთან, ამიტომ ამ სქემას ხშირად ემიტერის განმეორებას უწოდებენ.

გ) მახასიათებლები

ტრანზისტორის მახასიათებელი წარმოადგენს დენებსა და ძაბვებს შორის დამოკიდებულებას შესასვლელ და გამოსასვლელ წრედებში.

p—n—p ტიპის ტრანზისტორის შესასვლელი მახასიათებლები, რომლებიც ჩართულია საერთო ბაზით სქემის მიხედვით, მოყვანილია 16-26 ნახაზზე და გამოისახება ფორმულით.

$$I_{ე} = f(U_{ებ}), \text{ როცა } U_{კბ} = \text{const}.$$

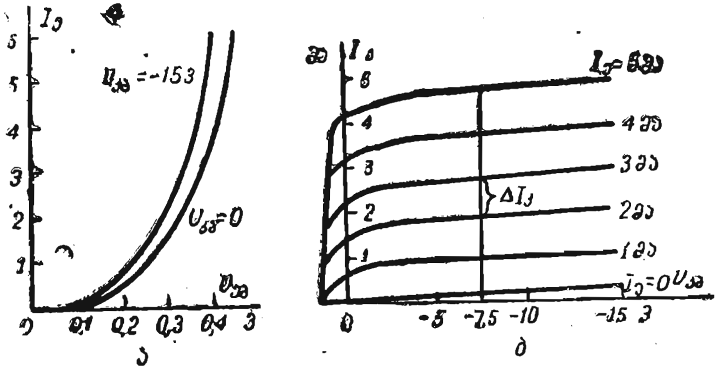
როცა ემიტერსა და ბაზას შორის ძაბვა მცირეა ($U_{ე \cdot ბ}$), $I_{ე}$ ემიტერის დენი, *p—n* გადასასვლელის დიდი წინაღობის გამო, ნელა იზრდება, ხოლო შემდეგ მახასიათებლის სიმრუდე იზრდება.

ერთი მახასიათებელი (ნახ. 16-26, ა) მოხსნილია, როცა ძაბვა კოლექტორსა და ბაზას შორის ნულის ტოლია ($U_{კ \cdot ბ} = 0$), მეორე — როცა ძაბვა $U_{კ \cdot ბ} = -15$ ვ. უარყოფითი ძაბვის გაზრდისას შესასვლელი მახასიათე-

ბელი გადაიწევა მარცხნივ, ვინაიდან ემიტერის გადასასვლელზე $U_{კ.ბ}$ ძაბვის მიერ შექმნილი ველის ზემოქმედების შედეგად ემიტერის დენი უმნიშვნელოდ იზრდება.

16-26, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია გამოსასვლელი მახასიათებლები

$$I_{კ}=f(U_{კბ}),\ \text{როცა}\ \ I_{ე}=\text{const}.$$



ნახ. 16-26. $p—n—p$ ტრიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი, რომელიც ჩართულია საერთო ბაზის სქემით.

ეს მახასიათებლები გვიჩვენებს, რომ $U_{კ.ბ}$ ძაბვა სუსტ გავლენას ახდენს $I_{კ}$ კოლექტორის დენზე, რადგან ძირითადად ის დამოკიდებულია ბაზაში ინჟექცირებული ხვრელების რიცხვზე, ანუ ემიტერის $I_{ე}$ დენზე.

გამოსასვლელი მახასიათებლები საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ დენის გადაცემის კოეფიციენტი (16-3): $\alpha\approx\Delta I_{კ}/\Delta I_{ე}$, სადაც $\Delta I_{კ}$ არის ორი მახასიათებლის ორდინატთა (მაგალითად, 2 და 3 მა 16—26, ბ ნახაზზე) და შესაბამისი ერთი და იმავე აბსცისათა (მაგალითად, — 7,5 ვ) სხვაობა, ხოლო $\Delta I_{ე}$—ემიტერის დენების სხვაობა, რომლის დროსაც ეს მახასიათებლები მოხსნილ იქნა (მაგალითად, $\Delta I_{ე}=3—2=1$ მ.ა).

საერთო ემიტერის მქონე სქემის მიხედვით ჩართული $p—n—p$ ტიპის ტრანზისტორის შესასვლელი და გამოსასვლელი მახასიათებლები ნაჩვენებია 16—27 ნახაზზე.

შესასვლელი მახასიათებელი (ნახ. 16—27, ა) წარმოადგენს ბაზის დენის დამოკიდებულებას ბაზასა და ემიტერს შორის $U_{ბ.ე}$ ძაბვაზე, როცა ძაბვა $U_{კ.ე}$=const ე. ი.

$$I_{ბ}=f(U_{ბე}),\ \text{როცა}\ \ U_{კე}=\text{const}.$$

როცა $U_{ბ.ე}$ ძაბვა მცირეა, $I_{ბ}$ ბაზის დენი ნელა იზრდება, $U_{ბ.ე}$ ძაბვის გაზრდასთან ერთად მახასიათებლის სიმრუდე იზრდება და გახდება

მუდმივი. მახასიათებლის სწორხაზოვანი ნაწილების დახრები რამდენადმე განსხვავებულია სხვადასხვა გამოსავალი ძაბვების $U_{კე}$ დროს.

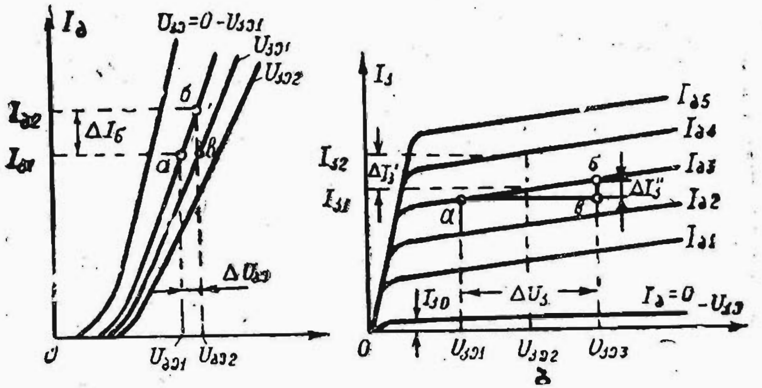
გამოსასვლელი მახასიათებლები (ნახ. 16—27, ბ)

$$I_{კ}=f(U_{კე}), \text{ როცა } I_{ბ}=\text{const.}$$

საერთო ემიტერის მქონე სქემით ჩართული $p—n—p$ ტიპის ტრანზისტორის გამოსასვლელ მახასიათებლებს მუშა ნაწილებში მეტი დახრილობა აქვს, ვიდრე საერთო ბაზის მქონე სქემების მახასიათებლებს. ეს არის კოლექტორის ძაბვის გავლენა ბაზაში ხვრელების ინჟექციის პროცესზე.

საერთო კოლექტორის მქონე სქემის მიხედვით ჩართული $p—n—p$ ტიპის ტრანზისტორის მუშაობის განხილვის დროს ჩვეულებრივად სარგებლობენ იმავე მახასიათებლებით, როგორიც საერთო ემიტერის მქონე სქემებში გვქონდა.

ტრანზისტორის პარამეტრები, რომლებიც გამოიყენება მათი თვისებების შესაფასებლად, იყოფა პირველადად და მეორეულად.



ნახ. 16-27. საერთო სქემით ჩართული $p—n—p$ ტრიოდის სტატისტიკური მახასიათებელი.

პირველად პარამეტრებს მიეკუთვნება:

1) ემიტერის გადასასვლელის წინაღობა, რომლის მნიშვნელობა ათეული ომობით განისაზღვრება;

2) ბაზის $r_{ბ}$ წინაღობა, რომლის მნიშვნელობა ასეული ომით;

3) კოლექტორის გადასასვლელის $r_{კ}$ წინაღობა, რომლის მნიშვნელობა ათეულ ათასობით ომია;

4) გაძლიერების კოეფიციენტი დენის მიხედვით, რომელიც α-თი ან β-თი აღინიშნება, იმის მიხედვით, თუ როგორია ტრანზისტორის ჩართვის სქემა.

მეორეული პარამეტრები ამყარებს კავშირს დენისა და ძაბვის მცირე ნამატებს შორის ტრანზისტორში. ისინი განისაზღვრებიან ტრანზისტორის ჩართვის სქემებით. უმთავრესად იყენებენ h — პარამეტრების სისტემას.

ეს პარამეტრები შეიძლება განვსაზღვროთ სტატიკური მახასიათებლების მიხედვით.

საერთო ემიტერის მქონე სქემებისათვის (ნახ. 16-25, ბ) პარამეტრებს განვსაზღვრავთ 16-27 ნახაზზე მოყვანილი მახასიათებლების მიხედვით.

1. ტრანზისტორის შესავალი წინაღობა

$$h_{11}=\frac{\Delta U_{ბე}}{\Delta I_{ბ}}=\frac{U_{ბე\ 2}-U_{ბე\ 1}}{I_{ბ\ 2}-I_{ბ\ 1}},\ როცა\ U_{კე\ 1}=\text{const.} \qquad (16\text{-}7)$$

2. უკუკავშირის კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით

$$h_{12}=\frac{\Delta U_{ბე}}{\Delta U_{კ}}=\frac{U_{ბე\ 2}-U_{ბე\ 1}}{U_{კე\ 2}-U_{კე\ 1}},\ როცა\ I_{ბ\ 1}=\text{const.} \qquad (16\text{-}8)$$

3. გაძლიერების კოეფიციენტი დენის მიხედვით

$$h_{21}=\frac{\Delta I_{კ}'}{\Delta I_{ბ}}=\frac{I_{კ\ 2}-I_{კ\ 1}}{I_{ბ\ 4}-I_{ბ\ 3}},\ როცა\ U_{კე\ 2}=\text{const.} \qquad (16\text{-}9)$$

4. გამოსავალი გამტარობა

$$h_{22}=\frac{\Delta I''_{კ}}{\Delta U_{კ}}=\frac{\Delta I_{კ}''}{U_{კე\ 3}-U_{კე\ 1}},\ როცა\ I_{ბ_3}=\text{const.} \qquad (16\text{-}10)$$

ელექტრონულ ხელსაწყოებთან შედარებით, ტრანზისტორების უპირატესობებია: ვარვარების წრედის არარსებობა, მაშასადამე, ელექტრული სქემის სიმარტივე; დიდი მექანიკური სიმტკიცე და ხანგამძლეობა; მუდმივი მზადყოფნა მუშაობისათვის; მცირე ზომები და მასა; კვების დაბალი ძაბვა და მაღალი მქ კოეფიციენტი.

ტრანზისტორების ნაკლოვანებებია: მუშაობის რეჟიმის დამოკიდებულება გარემოს ტემპერატურაზე, მნიშვნელოვანი განსხვავება შესავალ და გამოსავალ წინაღობებს შორის; მცირე გამოსასვლელი სიმძლავრე; გადატვირთვისადმი მგრძნობიარობა; პარამეტრების გაფანტვა, ე. ი ცალკეული ერთი ტიპის ტრანზისტორები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან თავისი პარამეტრებით.

16-11. ტრანზისტორების აღნიშვნები

ტრანზისტორები შეიძლება კლასიფიცირებული იქნეს ძირითადი ელექტრული და საექსპლუატაციო პარამეტრების მიხედვით. მაგალითად, განბნეული სიმძლავრის მიხედვით ტრანზისტორები იყოფა მცირე სიმძლავრის (ჩვეულებრივად 0,3 ვტ-მდე), საშუალო სიმძლავრისა (0,3-დან 3 ვტ-მდე) და მძლავრ ტრანზისტორებად (3 ვტ-ის ზევით). გაძლიერების სიხშირის მიხედვით ტრანზისტორები იყოფა დაბალი სიხშირის (10 მგჰ-მდე),

საშუალო სიხშირისა (10-დან 100 მგჰ-მდე) და მაღალი სიხშირის (100 მგჰ-ის ზემოთ) ტრანზისტორებად.

ГОСТ 10862-64-ის შესაბამისად ტრანზისტორები აღინიშნება შემდეგნაირად: პირველი ელემენტი — ასო ან ციფრი — შეესაბამება საწყის მასალას, რომლისგანაც ისაა დამზადებული: 1 ან Г — გერმანიუმის, 2 ან К — კაჟბადის, 3 ან А — გალიუმის არსენიდის.

აღნიშვნის მეორე ელემენტი გვიჩვენებს ხელსაწყოს კლასს — Т (ტრანზისტორი).

მესამე ელემენტი — სამნიშნიანი რიცხვი, რომელშიაც პირველი ციფრი აღნიშნავს, თუ რომელ ჯგუფს მიეკუთვნება ხელსაწყო სიხშირისა და განბნეული სიმძლავრის მიხედვით. უკანასკნელი ორი ციფრი გვიჩვენებს დამუშავების რიგით ნომერს, მაგალითად:

მცირე სიმძლავრისა და დაბალი სიხშირის ტრანზისტორი 101-დან 199-მდე;

მცირე სიმძლავრისა და საშუალო სიხშირის ტრანზისტორი 201-დან 299-მდე;

მცირე სიმძლავრისა და მაღალი სიხშირის ტრანზისტორი 301-დან 399-მდე;

საშუალო სიმძლავრისა და დაბალი სიხშირის ტრანზისტორი 401-დან 499-მდე;

საშუალო სიმძლავრისა და საშუალო სიხშირის ტრანზისტორი 501-დან 599-მდე;

საშუალო სიმძლავრისა და მაღალი სიხშირის ტრანზისტორი 601-დან 699-მდე;

დიდი სიმძლავრისა და დაბალი სიხშირის ტრანზისტორი 701-დან 799-მდე;

დიდი სიმძლავრისა და საშუალო სიხშირის ტრანზისტორი 801-დან 899-მდე;

დიდი სიმძლავრისა და მაღალი სიხშირის ტრანზისტორი 901-დან 999-მდე;

იმ შემთხვევაში, როცა ერთი დამუშავებით შექმნილია ხელსაწყოთა ჯგუფი, რომელთა ძირითადი ელექტრული პარამეტრები ძალიან უახლოვდება ერთმანეთს, მაგრამ ზოგიერთ პარამეტრში მაინცაა განსხვავება, მაშინ ხელსაწყოთა ეს სახესხვაობა განსხვავდება ასოთიც, რომელიც აღნიშვნის ბოლოში იწერება. მაგალითად: ГТ 308 *А* არის მცირე სიმძლავრის და მაღალი სიხშირის გერმანიუმის ტრანზისტორი, სადაც სახესხვაობას აღნიშნავენ *А*-თი; КТ 312 В — მცირე სიმძლავრისა და მაღალი სიხშირის კაჟბადის ტრანზისტორი, *В* სახესხვაობით.

16-12. ნახევარგამტარის მმართველი ვენტილები-ტირისტორები

ტირისტორი წარმოადგენს კაჟბადის ნახევარგამტარის მართულ ვენტილს სამი Π_1, Π_2, Π_3 $p—n$ გადასასვლელით, რომლებიც წარმოიქმნებიან ოთხ $p_1—n_1—p_2—n_2$ შრეს შორის (ნახ. 16—28). ტირისტორს A ანოდისა და K კათოდის გარდა აქვს მესამე მართული $УЭ$ ელექტროდი.

ტრანზისტორის ანალოგიურად ტირისტორებში მიღებულია დასახელება: გარე შრისათვის p_1 და n_1 კოლექტორი და ემიტერი, ხოლო მართულ ელექტროდთან შეერთებული შრისათვის — ბაზა.

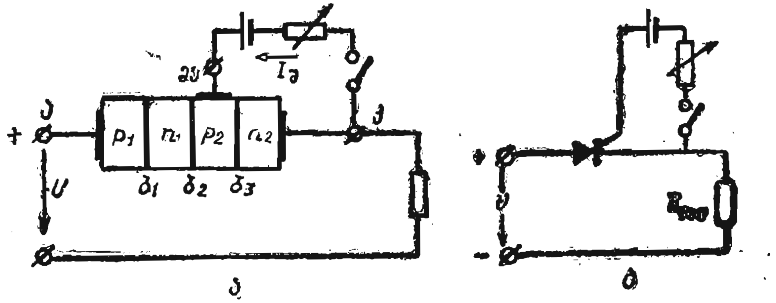
მცირე მუდმივი მკვებავი U ძაბვისა და მართული ელექტროდის გამორთვისას ორი გარე Π_1 და Π_3 გადასასვლელი ჩართული იქნება გამტარი მიმართულებით, ხოლო შუა Π_2 გადასასვლელი — საწინააღმდეგოდ, არაგამტარი მიმართულებით. ვინაიდან Π_2 გადასასვლელის წინაღობა გარე Π_1 და Π_3 გადასასვლელებთან შედარებით დიდია, მასზე იქნება მკვებავი ძაბვის მნიშვნელოვანი ნაწილი და დენის ძალა წრედში მცირე იქნება.

ტირისტორზე U ძაბვის ამაღლებისას, მასში დენის ძალა უმნიშვნელოდ იზრდება, რადგან ის იზღუდება Π_2 გადასასვლელის დიდი წინაღობით (Oa მრუდი ნახ. 16—29). როცა კვების ძაბვა მიაღწევს ე. წ. პირდაპირი გარღვევის, ანუ გადართვის $U_{გად}$ ძაბვას, მაშინ Π_2 გადასასვლელის შრეში ველის დაძაბულობა საკმარისი აღმოჩნდება იონიზაციისათვის და ელექტრონებისა და ხვრელების მუხტების თავისუფალი მატარებლების წარმოსაქმნელად. ამ შემთხვევაში აღინიშნება Π_2 გადასასვლელის ე. წ. ზ ვ ა ვ უ რ ი გ ა რ ღ ვ ე ვ ა. დენი ტირისტორში იზრდება $I_{გათ}$ — გადართვის დენის მნიშვნელობამდე, ძაბვა Π_2 გადასასვლელზე მკვეთრად ეცემა (1 ვ-მდე), რაც შეესაბამება ამავე გადასასვლელის წინაღობის მკვეთრ შემცირებას, ე. ი. ვენტილი იხსნება. Π_2 გადასასვლელში გამავალი სიმძლავრე დიდი არაა და ტირისტორზე ნორმალური ძაბვის დროს ზვავურ გარღვევას არ მოყვება არაუკუქცევადი ცვლილებანი ტირისტორის სტრუქტურაში.

ვენტილის გახსნას შეესაბამება მრუდის ab უბანი (ნახ. 16—29). შემდეგი bb უბანი ანალოგიურია კაჟბადის ვენტილის ნორმალური ვოლტამპერული მახასიათებლისა. ვენტილი გახსნილი იქნება მანამ, ვიდრე დენის ძალა ტირისტორში საკმარისია Π_2 გადასასვლელში მუხტების მატარებლების წარმოქმნის პროცესის შესანარჩუნებლად. დენის შემცირების ე. წ. შეკავების $I_{შეკ}$ დენის მნიშვნელობაზე დაბლა ტირისტორი უბრუნდება საწყის არაგამტარ მდგომარეობას.

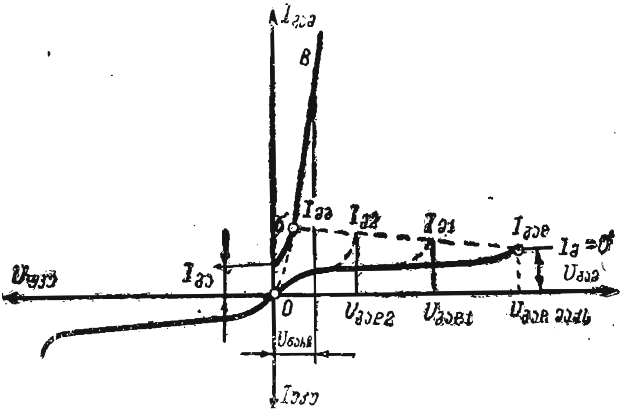
თუ მართულ ელექტროდს მივუერთებთ დამხმარე ბატარეის დადებით მომჭერთან, მაშინ მართული $I_{მარ}$ დენის მეშვეობით ბაზის შრეში შეიძლება შევიყვანოთ მუხტების დამატებითი მატარებლები — ელექტრონები, ამის შედეგად მცირდება Π_2 გადასასვლელის გამრღვევი ძაბვა. რაც მეტია

$I_{\text{მეკ}}$ დენი, მით ნაკლებია ძაბვა, რომლის დროსაც იხსნება ტირისტორი. საკმარისი მართული დენის ძალის დროს, რომელსაც გამართვის დენი ეწოდება $I_{\text{მეკ. გამ}}$ ტირისტორი იმუშავებს, როგორც არამართული ვენტილი [ვოლტამპერული მახასიათებლის *ობ* უბანი (ნახ. 16-29)].



ნახ. 16-28. ტირისტორის მოწყობილობა (ა) და მისი სქემა (ბ).

ამგვარად, ტირისტორის გადაყვანა დახურული მდგომარეობიდან ღიაში შეიძლება ვენტილზე გადართვის $U_{\text{გად}}$ ძაბვის მოდებით, რომლის დროსაც ზვავური გარღვევა ხდება ან მართვის $I_{\text{მარ}}$ დენის ჩართვის გზით, რომლის დროს ბაზის შრეში შეიყვანება მუხტის დამატებითი მატარებლები. რადგან ტირისტორის გახსნის პროცესს 10 მკწმ-მდე სჭირდება, ხოლო გახსნის შემდეგ მართული ელექტროდი აღარ ახდენს გავლენას ტირისტორის მუშაობაზე, მაშინ მის გასახსნელად საკმარისია მართული $I_{\text{მარ}}$ დენის ხანმოკლე იმპულსი.



ნახ. 16-22. ტირისტორის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

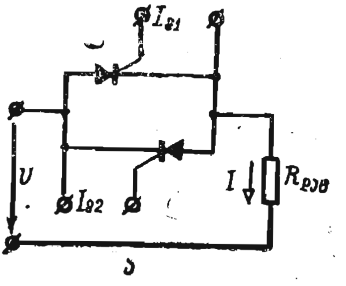
ტირისტორის მომჭერებზე უკუძაბვის მოდების დროს ის ჩაკეტილი იქნება Π_1 და Π_2 გადასასვლელებით მართული ელექტროდის ძაბვის მიუხედავად.

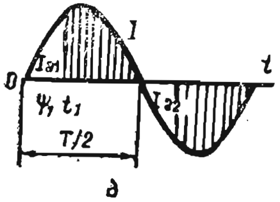
ამ შემთხვევაში მისი ვოლტამპერული მახასიათებელი არ განსხვავდება არამართული ვენტილის შესაბამისი მახასიათებლისაგან (ნახ. 16-29).

ოთხშრიანი ნახევარგამტარის ხელსაწყოებს — ტირისტორებსა და დინისტორებს ხშირად იყენებენ, როგორც უკონტაქტო გადამრთველებს. მათ აქვთ ორი მდგრადი მდგომარეობა, მათგან ერთი, როცა ხელსაწყოს წინაღობა ძალიან დიდია ($r\approx\infty$) — წრედი განრთულია და მეორე, როცა წინაღობა ძალიან მცირეა ($r\approx 0$) წრედი შერთულია.

16-30 ნახაზზე ნაჩვენებია ორი ტირისტორის წრედში შემხვედრ-პარალელური ჩართვის სქემა სინუსოიდური ძაბვითა და აქტიური $R_{დატ}$ დატვირთვით. თუ ყოველი პერიოდის დასაწყისში ($\alpha=0$) დენის იმპულსებს მივაწოდებთ პირველ ტირისტორს, მაშინ დენი ამ შტოში გაივლის მთელი ნახევარპერიოდის განმავლობაში $T/2$. თუ დენის იმპულსებს მივაწოდებთ რაღაც ძვრით დროში $t=\alpha_1/\omega$, მაშინ დენი ამ შტოში გაივლის მხოლოდ ნახევარი პერიოდის რაღაც ნაწილის განმავლობაში t_1-დან $T/2$-მდე (ნახ. 16-30, ბ). ანალოგიურ სურათს მივიღებთ მეორე შტოშიაც, $I_{მარ2}$-ის იმპულსებისაგან ნახევარი პერიოდით ჩამორჩენით $I_{მარ\,1}$ დენის იმპულსების მიწოდების დროს (ნახ. 16-27 ბ).

ამგვარად, პერიოდის სხვადასხვა მომენტში $I_{მარ\,1}$ და $I_{მარ\,2}$ დენების იმპულსების მიწოდების დროს (რეგულირების სხვადასხვა α კუთხის დროს) შეიძლება ვცვალოთ დენის გავლის ხანგრძლივობა თითოეული ნახევარპერიოდის განმავლობაში და, მაშასადამე, ვარეგულიროთ დენის მოქმედი მნიშვნელობა დატვირთვაში (რომელიც განისაზღვრება ორდინატის ნახევარპერიოდში საშუალო სიდიდით დაშტრიხული ფართობით (ნახ. 16-27), ისე რომ არ გამოვიყენოთ რაიმე კონტაქტორული მოწყობილობა.





ნახ. 16-30. ტირისტორების შემხვედრ-პარალელური შეერთება (ა) და დენის მრუდი დატვირთვის წინაღობაში (ბ).

ტირისტორის ძირითად პარამეტრებს წარმოადგენს: 1) გადართვის $U_{\text{გად}}$ ძაბვა, რომლის დროს შესაძლებელია გადართვა გამორთული მართული ელექტროდის დროს; 2) ნარჩენი $U_{\text{ნარ}}$ ძაბვა — პირდაპირი ძაბვა ხელსაწყოზე ნომინალური დენის დროს და გახსნილ მდგომარეობაში; 3) ხელსაწყოს $I_{\text{უკუ}}$ უკუდენი უკუძაბვის განსაზღვრული მნიშვნელობის დროს; 4) მართვის $I_{\text{მარ}}$ დენი — მართვის დენის უმცირესი მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ხელსაწყო ჩაკეტილი მდგომარეობიდან გადადის ღიაში; 5) მაქსიმალური $I_{\text{პირ. მაქს}}$ დენი — დენის უდიდესი დასაშვები მნიშვნელობა ღია მდგომარეობაში; 6) გამორთვის $I_{\text{გამ}}$ დენი — უმცირესი დენი ხელსაწყოში, რომლის დროსაც ის ისევ ჩართული რჩება; 7) გადართვის $I_{\text{გად}}$ დენი — დენი, რომელიც შეესაბამება გადართვის ძაბვას; 8) ჩართვის $\tau_{\text{ჩარ}}$ დრო — დროის მონაკვეთი გამხსნელი იმპულსის მიწოდების მომენტიდან ხელსაწყოზე ძაბვის საწყისი სიდიდის 10%-მდე შემცირების მომენტამდე; 9) გამორთვის $\tau_{\text{გამ}}$ დრო — უმცირესი დრო, რომლის განმავლობაში ხელსაწყოზე უნდა მოვდოთ უკუძაბვა მისი გახსნილი მდგომარეობიდან ჩაკეტილში გადასაყვანად.

მეჩვიდმეტე თავი

ფოტოელექტრონული ხელსაწყოები

17-1. ფოტოელემენტები გარე ფოტოეფექტით

ფოტოელემენტი ეწოდება ელექტროვაკუუმურ, ნახევარგამტარის ან სხვა ელექტროხელსაწყოს, რომლის ელექტრული თვისებები (დენის ძალა, შიგა წინაღობა ან ემ ძალა) იცვლება მასზე დაცემული სინათლის სხივების ზემოქმედებით.

იმ გარემოს მიხედვით, რომელშიაც ელექტრონები მოძრაობს, ფოტოელემენტები იყოფა სამ კლასად.

ვაკუუმური, ანუ *ელექტრონული ფოტოელემენტი*, რომლებშიაც ელექტრონები მოძრაობენ ვაკუუმში.

აირსავსე, ანუ იონური ფოტოელემენტები, რომლებშიაც გაიშვიათებულ აირში ელექტრონების მოძრაობისას ხდება აირის ატომების იონიზაცია.

ნახევარგამტარის, რომლებშიაც განთავისუფლებული ელექტრონები ზრდიან ხელსაწყოს გამტარობას ან ქმნიან ემ ძალას.

ელექტრონულ და იონურ ფოტოელემენტებში იყენებენ გარე ფოტოეფექტს.

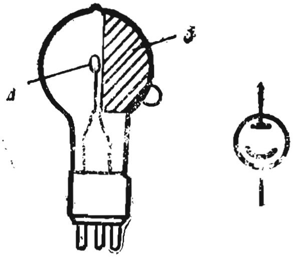
გ ა რ ე ფ ო ტ ო ე ფ ე ქ ტ ი, რომელსაც სხვანაირად ფოტოელექტრონულ ემისიას უწოდებენ, როგორც ზემოთ (§ 13-4) იყო ნაჩვენები, მდგომარეობს იმაში, რომ გამოსხივების წყარო ნივთიერების ელექტრონების ნაწილს ანიჭებს დამატებით ენერგიას, რომელიც საკმარისი აღმოჩნდება მათი მოცემული ნივთიერებიდან გამოსასვლელად გარემომცველ გარემოში (ვაკუუმი ან გაიშვიათებული აირი).

ფოტორეზისტორებში (ფოტოწინაღობებში) გამოიყენება შიგა ფოტოეფექტი.

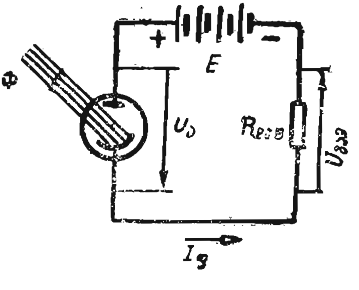
შ ი გ ა ფ ო ტ ო ე ფ ე ქ ტ ი მდგომარეობს იმაში, რომ გამოსხივების წყარო იწვევს ნივთიერების ნაწილი ელექტრონების ენერგიის გაზრდას, ნაწილი ატომების იონიზაციასა და მუხტების ახალი მატარებლის თავისუფალი ელექტრონებისა და მუხტების წარმოქმნას, რის შედეგადაც ნივთიერების ელექტრული წინაღობა მცირდება.

ნახევარგამტარის ფოტოელემენტებში — ფოტოდიოდებში და ფოტოტრიოდებში გამოიყენება p—n გადასასვლელში ემ ძალის წარმოშობის ფოტოეფექტი, რომელიც წარმოიქმნება გადასასვლელზე სინათლის ნაკადის დაცემის შედეგად შექმნილი ველის მიერ ელექტრონულ-ხვრელური წყვილის გადასასვლელის გაყოფით.

ფოტოეტიუდებს შეუძლიათ იმუშაონ რეჟიმით, როცა გარე ძაბვის წყარო არსებობს ამ რეჟიმით კვების წყაროს გარეშე, ე. ი. თვითონ წარმოადგენს ემ ძალის წყაროს.



ნახ. 17-1. ელექტრონული ფოტოელემენტი და მისი პირობითი აღნიშვნა.



ნახ. 17-2. ფოტოელემენტის ჩართვის სქემა.

უმთავრესად გავრცელებულია ჟ ა ნ გ ბ ა დ-ც ე ზ ი უ მ ი ს და ს ტ ი ბ ი უ მ-ც ე ზ ი უ მ ი ს ელექტრონული ფოტოელემენტები.

ელექტრონული ჟანგბად-ცეზიუმის ფოტოელემენტი (ნახ. 17-1) შედგება მინის კოლბისაგან, რომელშიაც შექმნილია ვაკუუმი. კოლბის შიგა ზედაპირი მცირე „ფანჯრის“ გარდა, რომელიც კოლბაში სინათლის შესასვლელადაა, დაფარულია ვერცხლის შრით (სადები), რომელზეც დაიტანება ნახევარგამტარის შრე ც ე ზ ი უ მ ი ს ჟ ა ნ გ ი — ფოტო-

ელემენტის კათოდი. სტიბიუმ-ცეზიუმის ვაკუუმურ ფოტოელემენტებში სადები კეთდება სტიბიუმისაგან, რომელზეც დაიტანება ნახევარგამტარის შრე.

A ანოდს ფოტოელემენტებში აკეთებენ რგოლის სახით, რათა მან არ გადაუღობოს გზა სინათლის ნაკადს კათოდისაკენ.

იონური ფოტოელემენტები მზადდება მხოლოდ ჟანგბად-ცეზიუმისაგან. ისინი ელექტრონული ფოტოელემენტებისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ იმით, რომ კოლბა ჰაერის გამოტუმბვის შემდეგ ივსება არგონით დაბალ წნევაზე.

თუ ფოტოელემენტებს შევაერთებთ დატვირთვის $R_{დატ}$ წინაღობასთან და კვების წყაროსთან (ნახ. 17-2), ფოტოელემენტზე მივიღებთ $U_{ან}$ ანოდურ ძაბვას, ხოლო ანოდსა და კათოდს შორის ელექტრულ ველს.

თუ ფოტოელემენტის ფანჯრიდან მის კათოდზე დაეცემა სინათლის ნაკადი, მაშინ ემიტირებული ელექტრონები ველის ძალის მოქმედებით გადაადგილდება კათოდიდან ანოდისაკენ. ამგვარად, წრედში დამყარდება ფოტოდენი, რომელიც იდენს მთელი დროის განმავლობაში, სანამ კათოდი განათებულია. $I_{ფტ}$ ფოტოდენის დამოკიდებულებას სინათლის Φ ნაკადთან ემ ძალის წყაროს უცვლელი ძაბვის დროს, ე. ი.

$$I_{ფტ}=f(\Phi), \quad \text{როცა} \quad U = \text{const},$$

სინათლის მახასიათებელი ეწოდება.

ელექტრონული ფოტოელემენტისათვის ის სწორხაზოვანია (ნახ. 17-3, ა)

$$I_{ფტ}=S\cdot\Phi.$$

იონური ფოტოელემენტისათვის ის არასწორხაზოვანია (ნახ. 17-3, ბ).

იონურ ფოტოელემენტში ატომების ელექტრონებით იონიზაცია ზრდის ელექტრონების ნაკადს, ე. ი. ზრდის ფოტოელემენტის დენს. აირის იონიზაციით გაძლიერებული $I_{ან}$ დენის დამოკიდებულებას პირველად ელექტრონულ $I_{ფტ}$ ფოტოდენთან აირული გაძლიერების კოეფიციენტი ეწოდება და გამოისახება ფორმულით.

$$k_{აირ}=\frac{I_{ან}}{I_{ფტ}}.$$

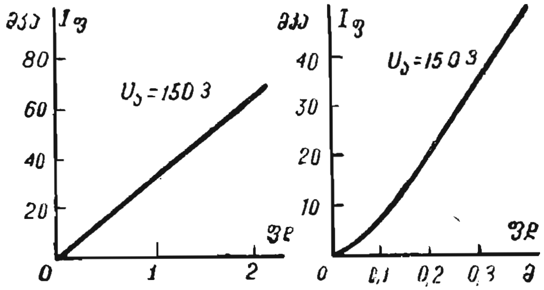
რაც მეტი აირია შეყვანილი ფოტოელემენტში, მით მეტია $k_{აირ}$ კოეფიციენტი. ჩვეულებრივად ის 4—6-მდეა.

ფოტოელემენტის ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრი არის მისი სინათლის ანოდური მგრძნობიარობა, რომელიც წარმოადგენს ფოტოდენის (მიკროამპერობით) შეფარდებას თეთრი სინათლის ნაკადთან (ლუმენობით — ლმ), რომელიც მიიღება სინათლის სტანდარტული წყაროდან.

სინათლის მგრძნობიარობა

$$S = I_{ფტ}/\Phi.$$

ელექტრონული ფოტოელემენტებისათვის ის ტოლია 20—120 მკა/ლმ, ხოლო იონური ფოტოელემენტებისათვის — 150—250 მკა/ლმ.



ნახ. 17-3. სინათლის მახასიათებლები.
ა—ელექტრონული ფოტოელემენტის; ბ—იონური ფოტოელემენტის.

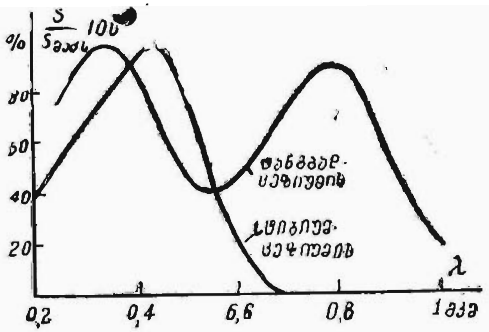
ფოტოელექტრონული ემისია და ფოტოელემენტის ფოტოდენი დამოკიდებულია სინათლის გამოსხივების ტალღის λ სიგრძეზე (§ 13-4), ამიტომ. სინათლის მგრძნობიარობის გარდა, სარგებლობენ ცნებით სპექტრული მგრძნობიარობით.

ს პ ე ქ ტ რ უ ლ ი ა ნ ო დ უ რ ი მ გ რ ძ ნ ო ბ ი ა რ ო ბ ა ეწოდება ფოტოდენის შეფარდებას მოცემული სიგრძის ტალღის სინათლის ნაკადთან, ე. ი.

$$S_\lambda = I_{ფტ\ \lambda}/\Phi_\lambda.$$

ფოტოელემენტების მგრძნობიარობის დამოკიდებულებას ფოტოელემენტზე დაცემული მუდმივი სიდიდის სინათლის ნაკადის ტალღის სიგრძესთან ეწოდება ფოტოელემენტების სპექტრული მახასიათებელი, ე. ი.

$$S_\lambda = f(\lambda), \text{ როცა } \Phi_\lambda = \text{const} \text{ და } U_ა = \text{const}.$$



ნახ. 17-4. ელექტრონული ფოტოელემენტების სპექტრული მახასიათებლები.

17-4 ნახაზიდან ჩანს, რომ სტიბიუმ-ცეზიუმის ელემენტის სელექციური მაქსიმუმი იმყოფება ცისფერი და მწვანე სხივების არეში $\lambda = 0{,}4 \div 0{,}5$ მკმ. ჟანგბად-ცეზიუმის ელემენტში არსებობს ორი სელექციური მაქსიმუმი, როცა $\lambda = 0{,}35$ და $\lambda = 0{,}8$ მკმ.

ელექტრონული ფოტოელემენტის ანოდური ვოლტამპერული მახასიათებელი (ნახ. 17-5), რომელიც გამოისახება დამოკიდებულებით

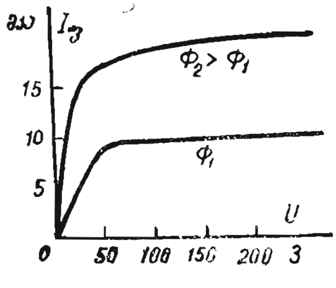
$$I_{ფტ} = f(U_ა), \text{ როცა } \Phi = \text{const} \text{ არასწორხაზოვანია.}$$

ძაბვის მომატებისას ფოტოდენი საწყისში სწრაფად იზრდება, ხოლო შემდეგ მისი ზრდა ნელდება და ბოლოს თითქმის მთლიანად წყდება (გაჯერების რეჟიმი).

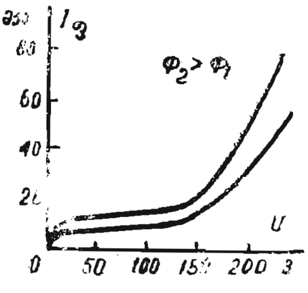
იონური ფოტოელემენტების ანოდურ მახასიათებლებში ანოდური ძაბვის გაზრდისას ჰორიზონტალური უბნის შემდეგ იონიზაციის შედეგად მრუდი მაღლა იწევს.

ფოტოელემენტების ერთ-ერთი თვისებაა მათი გ ა დ ა ღ ლ ა, ე. ი. პარამეტრების შეცვლა ექსპლუატაციის ხანგრძლივობისას.

ფოტოდენის მცირე მნიშვნელობის შედეგად, რომელიც შეიძლება მივიღოთ ფოტოელემენტისაგან (მაგალითად, რამდენიმე მილიამპერი), ისინი ჩვეულებრივად გამოიყენება მილაკიანი ან ნახევარგამტარის მაძლიერებლებთან ერთად.



ნახ. 17-5. ელექტრონული ფოტოელემენტის ანოდური მახასიათებლები.



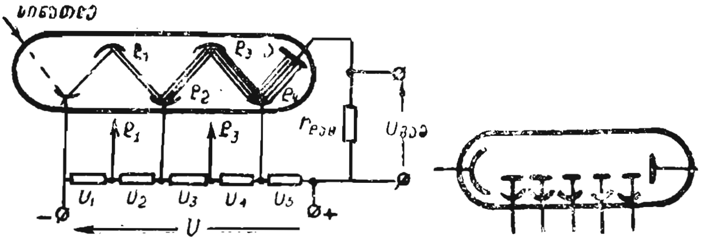
ნახ. 17-6. იონური ფოტოელემენტის ანოდური მახასიათებლები.

ფოტოელემენტები ფართოდ გამოიყენება ელექტრონიკის სხვადასხვა დარგში, ავტომატიკაში, ტელეხედვაში, ხმოვან კინოში, მზომელობით ტექნიკაში და ა. შ. ფოტოელემენტების გამოყენების უმარტივესი სქემები განხილულია 21-ე თავში.

17-2. ფოტოელექტრონული მამრავლებელი

ფოტოელექტრონული მამრავლებელი — ეს არის ფოტოელემენტი გარე ფოტოეფექტით, რომლის ფოტოდენი ძლიერდება მეორეული ელექტრონული ემისიის ხარჯზე.

მინის ბალონში (ნახ. 17-7), D — კათოდის და A ანოდის გარდა, განლაგებულია მეორეული ემისიის კათოდები — $დ_1$ და $დ_2$ დინოდები და ა. შ., რომელთა ზედაპირები დაფარულია ემისიური შედგენილობით. თითოეულ შემდეგ დინოდს აქვს პოტენციალი თითქმის 100 ვ-ით მეტი წინაზე. თითოეული მეორეული კათოდი — დინოდი უფრო მეორეულ ელექტრონებს მეტს გამოასხივებს, ვიდრე ღებულობს პირველადი — მისი დამბომბავი კათოდი. მეორეული ელექტრონების რიცხვის შეფარდებას პირველადი ელექტრონების რიცხვთან ეწოდება მეორეული ემისიის σ კოეფიციენტი, რომელიც 3—4-ის ტოლია. ამგვარად, ფოტოელექტრონული მამრავლებლის გამოსავალი დენი n მეორეული კათოდით იქნება σ^n, მაგრამ ფოტოელექტრონული მამრავლებლის მაქსიმალური გამოსავალი დენი არ აღემატება ათეულ მილიამპერს.



ნახ. 17-7. ფოტოელექტრონული მამრავლების სქემა და მისი პირობითი აღნიშვნა.

ფოტოელექტრონული მამრავლების მგრძნობიარობა აღწევს 100 ა/ლმ. ფოტოელექტრონული მამრავლებელი გამოიყენება მცირე სინათლის ნაკადის 10^{-8} ლმ-მდე გასაზომად.

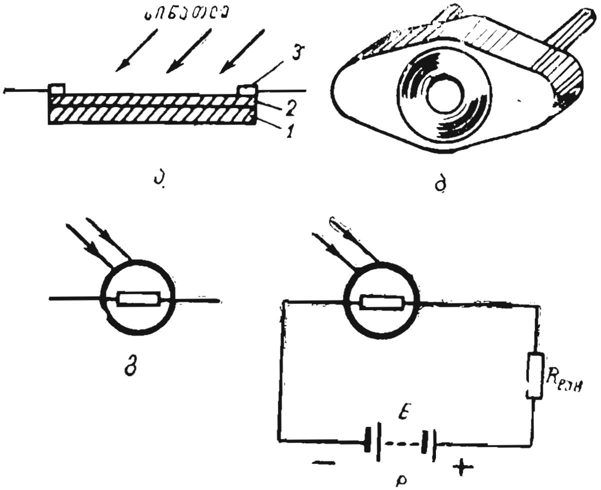
სამამულო მრეწველობა უშვებს ფოტოელექტრონულ მამრავლებლებს საფეხურების სხვადასხვა რიცხვით (ФЭУ-1—ФЭУ-19).

17-3. ფოტორეზისტორები

ფოტორეზისტორი (ფოტოწინაღობა) ეწოდება ნახევარგამტარის ხელსაწყოს, რომლის ელექტრული წინაღობა მკვეთრად იცვლება მასზე დაცემული გამოსხივების ზემოქმედებით. ფოტორეზისტორის განათებისას ნახევარგამტარის მიერ სხივური ენერგიის შთანთქმა იწვევს ატომების

იონიზაციას და ელექტრონებისა და ხვრელების მუხტების თავისუფალი მატარებლების რიცხვის გაზრდას, რაც იწვევს მისი წინაღობის შემცირებას.

ფოტორეზისტორი წარმოადგენს (ნახ. 17-8, ა და ბ) მინის ფირფიტას (1), რომელზედაც (ვაკუუმში აორთქლების გზით) დატანილია ნახევარგამ-



ნახ. 17-8. ფოტორეზისტორი:

ა — მოწყობილობა; ბ — გარე ხედი; გ — პირობითი აღნიშვნები; დ — შეერთების სქემა.

ტარის (2) თხელი შრე, ხოლო ნაპირებზე გამოყვანილია ორი ლითონის ელექტროდი (3).

ნახევარგამტარის შრე იფარება გამჭვირვალე ლაქით ტენისა და მექანიკური დაზიანებისაგან დაცვის მიზნით. ფირფიტას ათავსებენ კორპუსში ორი მანჭვლით, რომლებთანაც მიერთებულია ელექტროდები. ფოტორეზისტორის პირობითი აღნიშვნა და შეერთების სქემა ნაჩვენებია 17-8, ბ და გ ნახაზებზე.

ნახევარგამტარად იყენებენ გოგირდოვან ტყვიას (ფოტორეზისტორი ФСА), კადმიუმის სელენიდს (ფოტორეზისტორი ФСД), გოგირდოვან კადმიუმს (ფოტორეზისტორი ФСК). პირველი მათგანი მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ინფრაწითელ, ხოლო დანარჩენი — სინათლის ხილულ არეებში.

გაუნათებელ ფოტორეზისტორში გადის მცირე ე. წ. ს ი ბ ნ ე ლ ი ს დ ე ნ ი, რომელსაც შეესაბამება სიბნელის წინაღობა, რომელიც სხვადასხვა ტიპის რეზისტორებისათვის მდებარეობს ასეული კილოომისა და რამდენიმე მეგაომის ზღვრებში. ფოტორეზისტორის განათებისას მას-

ში გადის ფოტორეზისტორის საერთო დენი. სხვაობას საერთო და სიბნელის დენს შორის უწოდებენ ფოტოდენს

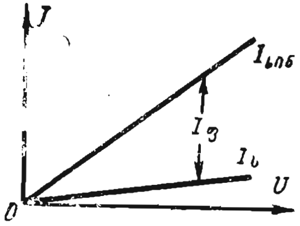
$$I_{ფტ} = I_{საერთ} - I_{სიბ}.$$

ფოტორეზისტორს ორივე მიმართულებით ერთნაირი წინაღობა აქვს და შეუძლია იმუშაოს მხოლოდ ემ ძალის გარე წყაროდან კვების დროს.

ფოტორეზისტორი შეიძლება დავახასიათოთ ინტეგრალური მგრძნობიარობით სინათლის ნაკადისადმი

$$S = I_{ფტ}/\Phi \text{ მკა/ლმ}.$$

მათი ინტეგრალური მგრძნობიარობა თითქმის ორჯერ მეტია, ვიდრე ელექტრონული და იონური ფოტოელემენტებისა.



ნახ. 17-9. ფოტორეზისტორის ვოლტამპერული მახასიათებელი.

დამოკიდებულება $I_{ფტ} = f(U)$, როცა $\Phi = \text{const}$, წარმოადგენს ფოტორეზისტორის ვოლტამპერულ მახასიათებელს (ნახ. 17-9), რომელიც ჩვეულებრივად სწორხაზოვანია.

ფოტორეზისტორებს აქვს მნიშვნელოვანი ინერცია. ფოტოდენის არასწორხაზოვანი დამოკიდებულება სინათლის ნაკადთან (სინათლის მახასიათებელი $I_{ფტ} = f(\Phi)$, როცა $U = \text{const}$) და ელექტრული წინაღობის ძლიერი დამოკიდებულება ტემპერატურაზე, რაც მათი ნაკლოვანებაა.

ფოტორეზისტორები ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო ელექტრონიკაში, ავტომატიკასა და გამოთვლით ტექნიკაში.

ფოტორეზისტორების გამოყენების უმარტივესი სქემები განხილულია ოცდამეერთე თავში.

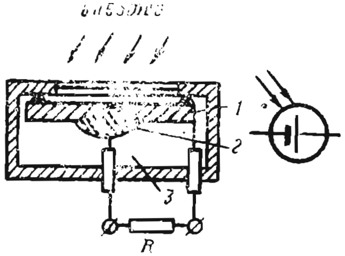
17-4. ნახევარგამტარიანი ფოტოელემენტები

ნახევარგამტარიანი ფოტოელემენტი ეწოდება ნახევარგამტარიან ხელსაწყოს, რომელშიაც მასზე გამოსხივების მოქმედებით წარმოიქმნება ე. წ. ფოტო —ემ ძალის ფოტოელემენტის მუშაობა ჩამკეტი შრით ან, რაც იგივეა, ვენტილური ფოტოელემენტის მუშაობა დამყარებულია ჩამკეტი შრის გამოყენებაზე სხვადასხვა გამტარობის ნახევარ გამტარებს შორის (p და n).

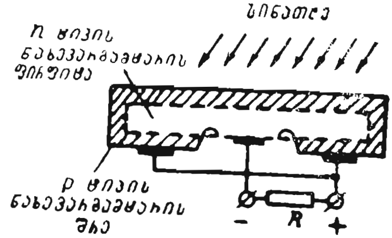
სხივური ენერგიის შთანთქმა ფოტოელემენტის ზედაპირის განათების დროს p—n გადასასვლელის ახლოს იწვევს კრისტალის ატომების იონიზაციას და ელექტრონებისა და ხვრელების მუხტების თავისუფალი მატარებლების ახალი წყვილების წარმოქმნას. წარმოქმნილი ელექტრონები p—n გადასასვლელის ელექტრული ველის ზემოქმედებით გადადის n

შრეში, ხვრელებში — p შრეში. ეს იწვევს ხვრელების სიჭარბეს p შრეში და ელექტრონების სიჭარბეს n შრეში. p და n შრეებს შორის წარმოქმნილ პოტენციალთა სხვაობა იწვევს I დენს გარე წრედში p ელექტროდიდან n ელექტროდამდე. ეს დენი დამოკიდებულია ელექტრონებისა და ხვრელების რაოდენობაზე, ე. ი. სინათლის ნაკადზე.

გერმანიუმის ფოტოელემენტის მოწყობილობის სქემა ჩამკეტი შრით ნაჩვენებია 17-10 ნახაზზე. ის შედგება გერმანიუმის ფირფიტისაგან (1) ელექტრონული ელექტროგამტარობით, რომელშიაც ჩადნობილია ინდიუმი (2). დამზადების პროცესში გერმანიუმის ფირფიტაში, რომელიც ინდიუმის ზემოდანაა მოთავსებული, წარმოიქმნება არე ხვრელური ელექტროგამტარობით, რომლის გერმანიუმთან საზღვარზე იქმნება p–n გადასასვლელი. ინდიუმის მაღლა მოთავსებული გერმანიუმის შრე იმდენად თხელია, რომ სინათლის სხივები თავისუფლად გადის p—n გადასასვლელის ზონაში.



ნახ. 17-10. გერმანიუმის ფოტოელემენტი და ნახევარგამტარიანი ფოტოელემენტის პირობითი აღნიშვნა.



ნახ. 17-11. კაჟბადი ფოტოელემენტი.

ფოტოელემენტის ორგანული მინის კორპუსი შევსებულია მაიზოლირებელი კომპაუნდით (3), რომელშიაც გამოდის ორი გამტარის გამომყვანი.

კ ა ჟ ბ ა დ ი ს ფ ო ტ ო ე ლ ე მ ე ნ ტ ი (ნახ. 17-11) შედგება კაჟბადის ფირფიტებისაგან მინარევებით, რომელიც ქმნის ელექტრულ ელექტროგამტარობას. ფირფიტის ზედაპირზე დიფუზიის გზით ვაკუუმში შეჰყავთ ბარიუმის მინარევი, რითაც ქმნიან p ტიპის 2 მკმ-მდე სისქის ნახევარგამტარის შრეს. კაჟბადის ელემენტების ბატარეას უწოდებენ მზის ბატარეას და გამოიყენება მზის ენერგიის უშუალოდ ელექტრულ ენერგიად გარდასაქმნელად, რომლის მქ კოეფიციენტია 11 %-მდე. ისინი, კერძოდ, გამოიყენებიან მიწის ხელოვნურ თანამგზავრებში, მათი რადიოსადგურების კვებისათვის.

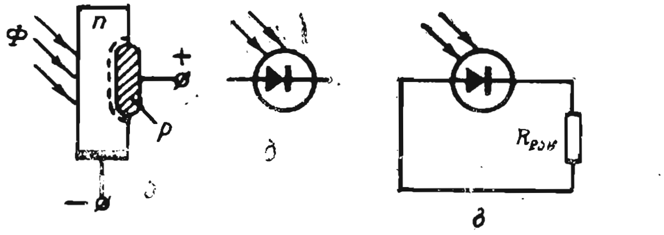
ფოტოელემენტებს ჩამკეტი შრით აქვს მაღალი მგრძნობიარობა (10 მა/ლმ-მდე). მათი უპირატესობა სხვა ფოტოელემენტებთან შედარებით

რმაში მდგომარეობს, რომ ისინი არ საჭიროებენ კვების წყაროს. ფოტოელემენტები ფართოდ გამოიყენება ელექტრონიკის მრავალ დარგში, ავტომატიკაში, გაზომვით ტექნიკაში და ა. შ.

ფ ო ტ ო დ ი ო დ ი ეწოდება ნახევარგამტარის ფოტოელემენტებს ორი ელექტროდით, რომელიც გაყოფილია $p—n$ გადასასვლელით.

ფოტოდიოდებს მუშაობა შეუძლია როგორც გარე კვების წყაროთი — ფ ო ტ ო გ ა რ დ ა მ ქ მ ნ ე ლ ი რეჟიმი, ისე გარე წყაროს გარეშეც — გენერატორული რეჟიმი.

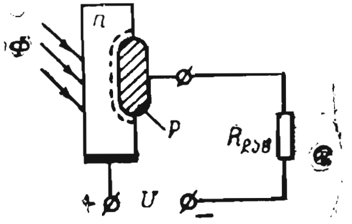
17-12 ნახაზზე ნაჩვენებია ფოტოდიოდის მოწყობილობა, მისი პირობითი აღნიშვნა და გენერატორული რეჟიმით ჩართვის სქემა.



ნახ. 17-12. ფოტოდიოდი (ა). მისი პირობითი აღნიშვნა (ბ) და ჩართვის სქემა, როცა ის გენერატორული რეჟიმით მუშაობს (გ).

ფოტოდიოდის განათებისას იქმნება დამატებითი წყვილები ელექტრონი — ხვრელი, რომელთა ნაწილი გადაადგილებისას აღწევს $p—n$ გადასასვლელამდე.

აქ $p—n$ გადასასვლელის ელექტრული ველის მოქმედებით ხვრელები გადადის p არეში, ხოლო ელექტრონები რჩება n არეში, რადგან მათ არ შეუძლიათ გადალახონ პოტენციური ბარიერი. ხდება ხვრელების დაგროვება p არეში და ელექტრონებისა n არეში. ამ დროს ელექტროდებს შორის მყარდება რაღაც პოტენციალთა სხვაობა, რომელიც წარმოადგენს ფოტო ემ ძალას 1 ვ-მდე მნიშვნელობით. დატვირთვის წინაღობის არსებობისას მასში გაივლის დენი (ნახ. 17-12, გ).



ნახ. 17-13. ფოტოდიოდის შეერთების სქემა, როცა ის მუშაობს ფოტოგარდამქმნელი რეჟიმით.

ფოტოგარდამქმნელი რეჟიმის დროს (ნახ. 17-13) კვების წყაროს ძაბვა მოდებულია უკუმიმართულებით.

როცა განათება არაა, ფოტოდიოდში გადის მცირე უკუდენი — ს ი ბ ნ ე ლ ი ს დ ე ნ ი.

ფოტოდიოდის ელექტრონული არის განათებისას წარმოიქმნება ელექტრონი — ნახვრეტი წყვილები. ნახვრეტები მიაღწევენ p—n გადასასვლელამდე, მისი ელექტრული ველის ზემოქმედებით გადადიან p არეში. მაშასადამე, სინათლე იწვევს არა ძირითადი მატარებლების დენის ზრდას n არედან p არეში, არამედ დენი წრედში იზრდება, ე. ი. წარმოიქმნება ფ ო ტ ო დ ე ნ ი. წრედში დენის ცვლილება, რაც დიოდის განათებაზეა დამოკიდებული, დატვირთვის დროს იწვევს ძაბვის ვარდნას, რომელიც პროპორციულია ფოტოდიოდზე მოქმედი სინათლის ნაკადისა.

ფოტოგარდამქმნელის რეჟიმით მომუშავე ფოტოდიოდი მსგავსია მაღალი მგრძნობიარობის მქონე ფოტორეზისტორისა. მაგალითად, ФД-К1 ტიპის კაჟბადის დიოდისათვის ის ტოლია 4—5 მა/ლმ, ხოლო ФД-2 ტიპის გერმანიუმის დიოდისათვის — 20—25 მა/ლმ. აქ მოყვანილი ფოტოდიოდებიდან პირველის სიბნელის დენი 1—3 მკა-ს შეადგენს, ხოლო მეორისათვის — 10 მკა-ს.

მეთვრამეტე თავი

ცვლადი დენის გამმართველები

18-1. ცვლადი დენის ერთნახევარპერიოდიანი გამართვა

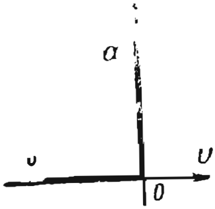
ც ვ ლ ა დ ი დ ე ნ ი ს გ ა მ ა რ თ ვ ა, ანუ მისი მუდმივ დენად გარდაქმნა, ხდება მოწყობილობის მეშვეობით, რომელსაც მეტად მცირე წინაღობა აქვს პირდაპირი მიმართულებით და მეტად დიდი წინაღობა — უკუმიმართულებით. ასეთი თვისების მქონე მოწყობილობას, როგორც ცნობილია, ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ვ ე ნ ტ ი ლ ს უწოდებენ. ასეთებს ეკუთვნის ნახევარგამტარიანი ვენტილები, ორელექტროდიანი ელექტრონმილაკები, გაზოტრონები და სხვ.

18-1 ნახაზზე ნაჩვენებია ი დ ე ა ლ უ რ ი ვ ე ნ ტ ი ლ ი ს ვოლტამპერული მახასიათებელი, რომლის წინაღობა პირდაპირი მიმართულებით $R_{პირ}$ ნულის ტოლია, ხოლო პირიქით, $R_{უკუ}$ — ტოლია უსასრულობისა. იდეალური ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი წარმოადგენს დენის დადებითი ნახევარღერძის oa მონაკვეთს და ძაბვის უარყოფითი ნახევარღერძის — $oб$ მონაკვეთს (უკუძაბვა).

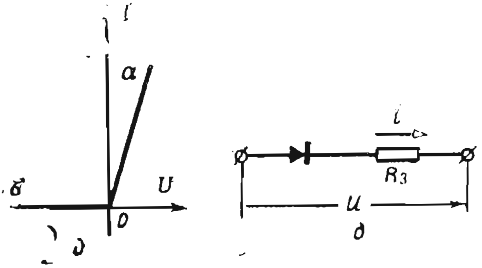
18-2, ა ნახაზზე მოცემულია დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებლის უბან-უბან — წრფივი აპროქსიმაცია ($oб$ და oa მონაკვეთები). ამ მახასიათებელს შეესაბამება ჩანაცვლების სქემა, რომელიც შედგება იდეალური ვენტილისა და თანამიმდევრულად შეერთებული მისი პირდაპირი წინაღობისაგან $R_{პირ}$ (ნახ. 18-2, ბ).

$R_{დატ}$ რეზისტორთან (დატვირთვასთან) თანამიმდევრულად შეერთებული იდეალური ვენტილის ($R_{ვენ}=0$) ჩართვისას (ნახ. 18-3, ა), სინუსოიდურ ძაბვაზე $u=U_{მაქს}\sin\omega t$ დადებითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში ($u>0$) დენი წრედში (ნახ. 18-3, ბ) განისაზღვრება ფორმულით

$$i=\frac{u}{R_{ვენ}+R_{დატ}}=\frac{u}{R_{დატ}}=\frac{U_{მაქს}\sin\omega t}{R_{დატ}}=I_{მაქს}\sin\omega t. \qquad (18\text{-}1)$$



ნახ. 18-1. იდეალური ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი.



ნახ. 18-2. ვენტილის ვოლტამპერული მახასიათებელი (ა) და მისი ჩანაცვლების სქემა (ბ).

ძაბვის უარყოფითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში $u<0$ დენი წრედში არ გადის, რადგან ვენტილის უკუწინაღობა ტოლია უსასრულობისა, ე. ი.

$$i=\frac{u}{R_{ვენ}+R_{დატ}}=\frac{u}{\infty}=0. \qquad (18\text{-}1,\ ა)$$

მაშასადამე, პერიოდის განმავლობაში წრედში გადის სინუსოიდური დენის ერთი ნახევარტალღა (ნახ. 18-3, ბ).

დადებითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში ძაბვა დატვირთვაზე ტოლია წრედზე მოდებული ძაბვისა $iR_{დატ}=U_{დატ}=u$, ხოლო ძაბვა ვენტილზე ნულის ტოლია, რადგან მისი წინაღობა $R_{ვენტ}=0$ (ნახ. 18-3, გ). უარყოფითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში ძაბვა დატვირთვაზე ნულის ტოლია (ნახ. 18-3, ბ), რადგან დენი წრედში $i=0$, ხოლო ძაბვა ვენტილზე (ნახ. 18-3, გ) წრედის მომჭერებზე ძაბვის ტოლია. დატვირთვის დროს ძაბვის მრუდი დენის მრუდის მსგავსია. ზემოთ ნათქვამიდან ნათელია, რომ ძაბვა დატვირთვაზე $U_{დატ}$ და დენი წრედში i პ უ ლ ს ი რ ე ბ უ ლ ი ა.

არასინუსოიდური და, კერძოდ, პულსირებული ძაბვისა და დენის ელექტრულ წრედებში მოვლენათა განხილვის დროს ჩვეულებრივად სარგებლობენ ფურიეს თეორემით. ამ თეორემის თანახმად, პერიოდულად ცვლადი სიდიდე შეიძლება განვიხილოთ, როგორც რაღაც მუდმივი (დრო-

ზე დამოუკიდებელი) სიდიდისა და სხვადასხვა ამპლიტუდის, სიხშირისა და საწყისი ფაზების მქონე რიგი სინუსოიდური სიდიდეების ჯამი.

სინუსოიდურ სიდიდეს, რომელსაც იგივე სიხშირე აქვს, რაც მოცემულ არასინუსოიდურ სიდიდეს, ეწოდება *ძირითადი*, ანუ *პირველი ჰარმონიკა*, სინუსოიდურ სიდიდეს, რომელსაც ორმაგი სიხშირე აქვს, *მეორე ჰარმონიკას* უწოდებენ.

ერთნახევარპერიოდიანი გამართული დენის ფურიეს მწკრივად დაშლის შედეგად მივიღებთ

$$i=\frac{I_{\text{მაქს}}}{\pi}+\frac{I_{\text{მაქს}}}{2}\sin\omega t-\frac{2I_{\text{მაქს}}}{3\pi}\cos 2\omega t-\frac{2I_{\text{მაქს}}}{3\cdot 5\pi}\cos 4\omega t\ldots=I_0+$$

$$+I_{1\,\text{მაქს}}\sin\omega t-I_{2\,\text{მაქს}}\cos 2\omega t-I_{4\,\text{მაქს}}\cos 4\omega t-\ldots \qquad (18\text{-}2)$$

მოყვანილი მწკრივიდან გამომდინარეობს, რომ ის შეიცავს მუდმივ შემდგენს

$$I_0=I_{\text{მაქს}}/\pi, \qquad (18\text{-}3)$$

რომელიც დენის საშუალო მნიშვნელობის ტოლია

$$I_0=\frac{1}{T}\int_0^T i\,dt,$$

დენის პირველი (ძირითადი) ჰარმონიკისა, რომლის ამპლიტუდა $I_{1\,\text{მაქს}}=I_{\text{მაქს}}/2$ და სიხშირე f ტოლია წრედთან მოყვანილი ძაბვის სიხშირისა და ყველა წყვილი ჰარმონიკათა სიხშირეებია $2f$, $4f$ და ა. შ.

იმავე წრედში დენის მოქმედი მნიშვნელობა, თუ დენის მოქმედი მნიშვნელობის (5-10) გამოსახულებით ვისარგებლებთ, შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად

$$I=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt}=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} I^2_{\text{მაქს}}\sin^2\omega t\,dt}=I_{\text{მაქს}}/2=\frac{\pi}{2}\cdot I_0. \qquad (18\text{-}4)$$

დატვირთვის მომჭერებზე ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა

$$U_{\text{დატ}}=U_{\text{მაქს}}/2.$$

დატვირთვაზე ძაბვის მუდმივი შემდგენი, ანუ, რაც იგივეა, საშუალო გამართული ძაბვა დატვირთვაზე

$$U_0=I_0R_{\text{დატ}}=\frac{I_{\text{მაქს}}R_{\text{დატ}}}{\pi}=\frac{U_{\text{მაქს}}\sqrt{2}}{\pi}=0{,}45\,U. \qquad (18\text{-}5)$$

(18-5) ტოლობა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ ცვლადი ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა წრედის მომჭერებზე, თუ მოცემულია გამართული ძაბვის U_0 მნიშვნელობა.

ვენტილის უკუძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა (ნახ. 18-3, გ) წრედის მომჭერებზე ძაბვის ამპლიტუდის ტოლია, ე. ი.

$$U_{უკუ\,მაქს} = U_{მაქს}. \qquad (18\text{-}6)$$

სრული სიმძლავრე, რომელიც გამოთვლილია გამმართველის შესასვლელი დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის მიხედვით, ტოლია

$$S = IU = \frac{\pi}{2} I_0 \frac{\pi}{\sqrt{2}} U_0 = \frac{\pi^2}{2\sqrt{2}} P_0 \approx 3{,}5 P_0. \qquad (18\text{-}7)$$

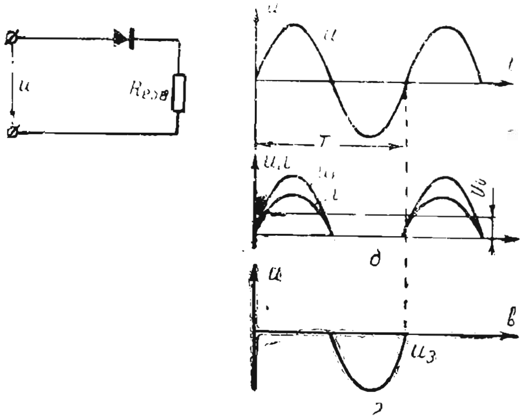
ამგვარად, სრული სიმძლავრე (მას ხშირად ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის საანგარიშო სიმძლავრეს უწოდებენ) 3,5-ჯერ მეტია დატვირთვის გამართული დენის სიმძლავრეზე $P_0 = I_0 U_0$.

დენის ან ძაბვის პულსაციას აფასებენ **პულსაციის კოეფიციენტით**, რომელიც შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც ყველაზე მკვეთრად გამოსახული (პირველი) დენის ჰარმონიკის ამპლიტუდის შეფარდება დენის (ან ძაბვის) მუდმივ შემდგენთან. ამგვარად,

$$q = \frac{I_{1\,მაქს}}{I_0} \quad \text{ან} \quad q = \frac{U_{1\,მაქს}}{U_0}. \qquad (18\text{-}8)$$

ერთნახევარპერიოდიანი გამმართველის პულსაციის კოეფიციენტი

$$q = \frac{I_{1\,მაქს}}{I_0} = \frac{I_{მაქს}/2}{I_{მაქს}/\pi} = \pi/2 = 1{,}57. \qquad (18\text{-}8,\ ა)$$



ნახ. 18-3. ვენტილისა და რეზისტორის თანამიმდევრულად შეერთება (ა). u, $u_{დატ}$ ძაბვებისა და i-დენის გრაფიკები (ბ) და ვენტილის ძაბვის $u_{ვენ}$ გრაფიკი (გ).

ერთნახევარპერიოდიანი გამართვის დიდი ნაკლოვანებაა დატვირთვაზე დენისა და ძაბვის დიდი პულსაცია, ე. ი. დატვირთვის დენისა და ძაბვის დიდი ცვლადი შემდგენები. ამ პულსაციის შესამცირებლად იყენებენ მანელებელ ფილტრებს.

მაგალითი 18-1. განვსაზღვროთ ცვლადი ძაბვა, რომელიც უნდა მივიყვანოთ ერთნახევარპერიოდიანი გამმართველის წრედთან (ნახ. 18-3) იმისათვის, რომ მივიღოთ გამართული ძაბვა $U_0 = 225$ ვ.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

(18-5)-ის თანახმად, კვების ძაბვა

$$U = U_0/0{,}45 = 225/0.45 = 500 \text{ ვ}.$$

18-2. ცვლადი დენის ორნახევარპერიოდიანი გამართვა

ორნახევარპერიოდიანი გამართვის სქემა უფრო ხშირად გამოიყენება, ვიდრე ერთნახევარპერიოდიანი, რადგან ის უზრუნველყოფს კვების წყაროს უკეთესად გამოყენებას და დენისა და ძაბვის პულსაციის შემცირებას დატვირთვაში.

18—4, ა ნახაზზე მოცემულია ორნახევარპერიოდიანი გამართვის ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა, რომელზეც აღნიშნულია ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის შუა წერტილის გამომყვანით.

ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის (1) და (2) ბოლოებთან მიერთებულია ორი ვენტილის ანოდები, ხოლო მათი კათოდები აქტიური დატვირთვით $R_{\text{დატ}}$ მიერთებულია ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის შუა წერტილთან.

პირველი ნახევარპერიოდის განმავლობაში (1) წერტილის პოტენციალი მეტია შუა 0 წერტილის პოტენციალზე და დენი გაივლის პირველ ვენტილსა და დატვირთვაში.

მეორე ნახევარპერიოდის განმავლობაში (2) წერტილის პოტენციალი მეტია 0 წერტილის პოტენციალზე და დენი გაივლის მეორე ვენტილსა და დატვირთვაში. ამგვარად. დატვირთვაში პერიოდის განმავლობაში გადის ერთი ძაბვის მქონე დენის ორი ნახევარტალღა (ნახ. 18-4, გ). მაშასადამე, დატვირთვაში დენის მუდმივი შემდგენი 2-ჯერ მეტია, ვიდრე ერთნახევარპერიოდიან სქემაში (18-3), ე. ი.

$$I_0 = 2I_{\text{მაქს}}/\pi, \tag{18-9}$$

ხოლო დენის მოქმედი მნიშვნელობა დატვირთვაში

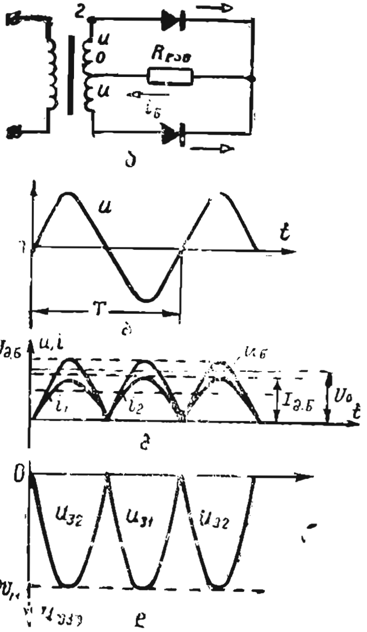
$$I = \sqrt{\frac{2}{T}\int_0^{T/2} i^2 dt} = \frac{I_{\text{მაქს}}}{\sqrt{2}}.$$

ვინაიდან თითოეულ ვენტილში დენი გადის მხოლოდ ნახევარი პერიოდის განმავლობაში, ვენტილის საშუალო დენი ორჯერ ნაკლებია დატვირთვის საშუალო დენზე.

ძაბვის მუდმივი შემდგენი დატვირთვაში

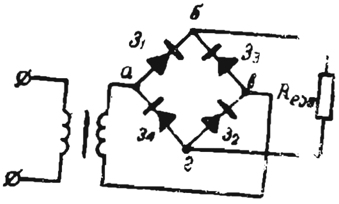
$$U_0 = I_0 R_{\text{დატ}} = \frac{2 I_{\text{მაქს}} R_{\text{დატ}}}{\pi} = \frac{2}{\pi} U_{\text{მაქს}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U = 0{,}9U, \quad (18\text{-}10)$$

ე. ი. ის 2-ჯერ მეტია ერთნახევარპერიოდიანი გამართვის დროს (18-5).



ნახ. 18-4. ორნახევარპერიოდიანი გამმართველის სქემა (ა), ძაბვის (ბ), დატვირთვის დენისა და ძაბვის გრაფიკები (გ) და უკუძაბვის გრაფიკი (დ).

პირველ ნახევარპერიოდში ღიაა პირველი ვენტილი; რადგან მისი პირდაპირი წინაღობა ნულის ტოლია $R_{\text{პირ}} = 0$, ძაბვა დატვირთვაში ტოლია ძაბვისა ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ნახევარზე $U_{\text{დატ}} = U$. ამავე ნახევარპერიოდში მეორე ჩაკეტილ ვენტილზე მოდებულია უარყოფითი ძაბვა, რომელიც ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის ნახევრის ძაბვისა და დატვირთვის ძაბვის ჯამის ტოლია, ე. ი. $U_{\text{დატ 2}} = U + U_{\text{დატ}} = 2U$.



ნახ. 18-5. ორნახევარპერიოდიანი ხიდური გამმართველის სქემა.

ამგვარად, ორნახევარპერიოდიანი გამმართველის მაქსიმალური უკუძაბვა ტოლია გრაგნილის ძაბვის გაორკეცებული ამპლიტუდისა, ე. ი.

$$U_{\text{უკუ მაქს}} = 2U_{\text{მაქს}} = 2\sqrt{2}U = 2\sqrt{2}\frac{\pi}{2\sqrt{2}}U_0 = \pi U_0. \quad (18\text{-}11)$$

დატვირთვის აქტიური სიმძლავრე

$$P = I^2 R_{\text{დატ}} = I^2_{\text{მაქს}} R_{\text{დატ}}/2 = U_{\text{მაქს}} I_{\text{მაქს}}/2 = UI = S. \quad (18\text{-}12)$$

მაშასადამე, ორნახევარპერიოდიანი გამართვის დროს აქტიური სიმძლავრე ტოლია სრული სიმძლავრისა. ამ დროს გამართული დენის სიმძლავრე დატვირთვაზე

$$P_0 = I_0U_0 = \frac{2I_{მაქს}}{\pi}\cdot\frac{2U_{მაქს}}{\pi} = \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)^2 IU = 0.81S.$$

ერთნახევარპერიოდიანის გარდა, ყველა გამმართველის პულსაციის კოეფიციენტი გამმართველის ფაზების რიცხვის მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$q = 2/m^2-1, \qquad (18\text{-}13)$$

თანაც ორნახევარპერიოდიანი გამმართველი განიხილება, როგორც ორფაზიანი, რომლის ფაზები ერთმანეთის მიმართ დაძრულია პერიოდის ნახევრით $(T/2)$.

თუ (18-13)-ს გამოვიყენებთ ორნახევარპერიოდიანი გამმართველისათვის, მივიღებთ

$$q = \frac{2}{2^2-1} = \frac{2}{3} = 0,667.$$

ზემოგანხილული სქემების ნაკლოვანებებია დიდი მაქსიმალური უკუძაბვა და ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილით ცუდად სარგებლობა, რაც იმითაა გამოწვეული, რომ გრაგნილის თითოეულ ნახევარში დენი გადის მხოლოდ ნახევარი პერიოდის განმავლობაში.

განხილული ორნახევარპერიოდიანი გამმართველები გამოიყენება ელექტრონმილაკების კვებისათვის რადიომიმღებებში, ტელევიზორებში, ელექტრონულ მაძლიერებლებსა და მცირე სიმძლავრის გენერატორებში.

18-5 ნახაზზე მოცემულია ორნახევარპერიოდიანი გამმართველის *ხიდური სქემა*.

ხიდის თითოეულ მხარში ჩართულია ვენტილი (დიოდი). დიაგონალზე მოდებულია სინუსოიდური ძაბვა $u = U_{მაქს}\sin\omega t$, ხოლო მეორე δ_2 დიაგონალთან ჩართულია აქტიური დატვირთვა $R_{დატ}$ დადებით ნახევარპერიოდში. როცა a წერტილის პოტენციალი მეტია b წერტილის პოტენციალზე, ე. ი. როცა $u>0$, B_1 და B_2 ვენტილები გახსნილია, მათი წინაღობები $R_{ვენ\,1} = R_{ვენ\,2} = 0$; ხოლო B_3 და B_4 ვენტილები ჩაკეტილია. რადგან თითოეულ მათგანზე მოდებულია უარყოფითი ძაბვა, რომელიც წყაროს u ძაბვის ტოლია. ამგვარად, პირველ ნახევარპერიოდში დენი

$$i = \frac{u}{2R_{ვენ} + R_{დატ}} = \frac{u}{R_{დატ}} = \frac{U_{მაქს}\sin\omega t}{R_{დატ}} = I_{მაქს}\sin\omega t.$$

კვების წყაროდან გადის B_1 ვენტილში, დატვირთვის $R_{დატ}$ წინაღობასა და B_2 ვენტილში. შემდეგ ნახევარპერიოდში, როცა $u<0$, B_3 და B_4 ვენტილები ღიაა, ხოლო B_1 და B_2 ვენტილები — ჩაკეტილი, ახლა დენი კვების წყაროდან B_2 ვენტილის გავლით მიედინება დატვირთვის წინაღობაში $R_{დატ}$ და B_4 — მეოთხე ვენტილში.

ამგვარად, დატვირთვაში პერიოდის განმავლობაში გადის ერთი ძაბვის მქონე დენის ორი ნახევარტალღა, ხოლო ძაბვა დატვირთვის მომჭერებზე წარმოადგენს ერთი ნიშნის ორ ნახევარტალღას. მაშასადამე, როგორც ორნახევარპერიოდიანი გამმართველის წინა შემთხვევაში, დატვირთვის დენის მუდმივი შემდგენი (18-9)

$$I_0 = 2I_{მაქს}/\pi,$$

ხოლო დატვირთვის ძაბვის მუდმივი შემდგენი

$$U_0 = I_0R_{დატ} = 2U_{მაქს}/\pi = 0,9U. \qquad (18\text{-}14)$$

ორნახევარპერიოდიანი გამართვის წინა შემთხვევისაგან განსხვავებით, ვენტილზე უკუძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა წრედის მომჭერებზე ამპლიტუდის ტოლია, ე. ი.

$$U_{უკუ\,მაქს} = U_{მაქს}. \qquad (18\text{-}15)$$

ვენტილის საშუალო დენი, როგორც წინა შემთხვევაში, ტოლია დატვირთვის საშუალო დენის ნახევრისა.

ხიდური სქემის უპირატესობიდან აღსანიშნავია: წინა სქემასთან შედარებით 2-ჯერ ნაკლები უკუძაბვა ვენტილზე; ტრანსფორმატორის უკეთ გამოყენება, რადგან მის მეორეულ გრაგნილში დენი გადის მთელი პერიოდის განმავლობაში; დაბოლოს სქემით სარგებლობის შესაძლებლობა უტრანსფორმატოროდ.

ნაკლოვანებებიდან შეიძლება ვუჩვენოთ ოთხი ვენტილის ერთდროული გამოყენება, ე. ი. ორჯერ მეტი, ვიდრე წინა სქემაში.

ხიდურ სქემას ჩვეულებრივად იყენებენ ნახევარგამტარიანი ვენტილებით.

მაგალითი 18-2. გამმართველი აწყობილია ხიდური სქემით ვენტილებით, რომელთა უკუძაბვაა $U_{უკუმაქს} = 350$ ვ. განვსაზღვროთ გამმართველის წრედის კვების ძაბვის დასაშვები მოქმედი მნიშვნელობა U და გამართული U_0 ძაბვის მნიშვნელობა.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

(18-15)-ის თანახმად, $U_{უკუმაქს} = U_{მაქს}$, მაშასადამე, გამმართველის წრედის კვების ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა

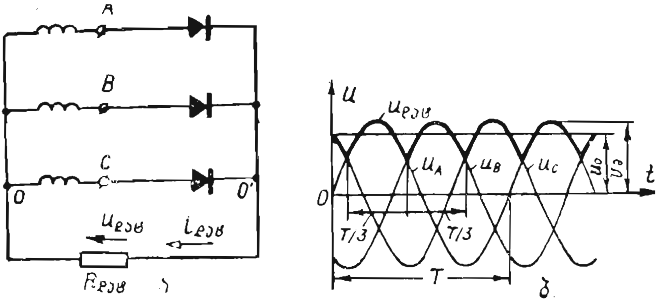
$$U = U_{მაქს}/\sqrt{2} = 350/1,41 \approx 248 \text{ ვ}.$$

(18-14)-ის თანახმად, გამართული ძაბვა

$$U_0 = 0,9U = 0,9 \cdot 248 = 223 \text{ ვ}.$$

18. 3. სამფაზიანი გამმართველები

18-6, ა ნახაზზე მოცემულია სამფაზიანი გამმართველის ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა. სამფაზიანი ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილების ABC საწყისებთან მიერთებულია სამი ვენტილის ანოდები, ხოლო მათი კათოდები შეერთებულია O' კვანძში. OO საშუალო წერტილებს შორის ჩართულია აქტიური დატვირთვა $R_{დატ}$.



ნახ. 18-6. სამფაზა გამმართველის სქემა (ა) და ფაზური ძაბვების გრაფიკები (ბ).

თითოეულ ვენტილში დენი გადის პერიოდის ერთი მესამედის განმავლობაში, რომლის დროსაც ძაბვა ტრანსფორმატორის იმ ფაზაში, რომელშიაც ვენტილია ჩართული, მეტია, ვიდრე დანარჩენ ორ ფაზაში. 18-6. ბ ნახაზზე ეს ძაბვა გამოსახულია სქელი ხაზით, რომელიც წარმოქმნილია ფაზური ძაბვების სინუსოიდების უბნებით პერიოდის იმ ნაწილში, როცა ერთი ვენტილი ღიაა, ორი სხვა ვენტილი ჩაკეტილია და მათი წინაღობები უსასრულობის ტოლია. ამიტომ შეიქმნება მიმდევრობითი წრედი: ტრანსფორმატორის ფაზა — ღია ვენტილი — დატვირთვა. იდეალური ვენტილისა და აქტიური დატვირთვის დროს დენი წრედში $i=u/R_{დატ}$, ხოლო ძაბვა დატვირთვაში ტოლია ფაზური ძაბვისა $U=U_{ფაზ}=iR_{დატ}$. ასე რომ ფაზური ძაბვების გრაფიკების უბნებისაგან შექმნილი და 18—6. ბ ნახაზზე სქელი ხაზით გამოსახული მრუდი ამავე დროს წარმოადგენს დატვირთვის ძაბვის მრუდს. იგივე მრუდი, სხვა მასშტაბში, გამოსახავს დატვირთვის დენის მრუდსაც. ამგვარად, თუ ორნახევარპერიოდიან გამმართველში დატვირთვის დენი და ძაბვა იცვლებიან ნულიდან ამპლიტუდურ მნიშვნელობამდე, სამფაზიან გამმართველში დატვირთვის დენისა და ძაბვის პულსაცია მნიშვნელოვნად ნაკლები იქნება.

საშუალო ორდინატული მრუდით გამოსახული გამართული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის უნდა განვსაზღვროთ ამ მრუდით $T/12$ და $5T/12$ დროის მომენტებისათვის ორდინატებით და აბ-

სცისათა ღერძით შემოსაზღვრული ფართობი და გავყოთ ფუძეზე, ე. ი. $T/3$-ზე. ამგვარად, გამართული ძაბვა დატვირთვაში ტოლი იქნება

$$U_0=\frac{1}{T/3}\int\limits_{T/12}^{5T/12}U_{მაქს}\sin\omega t\,dt=\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}U_{მაქს}=0,827\,U_{მაქს}=1,17U. \quad (18\text{-}16)$$

გამართული დენის საშუალო მნიშვნელობა დატვირთვისას

$$I_0=\frac{U_0}{R_{დატ}}=\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\cdot\frac{U_{მაქს}}{R_{დატ}}=\frac{3}{\pi}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}I_{მაქს}=0,827I_{მაქს}. \quad (18\text{-}17)$$

ვინაიდან დენი ვენტილში გადის მხოლოდ პერიოდის ერთი მესამედის განმავლობაში, მისი საშუალო მნიშვნელობა 3-ჯერ ნაკლები იქნება დატვირთვის დენზე, ე. ი.

$$I_{ვენ}=I_0/3. \quad (18\text{-}18)$$

(18–17)-დან შეიძლება დავწეროთ დენების მაქსიმალურ მნიშვნელობათა გამოსახულებები ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილებში, ანუ მათი ტოლი დენების მაქსიმალური მნიშვნელობები ვენტილებში, ე. ი.

$$I_{მაქს}=I_{ვენ\,მაქს}=\frac{2\pi}{3\sqrt{3}}I_0=1,21\,I_0. \quad (18\text{-}19)$$

ანუ, თუ მხედველობაში მივიღებთ (18–18) ტოლობას საბოლოოდ შეგვიძლია დავწეროთ

$$I_{მაქს}=I_{ვენ\,მაქს}=1,21I_0=3,63\,I_{ვენ}. \quad (18\text{-}19,\ ა)$$

უკუძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა ტოლია ხაზური ძაბვის ამპლიტუდისა, ე. ი.

$$U_{უკუ\,მაქს}=\sqrt{3}U_{მაქს}=\sqrt{3}\frac{2\pi}{3\sqrt{3}}U_0=\frac{2\pi}{3}U_0=2,09U_0.$$

ამ შემთხვევაში პულსაციის კოეფიციენტი გამოისახება ფორმულით

$$q=2/(3^2-1)=0,25.$$

18-4. დიოდების შერჩევა გამმართველის სქემებისათვის

უმეტეს შემთხვევაში ნახევარგამტარიანი გამმართველების შერჩევისა და გაანგარიშების დროს მოცემული უნდა იყოს: პირველადი ცვლადი U ძაბვა, გამართული ძაბვის საშუალო U_0 მნიშვნელობა და გამართული დენის საშუალო I_0 მნიშვნელობა დატვირთვაში.

შეარჩევენ სქემას და საზღვრავენ ვენტილის დენს, მის ტიპსა და პარალელური შტოების რიცხვს, შემდეგ საზღვრავენ უკუძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ვენტილში $U_{უკუ\,მაქს}$ და მიმდევრობით შეერთებუ-

ლი ვენტილების რიცხვს. ამის შემდეგ საზღვრავენ U_2 შესასვლელ ძაბვას და ტრანსფორმატორის კოეფიციენტს.

ვენტილების შერჩევისას აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ არ შეიძლება გადავაჭარბოთ ცნობარებში მოყვანილ $U_{უკუ\ მაქს}$, $I_{საშ\ მაქს}$ და $I_{საშ}$ ვენტილის დასაშვებ მაქსიმალურ პარამეტრებს.

განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი.

მაგალითი 18-3. განვსაზღვროთ *D* **226** ტიპის ნახევარგამტარიანი დიოდების რიცხვი, $I_{გამ}=900$ მა დენის გასამართავად ორნახევარპერიოდიანი სქემით, თუ ცნობილია, რომ *D* 226 დიოდის დენის ზღვრული მნიშვნელობა $I_{ზღვ}=200$ მა.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

რადგან $\frac{1}{2}I_{გამ}>I_{დ\ ზღვ}$, საჭიროა რამდენიმე დიოდი შევაერთოთ პარალელურად. პარალელურად შეერთებული დიოდების რიცხვი შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$m=\frac{1/2I_{გამ}}{k_{დენ}\,I_{დ\ ზღვ}},$$

სადაც $k_{დენ}=0,5\div0,8$ — დატვირთვის კოეფიციენტი დენის მიხედვით, ჩვენი შემთხვევისათვის მიღებულია $k_{დენ}=0,75$.

ამგვარად, პარალელური შტოების რიცხვი

$$m=\frac{450}{0,75\cdot200}=3.$$

დიოდის პირდაპირი წინაღობის განფანტვის გამო, დიოდის დენის გასათანაბრებლად მათთან თანამიმდევრულად ჩართავენ დამატებით რეზისტორებს (ნახ. 16-17), რომელთა წინაღობა შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით

$$R_{დამ}\geqslant\frac{U_{ზღვ\ საშ}\,(m-1)}{mI_{დ\ ზღვ}-1,1I_{გამ}}=\frac{1(3-1)}{3\cdot300\cdot10^{-3}-1,1\cdot450\cdot10^{-3}}\approx4\ ომ,$$

სადაც $U_{ზღვ\ საშ}$ — ძაბვის პირდაპირი საშუალო ვარდნაა დიოდში.

მაგალითი 18-4. განვსაზღვროთ დიოდების რიცხვი $U=700$ ვ სინუსოიდური ძაბვის გასამართავად ერთფაზიანი ხიდური სქემით, თუ გამოვიყენებთ D226Б დიოდს, რომლის

$$U_{უკუ\ მაქს}=300\ ვ;\ I_{უკუ\ მაქს}=300\ მკა.$$

ა მ ო ხ ს ნ ა.

სინუსოიდური უკუძაბვის ამპლიტუდა (18-7)

$$U_{მაქს}=\sqrt{2}U=\sqrt{2}\cdot700\approx1000\ ვ.$$

ვინაიდან $U_{მაქს}>U_{უკუ\ მაქს}$, ამიტომ მიმდევრობით შეერთებული დიოდების რიცხვი (ნახ. 16-18) შეგვიძლია განვსაზღვროთ ფორმულით

$$n=\frac{U_{მაქს}}{k_{დატ}U_{1\ უკუ\ მაქს}}=\frac{1000}{0,7\cdot300}\approx5\ .\ აქ\ k_{დატ}=0,5\div0,8$$

— დატვირთვის კოეფიციენტი ძაბვის მიხედვით, ჩვენი შემთხვევისათვის $k_{დატ}=0,7$.

დიოდების უკუწინაღობის გაფანტვის გავლენის თავიდან ასაცილებლად მათ დააშუნტებენ რეზისტორებით. ამ რეზისტორების წინაღობას საზღვრავენ ფორმულით.

$$R_{\text{დამშ}} \leqslant \frac{nU_{\text{უკუ მაქს}} - 1,1U_{\text{მაქს}}}{(n-1)I_{\text{უკუ მაქს}}} = \frac{5 \cdot 300 - 1,1 \cdot 1000}{(5-1) \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = 300 \text{ კომი}.$$

18-5. კონდენსატორის დამუხტვა და განმუხტვა

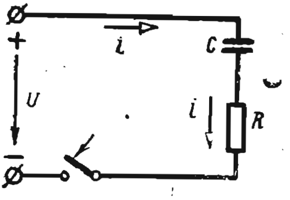
ა) კონდენსატორის დამუხტვა

განვიხილოთ C ტევადობის დაუმუხტავი კონდენსატორისა და R წინაღობიანი რეზისტორისაგან შემდგარი წრედი, რომლებიც მიერთებულია მუდმივი U ძაბვის მქონე კვების წყაროსთან (ნახ. 18-7).

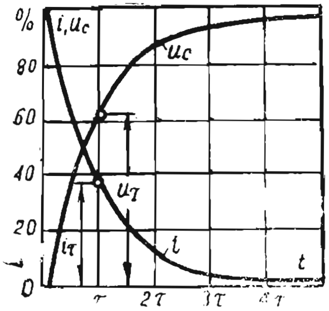
ვინაიდან ჩართვის მომენტში კონდენსატორი ჯერ კიდევ არაა დამუხტული, მისი ძაბვა $u_C=0$. ამიტომ საწყის მომენტში ($t=0$) წრედში ძაბვის ვარდნა R რეზისტორში ტოლია U-სი და წარმოიქმნება დენი, რომლის ძალა

$$i=U/R=I.$$

i დენის გავლის თან სდევს Q მუხტების თანდათანობით დაგროვება კონდენსატორზე, მასზე გაჩნდება ძაბვა $u_C=Q/C$ და ძაბვის ვარდნა შემცირდება $iR=U-u_C$, რაც კირხჰოფის მეორე კანონიდან გამომდინარეობს.



ნახ. 18-7. კონდენსატორის დამუხტვა.



ნახ. 18-8. ძაბვისა და დენის ცვლილების გრაფიკი კონდენსატორის დამუხტვის დროს.

მაშასადამე, დენის ძალა

$$i=U-u_C/R$$

შემცირდება და შემცირდება მუხტების დაგროვების სიჩქარეც, რადგან დენი წრედში

$$i=dQ/dt, \tag{18-20}$$

დროის გავლასთან კონდენსატორი განაგრძობს დამუხტვას, მაგრამ Q მუხტი და მისი ძაბვა u_C კიდევ უფრო ნელა იზრდებიან (ნახ. 18-8),

ხოლო დენი წრედში თანდათანობით მცირდება $U-u_C$ პოტენციალთა სხვაობის პროპორციულად.

საკმაოდ დიდი დროის გავლის შემდეგ (თეორიულად უსასრულოდ დიდი) ძაბვა კონდენსატორში აღწევს კვების წყაროს ძაბვის სიდიდეს, ხოლო დენი ნულის ტოლი ხდება და კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი მთავრდება.

პრაქტიკულად მიღებულია ჩათვალონ, რომ დამუხტვის პროცესი დამთავრდა მაშინ, როცა დენი შემცირდება U/R-ის საწყისი მნიშვნელობის 1%-მდე ან, რაც იგივეა, როცა კონდენსატორის ძაბვა მიაღწევს კვების წყაროს U ძაბვის 99%-ს.

კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი მით უფრო ხანგრძლივია, რაც მეტია წრედის R წინაღობა, რომელიც ზღუდავს დენს და რაც მეტია კონდენსატორის C ტევადობა, რადგან დიდი ტევადობისას დიდი რაოდენობის მუხტი უნდა დაგროვდეს. პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარეს ახასიათებენ ე. წ. წრედის დროის მუდმივათი τ

$$\tau=RC, \quad (18\text{-}21)$$

რაც მეტია τ, მით ნელია პროცესი.

წრედის დროის მუდმივა იზომება დროის ერთეულებით, რადგან

$$[\tau]=[RC]=\text{ომ კლ/ვ}=\text{ომ } A \text{ წმ/ვ}=\text{წმ}.$$

წრედის ჩართვის მომენტიდან τ დროის ინტერვალში კონდენსატორის ძაბვა აღწევს კვების წყაროს ძაბვის თითქმის 63%-ს, ხოლო 5τ ინტერვალში კონდენსატორის დამუხტვის პროცესი შეიძლება დამთავრებულად ჩავთვალოთ.

კონდენსატორის ძაბვა დამუხტვის დროს

$$u_C=U-Ue^{-t/\tau}=U(1-e^{-t/\tau}), \quad (18\text{-}22)$$

ე. ი. ის ტოლია კვების წყაროს მუდმივ ძაბვასა და თავისუფალ $Ue^{-t/\tau}$ ძაბვას შორის სხვაობისა, რომელიც დროის გავლისას მოჩვენებითი ფუნქციის კანონის მიხედვით (ექსპონენციალური კანონით) მცირდება U მნიშვნელობიდან ნულამდე (ნახ. 18-8).

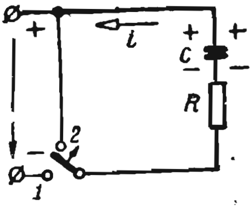
კონდენსატორის დამუხტვის დენი

$$i_C=\frac{U}{R}e^{-t/\tau}=Ie^{-t/\tau}. \quad (18\text{-}23)$$

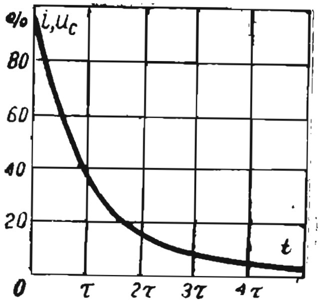
i_C დენი საწყისი მნიშვნელობიდან $I=U/R$ თანდათანობით მცირდება მოჩვენებითი ფუნქციის კანონის მიხედვით (ნახ. 18-8).

გ) კონდენსატორის განმუხტვა

განვიხილოთ განმუხტვის პროცესი რეზისტორით, R წინაღობით, C კონდენსატორით, რომელიც დამუხტული იყო კვების წყაროდან U ძაბვამდე (ნახ. 18-9). განსამუხტავად გადამრთველი (1) მდგომარეობიდან გადაჰყავთ (2) მდგომარეობაში. საწყის მომენტში წრედში წარმოიქმნება დენი $i=U/R=I$ და კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას, ხოლო მისი ძაბვა — შემცირებას.



ნახ. 18-9. კონდენსატორის განმუხტვა რეზისტორში.



ნახ. 18-10. დენისა და ძაბვის ცვლილების გრაფიკი კონდენსატორის განმუხტვის დროს.

u_C ძაბვის შემცირების მიხედვით წრედში მცირდება დენიც $i=U_C/R$ (ნახ. 18-10). $5\tau=5RC$ დროის ინტერვალში კონდენსატორის ძაბვა და დენი წრედში მცირდებიან საწყისი მნიშვნელობის თითქმის 1%-მდე და კონდენსატორის განმუხტვის პროცესი შეიძლება დამთავრებულად ჩავთვალოთ.

განმუხტვისას კონდენსატორის ძაბვა

$$U_C=Ue^{-t/\tau}, \qquad (18\text{-}24)$$

ე. ი. ის მცირდება მოჩვენებითი ფუნქციის კანონის მიხედვით (ნახ. 18-10).

კონდენსატორის განმუხტვის დენი

$$i_C=-\frac{u}{R}=-Ie^{-t/\tau},$$

ე. ი. ის, ისევე, როგორც ძაბვა, მცირდება იმავე კანონის მიხედვით (ნახ. 18-10).

კონდენსატორის დამუხტვისას ელექტრულ ველში შენახული მთელი ენერგია განმუხტვის დროს სითბოს სახით გამოიყოფა R რეზისტორში.

დამუხტული კონდენსატორის ელექტრულ ველს, რომელიც გამორთულია კვების წყაროდან, დიდხანს არ შეუძლია უცვლელი იყოს, ვინაიდან კონდენსატორის დიელექტრიკსა და მის მომჭერებს შორის იზოლაციას აქვს რაღაც გამტარობა.

არასრულყოფილი დიელექტრიკისა და იზოლაციისაგან გამოწვეულ კონდენსატორის განმუხტვას თვითგანმუხტვას უწოდებენ. დროის მუდმივა კონდენსატორის თვითგანმუხტვისას არაა დამოკიდებული ამოსაფენის ფორმასა და მათ შორის მანძილზე.

კონდენსატორის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესს ეწოდება გ ა დ ა ს ა ს ვ ლ ე ლ ი პ რ ო ც ე ს ი.

18-6. ელექტრული ფილტრები

გამართული დენი (ძაბვა) შედგება მუდმივი და ცვლადი შემდგენებისაგან. უმეტეს შემთხვევაში მუდმივი დენის ენერგიის მომხმარებელი იყენებს ძაბვის (დენის) მხოლოდ მუდმივ შემდგენს. ძაბვის ცვლადი შემდგენი ჩვეულებრივად არა მხოლოდ არ გამოიყენება, არამედ, უფრო მეტიც, ის იწვევს ენერგიის დანაკარგებს, რაც ამცირებს მექანიზმებისა და მოწყობილობის მქ კოეფიციენტს, ხოლო ზოგჯერ მას თან სდევს სხვა არასასურველი მოვლენებიც. ამიტომ ცდილობენ ცვლადი შემდგენის შემცირებას, რომელიც ძაბვის პულსაციას წარმოადგენს. პულსაციის შემცირებას აღწევენ ე. წ. ფილტრების გამოყენებით, რომელიც გამმართველის გამოსავალ მომჭერსა და დატვირთვის შესავალ მომჭერს შორის ჩაირთვება.

ფილტრის შესავალ მომჭერებზე პულსაციის კოეფიციენტის შეფარდებას ფილტრის გამოსავალ მომჭერებზე პულსაციის კოეფიციენტთან ეწოდება პ უ ლ ს ა ც ი ი ს მ ა ნ ე ლ ე ბ ე ლ ი კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი და გამოისახება ფორმულით

$$S = \frac{q_{\text{შეს}}}{q_{\text{გამ}}}. \qquad (18\text{-}25)$$

ამგვარად, კოეფიციენტი გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ ამცირებს ფილტრი პულსაციას.

პულსაციის შესამცირებლად იყენებენ ფილტრებს: ტევადობითს, ინდუქციურს, ინდუქციურ-ტევადობითსა და რეზისტორულ-ტევადობითს.

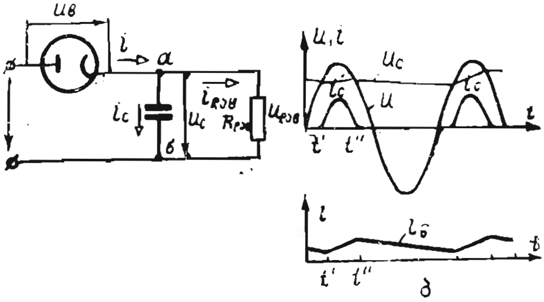
ტევადობითი ფილტრი წარმოადგენს C ტევადობის კონდენსატორს, რომელიც $R_{\text{დატ}}$ დატვირთვის პარალელურადაა ჩართული (ნახ. 18-11. ა).

ვენტილის $U_{\text{ვენ}}$ ძაბვა ტოლია კვების წყაროს U ძაბვისა და u_C კონდენსატორის ძაბვის სხვაობისა, ე. ი. $U_{\text{ვენ}} = U - U_C$. დენი ვენტილში გადის მხოლოდ მაშინ, როცა $U - U_C > 0$, მაშასადამე, t_1 მომენტიდან (ნახ. 18-11, ბ), როცა $U - u_C > 0$, კონდენსატორი იწყებს დამუხტვას და ვენტილში გაივლის დამუხტვის i_C დენი და დატვირთვის $i_{\text{დატ}}$ დენი, ე. ი. $i_{\text{ვენ}} = i_C - i_{\text{დატ}}$.

კონდენსატორის დამუხტვა შეწყდება t'' მომენტში, როცა $U-U_C=0$. ამ მომენტიდან U ძაბვა ნაკლები გახდება u_C-ზე და კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას $R_{დატ}$ დატვირთვაზე. ამ დროს კონდენსატორის ძაბვა მცირდება კანონის მიხედვით

$$u_C = U_{C0}e^{-t/\tau},$$

სადაც U_{C0} კონდენსატორის ძაბვაა ვენტილის ჩაკეტვისას t'' მომენტში; $\tau=CR_{დატ}$ – განმუხტვის წრედის დროის მუდმივა ან დრო, რომლის განმავლობაშიც u_C ძაბვა მცირდება $e=2{,}72$-ჯერ.



ნახ. 18-11. ტევადური ფილტრი გამმართველის წრედში (ა) და დენისა და ძაბვის გრაფიკები (ბ).

როცა $\tau \gg T$, ძაბვა უმნიშვნელოდ მცირდება ვენტილის შემდეგ გახსნამდე. ამავე დროში კონდენსატორის განმუხტვის დენი, რაც იგივეა დატვირთვის დენი ($i_C=i_{დატ}$), აგრეთვე მცირედ იცვლება. შემდეგში პროცესი მეორდება. ამგვარად, დატვირთვის ძაბვა $U_{დატ}=U_C$ სწორდება (ისევე, როგორც დენი დატვირთვაში $i_{დატ}=U_{დატ}/R_{დატ}$).

უარყოფითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში კვების წყაროს ძაბვა იკრიბება დატვირთვის ძაბვასთან ისე, რომ დიოდის მაქსიმალური უკუძაბვას შეუძლია მიაღწიოს სიდიდეს

$$U_{უკუ\ მაქს} = 2U_{მაქს}. \qquad (18\text{-}26)$$

ტევადური ფილტრი ფართოდ გამოიყენება მცირე სიმძლავრის გამმართველებში.

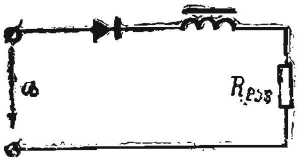
ი ნ დ უ ქ ც ი უ რ ი   ფ ი ლ ტ რ ი (ნახ. 18-12) წარმოადგენს ინდუქციურ კოჭას, რომელსაც აქვს L ინდუქციურობა (ინდუქციური წინაღობა $X_L=\omega L$) და აქტიური $R_{ფილ}$ წინაღობა, რომელიც დატვირთვის წინაღობის $R_{დატ}$ მიმდევრობით ირთვება.

ინდუქციური ფილტრი ეფექტურად მუშაობს დიდი დენის წრედებში, როცა შესრულებულია პირობები $m\omega L \gg R_{დატ}$ და $R_{ფილ} \ll R_{დატ}$. ამ

შემთხვევაში ძაბვის მუდმივი შემდგენი ფილტრის შესავალ მომჭერებზე მცირედ განსხვავდება ძაბვის მუდმივი შემდგენისაგან ფილტრის გამოსავალ მომჭერებზე, რადგან

$$\frac{U_{0\,შესას}}{U_{0\,გამ}}=\frac{I_0(R_{ფილ}+R_{დატ})}{I_0R_{დატ}}\approx\frac{R_{დატ}}{R_{დატ}}=1.$$

უკეთესი გასწორებისათვის გამოიყენება Γ-სებრი ფილტრები (ნახ. 18-13, ა), რომლებიც შედგებიან ორი ელემენტის, განმტოებასთან მიმდევრობით ჩართული $L_{ფილ}$ ინდუქციურობის, $R_{დატ}$ დატვირთვისა და $C_{ფილ}$ ტევადობისაგან. პულსაციის გასწორების ამაღლება აქ ხდება იმიტომ, რომ ინდუქციურობაში იკარგება ძაბვის ცვლადი შემდგენის მნიშვნელოვანი ნაწილი და, მაშასადამე, განტოლებაში ძაბვის ცვლადი შემდგენი იქნება მნიშვნელოვნად ნაკლები. დატვირთვის პარალელურად ჩართული ტევადობა დენის ცვლადი შემდგენისათვის წარმოადგენს წინაღობას, რომელიც მნიშვნელოვნად მცირეა $R_{დატ}$ წინაღობაზე და ამიტომ მნიშვნელოვნად ამცირებს ამ დენის წილს დატვირთვაში.



ნახ. 18-12. ინდუქციური ფილტრი გამმართველის წრედში.

ზოგიერთ შემთხვევაში LC ფილტრს ცვლიან Γ-სებრი RC ფილტრით (ნახ. 18-13, ბ), მაგრამ ამ ფილტრის გასწორების კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე LC ფილტრისა. გასწორების კოეფიციენტის შემცირება აიხსნება პულსაციის მცირე შემცირებით, რადგან მასში არ არის ინდუქციურობა, და დატვირთვის ძაბვის მუდმივი შემდგენის შემცირებით, რომელიც გამოწვეულია რეზისტორზე $R_{ფილ}$ ძაბვის ვარდნით. იმისათვის, რომ ძაბვის ეს ვარდნა ძალიან დიდი არ იყოს, $R_{ფილ}$ წინაღობა აიღება დაახლოებით $R_{დატ}$ 20%-ის ტოლი.

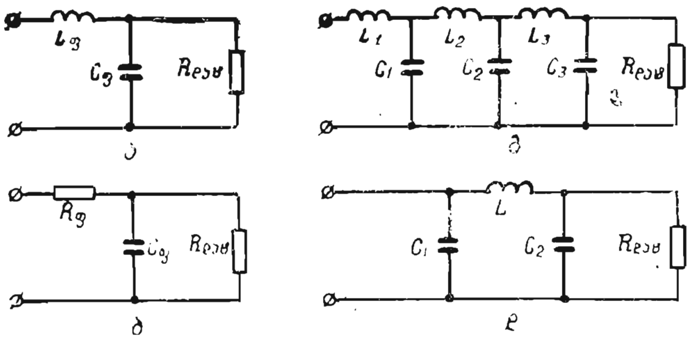
დროსელის რეზისტორით შეცვლა მნიშვნელოვნად ამცირებს ფილტრის მასას, გაბარიტებსა და ღირებულებას.

RC ფილტრის ნაკლოვანებას მიეკუთვნება ძაბვისა და სიმძლავრის დანაკარგები $R_{ფილ}$ რეზისტორში. ამიტომ მას იყენებენ მცირე სიმძლავრის გამმართველებში, სადაც ამ დანაკარგებს არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს.

თუ ერთი Γ-სებრი ფილტრით მიღებული გასწორების კოეფიციენტი არაა საკმარისი, მაშინ იყენებენ ფილტრებს, რომლებიც ორი ან სამი Γ-სებრი რგოლისაგან შედგება (ნახ. 18-13, გ). ამ შემთხვევაში გასწორების მაჯამებელი კოეფიციენტი ტოლია ფილტრის ყველა რგოლის გასწორების კოეფიციენტების ნამრავლისა, ე. ი.

$$S=S_1S_2S_3. \qquad (18\text{-}27)$$

Γ-სებრი ფილტრების გარდა, კენოტრონულ და ნახევარგამტარიან გამმართველებში (მაგრამ არა იონურში) ფართოდ იყენებენ Π-სებრ ფილტრებს.



ნახ. 18-13. ფილტრების სქემები.

ა — Γ-სებრი ინდუქციურ-ტევადობითი; ბ — Γ-სებრი რეზისტორულ-ტევადობითი; გ — Γ-სებრი სამრგოლიანი LC; დ — Π-სებრი LC.

Π-სებრი ფილტრი (ნახ. 18-13, დ) წარმოადგენს ტევადური და Γ-სებრ ინდუქციურ-ტევადობითი ფილტრის შეუღლებას.

Π-სებრი ფილტრის გასწორების კოეფიციენტი მეტია, ვიდრე Γ-სებრი ფილტრისა. ის ტოლია ტევადური ფილტრისა (S_{C1}) და Γ-სებრი ფილტრის (S_{Γ}) გასწორების კოეფიციენტების ნამრავლისა, ე. ი.

$$S = S_{C1} \cdot S_{\Gamma}. \qquad (18\text{-}28)$$

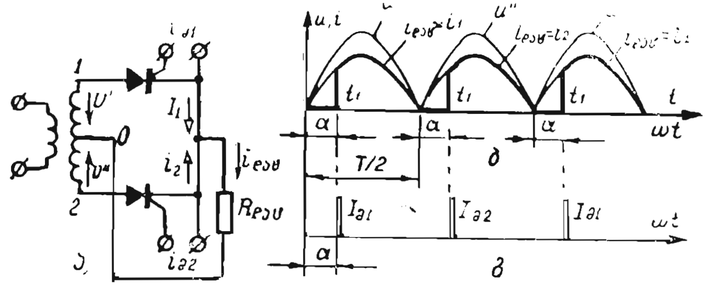
18-7. ტირისტორიანი გამმართველების სქემები

პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებული გამმართველი დანადგარებისაგან (ელექტრული წევა, მუდმივი დენის მძლავრი ელექტროამძრავი) მოითხოვება არა მარტო ცვლადი ერთფაზიანი ან სამფაზიანი დენის მუდმივად გარდაქმნა, არამედ გამართული დენისა და ძაბვის საშუალო მნიშვნელობათა მდოვრე რეგულირებაც.

თუ უკანასკნელ დრომდე ზემომოყვანილი მიზნებისათვის უმთავრესად გამოყენებული იყო ვერცხლისწყლის გამმართველები მართული ბადეებით, ამჟამად ამავე მიზნებისათვის გამოიყენება მართული ნახევარგამტარიანი ვენტილები — ტირისტორები, როგორც უფრო კომპაქტურები, უფრო ეკონომიურები და უკეთესი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე.

ისინი უზრუნველყოფენ გამოსავალი ძაბვის რეგულირებას ფართო ზღვრებში, როცა მართვის წრედში მცირე სიმძლავრეა.

§ 18-2-ში განხილული იყო ორნახევარპერიოდიანი გამმართველის მუშაობა და სქემა (ნახ. 18-4) ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის გამოყვანილი შუა წერტილით. 18-14 ნახაზზე მოცემულია გამმართველის ანალოგიური სქემა, რომელშიაც დიოდი შეცვლილია ტირისტორით.



ნახ. 18-14. ორნახევარპერიოდიანი გამმართველის სქემა ტირისტორებზე (ა); U', U'', ძაბვებისა და I დენების გრაფიკები დატვირთვაში (ბ) და დენის იმპულსები (გ).

დიოდიან სქემაში i' დენი პირველ ვენტილში გადის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის პირველი ნახევრის u' ძაბვის მთელი დადებითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში. მეორე ვენტილში i_2 დენი ასევე გადის ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის მეორე ნახევარის u'' ძაბვის მთელი დადებითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში, რომელიც u' ძაბვის მიმართ ფაზაში დაძრულია ნახევარი პერიოდით. ამგვარად, დატვირთვაში ძაბვის პერიოდის განმავლობაში გადის დენის ორი დადებითი ნახევარტალღა.

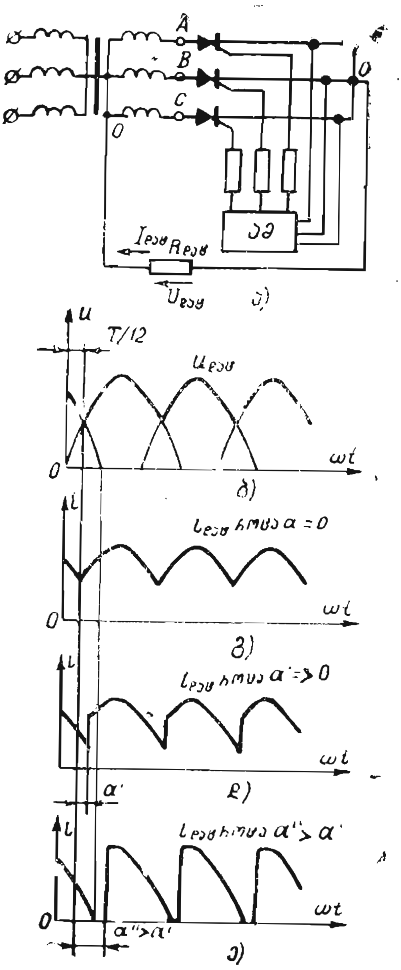
ტირისტორიან სქემაში ვენტილის გაღების მომენტი ემთხვევა მართული იმპულსის მიწოდების მომენტს.

თუ იმპულსები პერიოდის დასაწყისიდან მიეწოდება (რეგულირების კუთხე $\alpha=0$), მაშინ დენების გავლის სურათი იგივეა, როგორიც დიოდიან სქემებში. თუ მართული იმპულსები მიეწოდება ავტომატური მოწყობილობით პერიოდის საწყისიდან $\alpha>0$ კუთხის ჩამორჩენით, მაშინ პერიოდის შესაბამის ნაწილში $t=\alpha_1/\omega$ შეფერხებული იქნება ტირისტორის გაღება და პერიოდის ასეთივე ნაწილში შემცირდება დენის გავლის ხანგრძლივობა თითოეულ ნახევარპერიოდში (ნახ. 18-14, ბ). ამგვარად, α-ს გაზრდით მცირდება დენის გავლის დრო ვენტილში $T/2-\alpha_1/\omega$) და შესაბამისად შემცირდება დატვირთვაში დენის საშუალო მნიშვნელობა და მის მომჭერებზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, რადგან $u_{დატ}=i_{დატ}\cdot R_{დატ}$.

18-15, ა ნახაზზე მოყვანილია მართული სამფაზიანი ტირისტორიანი გამმართველის უმარტივესი სქემა. ის ზემოგანხილული სამფაზიანი გამმართველის სქემებისაგან (ნახ. 18-6) განსხვავდება იმით, რომ დიოდი შეცვლილია ტირისტორით.

ამ ტირისტორების მართულ ელექტროდზე ავტომატური მოწყობილობით АУ პერიოდის შესაბამის მომენტში ეცემა დენის იმპულსები.

ტირისტორის ჩართვის მომენტი და მისი მუშაობის ხანგრძლივობა თითოეული პერიოდის განმავლობაში, მაშასადამე, გამართული დენისა და ძაბვის საშუალო მნიშვნელობები განისაზღვრება რეგულირების α კუთხით. α კუთხეს ითვლიან პერიოდის იმ მომენტიდან როცა ძაბვა ტირისტორიან ფაზაში აღწევს ძაბვის მნიშვნელობას, რომელიც მას წინ უსწრებს ფაზაში, ე. ი. ჩვენი სქემისათვის პერიოდის 1/12 ნაწილის გავლის მომენტიდან მისი დაწყების შემდეგ.



ნახ. 18-15. სამფაზა გამმართველის უმარტივესი სქემა ტირისტორებზე (ა), დატვირთვის ძაბვის მრუდები (ბ), დატვირთვის დენის მრუდები, როცა $\alpha = 0$ (გ), დატვირთვის დენის მრუდები, როცა $\alpha > 0$ (დ) და დატვირთვის დენის მრუდები როცა $\alpha'' > \alpha'$ (ე).

როცა რეგულირების კუთხე $\alpha = 0$, ძაბვისა და დენის მრუდები თითოეულ ტირისტორში 1/3 T განმავლობაში ისეთივე იქნება, როგორც დიოდიან გამმართველებში (ნახ. 18-15, ბ და გ). როცა რეგულირების α კუთხე მცირეა, დენი თითოეულ ტირისტორში უწყვეტი იქნება (ნახ. 18-15, დ), ე. ი. ერთი ტირისტორიდან მეორეზე დენის გადასვლის მომენტი განისაზღვრება რეგულირების α კუთხით. როცა რეგულირების α კუთხე დიდია, დენი დატვირთვაში იქნება წყვეტილი (ნახ. 18-15, ე).

რეგულირების კუთხის გაზრდისას დენის საშუალო მნიშვნელობა დატვირთვაში და ძაბვა მის მომჭერებზე მცირდება.

დაბალი სიხშირის მაძლიერებელი

19-1. ზოგადი ცნებები მაძლიერებლებზე

ელექტრონული მაძლიერებელი ეწოდება მოწყობილობას, რომლის დანიშნულებაა სუსტი შემავალი ელექტრული რხევების (ელექტრული სიგნალების) სიმძლავრის ან ძაბვისა და დენის გაძლიერება მაძლიერებლის მკვებავი ენერგიის წყაროს ხარჯზე. ელექტრონული მილაკი ან ტრანზისტორი გაძლიერების ამ პროცესში ასრულებს მმართველი ელემენტის როლს.

ელექტრონული მაძლიერებლები მეტად სხვადასხვაგვარია, მათი კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს მთელი რიგი ნიშნების მიხედვით, მაგალითად: 1) სიხშირის დიაპაზონის მიხედვით — დაბალი სიხშირის მაძლიერებელი, მაღალი სიხშირის მაძლიერებელი და მუდმივი დენის მაძლიერებელი — უფრო ზუსტად, მეტად ნელი რხევების მაძლიერებელი, სიხშირის დიაპაზონით ნულიდან რამდენიმე ჰერცამდე; 2) საფეხურების ან გაძლიერების კასკადების რიცხვების მიხედვით — ერთ-, ორ- და მრავალკასკადიანი; 3) გასაძლიერებელი სიდიდის სახეობის მიხედვით — ძაბვის მაძლიერებელი, სიმძლავრის მაძლიერებელი, დენის მაძლიერებელი.

ძაბვის მაძლიერებლებში შემავალი რხევების სიმძლავრე უმთავრესად ძლიერდება ამ რხევების ძაბვის გაძლიერების ხარჯზე. სიმძლავრისა და დენის მაძლიერებლებში გამოსავალი რხევების სიმძლავრე უმთავრესად ძლიერდება დენის გაძლიერების ხარჯზე, სიმძლავრის მაძლიერებელი ჩვეულებრივად წარმოადგენს მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის გამოსავალ. ანუ საბოლოო რგოლს.

კასკადების ერთმანეთთან კავშირის მიხედვით არჩევენ მაძლიერებლების სამ ძირითად ტიპს: გალვანურს, რეზისტორულ-ტევადობითსა და ტრანსფორმატორული კავშირით.

სამრეწველო ელექტრონიკაში უმეტესად გავრცელებული დაბალი სიხშირის მაძლიერებლები ხასიათდება შემდეგი მთავარი პარამეტრებით: გაძლიერების კოეფიციენტით, გასაძლიერებელი სიხშირის დიაპაზონით, გამოსავალი სიმძლავრით ან გამოსავალი ძაბვის და მქ კოეფიციენტით.

ძაბვის მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი ეწოდება გამოსავალი ძაბვის შეფარდებას შესავალ ძაბვასთან, ე. ი.

$$k_U = U_{გამ}/U_{შეს}. \qquad (19\text{-}1)$$

მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი ტოლია მისი ყველა კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტების ნამრავლისა, რადგან

$$k_1 \cdot k_2 \ldots k_n = \frac{U_1}{U_{შეს}} \cdot \frac{U_2}{U_1} \ldots \frac{U_{n-1}}{U_{n-2}} \cdot \frac{U_{გამ}}{U_{n-1}} = k_U. \qquad (19\text{-}2)$$

სიმძლავრის მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი ეწოდება გამოსავალი სიმძლავრის შეფარდებას მაძლიერებლის შესავალ სიმძლავრესთან, ე. ი.

$$k_p = P_{გამ}/P_{შეს}. \qquad (19\text{-}3)$$

მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტმა შეიძლება მიაღწიოს 10^6 და მეტ მნიშვნელობას.

ადამიანის ყურის მიერ ათვისებული ბგერის ხმამაღლობის ცვლილება პროპორციულია ბგერითი ენერგიის შესაბამისი ცვლილების ლოგარითმისა. ამიტომ გაძლიერების კოეფიციენტი ხშირად გამოისახება ლოგარითმულ ერთეულებში — ბელობით (ბ). 1 ბ-ით გაძლიერება — ეს არის სიმძლავრეთა შეფარდება 10/1, რომლისთვისაც ათობითი ლოგარითმი ერთის ტოლია. მაშასადამე, სიმძლავრის ცვლილება ბელობით განისაზღვრება შემდეგნაირად

$$S_p(ბ) = \lg \frac{P_{გამ}}{P_{შეს}}. \qquad (19\text{-}4)$$

უფრო ხშირად სარგებლობენ დეციბელებით, რომელიც ბელზე 10-ჯერ ნაკლებია, ასე რომ

$$S_p(დბ) = 10 \lg \frac{P_{გამ}}{P_{შეს}}. \qquad (19\text{-}4, ა)$$

მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის გაძლიერების შეფასებისას დეციბელობით, მას საზღვრავენ ცალკეული კასკადის გაძლიერების ჯამით

$$S = S_1 + S_2 + \ldots + S_n. \qquad (19\text{-}5)$$

გაძლიერების დეციბელობით განსაზღვრის შემთხვევაში მის სიმძლავრეს გამოიანგარიშებენ გამომდინარე იქიდან, რომ სიმძლავრე ძაბვის ან დენის კვადრატის პროპორციულია

$$P = U^2/R = I^2R; \quad S_U = 10 \lg \frac{U_{გამ}}{U_{შეს}}; \quad S_I = 10 \lg \frac{I_{გამ}}{I_{შეს}};$$

$$S_p = 20 \lg \frac{U_{გამ}}{U_{შეს}} = 20 \lg \frac{I_{გამ}}{I_{შეს}}. \qquad (19\text{-}6)$$

მაგალითი 19-1. სამკასკადიანი მაძლიერებლის შესავალი სიმძლავრე $P_{შეს}$ = 0,01 ვტ, ხოლო მისი გამოსავალი სიმძლავრე $P_{გამ}$ = 100 ვტ. განვსაზღვროთ მაძლიერებლის გაძლიერება, როგორც სიმძლავრეთა შეფარდება დეციბელობით.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

გაძლიერების კოეფიციენტი სიმძლავრის მიხედვით

$$k_p = \frac{P_{გამ}}{P_{შეს}} = \frac{100}{0,01} = 10000.$$

გაძლიერება დეციბელობით

$$S_p = 10 \lg \frac{P_{გამ}}{P_{შეს}} = 10 \lg \frac{100}{0,01} = 10 \lg 10000 = 40 \text{ დბ}.$$

მ ა ძ ლ ი ე რ ე ბ ლ ი ს ს ი ხ შ ი რ ი ს დ ი ა პ ა ზ ო ნ ი ეწოდება სიხშირეთა არეს, რომელშიც გაძლიერების კოეფიციენტის ცვლილება არ აღემატება დასაშვებ სიდიდეს. დაბალი სიხშირის მაძლიერებლებში ის განისაზღვრება რამდენიმე ათეული ჰერციდან 10 კჰც-მდე.

მაძლიერებლის გ ა მ ო ს ა ვ ა ლ ი ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე ეწოდება მაძლიერებლის მიერ დატვირთვაში განვითარებულ სიმძლავრეს, ე. ი.

$$P_{გამ} = \frac{U^2_{გამ.მაქს}}{2R_{დატ}}. \qquad (19\text{-}7)$$

მაძლიერებლის ნ ო მ ი ნ ა ლ უ რ ი გ ა მ ო ს ა ვ ა ლ ი ს ი მ ძ ლ ა ვ რ ე ეწოდება დატვირთვაში განვითარებულ უდიდეს სიმძლავრეს, რომლის დროსაც დამახინჯებები არ აღემატება დასაშვებ მნიშვნელობას.

მ ა ძ ლ ი ე რ ე ბ ლ ი ს ე ლ ე ქ ტ რ უ ლ ი მ ქ კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი წარმოადგენს მაძლიერებლის გამოსავალი სიმძლავრის შეფარდებას ელექტრონმილაკიანი მაძლიერებლის ანოდური კვების წყაროში მოხმარებულ სიმძლავრესთან, ე. ი.

$$\eta_{ელ} = P_{გამ}/P_0. \qquad (19\text{-}8)$$

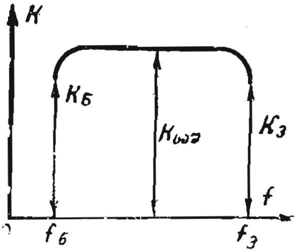
მ ა ძ ლ ი ე რ ე ბ ლ ი ს ს ა მ რ ე წ ვ ე ლ ო მ ქ კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი წარმოადგენს მაძლიერებლის გამოსავალი სიმძლავრის შეფარდებას მაძლიერებლის ყველა წრედის კვების ჯამურ სიმძლავრესთან, ე. ი.

$$\eta_{სამ} = P_{გამ}/P_{საერთო}. \qquad (19\text{-}9)$$

დაბალი სიხშირის სიმძლავრის მაძლიერებლის ელექტრული მქ კოეფიციენტი ტოლია 40—70%-ისა, ხოლო სამრეწველო მქ კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად ნაკლებია ელექტრულ მქ კოეფიციენტზე.

რეალურ მაძლიერებლებში ელექტრული სიგნალი მაძლიერებში გავლისას დამახინჯდება. განასხვავებენ სიგნალების შემდეგ დამახინჯებას: სიხშირულს, ამპლიტუდურს და ფაზურს.

სიხშირული დამახინჯება ეწოდება ელექტრული სიგნალის ფორმის დამახინჯებას, რომელიც განპირობებულია სხვადასხვა სიხშირის ძაბვის შემდგენების გაძლიერების სხვადასხვა ხარისხით. დაბალი სიხშირის მაძლიერებლის სიხშირული მახასიათებლიდან (ნახ. 19-1) ჩანს, რომ საშუალო სიხშირეზე მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი მუდმივია ($k_{საშ}$), ხოლო სიხშირის $f_{ზედ}$-მდე გაზრდისას და $f_{ქვ}$-მდე შემცირებისას გაძლიერების კოეფიციენტი მცირდება. სიხშირულ დამახინჯებას აფასებენ სიხშირული დამახინჯების კოეფიციენტით და განსაზღვრავენ, როგორც გაძლიერების $k_{საშ}$ კოეფიციენტის შეფარდებას მოცემული სიხშირის გაძლიერების კოეფიციენტთან, ე. ი.



ნახ. 19-1. მაძლიერებლის სიხშირული მახასიათებელი.

$$M = k_{საშ}/k_1. \qquad (19\text{-}10)$$

ეს კოეფიციენტი გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ დიდია გაძლიერების [illegible] მოცემულ სიხშირეზე, ვიდრე გაძლიერება საშუალო სიხშირეზე. სიხშირული დამახინჯების კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა ჩვეულებრივ [illegible] 1,25-ის ტოლი.

ამპლიტუდური, ანუ არასწორხაზოვანი დამახინჯება ეწოდება გაძლიერებული რხევების მრუდის ფორმის დამახინჯებას, რომელსაც იწვევს სიხშირული სპექტრის შეცვლა მაძლიერებლის გამოსავალზე. [illegible] ელექტრონული მილაკების, ტრანზისტორების ან მაძლიერებლის დეტალებისთვის მახასიათებლების არაწრფივობის შედეგს.

არასწორხაზოვანი დამახინჯების მახასიათებლად შეიძლება გამოვიყენოთ არასწორხაზოვანი დამახინჯების კოეფიციენტი, რომელიც წარმოადგენს მაძლიერებლის გამოსავალზე უმაღლესი ჰარმონიკული დენების კვადრატების ჯამიდან კვადრატული ფესვის შეფარდებას გამოსავალზე რხევების პირველი ჰარმონიკის ძაბვასთან ან დენთან, ე. ი.

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \ldots + U_n^2}}{U_1}. \qquad (19\text{-}11)$$

სხვადასხვა დანიშნულების მაძლიერებლებში არასწორხაზოვანი დამახინჯების კოეფიციენტისათვის დასაშვებია მნიშვნელობა 0,05—15%.

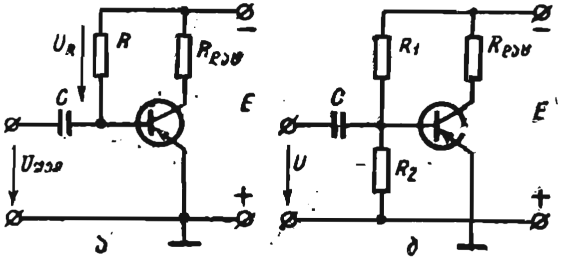
ფაზური დამახინჯება ეწოდება ელექტრული რხევების ფაზების ცვლილებას მაძლიერებლის გამოსავალზე მის შესავალზე რხევების ფაზასთან შედარებით. ფაზურ დამახინჯებებს იწვევს მაძლიერებლის L

და C რეაქციული ელემენტები. ფაზურ დამახინჯებებს არსებითი მნიშვნელობა აქვს ტელევიზორისა და რადიოლოკაციური მოწყობილობების იმპულსური მაძლიერებლებისათვის.

A. ნახევარგამტარიანი მაძლიერებლები

19-2. საერთოემიტერიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლების პრაქტიკული სქემები

ტრანზისტორის შესავალი და გამოსავალი წრედების კვება ხდება ან ორი ურთიერთდამოუკიდებელი კვების წყაროდან (მაგალითად, ნახ. 16-25.ბ), ან ერთი წყაროდან (ნახ. 19-2).



ნახ. 19-2. გადანაცვლების ძაბვის მიწოდების სქემები ბაზაზე.

ტრანზისტორის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა ემიტერსა და ბაზას შორის გვქონდეს ე. წ. ბაზის გადაწევის მუდმივი ძაბვა, დაახლოებით 0,5 ვ, რომელიც სხვადასხვა ტიპის ტრანზისტორებისათვის სხვადასხვაა. ტრანზისტორის შესავალი მახასიათებლის მიხედვით (ნახ. 16-27) შეგვიძლია განვსაზღვროთ შესაბამისი დენი.

საერთო ემიტერის მქონე სქემაზე $O.Э$ (ნახ. 19-2, ა), ბაზის გადაწევის ძაბვის მისაღებად გამოყენებულია R რეზისტორი, რომელიც ჩართულია ბაზასა და კვების წყაროს უარყოფით პოლუსს შორის. როცა შესავალი ძაბვა არ გვაქვს ბაზის მუდმივი დენით შექმნილი, რეზისტორში ძაბვის ვარდნისა $I_{ბაზ} R$ და ბაზა — ემიტერულ უბანზე $U_{ბე}$ ძაბვის ჯამი ტოლია კვების წყაროს E ძაბვისა, ე. ი.

$$I_{ბ} R + U_{ბე} = E, \qquad (19\text{-}12)$$

საიდანაც განისაზღვრება რეზისტორის საჭირო წინაღობა

$$R = (E - U_{ბე})/I_{ბაზ}$$

ან, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ $U_{ბე} \ll E$, მივიღებთ

$$R = E/I_{ბაზ}.$$

19-2, ბ ნახაზზე ბაზის გადაწევის ძაბვის მისაღებად გამოყენებულია ძაბვის გამყოფი R_1R_2.

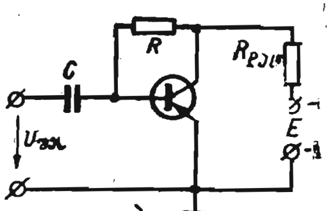
თუ გამყოფის დენს აღვნიშნავთ $I_{გამ}$-ით, მაშინ პირველი რეზისტორის წინაღობას განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$R_1=\frac{E-U_{ბე}}{I_{გამ}+I_{ბაზ}}\approx\frac{E}{I_{გამ}+I_{ბაზ}},$$

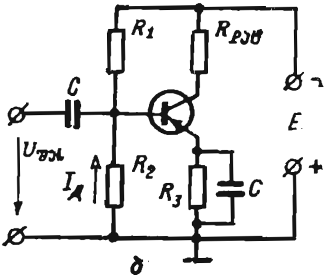
ხოლო მეორე რეზისტორის წინაღობა

$$R_2=U_{ბე}/I_{გამ}.$$

§ 16-4-ში აღნიშნული იყო, რომ ტემპერატურა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნახევარგამტარიანი ხელსაწყოების პარამეტრებსა და მუშაობაზე. კერძოდ, ტემპერატურის ამაღლება იწვევს დენის გაზრდას, რის შედეგადაც იცვლება ტრანზისტორების მუშაობის რეჟიმები. ტრანზისტორების მუშაობაზე ტემპერატურის გავლენის შესამცირებლად გამოიყენება ტემპერატურული სტაბილიზაცია.



19-3, ა ნახაზზე ნაჩვენებია სქემა ე. წ. „კოლექტორული სტაბილიზაცია", რომელშიც R რეზისტორი, რომელიც საჭიროა გადაწევის ძაბვის მისაღებად (ნახ. 19-2, ა), მიერთებულია ტრანზისტორის კოლექტორთან. თუ ტემპერატურის ამაღლების შედეგად კოლექტორის $I_{კოლ}$ დენი გაიზრდება, მაშინ $R_{დატ}$ რეზისტორში $I_{კოლ}R_{დატ}$ ძაბვის ვარდნა დაიწყებს ზრდას, რაც გამოიწვევს $U_{კოლ}$ და $U_{ბე}$ ძაბვების შემცირებას და ამასთან ერთად კოლექტორისა და ბაზის დენების შემცირებას პრაქტიკულად აღნიხლულ მნიშვნელობამდე. ამგვარად, ტემპერატურის ამაღლებით კომპენსირდება $I_{კოლ}$ დენის ზრდა.



ნახ. 19-3. ტემპერატურული სტაბილიზაციის სქემები.

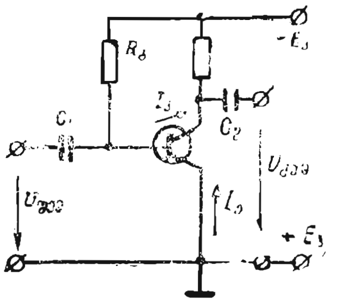
19-3, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია მეორე, „ემიტერული სტაბილიზაციის" უფრო სრულყოფილი სქემა. აქ მასტაბილიზირებელს წარმოადგენს $R_{ემ}$ რეზისტორი. მასში ძაბვის ვარდნა $U_{ემ}=I_{ემ}$. $R_{ემ}$ და გაყოფის $I_{გამ}$ დენის მიერ შექმნილი ძაბვა R_2 რეზისტორში $U_2=I_{გამ}R_2$ მიმართულია ერთმანეთის შემხვედრად ისე, რომ ბაზის გადაწევის ძაბვა $U_{ბე}=U_2-U_{ემ}$, ანუ $R_{ემ}$ რეზისტორი ქმნის უკუკავშირს მუდმივი დენის მიმართ. ტემპერატურის ამაღლებით გამოწვეული ტრანზისტორის დენის გაზრდისას

იზრდება $U_{ემ} - I_{ემ} R_{ემ}$ ძაბვა და მცირდება ბაზის გადაწევა, რაც გამოიწვევს დენების შემცირებას.

$R_{ემ}$ რეზისტორის დამშუნტველი $C_{ემ}$ კონდენსატორი სპობს ცვლადი დენის მიმართ უკუკავშირს, კონდენსატორის წინაღობა ნებისმიერი მუშა სიხშირისათვის მნიშვნელოვნად ნაკლები უნდა იყოს რეზისტორის წინაღობაზე.

19.3. მუშა წერტილის შერჩევა და დენისა და ძაბვის მრუდების აგება

განვიხილოთ ტრანზისტორის მუშაობა საერთო ემიტერის სქემით დატვირთვის გამოსავალ წრედში (ნახ. 19-4). როგორც მაძლიერებელ კასკადში ტრანზისტორის ჩართვის უმთავრესად გავრცელებული სქემა.



ნახ. 19-4. საერთო ემიტერიანი ძაბვის მაძლიერებელი სქემა

შესავალი ძაბვა $U_{შეს}$ მიეწოდება ბაზისა და ემიტერს შორის. გამოსავალ წრედში ჩაირთვება კვების წყარო $E_{კოლ}$, რომლის ხარჯზეც ხდება შესავალი სიგნალის სიმძლავრის გაძლიერება. $R_{ბაზ}$ რეზისტორის საშუალებით ... ბაზის დენს, რომელიც განსაზღვრავს მუშა A' წერტილის მდებარეობას შესავალ მახასიათებელზე (ნახ. 19-5, ბ) და A წერტილის მდებარეობას (ნახ. 19-5, ა), რომელიც აგებულია ტრანზისტორის გამოსავალ მახასიათებლებზე.

როცა არა გვაქვს შესავალი ძაბვა ($U_{შეს}=0$), შესავალ წრედში გადის უძრაობის დენი I_0, რომელიც ... კოლექტორის $I_{კოლ}$ დენს და განისაზღვრება დატვირთვის წრედის ... $I_{ბაზ} = 10$ მკა ბაზის დენის შესაბამისად გამოსავალ მახასიათებლებიდან.

19-5, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ტრანზისტორის გამოსავალი მახასიათებლების ოჯახი და MN დატვირთვის წრფის აგება, რომელსაც ამავე დროს მუშა მახასიათებელი ეწოდება და წარმოადგენს კოლექტორის $I_{კოლ}$ დენის დამოკიდებულებას $U_{კოლ\ ემ}$ ძაბვასთან დატვირთვის მუდმივი წინაღობის დროს.

ასეთი აგებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ კვების წყაროს ძაბვა $E_{კოლ}$ და დატვირთვის $R_{დატ}$ წინაღობა. დატვირთვის წრფის აგება ხდება მისი კოორდინატის ღერძებთან გადაკვეთის წერტილების მიხედვით.

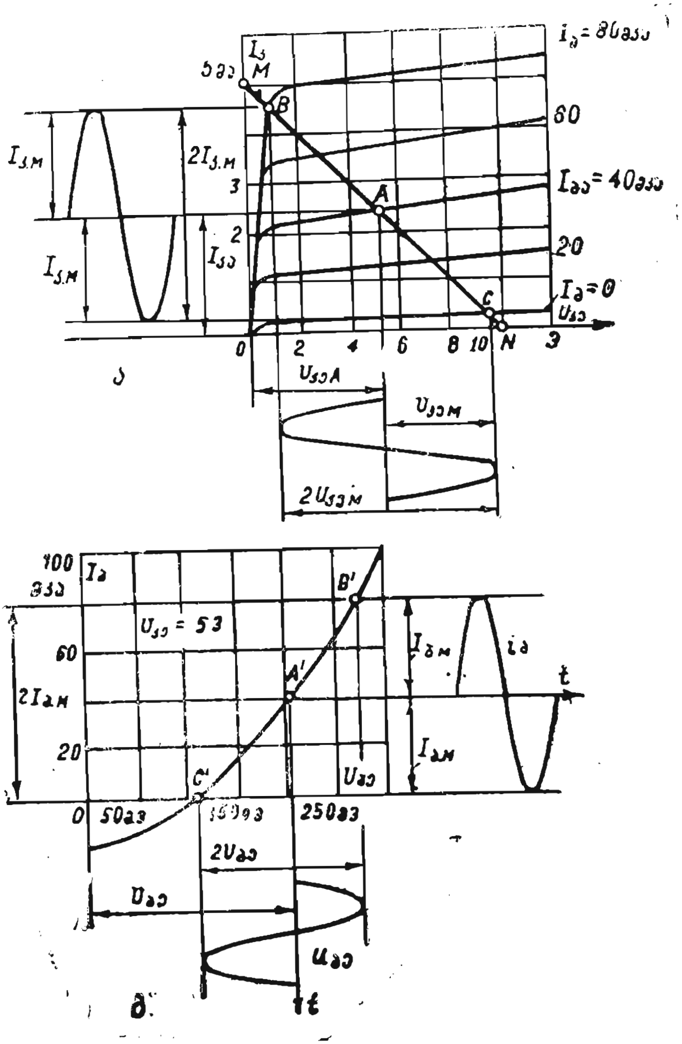
§ 16—10-დან ცნობილია, რომ $E_{კოლ}$ ძაბვა ნაწილდება კოლექტორის გადასასვლელსა $r_{კოლ}$ და $R_{დატ}$ რეზისტორს შორის ისე, რომ $E_{კოლ} = U_{კოლ\ ემ} + I_{კოლ} R_{დატ}$. ამ ტოლობიდან შესავალი წრედისათვის გამო-

მდინარეობს, რომ, როცა $I_{კოლ}=0$, $E_{კოლ}=U_{კოლ ემ}$. რადგან $I_{კოლ}\cdot R_{დატ}=0$, თუ აბსცისათა ღერძზე გადავდებთ ძაბვას $U_{კოლ}=E_{კოლ}$, მივიღებთ დატვირთვის წრფის ერთ წერტილს (N). თუ $U_{კოლ ემ}$ ძაბვას გავუტოლებთ ნულს ($U_{კოლ ემ}=0$), მივიღებთ $E_{კოლ}=I_{კოლ}R_{დატ}$, საიდანაც განვსაზღვრავთ დენის მნიშვნელობას $I_{კ}=E_{კ}/R_{დატ}$. თუ ორდინატთა ღერძზე გადავდებთ დენის ამ მნიშვნელობას, მივიღებთ დატვირთვის წრფის მეორე წერტილს M. MN წერტილების შემაერთებელი სწორი ხაზი წარმოადგენს დატვირთვის გამოსავალ წრფეს. დატვირთვის ამ წრფეზე შეარჩევენ სამუშაო უბანს. B და C წერტილებით შემოსაზღვრული უბანი შეესაბამება $I_{კოლ}$ დენის, $U_{კოლ ემ}$ ძაბვისა და $P_{გამ}$ სიმძლავრის უდიდეს შესაძლებელ გამოსავალ მნიშვნელობებს. სამუშაო უბნის პროექცია წარმოადგენს კოლექტორული დენის გაორკეცებულ ამპლიტუდას ($2\,I_{კოლ\ მაქს}$), ხოლო იმავე უბნის პროექცია აბსცისათა ღერძზე — კოლექტორსა და ემიტერს შორის ძაბვის გაორკეცებულ ამპლიტუდას ($2\,U_{კოლ\ ემ\ მაქს}$).

თუ დავუშვებთ, რომ შესავალი და გამოსავალი სიდიდეები სინუსოიდურია, მაშინ A წერტილს მივიღებთ BC უბნის შუაში. მაშინ A წერტილი განსაზღვრავს $I_{კოლ\ A}$ კოლექტორის დენისა და $U_{კოლ\ ემ\ A}$ კოლექტორ-ემიტერის ძაბვის მნიშვნელობებს, რომლებიც უძრაობის რეჟიმს შეესაბამებიან

ტრანზისტორის შესავალი მახასიათებელი წარმოადგენს ბაზის დენის დამოკიდებულებას ბაზასა და ემიტერს შორის ძაბვასთან, ე. ი. $I_{ბაზ}=f(U_{ბე})$, როცა $U_{კოლ\ ემ}$ მნიშვნელობა მუდმივია. თითოეული ზემოგანხილული შემთხვევისათვის საჭიროა ავიღოთ ის შესავალი მახასიათებელი, რომელიც შეესაბამება შერჩეულ მუდმივ ძაბვას კოლექტორსა და ემიტერს შორის. მაგრამ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ, ერთი მხრივ, შესავალი მახასიათებლები სხვადასხვა ძაბვის დროს $U>0$ ერთმანეთისაგან განსხვავდება უმნიშვნელოდ, ხოლო, მეორე მხრივ, თითოეული ტრანზისტორის პასპორტში მოცემულია შესავალი მახასიათებელი, მხოლოდ ძაბვის ერთი, მაგალითად, $U_{კოლ\ ემ}=5$ვ მნიშვნელობისათვის, მიახლოებითი გაანგარიშების დროს სარგებლობენ ერთი შესავალი მახასიათებლით, რომელიც მოცემულია მის პასპორტში ან ცნობარებში.

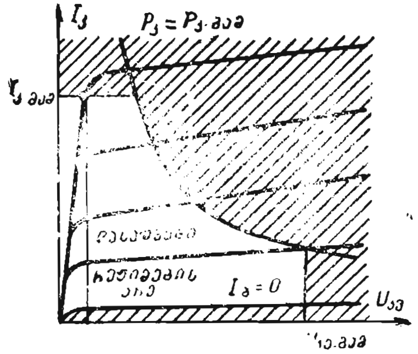
თუ ამ მრუდზე გადავიტანთ გამოსავალი მახასიათებლის A, B და C წერტილებს, მივიღებთ შესაბამის A', B' და C' წერტილებს (ნახ. 19-5, ბ). თუ შესავალი მახასიათებლის $A'B'$ და $A'C'$ წერტილებს შორის მოთავსებულ უბნებს დავაგეგმარებთ აბსცისათა და ორდინატთა ღერძებზე, მივიღებთ შესაბამისად, შესავალი $U_{ბე}$ ძაბვისა და $I_{ბ}$ დენის ამპლიტუდების მნიშვნელობებს. გაძლიერების კოეფიციენტი დენის მიხედვით $k_I=I_{კ}/I_{ბ}$; ძაბვის მიხედვით $k_U=U_{კე}/U_{ბე}$ და სიმძლავრის მიხედვით $k_P=k_I\cdot k_U$.



ნახ. 12-5. საერთოემიტერიანი ტრანზისტორის მუშაობის რეჟიმი მაძლიერებელ კასკადში.

ა—ტრანზისტორის გამოსავალი მახასიათებლები,
ბ—ტრანზისტორის შესავალი მახასიათებელი.

მუშა რეჟიმების განხილვისას საჭიროა განვსაზღვროთ მუშაობისათვის დასაშვები ტრანზისტორის მახასიათებლის არე. 19-6 ნახაზზე ნაჩვენებია ასეთი არე, ტრანზისტორისათვის, რომელიც საერთო ემიტერის სქემით მუშაობს. ის შემოფარგლულია კოლექტორის ზღვრული დასაშვები $I_{კ. ზღ}$ დენით, კოლექტორსა და ემიტერს შორის ზღვრული დასაშვები ძაბვით $U_{კ. ე. ზღ}$, ზღვრული დასაშვები სიმძლავრით $P_{კ. ზღ}$ და ბაზის დენით $I_ბ = 0$. გარდა ამისა, თუ არაწრფივი დამახინჯება უნდა იყოს მცირე, მაშინ მუშა არე არ უნდა გავრცელდეს მახასიათებლის არაწრფივ უბნებზე.



ნახ. 19-6. მუშაობის დასაშვები რეჟიმების არეები.

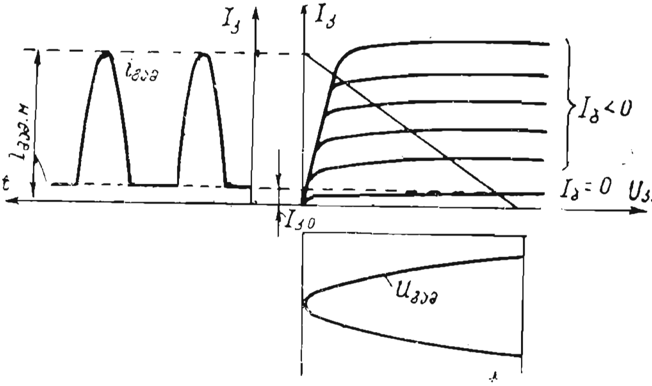
მუშაობის საწყისი რეჟიმისა და ბაზის დენის ამპლიტუდის მიხედვით კოლექტორული დენი გაივლის ან შესავალი მახასიათებლის ცვლილების მთელი პერიოდის განმავლობაში (ტრანზისტორი ღიაა), ან მხოლოდ პერიოდის რაღაც ნაწილის განმავლობაში. ამგვარად, განიხილავენ ტრანზისტორის მუშაობის ოთხ რეჟიმს: A. B, AB და C.

გაძლიერების A რეჟიმზე მუშა A წერტილის საწყის მდებარეობას შეარჩევენ დატვირთვის BC სწორი ხაზის შუა ნაწილში (ნახ. 19-5, ა). შესავალი $I_{შეს. მაქს}$ დენის ამპლიტუდა ნაკლები უნდა იყოს ტრანზისტორის უძრაობის $I_{კ. 0}$ დენზე.

A რეჟიმით მუშაობა ხასიათდება უმცირესი დამახინჯებითა და მცირე მქ კოეფიციენტით, არა უმეტეს 40%-ისა. A რეჟიმით მუშაობს ძაბვის გაძლიერების ყველა კასკადი და მცირე სიმძლავრის გამოსავალი კასკადები.

გაძლიერების B რეჟიმით მუშა A წერტილის საწყის მდებარეობას შეარჩევენ კოლექტორის დენების არეში $I_{კ.0}$-თან ახლოს (ნახ. 19—7), სხვანაირად რომ ვთქვათ, ის განლაგებულია აბსცისათა ღერძის ახლოს. გამოსავალი დენი უძრაობის რეჟიმზე ახლოსაა ნულთან. ტრანზისტორი ღიაა ნახევარი პერიოდის განმავლობაში ან, როგორც ამბობენ, ის მუშაობს დენის წაკვეთით, რომელიც ხასიათდება წაკვეთის Θ კუთხით. რაც პერიოდის გამტარი ნაწილის ნახევრის მაჩვენებელია, ე. ი. წაკვეთის კუთხე მოცემულ რეჟიმზე 90°-ის ტოლია. გაძლიერების ამ კლასის თავისებურებაა დიდი არაწრფივი დამახინჯება და მაღალი მქ კოეფიციენტი, რომელიც 70%-მდე აღწევს. გაძლიერების ეს კლასი გამოიყენება ორტაქტიან სქემებში, რომლებშიც ერთ ტრანზისტორში დენის შეწყვეტისას გაივლის მეორეში.

AB გაძლიერების რეჟიმი საშუალედოა A-სა და B-ს შორის, მუშა წერტილების მდებარეობას შეარჩევენ დატვირთვის წრფის ქვედა ნაწილში ისე, რომ მიიღება გამოსავალი სიდიდეების დიდი დამახინჯება, ეს რეჟიმი ძირითადად გამოიყენება ორტაქტიან სქემებში.



ნახ. 19-7. მუშაობა B რეჟიმში.

19-4. მაძლიერებლის სიხშირული მახასიათებლები

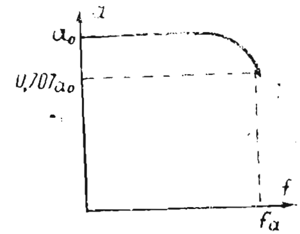
დენის გადაცემის კოეფიციენტი პრაქტიკულად უცვლელი რჩება სიხშირის ცვლილების ფართო არეში. მაგრამ სიხშირის გაზრდით ტრანზისტორის მაძლიერებელი თვისებები უარესდება. დენის მიხედვით გაძლიერების α კოეფიციენტის დამახასიათებელი დამოკიდებულება f სიხშირეზე ნაჩვენებია 19—8 ნახაზზე. სიხშირეს, რომლის დროსაც α კოეფიციენტი მცირდება პირველადი მნიშვნელობით $1/\sqrt{2}=0.707$-მდე, ეწოდება დენის გაძლიერების ზღვრული სიხშირე f_α.

სიხშირის გაზრდისას α-ს შემცირების ერთ-ერთი მთავარი მიზეზია ბაზაში არაძირითადი მატარებლების გავლის საბოლოო დრო. ერთსა და იმავე მომენტში ინჟექცირებული არაძირითადი მატარებლები კოლექტორულ გადასასვლელს აღწევენ სხვადასხვა დროს, რის გამოც მახინჯდება გამოსავალი სიგნალის ფორმა და მცირდება მისი ამპლიტუდა.

გარდა ამისა, ადგილი აქვს დაგვიანებას ემიტერულ და კოლექტორულ დენებს შორის ფაზაში.

ტრანზისტორების გაძლიერების დადაბლების მეორე მიზეზია კოლექტორული გადასასვლელის $C_{კოლ}$ ტევადობის გავლება, რომელიც პარალელურად ჩართულად უნდა ჩავთვალოთ კოლექტორული გადასასვლელის $r_{კოლ}$ წინაღობასთან. დაბალ სიხშირეზე $C_{კოლ}$ ტევადობის წინაღობა მეტად დიდია და ამ ტევადობის ზეგავლენა შეიძლება უგულებელვყოთ,

ხოლო მაღალი სიხშირის დროს ტევადობის $1/\omega C_{კოლ}$ წინაღობა ეცემა და მისი დამაშუნტებელი ზეგავლენა იწვევს გადაცემის კოეფიციენტის შემცირებას.

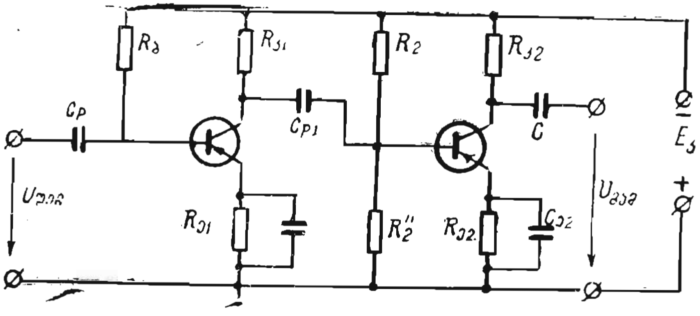


ნახ. 19-8. დენის გადაცემის კოეფიციენტის დამოკიდებულება სიხშირეზე.

19-5. მრავალკასკადიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლები

ისეთ შემთხვევებში, როცა გაძლიერების მოცემული კოეფიციენტის მისაღებად ერთი მაძლიერებელი კასკადი საკმარისი არ არის, იყენებენ მრავალკასკადიან მაძლიერებლებს.

19-9 ნახაზზე მოცემულია ორკასკადიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლის ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული სქემა—კასკადებს შორის რეზისტორულ-ტევადობით კავშირით.



ნახ. 19-9. ორკასკადიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლის სქემა რეზისტორულ-ტევადობითი კავშირით.

პირველი და მეორე კასკადის სქემები და ამ სქემების ცალკეული ელემენტების დანიშნულება განხილული იყო § 19-2-ში.

პირველ კასკადში გამყოფი $C_{გამ}$ კონდენსატორი გამოიყენება ბაზის გადაწევის მუდმივი შემდგენის გამოსაყოფად შესავალი ძაბვის წყაროს წრედიდან. ამ კასკადში უძრაობის წერტილის ფიქსირება ხდება $R_{ბ\cdot1}$ რეზისტორით და სტაბილიზდება $R_{ემ1}\cdot C_{ემ1}$ წრედით, მუდმივი დენის მიმართ — უარყოფითი უკუკავშირის მეშვეობით. $R_{კოლ1}$ რეზისტორი წარმოადგენს დამტვირთავს კოლექტორის წრედში. ხოლო $C_{რეზ1}$ კონდენსატორი — გამყოფს პირველ და მეორე კასკადს შორის.

მეორე კასკადი პირველისაგან განსხვავდება იმით, რომ აქ უძრაობის წერტილი ფიქსირდება ორ — R_2' და R_2'' რეზისტორიანი ძაბვის გამყოფის მეშვეობით. C კონდენსატორი არ ატარებს დენის მუდმივ შემდგენს

კოლექტორული წრედიდან დატვირთვაში მეორე კასკადის გამოსავალზე.

მაძლიერებლის ერთი კასკადი, რომელიც საერთო ემიტერის სქემით $OЭ$ მუშაობს, ძაბვასა და დენს 10—20-ჯერ, ხოლო სიმძლავრეს 100—300-ჯერ აძლიერებს.

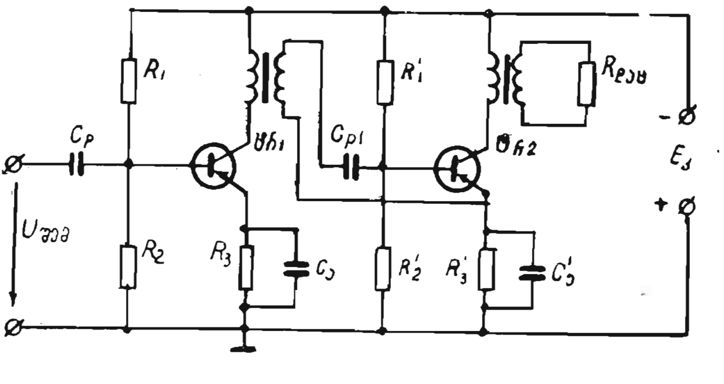
მაძლიერებლების კასკადებს შორის რეზისტორულ-ტევადობითი კავშირს გარდა გამოიყენება ტრანსფორმატორული კავშირიც. 19—10 ნახაზზე მოცემულია ორკასკადიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლის სქემა ტრანსფორმატორული კავშირით.

უძრაობის წერტილი ფიქსირდება ძაბვის გამყოფის მეშვეობით, რომელიც პირველ კასკადში R_1 და R_2 რეზისტორებისაგან შედგება, ხოლო მეორეში R'_1 და R'_2-საგან; პირველ და მეორე კასკადებში გამოყენებულია ემიტერული ტემპერატურული სტაბილიზაცია. $C_{ემ}$ $R_{ემ}$ და $C_{ემ}'$ $R_{ემ}'$ (§ 19-2).

პირველი კასკადის კოლექტორულ წრედში ჩართულია კავშირის ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი Tp_1, ხოლო მეორეული გრაგნილი $C_{რეზ1}$ კონდენსატორის გავლით მიერთებულია მეორე კასკადის ტრანზისტორის ბაზასა და ემიტერს შორის.

ანალოგიურად ირთვება მეორე ტრანსფორმატორის Tp_2 პირველადი გრაგნილის, ხოლო ამ ტრანსფორმატორის მეორეულ გრაგნილთან ჩაირთვება დატვირთვა $R_{დატ}$ (ან მესამე კასკადის ბაზა — ემიტერი).

საერთო ემიტერის სქემაში რეზისტორულ-ტევადობითი კავშირით ტრანზისტორის გამოსავალი წინაღობა დიდია (ათეული კილოომი), ხოლო შესავალი — მცირე (ასეული ომი). ამის შედეგად მაძლიერებელი



ნახ. 19-10. ორკასკადიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლის სქემა ტრანსფორმატორული კავშირით.

კასკადი გამოსავალზე ყოველთვის ჩართულია შემდეგი კასკადის შედარებით მცირე შესავალ წინაღობასთან და შემდეგი კასკადის შესასვლელს მცი-

რე სიმძლავრეს აწვდის მაშინ, როცა უდიდესი სიმძლავრის გადასაცემად საჭიროა შევასრულოთ გამოსავალი და შესავალი წრედების წინაღობათა შეთანხმების პირობა, რომლის დროსაც გამოსავალი წინაღობა ტოლია შესავლისა.

ტრანსფორმატორული კავშირის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს ტრანსფორმატორის შესაბამისი ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის გზით წინა კასკადის გამოსავალი წინაღობა შევუთანხმოთ შემდეგი კასკადის შესავალ წინაღობას.

ტრანზისტორულ მაძლიერებლებში ტრანსფორმატორული კავშირის გამოყენების მეორე ღირსებას წარმოადგენს დაბალი ძაბვის კვების წყაროს გამოყენების შესაძლებლობა. ეს აიხსნება იმით, რომ ძაბვის ვარდნა ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილში ნაკლებია, ვიდრე დატვირთვის რეზისტორში $R_{დატ}=R_{კოლ}$.

ტრანსფორმატორული კავშირით მაძლიერებლების ნაკლოვანებებს მიეკუთვნება: 1) დიდი სიხშირული დამახინჯება; 2) კონსტრუქციის სირთულე (ტრანსფორმატორი უფრო რთულია რეზისტორზე); 3) გაბარიტების, მასისა და ღირებულების გაზრდა.

19-6. ტრანზისტორის ბოლო მაძლიერებელი კასკადი

დაბალი სიხშირის სიმძლავრის მაძლიერებელი ჩვეულებრივად წარმოადგენს მაძლიერებელი მოწყობილობის, ანუ რადიომიმღების ბოლო კასკადს.

მის დატვირთვას წარმოადგენს, მაგალითად, ელექტრომაგნიტური რელე, ხმამაღლამოლაპარაკე ან ტელეფონი, ელექტროძრავა ან სხვა შემსრულებელი მექანიზმი.

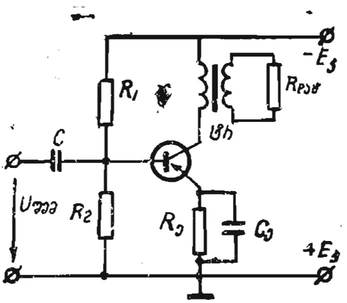
სიმძლავრისა და ძაბვის მაძლიერებლების სქემები ერთმანეთის ანალოგიურია, მაგრამ, მათდამი წაყენებული მოთხოვნები სხვადასხვაა, ასევე სხვადასხვაა სქემების პარამეტრები და ელემენტები.

სიმძლავრის მაძლიერებელმა მოცემულ დატვირთვაზე უნდა განავითაროს უდიდესი სიმძლავრე (დენი) ისე, რომ არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტი არ უნდა გამოვიდეს დასაშვები ზღვრებიდან.

სიმძლავრის ტრანზისტორული მაძლიერებელი შეიძლება იყოს ერთტაქტიანი (ნახ. 19-11) ან ორტაქტიანი (იხ. § 19-10).

სიმძლავრის ერთტაქტიანი მაძლიერებელი გამოიყენება მაშინ, როცა გამოსავალი სიმძლავრე არ აღემატება 3—5 ვტ-ს და მუშაობს A რეჟიმით და საერთო ემიტერის მქონე სქემით, რომელიც უზრუნველყოფს უფრო მაღალ გაძლიერების კოეფიციენტს. 19-11 ნახაზზე მოყვანილ სქემაზე უძრაობის წერტილის ფიქსაციისათვის გამოიყენება ძაბვის რეზისტორული R_1 და R_2 გამყოფი. ტემპერატურული ზეგავლენის შესამცი-

რებლად გამოყენებულია ემიტერული სტაბილიზატორი, რომელიც $R_{ემ}$ $C_{ემ}$ ჯაჭვისაგან შედგება. დატვირთვაში შესაძლებლად დიდი სიმძლავრის გამოსაყოფად გამოიყენება მათანხმებელი ტრანსფორმატორი.



ნახ. 19-11. ერთტაქტიანი სიმძლავრის ტრანზისტორული გამაძლიერებელი.

შეგვიძლია დავამტკიცოთ, რომ დატვირთვაში $R_{დატ}$ უდიდესი სიმძლავრის გამოყოფა ხდება იმ შემთხვევაში, თუ გამოსავალი ელექტრული რხევების წყაროს შიგა წინაღობა (სიგნალი) ტოლია $R_{შიგ}$ დატვირთვის წინაღობისა, ე. ი. $R_{შიგ} = R_{დატ}$. ასეთ წინაღობას უწოდებენ მათანხმებელს. მაძლიერებლებში მახასიათებლების სწორხაზოვანი არეების შეზღუდვის გამო ხშირად ცდილობენ მიიღონ ტოლობა $R_{დატ} = (0,1 \div 2)\, R_{შიგ}$. ასეთ შემთხვევებში დატვირთვა შეიძლება ჩავრთოთ უშუალოდ კოლექტორის გამოსავალ წრედში, მაგრამ ხშირად ვხვდებით დატვირთვას მცირე წინაღობით $R_{დატ} < R_{შიგ}$.

ამ შემთხვევაში იყენებენ მათანხმებელ ტრანსფორმატორს. შეთანხმება მდგომარეობს იმაში, რომ თითოეული დატვირთვისათვის შეარჩევენ ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის ისეთ კოეფიციენტს, რომლის დროსაც დატვირთვის მოცემულ წინაღობაში სიმძლავრე იქნება უდიდესი, თუ არაწრფივი დამახინჯების სიდიდე დასაშვებია.

თუ ძაბვების შეფარდება, ანუ ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ტოლია, ე. ი.

$$U_1/U_2 = w_1/w_2 = k_{ტრ},$$

მაშინ შეფარდება $I_1/I_2 = w_2/w_1 = 1/k_{ტრ}$ და დატვირთვის წინაღობა პირველად წრედში

$$R'_{დატ} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 k_{ტრ}}{I_2/k_{ტრ}} = \frac{U_2}{I_2} k^2_{ტრ} = R_{დატ} k^2_{ტრ}. \qquad (19\text{-}13)$$

როცა მოცემულია $R_{დატ}$, მაშინ ტრანსფორმაციის საჭირო კოეფიციენტი განისაზღვრება გამოსახულებით

$$k_{ტრ} = \sqrt{(0,1 \div 2) R_{შიგ}/R_{დატ}}. \qquad (19\text{-}14)$$

მაგალითი 19-1. განვსაზღვროთ ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი, თუ ტრანზისტორის წინაღობა $R_{შიგ} = R_{კი} = 5000$ ომი, ხოლო დატვირთვის წინაღობა $R_{დატ} = 25$ ომს.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი

$$k_{ტრ} = \sqrt{(0,1 \div 2) R_{შიგ}/R_{დატ}} = \sqrt{0,1 \cdot 5000/25} = 20.$$

ბოლო კასკადის მქონე მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის გაძლიერების საერთო კოეფიციენტი. როგორც § 19-1-ში იყო აღნიშნული, ტოლია ყველა კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტების ნამრავლისა (19-2).

თუ მრავალკასკადიანი მაძლიერებლის გაძლიერებას გავზომავთ დეციბელობით, მაშინ საერთო გაძლიერება ტოლი იქნება ცალკეული კასკადების გაძლიერებათა ჯამისა (19-5).

19-7. უკუკავშირი მაძლიერებლებში

უკუკავშირი მაძლიერებლებში ეწოდება მაძლიერებლის გამოსავალი წრედის ზემოქმედებას მის შესავალ წრედზე. მაძლიერებლის გამოსავლის შემაერთებელ ელექტრულ წრედს მის შესავალთან ეწოდება უკუკავშირის წრედი.

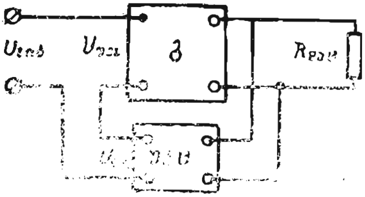
უკუკავშირს ეწოდება დადებითი, თუ ის იწვევს გაძლიერების საერთო კოეფიციენტის გაზრდას, ხოლო წინააღმდეგ შემთხვევაში ის უარყოფითია.

უკუკავშირიან მაძლიერებლებში (ნახ. 19-12) შესავალზე მოდებულია უკუკავშირის $U_{უკუ.კავ}$ ძაბვა, რომელიც $U_{გამ}$ გამოსავალი ძაბვის ნაწილს შეადგენს.

სიდიდეს

$$\beta = U_{უკუ.კავ}/U_{გამ}$$

უკუკავშირის კოეფიციენტი ეწოდება.



ნახ. 19-12. მაძლიერებლის სქემა უკუკავშირით.

უკუკავშირიან მაძლიერებელში შესავალი ძაბვა შედგება სიგნალისა და უკუკავშირის ძაბვების ჯამისაგან, ე. ი.

$$U_{შეს} = U_{სიგ} + U_{უკუ.კავ}.$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი უკუკავშირის გარეშე

$$k = U_{გამ}/U_{შეს},$$

ხოლო მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი უკუკავშირით

$$K_{უკუ.კავ} = U_{გამ}/U_{სიგ},$$

მაშინ შესავალი ძაბვის გამოსახულება მიიღებს სახეს

$$U_{შეს} = U_{სიგ} + U_{უკუ.კავ} = \frac{U_{გამ}}{k_{უკუ.კავ}} + U_{გამ}\beta = U_{გამ}\left(\frac{1}{k_{უკუ.კავ}} + \beta\right).$$

უკანასკნელი გამოსახულებიდან ძნელი არაა განვსაზღვროთ უკუკავშირიანი მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი

$$K_{უკუ.კავ} = k/1 - \beta k. \qquad (19\text{-}15)$$

როცა $\beta k=1$, დადებით უკუკავშირს ეწოდება კრიტიკული, რადგან მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი უსასრულობის ტოლი ხდება. $k_{უკუ.\ კავ}=\infty$ და მაძლიერებელი გადადის მუშაობის გენერატორულ რეჟიმზე, რომლის დროსაც გამოსავალზე შეიძლება გვქონდეს ძაბვა შესავალი ძაბვის არარსებობის დროსაც კი.

უარყოფითი უკუკავშირიანი მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი (ე. ი. როცა $U_{უკუ.\ კავ}<0$ და $\beta<0$) ნაკლებია მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტზე უარყოფითი უკუკავშირის გარეშე.

უარყოფითი უკუკავშირი აუმჯობესებს მაძლიერებლის მუშაობის სტაბილურობასა და მახასიათებელს; კერძოდ, ამცირებს მაძლიერებლის არაწრფივ დამახინჯებას.

ეს აიხსნება იმით, რომ მაძლიერებელში აღძრული ყველა ჰარმონიკა და დამახასიათებელი სიგნალი გაძლიერების შემდეგ ნაწილობრივ უკუკავშირის ხაზით მიეწოდება მაძლიერებლის შესავალს, რომელსაც საწინააღმდეგო ფაზა აქვს, რის შედეგადაც ხდება სიგნალის დამახინჯების ნაწილობრივი კომპენსაცია.

ნ. ელექტრონმილაკიანი მაძლიერებლები

19-8. დაბალი სიხშირის გაძლიერების უმარტივესი კასკადი ელექტრონული ტრიოდით

ა) გაძლიერების პროცესი

ელექტრული რხევების მაძლიერებლის სქემაში ტრიოდის პრაქტიკულად გამოყენების დროს მის ანოდურ წრედში რთავენ დამატებით წინაღობას $R_{ან}$. ამ შემთხვევაში ბადეური ძაბვის ცვლილება იწვევს ანოდური ძაბვის ცვლილებას.

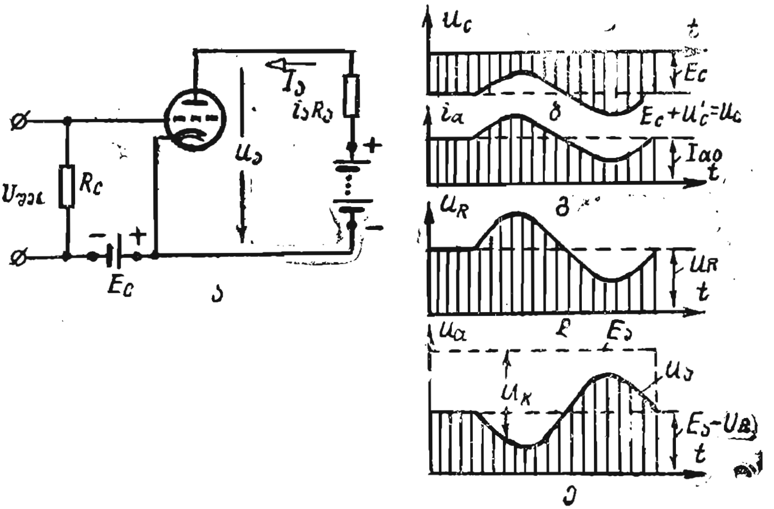
19-13, ა ნახაზზე მოცემულია ტრიოდის ჩართვის მსგავსი სქემა — უმარტივესი მაძლიერებელი კასკადის სქემა. მილაკის ანოდურ წრედში ჩართულია დამტვირთავი წინაღობა $R_{ან}$ და კვების წყარო — ანოდური $E_{ან}$ ბატარეა. ბადის წრედი: ბადე-კათოდი შედგება გასაძლიერებელი ცვლადი $U_{შეს}$ ძაბვის გარე წყაროს $R_{შიდ}$ რეზისტორისა და ბადეური გადაწევის ბატარეისაგან, რომლის ემ ძალაა $E_{ბ}$.

ბადეური რეზისტორის $R_{ბ}$ დანიშნულებაა ბადის შეერთება $E_{ბ}$ ბატარეის უარყოფით პოლუსთან, რითაც უზრუნველყოფს უარყოფით პოტენციალს ბადეზე. $R_{ბ}$ რეზისტორის მომჭერებზე მოდებულია შესავალი ცვლადი ძაბვის წყაროს ძაბვა, რომელიც უნდა გაძლიერდეს. $R_{ბ}$ წინაღობა მნიშვნელოვნად მეტი უნდა იყოს შესავალი ძაბვის წყაროს შიგა წინაღობაზე $R_{შიგ.\ შეს}$ $(R_{ბ}\gg R_{შიგ.\ შეს})$ ისე, რომ ძაბვის შიგა ვარდნა

წყაროში მცირე იყოს. $R_ბ$ წინაღობა 0,1 ÷ 1 მ. ომი სქემის შესავალ წინაღობას ხდის საკმაოდ სტაბილურს.

ბადური რეზისტორის წინაღობას ზოგჯერ გაჟონვის წინაღობას უწოდებენ, რადგან ბადეზე მოხვედრილი ელექტრონები მისი გავლით გაიჟონება კათოდზე (მიწაზე), თუ $R_ბ$ რეზისტორს გამოვრთავთ, მაშინ ბადეზე შეიძლება დაგროვდეს ელექტრონები, რომელთა მუხტს შეუძლია ჩაკეტოს ელექტრონმილაკი.

განვიხილოთ შესავალი ცვლადი ძაბვის, რომლის მყისი მნიშვნელობაა $U_{შეშ}$, გაძლიერების პროცესი. ჩავრთოთ ანოდური $E_{ან}$ ბატარეა და უარყოფითი ბადური $E_ბ$ ძაბვა (ნახ. 19-13, ბ), რომელიც უზრუნველყოფს მაძლიერებლის მუშაობას ბადური დენის გარეშე. როცა შესავალი ძაბვა არაა ანოდურ წრედში, მივიღებთ რაღაც მუდმივ დენს — უძრაობის დენს $I_{ა0}$ (ნახ. 19-13, გ), რომელიც დამოკიდებულია $R_{ან}$ წინაღობასა და $E_{ან}$ და $E_ბ$ ემ ძალებზე. შესავალ მომჭერებზე ცვლადი ძაბვის გამოჩენისას $U_{შეშ} = U_ბ'$ (ნახ. 9-13, ბ) მაჯამებელი ძაბვა $U_ბ$ ბადეზე შედგება ორი შემდგენისაგან $U_ბ'$ და $E_ბ$. დადებით ნახევარპერიოდში მაჯამებელი ძაბვა (უარყოფითი) მიაღწევს მინიმუმს (აბსოლუტური მნიშვნელობით), რომელიც განისაზღვრება ჯამით $U_{ბ\ მინ} + (-E_ბ) = U_{ბ.\ მინ.}$, ხოლო უარყოფით ნახევარპერიოდში ეს ძაბვა მიაღწევს უარყოფით მაქსიმუმს, რომელიც განისაზღვრება ჯამით $-U'_{ბ.\ მაქს} + (-E_ბ) = -U_{ბ.\ მაქს.}$



ნახ. 19-13. [illegible] მაძლიერებლის სქემა და ძაბვის გაძლიერების პროცესი. ა—სქემა; ბ—ბადური ძაბვის გრაფიკი; გ—ანოდური დენის გრაფიკი; დ—დატვირთვის ძაბვის გრაფიკი; ე—ანოდური ძაბვის გრაფიკი.

მაჯამებელი ბადური $U_\text{ბ}$ ძაბვის მეტად უმნიშვნელო ცვლილებაც კი ანოდური დენის საკმაოდ დიდ ცვლილებას იწვევს, რომელიც უარყოფითი ბადური ძაბვის შემცირებისას პირველ ნახევარპერიოდში იზრდება, ხოლო ბადეზე უარყოფითი ძაბვის გაზრდისას (მეორე ნახევარპერიოდში) — მცირდება (ნახ. 19-13, გ).

ამგვარად, მუდმივი ანოდური დენი უმნიშვნელო ცვლადი ბადური ძაბვის $U_\text{ბ}$ ზემოქმედებით გახდება მფეთქარი, რომელიც დიდ ცვლად შემდგენს შეიცავს.

როდესაც $R_\text{ა}$ რეზისტორში გაივლის ანოდური დენი, მასში გამოიწვევს ძაბვისვარდნას (ნახ. 19-13, დ), რომელიც ტოლი იქნება

$$u_R = i_\text{ა} R_\text{ა} = I_{\text{ა}0} R_\text{ა} + i' R_\text{ა} = U_R + u'_R. \qquad (19\text{-}16)$$

ანოდური $u_\text{ა}$ ძაბვა ტოლია მუდმივი ემ ძალისა და რეზისტორში ძაბვის ვარდნის სხვაობისა, ე. ი.

$$u_\text{ა} = E_\text{ა} - u_R = E_\text{ა} - (U_R + u'_R) = (E_\text{ა} - U_R) - u'_R. \qquad (19\text{-}17)$$

19-13, ე ნახაზზე ნაჩვენებია გრაფიკები $E_\text{ა}$, $(E_\text{ა} - U_R)$ და $u_\text{ა}$.

ანოდური ძაბვის ცვლადი შემდგენი $(-u'_\text{ა})$ არის გამოსავალი ძაბვა, რომელიც წარმოადგენს გაძლიერებულ ბადის $(u'_\text{ბ})$ ანუ შესავალ $(U_\text{შეს})$ ძაბვას. როცა დამახინჯება არაა, გამოსავალი ძაბვის მრუდი იმეორებს შესავალი ძაბვის მრუდს. ამგვარად, გაძლიერების პროცესის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ბადის წრედში ცვლადი დენის მეტად მცირე სიმძლავრის დახარჯვისას ანოდურ წრედში მიიღება დიდი სიმძლავრის ელექტრული რხევები.

საჭიროა ყურადღება მივაქციოთ იმას, რომ ანოდური დენი და ძაბვა აქტიურ დატვირთვაში იცვლებიან ფაზაში ბადის ძაბვასთან, ხოლო ანოდური ძაბვა, ანუ, რაც იგივეა, გამოსავალი ძაბვა, იცვლება უკუფაზაში ძაბვასთან (ნახ. 19-13). ამგვარად, მაძლიერებელი აქტიური დატვირთვით (მაძლიერებელი კასკადი) ცვლის ძაბვის ფაზას π-თი, ანუ 180°-ით.

ბ) მაძლიერებელი კასკადის მახასიათებლები და პარამეტრები

ანოდური წრედისათვის (ნახ. 19-13, ა) შეიძლება დავწეროთ

$$E_\text{ა} - U_\text{ა} = I_\text{ა} R_\text{ა},$$

საიდანაც ანოდური დენი

$$I_\text{ა} = \frac{E_\text{ა} - U_\text{ა}}{R_\text{ა}} = \frac{E_\text{ა}}{R_\text{ა}} - \frac{1}{R_\text{ა}} U_\text{ა}. \qquad (19\text{-}18)$$

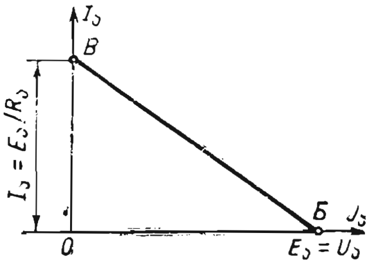
ანოდური დენის დამოკიდებულება ანოდურ ძაბვაზე შეიძლება გრაფიკულად წარმოვადგინოთ წრფით, რომელსაც დატვირთვის წრფე ეწოდება.

იგი შეიძლება ავაგოთ ორი წერტილით. (19-18)-დან გამოდის, რომ, როცა $I_ა=0$ (მილაკი ჩაკეტილია უარყოფითი ბადური ძაბვით), ანოდური ძაბვა ტოლია ანოდური წყაროს ემ ძალის $U_ა=E_ა$, რადგან $I_ა \cdot R_ა=0$.

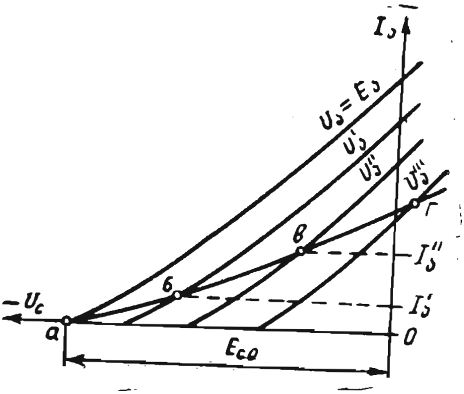
თუ $U_ა=E_ა$ ძაბვას გადავდებთ აბსცისათა ღერძზე, მივიღებთ მახასიათებლის ერთ (*Б*) წერტილს (ნახ. 19-14), ხოლო, თუ ანოდურ ძაბვას გავუტოლებთ ნულს (19-8)-დან, მივიღებთ $I_ა=E_ა/R_ა$, თუ დენის ამ მნიშვნელობას გადავდებთ ორდინატთა ღერძზე, მივიღებთ დინამიკური მახასიათებლის მეორე (*В*) წერტილს. *Б* და *В* წერტილების მაერთებელი სწორი ხაზი წარმოადგენს დამტვირთავ ხაზს, ე. ი. $I_ა=f(U_ა)$, როცა $E_ა=$ const და $R_ა=$ const.

ანოდური დენის დამოკიდებულებას ბადურ ძაბვაზე, როცა მუდმივი დამტვირთავი წინაღობა გვაქვს ტრიოდის ანოდურ წრედში და როცა $E_ა$ ემ ძალა უცვლელია, ე. ი. $I_ა=f(U_გ)$, როცა $E_ა=$ const და $R_ა=$ const, ეწოდება *კასკადის მუშა ანოდურ-ბადური მახასიათებელი*.

19-15 ნახაზზე ნაჩვენებია ტრიოდის მუშა ანოდურ-ბადური მახასიათებელი (*абвг*) და სტატიკური ანოდურ-მახასიათებელი.



ნახ. 19-14. დამტვირთავი წრფე.



ნახ. 19-15. მუშა ანოდურ-ბადური მახასიათებელი.

როცა ბადური ძაბვა ტოლია ჩაკეტვის ძაბვისა $E_{გ0}=U_{გ\,ჩაკ}$, ანოდური დენი ნულის ტოლია ($I_ა=0$), ნულის ტოლია აგრეთვე დატვირთვაში ძაბვის ვარდნა ($I_ა R_ა=0$), ხოლო ანოდური ძაბვა ტოლია წყაროს ემ ძალისა $U_ა=E_ა$. *а* წერტილი (ნახ. 19-15) არის სტატიკური და მუშა მახასიათებლის საერთო წერტილი. ბადური ძაბვის გაზრდისას გაჩნდება ანოდური დენი.

ანოდური წინაღობა რომ არ ყოფილიყო, მაშინ ანოდური დენი შეიცვლებოდა სტატიკური მახასიათებლის მიხედვით, რომელიც მოხსნილია $U_ა=$

$=E_ა$-ს დროს. ანოდური წინაღობის არსებობა განაპირობებს მასზე $I_ა'R_ა$ ძაბვის ვარდნას, ხოლო ტრიოდის ანოდური ძაბვა მცირდება $U_ა'=E_ა-I'_ა R_ა$-მდე. მაშასადამე, დენის $I'_ა$ მნიშვნელობა უნდა შეესაბამებოდეს მუშა და სტატიკური მახასიათებლების ორდინატებს, რომლებიც მოხსნილია $U_ა'$ ანოდური ძაბვის დროს (*б* წერტილი). ბადური ძაბვის შემდგომი მომატებისას ანოდური დენიც იზრდება და შესაბამისად იზრდება ვარდნაც $R_ა$ წინაღობაში. ამ დროს ტრიოდის ანოდური ძაბვა მცირდება, რიგრიგობით ღებულობს ძაბვებს: $U_ა''=E_ა-I_ა''R_ა$, $U_ა'''=E_ა-I_ა'''R_ა$ და ა. შ.; როცა ანოდური ძაბვაა $U_ა''$, $I_ა''$ დენს შეესაბამება *в* წერტილი, რომელიც ერთდროულად ეკუთვნის მუშა და სტატიკურ მახასიათებლებს, ხოლო $U_ა'''$ ძაბვის დროს $I_ა'''$ დენს შეესაბამება *г* წერტილი და ა. შ.

ამგვარად, უარყოფითი ბადური ძაბვის შემცირებისას ანოდური ძაბვაც მცირდება, ხოლო ანოდური დენი იცვლება *абвг* მუშა მახასიათებლის მიხედვით, რომელიც განლაგებულია უფრო დამრეცად, ვიდრე სტატიკური მახასიათებლები. მუშა ანოდურ-ბადური მახასიათებლის დახრილობა $S_ძ$ მუდამ ნაკლებია, ვიდრე ტრიოდის სტატიკური მახასიათებლის S დახრილობა და დამოკიდებულია დატვირთვის წინაღობაზე. ის შეიძლება განვსაზღვროთ გამოსახულებით

$$S_ძ=S\frac{R_i}{R_i+R_ა}.$$

მუშა ანოდურ-ბადური მახასიათებელი შეიძლება ავაგოთ სტატიკური ანოდური მახასიათებლების ოჯახისა და დამტვირთავი ხაზის მიხედვით (ნახ. 19-16). მახასიათებლის მოყვანილ ხაზთან გადაკვეთის წერტილებს განსაზღვრავს ანოდური დენების მნიშვნელობები სხვადასხვა ბადური ძაბვის დროს. თუ კოორდინატთა სხვა სისტემაში გადავიყვანთ ბადურ ძაბვებს და მის შესაბამის ანოდურ დენებს, მივიღებთ კასკადის მუშა მახასიათებელს (ნახ. 19-16, ბ).

როცა შესავალი ძაბვა არაა, ანოდური დენი მუშა მახასიათებლებზე განისაზღვრება უძრაობის მუშა (A) წერტილის მდებარეობით.

მუშა წერტილის მდებარეობა დამოკიდებულია ბადურ $U_{ბ0}=E_ბ$ ძაბვაზე, რომელსაც გადაწევის ძაბვა ეწოდება. ის შეირჩევა მაძლიერებელი კასკადის მუშაობის საჭირო რეჟიმის მიხედვით (იხ. § 19-8, დ). კერძოდ, შესავალი ძაბვის დაუმახინჯებლად გაძლიერებისათვის, გადაწევის ძაბვა უნდა იყოს არანაკლები შესავალი ძაბვის ამპლიტუდისა $E_ბ>U_{შეს.\ მაქს}$ და, ამის გარდა, ტრიოდმა უნდა იმუშაოს მუშა მახასიათებლის სწორხაზოვან უბანზე.

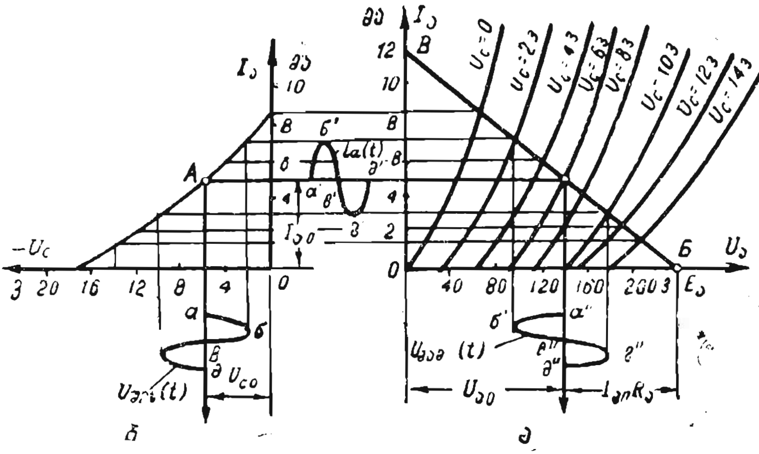
19-16, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია გადაწევის ძაბვა $U_{ბ0}$ და შესავალი ცვლადი ძაბვა $U_{შეს}=U_{შეს.\ მაქს}\sin\omega t$, რომელიც უნდა გაძლიერდეს (*абвгд* მრუდი). ელექტრონმილაკის ანოდური დენი, რომელიც ამ ძაბვის

შესაბამისად იცვლება, გამოსახულია 19—16 ნახაზზე ა′ ბ′ ვ′ გ′ დ′ მრუდით, ეს მრუდი აგებულია ბადური ძაბვის მრუდისა და მუშა მახასიათებლის მიხედვით. ანოდური დენი გაივლის ანოდურ წრედში დამტვირთავ წინაღობაში და გამოიწვევს ძაბვის ვარდნას $U_{გამ}=i_aR_a$, რომელიც მაძლიერებლის გამოსავალ ძაბვას წარმოადგენს. ეს ძაბვა, 19—16, ა ნახაზზე ა″ ბ″ ვ″ გ″ დ″ მრუდით გამოსახული, აგებულია ანოდური დენის მრუდისა და დამტვირთავი ხაზის მიხედვით.

გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდის შეფარდებას შესავალი ძაბვის ამპლიტუდასთან ეწოდება კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი, ე. ი.

$$k=U_{R\,მაქს}/U_{შეს\,მაქს}. \qquad (19\text{-}19)$$

იმისათვის, რომ კავშირი დავამყაროთ ტრიოდის გაძლიერების კოეფიციენტსა და კასკადს შორის, მაძლიერებლის სქემა (ნახ. 19-13) უნდა შევცვალოთ ეკვივალენტური სქემით (ნახ. 19-17), რომელშიაც ტრიოდი შეცვლილია ცვლადი ძაბვის გენერატორით R_i შიგა წინაღობითა და $\mu U_{შემ.\,მაქს}$ ძაბვის ამპლიტუდით.



ნახ. 19-16. კასკადის მახასიათებლების აგება.

თუ გენერატორი შეერთებულია დატვირთვის R_a წინაღობასთან, მაშინ, ომის კანონის თანახმად, დენის ამპლიტუდა წრედში ტოლი იქნება

$$I_{a\,მაქს}=\mu U_{შეს\,მაქს}/R_i+R_a, \qquad (19\text{-}20)$$

ხოლო ძაბვის ამპლიტუდა დატვირთვის წინაღობაში ტოლია გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდისა, ე. ი.

$$U_{გამ\,მაქს}=I_{a\,მაქს}R_a=\mu U_{შეს\,მაქს}\frac{R_a}{R_i+R_a}.$$

კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი

$$k=\frac{U_{R\ მაქს}}{U_{შეს\ მაქს}}=\mu\frac{R_ა}{R_i+R_ა}.\qquad (19\text{-}19,\ ა)$$

ვინაიდან $R_ა<(R_ა+R_i)$, კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი ყოველთვის ნაკლებია მილაკის გაძლიერების სტატიკურ კოეფიციენტზე.

მაგალითი 19-2. მაძლიერებლის სქემაში (ნახ. 19-13) გამოყენებულია ტრიოდი $S=4,4$ მა/ვ და $\mu=76$ პარამეტრებით, დატვირთვის წინაღობა $R_ა=100$ კომს. განვსაზღვროთ სქემის გაძლიერების კოეფიციენტი.

ა მ ო ხ ს ნ ა.

(14—7)-დან ტრიოდის შიგა წინაღობა

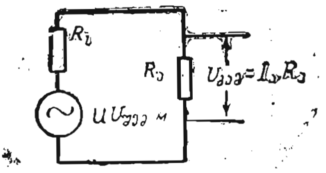
$$R_i=\frac{\mu}{S}=\frac{76}{4,4}=17,3\ კომს.$$

(19—19 ა) ტოლობიდან კასკადის გაძლიერების კოეფიციენტი

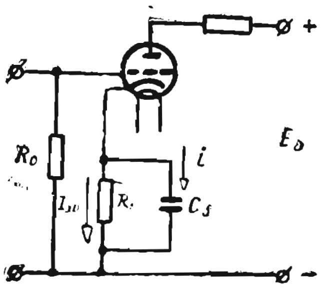
$$k=\mu\frac{R_ა}{R_ა+R_i}=\frac{76\cdot100}{100-17,3}\approx65.$$

გ) გადაწევის უარყოფითი ძაბვის მიღების ხერხები ბადეზე

§ 19-8-ში გავეცანით ბადეზე უარყოფითი ძაბვის მიღების ერთ-ერთ ხერხს, რომლის დროსაც გამოყენებული იყო ცალკე წყარო — გადაწევის ბატარეა. მაგრამ ასეთი წყაროს გამოყენება იწვევს გაბარიტების, მასისა



ნახ. 19-17. ტრიოდის ეკვივალენტური სქემა ძაბვის გაძლიერების რეჟიმში.



ნახ. 19.18. ავტომატური ბადური გადანაცვლება.

და მაძლიერებლის ღირებულების გაზრდას. ამიტომ უფრო ხშირად გამოიყენება ეგრეთ წოდებული ბადური ძაბვის ავტომატური გადაწევა (ნახ. 19-18), კათოდის წრედში ჩართულ $R_კ$ რეზისტორში ძაბვის ვარდნის ხარჯზე. $I_{ა0}$ ანოდური დენის მუდმივი შემდგენი გაივლის ამ რეზისტორში

და გამოიწვევს ძაბვის ვარდნას $U_{გად}=U'_{კ}=-I_{ა0}R_{კ}$. ამგვარად, ბადის პოტენციალი ავტომატურად დაბლდება კათოდთან შედარებით $U_{კ}$ სიდიდით (ავტომატური ბადური გადაწევა).

ანოდური დენის ცვლადი შემდგენი შეიკვრება $R_{კ}$ რეზისტორის პარალელურად ჩართულ საბლოკირებელ $C_{კ}$ კონდენსატორში. კონდენსატორის წინაღობა მცირე უნდა იყოს $R_{კ}$ წინაღობასთან შედარებით იმდენად, რომ ანოდური დენის ცვლადი შემდგენის მიერ შექმნილი ძაბვის ვარდნა საკმაოდ მცირე იყოს და არ იმოქმედოს ბადურ ძაბვაზე.

ჩვეულებრივად $U_{გად}$ გადაწევის ძაბვა რამდენიმე ვოლტია, წინაღობა $R_{კ}=50\div1500$ ომს, ხოლო ტევადობა განისაზღვრება შეფარდებით

$$C_{კ}\geqslant 20/(R_{კ}\omega_{დაბ}) \tag{19-21}$$

სადაც $\omega_{დაბ}$ არის შესავალი სიგნალის უდაბლესი სიხშირე.

დ) მაძლიერებლის მუშაობის რეჟიმი

იმის მიხედვით, თუ როგორია მუშა A წერტილის მდებარეობა ანოდურ-ბადურ მახასიათებელზე და ცვლადი შემავალი ძაბვის ამპლიტუდა ბადური გადაწევის ძაბვასთან შედარებით, არჩევენ მაძლიერებლის მუშაობის სამ ძირითად რეჟიმს: A, B და C.

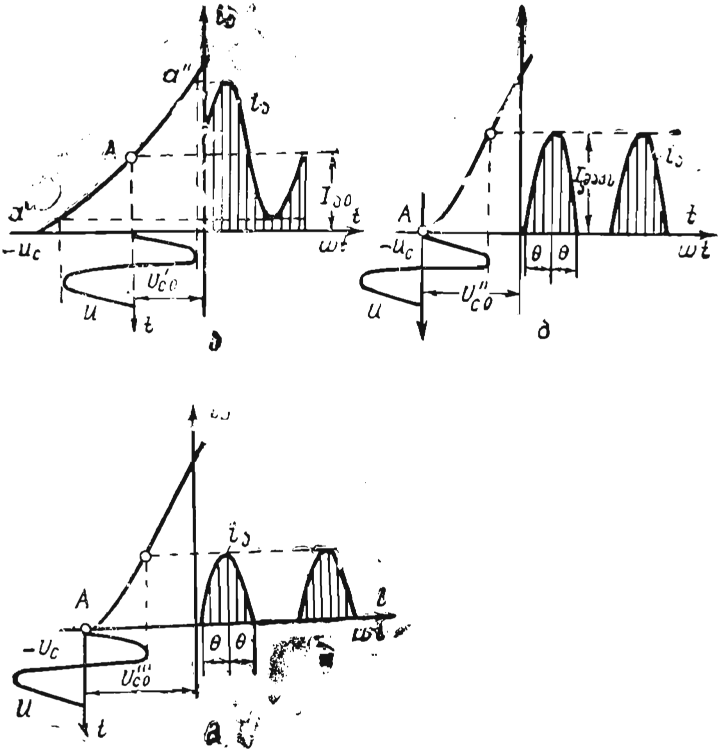
A რეჟიმის მაძლიერებელი (ნახ. 19-19, ა). მუშა A წერტილი იმყოფება ანოდურ-ბადური მახასიათებლის სწორხაზოვანი ნაწილის შუაში. შესავალი სიგნალის ამპლიტუდა არ გამოდის მახასიათებლის სწორხაზოვანი ნაწილის საზღვრებს გარეთ და არ შედის დადებითი ბადური ძაბვის არეში. რადგან $U'_{ბ0}>U_{ზღ.მაქს}$ მაძლიერებლის A რეჟიმით მუშაობისას მნიშვნელოვანი სიდიდისაა ანოდური დენის მუდმივი შემდგენი და უწყვეტად გადის ანოდური დენი.

ამ რეჟიმზე არასწორხაზოვანი დამახინჯება მცირეა და მაძლიერებლის მქ კოეფიციენტი არა უმეტესი 30%-ისა. ეს იმით აიხსნება, რომ უძრაობის $I_{ა0}$ დენი ყოველთვის მეტია $I_{ა.მაქს}$ — ანოდური დენის ცვლადი შემდგენის ამპლიტუდაზე, რომელიც განსაზღვრავს გამოსავალ სიმძლავრეს $P_{გამ}$.

A რეჟიმი ფართოდ გამოიყენება ძაბვის მაძლიერებლებსა და სიმძლავრის ერთტაქტიან მაძლიერებლებში.

B რეჟიმის მაძლიერებელი (ნახ. 19-19, ბ). მუშა A წერტილი იმყოფება ანოდურ-ბადური მახასიათებლის დასაწყისში ($U''_{ბ0}=U_{ბ.კ}$). ანოდური დენი გადის მხოლოდ ერთი ნახევარპერიოდის განმავლობაში, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდის განმავლობაში ტრიოდი ჩაკეტილია.

კუთხური სიხშირისა და t' დროის ნამრავლს, რომლის დროსაც ანოდური დენი იცვლება ამპლიტუდური მნიშვნელობიდან ნულამდე, ეწოდება წაკვე-



ნახ. 19-19. მაძლიერებლის მუშაობის სამი რეჟიმი.

თის θ კუთხე. ამ რეჟიმზე წაკვეთის კუთხე θ=90°. *B* რეჟიმზე მაძლიერებლის მუშაობის დროს $I_{ა0}$ ანოდური დენი, როცა გარე სიგნალი არ არის, ტოლია ნულისა ან მეტად უმნიშვნელოა.

მაძლიერებლის ამ რეჟიმით მუშაობისას მიიღება დიდი დამახინჯებები, მაგრამ მისი მქ კოეფიციენტი უფრო მაღალია, ვიდრე *A* რეჟიმით და 60—70%-ს აღწევს.

B რეჟიმი გამოიყენება სიმძლავრის მაძლიერებლების მხოლოდ ორტაქტიან სქემებში.

თუ მაძლიერებელი *B* რეჟიმით მუშაობს ბადური დენის გარეშე, მაშინ ამ რეჟიმს ეწოდება B_1, ხოლო თუ ბადური დენით—B_2.

C რეჟიმის მაძლიერებელი (ნახ. 19-19, გ). ამ რეჟიმზე მუშა *A* წერტილი მდებარეობს ანოდურ-ბადური მახასიათებლის გარეთ, ე. ი. მისგან მარცხნივ. მაშასადამე, გადაწევის ძაბვა აღემატება ჩაკეტვის ძაბვას $U'''_{ბ0} > U_{ჩაკ}$, ამიტომ ანოდური დენი გადის ნახევარპერიოდზე ნაკლებ დროში, ე. ი. წაკვეთის კუთხე θ<90°. *C* რეჟიმს შემოაქვს

ძალიან დიდი დამახინჯება. მისი მქ კოეფიციენტი აღწევს 80%-სა და მეტს. ის გამოიყენება მხოლოდ გენერატორების სპეციალურ სქემებსა და ვიწროზოლიან მაძლიერებლებში.

ზემოგანხილული სამი ძირითადი რეჟიმის გარდა, გამოიყენება გაძლიერების შუალედური რეჟიმებიც.

19-9. მრავალკასკადიანი ელექტრონმილაკიანი მაძლიერებლები

ა) მაძლიერებელი კასკადი ელექტრონული ტრიოდით

19-20, ა ნახაზზე მოყვანილია მაძლიერებელი კასკადის სქემა ვაკუუმური ტრიოდით, რომელიც ხშირად გამოიყენება, როგორც A რეჟიმით მომუშავე ძაბვის მაძლიერებელი. ეს სქემა ზემოთ განხილულისაგან (ნახ. 19-13, ა) განსხვავდება იმით, რომ მასში გამოყენებულია ავტომატური ბადური გადაწევის $R_{\text{კ}}C_{\text{კ}}$ რგოლი (იხ. § 19-8, გ).

ბადური გადაწევა $U_{\text{გი}}$ შეირჩევა რამდენადმე მეტი ამპლიტუდით, ვიდრე შესავალი სიგნალი $U_{\text{გი}} > U_{\text{შეს მაქს}}$ ისე, რომ შესავალი სიგნალის ამპლიტუდა $U_{\text{შეს. მაქს}}$ არ გამოდიოდეს ანოდურ-ბადური მახასიათებლის სწორხაზოვანი ნაწილის ზღვრებს გარეთ და არ შედიოდეს დადებითი ბადური ძაბვის არეში. ამგვარად, უზრუნველყოფილია მუშაობის რეჟიმი მცირე დამახინჯებით. შემდეგ, გარდა $R_{\text{ა}}$ რეზისტორისა, რომელიც ანოდური წრედის დატვირთვას წარმოადგენს, აქ ანოდურ ძაბვასთან მიერთებულია მაძლიერებელი კასკადის $R_{\text{დატ}}$ დატვირთვა. $R_{\text{დატ}}$ დატვირთვასთან მიმდევრობით შეერთებული $C_{\text{გამ}}$ გამყოფი კონდენსატორი უზრუნველყოფს მხოლოდ დატვირთვის დენის ცვლადი შემდგენის გავლას და არ გაატარებს დენის მუდმივ შემდგენს, რადგან კონდენსატორი მუდმივი დენისათვის წარმოადგენს უსასრულოდ დიდ წინაღობას. გამყოფი კონდენსატორის წინაღობა $X_{C_{\text{გამ}}} = 1/2\pi f C_{\text{გამ}}$ მაძლიერებლის მუშა სიხშირისათვის მცირე უნდა იყოს $R_{\text{დატ}}$ წინაღობასთან შედარებით ისე, რომ შეიძლებოდეს ჩავთვალოთ ანოდური ძაბვის ცვლადი შემდგენი მთლიანად მოდებულია $R_{\text{დატ}}$ დატვირთვის მომჭერებზე.

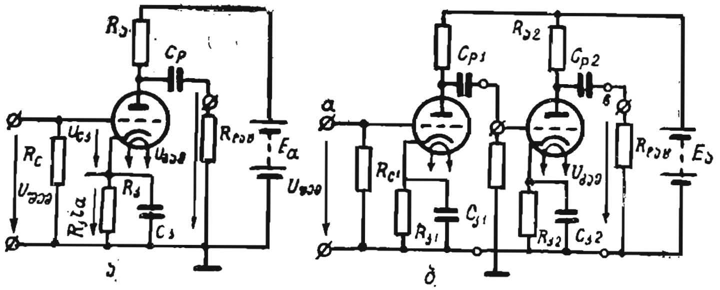
ამგვარად, თუ კასკადის შესავალ მომჭერებზე იმოქმედებს სინუსოიდური ძაბვა $U_{\text{შეს}} = U_{\text{შეს. მაქს.}} \sin\omega t$, მაშინ გამოსავალ მომჭერებზე ან. რაც იგივეა, დატვირთვის მომჭერებზე იქნება გაძლიერებული ძაბვა

$$U_{\text{გამ}} = -kU_{\text{შეს მაქს}} \cdot \sin\omega t = -U_{\text{გას მაქს}} \sin \omega t.$$

მოყვანილი გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ გამოსავალი ძაბვის ამპლიტუდა K-ჯერ მეტია შესავალი ძაბვის ამპლიტუდაზე და კასკადის გამოსავალი ძაბვის ფაზა პერიოდის ნახევრით, ანუ 180°-ით განსხვავდება შესავალი ძაბვის ფაზისაგან, რაზედაც მიუთითებს მინუსი ნიშანი გამოსავალი ძაბვის გამოსახულებაში.

ბ) ძაბვის ორკასკადიანი მაძლიერებელი რეზისტორულ-ტევადობითი კავშირით

ზემოგანხილული ერთკასკადიანი მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი ჩვეულებრივად არ აღემატება რამდენიმე ათეულს. ამიტომ ისეთ შემთხვევაში, როცა აუცილებელია გაძლიერების მაღალი კოეფიციენტი, იყენებენ მრავალკასკადიან მაძლიერებელს, ანუ მაძლიერებელ კასკადს პენტოდში.



ნახ. 19-20. ერთკასკადიანი (ა) და ორკასკადიანი (ბ) მაძლიერებლის სქემები.

ორკასკადიანი მაძლიერებელი ტრიოდით (ნახ. 19-20, ბ) გამოიყენება ცვლადი ძაბვის გასაძლიერებლად სიხშირეთა ფართო დიაპაზონში, რამდენიმე ჰერციდან 100 კილოჰერცამდე. დამახინჯების შესამცირებლად ის ჩვეულებრივად მუშაობს A რეჟიმით. ეს მაძლიერებელი, ზემოთ განხილულის ანალოგიურად, შედგება ორი ერთნაირი კასკადისაგან.

კასკადებს შორის კავშირი მოცემულ შემთხვევაში ხორციელდება $C_{გამ1}$ გამყოფი კონდენსატორის ან კავშირის კონდენსატორისა $C_{გამ1}$ და $R_{ა2}$ ბადური რეზისტორის მეშვეობით (ნახ. 19-20).

$C_{გამ1}$ კონდენსატორი თავიდან გვაცილებს $R_{ა2}$ რეზისტორში დენის მუდმივი შემდგენის გავლას, რომელიც ჩართულია პირველი კასკადის გამოსავალზე. მაშასადამე, ძაბვა მეორე ტრიოდის $U_{ბ2}$ ბადეზე არაა დამოკიდებული პირველი მილაკის ანოდური წრედის დენის მუდმივ შემდგენზე, მაგრამ გამყოფ კონდენსატორს დენის ცვლადი შემდგენისათვის უნდა ჰქონდეს წინაღობა ბევრად (10—20-ჯერ) ნაკლები, ვიდრე $R_{ა2}$. გამყოფი კონდენსატორის ტევადობა ჩვეულებრივად შეადგენს ათასეულ და ათი ათასეულ პიკოფარადეს, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი შეფარდებით

$$\frac{1}{\omega_{ქვ.ზ} C_{გამ1}} \leqslant 0,05\, R_{ა2}. \qquad (19\text{-}22)$$

შესავალი ცვლადი $U_{შეს}$ ძაბვა პირველი მილაკის ანოდურ წრედში იწვევს მფეთქავ დენს. ამ ანოდური დენის მუდმივი შემდგენი გადის გამოსავალ რეზისტორში $R_{ა1}$, მაგრამ არ შეუძლია გაიაროს $C_{გამ1}$ გამყოფი კონდენსატორის გავლით $R_{ბ2}$ ბადურ რეზისტორში. პირველი მილაკის ანოდური დენის ცვლადი შემდგენის ნაწილი გადის $C_{გამ1}$ კონდენსატორსა და მეორე მილაკის $R_{ბ2}$ ბადურ რეზისტორში და მასში ქმნის ე. წ. პირველი კასკადის გამოსავალ ძაბვას $U_{გამ1}=U_{შეს}K_1$. ეს ძაბვა ამავე დროს წარმოადგენს შესავალს მეორე კასკადისათვის $U_{გამ1}=U_{შეს2}$, რომელიც მეორე მილაკში გაძლიერების შემდეგ მიეწოდება მეორე კასკადის გამოსავალ მომჭერებს.

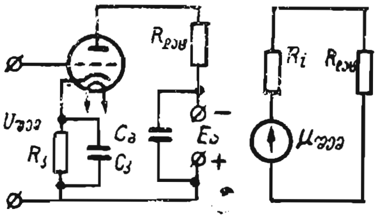
$$U_{გამ2}=U_{შეს2}K_2=K_1K_2U_{შეს1}.$$

მაძლიერებელი რეზისტორულ-ტევადობითი კავშირით ფართოდ გამოიყენება მთელი რიგი დადებითი თვისებებით: სიგნალის უმნიშვნელო დამახინჯების, კარგი სიხშირული მახასიათებლის, სქემების სიმარტივის, მცირე გაბარიტების, მასისა და ღირებულების გამო.

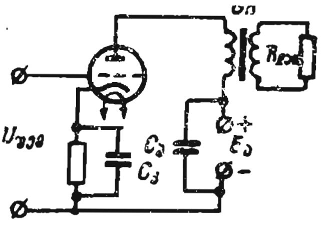
ასეთი მაძლიერებლის ნაკლოვანებიდან შეიძლება აღინიშნოს: დიდი ძაბვის ვარდნა რეზისტორში, რომელიც გამოწვეულია ანოდური დენის მუდმივი შემდგენისაგან $U_{ა0}=I_{ა0}R_ა$, და კვების წყაროს მაღალი ძაბვა.

19-10. ცნება სიმძლავრის მაძლიერებლებზე

§ 19—6-დან ცნობილია, რომ დაბალი სიხშირის სიმძლავრის მაძლიერებელი წარმოადგენს მაძლიერებელი მოწყობილობის ბოლო კასკადს. ამ პარაგრაფის პირველ ნაწილში ყველა ნათქვამი ერთნაირად ვრცელდება როგორც ტრანზისტორულ, ისე ელექტრონული ტრიოდების მაძლიერებლებზე.



ნახ. 19-21. დაბალი სიხშირის, სიმძლავრის მაძლიერებლის კასკადის უმარტივესი სქემა და მისი ეკვივალენტური სქემა.



ნახ. 19-22. სიმძლავრის მაძლიერებლის სქემა გამოსავალი ტრანსფორმატორით.

დაბალი სიხშირის მაძლიერებელი კასკადის გამარტივებული სქემა ელექტრონულ ტრიოდზე მოცემულია 19-21 ნახაზზე და ის არ მოითხოვს ახსნას.

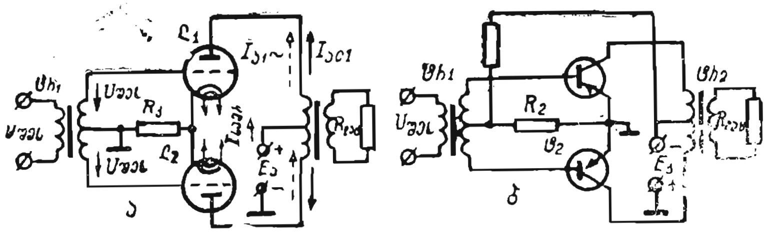
§ 19-6-ში აღნიშნული, იყო რომ დატვირთვაში უდიდესი სიმძლავრის მისაღებად მისი წინაღობა $R_{დატ}$ შეთანხმებული უნდა იყოს ტრიოდის შიგა წინაღობასთან.

იგივე მოთხოვნა რჩება ძალაში მაძლიერებელი კასკადისათვის ელექტრონულ ტრიოდზე. ამგვარად, თუ დატვირთვის წინაღობა აკმაყოფილებს ტოლობას $R_{დატ} = (0,1 \div 2)R_i$, მაშინ მას უშუალოდ რთავენ ანოდურ წრედში (ნახ. 19-21).

დატვირთვის დროს, რომლის წინაღობა $R_{დატ} \leq R_i$, დატვირთვის შესათანხმებლად იყენებენ გამოსავალ ტრანსფორმატორს (ნახ. 19-22), რომლის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტს განსაზღვრავენ ჩვენთვის უკვე ცნობილი ფორმულით (19-14).

სიმძლავრის ორტაქტიანი მაძლიერებლები გამოიყენება გამოსავალი სიმძლავრისას, რომელიც არ აღემატება 3—5 ვატს.

სიმძლავრის ორტაქტიანი მაძლიერებელი, ე. ი. ორმილაკიანი მაძლიერებელი (ორი ტრანზისტორი), რომელთა მართულ ბადეზე (ბაზა) შესავალი ძაბვა მიეწოდება უკუფაზაში, გამოიყენება მაშინ, როცა აუცილებელია გამოსავალი სიმძლავრე მივიღოთ $3 \div 5$ ვტ-ზე მეტი. გამოსავალი კასკადების ორტაქტიანი სქემები ელექტრონული და ნახევარგამტარიანი ტრიოდების გამოყენებით ნაჩვენებია 19-23 ნახაზზე. ორივე სქემის მუშაობის არსი ერთი და იგივეა, ამიტომ ერთ-ერთის განხილვა მნიშვნელოვნად ხსნის მეორის მუშაობასაც.



ნახ. 19-23. სიმძლავრის ორტაქტიანი მაძლიერებლის სქემები.
ა) ელექტრონულ ტრიოდებზე; ბ) ტრანსფორმატორებზე.

ორტაქტიანი მაძლიერებლის თითოეული სქემა სიმეტრიულია. ის შედგება ორი ერთნაირი ნახევრისაგან—მხარისაგან (ნახ. 19-23, ა და ბ — ზედა და ქვედა), რომლებიც შესაბამისად ანალოგიურია 19-22 და 19-10 ნახაზებზე აღნიშნული სქემების.

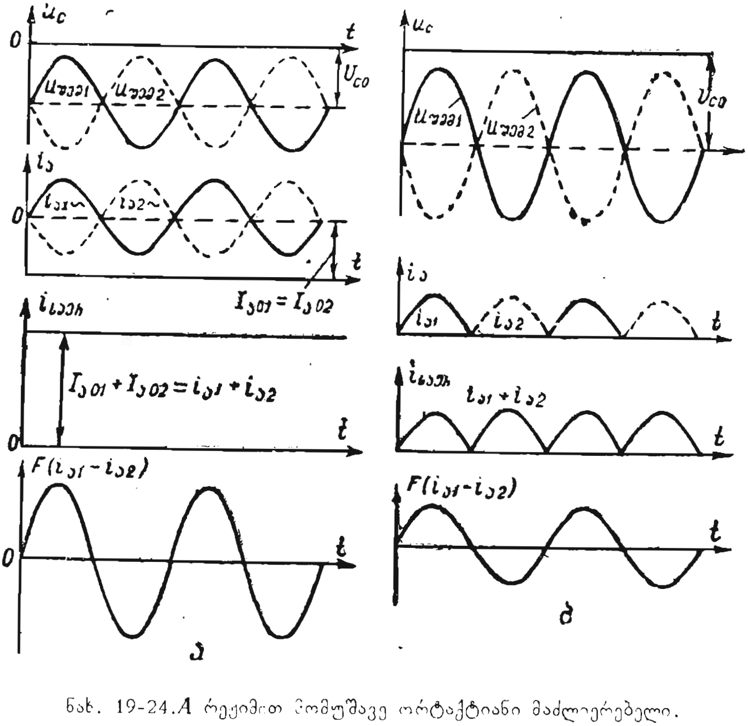
ორი ერთნაირი მილაკი (ორი ერთნაირი ტრანზისტორი) იკვებება ერთი საერთო $E_ა$ ($E_კ$) წყაროდან გამოსავალი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ორი ნახევრის გავლით. გადაწევის ძაბვა მოდებუ-

ლია მილაკის ბადეზე (ტრანზისტორის ბაზაზე), შესავალი ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილიდან. გამოსავალი ტრანსფორმატორი აქ იმავე ფუნქციას ასრულებს, რასაც ერთტაქტიან სქემაში (ნახ. 19-22).

განვიხილოთ მილაკიანი მაძლიერებლის მუშაობა A კლასში (იხ. § 19—5). ამ რეჟიმის დროს გადაწევის ძაბვა $R_{ვ}$ რეზისტორიდან იხსნება. როცა შესავალი ძაბვა არა გვაქვს ($U_{შეს1} = U_{შეს2} = 0$), მილაკების ბადეების წრედში მოქმედებს მხოლოდ გადაწევის ძაბვა $I_{ა0}R_{ვ}$. უძრაობის ანოდური დენები, რომლებიც დამოკიდებულია $E_{ა}$ და $E_{ბ}$ ძაბვებზე, ერთნაირია ($I_{ა01} = I_{ა02} = I_{ა0}$). ეს დენები გადის Tp_2 ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის ორ ნახევარში ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ამიტომ მათ მიერ შექმნილი საშუალო მმ ძალა ნულის ტოლია, ამგვარად Tp_2 ტრანსფორმატორი მუშაობს მუდმივი დენით შემაგნიტების გარეშე.

შესავალი ძაბვა (ნახ. 19-24, ა) ერთდროულად მიეწოდება ორივე მილაკის ბადეებს უკუფაზით, ე. ი.

$$u_{შეს\,1} = U_{შეს\,მაქს} \sin \omega t \quad და \quad u_{შეს\,2} = U_{შეს\,მაქს} \sin (\omega t + 180^{\circ}).$$



ნახ. 19-24. A რეჟიმით მომუშავე ორტაქტიანი მაძლიერებელი.

ა—ბადური ძაბვებისა, ანოდური დენებისა და F მმ ძალის მრუდები; ბ—შესავალი ძაბვებისა, ანოდური დენებისა და F' მმ ძალის მრუდები B რეჟიმით მომუშავე მაძლიერებლისათვის.

ანოდური დენები, რომლებიც მუდმივი და ცვლადი შემდგენებისაგან შედგება, შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$i_{\text{ა}1} = I_{\text{ა}01} + i_{\text{ა}1} = I_{\text{ა}01} + I_{\text{ა}1\,\text{მაქს}} \sin\omega t$$

და

$$i_{\text{ა}2} = I_{\text{ა}02} + i_{\text{ა}2} = I_{\text{ა}02} + I_{\text{ა}2\text{მაქს}} \sin(\omega t + 180^\circ) = I_{\text{ა}2} - I_{\text{ა}02\text{მაქს}} \sin\omega t,$$

სადაც $i_{\text{ა}1}\sim$, $i_{\text{ა}2} \sim I_{1\text{ა}\,\text{მაქს}}$ და $I_{\text{ა}2\,\text{მაქს}}$ ანოდური დენების ცვლადი შემდგენის მყისი და ამპლიტუდური მნიშვნელობებია.

კვების $E_{\text{ა}}$ წყაროდან მომავალ სადენში იქნება ჯამური (საერთო) დენი,

$$i_{\text{საერ}} = i_{\text{ა}1} + i_{\text{ა}2} = 2I_{\text{ა}0},$$

რომელშიც ცვლადი შემდგენი არ არის.

$i_{\text{ა}1}$ და $i_{\text{ა}2}$ ანოდური დენები გადის გამოსავალი ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის შესაბამის ნახევრებში (რომლის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი ნულის ტოლია) ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მაშასადამე, მაჯამებელი, ანუ დატვირთვის დენი

$$i_{\text{დატ}} = i_{\text{ა}1} - i_{\text{ა}2} = 2I_{\text{ა}\,\text{მაქს}} \sin\omega t.$$

ამგვარად, ანოდური დენების ცვლადი შემდგენების მმ ძალები გამოსავალ ტრანსფორმატორში იკრიბება, მაგნიტური ნაკადი ორკეცდება და დატვირთვა მიეწოდება გაორკეცებულ სასარგებლო სიმძლავრეს.

იმის გამო, რომ გამოსავალი ტრანსფორმატორის გულარის შემაგნიტება არ ხდება, მაგნიტური ნაკადი და გამოსავალი ძაბვა მასში იქნება სინუსოიდური. სხვანაირად რომ ვთქვათ, A რეჟიმით მომუშავე ორტაქტიანი მაძლიერებლისათვის დამახასიათებელია უმნიშვნელო არასწორხაზოვანი დამახინჯებები.

A რეჟიმით მომუშავე ორტაქტიანი მაძლიერებლის ნაკლოვანებებიდან შეიძლება აღვნიშნოთ დაბალი მქ კოეფიციენტი, რომელიც 15 — 40%ს განისაზღვრება.

სიმძლავრის ორტაქტიანი მაძლიერებელი ხშირად მუშაობს B რეჟიმით. § 19-ე-დან ცნობილია, რომ ამ რეჟიმზე ანოდური დენი ტრიოდში გადის მხოლოდ ერთი ნახევარპერიოდის განმავლობაში, რომლის დროსაც მილაკის ბადეზე იქნება დადებითი ძაბვა, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდის განმავლობაში ეს მილაკი ჩაკეტილია. როცა გარე სიგნალი არ არსებობს, ანოდური დენი $I_{\text{ა}0}$ პრაქტიკულად ნულის ტოლია. ამიტომ ამ დენის მიერ $R_{\text{კ}}$ რეზისტორში გამოწვეული ძაბვის ვარდნაც ნულის ტოლი იქნება. მაშასადამე, ამ რეჟიმით მუშაობის დროს აუცილებელია გადაწევის $E_{\text{გად}}$ წყარო.

ორტაქტიან მაძლიერებელში შესავალი ძაბვა მიეწოდება ორივე მილაკის ბადეებზე: ერთი ნახევარპერიოდის განმავლობაში შესავალი ძაბვა ერთი მილაკის ბადეზე იქნება დადებითი, ხოლო მეორის ბადეზე —

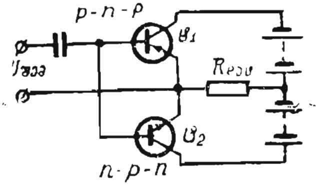
უარყოფითი. შემდეგი ნახევარპერიოდის განმავლობაში ძაბვების ნიშნები საწინააღმდეგოდ იცვლება.

მაშასადამე, მილაკში ანოდური დენი გადის რიგრიგობით. სინუსოიდური შესავალი ძაბვის დროს i_{a1} და i_{a2} ანოდური დენების მრუდებს ნახევრად სინუსოიდური ფორმა ექნებათ (ნახ. 19-7 და 19-24, ბ). ეს დენები რიგრიგობით Tp_2-ის პირველადი გრაგნილის ორივე ნახევარში გავლით შექმნიან მმ ძალებს, რომლებიც აღძრავენ პრაქტიკულად სინუსოიდურ მაგნიტურ ნაკადს და გამოსავალი ძაბვაც სინუსოიდური იქნება.

B რეჟიმით მუშაობის დროს მაძლიერებლის მქ კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე A რეჟიმით მუშაობისას და 60—70%-მდე აღწევს.

ასეთი ორტაქტიანი მაძლიერებლის ნაკლოვანებებს მიეკუთვნება ორი მილაკისა და ორი ტრანსფორმატორის გამოყენების აუცილებლობა, გამოყვანილი შუა წერტილებით.

ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ სიმძლავრის მაძლიერებლის ორტაქტიანი სქემის მუშაობის არსი ტრანზისტორებით (ნახ. 19-23, ბ) იგივეა, რაც ვაკუუმურ ტრიოდებზე, ტრანზისტორები ჩვეულებრივად ჩაირთვება საერთო ემიტერის სქემით, მუდმივი ძაბვა ემიტერსა და ბაზას შორის იქმნება R_1 და R_2 ძაბვის გამყოფით.



ნახ. 19-25. ორტაქტიანი უტრანსფორმატორო სიმძლავრის მაძლიერებლის სქემა ნახევარგამტარიან ტრიოდებზე.

ორტაქტიანი მაძლირეველი ტრანზისტორები ხშირად მუშაობენ B რეჟიმით, რომელიც უზრუნველყოფს მნიშვნელოვნად დიდ მქ კოეფიციენტს, მიუხედავად იმისა, რომ ამ რეჟიმით მუშაობისას არასწორხაზოვანი დამახინჯება მეტია, ვიდრე A რეჟიმით მომუშავე ერთტაქტიანის დროს და რომელიც კიდევ იზრდება სქემის ასიმეტრიის შემთხვევაში.

ზემოგანხილული ორტაქტიანი მაძლიერებლების გარდა, ელექტრონულ აპარატურაში ფართოდ გავრცელდა უტრანსფორმატორო ორტაქტიანი კასკადები სხვადასხვა ტიპის p-n-p და n-p-n (ნახ. 19-25) ტრანზისტორებზე.

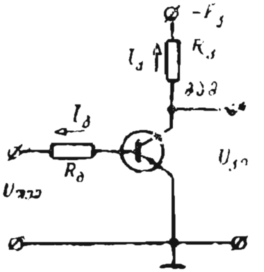
ასეთი ტრანზისტორები ერთმანეთისაგან განსხვავდება დენის გავლის მიმართულებით. როცა შესავალი არაა, ტრანზისტორები ჩაკეტილია ბაზებისა და ემიტერების პოტენციალების ტოლობის გამო, რითაც უზრუნველყოფილი ხდება B რეჟიმით მუშაობა. შესავალზე სიგნალის გამოჩენისას T_2 ტრანზისტორი მუშაობს მხოლოდ ამ სიგნალის დადებითი ნახევარპერიოდის, ხოლო T_1 ტრანზისტორი — მხოლოდ უარყოფითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში. აღნიშნული სქემების ღირსებაა სიმარტივე

და ტრანსფორმატორების უქონლობა, ხოლო სქემების ნაკლოვანებაა მაძლიერებლის გამოსავალი წინაღობის შეთანხმების შეუძლებლობა დატვირთვის წინაღობასთან.

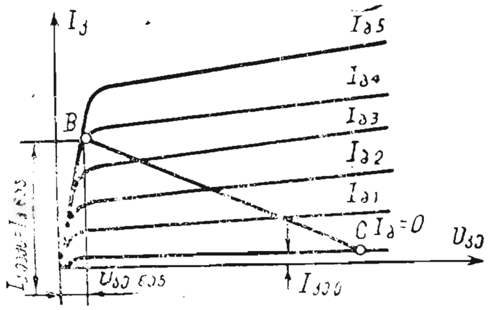
19-11. ტრანზისტორის მუშაობის იმპულსური რეჟიმი

ტრანზისტორები ფართოდ გამოიყენება როგორც უკონტაქტო გადამრთველი მოწყობილობა. ამ შემთხვევაში მისი მუშაობის რეჟიმს ეწოდება საგასაღებო, ანუ იმპულსური. ტრანზისტორი საგასაღებო რეჟიმით მუშაობის პროცესში პერიოდულად გადადის ღია მდგომარეობიდან ჩაკეტილში და, პირიქით, რაც ტოლფასია გადამრთველი მოწყობილობის მდებარეობებისა „ჩართულია“ და „გამორთულია“. ბრტყელი ტრანზისტორის $r_{კე}$ წინაღობა პირველ შემთხვევაში რამდენიმე ომს შეადგენს, ხოლო მეორეში კი თითქმის მეგაომს.

19-26 ნახაზზე მოცემულია გასაღების ერთ-ერთი სქემა ტრანზისტორში, რომელიც ჩართულია საერთო ემიტერის სქემით.



ნახ. 19-26. გასაღების რეჟიმით მომუშავე ტრანზისტორის სქემა საერთო ემიტერით.



ნახ. 19-27. ტრანზისტორის გამოსავალი მახასიათებლები და დამტვირთავი წრფე.

ტრანზისტორი ჩაკეტილია, თუ ემიტერისა და კოლექტორის გადასასვლელები ჩაკეტილია. ტრანზისტორის ჩასაკეტად (ნახ. 19-26) საჭიროა მის შესავალზე მოვდოთ ძაბვა, რომლის დროსაც ბაზის პოტენციალი უფრო მაღალი იქნება, ვიდრე ემიტერისა ($U_{ბე} \geqslant 0$). სქემის ამ ჩაკეტილი მდგომარეობიდან გამოყვანა შეიძლება. თუ შესავალზე მივაწოდებთ უარყოფითი პოლარობის ასამუშავებელ იმპულსს, და თუ ამ დროს ტრანზისტორის ორივე $p-n$ გადასასვლელი ღია იქნება, მაშინ ადგილი ექნება ღია ტრანზისტორის გაჯერების რეჟიმს. ეს სქემის მეორე მდგომარეობაა.

19—27 ნახაზზე ნაჩვენებია ტრანზისტორის სტატიკური გამოსავალი მახასიათებლები და დამტვირთავი BC სწორი ხაზი, რომელიც წარმოადგენს დამოკიდებულებას $I_კ = f(U_{კე})$. კოლექტორის დენი მით მეტია, რაც

ეტია შესავალი $I_{ბაზ}$ დენი. როცა ბაზის დენი $I_{ბაზ.\ ნაჯ}=I_{ბაზ4}$, კო-
ლექტორის დენი მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს $I_{კ.\ მაქს}$ (როცა $R_{კ}$ და $E_{კ}$ მოცემულია) B წერტილი 19-27 ნახაზზე. $I_{კოლ.\ მაქს}$ დენს ეწოდება აჯერების დენი და უდრის

$$I_{კ\ მაქს}=E_{კ}/R_{კ},$$

რადგან ბაზის დენის გაზრდისას ის უცვლელი რჩება. სწორედ აქედან გამომდინარეობს სახელწოდებაც: გაჯერების რეჟიმი.

19-27 ნახაზზე ჩანს, რომ $I_{კოლ.\ გაჯ}$-ის დროს ტრანზისტორის $U_{კოლ.\ ემ}$ აბვა ნულს უახლოვდება.

საჭიროა მხედველობაში გვქონდეს, რომ საგასაღებო რეჟიმით მუშა-
ობის დროს ტრანზისტორში მნიშვნელოვანი სიმძლავრე გამოიყოფა მხო-
ლოდ ერთი მდგრადი მდგომარეობიდან მეორეზე გადასვლის დროს.
ამგვარად, დროის მიხედვით სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა, რო-
მელსაც ტრანზისტორი განაბნევს, მცირეა. $I_{ემ}$ და $I_{კოლ}$ დენების მყისუ-
რი მნიშვნელობა შეიძლება დავუშვათ რამდენჯერმე მეტი გაძლიერების რეჟიმისათვის ზღვრულ დასაშვებ სიდიდეზე.

თუ შესავალი იმპულსის ხანგრძლივობა ბევრად აღემატება ტრან-
ზისტორში მუხტების დაგროვებისა და შეწოვის გარდამავალი პროცესე-
ბის დროს, გამოსავალი იმპულსი ისეთივე ხანგრძლივობის იქნება, რო-
გორიც შესავალი. მოკლე შესავალი იმპულსის დროს (დაახლოებით მიკ-
როწამი) გამოსავალი იმპულსები მახინჯდება, ხოლო მათი ხანგრძლივობა იზრდება.

ეოცე თავი

ელექტრონული გენერატორები. ოსცილოგრაფები

20-1. სინუსოიდური ძაბვის გენერატორები

მაღალი სიხშირის ცვლადი დენი უმთავრესად ელექტრონმილაკიანი ენერატორებიდან მიიღება.

ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ მ ი ლ ა კ ი ა ნ ი გ ე ნ ე რ ა ტ ო რ ი ეწოდება მოწ-
ობილობას, რომლის დანიშნულებაა ელექტრონული მილაკების მეშ-
ობით მუდმივი დენის ელექტრული ენერგიის გარდაქმნა მოცემული სიხ-
შირის ცვლადი დენის ელექტრულ ენერგიად.

რხევების მიღების ხერხების, ანუ, როგორც ამბობენ, აგზნების ხერხის
იხედვით ელექტრონმილაკიანი გენერატორები იყოფა დამოუკიდებელი
გზნების გენერატორებად და თვითაგზნების გენერატორებად, ანუ ავტო-
ენერატორებად. აქედან პირველს მოცემული სიხშირის ძაბვა მიეწოდება

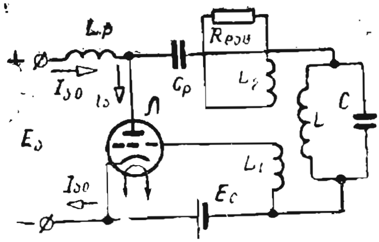
შესავალზე ცვლადი ძაბვის დამოუკიდებელი (სხვა) წყაროდან ისე, რომ არსებითად ეს გენერატორები წარმოადგენს ცვლადი დენის რხევების სიმძლავრის მაძლიერებლებს. მეორეში, ანუ თვითაგზნების გენერატორებში არამილევადი რხევები წარმოიქმნება გენერატორის გამოსავალი წრედის მის შესავალ წრედზე ზემოქმედების შედეგად დადებითი უკუკავშირით.

წრედების ხასიათის მიხედვით, რომელშიაც იქმნება რხევები, გენერატორები იყოფა LC ტიპის გენერატორებად რხევადი კონტურით და RC გენერატორებად რეზისტორულ-ტევადობით უკუკავშირით.

ა) LC ტიპის გენერატორები

ელექტრონმილაკიან გენერატორში მუდმივი დენის წყაროს ენერგია გარდაიქმნება მაღალი სიხშირის ცვლადი დენის ენერგიად, რომელიც, როგორც § 6-8-ში იყო ნაჩვენები, განისაზღვრება LC რხევადი კონტურის პარამეტრებით. ელექტრონული მილაკი ენერგიის გარდაქმნის ამ პროცესში წარმოადგენს რეგულატორს, რომლის საშუალებით ენერგია პერიოდულად მიეწოდება რხევად კონტურში, საიდანაც ის გადაეცემა დამტვირთავ წრედს.

ელექტრონმილაკიანი გენერატორის ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა მოყვანილია 20-1 ნახაზზე.



ნახ. 20-1. LC ტიპის მილაკიანი გენერატორის სქემა.

ანოდური $E_ა$ ძაბვის წყაროს ჩართვისას რხევადი კონტურის C კონდენსატორი დაიმუხტება $U_{ცმ\ ქს}$ ძაბვამდე, რის შემდეგ კონდენსატორი იწყებს განმუხტვას რხევადი კონტურის L კოჭაზე და კონტურში წარმოიქმნება რხევები (§ 6-3) საკუთარი კუთხური სიხშირით $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. უკუკავშირის L_1 კოჭა შეერთებულია მილაკის ბადესთან, ამიტომ ძაბვა ბადეზე განისაზღვრება L_1 კოჭაში დაინდუქციებული ემ ძალით, რომლის სიხშირეა ω_0.

გენერატორის თვითაგზნების და არამილევად, რხევების მისაღებად საჭიროა შესრულდეს ორი პირობა:

1) უკუკავშირის კოჭადან მილაკის ბადეზე მიწოდებული ძაბვა დაძრული უნდა იყოს ფაზაში ანოდური ძაბვის ცვლადი შემდგენის მიმართ 180°-ით, ე. ი. უკუკავშირი უნდა იყოს დადებითი;

2) უკუკავშირი უნდა იყოს საკმაოდ ძლიერი, რათა ანოდური დენის ცვლადი შემდგენი საკმარისი იყოს კონტურში დანაკარგების კომპენსა-

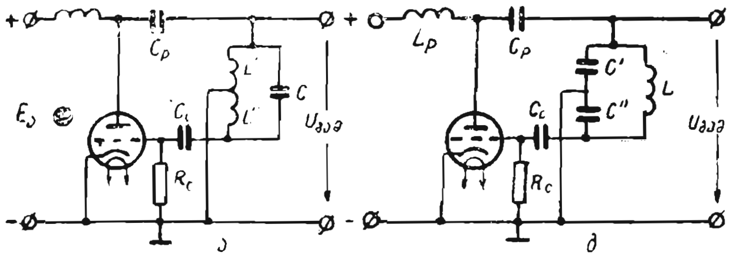
ციისათვის. ამ პირობების შესრულებისას მილაკის ანოდურ წრედში წარმოიქმნება $i_{ა}$ მფეთქარი დენი (ნახ. 19-19, ა), რომლის ხასიათი დამოკიდებულია $E_{ბად}$ გადაწევის ძაბვაზე. ამ დენის მუდმივ $I_{ა0}$ შემდგენს არ შეუძლია გაიაროს რხევად კონტურებში, რადგან ხელს უშლის გამყოფი $C_{გამ}$ კონდენსატორი და ის იკვრება კვების წყაროსა და გამყოფ $L_{გამ}$ კოჭაში. ანოდური დენის ცვლადი შემდგენი $I_{ა\,მაქს} \sin\omega_0 t$ მაღალ სიხშირეზე ვერ გადის კვების წყაროში გამყოფი კოჭას დიდი რეაქტიული წინაღობის გამო $\omega_0 L_{გამ}$ და გაივლის რხევად კონტურში.

ვინაიდან ეს შემდგენი ფაზაში ემთხვევა რხევადი კონტურის ძაბვას, ამიტომ ხდება ენერგიის პერიოდული გადაცემა კონტურში.

დატვირთვის წრედი შედგება $R_{დატ}$ მომხმარებლისა (ნახ. 20-1) და L_2 კოჭასაგან, რომელიც ინდუქციურადაა დაკავშირებული რხევადი კონტურის L კოჭასთან. ამგვარად, ენერგია რხევადი კონტურიდან მომხმარებელს გადაეცემა მაგნიტური ნაკადის მეშვეობით, რომელიც შეაღწევს L_2 და L_1 კოჭებში.

ზემოგანხილულ გენერატორში (ნახ. 20-1) რხევად კონტურსა და მილაკის ბადის წრედს შორის არსებობს ტრანსფორმატორული უკუკავშირი. მის გარდა გამოიყენება ავტოგენერატორი ინდუქციური (ავტოტრანსფორმატორული) და ტევადობითი უკუკავშირით. თუ რხევადი კონტური ავტოგენერატორის სქემასთან შეერთებულია სამ წერტილში, მაშინ სქემას სამწერტილიანი ეწოდება.

20-2, ა ნახაზზე ნაჩვენებია ავტოგენერატორის სამწერტილიანი სქემა ინდუქციური კავშირის, ხოლო 20-2, ბ ნახაზზე — სამწერტილიანი სქემა ტევადობითი კავშირით.



ნახ. 20-2. LC ტიპის სამწერტილიანი გენერატორის სქემები.
ა — ინდუქციის კავშირი; ბ — ტევადობითი კავშირი.

ზემონაჩვენები გენერატორებისათვის ძალაში რჩება ორივე ზემოაღნიშნული პირობა, რომელიც აუცილებელია არამილევადი რხევების მისაღებად, ელექტრონმილაკის ბადეზე მიწოდებული ძაბვა საჭირო ამპლი-

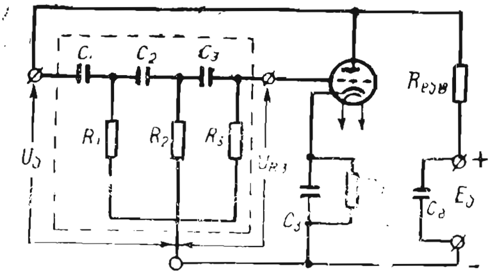
ტუდითა და ფაზით პირველ სქემაში, იხსნება რხევადი კონტურის L'' ინდუქციურობის მომჭერებიდან, ხოლო მეორე სქემაში — C'' ტევადობის მომჭერებიდან.

20-2 ნახაზზე მოცემული სქემების ყველა სხვა ელემენტი არაფრით არ განსხვავდება 20-1 ნახაზზე მოყვანილი სქემისაგან.

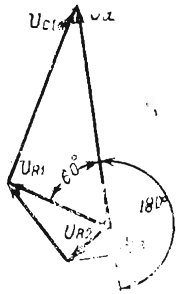
ბ) RC ტიპის გენერატორები

LC ტიპის ელექტრონმილაკიანი გენერატორები უმთავრესად გამოიყენება 20 კჰც-ზე მეტი სიხშირის დროს. უფრო დაბალი სიხშირის მისაღებად სარგებლობენ უფრო მარტივი, იაფი და მოხერხებული RC ტიპის გენერატორებით (ნახ. 20-3), რომლებშიაც რხევადი კონტურის ნაცვლად სარგებლობენ დატვირთვის $R_{დატ}$ წინაღობით, ხოლო უკუკავშირს ახორციელებენ რეზისტორების და კონდენსატორების მიერ შემდგარი ჯაჭვით.

განვიხილოთ ჯაჭვის ძაბვის გამარტივებული ვექტორული დიაგრამა, რომელიც შედგება სამი წინაღობისა და სამი კონდენსატორისაგან (ნახ. 20-4).



ნახ. 20-3. RC ტიპის გენერატორის სქემა.



ნახ. 20-4. ძაბვის ვექტორული დიაგრამა RC-ს სამი რგოლისათვის.

გამარტივებისათვის დავუშვათ, რომ თითოეულ შემდეგ რგოლში დენის უგულებელყოფა შეიძლება წინა რგოლის დენთან შედარებით. ასეთი შეთანხმებისას R_1, C_1 რგოლზე მოდებული $U_ა$ ანოდური ძაბვა შედგება ორი შესაკრები ძაბვისაგან: ძაბვა U_{c1} ტევადობაში, რომელიც დენს წინ უსწრებს 90°-ით და ძაბვა R_1 წინაღობაში U_{R1}, რომელიც ფაზაში ემთხვევა დენს და წინ უსწრებს ფაზაში $U_ა$ ძაბვას რაღაც φ_1 კუთხით. ეს კუთხე R_1 და X_{C1} წინაღობათა რაღაც მნიშვნელობისას და განსაზღვრულ სიხშირეზე შეიძლება იყოს 60°.

R_1 აქტიურ წინაღობასთან მიერთებულია მეორე რგოლი R_2, C_2, რომლის აქტიური წინაღობის U_{R2} ძაბვა ასევე წინ უსწრებს U_{R1} ძაბვას $\varphi_2=60^\circ$ კუთხით. ანალოგიურად U_{R3} ძაბვა U_{R2} ძაბვას წინ უსწრებს $\varphi_3=60^\circ$ კუთხით. ამგვარად, განხილული ჯაჭვისათვის განსაზღვრულ სიხშირეზე გამოსავალი U_{R3} ძაბვა იმყოფება უკუფაზაში შესავალ U_a ძაბვასთან.

მაშასადამე, სქემაზე (ნახ. 20-3) ბადური ძაბვა $U_b=U_{R3}$ იმყოფება უკუფაზაში მილაკის U_a ანოდურ ძაბვასთან, ე. ი. შესრულებულია პირობა, რომელიც აუცილებელია რხევების წარმოსაქმნელად, რხევების სიხშირე განისაზღვრება უკუკავშირის ჯაჭვის პარამეტრებით

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{6}\,RC}=\frac{1}{15,4\,RC}. \qquad (20\text{-}1)$$

სიხშირის შეცვლა მოითხოვს ჯაჭვის ყველა წინაღობის ან ყველა ტევადობის ერთდროულ შეცვლას.

შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ ძაბვა R_3 რეზისტორზე, რომელიც მოდებულია ბადეზე, შეადგენს R_1, C_1 რგოლის ძაბვის 1/29 ნაწილს, ე. ი. $U_b/U_a=1/29$. როცა მაძლიერებლის გაძლიერების კოეფიციენტი $k=29$ აღიძვრება სინუსოიდური რხევები, როცა $k>29$ — არასინუსოიდური, ხოლო როცა $k<29$, რხევები არ წარმოიქმნება.

20-2. ხერხისებრი ძაბვის გენერატორები

ხერხისებრი ძაბვის გენერატორი წარმოადგენს რელაქსაციური გენერატორის ერთ-ერთ სახეობას. რელაქსაციური ეწოდება გენერატორს, რომლის ძაბვა მკვეთრად არასინუსოიდურია.

ხერხისებრი ეწოდება ძაბვას, რომელიც თანდათანობით ნელა იზრდება დროის პროპორციულად თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე, ხოლო შემდეგ სწრაფად (თითქმის მყისიერად) ეცემა თავის საწყის მნიშვნელობამდე. 20-5 ნახაზზე ნაჩვენებია ხერხისებრი ძაბვის იდეალური და რეალური მრუდები.

ხერხისებრი ძაბვის მისაღებად იყენებენ დამუხტვის პროცესს და შემდეგ მაშინვე კონდენსატორის განმუხტვის პროცესს.

ხერხისებური ძაბვის უმარტივესი გენერატორი (ნახ. 20-6) შედგება C კონდენსატორისა და ნეონის ნათურისაგან, რომელიც მის მომჭერებზეა ჩართული, და განმუხტვასთან თანამიმდევრულად ჩართული R_a რეზისტორისაგან.

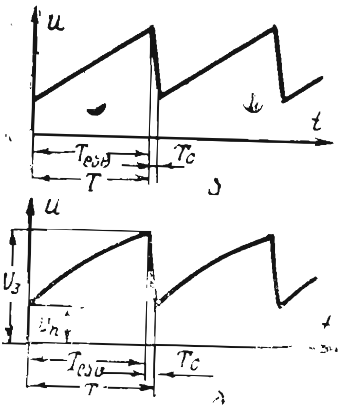
თუ გენერატორს ჩავრთავთ მუდმივ U_a ძაბვაზე (ნახ. 20-6), მაშინ კონდენსატორი დაიწყებს დამუხტვას R_a რეზისტორის გავლით. პერი-

ოდის პირველი ნაწილის განმავლობაში კონდენსატორის ძაბვა (ნახ. 20-5) დაიწყებს ზრდას ექსპონენციალური კანონის მიხედვით (18-22)

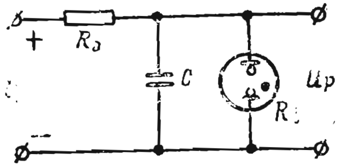
$$u_C = U_ა(1 - e^{t/\tau_1})$$

მანამ, ვიდრე არ მიაღწევს ნეონის ნათურის ანთების ძაბვის $U_{ან}$ სიდიდეს. ამ მომენტში ნათურის წინაღობა მკვეთრად ეცემა და კონდენსატორი იწყებს სწრაფად განმუხტვას ნათურაზე. მისი ძაბვა დაიწყებს შემცირებას (18-24)

$$u_C = U_{C\,მაქს}\, e^{-t/\tau_2}.$$



ნახ. 20-5. ხერხისებრი ძაბვის იდეალური (ა) და რეალური მრუდები.



ნახ. 20-6. ხერხისებრი ძაბვის გენერატორის სქემა ნეონის ნათურით.

როცა U_c ძაბვა დაეცემა ნათურის ჩაქრობის $U_{ჩაქ}$ ძაბვამდე, მისი წინაღობა მკვეთრად გაიზრდება და კონდენსატორი თავიდან დაიწყებს დამუხტვას. შემდეგ პროცესი პერიოდულად განმეორდება.

დროის მუდმივი $\tau = RC$ ახასიათებს კონდენსატორის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარეს. თუ დროის მუდმივას შევცვლით, შეიძლება შეიცვალოს ხერხისებრი ძაბვის პერიოდის ხანგრძლივობა, რაც მიიღწევა R რეზისტორის წინაღობის ან კონდენსატორის ტევადობის შეცვლით, ან ორივე სიდიდის რეგულირებით.

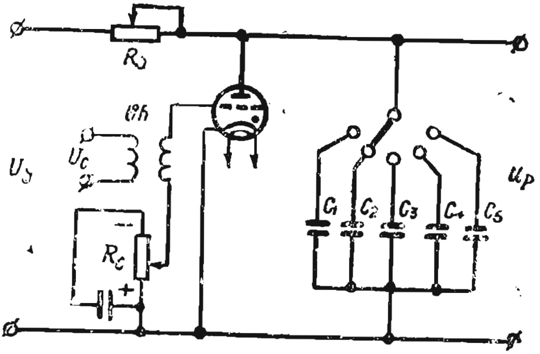
ზემოგანხილული გენერატორი გამოიყენება შედარებით იშვიათად, რადგან მას აქვს მთელი რიგი ნაკლოვანებები, კერძოდ: ნეონის ნათურის ანთებისა და ჩაქრობის ძაბვის არასტაბილურობა. აგრეთვე ნათურის ანთებისა და ჩაქრობის ძაბვების არასაკმაო სხვაობა $\Delta U = U_{ან} - U_{ჩაქ}$ და სხვ.

ნეონის ნათურის შეცვლა ტირატრონით ან სპეციალური სქემებით ელექტრონმილაკებში საშუალებას იძლევა მივიღოთ უფრო სრულყოფილი ხერხისებრი ძაბვის გენერატორი.

ტირატრონიანი გენერატორის ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა მოყვანილია 20-7 ნახაზზე.

ნეონის ნათურის ტირატრონით შეცვლა, რომელსაც ჩაქრობის დაბალი ძაბვა (15 ვ-მდე) აქვს და რომელიც საშუალებას იძლევა ბადური გადაწე-

ვის ძაბვით ვარეგულიროთ ტირატრონის ანთების ძაბვა, უზრუნველყოფს ხერხისებრი ძაბვის ამპლიტუდის გაზრდას. $R_ა$ რეზისტორის ცვლადი წინაღობა ხერხისებრი ძაბვის პერიოდის მდოვრე რეგულირების საშუალებას გვაძლევს, ხოლო რეგულირებადი ტევადობა (C_1, C_2, C_3 და ა. შ.) საშუალებას იძლევა ხერხისებრი ძაბვის პერიოდი ვცვალოთ ფართო საზღვრებში.



ნახ. 20-7. ხერხისებრი ძაბვის გენერატორის სქემა ტირატრონით.

ტრანსფორმატორი Tp ტირატრონის ბადის წრედში ტირატრონის მუშაობის სინქრონიზების საშუალებას გვაძლევს ძაბვის ამა თუ იმ წყაროთი, რომელზეც ლაპარაკი გვექნება § 20-6-ში.

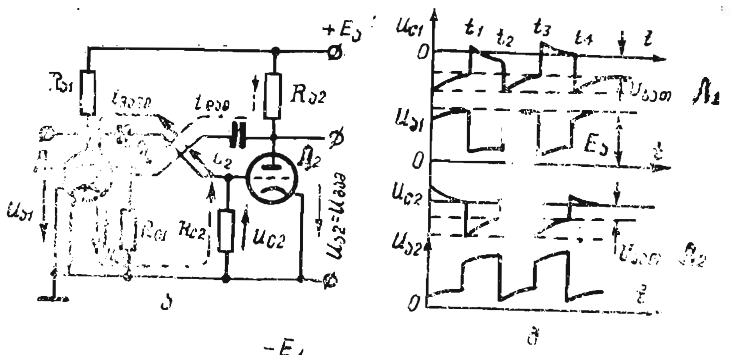
20-8. მულტივიბრატორები

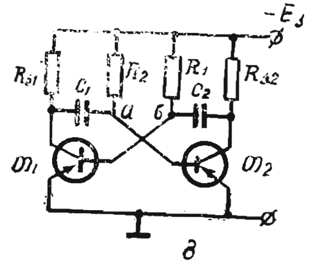
მულტივიბრატორი ეწოდება კონდენსატორის დამუხტვისა და განმუხტვის ხარჯზე აღძრული ძაბვის სწორკუთხოვანი ფორმის იმპულსების რელაქსაციურ გენერატორს.

მულტივიბრატორი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ორკასკადიანი მაძლიერებელი (ნახ. 20-8. ა) დადებითი უკუკავშირით, რომლის დროსაც პირველი კასკადის გამოსავალი (ანოდური) ძაბვა შემოდის მეორე კასკადის შესავალში (ბადეზე), ხოლო მეორე კასკადის გამოსავალი ძაბვა გადაეცემა პირველის შესავალზე. ეს უკუკავშირი იწვევს პირველი კასკადის მილაკის ნახტომისებრ გაღებას და მეორე კასკადის მილაკის ჩაკეტვას, ხოლო რაღაც დროის გასვლის შემდეგ ასეთივე ნახტომისებრად ჩაკეტილი მილაკის გაღებას და ღია მილაკის ჩაკეტვას და ა. შ.

სიმეტრიულ მულტივიბრატორში (ნახ. 20-8, ა) გამოიყენება ერთნაირი $Л_1$ და $Л_2$ მილაკები, ერთნაირი $R_{ბ1}=R_{ბ2}$ ბადური რეზისტორები, ერთნაირი $R_{ა1}=R_{ა2}$ ანოდური რეზისტორები და ერთნაირი $C_1=C_2$ კონდენსატორები.

ვინაიდან მულტივიბრატორის ორივე კასკადი ერთნაირია, უნდა ველოდოთ, რომ კვების წყაროს ჩართვის შემდეგ დენი ორივე $Л_1$ და $Л_2$ მილაკში ერთნაირი იქნება, მაგრამ სქემის ასეთი მდგომარეობა არამდგრადია.





ნახ. 20-8. სიმეტრიული მილაკიანი მულტივიბრატორი (ა) და მისი ძაბვის გრაფიკები (ბ): ნახევარგამტარიანი მულტივიბრატორი (გ).

დავუშვათ, რომ პირველი მილაკის ანოდური $i_{ა1}$ დენი რაღაც მიზეზით რამდენადმე გაიზარდა. ეს გამოიწვევს ძაბვის ვარდნის გაზრდას $R_{ა1}$ რეზისტორში და შესაბამისად ამ მილაკის ანოდური $u_{ა1}$ ძაბვის შემცირებას. ძაბვის ასეთი შემცირება იმის მაჩვენებელია, რომ თანამიმდევრულად შეერთებულ C_1 კონდენსატორისა და $R_{ბ2}$ რეზისტორის ჯაჭვში ძაბვა შემცირებულია, ხოლო რადგან ძაბვას კონდენსატორზე მყისიერად შეცვლა არ შეუძლია, ძაბვის შემცირება გადაეცემა $R_{ბ2}$ რეზისტორს. ამგვარად, $Л_2$ მილაკის ბადის პოტენციალი დადაბლდება, მისი ანოდური $i_{ა2}$ დენიც მცირდება, ხოლო $Л_2$ მილაკის ანოდური $U_{ა2}$ ძაბვა გაიზრდება. ეს გაზრდა გადაეცემა C_2, $R_{ბ1}$ ჯაჭვს, რაც გამოიწვევს ძაბვის გაზრდას $R_{ბ1}$ რეზისტორსა და $Л_1$ მილაკის ბადეზე.

$u_{ბ1}$ ძაბვის გაზრდა იწვევს $Л_1$ მილაკის ანოდური დენის კიდევ მეტად გაზრდას, ეს პროცესი მთავრდება, როცა $Л_1$ მილაკი მთლიანად გაიღება, ხოლო $Л_2$ მილაკი მთლიანად ჩაიკეტება.. ერთი მილაკის ჩაკეტვისა და მეორე მილაკის გაღების პროცესს ხშირად სქემის გადაბრუნებას უწოდებენ და მას ზვავისებრი ხასიათი აქვს, ე. ი. მიმდინარეობს მეტად სწრაფად (მიკროწამის რაღაც ნაწილში). 20-8, ბ ნახაზზე სქემის გადაბრუნება შეესაბამება დროის t_1 მომენტს.

$Л_2$ მილაკის სრული ჩაკეტვის მომენტიდან ადრე $E_ა$ ძაბვამდე დამუხტული C_1 კონდენსატორი განიმუხტება $Л_1$ მილაკში (მისი წინაღობა R_{i1}) და $R_{ბ2}$ რეზისტორში დიდი დროის მუდმივათი $\tau_{გან.}$ კონდენსატორის განმუხტვით ძაბვის ვარდნა $R_{ბ2}$ რეზისტორში განმუხტვის დენისაგან მცირდება. ე. ი. მცირდება უარყოფითი ძაბვა $Л_2$ მილაკის ბადეზე. როცა ეს ძაბვა მიაღწევს ჩაკეტვის ძაბვაზე რამდენადმე ნაკლებ მნიშვნელობას, $Л_2$ მილაკში დაიწყებს გავლას $i_{ა2}$ დენი, ე. ი. $Л_2$ მილაკი გაიღება.

C_1 კონდენსატორის განმუხტვასთან ერთად, ე. ი. $Л_2$ მილაკის ჩაკეტვის მომენტიდან. როცა ძაბვა მის ანოდზე იზრდება, დაიწყება C_2 კონდენსატორის დამუხტვა. დამუხტვის $i_{დამ}$ დენი გაივლის + $E_ა$-დან $R_{ა2}$ რეზისტორში, C_2 კონდენსატორის განშტოებაში, რომელიც შედგება რეზისტორისა და $Л_1$ მილაკის ბადე--კათოდის უბნისაგან და შეიკვრება $E_ა$ წყაროს მინუსთან.

დამუხტვის დენი $R_{ბ1}$ რეზისტორში იწვევს ძაბვის ვარდნას ისეთნაირად, რომ $Л_1$ მილაკის ბადეზე ძაბვა იმატებს და $i_{ა1}$ დენი კიდევ მეტად იზრდება, ხოლო ანოდური ძაბვა მცირდება. რადგან განმუხტვის დროის მუდმივა ბევრად მეტია დამუხტვის დროის მუდმივაზე ($\tau_{გან}>\tau_{დამ}$). C_2 კონდენსატორის დამუხტვა ბევრად უფრო ადრე მთავრდება, ვიდრე $Л_2$ მილაკი გაიღება.

$Л_2$ მილაკის გაღების მომენტიდან მილაკის ანოდური $U_{ა2}$ ძაბვა დაიწყებს შემცირებას და ეს შემცირება C_2—$R_{ბ1}$ ჯაჭვით გადაეცემა $Л_1$ მილაკის ბადეს. რაც გამოიწვევს $i_{ა1}$ დენის შემცირებას და $Л_2$ მილაკის $i_{ა2}$ ანოდური დენის გაზრდას. პროცესი თავიდან განვითარდება ზვავისებრად და ნახტომების სქემა გადადის ახალ მდგომარეობაში, რომლის დროსაც მილაკი ჩაკეტილია, ხოლო $Л_2$ მილაკი მთლიანად ღიაა. ეს გადასვლა 20-8, ბ ნახაზზე შეესაბამება t_2 მომენტს.

სქემის ეს ახალი მდგომარეობაც იქნება არამდგრადი და რხევები გაგრძელდება $E_ა$ კვების წყაროს გამორთვის მომენტამდე.

მილაკების პერიოდული გაღებისა და ჩაკეტვის დროს t_1, t_2, t_3... დროის მომენტებში თითოეული მილაკის გამოსავალზე მიიღება თითქმის მართკუთხა ფორმის ძაბვის იმპულსები (ნახ. 20-8, ბ).

მულტივიბრატორის სიხშირე რეგულირდება $R_{ბ1}$ და $R_{ბ2}$ რეზისტორების წინაღობების ან C_1 და C_2 კონდენსატორების ტევადობათა შეცვლით.

მულტივიბრატორის გარდა, ელექტრონულ მილაკებში გამოიყენება მულტივიბრატორები ტრანზისტორებზე. ერთ-ერთი ასეთი სქემა, რომელიც ავტორხევების რეჟიმით მუშაობს, მოყვანილია 20-8, გ ნახაზზე.

ამ სქემების მუშაობის პრინციპი ძირითადად იგივეა, რაც ელექტრონულმილაკებიანი სქემების. სქემა შედგება ორი ერთნაირი კასკადისაგან (სიმეტრიული მულტივიბრატორი). პირველი კასკადის გამოსავალი შეერთებულია მეორის შესავალთან, ხოლო მეორე კასკადის გამოსავალი —

პირველის შესავალთან. 20-8, გ ნახაზზე მოყვანილი სქემები ალრე განხილული სქემებისაგან იმით განსხვავდება, რომ R_1 და R_2 რეზისტორები უკუკავშირის წრედებში მიერთებულია არა მიწასთან, არამედ კვების წყაროს უარყოფით—$E_კ$ მომჭერთან.

T_1 და T_2 ტრანზისტორები რიგრიგობით იკეტება და ილება. ეს მიიღწევა იმით, რომ C_1 და C_2 კონდენსატორები რიგრიგობით იმუხტება პერიოდის იმ ნაწილში, როცა ჩაკეტილია ტრანზისტორი, რომლებიც იმავე ინდექსით აღინიშნება, როგორც კონდენსატორი. მაგალითად, თუ პერიოდის მოცემულ ნაწილში T_1 ჩაკეტილია, მაშინ პერიოდის ამ ნაწილში $E_კ$ წყაროდან იმუხტება C_1 კონდენსატორი. ამ დროს დამუხტვის დენი, რომელიც გადის $R_{კ1}$ რეზისტორში და T_2 ღია ტრანზისტორის ბაზა — ემიტერში, იწვევს C_1 კონდენსატორზე u_{c1} ძაბვას. ამავე დროს ხდება C_2 კონდენსატორის განმუხტვა R_1 და $R_{კ2}$ რეზისტორებზე; ძაბვის ვარდნა ამ დენისაგან R_1 რეზისტორში ქმნის დადებით ძ პოტენციალს კვანძში ან, რაც იგივეა, T_1 ბაზაში, რის გამოც ეს უკანასკნელი იქნება ჩაკეტილი.

ნახევარგამტარიან მულტივიბრატორებს მილაკიანთან შედარებით აქვს დიდი მქ კოეფიციენტი, ისინი თხოულობენ კვების წყაროს ნაკლები ძაბვით, მაგრამ ნახევარგამტარიანი მულტივიბრატორების პარამეტრები მეტად ძლიერადაა დამოკიდებული ტემპერატურაზე.

20-4. ელექტრონულ-სხივური მილაკები

ე ლ ე ქ ტ რ ო ნ უ ლ-ს ხ ი ვ უ რ ი მ ი ლ ა კ ი ეწოდება ელექტროვაკუუმურ ხელსაწყოს, რომლის ელექტრონული ნაკადი, რომელიც ჩამოყალიბებულია ელექტრონული სხივის სახით, გამოიყენება სინათლის სიგნალებად ელექტრული სიგნალების გარდასაქმნელად.

თავისი დანიშნულებით ელექტრონულ-სხივური მილაკები შეიძლება დავყოთ სამ ძირითად ჯგუფად:

ოსცილოგრაფიული მილაკები, რომლებიც გამოიყენება სწრაფად მიმდინარე პერიოდული და აპერიოდული პროცესების კვლევისათვის;

ინდიკატორული მილაკები — სიგნალების სარეგისტრაციოდ;

მიმღები — სატელევიზიო მილაკები — კინესკოპები, რომელთა საშუალებით მიიღება გამოსახულება მათ ეკრანებზე.

ელექტრონულ-სხივური მილაკი შედგება შემდეგ ძირითადი ნაწილებისაგან:

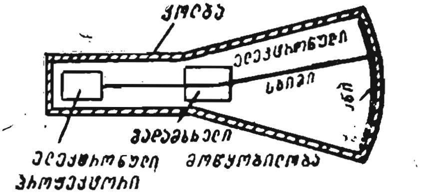
1) მინის ბალონი (ნახ. 20-9), რომელშიაც იქმნება ვაკუუმი;

2) მოწყობილობა ელექტრული ნაკადის მისაღებად და ელექტრონული სხივის ჩამოსაყალიბებლად, რომელსაც ელექტრონული პროჟექტორი ეწოდება;

3) გადამხრელი სისტემები ელექტრონული სხივების გადასაადგილებლად ეკრანზე;

4) მილაკის ეკრანი, რომელიც ანათებს ელექტრული სხივის ზემოქმედებით.

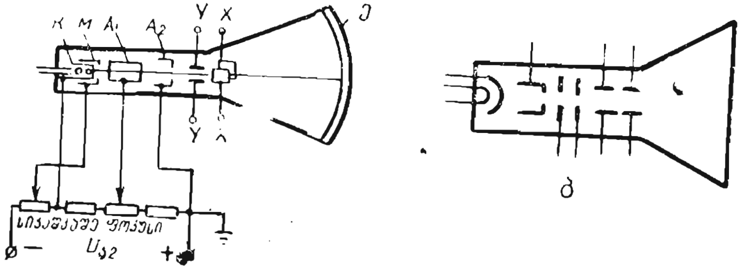
განვიხილოთ ერთ-ერთი ელექტრონულ-სხივური ოსცილოგრაფიული მილაკის მოწყობილობა ელექტრული მართვით (ნახ. 20-10).



ნახ. 20-9. ელექტრონულ-სხივური მილაკის მოწყობილობა.

მილაკის მინის ბალონს აქვს კოლბის ფორმა, რომელშიაც შექმნილია მაღალი ვაკუუმი.

მილაკის ელექტრონული პროჟექტორი შედგება შესათბობი ოქსიდის K კათოდის, მართული ელექტროდის, ანუ M მოდულატორისა და A_1 და A_2 ელექტროდების სისტემებისაგან, რომლებიც ელექტრონულ სხივებს აფოკუსებენ ეკრანზე. კათოდს (ნახ. 20-11) აქვს ვოლფრამის შემთბობი (1), რომელიც მოთავსებულია ნიკელის ცილინდრის შიგნით (2), მის ტორსულ ნაწილზე (3) გარედან დატანილია ოქსიდის ფენა (4), რითაც ვაღწევთ ელექტრონების გამოსხივებას ერთ მხარეზე.



ნახ. 20-10 ოსცილოგრაფიული მილაკი:
ა) ელექტროდებისა და მათი კვების სქემა; ბ) მილაკის აღნიშვნა.

კათოდი გარშემორტყმულია M მოდულატორით (ნახ. 20-10) — ცილინდრული ელექტროდით, რომელსაც ტორსზე აქვს ნახვრეტი. ის საჭიროა ელექტრონების რაოდენობის სარეგულირებლად სხივში და მისი საწყისი ჩამოყალიბებისათვის. მას აქვს მცირე უარყოფითი პოტენციალი კათოდის მიმართ. კათოდიდან გამოფრქვეული ელექტრონები, მაგალითად, a წერტილიდან aa' მიმართულებით (ნახ. 20-12, ა), კათოდსა და მოდულატორს შორის არსებული ელექტრული ველის ზემოქმედებით იცვლის თავის მიმართულებას და გადაადგილდება ($бb$) მიმართულებით,

ე. ი. ელექტრონები ელექტრული ველისაგან გადაიხრება სხივის ღერძიდან. თუ მოდულატორის უარყოფით პოტენციალს გავზრდით, მაშინ ელექტრონების ნაწილი კიდევ მეტად გადაიხრება და ვერ გაივლის ნახვრეტში. ამგვარად, მოდულატორის პოტენციალის შეცვლით შეიძლება ვარეგულიროთ ელექტრონების რაოდენობა სხივში და ლაქის სიკაშკაშე ეკრანზე. მოდულატორის გავლის შემდეგ ელექტრონები კიდევ გადაიხრება სხივის ღერძიდან. სხივის შემდგომი დაფოკუსება ხდება A_1 და A_2 ანოდებით (ნახ. 20-12, ა). პირველი მაფოკუსებელი ანოდი ცილინდრია ორი ან სამი დიაფრაგმით, მეორე ამაჩქარებელი — ასევე ცილინდრული ერთი დიაფრაგმით ან მის გარეშე. ორივე ანოდს დადებითი პოტენციალი აქვს კათოდის მიმართ, რომელთაგან პირველი ტოლია 0,2—0,5 კვ, ხოლო მეორე 1—2 კვ. ორ ანოდს შორის შექმნილ ელექტრულ ველში მოხვედრილი ელექტრონები მისგან გადაიხრება სხივის ღერძის მიმართულებით და ღებულობს აჩქარებას მოძრაობის მიმართულებით.

ნახ. 20-11. ოსცილოგრაფიული მილაკის კათოდი.

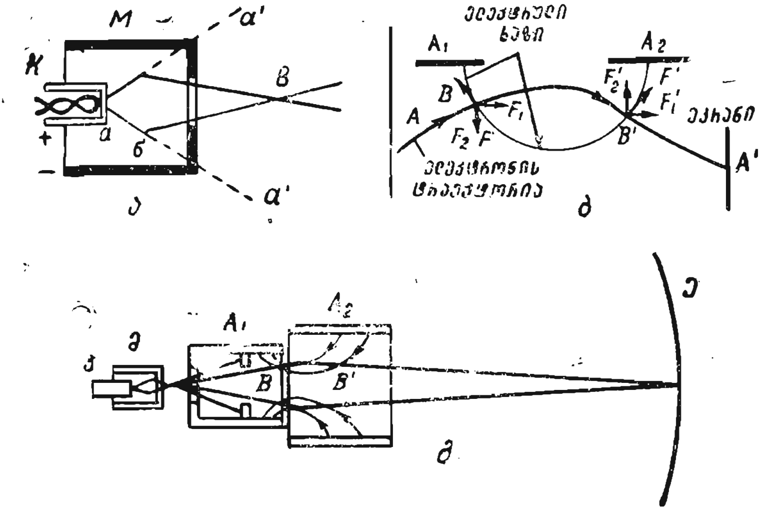
ზემონათქვამი ილუსტრირებულია 20-12, ა ნახაზზე, რომელზეც გამოსახულია A_1 და A_2 ანოდებს შორის ელექტრული ველის ერთ-ერთი ხაზი და ელექტრონის მოძრაობის ტრაექტორია — $ABB'A'$ წრფე. ამ ტრაექტორიის ელექტრული ველის ხაზთან გადაკვეთის ორ B და B' წერტილში ნაჩვენებია F და F^1 ძალები, რომლებიც მოქმედებენ ელექტრონების მოძრაობაზე და მიმართული არიან ელექტრული ხაზების მხებად. თითოეული F და F' ძალა დაყოფილია ორ შემდგენად — გრძივ F_1 და F_1' და განივ F_2 და F_2' შემდგენებად.

პირველი შემდგენები აჩქარებს ელექტრონების მოძრაობას მილაკის ღერძის გასწვრივ, ხოლო მეორე მიმართულია რადიალურად და ელექტრონებს აახლოებს მილაკის ღერძთან (F_2), ანუ გადახრის მათ ამ ღერძიდან (F_2'). მაშასადამე, ანოდებს შორის ველი ელექტრონულ სხივზე მოქმედებს, როგორც შემკრები ლინზა, და აფოკუსებს მას წერტილში, რომელიც მილაკის ღერძზე მდებარეობს ეკრანის ახლოს ან თვით ეკრანზე (ნახ. 20-12, ბ). ამ შემთხვევაში ეკრანზე გამოჩნდება პატარა მნათი ლაქა (წერტილი). სხივების დაფოკუსება ხდება პირველი ანოდის პოტენციალის რეგულირებით.

უფრო სრულყოფილ ელექტრონულ პროჟექტორებში, რომლებიც თანამედროვე ოსცილოგრაფიულ მილაკებში გამოიყენება, M მოდულატორსა და A_1 ანოდს შორის თავსდება მაჩქარებელი ელექტროდი — ლითონის დისკო ნახვრეტით ცენტრში, რომელზეც მოდებულია მაღალი დადებითი პოტენციალი. ამის შედეგად, თავიდანაა აცილებული სიკაშკა-

შისა და დაფოკუსების რეგულირების ურთიერთშეგავლენა, მაშასადამე, უმჯობესდება მილაკის მუშაობის რეჟიმის აწყობა.

ელექტრონული სხივი ხვდება რა ეკრანზე და გადასცემს მას თავის ენერგიას, რომელიც ნაწილობრივად გარდაიქმნება სინათლის ენერ



ნახ. 20-12. კათოდის მოდულატორი (ა); ელექტრონული სხივის და ფოკუსირება (ბ); ელექტრონის მოძრაობის ტრაექტორია A_1 და A_2 ანოდებს შორის ველში (გ).

გიად, ნაწილობრივ კი გადაეცემა ეკრანის ელექტრონებს და გამოიწვევს მეორეულ ემისიას. მეორეულ ელექტრონებს იჭერს გრაფიტის გამტარი შრე (აკვადაგი), რომლითაც ნაწილობრივ დაფარულია კოლბის შიგა ცილინდრული და კონუსური ნაწილები და შეერთებულია მეორე ანოდთან (ნახ. 20-10).

გადამხრელი სისტემა, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, გამოიყენება ელექტრონული სხივის გადასაადგილებლად ეკრანზე. ის შედგება ორი წყვილი ფირფიტისაგან, რომლებიც განლაგებულია ურთიერთპერპენდიკულარულ სიბრტყეში (ნახ. 20-10).

ფირფიტების Yy პირველ წყვილს, რომელიც გამოიყენება ელექტრონული სხივის ვერტიკალურ სიბრტყეში გადასახრელად, ეწოდება ვერტიკალურად გადამხრელი. ფირფიტების Xx მეორე წყვილს, რომელიც გამოიყენება ელექტრონული სხივის ჰორიზონტალურ სიბრტყეში გადასახრელად, ეწოდება ჰორიზონტალურად გადამხრელი.

ფირფიტებს შორის არსებული ელექტრული ველის მოქმედებით ელექტრონული სხივი გადაიხრება. დავუშვათ, რომ ელექტრონული სხივი ემთხვევა მილაკის ღერძს, რაშიაც შეგვიძლია დავრწმუნდეთ ეკრანის ცენტრში

განათებული წერტილით. თუ მოვდებთ გადამხრელ ფირფიტებზე (ნახ. 20-13) მუდმივ U ძაბვას, მათ შორის მივიღებთ ელექტრულ ველს, რომელიც გამოიწვევს სხივის გადახრას და ის ეკრანს შეხვდება უკვე სხვა წერტილში, რომელიც ღერძული ხაზიდან ჩამორჩენილი იქნება მანძილით

$$h=0,5\frac{U}{U_{a}}\cdot\frac{l}{b}\left(L+\frac{1}{2}\right)\approx0,5\frac{U}{U_{a}}\cdot\frac{l}{b}\cdot L,$$

სადაც U_{a} ანოდური ძაბვაა.

ელექტრონული სხივის გადახრას ეკრანზე, გადამხრელ ფირფიტებზე ძაბვის 1 ვ-ით შეცვლის დროს, ეწოდება მილაკის ძაბვისადმი მგრძნობიარობა

$$S_{U}=\frac{h}{U}=0,5\frac{Ll}{U_{a}b}.$$

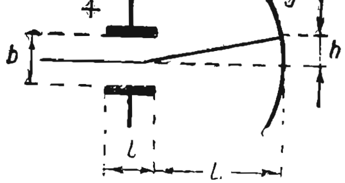
მილაკის მგრძნობიარობა

$$S_{U}=0,2\div0,6\ მმ/ვ.$$

ნივთიერების თვისებას გაანათოს ელექტრონული დაბომბვის ზემოქმედებით, ეწოდება კათოდოლუმინესცენცია, ხოლო ნივთიერებას, რომელსაც ასეთი თვისება აქვს — კათოდოლუმინოფორი (ლუმინოფორი). ეკრანებისათვის, რომლებიც ვიზუალური დაკვირვებისათვის იხმარება, ყველაზე ხშირად გამოიყენება ვილემიტი. ვილემიტი წარმოადგენს თუთიის სილიკატს Zn_2SiO_4, რომელიც გააქტიურებულია მაგნიუმით და აქვს ნათების ყვითელ-მწვანე ფერი. ეკრანზე გამოსახულების ოსცილოგრამის გადასაღებად გამოიყენება კალციუმის ვოლფრამატი $CaWO_4$.

ლუმინოფორის საპატიო თვისებაა შერმენათების ხანგრძლივობა, ე. ი. დრო, რომლის განმავლობაშიც ნათების სიკაშკაშე მცირდება 100-ჯერ სხივის გამორთვის მომენტიდან.

ხანგრძლივი შერმენათების ეკრანებს ამზადებენ ორფენიანს, მინაზე დააქვთ ფოტოლუმინოფორის ფენა (მაგალითად, თუთიის სულფიტი), რომელსაც ხანგრძლივი შერმენათება აქვს, ხოლო მასზე — კათოდოლუმინოფორის ფენა.



ნახ. 20-13. ელექტრონული სხივის გადატანა ელექტრული ველით.

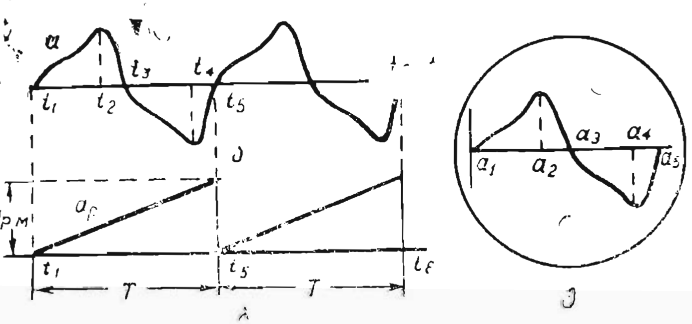
ოსცილოგრაფიული მილაკის ეკრანს აქვს მრგვალი ფორმა და უჭირავს კოლბის ტორსული გაფართოებული ნაწილის მთელი ზედაპირი. ეკრანის ნათება ჩანს ელექტრონული სხივის მოქმედების საწინააღმდეგო მხრიდან, ასე რომ ლუმინოფორის ფენის სისქე მეტი უნდა იყოს სხივის შეღწევის სიღრმეზე, მაგრამ საკმაოდ მცირე, რათა ელექტრონული სხივით აგზნებული ნათება, რაც შეიძლება ნაკლებად შთაინთქას მინაზე მიბჯენილი ლუმინოფორის ფენაში სინათლის გავლის დროს.

20-5. ელექტრონულ-სხივური ოსცილოგრაფი

ელექტრონულ-სხივური (ელექტრონული) ოსცილოგრაფი ეწოდება ელექტრონულ ხელსაწყოს, რომლის დანიშნულებაა ჩაიწეროს და დაკვირვება მოახდინოს დროის მიხედვით ცვალებადი ელექტრული სიდიდეების (ძაბვა, დენი და სხვ.) მრუდებზე.

ოსცილოგრაფის ძირითადი ნაწილია ელექტრონულ-სხივური მილაკი სხივის ელექტრული გადახრით.

გამოსაკვლევი U ძაბვის მრუდის მისაღებად მას მოდებენ ვერტიკალურად Y გადამხრელ ფირფიტებზე. ჰორიზონტალურად X გადამხრელ ფირფიტებზე მოდებენ $U_{გაშ}$ გაშლის ძაბვას, ე. ი. ხერხისებრ ძაბვას, რომლის პერიოდი ტოლია გამოსაკვლევი ძაბვის პერიოდისა (ნახ. 20-14, ა და ბ) ან მთელი რიცხვისა, რომელიც ერთჯერ მეტია მასზე.



ნახ. 20-14. გამოსაკვლევი u ძაბვის და $u_{გაშ}$ გაშლის ძაბვის მრუდები.

დროის საწყის t_1 მომენტში გაშლის ძაბვა ნულის ტოლია. შემდეგ ის იზრდება დროის პროპორციულად და პერიოდის ბოლოში t_5 მიაღწევს თავისი ამპლიტუდის გამოსაკვლევ $U_{გაშ.მაქს}$ სიდიდეს. ეს ძაბვა გამოიწვევს ელექტრონული სხივის გადაადგილებას ეკრანზე მუდმივი სიჩქარით სწორხაზოვნად a_1 წერტილიდან a_5-ში (ნახ. 20-14).

თუ ერთდროულად ელექტრონულ სხივზე იმოქმედებს კიდევ ვერტიკალურად გადამხრელი ფირფიტების ელექტრული ველიც, რომელიც გამო-

საკვლევი ძაბვის მიერ იქმნება, მაშინ ელექტრონული სხივი ამ ველის მოქმედებით, გარდა ამისა, გადაიხრება ეკრანზე ვერტიკალური მიმართულებითაც. ეს გადაადგილების მანძილი პროპორციული იქნება გამოსაკვლევი ძაბვის მყისი მნიშვნელობის. მაშასადამე, ელექტრონული სხივი პერიოდის განმავლობაში ეკრანზე გამოსახავს გამოსაკვლევი სიდიდის მნიშვნელობათა ცვლილების მრუდს (ნახ. 20-14, გ).

მიაღწევს რა თავის ამპლიტუდას დროის t_3 მომენტში, გაშლის $U_{გაშ}$ ძაბვა მყისად ვარდება ნულამდე და ამის შესაბამისად ელექტრონული სხივი a_3 წერტილიდან მყისად გადაადგილდება სწორი ხაზით a_1 წერტილში. ამის შემდეგ გაშლის ძაბვა თავიდან დაიწყებს გაზრდას დროის პროპორციულად და ელექტრონული სხივი მეორე და შემდეგი პერიოდების განმავლობაში გაიმეორებს თავის მოძრაობას.

ეკრანის სინათლის ინერცია საშუალებას იძლევა მასზე მივიღოთ გამოსაკვლევი სიდიდის მდგრადი მრუდი. მაგრამ მდგრადი მრუდის მისაღებად აუცილებელია, რომ ხერხისებრი და გამოსაკვლევი ძაბვების პერიოდების შეფარდება იყოს მთელი რიცხვი. მაგალითად, თუ ეს შეფარდება n-ის ტოლია, მაშინ ეკრანზე გვექნება გამოსაკვლევი მრუდის n პერიოდი.

გაშლის ხერხისებრი ძაბვის ნამდვილი მრუდები განსხვავდება ზემოგანხილულისაგან. კერძოდ, მრუდის კლებადი ნაწილი არის არა ვერტიკალური, არამედ დახრილი, ე. ი. ძაბვის ცვლილება მისი ამპლიტუდიდან ნულამდე ხდება არა მყისად, არამედ პერიოდის რაღაც ნაწილის განმავლობაში. ეს გამოიწვევს ძაბვის მრუდიდან მისი შესაბამისი ნაწილის ამოვარდნას. სხივის უკუმოძრაობა a_3 წერტილიდან a_1 წერტილამდე ხდება მნიშვნელოვნად სწრაფად, ვიდრე მისი პირდაპირი მოძრაობა. ამის გამო, სხივის უკუსვლას აქრობენ და ეკრანზე ის არ ჩანს. ხერხისებრი ძაბვა მიიღება § 20-2-ში განხილული რელაქსაციური გენერატორით.

ორივე წყვილი გადამხრელი ფირფიტების მგრძნობიარობა ძაბვისადმი მცირეა, ამიტომ გამოსაკვლევ და ხერხისებრ ძაბვებს დასაწყისში აძლიერებენ და შემდეგ მოდებენ გადამხრელ ფირფიტებზე.

ელექტრონულ ოსცილოგრაფებს აქვს გაძლიერების ორი არხი: ერთი ვერტიკალური გადამხრელი ფირფიტებისათვის, მეორე ჰორიზონტალური გადამხრელი ფირფიტებისათვის. ჩვეულებრივად გამოიყენება მაძლიერებლები გაძლიერების რამდენიმე კასკადით.

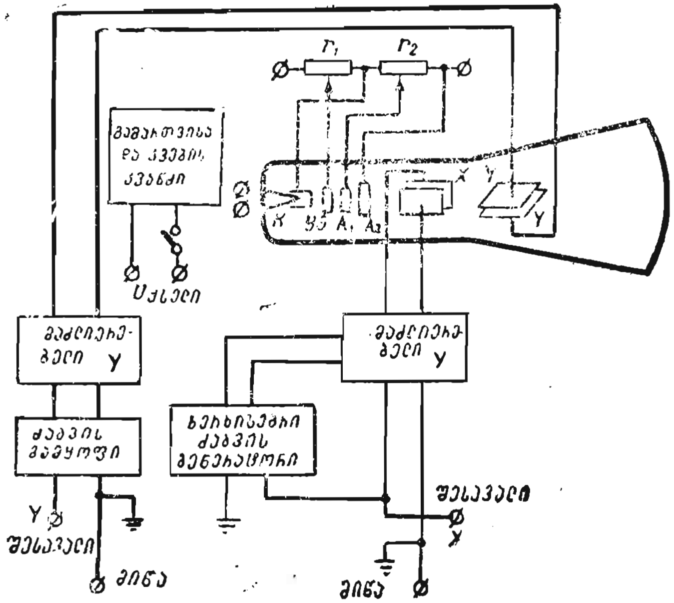
ოსცილოგრაფის ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა ელექტროსტატიკური მართვით (ბლოკ-სქემა) მოცემულია 20-15 ნახაზზე.

ელექტრონული პროჟექტორის ელექტროდების კვება ხდება მუდმივი ძაბვის წყაროდან (გამმართველიდან), ემ ძალით $E_1 = 1 \div 2$ კვ ძაბვის გამყოფის r_1-ისა და r_2-ის გავლით.

გადამხრელი ფირფიტების წრედის კვება ხდება მუდმივი ძაბვის წყაროდან (გამმართველიდან, რომლის ემ ძალა $E_2 = 0,2 \div 0,3$ კვ.

მნათი წერტილის საწყისი დაყენება ეკრანზე ხდება გადამხრელი ფირფიტების პოტენციალთა ცვლილებით.

გამოსაკვლევი U ძაბვა და ქსელის $U_{ქსელ}$ ძაბვა გადამხრელ ფირფიტებთან მიიყვანება გამყოფი კონდენსატორების საშუალებით.



ნახ. 20-15. ოსცილოგრაფის სტრუქტურული სქემა.

ორი პერიოდულად ცვლადი სიდიდის ერთდროულად გამოკვლევისათვის იყენებენ ან ორსხივიან ოსცილოგრაფს, ან სპეციალურ ელექტრონულ კომუტატორს. ეს კომუტატორი აწვდის ხან ერთ, ხან მეორე გამოსაკვლევი სიდიდის რიგრიგობით ჩართვას, რომლებიც ზემოქმედებენ ოსცილოგრაფის ელექტრონულ სხივზე, რის შედეგადაც ეკრანზე ვღებულობთ ერთდროულად გამოსაკვლევი სიდიდეების ორ მრუდს.

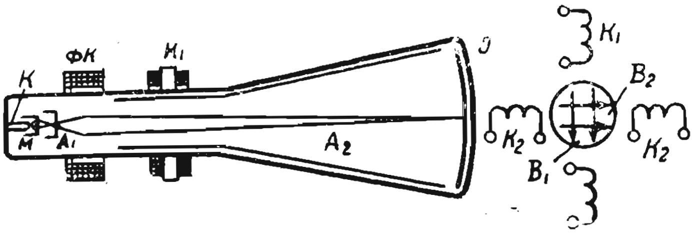
ელექტრონული ოსცილოგრაფი გამოიყენება არა მარტო ძაბვების მრუდების მისაღებად, არამედ მთელი რიგი ელექტრული სიდიდეების: ძაბვის, დენის, სიხშირის, cos φ-ს, დროის ინტერვალების და სხვათა მნიშვნელობების გასაზომად. გარდა ამისა, ის გამოიყენება, როგორც ნულოვანი ინდიკატორი და პირველადი საზომი გარდამქმნელების ერთობლიობაში ელექტრული სიდიდეების გასაზომად.

თუ გასაზომ ძაბვას მოვდებთ ოსცილოგრაფის გადამხრელი ფირფიტების ერთ წყვილზე, ეკრანზე მივიღებთ სწორ ხაზს, რომლის სიგრძე პროპორციული იქნება გასაზომი ძაბვის გაორკეცებული ამპლიტუდისა. თუ გავზომავთ ამ ხაზის სიგრძეს და თუ ვიცით ოსცილოგრაფის მუდმივა

ძაბვის მიხედვით მუშაობის მოცემულ რეჟიმზე, შეგვიძლია განვსაზღვროთ ძაბვის ამპლიტუდა.

დენის გასაზომად გადამხრელი ფირფიტების ერთ წყვილზე მოდებენ გასაზომი დენის მიერ სანიმუშო რეზისტორზე შექმნილ ძაბვას. თუ განვსაზღვრავთ წინა მაგალითის მსგავსად ძაბვის ამპლიტუდას და თუ ვიცით სანიმუშო წინაღობა, ძნელი არ იქნება ომის კანონის მიხედვით განვსაზღვროთ დენის ამპლიტუდა.

ელექტრონულ-სხივურ მილაკს მაგნიტური მართვით (ნახ. 20-16) აქვს K კათოდი, M მოდულატორი და A_1 ანოდი იგივე მოწყობილობითა და დანიშნულებით, როგორიც მილაკებში ელექტროსტატიკური მართვით.



ნახ. 20-16. ელექტრონულ-სხივური მილაკი მაგნიტური დაფოკუსებით.

ღერძის გასწვრივ ელექტრონების აჩქარება გამოწვეულია A_2 მეორე ანოდის ველით, რომელიც დამზადებულია გრაფიტის შრის სახით კოლბის ცილინდრული და კონუსური ნაწილის შიგა ზედაპირზე. სხივის დაფოკუსება ხდება მაგნიტური ველით, რომელიც შექმნილია მაფოკუსებელი ФК კოჭას მუდმივი დენის მიერ. არაერთგვაროვანი ველის ზემოქმედებით ამ კოჭას შიგნით ელექტრონების ტრაექტორიები გადაიხრება მილაკის ღერძის მიმართულებით და დაფოკუსდება ეკრანზე, რომლის რეგულირება ხდება დენის ძალის ცვლილებით მაფოკუსებელ კოჭაში.

სხივის გადახრის მართვა წარმოებს ორი წყვილი გადამხრელი კოჭას მეშვეობით, რომელთა ღერძები განლაგებულია ურთიერთპერპენდიკულარულად. გადამხრელი K_1 და K_2 კოჭები მზადდება ფერომაგნიტური გულარით ან მის გარეშე. გაშლისათვის გამოიყენება ხერხისებრი ფორმის დენის წყარო.

20-6. ელექტრონულ-სხივური მილაკების აღნიშვნები

აღნიშვნის პირველი ელემენტი — რიცხვი დამრგვალებით გვიჩვენებს ეკრანის დიამეტრს (დიაგონალს) სანტიმეტრობით.

აღნიშვნის მეორე ელემენტი — ორი ასო აღნიშნავს მილაკის ტიპს.

ЛО — ოსცილოგრაფიული მილაკი კინესკოპი სხივის ელექტროსტატიკური გადახრით;

ЛМ — მილაკი სხივის ელექტრომაგნიტური გადახრით.

აღნიშვნის მესამე ელემენტი — რიცხვი —უჩვენებს ხელსაწყოს ტიპის რიგით ნომერს.

აღნიშვნის მეოთხე ელემენტი — ასო აღნიშნავს ეკრანის ტიპს:

Р — ლურჯი-იისფერი საშუალო მერმენათებით;

И — ყვითელ-მწვანე ფერი საშუალო მერმენათებით;

У — ღია მწვანე ფერი მოკლე მერმენათებით;

А — ლურჯი ფერი მოკლე მერმენათებით;

М — ცისფერი მოკლე მერმენათებით;

В — ცისფერი ნათება ყვითელი ხანგრძლივი მერმენათებით;

К — ვარდისფერი ნათება ნარინჯისფერი ხანგრძლივი მერმენათებით;

С — ნარინჯისფერი ნათება ხანგრძლივი მერმენათებით;

D — ცისფერი ნათება მწვანე ხანგრძლივი მერმენათებით.

მ ა გ ა ლ ი თ ა დ: 13Л05А ოსცილოგრაფიული მილაკი სხივის ელექტრული გადახრით, მეხუთე ტიპის, ეკრანის დიამეტრით — 13 სმ ლურჯი ნათების, მოკლე მერმენათებით.

ოცდამეერთე თავი

ელექტრონული, ნახევარგამტარიანი და ფოტოელექტრონული რელეები

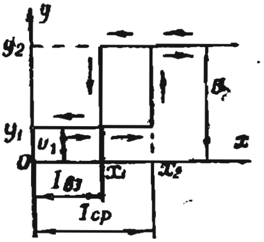
21-1. ზოგადი დებულებები

რელე წარმოადგენს ავტომატურ აპარატს, რომელშიაც შესავალი ან მასზე ზემოქმედი სიდიდეების რაღაც მნიშვნელობამდე მიღწევის დროს მისი ამთვისებელი ნაწილი ამოქმედდება, რის შედეგადაც გამოსავალი ან მართული y სიდიდის მნიშვნელობა იცვლება ნახტომით. რელეს მახასიათებლიდან (ნახ. 21-1) ჩანს, რომ შესავალი x სიდიდის შეცვლისას ნულიდან x_2 -მდე გამოსავალი $y=y_1$ სიდიდე უცვლელი რჩება. იმ მომენტში, როცა შესავალი სიდიდის მნიშვნელობა მიაღწევს $x=x_2$, რომელსაც ა მ ო ქ მ ე დ ე ბ ი ს პ ა რ ა მ ე ტ რ ი ეწოდება, რელე ახდენს გამოსავალი სიდიდის ნახტომისებრ ცვლილებას y_1 მნიშვნელობიდან y_2 მნიშვნელობამდე. x სიდიდის შემდგომი ცვლა y-ს არ ცვლის.

შესავალი სიდიდის x_1 მნიშვნელობამდე შემცირებისას y_2 გამოსავალი სიდიდე არ იცვლება. იმ მომენტში, როცა შესავალი სიდიდე x_1 მნიშვნელობას აღწევს, რომელსაც დ ა ბ რ უ ნ ე ბ ი ს პ ა რ ა მ ე ტ რ ი ეწოდება, რელე ნახტომისებრად ამცირებს გამოსავალ სიდიდეს საწყის y_1 მნიშვნელობამდე, რომელიც შენარჩუნებულია x-ის შემცირებისას ნულოვან მნიშვნელობამდე.

შესავალი სიდიდის ხასიათის მიხედვით, რომელზეც რეაგირებს რელე, არჩევენ დენის, ძაბვის, დროის და ა. შ. რელეებს.

21-1 ნახაზზე მოცემულია რელეს მახასიათებელი, რომლის შესავალ სიდიდეს წარმოადგენს დენის ძალა, ე. ი. $x=y$, ხოლო გამოსავალი — ძაბვა $y=U$.



ნახ. 21-1. რელეს მახასიათებელი.

დაბრუნებისა და ამოქმედების პარამეტრების შეფარდებას ეწოდება რ ე ლ ე ს დ ა ბ რ უ ნ ე ბ ი ს კ ო ე ფ ი ც ი ე ნ ტ ი. ეს კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$k_{დაბ}=\frac{x_1}{x_2}=\frac{I_{დაბ}}{I_{ამ}} \text{ და } k_{დაბ}=0{,}3-0.95.$$

არსებობს კონტაქტური და უკონტაქტო რელეები.

რელეს კონტაქტები წარმოადგენს მათ მეტად არასაიმედო ნაწილებს. უკონტაქტო რელეს ახასიათებს სიზუსტე, მგრძნობიარობა, სწრაფმოქმედება, საიმედოობა და ხანგრძლივობა, რადგან მას არა აქვს მოძრავი ნაწილები და ამიტომ მათ მეტად ფართოდ იყენებენ.

კონტაქტურ რელეებს მიეკუთვნება ელექტრომექანიკური რელეები (§ 11—13), რომლებიც შესავალ (ზემოქმედ) სიდიდეს გარდაქმნიან მექანიკურ მოქმედებად, რომლის შედეგსაც წარმოადგენს გამოსავალი (მართული) წრედის კონტაქტების ჩართვა ან გამორთვა. ამ ჯგუფს შეიძლება მივაკუთვნოთ ელექტრონული კონტაქტური რელეები, რომლებიც შედგებიან ელექტრომექანიკური რელესაგან ელექტრონული ან ტრანზისტორული მაძლიერებლით.

უკონტაქტო რელეები — ეს არის ელექტრონული ან ტრანზისტორული გადამრთველი მოწყობილობა, სასხლეტი მოწყობილობით ან ტრიგერებით.

რელეები ხასიათდება: 1) ამოქმედების დროით $t_{ამ}$, რაც ნიშნავს დროს შესავალი სიგნალის მიწოდების მომენტიდან მართულ წრედზე რელეს ზემოქმედების მომენტამდე. ელექტრონული უკონტაქტო რელეებისათვის ეს დრო დაახლოებით 10^{-8} წმ შეადგენს;

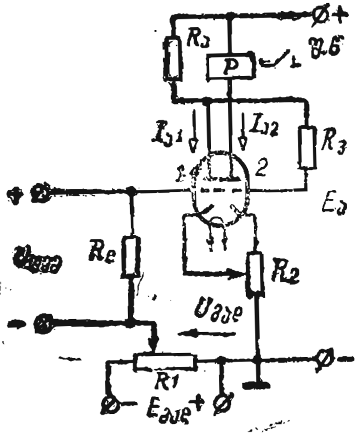
2) ამოქმედების სიმძლავრით $P_{ამ}$ — შესავალი წრედის ელექტრული სიმძლავრე, რომელიც საჭიროა რელეს საიმედო ამოქმედებისათვის, ელექტრონული რელეებისათვის მას აქვს მნიშვნელობა $10^{-6}-10^{-10}$ ვტ;

3) რელეს მგრძნობიარობით, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ რელეს ასამოქმედებლად საჭიროა შესავალი სიდიდის (ჩვეულებრივად დენის) უმცირესი მნიშვნელობა;

4) საიმედოობით, ე. ი. მუშაობაში უმწყუნებლობით.

21-2. მუდმივი ძაბვის ელექტრონული კონტაქტური რელე

21-2 ნახაზზე ნაჩვენებია ელექტრონული კონტაქტური რელეს ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა. პირველი (მარცხენა) ტრიოდის ბადესა და კათოდს შორის მოქმედებს ძაბვა, რომელიც ტოლია სამი შემდგენის ჯამისა: შესავალი $U_{შეს}$ ძაბვის, ბადური გადაწევის უარყოფითი $U_{გად}$ ძაბვისა, რომელიც მოხსნილია R_1 რეზისტორის მარჯვენა ნაწილში, და უკუკავშირის რეგულირებადი ძაბვისაგან, რომელიც მოხსნილია R_2 რეზისტორზე.



ნახ. 21-2. მუდმივი ძაბვის ელექტრონული კონტაქტური რელეს სქემა.

დადებითი შესავალი ძაბვის დროს $U_{შეს}>0$ (დადებითი იმპულსის დროს) უარყოფითი $U_{გ1}$ ძაბვა ტრიოდის ბადეზე მცირდება, რის შედეგადაც ანოდური დენი იზრდება, ხოლო ანოდური ძაბვა $U_{ა1}$ მცირდება. მეორე ტრიოდის (მარჯვენა) ბადესა და კათოდს შორის ძაბვა ტოლი იქნება

$$U_{გ2}=U_{ა1}-I_2R_2.$$

თუ ანოდური $U_{ა1}$ ძაბვა მცირეა, მაშინ ანოდური $I_{ა2}$ დენი ნაკლები იქნება P რელეს ამოქმედების დენზე და რელეს კონტაქტები იქნება განრთული.

შესავალი ძაბვის შემცირება გამოიწვევს უარყოფითი გადაწევის გადიდებას პირველი ტრიოდის ბადეზე და ამასთან მისი ანოდური დენის შემცირებას. ამ დროს ანოდური ძაბვა და ბადური ძაბვა იზრდება, რის შედეგადაც მეორე ტრიოდი იხსნება, ანოდური დენი მიაღწევს რელეს ამოქმედების დენის მნიშვნელობას და მისი კონტაქტები შეიკვრება.

$U_{შეს}$-ის რაღაც მნიშვნელობის დროს პირველი ტრიოდი ჩაიკეტება და მყარდება მდგრადი მდგომარეობა ღია მეორე ტრიოდის დროს. შესავალი ძაბვის გაზრდისას რაღაც $U''_{შეს}$ — მნიშვნელობამდე, პირველი ტრიოდი იხსნება და ხდება სქემის უკუგადაყვანა. მაშასადამე, შესავალი ძაბვის გაზრდისას ან შემცირებისას ხდება სქემის გადასვლა ერთი მდგრადი მდგომარეობიდან მეორე მდგრად მდგომარეობაში. სქემის ერთ-ერთ ზემოთ განხილულ მდგომარეობას შეესაბამება განრთული შემსრულებელი წრედი და მეორეს შეკრული.

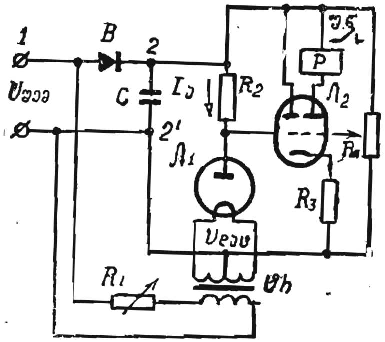
21-3. ცვლადი ძაბვის ელექტრონული კონტაქტური რელე

ნახევარგამტარიანი B ვენტილი და C კონდენსატორი (ნახ. 21-3), როცა 1,1′ — მომჭერებზე ცვლადი $U_{შეს}$ ძაბვა, უზრუნველყოფს მუდმივი ძაბვის მიღებას 2,2′ მომჭერებზე. როცა ვარვარების ძაბვა დაბალია

ვოლფრამის კათოდიანი $Л_1$ დიოდის ანოდური დენი ნაკლებადაა დამოკიდებული ანოდურ ძაბვაზე, მაგრამ მეტად ძლიერად იზრდება ვარვარების ძაბვის გადიდებისას.

$Л_2$ — ორმაგი ტრიოდი მუდმივი დენის მაძლიერებლის როლს ასრულებს.

R_3 — რეზისტორი გამოყენებულია როგორც მარცხენა ტრიოდის დამტვირთავი წინაღობა. ძაბვა მარჯვენა ტრიოდის ბადეზე, რომელზედაც ამოკიდებულია P რელეს ვამორთვის ძაბვა, რეგულირდება R_4 რეოსტატის ძვრიათი, ხოლო რელეს ამოქმედების ძაბვა — R_1 რეოსტატით.



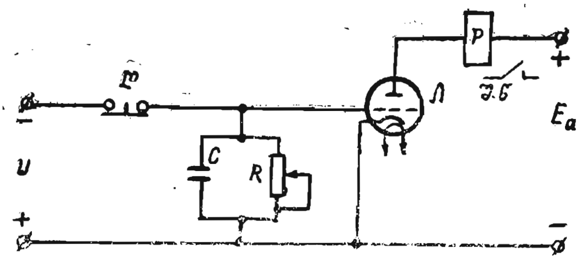
ნახ. 21-3. ცვლადი ძაბვის ელექტრონული კონტაქტური რელე.

შესავალი ძაბვის ზრდა იწვევს დიოდის ვარვარების ძაბვის ზრდას და, მაშასადამე, $Л_1$ დიოდში გასავალი დენის ზრდასაც. ამავე დროს I_a ანოდური დენი არაა დამოკიდებული U_a ძაბვის შეცვლაზე (გაჯერების რეჟიმი), ამიტომ R_2 რეზისტორზე ძაბვის ვარდნა I_aR_2 იზრდება, ხოლო ანოდური ძაბვა $Л_1$ მილაკში მცირდება. ეს იწვევს მარცხენა ტრიოდის უარყოფითი ბადური გადაწევის გაზრდას, რაც ტოლია R_3 რეზისტორში ძაბვის ვარდნისა და $Л_1$ დიოდის ანოდური ძაბვის სხვაობის, შემდეგ მარცხენა ტრიოდის დენი და R_3 რეზისტორში ძაბვის ვარდნა მცირდება. გადაწევის უარყოფითი ძაბვაც მარჯვენა ტრიოდის ბადეზე, რომელიც ტოლია R_3 რეზისტორში ძაბვის ვარდნისა და R_4 რეოსტატის ქვედა ნაწილში ძაბვათა სხვაობისა, მცირდება, ასეთი შემცირების შედეგად მარჯვენა ტრიოდის ანოდური დენი იზრდება ისეთ სიდიდემდე, რომლის დროსაც ხდება ელექტრომაგნიტური რელეს ამოქმედება და ჩაირთვება მისი შემსრულებელი წრედი.

შესავალი ძაბვის შემცირება იწვევს დიოდის ანოდური დენის შემცირებას, მისი ანოდური ძაბვის გაზრდას და მარცხენა ტრიოდის უარყოფითი ბადური გადაწევის შემცირებას. ტრიოდის ანოდური დენი იზრდება და იწვევს ძაბვის ვარდნის ზრდას R_3 რეზისტორში. გადაწევის უარყოფითი ძაბვა მარჯვენა ტრიოდის ბადეზე ასევე იზრდება, ხოლო ანოდური დენი მცირდება, რის შედეგადაც ხდება P რელეს შემსრულებელი წრედის გამორთვა.

21-4. მუდმივი დენის RC ტიპის დროის რელე

ავტომატიკის სქემებში ფართოდ გამოიყენება ელექტრონული მოწყობილობა, რომელსაც დროის ელექტრონული რელე ეწოდება; იგი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ დროის დაყოვნება საკომანდო წრედის ჩართვის ან გამორთვის მომენტსა და შემსრულებელი წრედის ჩართვის მომენტს შორის. დროის დაყოვნება შეიძლება მერყეობდეს რამდენიმე მილიწამიდან რამდენიმე წუთამდე.



ნახ. 21-4. დროის ელექტრონული რელეს სქემა.

დროის ელექტრონულ რელეში ძირითად ელემენტს, რომელიც განსაზღვრავს დროის დაყოვნებას, წარმოადგენს RC კონტური. ამ კონტურის პარამეტრები, როგორც § 18-4-დანაა ცნობილი, განსაზღვრავს C კონდენსატორის R რეზისტორზე პერიოდული განმუხტვის მიმდინარეობის სიჩქარეს, რომელიც ჩართულია ელექტრონული მილაკის კათოდსა და ბადეს შორის. ასეთი რელეს ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა მოყვანილია 21-4 ნახაზზე. $Л$ ტრიოდის ანოდური წრედი, რომელშიაც ჩართულია ელექტრომაგნიტური რელეს გრაგნილი, იკვებება E_a წყაროდან. ნორმალურად K კონტაქტები შეკრულია და მილაკის ბადესა და კათოდს შორის მოქმედებს უარყოფითი ძაბვა, რომლის დროსაც მილაკი ჩაკეტილია. ამავე ძაბვის ქვეშ იმყოფება C კონდენსატორი და R რეზისტორი. კონტაქტების განრთვისას (რელეს მოქმედების დასაწყისი) C კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას R რეზისტორზე. ძაბვა U_c კონდენსატორზე და მილაკის ბადეზე მცირდება ექსპონენციალური კანონის მიხედვით (§ 18-4), ხოლო მილაკის ანოდური დენი შესაბამისად იზრდება. როცა მილაკის ბადეზე ძაბვა მიაღწევს u_{c1} მნიშვნელობას, რომლის დროსაც მილაკის დენი აღწევს რელეს ამოქმედების დენს, რელეს კონტაქტები შემსრულებელ წრედში გამოირთვება.

დროის ნებისმიერ მომენტში განმუხტვის დროს ძაბვა კონდენსატორზე (18-24)-ის თანახმად

$$u_C = U_{C\,\text{დაწ}} e^{-t/\tau} = U_{C\,\text{დაწ}} e^{-t/RC},$$

ხოლო რელეს ამოქმედების t_1 მომენტში

$$u_{C1}=U_{C\,\text{დატ}}e^{-t_1/\tau},$$

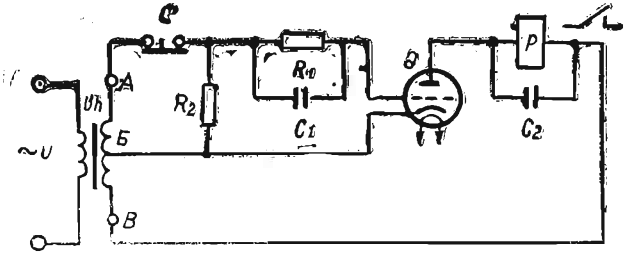
საიდანაც შეგვიძლია განვსაზღვროთ t_1 დრო, რომელმაც გაიარა რელეს მოქმედების დასაწყისიდან მისი ამოქმედების მომენტამდე,

$$t_1=RC\ln\frac{U_{C\,\text{დატ}}}{u_{C1}}.$$

რელეს ამოქმედების t_1 დროის რეგულირება და დაყენება ხდება კონტურის დროის მუდმივას $\tau=RC$ შეცვლით, რასაც R რეზისტორის წინაღობის შერჩევის გზით აღწევენ.

21-5. ცვლადი დენის RC ტიპის დროის რელე

21-5 ნახაზზე მოცემულია ცვლადი დენის დროის რელე. როცა K კონტაქტები შეკრულია და ანოდური ძაბვის ნახევარტალღა, რომელსაც ტრ ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილი ქმნის, უარყოფითია, C_1 კონდენსატორი იმუხტება. ამ კონდენსატორის R_1 რეზისტორზე განმუხტვისას აღიძვრება გადაწევის უარყოფითი ძაბვა, რომელიც ჩაკეტავს მ მილაკს. მილაკის ბადეზე უარყოფითი ძაბვის სტაბილურობისათვის, მკვებავი ძაბვის უარყოფითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში, C_1 კონდენსატორს უნდა ჰქონდეს საკმარისი ტევადობა და ცვლადი ძაბვის პერიოდთან შედარებით კონტურის დროის მუდმივა $\tau=R_1C_1$ დიდი უნდა იყოს. ამ შემთხვევაში მილაკი იქნება საიმედოდ ჩაკეტილი, რადგან გადაწევის ძაბვა დაახლოებით ტოლი იქნება ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილის $U_{\text{АБ}}$ ძაბვის ამპლიტუდისა.



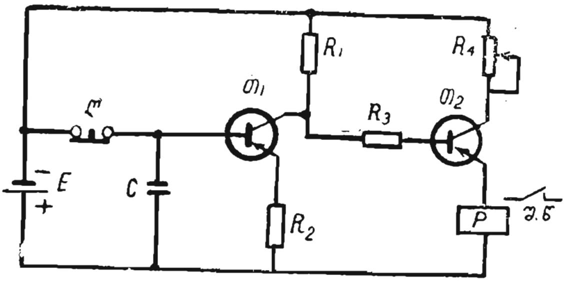
ნახ. 21-5. ცვლადი დენის RC ტიპის დროის რელეს სქემა.

ლ გასაღების განრთვით ბადური წრედი გაითიშება $AБ$ მეორეული გრაგნილიდან და R_2 რეზისტორის საშუალებით შეუერთდება მილაკის კათოდს. C_1 კონდენსატორი იცვლება R_1 რეზისტორზე და გადაწევის უარყოფითი ძაბვა შემცირდება ექსპონენტის (მაჩვენებლის) მიხედვით. ამის

შედეგად დროის რაღაც მომენტში მილაკი გაიხსნება და მისი ანოდური დენი გაიზრდება იმ სიდიდემდე, რომლის დროსაც P რელე ამოქმედდება. ბუნებრივია, ანოდური დენი გვექნება ანოდური ძაბვის მხოლოდ დადებითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში. რელეს გრაგნილში დენის ფეთქვის შესამცირებლად მას აშუნტებენ C_2 კონდენსატორით. კონდენსატორი, რადგან დაიმუხტება ანოდური დენის მაქსიმალური მნიშვნელობის დროს, განიმუხტება რელეს გრაგნილში ანოდური დენის არსებობის გარეშე და შეამცირებს დენის ფეთქვას რელეს გრაგნილში. რელე, რომელიც არ საჭიროებს მუდმივი დენის კვების წყაროს, მარტივია და ექსპლუატაციისათვის მოხერხებული.

21-6. დროის რელე ტრანზისტორებით

21-6-ე ნახაზზე მოყვანილია დროის რელეს უმარტივესი სქემა ტრანზისტორებზე. ღ კონტაქტების შეკვრისას კვების წყარო დამუხტავს C კონდენსატორს. კონტაქტების განრთვისას (რელეს მოქმედების დასაწყისი)



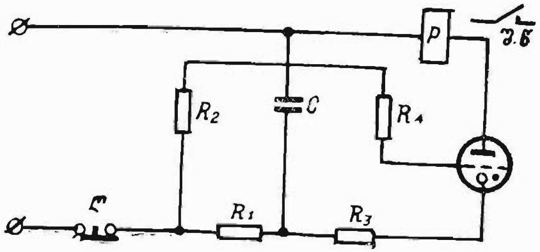
ნახ. 21-6. დროის რელეს სქემა ტრანზისტორით.

კონდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას, მცირდება უარყოფითი ძაბვა პირველი ტრანზისტორის ბაზაზე და იზრდება უარყოფითი ძაბვა მის კოლექტორზე. ამის შედეგად მცირდება ძაბვა მეორე ტრანზისტორის ბაზაზე, გაიზრდება დენი ემიტერის წრედში, რომელიც რელეს მოქმედების დაწყებიდან t დროის გავლის შემდეგ აღწევს მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ამოქმედდება ელექტრომაგნიტური P რელე.

21-7. დროის რელე ფუყვადი განმუხტვის ტირატრონით

21-7 ნახაზზე მოცემულია დროის რელეს სქემა ფუყვადი განმუხტვის ტირატრონით. ღ კონტაქტების შეკვრა მართულ ელექტროდსა და ტირატრონის კათოდს შორის გამოიწვევს ფუყვად განმუხტვას, რომლის დენი შეზღუდულია R_4 რეზისტორით. ერთდროულად C კონდენსატორი

დაიმუხტება R_1 რეზისტორის გავლით. ძაბვა კონდენსატორზე, (18-22)-ის თანახმად, მაღლდება ტირატრონის ანთების ძაბვამდე, რომლის დროსაც ანოდსა და კათოდს შორის წარმოიქმნება ფუქვადი განმუხტვა და დაიწყება კონდენსატორის განმუხტვა R_3 რეზისტორში, ტირატრონსა და P რელეს გრაგნილში. ამ დროს რელე ამოქმედდება და შემსრულებელი წრედის კონტაქტები შეიკვრება. კონდენსატორის განმუხტვის შემდეგ ტირატრონი ჩაქრება.



ნახ. 21-7. დროის რელეს სქემა ფუქვადი განმუხტვის ტირატრონით.

ფუქვადი განმუხტვის ტირატრონები საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ უფრო ნაკლებად მგრძნობიარე ელექტრომაგნიტური რელეები.

21-8. ფოტორელე

ფოტორელე წარმოადგენს ავტომატურ მოწყობილობას ფოტოელექტრონული ხელსაწყოთი, რომელიც რეაგირებს სინათლის ნაკადის ცვლილებაზე.

მუდმივი დენის ფოტორელეს უმარტივესი სქემა ФР ფოტორეზისტორით მოცემულია 21-8, ა ნახაზზე. ის შეიცავს მუდმივ E ემ ძალის წყაროს, თანამიმდევრულად შეერთებულ ფოტორეზისტორს და ელექტრომაგნიტურ რელეს გრაგნილს. ფოტორეზისტორის მგრძნობიარობა და დენი მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ელექტრონული და იონური ფოტოელემენტებისა, ამიტომ მრავალ შემთხვევაში ფოტორელეს სქემა არ შეიცავს მაძლიერებლებს, რაც საშუალებას გვაძლევს გავხადოთ ის საკმაოდ მარტივი, როგორც ეს მოყვანილია 21-8, ა ნახაზზე.

გაუნათებელი ფოტორეზისტორის წინაღობა დიდია, თითქმის 1 მომი, ასე, რომ დენი წრედში მცირეა. ფოტორეზისტორის განათებისას მისი წინაღობა მცირდება, ხოლო დენი იზრდება იმ მნიშვნელობამდე, რომლის დროსაც რელე ამოქმედდება და შეკრავს შემსრულებელი წრედის შ. წ კონტაქტებს.

21-8, ბ ნახაზზე მოცემული სქემა გამოიყენება ცვლადი დენის კვების წყაროდან მუშაობის დროს. ის წინა სქემებისაგან იმით განსხვავდება, რომ შეიცავს ნახევარგამტარიან B ვენტილს, რომელიც თანამიმდევრულადაა შეერთებული ელექტრომაგნიტური P რელესა და C კონდენსატორისაგან შემდგარ განშტოებასთან.

სქემის მომჭერებზე ცვლადი ძაბვისა და ფოტორეზისტორის განათების დროს მის წრედში პირველი ნახევარპერიოდის განმავლობაში გადის დენის ერთი ნახევარტალღა. მეორე ნახევარპერიოდის განმავლობაში დენი ფოტორეზისტორში არ გადის, მაგრამ რელეს გრაგნილში დენი არ ქრება, რადგან ამ დროს პირველ ნახევარპერიოდში დამუხტული C კონდენსატორი განიმუხტება რელეს გრაგნილში.

იმ შემთხვევებში, როცა უმარტივესი ფოტორელეს მგრძნობიარობა ფოტორეზისტორით არასაკმარისია, იყენებენ ფოტორელეს ელექტრონული მაძლიერებლებით.

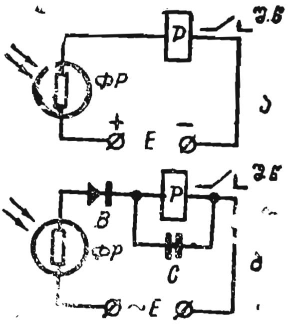
ფოტოელემენტის ჩართვის სქემის მიხედვით მიიღება ან პირდაპირი მოქმედების რელე, რომელიც ამოქმედდება „სინათლეზე“, ან უკუმოქმედების რელე, რომელიც ამოქმედდება „სიბნელეში“.

21-9. ა ნახაზზე მოცემულია პირდაპირი მოქმედების ფოტორელეს ერთ-ერთი შესაძლებელი სქემა.

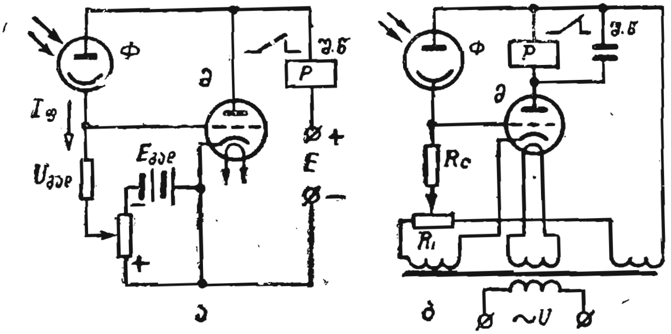
დაბნელებულ Φ ფოტოელემენტში მისი ფოტოდენი $I_ფ=0$ და მ მილაკი ჩაკეტილია, რადგან მილაკის ბადეზე მოდებულია დიდი გადაწევის $U_ბ$ უარყოფითი ძაბვა, რომელიც მიიღება $E_ბ$. ბადური გადაწევის წყაროდან. ფოტოელემენტის განათებისას გაჩნდება $I_ფ$ ფოტოდენი, რომელიც $R_ბ$ რეზისტორზე ქმნის $I_ფ R_ბ$ დადებით ძაბვას. ეს ძაბვა ამცირებს უარყოფით ბადურ ძაბვას, რის შედეგადაც მილაკი გაიღება, მისი ანოდური დენი განათების გაზრდასთან ერთად დიდდება და რაღაც განათებულობის მიღწევისას მიიღებს მნიშვნელობას, რომლის დროსაც რელე ამოქმედდება და შეიკვრება შემსრულებელი წრედის კონტაქტები. როცა ფოტოელემენტი დაბნელებულია რელეს კონტაქტები განრთულია.

თუ 21-9, ა ნახაზზე მოყვანილ სქემაში Φ ფოტოელემენტსა და $R_ბ$ რეზისტორს ადგილებს შევუცვლით, მივიღებთ უკუმოქმედების ფოტორელეს სქემას. ამ შემთხვევაში,როცა ფოტოელემენტი დაბნელებულია, რელე შეკრულია, რადგან ფოტოდენი $I_ფ=0$ და გადაწევის უარყოფითი ძაბვის წრედი განრთულია. ფოტოელემენტის განათებისას წარმოიქმნება ფოტოდენი; ბადის უარყოფითი გადაწევის წრედი შეიკვრება და მილაკიც ჩაიკეტება, დენი რელეში გაუტოლდება ნულს და შემსრულებელი წრედის კონტაქტები განირთვება.

21-9, ბ-ზე მოცემულია ფოტორელეს სქემა, რომელიც ცვლადი დენის ქსელიდან მუშაობს. დენი მ მილაკში გადის მხოლოდ იმ ნახევარპერიოდის განმავლობაში, რომლის დროსაც ძაბვა მილაკის ანოდზე დადებითია. ამ დროს საწყისი ბადური გადაწევის ძაბვა, რომელიც R_1 რეოსტატის ძვრიას მდებარეობით განისაზღვრება, უარყოფითია, ხოლო ბადური ძაბვა, ამის გარდა, დამოკიდებულია ფოტოელემენტის Ф განათებაზე. ფოტოელემენტის საკმაოდ განათების დროს მ მილაკი ძაბვის დადებითი ნახევარპერიოდის განმავლობაში ღიაა, ელექტრომაგნიტური რელეს გრაგნილებში გადის დენი და თუ ის მიაღწევს ისეთ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ამოქმედდება რელე, მაშინ შემსრულებელი წრედის კონტაქტები შეიკვრება. მკვებავი ძაბვის უარყოფითი ნახევარპერიოდის დროს მილაკის ანოდური დენი ნულის ტოლია, ხოლო დენი რელეს გრაგნილში შენარჩუნებული იქნება ადრე დამუხტული C კონდენსატორის განმუხტვის ხარჯზე.



ნახ. 21-8. რელეს სქემები ფოტორეზისტორებით.



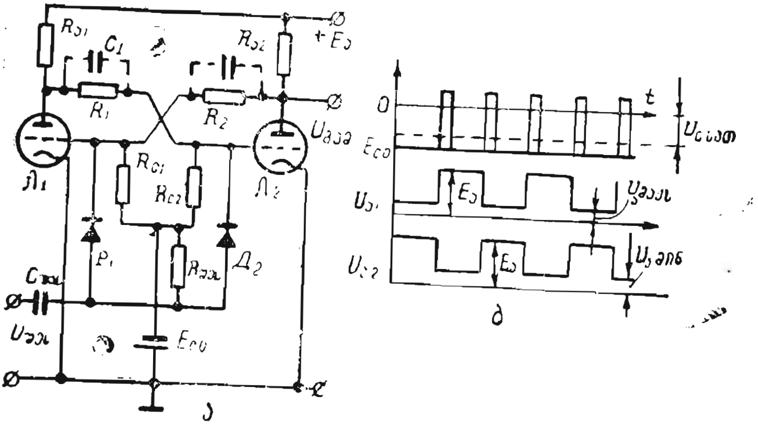
ნახ. 21-9. ფოტორელეს სქემები მილაკიანი მაძლიერებლებით. ა—პირდაპირი მოქმედების; ბ—ცვლადი დენის წრედიდან კვებით.

ფოტორელე ფართოდ გამოიყენება სამრეწველო ელექტრონიკაში, რადგან ის საშუალებას გვაძლევს კონტროლი გავუწიოთ მეტად სხვადასხვაგვარი სიდიდეების დიდ რიცხვს; როგორიცაა განათებულობა, ნაწილების გახურება და მათი ზომები, კონვეიერზე გამავალი ნაწილების რიცხვი და ა. შ.

21-9. ტრიგერი

ტრიგერი — ეს არის უკონტაქტო ელექტრონული რელე ორი მდგრადი მდგომარეობით.

ტრიგერის ერთ-ერთი სქემა ელექტრონული მილაკით მოცემულია 21-10, ა ნახაზზე.



ნახ. 21-10. მილაკიანი ტრიგერის სქემა (ა) და მისი მუშაობის დიაგრამა (ბ).

ტრიგერის ამ სქემაზე, დადებითი უკუკავშირით, Л_1 პირველი მილაკის ანოდი R_1, $R_{\text{ბ}2}$ ძაბვის გამყოფით შეერთებულია Л_2 მეორე მილაკის ბადესთან, ხოლო Л_2 მეორე მილაკის ანოდი ასეთივე R_2, $R_{\text{ბ}1}$ გამყოფით დაკავშირებულია Л_1 მილაკის ბადესთან. დადებითი შესავალი $U_{\text{შეს}}$ იმპულსები Л_1 და Л_2 მილაკების ბადურებზე შედის D_1 და D_2 დიოდებით. ჩვეულებრივად ტრიგერების სქემები შესრულებულია სიმეტრიულად $R_{\text{ა}1}=R_{\text{ა}2}$; $R_{\text{ბ}1}=R_{\text{ბ}2}$; Л_1 და Л_2 მილაკები ერთნაირია.

დადებითი უკუკავშირის გამო ტრიგერის მდგომარეობა, რომლის დროსაც ორივე მილაკი ღიაა, არამდგრადია. სქემის უმნიშვნელო ასიმეტრიაც კი იწვევს გარდამავალი პროცესის წარმოქმნას, რაც ერთი მილაკის ჩაკეტვითა და მეორე მილაკის გაღებით მთავრდება. ნამდვილად, დავუშვათ, რომ Л_1 პირველი მილაკის ანოდური დენი $I_{\text{ა}1}$ რამდენჯერმე მეტია Л_2 მილაკის $I_{\text{ა}2}$ დენზე. $I_{\text{ა}1}$ დენის ასეთი გადიდება გამოიწვევს ანოდური ძაბვის გაზრდას, რასაც მოყვება ბადური ძაბვის შემცირება Л_2 მილაკში, რადგან პირველი მილაკის ანოდი შეერთებულია მეორე მილაკის ბადესთან. შემდგომში, Л_2 მილაკის ბადური ძაბვის შემცირება გამოიწვევს $I_{\text{ა}2}$ დენის შემცირებას და, მაშასადამე, $U_{\text{ა}2}$ ძაბვის გადიდებას. ძაბვის ეს გადიდება გადაეცემა Л_1 მილაკის ბადეზე და ამის შედეგად $I_{\text{ა}1}$ ანოდური დენი კიდევ უფრო გაიზრდება. გარდამავალი პროცესი მთავრდება მაშინ,

როცა $Л_2$ მილაკი მთლიანად ჩაიკეტება, ხოლო პირველი გაიღება. ტრიგერის ასეთი მდგომარეობა იქნება მდგრადი, რაც უზრუნველყოფილია ბადური გადაწევის უარყოფითი ძაბვით, რომელიც იქმნება გადაწევის ბატარეის მიერ $E_{\text{ბ}0}$ ან ავტომატური გადაწევის RC ჯაჭვით.

დადებითი უკუკავშირის გამო გარდამავალი პროცესი მიმდინარეობს ზვავისებრად და სწრაფად მთავრდება (მიკროწამის რაღაც ნაწილში).

ტრიგერის მდგრადი მდგომარეობა გრძელდება მანამ, ვიდრე გარე იმპულსი არ შეცვლის მის მდგომარეობას. ჩაკეტილ $Л_2$ მილაკის ბადეზე დადებითი შესავალი იმპულსის მიწოდებისას $U_{\text{შეს}}$ (ნახ. 21-10, ბ) ის დაიწყებს გაღებას, მისი ანოდური ძაბვა მცირდება და გადაეცემა $Л_1$ ღია მილაკის ბადეს, რაც გამოიწვევს მისი ანოდური დენის i_{a1} შემცირებას, ხოლო $Л_1$ მილაკის i_{a1} დენის შემცირება გამოიწვევს როგორც მისი ანოდური ძაბვის, ისე $Л_2$ მილაკის ბადური ძაბვის შემცირებას. ეს უკანასკნელი კი გამოიწვევს i_{a2} დენის ზრდას და, მაშასადამე, $Л_2$ მილაკის ანოდური ძაბვის დადაბლებას. ანოდური დენისა და ძაბვის შეცვლის პროცესი გრძელდება $Л_1$ მილაკის სრულ ჩაკეტვამდე და $Л_2$ მილაკის გაღებამდე. ტრიგერის ახლად მიღებული მდგრადი მდგომარეობა გრძელდება შემდეგ შესავალ გამშვებ იმპულსამდე.

ტრიგერის ერთი მდგრადი მდგომარეობიდან მეორეში გადაყვანა შეიძლება მოხდეს უარყოფითი იმპულსებითაც, რომელიც უნდა მივაწოდოთ ღია მილაკის ბადეზე, თუ ამ დროს D_1 და D_2 დიოდების ანოდები შეერთებული იქნება მილაკების ბადეებთან.

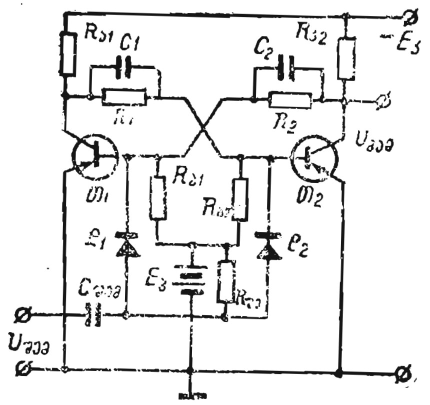
R_1 და R_2 რეზისტორების პარალელურად ჩართული C_1 და C_2 კონდენსატორების (ნაჩვენებია წყვეტილი ხაზით) დანიშნულებაა ტრიგერის ერთი მდგრადი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის სიჩქარის გაზრდა და აგრეთვე ტრიგერის წინა მდგომარეობის „დამახსოვრება“ გადაყვანის მომენტში, ორივე ბადეზე ამუშავების დროს.

ტრიგერებში ხშირად გამოიყენება ორმაგი ტრიოდები (მაგალითად, 6Н2П; 6Н15П; 6Н8С).

ელექტრონმილაკიანი ტრიგერების გარდა, გამოიყენება ტრიგერები ტრანზისტორებით, რომლის ერთ-ერთი სქემა მოცემულია 21-11 ნახაზზე. ტრანზისტორული ტრიგერები სქემისა და მუშაობის პრინციპით მილაკიანი ტრიგერების ანალოგიურია.

თუ T_1 ტრანზისტორს ჩავკეტავთ, მაშინ მისი კოლექტორის დიდი უარყოფითი პოტენციალი ძაბვის R_1, $R_{\text{ბ}2}$ გამყოფით გადაეცემა T_2-ის ბაზასა და შესაბამის R_1, $R_{\text{ბ}2}$ წინაღობებს. T_2-ის ბაზაზე იქნება უარყოფითი პოტენციალი. T_2 ტრანზისტორი გაიღება, ხოლო ძაბვა ღია ტრანზისტორის კოლექტორზე ნულთან ახლოსაა. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გამყოფის ($R_2R_{\text{ბ}1}$) ზედა წერტილის პოტენციალი თითქმის ნულის ტოლია იმ დროს, როცა პოტენციალი ამ გამყოფის ქვედა წერტილში დადებითი

და $E_\text{კ}$-ის ტოლია, მაშასადამე, T_1 ბაზა დადებითი პოტენციალის ქვეშ იქნება ემიტერის მიმართ და T_1 ჩაკეტილია.



ნახ. 21-11. ტრანზისტორული ტრიგერის სქემა.

იმისათვის, რომ ტრიოდები გადავიყვანოთ მეორე მდგომარეობაში, როცა T_1 ღიაა, ხოლო T_2 ჩაკეტილი, საჭიროა დადებითი იმპულსი მივაწოდოთ T_2 ბაზას. ამ დროს ტრიგერის სქემაში ვითარდება დენების ცვლილების ზვავისებრი პროცესი. T_2 ტრანზისტორი იკეტება და ჩაკეტილია მანამ, ვიდრე არ მივაწოდებთ კიდევ ერთ ამუშავების იმპულსს.

ტრანზისტორიანი ტრიგერების ღირსებიდან შეიძლება აღვნიშნოთ: მცირე გაბარიტები, მასა, ღირებულება და მოხმარებული სიმძლავრე, მუშაობის დიდი საიმედოობა. ნაკლოვანებებია: გამოსავალი ძაბვის ნაკლები ამპლიტუდა $U_{\text{გამ. მაქს}} = 0,8 \div 0,9E_\text{კ}$ ($E_\text{კ} = 10 \div 15$ ვ) და მუშაობის დამოკიდებულება გარემომცველი გარემოს ტემპერატურაზე.

ტრიგერები ფართოდ გამოიყენება ავტომატურ დანადგარებში, გამოთვლით ტექნიკაში და მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვა დარგებში.

ოცდამეორე თავი

გამოთვლითი ტექნიკის საფუძვლები

22-1. ზოგადი ცნობები გამომთვლელ მანქანებზე

თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის მიღწევებმა საშუალება მოგვცა ძველი გამომთვლელი მანქანები შეგვეცვალა ახალი მაღალმწარმოებლური ელექტრონული მანქანებით. ასეთი მანქანები გამოიყენება ისეთი რთული ამოცანების გადასაწყვეტად, როგორიცაა კოსმოსური ხომალდებისა და თანამგზავრების მართვა, ატომური რეაქტორების მოქმედე-

ბაში მოყვანა და სხვ. ამჟამად ეს მანქანები გამოიყენება ეგრეთ წოდებული საწარმოო პროცესებისადმი მართვის ავტომატიზებული სისტემების შექმნის დროს. გამომთვლელი მანქანები გამოიყენება აგრეთვე თავდაცვით საქმეში. ჩვენს შემთხვევაში განხილული იქნება მხოლოდ ელექტრონული ციფრობრივი გამომთვლელი მანქანები, ე. ი. დისკრეტული მოქმედების მანქანები.

ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები იყოფა სამ კლასად:

1. უნივერსალური გამომთვლელი მანქანები სხვადასხვაგვარი მათემატიკური ამოცანებისათვის. მაგალითად, ЕС ЭВМ, БЭСМ-6 შრომატევადი სამეცნიერო ამოცანებისათვის; „ურალი-14“, „ურალი-16“ — სტატიკური გამოთვლითი სამუშაოებისათვის და „ნაირი“, „მირი“ — მცირე მანქანები ინჟინრული გაანგარიშებისათვის.

2. მართული გამომთვლელი მანქანები „დნეპრი-1“, დნეპრი-2“, АСВТ М-6000 — სხვადასხვა პროცესებისა და ობიექტების, მსხვილი საწარმოების მართვისათვის.

3. სპეციალიზებული გამომთვლელი მანქანები, რომლებიც გამოიყენება მარტივ ამოცანათა ამოსახსნელად — ეს მანქანები ზომებით არაა დიდი და შეზღუდული შესაძლებლობა აქვს.

22-2. ელექტრონული ციფრობრივი გამომთვლელი მანქანების სტრუქტურული სქემის აგების პრინციპი (ეგმ)

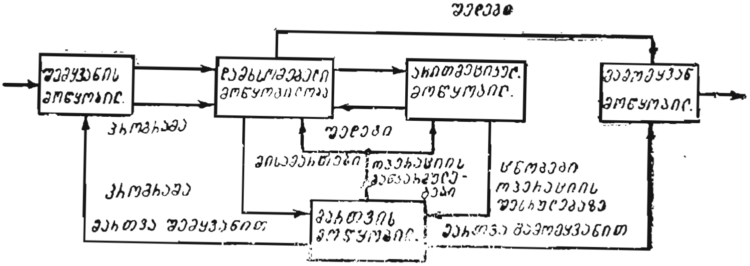
თუ საჭიროა ერთი ტიპის ამოცანების გადაწყვეტა, მაგალითად, კვადრატული ფესვის ამოღება, მაშინ შეიძლება შევადგინოთ უმარტივესი თანამიმდევრული ოპერაციების სისტემის ისეთი დაწვრილებითი და ზუსტი მიწერილობა, რომელთა შესრულებისას ამოცანას ასრულებს ნებისმიერი ადამიანი საქმის არსის ყოველგვარი გაგების გარეშე. ასეთ მიწერილობას, ანუ პროგრამას ა л გ ო რ ი თ მ ი ეწოდება.

თვით სახელწოდება გამომდინარეობს მე-9 საუკუნის უზბეკი მათემატიკოსის ალ-ხორეზმის სახელიდან, რომელმაც პირველმა მოგვცა ასეთი მიწერილობის შედგენის წესები. ადამიანისაგან მოითხოვება მხოლოდ არამრავალრიცხოვანი უმარტივესი ოპერაციების რუტინული ზუსტი შესრულება.

ელექტრონული ტექნიკის თანამედროვე მდგომარეობაში ადამიანის ეს პრიმიტიული მოქმედება შეუძლია შეასრულოს გამომთვლელმა მანქანამ ადამიანისათვის მიუღწეველი სისწრაფითა და სიზუსტით, თუ მას მოვამარაგებთ სათანადო პროგრამით. ასეთი ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის სანიმუშო სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია 22-1 ნახაზზე.

მ ა რ თ ვ ი ს მ ო წ ყ ო ბ ი ლ ო ბ ა მიმდევრობით ასრულებს პროგრამით გათვალისწინებულ ყველა ოპერაციას. ის დაკავშირებულია ი ნ-

ფორმაციის შეყვანისა და გამოყვანის მოწყობილობებთან. ეს მოწყობილობანი ახორციელებენ ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის კავშირს გარე სამყაროსთან, ისინი არ წარმოადგენენ მანქანასთან ერთმთლიანს და მისგან განსხვავდებიან სწრაფმოქმედებით მეტისმეტად.



ნახ. 22-1. ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის სტრუქტურული სქემა.

შეყვანის მოწყობილობით მანქანაში პერფორირებული რუკებისა და ლენტების მეშვეობით შეჰყავთ საწყისი ინფორმაცია, ხოლო გამოყვანის მოწყობილობიდან ინფორმაცია ელექტრონულ-სხივური მილაკის ეკრანზე გამოჩნდება დაბეჭდილი ნიშნების მრუდების, გამოსახულების ან პერფორუკასა და პერფოლენტზე ნახვრეტების სახით.

ამგვარად, შეყვანისა და გამოყვანის მოწყობილობა წარმოადგენს ინფორმაციის გარდამქმნელებს და რადგან მექანიკური ნაწილები აქვს, ამის გამო გააჩნია მცირე სწრაფმოქმედება — საშუალოდ 600 პერფორუკა წუთში (2000-მდე). მანქანის შიგნით ინფორმაცია წარმოდგენილია ელექტრული სიგნალების სახით, რითაც აიხსნება მისი სწრაფმოქმედება მილიონზე მეტი ოპერაცია წამში.

მართვის მოწყობილობა დაკავშირებულია დამხსომებელ მოწყობილობასთან, რომელიც ინახავს საწყის მონაცემებს, პროგრამის, საშუალო და საბოლოო გადაწყვეტის შედეგებს და სხვ. ის შედგება ორი ცალკეული ბლოკისაგან: გარე დამხსომებელი მოწყობილობისაგან, ანუ დიდი ტევადობის დამგროვებლისაგან, რომელიც მონაცემების წაკითხვისა და ჩაწერისათვის მოითხოვს მნიშვნელოვან დროს, და ოპერაციული დამხსომებელი მოწყობილობისაგან, რომელიც ინახავს მხოლოდ იმ ცნობებს, რომლებიც განუწყვეტლივ და სწრაფად იხმარებიან გამოთვლისას და დიდხანს არ უნდა ინახებოდეს.

არითმეტიკული მოწყობილობა ასრულებს არითმეტიკულ და ლოგიკურ ოპერაციებს დამხსომებელი მოწყობილობიდან მიღებულ რიცხვებზე.

ამგვარად, მართვის დამხსომებელი და არითმეტიკული მოწყობილობები წარმოადგენს ძირითადს ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებში და საშუალებას გვაძლევს ორგანიზაცია გავუკეთოთ მთელ ავტომატურ გამოთვლით პროცესს.

22-3. ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების ცალკეული ბლოკების ურთიერთქმედება

მანქანის მუშაობა იწყება იმით, რომ შეყვანის მოწყობილობით ოპერაციულ დამხსომებელ მოწყობილობაში შეიყვანება პროგრამა. ის შედგება განკარგულებებისაგან, რომლებითაც ზუსტად და მტკიცე თანამიმდევრობით ჩამოითვლება მანქანის ყველა მომავალი მოქმედება: აიღე რიცხვი, საიდანაც უნდა აიღო, რა უნდა გაუკეთო მას, სად უნდა მოათავსო გამოთვლის შემდეგ, შეწყვიტე მუშაობა და ა. შ. ყველაფერი ეს გადაეცემა კოდირებულად ელექტრული სიგნალების სახით.

თითოეული განკარგულება შედგება ორი ნაწილისაგან: ოპერატიული, რომელიც უჩვენებს რა ვაკეთოთ, და სამისამართო, რომელიც განსაზღვრავს რიცხვს, რომელზეც უნდა მოვახდინოთ მათემატიკური ოპერაცია. პირველ ნაწილში პირობითი რიცხვით, რომელსაც ოპერაციის კოდი ან შიფრი ეწოდება, ნაჩვენებია, რომ აუცილებელია შესრულდეს. მაგალითად, 01 — მიუმატე, 02 — გამოაკელი, 03 — გაამრავლე, 04 — გაყავი და ა. შ. განკარგულების მეორე ნაწილში ნაჩვენებია არა თვით რიცხვები, არამედ ის ადგილი, საიდანაც უნდა აიღოს.

თითოეული რიცხვი დამხსომებელ მოწყობილობაში თავსდება ცალკეულ უჯრედში. ამ უკანასკნელს აქვს თავისი ნომერი, რომელსაც ამ უჯრედის მისამართი ეწოდება. ამგვარად, განკარგულება 01 0025 0030 0175 უბრძანებს შეკრიბოს უჯრედიდან აღებული რიცხვი 0025, თუ უჯრედის რიცხვია 0030 და შედეგი ჩადის დამხსომებელი მოწყობილობის 0175 უჯრედში. ოპერატიულ დამხსომებელ მოწყობილობაში პროგრამის შეყვანის შემდეგ ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის მთელი მუშაობა ავტომატურად მიმდინარეობს.

როგორც აღვნიშნეთ, ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის მართვა ხდება ძაბვის ან დენის ელექტრული იმპულსების მეშვეობით, რომლებიც ძლიერდებიან, ყალიბდებიან სწორკუთხოვანი ფორმის მისაღებად და განსაზღვრული პირიქით კომბინაციებში შეუძლიათ წარმოადგინონ რიცხვები. ეს იმპულსები ყალიბდება მართვის მოწყობილობაში და მათი საშუალებით ხორციელდება რიცხვებისა და განკარგულებების შერჩევა დამხსომებელი მოწყობილობიდან. მისამართის შესაბამისად რიცხვები დამხსომებელი მოწყობილობიდან გადაეცემა არითმეტიკულ მოწყობილობას, სადაც მათზე სრულდება გამოთვლითი ოპერაციები, როგორც განკარგულების კოდი

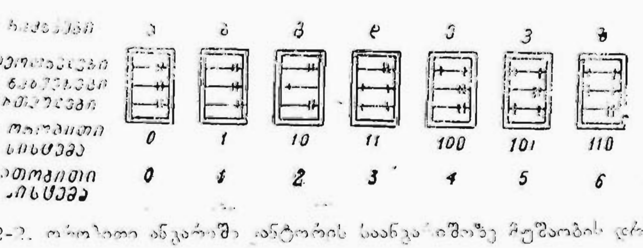
უჩვენებს. გამოთვლის შედეგი გადაეცემა უკან დამხსომებელ მოწყობილობას განკარგულებაში ნაჩვენები მისამართით. ოპერაციის დამთავრების შემდეგ მართვის მოწყობილობა არითმეტიკული მოწყობილობისაგან მიიღებს პასუხს ოპერაციის შესრულების შესახებ და გადადის პროგრამის შემდეგ განკარგულებაზე.

22-1. ათვლის ორობითი სისტემა

ჩვეულებრივ გამოთვლებში ვსარგებლობთ ა თ ო ბ ი თ ი პოზიციური სისტემით. ამ სისტემაში 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ნიშნები, რომლებსაც ციფრები ეწოდება, წარმოადგენს ნულს და პირველ ცხრა მთელ რიცხვს. რიცხვი ათი, რომელიც სისტემის საფუძველია, აღინიშნება ორი ციფრით 1 და 0. წარმოდგენილი მწკრივის თითოეულ ციფრს აქვს სხვადასხვა მნიშვნელობა (წონა) მისი პოზიციისა და რიცხვში მისი ადგილის მიხედვით. მაგალითად, რიცხვში 345,2 მძიმის მარჯვნივ ორი მეათედი ($2 \cdot 10^{-1}$); მძიმიდან მარცხნივ ხუთი ერთეული ($5 \cdot 10^{0}$); ოთხი ათეული ($4 \cdot 10^{1}$) და სამი ასეული ($3 \cdot 10^{2}$). ყველა ეს რიცხვი შეიძლება დავწეროთ შემდეგნაირად:

$$345,2 = 3 \cdot 10^{2} + 4 \cdot 10^{1} + 5 \cdot 10^{0} + 2 \cdot 10^{-1}.$$

ნებისმიერი სისტემის მრიცხველს რიცხვების საჩვენებლად, მოცემულ შემთხვევაში უნარი უნდა ჰქონდეს მიიღოს ათი მდგრადი მდგომარეობა. ასეთი მრიცხველის დასამზადებლად და მის ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებში გამოსაყენებლად საჭირო იქნებოდა ბევრი ძვირად ღირებული ნაწილები. ამიტომ მათში გამოყენებულია ათვლის სისტემა საფუძვლით 2, რომელსაც ეწოდება ო რ ო ბ ი თ ი და საჭიროებს მოწყობილობას მხოლოდ ორი მდგრადი მდგომარეობით, ვინაიდან ამ სისტემაში გვაქვს მხოლოდ ორი ციფრი 0 და 1. როცა პირველ (მარჯვენა) თანრიგში ერთის ადგილზე უნდა გამოჩნდეს რიცხვი ორი (2), ორიანი გადააქვთ ერთის სახით (1) უფროს თანრიგში, ხოლო უმცროსში სვამენ ნულს (0).



ნახ. 22-2. ორობითი ანგარიში კანტორის საანგარიშოზე მუშაობის დროს.

ასეთ ანგარიშს ადვილად წარმოვიდგენთ საბუღალტრო საანგარიშოზე, რომელსაც თითოეულ ჩხირზე აქვს მხოლოდ ორი ქვა (ნახ. 22-2).

ა მდებარეობაში ათობით და ორობით სისტემაში მრიცხველი გვიჩვენებს ნულს. ბ მდებარეობაში ორივე სისტემაში თითო-თითოს. გ მდებარეობაში ათობით სისტემის დროს რიცხვი 2, ხოლო ორობითი სისტემის დროს რიცხვს 10 (იკითხება ერთინული), ე. ი. ერთიანი არ არის, ხოლო ორიანი ერთი. როცა ათობითი სისტემის დროს უნდა იყოს რიცხვი 3, მაშინ ორობითის დროს — რიცხვი 11 (ერთი-ერთი), ე. ი. ერთი ორიანი და ერთიც ერთიანი და ა. შ.

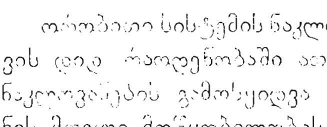
მაგალითად: ორობითი სისტემის რიცხვს 1011,1 მძიმიდან მარჯვნივ აქვს ერთი ნახევარი $(1\cdot2^{-1})$ და მძიმიდან მარცხნივ ერთი ერთიანი $(1\cdot2^0)$, ერთი ორიანი $(1\cdot2^1)$, ნული ოთხიანი $(0\cdot2^2)$ და ერთი რვიანი $(1\cdot2^3)$, ე. ი.

$$(1011,1)_2=1\cdot2^3+0\cdot2^2+1\cdot2^1+1\cdot2^0+1\cdot2^{-1}=8+0+2+1+0,5=(11,5)_{10}.$$

ინდექსები 2 და 10 აღნიშნავენ სისტემის საფუძველს.

ამგვარად, ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებში ორობითი სისტემის დროს მრიცხველს თითოეულ თანრიგში უნდა ჰქონდეს მოწყობილობა, რომელიც იმუშავებს გასაღების პრინციპით და მიიღებს მხოლოდ ორ მდგრად მდგომარეობას: ჩართულია-გამორთულია. სწორედ ტრიგერული ელემენტარული გასაღები (იხ. § 21-9) გამოიყენება ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებში.

გასაღების ეს მდგომარეობები მმართველი იმპულსების ზემოქმედებით ღებულობს: ჩართულია-გამორთულია: არის ძაბვის სიგნალი — არაა სიგნალი: მაგნიტური ლენტის უბანი დამაგნიტებულია — არაა დამაგნიტებული და ა. შ. მაგალითად, ორობითი რიცხვი 10111 შეიძლება გადაეცეს ძაბვის სიგნალებით (იმპულსებით), როგორც ნაჩვენებია 22-3 ნახაზზე.



ნახ. 22-3. იმპულსების სერიებით ორობითი რიცხვის გადაცემა.

ორობითი სისტემის ნაკლოვანება მდგომარეობს მრიცხველის გამოსავლის დიდ რაოდენობაში ათობით სისტემასთან შედარებით. მაგრამ ამ ნაკლოვანების გამოსწორება ხდება ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის მთელი მოწყობილობის დიდი სიმარტივით. ორობითი რიცხვის ჩანაწერის შესამცირებლად ამოცანების გადასაწყვეტად მომზადების დროს გამოიყენება რვაობითი სისტემა, ხოლო ელექტრონული გამომთვლელი მანქანიდან დასკვნისათვის მასალის მომზადების დროს — ორობით-ათობითი სისტემა, რაზედაც ქვემოთ გვექნება ლაპარაკი.

22-3. არითმეტიკული მოქმედებანი ორობითი რიცხვებით

ორობითი სისტემის უდიდესი ღირსებაა არითმეტიკული მოქმედების სიმარტივე, რაც ისეთნაირადვე ხდება, როგორც ათობით სისტემაში. ამისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ ქვემოთ მოყვანილი ცხრილებით.

ა) მიმატება

მაგალითი 22-1. შევკრიბოთ ორი რიცხვი, რომლებიც გამოსახულია მარცხნივ ათობით სისტემაში, ხოლო მარჯვნივ — ორობითში.

1	11	— გადატანა
25+	11001	— პირველი შესაკრები
19	10011	— მეორე შესაკრები
44	101100	— ჯამი

ათობით სისტემაში 5+9 ერთეულის შეკრების დროს (ე. ი. ერთი ათეული) გადაიტანება ათეულების უფროს თანრიგში და ემატება ათეულების რიცხვს 2+1. ზუსტად ასევე ორობით სისტემაშიც: პირველი (მარჯვენა) თანრიგის ორი ერთეული გვაძლევს ორიანს, რომელიც, როგორც ერთიანი, გადადის ორიანების თანრიგში, ხოლო პირველი თანრიგის ჯამში მიიღება ნული. მეორე თანრიგის (ორიანები) ორი ერთეული ჯამში გვაძლევს ოთხიანს, რომელიც როგორც ერთიანი, გადაიტანება ოთხიანების თანრიგში. ორიანების ჯამი თანრიგში ნულის ტოლია. ხოლო ოთხიანების თანრიგში — ერთის და ა. შ.

ბ) გამოკლება

მაგალითი 22-2.

25	11001	— საკლები
−19	10011	— მაკლები
06	00110	— სხვაობა

გამოკლების დროს ათობით სისტემაში ათეულების თანრიგიდან დაგვჭირდა ერთის სესხება და სხვაობა ექვსის ტოლია. ორობითი სისტემის დროს სესხების შემთხვევაში უფროსი თანრიგიდან გვიწევს ორიანის, ოთხიანის სესხება და ა. შ. ამ მაგალითის პირველ თანრიგში სხვაობა ნულის ტოლია. მეორე თანრიგში ნასესხებ ორიანს ვაკლებთ ერთს და სხვაობაში გვრჩება ერთი. მესამე თანრიგში რჩება ერთი, ხოლო მეოთხე და მეხუთეში — ნული.

ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებში გამოკლება ჩვეულებრივად იცვლება უკუკოდით ჩაწერილი რიცხვების მიმატებით, ე. ი. როცა რიცხვების ერთეულები შეცვლილია ნულებით, ხოლო ნული — ერთეულებით.

ასეთი შეკრება მოყვანილია მე-3 მაგალითში.

მაგალითი 22-3.

25	11001
81	01100
(1)06	100101
	− 1
	110

ათობითი სისტემის დროს ეს კეთდება შემდეგნაირად: სამცირი 25 იკრიბება რიცხვთან, რომელიც მამცირს შეავსებს ერთითა და ნულებით გამოსახულ რიცხვამდე (100 - 19 = 81) და ჯამში ამოვარდება უფროსი თანრიგის ერთიანი. პასუხი მიიღება ექვსი ისე, როგორც ჩვეულებრივი გამოკლებისას.

ორობით სისტემაში რიცხვს 11001 უმატებენ რიცხვს 10011, რომელიც ჩაწერილია უკუკოდით, ე. ი. რიცხვი 01100. შემდეგ ჯამის უფროსი თანრიგის ერთიანი გადაიტანება უმცროს თანრიგში და ემატება მას. პასუხი მიიღება იგივე, რაც გამოკლებისას. ყველაფერი ეს სრულდება დამოუკიდებლად ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის არითმეტიკული მოწყობილობის მიერ.

გ) გამრავლება

გამრავლების დროს გამოიყენება გამრავლების ტაბულა.

მაგალითი 22.4.

4 გავამრავლოთ ორობით სისტემაში 100 101-ზე:

$$\begin{array}{r} \times\ 100 \\ 101 \\ \hline 100 \\ 100 \\ \hline 101\ldots \end{array}$$

ამრიგად, ერთზე გამრავლების დროს სამრავლი რიცხვი გადაიწერება შესაბამის თანრიგში, ხოლო ნულზე გამრავლებისას ხდება გადაწევა მარცხნივ ერთი თანრიგით. ყველა გამრავლება მიიყვანება გასამრავლებელი რიცხვის გადაწევამდე ერთი თანრიგით და შეკრებამდე, რაც სრულდება არითმეტიკული მოწყობილობით.

დ) გაყოფა

გაყოფა დაიყვანება გასაყოფიდან გამყოფის მრავალჯერად გამოკლებამდე და მიღებული ნაშთის შევსებაში მარჯვნიდან. გაყოფისას გამოიყენება გამრავლებისა და გამოკლების ტაბულები.

მაგალითი 22.5.

$$\begin{array}{r|l} -\,111000 & 1000 \\ 1000 & \overline{111} \\ \hline -\,1100 & \\ 1000 & \\ \hline -\,1000 & \\ 1000 & \\ \hline 0000 & \end{array}$$

ე. ი. 56 : 8 = 7.

ვინაიდან გამრავლება იცვლება მრავალჯერადი მიმატებით, ხოლო გაყოფა — მრავალჯერადი გამოკლებით და გამოკლება შეიძლება შეცვლილ იქნეს მიმატებით, ამიტომ ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ყველა არითმეტიკული მოქმედება დაიყვანება მიმატებამდე.

22.3. ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ზოგიერთი ელემენტის მუშაობის პრინციპი

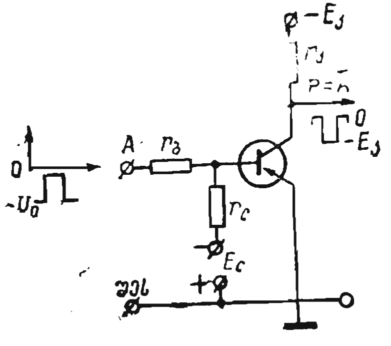
თანამედროვე ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ყველა სქემა შედგება მარტივი ლოგიკური ელემენტებისაგან, რომლებიც შექმნილია მათემატიკური ლოგიკის საფუძველზე და რომლის წესები მოგვცა ინგლისელმა მათემატიკოსმა დ. ბულმა (1915—1864). ზოგიერთი ამ ელემენტთაგანი, რომლებიც რეალიზაციას უკეთებენ ძირითად ლოგიკურ ფუნქციებს; კერძოდ *НЕ*, *И* და *ИЛИ* ელემენტები მოყვანილია ქვემოთ.

ა) НЕ ტიპის ელემენტი

22-4 ნახაზზე წარმოდგენილია სქემა НЕ, რომლის *A* შესავალზე შემოდის სიგნალი წინა სქემის კოლექტორული დატვირთვიდან (ეს სქემა ნახაზზე ნაჩვენები არაა).

სიგნალის დონე მერყეობს U_0 მნიშვნელობიდან, რაც შეესაბამება 0 კოდს, 0 მნიშვნელობამდე, რაც შეესაბამება 1 კოდს. *P* გამოსავალზე უნდა გამოჩნდეს მიწოდებულის უკუსიგნალი, ე. ი. $P = \bar{A}$, რაც იკითხება ასე: *P* არ უდრის *A*-ს. ტრანზისტორი მუშაობს გასაღების რეჟიმზე „გააღე-დახურე“.

დავუშვათ, საწყის მდგომარეობაში *A* შესავალზე მიწოდებულია კოდი 0, ე. ი. უარყოფითი U_0 ძაბვა, მაშინ ბაზასა და ემიტერს შორის შეიქმნება საჭირო პოტენციალთა სხვაობა, ტრანზისტორი გაიღება და პრაქტიკულად მთელი ძაბვა ($-E_კ$) მიეწოდება $R_კ$ რეზისტორს, ხოლო გამოსავალზე მყარდება პოტენციალი, რომელიც ნულთან ახლოსაა.



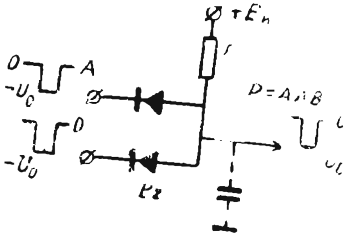
ნახ. 22-4. НЕ ლოგიკური სქემა.

შესავალზე 1 კოდის გამოჩენისას, ე.ი. ნულოვანი ძაბვისას, ბაზის პოტენციალი მაღლდება და ტრანზისტორი ჩაიკეტება. ტრანზისტორის

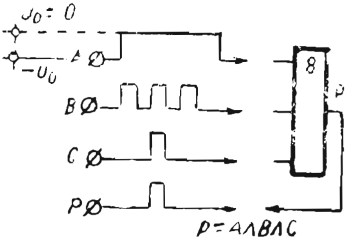
დენი გახდება ნულის ტოლი და გამოსავალი პოტენციალი პრაქტიკულად აღმოჩნდება $-E_k$-ს ტოლი.

ბ) И ტიპის ელემენტები (დამთხვევის სქემები)

დიოდურ-რეზისტორული სქემა И ორი შესავლით ნაჩვენებია 22-5 ნახაზზე. ის რეალიზაციას უკეთებს $P=A\wedge B$ სახის ლოგიკურ ოპერაციას, რაც შემდეგნაირად იკითხება: P ოპერაცია შესრულდება მხოლოდ მაშინ, თუ ერთდროულად ხორციელდება A და B ოპერაციები. სქემის შესავლის რაოდენობა შეიძლება ორზე მეტიც იყოს. დიოდების პირდაპირი წინაღობები ამ სქემებში უნდა იყოს არა უმეტესი 100 — 200 ომისა, ხოლო უკუწინაღობა — რამდენიმე მეგაომამდე. $r_и$ წინაღობა ათასეული ომია.



ნახ. 22-5. И დიოდური სქემა.



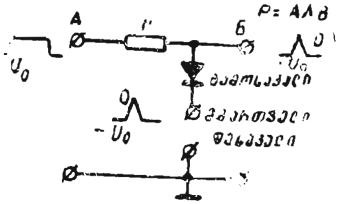
ნახ. 22-6. დროითი დიაგრამა И სქემის სამ შესავალზე.

თუ საწყის მდგომარეობაში ერთ ან ორივე A და B შესავალზე მიეწოდება U_0 სიგნალი (კოდი O), მაშინ ერთი ან ორი დიოდი ატარებს დენს ემ ძალის $+E_и$ ზემოქმედებით. ყველა ძაბვის ვარდნა თავმოყრილია $R_и$ რეზისტორში, ხოლო P გამოსავალს გადაეცემა დაბალი $-U_0$ პოტენციალი. თუ შესავლებზე მივაწოდებთ 1 კოდის სიგნალებს, ე. ი. არა ნულის ტოლ ძაბვას, მაშინ ორივე დიოდი ჩაიკეტება, რეზისტორის წრედში დენი დაეცემა და გამოსავალზე წარმოიქმნება ნულოვანი პოტენციალი, ანუ 1 კოდის სიგნალი. 1 კოდის სიგნალის გაქრობისას თუნდაც ერთ-ერთ შესავალზე, შესაბამისი დიოდი გაიღება და ძაბვა გამოსავალზე დაეცემა $-U_0$-მდე (კოდი O).

სქემის დროითი დიაგრამა სამი შესავლით ნაჩვენებია 22-6 ნახაზზე. სიგნალი P გამოსავალზე გამოჩნდება, მხოლოდ 1 კოდი სიგნალების ერთდროულად გამოჩენის დროს, ე. ი. ძალაშია განტოლება $P=A\wedge B\wedge C$.

22-7 ნახაზზე გამოსახულია И სქემა ორი შესავლით, რომელსაც ზოგჯერ ვენტილს უწოდებენ და მისი დანიშნულებაა გაუშვას ან დაიჭიროს

სიგნალი. სქემას არა აქვს ცალკე $E_{п}$ კვების წყარო. სქემის მუშაობა შეიძლება განვიხილოთ გასაღების რეჟიმით, რადგან დიოდს აქვს ორი მდგომარეობა: როცა ის ატარებს დენს (ღიაა) და როცა ის დენს არ ატარებს (ჩაკეტილია).



ნახ. 22-7. ვენტილის მუშაობის სქემა.

თუ A შესავლის მაღლა წერტილში მიეწოდება სწორკუთხოვანი დადებითი იმპულსი, მაშინ დიოდში გაივლის დენი ანოდიდან კათოდისაკენ და მმართველი შესავლის ელექტრული წრედით, რომელიც ნახაზზე არაა ნაჩვენები, დამიწებისაკენ. r რეზისტორის წინაღობა დიდია და დიოდის უმნიშვნელო წინაღობის დროს პრაქტიკულად მთელი ძაბვა მოდის r რეზისტორზე. გამოსავლის $Б$ წერტილის პოტენციალი არ განსხვავდება მიწის პოტენციალისაგან. ამგვარად, გამოსავალზე ნული—იმპულსი არ გადაცემულა. მაგრამ A შესავალზე და მმართველ შესავალზე B დადებითი იმპულსების ერთდროულად მიწოდების დროს დიოდი ჩაიკეტება, დენი უტოლდება ნულს, r-ში ძაბვის ვარდნაც ნულის ტოლია და წერტილის პოტენციალიც ტოლი ხდება A წერტილის პოტენციალისა, რომელიც გამოსავალზე ერთის ტოლია.

გ) ИЛИ ტიპის ელემენტები

დიოდურ-რეზისტორული სქემა ИЛИ (შემკრები სქემა) ნაჩვენებია 22-8 ნახაზზე. ის რეალიზაციას უკეთებს $P = A \vee B$ სახის ლოგიკურ ოპერაციას, რაც შემდეგნაირად იკითხება: P ოპერაცია შეიძლება შესრულდეს იმ შემთხვევაში, თუ სიგნალი შედის A შესავალზე ან B შესავალზე, ანდა ორივეზე ერთად, ამიტომ სქემამ მიიღო სახელწოდება შემკრები.

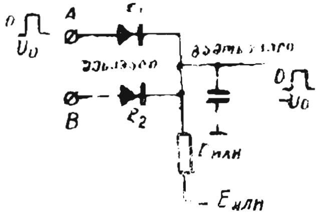
სიგნალების უმნიშვნელოდ დამახინჯებისათვის სქემის პარამეტრებს შეარჩევენ შემდეგნაირად:

$$R_{\text{и.пн}} \gg R_{\text{დ. პირ}} \text{ და } |-E|_{\text{и.пн}} > |-U_0|.$$

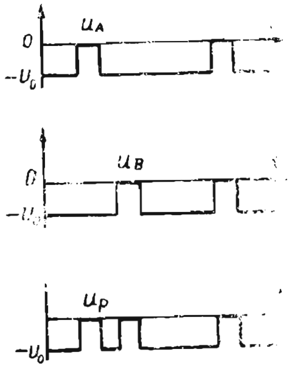
საწყის მდგომარეობაში ორივე დიოდი ჩაკეტილია, რადგან $-U_0 < -E_{\text{и.пн}}$, გამოსავალზე ძაბვა $E_{\text{и.пн}}$-ის ტოლია. დადებითი სიგნალის მიწოდებისას (სიგნალი 1), მაგალითად, A შესავალზე, $დ_1$ დიოდი გაიღება. დენი $r_{\text{и.пн}}$ რეზისტორში იზრდება და ძაბვის ვარდნა რეზისტორში პრაქტიკულად $-E_{\text{и.пн}}$-ის ტოლი გახდება. გამოსავალზე დამყარდება 1 სიგნალის შესაბამისი ძაბვა.

A და B შესავლებზე ერთდროულად სიგნალების მიწოდების დროს დენი და ძაბვის ვარდნა $r_{\text{и.пн}}$ რეზისტორში პრაქტიკულად არ იცვლება.

რადგან დიოდების პირდაპირი წინაღობები $r_{ИЛИ}$-სთან შედარებით მცირეა. მაშასადამე, სიგნალის ამპლიტუდა გამოსავალზე არ იცვლება. სქემის მუშაობის შესახებ ახსნა-განმარტება მოცემულია 22-9 ნახაზზე.



ნახ. 22-8. ИЛИ ლოგიკური სქემა.



ნახ. 22-9. იმპულსები ИЛИ სქემაში.

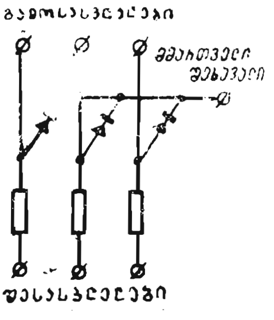
დ) ვენტილების ჯაჭვი ერთი მმართველი შესავლით

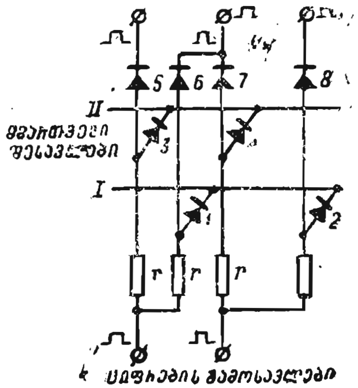
ასეთი ჯაჭვი ნაჩვენებია 22-10 ნახაზზე. იმპულსები შესავლიდან გამოსავალზე შეიძლება გადაეცეს მხოლოდ ისეთ შემთხვევაში, როცა მმართველ შესავალზე მიწოდებულია ვენტილების ჩამკეტი იმპულსი. თუ ეს იმპულსი არაა, მაშინ შესავლებზე დადებითი იმპულსების დროს ვენტილებში გაივლის დენი და რეზისტორებში დიდი ძაბვის ვარდნის გამო ანოდებისა და გამოსავლების პოტენციალი ნულის ახლოს იქნება.

ე) მძვრელის სქემა

მ ძ ვ რ ე ლ ი ს სქემა ერთ თანრიგში მოცემულია 22-11 ნახაზზე. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ერთზე გამრავლების დროს ორობით სისტემაში თვით სამრავლი რიცხვი იწერებოდა შესაბამის თანრიგში, ხოლო ნულზე გამრავლებისას იგივე რიცხვი იწერებოდა ერთი თანრიგით გადაწევით. ასეთი გადაწევის ოპერაციას ასრულებს სწორედ მძვრელი.

თუ მაღალი პოტენციალია მხოლოდ ციფრების შესავლებზე, ხოლო I და II სალტეებზე ასეთი პოტენციალი არაა, მაშინ დენი გადის 1 2, 3 და 4 დიოდებში და პოტენციალი გამოსავლებზე მეტად მცირეა (სიგნალები არაა), I სალტეზე დადებითი იმპულსის მიწოდებისას 1 და 2 დიოდები ჩაიკეტება, იმპულსები 6 და 8 დიოდებით გადის შუა და მარჯვენა გასასვლელებზე. 7 დიოდი ჩაკეტილია მარცხენა შესავლის მაღალი პოტენციალით. თუ იმპულსს მივაწოდებთ II სალტეს, მაშინ 3 და 4 დიოდები





ნახ. 22-10. [illegible] ჯაჭვი [illegible] მმართველი შესავლით.

ნახ. 22-11. მძვრელის სქემა [illegible] თანრიგზე.

ჩაიკეტება. 5 და 7 დიოდებით იმპულსები გადაეცემა მარცხენა და შუა გამოსასვლელებს, ხოლო 6 დიოდი ბლოკირებულია მაღალი პოტენციალით.

22-7. ორობითი მრიცხველის მუშაობის პრინციპი

ზემოაღწერილი ტრიგერი (§ 21-9) გამოიყენება ორობითი სისტემის რიცხვების ერთი თანრიგის დასამახსოვრებლად და აფიქსირებს თანრიგში არსებობას (ერთიანი) ან მის არყოფნას (ნული). ამგვარად, ტრიგერების რაოდენობა ტოლია რიცხვების თანრიგების რაოდენობისა. ერთი რიცხვის დამახასიათებელი ტრიგერების ჯაჭვს რ ე გ ი ს ტ რ ს უწოდებენ.

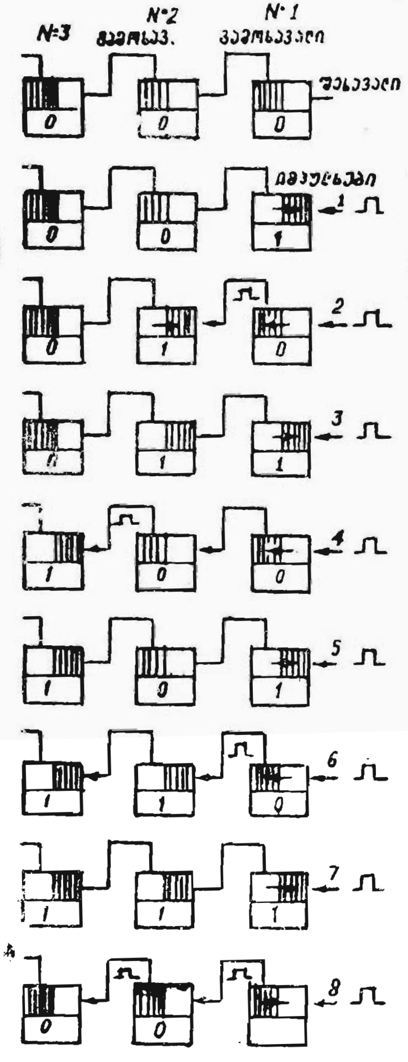
მ რ ი ც ხ ვ ე ლ ი შედგება თანამიმდევრულად შეერთებული ტრიგერებისაგან და გამოიყენება მის შესავალში შემოსული იმპულსების რიცხვის დამთვლელად. 22- -12 ნახაზზე ნაჩვენებია ორობითი მრიცხველის მუშაობის სქემა სამ თანრიგზე. დავუშვათ № 1, № 2, № 3 ტრიგერები, რომლებიც ნაჩვენებია ზედა რიგში, ისეთ მდგომარეობაშია, როცა დენს ატარებს მათი მარცხენა ნაწილი (დაშტრიხული), ხოლო მარჯვენა არ ატარებს. ეს მდგომარეობა მიღებულია ნულად და ტრიგერების მიერ ჩაწერილია რიცხვები, 000. № 1 ტრიგერის შესავალზე თანაბრად მოდის შემდეგი იმპულსების სერია.

პირველი მათგანი ახდენს № 1 ტრიგერის გადაყვანას 1 მდგომარეობაში, რაც ნაჩვენებია ისრით მარცხნიდან მარჯვნივ მეორე უჯრაში 22-12 ნახაზზე. მრიცხველზე ჩაწერილია რიცხვი 001.

მეორე იმპულსის მეშვეობით ხდება №1 ტრიგერის უკუგადაყვანა მარჯვნიდან მარცხნივ, რომლის დროსაც მარცხენა ნახევარი ატარებს

0 მდგომარეობაში, მაგრამ ამ გადაყვანის დროს ტრიგერი თავის იმპულსს გადასცემს № 2 ტრიგერს, რომელშიაც ხდება გადაყვანა მარცხნიდან მარჯვნივ. ამგვარად, ჩაწერილია რიცხვი 010.

მესამე იმპულსის დროს №1 ტრიგერის შესავალზე ხდება ჩაწერა კიდევ ერთისა (011), მეოთხეს დროს ემატება კიდევ ერთი, ხოლო, რადგან გადაყვანა მოხდა მარჯვნიდან მარცხნივ, იმპულსის გადაცემა ხდება № 2 ტრიგერზე. რადგან ამ უკანასკნელის გადაყვანა იყო მარჯვნიდან მარცხნივ,



ნახ. 22-12. ორობითი მრიცხველის სქემა.

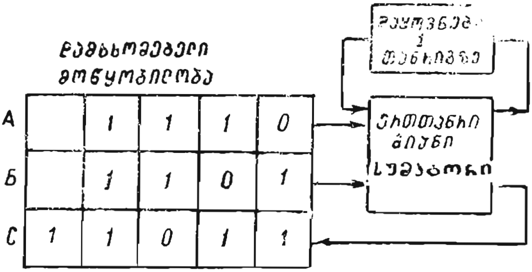
ამიტომ № 3 ტრიგერის იმპულსი გადაეცემა უკვე №2 ტრიგერიდან და მრიცხველზე ჩაწერილი რიცხვი იქნება 100 და ა. შ.

მერვე იმპულსი მოახდენს ყველა რიცხვის მოხსნას. ამგვარად, სამთანრიგიანი მრიცხველი ითვლის ორობითი სისტემის 0-დან 7-მდე რიცხვებს.

არითმეტიკული მოწყობილობის სუმატორის მუშაობის პრინციპი

დავუშვათ, რომ საჭიროა შევკრიბოთ ორი ორობითი რიცხვი $A=1110$ და $Б=1101$. შეკრება ხდება თანამიმდევრულად, თანრიგობით, როგორც ჩვეულებრივი ანგარიშის დროს:

$$\begin{array}{ll} П & \ \ 11 \\ A & 01110 \\ Б & \underline{01101} \\ C & 11011. \end{array}$$

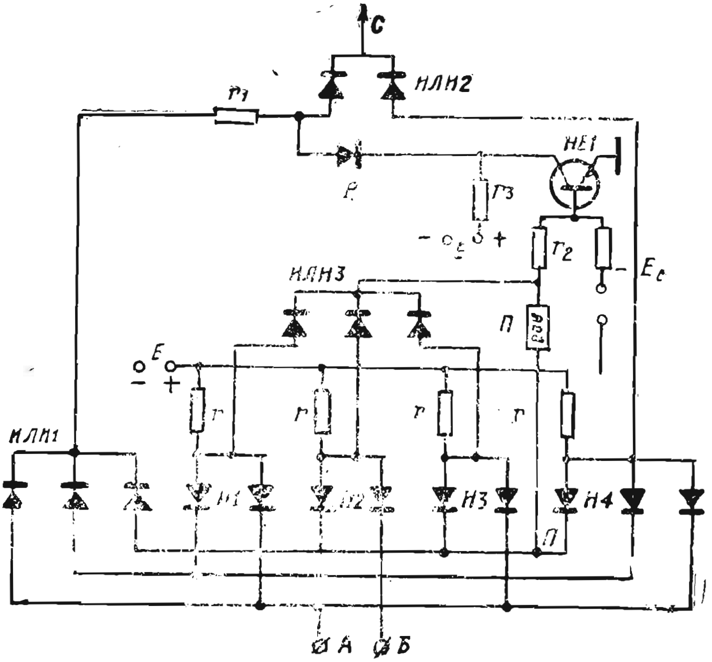


ნახ. 22-13. სუმატორის მუშაობის სტრუქტურული სქემა.

პირველი თანრიგის რიცხვების შეკრებისას 0+1 ჯამში მიიღება 1; აგრეთვე მეორე თანრიგის რიცხვების შეკრების დროსაც 1+0 მიიღება 1. მესამე თანრიგის რიცხვების შეკრებისას 1+1 მიიღება 2, მაშასადამე, ორიანი, როგორც „ერთიანს ვინახავთ“. ეს ერთიანი ჩასმულია П გადატანის მწკრივში, A რიცხვის ზემოთ. შევკრიბავთ მეოთხე თანრიგს და მივიღებთ 3-ს; ორიანის ნახევარი, ანუ 1 გადავა C ჯამში, ხოლო გადატანის ერთიანი გადადის მეხუთე თანრიგის ჯამში, სადაც $C=П+A+Б=1+0+0=1$.

ცხადია, რომ შემაჯამებელ მოწყობილობას სუმატორს თანამიმდევრული შეჯამებისას, როგორც ეს ხდებოდა, უნდა ჰქონდეს ორი შესავალი A და Б რიცხვებისათვის, П შესავალი გადატანისათვის, გამოსავალი C ჯამისა და П გამოსავალი რიცხვისათვის, რომელიც გადატანილია შემდეგ თანრიგში. ასეთი მოწყობილობის სტრუქტურული სქემა, რომელიც შედგება დამხსომებელი ბლოკის, ერთთანრიგიანი შემაჯამებლისა და ერთი თანრიგით დაყოვნების მოწყობილობის გადასატანად, ნაჩვენებია 22-13 ნახაზზე.

სუმატორის სქემა (ნახ. 22-14) შედგება И, ИЛИ, НЕ ელემენტარული ლოგიკური სქემებისაგან, რომლებიც ზემოთ განვიხილეთ. გამარტივების მიზნით დამიწების, იმპულსების ჩამოყალიბებისა და მათი გაძლიერების ყველა მოწყობილობა 22-14 ნახაზზე არაა ნაჩვენები.



ნახ. 22-14. სუმატორის [illegible] სქემა.

ვინაიდან ყველა И სქემა შეერთებულია E ენერგიის წყაროს დადებით მომჭერთან, ამიტომ ამ სქემების r რეზისტორებში და სიგნალების წყაროების შიგა წინაღობებში გადის დენი. წყაროების უარყოფითი მომჭერები დამიწებულია. ამ სქემების დიოდების ანოდების პოტენციალი დაბალია, რადგან ძაბვის მნიშვნელოვანი ნაწილი r რეზისტორზე მოდის. მაღალი პოტენციალის იმპულსები ანოდებზე გამოჩნდება მხოლოდ მომენტში, როცა სქემის ყველა კათოდზე მოდის ძაბვის დადებითი იმპულსები, რომელთაც უნარი აქვთ ჩაკეტონ დიოდები. И სქემის დადებითი იმპულსები მხოლოდ ამ შემთხვევაში გააგრძელებენ გზას.

ИЛИ სქემაში დადებითი იმპულსები გაივლის, თუ ისინი ხვდებიან დიოდის ერთ ანოდს მაინც. НЕ1 სქემა ჩაკეტილია ტრანზისტორის ბაზაზე უარყოფითი პოტენციალის გამო. ამ დროს მისი კოლექტორის პოტენციალი მაღალია, რადგან r_3 რეზისტორში დენი არ გადის. ამ პოტენციალისაგან D დიოდი ჩაკეტილია და მხოლოდ ამ მდგომარეობაში შეუძლია დადებითმა იმპულსებმა გაიაროს r_1 რეზისტორით C გამოსავალში.

სქემა მუშაობს შემდეგნაირად: ძაბვის დადებითი იმპულსის გამოჩენის დროს $НЕ1$ სქემის ტრანზისტორის ბაზაზე ის იღება, პოტენციალი კოლექტორზე ეცემა და D დიოდი იღება. ამ შემთხვევაში ИЛИ1 სქემიდან იმპულსის მიღებისას D დიოდის ანოდის პოტენციალი დაბალი იქნება, რადგან დენი გადის НЕ1 ელემენტში. C გამოსავლის პოტენციალიც დაბალი იქნება.

განვიხილოთ ზემოთ აღნიშნული ორი რიცხვის შეკრების პროცესი. დამხსომებელი მოწყობილობის C ჯამის რეგისტრის ტრიგერებს (ნახ. 22-13) შეკრების ოპერაციის დაწყების წინ აყენებენ ნულზე. ელექტრონული ამომთვლელი მანქანის მართვის მოწყობილობა პერიოდულად აგზავნის იმპულსებს, რომლებითაც ხდება სქემის მართვა. თითოეულ ტაქტში იკრიბება ერთი თანრიგის ციფრები. პირველი იმპულსის განმავლობაში დამხსომებელი მოწყობილობიდან (ნახ. 22-13) შეარჩევენ უმცროსი თანრიგის ციფრებს $A=0$ და $Б=1$. სხვანაირად, სუმატორის $Б$ შესავალზე (ნახ. 22—14) შემოდის დადებითი პოტენციალის იმპულსი, ხოლო A შესავალზე ის არ არის. მაშინ იმპულსი გაივლის ИЛИ1 სქემაში, r_1 რეზისტორში, ИЛИ2 სქემაში, C გამოსავალსა და C ჯამის დამხსომებელი მოწყობილობის რეგისტრის უმცროს თანრიგში. ტრიგერი გადაიყვანება 1 მდგომარეობაში.

მეორე იმპულსი დამხსომებელი მოწყობილობიდან შეარჩევს $A=1$ და $Б=0$ ციფრებს. იმპულსი A შესავლიდან (ნახ. 22-14) გაივლის ИЛИ1, ИЛИ2 სქემებს და მოხვდება C გამოსავალში. დამხსომებელი მოწყობილობის მეორე თანრიგის ტრიგერი გადაიყვანება 1 მდგომარეობაში (ნახ. 22-13).

მესამე იმპულსი დამხსომებელი მოწყობილობიდან შეარჩევს $A=1$ და $Б=1$ ციფრებს და როგორც სუმატორის A და $Б$ შესავლებზე ერთდროულად დადებითი იმპულსები. მაშინ ჩაირთვება И1 სქემა და დადებითი იმპულსი გადაეცემა ИЛИ2 სქემას. იმპულსი გადის И შეკავების სქემასა და НЕ1 სქემის ტრანზისტორის ბაზაში, ტრანზისტორი იღება და იწყებს დენის გატარებას. D დიოდი იღება. A და $Б$ იმპულსები ИЛИ1 სქემით და D დიოდით გადის НЕ1 სქემის ტრანზისტორში. D დიოდის ანოდის პოტენციალი დაბლდება და ИЛИ2 სქემის გავლით C გასავალში სიგნალი არ მიეწოდება. დამხსომებელი მოწყობილობის მესამე თანრიგის ტრიგერი რჩება O მდგომარეობაში.

ჩავრთის იმპულსი შეკავების ხაზზე შეჩერდება მეოთხე თანრიგის ციფრების შეკრებამდე მომენტამდე. ეს იმის ტოლფასია, რომ ადამიანი „ინახავს" ერთიანს. შეკავების ხაზის მოწყობილობის შესახებ ქვემოთ გვექნება ლაპარაკი.

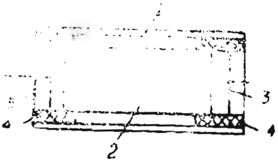
შეკრების მეოთხე ტაქტში ორი A, $Б$ იმპულსი და შეკავების ხაზიდან გამოსული П სქემის იმპულსი კვებავს И2, И3, И4 სქემებს, რომ-

ლებიც ИЛИ3-ით გადასცემენ მეოთე იმპულსს შეკავებისა და НЕ1 სქემებს. ამ შემთხვევაში, როგორც აღვნიშნეთ, ИЛИ1 სქემა და D არ აწვდის იმპულსს C გამოსავალს. მაგრამ, ვინაიდან И4 სქემა ჩაკეტილია A, $Б$ შესასვლელების მაღალი პოტენციალით და П შეკავების სქემის პირველი იმპულსით, ამიტომ მისი ანოდის პოტენციალი ამაღლდება და ИЛИ2 სქემით გამოსავალზე დამხსომებელ მოწყობილობაში შემოდის მაღალი ძაბვის იმპულსი. მეოთხე თანრიგის ტრიგერი გადაიყვანება 1 მდგომარეობაში.

მეხუთე ტაქტის დროს A და $Б$ იმპულსები აღარ გვაქვს, მაგრამ წინა თანრიგის შეჯამების დროს აღძრული გადატანის იმპულსი შეკავების ხაზითა და ИЛИ1, ИЛИ2 სქემებით გადაეცემა C გამოსავალს სუმატორის მეხუთე თანრიგში. ამ თანრიგის ტრიგერი ჩაწერს 1. ამგვარად, შეჯამებული რიცხვები 1110+1101=11011 ან ათობით სისტემაში 14+13=27.

22-9. დაყოვნების ხაზები

დაყოვნების ხაზები წარმოადგენს დამხსომებელ მოწყობილობას, რომელსაც უნარი აქვს ინფორმაცია შეინახოს ძალიან მოკლე (მიკროწამი) დროით, რის შემდეგ ის იკარგება. ასეთი ხაზები შეიძლება იყოს თანადროული [illegible] [illegible] და თანამიმდევრული [illegible] LC ფილტრები. 22-15 ნახაზზე ნაჩვენებია აკუსტიკური ტიპის დაყოვნების ხაზის მოწყობილობის ერთ-ერთი ჩვრბი. [illegible] [illegible] (2) შევსებული [illegible] [illegible] (1) [illegible] [illegible] (4) [illegible] ჩასმულია კვარცის ორი ფირფიტა (3). [illegible] უნარი აქვს [illegible] თავისი [illegible] მისი ცვალებად [illegible] ერთი ფირფიტიდან [illegible] [illegible] თვით კვარცისა და [illegible] [illegible] ლებიც განსაზღვრული [illegible] გამოსავალზე. კვარცს უნარი აქვს [illegible] ელექტრულ რხევებად [illegible] [illegible] ქარე ვერცხლისწყლის [illegible] [illegible] გავრცელების სიჩქარეც. [illegible] [illegible] [illegible] ყოვნებით. ჩვეულებრივად [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] შეკავების დრო.



ნახ. 22-15. დაყოვნების აკუსტიკური ხაზის მოწყობილობა.

22-10. დამხსომებელი მოწყობილობა

ჩვეულებრივი ანგარიშის დროს [illegible] [illegible] დამხსომებელი [illegible] ყენება. ზოგიერთი ცნობა მან [illegible] [illegible] [illegible] შეკრებისას ახსოვს, რომ [illegible] [illegible] [illegible] შემდეგ [illegible]

ციფრის, უნდა ახსოვდეს გამრავლების ტაბულა და სხვა: მაგრამ კუთხის სინუსების, კოსინუსებისა და რიცხვების ლოგარითმები მას არ უნდა ახსოვდეს, რადგან ისინი მოყვანილია ცნობარებში.

ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის დამხსომებელ მოწყობილობას ჩვენ უკვე შევხვდით — ტრიგერების რეგისტრი, შეკავების ხაზები და სხვ. მაგრამ დამხსომებელი მოწყობილობა ტრიგერებისგან მრავალთანრიგიანი რიცხვების დიდი რაოდენობის შესანახად, ძალიან ძვირი ექნებოდა.

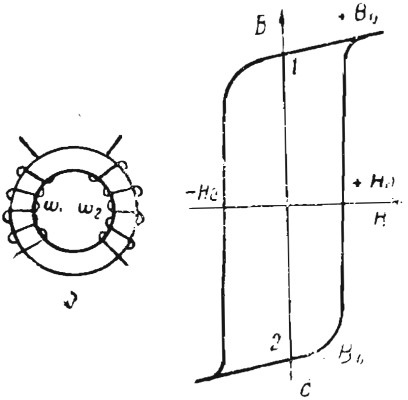
ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ყველა დამხსომებელი მოწყობილობა იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: ოპერატიულად და გარე დამგროვებლად. ოპერატიული დამხსომებელი მოწყობილობა უშუალოდ დაკავშირებულია არითმეტიკულ მოწყობილობასთან და განსაზღვრავს ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის მუშაობის სიჩქარეს. მათ შედარებით მცირე ტევადობა აქვთ (ასეული, ათასეული და ათეული ათასი რიცხვი), მაგრამ უნარი აქვთ სწრაფად (მიკროწამის რამდენიმე ნაწილში) მიიღონ და გასცენ რიცხვები. გარე დამგროვებლები არითმეტიკულ მოწყობილობასთან უშუალოდ არაა დაკავშირებული. მაგრამ დაკავშირებულია ოპერატიულ მახსომებელთან და წარმოადგენს რეზერვს. მათ უნარი აქვთ შეინახონ ასი ათასი, მილიონი და მილიარდი ციფრი. მხოლოდ იღებენ და გასცემენ მათ ჯგუფად. რიცხვების შერჩევის დრო შედარებით დიდია — ათეული მილიწამი.

ოპერატიული დამხსომებელი მოწყობილობა შეიძლება დამზადდეს ფერიტის ტოროიდული გულარისაგან ჰისტერეზისის მართკუთხა მარყუჟით. 22-16. ა ნახაზზე ნაჩვენებია ფერიტის რგოლი ორი გრაგნილით, 22-16 ბ ნახაზზე მისი დამაგნიტების მრუდი. მიღებულია, რომ დადებითი ინდუქცია B ჩავთვალოთ ერთის კოდად, ხოლო უარყოფითი $-B_0$ ნულის კოდად.

დავუშვათ, რომ W_1 და W_2 გრაგნილებში დენი არაა და დარჩენილი ინდუქცია უდრის 2 შერჩეულით, ე. ი. $-B_0$, მაშინ ითვლიან, რომ გულარში ჩაწერილია ორობითი კოდი 0. თუ W_1 გრაგნილზე მიეწოდება ისეთი დადებითი იმპულსი, რომ ველის დაძაბულობა მეტია, ვიდრე H_m-ზე, მაშინ იმპულსის შემდეგ აღმოჩნდება, რომ ნარჩენი ინდუქცია ტოლია $+B_0$ და ამგვარად, ჩაწერილია ორობითი ციფრი 1. იმავე ნიშნის განმეორებითი იმპულსის დროს ნარჩენი ინდუქცია რჩება ისევ $+B_0$-ის ტოლი. საწინააღმდეგო იმპულსის მიწოდებისას გულარი ისევ გადამაგნიტდება და ჩაიწერება ნული.

ამგვარად, გულარი იქცევა ისე, როგორც ტრიგერი და გულარების მეშვეობით შეიძლება ჩაიწეროს ან აითვალოს ორობითი სისტემის ციფრები დროში, რომელიც 1 მ წამზე ნაკლებია.

გადამაგნიტებისას W_2 მეორეულ გრაგნილში წარმოიქმნება ემ ძალის იმპულსები. თუ პირველადი გრაგნილის განმეორებითი იმპულსი დენის ერთი ნიშნისაა, მაშინ ემ ძალა პრაქტიკულად არ წარმოიქმნება.



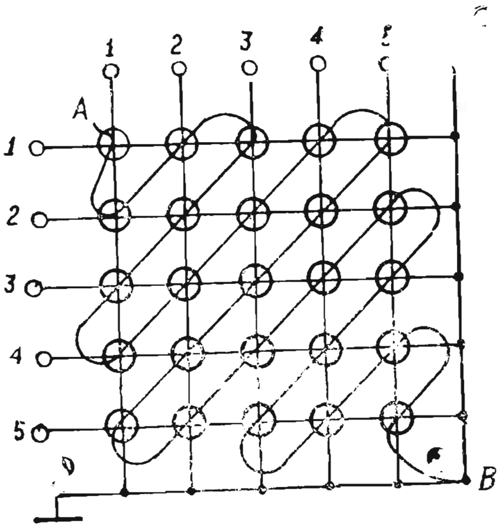
ნახ. 22-16. დამახსოვრებელი მოწყობილობის ფერიტის ელემენტის მაგნიტური მახასიათებელი.

ფერიტის ასეთი რგოლები ასი ათასი რიცხვით იკრიბება დამახსოვრებელ მატრიცად, რომელიც ნაჩვენებია 22-17 ნახაზზე. ამ შემთხვევაში გრაგნილები იცვლება სადენებით, რომლებიც რგოლის შიგნით გადიან, როგორც 22-18 ნახაზზეა ნაჩვენები. ჰორიზონტალური და ვერტიკალური სადენები გამოყენებულია ციფრების კოდების ჩასაწერად, ხოლო AB სადენი, რომელიც დიაგონალურად გადის მათ, დასათვლელად. თითოეული ჰორიზონტალური რიგი გამოიყენება ერთი ორობითი რიცხვის დასამახსოვრებლად, ხოლო ვერტიკალური რიგების რიცხვი შეესაბამება თანრიგების რიცხვს ორობით რიცხვში. რგოლის პირველ-დაწყებითი მდგომარეობა ნულია.

დავუშვათ, საჭიროა მეორე რიგში ჩავწეროთ (ნახ. 22-17) რიცხვი 1101. მაშინ მე-2 ჰორიზონტალურში და მე-2, მე-3 და მე-5 ვერტიკალურ რიგებში მიეწოდება დენის იმპულსები, რომელიც ქმნის დაძაბულობას $H_{მაგ}/2$. ტოროიდებში, რომლებიც განლაგებული არიან ზემოთ ნაჩვენები სადენების გადაკვეთებში, იქმნება დაძაბულობა $H_{მაგ}$. ისინი გადამაგნიტდებიან და ჩაიწერება ერთიანები. 1-ელ და მე-4 ვერტიკალური რიგების ტოროიდებში დაძაბულობა აქნება $H_{მაგ}/2$ და ისინი არ გადამაგნიტდებიან. რიცხვი 1101 ჩაწერილია. ამავე დროს დიაგონალურ, გამთვლელ სადენში წარმოიქმნება ძაბვის იმპულსი, მაგრამ მატრიცის გარე წრედების განსაკუთრებულად მოწყობის გამო ის მხედველობაში არ მიიღება.

მატრიცის სხვა ჰორიზონტალურ რიგებში ჩაწერილი რიცხვები უცვლელი რჩება, რადგან 1101 რიცხვის ჩაწერის დროს ვერტიკალურ სადენებში გამავალ დენებს არ შეუქმნიათ მათში $\pm H_{მაქს}/2$-ზე მეტი დაძაბულობები.

ჩაწერილი რიცხვების ათვლა — ეს ნიშნავს გაიგო, რომ ჩაწერილია ერთიანი ან ნული. თუ დენის იმპულსის მიწოდებისას AB სადენში ემ ძალა

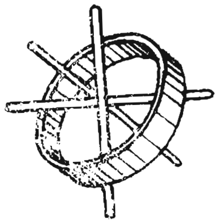


ნახ. 22-17. დამხსომებელი მოწყობილობის ფერიტის მატრიცა.

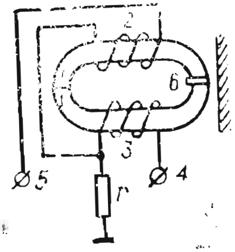
არ წარმოიქმნება. მაშინ ჩაწერილია 1, თუ წარმოიქმნება ემ ძალა, მაშინ ჩაწერილია ნული. რიცხვების დათვლისას ნახევარდენების იმპულსები, რომლებიც ქმნიან მაგნიტური ველის დაძაბულობას $H_{მაქს}/2$, მიეწოდება AB ამთვლელ სადენს და ერთ-ერთ ჰორიზონტალურ რიგს, რომელიც შეესაბამება ასათვლელი რიცხვის მისამართს. ამ დროს გადამაგნიტება შეუძლიათ მხოლოდ ამ რიგის გულარებს და შესაბამისი ვერტიკალური რიგის სადენებში (დათვლილი რიცხვების თანრიგში) წარმოიქმნება ძაბვის იმპულსები. დათვლის დროს ტრიოდებში ჩაწერილი ერთიანები წაიშლება. მაგრამ, ჩვეულებრივად სასურველია, რომ წაკითხული რიცხვი მატრიცაში რჩებოდეს. ამისათვის ითვალისწინებენ მოწყობილობას, რომლებიც აღადგენენ მატრიცაში ერთიანებს მათი დათვლის შემდეგ. დამხსომებელი მატრიცების ტევადობა გათვლილია 100000 და მეტ ორობით ნიშანზე და შეუძლია შეინახოს განუსაზღვრელი დროით.

ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებში ფართოდ გავრცელდა დამხსომებელი მოწყობილობები მაგნიტური ჩაწერით. ისინი გამოიყენებიან, როგორც გარე დამგროვებლები

და როგორც საშუალო დამხსომებელი მოწყობილობა დამგროვებლებ-ლებსა და ოპერატიულ დამხსომებელ მოწყობილობებს შორის. მათი მუ-შაობის პრინციპი მდგომარეობს შემდეგში. მაგნიტური მასალით დაფა-რული მოძრავი ზედაპირი (ლენტი, დოლი ან დისკო), რომელსაც დიდი ნარჩენი ინდუქცია ახასიათებს, გაირბენს სპეციალური თავის ელექტრო-მაგნიტის ახლოს. ელექტრომაგნიტის გრაგნილში მიეწოდება რიცხვის კოდის შესაბამისი დენის იმპულსები, ხოლო მაგნიტურ ზედაპირზე რჩება დამაგნიტებული უბნები, რომლებიც წარმოადგენენ რიცხვების ჩაწერას. ჩაწერა და დათვლა ჩვეულებრივად ხდება ერთი და იმავე თავის მეშვე-ობით, რომელიც ნაჩვენებია 22-19 ნახაზზე.



ნახ. 22-18. ფერიტის მატრი-ცის რგოლი.

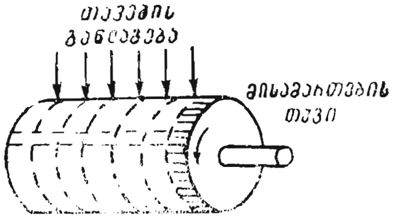


ნახ. 22-19. [illegible]

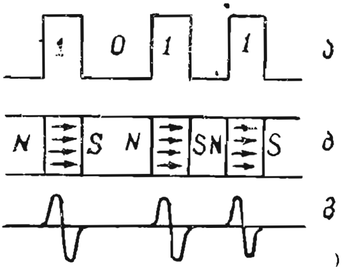
ფურცლოვანი ფერომაგნიტური მასალის მაგნიტური წრედზე (1), რომე-ლიც მცირე ნარჩენი ინდუქციით ხასიათდება, დახვეულია ორი (2) და (3) გრაგნილი. ერთიანის ჩაწერა ხდება მომჭერზე (1) იმპულსის მიწო-დების დროს, ხოლო ნულის ჩაწერა — მომჭერზე (5). ათვლა ხდება მომჭერიდან (4). მაგნიტური წრედის პოლუსებს შორის საჰაერო ღრეჩო (6) წარმოიქმნება თითბრის ფოლგის შუასადებით, რომლის სისქე რამ-დენიმე მიკრომეტრია. თავებს რიცხვი უნდა მიეწოდოს მუშაობის ... რიცხვების თანრიგების ... როგორც ეს ნაჩვენებია 22-20 ნახაზ-ზე, დოლზე ჩასაწერად.

ალუმინის დოლი დაფარულია მაგნიტური მასალის თხელი ფენით. დოლი თავებში განლაგებულია ზემოდან ცილინდრის მსახველის გასწვრივ რამდე-ნიმე ნახვრეტებ ადგილებში. დოლის მსახველის 1 სმ-ზე დაყენებულია 5-8 თავი. მსახველის მიხედვით განლაგდება რიცხვის ჩაწერა. მაგალითად, ორობითი რიცხვის 1011 ჩაწერის დროს თავებს მიეწოდება იმპულსები. რო-გორც ნაჩვენებია 22-21 ა, ნახაზზე. დოლის ზედაპირზე გამოიწვევს და-მაგნიტებული უბნები დიპოლები (ნახ. 22-21, ბ). ათვლის დროს, როცა მბრუნავი დოლის დამაგნიტებული უბანი გაირბენს თავის საჰაერო ღრე-ჩოს ახლოს, ამთვლელ გრაგნილში მიიღება ემ ძალის იმპულსები. რო-

გორც ნაჩვენებია 22-21 გ. ნახაზზე. ეს იმპულსები, გაძლიერებისა და მართკუთხა ფორმის იმპულსებად გარდაქმნის შემდეგ ოპერატიული დამხსომებელი მოწყობილობით შედის არითმეტიკულ მოწყობილობაში.



ნახ. 22-20. მაგნიტური ჩაწერის დოლი.



ნახ. 22-21. ციფრების მიღება რიცხვის მაგნიტური ჩაწერის დროს.

ჩაწერის დროს დოლის წრეწირზე წარმოიქმნება რაღაც ციფრების მიღებული თავების რიცხვის მიხედვით. ციფრების ჩაწერის სიმკვრივე წრეწირზე 1 მმ-ზე 1—3 ციფრია. მაგნიტური დოლების ტევადობა 1,5—2 მილიონ ათობით ნიშნიანი რიცხვია. ერთი ბილიკი და ერთი თავი (ნახ. 22-20) გამოიყენება ჩაწერილი რიცხვების უჯრედების მისამართების ჩასაწერად. ეს თავი შეერთებულია უჯრედების სპეციალურ მრიცხველთან. დოლი განუწყვეტლივ ბრუნავს და რიცხვების შერჩევა შეიძლება მხოლოდ რიგრიგობით. დოლის ბრუნვის სიხშირე $n=6000$—12000 ბრ/წთ, რომელსაც ბრუნვაში მოჰყავს ელექტროძრავი, საჭირო უჯრედის მოძებნის დრო წამის მეასედ ნაწილს შეადგენს.

მეხსიერების ასეთი ჩაწერა შეიძლება ლენტზეც, რომელიც წარმოადგენს დრეკად პლასტმასის ლენტს, მასზე დაფენილი ფერომაგნიტური ფხვნილით ან ლითონის ლენტით. თავები განლაგებულია ლენტის სიგანეზე, ხოლო ციფრები — ლენტის სიგრძეზე. ჩაწერის სიჩქარე იზრდება ლენტის მოძრაობის დასაწყები სიჩქარით. მაგნიტური ლენტები გამოიყენება როგორც ნელი მოქმედების დამხსომებელი მოწყობილობა, რომლის ტევადობა პრაქტიკულად არაა განსაზღვრული.

22-14. შეყვანისა და გამოყვანის მოწყობილობა

მანქანის მუშაობის პროგრამის დასაწყისში დგება ციფრების სახით ქაღალდზე დაპროგრამებით სპეციალისტის მიერ. ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანას ამ სახით არ შეუძლია მიიღოს ის შესასრულებლად. ციფრებით გამოსახული ინფორმაცია პროგრამაში ისეთ სახეში უნდა იყოს გარდაქმნილი რომ ხელმისაწვდომი იყოს ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაში დასამუშავებლად. ეს კეთდება მონაცემების მოსამზადებელ

მოწყობილობაში — პ ე რ ფ ო რ ა ტ ო რ ე ბ შ ი. ამისათვის პროგრამის ციფრები იცვლება ნახვრეტებით, რომლებიც გაკეთებულია სპეციალურ მუყაოს რუკებსა ან ქაღალდის ლენტებში; რუკებსა და ლენტებს აქვთ სტანდარტული ზომები; ლენტები ინახება რულონებად.

რადგან ელექტრონული გამომთვლელი მანქანა ითვლის ორობით სისტემაში, ამიტომ გამჭოლი ნახვრეტი შეიძლება მივიღოთ ერთიანად, ხოლო, როცა ის არ არის — ნულად. მაგრამ პროგრამა იწერება ათობით სისტემაში, ხოლო ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაში შეყვანილმა საწყისი მონაცემების რიცხვმა შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე ათასს. მაშასადამე, აუცილებელია რიცხვების გადაყვანა ათობითი სისტემიდან ორობითში და ნახვრეტების გაკეთება დიდი რაოდენობის მრავალთანრიგიანი ორობითი რიცხვებისათვის, რაც სრულიად არამიზანშეწონილია. ამიტომ საწყისშივე სპეციალურ მანქანას — პერფორატორს გადაჰყავს ათობითი სისტემა ორობით-ათობით სისტემაში და აკეთებს ნახვრეტებს (პერფორაცია) ამ სისტემის შესაბამისად. ასეთი გადაყვანა მდგომარეობს შემდეგში:

ათობითი სისტემის ნებისმიერი ციფრი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ორობითი სისტემის ოთხი ციფრით (ტეტრადებად):

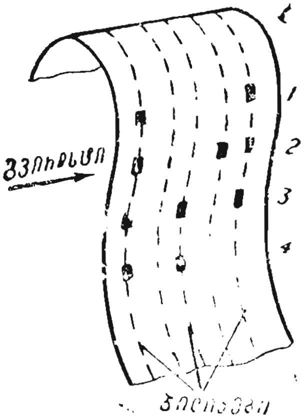
0=0000; 1=0001; 2=0010; 3=0011; 4=0100; 5=0101; 6=0110; 7=0111; 8=1000; 9=1001.

მაშინ, თუ გავაკეთებთ ნახვრეტებს ერთიანების ჩასაწერად და რუკაზე ან ლენტზე ნულების ჩასაწერად დავტოვებთ გაუხვრეტელ ადგილებს, მოხერხებულად შეიძლება ჩავწეროთ ნებისმიერი რიცხვი. 22—22 ნახაზზე ნაჩვენებია: ათობითი რიცხვის 1354 ლენტზე ჩაწერა ორობით-ათობით სისტემაში. მარჯვნიდან მარცხნივ, ოთხ ბილიკზე პერფორატორი აკეთებს ოთხ მწკრივს, რომლებიც შეესაბამებიან რიცხვების 1, 3, 5, 4 ტეტრადებს. მარცხენა (მეხუთე) ბილიკზე ყოველთვის კეთდება სამოსამსახურო ნახვრეტები, რომლებიც საჭიროა ათვლის პროცესისათვის. ამ ბილიკს უწოდებენ მასინქრონიზებელს. ამგვარად, პერფორატორმა შეასრულა შემყვანის სამუშაოს პირველი ნაწილი — გადაიყვანა რიცხვი ორობით-ათობით სისტემებში და გააკეთა ნახვრეტები.

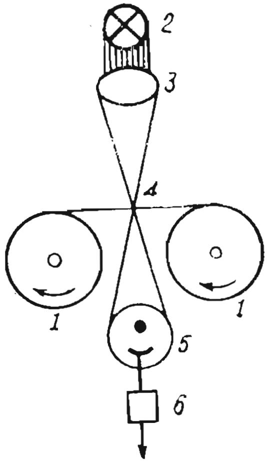
ახლა პერფოლენტი, რომელიც თავისებურ დამხსომებელ მოწყობილობას წარმოადგენს, შემოდის ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის შეყვანის მოწყობილობაში, სადაც ციფრები — ნახვრეტები გარდაიქმნება ელექტრულ იმპულსებად. შეყვანის მოწყობილობა გამარტივებულად ნაჩვენებია 22-23 ნახაზზე.

ლენტის დამჭიმავ მექანიზმს აქვს ორი ბობინა (1), რომლებზეც ლენტია გადაჭიმული, ლენტი გაუმჭვირვალეა, მაგრამ, როცა ნათურიდან (2) სინათლე ლინზისა (3) და ლენტში ნახვრეტის (4) გავლის შემდეგ ხვდება ფოტოელემენტს (5), მაშინ წარმოიქმნება დენის სუსტი იმპულსი. ეს

იმპულსი გადის მაძლიერებელში (6) და ხვდება გამომთვლელი მანქანის დამხსომებელ მოწყობილობაში, სადაც იწერება ერთიანი, ხოლო, როცა იმპულსი არაა, იწერება ნული. პერფოლენტის თითოეულ ბილიკს შეესაბამება თავისი მიმღები და მაძლიერებელ მოწყობილობათა კომპლექტი.



ნახ. 22-22. ათობითი რიცხვის ჩაწერა ორობით-ათობით სისტემაში.



ნახ. 22-23. შემყვანის მოწყობილობის სქემა ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაში.

მაგრამ, თუ შევასრულებდით ლენტის ტეტრადების შესაბამის ჩაწერას (ნახ. 22-22), მაშინ მივიღებდით 0001 0011 0101 0100 რიცხვებს და ორობით სისტემაში არა 1354 რიცხვს. ამიტომ მანქანა სპეციალური პროგრამის მიხედვით ასრულებს სამუშაოს მეორე ნაწილს — რიცხვი გადაყავს ორობით-ათობითი სისტემიდან ორობითში და მაშინ უკვე იწერს დამხსომებელი მოწყობილობა.

როგორც 1354 რიცხვის მისაღებად ათობით სისტემაში საჭიროა შევაჯამოთ $1 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$, ისევე ელექტრონული გამომთვლელი მანქანა მიიღებს ერთიმეორის მიყოლებით ტეტრადს, გაამრავლებს მათ თანრიგის მამრავლზე, თანდათანობით აჯამებს და ღებულობს უკვე 1354 რიცხვს ორობით სისტემაში, შემდეგნაირად:

$$0001 \cdot 1010^3 + 0011 \cdot 1010^2 + 0101 \cdot 1010^1 + 0100 \cdot 1010^0 =$$

1111101000	. . . .	1000
100101100	. . . .	300
110010	. . . .	50
100	. . . .	4
$(10101001010)_2$		$(1354)_{10}$

აქ $(1010)_2 = (10)_{10}$.

სწორედ ეს რიცხვი ჩაიწერება დამხსომებელ მოწყობილობაში.

ელექტრონული გამომთვლელი მანქანა მთელ შემდგომ მუშაობას ახორციელებს ავტომატურად პროგრამის საფუძველზე მართვის მოწყობილობის იმპულსების მიხედვით. შედეგების გამოყვანა ხდება შეყვანის ანალოგიურად რიცხვების გადაყვანით ორობითი სისტემიდან ორობით-ათობითში და ელექტრული საწერი მანქანის ანგარიშის შედეგების რეგისტრაციის გზით.

ოცდამესამე თავი

ელექტრონიკის გამოყენება ტექნიკაში ელექტროავტომატიკა (ზოგადი ცნობები)

23-1. ავტომატიკის სისტემები

საწარმოო პროცესების ავტომატიზაცია — ეს არის სსრ კავშირის სახალხო მეურნეობის წამყვანი დარგების ტექნიკური პროგრესის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულება.

ის უზრუნველყოფს შრომის ნაყოფიერებისა და გამოშვებული პროდუქციის რაოდენობის და ხარისხის განუწყვეტელ ზრდას.

ავტომატიკა — ეს არის ავტომატური მოწყობილობის, ხელსაწყოების, მექანიზმებისა და მანქანების შექმნისა და გამოყენების ტექნიკის დარგი, ე. ი. ავტომატიკის საშუალებები, რომელიც ახორციელებს საწარმოო პროცესებისადმი მართვას ადამიანის უშუალო მონაწილეობის გარეშე. ავტომატიკის იმ დარგს, რომელშიც გამოიყენება ელექტრული და ელექტრონული ხელსაწყოები და მოწყობილობანი, ეწოდება ელექტროავტომატიკა. ავტომატიკა ადამიანს ათავისუფლებს გადამღლელი შრომისაგან, რადგან მათ რჩებათ მხოლოდ წინასწარი გამართვა, ამუშავება და მოწყობილობათა წესივრულობისადმი მეთვალყურეობა.

ავტომატიკის საშუალებები ჩვეულებრივად შორს არ არიან ერთმანეთისაგან, თუ ისინი ერთმანეთს მოშორებული არიან იმდენად, რომ მათი ურთიერთქმედებისათვის საჭიროა კავშირის სპეციალური საშუალება, მაშინ ეს — ტელემექანიკაა.

სხვადასხვა საწარმოო პროცესებისადმი კონტროლისა და მართვისათვის გამოიყენება უდიდესი რაოდენობის სხვადასხვა ავტომატური მოწყობილობა. დანიშნულების მიხედვით შეარჩევენ ავტომატიზაციის შემდეგ სისტემებს: ავტომატურ კონტროლს, ავტომატურ მართვას და ავტომატურ რეგულირებას.

23-2. ავტომატური მოწყობილობის ელემენტები

ავტომატური მოწყობილობა შედგება სხვადასხვა ელემენტებისაგან, რომლებიც შეიძლება დავყოთ შემდეგ ჯგუფებად:

1. მგრძნობიარე ელემენტები — პირველადი გარდამქმნელები, ანუ გადამწოდები;

2. რელე და გადამრთველები;

3. მაძლიერებლები;

4. შემსრულებელი მოწყობილობა და ძრავები.

მგრძნობიარე ელემენტების საზომი გარდამქმნელების მეშვეობით ხდება სხვადასხვა ფიზიკური ან ქიმიური სიდიდეების მნიშვნელობათა გაზომვა, რომლებიც ახასიათებს საწარმოო პროცესებს. მგრძნობიარე ელემენტი წარმოადგენს გარდამქმნელის პირველი საზომი წრედის ნაწილს, რომელიც გასაზომი სიდიდის უშუალო ზემოქმედების ქვეშ იმყოფება. საზომი გარდამქმნელი — ეს არის მოწყობილობა, რომლის დანიშნულება საზომი ინფორმაციის სიგნალის გამომუშავება, გადაცემის და შემდგომი გარდაქმნისათვის მოსახერხებელ ფორმაში. პირველადი საზომი გარდამქმნელები განხილული იყო § 8-8-ში.

რელესა და გადამრთველის დანიშნულებაა მოახდინოს გაზომვისა და მართვის წრედების ჩართვა, გამორთვა და გადართვა, რომელთაგან ზოგიერთი განხილული იყო მე-11 და 21-ე თავებში.

მაძლიერებლები წარმოადგენს საშუალო ელემენტებს, რომელთა დანიშნულებაა გააძლიერონ გაზომვისა და კონტროლის დროს მიღებული სიგნალები ისეთ მნიშვნელობამდე, რომელიც საკმარისი იქნება შემსრულებელი მოწყობილობისა და ძრავას მოქმედებაში მოსაყვანად. ასეთი მაძლიერებლები განხილული იყო მე-19 თავში.

შემსრულებელი მოწყობილობა და ძრავა ახდენს მმართველი პარამეტრების საჭირო შეცვლას.

23-3. ავტომატური კონტროლი

ავტომატური კონტროლი ხორციელდება ზომების, ნაკეთობის დამუშავების ხარისხის, ელექტრული ძაბვის, ხსნარის კონცენტრაციის, მათი გამჭვირვალობის ფერისა და სხვ.

ავტომატური კონტროლის ნაირსახეობას მიეკუთვნება გამოშვებული პროდუქციის აღრიცხვა, დახარისხება, ნაკეთობათა დაწუნება და ა. შ.

თუ კონტროლი ცალკეულ საწარმოო ოპერაციებზე ხდება, მაშინ მას ერთეულ-ადგილობრივ კონტროლს უწოდებენ.

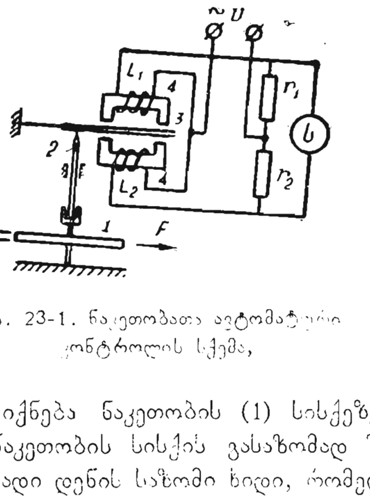
ცენტრალიზებული, ანუ მრავლობითი კონტროლი სადისპეტჩერო პუნქტში იძლევა წარმოების მდგომარეობის საერთო სურათს.

როცა საკონტროლო ობიექტსა და სადისპეტჩერო პუნქტებს შორის მანძილი მცირეა, კონტროლს უწოდებენ დისტანციურს, ხოლო, თუ მანძილი ზემოაღნიშნულ ობიექტებს შორის მეტად მნიშვნელოვანია და საჭიროა კავშირის სპეციალური საშუალება, მაშინ კონტროლს უწოდებენ ტელემექანიკურს.

კონტროლის ელექტრული მეთოდი მეტად გავრცელებულია. ის საშუალებას გვაძლევს პრაქტიკულად ვაკონტროლოთ ყველა სიდიდე როგორც ელექტრული, ისე არაელექტრული, უზრუნველყოფს განუწყვეტელი გაზომვისა და გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობის რეგისტრაციის შესაძლებლობას ნებისმიერ მანძილზე და გააჩნია მაღალი სიზუსტე და მგრძნობიარობა.

განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი:

1. § 8-8, ა-ში განხილული იყო რეოსტატული გარდამქმნელის გამოყენება სითხის მოცულობის ან დონის დისტანციური კონტროლის მაგალითზე (ნახ. 8-35).



ნახ. 23-1. ნაკეთობათა ავტომატური კონტროლის სქემა,

2. 23-1 ნახაზზე ნაჩვენები ავტომატური მოწყობილობის სქემა ინდუქციური ელემენტით.

საკონტროლო ნაკეთობა (1) გადაადგილდება კონვეიერზე ისრით ნაჩვენები მიმართულებით. მისი სისქის მიხედვით ღერო (2) საზომი ბუნიკით გადაადგილდება ზემოთ ან ქვემოთ, რითაც ცვლის საჰაერო ღრეჩოს ღუზასა (3) და კოჭების გულარს (4) შორის. ამგვარად, კოჭების ინდუქციურობა დამოკიდებული იქნება ნაკეთობის (1) სისქეზე.

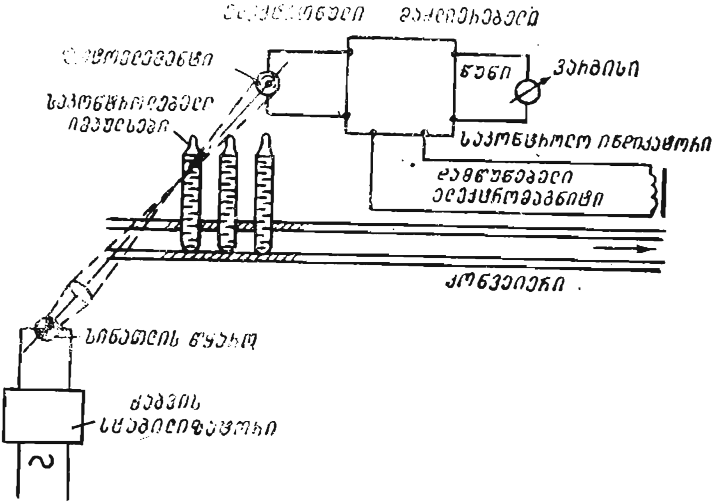
ნაკეთობის სისქის გასაზომად შეიძლება გამოვიყენოთ, მაგალითად ცვლადი დენის საზომი ხიდი, რომელიც მუდმივი დენის ხიდის ანალოგიურია, თუ ორ მხარში ჩავრთავთ L_1 და L_2 კოჭების ხიდს, ხოლო დანარჩენ ორში r_1 და r_2 რეზისტორებს. ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობის უცვლელობის დროს ხიდის ერთ დიაგონალში, დენი მეორე დიაგონალში დამოკიდებული იქნება ნაკეთობის სისქეზე. საზომის სკალა შეიძლება დავაგრადუიროთ ნაკეთობის სისქის მნიშვნელობებში.

3. ნაკეთობის ავტომატური კონტროლისათვის ხშირად იყენებენ ფოტოელექტრულ ხელსაწყოს. მაგალითად, მავთულის სისქის საკონტროლოდ ის იჭიმება ფოტოელემენტის წინ. რაც სქელია მავთული, მით მეტად ეკრანდება ის სინათლის ნაკადით, რომელიც ფოტოელემენტის ნათურიდან მოდის და მით ნაკლები იქნება ფოტოდენი. დენის საზომის ჩვენების

მიხედვით, რომელიც ელექტრონული მაძლიერებლის გავლით უერთდება ფოტოელემენტს, განისაზღვრება მავთულის დიამეტრი.

23-2 ნახაზზე ნაჩვენებია სითხის გამჭვირვალობის ავტომატური კონტროლის სქემა.

სინათლის წყაროს სხივები, როცა გამჭვალავ ამპულას, რომელიც შევსებულია საკონტროლო სითხით, მოხვდება ფოტოელემენტზე. სითხის გამჭვირვალობის ხარისხის მიხედვით ფოტელემენტზე, ეცემა მეტი ან ნაკლები სინათლის ნაკადი და მეტი ან ნაკლები იქნება ფოტოელემენტის სინათლის ნაკადიც, რაც აღინიშნება საზომით (ინდიკატორით).

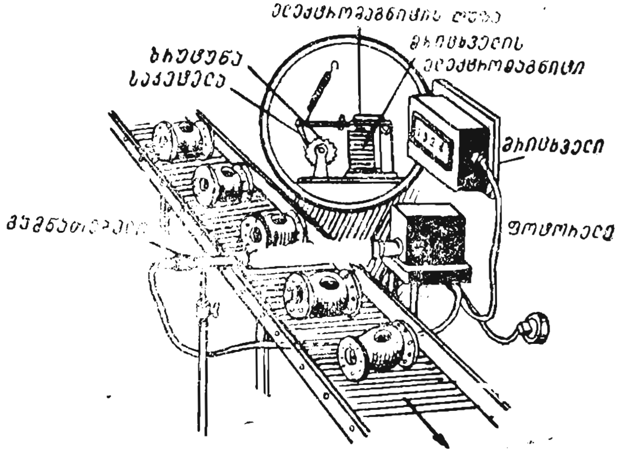


ნახ. 23-2. სითხის გამჭვირვალობის ავტომატური კონტროლის სქემა.

სითხის გამჭვირვალობის დასაშვები მნიშვნელობიდან გადახრისას წუნმდებელი ელექტრომაგნიტი მოაშორებს დაწუნებულ ამპულას კონვეიერიდან.

4. კონვეიერზე გამავალ ნაკეთობათა დასათვლელად ფოტოელემენტის გამოყენება ნაჩვენებია 23-3 ნახაზზე. ფოტოელექტრონული მრიცხველი შედგება სინათლის წყაროსაგან — მანათებლისაგან, რომლის სინათლის სხივი მოხვდება ფოტოელემენტზე და ელექტრომაგნიტში იწვევს ფოტოდენს. ნაკეთობის გავლა წყვეტს სინათლის სხივს, რაც გამოიწვევს ფოტორელეს ამოქმედებას. ფოტორელეს თითოეული ამოქმედების დროს ელექტრომაგნიტური მრიცხველი ღებულობს დენის იმპულსს, რომელიც მიიზიდავს ელექტრომაგნიტის ღუზას და მასთან დაკავშირებული საკეტელა შემობრუნებს ხრუტუნას ერთ კბილზე. მრიცხველის საანგარიშო

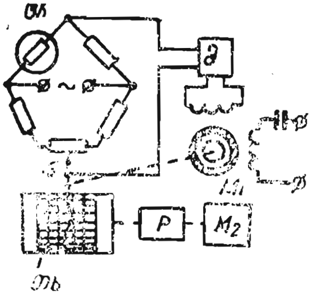
მექანიზმი, რომელიც მოძრაობაში მოდის ხრუტუნადან, შედგება ოთხი გორგოლაჭისაგან, რომელთაგან თითოეულის გვერდით ზედაპირზე დატანილია ციფრები 0-დან 9-მდე. პირველი გორგოლაჭის ციფრები გვიჩვენებს ერთეულებს, მეორისა — ათეულებს, მესამისა — ასეულებს და ა. შ.



ნახ. 23-3. ნაკეთობათა რაოდენობის ავტომატური გამთვლელი.

5. ტემპერატურის უწყვეტი კონტროლის სისტემა მოცემულია 23-4 ნახაზზე.

საზომი გარდამქმნელი ტR ჩართულია გაზომვის ხიდის ერთ-ერთ მხარში. თერმორეზისტორი — ეს არის რეზისტორი, რომლის წინაღობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე.



ნახ. 23-4. ტემპერატურის უწყვეტი კონტროლის სისტემა.

საწყის მდგომარეობაში ხიდი გაწონასწორებულია. გასაზომი ტემპერატურის შეცვლისას იცვლება თერმორეზისტორის წინაღობა და ხიდის აბ დიაგონალში გაჩნდება დენი. ეს სიგნალი შედის მ მაძლიერებელში, საიდანაც იკვებება შემსრულებელი რევერსული ელექტროძრავას მმართველი გრაგნილი. ხოლო ძრავას მეორე გრაგნილი იკვებება ქსელიდან.

დენი მმართველ გრაგნილში გამოიწვევს ელექტროძრავას როტორის ბრუნვას და რედუქტორით მასთან დაკავშირებული R ძვრიას გადაადგილებას, რომელიც ხიდის მხრების წინაღობათა ფარდობას ცვლის იმ მნიშვნელობამდე, რომლის დროსაც ხიდი გაწონასწორდება. ამ დროს თვით-

მწერი თხ ხელსაწყოს ისარი დიაგრამის ქაღალდზე (ლენტზე) ჩაწერს გასაზომი სიდიდის — ტემპერატურის გრაფიკს. ლენტ-გამწევი მექანიზმის ღოლი p რედუქტორით ბრუნვაში მოდის სინქრონული M_2 ელექტროძრავიდან, რომელსაც მუდმივი ბრუნვის სიხშირე აქვს.

23-4. ავტომატური მართვა

ავტომატური მართვის მიზანია გამორიცხოს ადამიანის მონაწილეობა ტექნოლოგიური პროცესების მართვაში.

ავტომატური მოწყობილობა ზემოქმედებს შემსრულებელ მექანიზმსა და მუშა აგრეგატების ამძრავებზე. მოცემულ დონეზე ინარჩუნებს მათი მუშაობის რეჟიმს ტექნოლოგიური პროცესების მოთხოვნილების შესაბამისად ან ახდენს სიჩქარის დამუხრუჭების, რევერსირების, სხვადასხვა მექანიზმის მოცემული კუთხით მობრუნების შეცვლას, გადაადგილებს დასამუშავებელ ნაწილებს და ა. შ.

ა) ელექტროამძრავის ავტომატური მართვა

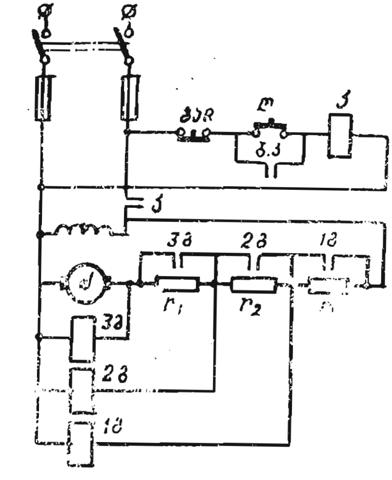
ფართოდ გამოიყენება ელექტროამძრავების ავტომატური მართვა. მაგალითისათვის განვიხილოთ მუდმივი დენის ძრავას ავტომატური ამუშავება.

მუდმივი დენის ელექტროძრავას ამუშავება პარალელური აგზნებით ძაბვის ქვეშ ხდება მისი ჩართვისა და ღუზასთან მიმდევრობით ჩართული ამუშავების რეოსტატის (r_1, r_2, r_3) ცალკეული ნაწილების თანამიმდევრობით გამორთვის გზით.

მცირე სიმძლავრის ძრავების ამუშავების ავტომატიზაცია შეიძლება ბრუნვის სიხშირის ან მის პროპორციულად, ძრავას ემ ძალის მიხედვით.

ელექტროძრავას ავტომატური ამუშავების სქემა გამოსახულია 23-5 ნახაზზე.

ორპოლუსიანი ჩამრთველის შეკვრისა და ლ ამუშავების ღილაკის დაჭერის შემდეგ კ კონტაქტორის კოჭაში გაივლის დენი. ამავე დროს შეიკვრება კ მუშა კონტაქტები და ბკ ბლოკ-კონტაქტები, რომლებიც



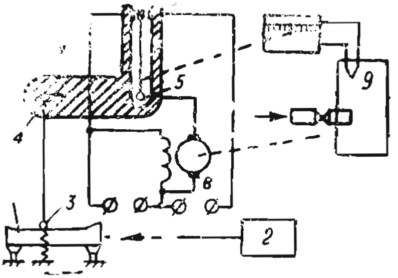
ნახ. 23-5. მუდმივი დენის ძრავას ავტომატური ამამუშავებლის სქემა.

დააშუნტებენ ღილაკს და უზრუნველყოფენ კონტაქტორის კვებას მისი აშვების შემდეგაც. ერთდროულად წამოიქმნება დენი აგზნების გრაგნილში, ძრავას ღუზაში და მათთან თანამიმდევრულად შეერთებულ ამუშავების რეოსტატში r_1, r_2, r_3 უბნებში. ამ პირობებში ძრავას ღუზა იწყებს ბრუნვას, მისი ბრუნვის სიხშირე იმატებს და მის პროპორციულად იზრდება ემ ძალაც. ბრუნვის სიხშირის გაზრდისას ჯერ ამოქმედდება აჩქარების 1მ კონტაქტორი, შემრთველი 1მ კონტაქტორი, რომლებიც დააშუნტებენ ამუშავების რეოსტატის პირველ უბანს r_1 წინაღობით. ღუზის ბრუნვის სიხშირის შემდგომი გადიდებისას ამოქმედდება აჩქარების 2მ კონტაქტორი, ამასთან 2მ კონტაქტები დააშუნტებენ ამუშავების რეოსტატის r_2 წინაღობას.

დაბოლოს, ამოქმედდება 3მ კონტაქტორი, მოკლედ შეირთვება რეოსტატის r_3 წინაღობა და ელექტროძრავას ამუშავება ამით მთავრდება. ძრავას გაჩერება ხდება „გაჩ“ ღილაკზე დაჭერით.

ბ) ღუმლის ტემპერატურის პროგრამული მართვა

ღუმელში ტემპერატურის ცვლილება დროის მიხედვით სრულდება პროგრამული დავალების მავალებელი მოწყობილობით (1) (ნახ. 23-6). სისტემაში განუწყვეტლივ ხდება ღუმლის (9) ტემპერატურის შედარება იმ ტემპერატურასთან, რომელიც უნდა იყოს დროის მოცემულ მომენტში თერმოდამუშავების პროგრამის შესაბამისად. მოცემული ტემპერატურა დროის მიხედვით განისაზღვრება რელიეფით (1), რომელიც საათის მექანიზმის (2) ზემოქმედებით გადაადგილდება მარჯვნიდან მარცხნივ.



ნახ. 23-6. ღუმლის ტემპერატურის პროგრამული მართვა.

ტემპერატურის პროგრამა მუშტას ზედაპირზე მგორავი მოძრავი გორგოლაჭის (3) მეშვეობით გადაეცემა ღერძის (5) გარშემო მბრუნავ ბერკეტს, რომელსაც Г-სებრი ფორმა აქვს. ღუმლის ტემპერატურის მაჩვენებელი ისარი (6) თავსდება ბერკეტის (4) ვერტიკალურ განაჭერში. ეს ისარი დაკავშირებულია საზომ პოტენციომეტრთან (7). როცა მოცემული და ღუმელში გაზომილი ტემპერატურები არაერთნაირია, ისარი (6) შეეხება ბერკეტის (4) ერთ-ერთ კონტაქტს და ჩართავს შემსრულებელ ელექტროძრავას (8). ელექტროძრავას ბრუნვით შეიცვლება სითბოს მიწოდება და შესაბამისად ღუმლის ტემპერატურაც. როცა მოცემული და ღუმელში გაზომილი ტემპერატურები გათანაბრდება, ისარი (6) აღარ შეეხება კონტაქტებს და შემსრულებელი ელექტროძრავა (8) გაჩერდება.

გ) ცნება რკინიგზის ტრანსპორტის ტელემართვაზე

მატარებლების უსაფრთხო მოძრაობისათვის გამოიყენება სალიანდაგო ავტომატური ბლოკირება — ავტობლოკირება; იგი წარმოადგენს რკინიგზის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობათა სისტემას, რაც უზრუნველყოფს მოძრავი მატარებლების ისეთ გამიჯვნას, რომლის დროსაც რიგით მატარებელს გზის ცალკეული უბნის (ბლოკ-უბანი) დაკავების უფლება ეძლევა, უშუალოდ, თითოეული უბნის დასაწყისში დაყენებული შუქნიშნის საშუალებით, და დამოკიდებულია წინა მატარებლის მიერ ამ უბნის განთავისუფლებაზე.

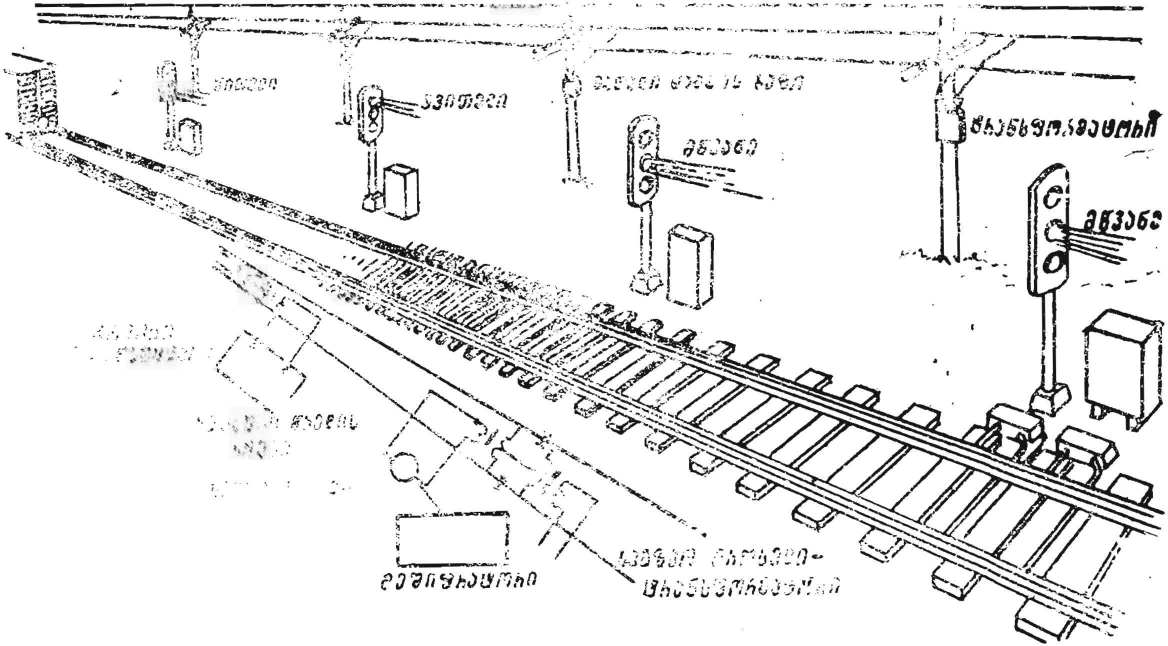
ავტობლოკირების ავტომატური მოქმედება დამყარებულია ელექტრულ-სარელსო წრედების გამოყენებაზე, რომლის მეშვეობით თვით მოძრავი მატარებელი ზემოქმედებს სასიგნალო მოწყობილობებზე.

სარელსო წრედი ელექტრულად იზოლირებულია გზის მეზობელი უბნებისაგან საიზოლაციო პირაპირებით.

ელექტრიფიცირებულ უბნებზე რელსის წრედები იკვებება ცვლადი დენით, რომელთა სიხშირეა 25 ან 75 ჰც, თუ წევის დენის სიხშირეა 50 ჰც, მუდმივ დენზე წევისას რელსის წრედები მუშაობს 50 ჰც სიხშირეზე.

წევის დენისათვის გამტარი წრედის მისაღებად აყენებენ სალიანდაგო დროსელ-ტრანსფორმატორებს (ნახ. 23-7), რომლებიც უზრუნველყოფენ გზის დაყოფას რელსის წრედებად ავტობლოკირებისათვის. მეზობელი შუქნიშნების მიერ მიწოდებულ სიგნალებს შორის კავშირის კოდური ავტობლოკირების დროს გამოიყენება რელსის წრედები. მათში დენი მიეწოდება იმპულსების კომბინაციის სახით, რომლებიც შეესაბამებიან განსაზღვრულ ინფორმაციებს. კოდურ ავტობლოკირებაში შუქნიშნის მწვანე შუქს შეესაბამება დენის სამი იმპულსისა და გრძელი ინტერვალის კომბინაცია, რომელიც მათ აშორებს ასეთივე სამი იმპულსისაგან; ყვითელს შუქს — ორი იმპულსი; წითელს — ერთი იმპულსი. იმპულსების ასეთი კომბინაციების ერთობლიობას ეწოდება რიცხვითი კოდი, სწორედ აქედან წარმოდგება სახელწოდება — კოდური ავტობლოკირება.

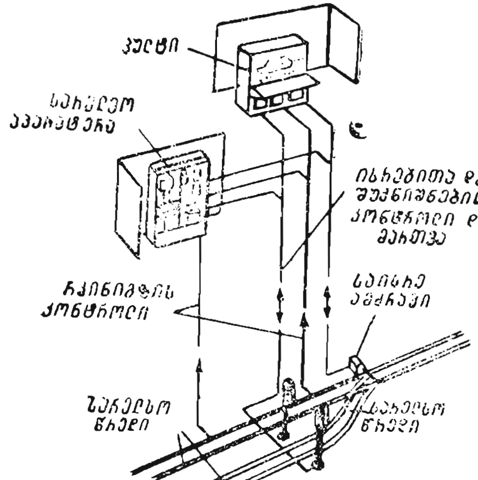
ბლოკ-უბნის ერთი ბოლოდან კოდური ტრანსმიტერით რელსის წრედს ეგზავნება დენის იმპულსების კომბინაციები (ნახ. 23-7). ამ იმპულსებს ბლოკ-უბნის დასაწყისში, შუქნიშანთან ღებულობს სალიანდაგო რელე, რომელიც მათთან ტაქტში ამუშავდება. დეშიფრატორი ამ კომბინაციებს გარდაქმნის შუქნიშნის შესაბამის სიგნალად. სამი იმპულსის კომბინაციის შემოსვლისას დეშიფრატორი შუქნიშანზე ანთებს მწვანე შუქს; შუქნიშანთან მიღებული ორი იმპულსის კომბინაციაც მასზე ანთებს ისევ მწვანე შუქს, რადგან შემდეგი უბანი ღიაა; მის შუქნიშანზე ანთია ყვითელი შუქი, რადგან მისი სალიანდაგო რელე დაკეტილი შუქნიშნიდან ღებულობს ერთი იმპულსის კომბინაციას. დაკავებული ბლოკ-


მწვანე
მწვანე
ყვითელი

უბნის შუქნიშანთან იმპულსები არ შემოდის და ამიტომ მასზე ანთია წითელი შუქი. ამ ბლოკ-უბნიდან მატარებლის წასვლისას მის შუქნიშანზე შემოსვლას დაიწყებს ერთი იმპულსის კომბინაცია და მასზე წითელი შუქი შეიცვლება ყვითლით; ამასთან დაკავშირებით მისგან რელსის წრედში მიეწოდება ორი იმპულსის კომბინაცია და წინა შუქნიშანზე ყვითელი შუქის ნაცვლად აინთება მწვანე. ეს კოდური კომბინაციები ერთდროულად შეიძლება გამოვიყენოთ ავტობლოკირების და ავტომატური სალოკომოტივო სიგნალიზაციისათვის.

ავტობლოკირება იკვებება 110 –120 ვ ძაბვის მქონე ტრანსფორმატორის მეორეული გრაგნილიდან, რომელიც კაბელით მოიყვანება სარელსო კარადაში. ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი უერთდება 6—10 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემ ქსელს.

მოწყობილობას ისრებისა და სიგნალების ცენტრალური მართვისათვის ეწოდება ისრებისა და სიგნალების ცენტრალიზაცია. ელექტრული ცენტრალიზაცია საშუალებას გვაძლევს ერთ პოსტში მოვუყაროთ თავი დიდი რაოდენობის ისრებისა და სიგნალების მართვის სადგურებს. მართვის ასეთი ცენტრალიზაცია აჩქარებს მარშრუტების მომზადებას, ამაღლებს მოძრაობის უსაფრთხოებასა და შრომის ნაყოფიერებას.



ნახ. 23- . ელექტრული ცენტრალიზაციის მოწყობილობის საერთო ხედი.

ელექტრული ცენტრალიზაციის პოსტზე განლაგებულია მართვის პულტი და სადგურის მაკეტი (ტაბლო), აქვეა დაყენებული რელსის წრედისა და კვების წყაროების ურთიერთჩართვის მართვის ხელსაწყოები და აპარატურა (ნახ. 23-8). პოსტიდან მართული ისრები, რომელთა კალმები

გადაადგილდებიან ისრული ელექტროამძრავის ელექტროძრავებით. შუქნიშნები განლაგდება სადგურის მთელ ტერიტორიაზე. ყველა ისინი და სხვა სალიანდაგო მოწყობილობანი პოსტთან შეერთებულია ელექტროკაბელებით.

ისეთი ისრებისა და შუქნიშნების სიგნალების მართვა, რომლებიც ცენტრალიზაციის პოსტიდან განლაგებულია მნიშვნელოვან მანძილზე ელექტრული ცენტრალიზაციის მოწყობილობებისაგან, ისრებისა და სიგნალების ურთიერთჩართვის უზრუნველყოფის გარდა, მოითხოვს დაკავებულ ლიანდაგზე მატარებლის მიღების, შედგენილობის ქვეშ ისრების გადაყვანის შესაძლებლობის გამორიცხვას, ისრების მდგომარეობის განუწყვეტელ კონტროლს და ლიანდაგების დაკავებულობის კონტროლს.

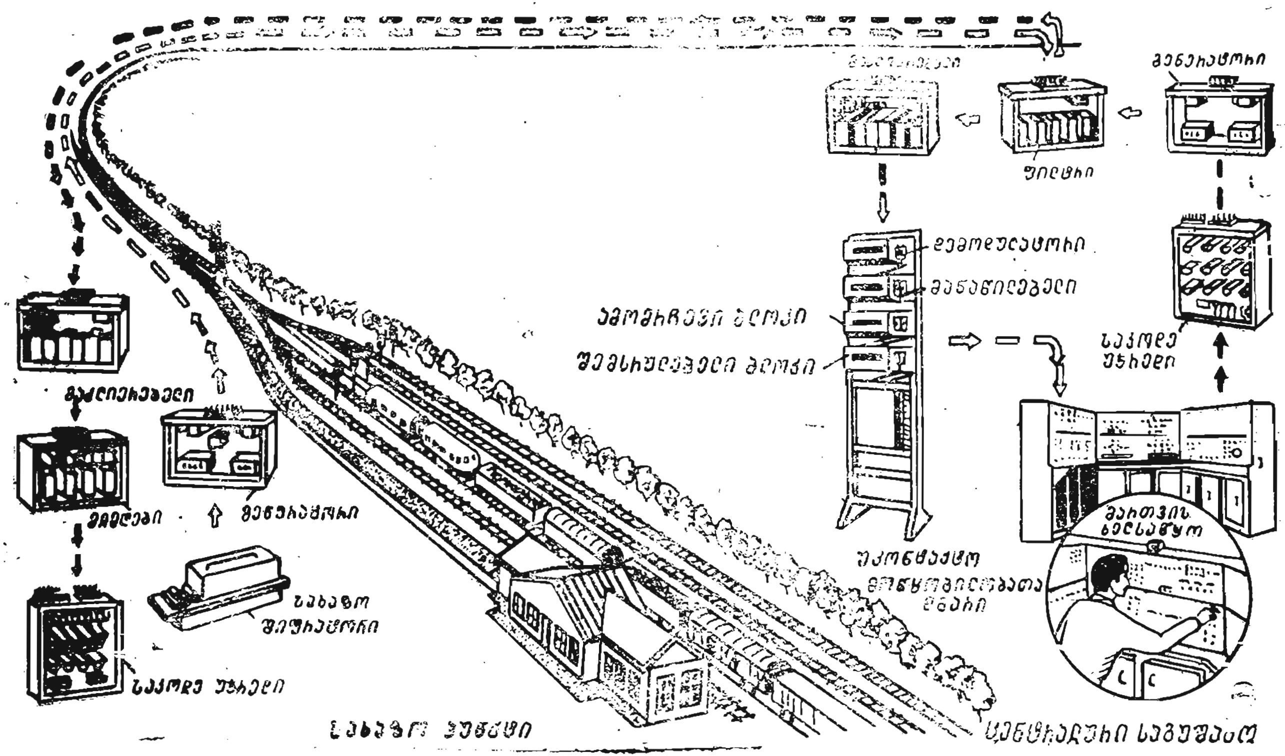
ისრებისა და სიგნალების მართვისათვის ცენტრალიზაციის პოსტზე აყენებენ პულტებს. ცალ-ცალკე მართვის დროს მცირე სადგურებში თითოეული ისარი გადაიყვანება ცალ-ცალკე და მათი მართვისათვის დაყენებულია ორი ღილაკი. ისრის მდგომარეობას, რომელშიაც ის დგას მოცემულ მომენტში, პულტზე უჩვენებს ანთებული ნათურა. ისრის დაყენების შემდეგ სათანადო მარშრუტის შესაბამის მდგომარეობაში და სასიგნალო ღილაკზე დაჭერის შემდეგ შუქნიშანი გაიღება.

მარშრუტი დგინდება თანამიმდევრობითი დაჭერით ორ სამარშრუტო ღილაკზე, რომლებიც პულტზეა. ერთი შეესაბამება დასაწყისს, ხოლო მეორე — მარშრუტის ბოლოს (სამარშრუტო მართვა).

სადგურის მორიგეს შეუძლია პულტი მართოს მხოლოდ ცნობის მიღების შემდეგ მოწყობილობათა მიერ თავისი განკარგულებებისა და კონტროლის შესრულებაზე, მართული ისრების მდგომარეობაზე, შუქნიშნების, ლიანდაგებისა და ისრული გადამყვანების შესახებ. საკონტროლოდ ტაბლოზე გამოსახულია სადგურის სქემა, რომელზეც მოძრავი შემადგენლობის მიერ მიმღებ-გამგზავნი ლიანდაგებისა და ისრული უბნების დაკავებულობის საჩვენებლად მოთავსებულია ანთებული ნათურები. თუ ლიანდაგიანი უბანი თავისუფალია და არ შედის მარშრუტში, ის არ ნათდება.

სადისპეტჩერო ცენტრალიზაცია ეწოდება მოწყობილობას, რომელიც შედგება ავტობლოკირებისა და ელექტრული ცენტრალიზაციისაგან, უბნის ყველა საშუალედო სადგურის, ისრებისა და შუქნიშნების მართვით დისპეტჩერის ერთი პოსტიდან.

სადგურში მატარებლის გაშვების დროს მოქმედება მდგომარეობს მხოლოდ მარშრუტების დადგენასა და შუქნიშნების გაღებაში მატარებლების მიღებისა და გაშვებისათვის დისპეტჩერის მიერ ნაჩვენები რიგით. ელექტრული ცენტრალიზაციით მართვის სიმარტივე და ავტობლოკირება საშუალებას გვაძლევს თავი მოვუყაროთ მთელი უბნის ასაქცევებისა და სადგურების მართვას (100—150 კმ) სამატარებლო დისპეტჩერის ერთ სადისპეტჩერო პოსტში (ნახ. 23-9).



ნახ. 23-9. სადისპეტჩერო ცენტრალიზაციის ზოგადი სქემა.

სადისპეტჩერო ცენტრალიზაციამ უნდა უზრუნველყოს: უბნის სადგურების ისრებისა და სიგნალების მართვა. ისრების, შუქნიშნების და იზოლირებული უბნების მდგომარეობის კონტროლი ერთი პუნქტიდან, მართვის აპარატურის მეშვეობით, და მატარებლის მიერ მოძრაობის გრაფიკის შესრულების ავტომატური ჩაწერა მატარებელგრაფით.

ცენტრალიზაცია ითვალისწინებს კოდურ მართვას, რომელიც მანძილზე გადასცემს სამატარებლო დისპეტჩერის მართვის განკარგულებებს, სადგურზე (ტელემართვა) და უკან სადგურიდან დისპეტჩერს ცნობას მართული ისრებისა და შუქნიშნების მდგომარეობის, ლიანდაგებისა და ისრული უბნების დაკავებულობის, მატარებლის ადგილსამყოფელისა და მოძრაობის მიმართულების შესახებ (ტელესიგნალიზაცია).

სამატარებლო დისპეტჩერთან ცენტრალურ სადისპეტჩერო პოსტში დგება მართვის აპარატი, რომელიც შედგება პულტის, ტაბლოსა, მატარებელგრაფისა და ცენტრალური კოდური მოწყობილობისაგან მართვის განკარგულების გადასაცემად და უბნის სადგურიდან ცნობის მისაღებად. პულტიდან დისპეტჩერი აძლევს განკარგულებას მართვის შესაბამისი ღილაკის დაჭერით. მარშრუტი შუქნიშნის გაღებით დგინდება თანამიმდევრობითი დაჭერით: ჯერ ღილაკი მარშრუტის დასაწყისში — საიდან, შემდეგ მარშრუტის ბოლოში — საით, რაც საზღვრავს მატარებლის სვლის გზას და შუქნიშანს, რითაც მემანქანეს მიეცემა მატარებლის წაყვანის ნებართვის სიგნალი.

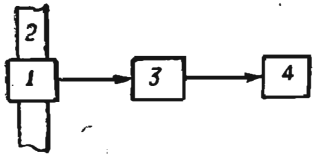
დ) ჩარხების პროგრამული მართვა

გამოთვლითი ტექნიკის მიღწევებმა საშუალება მოგვცა შეგვექმნა ჩარხების რიცხობრივად პროგრამული მართვის სისტემები.

პროგრამული მართვის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ რაიმე დეტალის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის შედგენისას ამუშავებენ მჭრელი იარაღის გადაადგილების პროგრამას ნამზადის მიმართ. ამ პროგრამას აკოდირებენ, ე. ი. ცვლიან რიცხობრივი აღნიშვნების სისტემით, რომლებსაც პერფორაციის სახეს აძლევენ და ასეთი პროგრამა შეიყვანება ჩარხის ამთვლელ მოწყობილობაში. წაკითხული ჩანაწერი გარდაიქმნება საკომანდო იმპულსებად, რომლებიც მმართველი მექანიზმების მეშვეობით მიეწოდება ჩარხის შემსრულებელ ორგანოებს (სუპორტის, მაგიდებისა და სხვა ელემენტების ამძრავებს).

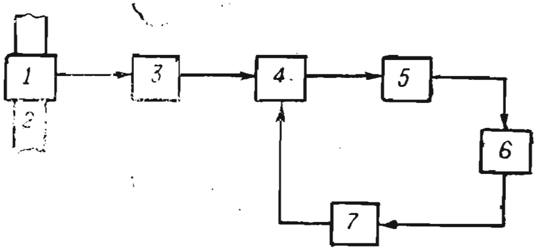
ჩარხების პროგრამული მართვის სისტემების განსხვავება მდგომარეობს წალოების ან მოსაბრუნებელი მაგიდების გადაადგილების ინფორმაციის შედგენისა და გარდაქმნის სხვადასხვა ხერხებში და ამ გადაადგილების შემსრულებელი მექანიზმების მოქმედების პრინციპში. პროგრამული მართვის სისტემები კლასიფიცირდება, მაგალითად, ინფორმაციის ნაკადების რიცხვის მიხედვით: გაშლილ, შეკრულ და თვითამწყობ სისტემად.

23-10 ნახაზზე გამოსახულია გაშლილი სისტემა ინფორმაციის ერთი ნაკადით. პერფოლენტზე (2) ჩაწერილი პროგრამა გადის ამომკითხავ მოწყობილობაში (1), რის გამოც უკანასკნელის გამოსავალზე გაჩნდება განსაზღვრული საკომანდო ელექტრული სიგნალები, რომლებიც რგოლში (3) გარდაიქმნებიან და მიემართებიან შემსრულებელი მექანიზმისაკენ (4), რის შედეგადაც ხდება, მაგალითად, მაგიდის ან ნალოს პროგრამით გათვალისწინებული გადაადგილება. შესრულებული გადაადგილების შესაბამისობა პროგრამით მოცემულთან არ მოწმდება.



ნახ. 23-10. პროგრამული მართვის განრთული სისტემის სქემა.

23-11 ნახაზზე გამოსახულია პროგრამული მართვის მეორე სქემა უკუკავშირით — ეს არის სისტემა ინფორმაციის ორი ნაკადით: ერთი — ამომკითხავიდან მოწყობილობის (1) პროგრამით (2), გარდამქმნელი რგოლით (3) მიემართება შემდარებელი რგოლისაკენ (4); მეორე, ასევე შემდარებელ რგოლში (4), შემომსვლელი, — უკუკავშირის გადამწოდიდან (7), რომელიც ზომავს მუშა ორგანოს ნამდვილ გადაადგილებას. ზემონაჩვენები ორი ინფორმაციის შედარების შედეგად რგოლი (4) გამოიმუშავებს გაუთანხმოების სიგნალს, რომელიც გამოიყენება ამძრავის (5) მუშაობის სამართავად და რომელიც გადააადგილებს მუშა ორგანოს (6) მართვის სიგნალებით გათვალისწინებული კანონის შესაბამისად. მუშა ორგანოს ნამდვილი გადაადგილების მოცემულთან დამთხვევისას სიგნალები შემდარებელი ორგანოს გამოსასვლელში წყდება.

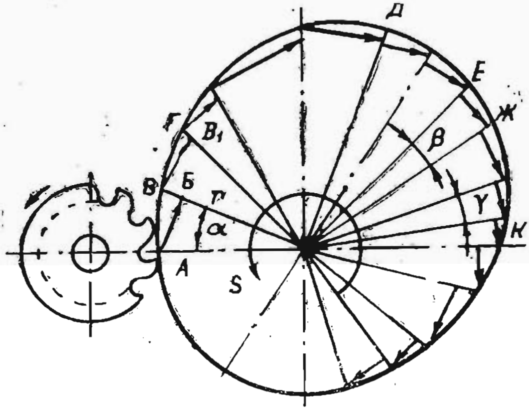


ნახ. 23-11. პროგრამული მართვის შერთული სისტემის სქემა ინფორმაციის ორი ნაკადით.

პროგრამული მართვის თვითამწყობ სისტემას შეკრული სისტემისაგან განსხვავებით აქვს დამატებითი საზომი გარდამქმნელი, დასამუშავებელი ზედაპირის ნამდვილი პარამეტრების შესახებ ინფორმაციის მესამე ნაკადის ჩამოსაყალიბებლად. ის აგზავნის ინფორმაციას თვითამწყობ მოწყობილობაში. ეს ინფორმაცია ამომკითხავი მოწყობილობიდან მომავალ ინფორმაციასთან შეჯამების შემდეგ ფიქსირდება ოპერატიულ მეხსიერებაში მომავალში გამოსაყენებლად.

პროგრამული მართვის რიცხობრივ სისტემაში ნალოების მდებარეობა ხასიათდება რიცხვებით (22-ე თავი). ერთ სისტემებში ეს რიცხვები აღნიშნავს ნალოების გადაადგილებას, სხვა სისტემებში შერჩეულ კოორდინატთა სისტემის სათავესთან შედარებით დასამუშავებელი წერტილების კოორდინატებს.

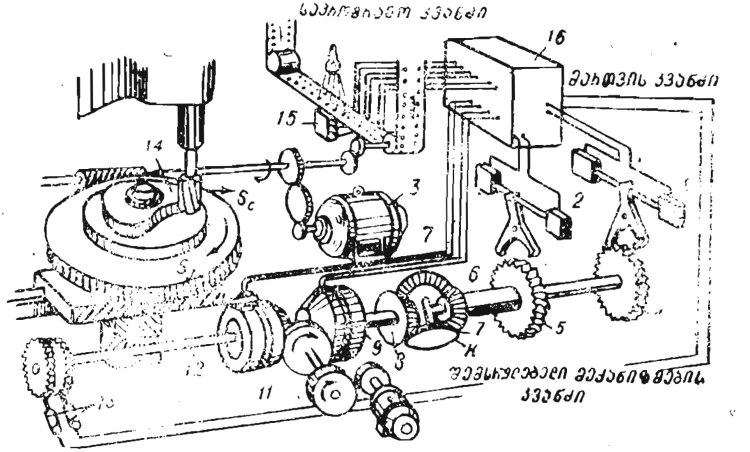
შვეულ-საფრეზავი ჩარხის პროგრამული მართვა ხორციელდება შემდეგნაირად: სხვადასხვა კონფიგურაციის მუშტების მისაღებად შვეულ-საფრეზავი ჩარხის მაგიდაზე დაყენებული ნამზადის დამუშავება ხდება მბრუნავი ფრეზის მიმართ ნამზადის მოძრაობის შედეგად, რომლის ღერძი დამუშავების პროცესში არ იცვლის მდებარეობას. ნამზადი ერთდროულად ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას (ნახ. 23-12) თავისი ღერძის გარშემო და წინსვლით მოძრაობას ფრეზის ღერძის მიმართულებით ხან იქიდან აქეთ. დაპროგრამება შედგება ჩარხის აწყობის მთელი რიგი ოპერაციებისაგან: ინტერპოლირების ინტერვალების განსაზღვრა, ფრეზის ცენტრის ტრაექტორიის საყრდენი წერტილების კოორდინატების პირველ სხვაობის პოვნა და მიღებული სხვაობების გაყოფა ელემენტარული ბიჯის სიდიდეზე ან,უ, რაც იგივეა, იმპულსის ფასზე. დეტალის დამუშავების მოთხოვნილი ხარისხისა და მის პროფილზე დაშვების მიხედვით შეირჩევა იმპულსის ფასი. ნამზადის მობრუნების თითოეული კუთხური ერთეულისათვის იმპულსს უნდა ჰქონდეს ნიშანი, რომელიც უჩვენებს ფრეზის მიმართულებას ნამზადისკენ ან მისგან აქეთ. სწორხაზოვანი ინტერპოლა-



ნახ. 23-12. მუშტას პროფილის წარმოქმნის სქემა.

ციის შესასრულებლად განსაზღვრავენ რადიუსის მეზობელ მნიშვნელობათა შორის სხვაობას (ნახ. 23-12) *A* და *B*, *B* და Г წერტილებში და ა. შ. ნამზადის კუთხით მობრუნების შემდეგ ფრეზი *A* წერტილიდან მოხვდებოდა *Б* წერტილში, ხოლო იმისათვის, რომ ის მოხვდეს საჭირო *B* წერტილში, მას ანიჭებენ მიწოდებას *Б*-დან *B* წერტილისაკენ და ა. შ.

И და *А* წერტილებს შორის მიწოდება არაა. საანგარიშო მონაცემების მიღების შემდეგ მათი განკარგულებები ფოტოაპარატის მეშვეობით გადააქვთ განკარგულების მიმცემ კინოლენტზე, კინოლენტის პირველ ბილიკზე ჩაწერილია შემდეგი მიწოდების მიმართულების შეცვლის პროგრამა. ღია ფერის წყვეტილი — განკარგულება ნამზადს შორდება ფრეზი, შავი, პირიქით, მიუახლოვდება მას: მეორე ბილიკზე ჩაწერილია მიწოდების შეცვლის სიხშირის მართვის პროგრამა; მესამე ბილიკზე — მიწოდების მართვის პროგრამა.



ნახ. 23-13. შვეულ-საფრეზავი ჩარხის ციფრობრივი პროგრამული მართვის სქემა.

23-13 ნახაზზე ილუსტრირებულია შვეულ-საფრეზავი ჩარხის მუშაობა ციფრობრივ პროგრამული მართვით.

ჩარხის მაგიდა, რომელზეც დამაგრებულია ნამზადი (14), ბრუნავს ელექტროძრავათი (3). მაგიდის გრძივი გადაადგილება ხდება ძრავათი (10) კბილა თვლების, ელექტრომაგნიტური ქუროებისა (9), (11) და ხრახნის (12) საშუალებით. ქუროების ჩართვის მიხედვით ნამზადი შორდება ფრეზს ან უახლოვდება მას. საანკერო მოწყობილობისა და (4) და (5) თვლების მეშვეობით ხრახნი მუხრუჭდება და ქურო გაცურდება. კინოაფსკიდან საკომანდო იმპულსების მიწოდებისას (1) და (2) ელექტრომაგნიტებისადმი ანკერული მოწყობილობა იწყებს ქანაობას და ხრახნი (12) შემობრუნდება საანკერო (4) და (5) ბორბლების ორ კბილს შორის არსებული კუთხის ტოლი კუთხით, რომელთაგან პირველს აქვს წმინდა კბილი, ხოლო მეორეს — მსხვილი.

მაგიდის გრძივი მიწოდება დამოკიდებულია თვლების კბილთა ბიჯზე. მათგან ერთ-ერთს ჩართავენ სპეციალური რელეთი, რომლის იმპულსი შემოდის ფოტოელექტრული გადამწოდიდან (15); ეს უკანასკნელი სიგ-

ნალს ღებულობს მოძრავი კინოაფსკიდან, შემდეგ იმპულსი მიეწოდება მაძლიერებელში (16), საიდანაც განკარგულება მიდის შემსრულებელი მექანიზმის კვანძში. ხრახნის (12) კავშირი (4) და (5) საანკერო თვლებთან მყარდება K დიფერენციალისა და (6), (7) და (8) კბილა თვლების მეშვეობით. უკუკავშირს უზრუნველყოფს საკომანდო იმპულსების შესაბამისად მაგიდის გადაადგილება. ხრახნის (12) მარცხენა მხრიდან განლაგებულია ორი დისკო იმავე კბილთა რიცხვით, როგორიც აქვს (4) და (5) თვლებს. დისკოებთან დაკავშირებულია უკუკავშირის გადამწოდები (13). თუ, მიუხედავად იმპულსისა, მიწოდების ხრახნი (12) არ შემობრუნდება, მაშინ გადამწოდები (13) მისცემენ სიგნალს მართვის კვანძს და მოხდება კორექტირება — ანკერული მოწყობილობის დამატებითი ამოქმედება და ხრახნის (12) ბრუნვა.

23-5. ავტომატური რეგულირება

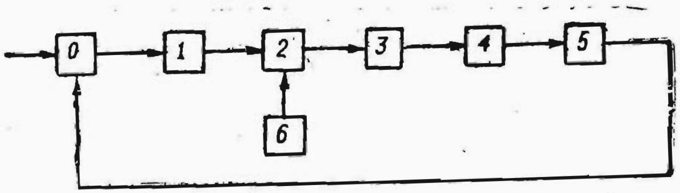
რეგულირების ავტომატური სისტემები გამოიყენება ადამიანის მონაწილეობის გარეშე, რომელიმე დანადგარის, აგრეგატის ან მანქანის მუშაობის მოცემული რეჟიმის ავტომატური დაჭერის ან მისი რეჟიმის ავტომატური შეცვლისათვის დროში წინასწარ მოცემული კანონით.

რეგულირების ობიექტს უწოდებენ აპარატს ან მანქანას, რომლის ერთ-ერთი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობა — რეგულირებადი სიდიდე ან პარამეტრი უნდა იყოს მუდმივი, ან უნდა იცვლებოდეს მოცემული კანონის მიხედვით. რეგულირების ობიექტი შეიძლება იყოს, ელექტროძრავა, ხოლო რეგულირებადი პარამეტრი — მისი როტორის ბრუნვის სიხშირე.

რეგულირების ობიექტზე გარე ზემოქმედებას, რომლის შედეგადაც ირღვევა რეგულირებადი პარამეტრის მუდმივობა ან მისი მოცემული კანონის მიხედვით შეცვლა, ეწოდება შემაშფოთებელი ზემოქმედება.

ავტომატური რეგულირების სისტემების მნიშვნელოვანი რიცხვის ილუსტრირება შეიძლება სტრუქტურული სქემით (ნახ. 23-14), რომელიც გვიჩვენებს მისი ელემენტების მნიშვნელობასა და ურთიერთკავშირს. გადამწოდი (1) ზომავს ობიექტის რეგულირებად პარამეტრს O, რომელიც აღმაშფოთებელი ზემოქმედების ქვეშ იმყოფება. BB შედარების ელემენტი (2) მიიღებს გადამწოდიდან (1) საზომ ინფომაციას და ადარებს მას მოცემულ მნიშვნელობას (6). ელემენტში (3) ხდება მიღებული ურთიერთშეთანხმების სიგნალის გაძლიერება სათანადო მნიშვნელობამდე. ელემენტი (4) მაძლიერებლის სიგნალს გარდაქმნის ახალ ხელსაყრელ ფორმად, შემსრულებელ-მარეგულირებელ ელემენტზე (5) ზემოქმედებისათვის, რომელიც დაკავშირებულია რეგულირების O ობიექტთან.

ზოგად შემთხვევაში სტრუქტურულ სქემას შეიძლება ჰქონდეს ელემენტების სხვა რიცხვი, რომლებიც განსხვავებული იქნება ზემოთ განხილულისაგან თავისი დანიშნულებით.



ნახ. 23-14. ავტომატური რეგულირების სტრუქტურული სქემა.

კანონის ხასიათზე დამოკიდებულებით, რომლის მიხედვითაც უნდა იცვლებოდეს რეგულირებადი პარამეტრის მნიშვნელობა, შეარჩევენ:

1. მასტაბილიზებელ ავტომატურ სისტემებს (მაგალითად, რეგულატორები, ელექტროძრავას მუდმივი ბრუნვის სიხშირის ან ძაბვის და გენერატორის სიხშირის შესანარჩუნებლად);

2. რეგულირების პროგრამული სისტემები, რომლებშიც რეგულირებადე პარამეტრის მნიშვნელობის შეცვლა ხდება წინასწარ დადგენილი კანონის მიხედვით (პროგრამით). მათ ეკუთვნით, მაგალითად, ტემპერატურის რეგულატორები ღუმლებში მოცემული პროგრამით, რომელიც განხილული იყო § 23-4-ში.

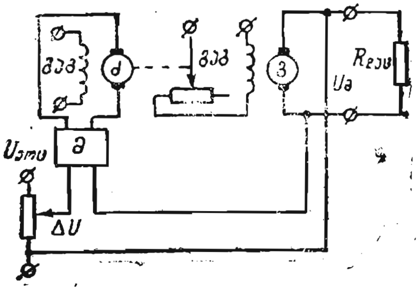
3. მიმყოლი მისტემები, რომლებშიც წინასწარ უცნობია მოცემული ზემოქმედების შეცვლის კანონი. განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი:

ა) მუდმივი დენის გენერატორის ძაბვის ავტომატური სტაბილიზაციის სქემა მოცემულია 23-15 ნახაზზე. გენერატორის დატვირთვის $R_{დატ}$ შეცვლისას (გარე შეშფოთებისას) იცვლება ძაბვა გენერატორის $U_{გ}$ მომჭერებზე. გადამწოდის მიერ მოცემულ ძაბვასა და გენერატორის მომჭერებზე ძაბვის სხვაობა, ე. ი. $\Delta U = U_{მოც} - U_{გენ}$, მიეწოდება მაძლიერებლის მ შესავალ მომჭერებზე, რომლის გამოსავალთან მიერთებულია შემსრულებელი ელექტროძრავას ღუზა D. ΔU ძაბვის მიხედვით, რომელიც მაძლიერებლის შესავალს მიეწოდება, ელექტროძრავას ღუზა დაიწყებს ბრუნვას ამა თუ იმ მხარეზე და გადააადგილებს გენერატორის აგზნების გრაგნილის წრედში ჩართულ რეოსტატის ძვრიას. რეოსტატის ძვრიის გადაადგილება (ძრავას როტორის ბრუნვა) გაგრძელდება მანამ, ვიდრე ძაბვა გენერატორის მომჭერებზე $U_{გ}$ არ მიაღწევს მოცემულ მნიშვნელობას $U_{მოც}$. ამ შემთხვევაში შესავალი ძაბვა ნულის ტოლი იქნება ($\Delta U = 0$), დენი Д ძრავას ღუზაში არ იქნება და ძრავა გაჩერდება.

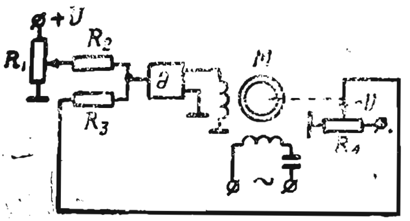
ბ) მიმყოლი სისტემების სქემა ანტენის მობრუნების კუთხის გადასაცემად გამოსავალ ღერძზე მოცემულია 23-16 ნახაზზე. R_1 რეზისტორის ძვრია დაკავშირებულია ანტენის ღერძთან. ამ რეზისტორის ძვრიიდან ძაბვა U_1, რომელიც პროპორციულია ანტენის მობრუნების კუთხისა, R_2 რეზისტორით მიიყვანება მაძლიერებლის მ შესავალზე, რომლის გამოსავალზე მიერთებულია ძრავას M მმართველი გრაგნილი. ამ ძრავას ღერძი რედუქტორით დაკავშირებულია R_4 რეზისტორის ძვრიასთან.

რეზისტორის ძვრიიდან მიღებული U_4 ძაბვა R_3 რეზისტორით მიიყვანება აგრეთვე მაძლიერებლის შესავალზე მ. U_1 და U_4 ძაბვები ნიშნით ურთიერთსაწინააღმდეგოა, ისე რომ ძაბვები მაძლიერებლის შესავალ მომჭერებზე სხვაობის ტოლია: $\Delta U=U_1-U_4$.

M ძრავას როტორი და, მაშასადამე, გამოსავალი ღერძიც იბრუნებს მანამ, ვიდრე ძაბვა $\Delta U=U_1-U_4$ მაძლიერებლის შესავალზე არ მიაღწევს



ნახ. 23-15. მუდმივი დენის გენერატორის ძაბვის ავტომატური რეგულირების სქემა.



ნახ. 23-16. მიმყოლი სისტემის სქემა გამოსავალ ღერძზე ანტენის მობრუნების კუთხის გადასაცემად.

ნულოვან მნიშვნელობას, რასაც შეესაბამება R_1 და R_4 რეზისტორების ძვრიების მობრუნების კუთხეების ტოლობა. მაშასადამე, გამოსავალი ღერძის მობრუნების კუთხით შეიძლება განვსაზღვროთ ანტენის ღერძის მობრუნების კუთხე.

ავტომატური რეგულირების სისტემებში მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს მდგრადობის (ავტორხევების არარსებობა), მაღალი სიზუსტისა და სწრაფმოქმედების უზრუნველყოფა. ამ მიზნით ავტომატური რეგულირების სისტემებში ჩაირთვება მაკორექტირებელი ელემენტები.

ბოლო დროს ფართოდ გავრცელდა უშუალო ციფრობრივი მართვის სისტემები, რომლებშიც ერთი მმართველი ელექტრონული გამომთვლელი მანქანა ახორციელებს ავტომატური რეგულირების დიდი რაოდენობის კონტურების სხვადასხვა პარამეტრების რეგულირებას. ამ დროს მართვის კანონები შეიძლება იყოს რთული და ადვილად გადასაკეთებელი.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

წინასიტყვაობა 3
შესავალი 4

პ ი რ ვ ე ლ ი ნ ა წ ი ლ ი. ზოგადი ელექტროტექნიკა

პ ი რ ვ ე ლ ი თ ა ვ ი. ელექტრული ველი

1-1. ძირითადი ცნებები 14
1-2. ელექტრული ძაბვა. პოტენციალი 16
1-3. ელექტროგამტარობა 17
1-4. ელექტრული ტევადობა. კონდენსატორები 20
1-5. კონდენსატორების შეერთება 23
1-6. ელექტრული ველის ენერგია 24
1-7. დიელექტრიკის პოლარიზაცია 25
1-8. ელექტროსაიზოლაციო მასალები 28

მ ე ო რ ე თ ა ვ ი. მუდმივი დენის ელექტრული წრედები

2-1. ელექტრული დენი 31
2-2. ელექტრული წრედი და მისი ელემენტები 34
2-3. ომის კანონი 36
2-4. ელექტრული წინაღობა და გამტარობა 38
2-5. წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 41
2-6. გამტარების მასალები 42
2-7. მუშაობა და სიმძლავრე 43
2-8. ელექტრული ენერგიის გარდაქმნა თბურ ენერგიად 45
2-9. სადენების ელექტრული დატვირთვა და მათი დაცვა გადატვირთვისაგან 46
2-10. ძაბვის დანაკარგები სადენებში 48
2-11. კირხჰოფის პირველი კანონი 49
2-12. რეზისტორების — ენერგიის მიმღებთა თანამიმდევრული შეერთება 49
2-13. რეზისტორების — ენერგიის მიმღებთა პარალელურად შეერთება 51
2-14. რეზისტორების შერეული შეერთება 53
2-15. კვების წყაროს მუშაობის ორი რეჟიმი 55
2-16. კირხჰოფის მეორე კანონი 57
2-17. რთული წრედების გაანგარიშება 58
2-18. დენის ქიმიური წყაროები 60
2-19. დენის ქიმიური წყაროების შეერთება 65
2-20. არაწრფივი ელექტრული წრედები 67

მ ე ს ა მ ე თ ა ვ ი. ელექტრომაგნიტიზმი

3-1. დენის მაგნიტური ველი 70
3-2. მაგნიტმამოძრავებელი ძალა. მაგნიტური ველის დაძაბულობა 73
3-3. სრული დენის კანონი 75
3-4. მაგნიტური ინდუქცია, მაგნიტური შეღწევადობა, მაგნიტური ნაკადი 76
3-5. ელექტრომაგნიტური ძალა 78
3-6. პარალელურდენიანი გამტარების ურთიერთქმედება 82
3-7. დენიანი კოჭას მაგნიტური ველი 83
3-8. ფერომაგნეტიკები, მათი დამაგნიტება და გადამაგნიტება 85
3-9. ფერომაგნიტური მასალები 88
3-10. მაგნიტური წრედი და მისი გაანგარიშება 90
3-11. ელექტრომაგნიტები 92

3-12. ელექტრომაგნიტური ინდუქცია 93
3-13. ელექტრული გენერატორის მუშაობის პრინციპი . . . 97
3-14. ელექტროძრავას მუშაობის პრინციპი 98
3-15. გრიგალური დენები 100
3-16. ინდუქციურობა. თვითინდუქციის ელექტრომამოძრავებელი ძალა 102
3-17. მაგნიტური ველის ენერგია 103
3-18. ურთიერთინდუქცია 105
3-19. მაგნიტოჰიდროდინამიკური გენერატორი. 106

მეოთხე თავი. **მუდმივი დენის ელექტრული მანქანები**

4-1. მუდმივი დენის მანქანების დანიშნულება 107
4-2. მუდმივი დენის მანქანების მოწყობილობა 108
4-3. მუდმივი დენის მანქანის მუშაობის პრინციპი 110
4-4. ღუზის გრაგნილის მოწყობილობა 111
4-5. ღუზის გრაგნილის ელექტრომამოძრავებელი ძალა . . . 114
4-6. მანქანის ელექტრომაგნიტური მომენტი 115
4-7. მუდმივი დენის მანქანის მექანიკური სიმძლავრე . . . 116
4-8. მუდმივი დენის მანქანის ღუზის რეაქცია 117
4-9. კომუტაცია 118
4-10. ცნება ელექტრული მანქანის მახასიათებლებსა და ნომინალურ პარამეტრებზე . 122
4-11. დამოუკიდებელი აგზნების გენერატორი 124
4-12. პარალელური აგზნების გენერატორი 126
4-13. შერეული აგზნების გენერატორი 126
4-14. მუდმივი დენის ელექტროძრავები 127
4-15. პარალელური აგზნების ელექტროძრავა 129
4-16. დამოუკიდებელი აგზნების ელექტროძრავა 133
4-17. თანამიმდევრული და შერეული აგზნების ელექტროძრავები 134
4-18. დანაკარგები და მარგი ქმედების კოეფიციენტი 136

მეხუთე თავი. **ძირითადი ცნებები ცვლად დენებზე**

5-1. ცვლადი დენი 137
5-2. სინუსოიდური ემ ძალის მიღება 138
5-3. ფაზათა ძვრა 141
5-4. დენისა და ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობები 143
5-5. ვექტორული დიაგრამა 146

მეექვსე თავი. **ცვლადი დენის ერთფაზიანი წრედები**

6-1. ცვლადი დენის წრედების თავისებურებანი 147
6-2. ცვლადი დენის აქტიურწინაღობიანი წრედი 148
6-3. ინდუქციურობა ცვლადი დენის წრედში 149
6-4. აქტიური წინაღობა და ინდუქციურობა ცვლადი დენის წრედში 153
6-5. არაგანშტოებული წრედი აქტიური წინაღობითა და ინდუქციურობით . . 157
6-6. განშტოებული წრედი აქტიური წინაღობითა და ინდუქციურობით . . . 158
6-7. ტევადობა ცვლადი დენის წრედში 161
6-8. რხევადი კონტური 163
6-9. ძაბვის რეზონანსი 166
6-10. დენების რეზონანსი 171
6-11. სიმძლავრის კოეფიციენტი 175
6-12. აქტიური და რეაქტიული ენერგია 179

მეშვიდე თავი. სამფაზიანი წრედები

7-1. სამფაზიანი სისტემები . . . 180
7-2. გენერატორის გრაგნილების ვარსკვლავად შეერთება . . . 182
7-3. გენერატორის გრაგნილების სამკუთხედად შეერთება . . . 185
7-4. ენერგიის მომხმარებელთა ვარსკვლავად შეერთება . . . 187
7-5. ენერგიის მომხმარებლის სამკუთხედად შეერთება . . . 191

მერვე თავი ელექტროტექნიკური გაზომვები და საზომი ხელსაწყოები

8-1. ძირითადი ცნებები . . . 196
8-2. ელექტროსაზომი ხელსაწყოების კლასიფიკაცია . . . 197
8-3. ხელსაწყოთა საზომი მექანიზმები . . . 201
8-4. დენისა და ძაბვის გაზომვა . . . 206
8-5. სიმძლავრის გაზომვა . . . 213
8-6. ელექტრული ენერგიის გაზომვა . . . 217
8-7. წინაღობის გაზომვა . . . 220
8-8. არაელექტრული სიდიდეების გაზომვა ელექტრული მეთოდებით . . . 225

მეცხრე თავი. ტრანსფორმატორები

9-1. ტრანსფორმატორების დანიშნულება . . . 229
9-2. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის მოწყობილობა და მოქმედების პრინციპი . 230
9-3. ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის უქმი სვლა . . . 232
9-4. დატვირთული ტრანსფორმატორის მუშაობა და მაგნიტმამოძრავებელი ძალის (მმძ) დიაგრამა . . . 234
9-5. ტრანსფორმატორის ძაბვის ცვლილება დატვირთვის დროს . . . 236
9-6. სიმძლავრის დანაკარგები დატვირთული ტრანსფორმატორის გრაგნილებში . 232
9-7. სამფაზიანი ტრანსფორმატორი . . . 237
9-8. ტრანსფორმატორის ძაბვის რეგულირება . . . 239
9-9. ავტოტრანსფორმატორები . . . 240
9-10. ტრანსფორმატორები რკალური ელექტროშედუღებისათვის . . . 241
9-11. საზომი ტრანსფორმატორები . . . 242
9-12. ტრანსფორმატორის მარგი ქმედების კოეფიციენტი . . . 244
9-13. ტრანსფორმატორის გაცხელება და გაცივება . . . 245

მეათე თავი. ცვლადი დენის ელექტრული მანქანები

10-1. ცვლადი დენის მანქანების დანიშნულება. ასინქრონული ელექტროძრავები 246
10-2. მბრუნავი მაგნიტური ველის მიღება . . . 247
10-3. ასინქრონული ელექტროძრავას სტატორის გრაგნილი . . . 249
10-4. ასინქრონული ელექტროძრავას როტორის გრაგნილი . . . 252
10-5. ასინქრონული ძრავას მოქმედების პრინციპი . . . 253
10-6. ელექტრომამოძრავებელი ძალები სტატორისა და როტორის გრაგნილებში . 255
10-7. როტორის გრაგნილის წინაღობა . . . 256
10-8. დენი როტორის გრაგნილებში . . . 257
10-9. ძრავას მაბრუნი მომენტი . . . 257
10-10. ასინქრონული ძრავების ამუშავება . . . 259
10-11. ასინქრონული ძრავას ბრუნვის სიხშირის რეგულირება . . . 261
10-12. ერთფაზიანი ასინქრონული ძრავა . . . 263
10-13. ასინქრონული ძრავას დანაკარგები და მარგი ქმედების კოეფიციენტი . . 266
10-14. სინქრონული მანქანები . . . 266
10-15. უნივერსალური კოლექტორული ძრავა . . . 270

მეთერთმეტე თავი. ელექტროამძრავი და მართვის აპარატურა

11-1. ელექტროამძრავის სისტემა 271
11-2. ელექტრული მანქანების გახურება 272
11-3. ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანგრძლივი რეჟიმის დროს 273
11-4. ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე რეჟიმის დროს 274
11-5. ძრავას სიმძლავრის შერჩევა ხანმოკლე განმეორებითი რეჟიმის დროს 275
11-6. ჩამრაზები 276
11-7. პაკეტური ამომრთველები 277
11-8. რეოსტატები ელექტროძრავების ამუშავებისა და რეგულირებისათვის 278
11-9. კონტროლერები 280
11-10. მდნობი მცველები 281
11-11. ავტომატური საჰაერო ამომრთველები 283
11-12. კონტაქტორები 284
11-13. რელეები 285
11-14. მართვის სქემები ძრავებით 287
11-15. სამფაზიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას მართვის სქემა მაგნიტური გამშვების მეშვეობით 288
11-16. სამფაზიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას მართვის სქემა რევერსული მაგნიტური გამშვების მეშვეობით 288
11-17. ორსიჩქარიანი ასინქრონული მოკლედ შერთული ძრავას ჩართვის სქემა . . 290
11-18. სამფაზიანი ასინქრონული რგოლებიანი ძრავას ავტომატური ამუშავება . 291

მეთორმეტე თავი. ელექტროენერგიის გადაცემა და განაწილება

12-1. სამრეწველო საწარმოთა ელექტრომომარაგების სქემები 293
12-2. სამრეწველო საწარმოთა სატრანსფორმატორო ქვესადგურები და მანაწილებელი მოწყობილობა 295
12-3. სამრეწველო საწარმოთა ელექტრული ქსელები 299
12-4. დამცავი ჩამიწება 313

მეორე ნაწილი. ელექტრონიკის საფუძვლები

შესავალი 316

მეცამეტე თავი. ძირითადი ცნებები ელექტრონულ პროცესებზე. ორელექტროდიანი ელექტრონმილაკები

13-1. ელექტრონული ხელსაწყოების კლასიფიკაცია და გამოყენება 319
13-2. ელექტრონების მოძრაობა ელექტროველში 320
13-3. ელექტრონების მოძრაობა მაგნიტურ ველში 323
13-4. ელექტრონული ემისია 324
13-5. ელექტრონვაკუუმური ხელსაწყოების კათოდები 327
13-6. ორელექტროდიანი ელექტრონული მილაკები — დიოდები 328

მეთოთხმეტე თავი. სამელექტროდიანი და მრავალელექტროდიანი მილაკები

14-1. ტრიოდის მოწყობილობა და მუშაობის პრინციპი 335
14-2. ტრიოდის სტატიკური მახასიათებლები 337
14-3. ტრიოდის პარამეტრები 340
14-4. ტრიოდის ელექტროდთშორისი ტევადობა 345
14-5. ტრიოდების ტიპები 346
14-6. ოთხელექტროდიანი ელექტრონმილაკები — ტეტროდები 347

14-7. ხუთელექტროდიანი ელექტრონმილაკები — პენტოდები 351
14-8. კომბინირებული და მრავალბადიანი ელექტრონმილაკები, ელექტრონმილაკების ტიპები 352

მეთხუთმეტე თავი. **იონური (აირგანმუხტვის ხელსაწყოები და მათი გამოყენება**

15-1. აირული განმუხტვის სახეები და მისი ვოლტამპერული მახასიათებელი . . . 354
15-2. დამოკიდებული რკალური განმუხტვის ხელსაწყოები 357
15-3. ფუქვადი განმუხტვის ხელსაწყოები 362
15-4. დამოუკიდებელი რკალური განმუხტვის ხელსაწყოები 368
15-5. აირგანმუხტვის ხელსაწყოების აღნიშვნები 378

მეთექვსმეტე თავი. **ნახევარგამტარების ხელსაწყოები და მათი გამოყენება**

16-1. ნახევარგამტარების საკუთარი ელექტროგამტარობა 374
16-2. ნახევარგამტარების მინარევული ელექტროგამტარობა 376
16-3. ნახევარგამტარის დიოდი 378
16-4. გერმანიუმისა და კაჟბადის დიოდები 380
16-5. სპილენძჟანგვასა და სელენის დიოდები 382
16-6. ნახევარგამტარის ვენტილების გამოყენება 384
16-7. ნახევარგამტარის დიოდების აღნიშვნები 385
16-8. კაჟბადის სტაბილიტრონები (საყრდენი დიოდები) 386
16-9. ტრანზისტორები 387
16-10. ტრანზისტორების გამოყენება 389
16-11. ტრანზისტორების აღნიშვნები 395
16-12. ნახევარგამტარის მმართველი ვენტილები — ტირისტორები 397

მეჩვიდმეტე თავი. **ფოტოელექტრონული ხელსაწყოები**

17-1. ფოტოელემენტები გარე ფოტოეფექტით 400
17-2. ფოტოელექტრონული მამრავლებელი 405
17-3. ფოტორეზისტორები 405
17-4. ნახევარგამტარიანი ფოტოელემენტები 407

მეთვრამეტე თავი. **ცვლადი დენის გამმართველები**

18-1. ცვლადი დენის ერთნახევარპერიოდიანი გამართვა 410
18-2. ცვლადი დენის ორნახევარპერიოდიანი გამართვა 414
18-3. სამფაზიანი გამმართველები 418
18-4. დიოდების შერჩევა გამმართველის სქემებისათვის 419
18-5. კონდენსატორის დამუხტვა და განმუხტვა 421
18-6. ელექტრული ფილტრები 424
18-7. ტირისტორიანი გამმართველების სქემები 427

მეცხრამეტე თავი. **დაბალი სიხშირის მაძლიერებელი**

19-1. ზოგადი ცნებები მაძლიერებლებზე 430
А. ნახევარგამტარიანი მაძლიერებლები 434
19-2. საერთოემიტერიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლების პრაქტიკული სქემები 434
19-3. მუშა წერტილის შერჩევა და დენისა და ძაბვის მრუდების აგება 436
19-4. მაძლიერებლის სიხშირული მახასიათებლები 440
19-5. მრავალკასკადიანი ტრანზისტორული მაძლიერებლები 441
19-6. ტრანზისტორის ბოლო მაძლიერებელი კასკადი 443
19-7. უკუკავშირი მაძლიერებლებში 445
Б. ელექტრონმილაკიანი მაძლიერებლები 446

19-8. დაბალი სიხშირის გაძლიერების უმარტივესი კასკადი ელექტრონული ტრიოდით 446
19-9. მრავალკასკადიანი ელექტრონმილაკიანი მაძლიერებლები 455
19-10. ცნება სიმძლავრის მაძლიერებლებზე 457
19-11. ტრანზისტორის მუშაობის იმპულსური რეჟიმი 462

მეოცე თავი. ელექტრონული გენერატორები. ოსცილოგრაფები

20-1. სინუსოიდური ძაბვის გენერატორები 463
20-2. ხერხისებრი ძაბვის გენერატორები 467
20-3. მულტივიბრატორები 469
20-4. ელექტრონულ-სხივური მილაკები 472
20-5. ელექტრონულ-სხივური ოსცილოგრაფი 477
20-6. ელექტრონულ-სხივური მილაკების აღნიშვნები 480

ოცდამეერთე თავი. ელექტრონული, ნახევრადგამტარიანი და ფოტოელექტრონული რელეები

21-1. ზოგადი დებულებები 481
21-2. მუდმივი ძაბვის ელექტრონული კონტაქტური რელე 483
21-3. ცვლადი ძაბვის ელექტრონული კონტაქტური რელე 483
21-4. მუდმივი დენის RC ტიპის დროის რელე 485
21-5. ცვლადი დენის RC ტიპის დროის რელე 486
21-6. დროის რელე ტრანზისტორებით 487
21-7. დროის რელე ფუჭვადი განმუხტვის ტირატრონით 487
21-8. ფოტორელე 488
21-9. ტრიგერი 491

ოცდამეორე თავი. გამოთვლითი ტექნიკის საფუძვლები

22-1. ზოგადი ცნობები გამომთვლელ მანქანებზე 493
22-2. ელექტრონული ციფრობრივი გამომთვლელი მანქანების სტრუქტურული სქემის აგების პრინციპი (ეგმ) 494
22-3. ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების ცალკეული ბლოკების ურთიერთქმედება 496
22-4. ათვლის ორობითი სისტემა 497
22-5. არითმეტიკული მოქმედებანი ორობითი რიცხვებით 498
22-6. ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის ზოგიერთი ელემენტის მუშაობის პრინციპი 501
22-7. ორობითი მრიცხველის მუშაობის პრინციპი 505
22-8. არითმეტიკული მოწყობილობის სუმატორის მუშაობის პრინციპი . . . 507
22-9. დაყოვნების ხაზები 510
22-10. დამხსომებელი მოწყობილობა 510
22-11. შემყვანისა და გამომყვანის მოწყობილობა 515

ოცდამესამე თავი. ელექტრონიკის გამოყენება ტექნიკაში. ელექტროავტომატიკა (ზოგადი ცნობები)

23-1. ავტომატიკის სისტემები 518
23-2. ავტომატური მოწყობილობის ელემენტები 519
23-3. ავტომატური კონტროლი 519
23-4. ავტომატური მართვა 523
23-5. ავტომატური რეგულირება 534