

ედეკური კავშირგაბმულობის თეორია და ხაზები

საქართველოს სსრ უმაღლესი და საშუალო სპეცია-
ლური განათლების სამინისტროს მიერ დამტკიცებულია
დამხმარე სახელმძღვანელოდ კავშირგაბმულობის ელექ-
ტროტექნიკური ინსტიტუტის საინჟინრო-ეკონომიური
ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის

წიგნში მოცემულია ელექტრული კავშირის ყველა ძირითადი საკითხი, სახელდობრ: სხვადასხვა სახის კავშირის განხორციელების პრინციპი, ორპოლუსები, ოთხპოლუსები, ელექტრული ფილტრები, არახაზური სისტემები; განხილულია კავშირგაბმულობის საპაერო და საკაბელო ხაზები, ადგილობრივი სატელეფონო ქსელის აგების პრინციპი, კლასიფიკაცია და ათვისებულება. მასალის უკეთ ათვისების მიზნით, თეორიულ მასალას თან ერთვის პრაქტიკული მაგალითები, ამოცანები და საკონტროლო კითხვები.

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ელექტრული კავშირგაბმულობის ცნება

კავშირგაბმულობის დანიშნულებაა აზრების, ინფორმაციათა, კულტურულ და მატერიალურ ღირებულებათა გაცვლა და სხე.

კავშირგაბმულობის საშუალებანი ძირითადად ორი სახისაა — საფოსტო და ელექტროკავშირგაბმულობის. ელექტროკავშირგაბმულობა, თავის მხრივ, იყოფა სახაზო და სასადგურო მოწყობილობებად, რომელთა დანიშნულებაა: პირველადი ინფორმაციის გარდაქმნა ელექტრულ სიგნალებად; მათი გადაცემა სასურველ მანძილზე და ელექტრული სიგნალების უკუგარდაქმნა პირველად ინფორმაციად. პირველადი ინფორმაციის გარდაქმნა ელექტრულ სიგნალებად და, პირიქით, ხორციელდება ელექტრომაგნიტური და ელექტრონული ხელსაწყოებით, ხოლო სიგნალის ელექტრომაგნიტური ტალღის გადაცემა—მიმართული სისტემებით (სადენებით, კაბელებით და ტალღასატარებით) ანდა მიწისზედა სივრცით. ამასთან დაკავშირებით ელექტროკავშირის საშუალებანი იყოფა სამავთულო კავშირგაბმულობად და რადიოკავშირად.

ელექტრული სიგნალის ცნება

ადამიანის გრძნობათა ორგანოებზე ნებისმიერი ზემოქმედებით წარმოიქმნება განსაზღვრული ინფორმაცია. მაგალითად, როდესაც ადამიანი აკვირდება წვიმის დაწყებამდე ღრუბლებს, იგი ღებულობს ინფორმაციას ატმოსფეროს მდგომარეობის შესახებ (ღრუბლების გადაადგილება, ელვა და ა. შ.). ინფორმაციის უმარტივესი ნაწილი ადამიანის სმენისა და მხედველობის ორგანოებიდან გადაეცემა ცენტრალურ ნერვულ სისტემას. ამ შემთხვევაში ინფორმაციის შეგროვების სიჩქარე პირველხარისხოვანი მაჩვენებელია, სინათლის ზემოქმედებას მხედველობის ორგანოებზე ბგერით ზემოქმედებასთან შედარებით ერთგვარი უპირატესობა ეძლევა. მართლაც, ადამიანი ძირითადად ინფორმაციას ღებულობს ელვის დანახვით, ხოლო ბგერითი ინფორმაცია ქუჩილის სახიფათო ადამიანის სმენის ორგანომდე აღწევს მხოლოდ 2—3 წამის შემდეგ. ამგვარად, პირველადი ინფორმაცია, როგორც წესი, ზემოქმედებას

ახდენს ადამიანის სმენის ან მხედველობის ორგანოებზე, მაგრამ პირველადი ინფორმაციის უშუალო ზემოქმედების რადიუსი უკიდურესად შეზღუდულია და შეადგენს მხოლოდ რამდენიმე ათეულ მეტრს. ზემოქმედების რადიუსის ანდა ინფორმაციის გადაცემის მანძილის გასაღიდეზლად გამოიყენება ელექტრული კავშირგაბმულობის საშუალებანი, რომლებიც პირველად ინფორმაციას გარდაქმნიან ელექტრულ სიგნალებად, გადასცემენ მათ მომხმარებლებს დიდი სიჩქარით და კვლავ გარდაქმნიან ელექტრულ სიგნალებს პირველად ინფორმაციად. ამ დროს ელექტრული სიგნალები შეესაბამება პირველადი ინფორმაციის სიგნალებს. მაგალითად, ბგერითი სიგნალები წარმოიქმნება ჰაერის ნაწილაკების რხევის სახით; ეს რხევები ხასიათდება წნევის ძალით, სიხშირითა და ხანგრძლივობით (ზემოქმედების დრო).

ამგვარად, ელექტრული სიგნალები უნდა შეიცავდეს ბგერითი წნევის ძალას, რხევის სიხშირესა და მის ხანგრძლივობას, ზოგიერთ შემთხვევაში კი რხევის საწყის ფაზასაც.

მაშასადამე, ელექტრული დენი ან ძაბვა ელექტრული სიგნალია, რომელიც პირველადი ინფორმაციის სიგნალის შესაბამისად იცვლება და ხასიათდება ამპლიტუდით, სიხშირით, ხანგრძლივობითა და საწყისი ფაზით. პირველადი ინფორმაციის სახის მიხედვით ელექტრული სიგნალის ფორმა შეიძლება სხვადასხვა იყოს.

კავშირგაბმულობის სისტემის ცნება

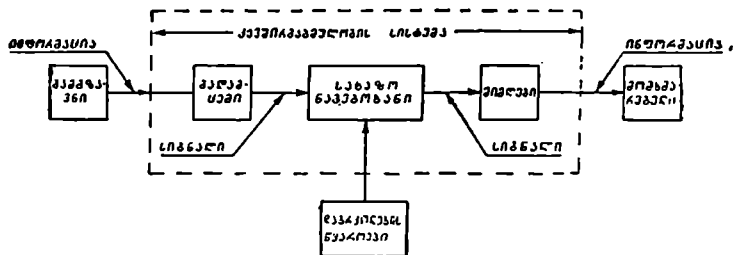
როგორც აღვნიშნეთ, ინფორმაციის გადაცემის მანძილის გასაღიდეზლად გამოიყენება ელექტრული კავშირგაბმულობის საშუალებანი. ამ მოწყობილობათა მეშვეობით შეიძლება დედამიწის ზედაპირზე ნებისმიერი მანძილის გადაფარვა. ელექტრული კავშირის ნორმალური მუშაობისათვის ამ მოწყობილობებს განლაგებენ თითოეული სახელმწიფოს ტერიტორიაზე განსაზღვრული სისტემით, რომელიც ითვალისწინებს მაქსიმალურ მოხერხებულობას, მინიმალურ ხარჯებსა და სხვ.

ამგვარად, კავშირგაბმულობის საშუალებათა ერთობლიობას კავშირგაბმულობის სისტემა ეწოდება. მისი დანიშნულებაა სხვადასხვა სახის კავშირის (სატელეგრაფო, სატელეფონო, სატელევიზიო) ორგანიზაცია, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს გარკვეულ ტექნიკურ-ეკონომიურ მოთხოვნებს.

კავშირგაბმულობის სისტემა აერთიანებს დიდი რაოდენობით სხვადასხვა ელემენტებს და ცალკეულ მოწყობილობებს, ხელსაწყოებს, აპარატებს, ნაგებობებს და სხვ. სადგურებში განლაგებული მოწყობილობები, აპარატები და ხელსაწყოები სასადგურო მოწყობილობებია, ხოლო ხაზზე განლაგებული მოწყობილობები — სახაზო ნაგებობების სახელ-

წოდებითაა ცნობილი. 1-ელ ნახაზზე მოცემულია კავშირგაბმულობის სისტემის გამარტივებული სქემა.

აპარატურა და განსაკუთრებით სახაზო ნაგებობა მოითხოვს კაპიტალური ხარჯების მნიშვნელოვან ნაწილს. ამიტომ კავშირგაბმულობის სისტემის აგება ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში უნდა ხორციელდებოდეს აპარატურისა და სახაზო ნაგებობის უკეთ გამოყენების თვალსაზრისით. მათი საშუალებით ხორციელდება კავშირი, რომელიც აღწევს რამდენიმე ასეულსა და ათასეულსაც კი. ყოველ ასეთ კავშირს კავ-



ნახ. 1.

შირგაბმულობის არხი (კავშირგაბმულობის მოწყობილობათა ერთობლიობა, რომელიც გამოიყენება ცალკეული თანმიმდევრული ელექტრული სიგნალების გადასაცემად) ეწოდება. კავშირგაბმულობის არხი ხასიათდება სიხშირეთა ზოლის სიგანით, რომელიც განკუთვნილია ელექტრული სიგნალის გადასაცემად.

იმისათვის, რომ კავშირგაბმულობის არხით გადავცეთ ელექტრული სიგნალები, საჭიროა მათი გარდაქმნა, ამპლიტუდის გაძლიერება. და, საერთოდ, სიგნალის ისეთ მდგომარეობაში მოყვანა, რომლის დროსაც მას თავისუფლად შეეძლება კავშირგაბმულობის არხში გადაცემა. ამ მიზნით გამოიყენება სპეციალური მოწყობილობები — გამაძლიერებლები, მოდულატორები და დემოდულატორები.

მოდულაცია შეიძლება იყოს ამპლიტუდური, ფაზური და სიხშირული. ამგვარად, კავშირგაბმულობის სისტემა შესაბამისად არის ამპლიტუდური, ფაზური ანდა სიხშირული მოდულაციით.

კავშირგაბმულობის ერთიანი ავტომატიზებული სისტემა

კავშირგაბმულობის სისტემები ერთმანეთისაგან განსხვავდება არხების კომპლექსის მეთოდებით. არხების კომპლექსია შეიძლება განხორციელდეს ხელით, ნახევრად ავტომატურად და ავტომატურად. ამ-

უამად. ძირითადად, აბონენტების ურთიერთშეერთება ხორციელდება ზელით შეერთების მეთოდით, რაც მნიშვნელოვნად აყოვნებს ინფორმაციის გადაცემას და ამცირებს მოსახლეობის მომსახურების ხარისხს. აბონენტებს შორის ავტომატურად შეერთების მეთოდი ფართო შესაძლებლობებს იძლევა. ვინაიდან იგი აუმჯობესებს სახალხო მეურნეობისა და მოსახლეობის მომსახურების ხარისხს.

ნავარაუდევია საბჭოთა კავშირში შეიქმნას ერთიანი სატელეფონო-სატელეგრაფო ქსელი, რომელიც გააერთიანებს ყველა სადგურსა და ქვედა ქსელს. კავშირგაბმულობის ყველა კვანძს ექნება აბონენტთა ნუმერაციის ერთიანი სისტემა. ყველა სატელეფონო-სატელეგრაფო სადგური გადაყვანილი იქნება აბონენტების ავტომატურად შეერთების მეთოდზე, აგრეთვე შეიქმნება ავტომატური კომუტაციის კვანძები პირდაპირი და შემოვლითი არხების ასარჩევად. კავშირგაბმულობის ყველა არხი დააკმაყოფილებს ერთიან ტექნიკურ მოთხოვნებს ელექტრული კავშირის სიგნალების გადასაცემად.

ერთიანი ავტომატიზებული სისტემა — ელექტრული კავშირის სისტემა მომავალში, როდესაც ნებისმიერი აბონენტი ნომრის აკრეფით შეძლებს საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ნებისმიერი აბონენტის გამოძახებას ავტომატურად.

ელექტროკავშირის განვითარების ეტაპები

ელექტრული კავშირის განვითარების პერიოდში მიმდინარეობდა მუშაობა გადაცემის მანძილის გასაღიდეზად (ტელეგრაფის აპარატი შეიქმნა 1832 წ., ტელეფონის აპარატი კი — 1876 წ.). ელექტრული კავშირის მანძილის გაღიდება ძირითადად ხორციელდებოდა აპარატის სრულყოფის ან სადენების დიამეტრის გაღიდეზების საფუძველზე. ამასთან, გადაცემის მანძილის გაზრდა სადენების დიამეტრის ზრდის პროპორციულად ხდებოდა, ხოლო წრედში ინფორმაციის გადაცემის თვითღირებულება სადენების დიამეტრის ზრდის კვადრატის პროპორციულად იზრდებოდა. შორ მანძილზე გადაცემის გაიაფების მიზნით 1880—1883 წწ. წამოაყენეს იდეა ელექტრული წრედების შემკიდროების შესაძლებლობის შესახებ. ერთი ორგამტარიანი წრედის მეშვეობით ერთდროულად შეიძლება განხორციელდეს სამი გადაცემა, ე. ი. სამი კ-ვეშირი: ერთი სატელეფონო და ორი სატელეგრაფო. ამ შემთხვევაში სატელეფონო ლაპარაკის ღირებულება 2—3-ჯერ მცირდება.

1895 წ. რუსმა მეცნიერმა ა. პოპოვმა გამოიგონა რადიო, რომლის გამოგონებისთანავე გემებს შორის დამყარდა რადიოკავშირი, რის შემდეგაც იგი სწრაფი ტემპით განვითარდა.

1900—1902 წწ. წრედის ინდუქციურობის გაზრდით შეიქმნა სატელეფონო-სატელეგრაფო კავშირის გადაცემის მანძილის გადიდების მეთოდები (პუპინისა და კრარუპის). ამ მეთოდების გამოყენებისას (განსაკუთრებით პუპინის მეთოდის) გადაცემის მანძილი ზოგიერთ შემთხვევაში გაიზარდა 3—4-ჯერ. შორეული კავშირისათვის იყენებდნენ პუპინიზებულ საკაბელო წრედებს. მაგრამ აღნიშნულ გამოგონებათა მიუხედავად, გადაცემის მანძილი არ აღემატებოდა ასეულ კილომეტრს.

შორეული კავშირის განვითარებაში დიდ მოვლენად ითვლება აგრეთვე 1915 წელს ორმხრივი გამაძლიერებლის შექმნა. ეს გამოგონება ეკუთვნის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტს ვ. კოვალენკოვს, რომელმაც გამაძლიერებლის გამოგონებასთან ერთად შეიმუშავა საპაერო და საკაბელო ხაზებით სატელეფონო-სატელეგრაფო კავშირის გადაცემის თეორია. სატელეფონო გამაძლიერებლის მეშვეობით გადაცემის სიშორე თითქმის განუსაზღვრელად გაიზარდა. ოთხგამტარიანი წრედების გამოყენებით შეიქმნა სატელეფონო კავშირის განხორციელების შესაძლებლობა რამდენიმე ათასეულ კილომეტრზე.

შორეული კავშირის განვითარებაში მეორე დიდ მოვლენად ითვლება 1918 წელს ელექტრული წრედების სიხშირული მეთოდით შემკიდროების შექმნა. ეს მეთოდი დამყარებულია რადიოტექნიკის განვითარებაზე. მზიდი სიხშირისა და ზოლური ფილტრების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა ერთი საპაერო ხაზით განხორციელებულიყო 4—5 სატელეფონო ლაპარაკი და რამდენიმე სატელეგრაფო გადაცემა. შემდეგ (1933 წ.) ეს მეთოდი გამოიყენეს საკაბელო წრედების შემკიდროებისათვის. მასშადად, სიმეტრიული კონსტრუქციის საკაბელო ხაზებით ერთდროულად განხორციელდა 12 სატელეფონო ლაპარაკი, ხოლო კოაქსიალური კაბელით — 240: ამასთანავე დამუშავდა გამაძლიერებელი უარყოფითი უკუკავშირით; განხორციელდა ტელეხედვის გადაცემა კაბელით. მიღებულ იქნა კვარცული ფილტრები, გამოყენებულ იქნა სიხშირული გამასწორებლები და ა. შ.

1948 წელს შექმნეს ნახევრად გამტარი ტრიოდი (ტრანზისტორი), რომელმაც საფუძველი ჩაუყარა ელექტროკავშირის განვითარების ახალ ეტაპს. ვინაიდან ნახევრად გამტარი ტრიოდები მცირე ზომებისაა და აქვს ენერგიის მცირე დანახარჯი, მუშაობის დიდი დრო და მალალი მექანიკური სიმტკიცე, ამიტომ მათ მკვეთრად შეაფიწროეს მილაკიანი ტრიოდები და პენტოდები. შეიქმნა აგრეთვე მცირეზომიანი მაგნიტური მასალა, მცირეზომიანი კოაქსიალური კაბელი და მთელი რიგი სხვა გაუმჯობესებული ხელსაწყოები, რის შედეგადაც საპაერო და საკაბელო ხაზებისათვის დამუშავდა ეგრეთ წოდებული მრავალარხიანი და მცირეზომიანი შემკიდროების სისტემები.

1965 წელს საბჭოთა კავშირში წარმატებით გაუშვეს დედამიწის ხე-

ლოენური თანამგზავრი „მონია-1“. ამ თანამგზავრის მეშვეობით შორეულ მანძილზე (მოსკოვი-ვლადივოსტოკი) განხორციელდა სატელევიზიო პროგრამების, სატელეფონო ლაპარაკის, სატელეგრაფო და ფოტოტელეგრაფული კავშირების ექსპერიმენტული გადაცემები. აღნიშნული გადაცემები გვიჩვენებს თანამგზავრ-რეტრანსლატორების გამოყენების შესაძლებლობას.

ამჟამად ელექტროკავშირის ტექნიკა ხასიათდება შემდეგი მონაცემებით.

საქალაქთაშორისო სატელეგრაფო კავშირი ძირითადად ხორციელდება ვიწრო არხების მეშვეობით, რომლებიც მიიღებიან სატელეფონო არხის მეორეული შემქიდროების პრინციპით. ერთ სატელეფონო არხში ტონალური სიხშირის დიაპაზონში იქმნება 18 ან 24 სატელეგრაფო არხი. სატელეგრაფო სიგნალების გადასაცემად იყენებენ BT-34-4M და TT-17Π ტიპის აპარატურებს, რომლებიც მუშაობენ სიხშირული მოდულაციით.

საქალაქთაშორისო სატელეფონო კავშირი ძირითადად ხორციელდება საკაბელო და საჰაერო ხაზების საშუალებით. ამასთანავე ფართოდაა გამოყენებული რადიოსარელეო ხაზები. საკაბელო და რადიოსარელეო ხაზებით იქმნება სტანდარტული სატელეფონო კავშირის არხები, რომლებსაც ტონალურ დიაპაზონში უკავიათ 300-დან 3400 ჰც-მდე სიხშირეთა სპექტრი. სატელეფონო სიგნალების გადასაცემად ძირითადად გამოყენებულია მაღალსიხშირული ტელეფონირების აპარატურა.

საჰაერო ფოლადის წრედების შემქიდროება ხდება B-3-3C ტიპის აპარატურით, რომელიც დაბალი სიხშირის არხთან ერთად მაღალ სიხშირეზე 4-დან 30 კჰერცამდე სიხშირეთა სპექტრში ქმნის სამ არხს. ფერადლითონიანი საჰაერო ხაზების შემქიდროება ხორციელდება B-3-3C და B-12-2 ტიპის აპარატურებით, რომელთა საშუალებითაც ერთი წყვილი გამტარით ერთდროულად მიიღება 15 მაღალი სიხშირის არხი.

საკაბელო ხაზების შემქიდროება ხდება K-24-2, K-60, K-300 და K-1920 ტიპის აპარატურებით, რომელთა მეშვეობითაც ერთი წყვილი გამტარით ერთდროულად მიიღება 24, 60, 300 და 1920 სატელეფონო არხი. გარდა ამისა, თუ სატელეფონო არხების რაოდენობას შევამცირობთ 300-ით, K-1920 ტიპის აპარატურა სატელევიზიო გადაცემის შესაძლებლობას მოგვცემს.

როგორც ცნობილია, რადიოსარელეო ხაზები მუშაობს ულტრამოკლე ტალღების დიაპაზონით. სადგურებს შორის მანძილი 50—60 კმ-ია. მათი შემქიდროება ხორციელდება P-60/120 და P-600 ტიპის აპარატურებით, რომელთა შესაბამისად მიიღება 60, 120 და 600 სატელეფონო არხი ანდა მათ ნაცვლად ერთი სატელევიზიო არხი. ყოველ რადიოსარე-

ლევ ხაზზე შეიძლება მივიღოთ რამდენიმე რადიოსარელეო ღერო. თითოეული რადიოსარელეო ღეროს შემქმნდროება ხდება ზემოაღნიშნული აპარატურით. ამგვარად, რადიოსარელეო ხაზის სრული შემქმნდროებით P-60/120 ტიპის აპარატურით მიიღება 240 სატელეფონო და ერთი სატელევიზიო არხი. თუ P-600 ტიპის აპარატურით ხორციელდება სრული შემქმნდროება, მიიღება 2400 სატელეფონო, ერთი სატელევიზიო არხი და ერთი სათადარიგო ღერო, რომელიც ყოველთვის წესრიგშია და და ნებისმიერ დროს შეუძლია შეცვალოს რომელიმე მოქმედი ღერო.

რადიომალწყებლობის გადაცემა საქალაქთაშორისო ხაზებით ძირითადად სრულდება ორი ან სამი სატელეფონო არხის გაერთიანების საფუძველზე. ორი სატელეფონო არხის გაერთიანების შედეგად მიიღება 60-დან 7300 ჰც-მდე, ხოლო სამი სატელეფონო არხის გაერთიანებით — 60-დან 10.000 ჰც-მდე სიხშირეთა სპექტრი. რადიომალწყებლობის სიგნალების გადაცემა ABO-2 ანდა ABO-3 ტიპის აპარატურებით ხდება.

ფოტოტელეგრაფული კავშირი საქალაქთაშორისო ხაზებით განხორციელდება, თუ 300-დან 3400 ჰერცამდე სიხშირეთა სპექტრში ცალკეულ სატელეფონო არხებს გამოიყენებთ. მაგალითად, ერთი სატელეფონო არხით შეიძლება შესრულდეს ერთი ფოტოტელეგრაფული კავშირი. ფოტოტელეგრაფული სიგნალების გადასაცემად გამოიყენება ФТА-М2, ФТАП და „რეკორდის“ ტიპის აპარატურები.

საქალაქთაშორისო სატელევიზიო გადაცემა ხდება კოაქსიალური და რადიოსარელეო ხაზების მეშვეობით. ძირითადად კადრში გადაიცემა შავ-თეთრი გამოსახულება სტანდარტული 625 სტროფით. ერთი სატელევიზიო არხის სიხშირეთა სპექტრი დაახლოებით შეადგენს 60ს0 კჰც, რაც შეესაბამება სიხშირეთა ზოლს, რომელშიც შეიძლება განლაგდეს 1500 სატელეფონო არხი. სატელევიზიო სიგნალებისა და ბგერითი თანმხლების გადაცემისათვის გამოიყენება K-1920 და P-600 ტიპის, ხოლო მარტო სატელევიზიო სიგნალების გადასაცემად — P-60/120 ტიპის აპარატურები. ამ შემთხვევაში ბგერითი თანმხლების გადაცემა ხდება მეორე ღეროთი, რომელშიც მოქმედებს ტელეფონის არხები.

საკაბელო და რადიოსარელეო მაგისტრალზე საშუალებდო სადგურები მოუმსახურებელი მოწყობილობაა, ე. ი. მათში არ არის მომსახურე პერსონალი. ყოველგვარი რეგულირება და სადგურების ნორმალური მუშაობის რეჟიმის შექმნა ხდება ავტომატური საშუალებებით მომსახურე სადგურებიდან, რომლებიც ყოველ 120-200 კმ-ზეა განლაგებული.

ელექტროკავშირის აპარატურის მნიშვნელოვანი ნაწილი აგებულია ნახევარგამტარი ხელსაწყოების საფუძველზე, ამიტომ ამჟამად მათი გაბარიტები შესამჩნევადაა შემცირებული. გარდა ამისა, ნახევარგამტარი ხელსაწყოები ნაკლებ ელექტროენერგიას ხარჯავს.

შორეული კავშირის მრავალარხიანი აპარატურის გამოყენება საქა-

ლაქთაშორისო სატელეფონო კავშირის ავტომატიზაციის განხორციელების საშუალებას იძლევა. ამჟამად საბჭოთა კავშირში უკვე მოქმედებს ავტომატური შეერთების არხები, რომელთა საშუალებითაც აბონენტები ერთმანეთს უკავშირდებიან,

ზოგიერთ რესპუბლიკაში (ოლქში) განხორციელებულია პირდაპირი სატელეგრაფო შეერთება, რისთვისაც იყენებენ ავტომატურ სატელეფონო სადგურის ხელსაწყოებს.

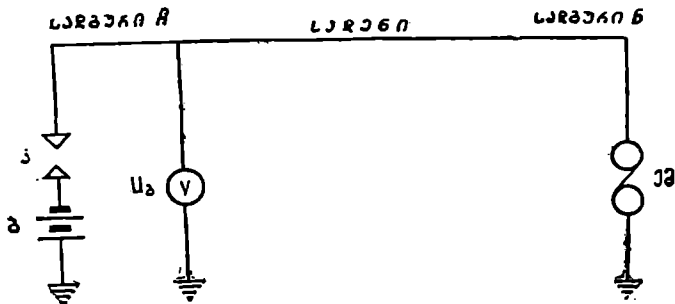
ამგვარად, შორეული კავშირის ტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონე ითვალისწინებს მრავალარხიანი სისტემების გამოყენებას, მომსახურების ავტომატურ პროცესს, ინფორმაციის გადაცემის ხარისხის გაუმჯობესებასა და გადაცემის თვითღირებულების შემცირებას.

სხვადასხვა სახის კავშირის განხორციელების პრინციპი

1.1. მუდმივი და ცვლადი დენით ბელაგრაფირების პრინციპი

როგორც ცნობილია, ტელეგრაფირების დროს წრედში გადაიცემა მუდმივი დენის იმპულსები, რომელთა ხანგრძლივობა და დენის მიმართულება სატელეგრაფო სიგნალის გადაცემისას შეიძლება ცვალებადი იყოს.

1.1 ნახაზზე ნაჩვენებია სატელეგრაფო კავშირის მარტივი სქემა გადამცემი და მიმღები მოწყობილობით. როდესაც A სადგურში გადამცემის (გ) ჩართვა-გამორთვის საშუალებით შეეკრავთ ან გაეთიშავთ წრედს,



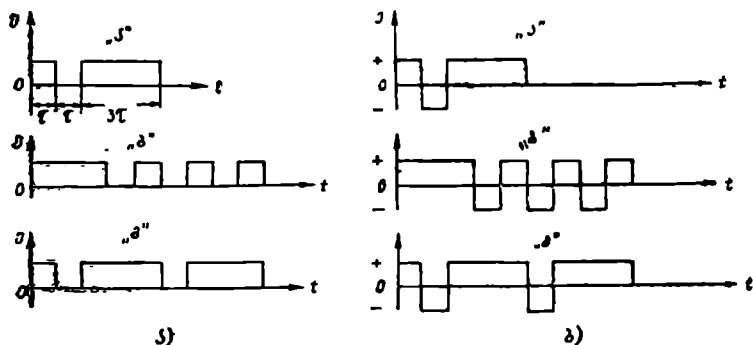
ნახ. 1.1.

სადგურის ბატარეიდან (ბ) წრედში გაიგზავნება დენის იმპულსები, რომლებიც B სადგურში გაივლიან ელექტრომაგნიტს (ემ).

იმპულსებისაგან შედგენილი კომბინაცია შეესაბამება ანბანის რომელიმე ასოს. იმპულსების გადაცემა შეიძლება შესრულდეს როგორც ცალმხრივი, ასევე ორმხრივი მიმართულების დენით (ნახ. 1.2, ა და ბ). უმცირესი ხანგრძლივობის თითოეული იმპულსი (დადებითი, უარყოფითი

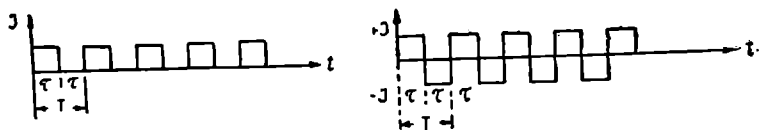
ან უდენო) არის ტელეგრაფის ელემენტარული სიგნალი ან სატელეგრაფო ელემენტარული გზავნილება. სატელეგრაფო ანბანში ელემენტარულ სიგნალს შეესაბამება წერტილი.

როგორც 1.2 ნახაზიდან ჩანს, სატელეგრაფო წრედში ელექტროდენის იმპულსები არაპერიოდულია. მიუხედავად ამისა, სიგნალების



ნახ. 1.2.

გადაცემის პროცესის შესწავლისას ტელეგრაფის იმპულსებს ხშირად განიხილავენ როგორც ელემენტარული იმპულსების პერიოდულ გზავნილებას (ნახ. 1.3).



ნახ. 1.3.

მაშასადამე, დენის პერიოდი განისაზღვრება ორი ელემენტარული გზავნილების ხანგრძლივობით:

$$T = 2\tau, \quad (1.1)$$

სადაც τ არის ელემენტარული გზავნილების ხანგრძლივობა, წმ.

ამ შემთხვევაში პერიოდის შებრუნებულ სიდიდეს ტელეგრაფირების სიხშირე ეწოდება და იზომება პერცენტებით:

$$F = \frac{1}{T}. \quad (1.2)$$

ამგვარად, ტელეგრაფირების სიხშირისათვის

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\tau} \text{ ჰც.} \quad (1.3)$$

ელემენტარული გზავნილების ხანგრძლივობით განისაზღვრება სიგნალის გადაცემის სიჩქარე. რაც ნაკლებია ელემენტარული გზავნილების ხანგრძლივობა, მით ნაკლები დრო სჭირდება თითოეული ასოს გადაცემას და შესაბამისად, მით უფრო მეტი იქნება სიგნალის გადაცემის სიჩქარე.

ტელეგრაფირების სიჩქარე, ანუ სიგნალის გადაცემის სიჩქარე ერთ წამში გადაცემულ ელემენტარულ გზავნილებათა რიცხვით განისაზღვრება. თუ ტელეგრაფის აპარატი ერთ წამში გადასცემს ერთ ელემენტარულ იმპულსს, აპარატი მუშაობს ერთი ბოდის სიჩქარით. როდესაც ელემენტარული გზავნილების ხანგრძლივობა ერთი წამია, ტელეგრაფირების სიჩქარე

$$B = \frac{1}{\tau} = \text{ბოდს.} \quad (1.4)$$

ამ გამოსახულებას ტელეგრაფირების სიხშირეს (ჰც-ობით) თუ შევადარებთ, მივიღებთ:

$$F = \frac{B}{2}, \quad (1.5)$$

ე. ი. ტელეგრაფირების სიხშირე F (ჰც-ობით) ტელეგრაფირების სიჩქარის ნახევრის (ბოდით) ტოლია.

თეორიული გამოკვლევები და ცდები გვიჩვენებს, რომ ცალმხრივი მიმართულების პერიოდული იმპულსები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მულტივი და სინუსოიდური ფორმის ცვლადი დენებისაგან შედგენილი ფორმის დენი, ე. ი.

$$i = I_0 + I_{m1} \sin \omega t + I_{m3} \sin 3\omega t + I_{m5} \sin 5\omega t + \dots + I_{m_n} \sin n\omega t, \quad (1.6)$$

სადაც i არის პერიოდული სატელეგრაფო იმპულსების დენი;

I_0 — მულტივი დენი, რომელიც გზავნილების დენის ნახევრის ტოლია:

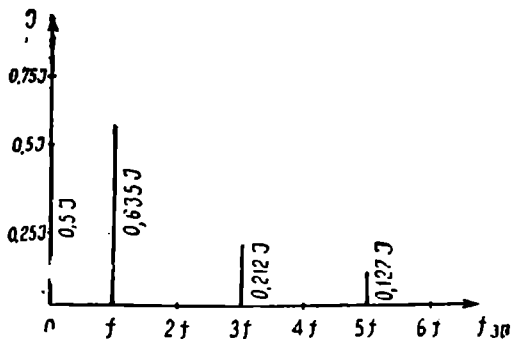
$$I_0 = \frac{1}{2}I; \quad I_{m1} = \frac{2}{\pi}I; \quad I_{m3} = \frac{2}{3\pi}I; \quad I_{m5} = \frac{2}{5\pi}I \text{ და ა. შ.}$$

ცვლადი დენის ამპლიტუდები;

$\omega = 2\pi F$ — ტელეგრაფირების კუთხური სიხშირე.

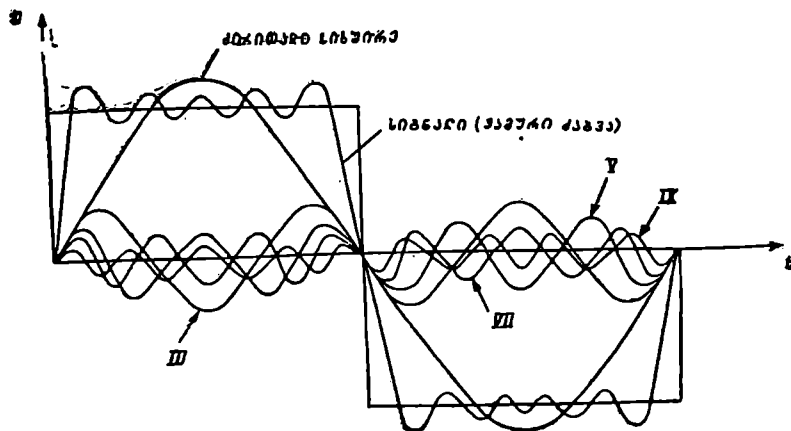
(1.6) გამოსახულებაში შემავალ ცვლად დენებს პერიოდული სატელე-

გრაფო იმპულსების პარმონიული შემდგენი ეწოდება, ცვლად დენს კი, რომლის სიხშირე ტელეგრაფირების სიხშირის ტოლია, — ძირითადი ან პირველი პარმონიული შემდგენი, ხოლო ცვლად შემდგენებს, რომლებიც 3-ჯერ, 5-ჯერ, 7-ჯერ და სხვა კენტ რიცხვჯერ მეტია ტელეგრაფირების სიხშირეზე—**ჰემესამე, მეხუთე, მეშვიდე და ა. შ. პარმონიული შემდგენები.** რაც მეტია პარმონიული შემდგენების სიხშირე, მით ნაკლებია მათი ამპლიტუდა (ნახ. 1.4).



ნახ. 1.4.

აღნიშნულის დასამტკიცებლად მოვახდინოთ პარმონიული შემდგენების გრაფიკული შეკრება ორმხრივი იმპულსების შემთხვევისათვის (ნახ. 1.5).



ნახ. 1.5.

როგორც ჩანს, გრაფიკულად შეკრების დროს მათი ჯამური მრუდი თავისი ფორმით უახლოვდება მართკუთხა სიგნალის ფორმას.

ფიზიკური წრედებით სატელეგრაფო კავშირის განსახორციელებლად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ძირითად და მესამე ჰარმონიულ შემდგენებს, ვინაიდან ისინი შეიცავენ იმპულსების ელექტრული ენერჯის დაახლოებით 90%-ს.

ტელეგრაფირების სიხშირის ზოლის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ სტანდარტული CT-2M ტელეგრაფის აპარატის მუშაობა. ამ აპარატის გადამცემის ღერძი წუთში ასრულებს 400,9 ბრუნს; თითოეული ბრუნვისას 7,5 კონტაქტი მონაწილეობს, ხოლო ერთ წამში გადაცემული იქნება:

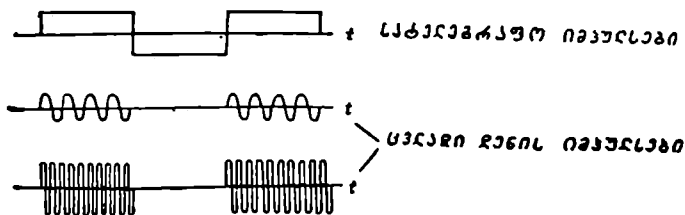
$$n = \frac{400,9 \cdot 7,5}{60} = 50 \text{ ელემენტარული გზავნილება.}$$

შესაბამისად (CT-2M აპარატის მუშაობისას) ძირითადი სიხშირე უდრის 25 ჰც, ხოლო მესამე ჰარმონიკა — 75 ჰც.

თუ სატელეგრაფო კავშირი სრულდება მუდმივი დენით, მაშინ ტელეგრაფის წრედის მიმდევრობით ირთვება დაბალი სიხშირის ფილტრი, რომელიც არ ატარებს 100÷200 ჰერცზე მეტ სიხშირეს.

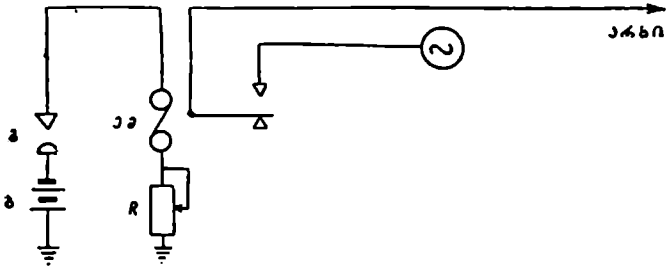
ერთი წრედით რამდენიმე სატელეგრაფო არხის გადასაცემად იყენებენ ტონალურ ტელეგრაფირებას, როდესაც სატელეფონო არხით (300—3 400 ჰც) ხორციელდება 12-დან 24 სატელეგრაფო კავშირი ისე, რომ თითოეული სატელეგრაფო არხის სიხშირის ზოლი გამოყოფილია მეზობელი არხების ზოლებისაგან.

ზემოგანხილულიდან დავასკვნით, რომ სატელეგრაფო ინფორმაციის გადასაცემად ცალმხრივი ან ორმხრივი მიმართულებით იგზავნება მუდმივი დენის იმპულსები, მაგრამ, თუ ამ იმპულსებით სპეციალურ გარდაქმნელზე ვიმოქმედებთ, იმპულსების ნაცვლად არხში გადაეცემა ცვლადი დენის გზავნილება, რომლის ხანგრძლივობა იმპულსების ხანგრძლივობის შესაბამისი იქნება (ნახ. 1.6).



ნახ. 1.6.

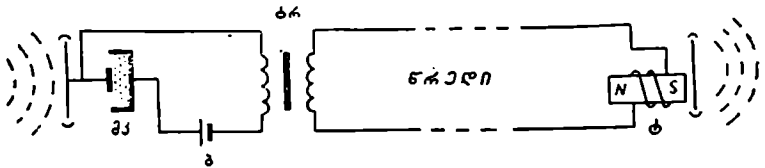
1.7 ნახაზზე მოცემულია აღნიშნული გარდამქმნელის მარტივი სქემა. გადაცემის კონტაქტის ჩართვისას რელეს ხეივებში გაივლის მუდმივი დენი და ლუზა გადაადგილდება ზევითა კონტაქტზე, რომელზედაც მუდმივად მიერთებულია ცვლადი დენის გენერატორი. კონტაქტთან შეხებისას არხში იგზავნება ცვლადი დენი მანამდე, სანამ რელეს ხეიაში დენი არ შეწყდება და ლუზა არ დაუბრუნდება ქვედა კონტაქტს.



ნახ. 1.7.

1. 2. საბელაზონო კავშირის პრინციპი

1.8 ნახაზზე მოცემულია სატელეფონო კავშირის უმარტივესი სქემა, რომელშიც გადაცემად მიკროფონია (მკ), ხოლო მიმღებად—ტელეფონი (ტ). როდესაც მიკროფონის მემბრანაზე მოქმედებს ბგერითი რხევები, მიკროფონის შიგა წინაღობა ბგერითი დაწოლის შესაბამისად იცვლება, ხოლო წრედში გამავალი დენის ფორმა — წინაღობის სიდიდის უკუ-



ნახ. 1.8:

პროპორციულად. ტრანსფორმატორის გამოსავალ ხეიაში წარმოიშვება ინდუქციური ელექტრომაგნიტური ძალა, რომელიც ხაზსა და ტელეფონის წრედში ქმნის ცვლად დენს.

ტელეფონის ხეია განლაგებულია მუდმივი მაგნიტის გულარზე, რომლის მაგნიტური ველი მოქმედებს მემბრანაზე. როდესაც ხეიაში გაივლის ცვლადი დენი, წარმოიქმნება მარეზულტირებელი მაგნიტური ველი, რომლის მოქმედებით ტელეფონის მემბრანა იწყებს რხევას. მემ-

ბრანის რხევა გადაეცემა ჰაერის მოსაზღვრე შრეებს, რის შედეგადაც მიკროფონის წინ წარმოქმნილ ხმას იმეორებს ტელეფონი. მაშასადამე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ: 1) მიკროფონში ბგერითი ენერგია გარდაქმნება ელექტრომაგნიტურ ენერგიად; 2) ელექტრომაგნიტური ენერგია გადაეცემა ხაზს; 3) ტელეფონში ელექტრომაგნიტური ენერგია გარდაქმნება ბგერით ენერგიად.

როგორც ცნობილია, ადამიანის მეტყველება შედგება ცალკეული ბგერებისაგან — ხმოვნისა და თანხმოვნებისაგან, თითოეული ბგერა კი — ძალიან რთული ბგერითი რხევებისაგან.

თეორიულმა და ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ მეტყველების თითოეული ბგერა შედგება ძირითადი ტონის, რომელიც განსაზღვრავს მეტყველების ბგერის სიმაღლეს, და რიგი უბრალო რხევითი ხმებისაგან, რომელთა სიხშირეები ძირითადი ტონის ჯერადებია, ე. ი. წარმოადგენენ მის ჰარმონიკებს. მთლიანად მეტყველების დროს წარმოიქმნება ბგერითი რხევები, რომელთა სიხშირეები დაახლოებით 70-დან 13 000 ჰერცის ფარგლებში მერყეობს. ძირითადი ფორმანტა შეიცავს ძირითადი ტონის რამდენიმე ჰარმონიკას, რომლითაც ხასიათდება მხოლოდ მოცემული ხმა. ძირითადი ფორმანტების სიხშირე 300-დან 2500 ჰერცამდე მერყეობს.

დამატებითი ფორმანტა განსაზღვრავს ხმის ტემბრს და დამოკიდებულია თითოეული ადამიანის ხმის აპარატის სპეციფიკურობაზე. მისი სიხშირეები 2 600-დან 3 500 ჰერცის ფარგლებშია. სწორედ ამ ორ ფორმანტას საშუალებით ლაპარაკი არა მარტო გასაგებია, არამედ ხმასაც ვარჩევთ ერთმანეთისაგან.

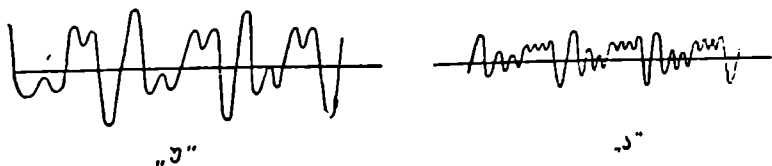
თანხმოვანი ბგერები თავისი სტრუქტურით ხმოვან ბგერებზე უფრო რთულია. მათ შემადგენლობაში უფრო მაღალი სიხშირის რხევები შედიან, ვიდრე ხმოვან ბგერებში. ყველაზე დიდი სიხშირისაა ბგერა „ს“ — 13 000 ჰც.

მუსიკალური ინსტრუმენტების ხმები შეიცავს 30-დან 16 000 ჰერცამდე სიხშირეს, ხოლო ადამიანის ყურს შეუძლია აღიქვას 16-დან 20 000 ჰც სიხშირე. ამ ზოლიდან ყველაზე მგრძობიარე ზოლი 800-დან 4000 ჰც ფარგლებშია.

განვიხილოთ „უ“ და „ა“ ბგერების ფორმები (ნახ. 1.9). თუ ვისარგებლებთ ფურიეს რიგებით, შეგვიძლია ეს რთული ფორმის რხევები წარმოვიდგინოთ როგორც მთელი რიგი სინუსოიდური რხევების ჯამი, რომელთა შორის დაბალ სიხშირეებს უფრო მეტი სიმძლავრე აქვს, ვიდრე მაღლებს (ნახ. 1.10).

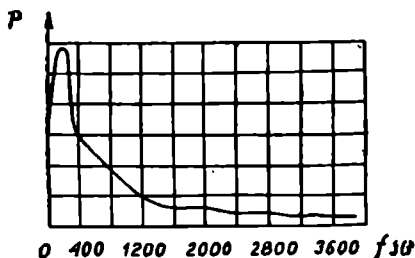
როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ძირითადი სიმძლავრეები ნაწილდება სიხშირეების შედარებით ვიწრო ზოლზე და ამასთანავე ყველა სიხშირის გადაცემა დაკავშირებულია მთელ რიგ სიძნელეებთან. სალაპარაკო ინფორმაციის გადასაცემად საჭირო სიხშირეების ზოლის გამოსარკვევად

ჩატარდა მთელი რიგი ცდები, რომელთაგანაც შეირჩა ერთ-ერთი არტიკულაციის მეთოდი. ეს მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: ერთმა-



ნახ. 1.9.

ნეთისგან იზოლირებულ ორ ოთახში დგამენ მიკროფონსა და ტელეფონს, მათ შორის კი ათავსებენ ცვლადპარამეტრებიან ზოლურ ფილტრს. ერთ-ერთი გამომცდელთაგანი მიკროფონის წინ კითხულობს სპეციალურ ცხრილში შეტანილ ცალკეული მარცვლებისაგან შემდგარ უაზრო სიტყვე-



ნახ. 1.10.

ბის ტექსტს. ეს გადაცემა საჭიროა იმისათვის, რომ ცალკეული მარცვლების დამახინჯებისას გამომცდელმა წინადადების აზრითა და ინტუიციით არ აღადგინოს ამ მარცვლების მნიშვნელობა.

1. 1 ცხრილში მოცემულია 50-მარცვლოვანი გადასაცემი ტექსტი, თუმცა ხშირად 100-მარცვლოვანი ტექსტით სარგებლობენ.

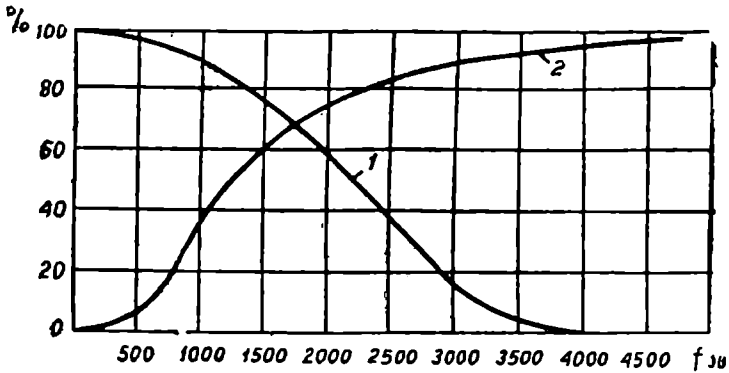
მეორე გამომცდელს ტელეფონში მიღებული მარცვლები შეაქვს სუფთა ცხრილში და სეანსის დამთავრების შემდეგ ადარებს გადაცემულ

ნიხ	ვიბ	ამრ	ლიბ	სკვე	ზუიხ	ვოს	სკვ	კად	ვოვ
კუფ	ბინ	შახ	პის	სტა	ნაკ	კას	ტახ	ფოვ	ხაკ
სტუ	კივ	განი	შუს	სორ	შაკ	ღირ	ტაკ	კიბ	სკოვ
პიპვ	ტან	ნორ	უი	კკილ	ბურ	პიფ	ღიან	ფი	კირ
პიპ	კდა	ბუს	ნიხ	კამ	ტივ	ვევ	ხივ	ღუს	ვოვ

ცხრილი 1.1.

და მიღებულ ტექსტებს შორის არსებულ ცდომილებას, ხოლო სწორად მიღებული მარცვლების მეშვეობით არკვევს არტიკულაციის კოეფიციენტს პროცენტობით. ცვლადპარამეტრიანი ფილტრის საშუალებით თანდათან ზღუდავენ როგორც დაბალ, ისე მაღალ სიხშირეებს, იმეორებენ ექსპერიმენტს და თითოეული სეანსის შედეგად მიღებული შედეგები შეაქვთ ცხრილში.

1.11 ნახაზზე აღნიშნული მრუდი (1) გვიჩვენებს არტიკულაციის კოეფიციენტის ცვლილებას, როდესაც დაბალ სიხშირეებს ჩამოვაკრით რომელიმე სიხშირიდან ნულამდე (მაგალითად, 500 ჰერციდან ნულამდე



ნახ. 1.11ა

ჩამოჭრის შემთხვევაში არტიკულაციის კოეფიციენტი იქნება 95%, ე.ი. საკმაოდ მაღალი). მრუდი (2) გვიჩვენებს კოეფიციენტის დამოკიდებულებას მაღალ სიხშირეებზე.

ცნობილია, რომ სალაპარაკო არხისათვის ყველაზე ეფექტური სიხშირეების ზოლი მიიღება 300-დან 3400 ჰერცს შორის არსებული სიხშირეების გადაცემის დროს. საშუალო სალაპარაკო სიხშირედ კი მიღებულია 800 ჰც, რომლის საშუალებით ხდება წრედის ცალკეული უბნების გაზომვა.

1. 3. რადიომაუწყებლობის პრინციპი

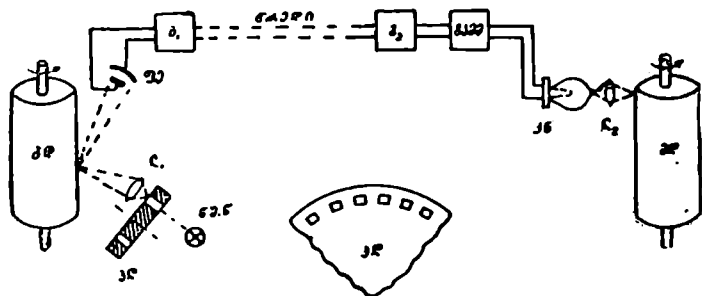
მაუწყებლობის სიგნალები თავისი ფორმით წააგავს ტელეფონის სიგნალებს, მაგრამ ამ შემთხვევაში ხორციელდება არა მარტო სალაპარაკო სიხშირეების, არამედ მუსიკისა და სხვა ხმების გადაცემებიც. ასე, მაგალითად, მუსიკალური და ლიტერატურულ-დრამატული გადაცემების დროს ხმის ბუნებრივად ჟღერადობისათვის საჭიროა სიხშირეების უფრო ფართო ზოლი; ორკესტრის ინსტრუმენტებიდან დოლი წარმოქმნის 50-1 200 ჰც სიხშირეს, კონტრაბასი — 40—9000 ჰც, ვიოლინო—

200 ÷ 13 000 ჰც, ხოლო საქსაფონი — 50 ÷ 10 000 ჰც. აღსანიშნავია, რომ მათი უღერადობის გადასაცემად საჭიროა 30 ÷ 15 000 ჰერცის ზოლი.

ასეთი ფართო ზოლის სიხშირეების გადაცემა აძვირებს არხის აპარატურის ფასს. ამიტომ მიღებულია ეფექტურად გადაცემულ სიხშირეთა ზოლის საბი გრადაცია: 100 ÷ 6 000 ჰც; 50 ÷ 10 000 ჰც და 30 ÷ 15 000 ჰც.

1. 4. ფოტოტელეგრაფირება

უძრავი გამოსახულების შორ მანძილზე გადაცემას ელექტრორხევეების საშუალებით ფოტოტელეგრაფირება ეწოდება. ის შედგება სინათლის ენერჯიის ელექტრომაგნიტურ ენერჯიად გარდამქმნელის (გადამცემაში აპარატი), ელექტრომაგნიტური ენერჯიის გადამცემისა და მისი სინათლის ენერჯიად გარდამქმნელისაგან (მიმღები აპარატი). ეს პროცესი სქემატურად მოცემულია 1.12 ნახაზზე.



ნახ. 1.12.

გადამცემ დოლზე ამაგრებენ გადასაცემ გამოსახულებას (ტელეგრაფას, ნახატს, ნახაზს, ფოტოსურათსა და სხვ.). სინათლის წყაროდან მასზე ეცემა 0,2 მმ დიამეტრის სხივის წერტილი. გამოსახულებიდან არეკლილი სხივი მოხვდება ფოტოელემენტზე (ფე), რომელშიც გამავალი დენი შეიცვლება სხივის სიმძლავრის შეცვლის პროპორციულად, ფოტოელემენტში წარმოქმნილი დენი გაძლიერდება გამაძლიერებელში (გ) და გადაეცემა ხაზში. მიმღებ სადგურში გაძლიერების შემდეგ (გა) დენი გაიმართება გამმართველში (გამმ) და მიეწოდება ნათურას (ნ), რომლის სხივი გაივლის ლინზას და პატარა წერტილად დაეცემა მიმღებ დოლზე შემოხვეულ ფოტომგრძობიარე ქაღალდს. გადამცემა და მიმღები დოლები ერთი სისწრაფით ბრუნავენ და ამასთანავე ღერძების გასწვრივ გადაადგილდებიან ისე, რომ მასზე დაცემულმა სინათლის სხივმა სპირალისებურად შემოუაროს დოლის მთელ ზედაპირს.

ფოტოელემენტში გამაყალი დენის სიხშირე დამოკიდებულია გამოსახულების თეთრი და შავი უჯრედების ერთმანეთის მონაცვლეობაზე. აღსანიშნავია, რომ ყველაზე დიდი სიხშირე წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც თეთრი ფერის ელემენტარული უჯრედების შემდეგ განლაგებული იქნება შავი ფერის ელემენტარული უჯრედი და, პირიქით. ასეთ უჯრედებს შორის გადასვლის სიმკვეთრის გასაძლიერებლად, სინათლის სხივი მუდმივად არ არის მიმართული გამოსახულებაზე, არამედ სპეციალური პერფორირებული დისკოს საშუალებით განიცდის წყვეტას. დოლის ერთი შემოვლისას მიიღება შემდეგი რაოდენობის ელემენტარული უჯრედები (პერფორირებული სინათლის გარეშე):

$$\frac{nD}{d},$$

სადაც D არის დოლის დიამეტრი; d — ელემენტარული უჯრედის სიგანე (0,2 მმ).

თუ შავი და თეთრი უჯრედები ერთმანეთს რიგრიგობით ენაცვლება (ყველაზე მაქსიმალური შემთხვევა) და დოლი ბრუნავს n ბრ/წმ, დენის ცვალებადობის სიხშირე

$$f = \frac{nD}{2} \cdot \frac{n}{d} \text{ ჰც.}$$

თუ $nD = 220$ მმ, დოლი ბრუნავს $n = 5$ ბრ/წმ, მაშინ მაქსიმალური სიხშირე

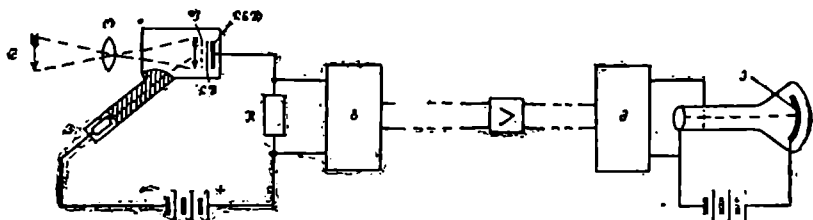
$$f_{\text{მაკს}} = \frac{220 \cdot 5}{2 \cdot 0,2} = 2750 \text{ ჰც.}$$

მინიმალური სიხშირე იქნება ნულის ტოლი (როდესაც სხივი ეცემა თეთრ ან მუქ გამოსახულებაზე ერთი წამის ხანგრძლივობით), ე. ი. ფოტოელემენტში წარმოიქმნება სიხშირეთა ზოლი 0-დან 3000 ჰერცამდე, რომლის გადაცემა ტექნიკურად ძნელია. ამ სიძნელის გადასაჭრელად ფოტოტელეგრაფში გამოყენებულია სიხშირის ზოლის უფრო მაღალ ზოლში გადატანა სპეციალური პერფორირებული დისკოს საშუალებით. ეს დისკო ბრუნავს სინათლის ნაკადის წინ გადაძვრულად და თავისი კრილებით ახდენს სინათლის ნაკადის წყვეტას. რაც უფრო სწრაფად ბრუნავს დისკო, მით უფრო მეტი სიხშირით განიცდის სინათლის ნაკადი წყვეტას და მით უფრო ზევით გადაადგილდება გამოსახულების სიხშირის ქვედა ზღვარი.

ამრიგად, ფოტოტელეგრაფირების სიხშირე გადატანილი იქნება სიხშირის ზოლში 300-დან 3400 ჰერცამდე და მისი გადაცემა შესაძლებელია სატელეფონო არხის საშუალებით.

ტელეხედვის გადაცემა (მოძრავი გამოსახულების გადაცემა) ფოტო-ტელეგრაფირებისაგან განსხვავდება დიდი სისწრაფეებით; ფოტოტელეგრაფსა და ტელეხედვას შორის სხვაობა რომ წარმოვიდგინოთ საკმარისია ვთქვათ, რომ ტელეხედვის დროს გადაცემა 25 კადრი/წმ.

1.13 ნახაზზე მოცემულია სატელევიზიო გადაცემის მარტივი სქემა. განათებული გამოსახულება (გ) ობიექტივის (ო) გავლით დაგეგმარდება ქარსის ფირფიტაზე (ფ). ქარსის ფირფიტა ერთ მხარეს დაფარულია ლითონის შრით (ლშ), ხოლო მეორე მხარეს დატანილი აქვს ლითონის ნამცეცების შრე (ლწშ). სინათლის ნაკადი ეცემა რა ლითონის ნამცეცებზე,



ნახ. 1.13.

გამოაგდებს ელექტრონებს და ნამცეცი იმუხტება დადებითად, ხოლო ქარსის ფირფიტის მეორე მხარეზე განლაგებულ ლითონის შრეზე შესაბამისად მიიზიდება ელექტრონები. მაშასადამე, რაც მეტია სინათლის სიმძლავრე, მით მეტ ელექტრონებს მიიზიდავს დადებითად დამუხტული ნამცეცები.

კათოდიდან მიღებული ელექტრონების ნაკადი ელექტროული ან მაგნიტური ველის საშუალებით გაირბენს ფირფიტის პირველ ზოლს მარჯვნიდან მარცხნივ და მყისვე დაბრუნდება ბოლოდან მეორე ზოლის დასაწყისში. თითოეულ ნამცეცზე გავლისას ელექტრონის ნაკადი ნამცეცს უბრუნებს დაკარგულ ელექტრონებს, ხოლო შრეზე განთავისუფლებული ელექტრონები ქმნის ელექტროდენს, რომლის გავლა R წინაღობაზე იწვევს ძაბვის ვარდნის ცვლილებას. ეს ძაბვა მოქმედებს გადამცემზე (გ). რომლის მეშვეობითაც ელექტრომაგნიტური ენერგია გადაეცემა მიმღებს. მიმღებში ენერგია გარდაიქმნება პირველად სიგნალად (იმპულსად), რომელაც მიმღები ელექტრონილაკის მმართველ ბადეზე მოქმედებს და ცვლის ელექტრონების ნაკადის ინტენსიურობას. მიმღები მილაკის მნათ ეკრანზე (ე) გამოჩნდება სინათლის წერტილი შესაბამისი სიკაშკაშით. ვინაიდან ელექტრონების ნაკადი მაგნიტური ან ელექტროული ველის გავლენით გაირბენს ისეთივე გზას, როგორსაც გადიოდა გადამცემ მილაკში, მიმღები მილაკის ეკრანზე მიიღება სინათლის ზოლი, რომ-

ლის ინტენსივობა გადაცემი მილაკის ლითონის მარცვლების მუხტებისა და გამოსახულების ზოლის შესაბამისი იქნება. დროის შემდეგ მონაკვეთში სხივი გადაინაცვლებს შემდეგ სტრიქონზე, შესრულდება იგივე მოქმედება და ასე შემოიბრუნებს მთელ გამოსახულებას (ნახ. 1.14).



ნახ. 1.14.

გამოსახულების ზუსტი გადაცემისათვის საბჭოთა კავშირში მიღებულია გამოსახულების 625 სტრიქონად დაშლა და მისი გადაცემა წამში 25 კადრის სისწრაფით. ერთი სტრიქონის გადაცემას სჭირდება $\frac{1}{625 \cdot 25}$ =

$64 \cdot 10^{-6}$ წმ დრო. დავუშვათ, რომ გამოსახულებას კვადრატული ფორმა აქვს, მაშინ ვერტიკალური ზოლის სიგრძეც უნდა 625 სტრიქონს შეესაბამებოდეს. ე. ი. სტრიქონების გადაკვეთის ადგილებში ერთმანეთს ცვლიან შავი და თეთრი უჯრედები, რაც ნიშნავს, რომ ერთ სტრიქონში $\frac{625}{2}$ თეთრი უჯრედის შესაბამისი იმპულსია და მათ შორის $\frac{625}{2}$ შუა-

ლელი, რომლებიც შავ უჯრედებს შეადგენენ. ამრიგად, დენის თითოეული იმპულსის ხანგრძლივობა უდრის:

$$\frac{2 \cdot 64 \cdot 10^{-6}}{625} = 0,205 \cdot 10^{-6} \text{ წმ}$$

ან სიხშირეზე გადაყვანისას

$$f = \frac{1}{2,0,205 \cdot 10^{-6}} = 2,44 \cdot 10^6 \text{ ჰც.}$$

ამასთან ერთად ყველაზე დაბალი სიხშირე იქნება იმ შემთხვევაში, როდესაც კადრის ერთი ნახევარი თეთრია, ხოლო მეორე — შავი, ე. ი.

$$\frac{1}{2 \cdot 25} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ წმ, ანუ } f = 25 \text{ ჰც.}$$

პრაქტიკულად იმპულსი შეიძლება იყოს $0,205 \cdot 10^{-6}$ წამზე მოკლე და სატელევიზიო გადაცემის სპექტრის უმაღლესი სიხშირე აღწევდეს 6,5 მგჰც. ასეთი ფართო სიხშირეების ზოლი შესაძლებელია გადაიცეს

კოაქსიალური ან რადიორელეური ხაზით, თუ სიხშირეების მთლიან ზოლს გადავიტანთ უფრო მაღალ სპექტრში 1÷10 მგპც-მდე;

ამოცანა 1.1. გამოვიანგარიშოთ მუდმივი დენის, ძირითადი, მესამე და მეხუთე ჰარმონიული შემდგენების სიდიდე ტელეგრაფის ცალმხრივი იმპულსების გადაცემისას, თუ მკვები ბატარეის ძაბვა 100 ვ-ია, ხოლო წრედის საერთო წინაღობა — 2000 ომი.

ამოცანა 1.1. წრედში გამავალი დენის სიდიდეს გამოვიანგარიშებთ ომის კანონით:

$$i = \frac{100}{2000} = 0,05 \text{ ა} = 50 \text{ მა.}$$

1.4 ნახაზის საშუალებით ვიპოვოთ

$$I_0 = \frac{1}{2} I = 25 \text{ მა;}$$

$$I_{m1} = \frac{2}{\pi} I = 0,635 \cdot 50 = 31,7 \text{ მა;}$$

$$I_{m3} = \frac{2}{3\pi} I = 0,212 \cdot 50 = 10,6 \text{ მა;}$$

$$I_{m5} = \frac{2}{5\pi} I = 0,127 \cdot 50 = 6,3 \text{ მა.}$$

ამოცანა 1.2. გამოვიანგარიშოთ არტიკულაციის კოეფიციენტი, თუ ტელეფონის არხის სიგანე 1000-დან 3000 ჰც-მდეა.

ამოცანა 1.2. ვიპოვოთ 1.2 ნახაზზე 1000 ჰერცის შესაბამისი კოეფიციენტი — პირველი მრუდისათვის არის — 85%, მეორე მრუდისათვის — 3000 ჰერცის ორდინატს გადაკვეთის წერტილი — 84%.

მაშასადამე, არტიკულაციის კოეფიციენტი ტოლია 84%.

ამოცანა 1.3. 1.2 ნახაზზე მრუდით გამოვიანგარიშოთ რომელი დაბალი სიხშირიდან უნდა გადავკეთო სიხშირის ზოლი, რომ არტიკულაციის კოეფიციენტი 92% ტოლი იყოს.

ამოცანა 1.3. ავიღოთ 92% ორდინატს ღერძზე, გავავლოთ ხაზი პირველი მრუდის გადაკვეთამდე და ვიპოვოთ შესაბამისი სიხშირე — 700 ჰც.

საკონტროლო კითხვები

1. რა ზოლს იკავებს სალაპარაკო სიხშირეები?
2. რომელ სიხშირეს შეიგრძნობს ადამიანი ყველაზე კარგად?
3. რაში გამოიხატება არტიკულაციის მეთოდი?
4. რა სიხშირის ზოლია მიღებული სატელეფონო არხისათვის?
5. რომელი ჰარმონიკებია სატელეგრაფო გადაცემისას მნიშვნელოვანი?

6. რა მოქცევა ფოტოტელეგრაფის დოლის ბრუნთა რიცხვის ორჯერ გადადება?
 7. რით განსხვავდება ერთ- და ორპოლუსიანი ტელეგრაფირების იმპულსების შემდგენები?

8. სიხშირის რომელი ზოლია საკირო CT-2M აპარატის მუშაობისათვის?

თ ა ვ ი ი

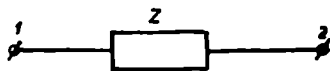
ო რ პ ო ლ უ ს ე ბ ი

2. 1. ორპოლუსიანის განსაზღვრა და კლასიფიკაცია

ნებისმიერი სირთულის ელექტრულ სქემას, რომელსაც დენის წყაროსთან ან სხვა სქემასთან მისაერთებლად ორი მომკერი (პოლუსი) აქვს, ეწოდება ო რ პ ო ლ უ ს ა. ელექტრულ სქემებში ორპოლუსა გამოიხატება მართკუთხედით, რომელსაც აღნიშნავენ Z ასოთი (ნახ. 2.1). გადამცემი მოწყობილობა ან გენერატორი, რომლის მომკერებიდანაც ენერგია გადაეცემა ელექტრულ წრედს, წარმოადგენს ორპოლუსას. მიმღები მოწყობილობა (ანდა დატვირთვა), რომელიც ელექტრული წრედიდან ღებულობს ენერგიას და ორი მომკერი აქვს, აგრეთვე ორპოლუსაა.

აქტიურ წინაღობას, ინდუქციურობასა და ტევადობას, რომლებსაც შეიცავენ ელექტრული წრედები, ეწოდებათ ელემენტები. ორპოლუსები შედგება ერთი, ორი, სამი და

ა. შ. ელემენტებისაგან და, შესაბამისად, მათ ეწოდებათ ერთელემენტიანი, ორელემენტიანი და ა. შ. ორპოლუსები.



ნახ. 2.1.

ორპოლუსებს ელემენტების ხასიათის მიხედვით განასხვავებენ: ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ ინდუქციურობასა და ტევადობას (მათ უწოდებენ რეაქტიულ ორპოლუსებს); ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ მხოლოდ აქტიურ წინაღობებს; ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ როგორც აქტიურ, ისე რეაქტიულ წინაღობებს.

როგორც ცნობილია, სუფთა რეაქტიული (ისევე, როგორც სუფთა აქტიური) ორპოლუსები არ არსებობს, ვინაიდან ნებისმიერი ინდუქციური კოჭა და კონდენსატორი უოცდოცის შეცდავს წინაღობის აქტიურ შემდგენს, რომელშიც ხდება სიმძლავრის ხარჯვა. თუ ორპოლუსას ელემენტები შედგება მცირე სიდიდის აქტიური შემდგენებისაგან, მაშინ

მისი მახასიათებლები უახლოვდება იდეალურ ორპოლუსას მახასიათებლებს, რომლებიც სუფთა რეაქტიულ წინალობებს შეიცავენ.

ორპოლუსა წრფივი და არაწრფივია. არაწრფივ ორპოლუსაში წინალობის სიდიდე დამოკიდებულია მასში გამავალი დენის სიდიდესა და მასზე მოდებული ძაბვის მნიშვნელობაზე. პასიური არაწრფივი ორპოლუსების რიცხვს მიეკუთვნება ნახევრად გამტარები და ინდუქტიური კოქა, რომელსაც მაგნიტური მასალისაგან დამზადებული გულარი აქვს.

ორპოლუსები თვისებების მიხედვით შემდეგი სახისაა: შებრუნებული, პოტენციურად შებრუნებული, ეკვივალენტური და პოტენციურად ეკვივალენტური.

ორ ორპოლუსას ეწოდება შებრუნებული, თუ გააჩნიათ სხვადასხვა ელექტრული სქემები, ხოლო მათი წინალობებისა ანდა გამტარობათა ნამრაველი მუდმივი სიდიდეა და არაა დამოკიდებული სიხშირეზე; ორ ორპოლუსას კი — პოტენციურად შებრუნებული, თუ გააჩნიათ სხვადასხვა ელექტრული სქემები და მათი წინალობების ანდა გამტარობათა ნამრაველი მხოლოდ განსაზღვრულ პირობებში წარმოადგენს სიხშირეზე დამოუკიდებელ მუდმივ სიდიდეს.

ორ ორპოლუსას ეწოდება ეკვივალენტური, თუ მათ გააჩნიათ სხვადასხვა ელექტრული სქემები, ხოლო მათი წინალობები ანდა გამტარობები ყველა სიხშირის დროს ერთმანეთის ტოლია; ორ ორპოლუსას კი — პოტენციურად ეკვივალენტური, თუ გააჩნიათ სხვადასხვა ელექტრული სქემები და მათი წინალობები ანდა გამტარობები მხოლოდ განსაზღვრულ პირობებში ყველა სიხშირეზე ერთმანეთის ტოლია.

რთულ ელექტრულ სქემებში მიმდინარე პროცესის გასარკვევად საჭიროა შევისწავლოთ ამ სქემებში შემავალი ორპოლუსების თვისებები. გარდა ამისა, თუ რთულ სქემაში შემავალ ორპოლუსებს შევეცვლით მათი ეკვივალენტური ორპოლუსებით, ეს სქემის გამარტივების საშუალებას იძლევა.

თითოეული ორპოლუსა ხასიათდება მისი სრული წინალობის სიდიდით. პრაქტიკაში უმთავრესად განიხილავენ ორპოლუსას სრული წინალობის სიხშირულ მახასიათებელს.

2.2. ეკვივალენტური და პოტენციურად ეკვივალენტური ორპოლუსები

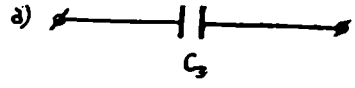
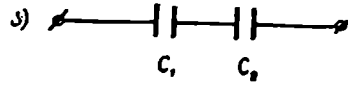
განსაზღვრის თანახმად, თუ ორი ორპოლუსას წინალობები ნებისმიერ სიხშირეზე ერთმანეთის ტოლია, ე. ი. თუ

$$Z_1 = Z_2, \quad (2.1)$$

მაშინ ასეთი ორპოლუსები, მიუხედავად მათი ელექტრული სქემების

განსხვავებისა, ურთიერთეკვივალენტური იქნება. ეკვივალენტურობის პრინციპი ფართოდ გამოიყენება ოთხპოლუსებში დატვირთვის წინაღობის შერჩევისას, ორი ან რამდენიმე ერთგვაროვანი ელემენტის ერთი ელემენტით შეცვლისას და ა. შ.

უმარტივესი (ერთელემენტია-ნი) ორპოლუსები ურთიერთეკვივალენტური იქნება იმ შემთხვევაში, თუ ისინი შედგებიან ერთგვაროვანი ელემენტებისაგან და მათი აბსოლუტური სიდიდეები ტოლია. მაგალითად, 2.2 ნახაზზე წარმოდგენილი ორპოლუსები ურთიერთეკვივალენტური იქნება იმ შემთხვევაში, თუ

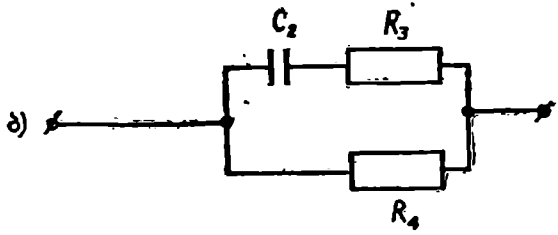
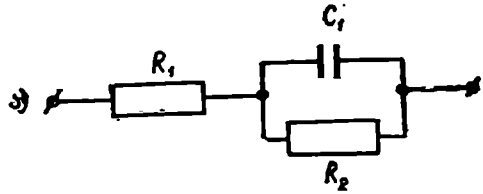


ნახ. 2.2.

$$C_3 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

ნებისმიერი, რთული ორპოლუსები ურთიერთპოტენციურად ეკვივალენტური იქნება, თუ მათ ექნებათ შემდეგი ნიშნები:

1. ორივე ორპოლუსა გაატარებს ან არ გაატარებს მუდმივ დენს;
2. ორივე ორპოლუსა გაატარებს ან არ გაატარებს უსასრულო დიდი სიხშირის დენს;
3. ორივეს უნდა გააჩნდეს (ან სულ არ გააჩნდეს) ტოლი რაოდენობის რეზონანსები. მაგალითად, 2.3 ნახაზზე წარმოდგენილი ორპო-



ნახ. 2.3.

ლუსები პოტენციურად ეკვივალენტურია, ვინაიდან ორივე ორპოლუსა ატარებს როგორც მუდმივ დენს, ასევე უსასრულო დიდი სიხშირის დენს და არც ერთ მათგანს არ გააჩნია რეზონანსი. იმ შემთხვევაში, თუ სრულდება (2.1) პირობა, აღნიშნული ორპოლუსები გახდება ურთიერთეკვივალენტური. ვთქვათ, R_1 , R_2 და C_1 მოცემულია, მაშინ R_3 , R_4 და C_2 ელემენტები, (2.1) პირობის თანახმად, განისაზღვრება შემდეგი განტოლებებით:

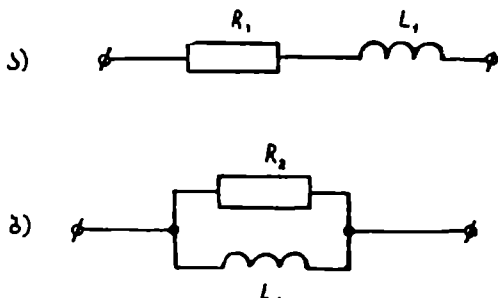
$$\text{როდესაც } f=0, \quad R_1+R_2=R_4,$$

$$f=\infty, \quad R_1=\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3+R_4},$$

$$0 < f < \infty, \quad R_1 + \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{\left(R_3 + \frac{1}{j\omega C_2}\right) R_4}{R_3 + R_4 + \frac{1}{j\omega C_2}}.$$

თუ მიღებულ განტოლებათა სისტემას ამოვხსნით R_3 , R_4 და C_2 სიდიდეების მიმართ, მივიღებთ:

$$R_3 = \frac{R_1(R_1+R_2)}{R_2}; \quad R_4 = R_1+R_2; \quad C_2 = \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)^2 \cdot C_1.$$



ნახ. 2.4.

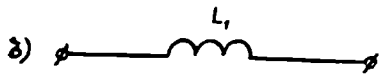
2.4 ნახაზზე მოყვანილი ორპოლუსები არ წარმოადგენს პოტენციურად ეკვივალენტურს ერთმანეთის მიმართ, ვინაიდან ისინი ვერ აკმაყოფილებენ მეორე ნიშანს — პირველი არ ატარებს, ხოლო მეორე ატარებს უსასრულო დიდი სიხშირის დენს.

თუ ორ ცალკეულ ორაოლუსას წინალობათა ნამრავლი მუდმივი სიდიდეა, ნებისმიერი სიხშირის დროს

$$Z_1 \cdot Z_2 = R^2_0, \quad (2.2)$$

სადაც $R_0 = const.$ ასეთი ორაოლუსები ერთმანეთის შებრუნებული იქნება. ორაოლუსების შებრუნებულობის (შექცევადობის) პრინციპი გამოიყენება სხვადასხვა ელექტრული სქემების შედგენისას, როდესაც საჭიროა მუდმივი წინალობის მიღება.

უმარტივესი (ერთელემენტური) ორაოლუსები ერთმანეთის შებრუნებულია, თუ ისინი ერთგვაროვანი აქტიური ანდა არაერთგვაროვანი რეაქციული წინალობებისაგან შედგებიან. მაგალითად, 2.5 ნახაზზე ნაჩვენებია ორაოლუსები ერთმანეთის შებრუნებულია, რადგან მათი წინალობების ნამრავლი

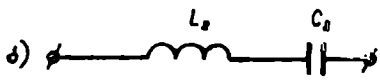
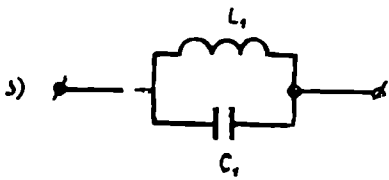


ნახ. 2.5.

$$Z_1 \cdot Z_2 = \frac{j\omega L}{j\omega C} = \frac{L}{C} = R^2_0$$

მუდმივი სიდიდეა; L და C კი — შებრუნებული ელემენტები.

რთული რეაქტიული ორაოლუსები წარმოადგენს ერთმანეთისადმი პოტენციურად შებრუნებულს იმ შემთხვევაში, თუ მათი სქემები აგებულია ურთიერთშებრუნებულობის (შექცევადობის) პრინციპზე, ე. ი. პირველში, თუ ელემენტები პარალელურადაა შეერთებული, მეორეში — მიმდევრობით ანდა, პირიქით. ამასთან ყველა ელემენტი უნდა იყოს ურთიერთშებრუნებული. მაგალითად, 2.6 ნახაზზე ნაჩვენებია ორაოლუსები ერთმანეთისადმი პოტენციურად შებრუნებულია, ვინაიდან მათი სქემები აგებულია ურთიერთშექცევადობის პრინციპზე (პირველში ელემენტები პარალელურადაა ჩართული, მეორეში —



ნახ. 2.6.

მიმდევრობით) და გააჩნიათ თითო რეზონანსული კონტური ურთიერთ-საწინააღმდეგო რეზონანსებით (პირველ სქემაში წარმოიქმნება დენების რეზონანსი, ხოლო მეორეში — ძაბვების რეზონანსი).

(2.2) პირობის შესრულების შემთხვევაში, ეს ორპოლუსები გახდება ურთიერთშებრუნებული. მართლაც, თუ L_1 და C_1 მოცემულია. მაშინ L_2 და C_2 განისაზღვრება (2.2) პირობის საფუძველზე:

$$\text{როდესაც } f=f_1=f_2,$$

$$L_1 C_1 = L_2 C_2. \quad (ა)$$

$$\text{როდესაც } 0 < f < \infty, Z_1 = \frac{j\omega L_1 \frac{1}{j\omega C_1}}{j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{j\omega L_1}{1 - \omega^2 L_1 C_1},$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{\frac{1}{j\omega C_2} j\omega L_2}{j\omega C_2 + \frac{1}{j\omega L_2}} = \frac{j\omega C_2}{1 - \omega^2 L_2 C_2}$$

ანდა

$$Z_1 Z_2 = \frac{L_1}{C_2} \cdot \frac{1 - \omega^2 L_2 C_2}{1 - \omega^2 L_1 C_1} = R_0^2,$$

ვინაიდან (ა) განტოლებიდან

$$L_1 C_1 = L_2 C_2,$$

მაშინ

$$1 - \omega^2 L_1 C_1 = 1 - \omega^2 L_2 C_2.$$

ამგვარად,

$$\frac{L_1}{C_2} = R_0^2. \quad (ბ)$$

თუ (ა) და (ბ) განტოლებებს L_2 და C_2 სიდიდეების მიმართ ამოვხსნით, მივიღებთ:

$$L_2 = C_2 R_0^2; \quad C_2 = \frac{L_1}{R_0^2}. \quad (2.3)$$

2.7 ნახაზზე ნაჩვენებია პოტენციურად შებრუნებული ორპოლუსები შეიცავს სამ-სამ ურთიერთშებრუნებულ ელემენტს.

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, C_{Z1} ელემენტი შეცვლილია L_2 ელემენტით, Z_1 ელემენტი — r_2 ელემენტით და L_1 ელემენტი — C_2 ელემენტით. ამასთან r_1 და L_1 ელემენტები შეერთებულია პარალელურად, ხოლო r_2 და C_2 ელემენტები — მიმდევრობით; C_1 ელემენტი ($r_1 L_1$)

კონტურთან მიერთებული მიმდევრობით, ხოლო მისი შებრუნებუ-
ლი L_2 ელემენტი ($r_2 C_2$) კონტურთან — პარალელურად.

თუ გამოვიყენებთ (2.2) პირობას, (2.3) შეფარდებების გარდა, მივი-
ღებთ კიდევ ერთ თანა-
ფარდობას:

$$R_2 = \frac{R_0^2}{R_1} \quad (2.4)$$

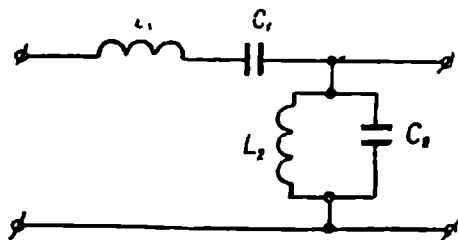
მიღებული (2.3) და
(2.4) გამოსახულებები სა-
მართლიანია ნებისმიერი
შებრუნებული ორპოლუ-
სებისათვის.

ამგვარად, ორელემენ-
ტიანი ორპოლუსები წარ-
მოადგენს ურთიერთშე-
ბრუნებულს, თუ ერთ-
ერთ მათგანში ელემენ-
ტები შეერთებულია მი-

მდევრობით (პარალელურად), ხოლო მეორეში პარალელურად (მიმ-
დევრობით) და თუ მეორე ორპოლუსსაც ყველა ელემენტი პირველის
შებრუნებულია. იმ შემთხვევაში, თუ დაცულია (2.2) პირობა, ისინი
ხდებათ შებრუნებული და მიიღება შემდეგი თანაფარდობები:

$$r_2 = \frac{R_0^2}{r_1}, \quad L_2 = R_0^2 C_1 \quad \text{და} \quad C_2 = \frac{L_1}{R_0^2} \quad (2.5)$$

პოტენციურად შებრუნებული ორპოლუსები გამოიყენება ოთხპო-
ლუსსა შესაქმნელად. ამ შემთხვევაში ოთხპოლუსსა მიმდევრობით



ნახ. 2.8.

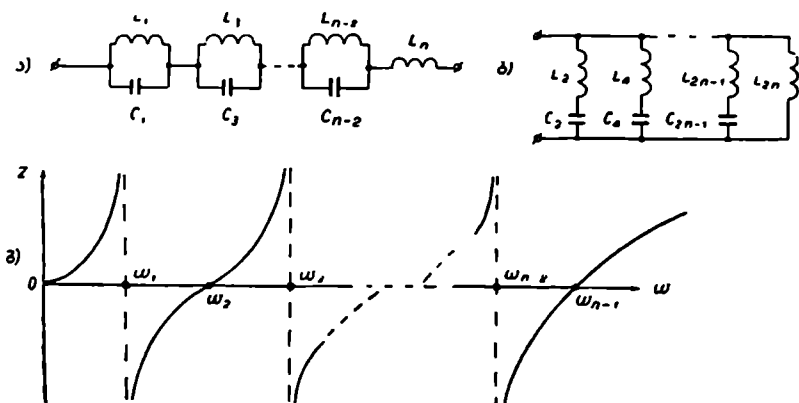
მხარში რთავენ ორპო-
ლუსსა, რომელიც აკმაყო-
ფილებს მოცემულ მოთ-
ხოვნებს, ხოლო პარალე-
ლურ მხარში — მის შე-
ბრუნებულს (ნახ. 2.8).
ორპოლუსების ასეთი ჩარ-
თვისას ოთხპოლუსსა ნო-
მინალურ წინაღობას ექ-
ნება მუდმივი სიდიდე,

რაც უადრესად საჭიროა სიხშირის ფართო დიაპაზონის მქონე სიგნა-
ლების გადასაცემად.

რეაქტიული ორპოლუსები (ისინი არ შეიცავენ აქტიურ წინაღობას) ხშირად შედგება დიდი რაოდენობის ელემენტებისაგან და ვლებულობთ უაღრესად რთულ სქემებს; ამიტომ მიზანშეწონილია მათი დაყვანა კანონიკურ სქემებზე.

არსებობს რეაქტიული ორპოლუსების კანონიკური სქემების ოთხი ჯგუფი. თითოეული ჯგუფი შეიცავს სქემების ორ ვარიანტს, რომლებიც აკმაყოფილებენ (2.1) პირობას, ე. ი. ეკვივალენტობის პირობას.

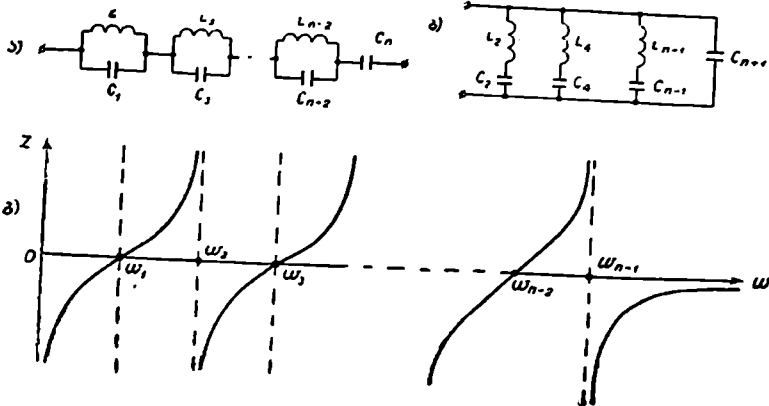
კანონიკური სქემების პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება რეაქტიული ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ კენტი რაოდენობის ელემენტებს და მათი შეერთება ხორციელდება ისე, რომ მათ მუდმივი დენის მხოლოდ ერთი გზა აქვთ (ნახ. 2.9, ა და ბ); მეორე ჯგუფს — ისეთი რეაქტიული



ნახ. 2.9.

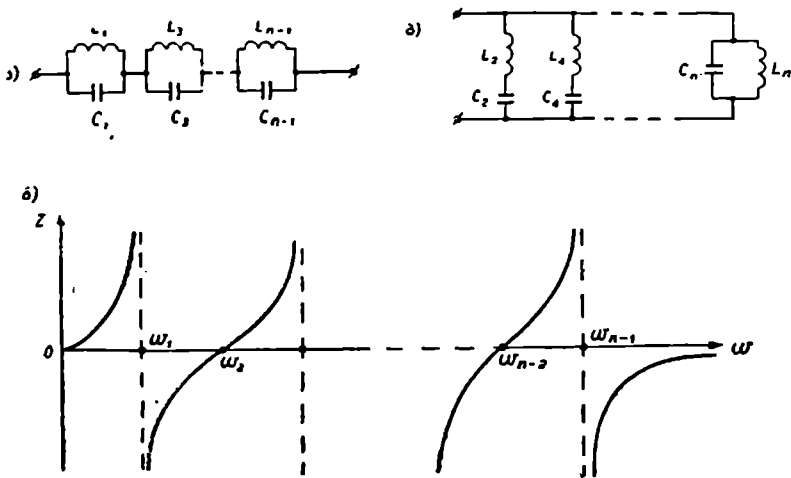
ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ კენტი რაოდენობის ელემენტებს და მათი შეერთებისას არსებობს უსასრულო დიდი სიხშირის დენის მხოლოდ ერთი გზა (ნახ. 2.10, ა და ბ); მესამე ჯგუფს — რეაქტიული ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ ლუწი რაოდენობის ელემენტებს და მათი შეერთებისას არსებობს ერთი გზა მუდმივი დენისა და უსასრულო დიდი სიხშირის დენისათვის (ნახ. 2.11, ა და ბ), ხოლო მეოთხე ჯგუფი — შედგება იმ რეაქტიული ორპოლუსებისაგან, რომლებიც შეიცავენ ლუწი რაოდენობის ელემენტებს და მათი შეერთება განხორციელებულია ისე, რომ არ ატარებს არც მუდმივ დენს და არც უსასრულო დიდი სიხშირის დენს (ნახ. 2.12, ა და ბ).

აღნიშნული ჯგუფები ერთმანეთისაგან ორპოლუსების სრული წინა-



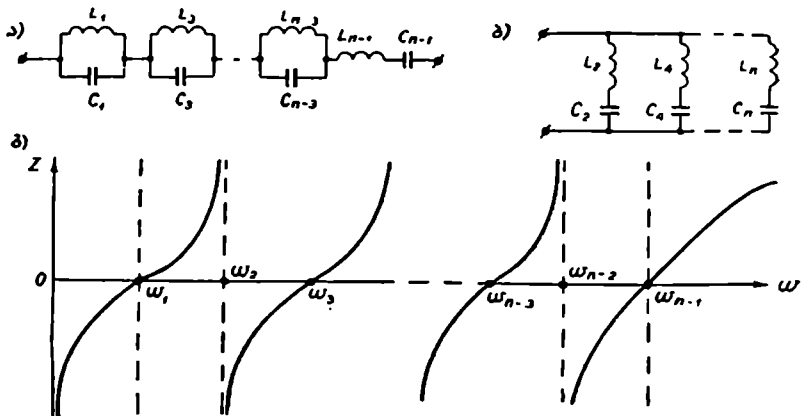
ნახ. 2.10.

ლობის სიხშირული მახასიათებლებით განსხვავდება. 2.9, გ; 2.10, გ; 2.11, გ და 2.12, გ ნახაზებზე ნაჩვენებია ოთხივე ჯგუფის ორპოლუსების სიხშირული მახასიათებლები. ისინი თითოეული ჯგუფის ორივე სქემისათვის ერთნაირია.



ნახ. 2.11.

განზილული კანონიკური სქემების საფუძველზე, შეგვიძლია ჩამოვყალიბოთ რამდენიმე საერთო წესი, რომლებიც დაგვეხმარებინან ნების-



ნახ. 2.12.

მიერი სირთულის რეაქტიული ორპოლუსას ანალიზისათვის. ეს წესები შემდეგია:

1. განხილულ სქემებში რეზონანსულ სიხშირეთა რაოდენობა ერთი ნაკლებია მათში შემავალი ელემენტების რაოდენობაზე;

2. თუ ორპოლუსას სქემაში არსებობს გზა მუდმივი დენისათვის, მაშინ პირველი იქნება დენების რეზონანსი, ხოლო, თუ არ არსებობს გზა მუდმივი დენისათვის — პირველი იქნება ძაბვების რეზონანსი;

3. თუ ორპოლუსას სქემას გააჩნია ერთზე მეტი რეზონანსი, მაშინ დენებისა და ძაბვების რეზონანსები ერთმანეთს ენაცვლებიან;

4. თუ ორპოლუსა შეიცავს წყვილი რაოდენობის ელემენტებს, მაშინ პირველი და ბოლო რეზონანსები ერთნაირი ხასიათისაა, ხოლო, თუ ისინი შეიცავენ კენტი რაოდენობის ელემენტებს, პირველი და ბოლო რეზონანსები განსხვავდებიან;

5. სიხშირის ზრდით ორპოლუსას სრული წინაღობა იზრდება (რეაქტიული წინაღობის ხასიათის მხედველობაში მიღებით).

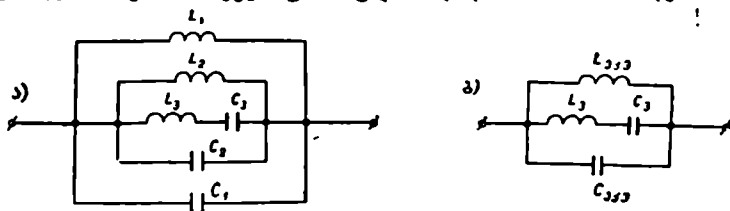
ზემოთ ჩამოთვლილი წესები საჭიროა ელექტრული ფილტრებისა და ოთხპოლუსების შესასწავლად და აგრეთვე ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც ესა თუ ის სქემა შეიცავს რეაქტიულ ორპოლუსებს, რომელთა წინაღობის ცვლის ხასიათიც გვაინტერესებს სხვადასხვა სიხშირეებზე.

2. 5. რეაქტიული ორპოლუსების სიმების კანონიერ სახეზე დაყვანა

მრავალელემენტიანი რეაქტიული ორპოლუსას სქემის კანონიერ სახეზე დაყვანა შემდეგში მდგომარეობს. უპირველეს ყოვლისა, უნდა დავადგინოთ: არსებობს თუ არა ორპოლუსას სქემაში მუდმივი დენის ანდა უსასრულო დიდი სიხშირის დენის რამდენიმე გზა. თუ სქემას გა-

აჩნია ორი ან სამი გზა მუდმივი ანდა უსასრულო დიდი სიხშირის დენისათვის, მაშინ ორპოლუსასაც აქვს ზედმეტი ელემენტები, რომლებიც შეგვიძლია შევცვალოთ მარტივი, მათი ეკვივალენტური ელემენტებით. შემდეგ, თუ ერთ-ერთი რომელიმე შტო შეიცავს ერთგვაროვან 2 ან 3 ელემენტებს, ისინი უნდა შევცვალოთ შედარებით მარტივი ეკვივალენტური ელემენტით, რის შემდეგ თვალყური უნდა ვადევნოთ ერთგვაროვან რეზონანსულ კონტურებს — თუ ორპოლუსა შედგება ერთგვაროვანი კონტურებისაგან, რომლებსაც გააჩნია ერთნაირი რეზონანსული სიხშირეები, ე. ი. $L_n C_n = L_{n+2} C_{n+2}$, მაშინ ასეთი რეზონანსული კონტურები უნდა შევცვალოთ ერთი კონტურით.

ამისათვის განვიხილოთ 2.13, ა ნახაზზე ნაჩვენები მრავალელემენტური ორპოლუსას სქემა, რომელსაც აქვს ორი გზა როგორც მუდმივი დენისათვის, ასევე უსასრულო დიდი სიხშირის დენისათვის.



ნახ. 2.13.

მაშასადამე, სქემას გააჩნია ზედმეტი ელემენტები. მიღებულ სქემაში L_1 და L_2 შეიძლება შევცვალოთ ერთი ეკვივალენტური ინდუქციურობით, ე. ი.

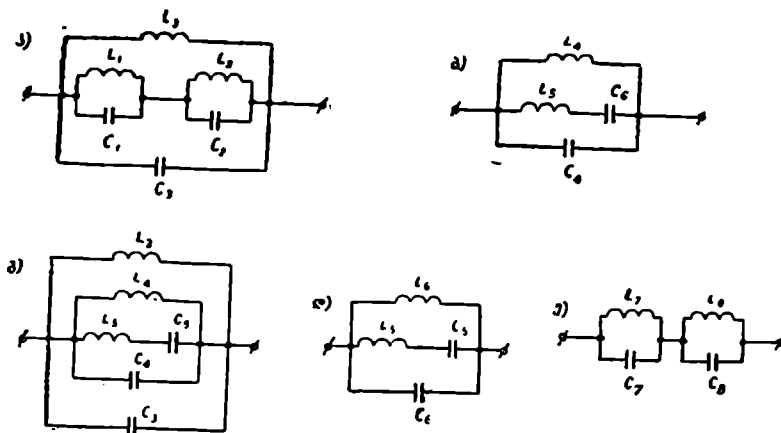
$$L_{33} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2},$$

ხოლო C_1 და C_2 ტევადობები — ერთი ეკვივალენტური ტევადობით

$$C_{33} = C_1 + C_2.$$

ასეთი შეცვლის შემდეგ მივიღებთ 2.13, ბ ნახაზზე წარმოდგენილ სქემას, რომელიც შეესაბამება მესამე ჯგუფის კანონიკურ სქემას (ნახ. 2.11, ბ). აღნიშნული სქემის მიღების შემდეგ ორპოლუსას სქემის შემდგომ გარდაქმნას არავითარი აზრი არა აქვს. მიღებული სქემის ნაცვლად შეგვიძლია გამოვიყენოთ 2.11, ა ნახაზზე ნაჩვენები სქემა, რადგანაც ისინი ურთიერთპოტენციურად ეკვივალენტური არიან.

განვიხილოთ აგრეთვე 2.14, ა ნახაზზე ნაჩვენები ორპოლუსას სქემის შიგა შტო, რომელიც შეიცავს მიმდევრობით შეერთებულ ორ პარალელურ კონტურს ($L_1 C_1$ და $L_2 C_2$) და მიეკუთვნება მესამე ჯგუფის კანონიკურ სქემას. 2.11 ნახაზის საფუძველზე ის შეიძლება შეიცვალოს



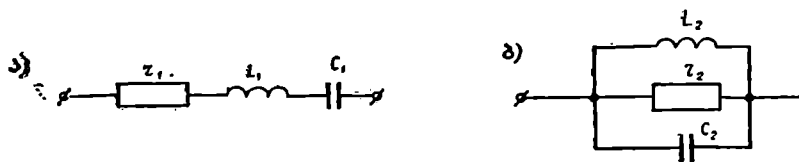
ნახ. 2.14.

მისი ეკვივალენტური სქემით (2.14, ბ). ამგვარად, სქემა (ა) შეიძლება გარდაიქმნას (გ) სქემად, მიღებული ორპოლუსა კი შეიძლება დაეყვანოს (დ), ხოლო შემდეგ — (ე) სქემის სახეზე.

მიღებული დაყვანილი სახის ორპოლუსას სქემაში არ შეიძლება შემცირდეს ელემენტთა რიცხვი ისე, რომ არ შეიცვალოს მისი ელექტრულ თვისებები — რეზონანსთა რიცხვი და წინაღობის სიხშირული დამოკიდებულება.

2. 6. რხევალი კონსტრუქციები

რეზონანსული ორპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ ურთიერთმებრუნებულ ორ-ორ ელემენტებს მცირე დანაკარგებით, მიეკუთვნება ცალკე ჯგუფს. 2.15 ნახაზზე ნაჩვენებია ასეთი ორი სახის ორპოლუსები პირველი სახის ორპოლუსაში (ნახ. 2.15,ა) შეიძლება ადგილი ჰქონდეს



ნახ. 2.15.

ძაბვებს რეზონანსს. რეზონანსული კუთხური სიხშირე ასეთ მიმდევრობით კონტურში შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}, \quad (2.6)$$

ხოლო ორპოლუსას სრული წინალობა

$$|Z_1| = r_1 \sqrt{1 + Q_1^2 \left(\frac{\omega}{\omega_1} - \frac{\omega_1}{\omega} \right)^2},$$

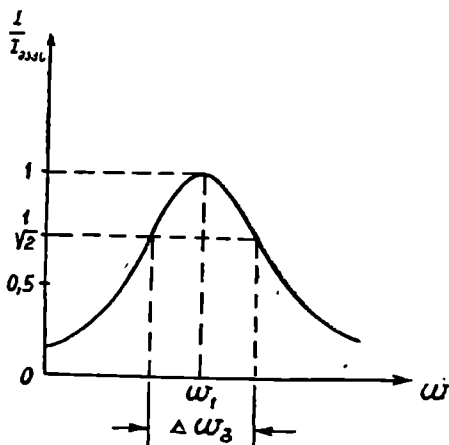
სადაც $Q_1 = \frac{\omega_1 L_1}{r_1}$ არის რეზონანსული კონტურის ვარგისობა. რაც

უფრო ნაკლებია r_1 წინალობა, მით უფრო მკვეთრადაა გამოსახული კონტურის რეზონანსული თვისებები და მით მცირეა დენის გატარების სიხშირული ზოლი.

დენის გატარების სიხშირული ზოლის გამოსარკვევად განვსაზღვროთ რეზონანსული მრუდი, ე. ი. $\frac{I}{I_{\text{მაქს}}}$ (დენების ფარდობის სიხში-

რული დამოკიდებულება), სადაც I არის დენის მნიშვნელობა ნებისმიერ სიხშირეზე; $I_{\text{მაქს}}$ — დენის მნიშვნელობა რეზონანსულ სიხშირეზე.

ეს დამოკიდებულება ნაჩვენებია 2.16 ნახაზზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, დენის მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღება ω_1 რეზონანსული კუთხური სიხშირის დროს. დენის გატარების სიხშირული ზოლი პირობით მიღებულია იმ წერტილებს შორის (ნახ. 2.16), რომლებშიც დენების თანაფარდობა ტოლია



ნახ. 2.16.

$$\frac{I}{I_{\text{მაქს}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

გატარების ეს ზოლი აღინიშნება $\Delta\omega_3$ -ით და მათემატიკურად განისაზღვრება შემდეგნაირად

$$\Delta\omega_3 = \frac{r_1}{L_1}.$$

მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ, რაც უფრო ნაკლებია კონტურის აქტიური წინალობა, მით ვიწროა დენის გატარების სიხშირული ზოლი. აღსანიშნავია, რომ ფაქტიურად ნებისმიერი სიხშირის (გარდა $\omega=0$ და $\omega=\infty$) დენი გაივლის რხევად კონტურში. ამიტომ, როდესაც პირობით ვღებულობთ გატარების ზოლის ცნებას, იგულისხმება, რომ

რხევადი კონტური გატარების ზოლის ფარგლებში ატარებს დენის მაქსიმალურ მნიშვნელობებს.

მეორე სახის ორპოლუსაში (ნახ. 2.15, ბ) შეიძლება წარმოიქმნას დენების რეზონანსი. პარალელური კონტურის რეზონანსული კუთხური სიხშირე განისაზღვრება ფორმულით

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}, \quad (2.7)$$

ხოლო ორპოლუსას სრული გამტარებლობა

$$|y_1| = \frac{1}{r_2} \sqrt{1 + Q_2^2 \left(\frac{\omega}{\omega_2} - \frac{\omega_2}{\omega} \right)^2},$$

სადაც $Q_2 = \omega_2 C_2 r_2$ არის რეზონანსული კონტურის ვარგისობა.

მიმდევრობითი კონტურის ანალოგიური ანალიზისათვის მივიღებთ დენების ფარდობის სიხშირულ დამოკიდებულებას (ნახ. 2.17).

როგორც 2.17 ნახაზიდან ჩანს, დენი მინიმალურ მნიშვნელობას აღწევს რეზონანსული კუთხური სიხშირის დროს ω_2 . ამ შემთხვევაში მიიღება დაკავების ზოლი $\Delta\omega_2$, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta\omega_2 = \frac{1}{C_2 r_2}.$$

მიღებული გამოსახულებიდან დავასკვნით, რომ რაც უფრო დიდია კონტურის r_2 წინალობა, მით ვიწროა დენის დაკავების სიხშირული ზოლი.

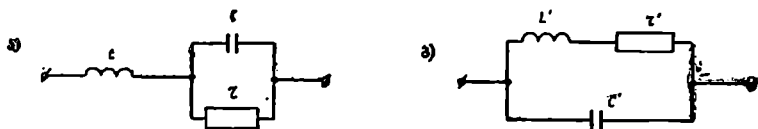
თუ შევადარებთ განხილულ კონტურებს ერთმანეთს, შეგვიძ-

ლია დავასკვნათ. რომ მათი თვისებები ურთიერთშებრუნებულია: მიმდევრობითი კონტური ატარებს დენებს, ხოლო პარალელური კონტური ამავე დენებს არ ატარებს; აგრეთვე r_1 წინალობის გადიდებით დენის გატარების ზოლი ფართოვდება, r_2 წინალობის გაზრდით კი დაკავების ზოლი ვიწროვდება. ორპოლუსების ამ შებრუნებული თვისებებით სარგებლობენ ოთხპოლუსების შექმნისას, რომლებიც დენს მოცემულ სიხშირულ ზოლში ატარებენ. ამისათვის პირველი სახის რეზონანსულ კონტურს

ნახ. 2.17.

რთავენ ოთხპოლუსას მიმდევრობით მხარში, ხოლო მეორე სახის რეზონანსულ კონტურს — პარალელურ მხარში (ნახ. 2.8). თუ დატულია (2.3) პირობა, მაშინ კონტურების რეზონანსული სიხშირეები ტოლია და ამ სიხშირეების დენს ოთხპოლუსა გაატარებს მცირე მიღევით.

ამოცანა 2.1. მოცემულია სამეღეღმენტიანი ორპოლუსას სქემა (ნახ. 2.18.ა) და მასში შემავალი ეღეღმენტების მნიშვნეღობები: $r=10$ ომს,



ნახ. 2.18.

$L=12$ მღჰნ, $C=1$ მღფ, $R=200$ ომს. შევადგინოთ მოცემული სქემის შებრუნებული ორპოლუსა და განესაზღვროთ მისი ეღეღმენტების სიღიღეღები.

ამ ომსნა. თუ ვისარგებღებოთ შებრუნებული ორპოლუსას მიღების წესით. შებრუნებულ ორპოლუსას სქემაში ტვეადღობა C შეიღეღეღება L' ინღუქტიურობით. ხოლო L ინღუქტიურობა — C' ტვეადღობით. გარღა ამისა, ეღეღმენტები ზაირთვეღა ურთიღერთშებრუნებულად, ე. ო. მოცემულ ორპოლუსაში პარალელურად შეღერთებული ეღეღმენტები ზაირთვეღა მიმღევრობით, ხოლო მიმღევრობით შეღერთებული ეღეღმენტები — პარალელურად. ამგვარად. შებრუნებული ორპოლუსა 2.18,ბ ნახაზზე გამოსახული სქემის ანაღოგიური იჰნება.

შებრუნებული ორპოლუსას ეღეღმენტები გამოიანგარიშება (2.5) ფორმულღების საფუღეღელზე:

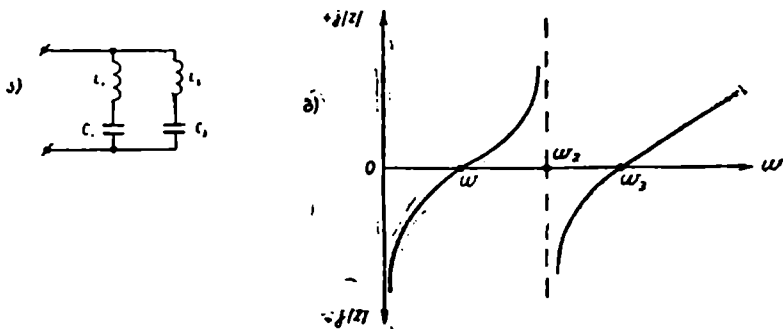
$$r' = \frac{R^2}{r} = \frac{200^2}{10} = \frac{40000}{10} = 4000 \text{ ომი} = 4 \text{ კომი};$$

$$L' = R^2 C = 200^2 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 40000 \cdot 10^{-6} = 0,04 \text{ ჰნ} = 40 \text{ მღჰნ};$$

$$C' = \frac{L}{R^2} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{200^2} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{40000} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ ფ} = 300 \text{ ნფ}.$$

ამოცანა 2.2. დაეზაზოთ მოცემული ოთხეღმენტიანი ორპოლუსას (ნახ. 2.19,ა) სრული წინაღობის სიხშირული მახასიათებელი.

ამ ომსნა. მოცემული ორპოლუსა დაყვანიღი სახისაა, რადგან ეღეღმენტების რიღეღი არ შეიღღება შემცირღდეს მისი ეღეღქტრული თვისეღების შეუღეღელად: რეზონანსთა რაღღენღობა ტოღია $4-1=3$. პირვეღი იჰნება ძაბეღების რეზონანსი, ვინაიღან ორპოლუსას სქემა არ ატარებს



ნახ. 2.19.

მუდმივ დენს, მეორე — დენების რეზონანსი, ხოლო მესამე — ისევე ძაბვების რეზონანსი. ამგვარად, მოცემული ორპოლუსას სრული წინაღობის სინშირული მახასიათებელი 2.19,ბ ნახაზზე მოცემული სქემის ანალოგიურია.

საკონტროლო კითხვები

1. როგორ ორპოლუსებს ეწოდებათ შებრუნებული და ეკვივალენტური?
2. რამდენი რეზონანსია შესაძლებელი ორ- და სამეღმენტიან ორპოლუსებში?
3. რას უდრის რეაქტიული ორეღმენტიანი ორპოლუსას წინაღობა დენებისა და ძაბვების რეზონანსების დროს?
4. რა არის ორპოლუსას ვარგისობა და რომელი ფორმულით განისაზღვრება კონდენსატორისა და ინდუქციური კოქის ვარგისობა?

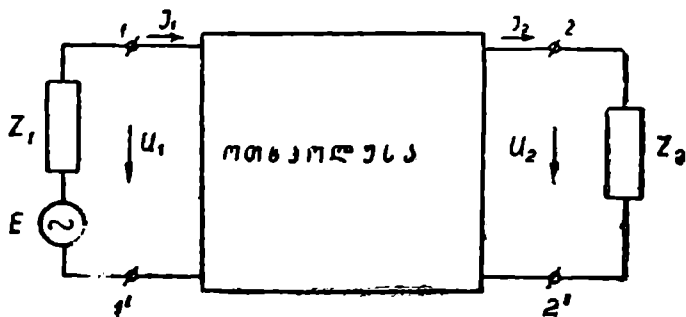
თ ა 3 0 III

ო თ ხ კ ო ლ უ ს ე ბ ი

8. 1. ოთხპოლუსების განსაზღვრა და კლასიფიკაცია

ოთხპოლუსა ეწოდება ისეთ ელექტრულ სქემას, რომელსაც გააჩნია ოთხი მომკერი (პოლუსი) და შეიცავს ნებისმიერი რაოდენობის, ერთმანეთთან ელექტრულად დაკავშირებულ R , L და C ელემენტებს. ოთხი მომკერიდან პირველი ორი მომკერი (1—1') გამოიყენება ელექტრული ენერჯის მისაწოდებლად, ხოლო მეორე ორი (2—2') — ენერჯის გამოსაყვანად (ნახ. 3.1)

ოთხპოლუსა ერთმანეთთან აერთებს ელექტრული წრედის ორ უბანს, რომელთაგან პირველი შეიძლება განვიხილოთ როგორც გადაცემა (გენერატორი: E —ელექტრომამოძრავებელი ძალით და Z_1 შიგა წინაღობით), ხოლო მეორე—როგორც მიმღები (დატვირთვა Z_2). იმისათვის, რომ გამოვარკვიოთ ოთხპოლუსას გავლენა ელექტრული ენერ-



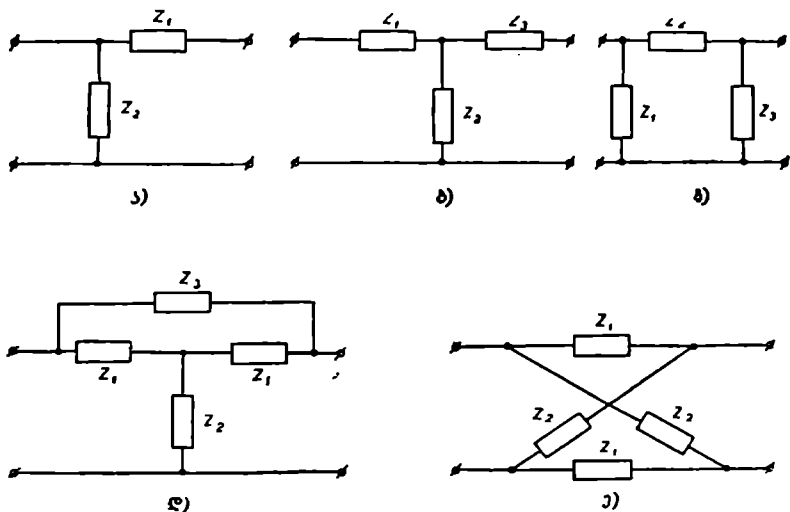
ნახ. 3.1.

გიის გადაცემაზე, საჭიროა განვსაზღვროთ თვით ოთხპოლუსას თვისებები და აგრეთვე დატვირთვის წინაღობების გავლენა მის შესასვლელსა და გამოსასვლელზე.

თუ ოთხპოლუსას შესასვლელსა და გამოსასვლელზე ძაბვებსა და დენებს შორის არსებობს პროპორციული დამოკიდებულება, მაშინ ასეთ ოთხპოლუსებს ეწოდება წრფივი. ქვემოთ განვიხილავთ მხოლოდ წრფივ ოთხპოლუსებს.

თუ ოთხპოლუსას სქემა შეიცავს ელექტრული ენერჯიის წყაროებს, მაშინ მას ეწოდება აქტიური ოთხპოლუსა. აქტიური ოთხპოლუსას მაგალითს წარმოადგენს გამაძლიერებელი მოწყობილობა. თუ ოთხპოლუსას სქემა არ შეიცავს ელექტრული ენერჯიის წყაროებს, მაშინ მას ეწოდება პასიური ოთხპოლუსა. პასიურ ოთხპოლუსებს მიეკუთვნება: ელექტრული ფილტრები, ტრანსფორმატორები, სათანაბრებლები, წამგრძელებლები, ერთგვაროვანი და არაერთგვაროვანი ხაზები და ა. შ. სამავეთულო კავშირგაბმულობის თეორიაში განიხილავენ მხოლოდ პასიურ ოთხპოლუსებს.

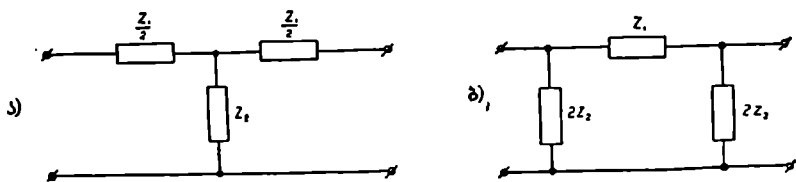
ოთხპოლუსას ელექტრული თვისებები დამოკიდებულია მასში შემავალი ორპოლუსების თვისებებზე. ძირითადად გამოიყენება შემდეგი სახის ოთხპოლუსები: Γ - , T - და Π -სებრი, აგრეთვე, T -სებრი ბოვირული და ბოვირული. აღნიშნული ოთხპოლუსების სქემები მოყვანილია 3.2 ნახაზზე. სიმარტივისათვის მიმღევრობითი მხრის წინაღობები (ბო-



ნახ. 3.2.

გირული ოთხპოლუსას გარდა) ნახაზზე ნაჩვენებია ოთხპოლუსების მხოლოდ პირდაპირ გამტარში.

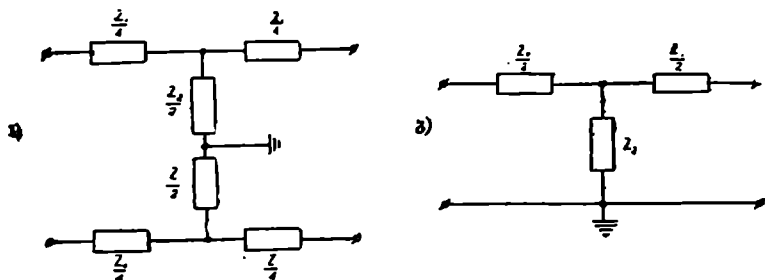
ოთხპოლუსა შეიძლება იყოს სიმეტრიული და არასიმეტრიული. სიმეტრიულ ოთხპოლუსაში უქმი სელის და მოკლედ ჩართვის წინალობები მის შესასვლელსა და გამოსასვლელში ერთმანეთის ტოლია. 3.3 ნახაზზე ნაჩვენებია T - და Π -სებრი სიმეტრიული ოთხპოლუსები. თუ უქმი სელის



ნახ. 3.3.

და მოკლედ ჩართვის წინალობები ოთხპოლუსას შესასვლელსა და გამოსასვლელში ერთმანეთისაგან განსხვავდება, მას ეწოდება არასიმეტრიული

სიმეტრიული და არასიმეტრიული ოთხპოლუსები შეიძლება იყოს გაწონასწორებული და გაუწონასწორებელი. ოთხპოლუსას, რომლის წინალობები მიწისადმი სიმეტრიულადაა განლაგებული, ეწოდება გაწო-



ნახ. 3.4.

ნასწორებული. ასეთ ოთხპოლუსას პირდაპირ და უკუგამტარებში (1—2 და 1'—2') ჩართულია ერთნაირი წინაღობები, ხოლო პარალელური მხარი შეიცავს მიმდევრობით შეერთებულ ორ ტოლ წინაღობას, რომელთა შეერთების წერტილი დამიწებულია (ნახ. 3.4,ა), ხოლო ოთხპოლუსას, რომელსაც არ გააჩნია მიწისადმი სიმეტრიული მომკერები, გაუწონასწორებელი ეწოდება (ნახ. 3.4,ბ).

3. 2. ოთხპოლუსაგის გადაცემის ძირითადი განტოლებები

ოთხპოლუსების თეორიაში განიხილავენ ექვსი სახის (ვარიანტის) განტოლებათა სისტემას, რომელიც აკავშირებს ერთმანეთთან ოთხ სიდიდეს: ძაბვას და დენს ოთხპოლუსას შესასვლელში, ძაბვას და დენს მის გამოსასვლელში. ამ ექვსი ვარიანტიდან გადაცემის ძირითადი განტოლებებია

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2 \\ I_1 &= CU_2 + DI_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

სადაც U_1 და I_1 არის ძაბვა და დენი ოთხპოლუსას შესასვლელში;

U_2 და I_2 — ძაბვა და დენი ოთხპოლუსას გამოსასვლელში;

A, B, C და D — ოთხპოლუსას განზოგადებული კოეფიციენტები.

A და D კოეფიციენტებს განზომილება არა აქვთ, B -ს წინაღობის განზომილება აქვს, ხოლო C — გამტარებლობის განზომილება. მათი მნიშვნელობები დამოკიდებულია ოთხპოლუსას მხოლოდ შიგა სქემის სტრუქტურაზე.

პასიური წრფივი ოთხპოლუსების გადაცემის განტოლებების A , B , C და D კოეფიციენტებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$AD - BC = 1. \quad (3.2)$$

თუ ოთხპოლუსაში ელექტრული ენერჯიის გადაცემის მიმართულებას შევცვლით, ე. ი. გადაცემას განვახორციელებთ 2—2' მომკერიდან

1—1' მომჭერისაყენ, გადაცემის ძირითად განტოლებებს ექნებათ იგივე სტრუქტურა როგორც (3.1), იმ განსხვავებით, რომ (3.1) განტოლებაში A და D კოეფიციენტები ურთიერთგადაადგილებიან. ამ შემთხვევაში (3.2) განტოლება უცვლელია.

სიმძლავრე, რომელსაც ღებულობს ოთხპოლუსა გადამცემიდან, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$P_1 = U_1 I_1,$$

ხოლო სიმძლავრე, რომელსაც გადასცემს ოთხპოლუსა მიმღებს,

$$P_2 = U_2 I_2.$$

ოთხპოლუსას დანიშნულებაა სიგნალის გადაცემა მიმღებში ისეთივე სახით, როგორიც გადამცემიდან მიიღო, ე. ი. P_1 , სიმძლავრე ტოლი უნდა იყოს P_2 სიმძლავრის ანდა განსხვავდებოდეს მხოლოდ დროის ფაქტორით.

მათემატიკურად P_1 და P_2 სიმძლავრეებს შორის დამოკიდებულება გამოისახება შემდეგნაირად:

$$P_2 = P_1 e^{-2g}, \quad (3.3)$$

სადაც g არის ოთხპოლუსას გადაცემის მუდმივა, რომლის ნამდვილი ნაწილი განსაზღვრავს სიგნალის მიღევას, ხოლო წარმოსახვითი ნაწილი — ოთხპოლუსაში სიგნალის გარბენის დროს.

8. 8. ოთხპოლუსას გადაცემის განტოლებების განზოგადებული კოეფიციენტები

როგორც აღვნიშნეთ, პასიური ხაზური ოთხპოლუსას გადაცემის განტოლებების განზოგადებული კოეფიციენტებია: A, B, C და D .

თუ გვეცოდინება A, B, C და D კოეფიციენტების მნიშვნელობები, შეგვიძლია გამოვთვალოთ ოთხპოლუსას მუშაობის ნებისმიერი რეჟიმი. ისინი გამოსახვენ გარკვეულ ფიზიკურ თანაფარდობებს, რომელთა განსაზღვრა შეიძლება გამოცდის საფუძველზე.

უქმი სვლის რეჟიმის დროს, ე. ი. როდესაც ოთხპოლუსას 2—2' მომჭერები გათიშულია, დენი $I_2 = 0$. (3.1) გადაცემის განტოლებების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ:

$$A = \left(\frac{U_1}{U_2} \right)_{I_2=0} \quad \text{არის ძაბვათა ფარდობა უქმი სვლის რეჟიმისას;}$$

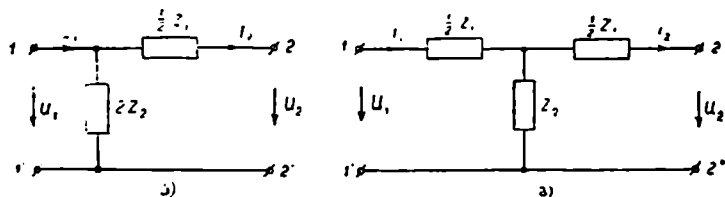
$$C = \left(\frac{I_1}{U_2} \right)_{I_2=0} \quad \text{— ოთხპოლუსას გადაცემის გამტარებლობა უქმი სვლის რეჟიმისას;}$$

მოკლედ ჩართვის რეჟიმის დროს, ე. ი. როდესაც ოთხპოლუსას

2—2' მომჭერები მოკლელაა ჩართული, მის გამოსასვლელში ძაბვა $U_2 = 0$. იგივე (3.1) გადაცემის განტოლებებიდან დავასკვნით, რომ:

$B = \left(\frac{U_1}{I_2}\right)_{U_2=0}$ არის ოთხპოლუსას გადაცემის წინაღობა მოკლედ ჩართვის რეჟიმისას;

$D = \left(\frac{I_1}{I_2}\right)_{U_2=0}$ — დენების ფარდობა მოკლედ ჩართვის რეჟიმისას.



ნახ. 3.5.

A, B, C და D პარამეტრები შეიძლება განისაზღვროს გამოთვლის საშუალებითაც. ამ შემთხვევაში საჭიროა ოთხპოლუსას შიგა სქემის ცოდნა.

განვიხილოთ 3.5 ნახაზზე ნაჩვენები T - და Γ -სებრი ოთხპოლუსების სქემები. თუ გამოვიყენებთ კირხჰოფის კანონებს, T -სებრი ოთხპოლუსას გადაცემის ძირითადი განტოლებები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$U_1 = U_2 + \frac{1}{2} Z_1 I_2,$$

$$I_1 = \frac{U_2 + \frac{1}{2} Z_1 I_2}{2Z_2} + I_2 = U_2 + \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right) I_2.$$

თუ მიღებულ განტოლებებს შევადარებთ (3.1) გამოსახულებას, მივიღებთ:

$$A = 1; B = \frac{1}{2} Z_1; C = \frac{1}{2Z_2} \text{ და } D = 1 + \frac{Z_1}{4Z_2}.$$

აღნიშნულის ანალოგიურად, გადაცემის, განტოლებები T -სებრი ოთხპოლუსას სქემისათვის (ნახ. 3.5,ბ) იქნება:

$$U_1 = \frac{Z_1}{2} I_1 + \frac{Z_1}{2} I_2 + U_2 = \left(1 + \frac{Z_1}{2Z_2}\right) U_2 + Z_1 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right) I_2,$$

$$I_1 = \frac{U_2 + \frac{Z_1}{2} I_2}{Z_2} + I_2 = \frac{1}{Z_2} U_2 + \left(1 + \frac{Z_1}{2Z_2}\right) I_2,$$

ე. ი. T -სებრი ოთხპოლუსას გადაცემის განტოლებების კოეფიციენტები განისაზღვრება:

$$A = 1 + \frac{Z_1}{2Z_2}, \quad B = Z_1 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right), \quad C = \frac{1}{Z_2}, \quad D = 1 + \frac{Z_1}{2Z_2}.$$

შევამოწმოთ (3.2) ტოლობა. თუ ამ ტოლობაში შევიტანთ A, B, C და D კოეფიციენტების მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

Γ -სებრი ოთხპოლუსასთვის

$$AD - BC = 1 \cdot \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right) - \frac{1}{2} Z_1 \cdot \frac{1}{2Z_2} = 1;$$

T -სებრი ოთხპოლუსასთვის

$$\begin{aligned} AD - BC &= \left(1 + \frac{Z_1}{2Z_2}\right)^2 - Z_1 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right) \cdot \frac{1}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} + \\ &+ \frac{Z_1^2}{4Z_2^2} - \frac{Z_1}{Z_2} - \frac{Z_1^2}{4Z_2^2} = 1. \end{aligned}$$

8. 4. ოთხპოლუსას წინაღობები

ოთხპოლუსას გადაცემის თვისებებს გამოიკვლევენ მისი მახასიათებელი წინაღობებით.

ოთხპოლუსას მახასიათებელი წინაღობა წარმოადგენს უქმი სვლისა და მოკლედ ჩართვის წინაღობების საშუალო გეომეტრიულ მნიშვნელობას, ე. ი.

$$Z_{\text{გ}} = \sqrt{Z_{\text{უს}} \cdot Z_{\text{ჩ}}}. \quad (3.4)$$

სადაც $Z_{\text{გ}}$ — მახასიათებელი წინაღობა;

$Z_{\text{უს}}$ — უქმი სვლის წინაღობა;

$Z_{\text{ჩ}}$ — მოკლედ ჩართვის წინაღობა.

თუ გამოვიყენებთ ოთხპოლუსას გადაცემის (3.1) განტოლებებს, მივიღებთ $1-1'$ მომჭერისადმი წინაღობათა შემდეგ მნიშვნელობებს:

უქმი სვლის შემთხვევაში, როდესაც $I_2 = 0$,

$$Z_{1\text{უს}} = \frac{U_{1\text{უს}}}{I_{1\text{უს}}} = \frac{A}{C}.$$

მოკლედ ჩართვის შემთხვევაში, როდესაც $U_2 = 0$,

$$Z_{12A} = \frac{U_{12A}}{I_{12A}} = \frac{B}{D}.$$

თუ A და D კოეფიციენტებს ურთიერთგადავადგილებთ, მივიღებთ ოთხპოლუსას 2—2' მომჭერისადმი უქმი სელისა და მოკლედ ჩართვის წინალობების გამოსახულებებს.

ამგვარად, 1—1' მომჭერისადმი ოთხპოლუსას მახასიათებელი წინალობა ტოლია:

$$Z_{a1} = \sqrt{\frac{AB}{CD}}; \quad (3.5)$$

2—2' მომჭერისადმი:

$$Z_{a2} = \sqrt{\frac{BD}{AC}}. \quad (3.6)$$

მახასიათებელი წინალობის განზომილება არის ომი. მათი მნიშვნელობები არ არის დამოკიდებული ოთხპოლუსას მომჭერებზე წარმოქმნილ ძაბვის ან დენის სიდიდეებზე.

დავუშვათ, რომ დატვირთვის წინალობა (Z_2) შეთანხმებულადაა ჩართული ოთხპოლუსას გამოსასვლელში, ე. ი.

$$Z_2 = Z_{a2} = \sqrt{\frac{BD}{AC}},$$

მაშინ ოთხპოლუსას წინალობა 1—1' მომჭერისადმი Z_{a1} მახასიათებელი წინალობის ტოლი იქნება:

$$Z_{1-1'} = Z_{a1}.$$

ანალოგიურად, თუ შეთანხმებული ჩართვა განხორციელებულია ოთხპოლუსას შესასვლელში, ე. ი. $Z_1 = Z_{a1}$, მაშინ მის გამოსასვლელში წინალობა $Z_{2-2'} = Z_{a2}$.

პრაქტიკულად ყოველთვის ცდილობენ მიადწიონ ოთხპოლუსას მუშაობას შეთანხმებულ რეჟიმში, ე. ი. როდესაც დატვირთვის წინალობა მახასიათებელი წინალობის ტოლია. ოთხპოლუსას მუშაობის ასეთი რეჟიმი საშუალებას გვაძლევს მარტივი მეთოდებით აღვწეროთ მისი გადაცემის პროცესები. გარდა ამისა, გარე წრედები, რომლებსაც უერთდება ოთხპოლუსა, საჭიროებენ შეთანხმებულ ჩართვას.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ოთხპოლუსაში არაა განხორციელებული შეთანხმებული ჩართვა, ე. ი. $Z_1 \neq Z_{a1}$ და $Z_2 \neq Z_{a2}$, მახასიათებელი წინალობის ნაცელად სარგებლობენ შესასვლელი წინალობით.

ოთხპოლუსას შესასვლელი წინალობა 1—1' მომჭერების მხრიდან წარმოადგენს მის შესასვლელში ძაბვის შეფარდებას დენთან, ე. ი.

$$Z_{\text{ავს1}} = \frac{U_1}{I_1}. \quad (3.7)$$

თუ გამოვიყენებთ (3.1) გადაცემის განტოლებებსა და $U_2 = I_2 Z_2$ ტოლობას, 1—1' მომჭერებისადმი მივიღებთ ოთხპოლუსას. წინაღობის შემდეგ მნიშვნელობას:

$$Z_{\text{ავს1}} = \frac{AZ_2 + B}{CZ_2 + D}; \quad (3.8)$$

2—2' მომჭერებისადმი კი

$$Z_{\text{ავს2}} = \frac{DZ_1 + B}{CZ_1 + A}. \quad (3.9)$$

როგორც აღვნიშნეთ, შეთანხმებულად ჩართვის შემთხვევაში შესასვლელი წინაღობები შესაბამისად ტოლი იქნება:

$$Z_{\text{ავს1}} = Z_{\text{ავ1}} \quad \text{და} \quad Z_{\text{ავს2}} = Z_{\text{ავ2}}.$$

3. 5. ოთხპოლუსას გადაცემის მუდმივები

ელექტრული ენერჯიის გადაცემისას ოთხპოლუსებში ენერჯიის ნაწილის შთანთქმავს მასში შემავალი წინაღობები. გარდა ამისა, ოთხპოლუსას შესასვლელსა და გამოსასვლელზე ძაბვებს შორის წარმოიქმნება ფაზათა ძვრა. სამავთულო კავშირგაბმულობაში სიმძლავრის დანაკარგი განისაზღვრება მილევის სიდიდით და იზომება ნეპერობით, ხოლო ძაბვების ვექტორებს შორის ძვრა — კუთხის სიდიდით, რადიანობით.

გადაცემის მუდმივა g ზოგადად განისაზღვრება (3.3) განტოლებიდან:

$$g = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (3.10)$$

სადაც P_1 არის სიმძლავრე, რომელსაც ღებულობს ოთხპოლუსა გენერატორიდან წინასწარ განსაზღვრულ პირობებში;

P_2 — სიმძლავრე, რომელსაც ოთხპოლუსა გადასცემს მიმღებს. გადაცემის მუდმივა წარმოადგენს კომპლექსურ სიდიდეს:

$$g = a + jb,$$

სადაც a არის ნამდვილი ნაწილი;

b — გადაცემის მუდმივას წარმოსახვითი ნაწილი.

გადაცემის მუდმივას ნამდვილი ნაწილი განსაზღვრავს ოთხპოლუსას მიერ სიმძლავრის შემცირებას, რომელსაც მილევის მუდმივას უწოდებენ და განისაზღვრება ფორმულით:

$$a = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \quad \text{ნეპ.} \quad (3.11)$$

გადაცემის მუდმივას წარმოსახვითი ნაწილი განსაზღვრავს ოთხპოლუს-სას შესასვლელსა და გამოსასვლელში სიმძლავრეთა ვექტორებს შორის ფაზათა ძვრას, რომელსაც ფაზურ მუდმივას უწოდებენ და განისაზღვრება ფორმულით

$$b = \frac{1}{2} azg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ რად.} \quad (3.11)$$

ამრიგად, ყოველი პასიური ოთხპოლუსა წარმოშობს მიღევას (შემცირებას) და ფაზათა ძვრას (დაგვიანებას). ელექტრული სიგნალების გადაცემისას მათ დაგვიანებას არსებითი მნიშვნელობა არა აქვს, ვინაიდან (3.3) პირობის თანახმად, დროის ფაქტორი არაა შეზღუდული, მიღვეის სიდიდე კი ყოველთვის მხედველობაშია მისაღები, რომ არ გადაჭარბოს დასაშვებ ნორმებს.

სიმძლავრე, რომელსაც ღებულობს ოთხპოლუსა გადამცემიდან (გენერატორიდან), დამოკიდებულია შეთანხმებულ ჩართვაზე. ამიტომ ოთხპოლუსას სხვადასხვა რეჟიმში მუშაობის დროს განასხვავებენ გადაცემის მუდმივებს: საკუთარი გადაცემის მუდმივას (g_0), შეტანილი გადაცემის მუდმივას ($g_{ავ}$) და მუშა გადაცემის მუდმივას (g_a).

საკუთარი გადაცემის მუდმივა P_1 და P_2 სიმძლავრეთა ფარდობის ნატურალური ლოგარითმის ნახევრის ტოლია, როდესაც განხორციელებულია შეთანხმებული ჩართვა (ნახ. 3.6, ა), ე. ი.

$$Z_2 = Z_{a2} \text{ და } Z_1 = Z_{a1},$$

$$g_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} = \ln \frac{I_1}{I_2}.$$

თუ გამოვიყენებთ (3.1) და (3.2) განტოლებებსა და $U_2 = Z_{a1} I_2$ გამოსახლებას, მივიღებთ საკუთარი გადაცემის მუდმივას ფორმულას

$$g = \ln(\sqrt{AD} + \sqrt{BC}). \quad (3.12)$$

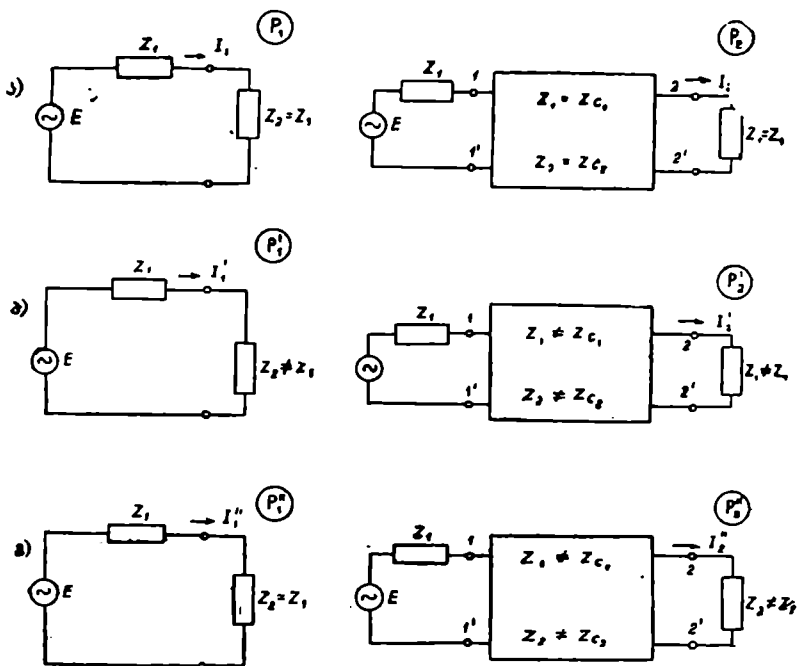
მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ საკუთარი გადაცემის მუდმივა არაა დამოკიდებული A და D კოეფიციენტების ურთიერთგადაადგილებაზე, რაც საკუთარი გადაცემის მუდმივას დამოუკიდებლობის მაჩვენებელია სიგნალის გადაცემის მიმართულებაზე.

საკუთარი გადაცემის მუდმივას ნამდვილი ნაწილი a_0 განისაზღვრება ფორმულით

$$a_0 = \ln|\sqrt{AD} + \sqrt{BC}| \text{ ნებ.},$$

ხოლო წარმოსახვითი ნაწილი (b_0) — შემდეგი ფორმულით

$$b_0 = azg(\sqrt{AD} + \sqrt{BC}) \text{ რად.}$$



ნახ. 3.6.

როდესაც ოთხპოლუსაში ჩართული დატვირთვის წინაღობა განსხვავდება მახასიათებელი წინაღობისაგან ($Z_2 \neq Z_{22}$), მაშინ მასში, სიმძლავრის დანაკარგისა და ფაზათა ძვრის გარდა, ოთხპოლუსას დატვირთვის წინაღობასთან შეერთების წერტილებში ადგილი აქვს სიმძლავრის დამატებით დანაკარგს და ფაზათა ძვრას. ამ შემთხვევაში ოთხპოლუსას გადაცემის თვისებები განისაზღვრება შეტანილი და მუშა გადაცემის მუდმივებით.

შეტანილი გადაცემის მუდმივა P'_1 და P'_2 სიმძლავრეთა ფარდობის ნატურალური ლოგარითმის ნახევრის ტოლია. P'_1 უშუალოდ გადაცემის გენერატორის მომჭერებზე მიერთებული დატვირთვის წინაღობაზე წარმოქმნილი სიმძლავრეა, ხოლო P'_2 — იმავე დატვირთვის წინაღობაზე ოთხპოლუსას გამოსასვლელში გამოყოფილი სიმძლავრეა, ე. ი.

$$g_{\text{შეტ}} = \frac{1}{2} \ln \frac{P'_1}{P'_2} = \ln \frac{I'_1}{I'_2}$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ 3.6, ბ ნახაზიდან გამომდინარე განტოლებებს

$$I'_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2} \quad \text{და} \quad I'_2 = \frac{E}{Z_{\text{დაყ}}}$$

მაშინ შეტანილი გადაცემის მუდმივა გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$g_{\text{ვატ}} = \ln \frac{Z_{\text{დაყ}}}{Z_1 + Z_2}, \quad (3.13)$$

სადაც $Z_{\text{დაყ}}$ არის ოთხპოლუსას ეკვივალენტური კონტურის დაყვანილი წინალობა (3.6, ბ) და ტოლია:

$$Z_{\text{დაყ}} = AZ_2 + DZ_1 + B + CZ_1Z_2. \quad (3.14)$$

მუშა გადაცემის მუდმივა P''_1 და P''_2 სიმძლავრეთა ფარდობის ნატურალური ლოგარითმის ნახევრის ტოლია. P_1'' — სიმძლავრეა, რომელიც გამოიყოფა დატვირთვის წინალობაზე, როდესაც ის უშუალოდ გენერატორთანაა მიერთებული და მისი შივა წინალობის ($Z_2 = Z_1$) ტოლია, ხოლო P_2'' — დატვირთვის წინალობაზე გამოყოფილი სიმძლავრე, როდესაც ის მიერთებულია ოთხპოლუსას გამოსასვლელთან (ნახ. 3.6, გ), ე. ი.

$$g_a = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1''}{P_2''} = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1'' I_1''}{U_2'' I_2''}$$

სადაც $U''_1 = \frac{E}{2}$ არის დატვირთვაზე. მოდებული ძაბვა, როდესაც

$$Z_2 = Z_1;$$

$$I_1'' = \frac{E}{2Z_2} \text{ — დატვირთვის წინალობაში გამავალი დენი, რო-}$$

დესაც

$$Z_2 = Z_1;$$

$$U_2'' = Z_2 I_2 = \frac{EZ_2}{Z_{\text{დაყ}}} \text{ — ოთხპოლუსას ბოლოში ჩართული დატვირთვის}$$

წინალობაზე მოდებული ძაბვა.

თუ გამოიყენებთ აღნიშნულ თანათარღობებს, მივიღებთ მუშა გადაცემის მუდმივას ფორმულას

$$g_a = \ln \frac{Z_{\text{დაყ}}}{2\sqrt{Z_1 Z_2}}. \quad (3.15)$$

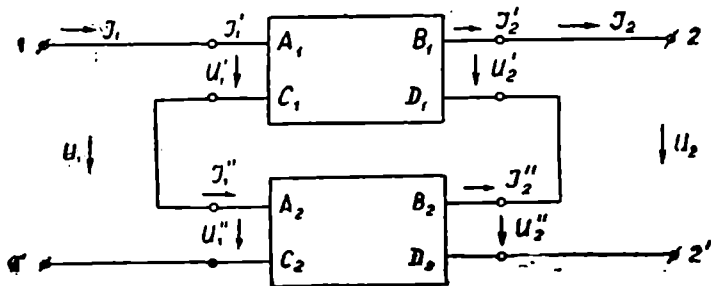
(3.11) ფორმულის შესაბამისად შეიძლება ვიპოვოთ ოთხპოლუსას შეტანილი და მუშა ჩაქრობები. ყველაზე უფრო გამოიყენება მუშა ჩაქრობა, რომელიც განისაზღვრება საკუთარი ჩაქრობითა (a_0) და შეუთანხმებლობის შედეგად წარმოქმნილი დამატებითი ჩაქრობით (a_a), ე. ი.

$$a_a = a_0 + a \quad (3.16)$$

პრაქტიკაში, გარდა ცალკეული ოთხპოლუსებისა, ხშირად გვხვდებოდა რთული ოთხპოლუსები, რომლებიც შეიცავენ ორ ან მეტ მარტივ ოთხპოლუსს. განვიხილოთ ასეთი ოთხპოლუსების ურთიერთშეერთება ძირითადად გამოიყენება ოთხპოლუსების შეერთების სამი მეთოდი მიმდევრობითი, პარალელური და კასკადური.

3.7 ნახაზზე მოცემულია ორი ოთხპოლუსის მიმდევრობითი შეერთება.

ამ შემთხვევაში ნახაზიდან შეგვიძლია დავწეროთ:



ნახ. 3.7.

$$U_1 = U'_1 + U''_1; \quad U_2 = U'_2 + U''_2;$$

$$I_1 = I'_1 = I''_1; \quad I_2 = I'_2 = I''_2.$$

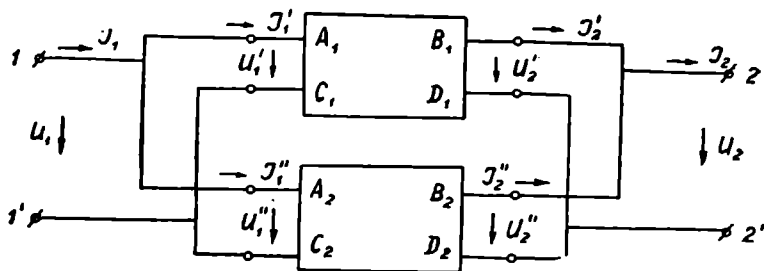
თუ ცალკეული ოთხპოლუსების ძაბვებსა და დენებს A_1, B_1, C_1, D_1 და A_2, B_2, C_2, D_2 პარამეტრებით გამოვსახავთ, მაშინ 3.1-ის თანახმად ოთხპოლუსს გადაცემის განტოლებების კოეფიციენტები ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{A_1 C_2 + A_2 C_1}{C_1 + C_2}; & C &= \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}; \\ B &= B_1 + B_2 - \frac{(A_1 - A_2)(D_1 - D_2)}{C_1 + C_2}; & D &= \frac{D_1 C_2 + D_2 C_1}{C_1 + C_2}. \end{aligned} \right\} (3.17)$$

თუ ცნობილია რთული ოთხპოლუსის განზოგადებული პარამეტრები A, B, C და D , შეგვიძლია განვსაზღვროთ გადაცემის მეორეული პარამეტრები: გადაცემის საკუთარი მუდმივა და რთული ოთხპოლუსის მახასიათებელი წინაღობა.

დავუშვათ, რომ თითოეულ შემადგენელ ოთხპოლუსებს გააჩნია ერთნაირი განზოგადებული პარამეტრები, მაშინ შეგვიძლია დავასკვნათ რომ რთული ოთხპოლუსს გადაცემის საკუთარი მუდმივა ერთ-ერთი შემადგენელი ოთხპოლუსს გადაცემის საკუთარი მუდმივას ტოლია

ე. ი. ოთხპოლუსების მიმდევრობითი შეერთებისას გადაცემის საკუთარი მუდმივა არ იცვლება. რაც შეეხება მახასიათებელ წინაღობებს (Z_{22} და Z_{21}), თითოეული მათგანი იზრდება ორჯერ.



ნახ. 3.8.

3.8 ნახაზზე მოცემულია ორი ოთხპოლუსის პარალელური შეერთება. განზოგადებული პარამეტრები განისაზღვრება შემდეგი პირობიდან, რომელიც ნახაზიდან გამომდინარეობს:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_1' + I_1''; & I_2 &= I_2' + I_2''; \\ U_1 &= U_1' = U_1''; & U_2 &= U_2' = U_2''. \end{aligned}$$

ზემოგანხილული გარდაქმნის ანალოგიურად:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{A_1 B_2 + A_2 B_1}{B_1 + B_2}; & C &= C_1 + C_2 - \frac{(A_1 + A_2)(D_1 + D_2)}{B_1 + B_2}; \\ B &= \frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2}; & D &= \frac{D_1 B_2 + D_2 B_1}{B_1 + B_2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

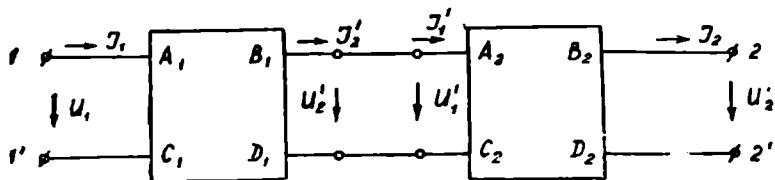
აღნიშნული შეერთებისას, თუ ოთხპოლუსები ერთნაირია (ე. ი. თუ გააჩნიათ ერთნაირი გადაცემის განტოლებების კოეფიციენტები), მაშინ რთული ოთხპოლუსის გადაცემის საკუთარი მუდმივა ერთ-ერთი მათგანის ტოლია, ხოლო მახასიათებელი წინაღობა მცირდება ორჯერ.

3.9 ნახაზზე მოცემულია ორი ოთხპოლუსის კასკადური შეერთება. რთული ოთხპოლუსის განზოგადებული პარამეტრები განისაზღვრება შემდეგი პირობიდან:

$$U_2' = U_1 \text{ და } I_2' = I_1.$$

შესაბამისი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ რთული ოთხპოლუსის განზოგადებული პარამეტრების მნიშვნელობებს:

$$\begin{aligned} A &= A_1 A_2 + B_1 C_2; & C &= C_1 A_2 + C_2 D_1; \\ B &= B_1 D_2 + B_2 A_1; & D &= D_1 D_2 + C_1 B_2. \end{aligned} \quad (3.19)$$



ნახ. 3.9.

ამ შემთხვევაში შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ოთხპოლუსების ეკვივალენტობის დროს რთული ოთხპოლუსას გადაცემის საკუთარი მუდმივა იზრდება ორჯერ, ხოლო მახასიათებელი წინაღობა უცვლელი რჩება.

თუ რამდენიმე ერთნაირი ოთხპოლუსები ($Z_{a1}=Z_{a2}=Z_{a3}$) შეერთებულია კასკადურად, მაშინ რთული ოთხპოლუსას გადაცემის საკუთარი მუდმივა ცალკეული ოთხპოლუსების გადაცემის საკუთარი მუდმივების ჯამის ტოლია, ე. ი.

$$g = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n. \quad (3.20)$$

(3.20) გამოსახულებიდან მთლიანი მილევის მუდმივა (a) და მთლიანი ფაზური მუდმივა (b) განისაზღვრებიან შემდეგი ფორმულებით

$$a = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n,$$

$$b = b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_n. \quad (3.21)$$

8. 7. ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები

ურთიერთნდუქციური სტრუქტურის მქონე ოთხპოლუსა წარმოადგენს ტრანსფორმატორს. ისინი, ხშირ შემთხვევებში, გამოიყენებიან მახასიათებელი წინაღობების შესათანხმებლად, გადაცემის განშტოებისას, ხელოვნური წრედების შესაქმნელად და ა. შ.

იმ შემთხვევაში, როდესაც წრედების ცალკეული რგოლები და ფიზიკური პარამეტრები ერთმანეთისაგან განსხვავდება მათი კასკადური შეერთებისას, საჭიროა გამოვიყენოთ შემათანხმებელი მოწყობილობა ტრანსფორმატორის ან ავტოტრანსფორმატორის სახით.

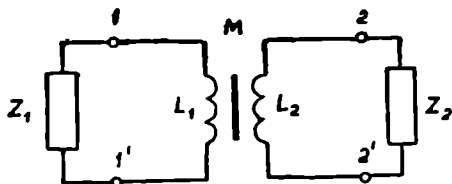
პრაქტიკაში ტრანსფორმატორები უმთავრესად გამოიყენება წრედის ცალკეული რგოლების შესათანხმებლად, რომლებიც განლაგებულია სადურებში. ავტოტრანსფორმატორები კი — ხაზზე განლაგებული რგოლების შესათანხმებლად.

3.10 ნახაზზე მოცემულია უდანაკარგო ტრანსფორმატორის უმარტივესი სქემა. მისი განზოგადებული პარამეტრები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით

$$A = \frac{L_1}{M};$$

$$B = j\omega \frac{L_1 L_2 - M^2}{M};$$

$$C = \frac{1}{j\omega M};$$



ნახ. 3.10.

$$D = \frac{L_2}{M}.$$

სადაც L_1 არის პირველადი გრაგნილის ინდუქტიურობა;

L_2 — მეორეული გრაგნილის ინდუქტიურობა;

M — პირველად და მეორეულ გრაგნილთა ურთიერთინდუქტიურობა.

1—1' მომჭკრებისადმი ტრანსფორმატორის მახასიათებელი წინალობა განისაზღვრება (3.5) და (3.6) ფორმულებით

$$Z_{a1} = \sqrt{\frac{AB}{CD}} = j\omega L_1 \sqrt{1 - K^2},$$

ხოლო 2—2' მომჭკრებისადმი

$$Z_{a2} = \sqrt{\frac{DB}{CA}} = j\omega L_2 \sqrt{1 - K^2},$$

სადაც K არის მაგნიტური კავშირის კოეფიციენტი და განისაზღვრება ფორმულით

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

მახასიათებელ წინალობათა ფარლობა კი

$$\frac{Z_{a2}}{Z_{a1}} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{W_2^2}{W_1^2},$$

სადაც W_1 არის პირველადი გრაგნილის ხეიათა რაოდენობა;

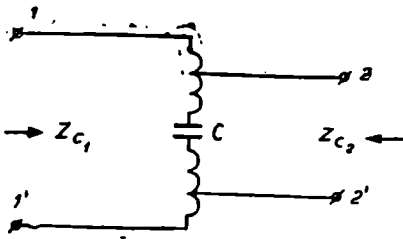
W_2 — მეორეული გრაგნილის ხეიათა რაოდენობა.

მიღებული გამოსახულებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ უდანაკარგო ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი შემდეგი ფორმულით

$$n = \frac{W_2}{W_1} = \sqrt{\frac{Z_{a2}}{Z_{a1}}}. \quad (3.22)$$

ვინაიდან ტრანსფორმატორის მახასიათებელი წინაღობა ძირითადად განისაზღვრება წარმოსახვითი შემდგენით, ხოლო დატვირთვის წინაღობა — სუფთა აქტიური შემდგენით, ე. ი. ისინი არ არიან შეთანხმებული, ამიტომ გადაცემის მუდმივა საჭიროა განისაზღვროს (3.15) ფორმულის საფუძველზე (ე. ი. უნდა განესაზღვროთ მუშა გადაცემის მუდმივა).

ტრანსფორმატორები ფართოდ გამოიყენება ელექტროკავშირგაბმულობის ტექნიკაში როგორც შემათანხმებელი, სიმეტრიული, ბადური, ანოდური და ა. შ. მოწყობილობები. ზოგიერთ შემთხვევაში შემათანხმებელ მოწყობილობად გამოიყენება ავტოტრანსფორმატორი, რომელიც უფრო ეკონომიურია, ვიდრე ტრანსფორმატორი (ნახ. 3.11). ნახაზზე



ნახ. 3.11.

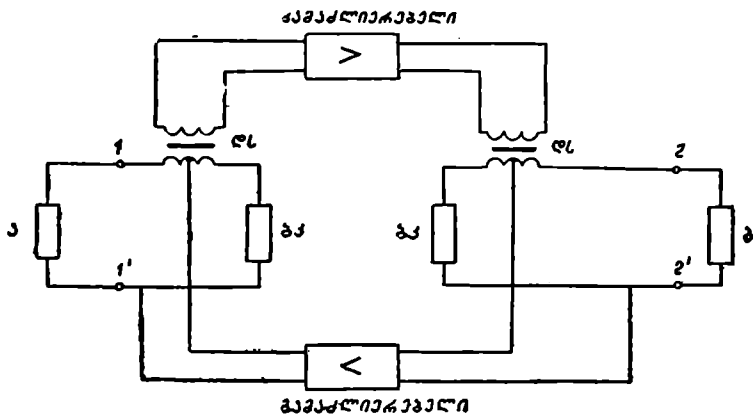
კონდენსატორი ჩართულია წრედის გამტარების გაღვანურად განცალკევებისათვის, რაც მუდმივი დენის ცალ-ცალკე გადაცემის საშუალებას იძლევა.

ტრანსფორმატორები, რომლებსაც გამოყვანილი აქვს პირველადი ანდა მეორეული გრაგნილის შუა წერტილი,

სხვადასხვა სახის დიფერენციალური სისტემების შექმნის საშუალებას იძლევა. ასეთ ტრანსფორმატორებს დ ი ფ ე რ ე ნ ც ი ა ლ უ რ ი ე წოდებათ.

3.12 ნახაზზე ნაჩვენებია ორგამტარიანი წრედის ოთხგამტარიანად გარდაქმნის სქემა. ამ სქემაში ბკ — ბალანსური კონტურია, ე. ი. ორპოლუსაა, რომლის წინაღობა ორგამტარიანი წრედის შესასვლელი წინაღობის ტოლია. გამაძლიერებელი ელემენტი აძლიერებს სიგნალებს მხოლოდ ისრის მიმართულებით, ხოლო საწინააღმდეგო მიმართულებების სიგნალებს არ ატარებს.

ა პუნქტიდან გაგზავნილი ელექტრული დენი გაივლის დიფერენციალური სისტემის (დს) პირველად გრაგნილს, ბალანსურ კონტურს (ბკ) და ბრუნდება ა პუნქტში. დიფერენციალური სისტემის შუა წერტილში დენის განშტოება არ განხორციელდება, ვინაიდან ქვედა გამაძლიერებელი არ გაატარებს განშტოებულ დენს. დიფერენციალური სისტემის მეორეულ გრაგნილში ინდუქტირდება ელექტრომაგნიტური ძალა, რომელიც წარმოქმნის დენს და გაივლის გამაძლიერებლის შესასვლელ წრედში, სადაც ხდება დენის გაძლიერება; შემდეგ გაძლიერებული დენი გადაეცემა მეორე დიფერენციალურ სისტემას. მარჯვენა დიფერენ-



ნახ. 3. 12.

ციალურ სისტემაში დენი განშტოვდება ორ ტოლ ნაწილად. განშტოებული დენები გაივლის ბალანსურ კონტურს (ბკ), მიმღებს (ბ პუნქტს) და საერთო წერტილის გავლით მეორე გამტარით ბრუნდება გამაძლიერებელში.

ბ პუნქტიდან გაგზავნილი დენი გაივლის იმავე გზას მხოლოდ სქემის ქვედა ნაწილში.

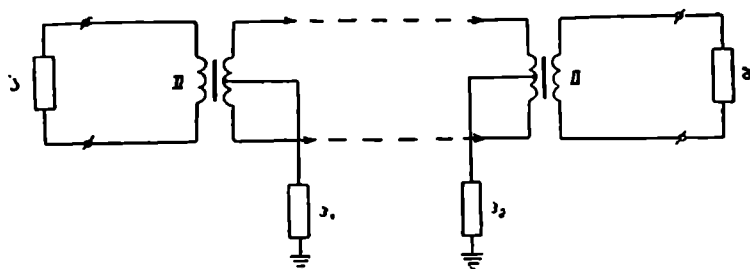
ამგვარად, ა პუნქტიდან დიფერენციალურ სისტემაში გვაქვს ორგამტარიანი წრედი, დიფერენციალური სისტემიდან მეორე დიფერენციალურ სისტემაში—ოთხგამტარიანი წრედი და მეორე დიფერენციალური სისტემიდან ბ პუნქტამდე კვლავ ორგამტარიანი წრედი. ორგამტარიანი წრედის ასეთი გარდაქმნა ოთხგამტარიან წრედად და, პირიქით, შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ განხორციელებულია ბალანსური კონტურისა და ორგამტარიანი წრედის წინააღობების სრული შეთანხმება. ამავე დროს დავასკვნით, რომ თვით ბალანსურ კონტურს გააჩნია გარკვეული დანაკარგები.

დიფერენციალურ სისტემას იყენებენ აგრეთვე ხელოვნური (ფანტომური) წრედის შესაქმნელად.

3.13 ნახაზზე ნაჩვენებია ხელოვნური წრედის მიღების სქემა, რომელიც შექმნა ფრანგმა ინჟ. პიკარომ. ამ სქემაზე ა—ბ წრედი ძირითადია, ხოლო პ₁—პ₂ — პიკაროს წრედი — ხელოვნური წრედი. ორივე წრედების შესაქმნელად გამოყენებულია გამტართა ერთი წყვილი. თითოეული წრედით კავშირი განხორციელებულია ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად და ხელშეუშლელად.

თუ ორივე გამტარი დამზადებულია ერთი და იმავე მასალისაგან და

გაჩნიათ ერთნაირი განიკვეთი, მაშინ ელექტრული დენი, რომელიც გადის β_1 — β_2 წრედში, დიფერენციალური სისტემის შუა წერტილებში ორ ტოლ ნაწილად განშტოვდება. ეს დენები მეორეულ გრაგნილებში აინდუქციებენ ტოლ და ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულების ელექტრომაგნიტურ ძალებს, რომლებიც ერთმანეთს სპობენ.



ნახ. 3.13.

ამგვარად, β_1 — β_2 წრედი ა—ბ წრედზე არ მოქმედებს და ასევე ა—ბ წრედიც β_1 — β_2 წრედზე არ მოქმედებს.

ამოცანა 3.1. განესაზღვროთ T -სებრი სიმეტრიული ოთხპოლუსას (ნახ.3.5,ბ) A, B, C და D კოეფიციენტები, თუ ცნობილია $Z_1^0 = 100$ ომს, $Z_2 = 1000$ ომს.

ამოხსნა. თუ გამოვიყენებთ III თავში მოყვანილ ფორმულებს, T -სებრი ოთხპოლუსას კოეფიციენტები გამოიანგარიშება შემდეგნაირად:

$$A = 1 + \frac{Z_1}{2Z_2} = 1 + \frac{100}{2 \cdot 1000} = 1 + 0,05 = 1,05;$$

$$B = Z_1 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2} \right) = 100 \left(1 + \frac{100}{4 \cdot 1000} \right) = 100 \cdot 1,025 = 102,5 \text{ ომი};$$

$$C = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{1000} = 0,001 \frac{1}{\text{ომი}};$$

$$D = A = 1,05.$$

ამოცანა 3.2. განესაზღვროთ T -სებრი სიმეტრიული ოთხპოლუსას შესასვლელში დენისა და ძაბვის მნიშვნელობები, თუ ცნობილია:

$$U_2 = 2\text{ვ}; I_2 = 3\text{მა}; A = 1,05; B = 102,5 \text{ ომს და } C = 0,001 = 1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{ომს}}.$$

ამოხსნა. თუ გამოვიყენებთ (3.1) გადაცემის განტოლებებს, მივიღებთ:

$$U_1 = AU_2 + BI_2 = 1,05 \cdot 2 + 102,5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 2,1 + 0,3075 = 2,41 \text{ ვ;}$$

$$I_1 = CU_2 + DI_2 = CU_2 + AI_2 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 + 1,05 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = \\ = 2 \cdot 10^{-3} + 3,15 \cdot 10^{-3} = 5,15 \cdot 10^{-3} \text{ ა} = 5,15 \text{ მა.}$$

ამოცანა 3.3. გამოვთვალოთ T -სებრი სიმეტრიული ოთხპოლუსის გადაცემის მიღებისა და ფაზური მუდმივები, თუ მოცემულია:

$$Z_1 = 200e^{j60^\circ} \quad \text{და} \quad Z_2 = 50e^{-j30^\circ}$$

ამოხსნა. ჯერ გამოვიანგარიშოთ ოთხპოლუსის A, B, C და D კოეფიციენტები:

$$A = 1 + \frac{Z_1}{2Z_2} = 1 + \frac{200e^{j60^\circ}}{100e^{-j30^\circ}} = 1 + 2e^{j90^\circ} = 1 + j2 = 2,23e^{j63^\circ 30'}$$

$$B = Z_1 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2} \right) = 200e^{j60^\circ} \left(1 + \frac{200e^{j60^\circ}}{200e^{-j30^\circ}} \right) = \\ = 200e^{j60^\circ} (1 + j1) = 200e^{j60^\circ} \cdot 1,414e^{j45^\circ} = 282,8e^{j105^\circ} \text{ ომი.}$$

$$C = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{50e^{-j30^\circ}} = 0,02e^{j30^\circ} \frac{1}{\text{ომი}};$$

$$D = A = 2,23e^{j63^\circ 30'}$$

შემდეგ კი — (3.12) ფორმულის მეშვეობით გადაცემის მუდმივა:

$$g = \ln(\sqrt{AD} + \sqrt{BC}) = \ln(A + \sqrt{BC}) = \ln(2,23e^{j63^\circ 30'} + \\ + \sqrt{282,8e^{j105^\circ} \cdot 0,02e^{j30^\circ}}) = \ln(1 + j2 + \sqrt{5,65e^{j135^\circ}}) = \\ = \ln(1 + j2 + 2,37e^{j67^\circ 30'}) = \ln(1 + j2 + 0,908 + j2,19) = \\ = \ln(1,908 + j4,19) = \ln 4,62e^{j65^\circ 22'} = \ln 4,62 + j65^\circ 22' = 1,53 + j1,14.$$

ამგვარად, ოთხპოლუსის მიღება $a = 1,53$ ნეპ.. ხოლო ფაზის ძვრა $b = 1,14$ რად.

1. როგორ ოთხპოლუსას ეწოდება პასიური?
2. როგორ ოთხპოლუსებს ეწოდება სიმეტრიული და გაწონასწორებული?
3. როგორი სახისაა ოთხპოლუსას გადაცემის განტოლებები?
4. რაზე დამოკიდებული ოთხპოლუსას შესასვლელი წინაღობა?
5. რას ეწოდება ოთხპოლუსას მახასიათებელი წინაღობა?
6. ზოგორი სახისაა ოთხპოლუსას გადაცემის მულშივა?
7. რა დანიშნულება აქვს ტრანსფორმატორებსა და ავტოტრანსფორმატორებს?
8. რომელი სიდიდეებით გამოიანგარეშება ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი?

თ ა ვ ი IV

ელექტრული ფილტრები

4. 1. ელექტრული ფილტრების განსაზღვრა და კლასიფიკაცია

ელექტრული ფილტრი ეწოდება ისეთ პასიურ ოთხპოლუსას, რომელიც სინშირეთა განსაზღვრულ ზოლს ატარებს მცირე მილევით, ხოლო ყველა სხვა დანარჩენ სინშირეებს არ ატარებს (ჩაახშობს) ანდა ატარებს დიდი მილევით.

გატარებული ზოლის მიხედვით ელექტრული ფილტრები იყოფა:

1. დაბალი სინშირის ფილტრები (დსფ) ატარებს სინშირეთა ზოლს $0 \div f_3$, ხოლო ყველა სხვა დანარჩენ სინშირეს ახშობს. f_3 სინშირეს უწოდებენ ჰრის სინშირეს;

2. მაღალი სინშირის ფილტრები (მსფ) ატარებს სინშირეთა ზოლს $f_3 \div \infty$, ხოლო f_3 ქვემოთ მოთავსებულ ყველა სინშირეს ახშობს;

3. ზოლური ფილტრები (ზფ) კი ატარებს სინშირეთა ზოლს $f_1 \div f_2$, ხოლო f_1 -ის ქვემოთ მოთავსებულ ($0 \div f_1$)-სა და f_2 -ის ზემოთ მოთავსებულ ($f_2 \div \infty$) ყველა სინშირეს ახშობს;

4. გადასაღობი ფილტრები (გფ) ჩამოჭრის (არ ატარებს) სინშირეთა ზოლს $f_1 \div f_2$, ხოლო ყველა სხვა დანარჩენ სინშირეს ატარებს.

გარდა აღნიშნული ოთხი ტიპის ფილტრისა, სპეციალურ შემთხვევებში გამოიყენება ე. წ. მრავალზოლური ფილტრები, რომლებსაც გააჩნიათ რამდენიმე გატარების და რამდენიმე დაკავების ზოლები.

ელექტრულ ფილტრებს შეიძლება გააჩნდეს სხვადასხვა სქემა: I-, T-, II-სებრი და აგრეთვე ხიდური ტიპის.

ელექტრული ფილტრების შესწავლისას მთავარი ყურადღება უნდა

მიექცეს სქემის ელემენტების ანგარიშს (ტევადობას, ინდუქციურობას), გატარების ზოლის ზღვრული სიხშირის განსაზღვრას, გატარების ზოლში მიღებისა და მახასიათებელი წინაღობის ანგარიშს.

განვიხილოთ ელექტრული ფილტრები, რომელთა სქემებშიც შემდიან მხოლოდ რეაქტიული ორპოლუსები, ე. ი. დანაკარგები არა აქვთ.

4. 2. ელემენტარული ფილტრების გატარების პირობა

T - და Π -სებრი ელექტრული ფილტრების მიღებისა და ფაზური მუდმივას განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ გადაცემის მუდმივას შემდეგი გამოსახულებით:

$$\operatorname{sh} \frac{g}{2} = \pm \sqrt{\frac{Z_1}{4Z_2}},$$

სადაც Z_1 არის მიმდევრობითი მხრის წინაღობა;

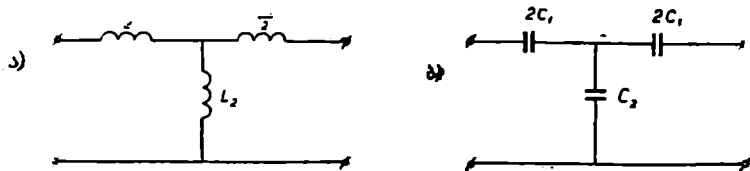
Z_2 — პარალელური მხრის წინაღობა.

ვინაიდან გადაცემის მუდმივა $g = a + jb$, ამიტომ

$$\operatorname{sh} \frac{g}{2} = \operatorname{sh} \left(\frac{a}{2} + j \frac{b}{2} \right) = \operatorname{sh} \frac{a}{2} \cos \frac{b}{2} +$$

$$+ jch \frac{a}{2} \sin \frac{b}{2} = \pm \sqrt{\frac{Z_1}{4Z_2}}. \quad (4.1)$$

თუ Z_1 და Z_2 რეაქტიული წინაღობები ერთნაირნიშნანია, ე. ი. ორივე წინაღობები ინდუქციური ანდა ტევადური ხასიათისაა (ნახ. 4.1), მაშინ სიხშირის ცვლით ამ წინაღობათა ფარდობა არ შეიცვლება. შესაბამისად არ შეიცვლება ოთხპოლუსის მიღება, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ასეთი ოთხპოლუსა არ შეიძლება იყოს ფილტრი.



ნახ. 4.1.

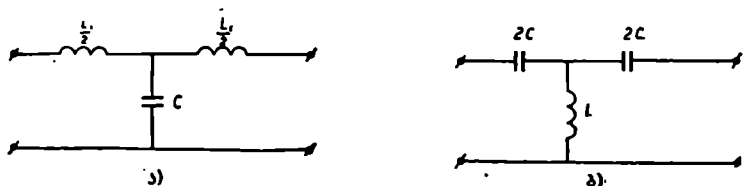
ამგვარად, იმისათვის, რომ ოთხპოლუსა წარმოადგენდეს ფილტრს, საჭიროა Z_1 და Z_2 რეაქტიულ წინაღობებს გააჩნდეთ სხვადასხვა ნიშნები. ამ შემთხვევაში 4.2 ნახაზზე მოცემულია ოთხპოლუსის უმარტივესი სქემა.

4.2,ა ნახაზზე ნაჩვენებია სქემისათვის

$$Z_1 = jx_1, \quad Z_2 = -jx_2,$$

ამიტომ (4.1) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\operatorname{sh} \frac{a}{2} \cos \frac{b}{2} + jch \frac{a}{2} \sin \frac{b}{2} = \pm j \sqrt{\left| \frac{Z_1}{4Z_2} \right|}. \quad (4.2)$$



ნახ. 4.2.

მიღებული ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ მისი ორივე მხარის წარმოსახვითი ნაწილები ერთმანეთის ტოლია, ხოლო ტოლობის მარცხენა ნაწილის ნამდვილი შემადგენელი ნულის ტოლია:

$$ch \frac{a}{2} \sin \frac{b}{2} = \pm \sqrt{\left| \frac{Z_1}{4Z_2} \right|}, \quad (4.3)$$

$$\operatorname{sh} \frac{a}{2} \cos \frac{b}{2} = 0. \quad (4.4)$$

(4.4) ტოლობას აქვს ორი ამოხსნა:

$$\operatorname{sh} \frac{a}{2} = 0, \quad \cos \frac{b}{2} = 0.$$

თუ მივიღებთ, რომ $\operatorname{sh} \frac{a}{2} = 0$, მაშინ $a = 0$, რაც შეესაბამება ფილტრის გატარების ზოლს. ამ შემთხვევაში $ch \frac{a}{2} = 1$ და (4.3) ტოლობიდან მივიღებთ:

$$\sin \frac{b}{2} = \pm \sqrt{\left| \frac{Z_1}{4Z_2} \right|} \quad (4.5)$$

მიღებული ფორმულით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ ფაზური მუდმივა ფილტრის გატარების ზოლში. ამგვარად, ფილტრის გატარების ზოლში მიღევა ნულის ტოლია, ხოლო ფაზათა ძვრა დამოკიდებულია სიხშირეზე და განისაზღვრება (4.5) ფორმულით.

ეს თუ მივიღებთ, რომ $\cos \frac{b}{2} = 0$, მაშინ ფაზათა ძვრა $b = \pm \pi$ და

$$\sin \frac{b}{2} = \sin \left(\pm \frac{\pi}{2} \right) = \pm 1.$$

ამგვარად, (4.3) ფორმულა შემდეგი სახისაა:

$$\operatorname{ch} \frac{a}{2} = \sqrt{\left| \frac{Z_1}{4Z_2} \right|} \quad (4.6)$$

მიღებული ფორმულით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ ელექტრული ფილტრის მიღება დაკავების ზოლში.

განვსაზღვროთ ელექტრული ფილტრის გატარების ზოლის სიგანე. ამისათვის გამოვიყენოთ T - და Π -სებრი ოთხპოლუსების გადაცემის მულტიპლას ფორმულა, როდესაც $a=0$. ამ შემთხვევაში

$$\operatorname{ch} g = \operatorname{ch}(a + jb) = \operatorname{ch} jb = \operatorname{cos} b, \quad (4.7)$$

ხოლო სიმეტრიულ ფილტრებში გატარების ზოლისათვის:

$$\operatorname{cos} b = 1 + \frac{Z_1}{2Z_2}.$$

ენიდან $\operatorname{cos} b$ -ს მნიშვნელობა იცვლება $+1$ -დან -1 -მდე, ამიტომ $1 + \frac{Z_1}{2Z_2}$ სიდიდეც გატარების ზოლში $+1$ -დან -1 -მდე შეიცვლება, რაც შეგვიძლია დავწეროთ უტოლობის სახით:

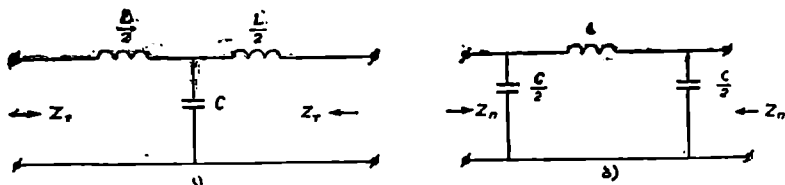
$$-1 \leq 1 + \frac{Z_1}{2Z_2} \leq 1.$$

საიდანაც მივიღებთ ფილტრის გატარების პირობას:

$$-1 \leq \frac{Z_1}{4Z_2} \leq 0. \quad (4.8)$$

მიღებული უტოლობიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ სიხშირის პირველი ზღვრული მნიშვნელობისას $\left(\frac{Z_1}{4Z_2} = -1 \right) Z_1 = -4Z_2$, ხოლო სიხშირის მეორე ზღვრული მნიშვნელობისას $\left(\frac{Z_1}{4Z_2} = 0 \right) Z_1 = 0$ ანდა $4Z_2 = \infty$. ამგვარად, ფილტრის გატარების ზოლი მდებარეობს ზღვრებში $Z_1 = 0$ ანდა $4Z_2 = \infty$ -დან $Z_1 = -4Z_2$ -მდე.

K ტიპის ფილტრი შეიცავს ურთიერთმებრუნებულ ორპოლუსებს. თუ ფილტრის მიმდევრობით მხარში ჩართულია ინდუქციური ხასიათის ორპოლუსა, ხოლო პარალელურ მხარში — ტევადური ხასიათის ორპოლუსა, მაშინ ასეთი ოთხპოლუსა დაბალი სიხშირის ფილტრია.



ნახ. 4.3.

4.3 ნახაზზე გამოსახულია T- და Π-სებრი დაბალი სიხშირის ფილტრის სქემები. ამ სქემებისათვის მიმდევრობით და პარალელურ მხარში ჩართული წინაღობები გამოისახება:

$$Z_1 = j\omega L,$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C}.$$

ფილტრის ნომინალური მახასიათებელი წინაღობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$R = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

გატარების ზოლის ზღვრული სიხშირეების განსაზღვრავად (4.8) უტოლობა ჯერ გავუტოლოთ ნულს

$$\frac{Z_1}{4Z_2} = 0,$$

საიდანაც $Z_1 = 0$ ან $j\omega L = 0$.

ვინაიდან უკანასკნელ ტოლობაში $j \neq 0$ და $L \neq 0$, მაშინ $\omega = 0$, რომელიც შეესაბამება გატარების ზოლის პირველ ზღვრულ სიხშირეს.

გატარების ზოლის მეორე ზღვრული სიხშირე კი განესაზღვროთ შემდეგი პირობიდან:

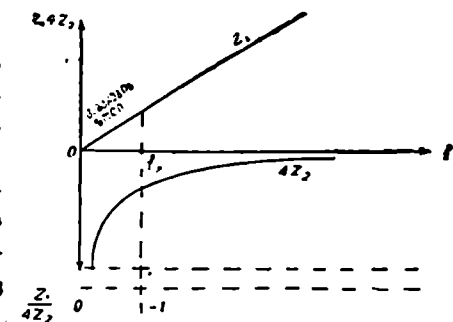
$$\frac{Z_1}{4Z_2} = -1.$$

გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ, რომ ზღვრული სიხშირე:

$$\omega_3 = \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad \text{ან} \quad f_3 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}.$$

ამგვარად, დაბალი სიხშირის ფილტრი გაატარებს სიხშირეთა ზოლს $f=0$ -დან $f_3 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$ -მდე. გატარების ზოლის ზედა ზღვრული სიხშირე დამოკიდებულია ფილტრის სქემაში შემავალი ელემენტების (L და C) მნიშვნელობებზე.

ფილტრის გატარების ზოლი შეიძლება განესაზღვროთ აგრეთვე გრაფიკული აგების წესითაც. თუ ავაგებთ Z_1 და $4Z_2$ წინააღობების სიხშირულ მახასიათებლებს, შევიძლოა დავსკვნათ, რომ გატარების ზოლი მდებარეობს ნულიდან f_3 ზღვრულ სიხშირემდე, რომლის დროსაც $Z_1 = -4Z_2$ (ნახ. 4.4).



ნახ. 4.4.

დაბალი სიხშირის ფილტრებისათვის მახასიათებელი წინააღობები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით: T -სებრი ფილტრის სქემისათვის (ნახ. 4.3,ა)

$$Z_T = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}} = R \sqrt{1 - \Omega^2}, \quad (4.9)$$

π -სებრი ფილტრის სქემისათვის (ნახ. 4.3,ბ)

$$Z_\pi = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}} = \frac{R}{\sqrt{1 - \Omega^2}}, \quad (4.10)$$

სადაც Ω არის ნორმირებული სიხშირე და განისაზღვრება:

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_3} = \frac{f}{f_3}. \quad (4.11)$$

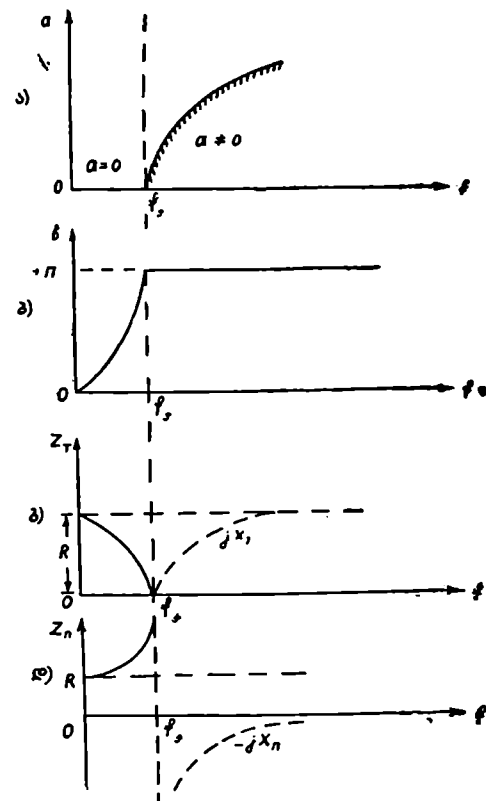
დაკავების ზოლში დაბალი სიხშირის ფილტრის მიღევა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$ch \frac{a}{2} = \Omega, \quad (4.12)$$

ხოლო გატარების ზოლში ფაზური მუდმივა

$$\sin \frac{b}{2} = \Omega. \quad (4.13)$$

4.5 ნახაზზე ნაჩვენებია დაბალი სიხშირის ფილტრის მილევის; ფაზური მუდმივასა და მახასიათებელი Z_r და Z_n წინაღობების სიხშირული დამოკიდებულებანი (მთლიანი ხაზით ნაჩვენებია მახასიათებელი წინაღობის ნამდვილი ნაწილი, ხოლო წყვეტილით—წარმოსახვითი).



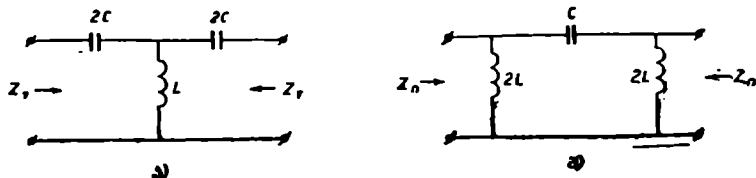
ნახ. 4.5.

$$L = \frac{R}{\pi f_3}, \quad C = \frac{1}{\pi f_3 R}. \quad (4.14)$$

თუ ფილტრის მიმდევრობით მხარში ჩაერთავთ ტევადური ხასიათის ორპოლუსას, ხოლო პარალელურ მხარში—ინდუქციური ხასიათის ორპოლუსას, მაშინ ასეთ ოთხპოლუსას ეწოდება მაღალი სიხშირის ფილტრი.

4.6 ნახაზზე ნაჩვენებია T - და Π -სებრი მაღალი სიხშირის ფილტრის სქემები. ამ შემთხვევაში ფილტრის Z_1 და Z_2 წინალობები უდრის:

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C}, \quad Z_2 = j\omega L.$$



ნახ. 4.6.

ამგვარად, ნომინალური წინალობა ტოლია:

$$R = \sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

ხოლო ნორმირებული სიხშირე

$$\Omega = \frac{\omega_3}{\omega} = \frac{f_3}{f}, \quad (4.15)$$

სადაც ω_3 არის გატარების ზოლის ზღვრული კუთხური სიხშირე:

$$\omega_3 = \frac{1}{2\sqrt{LC}} = 2\pi f_3.$$

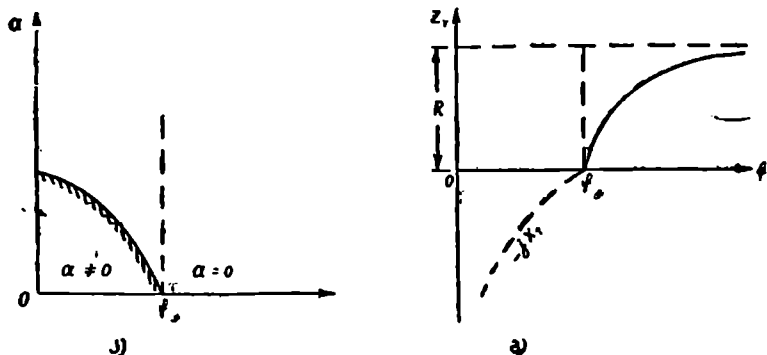
მაღალი სიხშირის ფილტრის საკუთარი მილევა და მახასიათებელი წინალობები განისაზღვრება იგივე (4.9), (4.10) და (4.12) ფორმულებით, ხოლო ფაზური მუდმივა

$$\sin \frac{b}{2} = -\Omega. \quad (4.16)$$

4.7 ნახაზზე ნაჩვენებია ფილტრის საკუთარი მილევისა და Z_r მახასიათებელი წინალობის სიხშირული მახასიათებლები. როგორც ნახაზიდან ჩანს, გატარების ზოლი მდებარეობს — f_3 -დან $f \rightarrow \infty$ -მდე, ხოლო დაკავების ზოლი — 0-დან f_3 -მდე.

მაღალი სიხშირის ფილტრის ელემენტები გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულებით

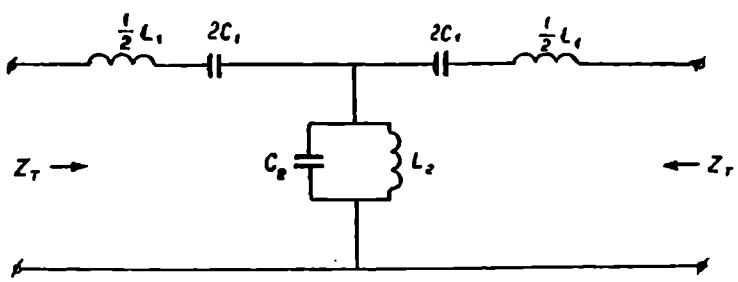
$$C = \frac{1}{4\pi f_3 R}, \quad L = \frac{R}{4\pi f_3}. \quad (4.17)$$



ნახ. 4.7.

ზოლური T-სებრი ფილტრის სქემა ნაჩვენებია 4.8 ნახაზზე, რომლის მიმდევრობითი და პარალელური მხრების წინალობები განისაზღვრება:

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_1}(1 - \omega^2 L_1 C_1), \quad Z_2 = \frac{j\omega L_2}{1 - \omega^2 L_2 C_2}$$



ნახ. 4.8.

ვინაიდან ნომინალური წინალობა არ არის დამოკიდებული სიხშირეზე ამიტომ საჭიროა შემდეგი პირობის დაცვა:

$$L_1 C_1 = L_2 C_2$$

მაშინ

$$R = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} \quad (4.1)$$

ფილტრის გატარების პირობიდან გამომდინარეობს, რომ მიმდევრობით და პარალელურ მხრებში ჩართული კონტურების რეზონანსული სიხშირე ტოლია:

$$f_0 = \sqrt{f_{31} \cdot f_{32}}$$

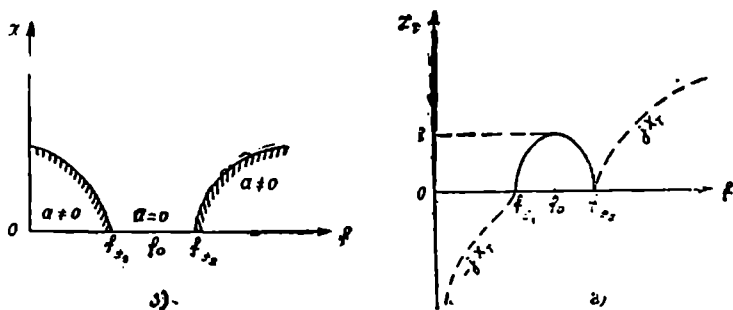
სადაც f_{31} და f_{32} არის ზოლური ფილტრის გატარების ზოლის ქვედა და ზედა ზღვრული სიხშირეები.

ნორმირებულ სიხშირე განისაზღვრება შემდეგი ტოლობით:

$$\Omega = \frac{\left| \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right|}{\left| \frac{f_{32}}{f_0} - \frac{f_0}{f_{32}} \right|} \quad (4.19)$$

თუ მოცემულია R და Ω სიდიდეები, (4.9), (4.10), (4.12), (4.13) და (4.16) ფორმულებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ზოლური ფილტრის საკუთარი მილევა, ფაზური მუდმივა და მახასიათებელი წინაღობები.

4.9 ნახაზზე ნაჩვენებია ზოლური ფილტრის საკუთარი მილევისა და Z_T მახასიათებელი წინაღობის სიხშირული მახასიათებლები. ამ დამო-



ნახ. 4.9.

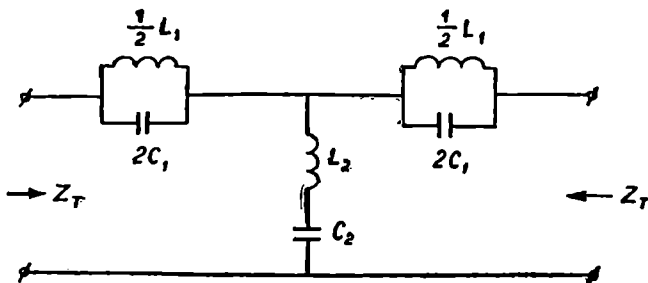
კიდებულებიდან ჩანს, რომ გატარების ზოლი მდებარეობს f_{31} და f_{32} სიხშირეებს შორის, ხოლო $f=0$ -დან f_{31} -მდე და f_{32} -დან $f \rightarrow \infty$ -მდე — დაკავების ზოლებია.

ზოლური ფილტრის ელემენტები გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულებით

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{R}{\pi(f_{32} - f_{31})}; & C_2 &= \frac{1}{\pi R(f_{32} - f_{31})}; \\ L_2 &= \frac{R(f_{32} - f_{31})}{4\pi f_{31} \cdot f_{32}}; & C_1 &= \frac{f_{32} - f_{31}}{4\pi R f_{31} \cdot f_{32}}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

4.10 ნახაზზე მოცემულია გადასაღობი ფილტრის სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, მიმდევრობითი და პარალელური მხრების წინაღობები

$$Z_1 = \frac{j\omega L_1}{1 - \omega^2 L_1 C_1}, \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2} (1 - \omega^2 L_2 C_2).$$

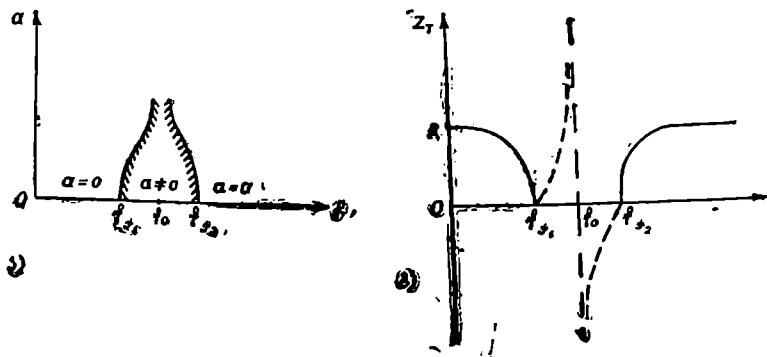


ნახ. 4.10.

გადასაღობი ფილტრის ნომინალური წინაღობა და რეზონანსული სიხშირე ისეთივეა, როგორც ზოლურ ფილტრში. ნორმირებულ სიხშირეს ექნება შებრუნებული მნიშვნელობა:

$$\Omega = \frac{\left| \frac{f_{32} - f_0}{f_0} \right|}{\left| \frac{f - f_0}{f_0} \right|} \quad (4.21)$$

4.11 ნახაზზე ნაჩვენებია გადასაღობი ფილტრის საკუთარი მილეჯა და Z_T მახასიათებელი წინაღობის სიხშირული მახასიათებლები. გ



ნახ. 4.11.

ფიკიდან ჩანს, რომ დაკავების ზოლი f_{31} და f_{32} სიხშირეებს შორის მდებარეობს, ხოლო $0 < f_{31}$ და $f_{32} < \infty$ სიხშირეები შეესაბამება გატარების ზოლებს.

გადასაღობი ფილტრების ელემენტები გამოიანგარიშება ფორმულით

$$L_1 = \frac{R(f_{32} - f_{31})}{\pi f_{31} \cdot f_{32}}; \quad C_2 = \frac{f_{32} - f_{31}}{\pi R f_{31} \cdot f_{32}};$$

$$L_2 = \frac{R}{4\pi(f_{32} - f_{31})}; \quad C_1 = \frac{1}{4\pi R(f_{32} - f_{31})}.$$

Π -სებრი K ტიპის ფილტრები გამოიანგარიშება ანალოგიურად. განსხვავება მხოლოდ მახასიათებელი წინაღობის ანგარიშშია, რომელიც გამოითვლება (4.10) ფორმულით.

4. 4. m ტიპის ფილტრები

m ტიპის ფილტრს მივიღებთ, თუ K ტიპის ფილტრის სქემაში ჩაერთავთ დამატებით ელემენტს. ამ შემთხვევაში K ტიპის ფილტრის ძირითადი ელემენტების მნიშვნელობები შეიცვლება m კოეფიციენტით, ხოლო დამატებითი ელემენტი განისაზღვრება $\frac{1-m^2}{m}$ კოეფიციენტით. m პარამეტრის შერჩევით შეგვიძლია გავაუმჯობესოთ ფილტრის მახასიათებელი წინაღობის სიხშირული მახასიათებელი. m ტიპის ფილტრის საკუთარ ჩაქრობას გამოიანგარიშებენ შემდეგი ფორმულით

$$ch \frac{a}{2} = \frac{m\Omega}{\sqrt{1-(1-m^2)\Omega^2}}, \quad (4.22)$$

სადაც Ω არის ნორმირებული სიხშირე და განისაზღვრება K ტიპის ფილტრების ანალოგიურად.

m ტიპის სიმეტრიული ფილტრის მახასიათებელი წინაღობები გამოიანგარიშება ფორმულებით

T -სებრი ფილტრებისათვის

$$Z_{Tm} = \frac{R\sqrt{1-\Omega^2}}{1-(1-m^2)\Omega^2}, \quad (4.23)$$

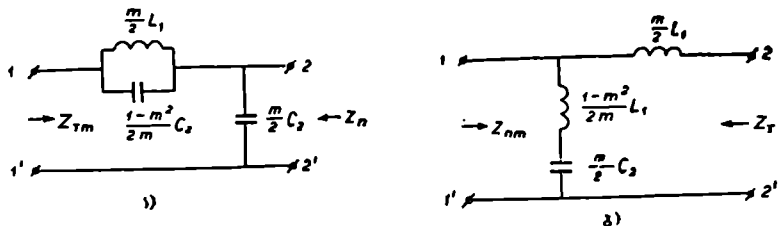
Π -სებრი ფილტრებისთვის

$$Z_{\Pi m} = \frac{R[1-(1-m^2)\Omega^2]}{\sqrt{1-\Omega^2}}. \quad (4.24)$$

პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება არასიმეტრიული m ტიპის ფილტრები. ამ შემთხვევაში იყენებენ Γ -სებრ სქემას, რომელსაც ერთი მხრიდან $(1-1')$ მომკერები გააჩნია Z_{Tm} ან $Z_{\Pi m}$ მახასიათებელი წი-

ნალობა, ხოლო მეორე მხრიდან (2—2' მომჭერები) — Z_r ან Z_n . ჩვეულებრივ m კოეფიციენტს იღებენ 0,59-ის ტოლს ($m=0,59$); რათა Z_{Tm} და Z_{nm} წინალობათა სიხშირული მახასიათებლები სიხშირეზე მცირედ იყოს დამოკიდებული. როდესაც $m=1$, მაშინ m ტიპის ფილტრი გადაიქცევა K ტიპის ფილტრად.

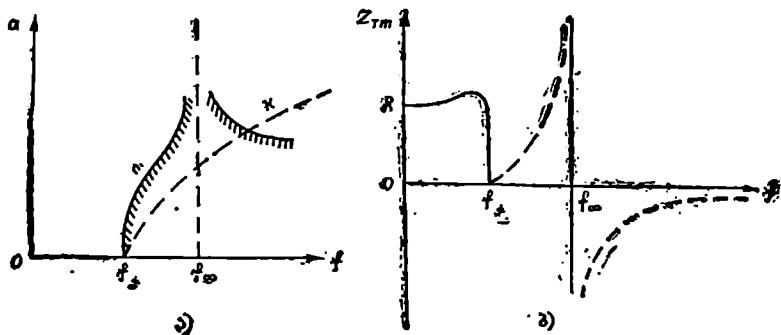
4.12. ნახაზზე ნაჩვენებია დაბალი სიხშირის m ტიპის ფილტრის ნახევარგოლები. პირველ ნახევარგოლს (ნახ. 4.12, ა) ეწოდება პარალელურად წარმოებულ, ხოლო მეორეს (ნახ. 4.12, ბ) — მიმდევრო-



ნახ. 4.12.

ბით წარმოებულ. ისინი განსხვავდებიან იმით, რომ პარალელურად წარმოებულ ნახევარგოლის 2—2' მომჭერებთან შეიძლება მიუფერთოთ K ტიპის ფილტრის Π -სებრი სქემა, ხოლო მიმდევრობით წარმოებულ ნახევარგოლის 2—2' მომჭერებთან — K ტიპის ფილტრის T -სებრი სქემა.

4.13 ნახაზზე აღნიშნულია m ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის საკუთარი მილევისა და Z_{Tm} მახასიათებელი წინალობის სიხშირული დამოკიდებულებანი.



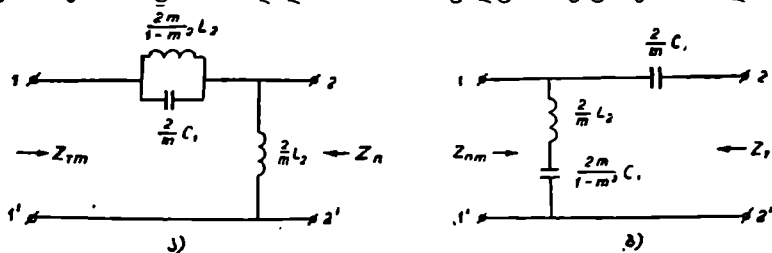
ნახ. 4.13.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, გატარების ზოლი ემთხვევა K ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის გატარების ზოლს. საკუთარი მილევა დაკავების ზოლში სიხშირის გადიდებით იზრდება სწრაფად, აღწევს უსასრულო დიდ მნიშვნელობას, ხოლო შემდეგ მცირდება 0-მდე. მახასიათებელი წინალობა Z_{Tm} სიხშირის ზრდით მდოვრედ იცვლება. საკუთარი მილევის შემცირება მაღალ სიხშირეებზე m ტიპის ფილტრების ურაცოფითი მხარეა, ამიტომ ისინი გამოიყენებიან ყოველთვის K ტიპის ფილტრთან ერთად.

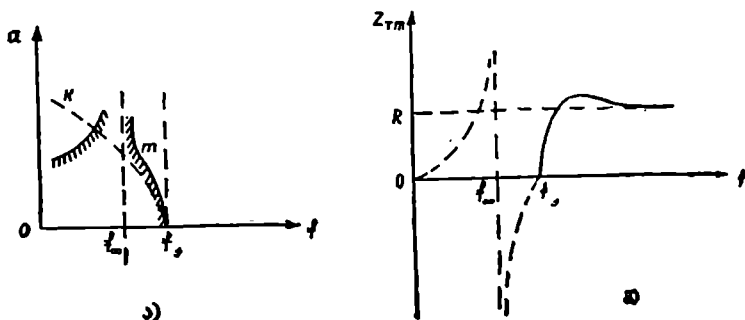
უსასრულო დიდი მილევის სიხშირე f_{∞} განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$f_{\infty} = \frac{f_3}{\sqrt{1-m^2}} \quad (4.25)$$

4.14 ნახაზზე მოცემულია m ტიპის მაღალი სიხშირის ფილტრის ორი ნახევარგოლი: პარალელურად წარმოებული და მიმდევრობით წარმოებული. მათი საკუთარი მილევის სიხშირული მახასიათებელი წარმოდგენილია 4.15 ნახაზზე; სქემიდან ჩანს, რომ გატარების ზოლი შესაბამება K ტიპის მაღალი სიხშირის ფილტრის გატარების ზოლს.



ნახ. 4.14.



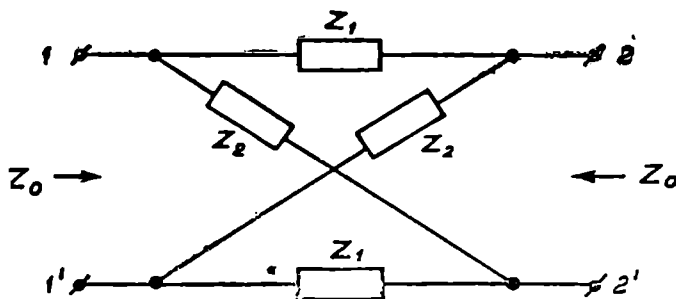
ნახ. 4.15.

უსასრულო დიდი ჩაქრობის სიხშირე განესაზღვროთ ფორმულით

$$f_{\infty} = f_3 \sqrt{1 - m^2}. \quad (4.26)$$

4.5. ხილური ტიპის ფილტრები

4.16 ნახაზზე ნაჩვენებია ხილური ტიპის ფილტრის სქემა. ასეთი ოთხპოლუსას გადაცემის პარამეტრების განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ მოკლედ ჩართვისა და უქმი სვლის მეთოდით.



ნახ. 4.16.

უქმი სვლის დროს

$$Z_{\text{უხ}} = \frac{(Z_1 + Z_2)^2}{2(Z_1 + Z_2)} = \frac{Z_1 + Z_2}{2},$$

მოკლედ ჩართვის შემთხვევაში

$$Z_{\text{ჩართ}} = \frac{2Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

ოთხპოლუსას მახასიათებელი წინაღობა განისაზღვრება

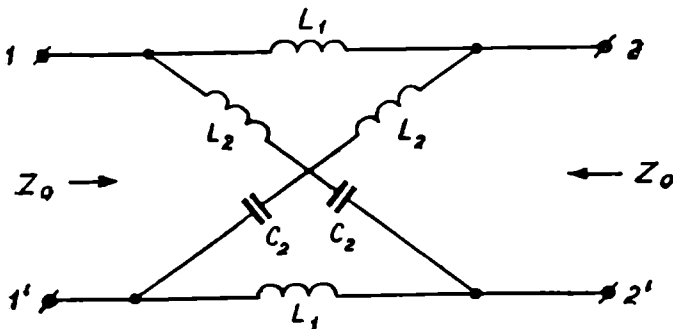
$$Z_0 = \sqrt{Z_{\text{უხ}} \cdot Z_{\text{ჩართ}}} = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2},$$

ხოლო მიღება

$$a = \ln \left| \frac{1 + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}}{1 - \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}} \right|. \quad (4.27)$$

როგორც უკანასკნელი ფორმულიდან ჩანს, თუ Z_1 და Z_2 წინაღობები სხვადასხვანიშნია, მაშინ მიღება ნულის ტოლი იქნება, ხოლო, თუ ერთნაირნიშნია, მაშინ $a \neq 0$.

ამგვარად, იმისათვის, რომ ხილური ტიპის ოთხპოლუსამ შეასრულოს ფილტრის როლი, საჭიროა შემდეგი პირობის შესრულება: ოთხპოლუსაში შემავალი ყველა ელემენტი უნდა იყოს რეაქტიული; სიხშირის დვლით ერთ-ერთი ანდა ორივე ელემენტი უნდა იცვლიდეს ნიშანს. იმ შემთხვევაში, თუ ნიშანს იცვლის მხოლოდ ერთი ელემენტი (Z_1 ანდა Z_2), მივიღებთ გამყოფ (დაბალი ან მაღალი სიხშირის) ფილტრს, ხოლო, თუ ორივე ელემენტი შეიცვლის ნიშანს, მაშინ, მივიღებთ ზოლურ ფილტრს. განვიხილოთ მხოლოდ გამყოფი ფილტრები.



ნახ. 4.17.

4.17 ნახაზზე ნაჩვენებია ხილური ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის სქემა. იგი ორივე ღერძის მიმართ სიმეტრიული ოთხპოლუსაა, რომლის წინალობები

$$Z_1 = j\omega L_1,$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_2 = \frac{1}{j\omega C_2} (1 - \omega^2 L_2 C_2),$$

მახასიათებელი წინალობა

$$Z_0 = R\sqrt{1 - \Omega^2} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} \cdot \sqrt{1 - \Omega^2},$$

სადაც ნორმირებული სიხშირე

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_3} = \frac{f}{f_3}.$$

აქედან f_3 არის გატარების ზოლის ზღვრული სიხშირე, რომელიც ტოლია:

$$f_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}.$$

ფილტრის მიღევა დაკავების ზოლში განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$\operatorname{cth} \frac{a}{2} = \frac{k\Omega}{\sqrt{\Omega^2 - 1}}, \quad (4.28)$$

ხოლო ფაზური მუდმივა გატარების ზოლში

$$\operatorname{tg} \frac{b}{2} = \frac{k\Omega}{\sqrt{1 - \Omega^2}}, \quad (4.29)$$

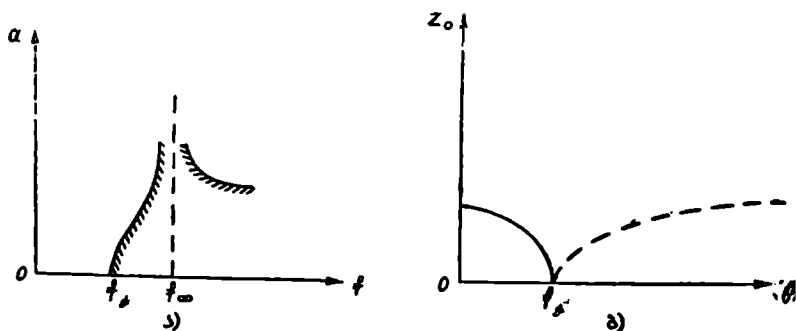
სადაც კოეფიციენტი

$$k = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}},$$

უსასრულო მიღევის სიხშირე

$$f_\infty = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_2 - L_1)C_2}}.$$

4.18 ნახაზზე ნაჩვენებია ფილტრის საკუთარი ჩაქრობისა და მახასიათებელი წინალობის სიხშირული მახასიათებლები. ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ხილური ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის მიღევა ისეთივეა, როგორც m ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის, ხოლო მახასიათებელი წინალობა — როგორც K ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის.



4.18

ნახ. 4.18.

დაბალი სიხშირის ფილტრის ელემენტები გამოიანგარიშება ნომინალური წინალობის (R), გატარების ზოლის ზღვრული სიხშირისა (f_3) და უსასრულო ჩაქრობის სიხშირის (f_∞) საფუძველზე:

$$L_1 = \frac{R}{2\pi f_3} \sqrt{1 - \left(\frac{f_3}{f_\infty}\right)^2},$$

$$L_2 = \frac{R}{2\pi f_3} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_3}{f_\infty}\right)^2}}$$

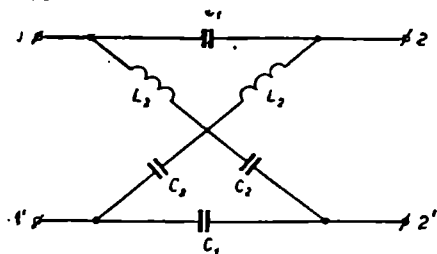
$$C = \frac{1}{2\pi f_3 R} \sqrt{1 - \left(\frac{f_3}{f_\infty}\right)^2} \quad (4.30)$$

4.19. ნახაზზე ნაჩვენებია ხიდური ტიპის მაღალი სიხშირის ფილტრის სქემა, რომლის წინა-ლობები

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_1};$$

$$Z_2 = j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2} =$$

$$= j\omega L_2 \left(1 - \frac{1}{\omega_2 L_2 C_2}\right).$$



ნახ. 4.19.

მახასიათებელი წინალობა

$$Z_0 = R\sqrt{1 - \Omega^2} = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} \sqrt{1 - \Omega^2},$$

სადაც ნორმირებული სიხშირე

$$\Omega = \frac{\omega_3}{\omega} = \frac{f_3}{f}, \quad f_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}.$$

ფილტრის საკუთარი მილევა და ფაზური მუდმივა განესაზღვროთ ფორმულებით.

სიხშირეთა სპექტრის დროს ($f_\infty \div f_3$)

$$\operatorname{cth} \frac{a}{2} = \frac{k\Omega}{\sqrt{\Omega^2 - 1}}; \quad (4.31)$$

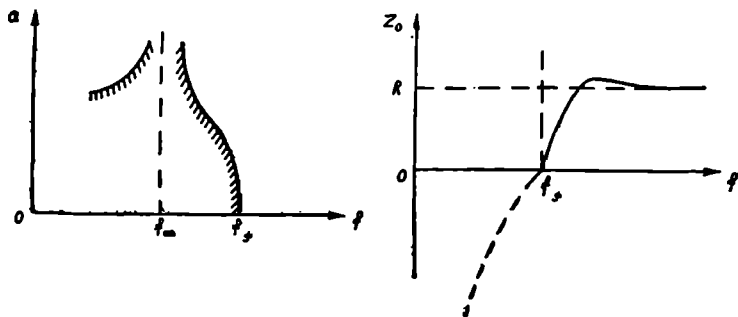
სიხშირეთა სპექტრის დროს ($0 \div f_\infty$)

$$\operatorname{th} \frac{a}{2} = \frac{k\Omega}{\sqrt{\Omega^2 - 1}}, \quad (4.32)$$

$$\operatorname{tg} \frac{b}{2} = -\frac{k\Omega}{\sqrt{1 - \Omega^2}}. \quad (4.33)$$

$$f_{\infty} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_2 \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}}$$

4.20 ნახაზზე მოცემულია ხილური ტიპის მაღალი სინშირის ფილტრის საკუთარი ჩაქრობისა (α) და მახასიათებელი (Z_0) წინაღობის სინშირული მახასიათებლები. როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები ფილტრის მილე-



ნახ. 4.20.

ვა შეესაბამება m ტიპის მაღალი სინშირის ფილტრის მილევის, ხოლო მახასიათებელი წინაღობა K ტიპის T -სებრი ფილტრის მახასიათებელ წინაღობას.

თუ მოცემულია R , f_3 და f_{∞} პარამეტრები, შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ ფილტრის სქემაში შემავალი ელემენტები შემდეგი ფორმულებით

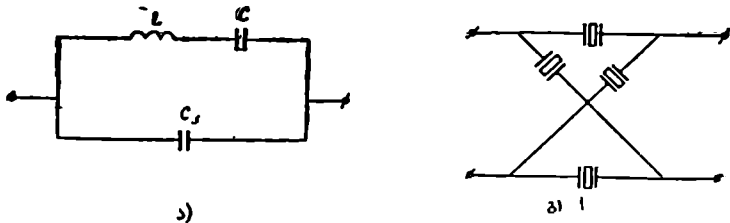
$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{2\pi f_3 R \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\infty}}{f_3}\right)^2}}; \\ C_2 &= \frac{1}{2\pi f_3 R \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\infty}}{f_3}\right)^2}}; \\ L_2 &= \frac{R}{2\pi f_3 \sqrt{1 - \left(\frac{f_{\infty}}{f_3}\right)^2}}. \end{aligned} \quad (4.34)$$

ამრიგად, ხილური ტიპის ფილტრებს სხვა ტიპის ფილტრებთან შედარებით არ გააჩნიათ განსაკუთრებული თავისებურებანი. ამის გამო ხილური ტიპის ფილტრების გამოყენება პრაქტიკაში შეზღუდულია.

4. 6. პიეზოელემენტური და მაგნიტოსტრიქციული ფილტრები

ზემოგანხილული ფილტრების არსებითი ნაკლია — დიდი ზომები და მცირე ვარგისობა.

ამ უკანასკნელ ხანებში ფართოდ გამოიყენება დიდი ვარგისობის მქონე ფილტრები, რომლებიც შეიცავენ კვარცის ფირფიტას (კვარცულ ფილტრებს). ვერცხლის შრეებს შორის მოთავსებული კვარცის ფირფიტა პიეზოელექტრული რეზონატორია, რომლის ეკვივალენტური სქემა ნაჩვენებია 4.21 ნახაზზე. როგორც სქემიდან ჩანს, მასში წარმოიქმ-



ნახ. 4.21.

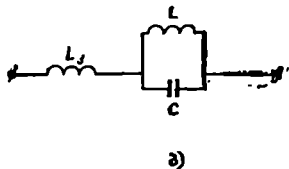
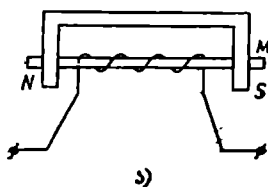
ნება ორი რეზონანსი: მიმდევრობითი (ძაბვების რეზონანსი) და პარალელური (დენების რეზონანსი).

კვარცის ასეთი ფირფიტა, რომელსაც გააჩნია რეზონანსული თვისებები გამოიყენება ზოლური ფილტრების შესაქმნელად (ნახ. 4.21, ბ). კვარცის ფირფიტის ეკვივალენტურ კონტურს გააჩნია 10.000-ზე მეტი ვარგისობა, მაშინ, როდესაც ჩვეულებრივი ინდუქციური კოჭას ვარგისობა 300 არ აღემატება. გარდა ამისა, კვარცულ ფილტრებს აქვს მცირე ზომები. ამიტომ ისინი ფართოდ გამოიყენებიან პრაქტიკაში 50—120 კპც სიხშირის დიაპაზონში. აღნიშნულ დიაპაზონში სიხშირის გაფილტვრის ზოლი 500 ჰც-ია, რაც მ-ჭერ ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივ ფილტრებში, რომლებიც შეიცავენ კონდენსატორებს და ინდუქციურ კოჭებს. ამიტომ გადასაცემი ცალკეულ სიხშირეთა ზოლები ერთმანეთთან შეიძლება განვალავოთ ახლოს, რაც ელექტროკავშირის უფრო ეკონომიურად მოწყობის საშუალებას იძლევა.

გარდა კვარცული ფილტრისა, ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ვერცხლზე წოდებული მაგნიტოსტრიქციული ფილტრები. მაგნიტოსტრიქციის მოვლენა მდგომარეობს იმაში, რომ თუ, რომელიმე ნივთიერებას (რკინას, ნიკელს, კობალტსა და სხვ.) მოვათავსებთ მაგნიტურ ველში, ისინი შეიცვლიან ფორმას და ზომებს.

მაგალითად, მაგნიტურ ლეროს M (ნახ. 4.22), თუ მოვათავსებთ მულდში მაგნიტურ ველში ($N-S$), მიიღებს რეზონატორის თვისებებს, ე. ი. თუ მასზე ვიმოქმედებთ გარეშე ცვლადი მაგნიტური ველით, მა-

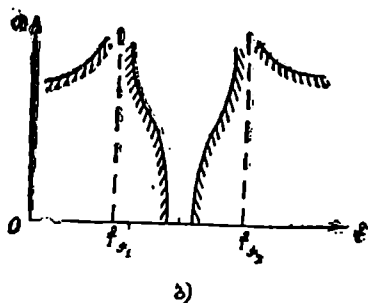
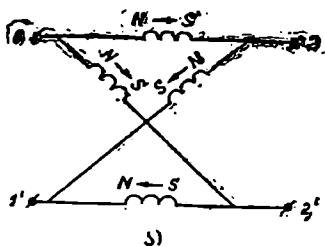
შინ ის იწვევს რხევით მოძრაობას (ხან ფართოვდება, ხან იკუმშება). თუ გარეშე წყაროს სიხშირე ემთხვევა ღეროს საკუთარი რხევის სიხშირეს, მაშინ წარმოიქმნება რეზონანსული მოვლენა — რხევების გაძლიერება. ამგვარად, მაგნიტოსტრიქციული ელემენტი შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც რეზონანსული კონტური.



ნახ. 4.22.

4.22, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია მაგნიტოსტრიქციული ელემენტის ეკვივალენტური სქემა, რომელშიც წარმოიქმნება თრი რეზონანსი: დენებისა და ძაბვების. მაგნიტოსტრიქციული ელემენტის ასეთი რეზონანსული თვისებები შეიძლება გამოვიყენოთ ზოლური ფილტრების შესაქმნელად (ნახ. 4.23).

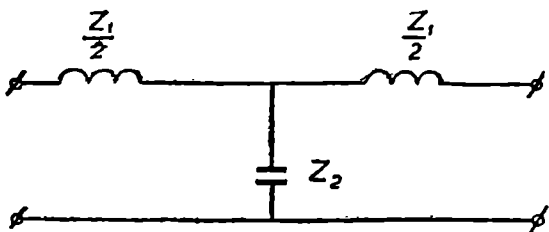
4.23, ბ ნახაზზე ნაჩვენებია მაგნიტოსტრიქციული ფილტრის მიღვის სიხშირული მახასიათებელი. ასეთი ფილტრები გამოიყენება $5 \div 1000$ კჰც სიხშირეთა ზოლში.



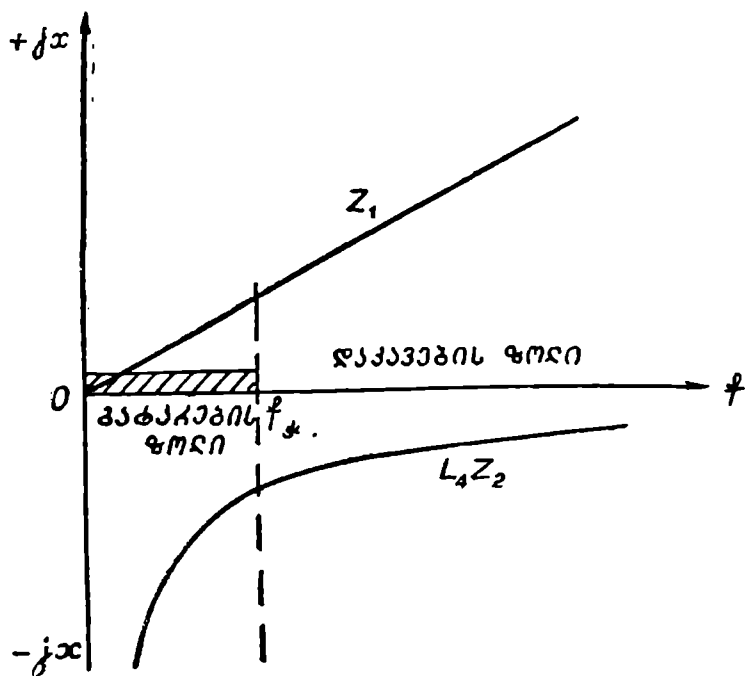
ნახ. 4.23.

ამოცანა 4.1. განესაზღვროთ 4.24, ა ნახაზზე ნაჩვენები ფილტრის ტიპი, ე. ი. მისი გატარების ზოლი.

ა მ ო ხ ს ნ ა. თუ ავაგებთ Z_1 და $4Z_2$ წინაღობების სიხშირული დამოკიდებულების გრაფიკს, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გატარების ზო-



ა)



ბ)

ნახ. 4.24.

ლი მდებარეობს ზღვრებში: 0-დან (სადაც $Z_1=0$) f_3 სიხშირემდე, რომლის დროსაც $Z_1=-4Z_2$, ე. ი. მოცემული სქემა დაბალი სიხშირის ფილტრია.

ამოცანა 4.2. გამოვიანგარიშოთ T -სებრი K ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის ელემენტები: ინდუქციურობა და ტევადობა, თუ მოცემული გატარების ზოლის ზღვრული სიხშირე $f_3=10^4$ ჰც და დატვირთვის წინალობა $R=600$ ომს. განვსაზღვროთ ფილტრის მახასიათებელი წინალობა $f=5000$ ჰც სიხშირის დროს.

ამოხსნა: 1. (4.14) ფორმულებით განვსაზღვროთ ფილტრის სქემაში შემავალი ინდუქციურობა და ტევადობა:

$$L = \frac{R}{\pi f_3} = \frac{600}{\pi \cdot 10^4} = 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ ჰმ} = 19,1 \text{ მჰმ};$$

$$C = \frac{1}{\pi f_3 R} = \frac{1}{\pi \cdot 10^4 \cdot 600} = 5,31 \cdot 10^{-8} = 0,0531 \cdot 10^{-6} \text{ ფ} = 0,0531 \text{ მკფ}.$$

2. მახასიათებელი წინალობა განვსაზღვროთ (4.9) ფორმულით

$$R = 600 \text{ ომი}; \quad \Omega = \frac{f}{f_3} = \frac{5000}{10000} = \frac{1}{2};$$

$$Z_T = R \sqrt{1 - \Omega^2} = 600 \sqrt{1 - \frac{1}{4}} = 600 \cdot 0,867 = 520 \text{ ომი}.$$

ამოცანა 4.3. მოცემულია Π -სებრი დაბალი სიხშირის ფილტრი, რომლის მიმდევრობით მხარში ჩართული ინდუქციურობა $L=0,239 \times 10^{-3}$ ჰმ, ხოლო პარალელურ მხარში—ტევადობა $C=0,0426 \cdot 10^{-6}$ ფ. განვსაზღვროთ ფილტრის გატარების ზოლის ზღვრული f_3 სიხშირე, დატვირთვის წინალობა R , მოცემული რგოლის საკუთარი მილევა და $a=7,56$ ნებ მილევის მისაღებად საჭირო რაოდენობის რგოლები $f=2 \cdot 10^5$ ჰც სიხშირის დროს.

ამოხსნა: 1. გატარების ზოლის ზღვრული სიხშირე f_3 განვსაზღვროთ შემდეგი ფორმულით

$$\begin{aligned} f_3 &= \frac{1}{\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{\pi \sqrt{0,239 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0426 \cdot 10^{-6}}} \\ &= \frac{1 \cdot 10^6}{\pi \sqrt{2,39 \cdot 4,26}} = 10^5 \text{ ჰც}. \end{aligned}$$

2. დატვირთვის წინალობა

$$R = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,239 \cdot 10^{-3}}{0,0426 \cdot 10^{-6}}} = \sqrt{\frac{239}{0,0426}} = 75 \text{ ომი}.$$

3. დაბალი სიხშირის ფილტრის რგოლისათვის საკუთარი მიღევა განისაზღვრება (4.11) ფორმულით

$$\operatorname{ch} \frac{a_1}{2} = \Omega - \frac{f}{f_3} = \frac{2 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 2.$$

ჰიპერბოლური კოსინუსის ცხრილიდან ვპოულობთ, რომ

$$\frac{a_1}{2} = 1,317 \text{ და } a_1 = 2,634 \text{ ნებ.}$$

4. ფილტრის რგოლთა რაოდენობა კი განისაზღვრება

$$n = \frac{a}{a_1} = \frac{7,56}{2,634} \approx 3.$$

ამოცანა 4.1. გამთვიანგარიშით დაბალი სიხშირის m ტიპის ფილტრის მიმდევრობით წარმოებული ნახევარგოლი (ნახ. 12,ბ), თუ მოცემულია: დატვირთვის წინაღობა $R=600$ ომს, ზღვრული სიხშირე $f_3=4$ კჰც, კოეფიციენტი $m=0,6$.

ამოხსნა: 1. (4.14) ფორმულების საფუძველზე განვსაზღვროთ m ტიპის დაბალი სიხშირის ფილტრის ელემენტები:

$$L_1 = \frac{R}{\pi f_3} = \frac{600}{\pi \cdot 4000} = 0,0478 \text{ ჰნ} = 47,8 \text{ მჰნ},$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi f_3 R} = \frac{1}{\pi \cdot 4000 \cdot 600} = 0,1327 \cdot 10^{-6} \text{ ფ} = 0,1327 \text{ მკფ.}$$

2. განვსაზღვროთ m ტიპის ნახევარგოლის ელემენტები:

$$\frac{m \cdot L_1}{2} = \frac{0,6 \cdot 47,8 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,01434 \text{ ჰნ} = 14,34 \text{ მჰნ},$$

$$\frac{m C_2}{2} = \frac{0,6 \cdot 0,1327 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,398 \cdot 10^{-6} \text{ ფ} = 0,0398 \text{ მკფ.}$$

$$\frac{1-m^2}{2m} L_1 = \frac{1-0,6^2}{2 \cdot 0,6} 47,8 \cdot 10^{-3} = \frac{0,64}{1,2} \cdot 0,0478 = 0,0255 \text{ ჰნ.}$$

საკონტროლო კითხვები

1. რას უდრის ელექტრული ფილტრის გატარების ზოლში საკუთარი ჩაქრობა, თუ ის შეიცავს უდანაკარგო რეაქტიულ ელემენტებს?

2. როგორ ფილტრებს ეწოდება პიეზოელექტრული?

3. რისთვის გამოიყენება ორმაგი უტოლობა $-1 \leq \frac{Z_1}{4Z_2} \leq 0$?

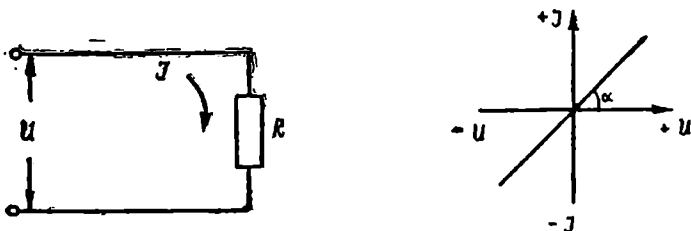
4. რა არის ფილტრის მახასიათებელი წინაღობა და როგორ განისაზღვრება იგი
5. როგორ განისაზღვრება გრაფიკულად ფილტრის ტიპი, ე. ი. მისი გატარების ზოლი?
6. როგორ იცვლება T -სებრი დაბალი სიხშირის K ტიპის ფილტრის მახასიათებელ წინაღობა გატარების ზოლში?
7. ჩამოთვალეთ K ტიპის ფილტრების უარყოფითი მხარეები?
8. რატომ გამოიყენება m და K ტიპის ფილტრები ერთად?
9. როგორ განისაზღვრება გრაფიკულად ხილური ტიპის ფილტრის გატარების ზოლი?
10. რაში მდგომარეობს მაგნიტოსტრიქციული ეფექტი?
11. რაში მდგომარეობს პიეზოეფექტი?

თ ა ვ ი V

არაწრფივი სისტემები

5. 1. ცნება არაწრფივ ელემენტებზე

ზემომოცემულ თავებში განხილული იყო წრფივი ელექტრულ სისტემების თეორიის საკითხები. როგორც ცნობილია, ეს სისტემები შედგება წრფივი ელემენტებისაგან, რომელთა პარამეტრები არ იცვლება მათში გამავალი დენებისა ან მოდებული ძაბვის ცვლილების გამო მაგალითისათვის განვიხილოთ მარტივი წრედი, რომელიც შედგება ერთი აქტიური წინაღობისაგან, რომელზედაც მოდებულია ძაბვა (ნახ 5.1). ამ შემთხვევაში წინაღობა წრფივი ელემენტია. ასეთი წრელისათვის



ნახ. 5.1.

დენსა და ძაბვას შორის დამოკიდებულება გამოიხატება ომის კანონით და აქვს წრფივი ფუნქციის სახე:

$$i = f(U). \quad (5.1)$$

აღნიშნული დამოკიდებულება გამოსახულია 5.1, ბ ნახაზზე, გრაფიკს ეწოდება ვოლტამპერული მახასიათებელი და განისაზღვრება

$$i = aU, \quad (5.2)$$

სადაც მუდმივი კოეფიციენტი $a = \frac{1}{R} = \text{tg} \alpha$ უდრის წინაღობის წრფევის

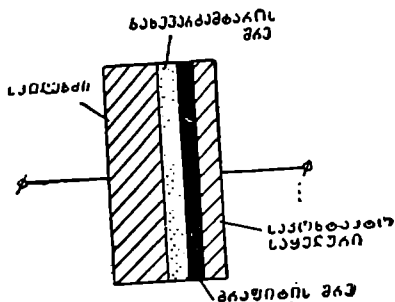
დახრის კუთხის ტანგენს აბსცისის ღერძთან.

კავშირგაბმულობის ტექნიკაში ხშირად ვხვდებით ორპოლუსებს, რომლებსაც აქვთ სხვა თვისება: მათ წრედში გამავალი დენი მოდებულნი ძაბვის არაპროპორციულია, ე. ი. არ ემორჩილება ომის კანონს. ასეთ ორპოლუსებს ეკუთვნის გამმართველი ელემენტები, ბარეტერები, თერმისტორები, ელექტრონმილაკები და ინდუქციური კოქები.

გამმართველი ელემენტები ისეთი ორპოლუსებია, რომლებსაც ძალიან მცირე წინაღობა აქვთ პირდაპირი მიმართულების, ხოლო დიდი წინაღობა — უკუმიმართულების დენებისათვის.

არსებობს კუპროქსული (სპილენძის ქანგი), სელენის, გერმანიუმი-სა და კაჟიანი ნახევარგამტარი დიოდები, რომელთა კონსტრუქცია შემდეგნაირია.

როგორც ცნობილია, ზოგიერთ ნახევარგამტარს აქვს ფოროვანი გამტარობა, ე. ი. ატარებენ დადებით მუხტებს. ასეთ ნახევარგამტარებს ეწოდება P ტიპის ნახევარგამტარები და მათ მიეკუთვნებათ კუპროქსი და სელენი. მათი ძირითადი ელემენტია დისკო, რომლის ცალ მხარეზე ან სპილენძის ქანგის, ან სელენის თხელი შრეა დატანილი. დისკოსა და შრეს შორის საკონტაქტო ზედაპირს ეწოდება ჩამკეტი შრე, რომლის უკუწინაღობა 100 ÷ 500 კილო-ომია, ხოლო პირდაპირი რამდენიმე ათეული ომის ტოლი (ნახ. 5.2).

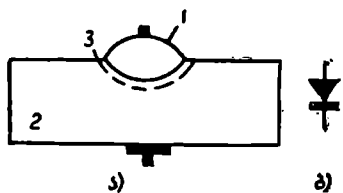


ნახ. 5.2.

ზოგიერთ ნახევარგამტარს აქვს ელექტროგამტარობა, ე. ი. ატარებს უარყოფით მუხტებს. ასეთი გამტარები n ტიპისაა და მათ მიეკუთვნებათ თუთიისა და ალუმინის ქანგეულები.

ორი სხვადასხვა ტიპის გამტარობის მქონე ნახევარგამტართა შორის არსებულ კონტაქტებს $p-n$ გადასასვლელი ეწოდება. ასეთ გადასასვლელს ცალმხრივი გამტარობის თვისება აქვს და ისინი მიიღებიან ნახევარ-

გამტარის მონოკრისტალის ძისივე შენარევთან მიღულების გზით, მაგალითად, ელექტრონული გერმანიუმის მონოკრისტალის ინდიუმის ნაქერთან მიღულებით. მაღალი ტემპერატურის დროს ინდიუმი დნება და გერმანიუმში დიფუნდირდება; ეს უკანასკნელი კი ელექტრონულ გამტარობას გარდაქმნის ფოროვან გამტარებად. 5.3 ნახაზზე ნახევნებია გერმანიუმის დიოდის პრინციპული კონსტრუქცია, მიღებული ელექტროდების ერთმანეთთან შედულებით.



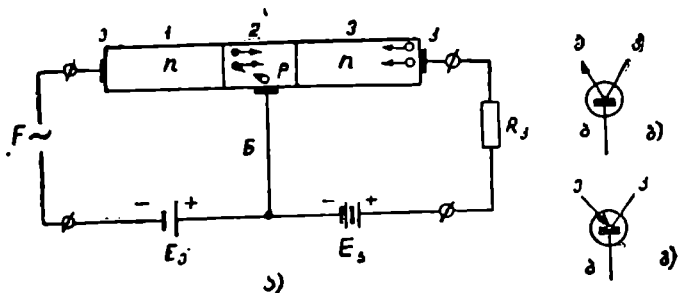
1. ინდიუმი
2. გერმანიუმი
3. ფოროვანი გამტარობის შრე

ნახ. 5.3.

ნახევარგამტარ ტრიოდებს (ტრანზისტორებს), ისევე როგორც მილაკოვან ტრიოდებს, აქვს სამი ელექტროდი და ცალმხრივი გატარების თვისება, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია გარე ზემოქმედებაზე.

ნახევარგამტარი ტრიოდის პრინციპული სქემა მოცემულია 5.4 ნახაზზე, რომელზეც აღნიშვნა ე — ემიტერია, ბ — ბაზაა, ხოლო კ — კოლექტორი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ტრიოდი შედგება სამი ნაწილისაგან: პირველი n -უბნის, მეორე p -უბნისა და მესამე n -უბნისაგან. ასეთ ტრიოდს ეწოდება $n-p-n$, მაგრამ არსებობს აგრეთვე $p-n-p$ სახის ტრიოდებიც.



ნახ. 5.4.

ორივე ტიპის ტრიოდებში არსებობს ორი $p-n$ გადასასვლელი. ბატარეა E_1 ჩართულია გატარების, ხოლო ბატარეა E_2 ჩაყვების მიმართულებით. ტრიოდში გამავალი დენი E_3 ბატარეისა და $F\sim$ გენერატორის ძაბვის საშუალებით რეგულირდება.

როგორც აღვნიშნეთ, არაწრფივ ელემენტებში გამავალი დენის სიდიდე დამოკიდებულია როგორც მიწოდებული ძაბვის სიდიდეზე, ისე მის მიმართულებაზე. ამის შედეგად დენისა და ძაბვის ურთიერთდამოკიდებულება გამოიხატება უფრო რთული კანონით:

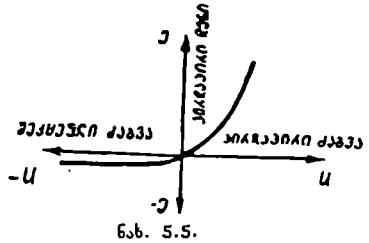
$$I = C_0 + C_1 U + C_2 U^2 + \dots + C_n U^n, \quad (5.3)$$

სადაც C არის მუდმივი სიდიდე, რომელიც ჩატარებული ცდებით განისაზღვრება;

n --შეჯამების პარამეტრი.

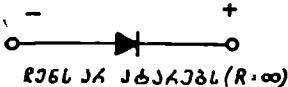
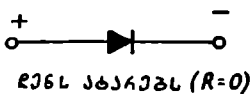
თუ $n=1$, მაშინ (5.3) განტოლება წრფივია ($I=C_1 U$), ხოლო, თუ $n>1$, (5.3) განტოლება მეორე ან უმაღლესი ხარისხისაა.

5.5 ნახაზზე ნაჩვენებია არაწრფივი ელემენტის ვოლტამპერული მახასიათებელი, ე. ი. ნახევარგამტარის დიოდის ტიპური მახასიათებელი, რომელიც გვიჩვენებს, რომ პირდაპირი დენი მრავალჯერ დიდია უკუდენზე, ხოლო პირდაპირი ძაბვის ვარდნა ამდენჯერვე მცირეა შექცეულ ძაბვაზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ დადებითი ძაბვის დროს დიოდი ატარებს დენს, ხოლო უარყოფითი ძაბვის დროს არ ატარებს (ნახ. 5.6).



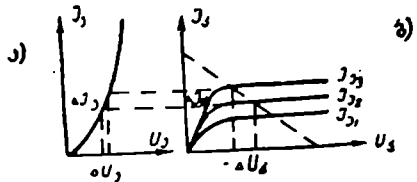
ნახ. 5.5.

5.7 ნახაზზე მოცემულია ტრიოდის ვოლტამპერული მახასიათებლები: ა) შესასვლელი მახასიათებელი და ბ) გამოსასვლელი მახასიათებელი.



ნახ. 5.6.

ნახაზიდან ჩანს, რომ ემიტერის ძაბვის ΔU_3 სიდიდით ცვლის დროს დენი



ნახ. 5.7.

იცვლება ΔI_2 სიდიდით, ხოლო, ვინაიდან $\Delta I_2 \approx \Delta I_1$, კოლექტორის წრედში ძაბვის ცვლილება განისაზღვრება ΔU_3 სიდიდით, რომელიც

აბსოლუტური მნიშვნელობით ΔU_{β} -ზე მეტი იქნება. სიმძლავრე P_{α} თხოპოლუსას შესასვლელზე ტოლია:

$$\Delta P_{\alpha} = \Delta I_{\beta} \cdot \Delta U_{\beta}, \quad (5.4)$$

ხოლო გამოსასვლელზე $\Delta P_{\beta} = \Delta I_{\alpha} \cdot \Delta U_{\alpha}$. (5.5)

ვინაიდან $\Delta U_{\alpha} > \Delta U_{\beta}$, ხოლო $\Delta I_{\alpha} = \Delta I_{\beta}$, შესაბამისად $\Delta P_{\alpha} > \Delta P_{\beta}$.
 თხოპოლუსას გაძლიერება შეთანხმებული წინაღობების დროს ტოლია:

$$S = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{\alpha}}{P_{\beta}} \right|. \quad (5.6)$$

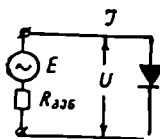
აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე ტრიოდების გაძლიერება 5 ნეპერამდეა.

5. 8. პარმონიული ძაბვის ზემოქმედება არაწრფივ ელემენტზე

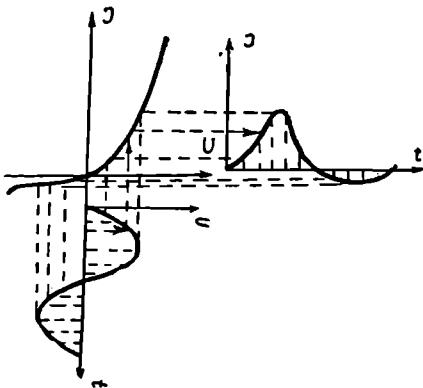
არაწრფივ ელემენტზე პარმონიული ძაბვის ზემოქმედების განსახილველად ავიღოთ დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი (ნახ. 5.5) და მასზე ვიმოქმედოთ სინუსოიდური (პარმონიული) E ძაბვით (ნახ. 5.8).

წრედში გამავალი დენის სიდიდის გრაფიკულად განსაზღვრისათვის მახასიათებლის ვერტიკალურ ღერძზე ავაგოთ ძაბვის დროისმიერი დამოკიდებულება $U = U_m \sin \omega t$ (ნახ. 5.9) და ამასთანავე დავუშვათ, რომ გენერატორი შიგა წინაღობა ნულის ტოლია ($R_{გენ} = 0$).

როგორც ჩანს, წრედში გამავალი დენი არასინუსოი-



ნახ. 5.8.



ნახ. 5.9.

დურია — დადებით ნახევარტალღას პიკისებრი ფორმა აქვს, ხოლო უარყოფითი კი თითქმის ნულამდე იკვეთება. დენის ფორმის ასეთი დამახინჯება სიგნალისათვის დაუშვებელია, მაგრამ დენებისათვის, რომლებიც დამხმარე წრედებში გადიან, ამას მნიშვნელობა არ აქვს. მაგალითად, არაწრფივი ელემენტის ეს თვისება გამოყენებულია გამამართველებში.

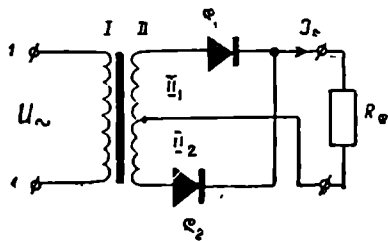
არაწრფივი ელემენტებისაგან შედგენილ ოთხპოლუსებს, რომლებიც ცვლად დენებს მუდმივ დენად გარდაქმნიან, გამმართველები ეწოდება. არსებობს გამმართველების მრავალი სქემა, რომელთაგანაც მხოლოდ ორს განვიხილავთ.

სქემა დიფერენციალური ტრანსფორმატორით (ნახ. 5.10). ასეთი სქემის მეშვეობით ხორციელდება ცვლადი დენის მუდმივ დენად გარდაქმნა. 5.10 ნახაზზე I_1 -ითა და I_2 -ით აღნიშნულია ნახევარგამტარი დიოდები.

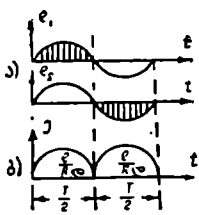
როდესაც შესასვლელზე მიეწოდება ცვლადი დენი, ტრანსფორმატორის მეორეულ ხვეებში ინდუქტირდება ელექტრომაგნიტური ძალა. I_1 -ზე დადებითი ნახევარპერიოდის მიწოდებისას დიოდი გაიღება და დენი გაივლის შემდეგი წრედით — ხვია II_1 — I_1 — R_e — II_1 .

ძაბვის ნიშნის შეცვლისას დადებითი ნახევარპერიოდი I_2 -ზე მოხვდება და დენი გაივლის — ხვია II_2 — I_2 — R_e — II_2 . ამრიგად, R_e წინაღობაში ორივე ნახევარპერიოდის დროს დენი ერთი და იმავე მიმართულებით (ზევიდან ქვევით) გაივლის.

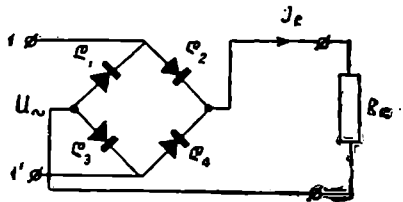
ბოჭური სქემა ძირითადად განკუთვნილია ცვლადი დენის გასამართავად. ამ სქემას არ გააჩნია ტრანსფორმატორი, მაგრამ ის შეიცავს დიოდებისაგან შემდგარ ბოჭირს (ნახ. 5.12). ცვლადი დენის მიწოდებისას დადებითი ნახევარპერიოდის დროს დენი გაივლის 1 — I_1 — R_e — I_1 — $1'$ წრედით, ხოლო უარყოფითი ნახევარპერიოდის შემთხვევაში — $1'$ — I_2 — R_e — I_2 — 1 წრედით. მაშასადამე, წინააღობაში გამავალი დენი ისეთივეა, როგორც დიფერენციალურ ტრანსფორმატორიან გამმართველში. მიღებული მფეთქარი დენი შეიცავს როგორც მუდმივ, ისე ცვლად შემდგენებს. განსაკუთრებული ფილტრის საშუალებით შესაძლებელია გამოვეყოთ მუდმივი დენის შემდგენი და გამოვიყენოთ



ნახ. 5.10.



ნახ. 5.11.



ნახ. 5.12.

ელექტროცემების წრედებში, ხოლო პირველსა და უმაღლეს პარმონიკებს, რხევების აღზნებისათვის აწვდიან შედარებით მაღალი სიხშირეების გენერატორებს.

6. 4. სიხნალის გამძლიერება

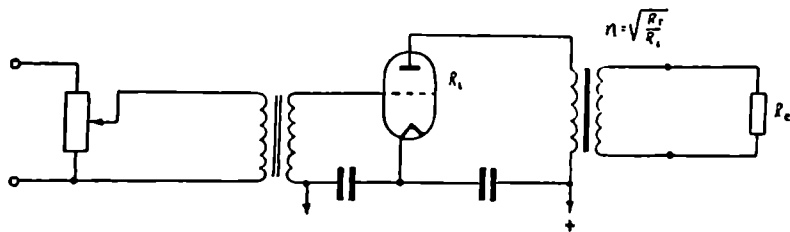
ოთხპოლუსას, რომელიც განკუთვნილია ელექტრული სიხნალების გასაძლიერებლად, გამაძლიერებელი ეწოდება. თითოეული გამაძლიერებელი შეიცავს საძლიერებელ ელემენტსა და ენერგიის მკვებ წყაროს. გამაძლიერებელ ელემენტებად ხშირად იყენებენ ელექტროვაკუუმურ მილაკებს ან ტრანზისტორებს, ხოლო ენერგიის წყაროდ — აკუმულატორებს ან გამმართველებს, რომლებიც განათების ქსლის ძაბვაზე მუშაობენ.

როგორც ცნობილია, კავშირგაბმულობისათვის საჭირო მანძილი უზრუნველყოფილია შუალედი გამაძლიერებლების ჩართვით კავშირგაბმულობის ხაზებში. მათი რიცხვი შეიძლება იყოს ძალიან დიდი და ამისათვის მათ მიერ შეტანილი ცვლილება ან ყოველგვარი დამახინჯება საერთო ტრაქტში მინიმუმამდე უნდა იქნეს დაყვანილი.

შორეული კავშირის აპარატურის სქემებში გამაძლიერებლებმა უნდა უზრუნველყოს გაძლიერების სიდიდე 2-დან 8 ნეპერამდე, გამოსასვლელზე შედარებით მცირე სიმძლავრის (ათეული მილივატი) დროს.

გამაძლიერებლები ხშირად ტრანსფორმატორული სქემითაა შესრულებული (ნახ. 5.13). შესასვლელი ტრანსფორმატორი ადიდებს ბადეზე მიწოდებული ძაბვის სიდიდეს, ხოლო გამოსასვლელი ტრანსფორმატორი მაქსიმალური სიმძლავრის მისაღებად მილაკის შიგა წინალობას დატვირთვის წინალობასთან ათანხმებს.

თუ გამაძლიერებლისაგან საჭიროა შედარებით დიდი სიმძლავრის მიღება, მაშინ ორ- და სამკასკადიან გამაძლიერებლებს გამოიყენებენ. ასეთი

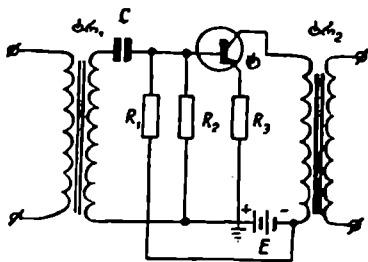


ნახ. 5.13.

გამაძლიერებლის პირველი (წინასწარი) კასკადი ასრულებს ძაბვის საძლიერებლის, ხოლო ბოლო კასკადი — სიმძლავრის საძლიერებლის ფუნქციას.

ტრანსფორმატორული გამაძლიერებლის გამარტივებული სქემა 5.14 ნახაზზეა მოცემული.

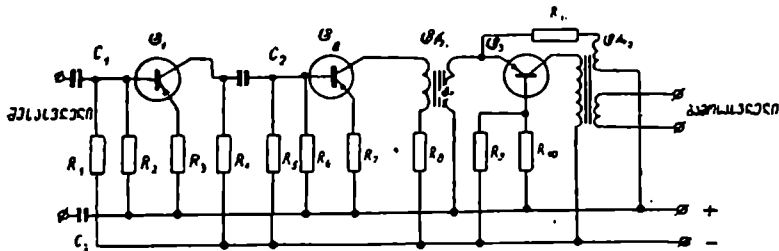
აღნიშნულ სქემაში საძლიერებელ ელემენტად გამოყენებულია ტრიოდი (ტ), რომელიც $p-n-p$ ტიპისაა. R_1 და R_2 წინაღობები ქმნიან ენერჯის წყაროს ძაბვის პოტენციომეტრს, ხოლო R_3 — უარყოფითი უკუკავშირის წრედს. ამ გამაძლიერებლის მოქმედების პრინციპი 5.2 პარაგრაფში აღწერილი სქემის ანალოგიურია და განსხვავდება იმით, რომ ემიტერის წრედში R_3 წინაღობაა ჩართული.



ნახ. 5.14.

დაეუშვათ, რომ ბაზის წრედში დენი შეიცვალა 1 მა-ით, მაშინ კოლექტორის წრედში ეს ცვლებლობა რამდენიმე მილიამპერს მიაღწევს და შესაბამისად გააძლიერებს სიმძლავრეს გამოსასვლელზე.

ასეთ გამაძლიერებლებში საშუალო გაძლიერებამ შეიძლება 4,5 ნეპერს მიაღწიოს. დიდი გაძლიერების მისაღებად იყენებენ მრავალსაფეხურიან (მრავალკასკადიან) სქემებს. 5.15 ნახაზზე ნაჩვენებია ტრანზისტორიანი



ნახ. 5.15.

გამაძლიერებლის სამკასკადიანი სქემა, რომელშიც ცალკეულ საფეხურებს შორის კავშირი მოცემულია კონდესატორებითა და ტრანსფორმატორებით.

5. 5. რხევის გენერატორი

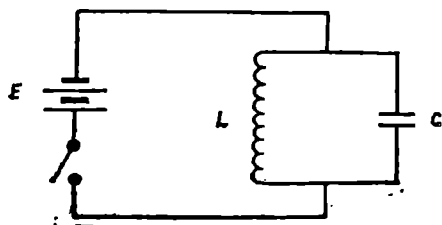
ოთხკოლუსებს, რომელთა საშუალებითაც მუდმივი დენი გარდაქმნება ცვლად დენად, გენერატორები ეწოდება. თითოეული გენერატორი არამილევალი რხევების მისაღებად შეიცავს არაწრფივ ელემენტს. ისინი კავშირგაბმულობის აპარატურის მნიშვნელოვან კვანძებს წარმო-

ადგენენ და მათ მუშაობაზე კავშირის არხის ხარისხობრივი მაჩვენებლები დიდად არის დამოკიდებული.

როგორც 2.6 პარაგრაფიდან ჩანს, რხევად კონტურებს აქვს თავისი რეზონანსული სიხშირე, რომლის განსაზღვრა შეიძლება ფორმულით

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

თუ ასეთ კონტურს მივაწოდებთ დენის იმპულსს (ნახ. 5.16) ჩამრთველის ხანმოკლე ჩართვით, კონდენსატორი დაიმუხტება და კონტურში წარმოიქმნება ელექტრული რხევები. როგორც კი გაითიშება ჩამრთველი, კონტურში ინდუქციური ხეის L -ის ზეგავლენით შენარჩუნებული იქნება დენი, რომელიც თანდათან მცირდება და როდესაც მიაღწევს ნულის მნიშვნელობას, კონდენსატორზე მუხტები დაიწყებს უკუმიმართუ-



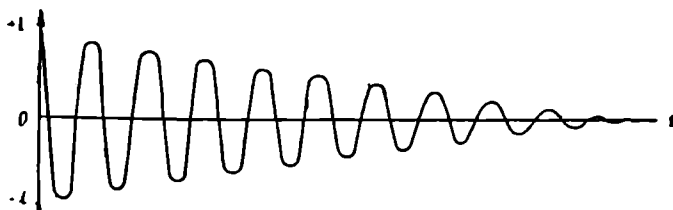
ნახ. 5.16.

ლების დენით დაცლას ინდუქციურ ხეიაზე. როდესაც დენი მიაღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ინდუქციურ ხეიაში დაგროვილი ელექტრომაგნიტური ენერგია კონდენსატორს ხელახლა დამუხტავს და ეს პროცესი განმეორდება მანამდე, სანამ დენის იმპულსისაგან მიღე-

ბული ენერგია მთლიანად არ დაიხარჯება.

დავუშვათ, რომ კონტურის ვარგისიანობის კოეფიციენტი საკმაოდ დიდია, მაშინ შეგვიძლია ზემომოყვანილი ფიზიკური პროცესი გამოვხატოთ მრუდით (ნახ. 5.17).

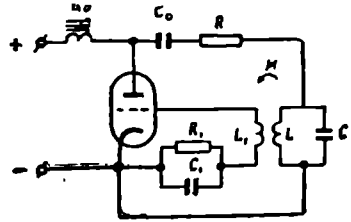
იმისათვის, რომ რხევის ამპლიტუდა მუდმივი სიდიდის იყოს, საკიროა ყოველი ნახევარპერიოდის შემდეგ კონტურს მივაწოდოთ ენერგიის



ნახ. 5.17.

იმპულსი (დაკარგული ენერგიის სიდიდის შესავსებად), რაც ელექტროვაკუუმშიანი მილაკის ან ტრანზისტორის საშუალებით ხორციელდება.

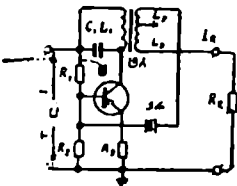
5.18 ნახაზზე მოცემულია თვითაგზნებადი გენერატორის მარტივი სქემა. როდესაც ჩავრთავთ კვების წყაროს, კონტურში წარმოიქმნება ელექტრორხევების პირველი ნახევარპერიოდის აღმავალი ნაწილი, რომელიც ინდუქცირდება ხვიაში და თანდათან გააღიდეებს ბაღეზე მოდებულ ძაბვას, რაც, თავის მხრივ, ანოდის დენს მაქსიმუმამდე გაზრდის. როდესაც დენი მაქსიმუმს მიაღწევს და მისი ზრდა შეწყდება, ხვიაში ე. მ ძალის ინდუქცია შეჩერდება და ბადის პოტენციალი დაიწევს. ეს კი ანოდის დენის შემცირებას გამოიწვევს და, თავის მხრივ, გააძლიერებს ბადის პოტენციალის დაწევას. როდესაც ანოდის დენის სიდიდე მინიმუმამდე შემცირდება, კვლავ შეწყდება ე. მ. ძალის ინდუქცია ხვიაში, ბადის ძაბვა ოდნავ გაიზრდება და პროცესი თავიდან განმეორდება.



ნახ. 5.18.

განვიხილოთ გენერატორი, რომელშიც გამოყენებულია ტრანზისტორი, ხოლო რხევად კონტურში ჩართულია ისევე ორპოლუსა. კონტურში წარმოქმნილ რხევებს ტრანზისტორში გაძლიერებული ელექტრული რხევების ენერგია კვებავს (ნახ. 5.19).

კვარციანი რეზონატორი (კრ) ჩართულია უარყოფითი უკუკავშირის წრედში სიხშირის სტაბილიზაციისათვის და უზრუნველყოფს სიხშირის გადახრას ნორმალური მნიშვნელობიდან არა უმეტეს $5 \cdot 10^{-3}$. თუ საჭიროა უფრო მეტი სიზუსტის სტაბილიზაცია, მაშინ კვარციან რეზონატორსა და ზოგიერთ წინაღობას ათავსებენ სპეციალურ თერმოსტატში, რომელშიც კვარციანი რეზონატორი (კრ) სიხშირის სტაბილიზაციისათვის ჩართულია უარყოფითი უკუკავშირის წრედში და უზრუნველყოფს სიხშირის ნორმალურიდან გადახრას არა უმეტეს $5 \cdot 10^{-6}$. თუ საჭიროა უფრო მეტი სიზუსტე, წინააღობებს და კვარციან რეზონატორს ათავსებენ სპეციალურ თერმოსტატში, რომელშიც სპეციალური შემთბობი მოწყობილობის საშუალებით მუდმივი ტემპერატურული რეჟიმი შენარჩუნებული.



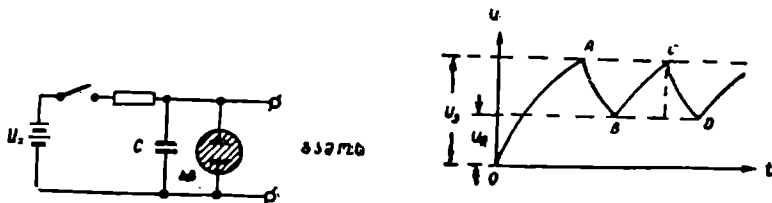
ნახ. 5.19.

RC ტიპის გენერატორი მუშაობს მწყვეტარას პრინციპზე (ნახ. 5.20). როდესაც ჩავრთავთ მუდმივ დენს, U- კონდენსატორი C დაიწყებს დამუხ-

ტვას, მაგრამ, ვინაიდან R წინაღობა საკმაოდ დიდია, ადგილი აქვს ძაბვის ვარდნას და კონდენსატორზე მოდებული ძაბვა იზრდება არა მყისვე, არამედ ნელ-ნელა.

კონდენსატორის პარალელურად ჩართული აირსავეს განმმუხტველი (აგ) ინთება მხოლოდ ძაბვის განსაზღვრული სიდიდის დროს. როდესაც კონდენსატორის ძაბვა ანთების სიდიდეს მიაღწევს, განმმუხტველი აინთება, განმუხტავს კონდენსატორს და ჩაქრება. ჩაქრობის მომენტიდან პროცესი მეორდება, ვინაიდან კონდენსატორი კვლავ იწყებს დამუხტვას.

5.20 გრაფიკზე ნაჩვენებია მფეთქარი ძაბვა $U \sim$ გამოსასვლელზე. როდესაც ჩამოვაშორებთ მულმივ შემდგენს U_0 -ს, დარჩება ცვლადი ძაბვა, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ დამხმარე მოწყობილობებში. აღ-



ნახ. 5.20.

სანიშნავია, რომ RC ტიპის გენერატორს არა აქვს ისეთი სტაბილურობა, როგორც LC ტიპის გენერატორებს და ამასთანავე ცვლადი ძაბვა ბევრ პარამონიულ შემდგენებს შეიცავს.

კავშირგაბმულობის ტექნიკაში გამოყენებულია აგრეთვე იმპულსთა, პარამონიული და სხვა ტიპის გენერატორები.

5. 7. სიხშირეთა გარდაქმნა

როგორც აღვნიშნეთ, სატელეფონო კავშირის განსახორციელებლად საკმარისია 300÷3 400 ჰც-მდე გადაცემა. სიხშირის ასეთი მცირე ზოლის გადაცემა ხაზში, სახაზო ნაგებობის სიძვირის გამო, ძალიან არაეკონომიურია.

თანამედროვე კავშირგაბმულობის სისტემებში გამოყენებულია ერთი ხაზით მრავალი სატელეფონო კავშირის გადაცემა სიხშირული შემკიდროების მეთოდით. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სიხშირის ზოლი 300÷3 400 ჰც გარდაიქმნება უფრო მაღალ ზოლად და ისე იგზავნება ხაზში, ხოლო მიმღებ სადგურში კვლავ გარდაიქმნება დაბალი სიხშირის ზოლად. სიხშირის გარდაიქმნელებში გამოყენებულია არაწრფივი ელემენტები, რომლებსაც ცალმხრივი გატარების თვისება

აქეთ. განვიხილოთ როგორ მოქმედებს ერთეული სიხშირე არაწრფივ ელემენტზე.

როდესაც არაწრფივ ელემენტზე მივაწვდით ელექტრულ რხევას რომელიღაც სიხშირით, ამ სიხშირის სინუსოიდური ძაბვა (თავი 5.3) გარდაიქმნება მფეთქარ ძაბვად, რომლის დაშლისას მივიღებთ მთელ

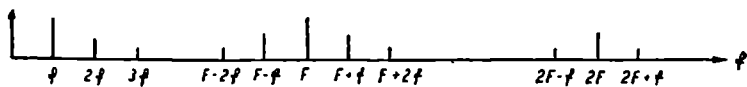


ნახ. 5.21.

რივ ჰარმონიკებს (ნახ. 5.21), ხოლო, თუ ერთდროულად მივაწვდით ორ სინუსოიდურ ძაბვას f და F , მაშინ ამ სინუსოიდების ჰარმონიკების გარდა, მივიღებთ მათ ჯამურ და სხვაობით სიხშირეებსაც (ნახ. 5.22).

დავუშვათ, რომ f არის საწყისი სიგნალის სიხშირე. გარდამქმნველის გამოსასვლელზე მიღებული სიხშირეებიდან ყველაზე მეტად საყურად-

$$f, F \longrightarrow f, 2f, 3f, F+f, F-f, 2F+f, F, 2F, F-2f, F-2f, 2F-f$$



ნახ. 5.22.

ღებოა $F+f$ და $F-f$ სიხშირეები, რომლებიც შეიცავენ სიგნალის სიხშირეს. $F+f$ ეწოდება ზედა გვერდითი სიხშირე, $F-f$ — ქვედა გვერდითი სიხშირე, ხოლო F სიხშირეს მზიდი სიხშირე, ვინაიდან სიგნალის სიხშირე f ამ სიხშირით იქნა გადატანილი უფრო მაღალი სიხშირეების ზოლში. თუ გარდამქმნელს მივაწვდით არა ერთეულ სიხშირეს, არამედ $f_1 \div f_2$ სიხშირეთა ზოლს (ნახ. 5.23), წარმოიქმნება ორი ახალი ზოლი, რომელთაგანაც $F-f_2 \div F-f_1$ ეწოდება ქვედა გვერდითი სიხშირის ზოლი, ხოლო $F+f_1 \div F+f_2$ — ზედა გვერდითი სიხშირის ზოლი.

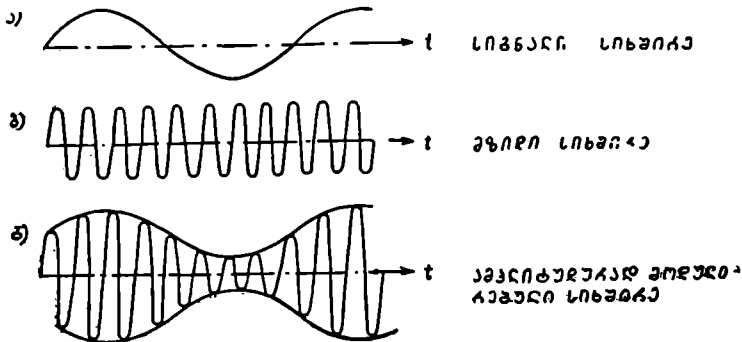


ნახ. 5.23.

5. 8. მოდულაცია და დემოდულაცია

მაღალი სიხშირის ზოლში სიგნალის სიხშირეთა ზოლის გადატანას მოდულაცია ეწოდება, ხოლო სიხშირეების გარდამქმნელ ოთხპოლუსას — მოდულატორი. არსებობს ამპლიტუდური, სიხშირული და ფაზური მოდულაციები.

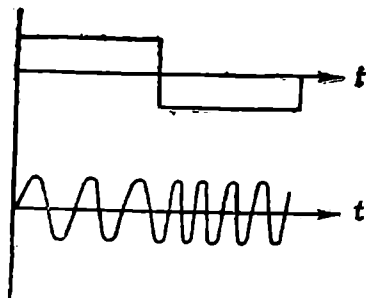
ამპლიტუდური მოდულაციის დროს მზიდ სიხშირეზე სიგნალის მოქმედებისას, მზიდი სიხშირის ამპლიტუდა იცვლება სიგნალის ფორმის ცვალებადობის მიხედვით (ნახ. 5.24).



ნახ. 5.24.

სიხშირული მოდულაციის დროს იცვლება არა მზიდი სიხშირის ამპლიტუდა, არამედ მისი სიხშირის მნიშვნელობა, სიგნალის ამპლიტუდაზე დამოკიდებულებით (ნახ. 5.25).

ფაზური მოდულაციის დროს იცვლება მზიდი სიხშირის ფაზა ისე, როგორც 5.26 ნახაზზეა გამოსახული.

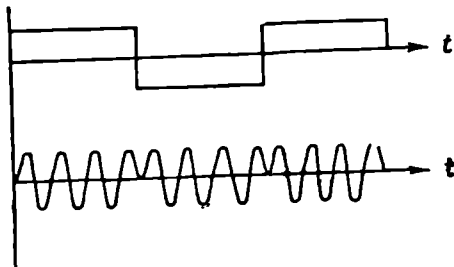


ნახ. 5.25.

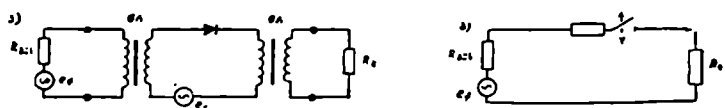
როდესაც სიგნალის დაბალი სიხშირე გარდაიქმნა და გაიგზავნა ხაზში, საჭიროა ამ სიგნალის საწყისი სიხშირის აღდგენა მიმღებ სადგურში. მიმღებ სადგურში ამ საშუაოს ასრულებს უკუგარდამქმნელი ან დემოდულატორი. ეს უკა-

ნასკნელი ისევე მუშაობს როგორც მოდულატორი, ამისათვის ამპლიტუდური მოდულაციისათვის მათ პირობითად ამ ორ სახეობად ყოფენ. 5.27 ნახაზზე გამოსახულია მარტივი სიხშირის გარდამქმნელის სქემა.

თუ ტრანსფორმატორებს ჩაეთვლით იდეალურებად, ხოლო დიოდი მუშაობს ჩამრთველის რეჟიმში, ეკვივალენტური სქემა 5.27,ბ ნახაზზე წარმოდგენილის მსგავსია. დიოდზე მიწოდებული მზიდი სიხშირე დადებით ნახევარპერიოდის დროს ალებს დიოდს, ხოლო უარყოფითი ნახევარპერიოდის დროს დიოდის წინაღობა უსასრულოდ იზრდება. დიოდი გალების მომენტში გაატარებს სიგნალის სიხშირის დენს e_f ; ვინაიდან დიოდი იღება და იკეტება e_F ძაბვის მოქმედებით F სიხშირის შესაბამისად, R_e დატვირთვის წინაღობაში გაივლის ცალმხრივი დენის იმპულსები (ნახ. 5.28).

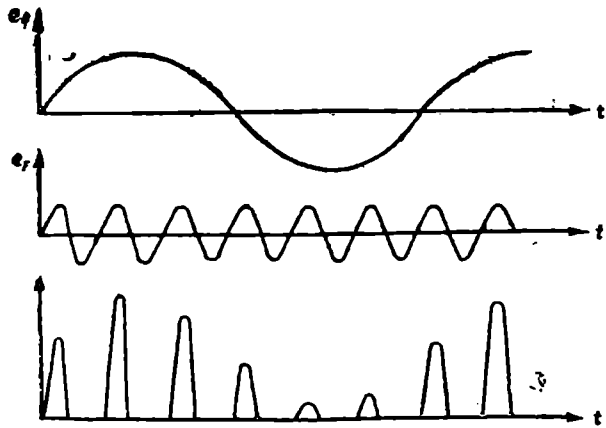


ნახ. 5.26.



ნახ. 5.27.

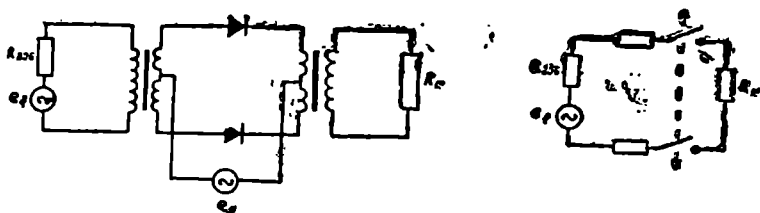
დატვირთვის წინაღობაში გამავალი დენის მრუდის შესახებ შეგვიძლია დავასკვნათ:



ნახ. 5.28.

1. დატვირთვის წინააღმდეგობაში მიიღება მზიდი სინშირის მძლავრი დენი და მისი წყვილი პარამონიკები მუდმივი დენის შემდგენით;
2. დატვირთვის წინააღმდეგობაში გაივლის სიგნალის დენის ნარჩენი;
3. სასარგებლო, ძირითადი გვერდითი სინშირეების გარდა. მიიღება უმაღლეს სინშირეთა დიდი რიცხვი;
4. ძირითად გვერდით სინშირეებს ექნებათ მცირე სიმძლავრე, ე. ი. გარდაქმნის შედეგად მიღებული დენი დანაგვიანებულია არასასურველი შემდგენით. პრაქტიკაში მეტწილად იყენებენ ბალანსურ გარდამქმნელებს, ვინაიდან მათ გამოსასვლელზე ჩახშულია მზიდი სინშირის დენი (ნახ. 5.29).

თუ ორივე ტრანსფორმატორი მკაცრად დიფერენციალურია, ხოლო ორივე დიოდი — ზუსტად ერთნაირი, მზიდი სინშირის დენი როგორც

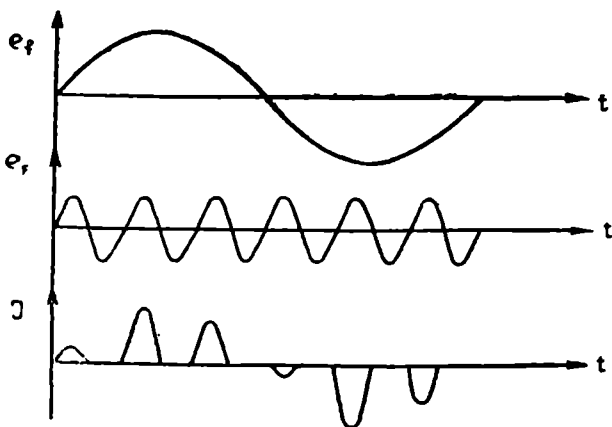


ნახ. 5.29.

შესასვლელი, ისე გამოსასვლელი ტრანსფორმატორების შუა წერტილებში თანაბრად და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ გაიყოფა, მათ მიერ შექმნილი მაგნიტური ნაკადები კი ერთმანეთს სპობენ. თუ შევედარებთ ბალანსურ და მარტივ გარდამქმნელებს, შევამჩნევთ, რომ მათი მოქმედების პრინციპი ერთი და იგივეა, მხოლოდ ბალანსურ გარდამქმნელს გამოსასვლელზე არ ექნება მზიდი სინშირე და მუდმივი დენის შემდგენი.

5.30 ნახაზზე ნაჩვენებია სიგნალისა და სინშირეების ე. მ. ძალის ურთიერთქმედებით მიღებული ბალანსური გარდამქმნელის დენის ფორმა.

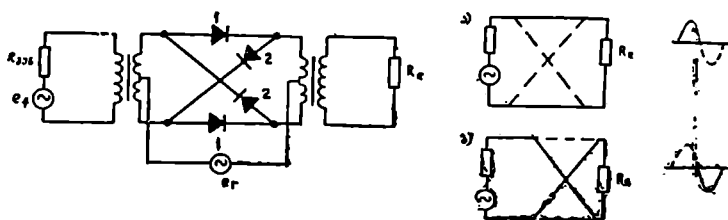
ამრიგად, ბალანსური გარდამქმნელების გამოსასვლელზე არ არსებობს მზიდი სინშირის დენი და ვინაიდან მისი სიმძლავრე არ იხარჯება $R_{გვ}$ და $R_{ლ}$ წინააღმდეგობებზე, მზიდი სინშირის გენერატორიდან ისინი ნაკლებ სიმძლავრეს იღებენ. ორმაგი ბალანსური სინშირის გარდამქმნელს (ნახ. 5.31) დამატებით აქვს ორი დიოდი. ამ გარდამქმნელს წრიულსაც უწოდებენ, ვინაიდან დიოდები ერთიან წრედში მიმდევრობითაა ჩართული. სქემა შემდეგში მდგომარეობს: მზიდი სინშირის დადებითი ნახევარპერიოდის დროს იღება 1—1 დიოდები და ატარებს დაბალი სინშირის დენს (ნახ. 5.31, ა), ხოლო უარყოფითი ნახევარპერიოდის დროს—



ნახ. 5.30.

2—2 დიოდები და დატვირთვის წინაღობაში დენი უკუემართულებით გადის (5.31,ბ).

დატვირთვის წინაღობაში გამავალი დენის ფორმის მრუდი მოცემულია 5.32 ნახაზზე. ორმაგ ბალანსურ გარდამქმნელს გამოსასვლელზე აქვს



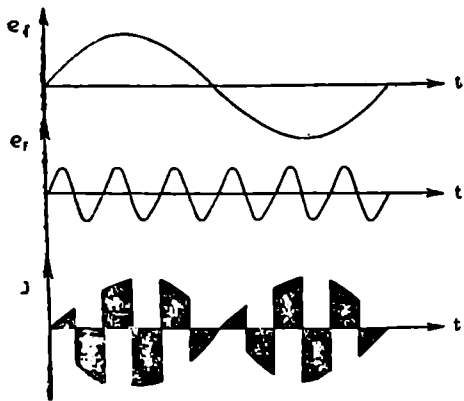
ნახ. 5.31.

მხოლოდ წყვილი გვერდითი სიხშირეები, რომელთა სიმძლავრე სხვა გარდამქმნელებთან შედარებით, გაცილებით დიდია. სიგნალის სიხშირე და გარდამქმნის უმეტესი ჰარმონიკები ამ გარდამქმნელის გამოსასვლელზე არ არსებობენ.

5.33 ნახაზზე მოცემულია განხილული გარდამქმნელების გამოსასვლელზე მიღებული სიხშირეების სპექტრების შედარება, სადაც ჩანს ორმაგი ბალანსური გარდამქმნელის უპირატესობა. ვინაიდან ორმაგ ბალანსურ გარდამქმნელებში არა გვაქვს დაბალი სიხშირეები, საშუალება

გვეძლევა მზიდი სიხშირის ერთი გენერატორიდან ვკვებოთ რამდენიმე გარამქმნელი.

ამოცანა ნ. 1. დაბალი სიხშირის ზოლი $0,3 \div 3,4$ კჰც მივაწოდოთ გარამქმნელს, რომელზედაც მოქმედებს 64 კჰც მზიდი სიხშირე. გამოიანგარიშეთ რას უდრის გვერდითი სიხშირეების ზოლები.

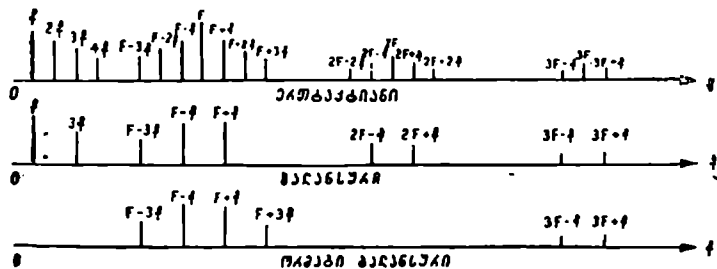


ნახ. 5.32.

ამოხსნა. როგორც ცნობილია, გვერდითი სიხშირეები მიიღება მზიდ სიხშირესთან სიგნალის სიხშირული ზოლის შეკრება-გამოკლებით.

ზედა გვერდითი სიხშირეთა ზოლი შემოიფარგლება $F + f_1 \div F + f_2$ სიხშირეებით, ე. ი. $F + f_1 = 64,3$ კჰც, $F + f_2 = 67,4$ კჰც, ხოლო ქვედა გვერდითი სიხშირეთა ზოლი $F - f_1 = 63,7$ კჰც,

$F - f_2 = 60,6$ კჰც (ვინაიდან $f_1 = 0,3$ კჰც, ხოლო $f_2 = 3,4$ კჰც).



ნახ. 5.33.



ნახ. 5.34.

ამოცანა 5.2. როგორი მზიდი სიხშირე უნდა მიეწოდოს გარდამქმნელს, რომ მოცემული სიხშირის ზოლი $60 \div 108$ კჰც გადავიტანოთ $312 \div 360$ კჰც სიხშირის ზოლში?

ამოხსნა. სიხშირის ზოლის $60 \div 108$ კჰც გადატანა შეიძლება ორი მზიდი სიხშირის საშუალებით (ნახ. 5.34)—ბირველ შემთხვევაში $F=420$ კჰც, ხოლო მეორე შემთხვევაში $F=252$ კჰც.

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება სიხშირის გარდამქმნა?
2. რომელ გარდამქმნელს აქვს ყველაზე დიდი მარჯი კმედების კოეფიციენტი?
3. გამოიანგარიშეთ გენერატორის სიხშირე, თუ $L=10$ მწ, ხოლო $C=10$ მკფ.
4. რისთვისაა საჭირო გენერატორის სიხშირის სტაბილიზაცია?
5. რა სიდიდეებში იზომება გაძლიერება?
6. როგორი სახეობების მოდულაცია არსებობს?
7. რომელ სიხშირეებს ვიღებთ წრიული გარდამქმნელის გამოსასვლელზე?

თ ა ვ ი VI

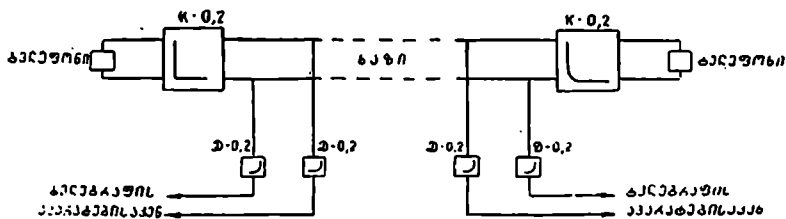
სხვადასხვა სახეობის კავშირის სიხნალები გაყოფის პრინციპი

6. 1. სიხნალების სიხშირული გაყოფა

სიხშირული სპექტრები, რომლებსაც სატელეგრაფო და სატელეფონო გადასაცემად იყენებენ, სიხშირის სხვადასხვა ზღვრებშია. ტელეგრაფირების სიხშირის ზოლი $0 \div 100$ ჰც (ქვეტონალურ სიხშირეთა დიაპაზონი) და სატელეფონო გადაცემა $250 \div 300$ ჰც-დან განაპირობა იმან, რომ ერთი წრედის საშუალებით განხორციელდა ერთდროული ტელეფონირება და ტელეგრაფირება, რომლებიც ჯერ კიდევ გასული საუკუნის მეორე ნახევარში მარტივი ელექტრული ფილტრების გამოყენებით შეიმუშავა გ. გ. იგნატიევა (ნახ. 6.1). ფილტრი $K-0,2$ ატარებს 200 ჰც-ზე მეტ სიხშირეებს, ხოლო $D-0,2$ — 0 -დან 200 ჰც-მდე. ამ მეთოდის უარყოფითი თვისება იმაში მდგომარეობს, რომ გამომძახების გაგზავნა შეუძლებელია ინდუქტორის დენით, რომლის სიხშირე $15 \div 25$ ჰც-ია და ის ვერ გაივლის მაღალი სიხშირის ფილტრში.

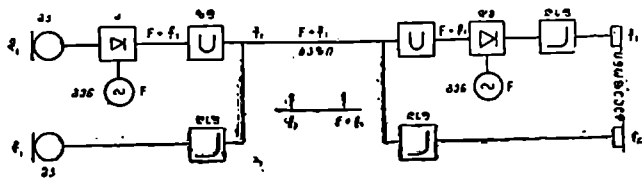
თუ სიხნალის საწყის სპექტრს გარდაქმნით მაღალ სიხშირედ, ხოლო გარდამქმნელის გამოსასვლელზე გამოვეყოფთ ერთ-ერთ ძირითად

გვერდით სიხშირეს ფილტრის საშუალებით, ამ გვერდითი სიხშირის ხაზში გადაცემა შეიძლება დაბალი სიხშირის სხვა ზოლთან ერთად. მიმღებ სადგურში დაბალი და მაღალი სიხშირის ზოლები ერთმანეთი-



ნახ. 6.1.

საგან გაიყოფიან ფილტრებით—დაბალი სიხშირის ზოლი შეუცვლელად გადაეცემა მიმღებ მოწყობილობას, ხოლო მაღალი სიხშირე გარდაიქმნება დაბალ სიხშირედ, ე. ი. სიგნალის საწყის სიხშირედ (ნახ. 6.2).

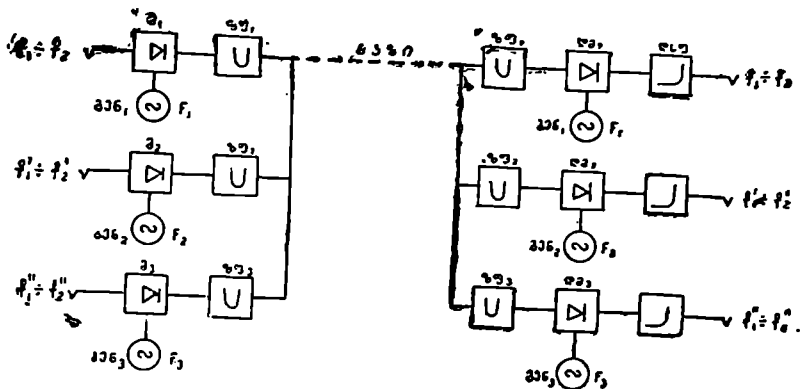


ნახ. 6.2.

ავილოთ გარდასაქმნელად არა ერთი, არამედ რამდენიმე სატელეფონო არხი, მაშინ მზიდი სიხშირეებისა და ფილტრების საშუალებით შეგვიძლია ისე განვალაგოთ გვერდითი სიხშირეები, რომ მათი გამოყოფა მიმღებ სადგურზე ფილტრების საშუალებით არ გაგვიძნელდეს (ნახ. 6.3).

6.3 ნახაზზე m_{1-2-3} — მოდულატორებია, $გენ_{1-2-3}$ — მზიდი სიხშირის გენერატორები, $ზფ_{1-2-3}$ — ზოლური ფილტრები, რომელიც ატარებს გვერდით სიხშირეთა ზოლს, $დმ_{1-2-3}$ — დემოდულატორები, $დსფ$ — დაბალი სიხშირის ფილტრი.

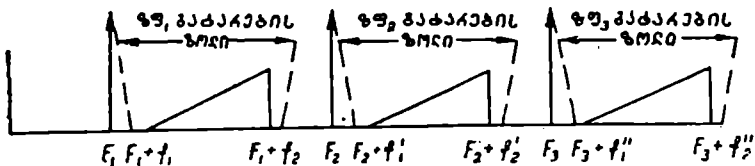
სიგნალის დენები $f_1 \div f_2$ სიხშირეთა ზოლით შემოსაზღვრული მოხვდება რა m_1 მოდულატორში, F მზიდი სიხშირის საშუალებით გარდაიქმნება მაღალი სიხშირის დენებად. ზოლური ფილტრი (ზფ) გამოყოფს ერთ-ერთ გვერდით სიხშირეს, ხოლო დანარჩენებს — ჩაანშობს; ვინაიდან მზიდი სიხშირეები ისეთი შუალედით არიან ერთმანეთისგან დაშორებული, რომ მათ მიერ შექმნილი გვერდითი სიხშირეები



ნახ. 6.3.

ფილტრებში გავლის შემდეგ ერთმანეთს ხელს არ უშლიან. ხაზში გაგზავნილი არხების მაღალი სიხშირის ზოლების ურთიერთგანლაგება შემდეგე სახისაა (ნახ. 6.4).

მიმღებ სადგურში ეს სიხშირეები გაივლის შესაბამის ფილტრებს, მოხვდება დემოდულატორებში (დმ). სადაც გარდაიქმნება სიგნალის საწყის სიხშირედ; დაბალი სიხშირის ფილტრები (დსფ) კი ჩართულია, რათა



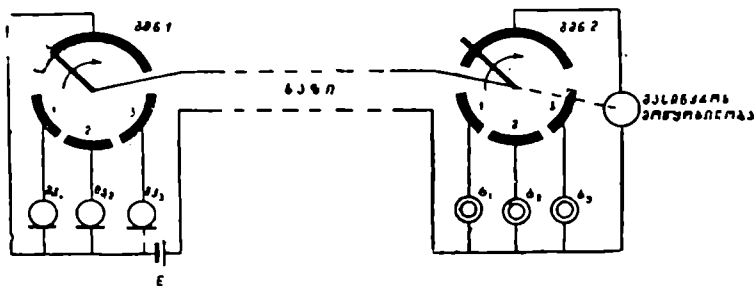
ნახ. 6.4.

გარდაქმნის შედეგად მიღებული სხვა სიხშირეები არ მოხვდეს არხის გამოსასვლელზე. სიხშირული დაყოფის პრინციპზე აგებულია თანამედროვე მაღალი სიხშირის მრავალარხიანი ტელეფონირების აპარატურა, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ერთი წრედის საშუალებით გადაიცეს 1920 სატელეფონო არხი.

6. 2. სიხანაღვის გაყოფა დროის განაწილების მეთოდით

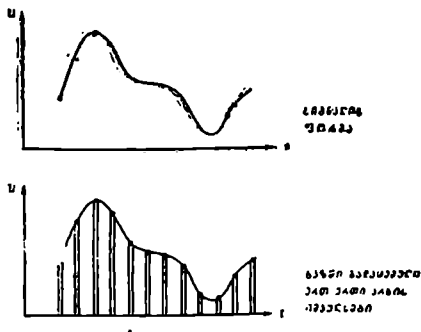
დროის განაწილების მეთოდისათვის დამახასიათებელია ის, რომ სახაზო ტრაქტი ცალკეული არხების დენების მიერ დაკავებულია არა ერთდროულად, როგორც ეს გვექონდა სიხშირული შემკიდროებისას, არამედ რიგრიგობით, დროის განაწილების მეთოდით. ხაზის შემკიდროება, სა-

ტელეფონო სიგნალების გადაცემისას ხორციელდება უწყვეტი სიგნალების დისკრეტული მნიშვნელობების გაზავებით. დისკრეტული მნიშვნელობა უნდა გადაიცეს ზუსტად გაანგარიშებული დროის შუალედებში. ამ მიზნისათვის გამოყენებულია განსაკუთრებული ელექტრული გამანაწილებელი, რომელიც სიგნალის წყაროს დროის მცირე მონაკვეთის მანძილზე პერიოდულად მიუერთდება (ნახ. 6.5).



ნახ. 6.5.

გადამცემ და მიმღებ მოწყობილობებში გამანაწილებლის საშუალებით ხდება ერთი აბონენტის სექტორიდან მეორეზე გადასვლა. ეს გადასვლები ხორციელდება დიდი სისწრაფით და ერთი და იმავე შემობრუნების კუთხით. თუ გადამცემ სადგურში სიგნალს რომელიმე მრუდის ფორმა აქვს (ნახ. 6.7, ა), ხაზში გადაეცემა ამ მრუდის მხოლოდ დისკრეტული იმპულსები (ნახ. 6.6, ბ). მიმღებ მოწყობილობაში დისკრეტული იმპულსების მეშვეობით აღდგება სიგნალის საწყისი ფორმა. ნახაზზე ნაჩვენებია ერთი არხის იმპულსებს შორის გადაიცემა სხვა არხებზე მიწოდებული სიგნალიდან ამოკრილი იმპულსები, რომლებიც მიმღებ სადგურში გამანაწი-



ნახ. 6.6.

ლებლის საშუალებით მოხდებიან შესაბამისი არხის საბოლოო მოწყობილობაში და გადაიქცევიან საწყის სიგნალებად. სხვადასხვა სახის კავშირისათვის გამოყენებული სინშირეების ზოლის განაწილება მოყვანილია 6.1 ცხრილში.

ლებლის საშუალებით მოხდებიან შესაბამისი არხის საბოლოო მოწყობილობაში და გადაიქცევიან საწყის სიგნალებად. სხვადასხვა სახის კავშირისათვის გამოყენებული სინშირეების ზოლის განაწილება მოყვანილია 6.1 ცხრილში.

	სიხშირეთა ზო- ლი, კჰც	არხთა რაოდენობა
ტელეგრაფირება (ჭვეტონალური)	$0 \div 0,25$	1
ფართომეწეებლობა	$0,05 \div 10$	1
ტელეგრაფირება (ტონალური)	$0,3 \div 3,4$	1
მაღალი სიხშირის ტელეფონირება	$3 \div 10^4$	2000
ტელეხელვა	$312 - 17 \cdot 10^3$	1

კავშირგაბმულობის ხაზები მკვიდროვდება მაღალი სიხშირის შემდეგი აპარატურით:

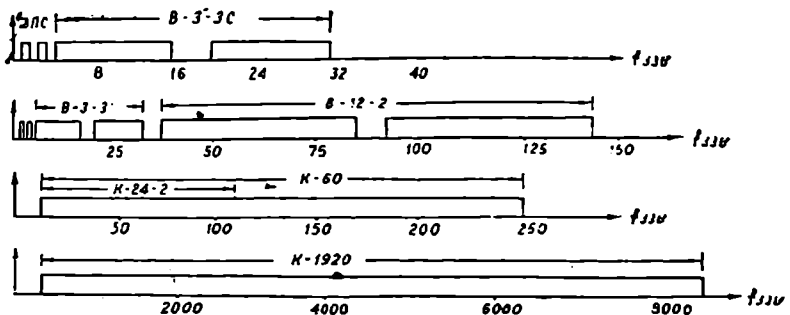
1. ფოლადის საჰაერო ხაზები — სასამსახურო კავშირის არხითა და B-3-3C აპარატურით, რომლის მეშვეობითაც $4 \div 31$ კჰც სიხშირის ზოლში მიიღება სამი მაღალი სიხშირის არხი;

2. სპილენძის საჰაერო ხაზები — სასამსახურო კავშირის არხით ($0,3 \div 3,4$ კჰც); სამარხიანი მაღალი სიხშირის B-3-3 აპარატურით ($4 \div 31$ კჰც) და თორმეტარხიანი მაღალი სიხშირის B-12-2 აპარატურით ($36 \div 143$ კჰც);

3. სიმეტრიული კაბელები ოცდაოთხარხიანი მაღალი სიხშირის K-24-2 აპარატურით ($12 \div 108$ კჰც) ან სამოცარხიანი მაღალი სიხშირის K-60 სისტემით ($12 \div 252$ კჰც);

4. კოაქსიალური კაბელების შესამკვიდროებლად გამოყენებულია K-1920 აპარატურა, რომელიც $312 \div 8524$ კჰც სიხშირის ზოლში იძლევა 1920 არხს.

ჩამოთვლილი აპარატურის სახაზო სიხშირეების სპექტრები მოცემულია 6.7 ნახაზზე.

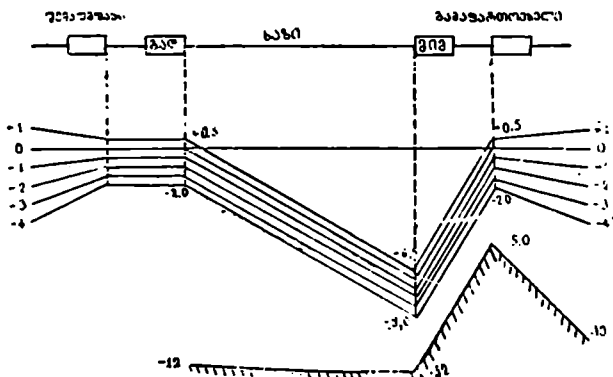


ნახ. 6.7.

6. 3. დინამიკური დიაპაზონი და მისი გარდაქმნა

ელექტროკავშირის ტექნიკაში წრედში ელექტრული სიგნალების გადაცემას ყოველთვის თან ახლავს ინდუქციური და თერმული ე. მ. ძალები, რომლებიც სატელეფონო გადაცემას ხელს უშლიან ხმაურით. მათი უარყოფითი მოქმედება განსაკუთრებით შესამჩნევია სუსტი სიდიდის სიგნალის ან პაუზის დროს. ხელის შემშლელი ხმაურისაგან თავის დასაღწევად აბონენტები იწყებენ ხმამაღლა ლაპარაკს, რაც იწვევს საერთო ჯგუფურ მოწყობილობათა (გამაძლიერებელთა) გადატვირთვას, მუშაობის ხარისხის გაუარესებასა და სიგნალის დამახინჯებას.

ამყამად ხმაურის შესამცირებლად ფართოდ გამოიყენება დინამიკური დიაპაზონის გარდამქმნელი, რომლის მუშაობის პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს. გადამცემ სადგურში დადგმულია მკუმშავი მოწყობილობა, რომელიც საკმარისი სიდიდით აძლიერებს სუსტი სიგნალების დონეს, ხოლო შედარებით ნაკლებად — მაღალი სიგნალების დონეს, რის შედეგადაც სიგნალების გაფანტული დონეები დაახლოებით ორჯერ იკუმშება (ნახ. 6.8).



ნახ. 6.8.

მიმღებ სადგურში დადგმული დიაპაზონის გამაძლიერებელი მკუმშავის შებრუნებულად მოქმედებს, რის შედეგადაც ხაზში გადაცემული სიგნალის მინიმალურ და ხმაურის დონეებს შორის საჭირო სხვაობა მიიღება

საკონტროლო კითხვები

1. სხვადასხვა არხების სიგნალების რომელი გაყოფის პრინციპია ცნობილი და რაში გამოიხატება იგი?
2. რა მაქსიმალური სიხშირე გადაიცემა კავშირგაბმულობის ხაზების მეშვეობით?
3. რაში გამოიხატება დინამიკური დიაპაზონის გარდაქმნა?

4. რა ძირითადი ელემენტები იღებს მონაწილეობას ცვლადი დენების სიხშირული გარდაქმნისას?

5. რა სიხშირის ზოლი უკავია ქვეტონალურ ტელეგრაფირებას?

6. რაში მდგომარეობს სიხშირული შემქვიდროების მეთოდი?

7. შეიძლება თუ არა ერთ წრედზე ერთდროულად იმუშაოს K-24-2 ა K-60 ტიპების მაღალი სიხშირის ტელეფონირების აპარატურებმა?

თ ა ვ ი VII

ერთგვაროვანი ხაზები

1. ძირითადი განმარტებანი

სატელეფონო და სატელეგრაფო კავშირის დასამყარებლად ფართოდ გამოიყენება ერთგვაროვანი საპაერო ან საკაბელო ხაზები. ასეთ ხაზებს ხშირად უწოდებენ განაწილებულპარამეტრებიან ხაზებს, ვინაიდან R, L, C და G პარამეტრები განაწილებულია წრედის მთელ სიგრძეზე.

თუ წრედის ელექტრული მონაცემები, გამტარის მასალა, განიკვეთი, გარემოს ტემპერატურა და სხვა წრედის მთელ სიგრძეზე უცვლელ სიდიდეებს წარჩენებენ, მაშინ მათ ეწოდებათ ერთგვაროვანი ხაზები.

პრაქტიკაში წრედი ერთგვაროვანია იმ შემთხვევაში, თუ ხაზის მთელ სიგრძეზე გამტარებს აქვს ერთნაირი დიამეტრი, დამზადებულია ერთი და იმავე მასალისაგან და გამტარებს შორის მანძილი არ იცვლება.

კონსტრუქციული თვალსაზრისით გენდება საპაერო და საკაბელო კავშირგაბმულობის ხაზები. საპაერო ხაზების შემთხვევაში მათი მრავალარხიანი სისტემით შემქვიდროება შეიძლება განვახორციელოთ .150 კვტ-მდე სიხშირეთა სპექტრში. საკაბელო ხაზები გამოიყენება უფრო ფართო სიხშირეთა ზოლის გადასაცემად. მაგალითად, კოაქსიალური კაბელის საშუალებით შეიძლება გადაიცეს სიგნალები, რომელთა სიხშირეთა სპექტრი 8,5 მგვტ-ია.

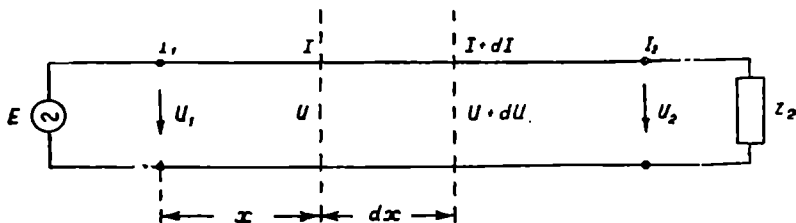
კავშირგაბმულობის ხაზები ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე რადიოკავშირის ტექნიკაში, როგორც ფიდერული მოწყობილობანი, ზემალაღი სიხშირეების ტექნიკაში კი — ერთგვაროვანი ხაზები, როგორც აპარატურის ელემენტები — ხაზის მოკლე მონაკვეთის სახით.

2. ერთგვაროვანი წრედის ძირითადი განმარტებანი

ელექტრომაგნიტური ენერგიის გავრცელების პროცესი ხაზის გასწვრივ ორი დამოუკიდებელი ცვლადი სიდიდის: სივრცობრივი კოორდინატისა x და დროის კოორდინატის t ფუნქციონალური დამოკიდებულებათა.

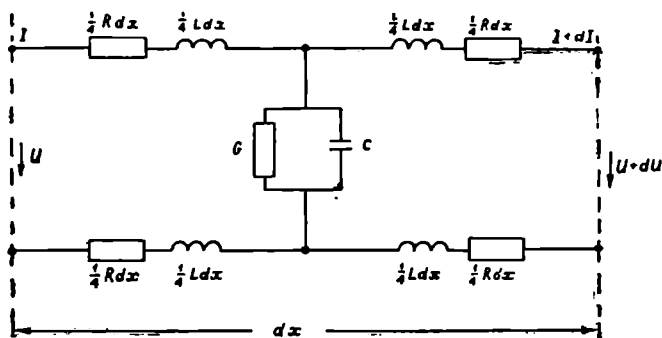
ამ შემთხვევაში სივრცობრივი კოორდინატი არის მანძილი რხევის წყაროს ჩართვის ადგილიდან.

განვიხილოთ ელექტრული წრედის dx მონაკვეთი, რომელიც წრედის დასაწყისიდან დაშორებულია x მანძილით (ნახ. 7.1). ეს მონაკვეთი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც აქტიური და რეაქტიული ელემენტების ერთობლიობა (ნახ. 7.2). dx მონაკვეთის შესასვლელში დენისა და ძაბ-



ნახ. 7.1.

ვის მნიშვნელობები აღვნიშნოთ I და U სიდიდეებით. ცხადია, ამ მონაკვეთის გამოსასვლელში დენისა და ძაბვის მნიშვნელობები შეიცვლება. ძაბვა შეიცვლება Rdx წინააღმდეგობასა და Ldx ინდუქციურობაზე ძაბვის ვარდნის სიდიდით, ხოლო დენი შემცირდება იმ სიდიდით, რომელიც Gdx იზოლაციის გამტარებლობასა და Cdx ტევადობაზე განშტოვდება.



ნახ. 7.2.

ამგვარად, დენისა და ძაბვის დანაკარგები შეიძლება განისაზღვროს შემდეგნაირად:

$$-du = I(R + j\omega L)dx, \quad (7.1)$$

$$-dI = U(G + j\omega C)dx. \quad (7.2)$$

საიდანაც

$$-\frac{dU}{dx} = (R + j\omega L)I, \quad (7.3)$$

$$-\frac{dI}{dx} = (G + j\omega C)U, \quad (7.4)$$

თუ (7.3.) გამოსახულების მეორე წარმოებულში (7.4) ტოლობიდან ჩავსვამთ $\frac{dI}{dx}$ -ის მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$\frac{d^2U}{dx^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C)U.$$

თუ აღვნიშნავთ

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}, \quad (7.5)$$

მაშინ

$$\frac{d^2U}{dx^2} - \gamma^2 U = 0. \quad (7.6)$$

მივიღეთ ერთგვაროვანი, მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლება, რომელსაც ეწოდება ძაბვის ტალღური განტოლება.

ანალოგიურად შეგვიძლია მივიღოთ დენის ტალღური განტოლებაც:

$$\frac{d^2I}{dx^2} - \gamma^2 I = 0. \quad (7.7)$$

(7.6) განტოლების ამოხსნით მივიღებთ:

$$U = C_1 e^{-\gamma x} + C_2 e^{\gamma x}; \quad (7.8)$$

ანალოგიურად, დენისათვის

$$I = \frac{\gamma}{R + j\omega L} (C_1 e^{-\gamma x} - C_2 e^{\gamma x}).$$

ვინაიდან

$$Z_0 = \frac{R + j\omega L}{\gamma} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}},$$

$$I = \frac{1}{Z_0} (C_1 e^{-\gamma x} - C_2 e^{\gamma x}). \quad (7.9)$$

ამგვარად, მივიღებთ განტოლებათა სისტემას:

$$\left. \begin{aligned} U &= C_1 e^{-\gamma x} + C_2 e^{\gamma x}, \\ I &= \frac{1}{Z_0} (C_1 e^{-\gamma x} - C_2 e^{\gamma x}). \end{aligned} \right\} \quad (7.10)$$

γ -ს ეწოდება ტალღის გავრცელების კოეფიციენტი, ხოლო Z_{δ} -ს — ხაზის ტალღური წინაღობა.

γ და Z_{δ} ხაზის ძირითადი ელექტრული მახასიათებლებია, ე. ი.

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta, \quad (7.11)$$

$$Z_{\delta} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_{\delta}| e^{-j\varphi_{\delta}}, \quad (7.12)$$

სადაც α არის ჩაქრობის კოეფიციენტი და გამოსახავს ტალღის ჩაქრობას ხაზის ერთეულ სიგრძეზე.

β — ფაზის კოეფიციენტი და გამოსახავს ფაზის ძვრას (ცვლას) ხაზის ერთეულ სიგრძეზე.

განვსაზღვროთ C_1 და C_2 ინტეგრირების მუდმივები.

თუ განვიხილავთ წრედის დასაწყისს, ე. ი. $x=0$, (7.10) განტოლებათა სისტემიდან მივიღებთ:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= C_1 + C_2, \\ Z_{\delta} I &= C_1 - C_2. \end{aligned} \right\} \text{აქედან} \quad \begin{aligned} C_1 &= \frac{U_1 + Z_{\delta} I_1}{2}, \\ C_2 &= \frac{U_1 - Z_{\delta} I_1}{2}. \end{aligned}$$

ამგვარად, მივიღებთ გადაცემათა განტოლებებს:

$$\begin{aligned} U &= \frac{U_1 + Z_{\delta} I_1}{2} e^{-\gamma x} + \frac{U_1 - Z_{\delta} I_1}{2} e^{\gamma x}, \\ I &= \frac{U_1 + Z_{\delta} I_1}{2Z_{\delta}} e^{-\gamma x} - \frac{U_1 - Z_{\delta} I_1}{2Z_{\delta}} e^{\gamma x}. \end{aligned} \quad (7.13)$$

დავუშვათ, ხაზის სიგრძე l -ის ტოლია, ე. ი. $x=l$, მაშინ გარდაქმნის შედეგად

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 \left(\frac{e^{\gamma l}}{2} + \frac{e^{-\gamma l}}{2} \right) - Z_{\delta} I_1 \left(\frac{e^{\gamma l}}{2} - \frac{e^{-\gamma l}}{2} \right), \\ I_2 &= -\frac{U_1}{Z_{\delta}} \left(\frac{e^{\gamma l}}{2} - \frac{e^{-\gamma l}}{2} \right) + I_1 \left(\frac{e^{\gamma l}}{2} + \frac{e^{-\gamma l}}{2} \right). \end{aligned}$$

მაჩვენებლიანი ფუნქციის შეცვლის შემდეგ ერთგვაროვანი ხაზის გადაცემის ძირითადი განტოლებებია:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_2 \operatorname{ch} \gamma l + Z_{\delta} I_2 \operatorname{sh} \gamma l, \\ I_1 &= \frac{I_2}{Z_{\delta}} \operatorname{sh} \gamma l + I_2 \operatorname{ch} \gamma l. \end{aligned} \right\} \quad (7.14)$$

განვიხილოთ (7.13) განტოლებების ფიზიკური არსი. ალენიშნოთ

$$\frac{U_1 + Z_{\delta} I_1}{2} = U_{\text{ა3}} \quad \text{და} \quad \frac{U_1 - Z_{\delta} I_1}{2} = U_{\text{ა5}},$$

$$\frac{U_1 + Z_{\delta} I_1}{2Z_{\delta}} = I_{\text{ა3}} \quad \text{და} \quad \frac{U_1 - Z_{\delta} I_1}{2Z_{\delta}} = I_{\text{ა5}},$$

მაშინ (7.13) განტოლებათა სისტემა დაიწერება:

$$U_1 = U_{\text{ა3}} e^{-\gamma x} + U_{\text{ა5}} e^{\gamma x}, \quad (7.15)$$

$$I = I_{\text{ა3}} e^{-\gamma x} + I_{\text{ა5}} e^{\gamma x}. \quad (7.16)$$

მიღებული განტოლებები შეიძლება გამოვიყენოთ ერთგვაროვანი ხაზის გასწვრივ დენისა და ძაბვის ტალღების გავრცელების პროცესის შესწავლად.

(7.15) განტოლებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ხაზის მოცემულ განიკვეთში ძაბვა შედგება ორი შემდგენისაგან — პირველი მცირდება ხაზის სიგრძის (x) გაზრდით, ხოლო მეორე — იზრდება.

მიღებულია, რომ ძაბვა U , რომელიც ვრცელდება ხაზის გასწვრივ გენერატორიდან მიმდებამდე, შედგება ძაბვის მვარდნი ტალღისა $U_{\text{ა3}} e^{-\gamma x}$ და ძაბვის ანარეკლი ტალღისაგან $U_{\text{ა5}} e^{\gamma x}$. მვარდნი ტალღა წარმოიქმნება ხაზის დასაწყისში მოდებული ძაბვის შედეგად, ხოლო ანარეკლი ტალღა — ხაზის ბოლოში ტალღის არეკვლის შედეგად.

იგივე შეიძლება ითქვას დენის შესახებაც.

7. 3. ერთგვაროვანი ხაზის ტალღური პარამეტრები

ერთგვაროვანი ხაზის ტალღური პარამეტრებია: ტალღური წინაღობა (Z_{δ}), გავრცელების კოეფიციენტი (γ), აგრეთვე მიღების კოეფიციენტი (α) და ფაზური მუდმივა (β).

ტალღურ პარამეტრებს ხშირად ხაზის მეორეულ პარამეტრებსაც უწოდებენ. ისინი დამოკიდებულია ხაზის პირველად პარამეტრებზე (R, L, C, G) და წარმოადგენენ სიხშირის ფუნქციას.

განვიხილოთ ტალღური პარამეტრების ფიზიკური არსი.

ა) ტალღური წინაღობა

ტალღური წინაღობის ფიზიკური არსი დაკავშირებულია ერთგვაროვან ხაზში გამრბენი ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელებასთან. თუ ხაზის ნებისმიერ x წერტილში დენისა და ძაბვის დაცემის ტალღას

აღენიშნავთ $U_{x\alpha_3}$ და $I_{x\alpha_3}$, ხოლო ანარეკლ ტალღებს შესაბამისად $U_{x\alpha_6}$ და $I_{x\alpha_6}$, მაშინ მათი მნიშვნელობები (7.13) განტოლებიდან შემდეგი სახით დაიწერება:

$$\left. \begin{aligned} U_{x\alpha_3} &= \frac{U_1 + Z_\delta I_1}{2} e^{-\gamma x}, \\ I_{x\alpha_3} &= \frac{U_1 + Z_\delta I_1}{2Z_\delta} e^{-\gamma x}, \end{aligned} \right\} I$$

$$\left. \begin{aligned} U_{x\alpha_6} &= \frac{U_1 - Z_\delta I_1}{2} e^{\gamma x}, \\ I_{x\alpha_6} &= \frac{U_1 - Z_\delta I_1}{2Z_\delta} e^{\gamma x}. \end{aligned} \right\} II$$

მიღებულ განტოლებათა პირველი (I) სისტემიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ტალღური წინალობა

$$Z_\delta = \frac{U_{x\alpha_3}}{I_{x\alpha_3}}.$$

ანალოგიურად, განტოლებათა მეორე (II) სისტემიდან:

$$Z_\delta = \frac{U_{x\alpha_6}}{I_{x\alpha_6}}.$$

მაშასადამე, ხაზის გასწვრივ მდარდნი და ანარეკლი ელექტრომაგნიტური ტალღები ხედებიან წინალობას, რომლებიც ტალღური წინალობის ტოლია.

თუ ხაზის ბოლოში განხორციელებულია შეთანხმებული ჩართვა ($Z_2 = Z_\delta$), მაშინ ანარეკლი ტალღები არ არსებობს და შესაბამისად, ხაზის ნებისმიერ წერტილში, ძაბვისა და დენის სიდიდეები განისაზღვრება მდარდნი ტალღით. ამ შემთხვევაში ხაზის შესასვლელი წინალობა მისი ტალღური წინალობის ტოლია.

ტალღური წინალობა კომპლექსური სიდიდეა და პირველადი პარამეტრების მეშვეობით განისაზღვრება:

$$Z_\delta = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_\delta| e^{j\varphi_\delta}.$$

როდესაც სიხშირე $\omega = 0$, ტალღური წინალობის ნამდვილი მნიშვნელობა

$$Z_\delta = \sqrt{\frac{R}{G}} \text{ ომს.}$$

მაღალი სიხშირის ფარგლებში $\omega L \gg R$ და $\omega C \gg G$, ამიტომ ტალღური წინალობის ნამდვილი მნიშვნელობა აგრეთვე

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ ომს.}$$

პრაქტიკაში გამოყენებული ხაზებისათვის პარამეტრებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

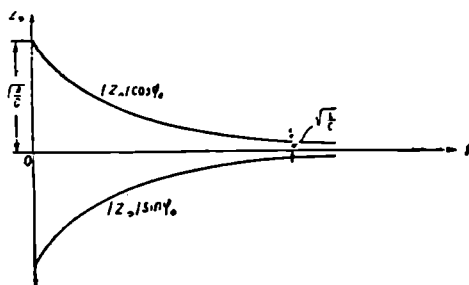
$$\frac{C}{G} > \frac{L}{R}.$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ $G + j\omega C$ კომპლექსური სიდიდის არგუმენტი აღემატება $R + j\omega L$ კომპლექსური სიდიდის არგუმენტს. მაშასადამე, ტალღური წინალობის არგუმენტი (φ_0) ყოველთვის უარყოფითი მნიშვნელობისაა, ე. ი. ნებისმიერ ერთგვაროვან ხაზში ტალღური წინალობა ტევადური ხასიათისაა.

საკაბელო ხაზებისათვის ტალღური წინალობის არგუმენტი (φ_0) მაქსიმალურ მნიშვნელობას ღებულობს ტონალური დიაპაზონის ქვედა ნაწილში, რომლის დროსაც $\omega C \gg G$, $R \gg \omega L$, ე. ი.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} \cdot e^{-j\frac{\pi}{4}}$$

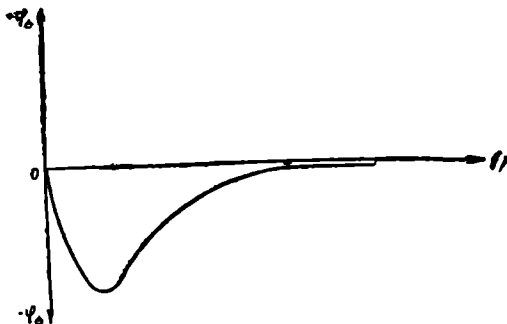
აქედან დავასკვნით, რომ $(\varphi_0)_{\text{მაქს}} = -45^\circ$ და $-45^\circ \leq \varphi_0 \leq 0$.



ნახ. 7.3.

7.3 ნახაზზე ნაჩვენებია საკაბელო ხაზებისათვის ტალღური წინალობის სიხშირული მახასიათებელი, 7.4 ნახაზზე კი — მისი არგუმენტის სიხშირული მახასიათებელი.

საკაბელო ხაზების ტალღური წინალობა ტონალური სიხშირის სპექტრში გამოიანგარიშება სრული ფორმულით.



ნახ. 7.4.

ბ) გავრცელების კოეფიციენტი და მისი შემდგენებო

განვიხილოთ შეთანხმებული ჩართვის შემთხვევა, როდესაც $Z_2 = Z_0$. ამ შემთხვევაში ერთგვაროვან ხაზში ანარეკლი ტალღები არ გვექნება; მასასადამე, ხაზის ბოლოში ძაბვისა და დენის მნიშვნელობები ტოლია:

$$U_2 = Z_0 I_2 \quad \text{ან} \quad I_2 = \frac{U_2}{Z_0}.$$

თუ U_2 და I_2 მნიშვნელობებს შევიტანთ ერთგვაროვანი ხაზის გადაცემის ძირითად განტოლებებში, მივიღებთ:

$$U_1 = U_2 ch \gamma l + Z_0 I_2 sh \gamma l = U_2 (ch \gamma l + sh \gamma l),$$

$$I_1 = \frac{U_2}{Z_0} sh \gamma l + I_2 ch \gamma l = I_2 (ch \gamma l + sh \gamma l).$$

თუ $ch \gamma l$ და $sh \gamma l$ შევცვლით მაჩვენებლიანი ფუნქციებით და შესაბამისად გარდავქმნით, გადაცემის განტოლებები შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_2 e^{\gamma l}, \\ I_1 &= I_2 e^{\gamma l}. \end{aligned} \right\} \quad (7.17)$$

გავრცელების კოეფიციენტის ნამრავლს ერთგვაროვანი ხაზის სიგრძეზე უწოდებენ გავრცელების მუდმივას:

$$\gamma l = \alpha l + j \beta l. \quad (7.18)$$

მისი ნამდვილი ნაწილი αl წარმოადგენს ხაზის საკუთარ მიღევას, ხოლო წარმოსახვითი ნაწილი βl — საკუთარი ფაზის ძვრას შეთანხმე-

ბულად ჩართული ხაზის შესასვლელსა და გამოსასვლელში ძაბვებსა და დენებს შორის.

ამგვარად,

$$\gamma I = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2}.$$

შეთანხმებულად ჩართული ხაზის საკუთარი მიღევა განისაზღვრება ფორმულით

$$\alpha I = \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \right| = \ln \left| \frac{I_1}{I_2} \right| = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} \right) \text{ ნებ.}$$

ნატურალური ლოგარითმის გამოყენების შემთხვევაში მიღევის განზომილების ერთეულად მიღებულია ნ ე ბ ე რ ი. ძაბვისა და დენის ხაზის ბოლოში $e=2,72$ -ჯერ, ხოლო სიმძლავრის $e^2=7,39$ -ჯერ შემცირება ერთი ნებერის ($\alpha I=1$ ნებ) ტოლია.

ათობითი ლოგარითმის გამოყენების შემთხვევაში მიღებულია მიღევის განზომილების ერთეული — დ ე ც ი ბ ე ლ ი. ძაბვისა და დენის ხა-

$$\alpha I = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = 20 \lg \left(\frac{I_1}{I_2} \right) = 10 \lg \left(\frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} \right) \text{ დეციბელი.}$$

ზის ბოლოში $1,22$ -ჯერ, ხოლო სიმძლავრის $1,26$ -ჯერ შემცირება ერთი დეციბელის ($\alpha I=1$ დბ) ტოლია. განზომილების ორივე ერთეული ფართოდ გამოიყენება კავშირგაბმულობის ტექნიკაში. მათ შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$1 \text{ ნებ} = 8,69 \text{ დბ,}$$

$$1 \text{ დბ} = 0,115 \text{ ნებ.}$$

7.4. ერთგვაროვანი ხაზის მუშა პარამეტრები

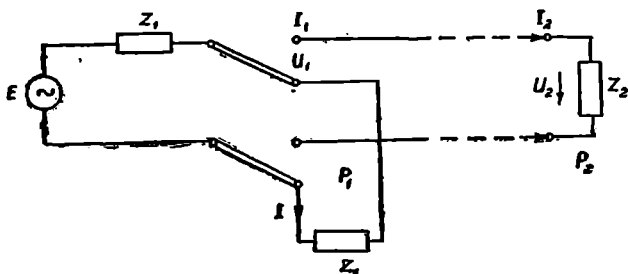
არაშეთანხმებულად დატვირთულ ერთგვაროვან ხაზებში დანაკარგების საზომად მიღებულია მუშა მიღევა, რომელიც წარმოადგენს P_1 და P_2 მოჩვენებითი სიმძლავრეების ფარდობის ნატურალური ლოგარითმის ნახევარს. P_1 მოჩვენებითი სიმძლავრეა, რომელსაც გენერატორი გადასცემს მისსავე შიგა წინაღობის ტოლ დატვირთვის წინაღობას და უშუალოდაა მიერთებული გენერატორის მომჭერებთან. P_2 მოჩვენებითი სიმძლავრეა, რომელიც გამოიყოფა დატვირთვის Z_2 წინაღობაზე, ამგვარად,

$$\alpha_a = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \text{ ნებ.} \quad (7.19)$$

მუშა მიღევა შეიძლება გამოვსახოთ დეციბელებით. ამ შემთხვევაში

$$a_3 = 10 \lg \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \text{ დბ.}$$

მუშა მიღევის განსაზღვრისათვის გამოიყენება 7.5 ნახაზზე წარმოდგენილი სქემა.



ნახ. 7.5.

P_1 სიმძლავრე განისაზღვრება

$$P_1 = I^2 Z_1.$$

ვინაიდან $I = \frac{E}{2Z_1}$, ამიტომ $P_1 = \frac{E^2}{4Z_1}$. (7.20)

P_2 სიმძლავრე განისაზღვრება

$$P_2 = I_2^2 Z_2. \quad (7.21)$$

ჩვენ თუ P_1 და P_2 მნიშვნელობებს შევიტანთ (7.19) გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$a_3 = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\frac{E^2}{4Z_1}}{I_2^2 Z_2} \right| = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1}{4Z_1 Z_2} \cdot \frac{E^2}{I_2^2} \right) = \ln \left(\frac{1}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \frac{E}{I_2} \right). \quad (7.22)$$

შეგვიჩვენებს $\frac{E I_2}{I}$ თარღობას ეწოდება გადაცემის წინალობა და განისაზღვრება

შემდეგი ტოლობით:

$$\frac{E}{I_2} = (Z_1 + Z_2) \operatorname{ch} \gamma L + \left(Z_0 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0} \right) \operatorname{sh} \gamma L. \quad (7.23)$$

ამ უკანასკნელის მნიშვნელობას, თუ შევიტანთ მუშა მილევის გამო-
სახულებაში, მივიღებთ:

$$a_2 = \alpha_1 \mp \ln \left| \frac{Z_1 + Z_0}{2\sqrt{Z_1 Z_0}} \right| + \ln \left| \frac{Z_2 + Z_0}{2\sqrt{Z_2 Z_0}} \right| + \ln |1 - \rho_1 \rho_2 \cdot e^{-2\gamma l}|, \quad (7.24)$$

სადაც

$$\rho_1 = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0},$$

$$\rho_2 = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0}.$$

როგორც ჩანს, მუშა მილევა შეიცავს ოთხ შემდგენს:

α_1 — საკუთარ მილევას;

$\ln \left| \frac{Z_1 + Z_0}{2\sqrt{Z_1 Z_0}} \right|$ — მილევას, რომელიც ხაზის შესასვლელში არაშეთან-
ხმებული ჩართვის შედეგია;

$\ln \left| \frac{Z_2 + Z_0}{2\sqrt{Z_2 Z_0}} \right|$ — მილევას, რომელიც ხაზის ბოლოში არაშეთანხმე-
ბული ჩართვის შედეგია;

$\ln |1 - \rho_1 \rho_2 \cdot e^{-2\gamma l}|$ — მილევას, რომელიც ხაზის შესასვლელსა და გა-
მოსასვლელში არაშეთანხმებული ჩართვების
ურთიერთმოქმედების შედეგია.

მუშა მილევის გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ხაზის შე-
სასვლელსა და გამოსასვლელში შეთანხმებული ჩართვის შემთხვევაში,
როდესაც $Z_1 = Z_0$ და $Z_2 = Z_0$, მუშა მილევა გაუტოლდება საკუთარ მი-
ლევას.

თუ არაშეთანხმებული ჩართვა განხორციელებულია ხაზის მხოლოდ.
შესასვლელში ან მხოლოდ გამოსასვლელში, მაშინ მილევა საკუთარი
მილევისა და მის შესასვლელში ან გამოსასვლელში შეუთანხმებლობის
შედეგად წარმოქმნილი მილევის ჯამის ტოლი იქნება. ამ დროს მეოთხე
და მეორე ანდა მეოთხე და მესამე შემდგენები ტოლი იქნებიან ნულის,
ვინაიდან ერთ-ერთი კოეფიციენტი P_1 ან P_2 გაუტოლდება ნულს.

საერთოდ მუშა მილევა შეიძლება საკუთარ მილევაზე მეტიც იყოს
და ნაკლებიც. ეს დამოკიდებულია Z_1 და Z_2 წინააღობების კომპლექსური
სიდიდეების თანათარღობაზე ტალღური წინააღობისადმი (Z_0).

დიდი შეუთანხმებლობის შემთხვევაში, როდესაც $|Z_1| \gg |Z_0|$
და $|Z_2| \gg |Z_0|$ ანდა $|Z_1| \ll |Z_0|$ და $|Z_2| \ll |Z_0|$, მუშა მილევა,
 Z_1 და Z_2 წინააღობების არგუმენტების მნიშვნელობათა მიუხედავად, სა-
კუთარ მილევაზე მეტი იქნება. თუ $|Z_1| = |Z_0|$ და $|Z_2| = |Z_0|$, ხოლო

მათი არგუმენტები ურთიერთსაწინააღმდეგოა, ე. ი. $\varphi_1 = -\varphi_2$ და $\varphi_2 = -\varphi_1$, მაშინ მუშა მიღევა მინიმალურია.

ზოგიერთ სახელმწიფოში ერთგვაროვან ხაზში სიმძლავრის დანაკარგებს შეტანილი მიღევით განსაზღვრავენ.

შეტანილი მიღევა $\frac{P_1}{P_2}$ ფარდობის ნატურალური ლოგარითმის ნახევრის ტოლია, სადაც P_1 დატვირთვის წინააღმდეგ გამოყოფილი სიმძლავრეა, როდესაც ის უშუალოდ მიერთებული გენერატორთან, ხოლო P_2 — დატვირთვაზე გამოყოფილი სიმძლავრე, როდესაც ის მიერთებულია ხაზის ბოლოში.

შეტანილი მიღევა გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$a_{\text{შ}} = a_{\text{გ}} - \ln \left| \frac{Z_1 + Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right|. \quad (7.25)$$

როგორც მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, მუშა მიღევასთან შედარებით, შეტანილი მიღევის დამატება მეხუთე წევრი, რომელიც გენერატორის შიგა და დატვირთვის წინააღმდეგაა შორის შეუთანხმებლობის შედეგია.

შეტანილი მიღევა გაუტოლდება საკუთარ მიღევას იმ შემთხვევაში, როდესაც ერთგვაროვანი ხაზი შეთანხმებულადაა ჩართული და დატვირთვის წინააღმდეგ გენერატორის შიგა წინააღმდეგის ტოლია.

შეტანილი მიღევა აგრეთვე გაუტოლდება მუშა მიღევას იმ პირობებში, როდესაც დატვირთვის წინააღმდეგ გენერატორის შიგა წინააღმდეგის ტოლი იქნება.

მუშა და შეტანილი მიღევების შედარებისას უნდა გვახსოვდეს, რომ მუშა მიღევის განსაზღვრისას მიღებულია დატვირთვის წინააღმდეგ გამოყოფილი სიმძლავრე, როდესაც ის გენერატორის შიგა წინააღმდეგის ტოლია, ხოლო შეტანილი მიღევის განსაზღვრის დროს — დატვირთვაზე გამოყოფილი სიმძლავრე, როდესაც ის მიერთებულია უშუალოდ გენერატორთან და არაა აუცილებელი მათი ტოლობა.

7. 5. ერთგვაროვანი ხაზის უსასაძლეელი წინააღმდეგობა

პრაქტიკაში ყოველთვის ცდილობენ განახორციელონ ერთგვაროვანი ხაზის შეთანხმებული ჩართვა დატვირთვის წინააღმდეგისთან, მაგრამ ასეთი ჩარევა ზოგჯერ შეუძლებელია. მაგალითად, ერთგვაროვანი ხაზის ტალღური წინააღმდეგობა, როგორც აღვნიშნეთ, სიხშირეთა დაბალ სპექტრში ტევადური ხასიათისაა, მაშინ, როდესაც აპარატურის შესასაძლეელ წინააღმდეგობას გააჩნია ინდუქციური ხასიათი.

სიხშირეთა მაღალ სპექტრში შეთანხმებული ჩართვა შესაძლებელია

ლია, ვინაიდან როგორც ტალღურ წინალობას, ისე აპარატურის შესასვლელ წინალობას გააჩნიათ აქტიური ხასიათი.

განვიხილოთ არაშეთანხმებული ჩართვა როგორც ერთგვაროვანი ხაზის დატვირთვის საერთო სახე.

არაშეთანხმებული დატვირთვის შედეგად ერთგვაროვან ხაზში წარმოიქმნება ანარეკლი ტალღა, რომელიც შეცვლის დენებსა და ძაბვებს შორის თანაფარდობას. ამ შემთხვევაში, როდესაც $Z_2 \neq Z_0$, შესასვლელი წინალობა

$$Z_{\text{ავს}} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2 \operatorname{ch}\gamma l + Z_0 I_2 \operatorname{sh}\gamma l}{\frac{U_2}{Z_0} \operatorname{sh}\gamma l + I_2 \operatorname{ch}\gamma l} \quad (7.26)$$

თუ ხაზის ბოლოში $U_2 = I_2 Z_2$, მაშინ შესასვლელი წინალობა

$$Z_{\text{ავს}} = Z_0 \frac{Z_2 \operatorname{ch}\gamma l + Z_0 \operatorname{sh}\gamma l}{Z_2 \operatorname{sh}\gamma l + Z_0 \operatorname{ch}\gamma l}. \quad (7.27)$$

თუ $\operatorname{ch}\gamma l$ და $\operatorname{sh}\gamma l$ შეცვლით მაჩვენებლიანი ფუნქციებით და გარდაექმნით, მივიღებთ:

$$Z_{\text{ავს}} = Z_0 \frac{1 + p \cdot e^{-2\gamma l}}{1 - p \cdot e^{-2\gamma l}}, \quad (7.28)$$

სადაც p არის ერთგვაროვანი ხაზის ბოლოში არეკვლის კოეფიციენტი და განისაზღვრება:

$$p = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0}.$$

შესასვლელი წინალობის მიღებული გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ ის იცვლება ტალღური წინალობის განსხვავებულად. მხოლოდ შეთანხმებული ჩართვის შემთხვევაში, როდესაც $Z_2 = Z_0$ არეკვლის კოეფიციენტი $p = 0$ და $Z_{\text{ავს}} = Z_0$.

გრძელი ხაზის შემთხვევაში, როდესაც მისი მიღევა $\alpha l \geq 1,5$ ნებ, შესასვლელი წინალობა უახლოვდება და უტოლდება მის ტალღურ წინალობას.

შესასვლელი წინალობა შეიძლება სხვანაირად ასე გამოვსახოთ:

$$Z_{\text{ავს}} = Z_0 \operatorname{th}(\gamma l + n) \quad (7.29)$$

ანდა

$$Z_{\text{ავს}} = Z_0 \operatorname{th}(x + jy). \quad (7.30)$$

7.6 ნახაზზე ნაჩვენებია შესასვლელი წინალობის დამოკიდებულება სიხშირეზე.

(7.26) გამოსახულების გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ერთგვაროვანი ხაზის მოკლედ ჩართვის შესასვლელი წინალობა. ამ შემთხვე-

ვაში, დატვირთვის წინალობა $Z_2=0$, მაშინ ხაზის ბოლოში ძაბვა U_2 ტოლი იქნება ნულის ($U_2=0$) და მოკლედ ჩართვის წინალობა განისაზღვრება:

$$Z_{2\text{ფ}} = Z_0 \operatorname{th} \gamma l. \quad (7.31)$$

უქმი სვლის რეჟიმის დროს კი $Z_2 = \infty$, $I_2 = 0$ და

$$Z_{2\text{ფ}} = \frac{Z_0}{\operatorname{th} \gamma l}. \quad (7.32)$$

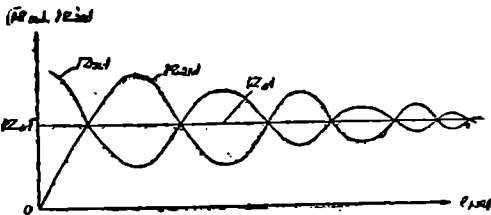
მიღებული გამოსახულებები საშუალებას იძლევა გამოვარკვეოთ უქმი სვლისა და მოკლედ ჩართვის რეჟიმების დროს

ნახ. 7.6.

ერთგვაროვანი ხაზის შესასვლელი წინალობების ცვლილების ხასიათი.

7.7 ნახაზზე ნაჩვენებია ამ წინალობათა დამოკიდებულება ხაზის სიგრძეზე.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, წინალობათა მნიშვნელობები ტალღისებურად იცვლება ტალღური წინალობის გარშემო. ხაზის მცირე სიგრძის შემთხვევაში მოკლედ ჩართვისა და უქმი სვლის წინალობები ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავდებიან.



9.7

ნახ. 7.7.

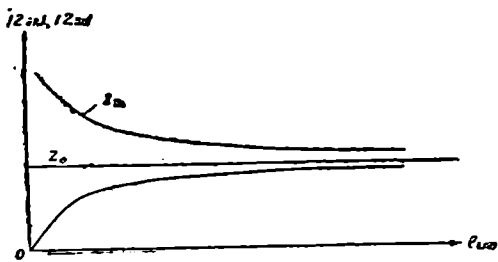
ხაზის საკმაოდ სიგრძის შემთხვევაში კი (მისი საკუთარი ჩაქრობა $\alpha l > 1,5$ ნეა) $Z_{2\text{ფ}}$ და $Z_{2\text{ფ}}$ წინალობები პრაქტიკულად ტალღურ წინალობას უტოლდებიან.

ტალღური წინალობა განისაზღვრება

ტალღური წინალობა განისაზღვრება

$$Z_0 = \sqrt{Z_{2\text{ფ}} \cdot Z_{2\text{ფ}}}. \quad (7.33)$$

დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, უქმი სვლისა და მოკლედ ჩართვის რეჟიმის შემთხვევაში, ხაზის შე-



ნახ. 7.8.

სასველი წინალობის განსაზღვრას მუდმივი დენისათვის. როდესაც $\omega = 0$, წინალობები

$$Z_{\Sigma} = Z_{\delta} \frac{1}{thal}, \quad (7.34)$$

$$Z_{\Sigma} = Z_{\delta} thal. \quad (7.35)$$

7.8 ნახაზზე აღნიშნულ Z_{Σ} და Z_{Σ} წინალობების გრაფიკზე ერთგვაროვანი ხაზის შესასველი წინალობა მუდმივი დენისათვის იცვლება ხაზის სიგრძის პროპორციულად.

7. 6. ელექტრული პროცესები კავშირგაბმულობის ხაზებში

კავშირგაბმულობის ხაზებში ცვლადი ველის მოქმედების შედეგად ხდება ელექტრომაგნიტური ენერჯის გადაწოდება გამტარის განივკვეთში. ამ დროს მიმდინარეობს შემდეგი პროცესები: ზედაპირული ეფექტი, სიხლოვის ეფექტი — წრედის პარამეტრებზე გარემომცველი ლითონის მასის ზემოქმედება (მეზობელი გამტარების, ეკრანის, ჯავშნის).

სიმეტრიულ კაბელებში ერთდროულად მოქმედებს ყველა ზემო-ჩამოთვლილი ფაქტორი.

ენიდან საპერო ხაზებში გამტარები ერთმანეთისაგან შედარებით შორიშორსაა განლაგებული და მათ გარე ლითონის გარსი არ გააჩნიათ, ამიტომ მათში წარმოიქმნება მხოლოდ ზედაპირული ეფექტი.

კოაქსიალურ კაბელებში, რომლებიც წარმოადგენენ დახურულ სისტემას და არ გააჩნიათ გარე ველი, გარემომცველი ლითონის მასის მოქმედება მხედველობაში არ მიიღება.

ელექტრომაგნიტური ველის გადაწოდება გამტარის განივკვეთში კავშირგაბმულობის ხაზის პარამეტრების შეცვლას იწვევს. ამგვარად, აქტიური წინალობა R და ტევადობა C იზრდება, ხოლო ინდუქტიურობა მცირდება. ყველაზე შესამჩნევად იზრდება წრედის წინალობა:

$$R = R_0 + R_{\Sigma} + R_{\Sigma} + R_{\Sigma},$$

სადაც R_0 არის გამტარის წინალობა მუდმივი დენისთვის;

R_{Σ} — ზედაპირული ეფექტით გამოწვეული წინალობა;

R_{Σ} — სიხლოვის ეფექტით გამოწვეული წინალობა;

R_{Σ} — გარემომცველ ლითონში დანაკარგებით გამოწვეული წინალობა.

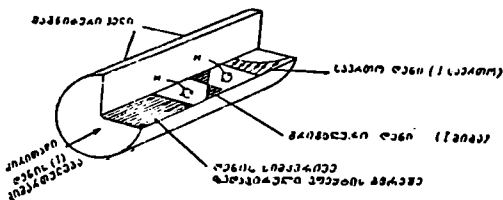
ა) ზედაპირული ეფექტი

ზედაპირული ეფექტი გამოწვეულია ხაზში გამავალი ელექტრომაგნიტური ტალღის მოქმედებით. შიგა მაგნიტური ველის H ძალწირები (ნახ. 7.9) გადაეკეთს რა გამტარის განივკვეთს, წარმოქმნის მათში გრი-

გალურ დენს $I_{\text{გა}}$, რომლის მიმართულება განისაზღვრება ლენცის კანონით. გრიგალურ დენებს გამტარის ცენტრში გააჩნიათ ძირითადი I დენის საწინააღმდეგო მიმართულება, ხოლო გამტარის ზედაპირზე მათი მიმართულებები ერთმანეთს ემთხვევა.

გრიგალური და ძირითადი დენების ურთიერთშემოქმედებით გამტარის განივკვეთში ხდება დენის გადანაწილება, რის შემდეგაც საერთო

დენის სიმკვრივე გამტარის ზედაპირისაკენ იზრდება. ამ მოვლენას უწოდებენ ზედაპირულ ეფექტს. დენის სიხშირის, მაგნიტური განვლადობის, გამტარობისა და გამტარის დიამეტრის გადიდებით ზედაპირული ეფექტიც



ნახ. 7.9.

იზრდება. საკმაოდ მაღალ სიხშირეზე დენი გადის მხოლოდ გამტარის ზედაპირზე, რაც ამცირებს გამტარის სასარგებლო კვეთს და ზრდის აქტიურ წინაღობას.

გრიგალური დენების კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით

$$K = \sqrt{\omega \mu \sigma}, \quad (7.36)$$

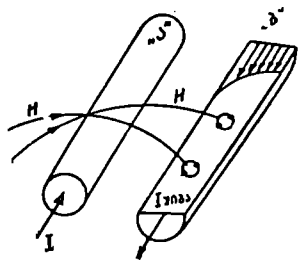
სადაც ω არის კუთხური სიხშირე;

μ — მაგნიტური განვლადობა;

σ — ფანტის კოეფიციენტი.

ბ) სიახლოვის ეფექტი

სიახლოვის ეფექტი დაკავშირებულია გარე არეების ურთიერთმოქმედებასთან. როგორც 7.10 ნახაზიდან ჩანს, „ა“ გამტარის გარე მაგნიტური ველი H გადაკვეთს რა „ბ“ გამტარს, მასში აღიძვრება ეგრეთ წოდებული გრიგალური დენები. „ბ“ გამტარის ზედაპირზე, რომელიც მიმართულია „ა“ გამტარისაკენ, გრიგალური დენი ემთხვევა ძირითადი დენის მიმართულებას ($I + I_{\text{გა}}$), გამტარის საწინააღმდეგო ზედაპირზე კი ის შემხვედრად არის მიმართული ($I - I_{\text{გა}}$). დენის ანალოგიური გადანაწილება ხდება „ა“ გამტარშიც.



ნახ. 7.10.

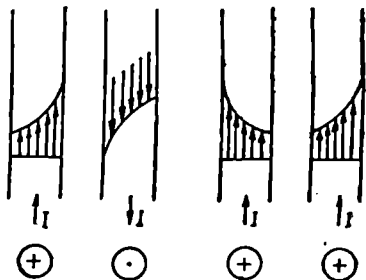
გრიგალური და ძირითადი დენების ურთიერთმოქმედებით საერთო დენის სიმკვრივე ერთმანეთისაკენ მიმართული „ა“ და „ბ“ გამტარების

ზედაპირზე იზრდება, ხოლო დაშორებულ ზედაპირებზე — მცირდება. ამ მოვლენას („ა“ და „ბ“ გამტარებში დენების „დაახლოებას“) სიახლოვის ეფექტი ეწოდება.

გამტარის განივკვეთში ცვლადი დენის არათანაბარი განაწილება აქტიური წინააღობის გაზრდას იწვევს.

სიახლოვის ეფექტი დამოკიდებულია გამტარების მაგნიტურ განვლადობაზე, განივკვეთსა და მათ შორის მანძილზე. გამტარების ერთმანეთთან დაახლოება კვადრატულად ზრდის სიახლოვის ეფექტის მოქმედებას.

თუ ორ მეზობელ გამტარში დენები ერთი მიმართულებით გადის, მაშინ მათ განივკვეთში სიახლოვის ეფექტის შედეგად დენის სიმკვრივის გადანაწილება იწვევს „ა“ და „ბ“ გამტარების ურთიერთდაშორებულ ზედაპირებზე დენის სიმკვრივის ზრდას.

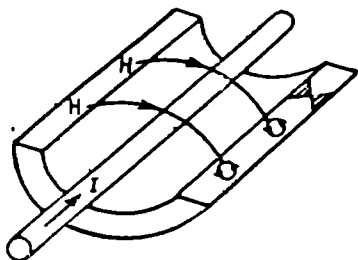


ნახ. 7.11.

7.11 ნახაზზე ნაჩვენებია სიმეტრიული წრედის „ა“ და „ბ“ გამტარებში დენების სიმკვრივის განაწილება, როდესაც მათ ურთიერთსაწინააღმდეგო და ერთნაირი მიმართულება აქვთ.

გ) გარემომცველი ლითონის მასის მოქმედება

გარემომცველი ლითონის მასა ირეკლავს ელექტრომაგნიტურ ველს, რომელიც მოქმედებს წრედის პარამეტრებზე.



ნახ. 7.12.

მაგნიტური ველი H , რომელიც იქმნება წრედის გამტარებში დენის გავლის შედეგად, აინდუქციებს გრიგალურ დენს კაბელის მეზობელ ძარღვებში, გარემომცველ ეკრანში, ლითონის გარსში, ჯავშანში და ა. შ. (ნახ. 7.12).

გრიგალური დენი ახურებს კაბელის ლითონის ნაწილს და ჰქმნის ენერგიის დამატებით სითბურ დანაკარგებს. გარდა

ამისა, ლითონის მასაში აღძრული გრიგალური დენი ჰქმნის უკუქმედების ველს, რომელიც მოქმედებს გამტარებზე და ცვლის მის პარამეტრებს.

ამოცანა 7.1. განვსაზღვროთ 60 კმ სიგრძის ერთგვაროვანი ხაზის საკუთარი (ტალღური) მილევა, თუ მის შესასვლელში ძაბვა $U_1=0,775$ ვ. ხოლო ბოლოში $U_2=0,234$ ვ.

ამოხსნა. საკუთარი (ტალღური) მილევა ნეპერებით გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$\alpha l = \ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right) = \ln\frac{0,775}{0,234} = \ln 3,22 = 1,2 \text{ ნეპ.}$$

ხოლო დეციბელებით

$$\alpha l = 1,2 \cdot 8,69 = 10,4 \text{ დბ.}$$

ამოცანა 7.2. რამდენჯერ შემცირდება ძაბვა, თუ ტალღური მილევა უდრის $\alpha l = 2,5$ ნეპ?

ამოხსნა. $\ln\frac{U_1}{U_2} = \alpha l = 2,5.$

ამგვარად,

$$\left(\frac{U_1}{U_2}\right) = e^{2,5}.$$

3.5 ცხრილიდან განვსაზღვრავეთ, რომ $e^{2,5} = 12,18$, ე. ი. U_2 ძაბვა U_1 -ზე ნაკლებია 12,18-ჯერ.

ამოცანა 7.3. განვსაზღვროთ კაბელის ტალღური წინაღობა $f=108$ კჰც-ზე, რომლის ძარღვთა დიამეტრი $d=1,2$ მმ-ია და პირველად პარამეტრებს აღნიშნულ სიხშირეზე გააჩნია შემდეგი მნიშვნელობები:

$$R = 66 \text{ ომ/კმ;}$$

$$L = 0,784 \cdot 10^{-3} \text{ ჰმ/კმ;}$$

$$C = 23,5 \cdot 10^{-9} \text{ ფ/კმ; } G = 14 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ.}$$

ამოხსნა: 1. $R + j\omega L = 66 + j6,28 \cdot 1,08 \cdot 10^5 \cdot 0,784 \cdot 10^{-3} = 66 + j532 = 536 \cdot e^{j82^\circ 56'}$

2. $G + j\omega C = 14 \cdot 10^{-6} + j6,28 \cdot 1,08 \cdot 10^6 \cdot 23,5 \cdot 10^{-9} = 1,595 \cdot 10^{-2} \cdot e^{j89^\circ 57'}$

$$3. Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{536 \cdot e^{j82^\circ, 55'}}{1,595 \cdot 10^{-2} e^{j89^\circ, 57'}}} = \sqrt{33600 e^{-j17^\circ, 2'}} = 183 e^{-j13^\circ 31'}$$

ამოცანა 7.4. გამოვიანგარიშოთ მილვის კოეფიციენტი (α) და ფაზის კოეფიციენტი (β) სატელეფონო კაბელისათვის 800 ჰც სიხშირის დროს, თუ: კაბელის ძარღვის დიამეტრი $d=0,5$ მმ;

$$R + j\omega L = 190e^{j1^{\circ}4'}$$

$$G + j\omega C = 190,7 \cdot 10^{-6} e^{j89^{\circ}51'}$$

ამოხსნა, $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} =$
 $= \sqrt{190e^{j1^{\circ}4'} \cdot 190,710^{-6} \cdot e^{j89^{\circ}51'}} = 10^{-3} \sqrt{36200e^{j90^{\circ}55'}} =$
 $= 0,1902e^{j45^{\circ}27'} = 0,1335 + j0,1353.$

ამგვარად, $\alpha = 0,1335$ ნებ/კმ $= 133 \frac{\text{მნებ}}{\text{კმ}}$; $\beta = 0,1353$ რად/კმ.

ამოცანა 7.5. განვსაზღვროთ კაბელისათვის Z_{δ} , α და β პარამეტრები, როდესაც სიხშირე $f=60$ კჰც; კაბელის ძარღვის დიამეტრი $d=1,2$ მმ;

$$R = 51,6 \text{ ომ/კმ}; L = 0,807 \cdot 10^{-3} \text{ ჰნ/კმ}.$$

$$C = 26,5 \cdot 10^{-9} \text{ ფ/კმ}; G = 90,8 \cdot 10^{-6} \text{ სიმ/კმ}.$$

ამოხსნა: 1. წრელის ტალღური წინაღობა მაღალი სიხშირეებისთვის

$$Z_{\delta} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,807 \cdot 10^{-3}}{26,5 \cdot 10^{-9}}} = 10^3 \sqrt{0,0305} = 174,5 \text{ ომს};$$

2. მილვის კოეფიციენტი

$$\alpha = \frac{R}{2Z_{\delta}} + \frac{G}{2} Z_{\delta} = \frac{51,6}{2 \cdot 174,5} + \frac{90,8 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 174,5 =$$

$$= 0,1477 + 0,00793 = 0,1556 \text{ ნებ/კმ};$$

3. ფაზის კოეფიციენტი

$$\beta = \omega \sqrt{LC} = 2\pi 60000 \sqrt{0,807 \cdot 10^{-3} \cdot 26,5 \cdot 10^{-9}} = 1,74 \text{ რად/კმ}.$$

საკონტროლო კითხვები

1. როგორ წრედს ეწოდება ერთგვაროვანი?
2. როგორ გამოისახება ერთგვაროვანი ხაზის გადაცემის განტოლებები?
3. რას ეწოდება გავრცელების კოეფიციენტი?
4. როგორ განისაზღვრება ერთგვაროვანი ხაზის საკუთარი მილევა?
5. ერთგვაროვანი ხაზის ტალღური წინალობის ფაზა რატომაა უარყოფითი?
6. როგორ იცვლება ერთგვაროვანი ხაზის ტალღური წინალობის მოდული 0-დან ∞-მდე სიხშირეთა სპექტრში?
7. რისთვისაა საჭირო წრედის ტალღური წინალობის ცოდნა?
8. რა ერთეულებში იზომება ხაზის მილევა?
9. შედარეთ ერთმანეთს საკუთარი, მუშა და შეტანილი მილევები.
10. როგორ იცვლება ერთგვაროვანი ხაზის შესასვლელი წინალობა სიხშირისა და ხაზის სიგრძის ცვლის დროს?
11. რა არის ზედაპირული ეფექტი და რაზეა იგი დამოკიდებული?
12. განმარტეთ სიახლოვის ეფექტი.

თ ა ვ ი VIII

კავშირგაბმულობის საჰაერო ხაზები

8. 1. ზოგადი ცნებები კავშირგაბმულობის ხაზების შესახებ

ელექტროდენიანი კავშირგაბმულობის სისტემაში ერთ-ერთი ძირითადი ელემენტთაგანია კავშირგაბმულობის ხაზები, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება სხვადასხვა კავშირის ელექტრული სიგნალების მანძილზე გადაცემა. კავშირის ტრაქტში, ე. ი. სასადგურო და სახაზო მოწყობილობათა ერთობლიობაში, ხაზები ის ელემენტია, რომელიც უმეტესად განიცდის სხვადასხვანაირ დაზიანებას; მათი მუშაობის უნარიანობასა და სიმძლავრის ხარისხზე დიდად არის დამოკიდებული კავშირის მუშაობის მდგრადობა და ხარისხი; ამასთანავე ეს ელემენტი ყველაზე ძვირი და ძორძობია. კავშირგაბმულობის ხაზების წრედების შემკიდროება მაღალი სიხშირის აპარატურით უზრუნველყოფს მათ ეფექტურ გამოყენებას და მნიშვნელოვნად აფართოებს მყარი ელექტროსადენიანი კავშირის ორგანიზაციას, აგრეთვე ზრდის მოთხოვნილებებს ხაზების კონსტრუქციის, სამშენებლო, სარემონტო სამუშაოთა ხარისხისა და მათი საექსპლოატაციო მომსახურებისადმი, რადგან ერთი შემკიდროებულ წრედის წყობიდან გამოსვლა გამოიწვევს ერთდროულად რამდენიმე კავშირის დარღვევას. ამის გარდა, მაღალი სიხშირის აპარატურა გადიდებულ მოთხოვნილებებს უყენებს შემკიდროებულ წრედების ელექტრულ მახასიათებლებს, მათ შეყვანილობების მოწყობას სადგურებსა

და გამძლიერებელი პუნქტების შენობებში. კავშირგაბმულობის ხაზები აგების ხერხის მიხედვით იყოფა საჰაერო და საკაბელო ხაზებად.

საჰაერო ხაზები შედგება სპეციალურ საყრდენებზე ჩამოკიდებული ლითონის სადენებისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან და აგრეთვე მიწისადმი იზოლირებულია იზოლატორების საშუალებით. ორ საყრდენთა შორის მანძილს ეწოდება მალი.

საჰაერო ხაზების ნაკლოვანებებია: ა) ელექტრული თვისებების დამოკიდებულება მეტეოროლოგიური პირობებისაგან (წვიმის, ქექა-ქუხილის, ლიპყინულისა და კირხლისაგან), ბ) სტიქიური უბედურების დროს სრული დანგრევის შესაძლებლობა (ქარბუქი, ხანძარი, წყალდიდობა და სხვ.).

კავშირგაბმულობის საკაბელო ხაზები შედგება დამცავ (ლითონის, პლასტმასის) გარსში მოთავსებული ერთმანეთისაგან იზოლირებული დიდი რაოდენობის (2-დან 2 400-მდე) ლითონის ძარღვებისაგან.

კაბელები გაყავთ სპეციალურ კანალიზაციაში, გრუნტში ან ჩამოკიდებენ სპეციალურ საყრდენებზე. არსებობს აგრეთვე წყალქვეშა კაბელებიც ზღვის ან დიდ მდინარეებში ფსკერზე ჩასაწყობად.

კავშირგაბმულობის საკაბელო ხაზის ელექტრული თვისებები ნაკლებად არის დამოკიდებული მეტეოროლოგიურ პირობებზე; სტიქიური უბედურების დროს ასეთი ხაზები ნაკლებად ზიანდება, არ მოითხოვს ხშირ რემონტს, რის გამოც მათი შენახვა, საჰაერო ხაზების შენახვასთან შედარებით, იაფია.

8. 2. საჰაერო ხაზოვანი გამომყვანავალი მასალები

ს ა ყ რ დ ე ნ ე ბ ი განიჩქევა მათი ხაზზე განლაგების, კონსტრუქციისა და დანიშნულების მიხედვით. ისინი ხაზზე განლაგების მიხედვით შემდეგი სახისაა: შუალედური, რომელზედაც სადენების მიმართულება არ იცვლება; კუთხის, რომელზედაც სადენების მიმართულება იცვლება; ბოლო საყრდენები, რომლებზედაც თავდება ან იწყება საჰაერო ხაზი.

საყრდენებს კონსტრუქციის მიხედვით ასხვავებენ: ცალმაგი, ოთული და გამძლიერებული; დანიშნულების მიხედვით კი: ნახევრად ანკერული, ანკერული, საკაბელო, გადასასვლელი, ქარდამცავი და საკონტროლო.

საჰაერო ხაზებისათვის, როგორც ცალმაგი, აგრეთვე ოთული საყრდენები მზადდება რკინა-ბეტონისა და ხისაგან. საყრდენების სიგრძის მოსამატებლად და ხის ბოძების სამსახურის ვადის გასაღივებლად ისინი იდგმება რკინა-ბეტონისა და ხის საყრდენებზე. რკინა-ბეტონის საყრდენებს ხის საყრდენებთან შედარებით მთელი რიგი უპირატესობა აქვს — მათი სამსახურის ვადა დაახლოებით ოთხჯერ მეტია; არ მოითხოვს სისტემატურ მოვლას. მათი გამოყენება მერქნის დიდ ეკონომიას იძლევა. რკინა-ბეტონის საყრდენების დასამზადებლად გამოიყენება

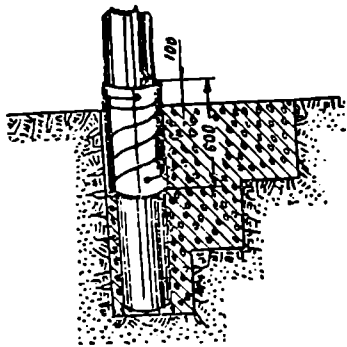
პორტლანდცემენტი, არმატურის ფოლადი, ქვიშა, ხრეში (ან ლორღი) და წყალი. რკინა-ბეტონის საყრდენი მზადდება ვიბრაციის ან ცენტრი-ფუგული მეთოდით.

ხის საყრდენები მზადდება რბილწიწვიანის, ფიკვის, კედრის, ნაძვისა და სოჭისაგან. ჩამოკიდებული სადენების რაოდენობის, მალის სიგრძისა და ხაზის გაბარიტების მიხედვით ბოძები იდგმება 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,5 და 8,5 სიგრძის, სხვადასხვაგვარი გზებისა და მდინარეების ხაზებით გადაკვეთის ადგილებში კი — უფრო მაღალი ბოძები — 11 და 13 მ სიგრძის ან რამდენიმე ძელის შეუღლებით გაკეთებული ანძები.

ხის საყრდენები დროთა განმავლობაში ლპება და ამისათვის მათ ულენტენ ანტისეპტიკებით: კრეოზიტით, მაზუთით, ურალიტით ან ტრი-ოლიტის ნარევით, ნატრიუმფტორით და სხვ.

გაყლენთვის ხერხი ძირითადად ორია: ქარხნული და ბანდაყური.

ქარხნული გაყლენთვის დროს საყრდენებს ამრობენ ჰაერზე, შემდეგ



ნახ. 8.1.

კი ათავსებენ სპეციალურ პერმეტულ ცილინდრებში, რომელშიც ატმოსფერულ წნევას ზრდიან 2—4 ატმოსფერომდე. 10 წუთის შემდეგ ცილინდრს წნევით აესებენ 90°C გახურებული საყლენთი მასით (კრეოზიტით, მაზუთით) და წნევას გააღიღებენ 8 ატმოსფერომდე. წნევის მეშვეობით ანტისეპტიკი ხის ფორებში შედის და ულენტავს მას.

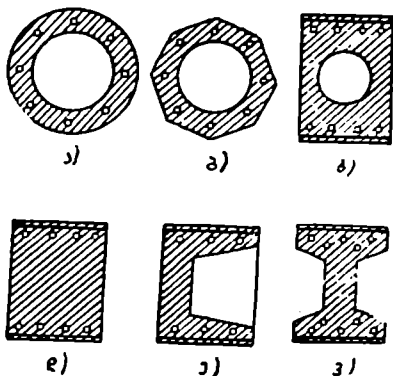
ბანდაყური ხერხის დროს ურალიტის ფხვნილს ხსნიან წყალში, წაუსვამენ ბოძის იმ ადგილს, სადაც მიწის ზედაპირია და ზევიდან შემოახვევენ ტოლს (ნახ. 8.1).

ქარხნული წესით გაყლენთილი ბოძების მუშაობის ხანგრძლივობა 20—25 წელია, ხოლო ბანდაყური მეთოდით — 10—12 წელი.

თანამედროვე საჰაერო ხაზების საყრდენებში ფართოდ გამოიყენება რკინა-ბეტონის მისაბრჭენები, რომლებიც ბოძის ქვედა ნაწილზე ფოლადის მავთულის რამდენიმე ხვიის საშუალებით მაგრდება. რკინა-ბეტონის საყრდენები მზადდება ფოლადის არმატურისა და ბეტონის ნარევისაგან. რკინა-ბეტონის საყრდენების განივკვეთის კრილი მოცემულია 8.2 ნახაზზე. ბოძის ქვედა მავთულების დაშორება მიწის ზედაპირიდან 2,5+3 მ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. მავთულის ჩაკიდულობის ისარი დამოკიდებულია საყრდენებს შორის მანძილზე და $0,35 \div 1,3$ მ-ია

($+40^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურის დროს). საყრდენის ნიდაგში ჩამაგრების სიმაღლე 1,1—1,9 მეტრია;

როგორც წესი, სადენებად გამოყენებულია შიშველი მავთული, რომელსაც აქვს საკმარისი მექანიკური გამძლეობა, მცირე ელექტრული წინაღობა და კოროზიისადმი მდგრადობა. ამის შესაბამისად საპაერო ხაზებზე გამოყენებულია 2,5; 3,0; 3,5 და 4,0 მმ დიამეტრის სპილენძის, ფოლადისა და $3\div 4$ მმ დიამეტრის ბიმეტალური სადენები. ამ სადენებიდან სპილენძს ყველაზე დიდი უპირატესობა აქვს, მაგრამ სიძვირის გამო ის ძირითადად კავშირგაბმულობის მაგისტრალურ ხაზებზეა გამოყენებული.



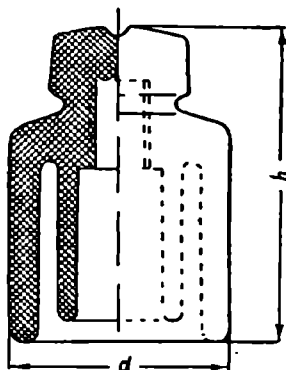
ნახ. 8.2.

ფოლადის სადენი გაცილებით იაფია, მაგრამ მისი დიდი კუთრი წინაღობის გამო (განსაკუთრებით მაღალ სიხშირეებზე), მხოლოდ 30 კპკ სიხშირემდე გამოიყენება. ამის გარდა, ფოლადის სადენებს ძალიან აზიანებს კოროზია, რითაც მცირდება მისი მუშაობის ხანგრძლივობა. კოროზიისაგან დასაცავად ფოლადის მავთულის ზედაპირი თუთიის თხელი შრიდ იფარება. უფრო კარგ შედეგს იძლევა ფოლადის მავთულის ზედაპირის $0,15\div 0,4$ მმ სპილენძის შრით დაფარვა. ასეთი სადენები დიდი მექანიკური გამძლეობით ხასიათდება, ხოლო ელექტრული მახასიათებლებით სპილენძის გამტარებს უახლოვდება.

სადენების დამაგრება საპაერო ხაზებზე და მათი როგორც ერთმანეთისაგან, ისე მიწისაგან იზოლირება ხორციელდება იზოლატორების მეშვეობით. იზოლატორები უნდა ხასიათდებოდეს დიდი კუთრი წინაღობით, საკმაო მექანიკური სიმტკიცით და ატმოსფერული პირობების შეცვლისას არ უნდა ზიანდებოდეს. იზოლატორებს ამზადებენ ძირითადად ფაიფურისაგან. იყენებენ ТФ-2, ТФ-3 და ТФ-4 ტიპის იზოლატორებს (ნახ. 8.3). ისინი ფორმით ერთნაირია და ერთმანეთისაგან მხოლოდ ზომებით განსხვავდება. არსებობს აგრეთვე მინის იზოლატორები, რომლებსაც შედარებით ნაკლები იზოლაციური წინაღობა აქვთ. მათი ზომები ფაიფურის იზოლატორების მსგავსია (ТС-2, ТС-3 და ТС-4), იზოლატორ-

რები ТФ-2 და TC-2 გამოიყენება ფოლადის 4 მმ და საქალაქთაშორისო სპილენძის სადენების დასაკიდებლად, ხოლო ТФ-3 და TC-3 ფოლადის 3 მმ მავთულების ТФ-4 და TC-4 იზოლატორები—ქალაქის სატელეფონო ხაზების დასაკიდებლად.

კაკეები, ტრავერსები და მანქვლები საპაერო ხაზის არმატურის ის ნაწილებია, რომლებითაც საყრდენებზე იზოლატორებს ამაგრებენ. კაკეები ფოლადის მრგვალი ნაგლინიდან მზადდება და ოთხი ტიპისაა

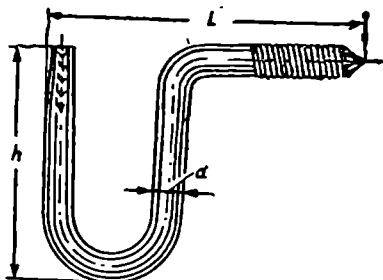


ნახ. 8.3.

КН-20, КН-18, КН-16 და КН-12 (ნახ. 8.4). ციფრებით აღნიშნულია ნაგლინის დიამეტრი მმ. КН-20 და КН-18 კაკეები განკუთვნილია ТФ-2 იზოლატორების დასამაგრებლად. ამათგან КН-20 აყენებენ კუთხის საყრდენებზე. ხაზის დიდი კუთხით მიბრუნების დროს და განაპირა საყრდენებზე. КН-16 კაკეებს იყენებენ ТФ-3 იზოლატორების, ხოლო КН-12 — ТФ-4 იზოლატორების დასამაგრებლად.

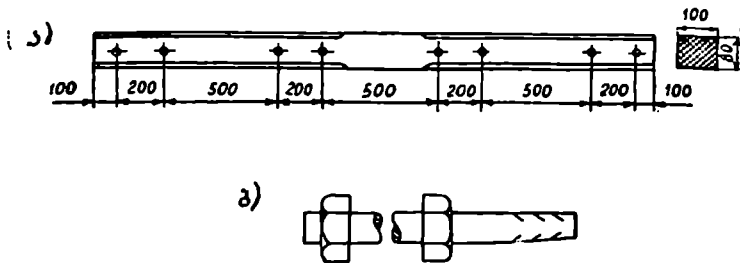
თუ ხაზზე ბევრი სადენია ან რამდენიმე წრედი 150 კვკ-მდეა შემჭიდროებული, სადენების ჩამოსაკიდებლად იყენებენ ტრავერსებს.

ტრავერსები მზადდება ხის ან კუთხოვანი ფოლადისაგან. საქალაქთაშორისო ხაზებზე ძირითადად გამოიყენება რეამანქვლიანი ხის ტრავერსები (ნახ. 8.5, ა), რომლებსაც უღენტავენ ანტისეპტიკური მასალით. ტრავერსები საყრდენებზე მაგრდება ჰანჯიკებისა და ფოლადის სამაგრებით. შემდეგ ტრავერსებზე ამაგრებენ ფოლადის მანქვლებს (ნახ. 8.5, ბ), რომლის მარკებიც ერთმანეთისაგან მხოლოდ ზომებით განსხვავდება (ШТ-2D) ШТ-3D, ШТ-4D—ხის და ШТ-2C, ШТ-3C, ШТ-4C—ფოლადის ტრავერსებისათვის). რიცხვები 2, 3, 4 გვიჩვენებს, მანქვლები რომელი ტიპის იზოლატორებისათვისაა განკუთვნილი.



ნახ. 8.4.

საკონტროლო საყრდენებისა და სადენების გადაჯვარდინებისას გამოიყენება სპეციალური კრონშტიინები და ჩამოკიდებული კაკეები.



ნახ. 8.5.

8. 8. ტექნიკური მოთხოვნები საპაერო ხაზებისადმი

კავშირგაბმულობის ხაზებს მექანიკური გამძლეობა უნდა ჰქონდეს ქარის მოქმედების საწინააღმდეგოდ და უნდა უძლებდეს როგორც მავთულების საკუთარ წონას, ისე ზამთარში მავთულებზე ლიპყინულას შრით გამოწვეულ სიმძიმეს.

მექანიკური სიმტკიცის მიხედვით საპაერო ხაზები იყოფა ოთხ ტიპადა შემსუბუქებული („O“), ნორმალური („H“), გაძლიერებული („Y“) და განსაკუთრებით გაძლიერებული („OY“). ამ ტიპების შერჩევა ხორციელდება შემდეგნაირად: „O“ ტიპის ხაზი შენდება იმ რაიონებში, სადაც ლიპყინულას შრის სისქე 5 მმ-მდეა; „H“ ტიპის ხაზი კი—იმ ტერიტორიაზე, სადაც ლიპყინულას შრის სისქე 10 მმ-მდეა; „Y“ ტიპის ხაზი—ძლიერ ლიპყინულიან რაიონებში, სადაც შრის სისქე 15 მმ აღწევს, ხოლო „OY“ ტიპის ხაზი—განსაკუთრებულად ინტენსიურ რაიონებში, ლიპყინულას შრის 20 მმ სისქის დროს.

ხაზის ყოველი ტიპი განისაზღვრება 1 კილომეტრზე განლაგებულ საყრდენების რიცხვით, მაქსიმალურად დასაშვები სადენების დაკიდების რიცხვით და დამატებით გაძლიერებული საყრდენების რაოდენობით (ცხრ. 8.1).

ცხრილი 8.1

ხაზის ტიპი	საყრდენების რაოდენობა 1 კმ	მალის სიგრძე, მ	მაქსიმალურად დასაშვებ საყრდენთა რიცხვი	გაძლიერებულ (ნახევარ) საყრდენთა რიცხვი
O	20	50,0	40	—
H	20	50,0	32	1 საყრდენი 3 კმ
Y	25	40,0	24	1 საყრდენი 2 კმ
OY	28	35,7	24	1 საყრდენი 1 კმ

საპერო ხაზის ელექტრული მახასიათებლები მთლიანად დამოკიდებულია წრედის ელექტრულ პარამეტრებსა და ამინდის მეტეოროლოგიურ პირობებზე. ამინდის პირობები გავლენას ახდენს როგორც აქტიურ, ისე იზოლაციის წინააღმდეგობაზე.

ელექტრული ვაანგარიშების დროს მიღებულია შემდეგი ამინდის პირობები: 1. „მშრალი ზაფხული“; 2. „ნესტიანი ზაფხული“ ($t = +20^{\circ}\text{C}$); 3. „ჭირხლიანობა“; 4. „ლიპყინულიანობა“.

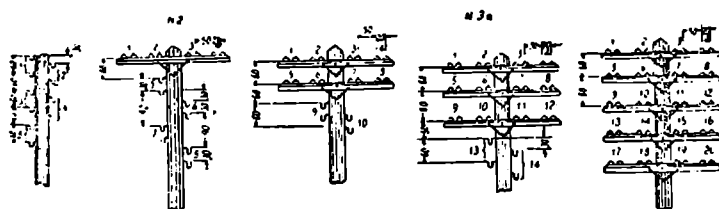
ჭირხლიანობა და ლიპყინულიანობის დროს სადენების ირგვლივ ჩნდება ჭირხლის ან ლიპყინულას შრე, რომლის დიამეტრი დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორებზე და ზოგიერთ შემთხვევაში 35 მმ აღწევს, რაც ძალიან საშიშია სადენების დაწყვეტის თვალსაზრისით.

8. 4. კავშირბაგაშუალოების ხაზების კონსტრუქცია და კლასიფიკაცია

საპერო ხაზებზე სადენების ჩამოკიდების ხერხს განსაზღვრავს ხაზის პროფილი (ნახ. 8.6), რომელიც შეიძლება იყოს კაკვიანი, ტრავერსიანი ან შერეული.

საქალაქთაშორისო ხაზებისათვის ტრავერსებს შორის მანძილი 60 სმ-ია, ხოლო ერთი წრედის სადენებს შორის — 20 სმ, მეზობელი წრედები კი ერთმანეთისაგან 50 სმ-ითაა დაშორებული. ეს პროფილი ასე აღინიშნება: T-60-20-50. კაკვებს შორის მანძილი 60 ან 40 სმ უნდა იყოს, რასაც შეესაბამება პროფილი: K-60 ან K-40.

კაკვები საყრდენებზე განლაგებულია ჰიდრაულად, ხოლო წრედის ნუმერაციის ათვლა ხდება ზევიდან ქვევით, ტრავერსებზე კი — მარცხნიდან მარჯვნივ და ზევიდან ქვევით, მთავარი სადგურის მხრიდან.

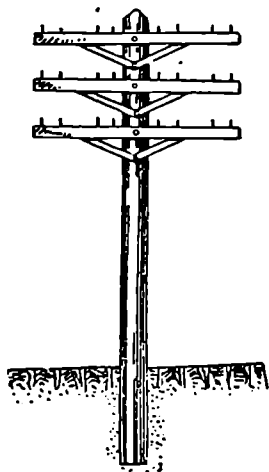


ნახ. 8.6.

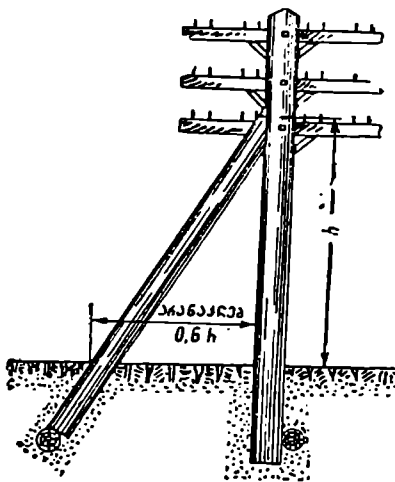
რკინა-ბეტონის საყრდენების დროს მხოლოდ ტრავერსიანი პროფილი გამოყენებული. შუალედური საყრდენები განკუთვნილია ხაზის წრფივ ნაწილზე დასაყენებლად და დამატებით დამაგრებას არ საჭიროებს (ნახ. 8.7).

კუთხურ საყრდენებს დგამენ ისეთ ადგილას, სადაც ხაზი იცვლის

თავის მიმართულებას და საყრდენებზე მოდებული ორი შუალედური სადენები ერთმანეთს კი არ აწონასწორებს, არამედ ცდილობს საყრდენის კუთხის შიგნით წაქცევას. ამ ძალის გასასწორებლად კუთხის საყრდენს ამაგრებენ ან მისაბჯენით, ან საკიმარით (ნახ. 8.8). საკიმარს ამზადებენ ფოლადის ხაზის 4 მმ ნაღენისაგან, რისთვისაც ერთ გრეხილში



ნახ. 8.7.



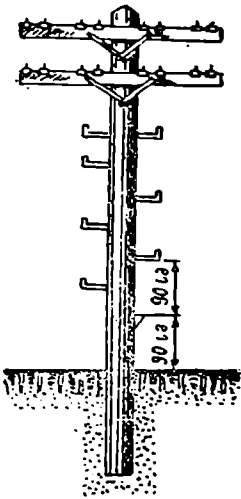
ნახ. 8.8.

აერთიანებენ 3—6 სადენს. საკიმარის ერთი ბოლო მაგრდება საყრდენის ირგვლივ, ხოლო მეორე — მიწაში დამაგრებულ ღუზაზე.

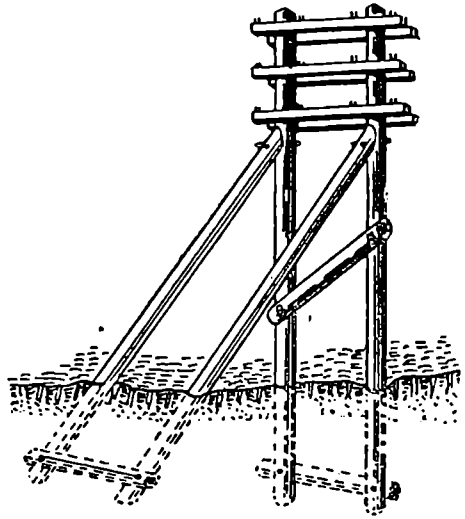
ხაზის დამატებითი გაძლიერებისათვის ლიპყინულიანობის რაიონებში, 1—3 კილომეტრის მანძილზე, ხაზში ჩართულია ნახევარანკერული საყრდენი, რომელიც შედგება ორი ბოძისა და ორი მისაბრჯენისაგან (ნახ. 8.10).

საკონტროლო საყრდენების მეშვეობით ხდება წრედების გასინჯვა-გაზომვა, რომელთაც განლაგებენ ყოველ 20—25 კმ და ისეთივე კონსტრუქციისაა, როგორც შუალედური საყრდენები, იმ განსხვავებით, რომ ტრავერსები ორმაგი აქვთ; კავიანი პროფილის დროს კი იყენებენ სპეციალურ კრონშტეინებს, რათა შესაძლებელ იქნეს ხაზის გადახსნა და მავთულების იზოლირება. საყრდენს ასახველად სპეციალური საფეხურები აქვს (ნახ. 8.9). ბოლო ან შემყვანი საყრდენი სადენების ჩამოკიდების მხრიდან საკიროებს დამატებით დამაგრებას. ის შეიძლება იყოს როგორც ერთმაგი (8.11), ისე ნახევარანკერული.

საპაერო ხაზები თავის დანიშნულების მიხედვით სამ კლასად იყოფა;

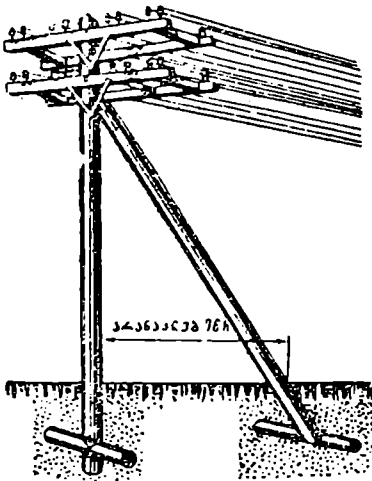


ნახ. 8.9.



ნახ. 8.10.

პირველი კლასის ხაზებს მიეკუთვნება საკავშირო მნიშვნელობის ხაზები, რომლებიც უერთმანეთს აკავშირებენ რესპუბლიკების დედაქალაქებს, საოლქო ცენტრებს, აგრეთვე საოლქო ცენტრებს; მეორე კლასის კი — ხაზები, რომლებიც აკავშირებენ საოლქო ცენტრებსა და რაიონის ცენტრებს, აგრეთვე ორ რაიონულ ცენტრს; მესამე კლასს — ყველა შიგასარაიონო სასოფლო-სატელეფონო ქსლის ხაზები.



ნახ. 8.11.

პირველი კლასის ხაზებისათვის იყენებენ სპილენძისა და ბიმეტალის სადენებს, მისი სამ- და თორმეტარხიანი მაღალი სიხშირის ტელეფონირების აპარატურით შემკიდროებისათვის, ხოლო მეორე და მესამე კლასის ხაზებში ძირითადად გამოიყენება ფოლადის სა-

დენები (შესაძლებელია პირველი და მეორე კლასის ხაზების გაერთიანება).

ამოცანა 8.1. რამდენი და რამდენნაირი საყრდენი დასჭირდება 50 კმ საჰაერო ხაზის აშენებას, თუ ხაზი შენდება ლიპყინულიან რაიონში, სადაც ლიპყინულას შრის სისქე 10 მმ-ია?

ამოხსნა. მოცემულ რაიონში საჭიროა გაშენდეს „ყ“ ტიპის ხაზი, რომლის საყრდენებს შორის მანძილი ერთ კილომეტრზე 25 ცალია (ცხრ. 8.1). საყრდენების საერთო რაოდენობა

$$N = \frac{50000}{25} = 2000 \text{ ცალს,}$$

ნახევარანკერული საყრდენი

$$N_{\text{ნა}} = \frac{50}{2} = 25 \text{ ცალს,}$$

საკონტროლო საყრდენი დასჭირდება $N_{\text{სკ}} = \frac{50}{20} = 3$ ცალი.

საკონტროლო კითხვები

1. რას უდრის წრედის სადენებს შორის მანძილი?
2. ჩამოთვალეთ საჰაერო ხაზების პროფილი?
3. რისთვისაა საჭირო კუთხის საყრდენების დამატებითი გამაგრება?
4. რატომ აყენებენ ნახევარანკერულ საყრდენებს?
5. რა მასალისაგან ამზადებენ საყრდენებს?
6. რომელი მასალის სადენებია ყველაზე კარგი და რატომ?

თ ა ვ ი 1 X

კავშირგაბმულობის საკახელო საზევი

0. 1. კახელების კონსტრუქცია

კახელები კონსტრუქციის მიხედვით ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა სიმეტრიულ და კოაქსიალურ კახელებად. სიმეტრიული კახელების წყვილები შედგება ორი კონსტრუქციული და ელექტრული (პარამეტრების მიხედვით) ერთნაირი იზოლირებული გამტარისაგან, ხოლო კოაქსიალური წყვილის ერთი სადენი წარმოადგენს ცილინდრულ მილს, რომლის ცენტრში მოთავსებულია მისგან იზოლირებული მეორე სადენი.

დენგამტარ სადენებად იყენებენ სპილენძს, ვინაიდან მას აქვს მცირე

წინალობა, საკმაო მექანიკური გამძლეობა და კარგი მოქნილობა; იშვიათად იყენებენ ალუმინის ძარღვებსაც.

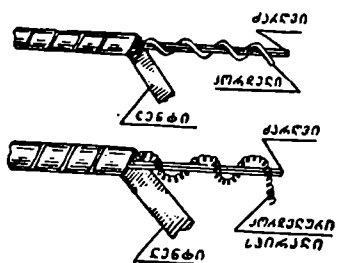
სპილენძის ძარღვების კუთრი წინალობა $\rho = 0,0175 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{კმ}}$, ხოლო ალუმინის — $\rho = 0,0295 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{კმ}}$.

საქალაქთაშორისო კაბელებში იყენებენ ისეთ ძარღვებს, რომელთა დიამეტრი 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3 და 1,4 მმ-ია, ყველაზე მეტად კი — 0,9 და 1,2 მმ ძარღვებს.

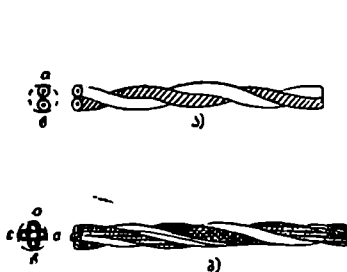
კაბელის ელექტრულ პარამეტრებზე დიდ გავლენას ახდენს მასალები, რომლებიც კაბელის ძარღვების საიზოლაციოდ გამოიყენება. იზოლირებულ მასალებს უნდა ჰქონდეს მაღალი და სტაბილური დიელექტრიკული მახასიათებლები, მექანიკური სიმტკიცე, კარგი მოქნილობა და მცირეფორიანობა.

საქალაქთაშორისო კაბელებში ფართოდ გამოიყენება სინთეზური მასალები — პოლიქლოროვინილი, პოლისტიროლი, სტიროფლექსი, პოლიეთილენი, დიელექტრიკები, აგრეთვე კერამიკული მასალები და ფაიფური, რომლებიც საყელურის სახით მზადდება. იყენებენ საკაბელო ქალაღსაც და რეზინსაც.

კაბელში იზოლაცია როგორც კორდელისა და ლენტის, ასევე მთლიანი სახითაა. კორდელი შედარებით მსხვილი ძაფია, რომელიც გამტარზე დახვეულია ღია სპირალისებურად. ის დაფარულია საიზოლაციო ლენტით, რომელიც დახვეულია კორდელის საწინააღმდეგო მიმართულებით (ნახ. 9.1). კორდელის იზოლაციით დაფარული დენგამტარი ძარღვები, წრე-



ნახ. 9.1.



ნახ. 9.2.

დების ურთიერთგავლენის თავიდან ასაცილებლად, ერთიანდება ელემენტარულ ჯგუფებად. ისინი კონსტრუქციის მიხედვით შემდეგი სახისაა:

1. წყვილი გრეხილი შედგება ორი იზოლირებული ძარღვისაგან,

რომლებიც ერთმანეთთან დაგრეხილია თანხარი ბიჭით. გრეხადობის ბიჭი მეზობელი წყვილებისათვის სხვადასხვაა, რაც საჭიროა ამ წყვილებს შორის ურთიერთგავლენის შესამცირებლად. წყვილებს უკეთდებათ ეკრანისებრი საფარი კალიტირებული ლენტის სახით. ასეთი წყვილები, როგორც წესი, გამოყენებულია რადიომამუწყებლობის გადასაცემად (ნახ. 9.2, ა);

2. ვარსკვლავისებრი გრეხილი შედგება ოთხი იზოლირებული ძარ ლვისაგან, რომლებიც ერთდაა დაგრეხილი და განიკვეთში ქმნიან კვადრატს. ამ გრეხილში პირველი ძირითადი წყვილია *a* და *b*, ხოლო მეორე წყვილი — *c* და *d* ძარღვები. ეს გრეხილი უფრო მრგვალი ფორმისაა და კომპაქტური, ვიდრე წყვილი გრეხილი. ვარსკვლავისებრი ოთხეულს ხშირად უკეთდება ეკრანი ან ძლიერდება ქალაღდის რამდენიმე შრის შემოხვევით, რათა გადიდდეს იზოლაციის ელექტრული სიმტკიცე (ნახ. 9.2, ბ);

3. ორმაგი წყვილი გრეხილისათვის — ორი წინასწარ დაგრეხილი წყვილი ერთმანეთთან ქმნის გრეხილს 150—300 მმ ბიჭით;

4. ორმაგი ვარსკვლავისებრი გრეხილი — ორი ვარსკვლავისებრი ოთხეული ერთმანეთთან დაგრეხილია 200—400 მმ ბიჭით.

გადაგრეხილი ელემენტარული ჯგუფები ერთიანდება ერთ საკაბელო გრეხილში, შემოეხვევა ქალაღდის ან სტიროფლექსის ორი შრე და ზემოდან შემოიწნეხება ტყვიის გარსით.

ტყვიის გარსი წყვილებს იცავს ტენისაგან და უზრუნველყოფს მათ შორის მთელ სიგრძეზე ერთნაირი მანძილის შენარჩუნებას.

თუ კაბელი განკუთვნილია სპეციალურ საკაბელო კანალიზაციაში ჩასადებად ან საყრდენებზე ჩამოსაკიდებლად, მისი ტყვიის გარსით დაცვა ითვლება საკმარისად და მათ შიშველი ან ტყვიის გარსიანი ეწოდება, ხოლო, თუ კაბელი უშუალოდ ნიადაგში უნდა ჩაიდოს, მაშინ ის ზევიდან აჯარება დამატებითი დამცავი ჯავშნით, რომელსაც ჰქმნის ორი ჯავშან-ლენტა. იქ, სადაც კაბელზე მოქმედებს გამჭიმავი ძალა (მაგალითად — მდინარეზე გადატარებისას), ჯავშნად გამოყენებულია მრგვალი ან ფიგურული მავთულები.

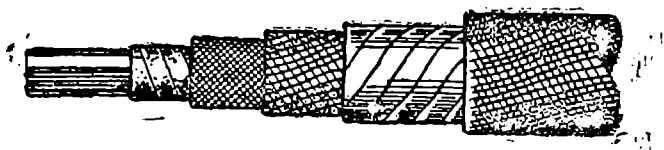
კაბელის დაჯავშნის დროს ტყვიის გარსზე თანამიმდევრობით ახვევენ წებოვან კომპაუნდს, გაყენითილ ქალაღდის ფენას, 1,5—2,5 მმ სისქე ჯუტის შრეს, ჯავშანლენტას ან ჯავშანმავთულს, ჯავშნის ზევით კი შემოახვევენ. გაყენითილ ჯუტს ან სელს.

კომპაუნდის შრე და გაყენითილი ქალაღდი კაბელის გარსს იცავს ნიადაგის კოროზიისაგან. ჯავშნის ქვეშ მოთავსებული ჯუტის შრე ასრულებს ბალიშის როლს, ხოლო ჯავშანზედა შრე ჯავშანს იცავს კოროზიისაგან (ნახ. 9.3). ვინაიდან საზღვაო კაბელი განკუთვნილია დიდ სიღრმეზე ჩასაწყობად, მისი მექანიკური დაცვისათვის იყენებენ ორმაგ ჯავ-

შანს, რომელიც მრგვალი მავთულებიდან შედგება და კაბელს დიდ სიმტკიცეს აძლევს გავლევაზე.

კოაქსიალური კაბელი კონსტრუქციულად თხელკედლიანი ლითონის მილია, რომლის ცენტრში მოთავსებულია მილისაგან იზოლირებული მეორე გამტარი. ლითონის მილი და გამტარი ერთმანეთთან ადგენენ კოაქსიალურ წრედს.

შიგა გამტარი მზადდება დაქიმული სპილენძისაგან ან იშვიათად ალუმინისაგან. ზოგიერთ კაბელში მოქნილობის გაზრდისათვის გამოი-



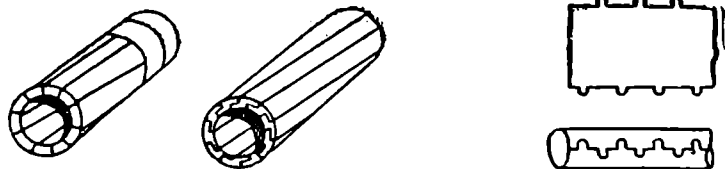
ნახ. 9.3.

ყენება მრავალძარღვიანი ცენტრალური გამტარი დაგრეხილი ცალკეული წვრილი მავთულისაგან (7;19 ან 37). მაგისტრალურ კაბელებში გავრცელებულია საყელურიანი იზოლაცია, რომლის დროსაც პოლიეთილენის პოლისტიროლის ან სხვა დიელექტრიკის საყელურები ასხმულია შიგა მავთულზე ერთმანეთისაგან 20÷60 მმ დაშორებით (ნახ. 9.4).



ნახ. 9.4.

არსებობს აგრეთვე სხვა კონსტრუქციები. შიგა გამტარი იფარება საიზოლაციო მასით, ხოლო გარე გამტარად გამოყენებულია მთლიანი მილი ერთი ნაწიბურით ან შედგენილია სპილენძის ლენტებისაგან (ნახ. 9.5). ხელის შემშლელი გავლენის თავიდან ასაცილებლად კოაქსიალური წყვილები ეკრანირდება ფოლადის ლენტებით.



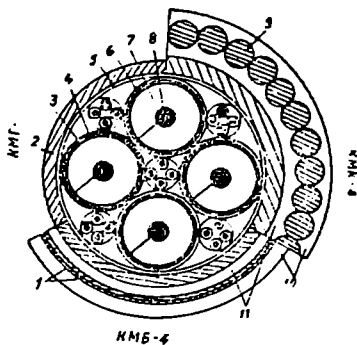
ნახ. 9.5.

ერთმანეთთან შეჯგუფებული კოაქსიალური წყვილების შუალედებში ხშირად ათავსებენ სიმეტრიულ წყვილებს ან ოთხეულებს. კაბელს გარედან ახვევენ იზოლაციას, ფოლადის ჯავშანსა და დამცავ საფარს.

9. 6 ნახაზზე მოცემულია მაგისტრალური კოაქსიალური კაბელის კრილი.

საბჭოთა კავშირში იყენებენ KM ტიპის მაგისტრალურ კაბელებსა და MKTII ტიპის მცირეგაბარიტიან კაბელებს.

KM-ის ტიპის კოაქსიალური წყვილის შიგა გამტარის დიამეტრი 2,52 მმ-ია, ხოლო გარე გამტარის შიგა დიამეტრი — 9,4 მმ. ერთ კაბელში ოთხ კოაქსიალურ წყვილთან ერთად მოთავსებულია ხუთი სიმეტრიული ოთხეული 0,9 მმ დიამეტრით.



ნახ. 9.6.

მცირეგაბარიტიანი კაბელების კოაქსიალური წყვილების დიამეტრების 1,2/4,4 მმ, ხოლო სიმეტრიული წყვილებისა — 0,7 მმ. არსებობს კომბინირებული კოაქსიალური კაბელებიც. მაგალითად, 8 მაგისტრალური კოაქსიალური წყვილით 2,6/9,4; 10 მცირეგაბარიტიანი წყვილით 1,2/4,4 და 19 სიმეტრიული ოთხეულით.

9. 2. კაბელების შარკაზი

კავშირგაბმულობის კაბელები ერთმანეთისაგან განსხვავდება მარკებით, რომლებიც მიგვითითებენ მათ დანიშნულებაზე, იზოლაციაზე, გრეხადობაზე, შიგა კონსტრუქციასა და დამცავი საფარის სახეობაზე. მარკის პირველი ასოთი აღნიშნულია კაბელის დანიშნულება, მეორე (ან ზოგჯერ მესამე) ასოთი — გრეხადობის სახეობა უკანასკნელი ასოთი კი — გარე საფარის ხასიათი. ასო C გვიჩვენებს, რომ კაბელს სტიროფლექსის იზოლაცია აქვს, ხოლო მ — კაბელში ეკრანირებული წყვილების არსებობას. მაგალითად, მარკა T3B ნიშნავს: T — ტელეფონის კაბელს, 3 — ვარსკვლავისებრ გრეხადობას, B — ჯავშანს. კაბელი MKCK გაიშიფრება: M — საქალაქთაშორისო, K — კორდელის ტიპის იზოლაცია, C — სტიროფლექსის იზოლაცია, K — მრგვალი მავთულის ჯავშანი.

მაგისტრალური კაბელები მზადდება კორდელურ-სტიროფლექსის იზოლაციით და მჭიდროვდება 252 კპკ-მდე. მათი ძირითადი ტევადობაა

1×4; 4×4; 7×4; 14×4, რაც ნიშნავს ოთხეულის (ორი წყვილის) რაოდენობას კაბელში (ერთი ოთხეული, ოთხი ოთხეული და ა. შ.).

9.1 ცხრილში მოყვანილია კაბელების კონსტრუქციისა და ზომების მონაცემები.

ცხრილი 9.1

კაბელის კრილი	კაბელის ტიპი	სადენების რაოდენობა	პერსის დიამეტრი	მთლიანი დიამეტრი	1კმ კაბელის წონა, კგ	სამშენებლო სივრცე, მ
	МКГ	1×4×1,2+ +5×1×0,9	23,2	23,2	1596	850±10 ან 429±4
	МКБ	1×4×1,2+ +5×1×0,9	23,0	31,0	2455	
	МКК	4×4×1,2+ +5×1×0,9	24,3	40,3	5257	
	МКГ	7×4×1,2+ +6×1×0,9	28,3	28,3	2277	
	МКБ	7×4×1,2+ +6×1×0,9	27,9	37,9	3293	
	МКК	7×4×1,2+ +6×1×0,9	29,3	45,3	6596	
	МКСГ	4×4×1,2+ +5×0,9—24	19,2	19,2	1168,7	500 ან 650
	МКСБ	4×4×1,2+ +5×0,9—24	18,9	27,9	1835,0	
	МКСК	4×4×1,2+ +5×0,9—24	19,2	35,2	3990,0	
	МКСГ	7×4×1,2+ +6×0,9—24	23,6	23,6	1510	500
	МКСБ	7×4×1,2+ +6×0,9—24	23,3	32,3	2299	
	МКСК	7×4×1,2+ +6×0,9—24	24	24	2	
	МКСГ—60	4×4×1,2+ +5×0,9	19,6	19,6	1205	650
	МКСБ—60	4×4×1,2+ +5×0,9	19,3	28,3	1893	
	МКСК—60	4×4×1,2+ 5×0,9	19,6	35,6	3908	
	МКСГ—60	4×4×1,2	19,6	19,6	1171	650
	МКСБ—60	4×4×1,2	19,3	28,3	1859	
	МКСК—60	4×4×1,2	19,6	35,6	3874	

მ. 2. კაბელების კლასიფიკაცია დანიშნულების მიხედვით

სიმეტრიული კაბელები კორდელური იზოლაციით თავისი დანიშნულების მიხედვით იყოფა დაბალი და მაღალი სიხშირის კაბელებად. დაბალი სიხშირის კაბელები, თავის მხრივ, სამი ტიპისაა:

ა) ერთგვაროვანი კაბელები, რომლებიც შეიცავენ ვარსკვლავისებრი გრეხილის ოთხეულებს და აღინიშნება მარკებით ТЗГ, ТЗБ და ა. შ.;

ბ) ერთგვაროვანი კაბელები ვარსკვლავისებრი გრეხადობით, რომელთა შორის ზოგიერთი ეკრანირებულია. ასეთი კაბელების მარკებია ТЗЭГ, ТЗЭБ და ა. შ.;

გ) კომბინირებული კაბელები, სხვადასხვაგვარი ელემენტარული ჯგუფებით: ეკრანირებული წყვილებით, გაძლიერებული ოთხეულებითა და ექვსეულებით; ასეთი კაბელები აღინიშნება შემდეგი მარკებით ТДСГ, ТДСБ და ა. შ.

პირველი ტიპის დაბალი სიხშირის კაბელები შეიცავს 3-დან 114 ოთხეულს კორდელურ-ქაღალდის იზოლაციით; მეორე ტიპის კაბელები 3÷37 ოთხეულია. ძარღვების დიამეტრი 0,8÷1,4 მმ შეადგენს. ეკრანად გამოყენებულია მეტალიზებული ქაღალდი.

კომბინირებული კაბელები შეიცავს სხვადასხვა 12 ელემენტარული ჯგუფების კომბინაციებს, რომლებშიც ერთმანეთს ენაცვლებიან ეკრანირებული და გაძლიერებული ოთხეულები და ექვსეულები.

დაბალი სიხშირის სიმეტრიულ კაბელებს ძირითადად ქალაქის სატელეფონო ქსელში შემაერთებელი ხაზებისათვის ან ქალაქის გარეუბნებთან კავშირისათვის იყენებენ. კომბინირებულ კაბელებს აწყობენ რადიობიურსა და რადიომაუწყებლობის ცენტრებს შორის. მეორე ტიპის ეკრანირებული კაბელებით აკეთებენ საჰაერო ხაზში საკაბელო ჩანადგარებს.

მაღალი სიხშირის კაბელები იყოფა ორ ძირითად ტიპად:

ა) МКГ, МКБ და სხვა კაბელები კორდელურ-ქაღალდის იზოლაციით და

ბ) МКСГ, МКСБ მარკის კაბელები კორდელურ-სტიროფლექსური იზოლაციით.

ასეთი ტიპების კაბელები მჭიდროვდება 252 კპც სიხშირემდე და შეიცავს 1; 4; 7 ან 14 ოთხეულს.

მათი დამცავი გარსი შეიძლება იყოს როგორც ჭავჭავიანი, ისე პლასტიკატი. ზოგიერთ კაბელს (МКСАБ) ხანდახან უკეთდება ალუმინის მაეკრანირებელი გარსი.

კოაქსიალური კაბელებიდან ცალკე უნდა აღინიშნოთ ზღვისქვეშა კაბელი КПЭК-5/18, რომელიც განკუთვნილია დიდ სიღრმეზე ჩასაწყობად, და ВКПП-1×2,1/9,4 კაბელი, რომლის ჩამოკიდება შეიძლება საჰაერო ხაზების საყრდენებზე სპეციალურად დატანებული ტროსის საშუალებით. ორივე კაბელი შეიცავს ერთ კოაქსიალურ წყვილს და თუ პირველმა კაბელმა უნდა გაუძლოს დიდ ატმოსფერულ წნევას, მეორე კაბელი მუშაობს ტემპერატურის ცვალებადობის დიდ ზღვრებში (—10-დან+50°C-მდე).

პირველად პარამეტრებს ეკუთვნის: აქტიური წინაღობა $R \frac{\text{ომი}}{\text{კმ}}$, ინ-
დუქციურობა $L \frac{\text{ჰენ}}{\text{კმ}}$, ტევადობა $C \frac{\text{ფარ}}{\text{კმ}}$ და იზოლაციის გამტარიანობა
 $G \frac{\text{სიმ}}{\text{კმ}}$.

1 კმ ორსადენიანი ხაზის წინაღობა მუდმივი დენისათვის

$$R_0 = \rho \frac{8000}{\pi d^2} \text{ომი/კმ}, \quad (9.1)$$

სადაც ρ არის კუთრი წინაღობა (1 მეტრი სიგრძისა და 1 მმ² განივკვეთის
სადენის 20°C ტემპერატურის დროს);

d — მავთულის დიამეტრი, მმ.

სხვა ტემპერატურაზე ხაზის წინაღობა ტოლია:

$$R_t = R_0 [1 - \sigma(t - 20)] \text{ომი/კმ}, \quad (9.2)$$

სადაც σ არის ტემპერატურული კოეფიციენტი;

t — ტემპერატურა, რომლის დროსაც გამოიანგარიშება წინაღობა.

9.2 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი ლითონის მახასიათებელი.

ცხრილი 9.2.

მასალის დასახელება	ρ	σ	კუთრი წონა
სპილენძი	0,01785	0,0039	8,9
ალუმინი	0,2992	0,0037	2,72
ფოლადი	0,138	0,0046	7,7

ორსადენიანი საპაერო ხაზის აქტიური წინაღობა ცვლადი დენის დროს
გამოიანგარიშება ფორმულით

$$R_{\sim} = R_t [(1 + F(x))] \text{ომი/კმ}, \quad (9.3)$$

სადაც R_t არის ორსადენიანი ხაზის წინაღობა მუდმივი დენის დროს;

$F(x)$ — კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს აქტიური წინაღობის
გაზრდას ზედაპირული ეფექტის გავლენით.

$F(x)$ სიდიდეს იღებენ 9.3 ცხრილიდან x -ის გამოთვლის შედეგად მიღებული მნიშვნელობის შესაბამისად:

$$x = 7,09 \sqrt{\frac{f\mu}{R_0 10^4}} \quad (9.4)$$

სადაც f არის სიხშირე, ჰც;

μ — მაგნიტური განვლადობა (ფოლადის მათეთლისათვის $\mu=120$).

ორსადენიანი კაბელის კილომეტრული წინალობა ცვლადი დენის დროს (ზედაპირული და სიახლოვის ეფექტის მხედველობაში მიღებით) გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$R = R_0 \left[1 + F(x) + \frac{P \cdot G(x) \left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - H(x) \left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] \text{ ომი/კმ.} \quad (9.5)$$

სადაც a არის სადენების ცენტრებს შორის მანძილი, მმ;

d — სადენის (ძარღვის) დიამეტრი, მმ;

P — კოეფიციენტი, რომლის მეშვეობით გათვალისწინებულია კაბელის ძარღვების გრეხადობის გავლენა წინალობის სიდიდეზე.

$G(x)$ და $H(x)$ — კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებენ წინალობის გადიდებას სიახლოვის ეფექტის გავლენით. ამ სიდიდეებს ვიღებთ x -ზე დამოკიდებულებით 9.4 ცხრილიდან. 9.3 ცხრილში მოცემულია P -ს მნიშვნელობა.

ც ხ რ ი ლ ი 9.3

გრეხადობა	წრედის სახე	მნიშვნელობა
წყვილური	ძირითადი	1,0
ვარსკვლავისებრი	ძირითადი	5,0
ორმაგი წყვილური	ძირითადი	2,0

მაღალ სიხშირეთა დიაპაზონში (30 კჰც-ზე ზევით) მხედველობაში ვიღებთ საკაბელო ხაზის დამატებით წინალობას, რომელიც წარმოიქმნება მეზობელ სადენებსა და კაბელის გარსში გრიგალური დენებისაგან გამოწვეული დანაკარგებით:

$$R_m = R'_m \sqrt{\frac{f}{200000}} \text{ ომი/კმ,} \quad (9.6)$$

სადაც R'_m არის მეზობელი წრედებისა და ტყეის გარსის დამატებითი წინალობა $f=200\ 000$ ჰც სიხშირის დროს.

x	$F(x)$	$G(x)$	$H(x)$	$Q(x)$
0	0	64	0,0417	1,0
0,5	0,000326	0,000975	0,042	0,9998
1,0	0,00519	0,01519	0,053	0,997
1,5	0,0258	0,0691	0,092	0,981
2,0	0,0782	0,1724	0,169	0,961
2,5	0,1756	0,295	0,263	0,913
3,0	0,318	0,405	0,348	0,845
3,5	0,492	0,499	0,416	0,766
4,0	0,678	0,584	0,466	0,686
4,5	0,862	0,669	0,503	0,616
5,0	1,042	0,755	0,530	0,556
7,0	1,743	0,109	0,596	0,400
10,0	2,799	1,641	0,643	0,282
10,0	4	8	0,750	

9.5 ცხრილში მოცემულია R^1_m მნიშვნელობა.

ოთხეულის რიცხვი კაბელში	R^1_m ომი/კმ		
	I გრეხილში	II გრეხილში	III გრეხილში
1	22	—	—
1+6	9,5	13	—
1+6+12	8	7,5	8,5

ერთი კილომეტრი სიგრძის ორსადენიანი ხაზის ინდუქციურობა გამოითვლება ფორმულით

$$L = \left(4 \ln \frac{a}{r} + Q(x) \mu \right) 10^{-4} \text{ ჰნ/კმ},$$

სადაც a არის მათეულეების ცენტრებს შორის მანძილი, მმ;

r — სადენის რადიუსი, მმ;

μ — მაგნიტური განვლადობის კოეფიციენტი.

საკაბელო წრედის ინდუქციურობას კი გამოიანგარიშებენ ფორმულით

$$L = \lambda \left[4 \ln \frac{2a-d}{d} + Q(x) \right] 10^{-4} \text{ ჰნ/კმ}, \quad (9.7)$$

სადაც d არის სადენის დიამეტრი, მმ;

λ — გრეხილობის კოეფიციენტი, რომელსაც ვიღებთ 9.6 ცხრილიდან.

გრეხილობის დიამეტრი, მმ	30-მდე	30—40	40—50	50—60
λ	1,010	1,016	1,025	1,037

ორსადენიანი საჰაერო ხაზის კილომეტრული ტევადობა გამოიანგარიშება ფორმულით

$$C = \frac{1,05}{36 \ln \frac{a}{r}} 10^{-6} \text{ ფარადა/კმ.} \quad (9.8)$$

კოეფიციენტი 1.05 ითვალისწინებს წრედის ტევადობაზე იზოლატორებისა და მეზობელი წრედების არსებობის გავლენას.

საკაბელო წყვილის კილომეტრული ტევადობა გამოითვლება ფორმულით

$$C = \frac{\lambda \epsilon 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{2a}{d} \psi \right)} \text{ ფარადა/კმ,} \quad (9.9)$$

სადაც a არის სადენის ცენტრებს შორის მანძილი, მმ;

d — სადენის დიამეტრი, მმ;

λ — გრეხადობის კოეფიციენტი;

E — კომბინირებული იზოლაციის ეკვივალენტური დიელექტრიკული განვლადობა;

ψ — შესწორების კოეფიციენტი, რომლითაც ხასიათდება სადენების სიახლოვე დამიწებულ ტყვიის გარსთან და სხვა გამტარებთან.

9.7 ცხრილში მოცემულია ეკვივალენტური დიელექტრიკული განვლადობის სიდიდე.

კაბელის დანიშნულება	იზოლაციის სახე	ϵ
შემაერთებული ხაზებისა და კენძების კაბელირებისათვის საქალაქთაშორისო კავშირისათვის	კორდელურ-ქალაღის	1,4—1,6
	კორდელურ-ქალაღის	1,3—1,4
	კორდელურ-სტიროფლექსის	1,2—1,3
	პოლიეთილენის	1,8—2,1
	ფოროვან-პოლიეთილენის	1,4—1,5

9.8 ცხრილში მოცემულია შესწორების კოეფიციენტის მნიშვნელობა სხვადასხვა სახის გრეხილებისათვის.

	ქ მნიშვნელობა გრეხილებისათვის		
	წყვილური	ვარსკვლავისებრი	ორმაგი წყვილური
1,6	0,608	0,588	0,615
1,8	0,627	0,611	0,628
2,0	0,644	0,619	0,660
2,2	0,655	0,630	0,660
2,2	0,655	0,630	0,670
2,4	0,665	0,647	0,692

საჰერო ხაზის კილომეტრული იზოლაციის გამტარიანობა გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით

$$G = G_0 + \eta f \text{ სიმ/კმ}, \quad (9.10)$$

სადაც G_0 არის იზოლაციის გამტარიანობა მუდმივ დენზე და ტოლია:

ა) მშრალ ამინდში $0,01 \cdot 10^{-8}$ სიმ/კმ;

ბ) ტენიან ამინდში $0,5 \cdot 10^{-8}$ სიმ/კმ.

η —დიელექტრიკული დანაკარგების კოეფიციენტი იზოლატორებში:

ა) მშრალ ამინდში $0,5 \cdot 10^{-8}$;

ბ) ტენიან ამინდში $0,25 \cdot 10^{-8}$.

f — სიხშირე, ჰც.

საკაბელო ხაზის კილომეტრული იზოლაციის გამტარიანობა გამოიანგარიშება ფორმულით

$$G = G_0 + G_j' \text{ სიმ/კმ}, \quad (9.11)$$

სადაც $G_0 = \frac{1}{R_{\infty}}$ არის იზოლაციის გამტარიანობა მუდმივი დენის დროს;

$G_j = \omega C t g \delta$ — იზოლაციის გამტარობა, რომელიც დამოკიდებულია ცვლადი დენის დროს წარმოქმნილ დიელექტრიკულ დანაკარგებზე.

$t g \delta$ — დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი.

იზოლაციის წინაღობა R_{∞} მუდმივი დენის დროს, ჩვეულებრივ, დიდია. საქალაქთაშორისო კაბელისათვის $R_{\infty} = 10000 \frac{\text{მეგომი}}{\text{კმ}}$, ამისათვის G_0 სიდიდეს ხშირად უგულებელყოფენ და ფორმულა იწერება შემდეგნაირად

$$G = \omega C t g \delta' \text{ სიმ/კმ}. \quad (9.12)$$

10.8 ცხრილში მოცემულია $t g \delta$ მნიშვნელობა სხვადასხვა სახის იზოლაციისათვის.

სიხშირე, კპც	[გმ(10 ⁻⁴) იზოლაციის შემდეგი სახეობისათვის			
	კორდელურ-ქალაქის	კორდელურ-სტირო-ფლექსის	პოლიეთილენის	ფოროვანი პოლიეთილენის
0,5	45	2,0	2,0	2—3
5	49	2,0	2,0	2—3
10	56	2,5	2,0	2—3,5
20	62	3,02	2,0	2—4
30	70	3,5	3,0	2—4
50	85	4,0	4,0	3—5
100	113	7,0	6,0	4—6
150	130	9,0	7,0	4—7
200	150	11,0	8,0	5—8
250	160	12,0	8,0	6—9

მ. ნ. ტალღასატარები

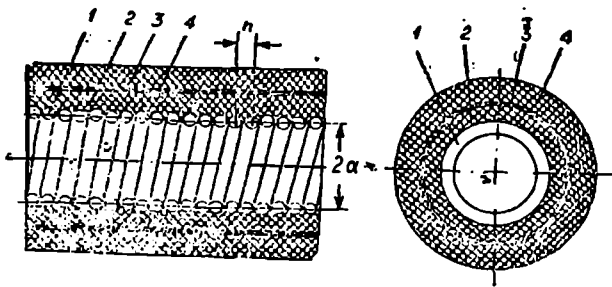
ამჟამად კავშირგაბმულობის ტექნიკაში თანდათან ფართოდება გადასაცემი სიხშირის ზოლი. სიხშირის ზოლის გაფართოება და უფრო მოკლე ტალღების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გავდიდოთ ერთი წყვილით გადაცემული კავშირების რიცხვი; ასე, მაგალითად, კოაქსიალური წრედით შესაძლებელია გადავცეთ 1920 სატელეფონო არხი (8,5 მეგაჰერცამდე). რადიოკავშირში კოაქსიალური კაბელების საშუალებით გადასცემენ სიხშირეს 1000 მეგაჰერცამდე, ხოლო უფრო მაღალ სიხშირეებზე კოაქსიალურ კაბელებში მკვეთრად იზრდება დანაკარგები.

ჯერ კიდევ XIX საუკუნის მიწურულში დამტკიცდა, რომ ელექტრომაგნიტური ენერჯის გადაცემა შეიძლება ცარიელი ცილინდრისებრი ლითონის მილის შიგნით, მაგრამ მათი გამოყენება დაიწყო გაცილებით გვიან, როდესაც ტექნიკაში მიღწეულ იქნა სანტიმეტრიანი დიაპაზონის ელექტრული რხევების შექმნა.

კონსტრუქციულად ტალღასატარი მრგვალი ან ოთხკუთხედი ცარიელი ლითონის მილია, რომელიც სპილენძის, თითბრის, ან ბიმეტალისაგან მზადდება.

ტალღასატარის შიგნითა ზედაპირი კეთდება გაპირალებული, ხოლო მრგვალი ტიპის ტალღასატარი შეიძლება იყოს მოქნილი კონსტრუქციის.

მოქნილი ტალღასატარი სპირალივით დახვეული მრგვალი ან ოთხკუთხა მავთულია, რომელიც გარედან დაფარულია პლასტიკატის მოქნილი შლანგით (ნახ. 9.7).



ნახ. 9.7.

ტალღასატარებს კოაქსიალურ წრედებთან შედარებით შემდეგი უპირატესობა აქვს:

1. ტალღასატარს, რომელიც ჰაერითაა სავსე, პრაქტიკულად არა აქვს დიელექტრიკული დანაკარგები;
2. სიმძლავრის დანაკარგები ლითონში გაცილებით ნაკლებია ცენტრალური სადენის უქონლობის გამო;
3. გადაეცემა უფრო დიდი სიმძლავრეები, ვიდრე კოაქსიალურ წყვილში.

უარყოფითი მხარე ისაა, რომ ტალღასატარის შიგა ზომები უნდა იყოს დიდი სიზუსტით დაცული, ხოლო ზედაპირი გულდასმით გაპრიალებული.

ტალღასატარით, რომლის დიამეტრი 5—6 სმ-ია, შეიძლება გადაეცეთ 5—8 მილიმეტრ ტალღათა დიაპაზონში 100 სატელევიზიო არხი ან ათეულათასი სატელეფონო არხი. გამძლიერებელ პუნქტებს შორის მანძილი 50—60 კმ-ია, ხოლო იგივე მანძილი კოაქსიალური კაბელისათვის — 6—8 კმ.

ამოცანა 9.1. გამოვიანგარიშოთ სპილენძის წრედის აქტიური წინაღობა სიხშირეზე $f=20000$ ჰც, თუ სადენის დიამეტრი $d=1$ მმ.

ამოცანა: 1. გამოვითვლოთ წინაღობა მუდმივი დენის დროს

$$R_0 = \rho \frac{8000}{\pi d^2} = 0,0178 \frac{8000}{3,14 \cdot 1^2} = 45,28 \text{ ომს.}$$

2. გამოვიანგარიშოთ აქტიური წინაღობა $f=20000$ ჰც სიხშირის დროს

$$R_{\sim} = R_0[1 + F(x)],$$

სადაც $F(x)$ ვპოულობთ 9.4 ცხრილიდან. თუ ჩავთვლით, რომ $R_0 = R_0(+20^\circ\text{C})$,

$$x = 7,09 \sqrt{\frac{f\mu}{R_0 10^4}} = 1,53; \quad F(x) = 0,026,$$

$$R_{\sim} = 45,28(1 + 0,026) = 46,45 \text{ ომს.}$$

ამოცანა 0.2. გამოვიანგარიშოთ საკაბელო წრედის კილომეტრული მილევის ომიდიდე, თუ მოცემულია, რომ 150 კვც სიხშირის დროს $G = \omega C l g = 335 \cdot 10^{-6}$ სიმ/კმ, $R_{\sim} = 86$ ომი/კმ, $C = 0,036$ მკფ/კმ, ხოლო $L = 0,8$ მჰს/კმ.

ა მ ო ხ ს ნ ა. კილომეტრული მილევა $\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} +$

$$+ \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{86}{2} \sqrt{\frac{0,036 \cdot 10^{-6}}{0,8 \cdot 10^{-3}}} + \frac{335 \cdot 10^{-6}}{2} \sqrt{\frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{0,036 \cdot 10^{-6}}} =$$

$$= 0,312 \text{ ნეპერი/კმ.}$$

საკონტროლო კითხვები

1. რატომ იზრდება სადენის წინაღობა ცვალი დენის დროს?
2. რაზე დამოკიდებული საკაბელო ხაზის მილევის ცვალებადობა?
3. სიმეტრიულთან შედარებით რა უპირატესობა აქვს კოაქსიალურ კაბელებს?
4. როგორ მცირდება კონსტრუქციულად წვეილებს შორის გადასვლები?
5. რა კონსტრუქციული თავისებურებით ხასიათდება ზღვისქვეშა კაბელები?
6. რა უპირატესობა აქვს ტალღასატარს კაბელთან შედარებით?
7. რომელ სადენებს აქვს მეტი მილევა სპილენძისა, თუ ფოლადის?

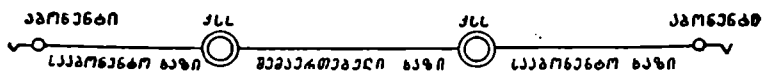
თ ა ვ ი x

აღვილოზარივი სატელეფონო ქსელები

10. 1. აღვილოზარივი სატელეფონო ქსლის აგების პრინციპი, კლასიფიკაცია და თავისებურებანი

ერთი ქალაქის ორ ნებისმიერ აბონენტს შორის სატელეფონო კავშირი ხორციელდება ამ ქალაქის სატელეფონო ქსლის საშუალებით. ამ კავშირის პრინციპული სქემა მოცემულია 10.1 ნახაზზე.

ქალაქის სატელეფონო ქსელი სატელეფონო კავშირის საშუალებათა მნიშვნელოვანი ნაწილია, ვინაიდან ტექნიკური და საორგანიზაციო და-



ნახ. 10.1.

მოუკიდებლობასთან ერთად ის მონაწილეობას იღებს ყველა სხვა სახის სატელეფონო კავშირის განხორციელებაში (საქალაქთაშორისო, საგარეუბნო, სარაიონთაშორისო).

ქალაქის სატელეფონო ქსლის აბონენტთა რიცხვი განისაზღვრება ქსლის აგების სისტემით. აბონენტთა რიცხვი, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ქალაქის სიდიდესა და მნიშვნელობაზე, რის მიხედვითაც ქალაქის სატელეფონო ქსელები შეიძლება დაყვით სამ ძირითად ტიპად, როგორცაა:

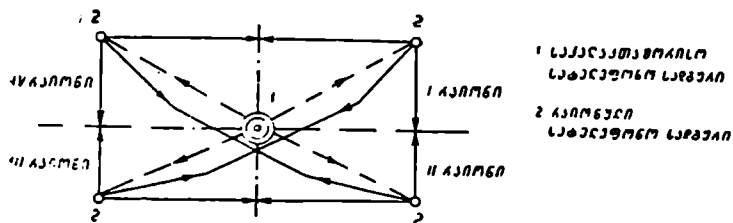
1. რაიონული ცენტრისა და შიგასარაიონო მნიშვნელობის ქალაქების ქსელები;
2. საოლქო ცენტრებისა და რესპუბლიკური მნიშვნელობის ქალაქების ქსელები;
3. მსხვილი სამრეწველო-ადმინისტრაციული ცენტრების ქსელები.

რაიონული ცენტრების სატელეფონო ქსელები, ჩვეულებრივ, შედგება ერთი სატელეფონო სადგურისა და აბონენტების სადგურთან შემაერთებული სახაზო ნაგებობისაგან. ამ სატელეფონო სადგურში ირთება აგრეთვე საწარმოო დაწესებულებათა საკომპუტატორო დანადგარები.

როგორც წესი, ასეთ დასახლებულ პუნქტში არსებული საქალაქთაშორისო სატელეფონო სადგური და ქალაქის სატელეფონო სადგური ერთ შენობაშია განლაგებული.

საოლქო ცენტრების სატელეფონო ქსელში აბონენტები გაცილებით მეტია და ამისათვის ამ ქსელში შენდება ერთი ან რამდენიმე სატელეფონო სადგური. ბოლო შემთხვევისათვის ქსელი იყოფა რაიონებად თავისი რაიონული სადგურით. რაიონულ სადგურებს შორის კავშირი ხორციელდება შემაერთებული ხაზების საშუალებით, რომლებიც ყველა სადგურს აერთებს ერთმანეთთან. ამ შემაერთებული ხაზების გარდა,

მათ აქვთ კაუშირი საქალაქთაშორისო ტელეფონის სადგურთანაც (ნახ. 10.2).



ნახ. 10.2.

დანიშნულების მიხედვით ქალაქის სატელეფონო ქსლების ხაზები იყოფა:

1. სააბონენტო ხაზები სატელეფონო სადგურებთან აბონენტის მისაერთებლად;
2. სატელეფონო სადგურების შემაერთებელი ხაზები;
3. სატელეფონო სადგურებისა და საქალაქთაშორისო სატელეფონო სადგურის შემაერთებელი ხაზები;
4. საგარეუბნო ხაზები, რომლებიც გარეუბნის ქვესადგურებს აერთებს რაიონულ სადგურებთან;
5. დაწესებულებათა სატელეფონო სადგურებთან შემაერთებელი ხაზები;
6. პირდაპირი ხაზები (ქალაქის დაწესებულებებთან, რომლებსაც თავისი საკუთარი ქსელი აქვთ).

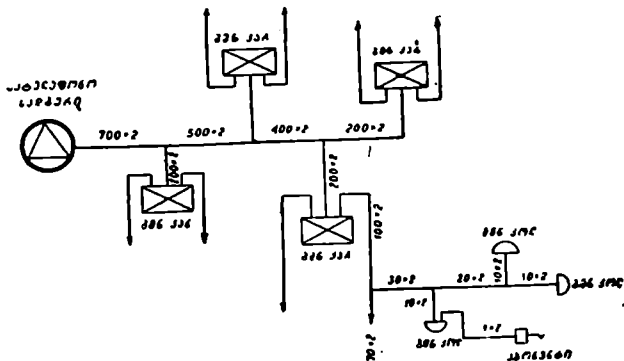
არსებობს სააბონენტო ხაზების ქსლის აგების ორი სისტემა:

1. კარადული სისტემა შუალედი საკაბელო გამანაწილებლებით (ნახ. 10.3);
2. უკარადო სისტემა ან სისტემა საკაბელო ძარღვების მრავალჯერადი ჩართვით.

კარადული სისტემის დროს ტელეფონის აპარატიდან გაჰყავთ ერთწყვილიანი კაბელი (1×2), რომელიც ირთვება სპეციალურ გამანაწილებელ კოლოფში. გამანაწილებელი კოლოფების ტევადობა ათწყვილიანია.

გამანაწილებელი კოლოფებიდან ათწყვილიანი კაბელები (10×2) ერთიანდება უფრო დიდი ტევადობის კაბელებში (100×2) და ირთვება გამანაწილებელ კარადებში, რომელთა ტევადობაა 300×2, 600×2 ან

1200×2. ამავ კარადებში შემოდის სადგურში ჩართული მაგისტრალური კაბელები, რომელთა წყვილებიც გამანაწილებელი კაბელების წყვილებთან ნაწილდებიან.



ნახ. 10.3.

10. 2. საბელეფონო კანალიზაცია

მილების, დასათვალისწინებელი ჭეხისა და მიწისქვეშა კოლოფებისაგან შედგენილ სისტემას სატელეფონო კანალიზაცია ეწოდება.

როგორც ცნობილია, ქალაქის ტერიტორიაზე კაბელის ჩაწყობა დაკავშირებულია ისეთ სიძნელებებთან, როგორცაა ქვეყნილისა და ასფალტის ფენის მოხსნასა და აგრეთვე ქუჩის მოძრაობის შეფერხებასთან.

კაბელის ჩაწყობის, შეკეთების და ან გადართვების შემთხვევისათვის მიწაში წინასწარ ვაწყობთ საკაბელო მილებს და შემდეგ კი მათში ვტარებთ ჩასაწყობ კაბელებს.

ასეთ სატელეფონო კანალიზაციაში ჩაწყობილი კაბელების ექსპლუატაცია ყოველთვის იაფია, ვიდრე მიწაში უშუალოდ ჩაწყობილი ჯავშნიანი კაბელების.

საკაბელო კანალიზაციას აკეთებენ 1÷3 მ სიგრძის მილებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან ერთდება ჩაწყობის დროს.

მილები მზადდება აზბესტცემენტისა და ბეტონისაგან. აზბესტცემენტის მილები ძირითადად კეთდება ერთარხიანი. ხოლო ბეტონისაგან მზადდება 2—3-არხიანი ბლოკები, რომელთა საშუალებითაც შეგიძლია მივიღოთ არხების ნებისმიერი რიცხვი.

სატელეფონო კაბელების კანალიზაციაში ჩაწყობის, მონტაჟისა და დათვალისწინებისათვის კანალიზაციას უკეთდება საკაბელო ჭეხი.

საკაბელო ჭეხი მიწისქვეშა ნაგებობაა, რომელსაც აქვს ჩასასვლელი ლე-

კი. ჰის ზომები დამოკიდებულია ჩაწყობილი კაბელების რიცხვსა და დანიშნულებაზე.

დაყენების ადგილის მიხედვით ჰები იყოფა შემდეგ ძირითად სახეებად:

1. სასადგურო ჰები, რომლებიც კეთდება სადგურის შენობასთან, კაბელების სადგურში შესაყვანად;

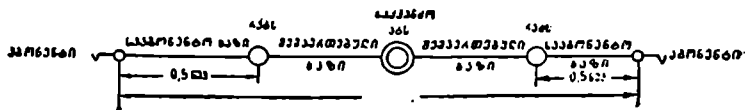
2. გამავალი ჰები, რომლებიც კანალიზაციის სწორხაზოვან უბანზე შენდება;

3. კუთხური და განმშტოებელი ჰები, რომლებიც განკუთვნილია იმ ადგილებისათვის, სადაც კანალიზაცია იცვლის მიმართულებას ან სადაც განმშტოვდება რამდენიმე მიმართულებით.

ჰები თავისი მოცულობით სამი ტიპისაა: მცირე, საშუალო და დიდი. მათ აქვთ ოვალური ფორმა, რომელთა სიგრძეა $1\ 800 \div 2\ 800$ მმ, სიგანე — $1000 \div 1\ 400$ მმ, ხოლო სიმაღლე — $1\ 600 \div 1\ 800$ მმ.

10. 3. ქალაქის საბუნებრივო ქსლის ელემენტური ნორმები

ერთი ქალაქის სატელეფონო ქსლის ორ აბონენტს შორის ელექტრული სიგნალის მიღების ნორმად მიღებულია 3,3 ნეპერი. ამ ნორმის განაწილება აბონენტებს შორის მოცემულია 10.4 ნახაზზე.



ნახ. 10.4.

სააბონენტო ხაზის შლიეფის წინაღობა არ უნდა აღემატებოდეს 1000 ომს, ხოლო შემეერთებელი ხაზების a და b სადენების წინაღობა — 3000 ომს.

10. 1 ცხრილში მოცემულია ქალაქის სატელეფონო ქსელში გამოყენებული კაბელების ელექტრული პარამეტრები.

ც ხ რ ი ლ ი 10.1

ძარღვის დიამეტრი, მმ	ძარღვის იზოლაცია	პარამეტრები მულ-მივი დენის დროს		მიღების კოეფიციენტი	იზოლაციის წინაღობა მულმივი დენის დროს, მეგომი/კმ
		R ომი/კმ	C ნფ/კმ	აბნეკ/კმ	
0,4	საპაერო ქალაღი	296	50	192	2000
0,5	" "	190	50	155	20000
0,6	" "	132	39	112	2000
0,7	" "	96	40	97	2000
0,5	პოლიენილქლორიდი	190	200	—	60
0,5	პოლიეთილენი	175	49,1	146	2000

რადიოფიზიკის ქსელი შენდება რადიალურ-კენანური სისტემით. ქსელში შეიძლება იყოს როგორც საპაერო, ისე საკაბელო ხაზები.

ქსელში გადაცემისათვის გამოყენებულია რადიოსატრანსლაციო კენანდი (PTY).

სასოფლო რადიოფიზიკის ქსელში დიდი გამოყენება აქვს PDP ტიპის რადიოსატრანსლაციო კენანებს დისტანციური კვებით, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია 400—600 სააბონენტო ღანდგარების კვება. ხშირად რაიონის ცენტრიდან სასოფლო რადიოკენანებში პროგრამის გადასაცემად და მათი დისტანციური მართვისათვის გამოყენებულია აპარატურა CBR-ADY, რომელიც პროგრამას გადასცემს სოფლის სატელეფონო ხაზების შემკიდროების საშუალებით. ეს აპარატურა 80—7 000 ჰც სიხშირის ზოლს გარდაქმნის სახაზო სპექტრში 27,7—34,7 კპც ზოლად, მიმღებ სადგურში კი ახდენს დემოდულაციას.

რადიოფიზიკის ქსლის ხაზების კონსტრუქცია თითქმის ისეთივეა, როგორც სოფლის სატელეფონო ხაზების და გამოიყენება იგივე მასალები და არმატურა.

ამოცანა 10.1. რა დიამეტრის კაბელი უნდა ჩაიწყოს რაიონულ სატელეფონო სადგურსა და აბონენტთა შორის, თუ მანძილი მათ შორის 3 კმ-ია.

ამოცანა 10.4. როგორც 10.4 ნახაზიდან ჩანს, მილევის სიდიდე სადგურსა და აბონენტს შორის დასაშვებია 0,5 ნეპერი. გავივით მილევის რა სიდიდე შეესაბამება ერთ კილომეტრ ხაზს:

$$\alpha = \frac{0,5}{3} = 0,166 \text{ ნეპ} = 166 \text{ მნეპ/კმ.}$$

10.1 ცხრილიდან ვპოულობთ, რომ საპაერო ქალაქის იზოლაციის მქონე კაბელი 0,5 მმ დიამეტრის ძარღვებით აკმაყოფილებს წაყენებულ მოთხოვნას (155 მნეპ). ფაქტიური მილევა კი ტოლი იქნება:

$$a = \alpha \quad l = 155 \quad 3 = 465 \text{ მნეპ} = 0,46 \text{ ნეპ.}$$

საკონტროლო კითხვები

1. რატომ ხდება ქალაქის სატელეფონო ქსლის დარაიონება?
2. რას უდრის მილევა ორ სატელეფონო სადგურს შორის?
3. რა უპირატესობა აქვს ქსლის კარადულ სისტემას?
4. რა სიდიდის იზოლაციის წინაღობა უნდა ჰქონდეს ქალაქის სატელეფონო ქსლის საკაბელო ხაზს, რომლის სიგრძე 10 კმ-ია?
5. რა ტიპის საკაბელო კეები არსებობს?

კავშირის წრედების ურთიერთგავლენა

11.1. ზოგადი ცნება

საპაერო ან საკაბელო ხაზებზე არსებობს რამდენიმე წრედი, რომლებიც გამოიყენებიან ტელეფონის, ტელეგრაფის, ფართომუწყებლობისა და ფოტოტელეგრაფის სიგნალების გადასაცემად. რომელიმე წრედში ცვლადი დენების გავლისას იქმნება ცვლადი ელექტრული და ელექტრომაგნიტური ველები, რომლებიც გავლენას ახდენენ მეზობელ წრედებზე.

ელექტრული ველის გავლენით მეზობელ წრედში, რომლის სიგრძე 1 კმ-ია, გაივლის დენი

$$I_2 = C_{12} U_1, \quad (11.1)$$

სადაც U_1 არის პირველი წრედის მოქმედი ძაბვა;

C_{12} — ელექტრული კავშირის კოეფიციენტი მოცემულ წრედებს შორის 1 კმ სიგრძეზე.

მაგნიტური ველის ძალწირები გადაკვეთს რა მეზობელი წრედის მავთულებს, შექმნის მასში ურთიერთინდუქციის ელექტრომაგნიტურ ძალას, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია მოქმედ წრედში გამავალი დენის ძალაზე, წრედების ურთიერთგანლაგებასა და ცვლადი დენის სიხშირეზე. ერთი კილომეტრი სიგრძის უბანზე ეს ე. მ. ძალა გამოისახება ფორმულით

$$F_2 = -M_{12} I_1, \quad (11.2)$$

სადაც I_1 არის მოქმედ წრეში გამავალი დენი;

M_{12} — წრედებს შორის არსებული მაგნიტური კავშირის კოეფიციენტი.

ელექტრული კავშირი C_{12} და მაგნიტური კავშირი M_{12} კომპლექსური რიცხვებია, ე. ი. შედგება ნამდვილი და წარმოსახვითი შემდგენებისაგან:

$$\begin{aligned} C_{12} &= g_{12} + j\omega C_{12}, \\ M_{12} &= r_{12} + j\omega M_{12}, \end{aligned} \quad (11.3)$$

სადაც g_{12} არის ელექტრული კავშირის აქტიური შემდგენი;

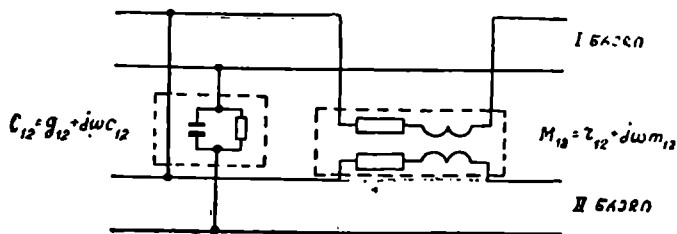
C_{12} — ტევადური კავშირი;

r_{12} — მაგნიტური კავშირის აქტიური შემდგენი;

M_{12} — მოცემული წრედების ურთიერთინდუქცია.

ორი წრედის ელექტრული და მაგნიტური კავშირების მოქმედების ეკვივალენტური სქემა მოცემულია 11.1 ნახაზზე.

ეს სქემა პრაქტიკულად საკმაოდ სწორია მხოლოდ უბნის მცირე სიგრძის დროს. პირველადი პარამეტრების R, L, C და G ანალოგიურად r_{12}, M_{12}, C_{12} და g_{12} სიდიდეებმა მიიღეს გავლენის პირველადი პარამეტრების სახელწოდება.



ნახ. 11.1.

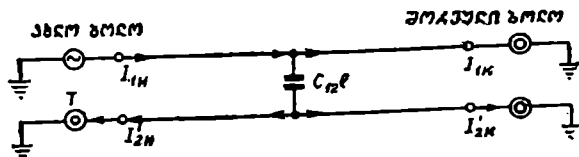
საპაერო წრედებისათვის შესაძლებელია უგულებელვყოთ ელექტრული და მაგნიტური კავშირების აქტიური შემდგენები და ჩავთვალოთ რომ

$$\begin{aligned} C_{12} &= j\omega C_{12}, \\ M_{12} &= j\omega M_{12}. \end{aligned} \quad (11.4)$$

11. 2. ერთსაღვინიან წრედავს შორის გავლენა

ტევადობითი კავშირით მიღებული გავლენა 11.2 ნახაზზე მოცემულია ტევადობითი კავშირი წრედებს შორის ჩართული კონდენსატორით C_{12} , რომელიც 1 კმ უბნის შუა ადგილასაა. სინამდვილეში ტევადობითი კავშირი ორ წრედს შორის არსებობს უბნის მთელ სიგრძეზე და თანაბრადაა განაწილებული წრედის გასწვრივ.

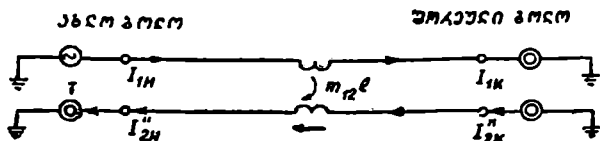
ნახაზიდან ჩანს, რომ გავლენიანი წრედიდან C_{12} -კონდენსატორის საშუალებით დენი გადადის გავლენის ქვეშ მყოფ წრედის შუაში, მიიშრება სხვადასხვა მხარეს და გაივლის ამ წრედის ბოლოში ჩართულ ტელეფონის აპარატებს.



ნახ. 11.2.

გავლენას იმ ბოლოზე, სადაც ჩართულია გენერატორი (გადამცემი) ვუწოდოთ გავლენა ახლო ბოლოზე, გავლენას საწინააღმდეგო ბოლოზე — გავლენა შორეულ ბოლოზე.

მაგნიტური კავშირის შედეგად მიღებული გავლენა 11.3 ნახაზზე მოცემულია ერთსადენიან წრედებში მაგნიტური გავლენის სქემა.



ნახ. 11.3.

ნახაზზე მაგნიტური კავშირი ნაჩვენებია უბნის შუაში ჩართულ ტრანსფორმატორის ხეიების სახით, თუმცა სინამდვილეში მაგნიტური კავშირიც ხაზის მთელ სიგრძეზე თანაბრადაა განაწილებული. ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ინდუქციებული დენი მთელი უბნის სიგრძეზე მხოლოდ ერთი მიმართულებით — მარჯვნიდან მარცხნისაკენ მიემართება.

თუ 11.2 და 11.3 ნახაზებს შევადარებთ, დავინახავთ, რომ ახლო ბოლოზე ტევადობითი და მაგნიტური კავშირის დენებს ერთი მიმართულება აქვთ და მათი საერთო დენი მათი ჯამის ტოლია; შორეულ ბოლოზე კი საერთო დენი I_{2H}' და I_{2K}'' სხვაობას უდრის. რაც მეტია უბნის სიგრძე l . მით მეტია წრედებს შორის ელექტრომაგნიტური კავშირი, მაგრამ გამოანგარიშება გვიჩვენებს, რომ ეს სიდიდე მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიიღებს რომელიღაც სიგრძის დროს და შემდეგ არ შეიცვლება გავლენიანი და გავლენის ქვეშ მყოფი წრედების ჩაქრობის შედეგად.

ერთსადენიანი წრედების გავლენის შესამცირებლად საჭიროა გავზარდოთ მათ შორის მანძილი, მაგრამ, ვინაიდან ხაზის კონსტრუქცია ამის საშუალებას არ გვაძლევს, ერთსადენიანი წრედებით გადაცემა არ გამოიყენება.

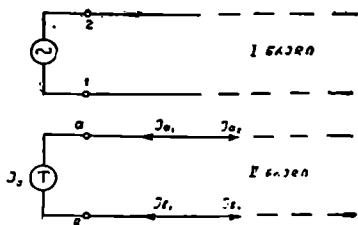
11. 3. ორსადენიან წრედებს შორის გავლენა

ორსადენიან წრედებს შორის გავლენის განხილვისას (ნახ. 11.4) დავინახავთ, რომ II წრედის თითოეულ სადენში გაჩნდება ორი საწინააღმდეგო მიმართულების დენი და საერთო დენი ამ დენების სხვაობის ტოლი იქნება. თუ II წრედში წარმოქმნილ დენებს I წრედის პირველი სადენისაგან დაინდუქციებულს აღვნიშნავთ I_{a1} და I_{b1} , ხოლო მეორე სადენისაგან — I_{a2} და I_{a2} , მაშინ საერთო დენი I_T , რომელიც წრედის ახლო ბოლოში ჩართულ აპარატში გადის, ტოლია:

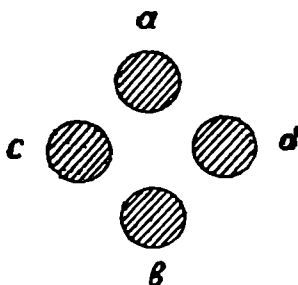
$$I_T = (I_{a1} - I_{a2}) - (I_{b1} - I_{b2}).$$

დავასკვნით, რომ ორსადენიან წრედებში გავლენა გაცილებით მცირეა, ვიდრე ერთსადენიანში.

იმისათვის, რომ შევამციროთ ორსადენიან წრედებს შორის გავლენა, საჭიროა წრედების სადენები ურთიერთსიმეტრიულად განვალაგოთ (ნახ. 11.5). ასეთი განლაგება გავლენას ამცირებს მხოლოდ ორი წრედის არსებობისას და ის გამოყენებულია მხოლოდ ერთოთხეულიან კაბელებში.



ნახ. 11.4.



ნახ. 11.5.

11. 4. კავშირის წრედების დაცვა ურთიერთგავლენისაგან სადენების გადაჯვარედინების საშუალებით

უკველაზე საუკეთესო ხერხია კაბელის ძარღვების გრეხადობა ან საპაერო წრედების სადენების გადაჯვარედინება. ამასთანავე, პერიოდულად, განსაზღვრული კანონზომიერების დაცვით ცვლიან ძარღვების ან სადენების მდებარეობას, რისი საშუალებითაც აღწევენ ამ წრედის სიმეტრიულობას როგორც მეზობელი წრედებისადმი, ისე მის მიმართაც. ეს ხერხი განვიხილოთ 11.6 ნახაზზე მოცემული ერთსადენიანი წრედის ორსადენიან წრედზე გავლენის მაგალითის მიხედვით.

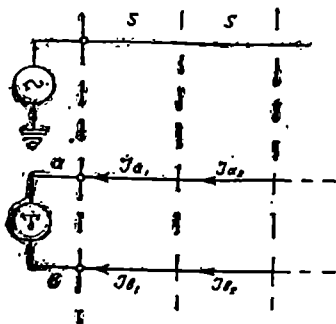
განვიხილოთ გავლენა ახლო ბოლოზე, დავყოთ წრედები მოკლე S სიგრძის უბნებად და გამოვარკვიოთ პირველ ორ უბანზე გავლენის დენის სიდიდე

$$I_T = (I_{a1} + I_{a2}) - (I_{b1} + I_{b2}).$$

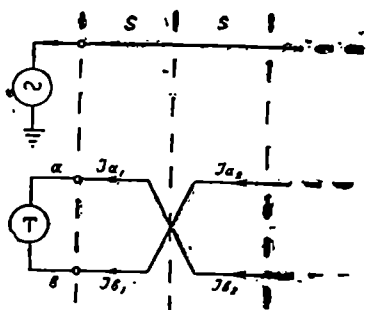
ან

$$I_T = (I_{a1} - I_{b1}) + (I_{a2} - I_{b2}), \quad (11.5)$$

ე. ი. გრეხადობის ან გადაჯვარედინების გარეშე (ნახ. 11.6, ა) ყოველ უბანზე მივიღებთ გავლენის დენებს, რომელთა სხვაობა იკრიბება, ანუ გავლენის დენი ორი უბნიდან უდრის ამ უბნების დენების ჯამს.



ა) გარდაქმნის ფორმულის გამოცდის გრაფიკული წარმოდგენა



ბ) გარდაქმნის ფორმულის გამოცდის გრაფიკული წარმოდგენა

ნახ. 11.6.

თუ გვაქვს წრედების გრეხადობა ან გადაჯვარედინება (ნახ. 11.6,ბ) ვიპოვიტ საერთო დენს, ე. ი.

$$I_T = (I_{a1} + I_{b2}) - (I_{b1} + I_{a2})$$

ან
$$I_T = (I_{a1} + I_{b1}) - (I_{a2} - I_{b2}). \quad (11.6)$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ გრეხადობის ან გადაჯვარედინების შემთხვევაში, მეორე უბნის დენების სხვაობას უარყოფითი ნიშანი აქვს და ამისათვის გავლენის საერთო დენი ამ უბნების გავლენის დენების სხვაობის ტოლია. ძარღვების ან სადენების განლაგების ურთიერთშეცვლით ელექტრომაგნიტურმა კავშირმა შეიცვალა თავისი ნიშანი და ორი მეზობელი უბნიდან აღძრული დენების ჯამი მკვეთრად შემცირდა.

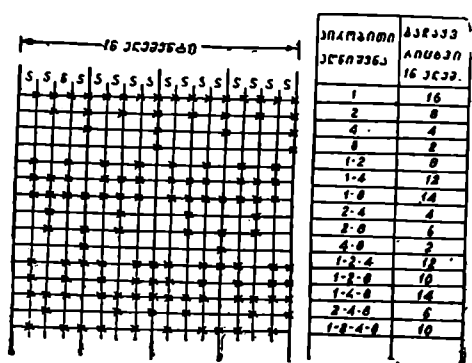
11. 5. საპარო წრედების გადაჯვარედინების სქემა

ურთიერთგავლენის შესამცირებლად ან გარდამავალი მილევის გასადიდებლად საჭიროა წრედის სადენების გადაჯვარედინება, რაც შეიძლება ხშირად, მაგრამ ეს დაკავშირებულია დიდ დანახარჯებთან, ამასთანავე დაირღვევა ხაზის უბნების კონსტრუქციული ერთგვაროვნობა და მცირდება ამ მეთოდის ეფექტურობა. პრაქტიკაში შერჩეულია ისეთი ოპტიმალური მანძილი სადენების გადაჯვარედინების წერტილებს შორის, რომ გარდამავალი მილევა ნორმაზე მცირე არ იყოს.

თუ ორი წრედი (გავლენიანი და გავლენის ქვეშ მყოფი) ერთსა და იმავე წერტილებშია გადაჯვარედინებული, ეს გადაჯვარედინება ერთმანეთს მოსპობს და არავითარ შედეგს არ მოგვცემს. ამისათვის საჭიროა,

რომ წრედების გადაჯვარედინების წერტილები სხვადასხვა ადგილებში განვალაგოთ. აქედან დავასკვნით, რომ მრავალსადენიან ხაზებზე საჭიროა გვექონდეს გადაჯვარედინების იმდენი სქემა, რამდენი წრედიც განლაგებულია ხაზზე. ამის მისაღწევად მაგისტრალი იყოფა სექციებად, ხოლო თითოეული სექცია ელემენტებად.

განვიხილოთ 16-ელემენტიან სექციაში თითოეული წრედის გადაჯვარედინების სქემები (ნახ. 11.7). პირველი წრედი გადაჯვარედინებულია

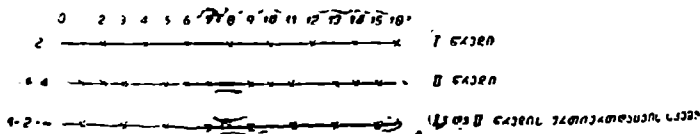


ნახ. 11.7.

ყოველ ელემენტზე, მეორე წრედი ყოველ მეორეზე, მესამე წრედი — ყოველ მეოთხეზე, მეოთხე წრედი — ყოველ მერვეზე. ეს ოთხი სქემა ძირითადი სქემებია და მათგან შეიძლება მივიღოთ ბევრი წარმოებული. მაგალითად, მეხუთე სქემა პირველი და მეორე სქემის ჯამური სქემაა (ამასთანავე წყვილი გა-

დაჯვარედინება ერთმანეთს აბათილებს). ანალოგიურია სქემა ინდექსით 1—2—4, რომელიც სამმაგი გადაჯვარედინების ჯამია.

ორი წრედის ურთიერთდაცვის ინდექსის განსასაზღვრავად საკმარისია მათი ცალკეული ინდექსების შეკრება (ნახ. 11.8). ურთიერთდაცვის სქე-



ნახ. 11.8.

მა 1—2 ინდექსით ტოლფასია იმ სქემის, რომელშიც ერთი წრედი გადაჯვარედინებულია 1—2 ინდექსით, ხოლო მეორე გადაჯვარედინების გარეშეა.

წრედების გადაჯვარედინების თეორიიდან ცნობილია, რომ გადაჯვარედინების შემდეგ მიიღება დამატებითი წევრები:

$$A_{\text{გაგ}} = \ln \left| \frac{4C}{K_0} \right| + \ln \left| \frac{1}{th\gamma S} \right| + \ln \left| \frac{1}{th\gamma 2S} \right| + \dots + \ln \left| \frac{1}{th\gamma nS} \right|$$

$$A_{\text{გაღ}} = A_0 + A_1 + A_2 + A_4 + \dots + A_n.$$

სადაც A_1, A_2, \dots, A_n დამოკიდებულია ურთიერთდაცვის სქემაზე.

მაგალითად, თუ წრედების ურთიერთდაცვის ინდექსია 1—2—8, გარდამავალ მილევას გამოვიანგარიშებთ:

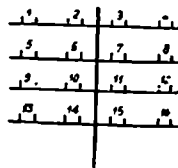
$$A_{\text{გაღ}} = A_0 + A_1 + A_2 + A_8.$$

გადაჯერდინების შედეგად მიღებული დამატებითი მილევის ანგარიშისათვის არსებობს საორიენტაციო ცხრილი, რომელშიც მოცემულია ახლო ბოლოზე დამატებითი მილევის მნიშვნელობა სხვადასხვა ინდექსისა და სიხშირეებისათვის, როდესაც ელემენტის სიგრძე 100 მეტრია (ცხრ. 11.1).

ცხრილი 11.1

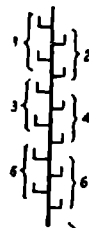
კომბინაციის პირობითი აღნიშვნა (R)	სიხშირე, კვც							
	19,2	40,3	60,6	82,0	103,4	124,9	146,5	152
	დამატებითი ჩაქრობა							
1	3,00	2,32	1,92	1,63	1,39	1,20	1,03	1,00
2	2,31	1,61	1,20	0,88	0,63	0,41	0,20	0,15
4	1,61	0,87	0,39	0,00	-0,40	-0,87	-1,51	-1,75
8	0,87	0,00	-0,87	-2,12	-0,84	0,00	0,79	1,03
16	0,00	-1,82	0,00	1,44	0,00	-1,22	0,00	0,32
32	-3,62	1,16	-0,94	0,80	-0,70	0,61	-0,53	-0,34

ამ ცხრილიდან შეგვიძლია ვიპოვოთ ინდექსის საშუალებით დამატებითი მილევა. მაგალითად, თუ ურთიერთდაცვის ინდექსია 1—8, მაშინ დამატებითი მილევა 22,6 კვც დროს იქნება 3,88 ნეპერი, ხოლო 45,2 კვც დროს — 2,32 ნეპერი.



	3,1	6,8	7,6
5,2	8,0	7,4	7,9
6,6	7,5	9,4	8,6
7,5	7,9	9,4	10,1

11.9 ნახაზზე ნაჩვენებია გარდამავალი მილევის გამონაგარიშებული სიდიდეები 4 მმ სპილენძის წრედებს შორის. გარდამავალი მილევა გამონაგარიშებულია პირველ და ყველა სხვა წრედს შორის (ნახ. 11.9).



	3,5
4,4	5,1
5,9	6,2

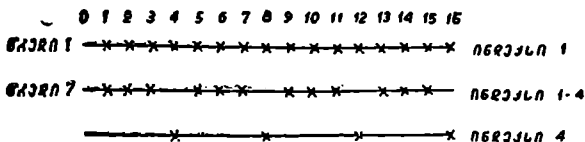
ამოცანა 11.1. მოცემულია ხაზის პროფილი ტრავერსული, წრედე-

ნახ. 11.9.

ბის ნომრებია 1 და 7, ურთიერთდაცვის ინდექსი პირველისაა 1, ხოლო მეორესი — 1—4, გადაჯვარედინების ბიჯი $S=100$ მ. ფაზის კოეფიციენტი 1,0 რად/კმ. ვიპოვოთ გარდამავალი მილევა 150 კილოჰერცის დროს.

ა მ ო ხ ს ნ ა. ურთიერთდაცვის ინდექსი $n=4$. A_0 სიდიდეს ვიღებთ 11.9 ნახაზიდან, ე. ი. $A_0=7,4$ ნებერს. 11.8 ცხრილიდან კი ვპოულობთ დამატებით გარდამავალ მილევას ინდექსისათვის 4, ე. ი. $A_4=1,36$ ნებ. საერთო გარდამავალი მილევა $A_{გადაჯ}=7,4-1,36=6,04$ ნებერს.

11.10 ნახაზზე მოცემულია წრედების ურთიერთგადაჯვარედინების სქემა.



ნახ. 11.10.

საკონტროლო კითხვები

1. როგორ შეიძლება შვეამციროთ ორსადენიან წრედებს შორის გავლენა?
2. რა არის გარდამავალი მილევა?
3. რაზეა დამოკიდებული მაგნიტური და ტევადობითი კავშირი?
4. როგორ გამოვარკვეოთ ერთი წრედის ურთიერთგადაჯვარედინების სქემა?
5. რომელი წრედი უფრო მეტ გავლენას ახდენს ორსადენიან წრედზე ერთსადენიანი, თუ ორსადენიანი და რატომ?
5. როგორ გამოვინგარიშოთ წრედებს შორის გარდამავალი მილევა?

თ ა ვ ი X I I

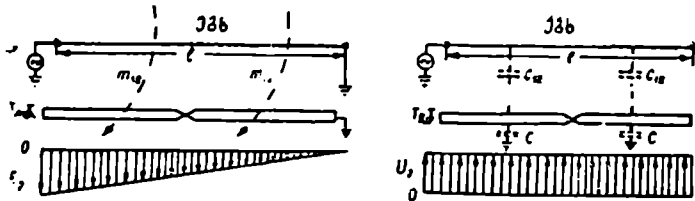
ქავშირგაბმულობის ხაზის გარე დენების მოქმედებისაგან დაცვა

12. 1. მაღალი ძაბვის ხაზებისა და ელექტროფიცირებული რკინიგზის გავლენა

თუ კავშირგაბმულობის ხაზი გადის მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემის ხაზის, ელექტროფიცირებული რკინიგზის, გრძელტალღიანი რადიოსადგურების ან საწარმოო აგრეგატების ახლოს, ამ ობიექტების ელექტრომაგნიტური წყაროები გავლენას ახდენს ხაზებზე და მასში წარმოქმნის ხმაურის დენებს.

განვიხილოთ მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის მოქმედება მის პარალელურად გამავალ კავშირგაბმულობის ხაზზე, მოკლე ჩართვისა და უქმი სვლის რეჟიმის დროს.

მაღალი ძაბვის მოკლედ ჩართვის დროს (ნახ. 12.1, ა) კავშირგაბმულობის ხაზის სადენებში წარმოიქმნება ინდუქციური ვოლტენის ე. მ. ძალა. ყველაზე დიდი ე. მ. ძალა გვექნება კავშირგაბმულობის ხაზსა და მიწას შორის ამ ხაზის ერთ ბოლოში დამიწების დროს.



ნახ. 12.1.

ელექტრომამოძრავებელი ძალის სიდიდე გამოიანგარიშება ფორმულით

$$E_2 = -j\omega M_{12} L I_{k3},$$

სადაც M_{12} არის ურთიერთინდუქციის კავშირი;

ω — საწარმოო დენის კუთხური სიხშირე;

L — პარალელური გარბენის სიგრძე;

I_{k3} — მაღალი ძაბვის ხაზის მოკლე ჩართვის დენი.

ზოგიერთ შემთხვევაში E_2 ისეთ დიდმნიშვნელობას აღწევს, რომ საშიში ხდება მომსახურე პერსონალისათვის. მის შესამცირებლად საჭიროა მაღალი ძაბვის ხაზიდან კავშირგაბმულობის ხაზის დაშორება ან პარალელური გარბენის სიგრძის შემცირება.

უქმი სვლის რეჟიმის დროს (ნახ. 12.1, ბ) კავშირგაბმულობის სადენებზე გაჩნდება ტევადობითი ვოლტენის პოტენციალი. ეს პოტენციალი ყველაზე დიდ მნიშვნელობას მიიღებს სადენებსა და მიწას შორის ამ სადენების გაწყვეტისას საწინააღმდეგო ბოლოში, ე. ი.

$$U_2 = \frac{C_{12}}{C} U_{3\text{აკს}},$$

სადაც C_{12} არის ტევადობითი კავშირის კოეფიციენტი;

C — სადენებსა და მიწას შორის ტევადობა;

$U_{3\text{აკს}}$ — მაღალი ძაბვის ხაზში მოქმედი ძაბვა.

ძაბვაში შეიძლება მიიღოს საშიში სიდიდე როგორც მომსახურე პერსონალისათვის, ისე აპარატურის ცალკეული დეტალებისათვის. მის შესამცირებლად საჭიროა მაღალი ძაბვის ხაზიდან კავშირგაბმულობის ხაზის დაშორება.

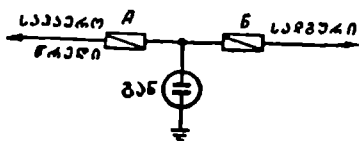
ადამიანისათვის საშიში ძაბვა გამოიანგარიშება შემდეგნაირად: ადამიანს შეუძლია გაუძლოს 15 მილამპერ დენს. ადამიანის ელექტროწინალობა ირჩევა 2 400-დან 28 500 ომამდე და დამოკიდებულია ადამიანის მდგომარეობაზე, კანის სიმშრალესა და მათულთან შეხების ხანგრძლივობაზე. აქედან გამომდინარეობს, რომ ადამიანისათვის საშიში შეიძლება იყოს 36-დან 430 ვოლტამდე და მეტი ძაბვა.

ნორმალური მუშაობის დროს მაღალი ძაბვის ხაზი კავშირგაბმულობის ხაზზე ხელის შემშლელად მოქმედებს. ხელის შემშლელი ძაბვების სიდიდე იზომება პსოფომეტრით და ტელეფონის არხში არ უნდა აღემატებოდეს 2,5 მილივოლტს. აქედან, მხოლოდ გარეშე წყაროებიდან წარმოქმნილი ხელის შემშლელი ძაბვა არ უნდა აღემატებოდეს 1,77 მილივოლტს.

12. 2. ელფაის გავლენა კავშირგაბმულობის ხაზზე

კავშირგაბმულობის ხაზებზე განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ელქეის განმუხტვის გავლენას. ეს განმუხტვები ხდება როგორც ღრუბლებში, ისე ღრუბლებსა და მიწას შორის. ღრუბლებს შორის განმუხტვის დროს წარმოიქმნება ინდუქციური გავლენა, ხოლო მიწაზე განმუხტვის შემთხვევაში ელვა შეიძლება უშუალოდ კავშირგაბმულობის ხაზის სადენებზე განიმუხტოს და დააზიანოს ხაზი.

ქექა-ქუხილისაგან ხაზის დასაცავად საჭიროა ჩატარდეს შემდეგი ღონისძიებანი: ხაზის ყოველ რთულ საყრდენზე (კუთხური, ნახევარ-



ნახ. 12.2.

ანკერული, საკონტროლო, საკაბელო და შემყვანი და ზოგიერთ შუალედ საყრდენებზე) უნდა გაკეთდეს მეხამრიდები, ხოლო საპარო წრედის სადგურში შეყვანისას ან საკაბელო ხაზზე გადაყვანისას ამ წრედებზე უნდა ჩაირ-

თოს დამცავი მოწყობილობა (ნახ.12.2).

12.2 ნახაზზე ნაჩვენებია განმუხტველისა და დამცველების ჩართვის სქემა. როდესაც სადენის პოტენციალი მიაღწევს 350 ვოლტ სიდიდეს, განმუხტველი აინთება, მისი წინალობა შემცირდება და განმუხტვის დენი დამიწდება; დამცველი გადაიწევა, თუ მასში 0,5 ამპერზე მეტი დენი გაივლის და დაზიანებისაგან დაიცავს როგორც სადგურის მოწყობილობას, ისე განმუხტველსაც.

სხვადასხვა შემთხვევებში სქემებს სხვაგვარი სახე აქვს, მაგრამ დამცველის ჩართვას ყოველთვის ერთი დანიშნულება აქვს—დაიცავს სადგურის აპარატურა და მომსახურე პერსონალი დაზიანებისაგან.

შედარებით გრძელ ხაზებზე გამოყენებულია კასკადური დაცვა, რომლის დროსაც შუალედი საყრდენების ნაწილზე ეწყობა ნაპერწყლო-რი განმუხტვლები.

**12. 8. საპაბელო ხაზზე გარე ქაბევის გავლენა.
კოროზია და მისგან დაცვა**

მიწისქვეშა კაბელებზე ხელისშემშლელ და სამიშ გავლენას ახდენს შემდეგი წყაროები:

1. მაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზები;
2. მუდმივი და ცვლადი დენით ელექტრიფიცირებული რკინიგზები;
3. ქეკა-ქუხილის განმუხტვა;
4. მაგნიტური ქარიშხალი.

მაღალი ძაბვის ხაზების შემთხვევაში საჭიროა კავშირგაბმულობის კაბელის მისგან დაშორება, დამცავი ტროსის პარალელურად ჩადება ან თვით მაღალი ძაბვის ხაზზე სწრაფმოქმედი გამომრთველების დაყენება.

ქეკა-ქუხილის დროს, თუ კაბელის ახლოს მიწაში მოხდება ელექტროლი დაცლა, დაცლის დენი გაჟყვება კაბელს (ვინაიდან მას უფრო ნაკლები წინაღობა აქვს, ვიდრე ნიადაგს) და შეუძლია გააძნოს როგორც ტყვიის გარსი, ისე სპილენძის ძარღვები, გაგლიჯოს ჭავშანი ან დასწვას ჭუტისა და საკაბელო ქაღალდის საფარი.

ქეკა-ქუხილის განმუხტვისაგან კაბელის დაცვის სამუშაოები სრულდება შემდეგ შემთხვევებში: როდესაც არსებული კაბელი ზიანდება ელვისაგან; როდესაც კაბელი ჩაწყობილია ტყის ნაპირას; როდესაც კაბელის ახლოს არსებობს ცალკეული ხეები, საჰაერო ან მაღალი ძაბვის საყრდენები; კაბელის ჩაწყობისას ნიადაგში, საჰაერო ხაზის ან მისი გადაკვეთის ადგილზე. ასეთ ადგილებში კაბელის დაცვისათვის უნდა ჩატარდეს შემდეგი ღონისძიებანი:

1. გამოყენებულ იქნას ელექტროგამძლე კაბელები;
2. კაბელის პარალელურად ჩაიწყოს ლითონის ტროსი ან მავთულები;
3. პარალელურად გამავალ საჰაერო ხაზებზე არსებულ ნაპერწყლოვანი დამცველების დამიწება გადატანილ იქნას კაბელიდან დაშორებით.

ნიადაგის კოროზია სამი სახისაა: ნიადაგის ელექტროქიმიური, ელექტროკოროზია და კრისტალთშორისი კოროზია, რომლებიც შლიან როგორც კაბელის ჭავშანს, ისე ტყვიის გარსსაც.

ნიადაგის კოროზიისაგან დასაცავად დგამენ ანოდურ ელექტროდებს, დრენაჟის მოწყობილობებს ან კაბელს ფარავენ საიზოლაციო შრით (პოლიეთილენის ან ბიტუმის).

კავშირგაბმულობის ხაზების მშენებლობა და ექსპლოატაცია

13. 1. საქალაქთაშორისო, სასოფლო და ქალაქის კავშირის ხაზების მშენებლობა

კავშირგაბმულობის ხაზების მშენებლობის დროს, მასალების ტრანსპორტირებისა და ხაზის ტექნიკური დათვალიერებისათვის, ტრასას ირჩევენ საავტომობილო გზების გასწვრივ.

საქაერო ხაზის მშენებლობაში შედის შემდეგი ძირითადი სახის სამუშაოები:

1. ხაზის დანაწილება, ე. ი. ტრასის გასწვრივ საყრდენების დაყენების ადგილების განსაზღვრა;
2. ბუჩქნარის გაკაფვა;
3. საყრდენებისა და სახაზო მასალების ხაზის ტრასაზე გადაზიდვა;
4. საყრდენების აკაზმვა (კავკეების, ტრავერსების და იზოლატორების დამაგრება საყრდენზე);
5. ორმოების ამოთხრა, საყრდენების დაყენება და გამაგრება;
6. სადენების დაკიდება და რეგულირება;
7. საყრდენების ნუმერაცია.

ხაზის დანაწილების შემდეგ ყველა სახის საყრდენების რაოდენობისა და მათი დაყენების ადგილის დაზუსტებას ახდენენ. საყრდენების სიმაღლე და მათ შორის მანძილი უნდა შეესაბამებოდეს როგორც ხაზის ტიპს, ასევე პროფილსა და კლასს. წინასწარ უნდა შეირჩეს საჭირო მასალების საწყობების ადგილმდებარეობა, საიდანაც მოხდება ამ მასალების ტრანსპორტირება ხაზის გასწვრივ.

ტრასის შერჩევისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ ყველა პარალელურად გამავალი მაღალი ძაბვის ხაზები, ელექტრიფიცირებული რკინიგზები და დასახლებული პუნქტები, აგრეთვე ტყიანი ადგილები და მთაგორიანი რელიეფი. რაც უფრო ლარივითაა გაქიმული საქაერო ხაზი, მით ნაკლებად სჭირდება დამატებითი გამაგრება (კუთხის საყრდენებით).

ხაზის მშენებლობისას დაცული უნდა იყოს გაბარიტები, ე. ი. მანძილები საყრდენებს, მიწის ზედაპირსა და სადენის უდაბლეს წერტილს, საყრდენებსა და გზისპირს. შორის და სხვ.

საკაბელო ხაზების მშენებლობისას საჭიროა წინასწარ ვიცოდეთ სად და რა მიწისქვეშა კომუნიკაციებს (წყალსადენის მილები, ელექტროკაბელები, გაზსადენი და სხვ.) გადაკვეთს მშენებარე საკაბელო ხაზი. საჭიროა ვიცოდეთ ნიადაგის კატეგორია, რათა დაზუსტდეს სად გამოიყენება მექანიზებული მეთოდით კაბელის ჩაწყობა, სად იქნება ასაფეთქებელი სამუშაოები (კლდოვანი ადგილის დროს).

კაბელის ჩაწყობის ადგილი ფიქსირებული უნდა იყოს ტრასის აღმნიშვნელი სანიშნოებით.

დაუსახლებელ ადგილებში ჯავშნიანი კაბელები უშუალოდ ნიადაგში იწყობა, ხოლო ქალაქში კაბელის გასაყვანად გამოყენებულია სპეციალური კანალიზაცია, რომელსაც აკეთებენ აზბესტცემენტის მილებით ან ბეტონის ბლოკებით. ასეთ მრავალარხიან კანალიზაციას კაბელის მილებში გაყვანის გასაადვილებლად და კაბელის ცალკეული სიგრძეების ერთმანეთთან მისაერთებლად გზადაგზა უკეთდება სპეციალური ქები. კანალიზაციაში უმთავრესად შიშველ, ე. ი. უჯავშნო კაბელებს აწყობენ.

კაბელების მონტაჟამდე ხდება მათი ელექტროგაზომები და შემდგომი სიმეტრირება.

18. 2. მექანიზმების გამოყენება საშენობლო საშუალო დროს

საკაბელო ხაზების მშენებლობის დროს გამოიყენება მექანიზმები: ბულდოზერები, ტრაქტორები, ექსკავატორები, ავტომანქანები. საკაბელო მისაბმელები, უნივერსალური საკაბელო ავტომანქანები და კაბელჩამწყობები.

კაბელჩამწყობით კაბელის გაყვანისას, ტრანშეა წინასწარ არ ითხრება. კაბელჩამწყობი მუხლუხიანი მისაბმელია, რომელზედაც დამაგრებულია საკაბელო დოლანები. კაბელჩამწყობს მიმაგრებული აქვს სპეციალური საჭრისი-დანა, რომელიც ჩაშვებულია მიწაში 1—1,3 მეტრის სიღრმეზე და წინსვლის დროს 160 მილიმეტრის სიგანის ლარს სჭრის ნიადაგში. დანის უკანა მხარეს გაკეთებულია მილი, რომლითაც დოლანებზე დახვეული კაბელები ჩადის და ლაგდება მიწაში.

კაბელჩამწყობის გადასაადვილებლად და ნიადაგის დანით გასაქრებლად, კაბელჩამწყობს მიუბამენ მუხლუხა ტრაქტორს. თუ კაბელის ტრასა კვეთს რკინიგზას ან საავტომობილო გზას, მოძრაობის შეფერხების თავიდან ასაცილებლად, გზის ქვეშ კაბელის გაყვანა ხორციელდება ნიადაგის წინასწარი გაბურღვით (180—250 მმ დიამეტრის ბურღით) ჰორიზონტალური მბურღავი დანადგარის საშუალებით.

სადგურებში კაბელები შეჰყავთ სპეციალური მოწყობილობის დგარზე, სადაც ისინი ირთვება ბოქსებში. ბოქსებში ძარღვები ირთვება შტიფტებზე, ხოლო ტყვიის გარსი მიერჩილება ბოქსის ლულას. მონტაჟის დამთავრების შემდეგ ბოქსს ავსებენ საიზოლაციო საკაბელო მასით.

18. 3. კავშირგაბმულობის ხაზების ექსპლუატაცია

კავშირგაბმულობის ექსპლუატაციის ძირითადი დანიშნულებაა მისი ელექტრული პარამეტრების ნორმების შენარჩუნება, რადგანაც დარღვევა შესაძლებელია როგორც მექანიკური, ისე ელექტრული დაზიანების

დროს. მექანიკური დაზიანებების თავიდან ასაცილებლად სახაზო ზედამხედველები ხაზს პერიოდულად ათვალიერებენ.

სადგურებში, რომელშიც ხაზებია შეყვანილი, მუდმივი დენით პერიოდული ელექტროგაზომვების მეშვეობით ხდება ხაზების ელექტრული მდგომარეობის შემოწმება.

საკაბელო ხაზების დამცავი გარსის მთლიანობის შესამოწმებლად, კაბელებში ქმნიან ჰარბ ატმოსფერულ წნევას, რისთვისაც სპეციალური კომპარესორებით ტენისაგან გასუფთავებულ ჰაერს წნეხენ კაბელის გარსის შიგნით. საკონტროლო პუნქტებში კაბელების გარსს უერთდება მანომეტრები, რომლებიც აღნიშნავენ წნევის სიდიდეს; ხოლო წნევის დაწევის შემთხვევაში, რაც შეიძლება გამოწვეულ იქნეს გარსის დაზიანების დროს, რთავენ საავარიო სასიგნალო მოწყობილობას.

კაბელის იზოლაციის საკონტროლოდ ამავე პუნქტებში ირთვება სასიგნალო მოწყობილობა კაბელის სადენსა და მიწას შორის. იზოლაციის შემცირების შემთხვევაში მოწყობილობა მომსახურე პერსონალს მისცემს შესაბამის სიგნალს. დიდი მნიშვნელობა აქვს ექსპლოატაციის დროს სასამსახურო კავშირს. სახაზო ზედამხედველების ადგილსამყოფელი სატელეფონო სასამსახურო წრედით დაკავშირებულია სადგურებთან. ხაზის დაზიანების შემთხვევაში ზედამხედველები აღიან საკონტროლო ბოძებზე, დაზიანებულ წრედს გადახსნიან და არკვევენ დაზიანებულ უბანს, რათა უფრო სწრაფად მონახონ დაზიანება. დაზიანების ადგილის დასაზუსტებლად სადგურები აღჭურვილია იმპულსური ხელსაწყოებით. ამ ხელსაწყოებით ხაზში იგზავნება განსაკუთრებული სიხშირის იმპულსები, რომელთა საშუალებით ხდება ხაზის ზონდირება. თუ ხაზის რომელიმე წერტილში დაზიანების შედეგად (გაწყვეტა, მოკლეჩართვა და სხვ.) შეცვლილია ხაზის მახასიათებელი წინალობა, დენის იმპულსები აირეკლება ასეთი ადგილიდან და უბრუნდება ხელსაწყოს. ელექტრული მოწყობილობა დაბრუნებულ იმპულსს მიაწოდებს მნათ ეკრანს. მასზე დატანილია კილომეტრული მასშტაბი, რომელიც ზუსტად გვიჩვენებს, თუ რომელ კილომეტრზეა დაზიანება და რა ხასიათისაა ის.

კაბელის გარსის მცირე დაზიანების შემთხვევაში, საკმაოდ ძნელდება დაზიანების ადგილის მოძებნა. ასეთ შემთხვევაში იყენებენ კაბელის გარსის შიგნით რადიოაქტიური ფრეონის დაწნეხის მეთოდს. დაზიანების ადგილას ფრეონი კაბელიდან მიწაში გამოჟონავს და ნიადაგს გაჟღენთავს. სპეციალური რადიოაქტივობის აღმოჩენის საშუალებით ტექნიკოსი გააყვება კაბელის ტრასას და პოულობს რადიოაქტიური ფრეონის გაჟონვის ადგილს.

მომსახურებულ სადგურებს შორის ხშირად ირთვება მიწისქვეშა ფოლადის ცისტერნებში განლაგებული მოუმსახურებელი გამაძლიერებელი სადგურები. ამ სადგურის გამაძლიერებლების ელექტროენერჯით

კვებისათვის გამოყენებულია დისტანციური კვება, რომლის აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ მომსახურებული სადგურიდან, სადაც მუდმივად იმყოფება ტექნიკური პერსონალი, კაბელების ძარღვების საშუალებით მოუმსახურებელ სადგურებს მიეწოდებათ როგორც სიგნალის სიხშირეები, ისე დისტანციური კვების დენი.

18. 4. უსაფრთხოების ტაქნიკა

ყველა მომსახურემ, რომელიც დაკავშირებულია კავშირგაბმულობის ხაზების მშენებლობასა და ექსპლოატაციასთან უნდა იცოდეს მუშაობის ჩატარების უსაფრთხოების მეთოდები და განუხრევლად შეასრულოს მისი წესები.

საპაერო ხაზებზე აკრძალულია სამუშაოს ჩატარება ელქექისა და ქარის დროს, რომლის ძალა 8 ბალს აღწევს.

სამუშაოს დაწყების წინ ჯგუფის უფროსში საგულდაგულოდ უნდა შეამოწმოს საყრდენების სიმაგრე. აკრძალულია სადენებისაგან განთავისუფლებულ დამპალ საყრდენებზე ასვლა.

სადენებთან მუშაობისას უნდა დავრწმუნდეთ რომ მათში არ არის საშიში სიდიდის ძაბვა. ამ შემოწმებას ახდენენ ძაბვის ინდიკატორის საშუალებით. განსაკუთრებით საშიშია მუშაობა იქ, სადაც კავშირგაბმულობის ხაზი კვეთს ან უახლოვდება მაღალი ძაბვის ხაზებს.

მუშაობის დაწყების წინ საჭიროა კარგად შევამოწმოთ დამცველი ქამარი, კიბე, სადენების დასაქიმად გამოყენებული ბლოკი, სათვალეები და სხვა ხელსაწყოები.

შედარებით საშიშ ადგილებზე მუშაობა უნდა ხდებოდეს ტექნიკური ხელმძღვანელის ზედამხედველობით.

უბედური შემთხვევის დროს საჭიროა მიღებულ იქნას სასწრაფო ზომები და დაზარალებულს გაეწიოს პირველადი დახმარება, ხოლო შემდეგ გადაყვანილ იქნას საავადმყოფოში.

აუცილებელია პერსონალის მიერ უსაფრთხოების ტექნიკის სწავლება და გამოცდების ჩაბარება. თუ მუშაკს არა აქვს ჩაბარების მოწმობა, ის სამუშაოზე არ დაიშვება.

უსაფრთხოების წესების დარღვევის შემთხვევაში, რომლის დროსაც ადგილი ჰქონდა უბედურ შემთხვევას, მასალები გადაეცემა სასამართლოს და დამნაშავე დაისჯება სისხლის სამართლის წესით.



კუთხეების სინუსები 0-დან 90°-მდე

კრატელები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067
4	0,070	0,073	0,076	0,078	0,081	0,084
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102
6	0,105	0,107	0,110	0,113	0,116	0,119
7	0,122	0,125	0,128	0,131	0,133	0,136
8	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,154
9	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171
10	0,174	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188
11	0,191	0,194	0,197	0,199	0,202	0,205
12	0,208	0,211	0,214	0,216	0,219	0,222
13	0,225	0,228	0,231	0,233	0,236	0,239
14	0,242	0,245	0,248	0,250	0,253	0,256
15	0,259	0,262	0,264	0,267	0,270	0,273
16	0,276	0,278	0,281	0,284	0,287	0,290
17	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306
18	0,309	0,312	0,315	0,317	0,320	0,323
19	0,326	0,328	0,331	0,334	0,337	0,339
20	0,342	0,345	0,347	0,350	0,353	0,356
21	0,358	0,361	0,364	0,367	0,369	0,372
22	0,375	0,377	0,380	0,383	0,385	0,388
23	0,391	0,393	0,396	0,399	0,401	0,404
24	0,407	0,409	0,412	0,415	0,417	0,420
25	0,423	0,425	0,428	0,431	0,433	0,436
26	0,438	0,441	0,444	0,446	0,449	0,451
27	0,454	0,457	0,459	0,462	0,464	0,467
28	0,469	0,472	0,475	0,477	0,480	0,482
29	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,497
30	0,500	0,503	0,505	0,508	0,510	0,513
31	0,515	0,518	0,520	0,523	0,525	0,527
32	0,530	0,532	0,535	0,537	0,540	0,542
33	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554	0,557
34	0,559	0,562	0,564	0,566	0,569	0,571
35	0,574	0,576	0,578	0,581	0,583	0,585
36	0,588	0,590	0,592	0,595	0,597	0,599
37	0,602	0,604	0,606	0,609	0,611	0,613
38	0,616	0,618	0,620	0,623	0,625	0,627
39	0,629	0,632	0,634	0,636	0,638	0,641
40	0,643	0,645	0,647	0,649	0,652	0,654
41	0,656	0,658	0,660	0,663	0,665	0,667
42	0,669	0,671	0,673	0,676	0,678	0,680
43	0,682	0,684	0,685	0,688	0,690	0,693
44	0,695	0,697	0,699	0,701	0,703	0,705
45	0,707	0,709	0,711	0,713	0,715	0,717
46	0,719	0,721	0,723	0,725	0,727	0,729
47	0,731	0,733	0,735	0,737	0,739	0,741
48	0,743	0,745	0,747	0,749	0,751	0,753
49	0,755	0,757	0,759	0,760	0,762	0,764
50	0,766	0,768	0,770	0,772	0,773	0,775
51	0,777	0,779	0,781	0,783	0,784	0,786

გრადუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
52	0,788	0,790	0,792	0,793	0,795	0,797
53	0,799	0,800	0,802	0,804	0,806	0,807
54	0,809	0,811	0,812	0,814	0,816	0,817
55	0,819	0,821	0,822	0,824	0,826	0,827
56	0,829	0,831	0,832	0,834	0,835	0,837
57	0,839	0,840	0,842	0,843	0,845	0,847
58	0,848	0,850	0,851	0,853	0,854	0,856
59	0,857	0,859	0,860	0,862	0,863	0,865
60	0,866	0,867	0,869	0,870	0,872	0,873
61	0,875	0,876	0,877	0,879	0,880	0,882
62	0,883	0,884	0,886	0,887	0,888	0,890
63	0,891	0,892	0,894	0,895	0,896	0,898
64	0,899	0,900	0,901	0,903	0,904	0,905
65	0,906	0,908	0,909	0,910	0,911	0,912
66	0,914	0,915	0,916	0,917	0,918	0,919
67	0,921	0,922	0,923	0,924	0,925	0,926
68	0,927	0,928	0,929	0,930	0,931	0,933
69	0,934	0,935	0,936	0,937	0,938	0,939
70	0,940	0,941	0,942	0,943	0,944	0,945
71	0,946	0,946	0,947	0,948	0,949	0,950
72	0,951	0,952	0,953	0,954	0,955	0,955
73	0,956	0,957	0,958	0,959	0,960	0,960
74	0,961	0,962	0,963	0,964	0,964	0,965
75	0,966	0,967	0,967	0,968	0,969	0,970
76	0,970	0,971	0,972	0,972	0,973	0,974
77	0,974	0,975	0,976	0,976	0,977	0,978
78	0,978	0,979	0,979	0,980	0,981	0,981
79	0,982	0,982	0,982	0,983	0,984	0,984
80	0,985	0,985	0,986	0,986	0,987	0,987
81	0,988	0,988	0,989	0,989	0,989	0,990
82	0,991	0,991	0,991	0,991	0,992	0,992
83	0,993	0,991	0,993	0,994	0,994	0,994
84	0,995	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996
85	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997
86	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
87	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
88	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
89	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
90	1,000	—	—	—	—	—

ცხრილი 2

კუთხეების კოსინუსები 0-დან 90°-მდე

გრადუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
3	0,999	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
4	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996

კრატუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
5	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995
6	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993
7	0,993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,991
8	0,990	0,990	0,989	0,989	0,989	0,988
9	0,988	0,987	0,987	0,986	0,986	0,985
10	0,985	0,984	0,984	0,983	0,983	0,982
11	0,982	0,981	0,981	0,980	0,979	0,979
12	0,978	0,978	0,977	0,976	0,976	0,975
13	0,974	0,974	0,973	0,972	0,972	0,971
14	0,970	0,970	0,969	0,968	0,967	0,967
15	0,966	0,965	0,964	0,964	0,963	0,962
16	0,961	0,960	0,960	0,959	0,958	0,957
17	0,956	0,955	0,955	0,954	0,953	0,952
18	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,946
19	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941
20	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935
21	0,934	0,933	0,931	0,930	0,929	0,928
22	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922
23	0,921	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915
24	0,914	0,912	0,911	0,910	0,909	0,908
25	0,906	0,905	0,904	0,903	0,901	0,900
26	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894	0,892
27	0,891	0,890	0,883	0,887	0,886	0,884
28	0,883	0,882	0,880	0,879	0,877	0,876
29	0,875	0,873	0,872	0,870	0,869	0,867
30	0,866	0,865	0,863	0,862	0,860	0,859
31	0,857	0,856	0,854	0,853	0,851	0,850
32	0,848	0,847	0,845	0,843	0,842	0,840
33	0,839	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831
34	0,829	0,827	0,826	0,824	0,822	0,821
35	0,819	0,817	0,816	0,814	0,812	0,811
36	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800
37	0,799	0,797	0,795	0,793	0,792	0,790
38	0,788	0,786	0,784	0,783	0,781	0,779
39	0,777	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768
40	0,766	0,764	0,762	0,760	0,759	0,757
41	0,755	0,753	0,751	0,749	0,747	0,745
42	0,743	0,741	0,739	0,737	0,735	0,733
43	0,731	0,729	0,727	0,725	0,723	0,721
44	0,719	0,717	0,715	0,713	0,711	0,709
45	0,707	0,705	0,703	0,701	0,699	0,697
46	0,695	0,693	0,690	0,688	0,686	0,683
47	0,682	0,680	0,678	0,676	0,673	0,671
48	0,669	0,667	0,665	0,664	0,660	0,658
49	0,656	0,654	0,652	0,649	0,647	0,645
50	0,643	0,641	0,638	0,636	0,634	0,632
51	0,629	0,627	0,625	0,623	0,620	0,618
52	0,616	0,613	0,611	0,609	0,606	0,604
53	0,602	0,599	0,597	0,595	0,592	0,590
54	0,588	0,585	0,583	0,581	0,578	0,576
55	0,574	0,571	0,569	0,566	0,564	0,562
56	0,559	0,557	0,555	0,552	0,550	0,547
57	0,545	0,542	0,540	0,537	0,535	0,532
58	0,530	0,527	0,525	0,523	0,520	0,518

გრადუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
59	0,515	0,513	0,510	0,508	0,505	0,503
60	0,500	0,497	0,495	0,492	0,490	0,487
61	0,485	0,482	0,480	0,477	0,475	0,472
62	0,469	0,467	0,464	0,462	0,459	0,457
63	0,454	0,451	0,449	0,446	0,444	0,441
64	0,438	0,436	0,433	0,431	0,428	0,425
65	0,423	0,420	0,417	0,415	0,412	0,409
66	0,407	0,404	0,401	0,399	0,396	0,393
67	0,391	0,388	0,385	0,383	0,380	0,377
68	0,375	0,372	0,369	0,367	0,364	0,361
69	0,358	0,356	0,353	0,350	0,347	0,345
70	0,342	0,339	0,337	0,334	0,331	0,328
71	0,326	0,323	0,320	0,317	0,315	0,312
72	0,309	0,306	0,303	0,301	0,298	0,295
73	0,292	0,290	0,287	0,284	0,281	0,278
74	0,276	0,273	0,270	0,267	0,264	0,262
75	0,259	0,256	0,253	0,250	0,248	0,245
76	0,242	0,239	0,236	0,233	0,231	0,228
77	0,225	0,222	0,219	0,216	0,214	0,211
78	0,208	0,205	0,202	0,199	0,197	0,194
79	0,191	0,188	0,185	0,182	0,179	0,177
80	0,174	0,171	0,168	0,165	0,162	0,159
81	0,156	0,154	0,151	0,148	0,145	0,142
82	0,139	0,136	0,133	0,131	0,128	0,125
83	0,122	0,119	0,116	0,113	0,110	0,107
84	0,105	0,102	0,099	0,096	0,093	0,090
85	0,087	0,084	0,081	0,078	0,076	0,073
86	0,070	0,067	0,064	0,061	0,058	0,055
87	0,052	0,049	0,047	0,044	0,041	0,038
88	0,035	0,032	0,029	0,026	0,023	0,020
89	0,017	0,015	0,012	0,009	0,006	0,003
90	0,000	—	—	—	—	—

ც ხ რ ი ლ 3

კუთხეების ტანგენტები 0-დან 90°-მდე

გრადუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067
4	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102
6	0,105	0,108	0,111	0,114	0,117	0,120
7	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138
8	0,141	0,144	0,146	0,149	0,152	0,155
9	0,158	0,161	0,164	0,167	0,170	0,173
10	0,176	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191
11	0,190	0,197	0,200	0,203	0,206	0,210

გრადუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
12	0,213	0,216	0,219	0,222	0,225	0,228
13	0,231	0,234	0,237	0,240	0,243	0,246
14	0,249	0,252	0,256	0,259	0,262	0,265
15	0,268	0,271	0,274	0,277	0,280	0,284
16	0,287	0,290	0,293	0,296	0,299	0,303
17	0,306	0,309	0,312	0,315	0,318	0,322
18	0,325	0,328	0,331	0,335	0,338	0,341
19	0,344	0,348	0,351	0,354	0,357	0,361
20	0,364	0,367	0,371	0,374	0,377	0,381
21	0,384	0,387	0,391	0,394	0,397	0,401
22	0,404	0,407	0,411	0,414	0,418	0,424
23	0,424	0,428	0,431	0,435	0,438	0,442
24	0,445	0,449	0,452	0,456	0,459	0,463
25	0,466	0,470	0,473	0,477	0,481	0,484
26	0,488	0,491	0,495	0,499	0,502	0,506
27	0,510	0,513	0,517	0,521	0,524	0,528
28	0,532	0,535	0,539	0,543	0,547	0,551
29	0,554	0,558	0,562	0,566	0,570	0,573
30	0,577	0,581	0,585	0,589	0,593	0,597
31	0,601	0,605	0,609	0,613	0,617	0,621
32	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645
33	0,649	0,654	0,658	0,662	0,666	0,670
34	0,675	0,679	0,683	0,687	0,692	0,696
35	0,700	0,705	0,709	0,713	0,718	0,722
36	0,727	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749
37	0,754	0,758	0,763	0,767	0,772	0,777
38	0,781	0,786	0,791	0,795	0,800	0,805
39	0,810	0,815	0,819	0,824	0,829	0,834
40	0,839	0,844	0,849	0,854	0,859	0,864
41	0,869	0,874	0,880	0,885	0,890	0,895
42	0,900	0,906	0,911	0,916	0,922	0,928
43	0,933	0,938	0,943	0,949	0,955	0,960
44	0,966	0,971	0,977	0,983	0,988	0,994
45	1,000	1,006	1,012	1,018	1,024	1,030
46	1,036	1,042	1,048	1,054	1,060	1,066
47	1,072	1,079	1,085	1,091	1,098	1,104
48	1,111	1,117	1,124	1,130	1,137	1,144
49	1,150	1,157	1,164	1,171	1,178	1,185
50	1,192	1,199	1,206	1,213	1,220	1,228
51	1,235	1,242	1,250	1,257	1,265	1,272
52	1,280	1,288	1,295	1,303	1,314	1,319
53	1,327	1,335	1,343	1,351	1,360	1,368
54	1,376	1,385	1,393	1,402	1,411	1,419
55	1,428	1,437	1,446	1,455	1,464	1,473
56	1,483	1,492	1,501	1,511	1,520	1,530
57	1,540	1,550	1,560	1,570	1,580	1,590
58	1,600	1,611	1,621	1,632	1,643	1,653
59	1,664	1,675	1,686	1,698	1,709	1,720
60	1,732	1,744	1,756	1,767	1,780	1,792
61	1,804	1,816	1,829	1,842	1,855	1,869
62	1,881	1,894	1,907	1,921	1,935	1,949
63	1,963	1,977	1,991	2,006	2,020	2,035
64	2,050	2,066	2,081	2,097	2,112	2,128
65	2,145	2,161	2,177	2,194	2,211	2,229

გრადუსები	0'	10'	20'	30'	40'	50'
66	2,246	2,264	2,282	2,300	2,318	2,337
67	2,356	2,375	2,394	2,414	2,434	2,455
68	2,475	2,496	2,517	2,539	2,560	2,583
69	2,605	2,628	2,651	2,675	2,699	2,723
70	2,747	2,773	2,798	2,824	2,850	2,877
71	2,904	2,932	2,960	2,988	3,018	3,047
72	3,078	3,108	3,140	3,172	3,204	3,237
73	3,271	3,305	3,340	3,376	3,412	3,450
74	3,487	3,526	3,566	3,606	3,647	3,689
75	3,732	3,766	3,821	3,867	3,914	3,962
76	4,011	4,061	4,113	4,165	4,219	4,275
77	4,331	4,390	4,449	4,511	4,574	4,638
78	4,705	4,773	4,843	4,915	4,989	5,066
79	5,145	5,226	5,309	5,396	5,485	5,576
80	5,671	5,769	5,871	5,976	6,084	6,197
81	6,314	6,435	6,561	6,691	6,827	6,968
82	7,115	7,269	7,429	7,596	7,770	7,953
83	8,144	8,315	8,556	8,777	9,010	9,255
84	9,514	9,788	10,08	10,39	10,71	11,06
85	11,43	11,83	12,25	12,71	13,20	13,73
86	14,30	14,92	15,60	16,35	17,17	18,07
87	19,08	20,21	21,47	22,90	24,54	26,43
88	28,64	31,24	34,37	38,19	42,96	49,10
89	57,29	68,75	85,94	114,6	171,9	343,8
90	—	—	—	—	—	—

ცხრილი 4
 ც-ა მნიშვნელობები (როდესაც α იცვლება 0-დან 10-მდე)

α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,99	0,9802	0,9705	0,9608	0,9512	0,9418	0,9324	0,9231	0,9139	
0,1	0,9048	0,8953	0,8869	0,8781	0,8694	0,8607	0,8521	0,8437	0,8353	0,8270
0,2	0,8187	0,8106	0,8025	0,7945	0,7866	0,7788	0,7711	0,7634	0,7558	0,7483
0,3	0,7408	0,7334	0,7261	0,7289	0,7118	0,7047	0,6977	0,6907	0,6839	0,6771
0,4	0,6703	0,6657	0,6570	0,6505	0,6440	0,6376	0,6313	0,6250	0,6188	0,6126
0,5	0,6065	0,6005	0,5945	0,5886	0,5827	0,5769	0,5712	0,5655	0,5599	0,5543
0,6	0,5488	0,5434	0,5379	0,5326	0,5273	0,5220	0,5169	0,5117	0,5066	0,5016
0,7	0,4966	0,4916	0,4868	0,4819	0,4771	0,4724	0,4677	0,4630	0,4584	0,4538
0,8	0,4493	0,4449	0,4404	0,4360	0,4317	0,4274	0,4232	0,4190	0,4148	0,4107
0,9	0,4066	0,4025	0,3985	0,3946	0,3906	0,3867	0,3829	0,3791	0,3753	0,3716
1,0	0,3679	0,3642	0,3606	0,3570	0,3535	0,3499	0,3465	0,3430	0,3396	0,3362
1,1	0,3329	0,3296	0,3263	0,3230	0,3198	0,3166	0,3135	0,3104	0,3073	0,3042
1,2	0,3012	0,2982	0,2952	0,2923	0,2898	0,2865	0,2837	0,2808	0,2780	0,2753
1,3	0,2725	0,2698	0,2671	0,2645	0,2618	0,2592	0,2567	0,2541	0,2516	0,2491
1,4	0,2466	0,2441	0,2417	0,2393	0,2369	0,2346	0,2322	0,2299	0,2276	0,2254
1,5	0,2231	0,2209	0,2187	0,2165	0,2144	0,2122	0,2101	0,2080	0,2060	0,2039
1,6	0,2019	0,1999	0,1976	0,1959	0,1940	0,1920	0,1901	0,1882	0,1864	0,1845
1,7	0,1827	0,1809	0,1791	0,1771	0,1755	0,1738	0,1720	0,1703	0,1686	0,1670
1,8	0,1653	0,1637	0,1620	0,1604	0,1588	0,1572	0,1557	0,1541	0,1526	0,1511
1,9	0,1496	0,1481	0,1466	0,1451	0,1437	0,1423	0,1409	0,1395	0,1381	0,1367
2,0	0,1353	0,1340	0,1327	0,1313	0,1300	0,1287	0,1275	0,1262	0,1249	0,1237
2,1	0,1225	0,1212	0,1200	0,1188	0,1177	0,1165	0,1153	0,1141	0,1130	0,1119
2,2	0,1108	0,1097	0,1086	0,1075	0,1065	0,1054	0,1044	0,1033	0,1023	0,1013

მე-4 ცხრილის გაგრძელება

a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,3	0,1003	0,0993	0,0983	0,0973	0,0963	0,0954	0,0944	0,0935	0,0926	0,0916
2,4	0,0907	0,0898	0,0889	0,0880	0,0872	0,0863	0,0854	0,0846	0,0837	0,0829
2,5	0,0821	0,0813	0,0805	0,0797	0,0789	0,0781	0,0773	0,0765	0,0758	0,0750
2,6	0,0743	0,0735	0,0728	0,0721	0,0714	0,0707	0,0699	0,0693	0,0686	0,0679
2,7	0,0672	0,0656	0,0659	0,0652	0,0646	0,0639	0,0633	0,0627	0,0620	0,0614
2,8	0,0608	0,0602	0,0596	0,0590	0,0584	0,0578	0,0573	0,0567	0,0561	0,0556
2,9	0,0550	0,0545	0,0539	0,0534	0,0529	0,0523	0,0518	0,0513	0,0508	0,0503
3,0	0,0498	0,0492	0,0488	0,0483	0,0478	0,0474	0,0469	0,0464	0,0460	0,0455
3,1	0,0450	0,0446	0,0442	0,0437	0,0433	0,0429	0,0424	0,0420	0,0416	0,0412
3,2	0,0408	0,0404	0,0400	0,0396	0,0392	0,0388	0,0384	0,0380	0,0376	0,0373
3,3	0,0369	0,0365	0,0362	0,0358	0,0354	0,0351	0,0345	0,0344	0,0340	0,0337
3,4	0,0334	0,0330	0,0327	0,0324	0,0321	0,0317	0,0314	0,0311	0,0308	0,0305
3,5	0,0302	0,0300	0,0296	0,0293	0,0290	0,0287	0,0284	0,0282	0,0279	0,0276
3,6	0,0273	0,0271	0,0268	0,0265	0,0263	0,0260	0,0257	0,0255	0,0252	0,0250
3,7	0,0247	0,0245	0,0242	0,0240	0,0238	0,0235	0,0233	0,0231	0,0228	0,0226
3,8	0,0224	0,0221	0,0219	0,0217	0,0215	0,0213	0,0211	0,0209	0,0207	0,0204
3,9	0,0202	0,0200	0,0198	0,0196	0,0194	0,0193	0,0191	0,0189	0,0187	0,0185
4,0	0,0183	0,0181	0,0180	0,0178	0,0176	0,0174	0,0172	0,0171	0,0169	0,0167
4,1	0,0166	0,0164	0,0162	0,0161	0,0159	0,0158	0,0156	0,0155	0,0153	0,0151
4,2	0,0150	0,0148	0,0147	0,0146	0,0144	0,0143	0,0141	0,0140	0,0138	0,0137
4,3	0,0136	0,0134	0,0133	0,0132	0,0130	0,0129	0,0128	0,0127	0,0125	0,0124
4,4	0,0123	0,0122	0,0120	0,0119	0,0118	0,0117	0,0116	0,0114	0,0113	0,0112
4,5	0,0111	0,0110	0,0109	0,0108	0,0107	0,0106	0,0105	0,0104	0,0103	0,0102
4,6	0,0101	0,0100	0,0099	0,0098	0,0097	0,0096	0,0095	0,0094	0,0093	0,0092
4,7	0,0091	0,0090	0,0089	0,0088	0,0087	0,0087	0,0086	0,0085	0,0084	0,0083
4,8	0,0082	0,0081	0,0081	0,0080	0,0079	0,0078	0,0078	0,0077	0,0076	0,0075
4,9	0,0074	0,0074	0,0073	0,0072	0,0072	0,0071	0,0070	0,0069	0,0069	0,0068
5	0,0067									
6	0,00248									
7	0,000912									
8	0,000336									
9	0,0001235									
10	0,0000455									

ც ხ რ ი ლ ი 5

ღა მნიშვნელობები (როდესაც a იცვლება 0-დან 10-მდე)

a	0.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	1	1,010	1,020	1,030	1,041	1,051	1,062	1,073	1,083	1,094
0,1	1,105	1,116	1,127	1,139	1,150	1,162	1,174	1,185	1,197	1,209
0,2	1,221	1,234	1,246	1,259	1,271	1,284	1,297	1,310	1,323	1,336
0,3	1,350	1,363	1,377	1,391	1,405	1,419	1,433	1,448	1,462	1,477
0,4	1,492	1,507	1,522	1,537	1,553	1,568	1,584	1,600	1,616	1,632
0,5	1,649	1,665	1,682	1,699	1,716	1,733	1,751	1,768	1,786	1,804
0,6	1,822	1,840	1,859	1,878	1,896	1,916	1,935	1,954	1,974	1,994
0,7	2,014	2,034	2,054	2,075	2,096	2,117	2,138	2,160	2,181	2,203
0,8	2,226	2,248	2,271	2,293	2,316	2,340	2,363	2,387	2,411	2,435
0,9	2,460	2,484	2,509	2,535	2,560	2,586	2,612	2,638	2,664	2,691
1,0	2,718	2,746	2,773	2,801	2,829	2,858	2,886	2,915	2,945	2,974
1,1	3,004	3,034	3,065	3,096	3,127	3,158	3,190	3,222	3,254	3,287
1,2	3,320	3,353	3,387	3,421	3,456	3,490	3,525	3,561	3,597	3,633

α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,3	3,669	3,706	3,743	3,781	3,819	3,857	3,895	3,935	3,975	4,015
1,4	4,055	4,096	4,137	4,179	4,221	4,263	4,306	4,349	4,393	4,437
1,5	4,482	4,527	4,572	4,618	4,665	4,711	4,759	4,809	4,855	4,904
1,6	4,953	5,003	5,053	5,104	5,155	5,207	5,259	5,312	5,366	5,419
1,7	5,474	5,529	5,585	5,641	5,697	5,755	5,812	5,871	5,930	5,989
1,8	6,050	6,110	6,172	6,234	6,297	6,360	6,424	6,488	6,554	6,619
1,9	6,686	6,753	6,821	6,890	6,959	7,029	7,099	7,171	7,243	7,316
2,0	7,389	7,463	7,538	7,614	7,691	7,768	7,846	7,925	8,004	8,085
2,1	8,166	8,248	8,331	8,415	8,499	8,585	8,671	8,758	8,846	8,935
2,2	9,025	9,116	9,207	9,300	9,393	9,488	9,583	9,679	9,777	9,875
2,3	9,974	10,07	10,18	10,28	10,38	10,49	10,59	10,70	10,80	10,91
2,4	11,02	11,13	11,25	11,36	11,47	11,59	11,71	11,82	11,94	12,06
2,5	12,18	12,31	12,43	12,55	12,68	12,81	12,94	13,07	13,20	13,33
2,6	13,46	13,60	13,74	13,87	14,01	14,15	14,30	14,44	14,59	14,73
2,7	14,90	15,03	15,18	15,33	15,49	15,64	15,80	15,96	16,12	16,28
2,8	16,44	16,61	16,78	16,95	17,12	17,29	17,46	17,64	17,71	17,99
2,9	18,17	18,40	18,54	18,73	18,92	19,11	19,30	19,50	19,70	19,90
3,0	20,10	20,30	20,50	20,70	20,91	21,12	21,33	21,54	21,76	21,98
3,1	22,20	22,42	22,65	22,87	23,10	23,34	23,57	23,81	24,05	24,30
3,2	24,53	24,80	25,03	25,30	25,53	25,79	26,05	26,31	26,58	26,84
3,3	27,11	27,39	27,66	27,94	28,22	28,50	28,79	29,08	29,37	29,67
3,4	29,96	30,27	30,57	30,88	31,19	31,50	31,82	32,14	32,46	32,79
3,5	33,12	33,45	33,79	34,12	34,47	34,81	35,16	35,52	35,87	36,23
3,6	36,60	36,97	37,34	37,71	38,09	38,48	38,86	39,25	39,65	40,05
3,7	40,45	40,85	41,26	41,68	42,10	42,52	42,95	43,38	43,82	44,26
3,8	44,70	45,15	45,60	46,06	46,53	46,99	47,47	47,94	48,42	48,91
3,9	49,40	50,00	50,40	50,91	51,42	51,94	52,46	53,00	53,52	54,06
4,0	54,60	55,15	55,70	56,26	56,83	57,40	57,98	58,56	59,15	59,74
4,1	60,34	60,95	61,56	62,18	62,80	63,43	64,07	64,72	65,37	66,02
4,2	66,69	67,36	68,03	68,72	69,41	70,11	70,81	71,52	72,24	72,97
4,3	73,70	74,44	75,19	75,95	76,71	77,49	78,26	79,04	79,84	80,64
4,4	81,45	82,27	83,10	83,93	84,78	85,63	86,49	87,36	88,24	89,12
4,5	90,02	90,92	91,84	92,76	93,69	94,63	95,58	96,54	97,51	98,49
4,6	99,48	100,5	101,5	102,5	103,5	104,6	105,6	106,7	107,8	108,9
4,7	110,0	111,11	112,2	113,3	114,4	115,6	116,8	117,9	119,1	120,3
4,8	121,5	122,7	124,0	125,2	126,5	127,7	129,0	130,3	131,6	133,0
4,9	134,3	135,6	137,0	138,4	139,8	141,2	142,6	144,0	145,5	147,0
5,0	148,4	149,9	151,4	152,9	154,5	156,0	157,6	159,2	160,8	162,4
5,1	164,0	165,7	167,3	169,0	170,7	172,4	174,2	175,9	177,7	179,5
5,2	181,3	183,1	184,9	186,8	188,7	190,6	192,5	194,4	196,4	198,3
5,3	200,3	202,3	204,4	206,4	208,5	210,6	212,7	214,9	217,0	219,2
5,4	221,4	223,6	225,9	228,2	230,4	232,8	235,1	237,5	239,9	242,3
5,5	244,7	247,2	249,6	252,1	254,7	257,2	259,8	262,4	265,1	267,7
5,6	270,4	273,1	275,9	278,7	281,5	284,3	287,2	290,0	293,0	295,9
5,7	298,9	301,9	304,9	308,0	311,0	314,2	317,4	320,5	323,8	327,0
5,8	330,3	333,6	337,0	340,4	343,8	347,2	350,7	354,3	357,8	361,4
5,9	365,0	368,7	372,4	376,1	379,9	383,7	387,6	391,5	395,4	399,4
6,0	403,4	407,5	411,6	415,7	419,9	424,1	428,4	432,7	437,0	441,4
6	403,4	445,9	492,8	544,6	601,8	665,1	735,1	812,4	897,8	992,3
7	1 097	1 212	1 339	1 480	1 636	1 808	1 998	2 208	2 441	2 697
8	2 981	3 294	3 641	4 034	4 447	4 915	5 432	6 003	6 634	7 332
9	8 103	8 955	9 897	10 940	12 090	13 360	14 770	16 320	18 030	19 930
10	22 030									

ცხრილი 6

სია მნიშვნელობები (როდესაც α იცვლება 0-დან 5-მდე)

α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,000	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090
0,1	0,100	0,110	0,120	0,130	0,140	0,151	0,161	0,171	0,181	0,191
0,2	0,201	0,211	0,222	0,232	0,242	0,253	0,263	0,273	0,284	0,294
0,3	0,304	0,315	0,325	0,337	0,347	0,357	0,368	0,378	0,389	0,400
0,4	0,411	0,422	0,432	0,443	0,454	0,465	0,476	0,487	0,499	0,510
0,5	0,521	0,532	0,544	0,555	0,567	0,578	0,590	0,601	0,613	0,625
0,6	0,637	0,648	0,660	0,672	0,685	0,697	0,709	0,721	0,734	0,746
0,7	0,759	0,771	0,784	0,797	0,809	0,822	0,835	0,848	0,861	0,875
0,8	0,888	0,901	0,915	0,929	0,942	0,956	0,970	0,984	0,998	1,012
0,9	1,0265	1,0409	1,0554	1,070	1,0847	1,0995	6,114	1,129	1,145	1,160
1,0	1,175	1,191	1,206	1,222	1,238	1,254	1,270	1,286	1,302	1,319
1,1	1,336	1,352	1,374	1,386	1,403	1,421	1,438	1,456	1,473	1,491
1,2	1,509	1,528	1,546	1,564	1,583	1,602	1,621	1,640	1,659	1,679
1,3	1,698	1,718	1,738	1,758	1,779	1,799	1,820	1,841	1,862	1,883
1,4	1,904	1,926	1,948	1,970	1,991	2,01	2,04	2,06	2,08	2,11
1,5	2,13	2,15	2,18	2,20	2,22	2,25	2,27	2,30	2,32	2,35
1,6	2,37	2,40	2,43	2,45	2,48	2,51	2,53	2,56	2,59	2,62
1,7	2,64	2,67	2,70	2,73	2,76	2,79	2,82	2,85	2,88	2,91
1,8	2,94	2,97	3,00	3,04	3,07	3,10	3,13	3,17	3,20	3,23
1,9	3,27	3,30	3,34	3,37	3,41	3,44	3,48	3,51	3,55	3,59
2,0	3,63	3,66	3,70	3,74	3,78	3,82	3,86	3,90	3,94	3,98
2,1	4,02	4,06	4,10	4,15	4,19	4,23	4,28	4,32	4,37	4,41
2,2	4,46	4,50	4,55	4,60	4,64	4,69	4,74	4,79	4,84	4,89
2,3	4,94	4,99	5,04	5,09	5,14	5,20	5,25	5,30	5,36	5,41
2,4	5,47	5,52	5,58	5,63	5,69	5,75	5,81	5,87	5,93	5,99
2,5	6,05	6,11	6,17	6,24	6,30	6,36	6,43	6,49	6,56	6,63
2,6	2,69	6,76	6,83	6,90	6,97	7,04	7,11	7,18	7,26	7,33
2,7	7,41	7,48	7,56	7,63	7,71	7,79	7,87	7,95	8,03	8,11
2,8	8,19	8,27	8,36	8,44	8,53	8,61	8,70	8,79	8,87	8,97
2,9	9,06	9,15	9,24	9,34	9,43	9,53	9,62	9,72	9,82	9,92
3,0	10,02	10,12	10,22	10,32	10,43	10,53	10,64	10,75	10,86	10,96
3,1	11,08	11,19	11,30	11,41	11,53	11,65	11,76	11,88	12,00	12,12
3,2	12,24	12,37	12,49	12,62	12,75	12,87	13,00	13,14	13,27	13,40
3,3	13,54	13,67	13,81	13,95	14,09	14,23	14,38	14,52	14,67	14,82
3,4	14,96	15,12	15,27	15,42	15,58	15,73	15,89	16,05	16,21	16,38
3,5	16,54	16,71	16,88	17,05	17,22	17,39	17,57	17,74	17,92	18,10
3,6	18,28	18,47	18,65	18,84	19,03	19,22	19,42	19,61	19,81	20,01
3,7	20,2	20,4	20,6	20,8	21,0	21,2	21,5	21,7	21,9	22,1
3,8	22,3	22,6	22,8	23,0	23,2	23,5	23,7	24,0	24,2	24,4
3,9	24,7	24,9	25,2	25,4	25,7	25,9	26,2	26,5	26,7	27,0
4,0	27,3	27,6	27,8	28,1	28,4	28,7	29,0	29,3	29,6	29,9
4,1	30,1	30,5	30,8	31,1	31,4	31,7	32,03	32,3	32,7	33,0
4,2	33,3	33,7	34,0	34,3	34,7	35,0	35,4	35,7	36,1	36,5
4,3	36,8	37,2	37,6	38,0	38,3	38,7	39,1	39,5	39,9	40,3
4,4	40,7	41,1	41,5	42,0	42,4	42,8	43,3	43,7	44,1	44,5
4,5	45,0	45,4	45,9	46,4	46,8	47,3	47,7	48,3	48,7	49,2
4,6	49,7	50,2	50,7	51,2	51,7	52,3	52,8	53,3	53,9	54,4
4,7	55,0	55,5	56,1	56,6	57,2	57,8	58,4	58,9	59,5	60,1
4,8	60,7	61,4	62,0	62,6	63,2	63,9	64,5	65,1	65,8	66,5
4,9	67,2	67,8	68,5	69,2	69,9	70,6	71,3	72,0	72,7	73,5
5,0	74,2	74,9	75,7	76,5	77,2	78,0	78,8	79,6	80,4	81,2

ცხა მნიშვნელობები (როდესაც a იცვლება 0-დან n -მდე)

a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,0008	1,001	1,0018	1,0025	1,003	1,0041
0,1	1,005	1,006	1,007	1,008	1,009	1,011	1,013	1,014	1,016	1,018
0,2	1,020	1,022	1,024	1,027	1,029	1,031	1,034	1,037	1,039	1,042
0,3	1,045	1,048	1,052	1,055	1,058	1,062	1,065	1,069	1,073	1,077
0,4	1,081	1,085	1,089	1,094	1,098	1,103	1,108	1,112	1,117	1,122
0,5	1,128	1,133	1,138	1,144	1,149	1,155	1,161	1,166	1,173	1,179
0,6	1,185	1,191	1,198	1,205	1,212	1,219	1,226	1,233	1,240	1,248
0,7	1,255	1,263	1,271	1,278	1,286	1,295	1,303	1,311	1,320	1,329
0,8	1,337	1,346	1,355	1,365	1,374	1,383	1,393	1,403	1,413	1,423
0,9	1,433	1,443	1,454	1,464	1,475	1,486	1,497	1,508	1,520	1,531
1,0	1,543	1,555	1,567	1,479	1,591	1,604	1,616	1,629	1,642	1,655
1,1	1,668	1,682	1,696	1,709	1,723	1,737	1,752	1,766	1,781	1,796
1,2	1,811	1,826	1,841	1,857	1,872	1,888	1,904	1,921	1,937	1,954
1,3	1,971	1,988	2,005	2,02	2,04	2,06	2,08	2,09	2,11	2,13
1,4	2,15	2,17	2,19	2,21	2,23	2,25	2,27	2,29	2,31	2,33
1,5	2,35	2,37	2,39	2,42	2,44	2,46	2,48	2,51	2,53	2,55
1,6	2,58	2,60	2,62	2,65	2,67	2,70	2,72	2,75	2,77	2,80
1,7	2,83	2,85	2,88	2,91	2,94	2,96	2,99	3,02	3,05	3,08
1,8	3,11	3,14	3,17	3,20	3,23	3,26	3,29	3,32	3,35	3,38
1,9	3,42	2,45	3,48	3,52	3,55	3,58	3,62	3,65	3,69	3,73
2,0	3,76	3,80	3,83	3,87	3,91	3,95	3,99	4,02	4,06	4,10
2,1	4,14	4,18	4,22	4,27	4,31	4,35	4,39	4,43	4,48	4,52
2,2	4,57	4,61	4,66	4,70	4,75	4,80	4,84	4,89	4,94	4,99
2,3	5,04	5,09	5,14	5,19	5,24	5,28	5,34	5,39	5,45	5,50
2,4	5,56	5,61	5,67	5,72	5,78	5,84	5,89	5,95	6,01	6,07
2,5	6,13	6,19	6,25	6,32	6,38	6,44	6,51	6,57	6,64	6,70
2,6	6,77	6,83	6,90	6,97	7,04	7,11	7,18	7,25	7,33	7,40
2,7	7,47	7,55	7,62	7,70	7,77	7,85	7,93	8,01	8,09	8,17
2,8	8,25	8,33	8,42	8,50	8,59	8,67	8,76	8,85	8,93	9,02
2,9	9,11	9,20	9,30	9,39	9,48	9,58	9,67	9,77	9,87	9,97
3,0	10,07	10,17	10,27	10,37	10,48	10,58	10,69	10,79	10,90	11,01
3,1	11,12	11,23	11,34	11,46	11,57	11,69	11,81	11,92	12,04	12,16
3,2	12,29	12,41	12,53	12,66	12,79	12,91	13,04	13,17	13,31	13,44
3,3	13,6	13,7	13,85	14,0	14,1	14,3	14,4	14,5	14,7	14,8
3,4	15,0	15,1	15,3	15,4	15,6	15,8	15,9	16,1	16,2	16,4
3,5	16,6	16,7	16,9	17,1	17,2	17,4	17,6	17,8	17,9	18,1
3,6	18,3	18,5	18,7	18,9	19,0	19,2	19,4	19,6	19,8	20,0
3,7	20,2	20,4	20,6	20,8	21,1	21,2	21,5	21,7	21,9	22,1
3,8	22,4	22,6	22,8	23,0	23,3	23,5	23,7	24,0	24,2	24,5
3,9	24,7	24,9	25,2	25,5	25,7	26,0	26,2	26,5	26,8	27,0
4,0	27,3	27,6	27,9	28,1	28,4	28,7	29,0	29,3	29,6	29,9
4,1	30,2	30,5	30,8	31,1	31,4	31,7	32,0	32,3	32,7	33,0
4,2	33,3	33,7	34,0	34,4	34,7	35,1	35,4	35,8	36,1	36,5
4,3	36,9	37,2	37,6	38,0	38,4	38,7	39,1	39,5	39,9	40,3
4,4	40,7	41,1	41,5	42,0	42,4	42,8	43,2	43,7	44,1	44,6
4,5	45,0	45,5	45,9	46,4	46,8	47,3	47,8	48,3	48,8	49,2
4,6	49,7	50,2	50,7	51,3	51,8	52,3	52,8	53,3	53,9	54,4
4,7	55,0	55,5	56,1	56,6	57,2	57,8	58,4	59,0	59,5	60,1
4,8	60,7	61,4	62,0	62,6	63,2	63,9	64,5	65,1	65,8	66,5
4,9	67,1	67,8	68,5	69,2	69,9	70,6	71,3	72,0	72,7	73,5
5,0	74,2	75,0	75,7	76,5	77,2	78,0	78,8	79,6	80,4	81,2

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი

ელექტრული კავშირგაბმულობის ცნება	3
ელექტრული სიგნალის ცნება	3
კავშირგაბმულობის სისტემის ცნება	4
კავშირგაბმულობის ერთიანი ავტომატიზებული სისტემა	5
ელექტროკავშირის განვითარების ეტაპები	6
თავი I. ხვედასხვა სახის კავშირის განხორციელების პრინციპი	
1.1. მუდმივი და ცვლადი დენით ტელეგრაფირების პრინციპი	11
1.2. სატელეფონო კავშირის პრინციპი	16
1.3. რადიომაუწყებლობის პრინციპი	19
1.4. ფოტოტელეგრაფირება	20
1.5. ტელეხელვა	22
თავი II. ორპოლუსები	
2.1. ორპოლუსების განსაზღვრა და კლასიფიკაცია	25
2.2. კვივალენტური და პოტენციურად კვივალენტური ორპოლუსები	26
2.3. შებრუნებული და პოტენციურად შებრუნებული ორპოლუსები	29
2.4. რეაქტიული ორპოლუსები და მათი კანონიერი სქემები	32
2.5. რეაქტიული ორპოლუსების სქემებს კანონიურ სახეზე დაყვანა	34
2.6. რხევადი კონტურები	36
თავი III. ოთხპოლუსები	
3.1. ოთხპოლუსების განსაზღვრა და კლასიფიკაცია	40
3.2. ოთხპოლუსების გადაცემის ძირითადი განტოლებები	43
3.3. ოთხპოლუსის გადაცემის განტოლებების განზოგადებული კოეფიციენტები	44
3.4. ოთხპოლუსის წინაღობები	46
3.5. ოთხპოლუსის გადაცემის მუდმივები	48
3.6. ოთხპოლუსების შეერთება	52
3.7. ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები	54
თავი IV. ელექტრული ფილტრები	
4.1. ელექტრული ფილტრების განსაზღვრა და კლასიფიკაცია	60
4.2. ელექტრული ფილტრების გატარების პირობა	61
4.3. K ტიპის ფილტრები	64
4.4. m ტიპის ფილტრები	71
4.5. ხილური ტიპის ფილტრები	74
4.6. პიეზოელექტრული და მაგნიტოსტრიქციული ფილტრები	79
თავი V. არაწრფივი სისტემები	
5.1. ცნება არაწრფივ ელემენტებზე	84
5.2. არაწრფივი ელემენტების ვოლტამპერული მახასიათებლები	87
5.3. პარამონული ძაბვის ზემოქმედება არაწრფივ ელემენტზე	88
5.4. სიგნალის გაძლიერება	90
5.5. რხევების გენერაცია	91
5.6. LC და RC გენერატორები	93

5.7. სიხშირეთა გარდაქმნა	94
5.8. მოდულაცია და დემოდულაცია	96
თავი VI. ხვედასხვა ხახეობის კავშირის სიგნალების გაყოფის პრინციპი	
6.1. სიგნალების სიხშირული გაყოფა	101
6.2. სიგნალების გაყოფა დროის განაწილების მეთოდით	103
6.3. დინამიკური დიაპაზონი და მისი გარდაქმნა	106
თავი VII. ერთგვაროვანი ხაზები	
7.1. ძირითადი განმარტებანი	107
7.2. ერთგვაროვანი წრედის ძირითადი განტოლებები	107
7.3. ერთგვაროვანი ხაზის ტალღური პარამეტრები	111
7.4. ერთგვაროვანი ხაზის მუშა პარამეტრები	115
7.5. ერთგვაროვანი ხაზის შესასვლელი წინაღობა	118
7.6. ელექტრული პროცესები კავშირგაბმულობის ხაზებში	121
თავი VIII. კავშირგაბმულობის საპაერო ხაზები	
8.1. ზოგადი ცნებები კავშირგაბმულობის ხაზების შესახებ	126
8.2. საპაერო ხაზებში გამოყენებული მასალები	127
8.3. ტექნიკური მოთხოვნები საპაერო ხაზებისადმი	131
8.4. კავშირგაბმულობის ხაზების კონსტრუქცია და კლასიფიკაცია	132
თავი IX. კავშირგაბმულობის საკაბელო ხაზები	
9.1. კაბელების კონსტრუქცია	135
9.2. კაბელების მარკები	139
9.3. კაბელების კლასიფიკაცია დანიშნულების მიხედვით	140
9.4. ხაზების ელექტრული პარამეტრები !	142
9.5. ტალღასატარები	147
თავი X. ადგილობრივი სატელეფონო ქსელები	
10.1. ადგილობრივი სატელეფონო ქსლის აგების პრინციპი, კლასიფიკაცია და თავისებურებანი	150
10.2. სატელეფონო კანალიზაცია	152
10.3. ქალაქის სატელეფონო ქსლის ელექტრული ნორმები	153
10.4. რადიოფიკაციის ქსელი	154
თავი XI. კავშირის წრედების ურთიერთგავლენა	
11.1. ზოგადი ცნება	155
11.2. ერთსადენიან წრედებს შორის გავლენა	156
11.3. ორსადენიან წრედებს შორის გავლენა	157
11.4. კავშირის წრედების დაცვა ურთიერთგავლენისაგან სადენების გადაჯვარედინების საშუალებით	158
11.5. საპაერო წრედების ვალაჯვარედინების სქემები	159
თავი XII. კავშირგაბმულობის ხაზის გარე დენების მოქმედებისაგან დაცვა	
12.1. მაღალი ძაბვის ხაზებისა და ელექტრიფიცირებული რკინიგზის გავლენა	162
12.2. ელქვეის გავლენა კავშირგაბმულობის ხაზებზე	164
12.3. საკაბელო ხაზებზე გარე ძაბვების გავლენა. კოროზია და მისგან დაცვა	165
თავი XIII. კავშირგაბმულობის ხაზების მშენებლობა და ექსპლოატაცია	
13.1. საქალაქთაშორისო, სასოფლო და ქალაქის კავშირის ხაზების მშენებლობა	166
13.2. მექანიზმების გამოყენება სამშენებლო სამუშაოს დროს	167
13.3. კავშირგაბმულობის ხაზების ექსპლოატაცია	167
13.4. უსაფრთხოების ტექნიკა	169

რეცენზენტი: ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი გ. ველენიძე

ნაშრომი რეკომენდებულია საკავშირო დაუსწრებელი კავშირგაბმულობის ელექტროტექნიკური ინსტიტუტის თბილისის ფილიალის ავტომატური და მრავალარხიანი ელექტროკავშირგაბმულობის კათედრის მიერ

რედაქტორი ე. გ ძ ე ლ ი ძ ე
მხატვრული რედაქტორი ე. ს უ ლ თ ა ნ ი შ ვ ი ლ ი
ტექრედაქტორი ნ. ჰ ყ თ ი ძ ე
კორექტორი რ. გ თ გ ი შ ვ ი ლ ი

გადაეცა წარმოებას 20/XI-73 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 27/II-74 წ.
ქალაქის ზომა 60×90¹/₁₆. საბეჭდი ქალაქი № 2. ნაბეჭდი თაბახი 11,5.
სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 10,1.

უე 00332

ტირაჟი 1000

შეკ. № 1224

ფასი 58 კაპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ. № 5.
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Марджанишвили, № 5.

1974

რთველოს სსრ მინისტრთა საბჭოს გამომცემლობათა, პოლიგრაფიისა და წიგნით
ობის საქმეთა სახელმწიფო კომიტეტის მთავარპოლიგრაფმრეწველობის
სტამბა № 1, თბილისი, ორჯონიკიძის ქ. № 50.

Типография № 1, Главполиграфпрома Государственного комитета
Совета Министров Грузинской ССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли, Тбилиси, ул. Орджоникидзе № 50.