

ჯ. ხუნწარია

სატელეკომუნიკაციო სისტემების აგების საფუძვლები

თ ბ ი ლ ი ს ი

2018

№	სარჩევი	გვ.
	შესავალი-----	3
1	სატელეკომუნიკაციო სისტემების განვითარების ისტორიული ასპექტები-----	5
2	ციფრული ტელეკომუნიკაცია. ტელეკომუნიკაციის სფეროს სტანდარტიზაციის ორგანიზაციები-----	16
3	ზოგადი ცნობები ინფორმაციის გადაცემის შესახებ. ინფორმაცია, შეტყობინება და სიგნალი. პირველადი გარდამქმნელები. შეტყობინებათა და სიგნალების სახეები-----	31
4	ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა. გადაცემის დონეები (ტელეკომუნიკაციაში გამოყენებული სამუშაო ერთეულები). დონეთა დიაგრამა-----	42
5	პირველადი სატელეკომუნიკაციო სიგნალების პარამეტრები და მახასიათებლები-----	51
6	სიგნალების, როგორც შემთხვევითი პროცესების აღმწერის, მახასიათებლები და პარამეტრები-----	59
7	ტელეკომუნიკაციის სისტემებში გამოყენებული მოდულაციის სახეობები-----	75
8	ამპლიტუდური მოდულაცია. სატელეკომუნიკაციო სისტემების აგება სიგნალების სიხშირული მულტიპლექსირებით-----	83
9	იმპულსური მოდულაციის სახეობები. სიგნალების დროითი დისკრეტიზაცია-----	93
10	ციფრული მოდულაციის სახეობები: იმპულსურ-კოდური მოდულაცია. დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია. დელტა-მოდულაცია-----	102
11	ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოდგენის თავისებურებანი. სატელეკომუნიკაციო სიგნალების პარამეტრები მათი ციფრული სახით წარმოდგენისას. სატელეკომუნიკაციო სისტემების აგება სიგნალების დროითი და კოდური მულტიპლექსირებით-----	113
12	სატელეკომუნიკაციო არხები. სატელეკომუნიკაციო არხების მახასიათებლები და პარამეტრები-----	124
13	ტონალური სიხშირის სტანდარტული არხი. ფართოზოლოვანი სტანდარტული არხები-----	135
14	ტელეკომუნიკაციის ხაზები. ტელეკომუნიკაციის საკაბელო და საჰაერო ხაზები მეტალის გამტარების საფუძველზე-----	144
15	ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები და რადიოხაზები----	153
	ლიტერატურა-----	169

შესავალი

ადამიანთა მოღვაწეობის მიზანია მატერიალური და სულიერი ღირებულებების შექმნა, საზოგადოებრივი ურთიერთობების სრულყოფა, რაც განისაზღვრება საზოგადოების წევრთა ცხოვრებისეული მოთხოვნებით.

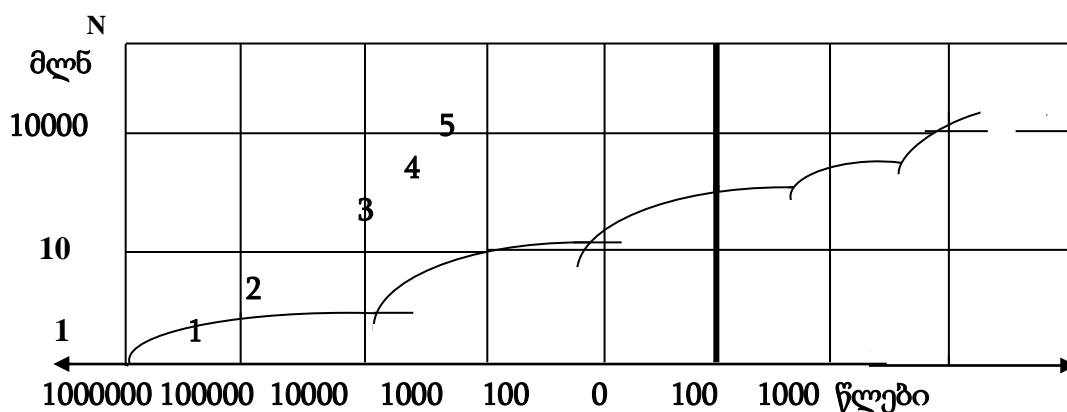
მატერიალურ ფასეულობათა შექმნისა და საზოგადოების წევრებისათვის მომსახურების გაწევის პროცესებს წარმოება ეწოდება. ნებისმიერ წარმოებას კი შრომის იარაღების, ნედლეულისა და მუშა ძალის გარდა ჭირდება ადამიანთა მრავალი თაობის მიერ დაგროვილი ინფორმაცია, რომელიც ინახება ადამიანთა მახსოვრობაში, წიგნებში, დოკუმენტებში, დამახსოვრების თანამედროვე მოწყობილობებში (კომპიუტერებში) და ა.შ.

საზოგადოების განვითარების დღევანდელი დონე და ტემპები განაპირობებს მზარდი რაოდენობის ინფორმაციის შენახვის, დამუშავებისა და გადაცემის აუცილებლობას, რის გამოც დღეს საზოგადოების ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას სრულყოფილი სატელეკომუნიკაციო სისტემების შექმნა წარმოადგენს.

ამრიგად, ტელეკომუნიკაცია წარმოადგენს ტექნიკურ ბაზას, რომელიც უზრუნველყოფს ერთმანეთისაგან შორს მყოფ ადამიანებს ან მოწყობილობებს შორის ინფორმაციის გადაცემას და მიღებას. ინფორმაციასა და ტელეკომუნიკაციას შორის ისეთივე მსგავსებაა, როგორც გადასატან ტვირთსა და ტრანსპორტს შორის. კერძოდ, ტელეკომუნიკაციის საშუალებები არაა საჭირო, თუ ინფორმაცია არ არსებობს, ისევე როგორც არაა საჭირო ტრანსპორტი ტვირთის არარსებობის შემთხვევაში.

ელექტროკავშირის დარგის საერთაშორისო კონვენციის შესაბამისად ტელეკომუნიკაცია განიმარტება როგორც "...შეკვეთების, სიგნალების, წერილობითი ტექსტის, გამოსახულებებისა და ბგერების ან ნებისმიერი სახის შეტყობინების გადაცემა, გამოსხივება და მიღება სადენიანი, რადიო, ოპტიკური ან სხვა ელექტრომაგნიტური სისტემების საშუალებით". ამრიგად, ტელეკომუნიკაცია მოიცავს აგრეთვე რადიო და სატელევიზიო მაუწყებლობასაც, რომლებიც ადრე ტელეკომუნიკაციისაგან განყენებულად განიხილებოდა, ვინაიდან მათი საშუალებით, როგორც წესი, ინფორმაცია მომხმარებელთა ფართო წრისათვის გადაიცემა მხოლოდ ერთი მიმართულებით.

საზოგადოების განვითარებაში უხსოვარი დროიდან დღემდე გამოიკვეთა სამი სამეცნიერო-ტექნიკური რევოლუცია (ნახ. შ1): 1. სამუშაო იარაღების შექმნა (გრაფიკი 1); 2. სასოფლო-სამეურნეო რევოლუცია, როდესაც ადამიანმა ისწავლა მიწის დამუშავება და მოსავლის მოყვანა (გრაფიკი 2); 3. სამრეწველო რევოლუცია (გრაფიკი 3). XXI და XXII საუკუნეებში კი ასევე მოსალოდნელია სამი სამეცნიერო-ტექნიკური რევოლუცია (ნახ. შ1): 1. ინფოკომუნიკაციური (გრაფიკი 3); 2. ბიოტექნოლოგიური (გრაფიკი 4); 3. ქვანტური (გრაფიკი 5). ყოველივე ამას კი მოყვება მსოფლიოს მოსახლეობის რაოდენობის (N) მკვეთრი ზრდა. შევნიშნავთ, რომ შ1 ნახაზის ჰორიზონტალურ ღერძზე 0-ით აღნიშნულია დღევანდელი ეპოქა.



ნახ. შ1. საზოგადოების განვითარების სამეცნიერო-ტექნიკური რევოლუციების ეტაპები

როგორც შ1 ნახაზიდან ჩანს, ამჟამად მიმდინარეობს ინფოკომუნიკაციური სამეცნიერო-ტექნიკური რევოლუცია, რომელიც დაიწყო გასული (XX) საუკუნის 80-იანი წლებიდან და იგი სავარაუდოდ გაგრძელდება XXII საუკუნის დასაწყისამდე. მოსალოდნელია, რომ საზოგადოების განვითარების ინფოკომუნიკაციური რევოლუციის შედეგად შეიქმნება გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურა, რომელიც იქნება გლობალური ინფორმაციული საზოგადოების ტექნიკური ბაზა.

1. სატელეკომუნიკაციო სისტემების განვითარების ისტორიული ასპექტები

ინფორმაციის გადაცემის პირველ სახეობად მიჩნეულია ოპტიკური კავშირი, როდესაც ადამიანები მტრის შემოსევას ან რაიმე მოვლენას ერთმანეთს ატყობინებდნენ კოცონის საშუალებით. ინფორმაციის გადაცემის ერთ-ერთი სახეობა იყო ეგრეთ წოდებული სემაფორული ტელეგრაფი, რომლის 225 კმ-იანი ხაზი 1794 წელს ექსპლუატაციაში შევიდა საფრანგეთში პარიზსა და ლილეს შორის. ასეთი ტელეგრაფი მოქმედებდა 50 წლის განმავლობაში.

ელექტროკავშირის (ტელეკომუნიკაციის) შემდგომ განვითარებას საფუძველი ჩაუყარა XYIII და XIX საუკუნეებში ელექტრულ და მაგნიტურ მოვლენებთან დაკავშირებულმა უმნიშვნელოვანესმა აღმოჩენებმა. მათი ერთ-ერთი უპირველესი გამოყენება იყო შეტყობინებათა გადაცემა ელექტრული ენერჯის საშუალებით.

ელექტროკავშირის ყველაზე უძველესი სახეა სატელეგრაფო კავშირი (1832 წ.). ბერძნული სიტყვა "ტელეგრაფი" ნიშნავს "შორს წერას" ან "მანძილზე წერას". 1841 წელს შეიქმნა ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფი ასოების ბეჭდვით. ფაქსიმილური კავშირიც ერთ-ერთი ყველაზე "ხანდაზმული" სახეა. სიტყვა "ფაქსიმილე" ნიშნავს "მსგავსის გაკეთებას". პირველი ფაქსიმილური აპარატი იტალიელი ფიზიკოსის ჯ. კაზელის მიერ შეიქმნა 1855 წელს.

შედარებით გვიან შეიქმნა სატელეფონო კავშირი. პირველი მოწყობილობა, რომელიც ხმოვან შეტყობინებას გარდაქმნიდა ელექტრულ სიგნალად, ამერიკელმა მეცნიერმა ალექსანდრე გრეხამ ბელმა გამოიგონა 1876 წელს. მის მიერ აშშ-ის საპატენტო ბიუროში განაცხადის შეტანიდან ანალოგიური განაცხადი სულ რაღაც 2 საათის დაგვიანებით გააკეთა ამერიკელმა გრემი. ბერძნული სიტყვა "ტელეფონი" ნიშნავს "ხმას შორიდან".

თავდაპირველად ინფორმაციის გადაცემა ხორციელდებოდა მხოლოდ ბოძებზე დაკიდებული ან გრუნტში ჩადებული მეტალის სადენების საშუალებით, რაც ვერ უზრუნველყოფდა ინფორმაციის მიწოდებას მიუვალ ადგილებში (მაგალითად, ზღვებსა და ოკეანეებში) და, აგრეთვე, მობილურ (მოძრავ)

ობიექტებთან (თვითმფრინავები, გემები) და აბონენტებთან. ამ მდგომარეობიდან მეცნიერებმა გამოსავალი მოძებნეს მას შემდეგ, რაც XIX საუკუნის მიწურულს მათ თეორიულად დაამტკიცეს ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობა, რომლებსაც უდიდესი სიჩქარით შეუძლიათ ღია სივრცეში (ეთერში) გავრცელება. ამ გარემოებამ მეცნიერებს მისცა რადიოს და შემდგომში ტელევიზიის შექმნის საშუალება. უმავთულო კავშირის (რადიოკავშირის) გამოგონების შესახებ პირველი განაცხადი 1872 წელს გააკეთა მალონ ლუმისმა, რომელმაც შესაბამისი პატენტი მიიღო 1872 წელს. სხვადასხვა ქვეყანაში რადიოს შემქმნელად სხვადასხვა ადამიანი ითვლება. მაგალითად, გერმანიაში გამომგონებლად ითვლება ჰენრიხ ჰერცი (1888 წ.), აშშ-ში – დევიდ ხიუზა (1878 წ.) და თომას ედისონი (1875 წ.), ბალკანეთის ქვეყნებში – ნიკოლა ტესლა (1891 წ.), ბელორუსში – იაკობ ნარკვევიჩი-იოდკა (1890 წ.), საფრანგეთში – ედუარდ ბრანლი (1890 წ.), ინდოეთში – ჯაგადიშა ჩანდრა ბოშე (1894 წ.), რუსეთში – ალექსანდრე პოპოვი (1895 წ.), ინგლისში – ოლივერ ჯოზეფ ლოჯა (1894 წ.), ხოლო ბრაზილიაში – ლანდელია დე მურუ (1893-1894 წწ.). 1895 წლის 7 მაისს ა. პოპოვმა სამეცნიერო-ტექნიკური საზოგადოებისათვის გააკეთა სამეცნიერო მოხსენება ელექტრული სიგნალების უმავთულო გადაცემის შესახებ და წარმოადგინა ასეთი გადაცემა მოქმედებაში.

რადიოს გამოგონებამ საფუძველი ჩაუყარა რადიოკავშირის თანამედროვე (რადიოსარელო, თანამგზავრული, ტრანკინგული, ფიჭური და სხვა) და, აგრეთვე, სატელევიზიო სისტემების შექმნას. სიტყვა "ტელევიზია" ნიშნავს "მანძილზე ხედვას".

მანძილზე გამოსახულების გადაცემაზე კაცობრიობა ოცნებობდა უხსოვარი დროიდან, რაზეც მეტყველებს თუნდაც ზღაპრები და ლეგენდები ჯადოსნური სარკის შესახებ. ამ ოცნებას საფუძველი ჩაეყარა 1887 წელს, როდესაც გერმანელმა მეცნიერმა ჰენრიხ ჰერცმა აღმოაჩინა ფოტოეფექტის მოვლენა, რომელიც წარმოადგენს ელექტრონების გათავისუფლებას ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ზემოქმედებით. 1907 წელს რუსმა ფიზიკოსმა ბორის როზინგმა შეძლო გერმანელი ფიზიკოსის კ. ბრაინის მიერ დამუშავებული ელექტრონულ-სხივური მილაკის საშუალებით გამოსახულების მიღების შესაძლებლობის თეორიული დასაბუთება

და მისი პრაქტიკაში განხორციელება – გამოსახულების მიღება უძრავი ერთადერთი წერტილის სახით. პირველ მუშა სატელევიზიო სისტემად მიიჩნევა გერმანელი მეცნიერის პაულ ნიპკოვის მიერ 1884 წელს გაკეთებული გამოგონება, რომელმაც საფუძველი ჩაუყარა ეგრეთ წოდებულ მექანიკურ ტელევიზიას. პ. ნიპკოვის გამოგონების წყალობით 1925 წელს შვედმა ინჟინერმა ჯონ ბერდმა პირველმა შეძლო ადამიანის გარჩევადი სახეების გადაცემა. რამდენიმე ხნის შემდეგ კი მანვე შეძლო მოძრავი გამოსახულებების გადაცემა. ტელეხედვის მექანიკური სისტემების განვითარება გაგრძელდა XX საუკუნის 40-იან წლებამდე მანამ, სანამ ისინი მთლიანად არ შეცვალა ელექტრონულმა მოწყობილობებმა. ელექტრონული სხივების გამოყენებით გამოსახულებების გადაცემის ექსპერიმენტები XX საუკუნის 20-იანი წლებიდან ტარდებოდა აშშ-ში, იაპონიაში და საბჭოთა კავშირში. შედეგად 1933 წელს რუსი წარმოშობის ამერიკელმა ინჟინერმა ვლადიმირ ზვორიკინმა შეძლო კათოდური მილაკის გამოგონება, რომელიც დღემდე წარმოადგენს მრავალი ტელევიზორის ძირითად მთავარ ნაწილს. 1936 წელს აშშ-ს სამეცნიერო-საკვლევ ლაბორატორიაში (RCA) ვ. ზვორიკინის მეთაურობით შეიქმნა პირველი ელექტრონული ტელევიზორი. ამავე ლაბორატორიაში 1939 წელს წარმოადგინეს სპეციალურად მასობრივი წარმოებისათვის შექმნილი პირველი ტელევიზორი **RCS TT-S**. იგი წარმოადგენდა ხისგან დამზადებულ მასიურ ყუთს დიაგონალზე 5 დიუმიანი ეკრანით. მოგვიანებით ელექტრონული მილაკები შეცვალა ნახევარგამტარულმა ხელსაწყოებმა. ნახევარგამტარების საფუძველზე პირველი ტელევიზორი ფირმა **Sony**-ს მიერ შეიქმნა 1960 წელს. შემდგომში გამოჩნდა მიკროსქემებზე აგებული მოდელები. დღეისათვის კი არსებობს სისტემები, როდესაც ტელევიზორის მთელი ელექტრონიკა მოთავსებულია ერთადერთ მიკროსქემაში. სატელევიზიო მაუწყებლობის ხარისხი დღეისათვის მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა და გახდა ციფრული. თავად ტელევიზორები უკვე არ აღიქმება როგორც «ყუთები», რამდენადაც დღეს ისინი წარმოადგენენ ბრტყელ **LCD**-ს და პლაზმურ მოდელებს. ეკრანის ზომებიც მნიშვნელოვნად გაიზარდა. XXI საუკუნის დასაწყისისათვის ასევე მნიშვნელოვნად შეიცვალა ტელეხედვის მეთოდები და პრინციპები. წარმოიშვა საკაბელო და თანამგზავრული ტელევიზია.

მონაცემთა გადაცემა, გაზეთის ფურცლების გადაცემა და ვიდეოსატელეფონო კავშირი წარმოადგენენ სატელეგრაფო, ფაქსიმილური და სატელევიზიო კავშირების ნაირსახეობებს. ისინი წარმოიშვა XX საუკუნის შუა ხანებში.

გარდა ზემოთ აღნიშნულისა, კაცობრიობა დღეს ფართოდ იყენებს ტელეკომუნიკაციის ისეთ სახეებს, როგორცაა: ტელეკონფერენცია, ვიდეოკონფერენცია, ვიდეოთვალთვალი, ელექტრონული ფოსტა, პერსონალური რადიოგამოძახება, ვიდეო მოთხოვნით, ხმოვანი ფოსტა, მაუწყებლობისა და სატელევიზიო პროგრამების ჩანაწერების გადაცემა და მიღება, ტელეტექსტი და სხვა.

ამგვარად, სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების განვითარება შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი თანმიმდევრობით: ოპტიკური კავშირი – სემაფორული ტელეგრაფი – ელექტრომაგნიტური ტელეგრაფი – ტელეფონი – რადიო – ტელევიზია.

XX საუკუნიდან დღემდე ტელეკომუნიკაცია ვითარდება ტელეგრაფის, ტელეფონის, და რადიოს თანდათანობითი სრულყოფით ფიზიკის, განსაკუთრებით კი მყარი ტანის ფიზიკის, განვითარების საფუძველზე.

სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების განვითარების მნიშვნელოვანი ეტაპი დაიწყო XX საუკუნის 50-იანი წლებიდან, როდესაც რადიოელექტრონიკაში გამოყენებული ელექტრონული მილაკები შეიცვალა ნახევარგამტარული ხელსაწყოებით (მათ შორის ტრანზისტორებით), რამაც მნიშვნელოვნად შეამცირა შესაბამისი მოწყობილობების გაბარიტები და მოხმარებული ენერგია. ნახევარგამტარული ხელსაწყოების შექმნით დაიწყო ელექტრონული სისტემების მიკრომინიატურიზაცია, რამაც საზოგადოება მიიყვანა ჯიბის კომპიუტერებისა და მობილური ტელეფონების თანამედროვე სახეობებამდე. ტრანზისტორების გამოყენების ეტაპს მოყვა ინტეგრალური სქემების შექმნა, როდესაც ნახევარგამტარული ხელსაწყოები და მათი მუშაობისათვის საჭირო ყველა კომპონენტი – რეზისტორები (წინააღმდეგობები), ტევადობები (კონდენსატორები) და ინდუქტივობები (ინდუქტივობის კოჭები) განლაგებული იქნა ერთ ნახევარგამტარულ ფირფიტაზე. ვინაიდან მისი ყველა ელემენტი ერთად იყო

თავმოყრილი და იგი წარმოადგენდა ფუნქციონალურად სრულყოფილ (დამთავრებულ) ელექტრონულ ელემენტს (მაგალითად, გამაძლიერებელს, დამახსოვრების უჯრედს, გარდამქმნელს, სტაბილიზატორს და სხვა), ამიტომ მას ინტეგრალური სქემა ეწოდა. გამოთვლითი ტექნიკის შემდგომი სრულყოფის აუცილებლობამ გამოიწვია დიდი რაოდენობის ინტეგრალური სქემების გამოყენება, რამაც, თავის მხრივ, მოითხოვა ელემენტების ინტეგრაციის უფრო მაღალი ხარისხი, ანუ ნახევარგამტარული ფირფიტის მცირე ფართობზე დიდი რაოდენობის ელექტრონული ელემენტების განლაგება. ასეთ სქემები შეიქმნა XX საუკუნის 70-იან წლებში და მათ დიდი ინტეგრალური სქემები უწოდეს. ფუნქციონალური ელექტრონული ელემენტების ინტეგრაციის ხარისხის შემდგომი ზრდის კვალობაზე კი XX საუკუნის 80-იან წლებში შეიქმნა ზედიდე ინტეგრალური სქემები. ელექტრონული ტექნიკისა და ტექნოლოგიების ასეთი ტემპებით განვითარებამ შესაძლებელი გახადა ერთ მიკროსქემაში განთავსებული ყოფილიყო 100 მილიონამდე ტრანზისტორი, რამაც უზრუნველყო სატელეკომუნიკაციო და საინფორმაციო ტექნოლოგიებისა და ტექნიკის თანამედროვე დონის მიღწევა.

დღეისათვის ფართოდ დამკვიდრდა ტერმინი "ინფოკომუნიკაცია", რომელიც წარმოადგენს საზოგადოების თანამედროვე საინფორმაციო-სატელეკომუნიკაციო სტრუქტურას და რომელიც ვითარდება საზოგადოების განვითარების ტექნიკურ-ეკონომიკური კანონების შესაბამისად.

ტელეკომუნიკაციის განსახორციელებლად დღეს ადამიანები იყენებენ სხვადასხვა მიმმართველ საშუალებებს – მეტალის სადენიან სადენებს და მათი საშუალებით კონსტრუირებულ ელექტრულ კაბელებს, ღია სივრცეს, ანუ ეთერს (რადიოკავშირი) და ბოჭკოვან-ოპტიკურ კაბელებს. პირველ შემთხვევაში ინფორმაციის გადაცემა ხორციელდება ელექტრული სიგნალების (ელექტროკავშირი), მეორე შემთხვევაში – რადიოსიგნალების (რადიოკავშირი), ხოლო მესამე შემთხვევაში – სინათლის სხივის საშუალებით, რომელიც ვრცელდება ბოჭკოვან-ოპტიკურ კაბელებში (ოპტიკური კავშირი). "ტელეკომუნიკაციის" ცნებაში შეიძლება სამივე შემთხვევის გაერთიანება, რის გამოც იგი მანძილზე ინფორმაციის გადაცემის პროცესის ამსახველ ყოვლისმომცველ ტერმინად შეიძლება მივიჩნიოთ.

შესაბამისად, მეტალის სადენიანი წრედებით სიგნალების გადაცემის პროცესს შეიძლება ვუწოდოთ ელექტროტელეკომუნიკაცია, რადიოხაზებით სიგნალების გადაცემის პროცესს – რადიოტელეკომუნიკაცია, ხოლო ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელებით სიგნალების გადაცემის პროცესს – ბოჭკოვან-ოპტიკური ტელეკომუნიკაცია.

განსაკუთრებულ აღნიშვნას იმსახურებს ინფორმაციის გადაცემისათვის დღეისათვის გამოყენებული ტექნოლოგია – ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელები, რომლის დანერგვის ზრდის მაჩვენებლები განპირობებულია იმ უპირატესობებით, რომლებიც მათ გააჩნია სხვა მიმმართველ სისტემებთან შედარებით, კერძოდ: დიდი გამტარუნარიანობა, რაც უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია თანამედროვე მსოფლიოში გადასაცემი ინფორმაციის რაოდენობის ზრდის მაღალი ტემპების პირობებში; სიგნალების მცირე მილევა; გარეშე ელექტრომაგნიტური ხელშეშლებისაგან დაცულობა; მაღალი საიმედოობა; მცირე ღირებულება, გაბარიტები და წონა.

დღეისათვის სწრაფი ტემპებით ვითარდება და ინერგება მობილური რადიოტელეკომუნიკაციის ისეთი სახეობები, როგორცაა ფიჭური, პეიჯერული, ტრანკინგული და თანამგზავრული მობილური ტელეკომუნიკაციები.

მობილური ტელეკომუნიკაციის იდეა გაჩნდა რადიოს გამოგონების დღიდანვე და იგი დღეს უზრუნველყოფს კავშირს როგორც მოძრავ, ასევე მოძრავ და სტაციონალურ (უძრავ) აბონენტებს შორის. ნებისმიერ შემთხვევაში მოძრავ (მობილურ) ობიექტს უნდა გააჩნდეს რადიომიმღები (ინფორმაციის მიღებისათვის) და რადიოგადამცემი (ინფორმაციის გადაცემისათვის). თავდაპირველად, როდესაც რადიოელექტრონული საშუალებები აგებული იყო ელექტრონული მილაკების საშუალებით, რადიომიმღებები და რადიოგადამცემები იმდენად დიდი გაბარიტებისა და წონის იყო, რომ მათი გადაადგილება პრაქტიკულად შეუძლებელი იყო. დაახლოებით 60 წლის წინათ შეიქმნა მოძრავი მომღებ-გადამცემები, რომელთა წონა 50...60 კგ-ს აღწევდა და მათ ამონტაჟებდნენ ავტომობილების საბარგულებში, რის გამოც ასეთი მომსახურებით სარგებლობდნენ ერთეული ადამიანები – მთავრობის პირველი პირები. შემდგომში რადიოელექტრონული ტექნოლოგიის

ზემოთ აღწერილმა განვითარებამ უზრუნველყო მიმღებ-გადამცემების წონის შემცირება 2...3 კგ-დე, მაგრამ ასეთი წონის აპარატურის მასობრივი გამოყენება პრაქტიკულად შეუძლებელი იყო. 1980 წელს რადიოელექტრონული აპარატურის მიკრომინიატურიზაციამ ისეთ დონეს მიაღწია, რომ შეიქმნა 200...300 გ წონის მიმღებ-გადამცემები, რომელთა ტარება ადამიანებისათვის უკვე გახდა შესაძლებელი. სწორედ ამის შემდეგ დაიწყო მობილური სატელეფონო კომუნიკაციის მასობრივი გავრცელება მსოფლიოში. ამჟამად მობილური აპარატების წონა კიდევ უფრო შემცირებულია 40...50 გრამამდე.

რადიოელექტრონიკის ტექნოლოგიებში მიღწეულმა შედეგებმა შექმნა ფიჭური მობილური ტელეკომუნიკაციის შექმნის შესაძლებლობა. ამ შემთხვევაში მომსახურების ტერიტორია (მომსახურების ზონა) იყოფა ფუტკრის ფიჭების მსგავს უბნებად. თითოეული ფიჭის (უბნის) ცენტრში იდგმება სტაციონალური (უძრავი) მიმღებ-გადამცემი სადგური, საიდანაც დაკავშირება ხორციელდება ერთის მხრივ მობილურ აბონენტებთან, ხოლო მეორეს მხრივ საკომუტაციო ცენტრთან (სადგურთან). ეს უკანასკნელი უზრუნველყოფს მობილური აბონენტის დაკავშირებას სხვა მობილურ ან სტაციონალურ აბონენტთან და პირიქით. ამჟამად მობილური ფიჭური ტელეკომუნიკაცია იმდენად პოპულარული გახდა, რომ მობილური სატელეფონო აპარატების რიცხვმა მსოფლიოში 1,5 მილიარდს მიაღწია, ანუ გადააჭარბა სტაციონალური ტელეფონების რაოდენობას.

მობილური ტელეკომუნიკაციის განვითარებას ყოფენ თაობებად. სიტყვა "თაობა" ინგლისურენოვანი სიტყვის "**Generation**" ქართული შესატყვისია, რის გამოც 1-ლი, მე-2, მე-3 და ა.შ. თაობების სისტემები აღინიშნება როგორც **1G**, **2G**, **3G** და ა.შ. **1G** თაობის მობილური ტელეკომუნიკაციის სისტემები აგებული იყო ელექტრონულ მილაკებზე და მათი საშუალებით სიგნალები გადაიცემოდა ანალოგური (უწყვეტი) სახით. ამ თაობის სისტემებში გამოიყენება მრავალარხიანი შეღწევის სიხშირული მულტიპლექსირების (გაერთიანების, განცალკევების, დაყოფის, განაწილების) **FDMA (Frequency Division Multiple Access)** მეთოდი. ასეთი სისტემებისათვის კი დამახასიათებელია რიგი ნაკლოვანებებისა, როგორცაა: დაბალი ხელშემლამდგრადობა და მასთან დაკავშირებული საუბრების გადაცემის

არადამაკმაყოფილებელი ხარისხი; ისედაც დეფიციტური რადიოსიხშირული სპექტრის არაეფექტური გამოყენება; საუბრების დაუცველობა მოსმენებისაგან და სხვა. **1G** თაობის სისტემებმა თავისი განვითარების პიკს მიაღწია 1993 წელს, რის შემდეგაც მათი აბონენტების რიცხვი სწრაფად შემცირდა. გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან **1G** თაობის სისტემებს თანდათანობით ჩაენაცვლა **2G** თაობის ციფრული სისტემები, რაც, გარდა **1G** თაობის სისტემებისათვის დამახასიათებელი ზემოთ ჩამოთვლილი ნაკლოვანებებისა, განპირობებული იყო შესაბამისი ქსელების ტევადობის მკვეთრად გაზრდის აუცილებლობით. გარდა ამისა, ამ დროისათვის უკვე მომწიფდა ტელეკომუნიკაციის ხარისხის გაუმჯობესების, დამატებითი მომსახურების სახეობების მიწოდების, ახალ ციფრულ სატელეფონო ქსელებთან დაკავშირების, როუმინგის განხორციელების გამარტივების, სისტემის უნიფიკაციისა და ერთიან საერთაშორისო სტანდარტზე მუშაობის აუცილებლობა. **1G** თაობის სისტემები ამ დროისათვის უკვე სავსებით მიუღებელი აღმოჩნდა გაერთიანების გზაზე მდგარი ევროპისათვის, რის გამოც ჯერ კიდევ 1982 წელს ევროპის ტელეკომუნიკაციის 17 ადმინისტრაციის მიერ შეიქმნა მოძრავი კავშირის ექსპერტთა **GSM (Group Special Mobile)** ჯგუფი, რომელიც შეუდგა ახალი ციფრული მობილური ტელეკომუნიკაციის გლობალური **GSM (Global System for Mobile Communications)** სისტემის დამუშავებას.

მობილური ტელეკომუნიკაციის ციფრულ სისტემებში გამოიყენება არხების მულტიპლექსირების დროითი **TDMA (Time Division Multiple Access)** ან კოდური **CDMA (Code Division Multiple Access)** მეთოდი. მათგან **CDMA** ტექნოლოგია (**IS-95** სისტემა) მე-3 თაობის (**3G**) სისტემის აგების საფუძვლადაა მიჩნეული, ვინაიდან ეს ტექნოლოგია ყველა დანარჩენისაგან გამოირჩევა მაღალი ხელშეშლამდგრადობით, რადიოსპექტრის გამოყენების ყველაზე მაღალი ეფექტურობით, ქსელის ტევადობის გაზრდის შესაძლებლობით, საბაზო სადგურების სიმცირით და სხვა, რასაც, საბოლოო ჯამში, მივყავართ მაღალ ეკონომიკურ ეფექტურობამდე და შედეგად ტარიფების შემცირებამდე.

XXI საუკუნეში მსოფლიო შევიდა გლობალურ ინფორმაციულ საზოგადოებაში, რაც, თავის მხრივ, მოითხოვს გლობალური ინფორმაციული

ინფრასტრუქტურის შექმნას. ბუნებრივია, რომ მსოფლიო საზოგადოების წინაშე უცებ დადგა მობილური ტელეკომუნიკაციის უნივერსალური სისტემის შექმნის პრობლემა, რომლის საშუალებითაც მომხმარებლებს შეძლებისდაგვარად მიეწოდება ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობა. **3G** თაობის მობილური ტელეკომუნიკაციის სისტემების შექმნის დასაწყისად შეიძლება ჩაითვალოს 1985 წელს ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო კავშირის (**International Telecommunication Union – ITU-T**) მიერ მიღებული პროგრამა "ტელეკომუნიკაციის საერთო სარგებლობის მომავალი მიწისპირა სისტემები", რომლის მიზანსაც წარმოადგენდა მსოფლიოში ერთიანი ციფრული სტანდარტის დანერგვა, თუმცა **XX** საუკუნის დასარულს **3G** სისტემების შექმნის პროგრამამ შეითვისა ინტერნეტში სწრაფი შეღწევისა და ტელეკომუნიკაციის სხვა სახეობებითაც მომსახურების მოთხოვნებიც. **3G** კონცეფცია გულისხმობს მულტიმედიის მომსახურების მიწოდებას, მათ შორის ვიდეოს, მეტყველების, ფაქსიმილური შეტყობინებებისა და მონაცემთა გადაცემა-მიღებას ნებისმიერი აბონენტისათვის ერთიანი ნომრის მქონე მობილური აპარატებით (ტერმინალებით).

2G-დან **3G**-ზე პირდაპირი გადასვლა რევოლუციურს წარმოადგენდა, თუმცა არსებობდა ევოლუციური გზაც – არსებული სისტემების მოდიფიკაციის გზა, ანუ **2G**-დან **2G+**-ზე და შემდეგ **3G**-ზე გადასვლა.

მაშასადამე, პერიოდი გასული საუკუნის 80-იანი წლების დასაწყისიდან **XXI** საუკუნის პირველ წლებამდე ითვლება **2G** თაობის ხანად. ამჟამად კი მსოფლიოში და მათ შორის საქართველოში უკვე დაწყებულია **3G** თაობის ხანა.

დღეისათვის უკვე დანერგილია მე-4 თაობის **4G** ტექნოლოგია, რაც მიუთითებს ფიჭური მობილური ტელეკომუნიკაციის სწრაფ და დინამიურ განვითარებაზე. მობილური ტელეკომუნიკაციის **4G** სისტემები უზრუნველყოფს არსებული სატელევიზიო პროგრამების გავრცელებას, ხოლო პერსპექტიული **5G** სისტემები – ახალი, მაღალი სიმკვეთრის სატელევიზიო პროგრამების მიწოდებასაც. მოსალოდნელია, რომ **5G** თაობის მომსახურებათა სახეობები დაინერგება შესაბამისად 2025 წლიდან.

ამჟამად ფართოდ ინერგება მობილური ტელეფონებისა და სხვა ტერმინალებისათვის მონაცემთა მაღალი სისწრაფით უმავთულო გადაცემის LTE (Long-Term Evolution – ხანგრძლივი განვითარება) სტანდარტი, რომელსაც ხშირად აღნიშნავენ როგორც 4G LTE.

პეიჯერული ტელეკომუნიკაცია გულისხმობს ასოებისაგან და სხვადასხვა ნიშნებისაგან შედგენილი შეტყობინების გადაცემას სტაციონალური გადამცემიდან მობილურ მიმღებამდე. გადასაცემი ასოებისა და ნიშნების რაოდენობა ერთ შეტყობინებაში რამდენიმე ასეულს არ უნდა აღემატებოდეს (≈ 300 ნიშანი). ეს შეტყობინება გადამცემიდან ელექტრომაგნიტური ტალღების საშუალებით გასხივდება ეთერში და თუ მიმღები აპარატი (პეიჯერი) იმყოფება გადამცემის მოქმედების ზონაში, მაშინ იგი მიიღებს გადაცემულ ინფორმაციას და მას ასახავს ეკრანზე. პეიჯერული კავშირის ნაკლია ის გარემოება, რომ უკუკავშირის არარსებობის გამო გადამცემი არ ფლობს ინფორმაციას პეიჯერის მიერ შეტყობინების მიღების შესახებ.

ტრანკინგული ტელეკომუნიკაცია წარმოადგენს კომუნიკაციას რაციების საშუალებით. იგი ფიჭური ტელეკომუნიკაციის მსგავსია და მისგან განსხვავდება იმით, რომ გამოიყენებს მხოლოდ ერთ ფიჭას მძლავრი მიმღებ-გადამცემით. ამის გამო ტრანკინგული ტელეკომუნიკაციის შემთხვევაში ფიჭის ზომები გაცილებით აღემატება ფიჭური მობილური კავშირის ფიჭების ზომებს.

დედამიწის ზედაპირის სფერული ფორმის გამო შეუძლებელია ჩვეულებრივი რადიოსატელეკომუნიკაციო კავშირის განხორციელება დიდი მანძილით დაშორებულ პუნქტებს შორის. ამის გამო გაჩნდა იდეა ასეთი კავშირებისათვის გამოყენებული ყოფილიყო დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრი, რომელიც ამ შემთხვევაში შეასრულებდა რეტრანსლატორის ფუნქციას, ანუ იგი მიიღებდა სიგნალს დედამიწის ერთი პუნქტიდან და მას გადასცემდა მეორე პუნქტში. თანამგზავრული რადიოტელეკომუნიკაციის სისტემები შეიძლება გამოყენებული იყოს აგრეთვე მობილური ტელეკომუნიკაციისათვისაც. პირველი ხელოვნური თანამგზავრი ორბიტაზე გაშვებული იქნა 1957 წელს. ამჟამად კი მსოფლიოში მოქმედებს თანამგზავრული მობილური კავშირის რამდენიმე სისტემა, რომელთაგან

განსაკუთრებითაა აღსანიშნავი სისტემა "ირიდიუმი". ამ სისტემის 66 თანამგზავრით თანაბრადაა დაფარული დედამიწის ზედაპირი. მობილური აბონენტის აპარატიდან სიგნალი გადაიცემა თანამგზავრზე, იქიდან კი – მეორე მობილური აბონენტის აპარატს, თუ ეს უკანასკნელი იმყოფება ამავე თანამგზავრის მოქმედების (დაფარვის) ზონაში. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც მეორე აბონენტი სხვა თანამგზავრის მოქმედების ზონაშია, მაშინ თანამგზავრი, რომელიც ემსახურება პირველი აბონენტის ტერიტორიას (დაფარვის ზონას), შესაბამისი აპარატიდან მიღებულ სიგნალს პირდაპირ ან რამდენიმე თანამგზავრის გავლით აგზავნის იმ თანამგზავრისაკენ, რომელიც ფარავს მეორე აბონენტის ადგილმდებარეობის შესაბამის ტერიტორიას. ასეთი პრინციპით რადიოსატელეკომუნიკაციო კავშირის დამყარება დედამიწის ნებისმიერი წერტილიდან მეორე ნებისმიერ წერტილამდე შესაძლებელია არა მარტო მობილურ აბონენტებს შორის, არამედ მობილურ და სტაციონალურ და მხოლოდ სტაციონალურ აბონენტებს შორისაც.

2. ციფრული ტელეკომუნიკაცია. ტელეკომუნიკაციის სფეროს სტანდარტიზაციის ორგანიზაციები

თანამედროვე ტელეკომუნიკაციისათვის დამახასიათებელია ინფორმაციის გადაცემისა და მიღების ციფრულ მეთოდებზე გადასვლა, რაც განპირობებულია ინფორმაციის გადაცემის, მიღების, ჩაწერისა და შენახვის (არქივირების) ციფრული მეთოდების მთელი რიგი უპირატესობებით ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით. მისი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ნებისმიერი ინფორმაციის შესაბამისი ანალოგური (უწყვეტი) სიგნალი გარდაიქმნება ერთი (1) და ნული (0) სიმბოლოების ერთობლიობების მიმდევრობად (ციფრულ სიგნალად), რომელიც ტელეკომუნიკაციის ხაზებით (მიმმართველი სისტემებით) გადაიცემა ინფორმაციის წყაროდან მიმღებამდე. იმის გამო, რომ ტელეკომუნიკაციის ხაზით გადაიცემა ორდონიანი სიგნალი (გამონაკლისია მეტალის სადენიანი ხაზები, სადაც აუცილებელია სამდონიანი ციფრული სიგნალების გადაცემა), ამიტომ სიგნალის მიღების ადგილებში (სატელეკომუნიკაციო მაგისტრალის გასწვრივ განლაგებულ შუალედურ და დამაბოლოებელ პუნქტებში) ადვილი ამოსაცნობია მიღებული სიმბოლოების ნამდვილი მნიშვნელობა სატელეკომუნიკაციო ხაზის გასწვრივ ხელშეშლების ზემოქმედების გამო მათი დამახინჯების შემთხვევაშიც კი. ამიტომ სიგნალების ციფრული სახით გადაცემა გაცილებით მაღალი ხელშეშლამდგრადობით გამოირჩევა მათი უწყვეტი (ანალოგური) სახით გადაცემასთან შედარებით. გარდა ამისა, ციფრული სიგნალების დამუშავება იოლია თანამედროვე ციფრული ინტეგრალური სქემების საშუალებით, რომლებიც წარმოადგენს უახლესი კომპიუტერული ტექნიკის ბაზას. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ციფრულ ტექნოლოგიებზე გადასვლა თანამედროვე ტელეკომუნიკაციის განვითარების ძირითადი მიმართულებაა.

ციფრული ტელეხედვა სატელევიზიო ტექნიკის დარგია, რომელშიც სატელევიზიო სიგნალის გადაცემა, დამუშავება და შენახვა ხორციელდება ციფრულ ფორმაში. ციფრული ტელეხედვის მეთოდებისა და საშუალებების გამოყენება სატელევიზიო ტექნიკის განვითარების ახალი საფეხურია, რომელიც უზრუნველყოფს რიგ უპირატესობებს ანალოგურ ტელეხედვასთან შედარებით, კერძოდ: სატელევიზიო სიგნალების გადაცემისა და ჩაწერის ტრაქტების ხელშეშლამდგრადობის ამაღლება; სატელევიზიო მაუწყებლობის გადამცემების

სიმძლავრის შემცირება; ერთსა და იმავე სიხშირულ დიაპაზონში გადაცემული სატელევიზიო პროგრამების რაოდენობის მნიშვნელოვანი გაზრდა; განშლის ჩვეულებრივი სტანდარტის მქონე სატელევიზიო მიმღებებში გამოსახულებისა და ხმის ხარისხის ამაღლება; გამოსახულებათა განშლის ტექნოლოგიის ახალი სტანდარტების (მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვა) შესაბამისი სატელევიზიო სისტემების შექმნა; სატელევიზიო გადაცემების მომზადებისა და წარმოებისათვის გამოყენებული სასტუდიო აპარატურის ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოვება; სატელევიზიო სიგნალთან ერთად სხვადასხვა დამატებითი ინფორმაციის გადაცემა და სატელევიზიო მიმღებების გადაქცევა მრავალფუნქციურ ინფორმაციულ სისტემად; ინტერაქტიული სატელევიზიო სისტემების შექმნა, რომელთა გამოყენებისას მომხმარებელს (მაცურებელს) ეძლევა სატელევიზიო პროგრამებზე ზემოქმედების საშუალება.

აღნიშნული უპირატესობები განპირობებულია როგორც ციფრული ტელეხედვისადმი დამახასიათებელი პრინციპებით, ასევე სხვადასხვა ალგორითმების, სქემური გადაწყვეტილებებისა და შესაბამისი მოწყობილობების შესაქმნელად გამოყენებული მძლავრი ტექნოლოგიური ბაზის არსებობით.

დღემდე ციფრულმა ტელეხედვამ განვითარების მთელი რიგი ეტაპები გაიარა. თითოეულ ეტაპზე თავდაპირველად სრულდებოდა სამეცნიერო-კვლევითი, საკონსტრუქტორო და საცდელი სამუშაოები, იქმნებოდა ექსპერიმენტული მოწყობილობები და სისტემები, ხოლო შემდეგ შემუშავდებოდა, როგორც წესი, საერთაშორისო სტანდარტები, რომლებიც უნდა შეესრულებინათ სატელევიზიო მაუწყებლობის მწარმოებელ და ვიდეოპროგრამების გამომშვებ ორგანიზაციებსა და შესაბამისი აპარატურის მწარმოებელ ფირმებს. სტანდარტების მიღება ნებისმიერი (მათ შორის სატელევიზიო) ტექნოლოგიის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია.

ტელეკომუნიკაციის სფეროში სტანდარტიზაციის ორგანიზაციების საქმიანობის მიზანს წარმოადგენს ერთიანი საერთაშორისო სტანდარტების შექმნა. ერთიანი სტანდარტების არარსებობა იწვევს სხვადასხვა მწარმოებლის მიერ შექმნილი მოწყობილობების შეუთავსებლობას და, აქედან გამომდინარე, საერთაშორისო კავშირების განხორციელების შეუძლებლობას. სტანდარტიზაციის

ორგანიზაციები უზრუნველყოფენ პროგრესული ტექნოლოგიების განხილვის პირობებს, ოფიციალური სტანდარტის სახით ამტკიცებენ აღნიშნული განხილვების შედეგებს, აგრეთვე უზრუნველყოფენ დამტკიცებული სტანდარტების გავრცელებას.

სტანდარტიზაციის ორგანიზაციების მუშაობის განრიგი სტანდარტების მიღების თვალსაზრისით შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთმანეთისაგან. თუმცა ეს განრიგი მსგავსია იმ თვალსაზრისით, რომ ახალი ტექნოლოგიების დამუშავება და განხილვა, სტანდარტების პროექტების დამუშავება, ამ სტანდარტების ყველა ან ზოგიერთი ასპექტის ხმის მიცემა და, ბოლოს, დამთავრებული სტანდარტების ოფიციალური გამოშვება ხორციელდება რამდენიმე ეტაპად.

სტანდარტიზაციის შედარებით ცნობილი ორგანიზაციებია:

სტანდარტიზაციის საერთაშორისო ორგანიზაცია (სსო) (**International Standard Organization – ISO**), რომელიც შეიქმნა 1947 წელს და რომელიც ავტორია მოღვაწეობის სხვადასხვა სფეროს (მათ შორის ტელეკომუნიკაციების) სტანდარტებისა. **ISO**-ს წევრებს წარმოადგენენ სტანდარტიზაციის ნაციონალური ორგანიზაციები. **ISO**-ში მონაწილეობა ნებაყოფლობითია. **ISO**-ს შედარებით ცნობილ სტანდარტს ტელეკომუნიკაციის სფეროში წარმოადგენს ღია სისტემების ურთიერთქმედების ეტალონური მოდელი. ტექნიკის რომელიმე სფეროში სტანდარტების შემუშავების მიზნით ეს ორგანიზაცია ქმნის სამუშაო ჯგუფებს. ერთ-ერთი მათგანია **MPEG (Motion Picture Expert Group)**, რომელიც ამუშავებს ციფრული ტელეხედვის სტანდარტებს. სამუშაო ჯგუფის წევრები ძირითადად მუშაობენ თავთავიანთ ქვეყნებში და საჭიროების შემთხვევაში აწყობენ მუშა შეხვედრებს, სადაც განიხილავენ და დასამტკიცებლად ამზადებენ სტანდარტების მასალებს.

სტანდარტიზაციის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ორგანიზაციაა აგრეთვე ტელეკომუნიკაციის (ელექტროკავშირის) საერთაშორისო კავშირის (**ITU**) ტელეკომუნიკაციების სტანდარტიზაციის სექტორი (**Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union – ITU-T**), რომელიც 1993 წლიდან წარმოადგენს გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის სპეციალიზირებულ ორგანოს (იგი მემკვიდრეა ტელეგრაფიისა და ტელეფონიის საერთაშორისო საკონსულტაციო კომიტეტისა – **Comite Consultatif International**

Telegraphique et Telephonique – CCITT). ITU საერთაშორისო ორგანიზაციაა, რომელიც ამუშავებს ტელეკომუნიკაციის დარგის სტანდარტებს. ITU-T-ის სტანდარტებს რეკომენდაციები (**Recommendations**) ეწოდება. მის მიერ მიღებული დოკუმენტები (რეკომენდაციები) მტკიცდება ან საერთაშორისო სტანდარტებად ISO-ს გადაწყვეტილებებით ან ნაციონალურ სტანდარტებად სტანდარტიზაციის ნაციონალური ორგანოების მიერ. რეკომენდაციები გაერთიანებულია ლათინური ანბანით აღნიშნულ სერიაში. სერიის ფარგლებში რეკომენდაციებს ენიჭება რიგითი ნომერი. სერიის აღნიშვნა და რეკომენდაციის ნომერი ერთმანეთისაგან წერტილით გამოიყოფა, მაგალითად, **V.90**. გარდა ITU-T-სა, ITU-ის შემადგენლობაში შედის რადიოკავშირის სექტორი **ITU-R (Radiocommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union – ITU-R)** და ელექტროკავშირის განვითარების სექტორი (**Telecommunication Development Sector – ITU-D**). ITU-ის სტანდარტები პრაქტიკულად მოიცავს ტელეკომუნიკაციების მთელ სფეროს.

ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის ინჟინერთა ინსტიტუტი (**Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE**), რომელიც პროფესიული ორგანიზაციაა და იგი ამუშავებს ქსელების სტანდარტებს. ლოკალური ქსელების სტანდარტები (**LAN**) ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი სტანდარტებია ტელეკომუნიკაციების სფეროში მიღებული **IEEE-ს** სტანდარტებს შორის.

ევროპის ელექტროკავშირის სტანდარტიზაციის ინსტიტუტი (**European Telecommunications Standards Institute – ETSI**) ევროპული თანამეგობრობის წევრი ქვეყნებისათვის განსაზღვრავს ერთიან ტექნიკურ პოლიტიკას ტელეკომუნიკაციების სფეროში. **ETSI-ს** ყველაზე ცნობილ სტანდარტს წარმოადგენს **GSM** – მოძრავი რადიოკავშირის ფიჭური სისტემის სტანდარტი.

ევროპის ფოსტისა და ელექტროკავშირის ადმინისტრაციათა კონფერენცია (**Conference of European Posts and Telegraphs – CEPT**).

ამერიკის სტანდარტიზაციის ნაციონალური ინსტიტუტი (**American National Standard Institute – ANSI**) – ამერიკის შეერთებული შტატების (აშშ) ფარგლებში სტანდარტიზაციის ნებაყოფლობითი ჯგუფების მაკოორდინირებელი ორგანო. იგი

ISO-ს წევრია. ფართოდაა ცნობილი ANSI-ის მიერ ტელეკომუნიკაციებისათვის დამუშავებული სტანდარტი **FDDI**.

სატელეკომუნიკაციო მრეწველობის ასოციაცია (**Telecommunication Industrial Association – TIA**) ANSI-ის ერთ-ერთი ჯგუფია, რომელიც უშვებს ტელეკომუნიკაციების სტანდარტებს. მის ყველაზე ცნობილ სტანდარტს წარმოადგენს მოძრავი რადიოკავშირის ფიჭური სისტემის აშშ-ის სტანდარტი **IS-54**.

ელექტრონული მრეწველობის ასოციაცია (**Electronic Industrial Association – EIA**) ANSI-ის ერთ-ერთი ჯგუფია.

აშშ-ის კავშირგაბმულობის ფედერალური კომისია (**Federal Communication Commission – FCC**) – აშშ-ის სამთავრობო ორგანიზაცია, რომელიც დაკავებულია კავშირგაბმულობის დარგის რეგულირებით, მათ შორის რადიოსიხშირეთა სპექტრის განაწილებით.

ინტერნეტში მუშაობის რეგულაციის საბჭო (**Internet Activities Board – IAB**) განსაზღვრავს პოლიტიკას ინტერნეტის გლობალური ქსელის სფეროში. მის შემადგენლობაში შედის ორი ქვეკომიტეტი: საკვლევო – **IRTF (Internet Research Task Force)** და სტანდარტიზაციის – **IETF (Internet Engineering Task Force)**. IAB-ის სტანდარტებს ეწოდება "**Request for Comments**" (**RFC**) (მოთხოვნა კომენტარისათვის).

სატელეკომუნიკაციო მოწყობილობების მწარმოებლები, რომლებიც დაინტერესებულნი არიან რაიმე კონკრეტული ტექნოლოგიის სწრაფი დანერგვით, ასევე ქმნიან მოცემული სფეროს სტანდარტიზაციის ორგანიზაციებს. მაგალითისათვის შეიძლება აღინიშნოს ისეთი ორგანიზაციები, როგორცაა: ფორუმები **ATM** და **Frame Relay**, ალიანსი **Gigabit Ethernet** და სხვა.

საქართველოში ტელეკომუნიკაციის დარგში სტანდარტიზაციისა და რეგულირების სამუშაოებს ატარებენ საქართველოს სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიისა და სერტიფიკაციის სახელმწიფო კომიტეტი (საქსტანდარტი), ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო და ტელეკომუნიკაციის დარგის ეროვნული მარეგულირებელი კომისია.

ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სისტემები მრავალარხიანია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ტელეკომუნიკაციის 1 (სადენიანი თუ რადიო) ხაზის საშუალებით

მრავალი (N რაოდენობის) სიგნალის გადაცემა ხორციელდება ერთდროულად და ურთიერთდამოუკიდებლად სიგნალების განმხილვების (გადამცემში მათი გაერთიანების და მიმღებში განცალკევების) ამა თუ იმ (სიხშირული, დროითი, კოდური) მეთოდის გამოყენების საფუძველზე.

ზოგადად მრავალარხიან სისტემებში გათვალისწინებულია მაღალი გამტარუნარიანობის მქონე ფართოხოლოვანი არხების შექმნა, რომლებიც ყალიბდება N რაოდენობის ტელეფონის (ტონალური სიხშირის – ტს) არხების გაერთიანებით (ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ისეთი მრავალარხიანი სისტემისა და შესაბამისი აპარატურის აგებასთან, რომელიც აერთიანებს N რაოდენობის ტს-ის არხს).

უნდა აღინიშნოს, რომ ციფრულ სისტემებამდე არსებულ ანალოგურ მრავალარხიან სისტემებში გასაერთიანებელი ტს-ის არხების რაოდენობა იყო სტანდარტიზირებული. კერძოდ, ანალოგური მრავალარხიანი სისტემებისათვის ჯგუფურ სიგნალში გაერთიანებული საარხო სიგნალების (გასაერთიანებელი სიგნალების) სტანდარტიზირებული რაოდენობები 12-ის ჯერადია და ეს რაოდენობებია: NN=3 (წინასწარჯგუფური ანალოგური არხი); NN=12 (პირველადი ანალოგური არხი); NN=60 (მეორეული ანალოგური არხი); NN=300 (მესამეული ანალოგური არხი) და ა.შ. გარდა ამისა, მრავალარხიან ანალოგურ სისტემებში შესაძლებელია აგრეთვე ტს-ის 1920 და 3600 არხის გაერთიანება, რის შედეგადაც ასეთი ფართოხოლოვანი არხებით შესაძლებელი ხდება მაუწყებლობისა და ტელევიზიის სიგნალების გადაცემაც კი. E

ITU-T-ს მიერაა სტანდარტიზებული მრავალარხიანი ციფრული სისტემებიც. საერთოევროპული სტანდარტის ციფრული სისტემებისათვის ტელეფონის არხების რაოდენობა: NN=1 (ძირითადი ციფრული არხი); NN=30 (პირველადი ციფრული არხი); NNN=120 (მეორეული ციფრული არხი); NN=480 (მესამეული ციფრული არხი); N=1920 (მეოთხეული ციფრული არხი). დიდი გამტარუნარიანობის ბოკოვან-ოპტიკური ხაზების გამოყენების შემთხვევაში ამჟამად შესაძლებელი გახდა უფრო მძლავრი (STM-1, STM-4, STM-16 და STM-64) ციფრული ნაკადების გადაცემა (STM-Synchronous Transport Modul _ სინქრონული ტრანსპორტირების მოდული).

1-ლ ცხრილში წარმოდგენილია საერთოევროპული სტანდარტის პლეზიოქრონული PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) ციფრული იერარქიის შესაბამისი ციფრული სისტემების პარამეტრები, მე-2 ცხრილში კი – სინქრონული SDH (Synchronous Digital Hierarchy) ციფრული იერარქიის შესაბამისი ციფრული სისტემების პარამეტრები.

ცხრილი 1

იერარქიის დონე	აღნიშვნა	სატელეფონო არხების რაოდენობა	გადაცემის სიჩქარე, კბიტი/წმ
0	E0	1	64
1	E1	30	2048
2	E2	120	8448
3	E3	480	34368
4	E4	1920	139264
5	E5	7680	564992

ცხრილი 2

იერარქიის დონე	სინქრონული ტრანსპორტირების მოდულის აღნიშვნა	სატელეფონო არხების რაოდენობა	ჯგუფური ციფრული სიგნალის გადაცემის სიჩქარე, კბიტი/წმ
1	STM-1	1920	155520
2	STM-4	7680	622080
3	STM-16	30720	2488320
4	STM-64	122880	9953280

როგორც მოყვანილი ცხრილებიდან ჩანს, პლეზიოქრონული ციფრული იერარქიის სისტემებში მომდევნო დონე მიიღება წინა დონის შესაბამისი არხების რაოდენობის 4-ზე გამრავლებით, ხოლო სინქრონული ციფრული იერარქიის სისტემებში მომდევნო დონის შესაბამისი გადაცემის სიჩქარე – წინა დონის შესაბამისი სიჩქარის 4-ზე გამრავლებით.

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, დღემდე ციფრულმა ტელეხედვამ განვითარების მთელი რიგი ეტაპები გაიარა. ციფრული ტელეხედვის განვითარების პირველი ეტაპი იყო ციფრული ტექნიკის გამოყენება სატელევიზიო სისტემის

ცალკეულ ნაწილებში განშლის ჩვეულებრივი სტანდარტისა და კავშირის ანალოგური არხების შენარჩუნებით. ამ ეტაპის უმთავრეს მიღწევად ითვლება მთლიანად ციფრული სასტუდიო მოწყობილობის შექმნა. თანამედროვე ტელესტუდიებში გადამცემი კამერების სიგნალები გარდაიქმნება ციფრულ ფორმაში და ტელეცენტრის ფარგლებში მათი შემდგომი დამუშავება და შენახვა ხორციელდება ციფრული საშუალებებით. აღნიშნული გარემოება იძლევა ციფრული ტელეხედვის უპირატესობების რეალიზების საშუალებას. სასტუდიო მოწყობილობის გამოსასვლელზე სატელევიზიო სიგნალი გარდაიქმნება ანალოგურ ფორმაში და გადაიცემა კავშირის ჩვეულებრივი არხებით.

სხვადასხვა ქვეყნის სპეციალისტთა შრომამ ასახვა პოვა დოკუმენტში, რომელსაც ეწოდება რეკომენდაცია **ITU-R BT 601 (ITU-R – International Telecommunication Union, Radio – ელექტროკავშირის საერთაშორისო კავშირის რადიოკავშირის სექტორი)**. ამ სტანდარტის ძველი დასახელებაა რადიოს დარგში საერთაშორისო საკონსულტაციო კომიტეტის რეკომენდაცია 601. ეს სტანდარტი მიიღეს 1982 წელს და იგი განსაზღვრავს ციფრული სასტუდიო აპარატურის ძირითად პარამეტრებს.

ციფრული ტექნიკის გამოყენების მეორე მიმართულებას, რომელიც დამახასიათებელია ციფრული ტელეხედვის პირველი ეტაპისათვის, წარმოადგენს სატელევიზიო მიმღებებში ციფრული ბლოკების გამოყენება გამოსახულების ხარისხის ამაღლების ან მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოვების მიზნით. ასეთი ბლოკების მაგალითებია ციფრული ფილტრები სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი სიგნალების განცალკევებისათვის, გამოსახულებაზე ხმაურების შემცირებისა და ექო-სიგნალების ჩახშობისათვის, რომლებიც წარმოიქმნება დედამიწიდან და სხვადასხვა ობიექტებიდან რადიოტალღების არეკვლის გამო (მრავალსხივური მიღება). ფართოდაა ცნობილი აგრეთვე მოწყობილობები სტრიქონგამოტოვებითი განშლიდან კვაზიპროგრესულ განშლაზე გადასვლისათვის, ფუნქციების “სტოპ-კადრი” და “კადრი კადრში” რეალიზებისათვის, ეკრანზე “ტელეტექსტის” სისტემით გადაცემული დამატებითი ინფორმაციის მიღებისათვის და სხვა.

აღნიშნული ცვლილებები არ ვრცელდებოდა განშლის სტანდარტზე და კავშირის არხით სატელევიზიო სიგნალის გადაცემის პრინციპებზე.

ციფრული ტელეხედვის განვითარების მეორე ეტაპია ჰიბრიდული ანალოგო-ციფრული სატელევიზიო სისტემების შექმნა, რომელთა პარამეტრები განსხვავდება ტელეხედვის ჩვეულებრივ სტანდარტებში მიღებული პარამეტრებისაგან. შეიძლება აღნიშნოს სატელევიზიო სტანდარტის ცვლილების ორი ძირითადი მიმართულება: სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი სიგნალების ერთდროული გადაცემიდან მათი ერთმანეთის მიმდევრობით გადაცემაზე გადასვლა და კადრში სტრიქონებისა სტრიქონში გამოსახულების ელემენტების რაოდენობის გაზრდა. მეორე მიმართულების რეალიზაცია დაკავშირებულია სატელევიზიო სიგნალების სპექტრის შეკუმშვის აუცილებლობასთან, რადგან შესაძლებელი იყოს მათი გადაცემა სიხშირეთა მისაღები ზოლის მქონე არხებით.

ჰიბრიდული სატელევიზიო სისტემების მაგალითებად გამოდგება მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვის იაპონური სისტემა **MUSE** და დასავლეთევროპული სისტემები, რომელთა ოჯახის საერთო დასახელებაა **MAC**. ყველა ამ სისტემის გადამცემ და მიმღებ ნაწილებში სიგნალები მუშავდება ციფრული საშუალებებით, ხოლო კავშირის არხში ისინი გადაიცემა ანალოგურ ფორმაში. სისტემებს **MUSE** და **HD-MAC** გააჩნია გამოსახულების ფორმატი 16:9, კადრში სტრიქონების რაოდენობაა 1125 და 1250, კადრების სიხშირე კი 30 და 25 ჰც შესაბამისად. ციფრული კოდირების საშუალებით ამ სისტემების სიგნალების სიხშირული ზოლი, რომელიც აღემატება 20 მგჰც-ს, იკუმშება დაახლოებით 8 მგჰც-დე. ეს გარემოება იძლევა სიხშირულად მოდულირებული სიგნალების გადაცემის საშუალებას კავშირის თანამგზავრული არხებით, რომელთა გატარების ზოლი 27 მჰც-ია. ამავე დროს, მიწისპირა სატელევიზიო მაუწყებლობის ფართოდ გავრცელებული ქსელი, რომელიც მოიცავს ულტრამოკლეტალღოვან გადამცემებს, საკაბელო ქსელს და სხვა ტექნიკას, არიძლევა ტელეხედვის აღნიშნული სისტემების სიგნალების გადაცემისა და მიღების საშუალებას, ვინაიდან ის გათვლილია 6...8 მგც-ის ტოლ სიხშირეთა ზოლის სიგანეზე ერთი არხისათვის.

ციფრული ტელეხედვის განვითარების მესამე ეტაპად შეიძლება მივიჩნიოთ სრულყოფილი ციფრული სატელევიზიო სისტემების შექმნა.

იაპონიასა და ევროპაში ზემოთ ნახსენები მაღალი გარჩევადობის **MUSE** და **HD-MAC** ონკურსი მაღალი გარჩევადობის ტელეხედვაზე ნაციონალური სტანდარტის მისაღებად. პირველ წლებში ამ კონკურსი წარდგენილი იყო სხვადასხვა ანალოგური სისტემა. სისტემა **MUSE** და სხვა სისტემები, რომლებიც გათვალისწინებული იყო მხოლოდ თანამგზავრული სისტემებით სიგნალების გადაცემისათვის, მალევე მოიხსნა განხილვიდან, რაც აიხსნებოდა იმ გარემოებით, რომ შეერთებულ შტატებში 1400 კომპანია ახორციელებს მიწისპირა სატელევიზიო მაუწყებლობას, რის გამოც ძალიანაა განვითარებული საკაბელო ხაზების ქსელი. მთელი ეს ინფრასტრუქტურა გათვლილია სატელევიზიო არხის სიხშირეთა ზოლის 6 მგჰც-იან სიგანეზე.

განიხილებოდა მაღალი გარჩევადობის ანალოგური სატელევიზიო სისტემების პროექტები, რომელთა საშუალებით ერთი სტანდარტული არხით გადაიცემა **NTSC**-ს სიგნალი, ხოლო მეორეთი – დამატებითი სიგნალი, რომელიც შესაბამის დეკოდერიან მიმღებში იძლევა დიდი რაოდენობის სტრიქონებისა და სტრიქონში ასევე დიდი რაოდენობის ელემენტების მქონე გამოსახულების მიღების საშუალებას. იმ დროს ვერავინ გაითვალისწინებდა იმას, რომ რამდენიმე წელიწადში შესაძლებელი გახდებოდა 6 ან 8 მგჰც ზოლის სიგანის სტანდარტული არხებით როგორც ჩვეულებრივი, ასევე მაღალი სიმკვეთრის სისტემის სრულად ციფრული ტელეხედვის სიგნალების გადაცემა.

ტელეხედვის სრულად ციფრული სისტემების შექმნაზე პირველი წინადადებები გამოჩნდა 1990 წელს. ამ პროექტებს საფუძვლად ედო მიღწევები გამოსახულებათა ეფექტური კოდირებისა და შეკუმშვის მეთოდებსა და ტექნიკაში. ამ სფეროში სამუშაოები ტარდებოდა არა მხოლოდ ციფრული სატელევიზიო სისტემების შექმნის, არამედ ვიდეოსატელეფონო, ვიდეოსაკონფერენციო, ციფრულ ლაზერულ კომპაქტ-დისკებზე ვიდეოპროგრამების ჩაწერის, კომპიუტერული გრაფიკის, მულტიმედიის ვიდეოსაშუალებებისა და სხვა სისტემების შექმნის მიზნით.

ყოველწლიურად იზრდებოდა ციფრული სატელევიზიო სისტემების პროექტების რაოდენობა და უმჯობესდებოდა მათი მახასიათებლები. 1993 წლის დასაწყისში განხილვიდან უკვე მოიხსნა უკანასკნელი ანალოგური სისტემები. 1993 წლის მაისში არსებითად მსგავსი პროექტების წარმომდგენი კომპანიებისა და ორგანიზაციების ოთხი ჯგუფი გაერთიანდა “**Grand Alliance**”-ში. ისინი შემდგომში წარმოადგენდნენ ერთიან პროექტს, რომელიც ამერიკის შეერთებულ შტატებში გახდა სრულად ციფრული სატელევიზიო სისტემის სტანდარტის საფუძველი. ახალი სისტემის შემქმნელთა შორისაა მასაჩუსეტის ტექნოლოგიური ინსტიტუტი, კორპორაციები **Zenith**, **AT&T**, **General Instruments**, **Philips**-ისა და **Thomson**-ის ამერიკული განყოფილებები და სხვა.

ჩატარებულ სამუშაოთა შედეგებმა გამოიყენება პოვა რამდენიმე სტანდარტში. უძრავი გამოსახულებების შეკუმშვისათვის ფართოდ გამოიყენება სტანდარტი **JPEG (Joint Picture Expert Group)**. მოძრავ გამოსახულებათა და ხმოვანი თანხლების სიგნალების შეკუმშვის მეთოდები აღწერილია სტანდარტებში **MPEG-1** და **MPEG-2 (MPEG_Motion Picture Expert Group)**. სტანდარტი **MPEG-1**, რომელიც საბოლოოდ დამტკიცდა 1993 წლის დეკემბერში, ძირითადად ორიენტირებულია კინოფილმებისა და ვიდეოპროგრამების ჩაწერაზე ლაზერულ კომპაქტურ დისკებზე, რომლის დროსაც შესაძლებელია გამოსახულებისა და ხმის აღწარმოება ჩვეულებრივ პერსონალურ კომპიუტერზე. სტანდარტი **MPEG-2**, რომელიც განკუთვნილია როგორც გამოსახულებათა განშლის ჩვეულებრივი სტანდარტის, ასევე მაღალი სიმკვეთრის (გარჩევადობის) სატელევიზიო მაუწყებლობის სისტემებისათვის, დამტკიცდა 1994 წლის ნოემბერში.

დღეისათვის ციფრული ტელეხედვის სისტემები, რომლებიც ემყარება სატელევიზიო სიგნალების შეკუმშვას **MPEG-2** სტანდარტით, ფართოდ ვრცელდება მრავალ ქვეყანაში. ამასთან ერთად, უპირველეს ყოვლისა, წყდება ჩვეულებრივი გარჩევადობის ტელეხედვის გადასაცემი პროგრამების რაოდენობის მნიშვნელოვანი გაზრდის ამოცანა, ვინაიდან ეს იძლევა მნიშვნელოვან კომერციულ ეფექტს.

ჯერ კიდევ 1993 წელს ევროპაში, როგორც კი ცხადი გახდა, რომ მომავალი აქვს ციფრულ სატელევიზიო სისტემებს, მიიღეს პროექტი **DVB (Digital Video**

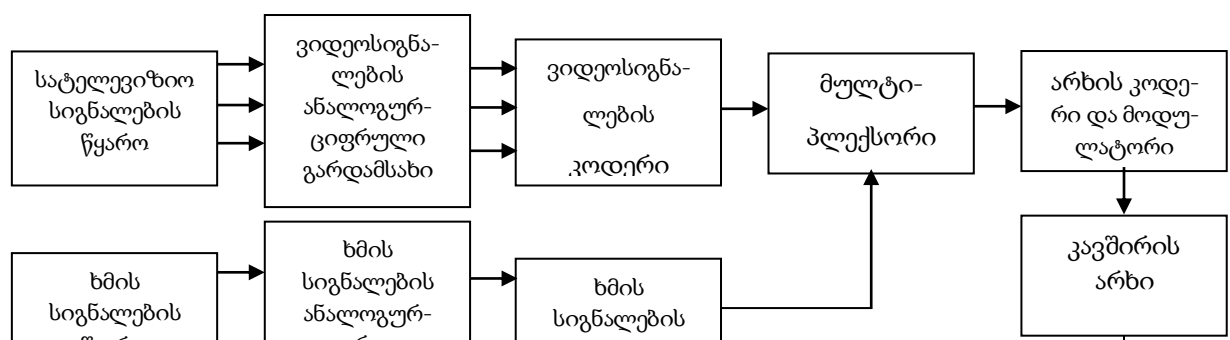
Broadcasting – ციფრული ვიდეომაუწყებლობა), რომლის დამუშავებაში მონაწილეობა მიიღო სხვადასხვა ქვეყნის 130-ზე მეტმა ფირმამ და სამეცნიერო-კვლევითმა ორგანიზაციამ. 1997 წელს დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრით ევროპულ ქვეყნებში გადაიცემოდა ციფრული ტელეხედვის 170 არხი, ხოლო 1998 წლის ბოლოსათვის ასეთი არხების რაოდენობამ გადააჭარბა 1000-ს. ამავდროულად ვრცელდება როგორც ციფრული სატელევიზიო მაუწყებლობა საკაბელო ხაზებით, ასევე ციფრული ვიდეოჩაწერა და ციფრული ვიდეოდისკები.

განვითარებულ ქვეყნებში 2010 წლისათვის უკვე შეწყდა ანალოგური სატელევიზიო მაუწყებლობა. საქართველოში კი 2015 წელს დაიწერა ციფრული სატელევიზიო სისტემა **DVB-T2**.

ახალი თაობის სატელევიზიო სისტემების მთავარი თავისებურებებია:

- ციფრული სატელევიზიო სიგნალის სიხშირული ზოლის არსებითი შევიწროვება, რაც მიიღწევა ეფექტური კოდირების, ანუ გამოსახულებებში სიჭარბის შემცირების, საშუალებით და რაც იძლევა ჩვეულებრივი სიმკვეთრის ტელეხედვის 4 და მეტი ან მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვის 1-2 პროგრამის გადაცემის საშუალებას სტანდარტული სატელევიზიო არხით, რომლის სიხშირეთა ზოლის სიგანეა 6...8 მჰც;
- სხვადასხვა სიმკვეთრის გამოსახულებათა (ვიდეოტელეფონი და შემცირებული სიმკვეთრის სხვა სისტემები, ჩვეულებრივი სიმკვეთრის ტელეხედვა, მაღალი სიმკვეთრის ტელეხედვა) შესაბამისი სატელევიზიო სიგნალების კოდირებისა და გადაცემისადმი ერთიანი მიდგომა;
- კავშირის ციფრული ქსელებით გადაცემისას ინფორმაციის სხვა სახეობებთან ინტეგრაცია;
- გადასაცემი სატელევიზიო პროგრამებისა და სხვა ინფორმაციის არასანქცირებული მიღებისაგან (მოპოვებისაგან) დაცვის უზრუნველყოფა, რაც იძლევა ფასიანი სატელევიზიო მაუწყებლობის სისტემის შექმნის საშუალებას.

1-ლ ნახაზზე ნაჩვენებია ციფრული სატელევიზიო სისტემის სტრუქტურული სქემა.



ნახ. 1. ციფრული სატელევიზიო სისტემის სტრუქტურული სქემა

მოკლედ განვიხილოთ 1-ლ ნახაზზე წარმოდგენილი სქემის ძირითადი ნაწილების დანიშნულება.

ანალოგური სატელევიზიო სიგნალების წყარო აფორმირებს სიკაშკაშის Y Y და ფერსხვაობით C_r და C_b სიგნალებს, რომლებიც მიეწოდებიან ანალოგურ-ციფრულ გარდამსახს, სადაც ისინი გარდაიქმნებიან ციფრულ ფორმაში. სისტემის შემდეგ ნაწილში, რომელსაც ვიდეოსიგნალების (გამოსახულების) კოდერი ეწოდება, კავშირის არხში ორობითი სიმბოლოების გადაცემის სიჩქარის შემცირების მიზნით ხორციელდება ვიდეოინფორმაციის ეფექტური კოდირება. ეს ოპერაცია უმთავრესია, ვინაიდან ეფექტური კოდირების გარეშე შეუძლებელია ციფრული ტელეხედვის სიგნალების გადაცემის უზრუნველყოფა კავშირის სტანდარტული არხებით.

ბგერითი თანხლების (ხმის) სიგნალები ასევე გარდაიქმნებიან ციფრულ ფორმაში. ბგერითი ინფორმაცია იკუმშება ხმის სიგნალების კოდერში. გამოსახულებისა და ხმის კოდირებული მონაცემები და სხვადასხვა დამატებითი ინფორმაცია მულტიპლექსორში ერთიანდებიან ერთიან ციფრულ ნაკადად. არხის კოდერში სრულდება გადასაცემი მონაცემების ხელახალი კოდირება, რომლის მიზანია ხელშეშლამდგრადობის ამაღლება. მიღებული ციფრული სიგნალი ამოდულირებს კავშირის არხში გამოყენებულ გადამტანს.

სისტემის მიმღებ ნაწილში ხორციელდება მიღებული მადალსიხშირული სიგნალის დემოდულაცია და საარხო კოდირების შედეგად მიღებული ციფრული სიგნალის დეკოდირება. ამის შემდეგ მონაცემთა ნაკადი დემულტიპლექსორში იყოფა გამოსახულების, ხმისა და დამატებითი ინფორმაციის ნაკადებად. განცალკევების შედეგად ვიდეოსიგნალების (გამოსახულების) დეკოდერის გამოსასვლელზე მიიღება სიკაშკაშისა და ფერსხვაობითი სიგნალები ციფრულ ფორმაში, რომლებიც ციფრულ-ანალოგურ გარდამსახში გარდაიქმნებიან ანალოგურ ფორმაში და მიეწოდებიან მონიტორს, რომლის ეკრანზეც ხდება გამოსახულების აღწარმოება. ხმის სიგნალების დეკოდერის გამოსასვლელზე მიიღება ბგერითი თანხლების (ხმის) სიგნალები, რომლებიც ასევე გარდაიქმნებიან ანალოგურ ფორმაში. ეს სიგნალები მიეწოდებიან ბგერითი სიხშირის მამლიერებლებს და შემდეგ დინამიკებს.

სატელევიზიო მაუწყებლობის სისტემებთან ერთად ციფრული ტელეხედვის მეთოდები და საშუალებები წარმოადგენენ ვიდეოკავშირის ისეთი თანამედროვე სისტემების საფუძველს, როგორცაა ვიდეოკონფერენცია და ვიდეოტელეფონი. ვიდეოკავშირის სისტემებში სიგნალების კოდირების მეთოდები აღწერილია სპეციალურ სტანდარტებში **H.261**, **H.262**, **H.263** და სხვა. 1998 წლის მიწურულს მიიღეს სტანდარტი **MPEG-4**, რომელიც ახორციელებს გამოსახულებისა და ხმის კოდირების მეთოდებს და რომლებიც უზრუნველყოფენ კავშირის ვიწროზოლოვანი არხებით ვიდეოინფორმაციისა და ხმის გადაცემას.

3. ზოგადი ცნობები ინფორმაციის გადაცემის შესახებ

ინფორმაცია, შეტყობინება და სიგნალი. პირველადი გარდამქმნელები.
შეტყობინებათა და სიგნალების სახეები

რაიმე პროცესის, მოვლენის, ფაქტის ან საგნის შესახებ ცნობებს ინფორმაცია ეწოდება. სიტყვა "ინფორმაცია" ლათინური წარმოშობისაა და ნიშნავს "განმარტებას", "გადმოცემას", "გაცნობას".

ინფორმაციის არსებობას მაშინ აქვს ფასი, თუ იგი ხელმისაწვდომია ადამიანებისათვის მისი სიშორის მიუხედავად. ამის გამო წარმოიქმნა ინფორმაციის დამახსოვრების, შენახვისა და მანძილზე გადაცემის აუცილებლობა.

ცნობილია, რომ ინფორმაციის 80...90 %-ს ადამიანი ლებულობს მხედველობის ორგანოს, ხოლო 10...20 %-ს – სმენის ორგანოს საშუალებით. მგრძნობიარობის დანარჩენი ორგანოები (შეხება, გემო, სუნი) ადამიანს ჯამში აძლევს 1...2% _მდე ინფორმაციას. ამრიგად, ადამიანის მხედველობისა და სმენის ორგანოები ნერვულ სისტემასთან ერთად წარმოადგენს ტვინში ინფორმაციის მიწოდების ძირითად არხებს. ტვინიდან ინფორმაციის გაცემა ასევე ხდება ნერვული სისტემისა და შემსრულებელი ორგანოებისაგან (პირი, კიდურები) შედგენილი არხებით. მათგან

ძირითადად წარმოადგენს ბგერითი არხი, რომელიც მთავრდება ხმის კვანძებით. აღნიშნული კვანძების გარკვეული რხევები გარემოს გადაეცემა ცალკეული ბგერების, სიტყვების და წინადადებების სახით და ადამიანთა სმენითი ორგანოს მიერ აღიქმება როგორც ლაპარაკი. ინფორმაციის გადაცემის ერთ-ერთი მთავარი არხია აგრეთვე ხელები, რომელთა საშუალებითაც ადამიანი წერს ან ხატავს და ამ ხერხით გასცემს ინფორმაციას.

ადამიანებისათვის ინფორმაციის გაცვლა ისეთივე ბუნებრივი მოთხოვნილებაა როგორც კვება, სუნთქვა, ძილი და ა.შ. ინფორმაციის გაცვლა კი ნიშნავს მის გადაცემასა და მიღებას, რაც ხორციელდება ინფორმაციის წყაროს, მისი გადაცემის საშუალებებისა და მიმღების არსებობის შემთხვევაში. გარდა აღნიშნულისა, დღეისათვის ინფორმაციის გადაცემა ან გაცვლა ხორციელდება სხვადასხვა მოწყობილობებისა და პროცესების დისტანციური მართვისა და კონტროლის სისტემებში, კომპიუტერულ ქსელებში და სხვა. თუმცა უმთავრესად ინფორმაციის ძირითად მიმღებსა და მომხმარებელს მაინც ადამიანი წარმოადგენს.

ბუნებრივია, რომ ადამიანთა ფიზიოლოგიური შესაძლებლობებით (მაგალითად, ხმის კვანძები ან მხედველობის ორგანო) არსებული ინფორმაციის გადაცემის საშუალებები ვერ წყვეტს დიდი მოცულობის ინფორმაციის შორ მანძილზე გადაცემის პრობლემას. მისი გადაწყვეტისათვის ადამიანმა შექმნა ელექტროკავშირის (ტელეკომუნიკაციის) ტექნიკური საშუალებები – სატელეკომუნიკაციო ტექნიკა, რომელსაც ფართოდ იყენებს როგორც ყოველდღიურ ცხოვრებაში, ასევე მეცნიერების, კულტურის და წარმოების განვითარებისა და საქმიანი ურთიერთობებისათვის.

ცნებასთან "ინფორმაცია" არსის მიხედვით ახლოსაა ცნება "შეტყობინება". შეტყობინება არის ინფორმაციის გამოსახვის (წარმოდგენის) ფორმა, რომელიც მოსახერხებელია მისი მანძილზე გადაცემისათვის. სხვანაირად რომ ვთქვათ, **შეტყობინება ეწოდება რაიმე მატერიალური ობიექტის ან ფიზიკური პროცესის შესახებ არსებული ცნობების ერთობლიობას.** ხედვის უნარი ადამიანს საშუალებას აძლევს აღიქვას ინფორმაცია უძრავი ან მოძრავი გამოსახულებების ფორმით, რომლებსაც ოპტიკური შეტყობინებები ეწოდება. სმენის უნარი კი იძლევა

ინფორმაციის აღქმის საშუალებას, რომელიც წარმოადგენს ჰაერის ნაწილაკების მექანიკურ რხევებს, რომლებსაც ბგერითი შეტყობინებები ეწოდება. ადამიანი აღიქვამს (ისმენს) რხევებს, რომელთა სიხშირე 16...16000 ჰც დიაპაზონშია (ერთი ჰერცი ტოლია წამში ერთი რხევისა).

ოპტიკური შეტყობინებების მაგალითებია: ტექსტი, წერილი, ფოტო, სატელევიზიო გამოსახულება და სხვა.

ბგერითი (ხმოვანი) შეტყობინებების მაგალითებია ლაპარაკი და მუსიკა. ლაპარაკისას ინფორმაცია ჩადებულია არა მარტო სიტყვის შინაარსში, არამედ მის ინტონაციაში, ტემბრში, რიტმში და ა.შ. მუსიკა ასევე შეიცავს ინფორმაციას, ვინაიდან მას შეუძლია შეცვალოს ადამიანის ემოციური მდგომარეობა.

დოკუმენტური შეტყობინებები დაიტანება და ინახება გარკვეულ გადამტანებზე (ხშირად ქაღალდზე).

გამოსახულებებისა და ბგერების ფორმებით წარმოდგენილი შეტყობინებები ბუნებრივია და ისინი მოსახერხებელია ადამიანთა შორის ურთიერთობისათვის. თუმცა თანამედროვე პირობებში საჭირო ხდება როგორც ადამიანთა ურთიერთობა ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებთან (კომპიუტერებთან), ასევე ურთიერთობა კომპიუტერებს შორის. კომპიუტერი კი, როგორც წესი, აღიქვამს ინფორმაციას ნიშნების (ასოების, ციფრების და სხვა სიმბოლოების) ფორმით, რომელთაგანაც დგება შეტყობინებები ინფორმაციის მატარებლებზე (პერფორირები, პერფორუკები, მაგნიტური ფირები, დისკეტები და სხვა) მათი დატანით. კომპიუტერებისათვის განკუთვნილ ან მათგან მიღებულ შეტყობინებებს მონაცემებს უწოდებენ. მაშასადამე, მონაცემები წარმოადგენენ შეტყობინებებს, რომლებიც განკუთვნილია კომპიუტერულ საინფორმაციო სისტემებში დამუშავებისათვის.

შეტყობინების ინფორმაციული პარამეტრი – ესაა პარამეტრი, რომლის ცვლილებაშია "ჩადებული" ინფორმაცია. ბგერითი შეტყობინებების ინფორმაციულ პარამეტრს წარმოადგენს ბგერითი წნევის მყისა მნიშვნელობა, ვინაიდან ყველა ბგერითი შეტყობინება წარმოადგენს იმ ბგერითი რხევების ერთობლიობას, რომლებიც ჰაერში ქმნის ბგერით წნევას. ეს უკანასკნელი კი ბგერის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებელია. ოპტიკური შეტყობინებების ინფორმაციული

პარამეტრები ახასიათებს გამოსახულებათა უბნების ოპტიკურ თვისებებს. უძრავი გამოსახულებების ინფორმაციული პარამეტრია არეკვლის კოეფიციენტი. გამოსახულების დიდი არეკვლის კოეფიციენტის მქონე უბნები, ანუ გამოსახულების ის უბნები, რომლებიც არეკლავს დაცემული სინათლის ნაკადის უმეტეს ნაწილს, ადამიანს ეჩვენება ნათელი, ხოლო მცირე არეკვლის კოეფიციენტის შესაბამისი უბნები – ბნელი. მოძრავი შავ-თეთრი გამოსახულებების (კერძოდ სატელევიზიო გამოსახულებების სიკაშკაშის შემდგენის) ინფორმაციული პარამეტრია ეკრანის უბნების ნათების სიკაშკაშე. დოკუმენტური (ტექსტური) შეტყობინებებისათვის და მონაცემებისათვის კი ინფორმაციის მატარებლებს წარმოადგენს ნიშნები, რომლებისგანაც შედგენილი შეტყობინება.

ინფორმაციული პარამეტრების ცვლილების ხასიათის მიხედვით არჩევენ უწყვეტ და დისკრეტულ შეტყობინებებს.

უწყვეტი ეწოდება შეტყობინებას, თუ მის ინფორმაციულ პარამეტრს გარკვეულ სასრულო ინტერვალში ცვლილების პროცესში შეუძლია მიიღოს ამ ინტერვალში არსებული უსასრულო რაოდენობის მნიშვნელობებიდან ნებისმიერი მნიშვნელობა. ხმოვანი შეტყობინება უწყვეტია, ვინაიდან ბგერის წნევას გარკვეულ ინტერვალში შეუძლია მიიღოს უსასრულო რაოდენობის მნიშვნელობებიდან ნებისმიერი მათგანი. ასევე უწყვეტია მრავალტონური გამოსახულებების შესაბამისი შეტყობინებაც, ვინაიდან არეკვლის კუთხესა და უბნების სიკაშკაშეს შეესაბამება მნიშვნელობათა უსასრულო სიმრავლე.

დისკრეტული ეწოდება შეტყობინებას, თუ მისი ინფორმაციული პარამეტრი გარკვეულ სასრულო ინტერვალში ცვლილების პროცესში ღებულობს მხოლოდ ამ ინტერვალში არსებული სასრულო რაოდენობის მნიშვნელობებიდან ნებისმიერ ერთ-ერთ მნიშვნელობას. დისკრეტული შეტყობინებებს წარმოადგენენ დოკუმენტური (ტექსტური) შეტყობინებები და მონაცემები, ვინაიდან ასეთი შეტყობინებები წარმოადგება ნიშნების გარკვეული სასრულო და ცნობილი ნაკრებისაგან (მაგალითად, ალფაბეტის ასოებისაგან).

როგორც ცნობილია, კავშირგაბმულობის ამოცანას წარმოადგენს შეტყობინებათა გადაცემა წყაროდან მიმღებამდე. იმ შემთხვევაში, როდესაც

შეტყობინება ჩაწერილია გარკვეულ მატარებელზე (მაგალითად, ქაღალდზე), მისი მიმღებამდე მიტანა შესაძლებელია ტრანსპორტის ამა თუ იმ სახეობით (საფოსტო კავშირგაბმულობა). ინფორმაციის გადაცემის ასეთი მეთოდი ყოველთვის მოსახერხებელი არაა მისი დაბალი სიჩქარისა და, აქედან გამომდინარე, არაოპერატიულობის გამო. ბუნებრივია, რომ ბგერითი შეტყობინების გადაცემაც შორ მანძილზე შეუძლებელია ღია სივრცეში მისი ენერგიის სწრაფად მიღების გამო. გარდა ამისა, საკმაოდ მცირეა მისი გავრცელების სიჩქარე (დაახლოებით 333 მ/წმ). ასევე შეუძლებელია ოპტიკური შეტყობინებების შორ მანძილზე გადაცემაც დამხმარე საშუალებების გამოყენების გარეშე. ამიტომ ნაპოვნია და ფართოდ გამოიყენება შეტყობინებათა სწრაფი გადამტანები (სიგნალები), რომლებიც გამოიყენებს ფიზიკურ პროცესებს და რომლებსაც გარკვეული სიჩქარით შეუძლია გადალახოს მანძილი (სივრცე) წყაროსა და მიმღებს შორის. ასეთ პროცესებს კი წარმოადგენს ელექტრომაგნიტური რხევები (ელექტრული სიგნალები), რომლებსაც შეუძლია გავრცელება როგორც გამტარიანი, ასევე უგამტარო (ღია სივრცე) ხაზებით სინათლის სიჩქარით (300000 კმ/წმ). მაშასადამე, დამხმარე ელექტრული ფიზიკური პროცესების გამოყენებით უზრუნველყოფილი ხდება გარკვეული ინფორმაციის მატარებელ შეტყობინებათა უსწრაფესი გადაცემა. როგორც აღნიშნული მსჯელობიდან ჩანს, აუცილებელი ხდება არაელექტრული ბუნების შეტყობინებების (აკუსტიკური რხევები, სინათლის ნაკადი) გარდასახვა შესაბამის ელექტრულ სიგნალად.

ფიზიკურ პროცესს, რომელიც ასახავს გადასაცემ შეტყობინებას, სიგნალი ეწოდება. გადასაცემ სიგნალში შეტყობინების ასახვა უზრუნველყოფილი ხდება პროცესისათვის დამახასიათებელი რომელიმე ფიზიკური სიდიდის (სიგნალის ინფორმაციული პარამეტრის) ცვლილებით. მაშასადამე, შეტყობინებათა გადამტანებად, როგორც წესი, გამოიყენება ელექტრული ენერგია, ანუ ინფორმაციის გადაცემა შორ მანძილზე ხდება ელექტრული სიგნალების საშუალებით. ამიტომ კავშირგაბმულობის შესაბამის სახეობას ელექტრული კავშირი (ტელეკომუნიკაცია) ეწოდება.

ნებისმიერი შეტყობინების გადაცემა შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც დროში განშლილი პროცესი. გამოსახულებათა შესაბამისი შეტყობინებები ამავე დროს სივრცულიცაა, თუმცა მათი მომხმარებლისათვის მიწოდება დროში განშლილად ხორციელდება (კინოში უძრავი გამოსახულებები, ანუ კადრები ეკრანზე აღიბეჭდება წამში 25 კადრის სიჩქარით (გამოსახულების კადრული განშლა), ხოლო ტელევიზიაში, გარდა კადრული განშლისა, გამოიყენება აგრეთვე გამოსახულების სტრიქონული განშლაც), რაც შესაძლებელს ხდის მათ გადაცემას შორ მანძილზე. ამიტომ სიგნალის განმარტება შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგი სახითაც: ფიზიკურ რეალობას, რომლის ცვლილებაც დროსა და სივრცეში ასახავს გადასაცემ შეტყობინებას, სიგნალი ეწოდება. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ნებისმიერი სიგნალი გრაფიკულად შეიძლება წარმოვადგინოთ ე.წ. დროითი დიაგრამის სახით, რომელიც გვიჩვენებს ელექტრული სიგნალის რომელიმე პარამეტრის (მაზვა, დენი, სიმძლავრე) ცვლილებას დროში.

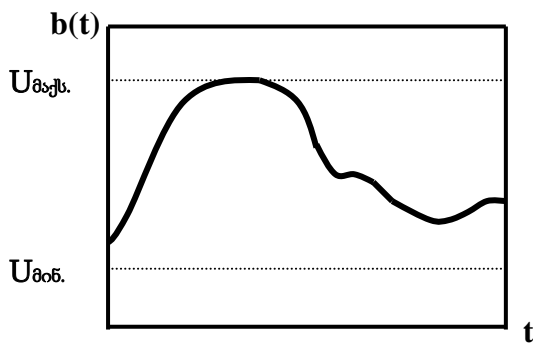
ელექტრული სიგნალები, ისევე როგორც შეტყობინებები, შეიძლება იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული. დისკრეტული სიგნალების კერძო შემთხვევას წარმოადგენს ციფრული სიგნალები. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ ვინაიდან სიგნალები დროსა და სივრცეში გავრცობილი (განშლილი) პროცესებია, ამიტომ ისინი შეიძლება იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული როგორც დროში, ასევე მისი პარამეტრების მნიშვნელობათა მიხედვით. თუ სიგნალი უწყვეტია როგორც დროში ასევე მნიშვნელობათა მიხედვით (სურ. 2.1), მაშინ ასეთი სიგნალი უწყვეტს ანუ ანალოგურს წარმოადგენს (მაგალითად, სიგნალი, რომელიც ასახავს გარემოს ტემპერატურის ცვლილებას დღეღამის განმავლობაში). თუ სიგნალი დისკრეტულია დროში, ხოლო უწყვეტია მნიშვნელობათა მიხედვით, მაშინ საქმე გვაქვს მხოლოდ დროში დისკრეტულ სიგნალთან (მაგალითად, სიგნალი, რომელიც ასახავს გარემოს ტემპერატურის მონაცემებს დისკრეტიზაციის T პერიოდით დაშორებულ დროის ფიქსირებულ მომენტებში, თუმცა ამ დროს ტემპერატურის მნიშვნელობა სასრულო ინტერვალში დროის მოცემულ მომენტში შეიძლება იყოს უსასრულო რაოდენობის მნიშვნელობებიდან ერთ-ერთი). ასეთი სიგნალის დროითი დიაგრამა შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც 2.2 სურათზე წარმოდგენილი გრაფიკის, ასევე 2.3

სურათზე ნაჩვენები პერიოდული იმპულსების მიმდევრობის სახით (პერიოდია T_{Φ}). იმ შემთხვევაში, როდესაც სიგნალი დროში უწყვეტია, ხოლო მნიშვნელობათა მიხედვით დისკრეტული (სურ. 2.4), მაშინ ასეთ სიგნალს დაკვანტულს უწოდებენ (მაგალითად, სიგნალი, რომელიც დროში უწყვეტად ასახავს დღელამის განმავლობაში გარემოს ტემპერატურის ცვლილებას, როდესაც ტემპერატურის მნიშვნელობები მრგვალდება დაკვანტვის Δ ბიჯით დაშორებულ მნიშვნელობებამდე). შესაძლოა, რომ სიგნალი დისკრეტული იყოს როგორც დროში, ასევე მნიშვნელობათა მიხედვით. ასეთი სიგნალი (სურ. 2.5) წმინდად დისკრეტულს წარმოადგენს და იგი ციფრული სიგნალების ჯგუფს შეიძლება მივაკუთვნოთ. ციფრული სიგნალის ერთ-ერთ ნიმუშს წარმოადგენს იმპულსურ-კოდურად მოდულირებული (იკმ) სიგნალი (სურ. 1.6), რომელიც ორდონიანია და მისი ზედა და ქვედა დონეები აღნიშნულია ციფრებით (სიმბოლოებით) 1 და 0. სიმბოლოების გამეორების პერიოდს ტაქტურ პერიოდს (T_{Φ}) უწოდებენ. რეალურ სისტემებში მეზობელი სიმბოლოები ერთმანეთისაგან დაშორებულია გარკვეული T_{Φ} ინტერვალით (პაუზით), როგორც ეს 2.6 სურათზეა ნაჩვენები.

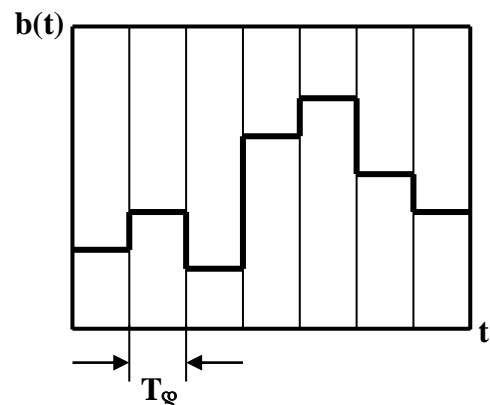
როგორც ზემოთ აღნიშნულიდან ჩანს, შეტყობინებათა შორ მანძილზე გადასაცემად აუცილებელია მათი გარდასახვა ელექტრულ სიგნალად, რასაც ახორციელებს გადამცემის პირველადი გარდამსახი (ბგერითი შეტყობინებებისათვის – მიკროფონი, გამოსახულებებისათვის – სატელევიზიო ან ვიდეოკამერა, სატელეგრაფო შეტყობინებისას – ტელეგრაფის აპარატის გადამცემი ნაწილი, ფოტოტელეგრაფული კავშირისას – შესაბამისი აპარატის ელექტროოპტიკური ანალიზის მოწყობილობა და სხვა). გადამცემის პირველადი გარდამსახის გამოსასვლელზე ფორმირებულ სიგნალს პირველადი სიგნალი ეწოდება. ბუნებრივია, რომ მიმღებ მხარეს გათვალისწინებული უნდა ელექტრული სიგნალის გარდასახვა შეტყობინებაში, რაც ხორციელდება მიმღების პირველადი გარდამსახით (ტელეფონი, ტელევიზორის კინესკოპი, სატელეგრაფო აპარატის მიმღები ნაწილი და სხვა).

პირველადი ანალოგური სიგნალები შეიძლება გადაიცეს ანალოგური სახით, თუმცა დღეისათვის ფართო გავრცელება პოვა გადაცემის ციფრულმა მეთოდებმა

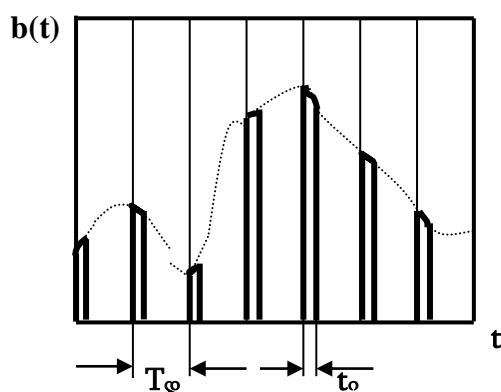
(სიგნალების ციფრული სახით გადაცემის მეთოდებმა) მათი მთელი რიგი უპირატესობების გამო ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით. ეს გარემოება კი აუცილებელს ხდის პირველადი ანალოგური სიგნალების დისკრეტიზაციას, დაკვანტვას და კოდირებას, ანუ შესაბამისი ციფრული სიგნალის ფორმირებას. ციფრული სიგნალის ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ სახეს იკმ სიგნალი წარმოადგენს (სურ 2.6).



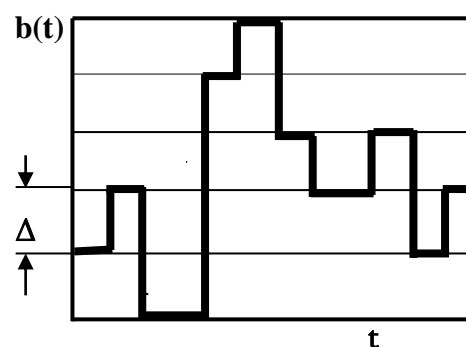
სურ. 2.1. ანალოგური სიგნალის დროითი დიაგრამა



სურ. 2.2. დროში დისკრეტული სიგნალის დროითი დიაგრამა

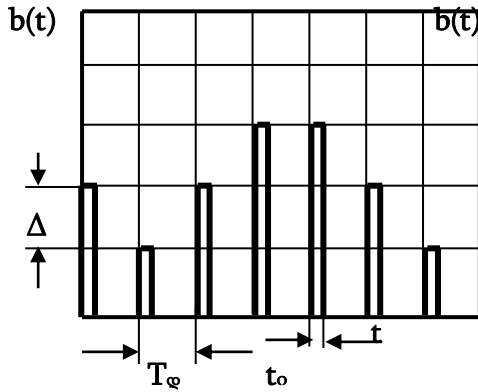


სურ. 2.3. დროში დისკრეტული სიგნალის დროითი დიაგრამა იმპულსების მიმდევრობის

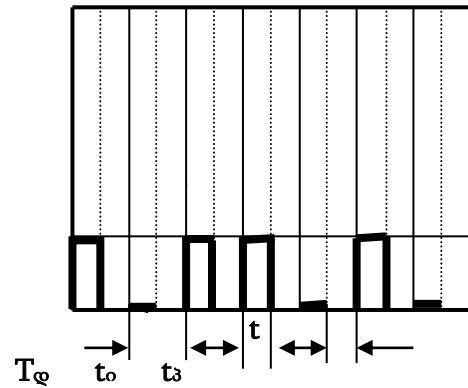


სურ. 2.4. დაკვანტული სიგნალის დროითი დიაგრამა

სახით



სურ. 2.5. დროში დისკრეტული და დაკვანტული სიგნალის დროითი დიაგრამა



სურ. 2.6. ციფრული იკმ სიგნალის დროითი დიაგრამა

ამა თუ იმ ქვეყანაში ტელეკომუნიკაციის განვითარების დონის შესაფასებლად იყენებენ კრიტერიუმს, რომელსაც სატელეფონო სიმკვრივე ეწოდება.

სატელეფონო სიმკვრივე ეწოდება მაჩვენებელს, რომელიც რიცხობრივად 100 სულ მოსახლეზე არსებული ტელეფონების რაოდენობის ტოლია.

მე-3 ცხრილში წარმოდგენილია 2002 წლის მონაცემები რიგ ქვეყნებში სტაციონალური ტელეფონების რაოდენობისა და სატელეფონო სიმკვრივის შესახებ.

ცხრილი 3

ქვეყანა	სტაციონალური ტელეფონების რაოდენობა, მლნ	სატელეფონო სიმკვრივე	ქვეყანა	სტაციონალური ტელეფონების რაოდენობა, მლნ	სატელეფონო სიმკვრივე
მსოფლიო აშშ	913	15,2	ინგლისი	34	57
ჩინეთი	194	71	რუსეთი	30	21
იაპონია	107	8,4	იტალია	26	45
გერმანია	70	35,2	ინდოეთი	25	2,5
საფრანგეთი	49	59,3	ბრაზილია	25	15,2
	35	58,5	საქართველო	0,5	12,5

ბოლო წლებში, როდესაც მკვეთრად გაიზარდა მობილური ტელეფონების რაოდენობა, ცალ-ცალკე აფასებენ სტაციონალური და მობილური ტელეფონების, სატელევიზიო მაუწყებლობის, კომპიუტერული და ინტერნეტით სარგებლობის სიმკვრივეებს.

ამჟამად ტელეკომუნიკაცია განყენებულად არ განიხილება. იგი განიხილება როგორც ინფოკომუნიკაციის ტექნიკური ბაზა. მთელს მსოფლიოში ინერგება ეგრეთ წოდებული სატელეფონო პერსონალიზაციის პრინციპი, როდესაც პლანეტის ნებისმიერ ადამიანს მინიჭებული ექნება ერთიანი საერთაშორისო სატელეფონო ნომერი და ადამიანის გადაადგილებისას ამ ნომრის გადატანა მოხდება პლანეტის ნებისმიერ წერტილში. მობილური ტელეკომუნიკაციის შემთხვევაში ეს ხორციელდება ეგრეთ წოდებული როუმინგის საშუალებით, ხოლო სტაციონალური ტელეფონების აბონენტებისათვის – გამოძახების გადამისამართებით.

ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სახეობათა პირობითი კლასიფიკაცია წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე. გადასაცემი შეტყობინებების სახეობათა მიხედვით ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობა შეიძლება დაიყოს ხმოვანი და ოპტიკური შეტყობინებებად. შეტყობინებათა დანიშნულების მიხედვით ტელეკომუნიკაციის სახეობები შეიძლება დაიყოს აგრეთვე ინდივიდუალური და მასობრივი ხასიათის სახეობებად.

რეალური დრო (real time)	გადავადებული მიწოდება (non-real time)
<ul style="list-style-type: none"> v ტელეკონფერენცია რეალურ დროში (chat) 	<ul style="list-style-type: none"> v ელექტრონული დოკუმენტები: ელექტრონული ფოსტა (e-mail), პერსონალური რადიოგამოძახება (paging), ტელეკონფერენციები (news), პოზიციონირება (GPS) v დოკუმენტები: ფაქსი, დეპეშები
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ვიდეოკონფერენციები (ვიდეოტელეფონია) <input type="checkbox"/> ვიდეოთვალთვალი 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ვიდეო მოთხოვნით (Video on Demand)
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ტელეფონია <input type="checkbox"/> აუდიოტელეკონფერენციები 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ხმოვანი ფოსტა (voice-mail)
<ul style="list-style-type: none"> ! ხმოვანი მაუწყებლობა (პირდაპირი რეპორტაჟები) ! სატელევიზიო მაუწყებლობა (პირდაპირი რეპორტაჟები) 	<ul style="list-style-type: none"> ! ხმოვანი მაუწყებლობა (ჩაწერილი პროგრამები) ! ავტომატური ინფორმატორები ! სატელევიზიო მაუწყებლობა (ჩაწერილი პროგრამები)
	<ul style="list-style-type: none"> # გაზეთების გადაცემა # ტელეტექსტი
<p>ნახ. 3. ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სახეობები</p>	

ნახ. 3-ზე ნაჩვენები პირობითი აღნიშვნები შეესაბამება შეტყობინებების შემდეგ სახეობებს: !, # – მასობრივი ხასიათის სეტყობინებები; □, v – ინდივიდუალური ხასიათის შეტყობინებები; !, □ – ხმოვანი შეტყობინებები და მოძრავი გამოსახულებები; #, v – უძრავი გამოსახულებები.

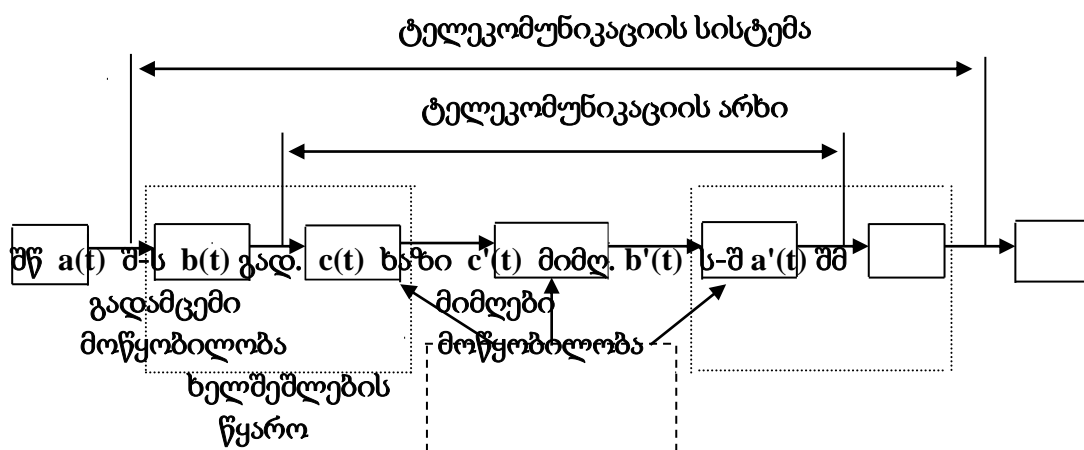
შეტყობინებათა მიწოდების დროითი რეჟიმისაგან დამოკიდებულებით ტელეკომუნიკაციის სახეები დაიყოფა ქვესახეობებად, რომელთა დანიშნულებაა: 1. რეალურ დროში მუშაობა; 2. შეტყობინებათა მიწოდება გადავადებით (დაყოვნებით). ნახ. 3-ზე წარმოდგენილი კლასიფიკაცია საკმაოდ პირობითია, რადგანაც უკანასკნელ პერიოდში შეიმჩნევა ტელეკომუნიკაციის სახეობების გაერთიანების ტენდენცია ერთიან ინტეგრალურ სისტემაში შეტყობინებათა ყველა სახეობის გადაცემისა და კომუტაციის ციფრული მეთოდების საფუძველზე.

4. ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა. გადაცემის დონეები (ტელეკომუნიკაციაში გამოყენებული სამუშაო ერთეულები). დონეთა დიაგრამა

როგორც ცნობილია, ტელეკომუნიკაციაში შეტყობინებების გადამტანს წარმოადგენს ელექტრული სიგნალები, რომელთაც შეუძლია გავრცელდეს გარკვეულ არეში. ამის გამო გადამცემში შეტყობინება გარდაისახება ელექტრულ სიგნალად, ხოლო მიმღებში – პირიქით. ამ ოპერაციების შესასრულებლად საჭიროა შესაბამისი ტექნიკური მოწყობილობები, რომლებიც სიგნალების გავრცელების არესთან ერთად ქმნის ტელეკომუნიკაციის სისტემას.

ტელეკომუნიკაციის სისტემა ეწოდება იმ ტექნიკური საშუალებებისა და გავრცელების არის (მიმმართველი გარემოს) ერთობლიობას, რომელიც უზრუნველყოფს შეტყობინებათა გადაცემას წყაროდან მიმღებამდე.

ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე.



ნახ. 4. ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა

შეტყობინების წყაროს (შწ) გამოსასვლელზე არსებული შეტყობინება შეტყობინება-სიგნალი (შ-ს) გარდამქმნელის საშუალებით გარდაისახება პირველად

ელექტრულ სიგნალად, რომელიც ყოველთვის მოსახერხებელი არაა (ზოგჯერ კი შეუძლებელიცაა) კავშირის ხაზით უშუალო გადაცემისათვის. ამიტომ პირველადი სიგნალები გადამცემის (გად.) საშუალებით გარდაისახება მეორეულ (საარხო) სიგნალებად, რომელთა მახასიათებლები კარგადაა შეთანხმებული კავშირის ხაზის (მიმმართველი გარემოს) მახასიათებლებთან.

ტელეკომუნიკაციის (კავშირის) არხი ეწოდება ტექნიკური მოწყობილობების (გარდამქმნელების) და გავრცელების არის (მიმმართველი გარემოს, ანუ კავშირის ხაზის) ერთობლიობას, რომელიც უზრუნველყოფს გარკვეულ მანძილზე ერთი სიგნალის გადაცემას.

ტელეკომუნიკაციის არხებსა და სისტემებს, რომლებიც გამოიყენებენ გავრცელების ხელოვნურ არეს (მეტალის გამტარები, ოპტიკური ბოჭკო) სადენიანს უწოდებენ, ხოლო კავშირის არხებსა და სისტემებს, რომლებშიც სიგნალები გადაიცემა ღია სივრცეში – რადიოარხებსა და რადიოსისტემებს უწოდებენ.

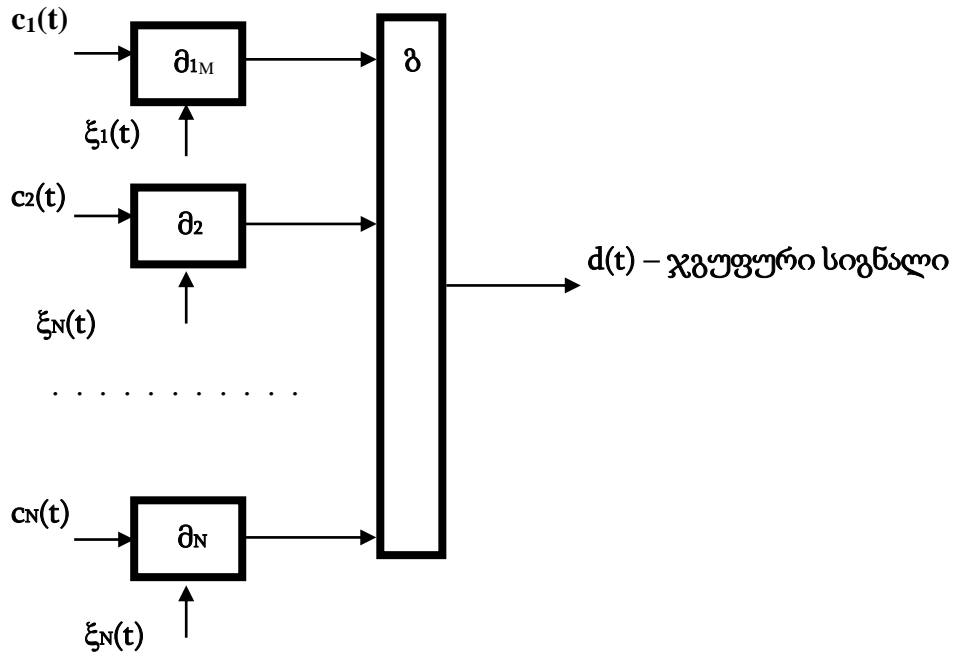
სადენიანი ხაზით ორგანიზებულ კავშირის არხს სხვანაირად კავშირის წრედს უწოდებენ, ხოლო უსადენოთი ორგანიზებულს (რადიოარხი) – კავშირის ლულას.

მაშასადამე, კავშირის წრედი ეწოდება კაბელში მოთავსებული (საკაბელო წრედი) ან საყრდენებზე დაკიდებული (საჰაერო წრედი) სადენების ერთობლიობას, რომელიც გამოიყენება ერთი ელექტრული სიგნალის გადასაცემად. არსებობს 2-, 3- და 4-სადენიანი წრედები.

გადამცემაში საარხო $c(t)$ სიგნალის ფორმირება პრაქტიკულად ხორციელდება ანალოგური, დისკრეტული, იმპულსური ან ციფრული მოდულაციების ამა თუ იმ სახეობის გამოყენებით. ნებისმიერ შემთხვევაში მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი ახორციელებს ეგრეთ წოდებული გადამტანი (სამოდულირებელი) $\xi(t)$ სიგნალის რომელიმე პარამეტრის მოდულაციას (ცვლილებას), რის შედეგადაც მიიღება საარხო $c(t)$ სიგნალი.

აღსანიშნავია, რომ ტელეკომუნიკაციის მრავალარხიან (კერძოდ, N -არხიან) სისტემებში საარხო $c_j(t)$ ($j=1, 2, \dots, N$) გაერთიანების ამა თუ იმ მეთოდის (სიხშირული, ფაზური, დროითი, კომბინაციური, სამისამართო) საფუძველზე

ფორმირდება სახაზო სიგნალი (ჯგუფური სიგნალი) $d(t)$. შესაბამისად სისტემის მიმღებ ნაწილში ხორციელდება სახაზო $d'(t)$ სიგნალიდან საარხო $c'(t)$ სიგნალების გამოყოფა (სიგნალების განცალკევება), რისთვისაც გამოიყენება იგივე მეთოდი, რომელიც გადამცემში იყო გამოყენებული საარხო $c_j(t)$ სიგნალების სახაზო (ჯგუფურ) $d(t)$ სიგნალად გაერთიანების მიზნით.



ნახ. 5. მრავალარხიანი ჯგუფური სიგნალის ფორმირება

კავშირის ხაზის გამოსასვლელიდან სიგნალები მიეწოდება მიმღების (მიმღ.) შესასვლელს, ხოლო შემდეგ სიგნალი-შეტყობინება (ს-შ) გარდამქმნელის გავლის შედეგად აღდგენილი შეტყობინება – შეტყობინების მიმღებს (შმ). შეტყობინებათა წყაროს და მიმღებს ჩვეულებრივ ადამიანები წარმოადგენენ, თუმცა მათი როლი შეიძლება შეასრულონ მიმწოდებმა, ავტომატურმა მოწყობილობებმა და კომპიუტერებმა.

რეალურ პირობებში სიგნალების გადაცემის რთული და მრავალეტაპიანი პროცესი მიმდინარეობს მრავალი ხელშეშლის ზემოქმედების პირობებში, რომლებიც ამახინჯებს სიგნალებს და შედეგად აუარესებს კავშირის ხარისხს. ხელშეშლად მიიჩნევენ სასარგებლო (ინფორმაციულ) სიგნალზე ნებისმიერ ზემოქმედებას, რომელიც ცვლის სიგნალის ინფორმაციულ პარამეტრს. ტელეკომუნიკაციის სისტემებში სიგნალებზე მოქმედი ხელშეშლები სხვადასხვაგვარია წარმოშობისა და ფიზიკური თვისებების თვალსაზრისით.

ხელშეშლების წყარო შეიძლება იყოს როგორც სისტემის შიგნით (სხვადასხვა ხმაურების სახით), ასევე მის გარეთაც (ატმოსფერული პირობები, სხვადასხვა ელექტროტექნიკური მოწყობილობებით გამოწვეული ხელშეშლები). ხელშეშლების ყველა წყარო ნახ. 4-ზე პირობითად გაერთიანებულია.

ამრიგად, სისტემის მიმღებს მიეწოდება სიგნალი, რომელიც შეიძლება ხელშეშლებით იყოს დამახინჯებული. შეტყობინება კი, რომელსაც ლეზულობს მიმღები, რაც შეიძლება სრულად უნდა შეესაბამებოდეს წყაროს მიერ გაცემულ შეტყობინებას. ამ პირობის შესრულება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა ტელეკომუნიკაციის სისტემის ყველა ელემენტს გააჩნია მაღალი ხელშეშლამდგრადობა.

ტელეკომუნიკაციის სისტემებში გამოიყენება შეტყობინების სიგნალად (და პირიქით) გარდამქმნელები, რომლებიც სხვადასხვა სახისაა აგებისა და მუშაობის პრინციპის თვალსაზრისით, რასაც განსაზღვრავს გადასაცემი შეტყობინების სახე და ხასიათი. ოპტიკური შეტყობინებების გადასაცემ სისტემებში ასეთ მოწყობილობებს წარმოადგენს ფოტოელექტრული გარდამქმნელები და სხვა მარეგისტრირებელი მოწყობილობები. ხმოვანი (ბგერითი) შეტყობინებების გადაცემის სისტემებში გამოიყენება შესაბამისად აკუსტიკურ-ელექტრული და ელექტროაკუსტიკური გარდამქმნელები.

გარდამქმნელი მოწყობილობები შეიძლება ასრულებდეს როგორც პირდაპირ (უშუალო), ასევე პირობით გარდაქმნებს.

პირდაპირი გარდაქმნისას შეტყობინებისა და სიგნალის ინფორმაციული პარამეტრები იცვლება ერთი და იმავე კანონით. მაგალითად, აკუსტიკურ-ელექტრული გარდამქმნელის (მიკროფონის) გამოსასვლელზე ელექტრული სიგნალის ცვლილება სრულად ასახავს მის შესასვლელზე ბგერითი წნევის ცვლილებას.

პირობითი გარდაქმნისას შეტყობინებისა და სიგნალის ინფორმაციულ პარამეტრებს შორის კავშირი პირობითია. ამ შემთხვევაში გამოიყენება კოდები, რომლის დროსაც შეტყობინების ყოველი ნიშანიგადამცემში გარდაიქმნება ელექტრული იმპულსების გარკვეულ კომბინაციად, ხოლო მიმღებში აღნიშნული

კომბინაციით განისაზღვრება შესაბამისი ნიშანი. K_3 კოდები გამოიყენება დისკრეტული შეტყობინებების სიგნალად გარდაქმნისათვის.

ტელეკომუნიკაციის ტექნიკაში ელექტრული სიგნალების პარამეტრების (სიმძლავრე, ძაბვა და დენი) გაზომვის აბსოლუტურ ერთეულებთან (მაგალითად, ვატი, ვოლტი, ამპერი) ერთად ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ფარდობითი (ლოგარითმული) ერთეულები მათი გამოყენების მოხერხებულობის გამო. ასეთი ერთეულებით განსაზღვრულ სიდიდეს სიგნალის დონეს ან გადაცემის დონეს უწოდებენ.

არხის ან ტრაქტის რომელიღაც i -რ წერტილში სიგნალის გადაცემის ფარდობითი დონე არხის (ტრაქტის) სხვა j -რი წერტილის მიმართ ეწოდება i -რ წერტილში სიგნალის ენერგეტიკული S_i პარამეტრის (სიმძლავრის W_i , ძაბვის U_i და დენის I_i) მნიშვნელობის j -რ წერტილში ამავე პარამეტრის S_j მნიშვნელობასთან ფარდობის ლოგარითმულ გარდასახვას. გარდასახვის წესი განისაზღვრება ფორმულით

$$P = m \log_a (S_i/S_j),$$

სადაც m – მასშტაბური კოეფიციენტი, ხოლო a – ლოგარითმის ფუძე.

იმ შემთხვევაში, როდესაც არხის (ტრაქტის) რომელიღაც i -რ წერტილში ში პარამეტრის შეფარდება ხდება ეტალონურ S_0 სიდიდესთან, მაშინ აღნიშნული გამოსახულებით განსაზღვრულ დონეს აბსოლუტური დონე ეწოდება.

თუ ლოგარითმის ფუძეა 10, მაშინ სიგნალის დონის განზომილებაა დეციბელი (დბ). ამ შემთხვევაში სიმძლავრის, ძაბვისა და დენის ფარდობითი დონეები დეციბელებში არხის (ტრაქტის) i -რ წერტილში j -რი წერტილის მიმართ განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$P_{wij} = 10Lg(W_i/W_j); P_{Uij} = 20Lg(U_i/U_j); P_{Iij} = 20Lg(I_i/I_j),$$

ხოლო აბსოლუტური დონეები:

$$P_{wio} = 10Lg(W_i/W_0); P_{Uio} = 20Lg(U_i/U_0); P_{Iio} = 20Lg(I_i/I_0),$$

სადაც W_0 , U_0 და I_0 ეტალონური სიმძლავრე, ძაბვა და დენია ($W_0=1$ მვტ, $U_0=775$ მვ, $I_0=1,29$ მა). აღნიშნულ ეტალონურ სიდიდეებს შორის შემდეგი თანაფარდობაა:

$$U_0 = P_0/I_0, U_0 = I_0 Z_0, \text{ სადაც } Z_0 = 600 \text{ ომი.}$$

გარდა დეციბელებისა (დბ), გადაცემის დონეები შეიძლება გაიზომოს ნეპერებში (ნპ), რომელიც დღეს პრაქტიკულად არ გამოიყენება. ამ შემთხვევაში ლოგარითმის ფუძეა ნეპერის რიცხვი (გამოიყენება ნატურალური ლოგარითმი). შესაბამისად, სიგნალის სიმძლავრის, ძაბვისა და დენის ფარდობითი და აბსოლუტური დონეები ნეპერებში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$P_{wij}=0,5\text{Ln}(W_i/W_j); P_{Uij}=\text{Ln}(U_i/U_j); P_{Iij}=\text{Ln}(I_i/I_j),$$

$$P_{wio}=0,5\text{Ln}(W_i/W_o); P_{Uio}=\text{Ln}(U_i/U_o); P_{Iio}=\text{Ln}(I_i/I_o).$$

ნეპერსა და დეციბელს შორის შემდეგი დამოკიდებულებებია:

$$1 \text{ ნპ}=8,686 \text{ დბ}; 1 \text{ დბ}=0,115 \text{ ნპ}.$$

სხვადასხვა პარამეტრების ფარდობით ან აბსოლუტურ დონეებს შორის შეიძლება დამყარებულ იქნას ურთიერთკავშირი. კერძოდ, თუ ვისარგებლებთ, მაგალითად, სიმძლავრის ფარდობითი დონის დეციბელებში განმსაზღვრელი გამოსახულებით, მაშინ მისი შემდეგნაირი გარდაქმნით მივიღებთ დამოკიდებულებას სიმძლავრისა და დენის ფარდობით დონეებს შორის:

$$P_{wij}=10\text{Lg}(P_i/P_j)=10\text{Lg}(I_i Z_i / I_j Z_j)=10\text{Lg}(I_i/I_j)+10\text{Lg}(Z_i/Z_j)=P_{Iij}+10\text{Lg}(Z_i/Z_j).$$

ანალოგიურად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ:

$$P_{wij}=P_{Uij}-10\text{Lg}(Z_i/Z_j); P_{Uij}=P_{Iij}+20\text{Lg}(Z_i/Z_j);$$

$$P_{wio}=P_{Iio}+10\text{Lg}(Z_i/Z_o); P_{wio}=P_{Uio}-10\text{Lg}(Z_i/Z_o); P_{Uio}=P_{Iio}+20\text{Lg}(Z_i/Z_o).$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც ფარდობითი დონეების განსაზღვრისას $Z_i=Z_j$, ხოლო აბსოლუტური დონეების განსაზღვრისას $Z_i=Z_o$ ($Z_o=600$ ომი), მაშინ: E

$$P_{wij}=P_{Uij}=P_{Iij} \text{ და } P_{wio}=P_{Uio}=P_{Iio}.$$

შეიძლება დამყარდეს აგრეთვე დამოკიდებულებები პარამეტრების ფარდობით და აბსოლუტურ დონეებს შორის. კერძოდ:

$$P_{wij}=10\text{Lg}(W_i/W_j)=10\text{Lg}(W_i/W_o/W_j/W_o)=10\text{Lg}(W_i/W_o)-10\text{Lg}(W_j/W_o)=P_{wio}-P_{wjo}.$$

ანალოგიურად:

$$P_{Uij}=P_{Uio}-P_{Ujo} \text{ და } P_{Iij}=P_{Iio}-P_{Ijo}.$$

მამასადამე, არხის ან ტრაქტის რომელიღაც i -რ წერტილში პარამეტრებს ფარდობითი დონე j -რი წერტილის მიმართ განისაზღვრება როგორც აღნიშნულ წერტილებში გაზომილი აბსოლუტური დონეების სხვაობა, რაც პრაქტიკაში

სიგნალების დონეების გამოყენების პრაქტიკულობაზე მეტყველებს. კერძოდ, თუ i -რ და j -რ წერტილებში სიგნალის სიმძლავრეების ფარდობაა, მაგალითად, 100, მაშინ სიმძლავრის შესაბამის აბსოლუტურ (გაზომვის) დონეებს შორის სხვაობა იქნება 20 დბ.

ცხადია, რომ ზოგადად $P_{ij} = P_{ji}$.

აბსოლუტური დონეების დანიშნულებაა გადაცემის დონეების განსაზღვრა გამზომი ხელსაწყოების (დონის მაჩვენებლების) საშუალებით. მაშასადამე, აბსოლუტური დონეები გაიზომება დონის მაჩვენებლებით, გაზომვის შედეგები წარმოადგენს გაზომილ (აბსოლუტურ) დონეებს გადაცემის არხის (ტრაქტის) ამა თუ იმ წერტილში.

სიმძლავრის, ძაბვისა და დენის დეციბელებში გაზომილი როგორც აბსოლუტური, ასევე ფარდობითი დონეების საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს შესაბამისად სიმძლავრე (მვტ), ძაბვა (მვ) და დენი (მა). ამისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულებით:

$$W_i = W_0 10^{0.1 P_{wio}}, U_i = U_0 10^{0.05 P_{uio}}, I_i = I_0 10^{0.05 P_{iio}}$$

$$W_i = W_j 10^{0.1 P_{wij}}, U_i = U_j 10^{0.05 P_{uij}}, I_i = I_j 10^{0.05 P_{ij}}$$

სატელეკომუნიკაციო ხაზებით სიგნალების გადაცემისას ადგილი აქვს ენერჯის დანაკარგებს, რის გამოც შემოაქვთ მუშა მილევის ცნება, რომელიც დეციბელებში განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$a_a = 10 \text{Lg}(W_1/W_2), \text{ დბ,}$$

სადაც W_1 სიმძლავრეა, რომელსაც ავითარებს სიგნალის წყარო მასთან შეთანხმებულ წინაღობაზე, ანუ იდეალურ შემთხვევაში, ხოლო W_2 სიმძლავრეა, რომელსაც ეს წყარო ავითარებს რეალურ (არაიდეალურ) პირობებში.

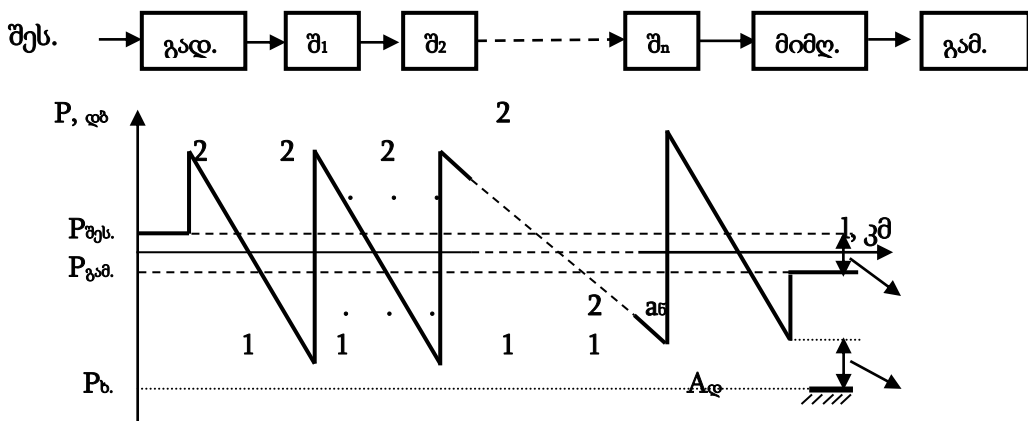
სიგნალების მილევის გამო აუცილებელი ხდება მათი გაძლიერება კავშირის ხაზის გასწვრივ განლაგებულ შუალედურ და დამაბოლოებელ პუნქტებში, რაც ანალოგურ სისტემებში ხორციელდება მომსახურე და არამომსახურე

მაძლიერებლებში, ხოლო ციფრულ სისტემებში – მომსახურე და არამომსახურე რეგენერატორებში.

მუშა მიღვევის მსგავსად განიხილება მუშა გაძლიერების ცნება:

$$S_{\alpha} = 10Lg(W_2/W_1), \text{ დბ.}$$

ტელეკომუნიკაციის სისტემების დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის დროს აუცილებელია სიგნალის დონის ცვლილების ცოდნა გადაცემის ტრაქტის სხვადასხვა წერტილში, რომელიც გრაფიკულად გამოისახება დონეთა დიაგრამის საშუალებით, ანუ გრაფიკით, რომელიც გვიჩვენებს სიგნალის გაზომილი ანუ აბსოლუტური დონეების განაწილებას კავშირის ხაზის (ტრაქტის) გასწვრივ (ნახ.6). ნახ. 6-ზე წარმოდგენილი გადაცემის არხი შედგება გადამცემის მაძლიერებლისაგან (გად.), ხაზის სამი მონაკვეთისაგან (უზნისაგან), რომელთა სიგრძეებია l_1 კმ, l_2 კმ, l_3 კმ და ა.შ. l_n კმ, n რაოდენობის შუალედური, ანუ სახაზო მაძლიერებლისაგან ($შ_1$, $შ_2$ და ა.შ. $შ_n$) და მიმღების მაძლიერებლისაგან (მიმღ.). აღსანიშნავია, რომ ციფრულ სისტემებში მაძლიერებლების ფუნქციას ითავსებს რეგენერატორები. დონეთა დიაგრამაზე 1-ით და 2-ით აღნიშნულია წერტილები, რომლებიც შეესაბამება სიგნალის დონეს შესაბამისად მაძლიერებლების შესასვლელებსა და გამოსასვლელებზე. შევნიშნოთ, რომ შუალედური (სახაზო) გაძლიერების (რეგენერაციის) პუნქტები შეიძლება იყოს როგორც მომსახურებადი (პუნქტს ემსახურება სპეციალისტთა პერსონალი), ასევე არამომსახურებადი (ამ უკანასკნელთა ელექტრული კვება ხორციელდება მომსახურე პუნქტიდან დისტანციურად).



ნახ. 6. დონეთა დიაგრამის აგების ნიმუში

წერტილებში 1 სიგნალის მინიმალურად დასაშვები დონე განისაზღვრება ხელშეშლების დონესთან (P_b) შედარებით სიგნალის დონის (P_s) საჭირო გადამეტების (გადაჭარბების) სიდიდით, რომელსაც ხელშეშლებისაგან დაცულობას (A_d) უწოდებენ და იგი დეციბელებში განისაზღვრება ასე:

$$A_d = 10 \lg(W_s/W_b) = P_s - P_b, \text{ დბ,}$$

სადაც W_s და W_b შესაბამისად სიგნალისა და ხელშეშლის სიმძლავრეებია, ხოლო P_s და P_b - მათი დონეები.

სატელეკომუნიკაციო არხის შესასვლელსა (შეს.) და გამოსასვლელზე (გამ.) სიგნალის დონეთა შორის სხვაობა განსაზღვრავს სიგნალის ნარჩენ მილევას (a_n).

$$a_n = P_{შეს.} - P_{გამ.}, \text{ დბ}$$

როგორც ნახ. 5-დან და უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, მამლიერებლების (რეგენერატორების) რაოდენობა ერთით მეტია ხაზის უბნების (გადლიერების, რეგენერაციის უბნების) რაოდენობაზე, ხოლო შუალედური მამლიერებლების (რეგენერატორების) რაოდენობა კი ერთით ნაკლებია უბნების რაოდენობაზე, რაც გასათვალისწინებელია დონეთა დიაგრამების აგების მიზნით სათანადო გაანგარიშებების ჩატარებისას.

ნახ. 6-ის მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს, აგრეთვე, მუშა მილევა და მუშა გაძლიერება ნებისმიერი უბნისა და გაძლიერების (რეგენერაციის) ნებისმიერი პუნქტისათვის. მაგალითად i -რი უბნისა და i -რი პუნქტისათვის მუშა მილევა a_{ni} და მუშა გაძლიერება S_{ni} შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$a_{ni} = 10 \lg(W_{გამ. i-1} / W_{შეს. i}) = P_{გამ. i-1} - P_{შეს. i}, \text{ დბ,}$$

$$S_{ni} = 10 \lg(W_{გამ. i} / W_{შეს. i}) = P_{გამ. i} - P_{შეს. i}, \text{ დბ.}$$

5. პირველადი სატელეკომუნიკაციო სიგნალების პარამეტრები და მახასიათებლები

როგორც ცნობილია, სატელეკომუნიკაციო სისტემებში არაელექტრული ბუნების $a(t)$ შეტყობინებიდან ფორმირდება პირველადი $b(t)$ სიგნალი. $b(t)$ სიგნალების აღწერა აუცილებელია გადაცემის პროცესში მათი ადეკვატური დამუშავებისათვის. ვინაიდან ნებისმიერი ელექტრული სიგნალი წარმოადგენს დროში ცვლად პროცესს, ამიტომ იგი აღიწერება გარკვეული დროითი ფუნქციით, რომლითაც განსაზღვრული იქნება სიგნალიც. ყველაზე მარტივია სიგნალი, რომელიც იცვლება სინუსის კანონით. მას სინუსოიდური ანუ ჰარმონიული ეწოდება და იგი დეტერმინირებული სიგნალია.

$$b(t) = U \cos(\Omega t + \varphi),$$

სადაც: U , Ω და φ ჰარმონიული სიგნალის ამპლიტუდა, კუთხური (წრიული) სიხშირე და ფაზაა (გრადუსებში ან რადიანებში) შესაბამისად. როგორც ცნობილია, $\Omega = 2\pi F$, სადაც F მიმდინარე სიხშირეა ჰერცებში, ხოლო 2π (360°) ერთი პერიოდის განმავლობაში რადიუს-ვექტორის მობრუნების კუთხეა რადიანებში (გრადუსებში). თავის მხრივ, F სიხშირესა (ჰერცებში) და T პერიოდს (წამებში) შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა: $F = 1/T$.

ტელეკომუნიკაციის რეალური სიგნალები კი რთულია, თუმცა ნებისმიერი მათგანი შეიძლება წარმოვადგინოთ ჰარმონიული შემდგენების (ჰარმონიკების) ერთობლიობით (ჯამით), ანუ დეტერმინირებული სიგნალების ერთობლიობით:

$$b(t) = \sum_{i=1}^{\infty} U_i \cos(\Omega_i t + \varphi_i),$$

სადაც: U_i , Ω_i და φ_i i -რი ჰარმონიკის ამპლიტუდა, კუთხური სიხშირე და ფაზაა შესაბამისად. როგორც ცნობილია, კუთხური (წრიული) სიხშირე ჰერცებში $\Omega_i = 2\pi F_i$, სადაც F_i i -რი ჰარმონიკის მიმდინარე სიხშირეა ჰერცებში ($F_i = 1/T_i$).

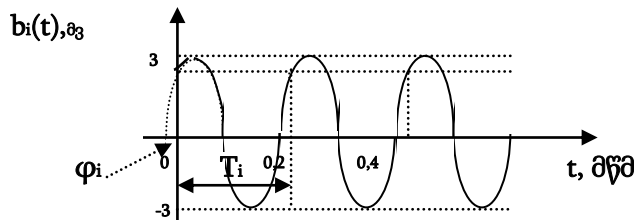
მე-7 ნახაზზე წარმოდგენილია $b(t)$ სიგნალის i -რი ჰარმონიკის დროითი დიაგრამა, სადაც: $U_i=3$ მვ; $F_i=5$ კჰც ($T_i=1/5_{\text{კჰც}}=0,2$ მწმ) და $\varphi_i=45^\circ$.

სიგნალის შესაბამისი შემდგენების ერთობლიობას ამ სიგნალის სპექტრს უწოდებენ.

სიგნალის სპექტრის სიგანე ეწოდება სიხშირეთა ინტერვალს, რომელიც მოიცავს სიგნალის ყველა შემდგენს.

სიგნალის ასეთი სრული აღწერა ყოველთვის საჭირო არაა. ზოგჯერ საკმარისია სიგნალის აღწერა რამოდენიმე პარამეტრით, რომლებიც ახასიათებს მის ძირითად თვისებებს ტელეკომუნიკაციის ხაზებით გადაცემის თვალსაზრისით.

□□□□□□



ნახ. 7. სიგნალის i -რი ჰარმონიკის დროითი დიაგრამა

შეტყობინებებისა და შესაბამისი სიგნალების ძირითად პარამეტრებს წარმოადგენენ: მათ მიერ დაკავებული სიხშირული ზოლის (სპექტრის) ეფექტური სიგანე ΔF_s (სხვანაირად მას სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლი შეიძლება ვუწოდოთ); სიგნალის მინიმალური ($W_{\text{მინ.}}$), საშუალო ($W_{\text{საშ.}}$) და მაქსიმალური (პიკური) ($W_{\text{მაქს.}}$) სიმძლავრეები; დინამური დიაპაზონი D ; პიკ-ფაქტორი Q ; ხელშეშლებისაგან დაცულობა $A_{\text{დ}}$; საშუალოკვადრატული ცდომილება ϵ ; ინფორმაციის რაოდენობა I ; ენტროპია E ; კორელაცია (კორელაციის კოეფიციენტი ρ); შეტყობინების წყაროსა და შესაბამისი სიგნალის სიჭარბე γ ; შეტყობინების წყაროს მწარმოებლობა O და დისკრეტული (ციფრული) სიგნალის გადაცემის სიჩქარე B .

1. სიხშირეთა ზოლის ეფექტურ სიგანეს (ΔF_s) უწოდებენ სიგნალის სპექტრის ძირითად ნაწილს, რომელიც უნდა გადაიცეს არხით ამ სიგნალის მიმღებში მაღალი ხარისხით აღდგენის მიზნით.

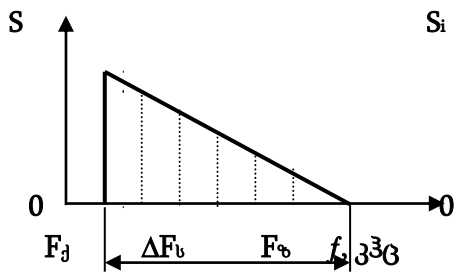
$$\Delta F_s = F_s - F_j,$$

სადაც F_{Σ} და F_j შესაბამისად სიგნალის ზედა (მაქსიმალური) და ქვედა (მინიმალური) ზღვრული სიხშირეებია. ტექნიკურ ლიტერატურაში ΔF_{Σ} -ს ხშირად სიგნალის სპექტრის ეფექტურ სიგანეს უწოდებენ. ამ შემთხვევაში შეიძლება ითქვას, რომ პირველადი $b(t)$ სიგნალი შეიცავს n რაოდენობის შემდგენს (ჰარმონიკას), რის გამოც მისი აღმწერი ზემოთ მოყვანილი ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

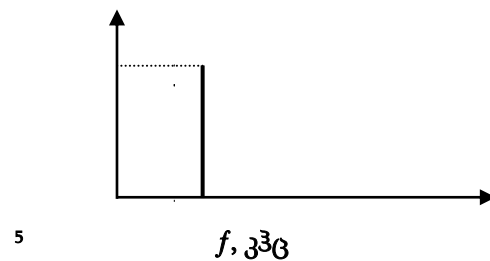
$$b(t) = \sum_{i=1}^n U_i \cos(\Omega_i t + \varphi_i),$$

სადაც n სიგნალის შემდგენელი ჰარმონიკების რაოდენობაა.

არჩევნ ამპლიტუდურ და ენერგეტიკულ სპექტრებს. პირველ შემთხვევაში სპექტრული დიაგრამის ორდინატა ღერძზე გადაზომილია სიგნალის ჰარმონიკული შემდგენების (ჰარმონიკების) ამპლიტუდა, ხოლო მეორე შემთხვევაში – სიმძლავრე. აბცისთა ღერძზე კი გადაზომილია ჰარმონიკების სიხშირეები. ნახ. 8-ზე და ნახ. 9-ზე წარმოდგენილია შეზღუდული სპექტრის მქონე სიგნალისა და დროითი დიაგრამის სახით ნახ. 7-ზე ნაჩვენები მისი i -რი ჰარმონიკის ($U_i=3$ მვ, $F_i=5$ კჰც) ამპლიტუდური სპექტრების გრაფიკული გამოსახვის ნიმუშები.



ნახ. 8. სიგნალის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკული გამოსახვის ნიმუში



ნახ. 9. სიგნალის i -რი ჰარმონიკის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკული გამოსახვის ნიმუში

2. სიგნალის საშუალო სიმძლავრე $W_{\text{სა}}$. იგი განისაზღვრება დროის გარკვეულ (მაგალითად, ერთი საათის განმავლობაში) სიმძლავრის გაზომვის შედეგების გასაშუალებით. გასაშუალება საჭიროა იმის გამო, რომ სიგნალების სიმძლავრე დროში იცვლება.

3. სიგნალის დინამიური დიაპაზონი D . ეს სიდიდე წარმოდგენას გვაძლევს სიგნალის სიმძლავრის შესაძლო ცვლილების დიაპაზონზე არხის ერთსა და იმავე წერტილში:

$$D=10Lg(W_{მეს.}/W_{მონ.})=P_{მეს.}-P_{მონ.}, \text{ დბ}$$

4. სიგნალის პიკ-ფაქტორი Q . გარდა დინამიური დიაპაზონისა, ზოგჯერ იყენებენ პარამეტრს, რომელსაც პიკ-ფაქტორს უწოდებენ. იგი გვიჩვენებს თანაფარდობას სიგნალის მაქსიმალურ და საშუალო სიმძლავრეებს შორის:

$$Q=10Lg(W_{მეს.}/W_{საშ.})=P_{მეს.}-P_{საშ.}, \text{ დბ}$$

5. სიგნალის დაცულობა ხელშემშლელისგან (ხელშემშლამდგრადობა) $A_{ფ}$. ხელშემშლელისგან დაცულობა $A_{ფ}$ დეციბელებში განისაზღვრება ასე:

$$A_{ფ}=10Lg(W_{ს}/W_{ს})=P_{ს}-P_{ს}, \text{ დბ}$$

სადაც $W_{ს}$, $W_{ს}$, $P_{ს}$ და $P_{ს}$ სასარგებლო და ხელშემშლელი სიგნალების სიმძლავრეები და შესაბამისი დონეებია.

ციფრული სიგნალებისათვის ხელშემშლელისაგან დაცულობას აფასებენ ხელშემშლელი სიგნალით დაზიანებული სიმბოლოების (ბიტების) ალბათობის სიდიდით $P_{ბ}$. თუ, მაგალითად, $P_{ბ}=10^{-3}$, მაშინ ათასი ბიტიდან საშუალოდ ზიანდება 1 ბიტი.

6. აღდგენილი სიგნალის საშუალოკვადრატული ცდომილება ϵ . როგორც ცნობილია, მიმღებში აღდგენილი სიგნალი $b'(t)$ სხვადასხვა სახის ხელშემშლელის ზემოქმედების გამო შეიძლება განსხვავებული აღმოჩნდეს გადაცემული $b(t)$ სიგნალისაგან. რაც უფრო მცირეა განსხვავება მათ შორის, მით უფრო უკეთესია კავშირის ხარისხი. კავშირის ხარისხის შესაფასებლად მიზანშეწონილია გარკვეული რიცხობრივი შეფასების ცნების შემოტანა, რომელსაც გადაცემის სისწორე შეიძლება ვუწოდოთ. იგი წარმოადგენს არხის შესასვლელსა და გამოსასვლელზე არსებული სიგნალებს შორის სხვაობის ფუნქციას.

$$\epsilon=F[b(t)-b'(t)].$$

F ფუნქციის სახე განისაზღვრება იმ მოთხოვნებით, რომლებიც წაეყენებათ მოცემული სახის შეტყობინებების გადაცემას. მაგალითად, ანალოგური (უწყვეტი) შეტყობინებების გადაცემისას კავშირის ხარისხის შესაფასებლად ხშირად იყენებენ საშუალოკვადრატული გადახრის კრიტერიუმს.

$$\epsilon^2=(\int_0^T [b(t)-b'(t)]^2 dt)/T,$$

0

სადაც T სიგნალის ხანგრძლივობაა.

დისკრეტული სიგნალის N რაოდენობის მნიშვნელობების (ანათვლების) შემთხვევაში საშუალოკვადრატული ცდომილება შეიძლება შეფასდეს შემდეგი ფორმულით:

$$\epsilon^2 = \sum_{i=1}^N ((b_i - b'_i)^2) / N.$$

ორობითი ციფრული სიგნალების გადაცემისას სისწორის კრიტერიუმად ჩვეულებრივ იყენებენ შეცდომის ალბათობას p_e , რომელიც გვიჩვენებს გადაცემული სიმბოლოს არასწორი აღდგენის ალბათობას.

კავშირის ხარისხის შეფასების აღნიშნულ მეთოდებს შეფასების პირდაპირ მეთოდებს უწოდებენ. ისინი ძირითადად გამოიყენება თეორიული კვლევებისათვის.

პრაქტიკაში კავშირის ხარისხს აფასებენ ირიბი მეთოდებით, ანუ არხების მახასიათებლებისა და პარამეტრების მიხედვით, კერძოდ კი მათი სიხშირული და ამპლიტუდური მახასიათებლებით, ხელშემშლელის დონის სიდიდითა და სხვა.

ზემოთ აღნიშნული მახასიათებლები და პარამეტრები განვიხილოთ ტელეფონის სიგნალის მაგალითზე.

ზოგადად, ლაპარაკი წარმოადგენს ფართოხოლოვან პროცესს, რომლის სპექტრი განფენილია **50...100 ჰც**-დან **8...10 კჰც**-მდე, ზოგიერთ შემთხვევაში კი **20 კჰც**-მდე. დადგენილია, რომ სატელეფონო კავშირისათვის ლაპარაკის ხარისხი სრულიად დამაკმაყოფილებელია მისი სპექტრის **300...3400 ჰც** დიაპაზონში შეზღუდვის შემთხვევაში, ვინაიდან ამ დროს ბგერებისა და ფრაზების გარჩევადობა შესაბამისად 90% და 99%-ია და უზრუნველყოფილია ჟღერადობის ნატურალობა. ამიტომ ITU-T-ის რეკომენდაციით ტელეფონის სიგნალისათვის აღნიშნული დიაპაზონი ($f_{\text{ჰ}}=300$ ჰც, $f_{\text{ფ}}=3400$ ჰც, $\Delta f_{\text{ტოლ.}}=3100$ ჰც) მიღებულია სპექტრის ეფექტურ სიგანედ. ასეთი შედარებით ვიწრო დიაპაზონი კი იძლევა ტელეკომუნიკაციის ხაზების გამტარობის უნარის ეფექტურად გამოყენების საშუალებას.

ტელეფონის სიგნალის შემთხვევაში საშუალო სიმძლავრის ცნების შემოტანა აიხსნება იმ გარემოებით, რომ ეს სიგნალი ასახავს მიკროფონის წინ ბგერის წნევის ცვლილებას: მოსაუბრე ადამიანი ხან უწევს ხმას, ხან ლაპარაკობს ჩუმად ან აკეთებს პაუზას. შესაბამისად სიგნალის რხევის ამპლიტუდა ხან იზრდება, ხან მცირდება და ხანაც ნულის ტოლი ხდება. თუმცა საშუალო სიმძლავრე გარკვეული დროის განმავლობაში მისი გასაშუალებებისას გარკვეულ სიდიდეს წარმოადგენს. ITU-T-ის რეკომენდაციით სატელეფონო შეტყობინების აქტივობის ინტერვალში ტელეფონის სიგნალის საშუალო სიმძლავრე წერტილში ნულოვანი გაზომვის დონით $W_{ტლფ.საშ}=88$ მკვტ. ვინაიდან სატელეფონო კავშირის შემთხვევაში აბონენტი თავის თანამოსაუბრესთან საშუალოდ საუბრობს არხის დაკავების საერთო დროის მხოლოდ გარკვეული ნაწილის (დაახლოებით 50%) განმავლობაში და, გარდა ამისა, ცალკეულ სიტყვებსა და ფრაზებს შორის არსებობს პაუზები, ამიტომ სატელეფონო სიგნალებისათვის დამახასიათებელია ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრი, რომელსაც აქტივობის კოეფიციენტს უწოდებენ ($\eta=0,25...0,35$). იგი წარმოადგენს არხის გამოსასვლელზე სიგნალის სიმძლავრის ზღვრულ მნიშვნელობაზე გადაჭარბების დროის ფარდობას არხის დაკავების საერთო დროსთან. ამიტომ $W_{ტლფ.საშ}=88\eta=22$ მკვტ. თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ სატელეფონო კავშირის არხში ლაპარაკის სიგნალის გარდა შეიძლება გადაიცეს მართვის, ნომრის აკრეფისა და სხვა სიგნალები, ამიტომ ტელეფონის სიგნალის საშუალო სიმძლავრედ მიღებულია **32 მკვტ.** შესაბამისად, ტელეფონის სიგნალის საშუალო დონე გაზომვის ნულოვანი დონის წერტილში

$$P_{ტლფ.საშ}=10\lg(32_{მკვტ}/1_{მკტ})=-15 \text{ დბ0} \quad \text{ვინაიდან } W_0=1 \text{ მკტ.}$$

ტელეფონის სიგნალის მაქსიმალური სიმძლავრე $W_{ტლფ.მაქს}=2220$ მკვტ (+3,5 დბ0), მინიმალური სიმძლავრის დიაპაზონი $W_{ტლფ.საშ}=0,222...0,7$ მკვტ, რომლის საზღვრების შესაბამისი დონეებია **-6,5 დბ0** და **-1,6 დბ0**. ამიტომ მისი დინამიური დიაპაზონი და პიკ-ფაქტორი შესაბამისი ფორმულების მიხედვით ტოლია: $D_{ტლფ.საშ}=35...40$ დბ, $Q_{ტლფ.საშ}=14$ დბ ($W_{ტლფ.საშ}=88$ მკვტ).

რაც შეეხება ხმაურების W_b სიმძლავრეს, უნდა აღინიშნოს, რომ იგი შეიძლება განვიხილოთ როგორც კავშირის არხში გადაცემული სიგნალის წრფივი და

არაწრფივი დამახინჯებებისა (რაც არხის მახასიათებლებითაა განპირობებული) და გარეშე წყაროებიდან არხში მომქმედი ხელშეშლების ერთობლიობა. წრფივი დამახინჯებების შედეგად იცვლება თანაფარდობა სპექტრული შემდგენების (ჰარმონიკების) როგორც ფაზებს, ასევე ამპლიტუდებს შორის. პირველ მათგანს უწოდებენ ფაზო-სიხშირულ, ხოლო მეორეს – ამპლიტუდურ-სიხშირულ დამახინჯებებს. ადამიანის სმენის მნიშვნელოვანი თავისებურებაა ფაზო-სიხშირული დამახინჯებებისადმი მცირე მგრძობელობა. ამპლიტუდურ-სიხშირული დამახინჯებები კი ცვლის მეტყველების ტემბრს, რაც წარმოადგენს ჟღერადობის ნატურალობის დაკარგვის მიზეზს. არაწრფივი დამახინჯებები იწვევს ჰარმონიკებისა და კომბინაციური სიხშირეების წარმოშობას, რაც აღიქმება ხრიალის სახით და მნიშვნელოვნად მოქმედებს კავშირის ხარისხზე.

კავშირის ხარისხის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია დამაბოლოებელ აპარატურებამდე მიღწეული ხელშეშლების W_{Σ} სიმძლავრე. სატელეფონო კავშირისას მის დასადგენად ითვალისწინებენ შემდეგ გარემოებას: მეტყველების (მათ შორის ტელეფონის) სიგნალების გადაცემისას ერთი და იგივე სიმძლავრის, მაგრამ სხვადასხვა სიხშირის ხელშეშლები კავშირის ხარისხზე სხვადასხვაგვარ გავლენას ახდენს ადამიანის ყურის მგრძობიარობის სიხშირული დამოკიდებულობის გამო. იმისათვის, რომ გაითვალისწინონ ეს განსხვავება, გაზომვების დროს ხელშეშლებს ატარებენ სპეციალურ ოთხპოლუსაში (ეგრეთ წოდებულ ამწონ პსოფომეტრულ ფილტრში), რომელსაც გააჩნია ადამიანის ყურის შესაბამისი სიხშირული მახასიათებელი (ბერძნული სიტყვა "პსოფოს" ნიშნავს ხმაურს). ასეთი ფილტრის გამოსასვლელზე ხელშეშლების გაზომილ სიმძლავრეს პსოფომეტრულს უწოდებენ, რომელსაც ითვალისწინებენ ანგარიშების ჩატარებისას. ხმაურების სიმძლავრის საშუალო დონე პსოფომეტრულ ერთეულებში **0,3...3,4 კპც** დიაპაზონში **2,5 დბ-ით (ანუ 1,78-ჯერ)** ნაკლებია მათი მომქმედი მნიშვნელობების გაზომვის შედეგად მიღებულ დონესთან შედარებით. სიდიდეს **2,5 დბ (1,78)** უწოდებენ პსოფომეტრულ კოეფიციენტს.

სატელეფონო კავშირის ხარისხზე ხმაურების გავლენა ხასიათდება შემდეგი მონაცემებით: ნულოვანი გამზომი დონის წერტილში ხმაურების **10000 ჰპტ-ის (1**

პვტ= 10^{-12} ვტ) ტოლი სიმძლავრისას ხმაურები თითქმის არ შეიმჩნევა. **100000** პვტ-ის შემთხვევაში მათი გარჩევა ჯერ კიდევ შესაძლებელია, ხოლო

10^6 პვტ-ისას ლაპარაკის გარჩევადობა გამწვანებულია და კავშირის ხარისხი არადამაკმაყოფილებელია.

**6. სიგნალების, როგორც შემთხვევითი პროცესების აღმწერის,
მახასიათებლები და პარამეტრები**

გარდა წინა პარაგრაფში განხილული მახასიათებლებისა და პარამეტრებისა, სატელეკომუნიკაციო სიგნალები შეიძლება დახასიათდეს ალბათური მახასიათებლებითაც, ვინაიდან ისინი უმთავრესად აღწერენ შემთხვევით (და არა დეტერმინირებულ) პროცესებს. ეს მახასიათებლები და პარამეტრებია: ინფორმაციის რაოდენობა I ; ენტროპია E ; კორელაცია (კორელაციის კოეფიციენტი ρ); შეტყობინების წყაროსა და შესაბამისი სიგნალის სიჭარბე γ ; შეტყობინების წყაროს მწარმოებლობა O და მასთან დაკავშირებული დისკრეტული (ციფრული) სიგნალის გადაცემის სიჩქარე B . განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

1. ინფორმაციის რაოდენობა I . იმისათვის, რომ ერთმანეთს შევადაროთ შეტყობინებათა სხვადასხვა წყაროები, საჭიროა გარკვეული რაოდენობრივი საზომის ცნების შემოტანა, რომელიც იძლევა შეტყობინებასა და მის შესაბამის სიგნალში არსებული ინფორმაციის შეფასების საშუალებას.

ინფორმაციის რაოდენობის შეფასებისათვის არსებობს საკმაოდ მრავალი განსაზღვრება, თუმცა უკანასკნელ პერიოდამდე ყველაზე მეტად ადექვატურად ითვლებოდა შენონისებური განსაზღვრება, რომლის მიხედვითაც ინფორმაცია გაურკვეველობის საზომია (იმის დასახელების ხარისხია, რაც გადაცემისათვისაა განკუთვნილი), ანუ ინფორმაციის გადაცემის მიზანია მოცემული გაურკვეველობის მოხსნა.

ინფორმაციის ეს კლასიკური განსაზღვრება პირველად იქნა შემოტანილი კლოდ შენონის მიერ 1948 წელს დაწერილ შრომაში "კავშირგაბმულობის მათემატიკური თეორია", რამაც მრავალი ათწლეულის განმავლობაში განსაზღვრა ის მიდგომები ინფორმაციის გადაცემის მეთოდებისა და სისტემების ანალიზისა და დამუშავებისადმი, რომლებიც დღესაც უმთავრესად ამ განსაზღვრებაზეა ორიენტირებული. ამ მიდგომის შესაბამისად ინფორმაციის მიღების კვალობაზე იხსნება გაურკვეველობა. ამასთანავე, რაც მეტი ინფორმაცია მიიღება, მით ნაკლებია მიმღების გაურკვეველობის ხარისხი.

განვიხილოთ შენონის ინფორმაციული მიდგომის საფუძვლები, რის საფუძველზეც აიგო ინფორმაციის თეორია. იგი წარმოადგენს ტელეკომუნიკაციის

თეორიის, ინფორმატიკისა და მეცნიერების მონათესავე დარგების მათემატიკურ საფუძველს.

ყოველგვარ ინფორმაციას მომხმარებელი ღებულობს შეტყობინების მიღების შემდეგ, ანუ გამოცდილების შედეგად. მიმღებ მხარეს მიღებულ შეტყობინებას სასარგებლო ინფორმაცია გააჩნია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ არსებობს გაურკვეველობა წყაროს მდგომარეობის შესახებ. თუ ცდა დამთავრდება მხოლოდ ერთი შედეგით და დამკვირვებელმა წინასწარ იცის ცდის შედეგი, მაშინ ის ვერავითარ ინფორმაციას ვერ ღებულობს. მაგალითად, თუ შეგატყობინებენ, რომ მზე აღმოსავლეთიდან ამოდის, მაშინ ეს შეტყობინება არავითარ ინფორმაციას არ შეიცავს, ვინაიდან ყველამ იცის, რომ ეს ნამდვილად ასეა. ისეთ მოვლენაში, როგორცაა მზის ყოველდღიური ამოსვლა აღმოსავლეთიდან, არაფერია გაურკვეველი. ასეთი მოვლენის ალბათობა ერთის ტოლია და შეტყობინების მიერ მოტანილი ინფორმაციის რაოდენობა ნულის ტოლია. ინფორმაცია გაჩნდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც წყაროს ექნება შესაძლო მდგომარეობათა უკიდურეს შემთხვევაში ერთზე მეტი რაოდენობა.

აღნიშნული თეორიის ძირითადი იდეები უპირველეს ყოვლისა განვიხილოთ დისკრეტული წყაროს მაგალითზე, რომელიც გასცემს ურთიერთდამოუკიდებელი დისკრეტული შეტყობინებების $\{a_i\}=a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ მიმდევრობას (k შეტყობინებათა რაოდენობა ან შეტყობინების და შესაბამისი სიგნალის დისკრეტული ანათვლების შესაძლო მნიშვნელობათა რაოდენობა), რომელთაგან თითოეული მათგანი გაიცემა შემთხვევითი კანონით. ასეთი წყაროს მიერ გამომუშავებულ შეტყობინებებს ვუწოდოთ მარტივი შეტყობინებები. ყოველი a_i ელემენტარული შეტყობინება ამ შეტყობინების მიმღებისათვის შეიცავს გარკვეულ ინფორმაციას. განვსაზღვროთ ამ ინფორმაციის რაოდენობრივი ზომა და გავარკვიოთ, თუ რაზეა ის დამოკიდებული.

ინფორმაციის გადამცემსა და მიმღებს შორის კავშირის დამყარებამდე ინფორმაციის მიმღებს ყოველთვის გააჩნია მეტნაკლები გაურკვეველობა იმასთან დაკავშირებით, თუ შეტყობინებათა შესაძლო რაოდენობიდან რომელი a_i შეტყობინება იქნება გადაცემული. ცხადია, რომ ამ გაურკვეველობის (განუსაზღვრელობის), ანუ a_i შეტყობინების მოულოდნელობის ხარისხი,

დამოკიდებულია ამა თუ იმ შეტყობინების გადაცემის ალბათობაზე. მაგალითად, თუ რომელიმე a_i შეტყობინების გადაცემის ალბათობა მაღალია, მაშინ გადაცემამდე მომხმარებელმა თითქმის იცის ის, თუ რომელი შეტყობინება იქნება გადაცემული, და მისი მიღება მომხმარებელს თითქმის არ მოუტანს რაიმე ახალ ინფორმაციას. ამრიგად, ცხადია, რომ ელემენტარულ a_i შეტყობინებაში არსებული ინფორმაციის რაოდენობა წარმოადგენს ამ შეტყობინების გადაცემის $p(a_i)$ ალბათობის ფუნქციას:

$$I(a_i) = \Phi\{p(a_i)\},$$

Φ ფუნქციის სახის განსაზღვრის მიზნით მოვითხოვთ, რომ $I(a_i)$ -ს ზომამ დააკმაყოფილოს შემდეგი ინტუიტური (ბუნებრივი) პირობები:

– ინფორმაციის რაოდენობა უნდა იყოს ადიტიური სიდიდე, ანუ ორი დამოუკიდებელი შეტყობინების ინფორმაციის რაოდენობა ტოლი უნდა იყოს თითოეულ მათგანში არსებული ინფორმაციის რაოდენობების ჯამისა. აღნიშნული მოთხოვნის ბუნებრიობა ადვილი წარმოსადგენია, თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ საქმე ეხება ორ დამოუკიდებელ შეტყობინებას, როდესაც ერთი მათგანის მიღება არანაირ გავლენას არ ახდენს მეორე მათგანის აღქმაზე. ამრიგად, თუ წყარო მიმდევრობით ირჩევს a_i და a_j შეტყობინებებს და ასეთი ამორჩევის ალბათობა $p(a_i, a_j)$ არის a_i და a_j შეტყობინებების ერთობლივი ალბათობა, მაშინ ამ ორ ელემენტარულ შეტყობინებაში არსებული ინფორმაციის რაოდენობა ტოლი იქნება თითოეულ მათგანში არსებული ინფორმაციის რაოდენობათა ჯამისა. სხვანაირად რომ ვთქვათ, თუ აღნიშნული შეტყობინებების ერთობლიობას განვიხილავთ ერთი "გამსხვილებული" შეტყობინების სახით, მაშინ ასეთი გამსხვილებული შეტყობინების ინფორმაციის რაოდენობა ორჯერ (ზოგადად k -ჯერ) მეტი იქნება ცალკეული შეტყობინების ინფორმაციის რაოდენობასთან შედარებით;

– ინფორმაციის რაოდენობა ისეთ შეტყობინებაში, რომელიც ასახავს უტყუარ მოვლენას, ნულის ტოლია. ასეთ შეტყობინებას და შესაბამის სიგნალს დეტერმინირებული შეტყობინება (სიგნალი) ეწოდება. აღნიშნული პირობაც ადვილი გასაგებია, ვინაიდან უტყუარი მოვლენის შესახებ შეტყობინება არაფერს ცვლის ადამიანის ცნობიერებაში. მაშასადამე, თუ შეტყობინებათა $\{a_i\}$ მიმდევრობიდან ($i=1,2,\dots,k$) a_i -ს ამორჩევა წინასწარაა განსაზღვრული ($p(a_i)=1$ – გაურკვეველობა არ

არსებობს), მაშინ ამ შეტყობინებაში არსებული ინფორმაციის რაოდენობა ნულის ტოლია: $I(a_i) = \varphi\{1\} = 0$;

– ინფორმაციის რაოდენობა დამოკიდებული არ უნდა იყოს შეტყობინების ხარისხობრივ შედგენილობაზე, კერძოდ კი იმაზე, თუ რამდენად საინტერესო და მთავარია მიმღებისათვის ეს ინფორმაცია. იგი არ უნდა იყოს დამოკიდებული აგრეთვე ინფორმაციის გადაცემის შესაძლო შედეგებზე, მის ემოციონალურ შეფერილობაზე და სხვა. ეს მოთხოვნა შეიძლება არცთუ ცხადად მოგვეჩვენოს, თუმცა მას ასაბუთებენ საკმაოდ ზოგადი თეორიის შექმნის აუცილებლობით. მაგალითად კი მოყავთ ის გარემოება, რომ შეუძლებელი იქნებოდა მექანიკის თეორიის შექმნა იმ შემთხვევაში, თუ სხვადასხვანაირად განვსაზღვრავდით სხვადასხვა ნივთიერებებისგან შედგენილი სხეულების მასებს.

ინფორმაციის რაოდენობის სამიეხელი განსაზღვრის შემდგომი დაზუსტება არ წარმოადგენს სირთულეს, თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ ჩამოთვლილ პირველ ორ მოთხოვნას. დავუშვათ, რომ a_1 და a_2 ორი ურთიერთდამოუკიდებელი შეტყობინებაა. იმის ალბათობა, რომ წყარო ორივე ამ შეტყობინებას გასცემს ერთმანეთის მიყოლებით, განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$p(a_1, a_2) = p(a_1) \cdot p(a_2),$$

ხოლო ამ შეტყობინებებში არსებულმა ინფორმაციამ უნდა დააკმაყოფილოს ადიტიურობის პირობა (1-ლი მოთხოვნა):

$$I(a_1, a_2) = I(a_1) + I(a_2).$$

აქედან გამომდინარე, საჭიროა ისეთი $\varphi\{p(a_1, a_2)\}$ ფუნქციის პოვნა, რომლისთვისაც დამახასიათებელი იქნება ის თვისება, რომ მისი ორი $p(a_1)$ და $p(a_2)$ არგუმენტების გადამრავლებისას ფუნქციათა მნიშვნელობები შეიკრიბება. ერთადერთი ასეთი ფუნქციაა ლოგარითმული ფუნქცია $I(a) = m \log p(a)$, სადაც m ნებისმიერი მუდმივაა. ლოგარითმის ფუძეც შეიძლება იყოს ნებისმიერი რიცხვი. შევნიშნოთ, რომ ინფორმაციის რაოდენობის ასეთი განსაზღვრისას სრულდება აგრეთვე მე-2 მოთხოვნაც, ანუ თუ $p(a) = 1$, მაშინ $I(a) = m \log 1 = 0$. რაც შეეხება m -სა და ლოგარითმის ფუძეს, მათ ირჩევენ მოხერხებულობისა და იმის გათვალისწინებით, რომ ინფორმაციის რაოდენობა გამოისახოს დადებითი რიცხვით. ეს უკანასკნელი

გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ თუ ლოგარითმის ფუძე ერთზე მეტია, მაშინ $\log_p(a) \leq 0$, ვინაიდან $p(a) \leq 1$. აღნიშნულის გათვალისწინებით, ჩვეულებრივ $m=-1$. ლოგარითმის ფუძედ კი ირჩევენ 2-ს. მაშინ

$$I(a_i) = -\log p(a_i) = \log(1/p(a_i)).$$

ინფორმაციის გაზომვის ასეთნაირად განსაზღვრულ ერთეულს უწოდებენ **ინფორმაციის ორობით ერთეულს ანუ ბიტს**. მაგალითად, თუ ელემენტარული შეტყობინებებიდან ამორჩეული იქნება რომელიმე a_i შეტყობინება და იგი გადაიცემა $p(a_i)=1/8$ ალბათობით, მაშინ ამბობენ, რომ მასში არსებობს $\log(1/8)=3$ ბიტი ინფორმაცია. შევნიშნოთ, რომ სიტყვა ბიტი წარმოიქმნა ინგლისური სიტყვების კომბინაციიდან **binari digit (ორობითი ციფრი)**. ზოგჯერ ლოგარითმის ფუძედ ირჩევენ ნატურალურ რიცხვს $e \approx 2,7183$. ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ნატურალურ ლოგარითმთან (**ln**), ხოლო ინფორმაციის საზომია ნატურალური ერთეული – **ნატი. 1 ნატი $\approx 1,443$ ბიტი**.

ამრიგად, შეტყობინებაში ინფორმაციის რაოდენობა მით მეტია, რაც უფრო ნაკლებალბათურია (ანუ რაც უფრო მოულოდნელია) ეს შეტყობინება.

შევნიშნოთ, რომ ინფორმაციის გადაცემის სისტემების თეორიისა და პრაქტიკის განვითარებამ დროთა განმავლობაში გამოკვეთა მთელი რიგი შეუსაბამობები შენონისებურ განსაზღვრებასა და იმ შედეგებს შორის, რომლებიც ზოგჯერ გაცილებით უკეთესია არსებული თეორიის მიერ ნაწინასწარმეტყველებულთან შედარებით. მაგალითად, შენონისებური მიდგომის მესამე მოთხოვნა (მესამე პირობა) სულაც არ ითვალისწინებს ინფორმაციის სარგებლიანობისა და მისი გაცნობიერების ხარისხს, საგნის ან მოვლენის შესახებ აპრიორული ცოდნის არსებობას და სხვა. ეს მიდგომა მიმართულია არა ცოდნის გაზრდისაკენ, არამედ – უცოდინრობის შემცირებისაკენ, ანუ გარკვეული გაგებით ის პასიურია. ამასთან დაკავშირებით უკანასკნელი ორი ათწლეულის განმავლობაში მიმდინარეობს თითქოსდა ურყევი განსაზღვრებებისა და ინფორმაციის გადაცემის თეორიული საფუძვლების გადასინჯვა.

ანალოგური სიგნალებისათვის ინფორმაციის რაოდენობა **I**. ზოგადად განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$I_s = \Delta f_s \log_2(1 + W_{საშ}/W_b), \text{ ბიტი/წმ},$$

სადაც Δf_s სიგნალის სპექტრის სიგანეა, ხოლო $W_{საშ}$ და W_b შესაბამისად სიგნალის საშუალო სიმძლავრე და ხელშეშლების სიმძლავრეა, რომელიც კავშირის ხარისხის განმსაზღვრელ მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოადგენს.

მაგალითისათვის შევაფასოთ ინფორმაციის რაოდენობა ტელეფონის ანალოგური სიგნალისათვის. იგი უნდა გამოითვალოს ეგრეთ წოდებული აქტივობის η კოეფიციენტის გათვალისწინებით, რის გამოც:

$$I_{ტელ.ა} = \eta \Delta f_s \log_2(1 + W_{საშ}/W_b), \text{ ბიტი/წმ}.$$

მაშასადამე, ვინაიდან ტელეფონის სიგნალისათვის $\eta = 0,25 \dots 0,35$, $\Delta f_{ტელ.ა} = 3100$ ჰც, $W_{ტელ.საშ} = 88$ მკვტ და $W_b = 100000$ ჰვტ, ამიტომ $I_{ტელ.ა} = 8000$ ბიტი/წმ = 8 კბიტი/წმ.

2. ენტროპია E . ერთ ელემენტარულ a_i შეტყობინებაში თავმოყრილი ინფორმაციის რაოდენობა ჯერ კიდევ სრულად არ ახასიათებს შეტყობინების წყაროს. ელემენტარული შეტყობინებების ერთ ჯგუფს შეიძლება გააჩნდეს ბევრი ინფორმაცია, მაგრამ გადაიცემოდეს იშვიათად, სხვა ჯგუფი კი შეიძლება გადაიცემოდეს ხშირად, მაგრამ გააჩნდეს ნაკლები ინფორმაცია. ამიტომ შეტყობინებათა წყარო შეიძლება დახასიათდეს ინფორმაციის საშუალო რაოდენობით, რომელიც გადაანგარიშებულია ერთ ელემენტარულ შეტყობინებაზე და რომელსაც წყაროს ენტროპიას უწოდებენ:

$$E(a) = M(\log_2(1/p(a_i))) = \sum_{i=1}^k p(a_i) \cdot \log_2 p(a_i), \text{ ბიტი/შეტყობინება } i=1, 2, \dots, k,$$

სადაც M მათემატიკური მოლოდინია და იგი აღნიშნავს გასაშუალებას შეტყობინებათა მთელი სიმრავლის მიხედვით.

ენტროპია, როგორც წყაროს ინფორმატიულობის რაოდენობრივი საზომი, ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

– ენტროპია ნივთიერი, შეზღუდული და არაუარყოფითი სიდიდეა. მისი ეს თვისებები გამომდინარეობს $E(a)$ -ს გამოსახულებიდან და, აგრეთვე, იმის გათვალისწინებიდან, რომ $0 < p(a_i) \leq 1$;

– დეტერმინირებული (უტყუარი) შეტყობინებების ენტროპია ნულის ტოლია ($E(a) = 0$) თუ თუნდაც ერთ-ერთი შეტყობინების ალბათობაა 1;

– ენტროპია მაქსიმალურია, თუ a_i ($i=1,2,\dots,k$) შეტყობინებები თანაბარალბათურია, ანუ თუ $p(a_1)=p(a_2)=\dots=p(a_k)=1/k$. მაშინ

$$E(a)_{\text{მაქს.}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \log(1/k) = \log k, \text{ ბიტი/შეტყობინება.}$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს, თანაბარალბათური შეტყობინებების შემთხვევაში ენტროპია იზრდება წყაროს მიერ გაცემულ შეტყობინებათა რაოდენობის ზრდასთან ერთად. არათანაბარალბათური ელემენტარული a_i შეტყობინებების შემთხვევაში ენტროპია, შესაბამისად, მცირდება;

– ორობითი ($k=2$) წყაროს ენტროპია შეიძლება იცვლებოდეს ნულიდან ერთამდე. მართლაც, ორო a_1 და a_2 შეტყობინების მაფორმირებელი წყაროს ენტროპია

$$E(a) = -p(a_1) \cdot \log p(a_1) - p(a_2) \cdot \log p(a_2) = p(a_1) \cdot \log p(a_1) + [1 - p(a_1)] \cdot \log [1 - p(a_1)].$$

როგორც ჩანს, ენტროპია ნულის ტილია, თუ $p(a_1)=0$ და $p(a_2)=1$, ან თუ $p(a_1)=1$ და $p(a_2)=0$. ამასთანავე ენტროპია მაქსიმალურია, ანუ 1 ბიტის ტოლია იმ შემთხვევაში, როდესაც $p(a_1)=p(a_2)=1/2$.

ენტროპიის ცნების საშუალებით ინფორმაციის თეორია ცალკეულ შეტყობინებათა (სიმბოლოთა, ელემენტთა და ა.შ.) მნიშვნელობათა ალბათობების განსაზღვრის საშუალებით გვიჩვენებს აღნიშნული შეტყობინებებისაგან შედგენილი სიგნალის საუკეთესო შეკუმშვის (კომპრესიის) გზას ანუ იმას, თუ რამდენი მინიმალურად აუცილებელი ბიტების რაოდენობაა საშუალოდ საკმარისი ამ სიგნალის უდანაკარგოდ წარმოდგენისათვის. ეს კი იძლევა შეტყობინებათა წყაროს და შესაბამისი სიგნალის ოპტიმალური (ეკონომიური) კოდირების განხორციელების საშუალებას სიგნალში არსებული სიჭარბის შეკუმშვის (კომპრესიის) გზით, რაც ტელეკომუნიკაციის თეორიისა და სისტემების ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს ინფორმაციის უწყვეტად მზარდი ნაკადების გადაცემისა და შენახვის აუცილებლობის პირობებში და ეს მაშინ, როდესაც როგორც გადამცემი საშუალებების (მიმართველი სისტემების) გამტარუნარიანობა, ასევე მახსოვრობის მოწყობილობების ტევადობა შეზღუდულია.

ეკონომიური კოდირების განხორციელების შესაძლებლობა ვაჩვენოთ მარტივ მაგალითზე. განვიხილოთ ქართული ანბანის აბგდე ასონიშნების ერთობლიობა, რომელშიც ასონიშნების ალბათობებია შესაბამისად: $p_1=0,5$; $p_2=0,2$; $p_3=0,1$; $p_4=0,1$ და $p_5=0,1$. მაშინ აააააბგდე სტრიქონისათვის ($k=5$) ენტროპია

$$E = \sum_{i=1}^k p_i \log p_i = -p_1 \cdot \log p_1 - p_2 \cdot \log p_2 - p_3 \cdot \log p_3 - p_4 \cdot \log p_4 - p_5 \cdot \log p_5 =$$

$$= -0,5 \log 0,5 - 0,2 \log 0,2 - 0,1 \log 0,1 - 0,1 \log 0,1 - 0,1 \log 0,1 = 1,96096 \text{ ბიტი/ასონიშანი.}$$

თუ ბიტების რაოდენობას წარმოვადგენთ მთელი რიცხვებით, მაშინ მიღებული წილადი რიცხვი უნდა დავამრგვალოთ მომდევნო მთელ რიცხვამდე, ანუ $[1,96096]=2$ ბიტი/ასონიშანი ([.] აღნიშნავს დამრგვალებას მომდევნო მთელ რიცხვამდე).

სტრიქონში ასონიშნები რომ თანაბარალბათური ყოფილიყო, მაშინ საქმე გვექნებოდა ააბგგდდე სტრიქონთან. ამ შემთხვევაში $p_1=p_2=p_3=p_4=p_5=1/k=0,2$ ($k=5$), ხოლო ენტროპია მაქსიმალურია.

$$E_{\text{აბგ}} = -p_1 \cdot \log p_1 - p_2 \cdot \log p_2 - p_3 \cdot \log p_3 - p_4 \cdot \log p_4 - p_5 \cdot \log p_5 = -0,2 \log 0,2 - 0,2 \log 0,2 -$$

$$- 0,2 \log 0,2 - 0,2 \log 0,2 - 0,2 \log 0,2 = -5 \cdot 0,2 \cdot \log 0,2 = \log 0,2 \approx 2,32216 \text{ ბიტი/ასონიშანი.}$$

ან კიდევ $E_{\text{აბგ}} = \log k = \log 5 \approx 2,32216$ ბიტი/ასონიშანი. დამრგვალების შედეგად $E_{\text{აბგ}}=3$ ბიტი/ასონიშანი. მაშასადამე, ასონიშნების თანაბარალბათურობის შემთხვევაში ერთ ასონიშანზე გადაანგარიშებული სიჭარბეა $(3-2)=1$ ბიტი/ასონიშანი. უფრო მეტიც, თუ მხედველობაში მივიღებთ იმ გარემობას, რომ ქართულ ანბანში 33 ასონიშანია ($k=33$), მაშინ მათი თანაბარალბათურობის შემთხვევაში თითოეული მათგანის კოდირებისათვის საჭირო იქნებოდა $[\log k] = [\log 33] \approx [5,04] = 6$ ბიტი/ასონიშანი მაშინ, როდესაც ასონიშნების არათანაბარი ალბათობების გათვალისწინებით განხილულ შემთხვევაში ერთ ასონიშანზე მოდის 2 ბიტი.

შეტყობინებათა წყაროს ზემოთ განხილული მახასიათებლები (ინფორმაციის რაოდენობა და ენტროპია) განსაზღვრული იყო ისეთი წყაროსათვის, რომელიც გამოიმუშავებს ურთიერთდამოუკიდებელი (მარტივი) შეტყობინებების ნაკადს, ანუ წყაროსათვის მახსოვრობის გარეშე. რეალურ შემთხვევებში წყაროს მიერ გამომუშავებული ელემენტარული შეტყობინებების დამოუკიდებლობა საკმაოდ

იშვიათი მოვლენაა. უფრო ხშირად კი პირიქით ხდება – არსებობს ძლიერი კორელაცია, ანუ სტატისტიკური კავშირი ერთი ან რამდენიმე წყაროს შეტყობინების ელემენტებს შორის. მაგალითად, ტექსტის გადაცემისას ცალკეული ასოების გამოჩენის ალბათობები დამოკიდებულია მათ გამოჩენამდე ტექსტში არსებულ (წინმსწრებ) ასოებზე. კერძოდ, ქართული ტექსტისათვის თუ გადაცემულია ასო "ხ", მაშინ მის შემდეგ "ა"-ს გადაცემის ალბათობა გაცილებით მაღალია, ვიდრე "ბ"-სი, ხოლო "ხ"-ს შემდეგ "ჰ" საერთოდ არ გვხვდება ქართულ ტექსტში. მსგავსი სურათი შეინიშნება გამოსახულებათა გადაცემისას, კერძოდ კი გამოსახულების მეზობელი ელემენტები თითქმის ერთნაირი სიკაშკაშისა და ფერისაა.

მონაცემთა გადაცემისა და შენახვისას ასევე ხშირია მრავალი ისეთი წყაროს არსებობა, რომლებიც აფორმირებენ სტატისტიკურად ურთიერთდაკავშირებულ შეტყობინებებს. ასეთი წყაროების მიერ გამომუშავებულ შეტყობინებებს რთული შეტყობინებები, ხოლო შესაბამის წყაროებს – **მახსოვრობიან წყაროებს უწოდებენ.**

სტატისტიკურად ურთიერთდაკავშირებული (ურთიერთკორელირებული) შეტყობინებების ენტროპიისა და ინფორმაციის რაოდენობის განსაზღვრისას არ შეიძლება მხოლოდ უპირობო ალბათობებით შემოფარგვლა. ამ შემთხვევაში აუცილებლად საჭიროა აგრეთვე ცალკეული შეტყობინების გამოჩენის პირობითი ალბათობის გათვალისწინება.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც წყარო გასცემს ერთმანეთზე დამოკიდებულ (ურთიერთკორელირებულ) შეტყობინებებს, რომლის დროსაც წინა a_{i-1}, a_{i-2}, \dots შეტყობინებების მიღებამ შეიძლება შეცვალოს მომდევნო a_i შეტყობინების ალბათობა და, შესაბამისად, შეცვალოს მასში არსებული ინფორმაციის რაოდენობა. ამ შემთხვევაში i -რი შეტყობინების ინფორმაციის რაოდენობა განისაზღვრება მოცემული a_i შეტყობინების გადაცემის პირობითი ალბათობით ცნობილი წინმსწრები (უკვე გადაცემული) a_{i-1}, a_{i-2}, \dots შეტყობინებების საფუძველზე.

$$I(a_i/a_{i-1}, a_{i-2}, \dots) = \log(1/p(a_i/a_{i-1}, a_{i-2}, \dots)),$$

ხოლო მისი ენტროპია

$$E(a_i/a_{i-1}, a_{i-2}, \dots) = M(\log(1/p(a_i/a_{i-1}, a_{i-2}, \dots))).$$

ინფორმაციის თეორიაში დამტკიცებულია, რომ ურთიერთდამოკიდებული შეტყობინებების მაფორმირებელი წყაროს ენტროპია ყოველთვის ნაკლებია დამოუკიდებელი შეტყობინებების წყაროს ენტროპიასთან შედარებით. მაგალითისათვის განვიხილოთ წყარო, რომელიც გამოიმუშავებს ქართული ალფაბეტის აბგ...ჰ ასოებს, რომელთა რაოდენობა $k=33$. ალფაბეტის ყველა ასონიშანს ტექსტში რომ ერთნაირი ალბათობა ქონდეს და ისინი სტატისტიკურად დამოუკიდებელი რომ იყოს, მაშინ ერთ სიმბოლოზე გადაანგარიშებული ინფორმაციის საშუალო რაოდენობა (ენტროპია) მაქსიმალურია, ანუ, როგორც უკვე იყო ნაჩვენები, $E(a)_{\text{საშ.}} = [\log 33] = 6$ ბიტი/ასონიშანი. თუ ახლა გავითვალისწინებთ ტექსტში ასოების გამოჩენის სხვადასხვა ალბათობას, მაშინ საანგარიშო ენტროპიაა $E(a) = 4,39$ ბიტი/ასონიშანი. ორ და სამ მეზობელ ასონიშანს შორის კორელაციის (სტატისტიკური კავშირის) გათვალისწინებით ენტროპია მცირდება $E(a) = 3,52$ ბიტი/ასონიშანამდე და $E(a) = 3,05$ ბიტი/ასონიშანამდე შესაბამისად. რვა და უფრო მეტი რაოდენობის ასონიშანებს შორის კორელაციის გათვალისწინებისას კი ენტროპია შემცირდება $E(a) = 2,0$ ბიტი/ასონიშანამდე.

შევნიშნოთ, რომ ანალოგური (უწყვეტი) სიგნალების დროითი დისკრეტიზაციის შედეგად მიღებული დისკრეტული ანათვლების (ელემენტების, პიკსელების) ერთობლიობისათვის ენტროპიის განზომილება იქნება ბიტი/ელემენტი (ბიტი/პიკსელი).

კოდერს, რომელიც უზრუნველყოფს სიგნალის შეკუმშვას (კომპრესიას) ინფორმაციული დანაკარგების გარეშე, ენტროპიული კოდერი ეწოდება. ცხადია, რომ ენტროპიული კოდირება – ესაა კოდირება ინფორმაციული დანაკარგების გარეშე ანუ მსგავს შემთხვევებში საქმე გვაქვს უდანაკარგო კოდირებასთან (უდანაკარგო კომპრესიასთან). თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო სისტემებში ფართოდ გამოიყენება კოდირება ინფორმაციის ნაწილობრივი დანაკარგებით, რომლის დროსაც ითვალისწინებენ მიმღების (ადამიანის) სმენის და მხედველობის სუბიექტური აღქმის თავისებურებებს, რის შედეგადაც დასაშვებადაა მიჩნეული სიგნალში არსებული ინფორმაციის იმ ნაწილის დაკარგვა, რომელიც შეუმჩნეველია ან არაარსებითია მიმღებისათვის. ცხადია, რომ უდანაკარგო კოდირებასთან

შედარებით კოდირება ნაწილობრივი დანაკარგებით კომპრესიის თვალსაზრისით ხასიათდება მეტი ეფექტურობით.

ამრიგად, შეტყობინებათა წყაროების და შესაბამისი სიგნალების ინფორმატიულობის შესახებ შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

– ენტროპია და ინფორმაციის რაოდენობა მით მეტია, რაც უფრო დიდია წყაროს მიერ გაცემული შეტყობინებების რაოდენობა;

– ენტროპია დამოკიდებულია შეტყობინებათა სტატისტიკურ თვისებებზე. ენტროპია მაქსიმალურია, თუ წყაროს შეტყობინებები თანაბარალბათური და სტატისტიკურად დამოუკიდებელია;

– იმ წყაროს ენტროპია, რომელიც გამოიმუშავებს არათანაბარალბათურ შეტყობინებებს, ყოველთვის ნაკლებია ენტროპიის მაქსიმალურ სიდიდესთან შედარებით;

– ელემენტარულ შეტყობინებებს შორის სტატისტიკური კავშირების არსებობისას მისი ენტროპია მცირდება. თანაც რაც უფრო ძლიერია კორელაცია (სტატისტიკური კავშირი), მით ნაკლებია ენტროპია.

აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ ენტროპია თეორიულად ინფორმაციის ის მინიმალური რაოდენობაა, რომელიც საკმარისია სიგნალისა და შესაბამისი შეტყობინების უდანაკარგო აღწარმოებისათვის (აღდგენისათვის).

3. კორელაცია. კორელაციის კოეფიციენტი ρ . რეალური სატელეკომუნიკაციო როგორც ბგერითი, ასევე გამოსახულებათა შეტყობინებები და შესაბამისი სიგნალები ძლიერ კორელირებულნი არიან, რაც იძლევა მათი ეკონომიური კოდირების შესაძლებლობას. სიგნალების ცალკეულ ელემენტებს შორის კორელაციის ხარისხი ფასდება კორელაციის კოეფიციენტით ρ . მაგალითად, უწყვეტი სიგნალის დროითი დისკრეტიზაციის შედეგად მიღებულ დისკრეტულ N რაოდენობის ორ მეზობელ ანათვალს (პიკსელს) შორის კორელაცია (ისინი მოცემულ შემთხვევაში განიხილება როგორც N რაოდენობის a_i ($i=1,2,\dots,N$) შეტყობინება)

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (a_i \cdot a_{i+1})}{\sum_{i=1}^{N-1} (a_i)^2} .$$

თუ, მაგალითად, $\rho=0,95$ (იგი უმთავრესად ასეთია რეალური სატელეკომუნიკაციო სიგნალებისათვის), მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ სიგნალის მეზობელი პიქსელების მნიშვნელობები ერთმანეთს ემთხვევა $0,95$ ალბათობით. კორელაციის კოეფიციენტი მაქსიმალურია იმ შემთხვევაში, როდესაც წყაროს მიერ გაცემული ყველა შეტყობინება ერთი და იგივეა ან შეტყობინების შესაბამისი სიგნალის დისკრეტული ანათვლების (პიქსელების) მნიშვნელობები ერთნაირია. ამ შემთხვევებში $\rho_{\text{სიგნ.}}=1$.

4. შეტყობინებათა წყაროსა და შესაბამისი სიგნალის სიჭარბე γ . როგორც ცნობილია, თანაბარალბათური და ურთიერთდამოუკიდებელი (არაკოლერირებული) შეტყობინებების წყაროს ენტროპია მაქსიმალურია

$$E_{\text{სიგნ.}} = \log k.$$

იმ შემთხვევაში კი, თუ შეტყობინებები არათანაბარალბათურია, მაშინ ერთ შეტყობინებაზე გადაანგარიშებული ინფორმაციის საშუალო რაოდენობა (რეალური ენტროპია) ნაკლებია $E_{\text{სიგნ.}}$ -ზე. უფრო მეტიც, თუ ამავე დროს შეტყობინებები სტატისტიკურად დამოკიდებულია ერთმანეთზე (კორელირებულნი ანუ ურთიერთდამოკიდებულნი არიან), მაშინ ენტროპია კიდევ უფრო მცირდება, თანაც მცირდება მით უფრო მეტად, რაც მეტია კორელაციის ხარისხი. აღნიშნულთან დაკავშირებით შემოაქვთ შეტყობინებათა წყაროს სიჭარბის ცნება (γ).

$$\gamma = 1 - E(a) / E(a)_{\text{სიგნ.}} = 1 - E(a) / \log k,$$

სადაც $E(a)$ წყაროს რეალური ენტროპიაა, $\log k$ მაქსიმალური ენტროპიაა იმ წყაროსათვის, რომლის ელემენტთა რაოდენობაა k . ამიტომ ლიტერატურული ტექსტის შემთხვევაში, როდესაც მაქსიმალური ენტროპია $E(a)_{\text{სიგნ.}}=5$ ბიტი/ასონიშანი, და რეალური ენტროპია $E(a)=2$ ბიტი/ასონიშანი, მაშინ სიჭარბე

$$\gamma = 1 - (2 \text{ ბიტი/ასონიშანი}) / (5 \text{ ბიტი/ასონიშანი}) = 0,6.$$

სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, კავშირის არხით ტექსტის გადაცემისას ათი გადაცემულიდან ყოველი ექვსი ასონიშანი არ ატარებს არავითარ ინფორმაციას (სიჭარბე 60%-ია) და ამიტომ ისინი შეიძლება არ გადაიცეს ყოველგვარი დანაკარგის გარეშე. ასეთივე, თუ უფრო მეტი არა სიჭარბე ($\gamma=0,9\dots 0,95$) გააჩნია ინფორმაციის სხვა (სიტყვა, განსაკუთრებით კი მუსიკა, სატელევიზიო გამოსახულებები და სხვა)

წყაროებს. სიდიდეს $v=E(a)_{\text{მავს}}/E(a)$ შეიძლება ვუწოდოთ სიჭარბის კომპრესიის ფაქტორი, ხოლო მის შებრუნებულ სიდიდეს – კომპრესიის კოეფიციენტი. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ისმის სრულიად სამართლიანი შეკითხვა: საჭიროა კი დავაკავოთ ინფორმაციის მატარებელი ან კავშირის არხი იმ სიმბოლოების გადაცემით, რომლებსაც პრაქტიკულად არავითარი ინფორმაცია არ გადააქვთ, ან კიდევ შესაძლებელია თუ არა საწყისი შეტყობინების ისეთი გარდაქმნა, რომ ინფორმაცია "ჩაეტოს" ამისათვის საჭირო სიმბოლოების მინიმალურ რაოდენობაში?

აღმოჩნდა, რომ არა მარტო შესაძლებელია დასმულ კითხვაზე დადებითი პასუხის არსებობა, არამედ აუცილებელიცაა. დღეისათვის ინფორმაციის გადაცემისა და კავშირის მრავალი არსებული სისტემა უბრალოდ ვერ იმუშავებდა, მათში რომ არ ხორციელდებოდა ეფექტური (ეკონომიური) კოდირება. არ იარსებებდა GSM და CDMA სტანდარტების ციფრული ფიჭური კავშირი, არ იმუშავებდა ციფრული თანამგზავრული ტელეხედვის სისტემები, ძალზე არაეფექტური იქნებოდა Internet-ის მუშაობა, ხოლო რაც შეეხება ლაზერული დისკიდან ვიდეოფილმის ნახვას ან კარგი მუსიკის მოსმენას, ამაზე ლაპარაკიც კი ვერ იქნებოდა. ყოველივე ეს უზრუნველყოფილი ხდება აღნიშნულ სისტემებში ინფორმაციის ეფექტური, ანუ ეკონომიური კოდირების რეალიზაციით, რომლის მაგალითები უკვე (ენტროპიული კოდირება) იყო განხილული. სატელეკომუნიკაციო სიგნალების ეკონომიური (როგორც უდანაკარგო, ასევე ნაწილობრივი დანაკარგებით) კოდირება ხორციელდება მთელი რიგი მეთოდებით, კერძოდ, არითმეტიკული კოდირებით, კოდირებით ჰაფმანის ცხრილების გამოყენებით, კოდირების მეთოდებით წინასწარმეტყველებით (დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია და დელტა-მოდულაცია), კოდირებით წრფივი გარდასახვების გამოყენებით და სხვა.

5. შეტყობინების წყაროს მწარმოებლობა O (ინგლისური სიტყვიდან **Output_მწარმოებლობა**). ინფორმაციის ზოგიერთი წყარო შეტყობინებებს გასცემს ფიქსირებული სიჩქარით და ამისათვის ის თითოეულ შეტყობინებაზე ხარჯავს საშუალოდ T დროს. შეტყობინების წყაროსა და შესაბამისი სიგნალის ამ თვისების დასახასიათებლად შემოაქვთ წყაროს მწარმოებლობის ცნება, რომელიც წარმოადგენს

დროის ერთეულში (მაგალითად, ერთ წამში) გადაცემული შეტყობინებების ჯამურ ენტროპიას:

$$O = E(a)/T, \text{ ბიტი/წმ.}$$

შეტყობინების ზოგიერთი წყაროებისათვის შეტყობინებათა გადაცემის სიჩქარე განისაზღვრება თავად სატელეკომუნიკაციო სისტემით. ასეთი მართვადსიჩქარიანი სისტემებისათვის მწარმოებლობა რეგულირდება ფართო დიაპაზონში T -ს ცვლილების ხარჯზე. ასეთი სისტემის მაგალითია ქალაქდზე დაწერილი ტექსტი, რომელიც გადაიცემა ტელეგრაფით. ფიქსირებულსიჩქარიანი წყაროს მაგალითი კი მიმწოდია კოსმოსურ ხომალდზე, რომელიც ყოველ 10 წუთში დედამიწაზე გადასცემს მონაცემებს ჰაერის ტემპერატურის, წნევისა და ა.შ. შესახებ.

შეტყობინებათა ანალოგური წყაროს და შესაბამისი სიგნალების მწარმოებლობა განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$O_s = \Delta F_s \log(1 + W_{s\text{ს}}/W_b), \text{ ბიტი/წმ,}$$

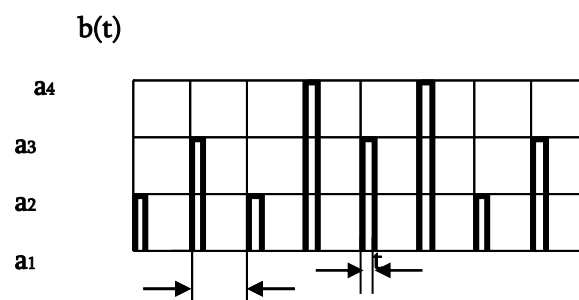
სადაც ΔF_s სიგნალის სპექტრის სიგანეა ჰერცებში (ჰც), ხოლო $W_{s\text{ს}}$ და W_b _ სიგნალის საშუალო და არხში მოქმედი ხმაურების სიმძლავრეა შესაბამისად. ეს უკანასკნელი, როგორც ცნობილია, კავშირის ხარისხის განმსაზღვრელ მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოადგენს.

შეტყობინებათა ციფრული წყაროს და შესაბამისი სიგნალის მწარმოებლობა

$$O_c = F_b \sum_{i=1}^k p_i \log p_i, \text{ ბიტი/წმ,}$$

სადაც: F_b ციფრულ მიმდევრობაში მნიშვნელობათა გამეორების, ანუ ტაქტური სიხშირეა ჰერცებში ($F_b = 1/T_b$); k _ სიგნალის დასაშვები დონეების რაოდენობაა, ხოლო p_i _ i -ური დონის მნიშვნელობათა ალბათობაა.

ნახ. 10-ზე წარმოდგენილია დისკრეტული სიგნალის ნიმუში, როდესაც $k=4$.



$$T_0 \quad t_0$$

ნახ. 10. ოთხდონიანი ციფრული სიგნალის გრაფიკი

იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა დონის მნიშვნელობები თანაბარალბათურია, ე.ი. როდესაც $p_i = 1/k$, მაშინ

$$O_0 = F_0 \log k, \text{ ბიტი/წმ.}$$

როდესაც საქმე გვაქვს ორობით ციფრულ, ანუ იმპულსურ-კოდურად მოდულირებულ (იკმ) სიგნალთან (იხ. ნახ. 1.6), მაშინ $k=2$. ამიტომ იკმ სიგნალის წყაროს მწარმოებლობა O_{00} რიცხობრივად ტაქტური F_0 სიხშირის ტოლია.

შევნიშნოთ, რომ ზოგიერთი ავტორი მწარმოებლობას განიხილავს როგორც ინფორმაციის რაოდენობას, რაც მისაღებად შეიძლება ჩაითვალოს, ვინაიდან მწარმოებლობა ფაქტიურად წყაროს მიერ დროის ერთეულში გამომუშავებული და გადაცემული ინფორმაციის რაოდენობაა.

6. დისკრეტული (ციფრული) სიგნალების გადაცემის სიჩქარე. დისკრეტული (მათ შორის ციფრული) სიგნალებისათვის უმთავრეს პარამეტრს წარმოადგენს გადაცემის სიჩქარე, რომელიც გამოითვლება დროის ერთეულში (მაგალითად, ერთ წამში) გადაცემული იმპულსების რაოდენობით. თუ ერთი იმპულსის ხანგრძლივობაა t_0 , და იმპულსები გადაიცემა ერთმანეთის მიყოლებით (პაუზის გარეშე), მაშინ გადაცემის სიჩქარე

$$B = 1/t_0, \text{ იმპ/წმ (ბოდი),}$$

სიჩქარის ერთეულს სხვანაირად ბოდი ეწოდება. მამასადადამე, ბოდი არის ერთ წამში გადაცემული იმპულსების რაოდენობა. იგი გამოიყენება ტელეგრაფისა და მონაცემების გადაცემის სიგნალებისათვის.

ორობით ციფრულ სიგნალებში ($k=2$) გადაცემულ იმპულსებს უწოდებენ სიმბოლოებს ან ბიტებს, ამიტომ სიგნალის გადაცემის სიჩქარის განზომილებაა ბიტი/წმ.

როგორც უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, გადაცემის სიჩქარე უკუპროპორციულია იმპულსების ხანგრძლივობისა. პრაქტიკულად ასეთი სიგნალების სპექტრული შემდგენების (ჰარმონიკების) ძირითადი ენერგია თავმოყრილია სიხშირეთა დიაპაზონში, რომელიც არ აღემატება $1/t_0$ -ს. ვინაიდან $1/t_0$

არის სიგნალის გადაცემის სიჩქარე, ამიტომ რაც უფრო მეტია იგი, მით უფრო განიერი სიხშირული ზოლი უჭირავს მას.

7. ტელეკომუნიკაციის სისტემებში გამოყენებული მოდულაციის სახეობები

ტელეკომუნიკაციის თითოეული სახეობის პირველადი $\mathbf{b}(t)$ სიგნალი მიმღებისაკენ უშუალოდ შეიძლება გადაიცეს სათანადო ტექნიკური საშუალებების ერთობლიობის – არხის საშუალებით. შესაბამისად განიხილავენ ტელეფონის, ტელეხედვის და ა.შ. არხებს, რომელთა მახასიათებლები და პარამეტრები ეთანადება შესაბამისი სიგნალის შესაბამის მახასიათებლებსა და პარამეტრებს. ასეთ შემთხვევებში პირველადი სიგნალი $\mathbf{b}(t)$ წარმოადგენს საარხო (მეორეულ) სიგნალსაც. თუმცა, როგორც ცნობილია, პირველადი $\mathbf{b}(t)$ სიგნალი ყოველთვის მოსახერხებელი არაა კავშირის ხაზით უშუალო გადაცემისათვის, ზოგჯერ კი საერთოდ შეუძლებელია მისი გადაცემა. ამიტომ ის გადამცემის (გად.) საშუალებით

გარდაისახება მეორეულ (საარხო) $c(t)$ სიგნალად, რომლის მახასიათებლები კარგად იქნება შეთანხმებული კავშირის ხაზის (მიმმართველი გარემოს) მახასიათებლებთან. ამიტომ მას შეიძლება მესამეული (სახაზო) $d(t)$ სიგნალიც ვუწოდოთ. გარდა ზემოაღნიშნული მიზეზისა, პირველადი სიგნალების გადამცემში გარდაქმნა აუცილებელია, ვინაიდან თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო სისტემები, როგორც წესი, მრავალარხიანია, რაც გულისხმობს ერთი შემაერთებული გარემოს (ხაზის) საშუალებით მრავალი სიგნალის ერთდროულ და ურთიერთდამოუკიდებელ გადაცემას. ამ შემთხვევაში პირველადი სიგნალები გარდაიქმნებიან საარხო სიგნალებად, რომლებსაც, პირველადი სიგნალებისაგან განსხვავებით, გააჩნიათ რეგულირებული პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობები. საარხო სიგნალები შემდგომ ერთიანდებიან ერთი ფართოზოლოვანი სიგნალის სახით. ეს უკანასკნელი კი გადაიცემა შესაბამისი ფართოზოლოვანი არხით. გადამცემებში საარხო $c(t)$ სიგნალის ფორმირება პრაქტიკულად ხორციელდება ანალოგური, დისკრეტული, იმპულსური ან ციფრული მოდულაციების ამა თუ იმ სახეობის გამოყენებით. ნებისმიერ შემთხვევაში მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი ახორციელებს ეგრეთ წოდებული გადამტანი $\xi(t)$ დეტერმინირებული სიგნალის (სამოდულირებელი დამხმარე სიგნალის) რომელიმე პარამეტრის ცვლილებას (მოდულირებას), რის შედეგადაც ფორმირდება საარხო $c(t)$ სიგნალი (მოდულირებული სიგნალი). მიმღებში კი საარხო $c(t)$ სიგნალიდან პირველადი $b(t)$ სიგნალის აღდგენა ხდება დემოდულაციის (დეტექტირების) პროცესის გამოყენებით, რომელიც გადამცემში გამოყენებული მოდულაციის პროცესის ანალოგიურია და რომლის დროსაც გადამტანად გამოიყენება იგივე $\xi(t)$ დამხმარე სიგნალი, რომელიც გადამცემში იყო გამოყენებული.

როგორც ცნობილია, ტელეკომუნიკაციის სისტემის (ნახ. 4) გადამცემში საარხო $c(t)$ სიგნალის ფორმირება შეიძლება განხორციელდეს ანალოგური, დისკრეტული, იმპულსური და ციფრული მოდულაციების ამა თუ იმ სახეობის გამოყენებით. ანალოგური (უწყვეტი) მოდულაციის შემთხვევაში მოდულატორზე (მ) მიწოდებული მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი ზემოქმედებს გადამცემში \square გენერირებულ (გამომუშავებულ) ჰარმონიულ $\xi(t)$ გადამტანზე, რის შედეგადაც

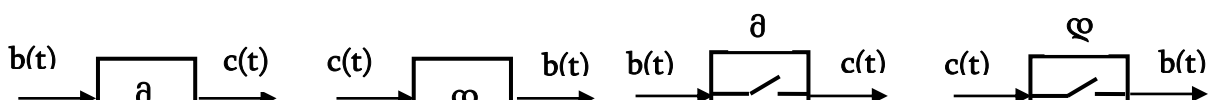
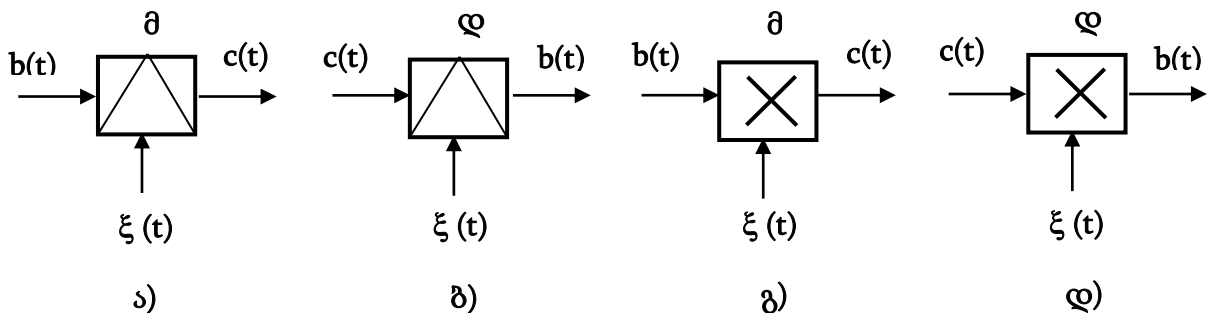
მიიღება საარხო $c(t)$ სიგნალი. მიმდებში კი საწყისი $b(t)$ სიგნალის აღდგენა ხდება მოდულაციის შესაბამისი უკუპროცესის – დემოდულაციის (დეტექტირების) საშუალებით, რომლის დროსაც მამოდულირებელია გადამცემიდან მიღებული $c(t)$ სიგნალი, ხოლო სამოდულირებელია იგივე $\xi(t)$ გადამტანი, რომელიც გამოყენებული იყო გადამცემში. შევნიშნოთ, რომ მოდულაციისა და დემოდულაციის დროს ფაქტიურად ადგილი აქვს მამოდულირებელი და სამოდულირებელი სიგნალების გადამრავლებას. ტელეკომუნიკაციის სისტემის სტრუქტურულ სქემებზე მოდულატორი (მ) და დემოდულატორი ანუ დეტექტორი (დ) აღინიშნება ერთნაირად (ნახ. 11ა,ბ). ვინაიდან მ და დ ფაქტიურად მამოდულირებელი და სამოდულირებელი სიგნალების გადამრავლებლებს წარმოადგენენ, ამიტომ სქემებზე გამოიყენება აგრეთვე 11გ,დ ნახაზებზე ნაჩვენები აღნიშვნებიც. ლიტერატურაში შეიძლება შეგვხვდეს აგრეთვე 11ე,ვ ნახაზებზე წარმოდგენილი აღნიშვნებიც. იმპულსური სისტემების სქემებში მ და დ შეიძლება აღინიშნოს ისე, როგორც ეს 11ზ,თ ნახაზებზეა წარმოდგენილი.

უმრავლეს შემთხვევაში გადამტანი $\xi(t)$ დეტერმინირებული სიგნალია და იგი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს n რაოდენობის პარამეტრით განსაზღვრული დროითი $\xi(t, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ ფუნქციით. ეს ფუნქცია, როგორც წესი, პერიოდულია და ამიტომაც მას აქვს დისკრეტული სპექტრი. შედარებით გავრცელებულია ჰარმონიული (სინუსოიდური) და იმპულსური გადამტანები.

ჰარმონიული გადამტანის შემთხვევაში (ნახ. 12ა) –

$$\xi(t) = U_{\xi} \cos(\omega_{\xi} t + \phi_{\xi}),$$

რომელიც განისაზღვრება სამი პარამეტრით: ამპლიტუდით U_{ξ} , კუთხური სიხშირით ω_{ξ} და საწყისი ფაზით ϕ_{ξ} . როგორც ცნობილია, $\omega_{\xi} = 2\pi f_{\xi}$, სადაც f_{ξ} მიმდინარე სიხშირეა, რომელიც იზომება ჰერცებში (ჰც), კილოჰერცებში (კჰც), მეგაჰერცებში (მჰც), გიგაჰერცებში (გჰც) და ა.შ.

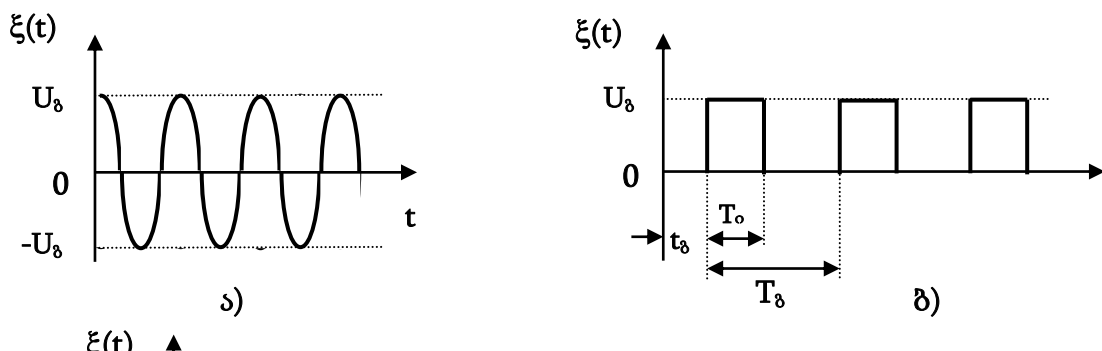


ნახ. 11. მოდულატორისა (მ) და დემოდულატორის (დ) სქემური აღნიშვნები

გადამტანის როლში იმპულსების პერიოდული მიმდევრობის გამოყენების შემთხვევაში (ნახ. 12ბ) –

$$\xi(t) = U_{\delta} \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_1(t - t_{\delta} - iT_{\delta}),$$

სადაც $f_1(t)$ ერთეულოვანი იმპულსის ფორმის აღმწერი ფუნქციაა. იმპულსების ეს მიმდევრობა (ვიდეოიმპულსების მიმდევრობა) აღიწერება უკანასკნელ ფორმულაში უშუალოდ შემავალი სამი პარამეტრით (იმპულსების ამპლიტუდით U_{δ} , მათი გამეორების T_{δ} პერიოდით ან სიხშირით $f_{\delta} = 1/T_{\delta}$, და, აგრეთვე, იმპულსების T_{δ} ხანგრძლივობით, საწყისი დროითი t_{δ} ფაზით, ანუ ათვლის სისტემის მიმართ დროითი ძვრით და ზოგადად ერთეულოვანი $f_1(t)$ იმპულსის ფორმის სხვა დანარჩენი პარამეტრებით. უმრავლეს შემთხვევაში ერთპოლარული სწორკუთხა ფორმის იმპულსების აღნიშნული მიმდევრობა განისაზღვრება მხოლოდ ზემოთ ჩამოთვლილი ოთხი პარამეტრით. თუმცა $f_1(t)$ შეიძლება წარმოადგენდეს აგრეთვე ჰარმონიული რხევის ნაწილს (მას რადიოიმპულსი ეწოდება), რომელსაც გააჩნია დამატებითი პარამეტრები (იმპულსების შევსების სიხშირე და ფაზა). რადიოიმპულსების მიმდევრობის ნიმუში ნაჩვენებია ნახ. 12გ-ზე.



0
0 t

ნახ. 12. ჰარმონიული რხევითი (ა), ვიდეო (ბ) და რადიოიმპულსების (გ) მიმდევრობებით წარმოდგენილი $\xi(t)$ გადამტანების დროითი დიაგრამები

ტელეკომუნიკაციის ზოგიერთ სისტემაში გამოიყენება ეგრეთ წოდებული ხმაურის მსგავსი გადამტანები, რომლებიც შემთხვევით პროცესებს წარმოადგენენ. ამ შემთხვევაში გადამტანის პარამეტრების როლში გვევლინება შემთხვევითი პროცესის რიცხვითი მახასიათებლები.

მოდულაციის არსი მდგომარეობს $b(t)$ -ს ზემოქმედების შესაბამისად $\xi(t)$ გადამტანის ერთი ან რამდენიმე პარამეტრის ცვლილებაში.

მოდულირებული $c(t)$ სიგნალი, რომელიც წარმოადგენს გარდაქმნელის გამოძახილს $b(t)$ -ს ზემოქმედებაზე, ზოგადად შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$c(t) = f[t, \alpha_1(t), \alpha_2(t), \dots, \alpha_n(t)],$$

სადაც $\alpha_i(t) = \Phi_i[b(t)]$ წარმოადგენს i -რ მოდულირებულ პარამეტრს (Φ_i არის i -რი მოდულირებული პარამეტრის ოპერატორი). მოდულირებული პარამეტრის ცვლილებები, როგორც წესი, ზემოქმედების პროპორციულია. ამ შემთხვევაში მოდულირებული პარამეტრის გარდაქმნის ოპერატორი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\alpha_i(t) = \Phi_i[b(t)] = \alpha_i + \Delta\alpha_i b(t),$$

სადაც $\Delta\alpha_i$ - i -რი პარამეტრის დევიაციაა. ასე ხდება, კერძოდ, ზემოაღნიშნული ჰარმონიული და იმპულსური გადამტანების მოდულაციის შედარებით

გავრცელებული სახეობების შემთხვევაში, როდესაც ხდება მხოლოდ ერთი პარამეტრის მოდულირება.

უნდა აღინიშნოს, რომ მოდულაციას თან სდევს სიგნალის სიხშირული სპექტრისა და დინამიური დიაპაზონის გარდაქმნა. ამ დროს, როგორც წესი, მოდულირებული $c(t)$ სიგნალის სპექტრის სიგანე აღემატება მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალის სპექტრის სიგანეს, ხოლო $c(t)$ -ს შესაბამისი ვექტორები $b(t)$ -ს შესაბამის ვექტორებთან შედარებით განლაგდება უფრო დიდი ზომის სივრცეში.

იმის მიხედვით, თუ სიგნალების რომელ კლასს (**ანალოგურს თუ დისკრეტულს**) მიეკუთვნება მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი და $\xi(t)$ გადამტანი, არჩევენ **ანალოგური, დისკრეტული და იმპულსური** მოდულაციის სხადასხვა სახეობებს. იმ შემთხვევაში, როდესაც მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი და $\xi(t)$ მამოდულირებელი გადამტანი უწყვეტია (ანალოგურია), მაშინ საქმე გვაქვს ანალოგური მოდულაციის ამა თუ იმ სახეობასთან. იმ შემთხვევაში, როდესაც მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი დისკრეტულია, ხოლო $\xi(t)$ გადამტანი უწყვეტია, მაშინ განიხილავენ **დისკრეტული მოდულაციის (მანიპულაციის)** ამა თუ იმ სახეობას, რომელიც გამოიყენება რადიოკავშირის სისტემებში. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი უწყვეტია, ხოლო $\xi(t)$ გადამტანი დროში დისკრეტულია (იმპულსურია), მაშინ განიხილება იმპულსური მოდულაციის ესა თუ ის სახეობა. გადამტანი $\xi(t)$ -ს მამოდულირებელი პარამეტრის (ამპლიტუდა, სიხშირე, ფაზა და ა.შ.) მიხედვით არჩევენ **ანალოგური, დისკრეტული და იმპულსური მოდულაციის სხადასხვა სახეობებს**. ანალოგური მოდულაციის ძირითადი სახეობებია: ამპლიტუდური მოდულაცია (**ამ**), სიხშირული მოდულაცია (**სმ**) და ფაზური მოდულაცია (**ფმ**). ანალოგური მოდულაციის სახეობები ძირითადად გამოიყენება ტელეკომუნიკაციის ანალოგურ სისტემებში. დისკრეტული მოდულაციის სახეობებია: დისკრეტულ-ამპლიტუდური მოდულაცია (**დამ**), დისკრეტულ-სიხშირული მოდულაცია (**დსმ**) და დისკრეტულ-ფაზური მოდულაცია (**დფმ**). იმპულსური მოდულაციის სახეობებია: ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაცია (**აიმ**), განივ-იმპულსური (**გიმ**), ფაზო-იმპულსური მოდულაცია (**ფიმ**), სიხშირულ-იმპულსური მოდულაცია (**სიმ**) და პერიოდულ-

იმპულსური მოდულაცია (პიმ). გარდა მოდულაციის ზემოაღნიშნული სახეობებისა, ტელეკომუნიკაციის ციფრულ სისტემებში გამოიყენება ციფრული მოდულაციის სახეობები: იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (იკმ) და სხვაობითი იკმ-ის ისეთი ნაირსახეობები, როგორცაა დელტა-მოდულაცია (დმ) და დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (დიკმ). შევნიშნოთ, რომ სიხშირული და ფაზური მოდულაციების სახეობებს ზოგადად კუთხურ მოდულაციას (კმ) უწოდებენ. განიხილება და პრაქტიკაში გამოიყენება აგრეთვე მოდულაციის შერეული სახეობებიც.

სამოდულაციო პარამეტრზე დადგენილი კანონით (იხ., მაგალითად, ზემოთ მოყვანილი უკანასკნელი ფორმულა) სიგნალის ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს გადამტანის სხვა პარამეტრების ცვლილებაც აღნიშნული ფორმულისაგან განსხვავებული კანონით. მაგალითად, ჰარმონიული გადამტანის სიხშირულ მოდულაციას (სმ) თან სდევს გადამტანის საწყისი ფაზის ცვლილება და პირიქით. თუმცა გადამტანის რამდენიმე პარამეტრზე ერთდროული ზემოქმედება (რისი ერთნაირი კანონით განხორციელება არასავალდებულოა) შეიძლება განხორციელდეს წინასწარგანზრახვით. ასეთ შემთხვევაში საქმე გვაქვს შერეული მოდულაციის რომელიმე, მაგალითად, ჰარმონიული გადამტანის შემთხვევაში ამპლიტუდურ-სიხშირულ (ასმ) ან ამპლიტუდურ-ფაზურ (აფმ) სახეობასთან.

ზოგჯერ მოდულაცია ხორციელდება რამდენიმე ეტაპად: თავდაპირველად მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი ამოდულირებს რომელიმე ქვეგადამტან რხევას, ხოლო შემდეგ მოდულირებული სიგნალი ზემოქმედებს ძირითად გადამტანზე. მოდულაციის ამ სახეობის მაგალითებია: სმ-ამ (სიხშირული მოდულაცია-ამპლიტუდური მოდულაცია), ამ-სმ (ამპლიტუდური მოდულაცია-სიხშირული მოდულაცია), გიმ-ფმ (განივ-იმპულსური მოდულაცია-ფაზური მოდულაცია) და ა.შ.

მოდულირებული სიგნალების გადაცემისათვის ტელეკომუნიკაციის ხაზის სწორად შერჩევის მიზნით საჭიროა გადასაცემი სიგნალების ისეთი მახასიათებლების ცოდნა, როგორცაა პიკური და საშუალო სიმძლავრე და, აგრეთვე, ენერგეტიკული სპექტრი. მოდულირებული სიგნალების ეს

მახასიათებლები განსხვავდება მამოდულირებელი სიგნალების შესაბამისი მახასიათებლებისაგან. მოდულაციის სხვადასხვა სახეობისათვის მამოდულირებელი და მოდულირებული სიგნალების მახასიათებლების თანაფარდობები სხვადასხვაა. მაგალითად, სმ სიგნალის სპექტრის სიგანე აღემატება ამ სიგნალის სპექტრის სიგანეს მიუხედავად იმისა, რომ ორივე შემთხვევაში მოდულაცია ხორციელდება ერთი და იგივე მამოდულირებელი სიგნალით.

შეტყობინებები და შესაბამისი პირველადი სიგნალები აღიწერება შემთხვევითი პროცესების მახასიათებლებით, რის გამოც მოდულირებული სიგნალებიც შემთხვევითი სიგნალების ჯგუფს მიეკუთვნება. ამიტომ მოდულირებული სიგნალების ზემოაღნიშნული მახასიათებლების განსაზღვრისათვის საჭიროა შემთხვევითი პროცესების თეორიის მეთოდების გამოყენება. თუმცა მოდულირებული სიგნალების მახასიათებლების შესახებ უფრო ნათელი წარმოდგენა შეიძლება შეიქმნას, თუ ჩავთვლით, რომ მოდულაცია ხორციელდება რომელიმე დეტერმინირებული სიგნალით, კერძოდ ჰარმონიული რხევით ან ცნობილი ფორმის იმპულსების პერიოდული მიმდევრობით, რომლებიც შეიძლება განვიხილოთ როგორც შესაძლო შეტყობინებათა ანსამბლის ცალკეული რეალიზაციები. ასეთი მიდგომის შემთხვევაში მარტივდება მოდულირებული სიგნალის მათემატიკური აღწერა, რადგან მისი სპექტრი შეიძლება განისაზღვროს ფურიეს გარდასახვით.

იმ შემთხვევაში, როდესაც მამოდულირებელი სიგნალი ჰარმონიული რხევაა, მაშინ მოდულაციის შესაბამის სახეს ტონალურ მოდულაციას უწოდებენ.

დისკრეტული მოდულაციის (მანიპულაციის) განხილვისას ტიპური დეტერმინირებული მამოდულირებელი სიგნალის როლში მოსახერხებელია სწორკუთხა ფორმის იმპულსების პერიოდული მიმდევრობის გამოყენება. ეს არჩევანი, გარდა მათემატიკური სიმარტივისა, გამართლებულია იმითაც, რომ ასეთი სიგნალები ჩვეულებრივ გამოიყენება პრაქტიკაში ტელეკომუნიკაციის სისტემების გამოცდისა და აგებისათვის.

8. ამპლიტუდური მოდულაცია. სატელეკომუნიკაციო სისტემების აგება სიგნალების სიხშირული მულტიპლექსირებით

სამაგალითოდ განვიხილოთ ანალოგური, იმპულსური და ციფრული მოდულაციების ფართოდ გამოყენებადი სახეობები.

ამპლიტუდური მოდულაციის (ამ) შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, სამოდულირებელს წარმოადგენს გარკვეული სიხშირის სინუსოიდური გადამტანი (გ) სიგნალი. ასეთი გადამტანის შემთხვევაში მოდულირებული $c(t)$ სიგნალის ამპლიტუდისა და თვით $c(t)$ სიგნალისათვის სამართლიანია შემდეგი ფორმულები:

$$U_g(t) = U_g + \Delta U b(t),$$

$$c(t) = [U_g + \Delta U b(t)] \cos(\omega_g t + \phi_g) = U_g [1 + \Delta U b(t)/U_g] \cos(\omega_g t + \phi_g) = U(t) \cos(\omega_g t + \phi_g).$$

ფორმულაში ფარდობას $\Delta U/U_g = m$ უწოდებენ მოდულაციის სიღრმის კოეფიციენტს.

13ა,ბ,გ ნახაზებზე წარმოდგენილია არადეტერმინირებული (შემთხვევითი) მამოდულირებელი $b(t)$, სამოდულირებელი $\xi(t)$ და ამ-ის შედეგად მიღებული

მოდულირებული $c(t)=b_a(t)$ სიგნალების დროითი დიაგრამები იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $m=1$. ამ პირობის შესრულება უზრუნველყოფს სიგნალის გადაცემისას დამახინჯებების თავიდან აცილებას.

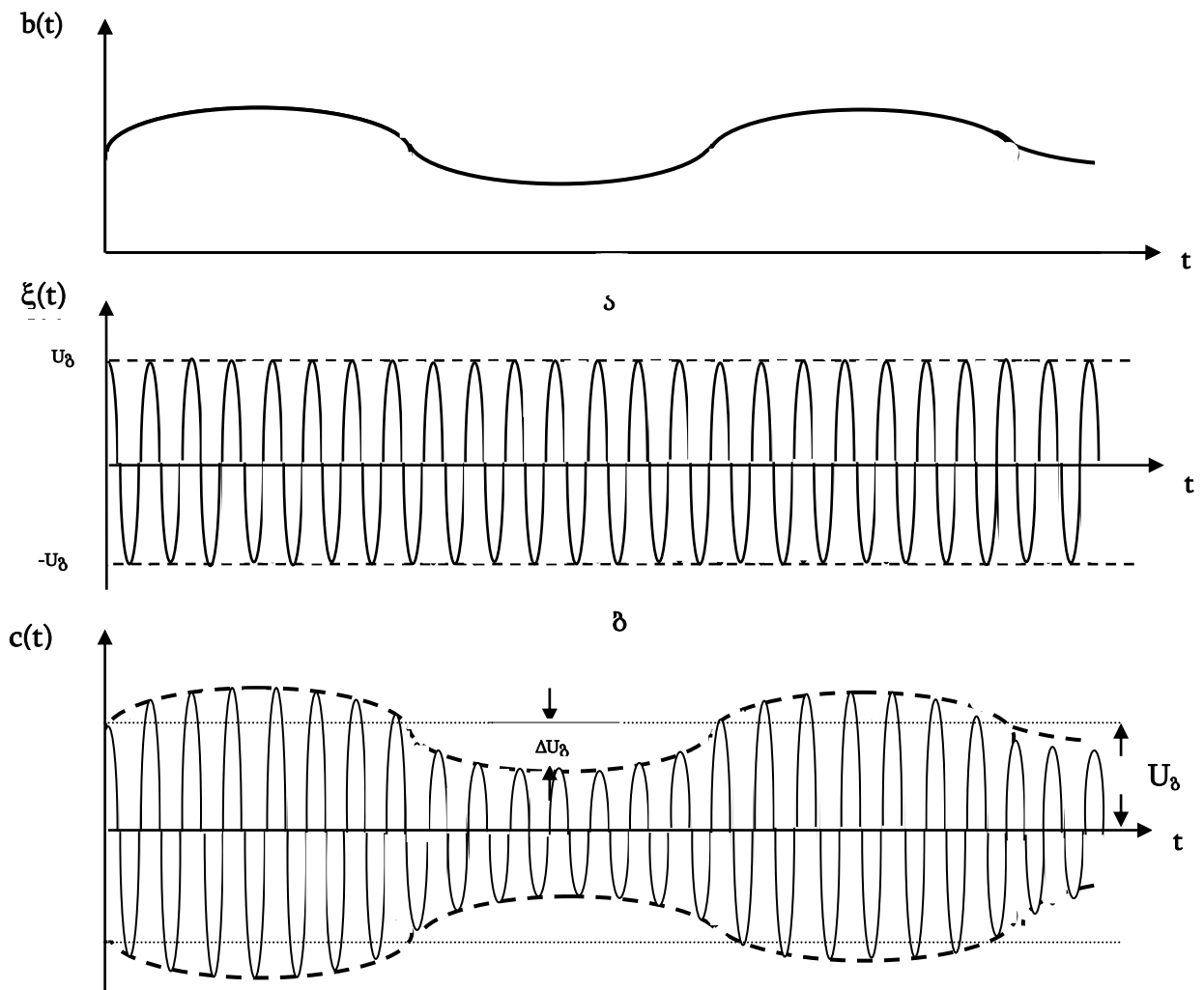
ამ სიგნალის სპექტრული დიაგრამის აგებისათვის ანალიზის გამარტივების მიზნით ჩავთვალოთ, რომ მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი ჰარმონიულია (სინუსოიდურია), რომლის ამპლიტუდა $U=1$ და საწყისი ფაზა $\varphi=0$. ამ შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, საქმე გვაქვს ტონალურ მოდულაციასთან.

0-ის ტოლად ჩავთვალოთ აგრეთვე სამოდულირებელი $\xi(t)$ ჰარმონიული გადამტანის საწყისი ფაზა ($\varphi_0=0$). 13ა,ბ ნახაზებზე წარმოდგენილია მამოდულირებელი $b(t)$ და $\xi(t)$ გადამტანი ჰარმონიული რხევების სპექტრული დიაგრამები შესაბამისად. თუ მხედველობაში მივიღებთ ზემოაღნიშნულს, მაშინ შესაბამისი ფორმულები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$b(t)=\text{Cos}\Omega t \quad \text{და} \quad \xi(t)=U_0\text{Cos}\omega_0 t.$$

ამ შემთხვევაში ამპლიტუდურად მოდულირებული (ამ) სიგნალის შესაბამისი ფორმულა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი გამარტივებული სახით:

$$c(t)=[U_0+\Delta U b(t)]\text{Cos}\omega_0 t=U_0[1+\Delta U b(t)/U_0]\text{Cos}\omega_0 t=U(t)\text{Cos}\omega_0 t.$$



ნახ. 13. მამოდულირებელი $b(t)$ (ა), სამოდულირებელი $\xi(t)$ (ბ) და ამპლიტუდურად მოდულირებული $c(t)$ (გ) სიგნალების დროითი დიაგრამები

ვინაიდან მოდულაციის სიღრმის კოეფიციენტი $m=\Delta U/U_0$ და ზემოაღნიშნული დაშვების თანახმად $b(t)=\text{Cos}\Omega t$, ამიტომ უკანასკნელი ფორმულა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

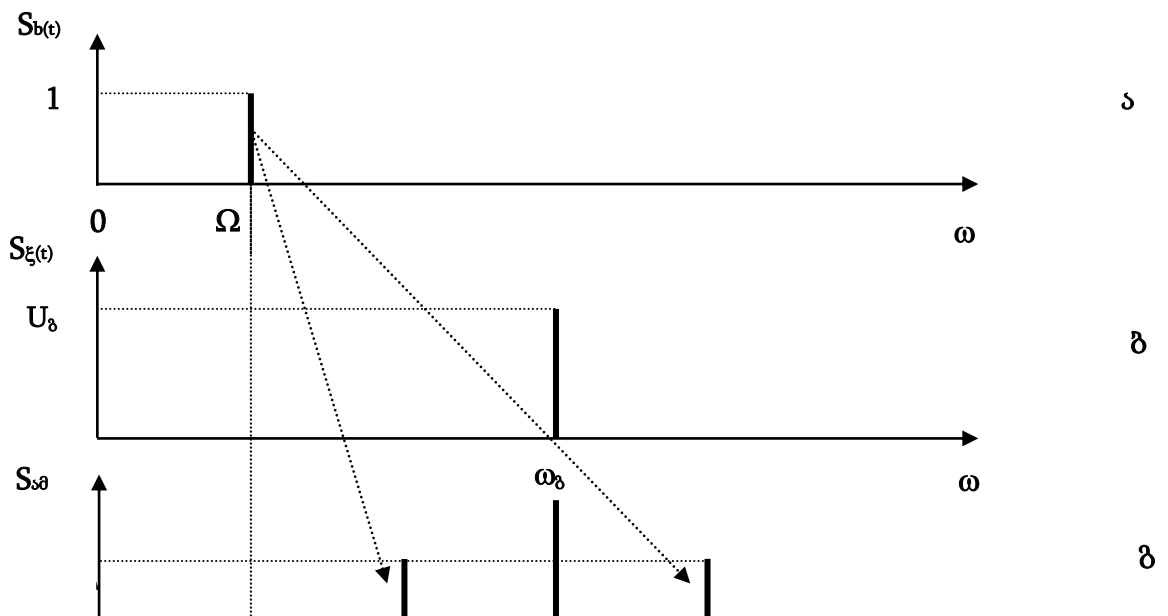
$$c(t)=b_{\text{am}}(t)=U_0 \text{Cos}\omega_0 t + mU_0 (\text{Cos}\omega_0 t)(\text{Cos}\Omega t) .$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\text{Cos}\alpha \text{Cos}\beta = 1/2 [\text{Cos}(\alpha-\beta) + \text{Cos}(\alpha+\beta)]$, მაშინ ეს ფორმულა შეიძლება შემდეგი სახითაც წარმოვადგინოთ:

$$c(t)=b_{\text{am}}(t)=U_0 \text{Cos}\omega_0 t + [mU_0 \text{Cos}(\omega_0 - \Omega)]/2 + [mU_0 \text{Cos}(\omega_0 + \Omega)]/2 .$$

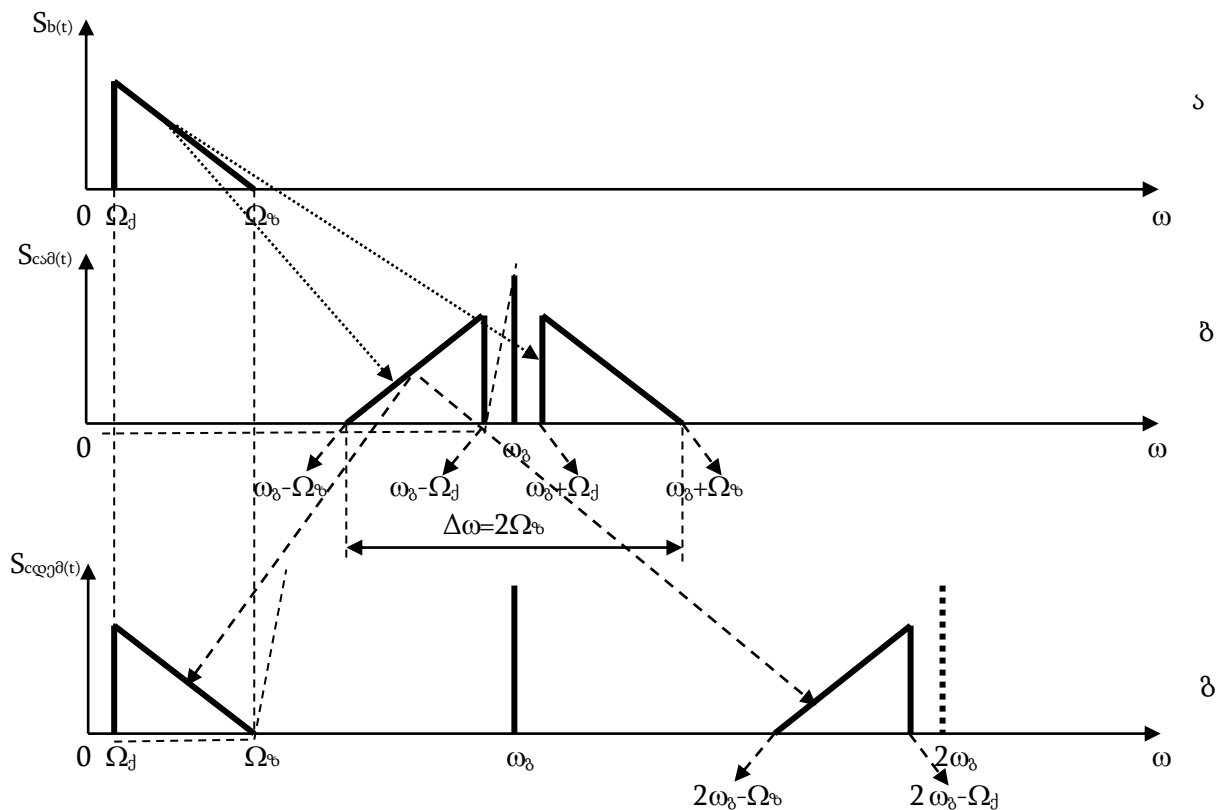
მიღებული გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ამ-ისას ადგილი აქვს სიგნალის სპექტრის გადატანას გადამტანი ω_0 (f_0) სიხშირის მიდამოში (არეში), რის გამოც მოდულირებული $c(t)$ სიგნალი შეიცავს სამ ძირითად შემდგენს: გადამტანსა (1-ლი შესაკრები) და $(\omega_0 - \Omega)$ და $(\omega_0 + \Omega)$ სიხშირეებისა და $mU_0/2$ ამპლიტუდის მქონე კომბინაციურ შემდგენებს (იხ. ნახ. 14გ). ამავე ნახაზის საფუძველზე შეიძლება აგრეთვე დავასკვნათ, რომ ამ-ის შედეგად მიღებული ამპლიტუდამოდულირებული $c(t)$ სიგნალის სპექტრის $\Delta\omega$ (Δf) სიგანე ორჯერ აღემატება მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალის Ω სიხშირეს, ვინაიდან, როგორც 14გ ნახაზიდან ჩანს,

$$\Delta\omega = (\omega + \Omega) - (\omega - \Omega) = 2\Omega .$$



ნახ. 14. მამოდულირებული $b(t)$, ჰარმონიული გადამტანი $\xi(t)$ და ამ სიგნალების სპექტრები ტონალური მოდულაციის შემთხვევაში

მიღებული შედეგები შეიძლება გავავრცელოთ შემთხვევითი (არადეტერმინირებული) $b(t)$ სიგნალისთვისაც, რომლის სპექტრი მოთავსებულია $\Omega_j \dots \Omega_b$ ($F_j \dots F_b$) სიხშირულ ზოლში, ანუ იგი ისეთია, როგორც წარმოდგენილია 14ა ნახაზზე, რომლის დროსაც ω იცვლება იცვლება სიხშირეთა $\Omega_j \dots \Omega_b$ (F_j იცვლება $F_j \dots F_b$) დიაპაზონში. მაშინ აღნიშნულის გათვალისწინებით შესაბამისი ამპლიტუდამოდულირებული (ამ) სიგნალის სპექტრს ექნება ნახ. 15-ზე ნაჩვენები სახე.



ნახ. 15. $\Omega_1 \dots \Omega_n (F_1 \dots F_n)$ სიხშირული ზოლის (სპექტრის) მქონე $b(t)$ -ს, შესაბამისი ამპლიტუდამოდულირებული (ამ) $c_{am}(t)$ და ამ უკანასკნელის დემოდულაციის შედეგად მიღებული $c_{dem}(t)$ სიგნალების სპექტრები

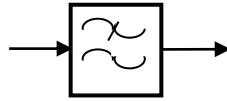
როგორც ნახ. 14გ და ნახ. 15ბ ნახაზებიდან ჩანს, კომბინაციური შემდგენები განლაგებულია გადამტანი ω_c სიხშირის ორივე მხარეს, რის გამოც მათ გვერდით შემდგენებს უწოდებენ, ხოლო $(\omega_c - \Omega_i)$ და $(\omega_c + \Omega_i)$ სიხშირის შემდგენებს - შესაბამისად ქვედა და ზედა გვერდით შემდგენებს. ორივე გვერდითი შემდგენიდან თითოეული მათგანი შეიცავს სრულ ინფორმაციას საწყისი $b(t)$ სიგნალის შესახებ. შესაბამისი ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალის სპექტრი უფრო განიერია საწყისი სიგნალის სპექტრის სიგანესთან შედარებით და იგი ტოლია (ნახ. 15ბ)

$$\Delta\omega = (\omega_c + \Omega_n) - (\omega_c - \Omega_1) = 2\Omega_n.$$

ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალის სატელეკომუნიკაციო ხაზში გადაცემისათვის განიხილება 5 სხვადასხვა ვარიანტი:

1. ორივე გვერდითი სიხშირული ზოლისა და გადამტანის გადაცემა.
2. ერთი გვერდითი სიხშირული ზოლისა და გადამტანის გადაცემა.
3. ერთი გვერდითი სიხშირული ზოლის, გადამტანისა და მეორე გვერდითი სიხშირული ზოლის ნაწილის გადაცემა.
4. ორივე გვერდითი ზოლის გადაცემა გადამტანის გარეშე.
5. მხოლოდ ერთი გვერდითი ზოლის გადაცემა.

ბუნებრივია, რომ სატელეკომუნიკაციო ხაზის გატარების სიხშირული ზოლის (გამტარუნარიანობის) ეკონომიურად (ეფექტურად) გამოყენების თვალსაზრისით ყველაზე ეკონომიურია ერთი ზოლის გადაცემის მეთოდი, ვინაიდან ამ შემთხვევაში საარხო სიგნალის სიხშირული ზოლის სიგანე ტოლია საწყისი სიგნალის სიხშირული ზოლის სიგანისა. ამის გამო მრავალ სატელეკომუნიკაციო სისტემაში იყენებენ მხოლოდ ერთი გვერდითი ზოლის (მაგალითად, ქვედა შემდგენის) გადაცემის მეთოდს. ამისათვის ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალი უნდა გატარდეს ქვედა სიხშირეების ფილტრში (ქსფ) (ნახ. 16), რომლის ჩამოჭრის სიხშირეა $(\omega_c - \Omega_1)$. ასეთი ფილტრის მახასიათებლის ფორმა 15ბ ნახაზზე პუნქტირითაა ნაჩვენები. გაფილტვრის შედეგად დარჩება მხოლოდ ქვედა გვერდითი შემდგენი.



ნახ. 16. ქვედა სიხშირეების ფილტრების სქემური აღნიშვნა

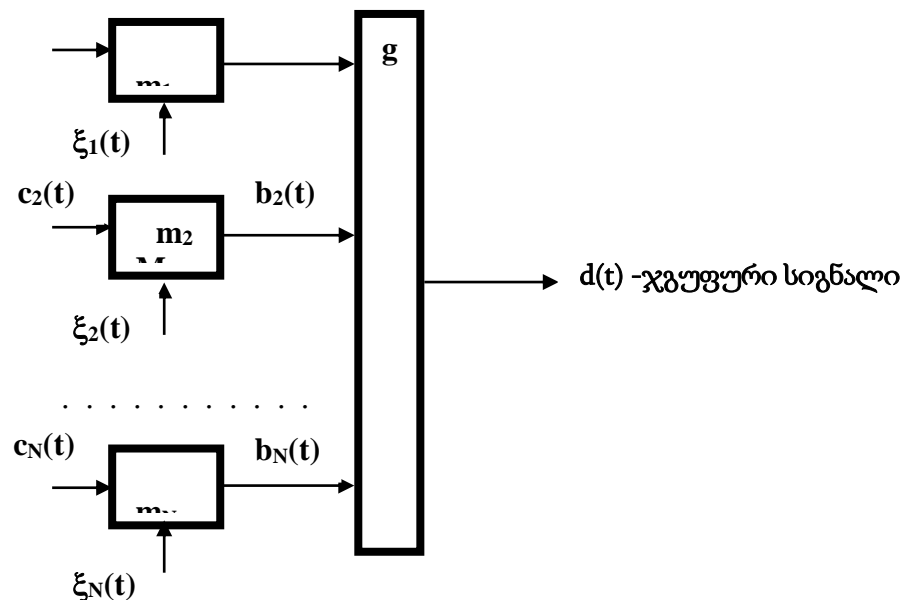
როგორც ცნობილია, მიმღებში ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალიდან საწყისი სიგნალის მიღება შესაძლებელია მოდულაციის შესაბამისი უკუპროცედურის (დემოდულაციის) საშუალებით, რომლის დროსაც მხოლოდ ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალის ქვედა გვერდითი შემდგენის გადაცემისას დემოდულატორის ერთ შესასვლელზე მიწოდებული მამოდულირებელი სიგნალია $c(t)=b_a(t)$ -ს გაფილტვრის შედეგად მიღებული $(\omega_c - \Omega_k) \dots (\omega_c - \Omega_j)$ ზოლში მოთავსებული გვერდითი შემდგენი, ხოლო სამოდულირებელი - ω_c სიხშირის $\xi(t)$ ჰარმონიული სიგნალი, ანუ იგივე, რომელიც გამოყენებული იყო გადამცემის მოდულატორში. დემოდულაციის მექანიზმი არაფრით განსხვავდება მოდულაციისაგან, რის გამოც დემოდულატორის გამოსასვლელზე $c_{დგ}(t)$ სიგნალის სპექტრის ω_c -ის მიდამოში ფორმირდება ორი გვერდითი (ქვედა და ზედა) შემდგენები (ნახ. 15გ), რომელთა შესაბამისი სიხშირული ზოლებია $(\Omega_j \dots \Omega_k)$ და $((2\omega_c - \Omega_k) \dots (2\omega_c - \Omega_j))$, ვინაიდან $\omega_c - (\omega_c - \Omega_j) = 2\Omega_j$, $\omega_c - (\omega_c - \Omega_k) = 2\Omega_k$, $\omega_c + (\omega_c - \Omega_j) = 2\omega_c - \Omega_j$ და $\omega_c + (\omega_c - \Omega_k) = 2\omega_c - \Omega_k$. ცხადია, რომ დემოდულაციის შედეგად მიღებული $c_{დგ}(t)$ სიგნალის შემდგენებიდან უნდა დარჩეს მხოლოდ $\Omega_j \dots \Omega_k$ დიაპაზონში მოთავსებული ქვედა გვერდითი შემდგენი, ანუ საწყისი $b(t)$ სიგნალის სპექტრი და გაიფილტროს როგორც ω_c , ასევე $(2\omega_c - \Omega_k) \dots (2\omega_c - \Omega_j)$ დიაპაზონში არსებული ზედა გვერდითი შემდგენი, რაც შესაძლებელია აღნიშნული სიგნალის გაფილტვრით იმ ქვედა სიხშირეების ფილტრით (ქსფ) (ნახ. 16), რომლის ჩამოჭრის სიხშირეა $\omega_c = \Omega_k$. შესაბამისი რეალური ფილტრის მახასიათებლის ფორმა 15გ ნახაზზე პუნქტირითაა აღნიშნული. ამრიგად, ტელეკომუნიკაციის სისტემის მიმღებში დემოდულაციისა და ფილტრაციის პროცესების შედეგად შესაძლებელია საწყისი $b(t)$ სიგნალის აღდგენა.

შევნიშნოთ, რომ ნახ. 14 და ნახ. 15-ზე ჰორიზონტალურ ღერძებზე გადაზომილია კუთხური (წრიული) სიხშირეები, რომელთა განზომილებაა რადიანი/წმ (გრადუსი/წმ) ან რადიანი·ჰერცი (გრადუსი·ჰერცი). ცხადია, რომ

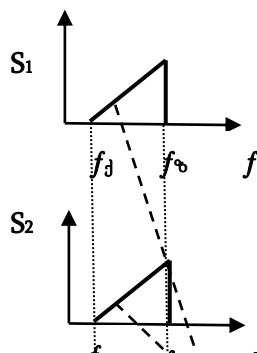
აღნიშნულ დერძებზე შესაძლებელი იყო აგრეთვე მიმდინარე f სიხშირის გადაზომვა ჰერცებში.

მრავალარხიანი ტელეკომუნიკაციის ორგანიზების შემთხვევაში N რაოდენობის სხვადასხვა პირველადი $c_i(t)$ სიგნალიდან ($i=1,2,\dots,N$) ფორმირებული იმავე რაოდენობის საარხო $b_i(t)$ სიგნალები სისტემის გადამცემის გამაერთიანებელში (გ) ერთიანდება ერთ სახაზო (ჯგუფურ) $d(t)$ სიგნალად (ნახ. 17).

მრავალარხიანი ტელეკომუნიკაციის ანალოგურ სისტემებში ფართოდ გამოიყენებ $c_1(t)$ იტუდურ $b_1(t)$ ულაცია, რომლის დროსაც საარხო $b_i(t)$ სიგნალები სისტემის გადამცემში გადაიტანებიან სხვადასხვა ურთიერთგადაუკვეთავ სიხშირულ ზოლებში. ამიტომ მრავალარხიანი ტელეკომუნიკაციის აღნიშნულ მეთოდს უწოდებენ სიგნალების (არხების) სიხშირული გაერთიანების (მულტიპლექსირების) მეთოდს. სანიმუშოდ ნახ. 18-ზე წარმოდგენილია სპექტრული დიაგრამები 3-არხიანი ($N=3$), სისტემისათვის არხების სიხშირული გაერთიანებით, რომელთა საშუალებით ხდება მრავალარხიანი სისტემის გადამცემში არხების სიხშირული გაერთიანების (ჯგუფური სიგნალის ფორმირების) მექანიზმის ილუსტრირება.



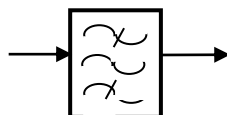
ნახ. 17. მრავალარხიანი ჯგუფური სიგნალის ფორმირება



ნახ. 18. სამარხიანი სისტემისათვის სიხშირეთა ზოლების გადატანის პრინციპი არხების სიხშირული მულტიპლექსირების შემთხვევაში

მრავალარხიანი სისტემის მიმღებში ხორციელდება სახაზო (ჯგუფური) $d'(t)$ სიგნალიდან საარხო $c'(t)$ სიგნალების გამოყოფა (განცალკევება) შესაბამისი გატარების ზოლის მქონე ფილტრებისა და დემოდულაციის გამოყენებით. სისტემის მიმღებ ნაწილში მიღებული ჯგუფური სიგნალი $d'(t)$ ხელშეშლების ზემოქმედების გამო შეიძლება განსხვავებული აღმოჩნდეს სისტემის გადამცემოდან გადაცემული საარხო (ჯგუფური) $d(t)$ სიგნალთან შედარებით. შესაბამისად ერთმანეთისაგან განსხვავებული იქნებიან აგრეთვე საარხო $c'(t)$ და $c(t)$ სიგნალებიც.

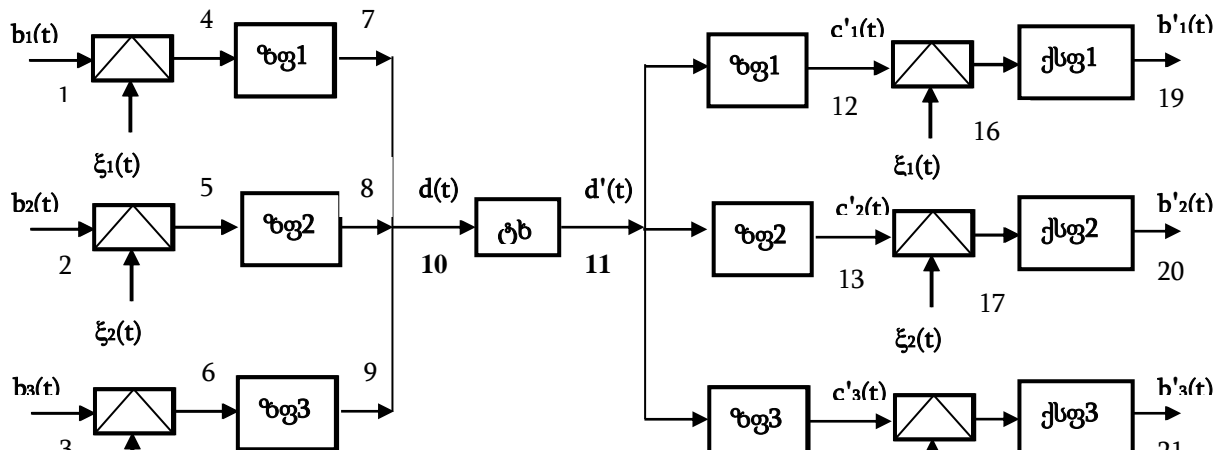
როგორც ნახ. 18-დან ჩანს, მრავალარხიანი კავშირის განხორციელებისას არხების სიხშირული გაერთიანებით აუცილებელია, რომ სახაზო (ჯგუფური) $d(t)$ სიგნალის შემადგენელი საარხო სიგნალების სპექტრები (სიხშირული ზოლები) ერთმანეთს არ უნდა კვეთდნენ, რაც უზრუნველყოფს მათ წრფივად დაყოფადობას და, შესაბამისად, მიმღებში საარხო სიგნალების ამოკრეფას (განცალკევებას) ჯგუფური სიგნალიდან შესაბამისი გატარების ზოლების მქონე ფილტრების (ნახ. 19) საშუალებით.



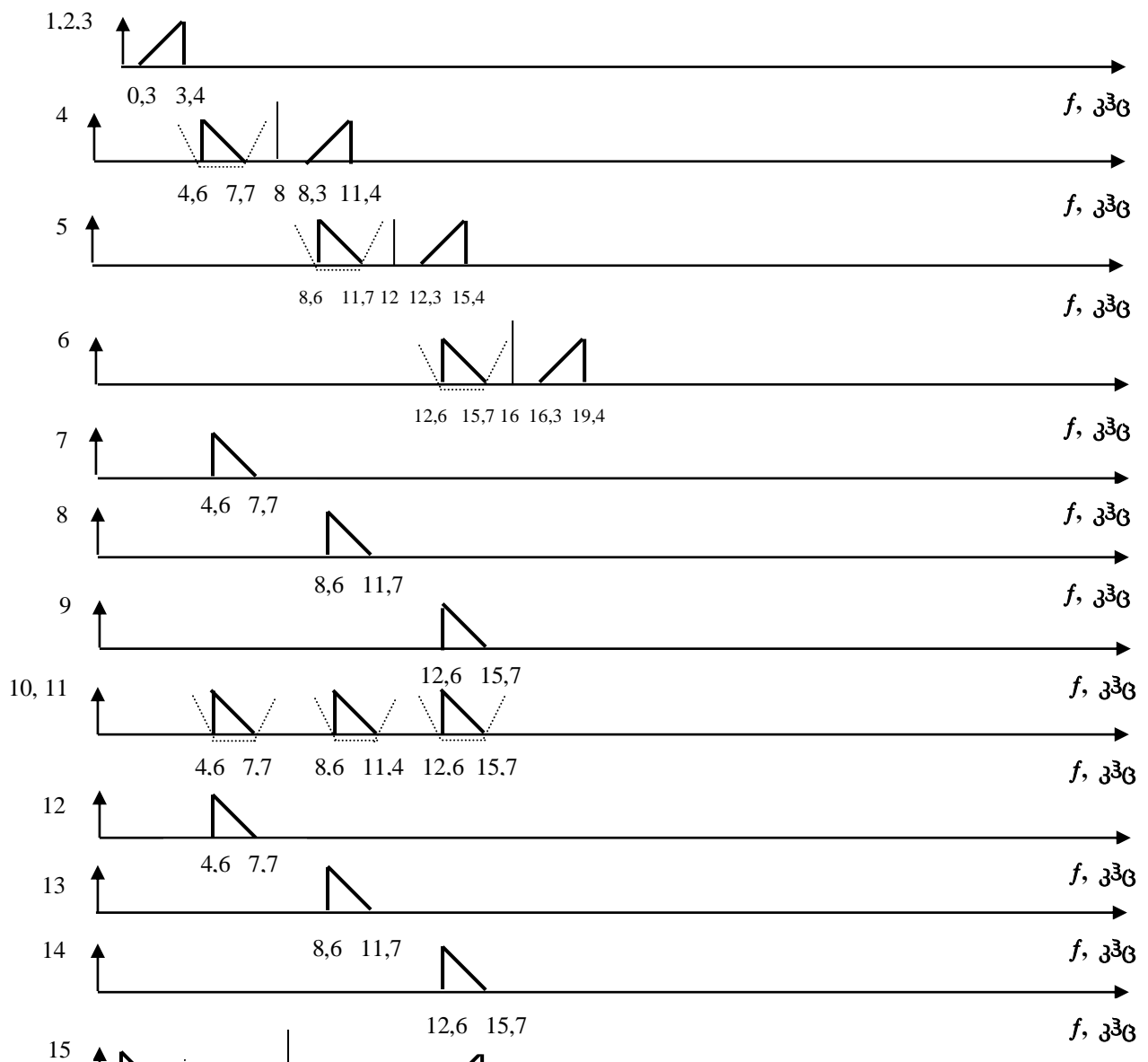
ნახ. 19. ზოლური ფილტრების სქემური აღნიშვნა

ამრიგად, იმ შემთხვევაში, როდესაც ჯგუფური (სახაზო) $d(t)$ სიგნალის შემადგენელი N რაოდენობის საარხო $c_i(t)$ სიგნალების ($i=1, 2, \dots, N$) სიხშირული ზოლები ურთიერთგადაუკვეთავია, მაშინ ასეთი სიგნალები წრფივად დაყოფადია. მაშასადამე, თუ ერთი და იგივე სიხშირული ზოლის მქონე პირველად $b_i(t)$ სიგნალებს ტელეკომუნიკაციის სისტემის გადამცემ ნაწილში სპეციალური მოწყობილობების - სიხშირეთა გარდამქმნელების (მოდულატორების) საშუალებით გადავიტანთ სხვადასხვა ურთიერთგადაუკვეთავ სიხშირულ ზოლში (ვაფორმირებთ საარხო $c_i(t)$ სიგნალებს) და შემდეგ მათ გავაერთიანებთ და ვაფორმირებთ ჯგუფურ $d(t)$ სიგნალს ($d(t)=\sum c_i(t)$), მაშინ სისტემის მიმღებ ნაწილში $d(t)$ სიგნალიდან საარხო სიგნალების დაყოფა (განცალკევება) შესაძლებელი იქნება ზოლური ფილტრების საშუალებით, რომელთა გატარების ზოლი ემთხვევა შესაბამისი საარხო $c_i(t)$ სიგნალის სიხშირულ ზოლს ჯგუფურ $d(t)$ სიგნალში. ამიტომ გადამცემში საარხო $c_i(t)$ სიგნალების გაერთიანებისა და მიმღებში მათი დაყოფის ზემოთაღწერილ მეთოდს არხების (სიგნალების) სიხშირული გაერთიანების (დაყოფის, განცალკევების) ან მულტიპლექსირების მეთოდს უწოდებენ.

მაგალითისათვის განვიხილოთ ტელეფონის სიგნალების სიხშირული დაყოფის პრინციპზე მომუშავე სამარხიანი სისტემის სტრუქტურული სქემა (ნახ. 20) და შესაბამისი სპექტრული დიაგრამები (ნახ. 21) ტელეკომუნიკაციის ხაზში (ტხ) საარხო $c_i(t)$ სიგნალების მხოლოდ ქვედა გვერდითი ზოლის გადაცემის შემთხვევაში. შევნიშნოთ, რომ ნახ. 21-ზე პუნქტირით აღნიშნულია შესაბამისი ფილტრების მიღვის სიხშირული მახასიათებლები.



ნახ. 20. სიგნალების სიხშირული მულტიპლექსირების 3-არხიანი სქემა



ნახ.21. სიგნალების სიხშირული მულტიპლექსირების 3-არხიანი სქემის შესაბამისი სპექტრული დიაგრამები

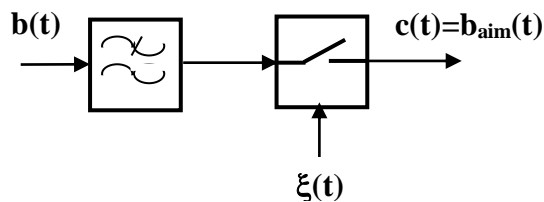
9. იმპულსური მოდულაციის სახეობები. სიგნალების დროითი დისკრეტიზაცია

იმ შემთხვევაში, როდესაც მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი უწყვეტია, ხოლო $\xi(t)$ გადამტანი - დროში დისკრეტული (იმპულსური), მაშინ განიხილება იმპულსური მოდულაციის ესა თუ ის სახეობა. იმპულსური მოდულაციის ძირითადი სახეობებია: ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაცია (აიმ), ფაზო-იმპულსური მოდულაცია (ფიმ) და სიხშირულ-იმპულსური მოდულაცია (სიმ).

ტელეკომუნიკაციის იმპულსური სისტემების დამახასიათებელი თავისებურებაა ის, რომ სიგნალის ენერგია გამოსხივდება არა უწყვეტად, არამედ მოკლე იმპულსების სახით, რომელთა ხანგრძლივობა, ჩვეულებრივ, მათი გამეორების პერიოდის უმნიშვნელო ნაწილია (იხ. ნახ. 2.5). ამის გამო იმპულსური სიგნალის ენერგია ერთნაირი პიკური (მაქსიმალური) მნიშვნელობისას რამდენჯერმე ნაკლებია უწყვეტი სიგნალის ენერგიასთან შედარებით. იმპულსური და უწყვეტი სიგნალების ენერგიათა შორის განსხვავება დამოკიდებულია T_0 ხანგრძლივობასა და იმპულსების გამეორების T_8 პერიოდის თანაფარდობაზე, ანუ მეჩხერიანობაზე $q=T_8/T_0$. ჩვეულებრივ $q \gg 1$. იმპულსებს შორის არსებული დიდი დროითი ინტერვალები (პაუზები) შეიძლება გამოყენებული იყოს სხვა არხების

იმპულსების განთავსებისათვის, ანუ მრავალარხიანი ტელეკომუნიკაციის განსახორციელებლად არხების დროითი მულტიპლექსირების მეთოდით.

ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაციის დროს ტელეკომუნიკაციის სისტემის გადამცემსა და მიმღებში გამოყენებული მოდულატორები შეიძლება განვიხილოთ როგორც ელექტრონული გასაღებები (იხ. ნახ. 11ზ,თ), რომლებიც წარმოადგენენ დროით დისკრეტიზატორს და რომლებიც იღება იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობაში იმპულსების არსებობის T_0 დროის განმავლობაში და ჩაკეტილია დროის დანარჩენ $T_g - T_0$ ინტერვალებში. ნახ. 22-ზე ნაჩვენებია დროითი დისკრეტიზაციის, ანუ ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაციის განმახორციელებელი მოწყობილობის სქემა.



ნახ. 22. დროითი დისკრეტიზაციის (ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაციის) განმახორციელებელი სქემა

სამოდულირებელი იმპულსების მიმდევრობის გამეორების სიხშირეს განსაზღვრავენ დემოდულაციის შედეგად ფორმირებული უწყვეტი $b(t)$ სიგნალის აღდგენის სიზუსტიდან გამომდინარე. იმპულსების გამეორების მინიმალური (თეორიულად დასაშვები) სიხშირე განისაზღვრება უწყვეტი $b(t)$ სიგნალის დისკრეტიზაციის შესახებ თეორემის თანახმად:

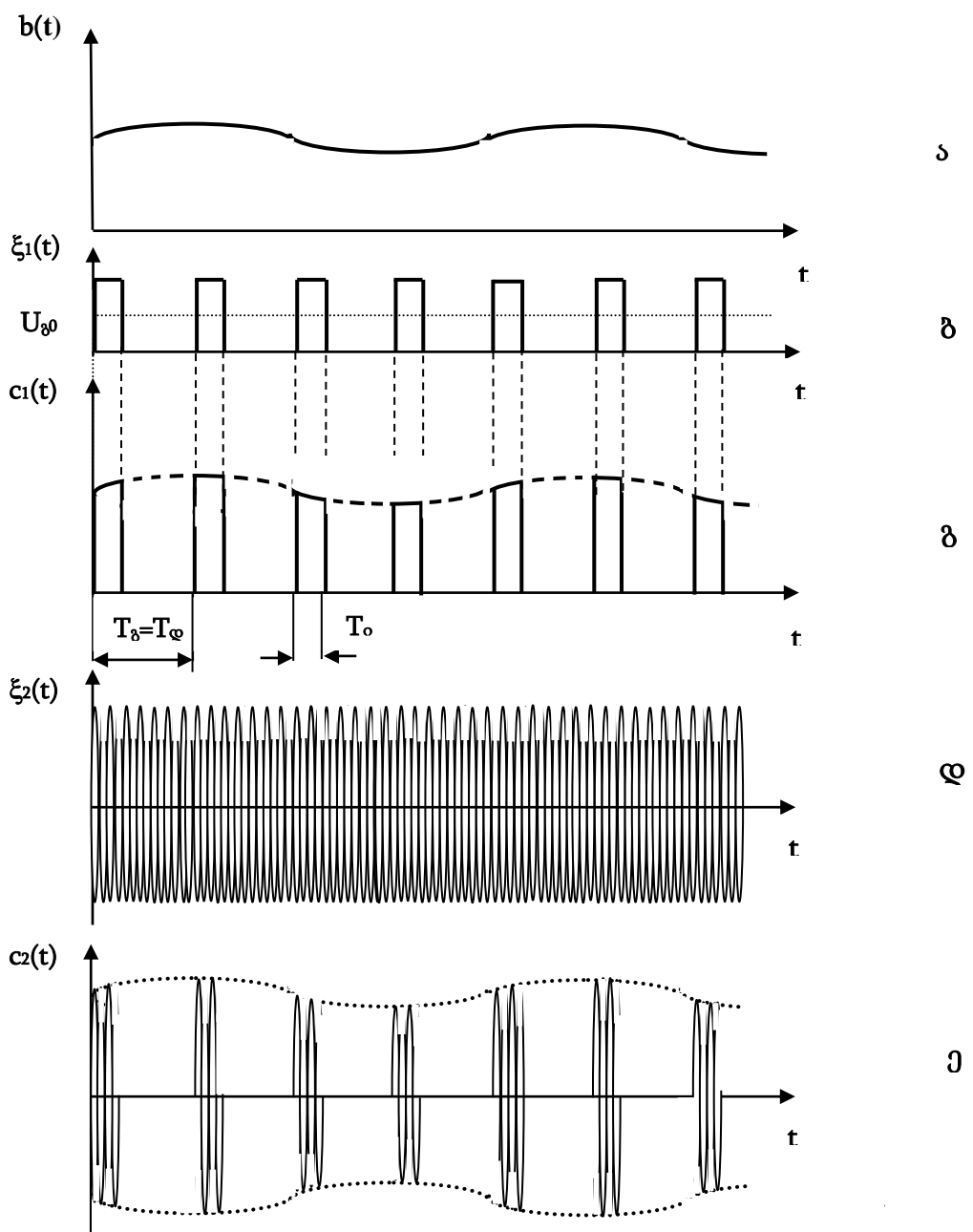
$$f_{\text{გმინ}} = 1/T_{\text{გაჟს}} = 2F_{\text{ზ}},$$

სადაც $F_{\text{ზ}}$ მამოდულირებელი სიგნალის სპექტრის მაქსიმალური (ზედა ზღვრული) სიხშირეა. მისი დაფიქსირების მიზნით საწყის ანალოგურ $b(t)$ სიგნალს ატარებენ ქვედა სიხშირეების ფილტრში (ქსფ), რომლის ჩამოჭრის სიხშირე $F_{\text{ჩ}} = F_{\text{ზ}}$ (ნახ. 22). პრაქტიკული მოსაზრებებიდან გამომდინარე

$$f_{\text{ზ}} > 2F_{\text{ზ}} \quad (\omega_{\text{ზ}} > 2\Omega_{\text{ზ}}).$$

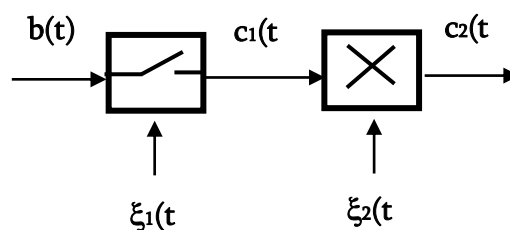
ადვილი მისახვედრია, რომ თუ საწყისი მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალის (ნახ. 23ა) სპექტრის ზედა ზღვრული სიხშირეა F_{Σ} , მაშინ ასეთი სიგნალით პერიოდული იმპულსური $\xi(t)$ გადამტანის (ნახ. 23ბ) ამპლიტუდური მოდულაციისას (მისი მუდმივი მდგენელია $U_{\Sigma 0}$), ანუ ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაციის (აიმ) შემთხვევაში ადვილი აქვს $b(t)$ -ს დროით დისკრეტიზაციას.

ხშირ შემთხვევაში აუცილებელია ამპლიტუდურ-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალიდან იმპულსური მოდულაციის (მანიპულაციის) მაღალსიხშირული, ანუ დისკრეტული ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაციის (აიმ-დამ) შესაბამისი სიგნალის ფორმირება.



ნახ. 23. ამპლიტუდურ-იმპულსური (ა, ბ, გ) და შესაბამისი დისკრეტული ამპლიტუდური მოდულაციის (დ,ე) ილუსტრაცია

დისკრეტული ამპლიტუდურ-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის მიღება შესაძლებელია ორ ეტაპად: თავდაპირველად $b(t)$ სიგნალი (ნახ. 23ა) ამოდულირებს მუდმივი დენის იმპულსების (ვიდეოიმპულსების) პერიოდული მიმდევრობით წარმოდგენილ გადამტან $\xi_1(t)$ (ნახ. 23ბ) სიგნალს, რომლის მუდმივი მდგენელია $U_{\text{გ}}$, ხოლო შემდეგ მიღებული ამპლიტუდამოდულირებული $c_1(t)$ ვიდეოიმპულსების მიმდევრობა (ნახ. 23გ) ამოდულირებს მაღალსიხშირული უწყვეტი ჰარმონიული $\xi_2(t)$ გადამტანის (ნახ. 23დ) ამპლიტუდას, ანუ ხორციელდება დისკრეტული ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაცია (მანიპულაცია) (აიმ-დამ), რის შედეგადაც ფორმირდება მაღალსიხშირული სიგნალი $c_2(t)$, რომელიც წარმოადგენს რადიოიმპულსების მიმდევრობას (ნახ. 23ე). ასეთნაირად ხდება მოდულირებული ვიდეოიმპულსების სპექტრის გადატანა გადამტანი $f_{\text{გ}}$ სიხშირის მიდამოში. მაღალსიხშირული იმპულსური სიგნალის ენერგია კონცენტრირებულია გადამტანი $f_{\text{გ}}$ სიხშირის სიახლოვეს. ზემოაღწერილი ორჯერადი მოდულაციის აიმ_დამ სქემა შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახ. 24-ზე ნაჩვენები სახით.



ნახ. 24. ორჯერადი მოდულაციის აიმ-დამ მაილუსტრირებული სქემა

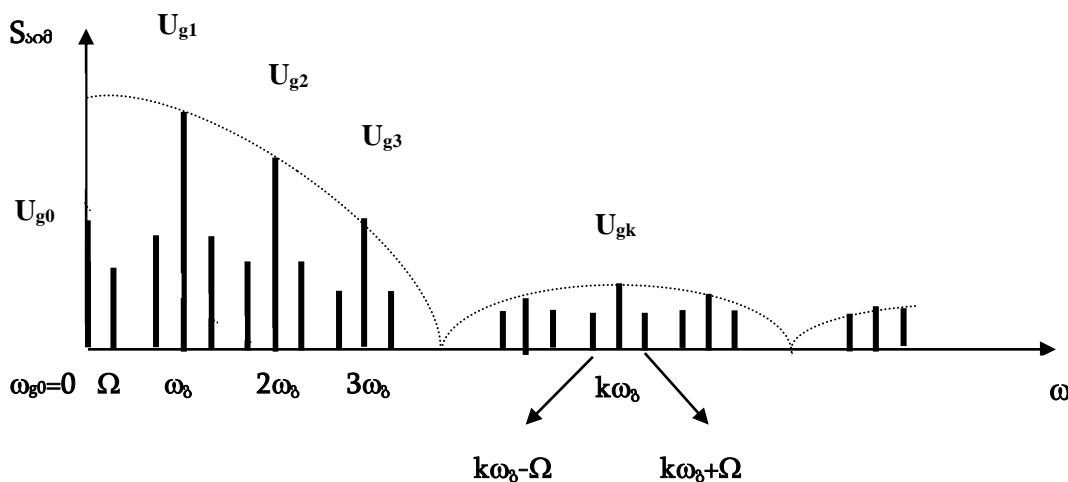
იმპულსური მოდულაციის შემთხვევაში გადამტანი იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობა, ისევე როგორც ნებისმიერი სიგნალი, შეიძლება წარმოვადგინოთ უსასრულო რაოდენობის ჰარმონიკების ჯამის სახით, რომელთა სიხშირეებია $\omega_0=0$ (მუდმივი შემდგენი), $\omega_0, 2\omega_0, 3\omega_0, \dots, k\omega_0$ და ა.შ.:

$$\xi(t) = U_{\text{გ}} + \sum_{i=1}^{\infty} U_{\text{გ}i} \text{Cos}(\omega_{\text{გ}i} t + \varphi_{\text{გ}i}),$$

სადაც: U_{g0} იმპულსური $\xi(t)$ გადამტანის მუდმივი შემდგენის ამპლიტუდაა, ხოლო U_{gi} , ω_{gi} და ϕ_{gi} მისი i -რი ჰარმონიკის ამპლიტუდა, კუთხური სიხშირე და ფაზაა შესაბამისად. აღნიშნულის გათვალისწინებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ამპლიტუდურ-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრი $\xi(t)$ -ს თითოეული ჰარმონიკისათვის ფორმირდება ისევე, როგორც ამპლიტუდური მოდულაციის დროს, როდესაც საქმე გვაქვს მხოლოდ ერთჰარმონიკიან გადამტანთან. ნახ. 25-ზე წარმოდგენილია ამპლიტუდურ-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრი ტონალური მოდულაციის შემთხვევაში, როდესაც მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი შეიცავს მხოლოდ ერთ ჰარმონიკას, ანუ როდესაც

$$b(t) = \cos \Omega t.$$

ტონალური მოდულაციის შემთხვევისათვის ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალის სპექტრის სურათი ნაჩვენებია ნახ. 14-ზე.



ნახ. 25. ამპლიტუდურ-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრი ტონალური მოდულაციის შემთხვევაში

როგორც ნახ.25-დან ჩანს, ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრი შეიცავს არამოდულირებული იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობის (გადამტანის) მუდმივ U_{g0} შემდგენს, ვინაიდან დადებითი იმპულსების

მიმდევრობას გააჩნია მუდმივი მდგენელი (იხ. ნახ. 23), რომლის სიხშირე $\omega_0=0$, აგრეთვე ω , 2ω , 3ω და ა.შ. ჰარმონიკებს და ω_0 , ω , 2ω , 3ω და ა.შ. სიხშირეების სიახლოვეს $k\omega-\Omega$ და $k\omega+\Omega$ ($k=1, 2, 3, \dots, \infty$) სიხშირის კლებადი ამპლიტუდის გვერდით ჰარმონიკებს, რომლებიც იმეორებენ საწყისი მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალის სპექტრს. ამრიგად, ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრი თითქოსდა წარმოადგენს ამპლიტუდამოდულირებული სიგნალის სპექტრის (იხ. ნახ. 14 და ნახ. 15) მრავალჯერად გამეორებას, რომელშიც "გადამტანი სიხშირეების" როლს ასრულებენ მადისკრეტიზირებელი (სამოდულირებელი) იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობის ω_0 , ω , 2ω , 3ω და ა.შ. ჰარმონიკები. შევნიშნოთ, რომ ω_0 -თან არსებული ქვედა გვერდითი შემდგენი ნახაზზე არაა ნაჩვენები.

ტონალური მოდულაციის შემთხვევაში ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრის (იხ. ნახ. 25) საფუძველზე აიგება ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრის სურათები იმ შემთხვევისათვის, როდესაც საწყისი მამოდულირებელი $b(t)$ სიგნალი ასახავს რეალურ სატელეკომუნიკაციო შეტყობინებას, ანუ როდესაც მისი სპექტრი მოთავსებულია $\Omega_1 \dots \Omega_2$ სიხშირულ ზოლში (ნახ. 26). აღნიშნულ ნახაზზე წარმოდგენილია სპექტრული დიაგრამები მადისკრეტიზირებელი იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობის სიხშირის შერჩევის 3 ვარიანტისათვის:

1. $\omega > 2\Omega_2$; 2. $\omega = 2\Omega_2$; 3. $\omega < 2\Omega_1$

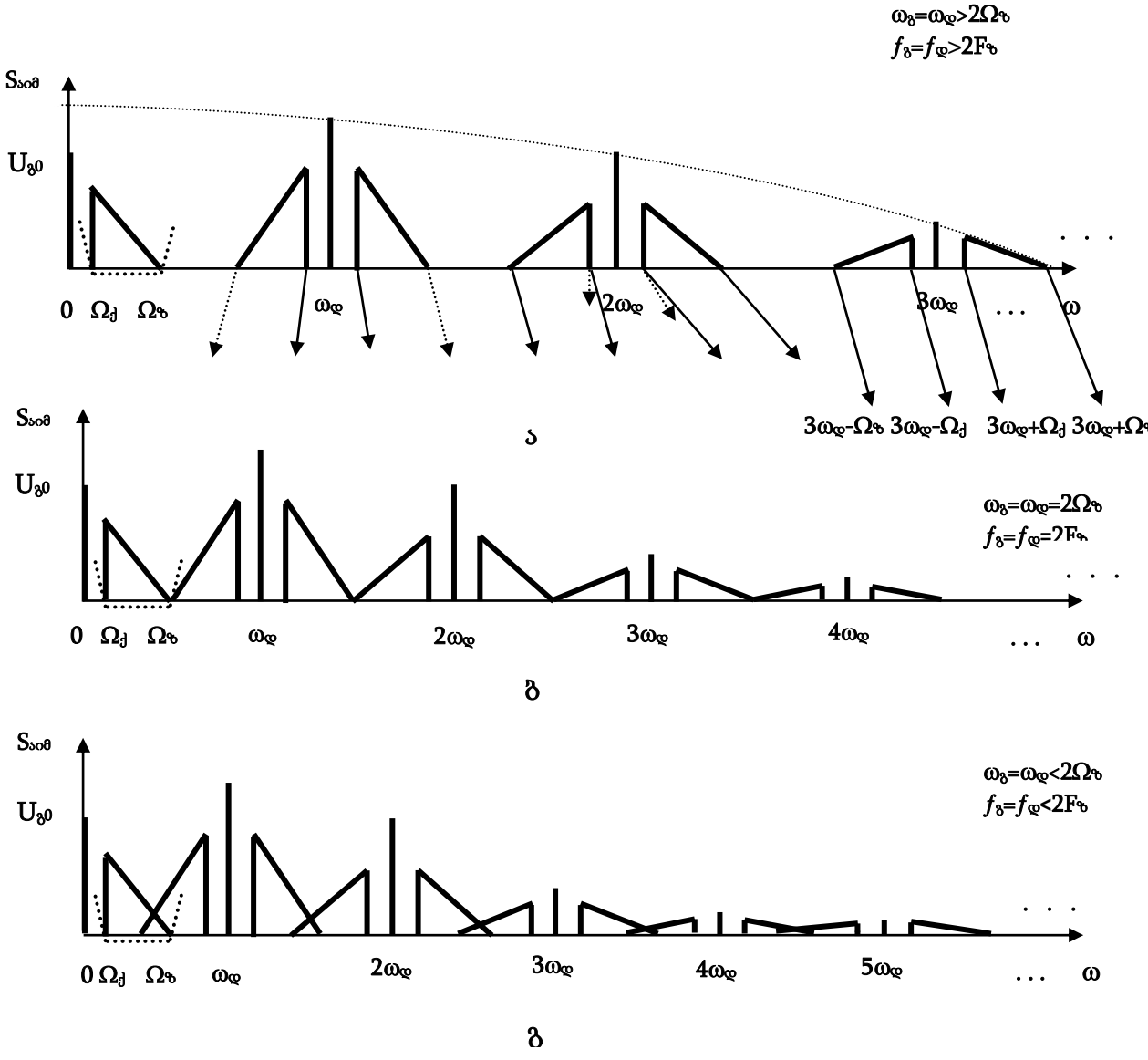
პირველ შემთხვევაში (ნახ. 26ა) $\omega > 2\Omega_2$, რის გამოც ტელეკომუნიკაციის სისტემის მიმღებში საწყისი $b(t)$ სიგნალის დაუმახინჯებელი აღდგენისათვის, ისევე როგორც ამპლიტუდური მოდულაციისას, საკმარისია ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის გაფილტვრა ზოლური ფილტრით (ნახ. 19), რომლის გატარების სიხშირული ზოლია ($\Omega_1 \dots \Omega_2$).

თეორიულად $b(t)$ სიგნალის დაუმახინჯებელი აღდგენა შესაძლებელია აგრეთვე მეორე შემთხვევაში (ნახ. 26ბ), როდესაც $\omega = 2\Omega_2$, ოღონდ ამ შემთხვევაში ფილტრს უნდა ჰქონდეს იდეალური (სწორკუთხა) ამპლიტუდურ-სიხშირული

მახასიათებელი, როდესაც სიგნალის გატარების ზოლში მიღევა ნულია, ხოლო გაფილტვრის არეში - უსასრულოდ დიდი, რაც პრაქტიკულად მიუღწევადია.

რაც შეეხება მე-3 შემთხვევას (ნახ. 26გ), როდესაც $\omega_d < 2\Omega_b$, ამ დროს მიმღებში საწყისი $b(t)$ სიგნალის დაუმახინჯებელი აღდგენა თეორიულადაც შეუძლებელია, ვინაიდან აღნიშნული სიგნალის სპექტრის ($\Omega_1 \dots \Omega_b$) დიაპაზონში მოქცეულია აგრეთვე $c(t)=b_{\text{აბ}}(t)$ სიგნალის დისკრეტიზაციის $\omega_d = \omega_b$ სიხშირის სიახლოვეს არსებული ქვედა გვერდითი ზოლის შემდგენებიც (ე.წ. პარაზიტული შემდგენები), რომლებსაც $b(t)$ -ს ჰარმონიკებთან ერთად გაატარებს ფილტრი, რაც $b(t)$ -ს დამახინჯების მიზეზია.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ანალოგური (უწყვეტი) სიგნალის დისკრეტიზაცია (ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაცია - აიმ) უნდა განხორციელდეს $\omega_d > 2\Omega_b$ სიხშირის იმპულსების მიმდევრობით.



ნახ. 26. ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული სიგნალის სპექტრული დიაგრამები $\omega_c = \omega_c$ -ს სხვადასხვა ($\omega_c > 2\Omega_c$, $\omega_c = 2\Omega_c$ და $\omega_c < 2\Omega_c$) მნიშვნელობებისათვის

როგორც ზემოაღნიშნულიდან ჩანს, ანალოგური სიგნალის დროითი დისკრეტიზაცია გამართლებულია იმ შემთხვევაში, როდესაც მას გააჩნია Ω_c სიხშირით შეზღუდული სპექტრი. ამითაა განპირობებული ის ფაქტი, რომ დისკრეტიზაციამდე სიგნალი უნდა გატარდეს ქვედა სიხშირეების ფილტრში, რომლის ჩამოჭრის სიხშირეა Ω_c (იხ. ნახ. 22).

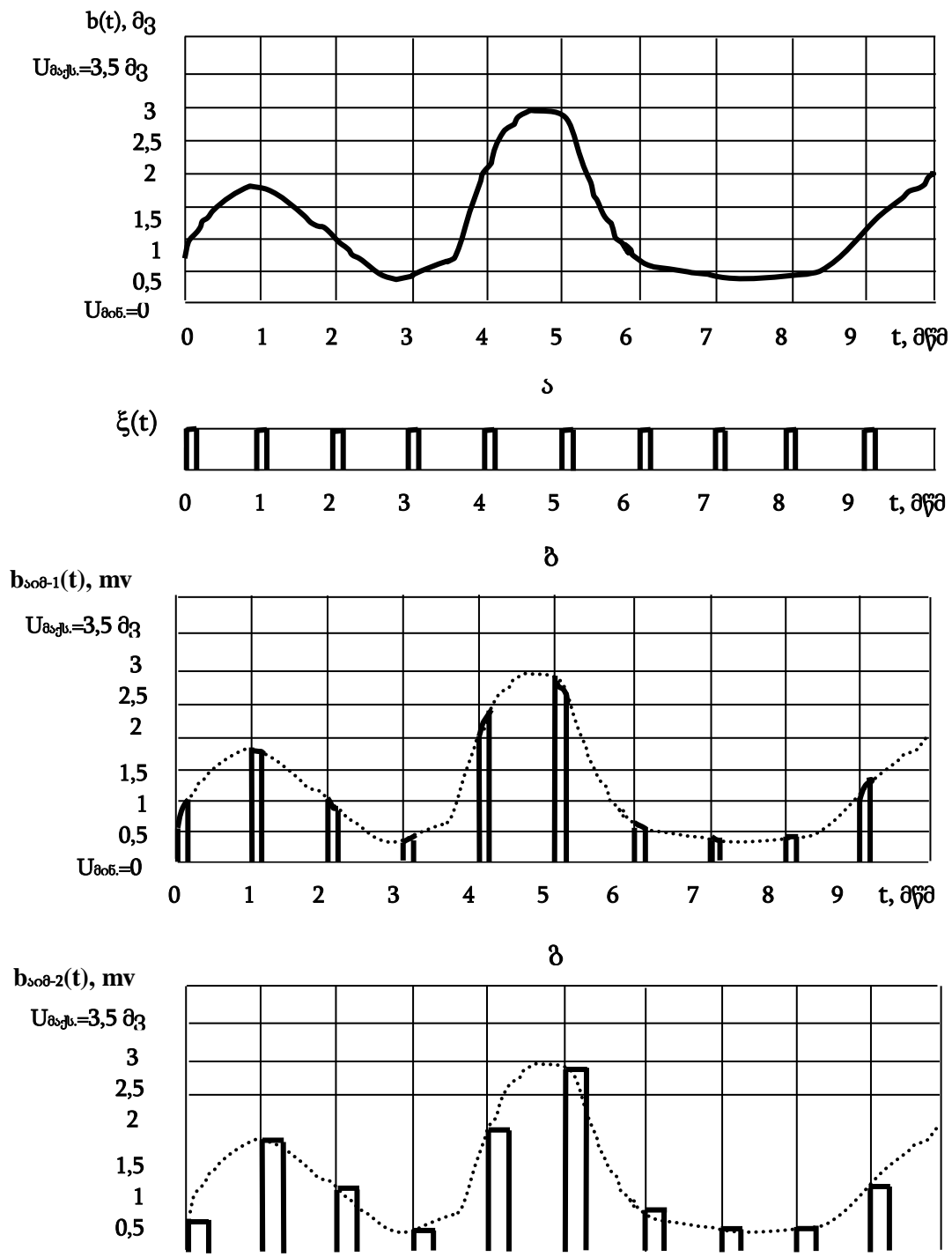
შევნიშნოთ, რომ ვიწრო მადისკრეტიზირებელი იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობის ამპლიტუდურ მოდულაციას პირველი გვარის ამპლიტუდურ-იმპულსურ მოდულაციას (აიმ-1) უწოდებენ. შესაბამისი აიმ-1 სიგნალის დროითი დიაგრამა ნაჩვენებია ნახ. 23გ-ზე. ტელეკომუნიკაციის ციფრულ სისტემებში იმპულსურ-კოდურად მოდულირებული (იკმ) სიგნალის ფორმირებისას მიზანშეწონილია აიმ-1 იმპულსების მიმდევრობის გარდაქმნა მეორე გვარის ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებულ (აიმ-2) სიგნალად.

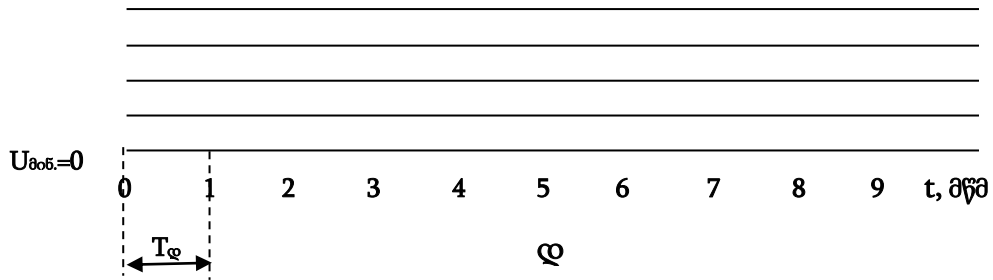
მაშასადამე, ანალოგური $b(t)$ სიგნალის (ნახ. 27ა) სწორკუთხა იმპულსების $\xi(t)$ მიმდევრობით (ნახ. 27ბ) დროითი დისკრეტიზაციის შედეგად მიიღება აიმ-1 სიგნალი $b_{\text{აიმ-1}}(t)$ (ნახ. 27გ).

ცნობილია, რომ აიმ_1 ხორციელდება ელექტრონული გასაღების (ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულატორის) საშუალებით, რომელიც იღება მადისკრეტიზირებელი $\xi(t)$ იმპულსების არსებობის განმავლობაში და იკეტება დროის დანარჩენ ინტერვალებში. იმპულსების აიმ-1 მიმდევრობა ხშირად გამოუსადეგარია იკმ სიგნალის ფორმირებისათვის, ვინაიდან ასეთი მიმდევრობის იმპულსებს მწვერვალი ბრტყელი (მუდმივი) არ აქვს და, გარდა ამისა, იმდენად მცირეა მათი ხანგრძლივობა T_0 , რომ იგი საკმარისი არაა კოდერში შესაბამისი კოდური ჯგუფის ფორმირებისათვის. ამიტომ აიმ-1 სიგნალს გარდაქმნიან მე-2 გვარის აიმ (აიმ-2) სიგნალად (ნახ. 27დ), რომელშიც იმპულსების მწვერვალები

ბრტყელია და მათი ხანგრძლივობა ისეთია, რომელიც საკმარისია იკმ სიგნალის კოდური ჯგუფის ფორმირებისათვის.

აიმ-2 სიგნალის სპექტრის განმასხვავებელ თავისებურებას აიმ-1 სიგნალის სპექტრთან შედარებით წარმოადგენს სპექტრის დამახინჯება და იგი მით უფრო მეტია, რაც უფრო განიერია აიმ-2 სიგნალის იმპულსები. თუმცა, იმის გამო, რომ აიმ-2 სიგნალის იმპულსების (დისკრეტული ანათვლების, პიქსელების) ხანგრძლივობა მაინც გაცილებით ნაკლებია დისკრეტიზაციის T_d პერიოდზე (ჩვეულებრივ $T_d < 0,2 T_d$), ამიტომ აიმ-1 და აიმ-2 სიგნალების სპექტრები პრაქტიკულად ერთმანეთს ემთხვევა.





ნახ. 27. აიმ-2 სიგნალის ფორმირება

10. ციფრული მოდულაციის სახეობები: იმპულსურ-კოდური მოდულაცია. დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია. დელტა-მოდულაცია

სიგნალების გადაცემის ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით ციფრული მეთოდების მთელი რიგი უპირატესობების გამო, რომელთა შორის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანესს წარმოადგენს მაღალი ხელშეშლამდგრადობა, მიზანშეწონილია მათი გამოყენება ნებისმიერი (მათ შორის ანალოგური) სიგნალებისათვის, რაც შესაძლებელია ანალოგური სიგნალების ციფრულად გარდაქმნით.

სიგნალების ჯგუფიდან ფაქსიმილური, მონაცემების გადაცემისა და ტელეგრაფის პირველადი $b(t)$ სიგნალები ციფრულ სიგნალებს წარმოადგენს, ვინაიდან მათ დროის სასრულო ინტერვალში მნიშვნელობათა სასრულო სიმრავლე გააჩნია. რაც შეეხება ტელეფონის, ხმოვანი მაუწყებლობის და ტელევიზიის პირველად სიგნალებს, ისინი უწყვეტი (ანალოგური) სიგნალებია. მიუხედავად იმისა, რომ ანალოგურ ტელევიზიაში გამოყენებულია გამოსახულების სიგნალის კადრული და სტრიქონული განშლა (დისკრეტიზაცია), ყოველი სტრიქონის განმავლობაში იგი მაინც უწყვეტი რჩება, რის გამოც ტელევიზიის პირველადი $b(t)$ სიგნალი ანალოგურია.

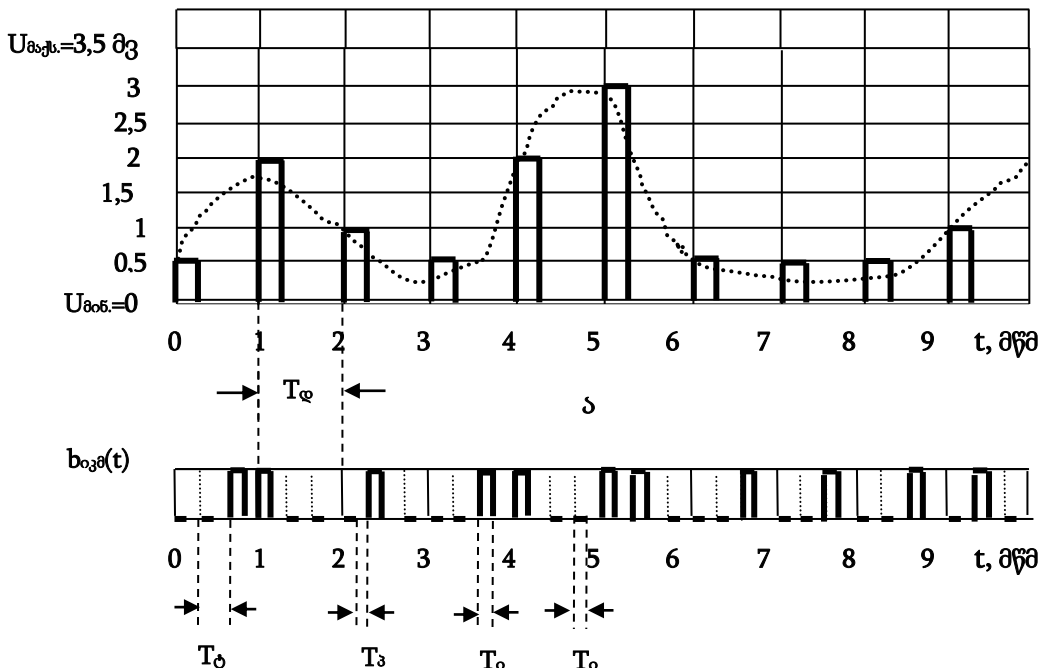
ანალოგური (უწყვეტი) სიგნალებიდან შესაბამისი ციფრული სიგნალების ფორმირებისათვის აუცილებელ ეტაპებს წარმოადგენს უწყვეტი სიგნალების გარდაქმნა დისკრეტულ სიგნალებად, რომელიც ხორციელდება უწყვეტი მათი დროითი დისკრეტიზაციით, ამ გზით ფორმირებული ამპლიტუდა-იმპულსურად

მოდულირებული (აიმ) სიგნალის მნიშვნელობათა მიხედვით დაკვანტვითა და მიღებული დაკვანტული ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული (დაიმ) სიგნალის დაკვანტვის k რაოდენობის დონეებიდან თითოეულის წარმოდგენით m -თანრიგა კოდური ჯგუფებით.

ციფრული მოდულაციის სახეობებია: იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (იკმ); დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (დიკმ) და დელტა-მოდულაცია (დმ). ციფრული მოდულაციის ზემოაღნიშნული ნებისმიერი სახეობისათვის, როგორც უკვე იყო აღნიშნული, მოდულაციის პროცედურა შედგება სამი ოპერაციისაგან: უწყვეტი სიგნალის დროითი დისკრეტიზაცია, ანუ ამპლიტუდურ-იმპულსური მოდულაცია (აიმ), დაკვანტვა (მნიშვნელობათა მიხედვით დისკრეტიზაცია) და კოდირება.

იმპულსურ-კოდური მოდულაციისას ანალოგური სიგნალის დროითი დისკრეტიზაციისა და დაკვანტვის შემდეგ შესაძლებელია მიღებული დაიმ სიგნალის (ნახ. 28ა) დისკრეტული ანათვლების (ელემენტების, პიქსელების) დაკვანტვის k რაოდენობის დონეთა ნომრების კოდირება (წარმოდგენა) m რაოდენობის ორობითი (0 და 1) სიმბოლოს (ბიტის) ერთობლიობით, ანუ m -თანრიგა კოდური ჯგუფების საშუალებით. ამ პროცედურას იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (იკმ) ეწოდება, ხოლო კოდირების შედეგად მიღებულ სიგნალს - ციფრული ორობითი სიგნალი (ნახ. 28ბ).

$b_{დაიმ-2}(t), mv$



- 7 – 111
- 6 – 110
- 5 – 101
- 4 – 100
- 3 – 011
- 2 – 010
- 1 – 001
- 0 – 000

ნახ. 28. იკმ სიგნალის ფორმირების ნიმუში

უნდა აღინიშნოს, რომ დაკვანტულ $x_{k+2}(t)$ სიგნალსაც (ნახ. 28ა) შეიძლება ვუწოდოთ ციფრული, ვინაიდან მას მნიშვნელობათა სასრულო სიმრავლე გააჩნია, რომელთა ხაზში უშუალო გადაცემა თუმცა შესაძლებელია, მაგრამ მიზანშეწონილი არაა ხელშეშლების მაღალი დონის შემთხვევაში მისი, როგორც მრავალდონიანი სიგნალის, შეცდომით აღდგენის შედარებით დიდი ალბათობის გამო. სწორედ ამიტომაც მიზანშეწონილი მრავალდონიანი სიგნალის ორობით სიგნალად გარდაქმნა.

თუ იკმ სიგნალის კოდური ჯგუფი შეიცავს m რაოდენობის სიმბოლოს ("0" და "1"), მაშინ ასეთი m -თანრიგა კოდით შესაძლებელია დაკვანტვის დონეების

$$k=2^m$$

რაოდენობის კოდირება. დაკვანტვის დონეთა k რაოდენობის შერჩევა განისაზღვრება დაკვანტვის ხმაურის დასაშვები სიდიდით. კოდის თანრიგების m რაოდენობის განსაზღვრისათვის სარგებლობენ ფორმულით:

$$m=\text{ent}(\log_2 k)+1,$$

სადაც $\text{ent}(\cdot)$ აღნიშნავს გალოგარითმების შედეგად მიღებული რიცხვის მთელ ნაწილს. მაგალითად, თუ $k=145$, მაშინ $m=\text{ent}(\log_2 145)+1=7+1=8$. ჩვეულებრივ დაკვანტვის დონეთა რაოდენობას ირჩევენ $k=2^m$ -ის ტოლს. მაგალითად, $m=5$ -თვის $k=32$, $m=6$ -თვის $k=64$, $m=7$ -თვის $k=128$, $m=8$ -თვის $k=256$ და ა.შ.

მაშასადამე, დაკვანტვის დონეთა k რაოდენობის მიხედვით განისაზღვრება შესაბამისი ორობითი კოდის თანრიგების რაოდენობა m , რომელიც ნახ. 28-ზე განხილული შემთხვევისათვის 3-ის ტოლია ($k=8$). დაკვანტვის დონეთა ნომრები (N) კი მოთავსებულია $0, 1, \dots, 7$ შუალედში.

გამოყენებული კოდური კომბინაციების სიმრავლეს კოდს უწოდებენ. უმარტივესი კოდია ეგრეთ წოდებული ნატურალური კოდი, რომლისთვისაც კოდური კომბინაციები წარმოადგენენ დაკვანტვის დონის ნომრის ჩაწერას ათვლის ორობით სისტემაში, რომლის არსიც მდგომარეობს შემდეგში: თუ დაკვანტვის დონის რიგითი ნომერია N ($N=0, 1, \dots, 2^m-1$), მაშინ:

$$N = \sum_{i=1}^m a_{m-i} 2^{m-i},$$

სადაც a_{m-i} – N -ის ორობით კოდში წარმოდგენის $(m-i)$ -რი თანრიგის შესაბამისი სიმბოლოა (0 ან 1).

ნახ. 28-ზე განხილულ შემთხვევაში, როდესაც დაკვანტვის დონეთა რაოდენობა $k=8$ ($m=3$), დაკვანტვის დონეების ნომრებსა და შესაბამის სამთანრიგა ორობით რიცხვებს შორის იქნება შემდეგი დამოკიდებულებები:

N	→	a ₁	a ₂	a ₃	N	→	a ₁	a ₂	a ₃
0	→	0	0	0	1	→	0	0	1
2	→	0	1	0	3	→	0	1	1
4	→	1	0	0	5	→	1	0	1
6	→	1	1	0	7	→	1	1	1

კერძოდ, თუ $N=5$, მაშინ: $5 = a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0 = 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1$ ($a_2=1$, $a_1=0$, $a_0=1$). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ შესაბამისი სამთანრიგა ($m=3$) კოდური კომბინაციაა **101**.

აღნიშნულის გათვალისწინებითაა აგებული იკმ სიგნალის დროითი დიაგრამა (იხ. ნახ. 28ბ).

როგორც ცნობილია, იკმ სიგნალში სიმბოლოების მიმდევრობის სიხშირეს ტაქტურ $F_{\text{ტ}}$ სიხშირეს უწოდებენ, რომელიც ტაქტური $T_{\text{ტ}}$ პერიოდის შებრუნებული სიდიდეა.

$$F_{\text{ტ}} = 1/T_{\text{ტ}}.$$

როგორც ნახ. 28-დან ჩანს, იკმ სიგნალის ტაქტური პერიოდი

$$T_{\text{ტ}} = T_{\text{ფ}}/m.$$

ამიტომ ტაქტური სიხშირე

$$F_{\text{ტ}} = m f_{\text{ფ}}.$$

იკმ ციფრული სიგნალის სიმბოლოების გამეორების ინტერვალის, ანუ ტაქტური $T_{\text{ტ}}$ პერიოდის ფარდობას სიმბოლოების $T_{\text{ფ}}$ ხანგრძლივობასთან იკმ სიგნალის მეჩხერიანობას (q), ხოლო სიმბოლოებს შორის არსებულ დროით $T_{\text{ფ}}$ ინტერვალს პაუზას უწოდებენ.

$$q = T_{\text{ტ}}/T_{\text{ფ}}.$$

ვინაიდან განხილულ შემთხვევაში $k=8$, ამიტომ შესაბამისი ორობითი კოდის თანრიგების (სიმბოლოების, ბიტების) რაოდენობა $m=\text{Log}_2 8=3$ (ნახ. 28ბ), სადაც სიმბოლოები ერთმანეთისაგან დაშორებულია მათი T_0 ხანგრძლივობის ტოლი პაუზით ($T_3=T_0=T_2/2$), რის გამოც სიმბოლოების მიმდევრობის მეცხერიანობა $q=T_2/T_0=2$. თავის მხრივ, თუ დისკრეტიზაციის პერიოდი $T_2=1$ მწმ, მაშინ ტაქტური პერიოდი $T_3=T_2/3=1/3$ მწმ. შესაბამისად, ტაქტური სიხშირე $F_3=1/T_3=3$ კჰც. აქედან გამომდინარე, სიმბოლოების (ბიტების) და პაუზების ხანგრძლივობები განხილულ შემთხვევაში ტოლია ($T_3=T_0=T_2/2=1/6$ მწმ). შევნიშნოთ, რომ იმ შემთხვევაში, როდესაც სიმბოლოები ერთმანეთზე მიჯრითაა მიწყობილი, მაშინ $T_0=T_2$ ($T_3=0$, $q=1$).

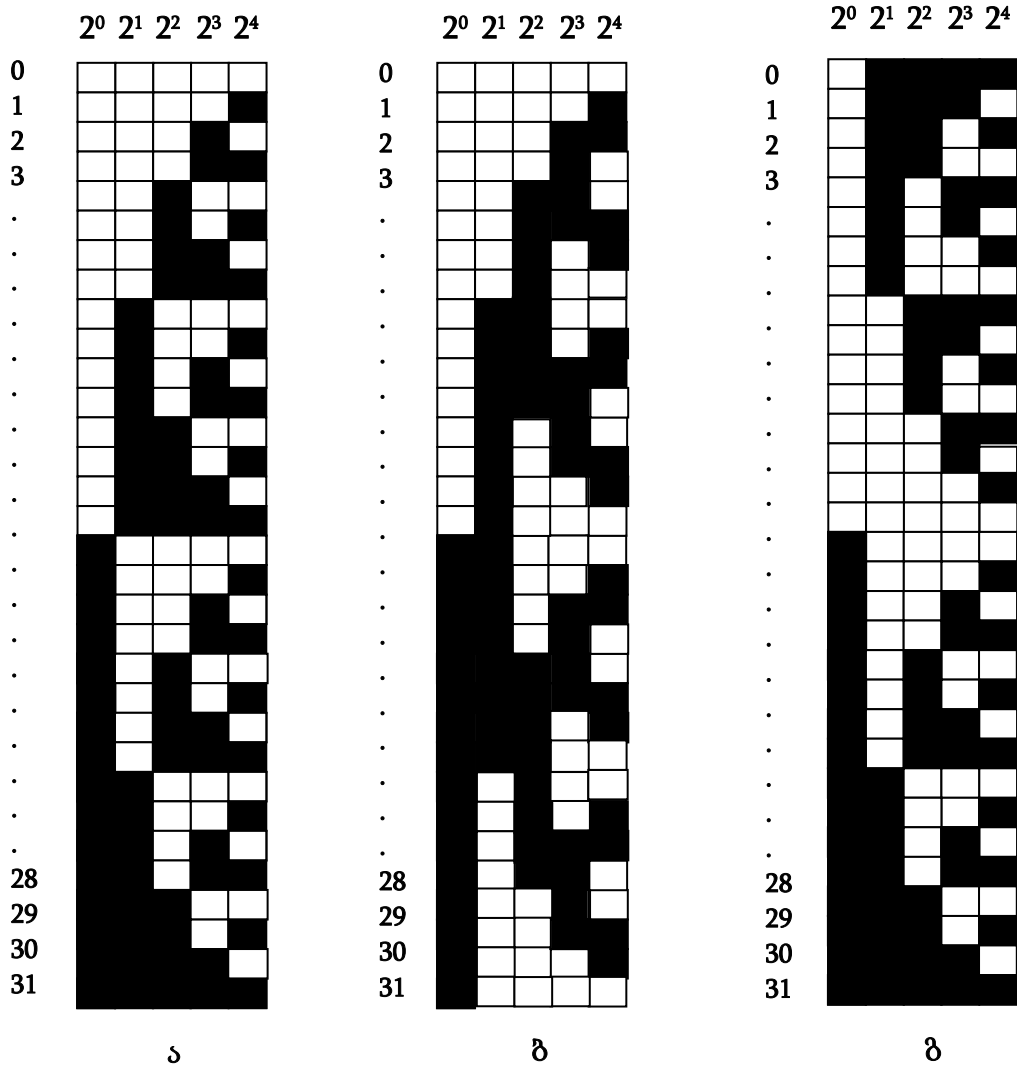
კოდების გრაფიკული გამოსახვა მოსახერხებელია კოდური ცხრილის საშუალებით, რომელიც წარმოადგენს დაკვანტვის დონეების ნომრების ზრდის მიხედვით განლაგებული ყველა შესაძლო კოდური კომბინაციის სიმბოლურ გამოსახულებას (ნახ. 29). ასეთი ცხრილის თითოეული სტრიქონი შეესაბამება კოდურ კომბინაციას. ცხრილის გამუქებული მონაკვეთები შეესაბამება სიმბოლოს "1", ხოლო გაუმუქებელი - სიმბოლოს "0".

ნატურალური კოდის კოდური ცხრილი ნაჩვენებია 29ა ნახაზზე, სადაც თითოეული კომბინაცია დანარჩენისაგან განსხვავდება ერთ თანრიგში მაინც. იმ თანრიგების რაოდენობას, რომლებშიც კოდური კომბინაციები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, კოდური სიგრძე ეწოდება. ნატურალური კოდის შემთხვევაში მეზობელ კოდურ კომბინაციებს შორის მანძილებია 1, 2, 3, 1, 2, 1, 4 და ა. შ. m -თანრიგა კოდისათვის მეზობელ კოდურ კომბინაციებს შორის უდიდესი მანძილი ცხრილის შუაშია და იგი m -ის ტოლია. რეფლექსური კოდისათვის, რომელსაც აგრეთვე გრეის კოდსაც უწოდებენ (ნახ. 29ბ), მეზობელ კოდურ კომბინაციებს შორის მანძილები ერთნაირია და უდრის ერთს.

ორპოლარული სიგნალების კოდირებისას, კერძოდ კი სიგნალების წინასწარმეტყველებით კოდირების (სხვაობითი) რომელიმე მეთოდის (დიფერენციალური იმპულსურ-კოდური მოდულაცია ან დელტა-მოდულაცია) გამოყენებისას, შეიძლება გამოყენებული იყოს სიმეტრიული ორობითი კოდები (ნახ. 29გ), რომელთა კოდური ჯგუფის პირველი სიმბოლო განსაზღვრავს ანათვლის

პოლარობას (დადებითი ან უარყოფითი), ხოლო დანარჩენები - მის აბსოლუტურ მნიშვნელობას. ასეთი კოდის კოდური ცხრილი სიმეტრიულია ცენტრის მიმართ.

ზემოაღწერილ კოდებში გამოყენებულია ყველა შესაძლო კოდური კომბინაცია, რომელთა რაოდენობა $k=2^m$. სხვა კოდებში კი არ გამოიყენება კომბინაციების გარკვეული ნაწილი. გამოყენებული კოდური კომბინაციების ფარდობას მათ საერთო რაოდენობასთან კოდის სიჭარბე ეწოდება. კოდის სიჭარბე კი წარმოადგენს სიგნალების გადაცემისას წარმოქმნილი შეცდომების აღმოჩენისა და გასწორების საშუალებას. მაგალითად, თუ კოდურ ჯგუფებს შორის მინიმალური მანძილია 2, მაშინ გადაცემის პროცესში წარმოქმნილი ერთეულოვანი შეცდომა რომელიმე დასაშვებ კოდურ კომბინაციას ვერ შეცვლის სხვა დასაშვები კოდური კომბინაციით, რის შედეგადაც ასეთი შეცდომა იქნება აღმოჩენილი და გასწორებული. ერთეულოვანი შეცდომის გასწორებისათვის კოდის მინიმალური სიგრძე უნდა იყოს 3-ის ტოლი.

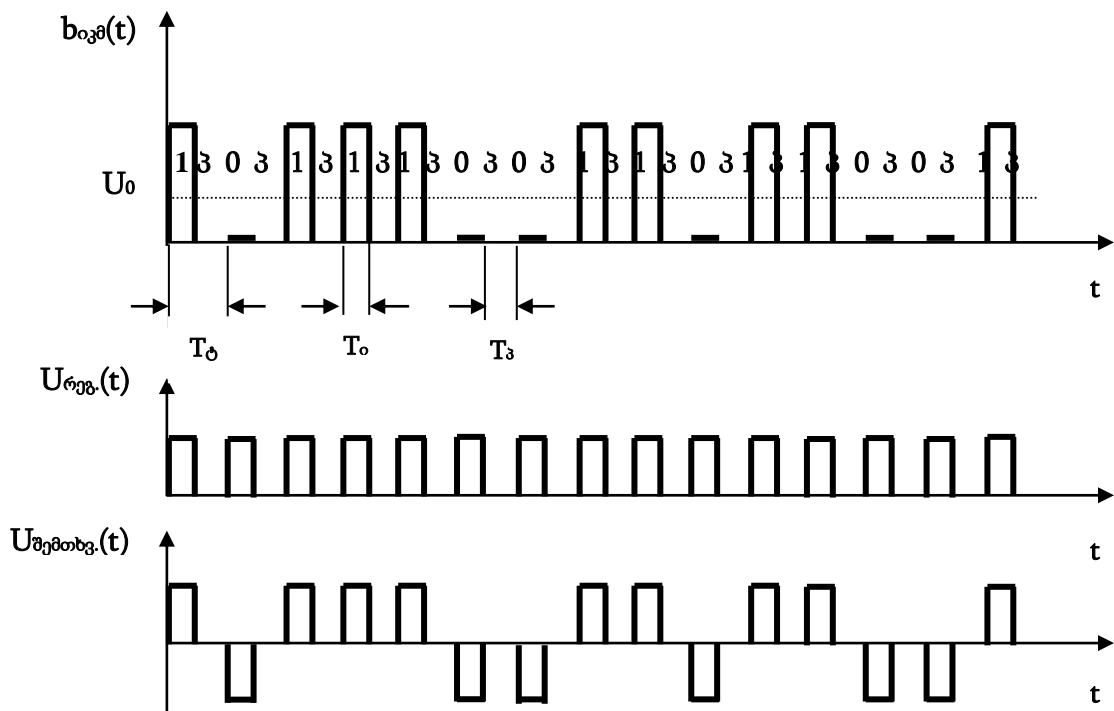


ნახ. 29. კოდური ცხრილები: ნატურალური კოდი (ა); გრეის კოდი (ბ); სიმეტრიული ორობითი კოდი (გ)

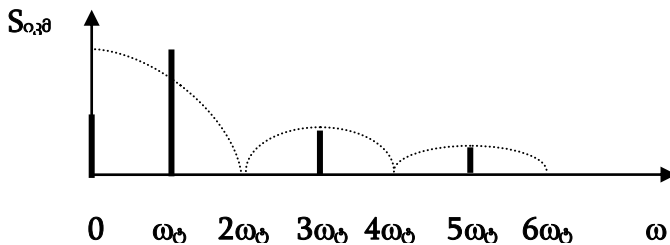
როგორც ნახ. 28ბ-დან ჩანს, იკმ სიგნალი წარმოადგენს ერთპოლარული იმპულსების ორდონიან მიმდევრობას, რომლის მუდმივი მდგენელია U_0 და რომელიც შეიძლება წარმოვადგინოთ ორი - რეგულარული $U_{რეგ.}(t)$ და შემთხვევითი $U_{შემთხვ.}(t)$ შემდგენების ერთობლიობის სახით (ნახ. 30), ანუ

$$b_{იკმ}(t) = U_{რეგ.}(t) + U_{შემთხვ.}(t) .$$

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ იკმ სიგნალის სპექტრი (ნახ. 31) შეიცავს ორ - უწყვეტ და დისკრეტულ შემდგენებს. თავის მხრივ, დისკრეტული შემდგენი შედგება იკმ სიგნალის მუდმივი მდგენელისაგან (მისი სიხშირე ($\omega=0$), ტაქტური ω_0 სიხშირისა და $T_0=T_0/2$ -ის შემთხვევაში მისი ჯერადი $k\omega_0$ ($k=3, 5, \dots$) სიხშირეების ჰარმონიული რხევებისაგან. სპექტრის უწყვეტი ნაწილი (იგი ნახ. 31-ზე პუნქტირითაა ნაჩვენები) შეიცავს მკვეთრად გამოხატულ დაბალსიხშირულ ნაწილს, რომელიც მუდმივ მდგენელთანაა უშუალოდ მიბჯენილი, და შესამჩნევად გამოხატულ მაღალსიხშირულ შემდგენებს.



ნახ. 30. იკმ სიგნალის წარმოდგენა რეგულარული და შემთხვევითი შემდგენლების საშუალებით



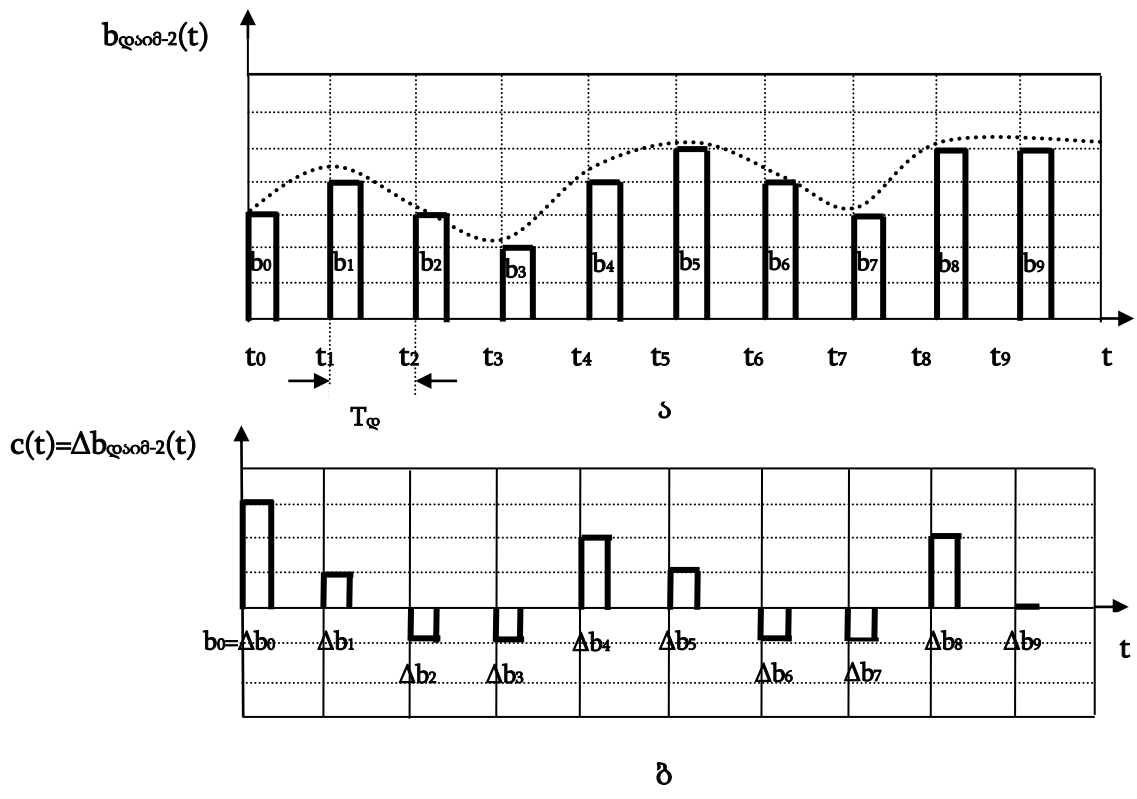
ნახ. 31. იკმ სიგნალის სპექტრი

იმპულსურ-კოდური მოდულაციის (იკმ) პრინციპიდან გამომდინარეობს, რომ ციფრული გარდაქმნის ამ მეთოდის დროს სიგნალის თითოეული ანათვალის კოდირება ხდება დამოუკიდებლად და ამიტომ თითოეული კოდური ჯგუფი შეიცავს ინფორმაციას სიგნალის მხოლოდ ერთი ანათვალის (ელემენტის) შესახებ. სიგნალის ცალკეულ ელემენტებს შორის არსებული კორელაციური კავშირები არანაირად არ ახდენს გავლენას კოდირების პროცესზე და ამიტომ დაკვანტვის დონეთა აუცილებელი რაოდენობა დაკვანტვის შერჩეული ბიჯის შემთხვევაში განისაზღვრება მხოლოდ შემავალი სიგნალის დონეთა ცვლილების დიაპაზონით. ამავე დროს ცხადია, რომ დისკრეტიზაციის მომენტებში სიგნალის ანათვლებს შორის კორელაციის არსებობის შემთხვევაში, რაც დამახასიათებელია რეალური სატელეკომუნიკაციო (როგორც მეტყველების, ასევე გამოსახულების) სიგნალებისათვის, იკმ-თან შედარებით შეიძლება ან დაკვანტვის დონეთა საჭირო რაოდენობის შემცირება დაკვანტვის ხმაურის სიმძლავრის გადიდების გარეშე და, შესაბამისად, ტელეკომუნიკაციის არხის გამტარუნარიანობისადმი წაყენებული მოთხოვნების შემსუბუქება ან დაკვანტვის დონეთა რაოდენობის შენარჩუნების პირობებში - დაკვანტვის ხმაურის შემცირება. ეს იდეა რეალიზებულია წინასწარმეტყველებითი (სხვაობითი) იკმ-ის შემთხვევაში, რომლის დროსაც დისკრეტიზაციის t_i მომენტში ხდება სიგნალის არა მყისი b_i მნიშვნელობის, არამედ

სიგნალის ნამდვილ b_i და ნაწინასწარმეტყველებელ b^*_i მნიშვნელობებს შორის Δb_i სხვაობის კოდირებულ მნიშვნელობათა ფორმირება და გადაცემა:

$$\Delta b_i = b_i - b^*_i .$$

ციფრული მოდულაციის აღნიშნული მეთოდის გამოყენებისას ითვლება, რომ სიგნალში კორელაციური კავშირების, ანუ ანათვლებს შორის ურთიერთდამოკიდებულობის, არსებობის შემთხვევაში ანათვლებს შორის სხვაობა Δb_i აღმოჩნდება უფრო ნაკლები დისკრეტიზაციის მომენტებში სიგნალის b_i ანათვლების მნიშვნელობებთან შედარებით გარდა Δb_0 სხვაობისა, რომელიც ეგრეთ წოდებული «საყრდენი» b_0 ანათვლის ტოლია ($\Delta b_0 = b_0$). აღნიშნული გარემოება იძლევა სხვაობითი სიგნალის Δb_i მნიშვნელობების ($i=1, 2, 3, \dots$) უფრო მცირე რაოდენობის ორობითი სიმბოლოებით (ბიტებით) წარმოდგენის შესაძლებლობას იკმ-თან შედარებით.



ნახ. 32. დაკვანტული ამპლიტუდა-იმპულსურად მოდულირებული (დაიმ) სიგნალიდან დიფერენციალური იმპულსურ-კოდურად მოდულირებული (დიკმ) სიგნალის ფორმირება

იმ შემთხვევაში, როდესაც დისკრეტიზაციის t_i მომენტში სიგნალის ნაწინასწარმეტყველებელი მნიშვნელობა მიიჩნევა t_{i-1} მომენტში სიგნალის მნიშვნელობის ტოლად, ანუ როდესაც $b^*_i = b_{i-1}$, მაშინ ციფრული მოდულაციის ასეთ მეთოდს **დიფერენციალურ იმპულსურ-კოდურ მოდულაციას (დიკმ) უწოდებენ.** დიკმ-ის შემთხვევაში წინასწარმეტყველების მიღებული ალგორითმი და მისი ტექნიკური რეალიზაცია საკმაოდ მარტივია, რაც განაპირობებს მის პოპულარობას წინასწარმეტყველებით კოდირების მეთოდებს შორის. დიკმ-ის დროს სხვაობითი სიგნალის ფორმირების მექანიზმი ნაჩვენებია ნახ. 32-ზე, რომელზეც დისკრეტიზაციის T_{Φ} პერიოდის განმავლობაში სიგნალი მდორედ იცვლება (ნახ. 32ა). ასეთი სიგნალისათვის მაღალია ანათვლებს შორის კორელაციის ხარისხი, რის გამოც სიგნალის Δb_i ($i=1, 2, 3, \dots$) ნაზრდების მნიშვნელობები გაცილებით ნაკლებია თვით ანათვლების b_1, b_2, b_3 და ა.შ. მნიშვნელობებზე (ნახ. 32ბ). როგორც აღნიშნული იყო, გამონაკლისია ერთადერთი Δb_0 სხვაობა (ნაზრდი), რომელიც სიდიდით პირველი (ეგრეთ წოდებული "საყრდენი") ანათვალის b_0 მნიშვნელობის ტოლია ($\Delta b_0 = b_0$).

წინასწარმეტყველებით კოდირების (სხვაობით) სისტემებში და მათ შორის დიკმ სისტემებში შესაბამისი სისტემის მიმღებისაკენ სატელეკომუნიკაციო ხაზით გადაიცემა სხვაობითი $c(t) = \Delta b(t)$ სიგნალის დაკვანტული და კოდირებული მნიშვნელობები. ამასთან კოდური ჯგუფის პირველი სიმბოლო აღნიშნავს გადაცემული ნაზრდის პოლარობას, ხოლო დანარჩენი სიმბოლოები – მის აბსოლუტურ სიდიდეს. ამასთან, თუ იკმ-ის შემთხვევაში თითოეული ანათვლის კოდირებისათვის საჭირო იყო m რაოდენობის ორობითი სიმბოლო (ბიტი), სიგნალში კორელაციური კავშირების არსებობის გამო მოცემულ შემთხვევაში აღდგენილი სიგნალის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუარესების გარეშე საკმარისია m_1 რაოდენობის სიმბოლო ($m_1 < m$).

ცხადია, რომ მიმღებში $\Delta b_0 = b_0$ -ის მიღების შემდეგ სიგნალის დანარჩენი b_i ანათვლების აღდგენა შესაძლებელი იქნება t_{i-1} მომენტში უკვე აღდგენილი b_{i-1} [ანათვლისა და მიღებული სხვაობითი სიგნალის Δb_i ($i=1, 2, 3, \dots$) სხვაობების

მნიშვნელობების აჯამვით. მაშასადამე, მიმღებში ანათვლების აღდგენა ხორციელდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

$$b_0 = \Delta b_0, \rightarrow b_1 = b_0 + \Delta b_1, \rightarrow b_2 = b_1 + \Delta b_2, \rightarrow b_3 = b_2 + \Delta b_3, \rightarrow b_4 = b_3 + \Delta b_4 \text{ და ა.შ.}$$

დელტა-მოდულაცია (**დმ**) წინასწარმეტყველებით კოდირების მეთოდის ერთ-ერთ სახეა. ამ შემთხვევაში ხდება დისკრეტიზაციის ინტერვალში სიგნალის ნაზრდის ნიშნის (დადებითი თუ უარყოფითი) შესახებ ინფორმაციის კოდირება და ხაზში გადაცემა. სხვაობითი $\Delta b(t)$ სიგნალის სიდიდე დამოკიდებულია მისი ერთმანეთისაგან T_{Φ} ინტერვალით დაშორებულ მნიშვნელობებს შორის კორელაციაზე (ურთიერთდამოკიდებულების ხარისხზე). T_{Φ} -ს შემცირებით Δb -ც მცირდება, ვინაიდან სიგნალის ანათვლებს შორის კორელაცია იზრდება. თუ T_{Φ} ინტერვალს იმდენად მცირეს შევარჩევთ, რომ Δb არ გადააჭარბებს დაკვანტვის ბიჯს, მაშინ სხვაობითი სიგნალის გადაცემა შესაძლებელია ერთთანრიგა კოდის გამოყენებით. თუ, მაგალითად, აღმოჩნდება, რომ სხვაობა $\Delta b(t) < 0$, მაშინ კოდერი აფორმირებს სიმბოლოს "1", ხოლო თუ $\Delta b(t) > 0$, მაშინ - სიმბოლოს "0". ამ დროს მიღებულ ციფრულ მიმდევრობას დელტა-კოდი ეწოდება. კოდირების ასეთი პრინციპიდან გამომდინარეობს, რომ **დმ** წარმოადგენს წინასწარმეტყველებიანი სისტემების სახესხვაობას, როდესაც სხვაობითი სიგნალი ორდონიანია. იმისათვის, რომ სხვაობითი სიგნალი არ აჭარბებდეს დაკვანტვის ბიჯს, დისკრეტიზაციის სიხშირე **დმ**-ის შემთხვევაში მნიშვნელოვნად უნდა აღემატებოდეს **იკმ**-ისა და **დიკმ**-ის დროს გამოყენებულ დისკრეტიზაციის სიხშირეს.

11. ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოდგენის თავისებურებანი. სატელეკომუნიკაციო სიგნალების პარამეტრები მათი ციფრული სახით წარმოდგენისას. სატელეკომუნიკაციო სისტემების აგება სიგნალების დროითი და კოდური მულტიპლექსირებით

ტელეკომუნიკაციის განვითარების ძირითად ტენდენციას წარმოადგენს ქსელების ციფროვიზაცია, რომელიც ითვალისწინებს ქსელების აგებას სიგნალების გადაცემისა და კომუტაციის ციფრული სისტემების საშუალებით. ეს აიხსნება გადაცემის ციფრული მეთოდების მნიშვნელოვანი უპირატესობებით ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით, კერძოდ:

მაღალი ხელშეშლამდგრადობა. ინფორმაციის ციფრულ ფორმაში წარმოდგენა იძლევა შესაბამისი სიგნალების კავშირის ხაზებში გადაცემისას მაღალი ალბათობით მათი რეგენერაციის (აღდგენის) საშუალებას, ვინაიდან ციფრულ სიგნალში მნიშვნელობათა რაოდენობა მცირეა (მაგალითად, იკმ სიგნალში მათი რაოდენობაა 2), რომელთა ხელშეშლებით დამახინჯების შემთხვევაშიც კი მათი ზუსტად აღდგენის (რეგენერაციის) ალბათობა მაღალია. ეს გარემოება მკვეთრად ამცირებს ხელშეშლებისა და დამახინჯებების გავლენას ინფორმაციის გადაცემის ხარისხზე.

ინფორმაციის გადაცემის სიშორის გაზრდის შესაძლებლობა. გადაცემის ციფრული მეთოდების ეს თავისებურებაც დაკავშირებულია რეგენერაციის შუალედურ და დამაბოლოებელ პუნქტებში სიგნალის მაღალი ალბათობით ზუსტად აღდგენის შესაძლებლობასთან. რეგენერაციის ყოველი უბნის საზღვრებში გადაცემული სიგნალების დამახინჯებები ძალზე მცირეა. შორ მანძილზე

სიგნალების გადაცემისას რეგენერაციის უბნის სიგრძე და რეგენერატორის აღჭურვილობა პრაქტიკულად ისეთივე რჩება, როგორცაა სიგნალების მოკლე მანძილზე გადაცემისას. მაგალითად, კავშირის ხაზის სიგრძის 100-ჯერ გაზრდისას ინფორმაციის გადაცემის უცვლელი ხარისხის შენარჩუნებისათვის საკმარისია რეგენერაციის უბნის სიგრძის შემცირება მხოლოდ რამდენიმე პროცენტით.

არხების პარამეტრების სტაბილურობა. არხების პარამეტრების (ნარჩენი მილევა, სიხშირული და ამპლიტუდური მახასიათებლები და სხვა) სტაბილურობა და იდენტურობა ძირითადად განისაზღვრება სიგნალების ანალოგურ ფორმაში დამუშავების მოწყობილობებით. ვინაიდან ასეთი მოწყობილობები შეადგენენ გცს-ების მოწყობილობების ძალზე მცირე ნაწილს, ამიტომ ასეთ სისტემებში არხების პარამეტრების სტაბილურობა მნიშვნელოვნად მაღალია ანალოგურ სისტემებთან შედარებით.

დისკრეტული სიგნალების გადაცემისათვის არხების გამტარუნარიანობის ეფექტური გამოყენება. გადაცემის ციფრული სისტემების (გცს) ჯგუფურ ტრაქტში დისკრეტული სიგნალების უშუალო შეყვანისას მათი გადაცემის სიჩქარე შეიძლება მიუახლოვდეს ჯგუფური სიგნალის გადაცემის სიჩქარეს. თუ, მაგალითად, ამ დროს გამოყენებული იქნება ერთი სატელეფონო, ანუ ტონალური სიხშირის (ტს) არხის შესაბამისი დროითი პოზიციები, მაშინ გადაცემის სიჩქარე დაახლოებით 64 კბიტი/წმ-ია მაშინ, როდესაც ანალოგურ სისტემებში იგი ჩვეულებრივ არ აღემატება 33,6 კბიტი/წმ-ს.

კავშირის ციფრული ქსელის აგების შესაძლებლობა. გადაცემის ციფრული სისტემები კომუტაციის ციფრულ სისტემებთან ერთად წარმოადგენს კავშირის ციფრული ქსელის საფუძველს, რომელშიც სიგნალების გადაცემა, ტრანზიტი და კომუტაცია ხორციელდება ციფრულ ფორმაში. ამავე დროს არხების პარამეტრები პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული ქსელის სტრუქტურაზე, რაც იძლევა მოქნილი განშტოებული ქსელის აგების საშუალებას, რომელსაც მაღალი საიმედოობისა და ხარისხობრივი მაჩვენებლები გააჩნია.

მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. სიგნალების ციფრულ ფორმაში გადაცემა და კომუტაცია იძლევა აღჭურვილობათა ერთიან აპარატურულ

პლათფორმაზე რეალიზების საშუალებას. ეს, თავის მხრივ, იძლევა ადჭურვილობის (მოწყობილობის) დამზადების შრომატევადობის, მისი ღირებულების, მოხმარებული ენერჯისა და გაბარიტების მკვეთრად შემცირების საშუალებას. გარდა ამისა, მნიშვნელოვნად მარტივდება სისტემების ექსპლუატაცია და მალღდება მათი საიმედოობა.

გარდა ზემოთ განხილული ღირსებებისა, უნდა აღინიშნოს სიგნალების ციფრული ფორმით გადაცემისა და დამუშავების ისეთი მნიშვნელოვანი უპირატესობები ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით, როგორცაა: **მრავალარხიანი ჯგუფური სიგნალის ფორმირების სიმარტივე; სიგნალიზაციის სიმარტივე; თანამედროვე ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენების შესაძლებლობა; გადაცემისა და კომუტაციის სისტემების ინტეგრაცია; მომსახურების სხვადასხვა სახეობების თავსებადობა; ტელეკომუნიკაციაში კომპიუტერული ტექნიკის ფართოდ გამოყენების შესაძლებლობა; ინფორმაციის სხვადასხვა ალგორითმებით დამუშავებისა და დაშიფვრის შესაძლებლობა და სხვა.**

ინფორმაციის გადაცემისა და დამუშავების პირველი ციფრული მეთოდი – იმპულსურ-კოდური მოდულაცია (**იკმ**) ცნობილია 1937 წლიდან, ხოლო სპეციალიზირებული ციფრული კომპიუტერები - 1939 წლიდან. მიუხედავად ამისა, ტელეფონის გამოგონებიდან (1875 წ.) თითქმის 100 წლის განმავლობაში ტელეკომუნიკაციის სისტემები და კომპიუტერული ტექნიკა იყო ანალოგური, ანუ ინფორმაციის დამუშავებისა და გადაცემისათვის გამოიყენებოდა ანალოგური მეთოდები. **იკმ**-ის ინტენსიური დანერგვა როგორც კომპიუტერულ ტექნიკაში, ასევე ტელეკომუნიკაციაში იწყება XX საუკუნის 50-იანი წლების დასასრულიდან. კერძოდ, 1959 წელს იქმნება მეორე თაობის კომპიუტერები ტრანზისტორების ბაზაზე, ხოლო 1962 წელს ამერიკულმა კომპანიამ **Bell System**-მა შექმნა 24-არხიანი სატელეფონო სისტემა. ამ პერიოდში შეიქმნა ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების (**ეგმ**) მესამე თაობა (**IBM 360, 1963 წ.**). მსგავსი **ეგმ**-ების შექმნამ გამოიწვია მულტიპლექსირების (არხების შეყვანა/გამოყვანის, ანუ, სხვანაირად, გაერთიანება/დაშლის) ისეთი კონცეფციის ჩამოყალიბება, რომელიც გულისხმობს შემყვან/გამომყვანი ციფრული მულტიპლექსორების განვითარებული სისტემების

გამოყენებას როგორც კომერციული მიზნებისათვის მონაცემთა ციფრული გადაცემის კომპიუტერული სისტემების ორგანიზების, ისე ლოკალური კომპიუტერული ქსელების შექმნისათვის. გასული საუკუნის 70-იანი წლების დასაწყისიდან მიკროპროცესორული ტექნიკის განვითარებამ ახალი მძლავრი იმპულსი მისცა ციფრული მეთოდების გამოყენებას კომპიუტერული ტექნიკის, ტელეკომუნიკაციისა და კომუტაციის სფეროებში, უკანასკნელ პერიოდში კი - თავად კომპიუტერული ტექნიკის ფართოდ დანერგვას ტელეკომუნიკაციასა და კომუტაციის მოწყობილობებში.

სიგნალების გადაცემის ციფრული მეთოდების ზემოაღნიშნულმა უპირატესობებმა ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით განაპირობა მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში შედარებით მოკლე ვადებში სხვადასხვა იერარქიის ამერიკული, ევროპული, იაპონური და შერეული სტანდარტების ციფრული ტექნოლოგიების ჩამოყალიბება გადაცემის სხვადასხვა სტანდარტიზირებული სიჩქარეებით. ეს იერარქია გადაცემის **64 კბიტი/წმ, ≈2 მბიტი/წმ, ≈8 მბიტი/წმ, ≈34 მბიტი/წმ და ≈139 მბიტი/წმ** სიჩქარეებით, რომლებსაც პლეზიოქრონული (**PDH-Plesiochronous Digital Hierarchy**), ანუ თითქმის სინქრონული ციფრული იერარქიის დონეები ეწოდება, ფართოდ გამოიყენებოდა და ახლაც გამოიყენება სხვადასხვა სახის ინფორმაციის გადაცემისათვის. გადაცემის მაღალსიჩქარიანი ტელეკომუნიკაციის სისტემების შემდგომმა განვითარებამ განაპირობა 2 მნიშვნელოვანი ციფრული ტექნოლოგიის შექმნა. ერთ-ერთი მათგანია სინქრონული ოპტიკური ქსელები (**SONET – Synchronous Optical Network**), ხოლო მეორე – სინქრონული ციფრული იერარქია (**SDH – Synchronous Digital Hierarchy**), რომელთა მეშვეობით ამჟამად შესაძლებელია გადაიცეს 40 გბიტი/წმ ციფრული ნაკადები.

ზოგადად, ტელეკომუნიკაციის ქსელის ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია სატელეფონო ქსელი, რომელიც შედგება ავტომატური ტელეფონის სადგურებისაგან (**ატს**), რომლებთანაც მიერთებულია აბონენტთა დამაბოლოებელი მოწყობილობები, სატელეფონო კვანძებისაგან, რომელთა გავლითაც ხორციელდება სადგურთშორისი შეერთებები, და კავშირგაბმულობის ხაზებისაგან. თავისი განვითარების თითქმის 150-წლიან პერიოდში სატელეფონო კავშირის ტექნიკამ

გაიარა გრძელი გზა - დაწყებული ტელეფონის აპარატებისა და ხელის კომპუტატორებიდან (თბილისში პირველი ხელის სატელეფონო სადგური ამოქმედდა 1893 წელს) დამთავრებული თანამედროვე ელექტრონული ატს-ით. დღეისათვის საქართველოში ინტენსიურად იწერება ტელეკომუნიკაციის უახლესი საშუალებები: ელექტრონული ციფრული კომუტაციის სისტემები; მობილური კავშირის სისტემები; პლენიპრონული (PDH) და სინქრონული (SDH) ციფრული იერარქიის ქსელები; სინქრონული ოპტიკური ქსელები (SONET); გადაცემის ასინქრონულ რეჟიმში მომუშავე (ATM – **A**synchro**n**ous **T**rasfer **M**ode) სისტემები; კომპიუტერული ქსელები; გადაცემის ციფრული სისტემები ანალოგური სააბონენტო ხაზებისათვის და სხვა, რაც სრულად შეესაბამება სატელეკომუნიკაციო ტექნიკის განვითარების ტენდენციებს მოწინავე ქვეყნებში.

უკანასკნელ პერიოდში განვითარებულ ქვეყნებში გაიზარდა ინტერესი სატელეფონო ქსელების სააბონენტო ხაზების ეფექტურად გამოყენებისადმი. ნათელი გახდა, რომ მხოლოდ ანალოგური სატელეფონო მომსახურება მომხმარებელს ვერ აკმაყოფილებს. მეორე მხრივ, საკომუტაციო სადგურებისა და მაგისტრალური ხაზების მოდერნიზაციამ და გადაცემის ციფრულ სისტემებზე გადასვლამ წარმოშვა მოთხოვნილება ახალი სახის მომსახურებებზე, რომელთა განხორციელების ხელისშემშლელ ფაქტორად იქცა სააბონენტო ხაზის უბანი ანუ უბანი აბონენტსა და ატს-ს შორის. 90-იანი წლების დასაწყისში გაჩნდა ტექნოლოგიები, რომლებსაც შეუძლია ნაწილობრივ მოხსნას სააბონენტო ხაზისადმი წაყენებული თანამედროვე მოთხოვნები. სპილენძის ძარღვიანი ხაზების მოდერნიზებასთან ერთად განვითარდა სააბონენტო შეღწევის (მიერთების) ქსელები, რომლებიც დაფუძნებულია ოპტიკური და რადიოარხების გამოყენებაზე. ამჟამად სააბონენტო შეღწევის ქსელები ისე განვითარდა, რომ შესაძლებელი გახდა მომხმარებლისათვის (აბონენტისათვის) 2-მეგაბიტის ციფრული ნაკადების მიწოდება, რამაც დღის წესრიგში დააყენა ახალი ATM და სხვა ფართოზოლოვანი ტექნოლოგიების გამოყენების საკითხი. SDH და ATM ტექნოლოგიებზე აგებული ქსელები, ისევე როგორც გადაცემის ციფრული სისტემები, ანალოგური სააბონენტო ხაზებისათვის გამოიყენება საქართველოშიც.

დავადგინოთ პირველადი ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოდგენის თითოეული ეტაპის შესაბამისი პარამეტრები ტელეფონის, ხმოვანი მაუწყებლობისა და სატელევიზიო სიგნალებისათვის.

1. დისკრეტიზაციის სიხშირის შერჩევა.

ტელეფონის სიგნალისათვის $F_{\omega}=3,4$ კჰც. ამიტომ დისკრეტიზაციის სიხშირე $f_{\omega}>6,8$ კჰც. მიღებული სტანდარტით $f_{\omega}=8$ კჰც (დისკრეტიზაციის პერიოდი $T_{\omega}=1/f_{\omega}=0,125$ მწმ=125 მკწმ).

უმაღლესი კლასის ხმოვანი მაუწყებლობის სიგნალებისათვის $F_{\omega}=15$ კჰც. შესაბამისად $f_{\omega}=32$ კჰც.

ფერადი ტელევიზიის სიკაშკაშის (შავ-თეთრი) შემდგენისათვის $F_{\omega}=6$ მჰც. $f_{\omega}=13,5$ მჰც. ფერსხვაობითი სიგნალებისათვის $F_{\omega}=3$ მჰც, რის გამოც $f_{\omega}=6,75$ მჰც.

2. დაკვანტვის დონეთა რაოდენობის განსაზღვრა.

მეტყველების სიგნალების მთელ დინამიურ დიაპაზონში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს დაკვანტვის ხმაურისაგან დაცულობის ($A_{\text{დ.დ.კ.}}$) სიდიდე, რომელიც უნდა იყოს არანაკლებ 30 დბ-ისა. ამისათვის თანაბარი დაკვანტვისას საჭიროა დაკვანტვის 4096 დონე ($k=4096$), ხოლო არათანაბარი დაკვანტვისას - 256 დონე ($k=256$).

ტელევიზიის სიგნალის შემთხვევაში იმისათვის, რომ სიკაშკაშის ცვლილების მთელ დიაპაზონში (შავიდან თეთრამდე) ერთი გრადაციიდან მეზობელ გრადაციაზე გადასვლა ადამიანის თვალს მოეჩვენოს უწყვეტად, სრულიად საკმარისია 256 გრადაცია (დონე). იგივეა სამართლიანი ფერსხვაობითი სიგნალებისთვისაც. ამიტომ ტელევიზიის სიგნალის სამივე შემდგენისათვის $k=256$.

3. იმპულსურ-კოდურად მოდულირებულ (იკმ) ციფრული სიგნალის კოდის თანრიგების რაოდენობის განსაზღვრა. მეტყველების სიგნალების თანაბარი დაკვანტვისას $k=4096$. ამიტომ $m=\log_2 4096=12$. თუმცა აღდგენილი სიგნალის ხარისხის გაუარესების გარეშე შეიძლება გამოყენებული იყოს არათანაბარი დაკვანტვა, როდესაც სიგნალის მაღალი ალბათობით გამორჩეული უბნების

დისკრეტული მნიშვნელობები იკვანტება შედარებით მცირე ბიჯებით, ხოლო მცირე ალბათობისა - დიდი ბიჯებით. ამ შემთხვევაში დადგენილია, რომ $k=256$, რის გამოც $m=\log_2 256=8$. სიგნალის დისკრეტულ მნიშვნელობათა ალბათობათა გათვალისწინებით ტელევიზიის სიგნალის თითოეული შემდგენისთვისაც საკმარისი აღმოჩნდა 8 ბიტი ($m=8$).

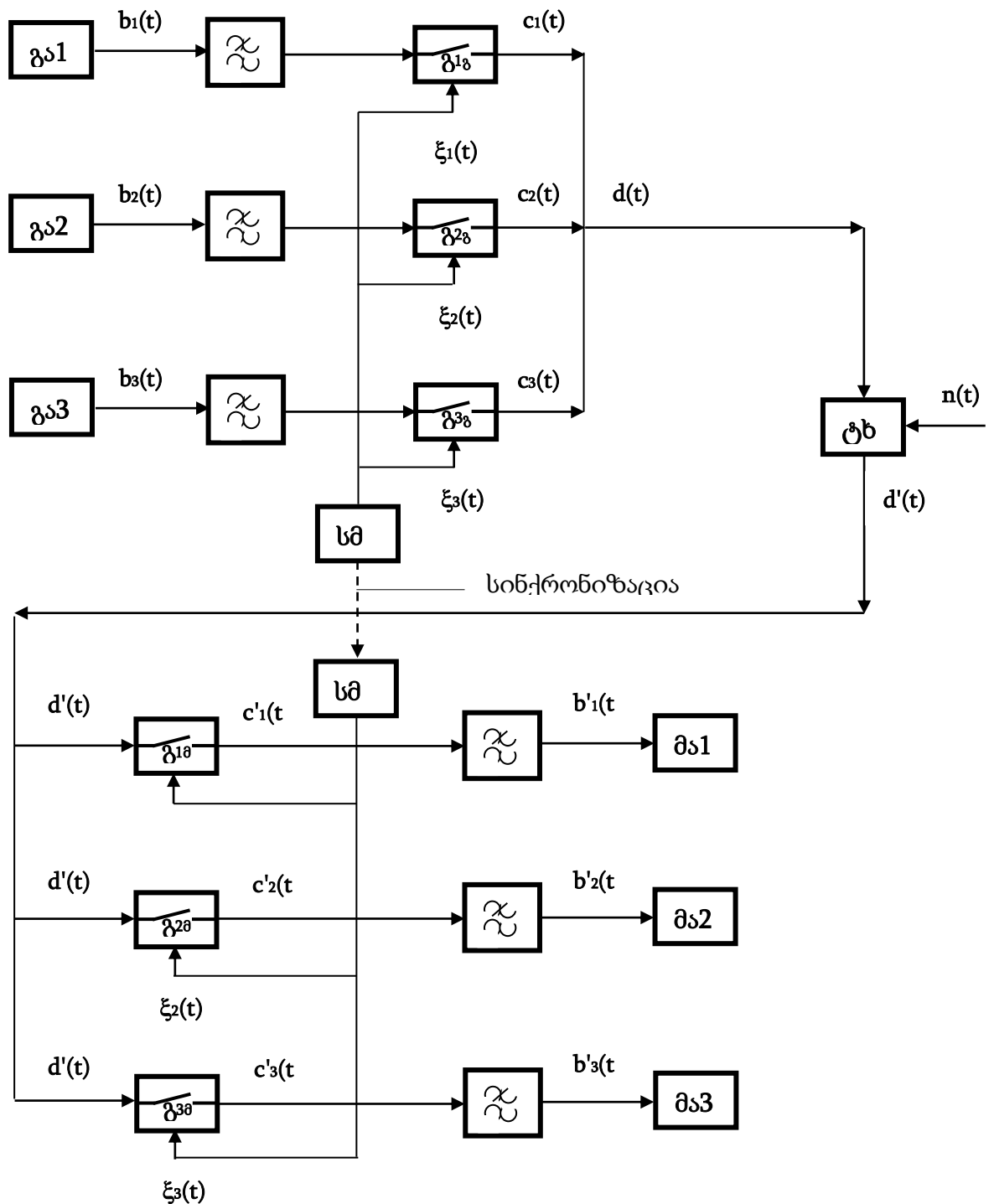
4. ციფრული სიგნალების ტაქტური სიხშირის, გადაცემის სიჩქარისა და შესაბამისი შეტყობინების ციფრული წყაროს მწარმოებლობის განსაზღვრა. ერთი ციფრული სიგნალის შემთხვევაში დისკრეტიზაციის $T_{\text{დ}}$ პერიოდის ($T_{\text{დ}}=1/f_{\text{დ}}$) განმავლობაში გადაიცემა m რაოდენობის ორობითი სიმბოლო (ბიტი), რის გამოც სიმბოლოების გადაცემის პერიოდი (ტაქტური პერიოდი) $T_{\text{ტ}}=T_{\text{დ}}/m$. შესაბამისად ტაქტური სიხშირე $f_{\text{ტ}}=mf_{\text{დ}}$. ამიტომ: ტელეფონის სიგნალისათვის $f_{\text{ტ.ტლფ.}}=mf_{\text{დ.ტლფ.}}=8_{\text{ბიტი}} \cdot 8_{\text{კპც}}=64$ კპც; ხმოვანი მაუწყებლობის სიგნალებისათვის $f_{\text{ტ.ტლფ.}}=mf_{\text{დ.მაუწყ.}}=8_{\text{ბიტი}} \cdot 32_{\text{კპც}}=256$ კპც; ტელევიზიის სიგნალის სიკაშკაშის (შავ-თეთრი) შემდგენისათვის $f_{\text{ტ.ტლფ.ს.}}=mf_{\text{დ.ტელვ.ს.}}=8_{\text{ბიტი}} \cdot 13,5_{\text{მპც}}=108$ მპც; ხოლო ორიდან თითოეული ფერსხვაობითი სიგნალისათვის - $f_{\text{ტ.ტლფ.ფ.}}=mf_{\text{დ.ტელვ.ფ.}}=8_{\text{ბიტი}} \cdot 6,75_{\text{მპც}}=54$ მპც.

შესაბამისი სიგნალების გადაცემის სიჩქარეებია: $B_{\text{ტლფ.}}=64$ კბიტი/წმ (მას ძირითადი ციფრული ნაკადი ეწოდება); $B_{\text{მაუწყ.}}=256$ კბიტი/წმ; $B_{\text{ტლფ.ს.}}=108$ მბიტი/წმ და $B_{\text{ტლფ.ფ.}}=54$ მბიტი/წმ. აქედან გამომდინარე, ტელევიზიის სრული ციფრული იკმ სიგნალის გადაცემის ჯამური სიჩქარეა $B_{\text{ტლფ.სრ.}}=B_{\text{ტლფ.ს.}}+2B_{\text{ტლფ.ფ.}}=108_{\text{მბიტი/წმ}}+2 \times 54_{\text{მბიტი/წმ}}=216$ მბიტი/წმ.

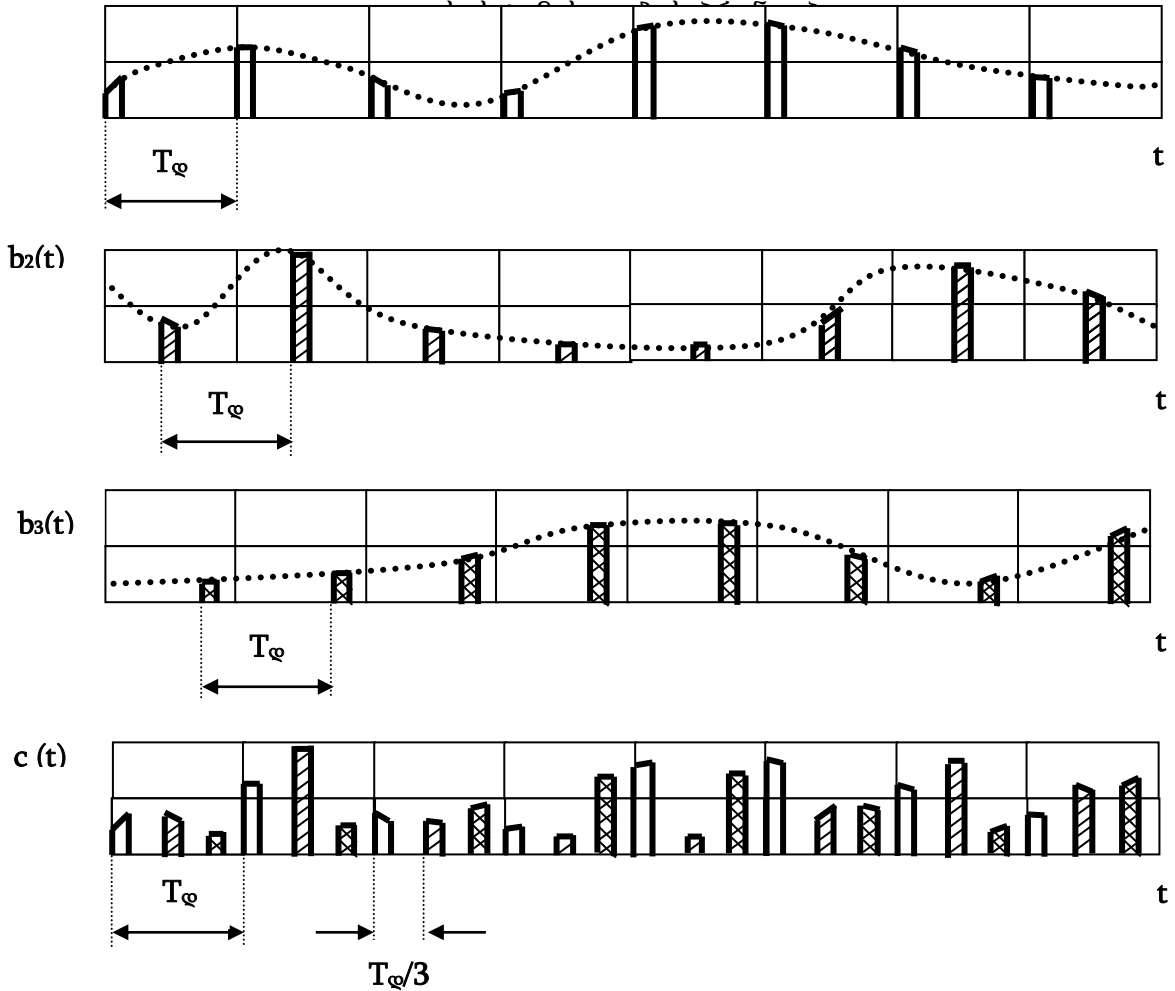
რაც შეეხება ციფრულ სატელეკომუნიკაციო სიგნალებში არსებული ინფორმაციის რაოდენობას და შესაბამისი წყაროს მწარმოებლობას 1 წმ-ის განმავლობაში, ისინი რიცხობრივად შესაბამისი სიგნალის გადაცემის სიჩქარის ტოლია.

მრავალარხიანი ტელეკომუნიკაციის ორგანიზებისას სიგნალების დროითი მულტიპლექსირებით სატელეკომუნიკაციო ხაზში ცალკეული სიგნალების თითო დისკრეტული მნიშვნელობა (ანათვალი, ელემენტი, პიქსელი) ერთმანეთის მიმდევრობით გადაიცემა დისკრეტიზაციის $T_{\text{დ}}$ პერიოდის (გადაცემის $T_{\text{გ}}$ ციკლის) განმავლობაში. ამის განხორციელების მიზნით ციფრული სისტემის გადამცემი და

მიმღები შეიცავს სპეციალურ გადამრთველ მოწყობილობებს - ელექტრონულ გასაღებებს (ნახ. 33), რომლებიც დისკრეტიზაციის T_{Φ} პერიოდის (ტელეფონის სიგნალებისათვის $T_{\Phi}=125$ მკწმ) განმავლობაში პერიოდულად სატელეკომუნიკაციო ხაზთან აერთებს თითოეული არხის გადამცემ (გა) და მიმღებ (მა) აპარატებს. ნახ. 33-ზე გადამცემის ელექტრონული გასაღებებია $გ_{1\Phi}$, $გ_{2\Phi}$ და $გ_{3\Phi}$, ხოლო მიმღებისა - $გ_{1\Phi}$, $გ_{2\Phi}$ და $გ_{3\Phi}$. ნახ. 34-ზე წარმოდგენილია სიგნალების დროითი მულტიპლექსირების (გაერთიანების, შემჭიდროვების, დაყოფის, განცალკევების) მეთოდით მომუშავე სამარხიანი სისტემის მუშაობის პრინციპის ამსახველი დროითი დიაგრამები.



ნახ. 33. სიგნალების დროითი მულტიპლექსირების მეთოდით მომუშავე სამარხიანი



ნახ. 34. სიგნალების დროითი მულტიპლექსირების პრინციპის ამსახველი დროითი დიაგრამები 3-არხიანი სისტემის მაგალითზე

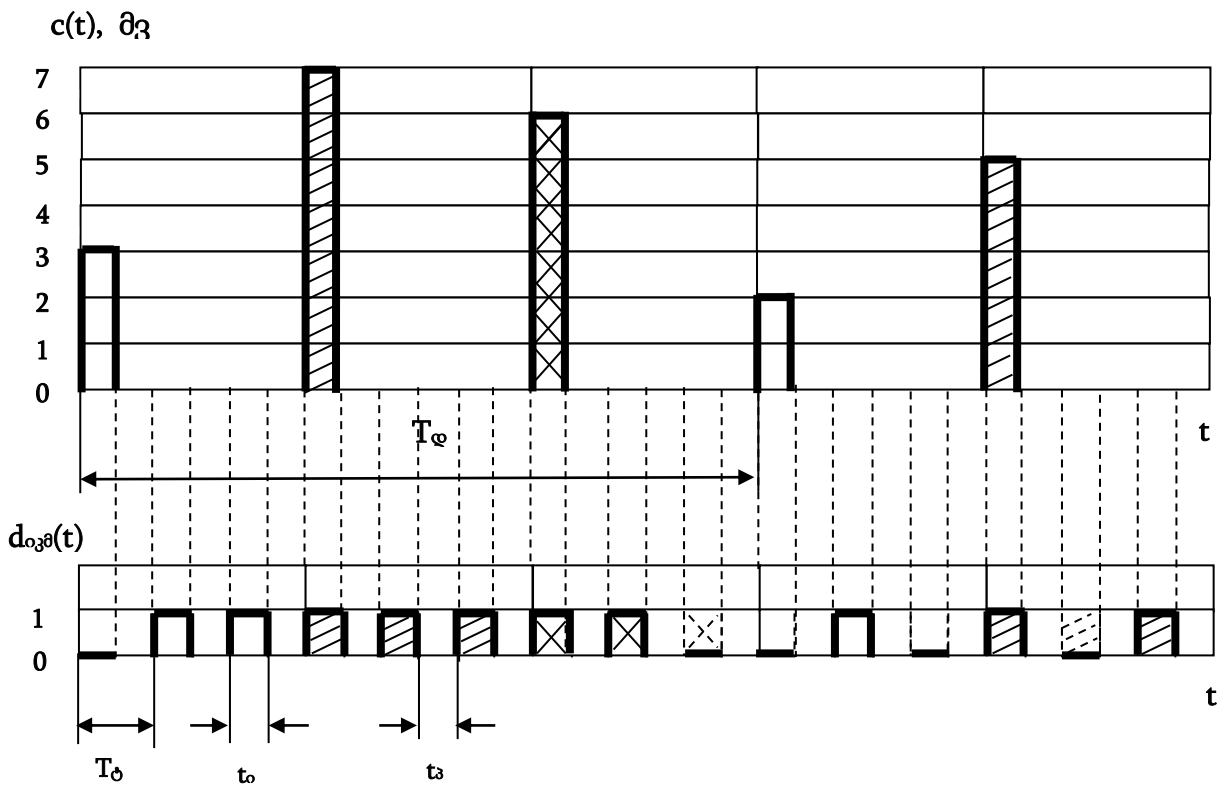
როგორც ნახ. 34-დან ჩანს, თითოეული სიგნალის დისკრეტიზაციის პერიოდია T_{ϕ} . ამიტომ N -არხიანი სისტემის შემთხვევაში ჯგუფურ $c(t)$ სიგნალში ანათვლების მიმდევრობის პერიოდი იქნება $T_{\Sigma} = T_{\phi}$ (სიხშირე $f_{\Sigma} = Nf_{\phi}$). ნახ. 34-ზე განხილული სამარხიანი ($N=3$) სისტემისათვის $T_{\Sigma} = T_{\phi}/3$ (სიხშირე $f_{\Sigma} = 3f_{\phi}$). ცხადია, რომ ტელეფონის ერთი სიგნალის გადაცემისას ($N=1$) $T_{\Sigma} = T_{\phi}$.

თუ სიგნალის დისკრეტული ანათვლის დაკვანტვის დონის რიგითი ნომერია Z , მაშინ ორობით კოდში გადაყვანა ხდება შემდეგი გამოსახულების საფუძველზე:

$$Z = \sum_{i=1}^m a_{m-i} 2^{m-i} .$$

3-არხიანი სისტემისათვის ნახ. 35-ზე განხილული მაგალითის შემთხვევაში საკმარისია 3-თანრიგა ($m=3$) კოდირება, ვინაიდან დაკვანტვის დასაშვები დონეების რაოდენობაა 8. ამიტომ წინა გამოსახულება შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$Z = \sum_{i=1}^m a_{m-i} 2^{m-i} = \sum_{i=1}^3 a_{4-i} 2^{3-i} = a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0 .$$



ნახ. 35. დროითი მულტიპლექსირების სამარხიანი იკმ სისტემის მუშაობის პრინციპის მაილუსტრირებელი დროითი დიაგრამები

ნახ. 35-დან ნათლად ჩანს, რომ ციფრული იკმ ($d_{\text{ოგმ}}(t)$) სიგნალის ტაქტური პერიოდი $T_{\text{ბ}} = T_{\text{ფ}} / Nm$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ტაქტური სიხშირე $f_{\text{ბ}} = Nm f_{\text{ფ}}$. გარდა ამისა განხილულ მაგალითში ციფრული იკმ სიგნალის სიმბოლოებისა და მათ შორის არსებული პაუზის ხანგრძლივობები ტოლია, ანუ ტაქტური პერიოდი $T_{\text{ბ}} = 2t_{\text{ბ}} = 2t_{\text{ა}}$. ამიტომ მეჩხერიანობა $q = T_{\text{ბ}} / t_{\text{ბ}} = 2$.

უნდა აღინიშნოს, რომ რეალურ ციფრულ სისტემებში იმპულსურ-კოდური მოდულაციით N გამოსახავს არა საინფორმაციო (სატელეფონო) სიგნალების (არხების) რაოდენობას, როგორც ეს განხილულ მაგალითშია ნაჩვენები, არამედ იგი წარმოადგენს ეგრეთ წოდებული საარხო ინტერვალების რაოდენობას, რომელიც, როგორც წესი, აღემატება საინფორმაციო არხების რაოდენობას. ეს გარემოება იმითაა გამოწვეული, რომ რეალურ სატელეკომუნიკაციო სისტემებში, გარდა საინფორმაციო (სატელეფონო) სიგნალებისა, გადაიცემა დამხმარე (სინქრონიზაციის, სატელეფონო სადგურებს შორის მართვისა და ურთიერთქმედების, ავარიის, ნარჩენი მილევის კონტროლის, სამოსამსახურო და სხვა) სიგნალები. კერძოდ 30-არხიან (საინფორმაციო არხების რაოდენობაა 30) ციფრულ სისტემებში იმპულსურ-კოდური მოდულაციით საარხო ინტერვალების რაოდენობა $N=32$, ანუ $N=(30+2)$, რის გამოც ტაქტური სიხშირე

$$f_{ტ} = N \cdot f_{დ} = 32 \cdot 8_{კბიტ} \cdot 8_{კბიტ} = 2048 \text{ კჰც.}$$

ეს იმას ნიშნავს, რომ აღნიშნული სისტემა 30 სატელეფონო სიგნალის დროითი მულტიპლექსირების განხორციელებისას 1 წმ-ის განმავლობაში უზრუნველყოფს **2048000 ბიტის** (სიმბოლოს) გადაცემას.

ბოლო წლებში წარმატებით ვითარდება არხების (სიგნალების) ფორმის მიხედვით მულტიპლექსირები ისეთი ციფრული მეთოდები, რომლის დროსაც გადამტან სიგნალებად გამოიყენებიან დისკრეტული ორთოგონალური მიმდევრობები უოლშის, რადემახერის ან სხვა ფუნქციების სახით. სიგნალების დაყოფის ამ პრინციპს უწოდებენ, აგრეთვე, კოდურ დაყოფას (**CDMA - Code Division Multiply Access**) და ის ფართო გამოყენებას პოულობს მოძრავ ობიექტებთან რადიოკავშირის (მათ შორის მობილური კავშირის) ქსელებში.

12. სატელეკომუნიკაციო არხები. სატელეკომუნიკაციო არხების მახასიათებლები და პარამეტრები

როგორც ცნობილია, რომ პირველადი $b(t)$ სიგნალები სატელეკომუნიკაციო ხაზში გადაცემამდე, უმრავლეს შემთხვევაში, განიცდიან გარდაქმნას სისტემის გადამცემში, რის შედეგადაც ფორმირდებიან შესაბამისი საარხო $c(t)$ სიგნალები, რომლებიც პირდაპირ (უმშუალოდ) ან შემდგომი დამატებითი გარდაქმნის (სახაზო $d(t)$ სიგნალის ფორმირების) შემდეგ სისტემის მიმღებისაკენ შეიძლება გადაიცეს სატელეკომუნიკაციო ხაზით. ასეთი გარდაქმნები, როგორც ცნობილია, აუცილებელია იმისათვის, რომ გადასაცემი სიგნალების მახასიათებლები და პარამეტრები თავსებადი აღმოჩნდნენ შესაბამისი არხისა და ხაზის მახასიათებლებთან და პარამეტრებთან, აგრეთვე პირველადი სიგნალების გარდაქმნების საჭიროება განპირობებულია ტელეკომუნიკაციის მრავალარხიანი სისტემების გამოყენების აუცილებლობის შემთხვევებში.

ტელეკომუნიკაციის ქსელებისა და სისტემების უმთავრეს ელემენტს წარმოადგენს შემაერთებული გარემო (გავრცელების სივრცე), ანუ ტელეკომუნიკაციის ხაზი. ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე ხაზები – ეს არის გრანდიოზული ნაგებობები, რომლებიც შეიცავს გავრცელების არესა და რთული ელექტრონული მოწყობილობების კომპლექსს და ისინი უზრუნველყოფს სხვადასხვა სახეობის სიგნალების გადაცემას საჭირო მიმართულებით და საჭირო მანძილზე. ამ ფუნქციის შესრულების სირთულე გასაგები გახდება, თუ წარმოვიდგენთ, რომ ტელეკომუნიკაციის ხაზების სიგრძე ათასობით კილომეტრს შეიძლება აღწევდეს, ისინი შეიძლება გადიოდეს სხვადასხვა კლიმატური პირობების ზონებში და მუდმივად იმყოფებოდეს სხვადასხვა ბუნებრივი მოვლენების ზემოქმედების პირობებში. ტელეკომუნიკაციის ხაზებით სიგნალების ხარისხიანი გადაცემა შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მათ გააჩნია გარკვეული

თვისებები და პარამეტრები, რომლებიც პრაქტიკულად დამოკიდებული არაა წელიწადის დროსა და მუშაობის პირობებზე. გარდა ამისა, ხაზებს უნდა გააჩნდეს გარკვეული საიმედოობა და მექანიკური სიმტკიცე მრავალი ათეული წლის განმავლობაში. ამ პირობების შესრულება საკმაოდ რთულ ტექნიკურ ამოცანას წარმოადგენს, რის გამოც ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე ხაზები – მეტალის სადენიანი საკაბელო, საჰაერო, ბოჭკოვან-ოპტიკური თუ რადიოხაზები – ძვირადღირებული ნაგებობებია (მათ წილად მოდის ტელეკომუნიკაციის სისტემის ღირებულების 70...80%). ამის გამო ტელეკომუნიკაციის ქსელებისა და სისტემების მშენებლობისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტელეკომუნიკაციის ხაზების ეკონომიურობასა და მათი გამტარუნარიანობის ეფექტურად გამოყენების საკითხებს. ამიტომ ტელეკომუნიკაციის ქსელებისა და სისტემების შექმნის დაწყებიდანვე არსებობს დიდი ინტერესი მრავალარხიანი სისტემების შექმნისა, რომლებიც უზრუნველყოფს ტელეკომუნიკაციის ერთი ხაზის საშუალებით რაც შეიძლება მეტი არხების ორგანიზებას და შესაბამისად სხვადასხვა სახის (ტელეფონის, ხმოვანი მაუწყებლობის, მონაცემთა გადაცემის, ტელევიზიის და სხვა) სიგნალების ერთდროულ და ურთიერთდამოუკიდებელ გადაცემას.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ტელეკომუნიკაციის სფეროს სპეციალისტებისათვის აუცილებლობას წარმოადგენს სატელეკომუნიკაციო არხებისა და ხაზების მახასიათებლებისა და პარამეტრების, არხების ფორმირებისა და სხვადასხვა დანიშნულების ხაზების გამოყენების თავისებურებათა და მრავალარხიანი ტელეკომუნიკაციის საფუძვლებისა და შესაბამისი სისტემების აგების პრინციპების ცოდნა.

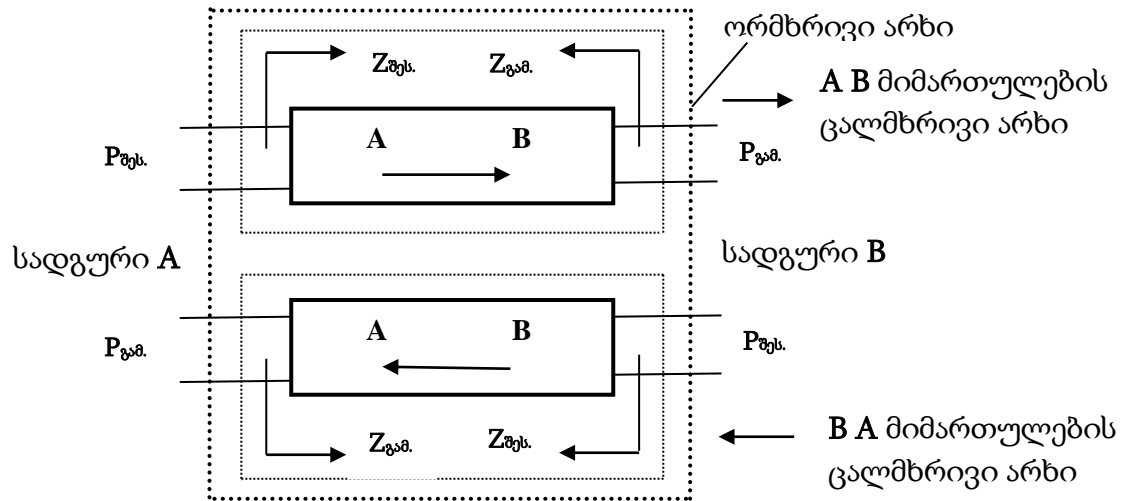
ტელეკომუნიკაციის (კავშირის) არხი ეწოდება ტექნიკური მოწყობილობების (გარდამქმნელების) და გავრცელების არის (მიმმართველი გარემოს, ანუ კავშირის ხაზის) ერთობლიობას, რომელიც უზრუნველყოფს გარკვეულ მანძილზე ერთი სიგნალის გადაცემას.

ტელეკომუნიკაციის არხი დიდი რაოდენობით შეიცავს სხვადასხვა მოწყობილობებს - ფილტრებს, მამლიერებლებს (ასევე რეგენერატორებს ტელეკომუნიკაციის ციფრულ სისტემებში), გარდამქმნელებს, კავშირის წრედებს,

საკომუტაციო აპარატურის ელემენტებს და სხვა. აპარატურის ტიპისა და კავშირის მაგისტრალის სიგრძის მიხედვით არხი შეიძლება შეიცავდეს სხვადასხვა მოწყობილობებს სხვადასხვა კომბინაციით. მაგალითად, ქალაქის ქსელის სატელეფონო არხი მოწყობილობების შემადგენლობითა და ტექნიკური გადაწყვეტით მნიშვნელოვნად განსხვავდება თანამგზავრული კავშირის სატელეფონო არხისაგან. ორივე შემთხვევაში საერთოა მხოლოდ არხის დანიშნულება: სიგნალის გადაცემა ერთი აბონენტის მიკროფონიდან მეორე აბონენტის ტელეფონისაკენ. კავშირის ხარისხი კი უნდა პასუხობდეს განსაზღვრულ მოთხოვნებს, მიუხედავად იმისა, თუ რომელი მეთოდი გამოიყენება კავშირის ტექნიკური რეალიზაციისათვის. იმის გათვალისწინებით, რომ სატელეკომუნიკაციო არხი უზრუნველყოფს სიგნალების გადაცემას შეტყობინებათა წყაროდან მათი მიმღებისაკენ, იგი შეიძლება წარმოვადგინოთ ოთხპოლუსას სახით. ამ ოთხპოლუსას შესასვლელს მიეწოდება სიგნალები შეტყობინება-სიგნალი (შ-ს) გარდამქმნელის (გადამცემის პირველადი გარდამქმნელის) გამოსასვლელიდან, ხოლო ოთხპოლუსას გამოსასვლელი მიერთებულია სიგნალი-შეტყობინება (ს-შ) გარდამქმნელის (მიმღების პირველადი გარდამქმნელის) შესასვლელთან (იხ. ნახ. 11).

ტელეკომუნიკაციის მრავალ (მაგალითად, სატელეფონო კავშირის) სისტემას მოეთხოვება ორმხრივი კავშირის განხორციელების უზრუნველყოფა, ანუ ორი ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით სიგნალების ერთდროული და ურთიერთდამოუკიდებელი გადაცემა, ვინაიდან ამ შემთხვევაში ყოველ დამაბოლოებელ პუნქტში არსებობს როგორც შეტყობინებათა წყარო, ასევე მათი მიმღები. იმის გამო, რომ სატელეკომუნიკაციო არხი შეიცავს ცალმხრივ მოწყობილობებს (მაგალითად, მამლიერებლებს), ამიტომ ორმხრივი კავშირის სისტემებში A და B სადგურებს შორის კავშირის ორგანიზაციისათვის აუცილებელია ორი ერთმიმართულებიანი (ცალმხრივი) არხის გამოყენება, რომლებიც ქმნის ორმიმართულებიან ოთხსადენიან არხს, რომელიც შეიძლება წარმოვადგინოთ ნახ. 43-ზე ნაჩვენები ოთხპოლუსას სახით. შევნიშნოთ, რომ ცალმხრივი არხის შემთხვევაში (მაგალითად, ტელევიზია, რადიომაუწყებლობა)

სიგნალი ვრცელდება ერთი მიმართულებით (გადამცემიდან მიმღებებისაკენ), ხოლო ორმხრივი არხის შემთხვევაში (მაგალითად, სატელეფონო კავშირი) – ორივე (ურთიერთსაპირისპირო) მიმართულებით.



ნახ. 43. ტელეკომუნიკაციის ორმხრივი არხი

როგორც ცალმხრივი, ასევე ორმხრივი სატელეკომუნიკაციო არხების თვისებები განისაზღვრება შემდეგი მახასიათებლებითა და პარამეტრებით:

1. შესასვლელი $Z_{შეს.}$ და გამოსასვლელი $Z_{გა.}$ წინააღობები და მათი გადახრა ნომინალური მნიშვნელობიდან. ეს გადახრა ფასდება არეკვლის კოეფიციენტით

ან კიდევ არეკვლის მიღ
$$K_{არეკვლ.} = \left| \frac{Z_{წ} - Z_{რ}}{Z_{წ} + Z_{რ}} \right| ,$$

$$a_{არეკვლ.} = 20 \lg \left(\frac{Z_{წ} + Z_{რ}}{Z_{წ} - Z_{რ}} \right) , \text{ დბ}$$

სადაც $Z_{წ}$ და $Z_{რ}$ – ნომინალური და რეალური წინააღობებია.

2. არხის მუშა მილევა a_a . სატელეკომუნიკაციო ხაზებით სიგნალების გადაცემისას ადგილი აქვს ენერჯის დანაკარგებს, რის გამოც შემოაქვთ მუშა მილევის ცნება, რომელიც დეციბელებში განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$a_a = 10 \lg (W_1 / W_2) , \text{ დბ}$$

სადაც W_1 სიმძლავრეა, რომელსაც ავითარებს სიგნალის წყარო მასთან შეთანხმებულ წინაღობაზე, ანუ იდეალურ შემთხვევაში, ხოლო W_2 სიმძლავრეა, რომელსაც ეს წყარო ავითარებს რეალურ (არაიდეალურ) პირობებში.

3. არხის მუშა გაძლიერება S_n . სიგნალების მიღების გამო აუცილებელი ხდება მათი გაძლიერება კავშირის ხაზის გასწვრივ განლაგებულ შუალედურ და დამაბოლოებელ პუნქტებში, რაც ანალოგურ სისტემებში ხორციელდება მომსახურე და არამომსახურე მაძლიერებლებში, ხოლო ციფრულ სისტემებში – მომსახურე და არამომსახურე რეგენერატორებში. მუშა მიღების მსგავსად განიხილება მუშა გაძლიერების ცნება:

$$S_n = 10 \lg(W_2/W_1), \text{ დბ}$$

2. არხის ნარჩენი მიღება a_n . იგი წარმოადგენს არხის შესასვლელსა (შეს.) და გამოსასვლელზე (გამ.) სიმძლავრის დონეებს შორის სხვაობას, ანუ არხის მუშა მიღებას ისეთ აქტიურ წინაღობებთან არხის შესასვლელისა და გამოსასვლელის მიერთებისას, რომლებიც შეესაბამება შესასვლელი და გამოსასვლელი წინაღობების ნომინალურ მნიშვნელობებს. ფიზიკურად ნარჩენი მიღება a_n გვიჩვენებს გაძლიერების (რეგენერაციის) ყველა უბნის მიღებებისა და ყველა მაძლიერებლის (რეგენერატორის) გაძლიერების ჯამებს შორის სხვაობას:

$$a_n = 10 \lg(W_{შეს}/W_{გამ}) = P_{შეს} - P_{გამ} = \sum_{i=1}^{n-1} a_i - \sum_{k=1}^n S_k, \text{ დბ}$$

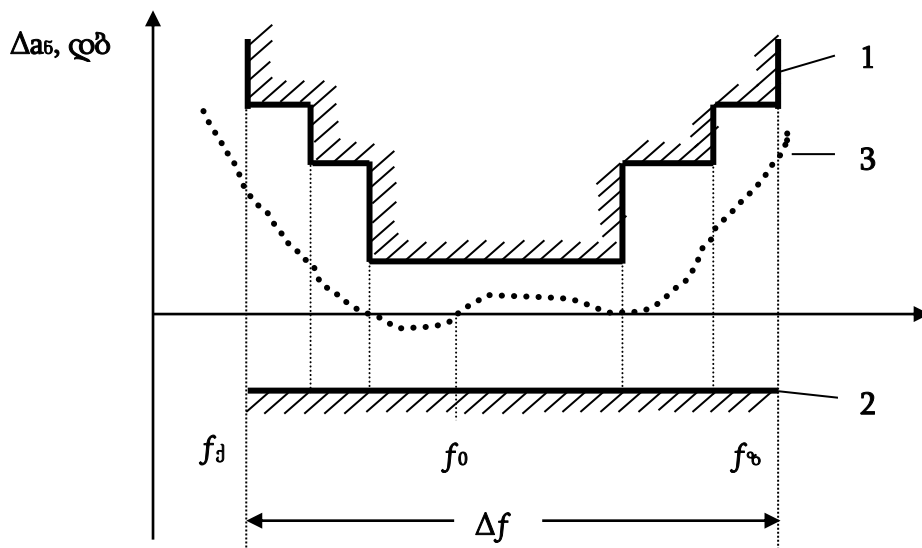
სხვადასხვა ტიპის არხებისათვის თანხმდებიან საცდელი სიგნალის სიხშირის მნიშვნელობის შესახებ, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება ნარჩენი მიღების გაზომვა.

3. ნარჩენი მიღების არასტაბილურობა. იგი წარმოადგენს ნარჩენი მიღების დროში გადახრას მისი ნომინალური მნიშვნელობიდან და ფასდება გადახრის საშუალო კვადრატული ან მაქსიმალური მნიშვნელობით და დისპერსიის სიდიდით.

4. ნარჩენი მილევის სიხშირული მახასიათებელი და სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლი Δf_s , ანუ სიხშირეთა ზოლი, რომლის საზღვრებში ნარჩენი მილევის გადახრა (Δa_s) მისი ნომინალური მნიშვნელობიდან განსხვავდება მხოლოდ რაიმე დასაშვები სიდიდით. ეფექტურად გადაცემული სიხშირეთა ზოლის ფარგლებში ხდება ნარჩენი მილევის მისი ნომინალური მნიშვნელობიდან დასაშვები გადახრების ნორმირება. ნორმირების ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი მდგომარეობს ნარჩენი მილევის დასაშვები გადახრების "შაბლონის" გამოყენებაში. ასეთი შაბლონის სანიმუშო სახე წარმოდგენილია ნახ. 44-ზე.

ნარჩენი მილევის სიხშირეზე დამოკიდებულების გამო არხში გადაცემული სიგნალები მახინჯდება. ამის მიზეზი მდგომარეობს რეალური მამლიერებლების, ტრანსფორმატორების, ფილტრებისა და სხვა მოწყობილობების პარამეტრების ამპლიტუდურ-სიხშირულ დამოკიდებულებაში.

ნარჩენი მილევის სიხშირეზე დამოკიდებულებას, რომელიც იწვევს სიგნალების ამპლიტუდურ-სიხშირულ დამახინჯებებს, არხის ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი ეწოდება.



ნახ. 44. ნარჩენი მილევის ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრების შაბლონის სანიმუშო სახე: Δf_0 – სიხშირე, რომელზეც განისაზღვრება ნარჩენი მილევის ნომინალური მნიშვნელობა; $f_ა$ და $f_ბ$ – ეფექტურად გადაცემული სიხშირეთა ზოლის ქვედა და ზედა საზღვრები; Δf – ეფექტურად გადაცემული სიხშირეთა ზოლის სიგანე; 1, 2 – ნარჩენი მილევის დასაშვები გადახრების საზღვრები; 3 – ნარჩენი მილევის გაზომილი სიხშირული მახასიათებლის სახე

5. არხის შემავალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის სიხშირული მახასიათებელი. როგორც ცნობილია, ტელეკომუნიკაციის სიგნალები რთულია, ანუ ისინი წარმოადგენს სხვადასხვა სიხშირის ჰარმონიული შემდგენლების, ანუ სინუსოიდური რხევების (ჰარმონიკების) ერთობლიობას. თითოეული ჰარმონიკის ხაზში გავრცელების დრო შეიძლება სხვადასხვა იყოს, რის გამოც ხაზში მათ შორის შორის წარმოიქმნება ფაზური ძვრა. ფაზური ძვრის სიხშირეზე დამოკიდებულებას არხის ფაზურ-სიხშირული მახასიათებელი ეწოდება. მისი ფორმა განსაზღვრავს სიგნალების ფაზურ-სიხშირული (წრფივი) დამახინჯებების ხარისხს.

იმის გამო, რომ ფაზური ძვრის უშუალო გაზომვა რთულია, ამიტომ ფაზური (წრფივი) დამახინჯებების შეფასებისათვის იხილავენ დაყოვნების ჯგუფური τ დროის, ანუ სხვანაირად გადაცემის ჯგუფური დროის სიხშირულ მახასიათებელს:

$$\tau = db(f)/df,$$

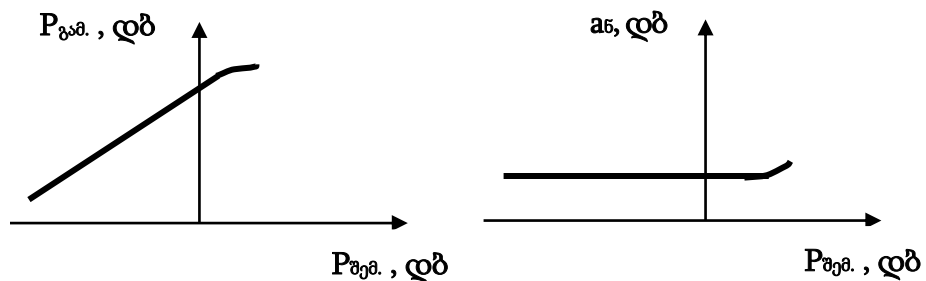
სადაც b ფაზური ძვრაა.

6. არხის წრფივი დამახინჯებები. იგი განისაზღვრება ნარჩენი მილევისა და ფაზური ძვრის სიხშირული მახასიათებლებით (იხ. მე-4 და მე-5 პუნქტები). ზოგ შემთხვევაში (მაგალითად, ტელევიზიის სიგნალების გადაცემისას) არხის წრფივი დამახინჯებების შეფასება მოსახერხებელია არხის იმპულსური რეაქციის სახეობის ან არხის გარდამავალი მახასიათებლის მიხედვით. ამ შემთხვევაში ხდება ისეთი პარამეტრების ნორმირება, როგორცაა გარდამავალი მახასიათებლის ფრონტის ხანგრძლივობა, ამონავარდნების სიდიდე და სხვა.

მაშასადამე, დამახინჯებებს, რომლებიც წარმოიქმნება სიგნალის შემდგენების ამპლიტუდებსა და ფაზებს შორის თანაფარდობის დარღვევის და აგრეთვე ნარჩენი მილევის სიგნალის შემდგენების სიხშირეზე დამოკიდებულების გამო, წრფივი დამახინჯებები ეწოდება.

7. არხის არაწრფივი დამახინჯებები. ისინი განპირობებულია არხის ამპლიტუდური მახასიათებლის არაწრფივობით, რომელიც წარმოადგენს არხის გამოსასვლელზე სიგნალის სიმძლავრის (ძაბვის) აბსოლუტური დონის ($P_{გა.}$) დამოკიდებულებას არხის შესასვლელზე სიგნალის სიმძლავრის (ძაბვის) აბსოლუტურ დონეზე ($P_{შე.}$), რომელიც იზომება გაზომვის სიგნალის რომელიმე წინასწარ განსაზღვრულ სიხშირეზე. ამპლიტუდურ მახასიათებელს უწოდებენ აგრეთვე აღნიშნულ სიხშირეზე არხის ნარჩენი მილევის ($a_{ჩ.}$) დამოკიდებულებას შემავალი სიგნალის დონეზე ($P_{შე.}$). ნახ. 45-ზე ნაჩვენებია ამ მახასიათებლების სანიმუშო სახე.

მამასადამე, ამპლიტუდური მახასიათებლების არაწრფივობა იწვევს არხში გადაცემული სიგნალის არაწრფივ დამახინჯებებს, რომელთა წარმოქმნის მიზეზები შემდეგში მდგომარეობს: მიმღებში სიგნალის აღდგენისას მის შემადგენლობაში საწყისი ჰარმონიკების გარდა შეიძლება აღმოჩნდეს დამატებითი ჰარმონიკები არხში არაწრფივი მოწყობილობების არსებობის გამო, რომლებსაც არაწრფივი ამპლიტუდური მახასიათებლები გააჩნია.



ნახ. 45. სატელეკომუნიკაციო არხის ამპლიტუდური მახასიათებლების სანიმუშო სახე

აღნიშნულიდან გამომდინარე, არაწრფივი დამახინჯებები ეწოდება არაწრფივი მოწყობილობების გამო არხში დამატებითი ჰარმონიკების წარმოშობით გამოწვეულ დამახინჯებებს.

არაწრფივი დამახინჯებების არარსებობისას შემავალი სიგნალის დონის გარკვეული ნაზრდი იწვევს გამომავალი სიგნალის დონის ნაზრდს იმავე სიდიდით და ამიტომ ამპლიტუდური მახასიათებელი $P_{გა.}=f(P_{შე.})$ წარმოადგენს

კოორდინატთა ღერძებისადმი 45⁰-ით დახრილ წრფეს (რა თქმა უნდა ღერძებზე ერთი და იმავე მასშტაბის შემთხვევაში). ამპლიტუდური მახასიათებლის ამ კანონიდან გადახვევა ახასიათებს არხის მოწყობილობების მახასიათებლების არაწრფივობით გამოწვეულ სიგნალის არაწრფივ დამახინჯებებს.

ამპლიტუდური მახასიათებლის მიხედვით შეიძლება მხოლოდ უხეშად შევაფასოთ არაწრფივი დამახინჯებები. მათი უფრო ზუსტად შესაფასებლად გამოიყენება არაწრფივი დამახინჯებებისა და არაწრფივობის მიღევის კოეფიციენტების ცნებები (პარამეტრები):

$$k_{არ.} = \left(\sum_{i=2}^{\infty} U_i^2 \right)^{1/2} / U_1; \quad a_{არ.} = 20Lg(1/k_{არ.}),$$

სადაც U_1 – სიგნალის ძირითადი ჰარმონიკის ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა; U_i – სიგნალის მე-2, მე-3 და ა.შ. ჰარმონიკების ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა, რომლებიც წარმოიქმნება არხის არაწრფივობის გამო.

ხშირად იყენებენ აგრეთვე ჰარმონიკების მიხედვით არაწრფივობის მიღევის პარამეტრს:

$$a_{არ.i} = 20Lg(U_1/U_i) = P_{U1} - P_{Ui}, \text{ დბ}$$

8. გადასაცემი სიგნალის სიხშირის ცვლილება.

9. ხელშემლების დონე (სიმძლავრე) წერტილში ნულოვანი გაზომვის დონით.

10. ნულოვანი გაზომვის დონის წერტილში სიგნალის სიმძლავრის საშუალო და პიკური (დასაშვები) დონეები და არხის დინამიური დიაპაზონი.

$$D_{არ.} = 10Lg(W_{ს.მაქს.}/W_b) = P_{ws.მაქს.} - P_{wb}, \text{ დბ}$$

სადაც $W_{ს.მაქს.}$ - სიგნალის მაქსიმალური დასაშვები სიმძლავრეა; W_b - იმ აუწონავი ხელშემლების სიმძლავრეა, რომლებიც მიკუთვნებულია ნულოვანი გაზომვის დონის წერტილისადმი; $P_{ws.მაქს.}$ და P_{wb} კი $W_{ს.მაქს.}$ -ისა და W_b -ის დონეებია.

11. სიგნალისა და ხელშემშლის სიმძლავრეთა ფარდობა (W_s/W_b) ან ხელშემშლისაგან დაცულობა.

$$A_d = 10 \text{Lg}((W_s/W_b) = P_{w_s} - P_{w_b}, \quad \text{დბ}$$

ხელშემშლისაგან დაცულობა შეიძლება შეფასდეს სიგნალის საშუალო სიმძლავრის ხმაურების სიმძლავრესთან შეფარდებითაც. ამ შემთხვევაში

$$A_d = 10 \text{Lg}(W_{s,საშ}/W_b) = P_{w_{s,საშ}} - P_{w_b}, \quad \text{დბ}$$

ციფრული არხებისათვის ხელშემშლისაგან დაცულობას აფასებენ ხელშემშლელი სიგნალით დაზიანებული სიმბოლოების (ბიტების) ალბათობის სიდიდით P_b . თუ, მაგალითად, $P_b = 10^{-6}$, მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ მილიონი ბიტიდან საშუალოდ ზიანდება მხოლოდ 1 ბიტი.

12. არხის გამტარუნარიანობა.

ანალოგური არხებისათვის გამტარუნარიანობა

$$C = \Delta f_s \text{Log}_2(1 + W_{s,საშ}/W_b), \quad \text{ბიტი/წმ}$$

სადაც Δf_s - სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლის სიგანეა; $W_{s,საშ}$ - სიგნალის საშუალო სიმძლავრეა და W_b - ხელშემშლის აუწონავი საშუალო სიმძლავრეა გაზომვის ნულოვანი დონის წერტილში.

უნდა აღინიშნოს, რომ უკანასკნელი გამოსახულება იძლევა არხის გამტარუნარიანობის შეფასებას ზემოდან, ვინაიდან იგი თანაბარი სპექტრის მქონე გაუსის ხელშემშლის შემთხვევაში სამართლიანია არხისათვის დამახინჯებების გარეშე.

დისკრეტული არხებისათვის გამტარუნარიანობა

$$C = -F_b \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i, \quad \text{ბიტი/წმ},$$

სადაც: F_b დისკრეტულ სიგნალში მნიშვნელობათა გამეორების (ტაქტური) სიხშირეა ($F_b = 1/T_b$); k - დისკრეტული სიგნალის დონეთა რაოდენობაა, ხოლო p_i - i -ური დონის მნიშვნელობათა ალბათობაა. იმ შემთხვევაში, როდესაც სხვადასხვა დონის მნიშვნელობები თანაბარალბათურია, ე.ი. როდესაც $p_i = 1/k$, მაშინ

$$C = F_b \text{Log}_2 k, \quad \text{ბიტი/წმ}$$

კონკრეტულ შემთხვევაში, როდესაც ციფრული არხით გადაიცემა ციფრული იკმ სიგნალი, მაშინ $k=2$. ამიტომ $C=F_{\Phi}$. თავის მხრივ კი, როგორც ცნობილია, ტექტური სიხშირე რიცხობრივად ციფრული სიგნალის გადაცემის სიჩქარის ტოლია. ამიტომ ციფრული არხის გამტარუნარიანობა რიცხობრივად შესაბამისი ციფრული სიგნალის ტექტური სიხშირისა და გადაცემის სიჩქარის ტოლია, ანუ $C=F_{\Phi}=B$, რაც დასტურდება სიგნალისა და არხის პარამეტრების შესაბამისი გამოსახულებების ურთიერთშედარებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ სატელეკომუნიკაციო არხების ზემოთ მოყვანილი პარამეტრების (სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლის სიგანე, დინამიური დიაპაზონი, ხელშეშლებისაგან დაცულობა და გამტარუნარიანობა) წარმოდგენილი შეფასებები მინიმალურად დასაშვები ზღვრული მნიშვნელობებია, რაც იმას ნიშნავს, რომ არხის პარამეტრების მნიშვნელობები უნდა აღემატებოდეს შესაბამისი სიგნალის შესაბამისი პარამეტრების მნიშვნელობებს, უკიდურეს შემთხვევაში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს მათი ტოლობა.

ძირითად სატელეკომუნიკაციო არხებს წარმოადგენენ: ტელეფონის (ტონალური სიხშირის – ტს), ხმოვანი მაუწყებლობის, ფაქსიმილური, ტელევიზიის, ტელეგრაფის, მონაცემების გადაცემის არხები. მათგან ტს არხები მიჩნეულია ტელეკომუნიკაციის გადამცემი სისტემის ტევადობის ერთეულად და ისინი ძირითადად გამოიყენება ტელეფონის სიგნალების გადასაცემად. თუმცა მათი საშუალებით შეიძლება გადაიცეს სხვა სახის სიგნალებიც.

13. ტონალური სიხშირის სტანდარტული არხი. ფართოზოლოვანი სტანდარტული არხები

ტელეკომუნიკაციის ნებისმიერი სისტემა და მისი შესაბამისი აპარატურა ისეთნაირად უნდა აიგოს, რომ მათი საშუალებით ნებისმიერი სიგნალის გადაცემისას უზრუნველყოფილი იყოს კავშირის საჭირო ხარისხი. ამავე დროს თითოეული ტიპის სიგნალის გადასაცემად არარაციონალურია მისი შესაბამისი სპეციალური არხის შექმნა. მიზანშეწონილია, რომ დამუშავდეს ისეთი სისტემა და აპარატურა, რომელიც აფორმირებს ნებისმიერი სიგნალის გადაცემისათვის გამოსადეგ უნიფიცირებულ, სტანდარტული არხების ნაკრებს.

სატელეკომუნიკაციო ტექნიკის განვითარების გარიჟრაჟზე საერთაშორისო და საქალაქთაშორისო არხებით, როგორც წესი, გადაიცემოდა მხოლოდ სატელეფონო შეტყობინებები. ამჟამად სატელეფონო კავშირი შეადგენს ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობის უმეტეს ნაწილს. ამიტომ ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სისტემებში ძირითად სტანდარტულ არხად მიჩნეულია არხი სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლით **300...3400 ჰც (0,3...3,4 კჰც)**, რომელიც ტელეფონის სიგნალის სპექტრის შესაბამისია. ამ არხის მახასიათებლების ნორმირება ხდება ისეთნაირად, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელი იყოს გადაცემა სხვა ისეთი სახის სიგნალებისა, რომელთა ინფორმაციის რაოდენობა **I** არ აღემატება არხის **C** გამტარუნარიანობას. ასეთი ტიპის არხს ტონალური სიხშირის არხი (**ტს არხი**) ეწოდება.

ტონალური სიხშირის არხი ორმხრივია და იგი შეიცავს ორსადენიან დაბოლოებასა და ოთხსადენიან ტრაქტს. მათი შეთავსებისათვის კი აუცილებელია განმხილვების მოწყობილობის (დიფერენციალური სისტემის – დიფსისტემის (**დს**) გამოყენება. ორგამტარიან დაბოლოებებში ჩართული დამაგრძელებლები (სიგნალის

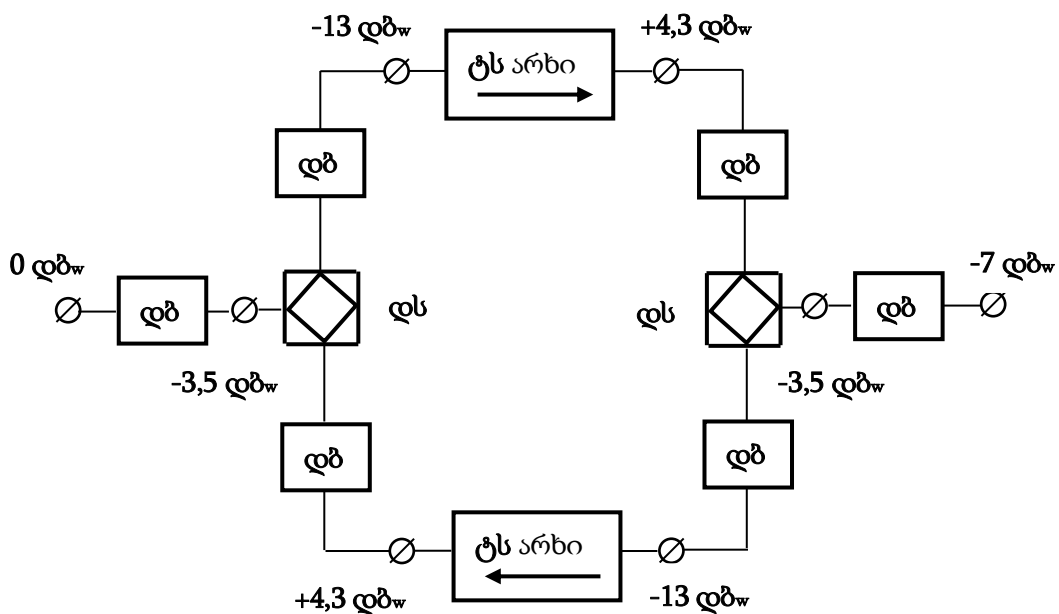
მილევის განმახორციელებელი მოწყობილობები) უზრუნველყოფენ 3,5 დბ-ის ტოლ მილევას და მათ ტრანზიტული მოწყობილობები ეწოდება. ტს არხის მახასიათებლების ნორმირება ხდება ITU-T-ის რეკომენდაციების M სერიით (ITU-T-Telecommunication Standardization Sector of the International Telecommunication Union (ITU) – ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო კავშირის ტელეკომუნიკაციის სტანდარტიზაციის სექტორი).

განვიხილოთ ტს არხის ძირითადი მახასიათებლები და პარამეტრები.

ტს არხის სტანდარტულ წერტილებში სიმძლავრის ნორმირებული (ნომინალური) გაზომვის დონეებია (ნახ. 46): არხის შესასვლელზე – 0 დბ_w, არხის გამოსასვლელზე – -3,5 დბ_w, ოთხგამტარიანი ტრაქტის შესასვლელზე – -13 დბ_w, ოთხგამტარიანი ტრაქტის გამოსასვლელზე – 4,3 დბ_w, ტრანზიტული დამაგრძელებლის შესასვლელზე – -3,5 დბ_w და არხის გამოსასვლელზე – -7 დბ_w.

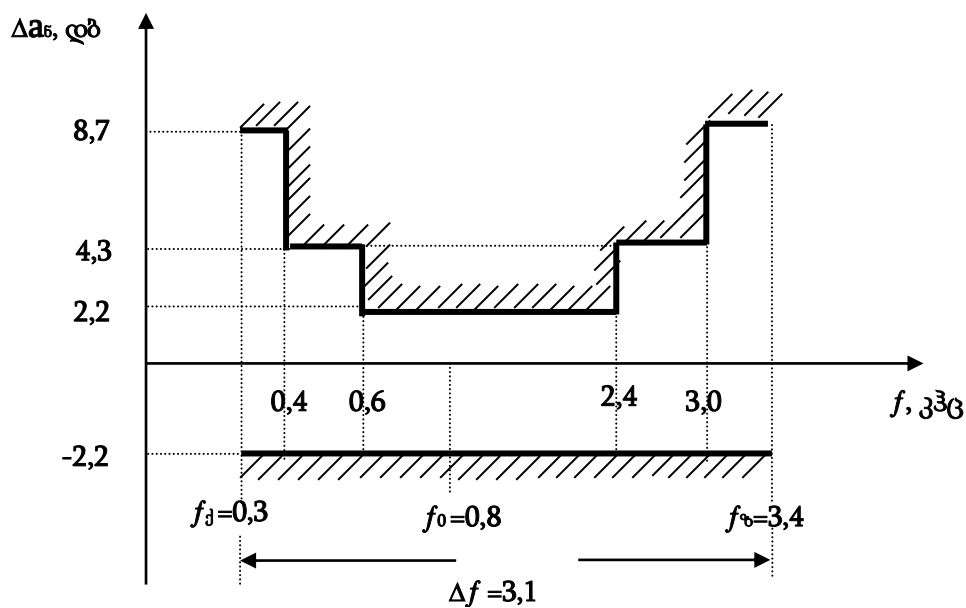
ტს არხის შესასვლელი Z_{შეს.} და გამოსასვლელი Z_{გამ.} წინააღობების ნომინალური მნიშვნელობა 600 ომია. მათი ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრის კოეფიციენტი K_{არეკლ.} არ უნდა აღემატებოდეს 10%-ს.

ტს არხის ნარჩენი მილევა a_წ 7 დბ-ია. მისი გადახრა 0,95 ალბათობით არ უნდა აღემატებოდეს 2,2 დბ-ს.



ნახ. 46. ტს-ის არხის გაზომვის ნომინალური დონეები:
დბ – დამაგრძელებელი; **დს** – დიფსისტემა

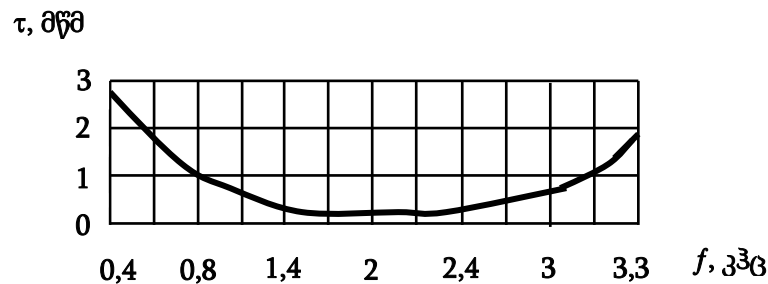
ტს არხის სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლი – ესაა ზოლი, რომლის განაპირა $f_j=0,3$ კჰც და $f_z=3,4$ კჰც სიხშირეებზე ნარჩენი მილევა a_n 8,7 დბ-ით (1 ნჰ-ით) აღემატება a_n -ის მნიშვნელობას $f_0=800$ ჰც სიხშირეზე. ტს არხის ნარჩენი მილევის ნომინალურიდან (8,7 დბ) გადახრის (Δa_n) სიხშირული მახასიათებელი უნდა მოთავსდეს შაბლონის საზღვრებში (ნახ. 47).



ნახ. 47. ანალოგური ტს არხის ნარჩენი მილევის გადახრის ნორმირების შაბლონი

ხმოვანი (ბგერითი) სიგნალების გადაცემისას ფაზოსიხშირული დამახინჯებები არც თუ ისე არსებითია. მაგრამ ვინაიდან ტს არხები აგრეთვე გამოიყენება ფაქსიმილური კავშირისა და მონაცემების გადაცემისათვის, ამიტომ მნიშვნელოვანი ფაზოსიხშირული დამახინჯებები ტს არხებისთვისაც დაუშვებელია. ამიტომ ნორმირდება გადაცემის ჯგუფური τ დროის გადახრა 1900 ჰც სიხშირეზე 2500 კმ-იანი ერთი ტრანზიტული უბნისათვის (ნახ. 48). როგორც წინა პარაგრაფში იყო აღნიშნული, τ -ს სხვანაირად დაყოვნების ჯგუფურ დროსაც უწოდებენ.

ტს არხის არაწრფივი დამახინჯებების კოეფიციენტი $k_{არ}$. ერთ ტრანზიტულ უბანზე 800 ჰც სიხშირის დენის გადაცემის ნომინალური დონის შემთხვევაში არ უნდა აღემატებოდეს 1,5%-ს (1%-ს მე-3 ჰარმონიკისათვის). ამავე დროს ამპლიტუდური მახასიათებელი ნორმირდება შემდეგნაირად: ერთ ტრანზიტულ უბანზე არხის ნარჩენი მილევა ნულოვანი გაზომვის წერტილში უნდა იყოს მუდმივი 0,3 დბ სიზუსტით 0,3...3,4 კჰც დიაპაზონის ნებისმიერ სიხშირეზე გაზომვის სიგნალის დონის -17,5 დბ-დან +3,5 დბ-დე ცვლილებისას. გაზომვის სიგნალის დონის მომატებისას 8,7 დბ-დე და 20 დბ-დე ნარჩენი მილევა უნდა გაიზარდოს არანაკლებ 1,75 დბ-ით და 7,8 დბ-ით შესაბამისად.



ნახ. 48. ტს არხის გადაცემის ჯგუფური დროის გადახრები

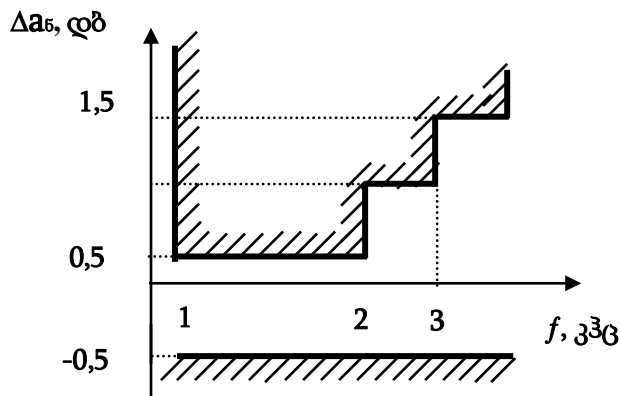
ტს არხის გამოსასვლელზე ინფორმაციული სიგნალის გარდა არსებობს ხელშემლენი, რომლებიც მიმდებ ბოლოში განისაზღვრება წერტილში, რომელშიც ფარდობითი დონეა -7 დბ. არხში ფსოფომეტრული (აწონილი) ხელშემლენის ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა ნებისმიერი 1 საათის განმავლობაში 2500 კმ სიგრძის ერთ კვლავგადაცემის უბანზე არ უნდა აღემატებოდეს 50000 პკტ_{ფსოფ.} გაზომვის ნულოვანი დონის წერტილში. მაშინ შესაბამისი აუწონავი სიმძლავრე $P_b=87000$ პკტ-ს.

ტს არხებისათვის ხდება აგრეთვე არხში სიგნალის საშუალო და პიკური (მაქსიმალური) სიმძლავრეების ნორმირება. ნულოვანი გაზომვის დონის წერტილში სიგნალის სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა შეადგენს 32 მკვტ-ს ($P_{საშ.}=32$ მკვტ), ხოლო მაქსიმალური – 2220 მკვტ-ს ($P_{მაქს.}=2220$ მკვტ). აღნიშნულიდან გამომდინარე და იმის გათვალისწინებით, რომ ტს არხისათვის $\Delta f=f_{*} - f_{\#}=3400-300=3100$ ჰც, ტს-ის ანალოგური არხის გამტარუნარიანობა $C\approx 25 \times 10^3$ ბიტი/წმ.

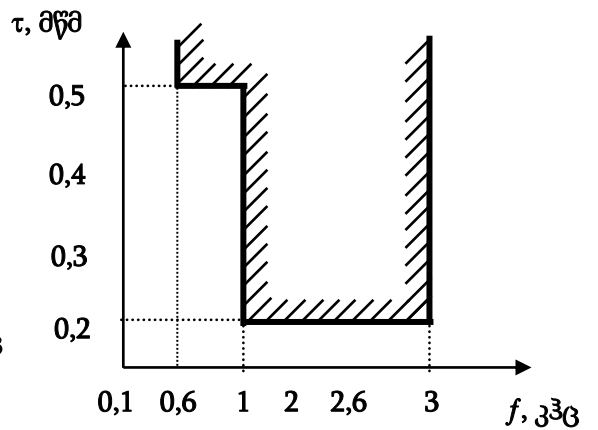
გადაცემის ციფრული და ოპტიკური სისტემებით ორგანიზებული სტანდარტული ტს არხები უფრო მაღალხარისხიანია, ვიდრე მეტალის სადენიანი საკაბელო და რადიოკავშირის სისტემებით ორგანიზებული ტს ანალოგური არხები. ამიტომ ციფრული ტს არხების რიგ მახასიათებლებს გააჩნია შემდეგი განმასხვავებელი ნიშნები:

ციფრული ტს არხებისათვის ამპლიტუდურ-სიხშირული დამახინჯებების ნორმები ITU-T-ის მიერ მოცემულია შაბლონის სახით (ნახ. 49). თუ ერთმანეთს შევადარებთ ციფრული და ანალოგური ტს არხების ნარჩენი მილეების დასაშვებ გადახრებს (იხ. ნახ. 47), მაშინ შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ციფრული არხებისათვის ნორმები უფრო მკაცრია. იგივე შეიძლება ითქვას ფაზოსიხშირული დამახინჯებების შესახებაც (ნახ. 50).

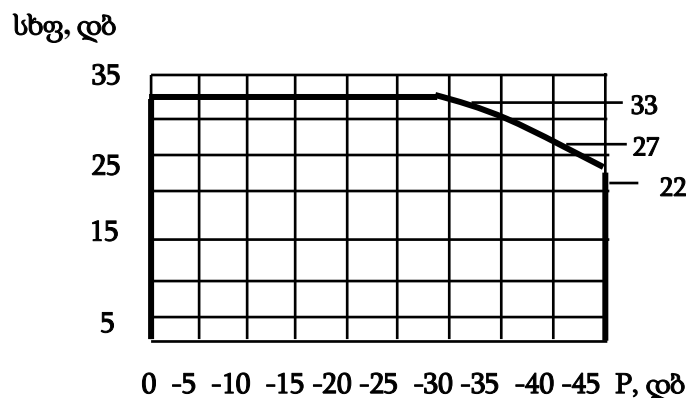
ციფრული ტს არხებისათვის შემოაქვთ დამატებითი მახასიათებელი, რომელიც აფასებს დაკვანტვის ხმაურებს. იგი წარმოადგენს სიგნალი/(დაკვანტვის ხმაური) ფარდობის (სხფ) სიგნალის დონეზე დამოკიდებულებას (ნახ. 51).



ნახ. 49. ციფრული ტს არხის ნარჩენი მილეების გადახრების შაბლონი

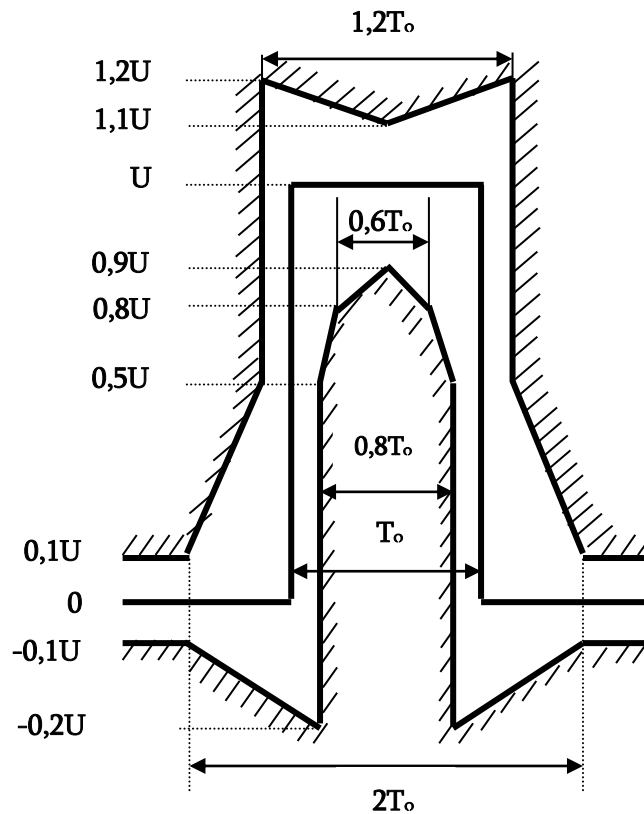


ნახ. 50. ციფრული ტს არხის გადაცემის ჯგუფური დროის დასაშვები არათანაბრობის შაბლონი



ნახ. 51. სიგნალი/(დაკვანტვის ხმაური) ფარდობის (სხფ) სიგნალის დონეზე დამოკიდებულება

გარდა ამისა, ციფრული არხებისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია სიმბოლოების (იმპულსების) ფორმა, რომელიც იდეალურ შემთხვევაში სწორკუთხა უნდა იყოს, რაც პრაქტიკულად გამორიცხულია. ITU-T-ის რეკომენდაციით t_0 ხანგრძლივობის რეალური (ნამდვილი) იმპულსის ფორმა უნდა მოთავსდეს შაბლონში, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 52-ზე, სადაც T_0 – იმპულსის ნომინალური ხანგრძლივობაა, ხოლო U – მისი ნომინალური ამპლიტუდა.



ნახ. 52. შაბლონი, რომელშიც უნდა მოთავსდეს ციფრული სიგნალის იმპულსი

შევაფასოთ ციფრული ტს არხის გამტარუნარიანობა C . როგორც ცნობილია, ტელეფონის ციფრული სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა $I=64$ კბიტი/წმ. ციფრული სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა I და შესაბამისი არხის

გამტარუნარიანობა C ფასდება იდენტური გამოსახულებებით. მაშასადამე, $C=I=64$ კბიტ/წმ. შევნიშნოთ, რომ ციფრული სისტემების იერარქიაში ასეთ არხს ძირითად ციფრულ არხს, ხოლო შესაბამის ნაკადს – ძირითად ციფრულ ნაკადს უწოდებენ.

ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე აპარატურებში, გარდა T არხებისა, გათვალისწინებულია T არხებთან შედარებით უფრო მაღალი გამტარუნარიანობის მქონე არხების, ანუ ფართოზოლოვანი (ჯგუფური) არხების შექმნა, რომლებიც ყალიბდება N რაოდენობის T არხების გაერთიანებით (ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ისეთი მრავალარხიანი სისტემისა და შესაბამისი აპარატურის აგებასთან, რომელიც აერთიანებს N რაოდენობის T არხს). უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც ანალოგურ, ასევე ციფრულ მრავალარხიან სისტემებში გასაერთიანებელი T არხების N რაოდენობა სტანდარტიზირებულია. მაგალითად, ანალოგური მრავალარხიანი სისტემებისათვის ჯგუფურ $v(t)$ სიგნალში გაერთიანებული საარხო $v_i(t)$ სიგნალების (გასაერთიანებელი არხების) სტანდარტიზირებული რაოდენობებია: $N=3$ (წინასწარჯგუფური ანალოგური არხი); $N=12$ (პირველადი ანალოგური არხი); $N=60$ (მეორეული ანალოგური არხი); $N=300$ (მესამეული ანალოგური არხი) და ა.შ. გარდა ამისა, მრავალარხიან ანალოგურ სისტემებში შესაძლებელია აგრეთვე T -ის 1920 და 3600 არხის გაერთიანება, რის შედეგადაც ასეთი ფართოზოლოვანი არხებით შესაძლებელი ხდება მაუწყებლობისა და ტელევიზიის სიგნალების გადაცემაც კი.

ITU-T-ს მიერაა სტანდარტიზირებული პლეზიოქრონული ციფრული იერარქიის PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) სისტემებიც. საერთოევროპული სტანდარტის ციფრული სისტემებისათვის ტელეფონის არხების რაოდენობა: $N=1$ (ძირითადი ციფრული არხი); $N=30$ (პირველადი ციფრული არხი); $N=120$ (მეორეული ციფრული არხი); $N=480$ (მესამეული ციფრული არხი); $N=1920$ (მეოთხეული ციფრული არხი).

ტელეკომუნიკაციის ციფრულ სისტემებში ქსელის ტრაქტების ორგანიზაციისათვის გათვალისწინებულია სპეციალური მოწყობილობა. ჯგუფური ციფრული სიგნალი, რომელიც ფორმირდება იერარქიის ამა თუ იმ საფეხურზე, გადაიცემა ციფრული ნაკადების დროითი გაერთიანების შემდეგი საფეხურისაკენ ან მიეწოდება სახაზო ტრაქტის მოწყობილობას. იერარქიის ორი მოსაზღვრე

საფეხურის მოწყობილობების შეერთების წერტილებს ქსელურ პირაპირებს უწოდებენ. იმპულსების ფორმა ქსელურ შეერთებებში სწორკუთხაა.

ჯგუფური ციფრული ნაკადების (და შესაბამისი არხების) პარამეტრები ITU-T-ის რეკომენდაციებითაა განსაზღვრული და ისინი პლეზიოქრონული ციფრული იერარქიის საერთოევროპული სტანდარტის პირველადი, მეორეული, მესამეული და მეოთხეული საფეხურებისათვის წარმოდგენილია ცხრილში 4.

ცხრილი 4

პარამეტრი	არხი			
	პირველადი	მეორეული	მესამეული	მეოთხეული
გადაცემის სიჩქარე და მისი ფარდობითი არასტაბილურობა, კბიტი/წმ	2048 ($1\pm 5\times 10^{-6}$)	8448 ($1\pm 30\times 10^{-6}$)	34368 ($1\pm 20\times 10^{-6}$)	139264 ($1\pm 15\times 10^{-6}$)
ინფორმაციული არხების რაოდენობა	30	120	480	1920
ნომინალური წინაღობა, ომი	120*	75**	75**	75**
იმპულსის ამპლიტუდა, ვ	3	2,37	1	1
იმპულსის ხანგრძლივობა ნწმ	244	59	14,55	7,18 ან 3,59
შემაერთებელი ხაზების მილევა, დბ	0...6	0...6	0...12	—

შენიშვნა: * – სიმეტრიული შესასვლელი. ** – არასიმეტრიული შესასვლელი.

დიდი გამტარუნარიანობის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზების გამოყენების შემთხვევაში ამჟამად შესაძლებელი გახდა სინქრონული ციფრული SDH (Synchronous Digital Hierarchy) იერარქიის უფრო მძლავრი (STM-1, STM-4, STM-16 და STM-64) ციფრული ნაკადების გადაცემა (STM – Synchronous Transport Modul – სინქრონული ტრანსპორტირების მოდული).

SDH-ის დონეების შესაბამისი ციფრული ნაკადების პარამეტრები წარმოდგენილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5

იერარქიის დონე	სინქრონული ტრანსპორტირების მოდულის აღნიშვნა	სატელეფონო არხების რაოდენობა	ჯგუფური ციფრული სიგნალის გადაცემის სიჩქარე, კბიტ/წმ
1	STM-1	1920	155520
2	STM-4	7680	622080
3	STM-16	30720	2488320
4	STM-64	122880	9953280

როგორც მოყვანილი ცხრილებიდან ჩანს, პლეზიოქრონული ციფრული იერარქიის სისტემებში მომდევნო დონე მიიღება წინა დონის შესაბამისი არხების რაოდენობის 4-ზე გამრავლებით, ხოლო სინქრონული ციფრული იერარქიის სისტემებში მომდევნო დონის შესაბამისი გადაცემის სიჩქარე – წინა დონის შესაბამისი სიჩქარის 4-ზე გამრავლებით.

14. ტელეკომუნიკაციის ხაზები. ტელეკომუნიკაციის საკაბელო და საჰაერო ხაზები მეტალის გამტარების საფუძველზე

როგორც ცნობილია, ტელეკომუნიკაციის სისტემის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს ტელეკომუნიკაციის ხაზი. ტელეკომუნიკაციის არსებული ხაზები სიგნალების გავრცელებისათვის გამოყენებული არისაგან დამოკიდებულებით დაიყოფა სადენიან და რადიოხაზებად. 1-ლ შემთხვევაში სიგნალი ვრცელდება დახურულ გარემოში (ელექტრული და ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელები), ხოლო მე-2 შემთხვევაში – თავისუფალ გარემოში (ეთერში).

ტელეკომუნიკაციის ხაზებს მოეთხოვებათ შემდეგი პირობების შესრულება: კავშირის განხორციელება პრაქტიკულად მოთხოვნილ მანძილზე; ფართოზოლოვანება და სხვადასხვა სახის შეტყობინების გადაცემისათვის მათი გამოყენების შესაძლებლობა; წრედების დაცულობა ურთიერთგავლენებისაგან, გარეშე ხელშემლენებისაგან და ფიზიკური ზემოქმედებებისაგან (ატმოსფერული მოვლენები, კოროზია და სხვა); ხაზების პარამეტრების სტაბილურობა, კავშირის მდგრადობა და საიმედოობა; ტელეკომუნიკაციის სისტემის ეკონომიურობა.

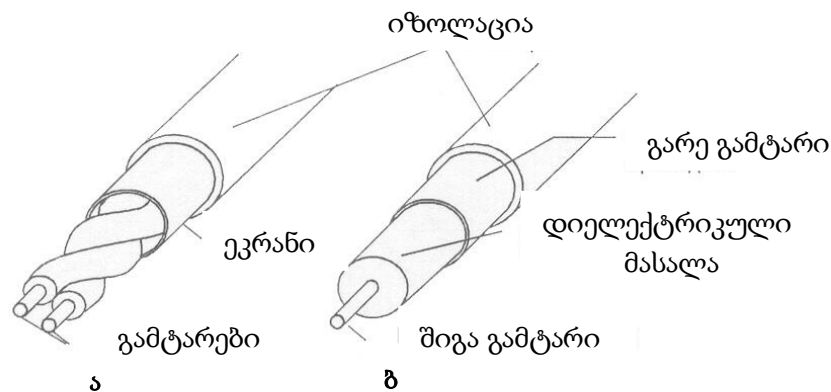
ტერმინების "სადენი", "კაბელი" და "ტელეკომუნიკაციის (კავშირის) ხაზი" გამოყენებისას ხშირად ურთიერთაღრევას აქვს ადგილი.

სადენი – კონსტრუქციული ელემენტია, რომელიც წარმოადგენს იზოლირებულ საფარში მოქცეულ ამა თუ იმ კონსტრუქციის გამტარს (გამტარებს).

კაბელი – დასრულებული კონსტრუქციაა, რომელიც შედგება საერთო ეკრანირებულ, დამცავ და სხვა სახის გარსაცმში მოთავსებულ ერთი ან რამდენიმე მავთულისაგან.

ტელეკომუნიკაციის (კავშირის) ხაზი – საინჟინრო ნაგებობაა, რომელიც შედგება გარკვეულ გეოგრაფიულ ტრასაზე ჩადებული კაბელისაგან და რომელიც აუცილებლობის შემთხვევაში აღჭურვილია გარეშე ზემოქმედებისაგან დაცვის მოწყობილობებით (ელვაგანმმუხტველები, დამცველები და სხვა), აგრეთვე გაძლიერების და რეგენერაციის პუნქტებით.

განვიხილოთ ტელეკომუნიკაციის სადენიანი ხაზები. უმარტივეს შემთხვევაში სადენიანი ხაზი ფიზიკური წრედია, რომელიც შედგენილია მეტალის გამტარების წყვილისაგან. გამტარების კონსტრუქციისა და ურთიერთგანლაგების მიხედვით არჩევენ სიმეტრიულ და კოაქსიალურ სადენებს და სატელეკომუნიკაციო ხაზებს (ნახ. 53).



ნახ. 53. სიმეტრიული (ა) და კოაქსიალური (ბ) სადენების ტიპური სახეები

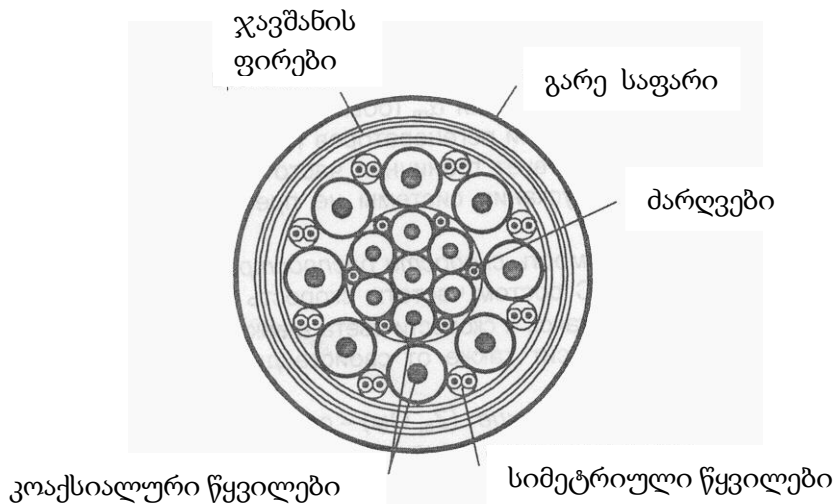
სიმეტრიული სადენი შედგება ელექტრული და კონსტრუქციული თვალსაზრისით ორი აბსოლუტურად ერთნაირი იზოლირებული გამტარისაგან. უცხოურ წყაროებში მას ხშირად "ხვეულ (დაწნულ) წყვილს" (**Twisted Pair – TP**) უწოდებენ. განასხვავებენ ეკრანირებულ (**shielded**) და არაეკრანირებულ (**unshielded**) სიმეტრიულ სადენებს.

კოაქსიალური (ინგლისური სიტყვიდან **co-axial** – თანაღერძული) სადენი წარმოადგენს ორ ცილინდრს შეთავსებული ღერძით, თანაც ერთი ცილინდრი – მთლიანი შიგა გამტარი – კონცენტრულადაა მოთავსებული მეორე ღრუ ცილინდრში (გარე გამტარში). გამტარები ერთმანეთისაგან იზოლირებულია დიელექტრიკული მასალით.

ამჟამად უშვებენ კაბელების ფართო ნომენკლატურას, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება დანიშნულებით, გამოყენების სფეროთი, გრუნტში ჩადების პირობებით, ექსპლუატაციითა და სხვა მონაცემებით.

ნახ. 54-ზე ნაჩვენებია მაგისტრალური ქსელისათვის განკუთვნილი საბჭოთა წარმოების **KMB-8/7** კაბელის კონსტრუქციის ნიმუში. კაბელის კონსტრუქციაში

გათვალისწინებულია სხვადასხვა ტიპის რამდენიმე კოაქსიალური წრედი, რამდენიმე სიმეტრიული წყვილი და, აგრეთვე, ცალკეული იზოლირებული ძარღვები. ეს უკანასკნელნი ჩვეულებრივ გამოიყენება ტექნოლოგიური მიზნებისათვის.



ნახ. 54. KMB-8/7 კაბელის კონსტრუქცია

ტელეკომუნიკაციის საჭაერო ხაზებს მაიზოლირებელი საფარი გამტარებს შორის არ გააჩნია. ამ შემთხვევაში იზოლატორის როლს ჰაერის ფენა ასრულებს. გამტარებს ძირითადად ამზადებენ ბიმეტალური ფოლად-სპილენძის (ან ფოლად-ალუმინის) მავთულისაგან. ფოლადის მავთულის შიგა დიამეტრი ჩვეულებრივ 1,2...4 მმ-ია, სპილენძის (ალუმინის) გარე ფენის (შრის) სისქეა 0,04...0,2 მმ. მავთულები ეკიდება ხის ან რკინაბეტონის საყრდენებზე ფაიფურის იზოლატორების საშუალებით. საჭაერო ხაზებში გამოყენებული სიხშირული დიაპაზონი არ აღემატება 150 კჰც-ს.

ელექტრული კაბელების კლასიფიკაცია ძირითადად ხორციელდება შემდეგი ნიშნების მიხედვით: კონსტრუქცია (სიმეტრიული და კოაქსიალური – იხ. ნახ. 53); გამოყენების სფერო (მაგისტრალური, ზონური, ადგილობრივი (შიგასაქალაქო და სასოფლო) და სასადგურო); გადასაცემი სიგნალის სიხშირეთა სპექტრი (დაბალსიხშირული – 10 კჰც-დე და მაღალსიხშირული – 10 კჰც-ზე ზევით); ჩადებისა და ექსპლუატაციის პირობები (საჭაერო, მიწისქვეშა, წყალქვეშა და სატელეფონო კანალიზაციაში ჩასადები).

კაბელების კლასიფიკაციისა და მათი გამოყენების მოხერხებულობის მიზნით ისინი აღინიშნება ასოებისა და ციფრების კომბინაციებით, რომელთაც კაბელის მარკა ეწოდება. კაბელის მარკის ასოები გვიჩვენებს მის კონსტრუქციას, გამოყენების სფეროს, ძარღვებისა და გულარას იზოლაციისა და დამცავი საფარის ტიპებს, ხოლო ციფრების ჯგუფი – კაბელის ტევადობას და, გარდა ამისა, სიმეტრიული კაბელებისათვის – ძარღვების შეგრების ტიპს.

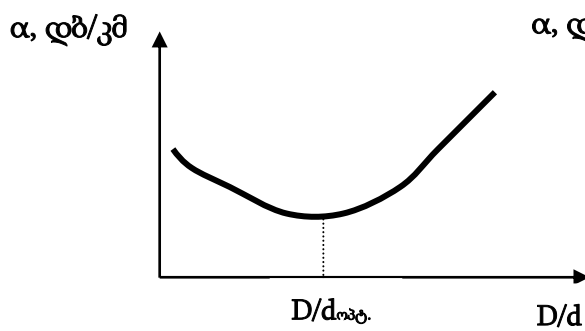
კაბელების გადაცემის პარამეტრების დასახასიათებლად მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ის გარემოება, რომ კაბელებში ელექტრომაგნიტური ენერგიის გადაცემა ხასიათდება ხაზის გასწვრივ ენერგიის გადაცემითა და საკაბელო წრედებს შორის ენერგიის ურთიერთგადასვლით. ხაზის გასწვრივ ენერგიის გადაცემას ახასიათებენ გადაცემის პირველადი და მეორადი პარამეტრებით, ხოლო საკაბელო წრედებს შორის ენერგიის ურთიერთგადასვლას – გავლენის პირველადი და მეორადი პარამეტრებით.

გადაცემის პირველადი პარამეტრებია: აქტიური წინაღობა R ; სრული ინდუქტივობა L , რომელიც წარმოადგენს კაბელის გამტარების შიგა L_a და გამტართშორის L_b ინდუქტივობების ჯამს; გამტართშორისი ტევადობა C ; იზოლაციის გამტარობა G , რომელიც ახასიათებს ენერგიის დანაკარგებს წრედის საიზოლაციო მასალებში.

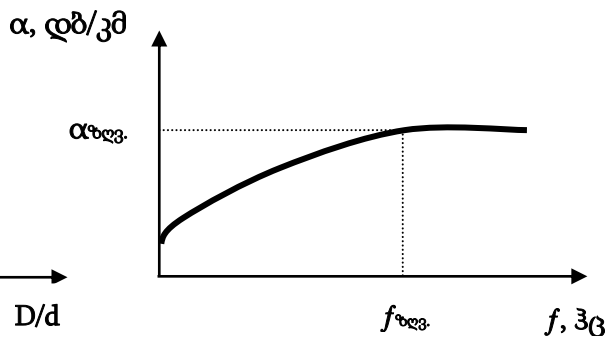
გადაცემის მეორადი პარამეტრებია: ტალღური წინაღობა Z_0 ; ელექტრომაგნიტური ენერგიის მილევის α , ფაზის β და გავრცელების γ კოეფიციენტები და ელექტრომაგნიტური ენერგიის გავრცელების სიჩქარე V . მილევის კოეფიციენტი (α დბ/კმ) დამოკიდებულია გამტარებისა და საიზოლაციო მასალების თვისებებზე. საუკეთესო თვისებები (მცირე წინაღობა) გააჩნია სპილენძსა და ვერცხლს. მილევის კოეფიციენტი დამოკიდებულია აგრეთვე გამტარების გეომეტრიულ ზომებზე. დიდი დიამეტრის მქონე სიმეტრიულ კაბელებს გააჩნია მცირე მილევის კოეფიციენტი. კოაქსიალური კაბელების მილევის კოეფიციენტი დამოკიდებულია გარე და შიგა გამტარების დიამეტრების თანაფარდობაზე (ნახ. 55). სხვადასხვა გარე მასალისათვის ოპტიმალური თანაფარდობებია: სპილენძისათვის – 3,6; ალუმინისათვის – 3,9; ტყვიისათვის – 5,2.

ძალზე მნიშვნელოვან მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს გადამცემი სატელეკომუნიკაციო სისტემის ფართოზოლოვნებას, წარმოადგენს მილევის კოეფიციენტის სიხშირეზე დამოკიდებულება (ნახ. 56). თუ განსაზღვრულია ზღვრული მილევის კოეფიციენტი $\alpha_{ზღვ}$. (ჩვეულებრივ იგი განისაზღვრება მამლიერებლების ან რეგენერატორების შესაძლებლობებით), მაშინ მოცემულ კოეფიციენტს შეესაბამება სისტემის გატარების ზღვრული სიხშირე $f_{ზღვ}$. სისტემის გატარების ზოლი არ აღემატება გატარების ზღვრულ სიხშირეს.

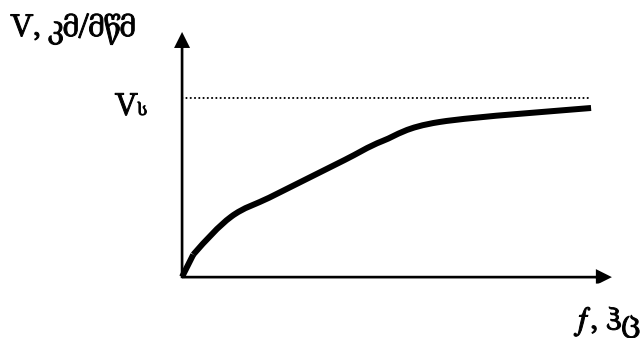
გავრცელების დროის (V , კმ/მწმ) სიხშირული დამოკიდებულება ნაჩვენებია ნახ. 57-ზე. სიხშირის ზრდასთან ერთად გავრცელების დრო იზრდება და უახლოვდება ვაკუუმში სინათლის გავრცელების სიჩქარეს $V_s \approx 300$ კმ/მწმ. ეს პარამეტრი დამოკიდებულია აგრეთვე კაბელში გამოყენებულ დიელექტრიკზე.



ნახ. 55. კოაქსიალური კაბელის მილევის კოეფიციენტის დამოკიდებულება გამტარების დიამეტრების ფარდობაზე



ნახ. 56. მეტალის კაბელის მილევის კოეფიციენტის სიხშირული დამოკიდებულება



ნახ. 57. ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარის სიხშირული დამოკიდებულება

ტალღური წინაღობა (Z_t , ომი) – წინაღობაა, რომელსაც ხვდება ელექტრომაგნიტური ტალღა ერთგვაროვანი ხაზის გასწვრივ არეკვლის გარეშე

გავრცელებისას, ანუ ისეთ პირობებში, როდესაც გადაცემის პროცესზე გავლენას არ ახდენს შეუთანხმებლობები ხაზის ბოლოებში. სიმეტრიული კაბელის ტალღური წინალობა დამოკიდებულია კაბელის ტევადობისა და ინდუქტივობის ხვედრით მნიშვნელობებზე. კოაქსიალური კაბელებისათვის ტალღური წინალობა

$$Z_y = (Z \cdot \ln(D/d))/2\pi,$$

სადაც Z – დიელექტრიკის ტალღური წინალობაა, D და d – გამტარების გარე და შიგა დიამეტრებია.

სიმეტრიული კაბელებისადმი წაყენებული მოთხოვნები განსაზღვრულია ITU-T G.603 რეკომენდაციაში. სიმეტრიული კაბელის ძარღვის დიამეტრი ჩვეულებრივ 0,4...1,2 მმ-ია. როგორც წესი, სიმეტრიული კაბელები ჩვეულებრივ გამოიყენება სიხშირეთა 10 მჰც-დე ზოლში. კოაქსიალური კაბელების ძირითადი პარამეტრები წარმოდგენილია ცხრილში 6.

ცხრილი 6

კაბელის ტიპი	გამტარის დიამეტრი, მმ	ITU-T-ს რეკომენდაცია	სიხშირეთა სამუშაო ზოლი, მჰც
მინი-კკ	0,7/2,9	G.621	0,2...20
მცირეგაბარიტული-კკ	1,2/4,4	G.622	0,06...70
ნორმალიზებული-კკ	2,6/9,5	G.623	0,06...300

სატელეკომუნიკაციო ხაზების წრედები მუდმივად იმყოფება სხვადასხვა წარმოშობის გარეშე ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების ქვეშ. გამოყოფენ გარეშე ველების წყაროების ორ ძირითად ჯგუფს:

1. შიგა წყაროები, რომლებიც წარმოადგენს ტელეკომუნიკაციის მოცემული ხაზის მეზობელ ფიზიკურ და ხელოვნურ წრედებს;

2. გარე წყაროები, რომლებიც როგორც ენერგეტიკულად, ასევე კონსტრუქციულად არ არიან დაკავშირებული ტელეკომუნიკაციის მოცემულ ხაზთან.

წარმოშობის მიხედვით ხელშეშლების გარე წყაროები, თავის მხრივ, იყოფა ორ ჯგუფად:

1. ბუნებრივი – ელვასთან დაკავშირებული განმუხტვები, მზის რადიაცია და სხვა;

2. ტექნოგენური (ადამიანის მიერ შექმნილი) – მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზები, რადიოსადგურები, რკინიგზის ელექტროფიცირებული ხაზები, სამრეწველო საწარმოების ელექტრული ქსელები და ცალკეული ენერგოტევადი მოწყობილობები.

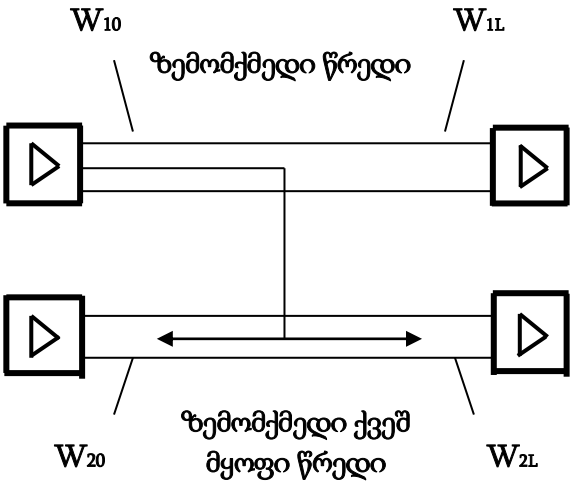
გარეშე ელექტრომაგნიტური ველები ტელეკომუნიკაციის ხაზებში ინდუქციით წარმოშობენ ხელშეშლებს, რომლებიც არა მარტო ამცირებენ კავშირის ხარისხს, არამედ ზოგჯერ აღაგზნებენ დიდ ძაბვასა და დენს, რომლებიც იწვევს ტელეკომუნიკაციის ხაზისა და აპარატურის რღვევას (დაშლას). აღნიშნულ შემთხვევებში ტელეკომუნიკაციის ხაზის წრედზე ელექტრომაგნიტურ შემოქმედებებს ან უბრალოდ შემოქმედებებს უწოდებენ. ეს პრობლემა საერთოა ტელეკომუნიკაციების ყველა სისტემისა და მოწყობილობისათვის და მას ელექტრომაგნიტური თავსებადობა ეწოდება. მისი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ სატელეკომუნიკაციო სისტემებისა და მოწყობილობების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პროცესში აუცილებელია შემდეგი ორი ურთიერთგამომრიცხავი მოთხოვნის გათვალისწინება:

1. სატელეკომუნიკაციო სისტემების ნორმალური მუშაობისათვის უზრუნველყოფილი უნდა იყოს მათი დაცვა გარეშე ელექტრომაგნიტური შემოქმედებისაგან;

2. დასაპროექტებელი მოწყობილობებისა და სისტემების მიერ წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველების სხვა სისტემებსა და მოწყობილობებზე გავლენის დონეები შეიზღუდოს დასაშვები მნიშვნელობებით.

გავლენის პირველადი პარამეტრები განისაზღვრება წრედებს შორის ელექტრული (K_{12}) და მაგნიტური (M_{12}) კავშირებით, რომელთა ფიზიკური არსი განხილულია შესაბამის ლიტერატურაში და რომლებიც შესაბამისად გამოისახება წინააღმდეგობისა ($ომი$) და გამტარობის ($სმ - სიმენსი$) ერთეულებში.

ურთიერთზემოქმედებების დონის რაოდენობრივი შეფასებისას ჩვეულებრივ განიხილავენ ორ – ზემომქმედ და ზემოქმედების ქვეშ მყოფ წრედს. პირველი მათგანი ელექტრომაგნიტური ველის შემქმნელი წრედაა, ხოლო მეორე – წრედი, რომელშიც ინდუცირდება ხელშემლეები (ნახ. 58). ხაზის ახლო ბოლოს უწოდებენ მას, რომელზედაც მიერთებულია გენერატორი, ხოლო შორეულ ბოლოს – მას, რომელზედაც მიერთებულია წრედის დატვირთვა. შესაბამისად განიხილება წრედებში სიგნალების სიმძლავრეები: W_{10} – ზემომქმედი წრედის ახლო ბოლოზე; W_{1L} – ზემომქმედი წრედის შორეულ ბოლოზე; W_{20} – ზემოქმედების ქვეშ მყოფი წრედის ახლო ბოლოზე; W_{2L} – ზემოქმედების ქვეშ მყოფი წრედის შორეულ ბოლოზე.



ნახ. 58. წრედების ურთიერთგავლენის ილუსტრაცია

ელექტრომაგნიტური ურთიერთგავლენებით გამოწვეული გარდამავალი ხელშემლეებისაგან დაცულობა რაოდენობრივად რიგი მაჩვენებლებით ფასდება, მათ შორის გარდამავალი მილევიტ ხაზის ახლო ბოლოზე A_0 (Near End Cross Talk – NEXT) და გარდამავალი მილევიტ ხაზის შორეულ ბოლოზე A_L (Far End Cross Talk – FEXT). ისინი განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებებით:

$$A_0=10\lg(W_{10}/W_{20}) \quad \text{და} \quad A_L=10\lg(W_{1L}/W_{2L}).$$

გარდამავალი ხელშეშლებისაგან დაცულობა წარმოადგენს წრედის მოცემულ წერტილში სასარგებლო (ზემოქმედების ქვეშ მყოფი) სიგნალისა და ხელშეშლის (ზემომქმედი სიგნალის) სიმძლავრის დონეთა სხვაობას:

$$A_{\text{დაგ.}}=P_s - P_b.$$

გარდამავალი მილვეა ხაზის ახლო ბოლოზე A_0 , გარდამავალი მილვეა ხაზის შორეულ ბოლოზე A_L და გარდამავალი ხელშეშლებისაგან დაცულობა $A_{\text{დაგ.}}$ წარმოადგენს გავლენის მეორად პარამეტრებს.

15. ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები და რადიოხაზები

უკანასკნელ ხანებში ტელეკომუნიკაციაში ფართოდ გამოიყენება ინფორმაციის გადაცემის ახალი ტექნოლოგია, რომლის დროსაც სიგნალები გადაიცემა ოპტიკურ შუქგამტარებში გამავალი სინათლის სხივის საშუალებით.

ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები გამოირჩევა მთელი რიგი არსებითი უპირატესობებით მეტალის კაბელიან ხაზებთან შედარებით. ეს უპირატესობებია: დიდი გამტარუნარიანობა, მცირე მილევა, მცირე მასა და გაბარიტები, მაღალი ხელშეშლადაცულობა, უსაფრთხოების საიმედო ტექნიკა, პრაქტიკულად ურთიერთზეგავლენის არარსებობა, ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შესაძლებლობა, სიაფე, რომელიც განპირობებულია კონსტრუქციაში ფერადი მეტალების არარსებობით.

რა თქმა უნდა, ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკურ ხაზებს გააჩნია რიგი ნაკლოვანებებისა, კერძოდ:

1. ტელეკომუნიკაციის ხაზების შექმნისას საჭიროა მაღალი იმედიანობის აქტიური ელემენტები, რომლებიც ელექტრულ სიგნალს გარდაქმნის ოპტიკურში და პირიქით და აგრეთვე მცირე მილევის უზრუნველმყოფი და ჩართვა-გამორთვის დიდი რესურსის მქონე ოპტიკური შემაერთებლები (კონექტორები). ტელეკომუნიკაციის ხაზის ასეთი ელემენტები უნდა დამზადდეს მაღალი სიზუსტით, რის გამოც მათი წარმოება ძვირია;

2. ოპტიკური ბოჭკოების მონტაჟისათვის საჭიროა ძვირადღირებულ-ი პრეციზიული ტექნოლოგიური დანადგარი;

3. ოპტიკური კაბელის დაზიანებისას (გაწყვეტისას) მისი აღდგენის ხარჯები მეტია მეტალის გამტარიანი კაბელების აღდგენის ხარჯებთან შედარებით.

მიუხედავად ამისა, ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზების უპირატესობები იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ ისინი პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება.

სატელეკომუნიკაციო (მათ შორის ბოჭკოვან-ოპტიკური) ხაზებით სიგნალების გადაცემა ემყარება ელექტრომაგნიტური ველის თეორიას, რომლის თანახმადაც ელექტრომაგნიტური ტალღა წარმოიქმნება ცვლადი ელექტრული და

მაგნიტური ველებით შესაბამისად ახალი მაგნიტური და ელექტრული ველების ფორმირებისას სივრცის მეზობელ არეებში და ამ ველების გავრცელებით სივრცეში.

ელექტრომაგნიტური ტალღები ვაკუუმში ვრცელდება სინათლის სიჩქარით ($V_0=300000$ კმ/წმ), ხოლო ფარდობითი დიელექტრიკული ϵ და მაგნიტური μ შეღწევალობის მქონე გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარე

$$v = v_0/(\epsilon\mu)^{1/2}.$$

უმარტივეს შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ტალღა აღიწერება გამოსახულებით:

$$U=U_0\sin(\omega t+\phi),$$

სადაც: U_0 ტალღის ამპლიტუდაა; ω კუთხური სიხშირეა რადიან/წმ-ში ან გრადუსი/წმ-ში, ხოლო ϕ ფაზური კუთხეა გრადუსებში ან რადიანებში. თავის მხრივ, $\omega=2\pi f$, სადაც f რხევის სიხშირეა ჰერცებში. რხევის f სიხშირესა და T პერიოდს (წამებში) შორის კი შემდეგი დამოკიდებულებაა $f=1/T$.

გარდა აღნიშნული პარამეტრებისა, ელექტრომაგნიტური ტალღის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს ტალღის სიგრძე λ , რომელიც ტალღის სივრცულ პერიოდს წარმოადგენს, რის გამოც ის იზომება მანძილის ერთეულებში.

რხევის f სიხშირეს, ტალღის λ სიგრძესა და გავრცელების v სიჩქარეს შორის შემდეგი დამოკიდებულებაა:

$$v = f\lambda .$$

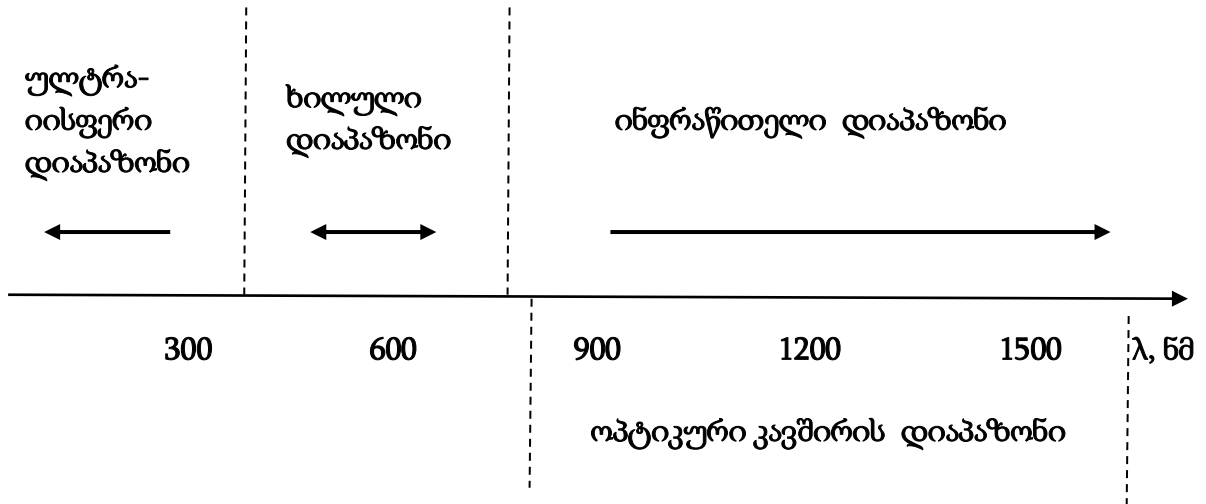
ელექტრომაგნიტურ ტალღებს გააჩნია უსასრულო სპექტრი, რომლის ნაწილი ათვისებულია ტელეკომუნიკაციის სიგნალების გადასაცემად (ცხრილი 7).

როგორც ნახ. 59-დან ჩანს, ხილული ოპტიკური გამოსხივება მოთავსებულია ტალღების 380-დან (იისფერი) 780-დე (წითელი) ნმ სიგრძის დიაპაზონში, რომელიც ესაზღვრება შედარებით მოკლე ტალღების მხრიდან ულტრაიისფერ გამოსხივებას, ხოლო შედარებით გრძელი ტალღების მხრიდან – ინფრაწითელს. ბოჭკოვან-ოპტიკურ ხაზებში გამოიყენება ოპტიკური დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ტალღები, რომლებიც ტალღათა ინფრაწითელ დიაპაზონს მიეკუთვნება და

რომელთა სიგრძე მოთავსებულია 800 – 1600 ნმ (ნანომეტრი) დიაპაზონში. ამასთან უპირატესობა ეძლევა 850, 1300 და 1550 ნმ სიგრძის ტალღებს.

ცხრილი 7

ტალღათა დიაპაზონი	ტალღის სიგრძე λ , მ	რხევის სიხშირე f , ჰც	გამოყენების სფერო
დაბალსიხშირული	$10^7 - 10^4$	$30 - 3 \cdot 10^4$	რადიონავიგაცია; რადიოსატელეგრაფო კავშირი
დაბალსიხშირული	$10^7 - 10^4$	$30 - 3 \cdot 10^4$	რადიონავიგაცია; რადიოსატელეგრაფო კავშირი
მაღალსიხშირული: გრძელი; საშუალო; მოკლე; ულტრამოკლე	$10^4 - 1$ $10^4 - 10^3$ $10^3 - 10^2$ $10^2 - 10$ $10 - 1$	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^8$ $3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$ $3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$ $3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$ $3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	რადიომუწყებლობა; კოსმოსური რადიოკავშირი; ტელევიზია; რადიოლოკაცია; რადიოსარელეო კავშირი და სხვა
ზემაღალი სიხშირის (ზმს): დეციმეტრული; სანტიმეტრული; მილიმეტრული	$1 - 10^{-3}$ $1 - 10^{-1}$ $10^{-1} - 10^{-2}$ $10^{-2} - 10^{-3}$	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{11}$ $3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$ $3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$ $3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	რადიომუწყებლობა; კოსმოსური რადიოკავშირი; ტელევიზია; რადიოლოკაცია; რადიოსარელეო კავშირი და სხვა
ოპტიკური: ინფრაწითელი; ხილული; ულტრაიისფერი	$10^3 - 20 \cdot 10^{10}$ $10^3 - 75 \cdot 10^7$ $75 \cdot 10^7 - 4 \cdot 10^7$ $4 \cdot 10^7 - 20 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{11} - 15 \cdot 10^{17}$ $3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$ $4 \cdot 10^{14} - 75 \cdot 10^{14}$ $75 \cdot 10^{14} - 15 \cdot 10^{17}$	ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემები; მედიცინა; კვანტური რადიოელექტრონიკა



ნახ. 59. ელექტრომაგნიტური ტალღების სახეობათა განაწილება

ოპტიკური ბოჭკო მზადდება იაფი მასალისაგან – კვარცული მინისაგან შეთავსებული ღერძებიანი და გარდატეხის სხვადასხვა კოეფიციენტის მქონე ცილინდრების სახით. შიგა ცილინდრს გულანას (**Core**) უწოდებენ, ხოლო გარეს – გარსაცმს (**Cladding**). ოპტიკური ბოჭკოს გასწვრივ ოპტიკური გამოსხივების გავრცელების პრინციპი ემყარება გარდატეხის სხვადასხვა მაჩვენებლიანი გარემოების საზღვრებიდან სინათლის არეკვლას (ნახ. 60).



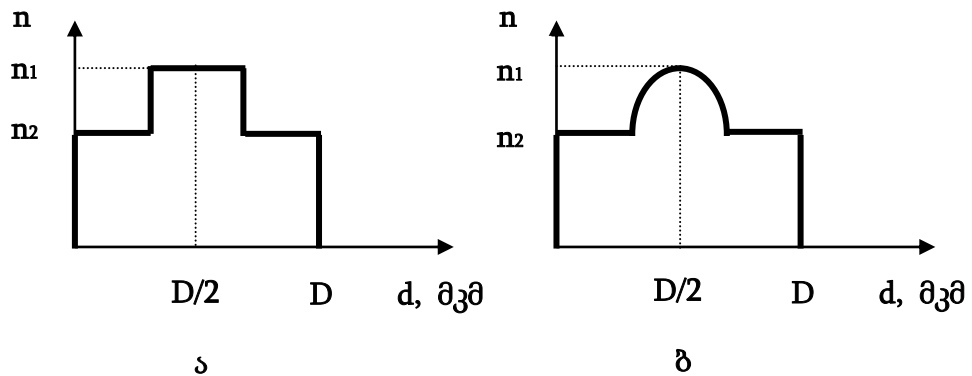
ნახ. 60. ოპტიკური გამოსხივების გავრცელების ილუსტრაცია

სრული არეკვლის კუთხე, რომელსაც აგრეთვე კრიტიკულსაც უწოდებენ, რომლის დროსაც ორი გარემოს საზღვარზე დაცემული გამოსხივება გარე გარემოში შეღწევის გარეშე აირეკლება სრულად, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\theta_{კრ.} = \text{arcCos}(n_2/n_1),$$

სადაც n_1 და n_2 – შესაბამისად გულანასა და გარსაცმის გარდატეხის მაჩვენებლებია, თანაც $n_1 > n_2$. გამოსხივება ბოჭკოში შეყვანილი უნდა იყოს ღერძის მიმართ θ კრ.-ზე ნაკლები კუთხით.

გულანას გარდატეხის მაჩვენებლის პროფილის სახეობის მიხედვით ერთმანეთისაგან განასხვავებენ საფეხუროვან და გრადიენტულ ოპტიკურ ბოჭკოებს. საფეხუროვანი ოპტიკური ბოჭკოსათვის გულანას გარდატეხის მაჩვენებელი მუდმივია (ნახ. 61ა). გრადიენტული ოპტიკური ბოჭკოსათვის კი გულანას გარდატეხის მაჩვენებელი მდორედ იცვლება რადიუსის გასწვრივ მისი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან გულანას ღერძზე გარსაცმის გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობამდე (ნახ. 61ბ).



ნახ. 61. საფეხუროვანი (ა) და გრადიენტული (ბ) ოპტიკური გარდატეხის მაჩვენებლების პროფილები

ოპტიკურ ბოჭკოში ერთდროულად შეიძლება არსებობდეს ტალღების (მოდეების) რამდენიმე ტიპი. მოდურ მახასიათებლებზე დამოკიდებულების თვალსაზრისით გარდატეხის საფეხუროვანპროფილიანი ოპტიკური ბოჭკო იყოფა ორ – მრავალმოდური და ერთმოდური სახეობად.

მოდეების რაოდენობა დამოკიდებულია ნორმირებული სიხშირის მნიშვნელობაზე. ნორმირებული სიხშირე

$$V = (D\pi(n_1^2 - n_2^2)^{1/2})/\lambda,$$

სადაც D – ოპტიკური ბოჭკოს გულანის დიამეტრია, ხოლო λ – ტალღის მუშა სიგრძეა. ერთმოდინანი რეჟიმი ხორციელდება იმ შემთხვევაში, როდესაც $V < 2,405$. წინასწარ განსაზღვრულ და შედარებით მცირე სიდიდეებს წარმოადგენს ტალღის მუშა სიგრძე და გარდატეხის მაჩვენებლებს შორის სხვაობა $\delta n = n_1 - n_2$. ოპტიკური ბოჭკოსათვის ჩვეულებრივ $\delta n = 0,003 \dots 0,05$. ამიტომ ერთმოდინანი ბოჭკოების გულანას D დიამეტრი მცირეა და იგი მოთავსებულია 5...15 მკმ დიაპაზონში (ჩვეულებრივ D უდრის 9-ს ან 10-ს). მრავალმოდინანი ბოჭკოებისათვის D დიამეტრი 50 მკმ-ის ფარგლებშია (ჩვეულებრივ D ტოლია 50-ის ან 62,5-ის). ყველა ტიპის ოპტიკური ბოჭკოსათვის გარსაცმის დიამეტრი 125 მკმ-ია. დამცავი საფარის დიამეტრი – 500 მკმ. იმ კაბელის გარე დიამეტრი, რომლის ბოჭკოთა რაოდენობაა 2...32, ყველა დამცავი გარსაცმისა და ელემენტების გათვალისწინებით ჩვეულებრივ შეადგენს 5...17 მმ-ს.

ოპტიკური ბოჭკოს მიღება განისაზღვრება მასში შთანთქმისა და გამოსხივების ფანტვის დანაკარგებით. შთანთქმით განპირობებული დანაკარგები დამოკიდებულია მასალის სისუფთავეზე, ხოლო ფანტვით განპირობებული დანაკარგები – მასალის გარდატეხის მაჩვენებლის არაერთგვაროვნებაზე. ოპტიკური ბოჭკოს მიღება არაერთგვაროვანია სხვადასხვა სიგრძის ტალღებისათვის. ოპტიკური ბოჭკოს მიღების α კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტალღის მუშა სიგრძეზე ნაჩვენებია ნახ. 62-ზე. ამ დამოკიდებულებას აქვს სამი მინიმუმი, რომლებსაც **გამჭვირვალობის ფანჯრებს** უწოდებენ. ისტორიულად პირველად ათვისებული იქნა გამჭვირვალობის პირველი ფანჯარა ტალღის მუშა სიგრძეზე, რომელიც 0,85 მკმ-ს შეადგენს. სწორედ ტალღის ამ სიგრძისათვის იქნა დამზადებული პირველი ნახევარგამტარული გამომსხივებლები (ლაზერები და შუქდიოდები) და ფოტომიმლებები. პირველ ფანჯარაში მიღების კოეფიციენტი მაღალია და იგი შეადგენს ერთეულ დეციბელებს კილომეტრზე (დბ/კმ). მოგვიანებით შეიქმნა ტალღის დიდ სიგრძეებზე (1,3 და 1,55 მკმ) მომუშავე გამომსხივებლები და ფოტომიმლებები. ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სისტემებში ჩვეულებრივ გამოიყენება მე-2 ან მე-3 ფანჯარა, რომლებსაც მიღების მცირე კოეფიციენტი გააჩნია. თანამედროვე ტექნოლოგია იძლევა ისეთი ოპტიკური

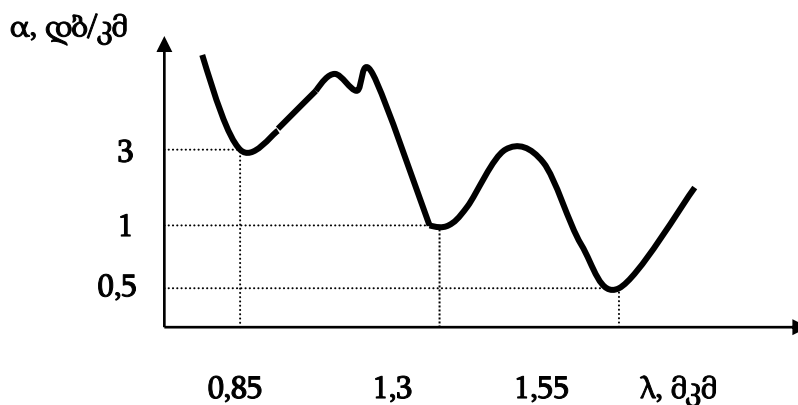
ბოჭკოების დამზადების საშუალებას, რომლებისთვისაც მიღევის კოეფიციენტი დეციბელის მესამედი ნაწილის რიგისაა კილომეტრზე.

ოპტიკური ბოჭკოს მეორე უმთავრეს პარამეტრია დისპერსია, რომელიც წარმოადგენს ოპტიკური სიგნალის სპექტრული და მოდური შემდგენების დროში ფანტვას. არსებობს დისპერსიის სამი ტიპი:

1. **მოდური დისპერსია** დამახასიათებელია მრავალმოდური ბოჭკოსათვის და იგი განპირობებულია დიდი რაოდენობის მოდების არსებობით, რომელთა გავრცელების დრო სხვადასხვაა.

2. **მატერიალური დისპერსიის** არსებობა განპირობებულია გარდატეხის მაჩვენებლის ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულებით.

3. **ტალღსატარული დისპერსიის** არსებობა განპირობებულია მოდის შიგნით მიმდინარე პროცესებით და იგი ხასიათდება მოდის გავრცელების სიჩქარის ტალღის სიგრძეზე დამოკიდებულებით.



ნახ. 62. ოპტიკური ბოჭკოს მიღევის კოეფიციენტის სპექტრული მახასიათებელი

ვინაიდან ოპტიკური გამოსხივების წყაროები ასხივებს ტალღის სიგრძეთა გარკვეულ სპექტრს (შუქდიოდები – 15...80 ნმ-ს, ლაზერები – 0,1...4 ნმ-ს), ამიტომ დისპერსია იწვევს ბოჭკოვან კაბელში გავრცელებული იმპულსების გაფართოვებას და, ამის შედეგად, სიგნალების დამახინჯებას. გაფართოება განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\tau = (T_{\text{გაგ}}^2 - T_{\text{გეს}}^2)^{1/2},$$

სადაც $T_{\text{ფს}}$ და $T_{\text{გა}}$ – იმპულსების ხანგრძლივობაა ოპტიკური ბოჭკოს შესასვლელსა და გამოსასვლელზე. გაფართოების განზომილებაა ნანოწამი/კილომეტრზე (ნწმ/კმ). შეფდასებისას იყენებენ ტერმინს **გატარების ზოლი** ($\Delta f \approx 1/\tau$). იგი წარმოადგენს 1 კმ სიგრძის ოპტიკურ ბოჭკოში იმპულსის გავლისას მისი გაფართოების შეზღუდულ სიდიდეს და მისი განზომილებაა მეგაჰერც-კილომეტრი (მჰც·კმ). გატარების ზოლის განმარტებიდან ჩანს, რომ დისპერსია ზღუდავს კავშირის სიშორესა და გადაცემული სიგნალების ზედა სიხშირეს.

თუ მრავალმოდური ბოჭკოში სინათლის გავრცელებისას, როგორც წესი, ჭარბობს მოდური დისპერსია, ერთმოდური ბოჭკოსათვის დამახასიათებელია დისპერსიის მხოლოდ ბოლო ორი სახეობა. ერთმოდური კაბელში ტალღის 1,3 მკმ სიგრძეზე მატერიალური და ტალღსატარული დისპერსიები აკომპენსირებს ერთმანეთს, რაც უზრუნველყოფს უმაღლეს გამტარუნარიანობას.

სხვადასხვა ტიპის ოპტიკური ბოჭკოებისათვის მიღევა და დისპერსია სხვადასხვაა. ერთმოდური ბოჭკოებს გააჩნია მიღევისა და გატარების ზოლის საუკეთესო მახასიათებლები. თუმცა გამოსხივების ერთმოდური წყაროები რამდენჯერმე ძვირია მრავალმოდურიებთან შედარებით. ერთმოდური ბოჭკოში უფრო ძნელია გამოსხივების შეყვანა ოპტიკური ბოჭკოების მცირე ზომების გამო. ამავე მიზეზით ერთმოდური ბოჭკოების გადაბმა მცირე დანაკარგების უზრუნველყოფით ძნელია. ასევე ძვირია ერთმოდური კაბელებისათვის ოპტიკური გასართების მონტაჟი.

უფრო მოსახერხებელია მრავალმოდური ბოჭკოების მონტაჟი, ვინაიდან მათი გულანას ზომები რამდენჯერმე აღემატება ერთმოდური კაბელებში არსებულ გულანას ზომებს. მრავალმოდური კაბელებისათვის მარტივია ოპტიკური გასართების მონტაჟი შეერთების წერტილში მცირე დანაკარგების უზრუნველყოფით. მრავალმოდური ბოჭკოებზე გათვლილია გამომსხივებლები ტალღის 0,85 მკმ სიგრძეზე, რომლებიც იაფია და მზადდება ფართო ასორტიმენტით. მაგრამ მრავალმოდური ბოჭკოებისათვის ტალღის აღნიშნულ სიგრძეზე მიღევა შეადგენს 3...4 დბ/კმ და შეუძლებელია მისი მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება. მრავალ-

მოდინი კაბელების გატარების ზოლი აღწევს 800 მკვ-კმ-ს, რაც მისაღებია ტელეკომუნიკაციის ლოკალური ქსელებისათვის, მაგრამ არასაკმარისია მაგისტრალური ხაზებისათვის. ერთმოდინი კაბელების გატარების ზოლმა შეიძლება მიაღწიოს 5000 მკვ-კმ-დე.

მსოფლიოში ამჟამად არსებობს სხვადასხვა დანიშნულების ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელების დამამზადებელი რამდენიმე ათეული ფირმა. ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელების წარმოებისას განმსაზღვრელ პარამეტრებს წარმოადგენს ექსპლუატაციის პირობები და ტელეკომუნიკაციის ხაზის გამტარუნარიანობა. ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები მოყვანილია ITU-T-ს G.650 სერიის რეკომენდაციებში.

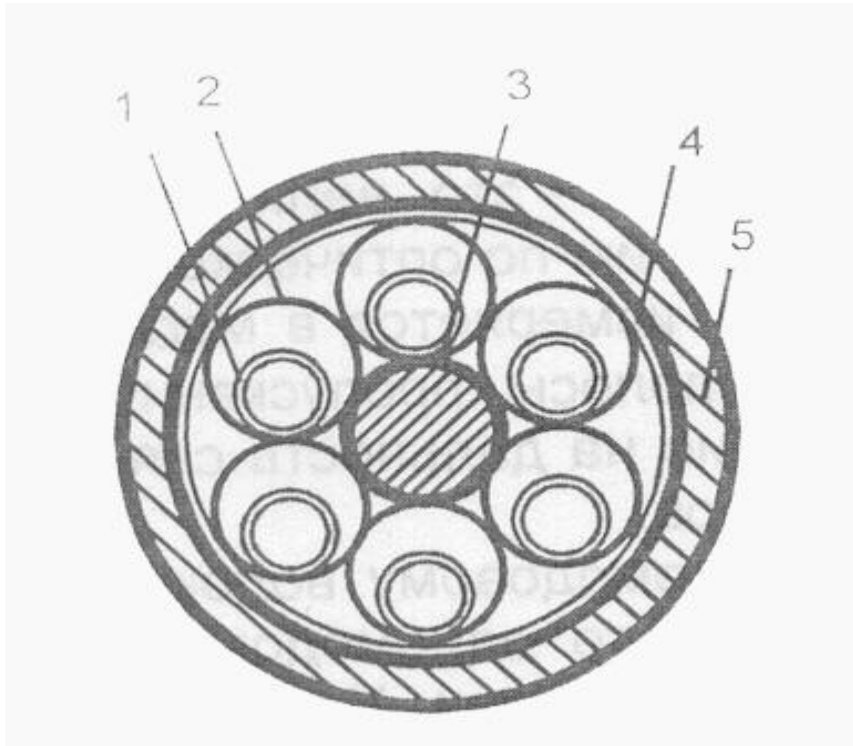
ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით ამზადებენ სამონტაჟო, სასადგურო, ზონურ და მაგისტრალურ კაბელებს. პირველი ორი ტიპის კაბელები გათვალისწინებულია შენობებისა და ნაგებობების შიგა გაყვანილობისათვის. ისინი კომპაქტური, მსუბუქი და, როგორც წესი, მცირე სამშენებლო სიგრძისაა. ზონური და მაგისტრალური კაბელები განკუთვნილია საკაბელო კომუნიკაციის ჭებში, გრუნტში და წყლებში ჩადებისათვის, აგრეთვე ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებზე დაკიდებისათვის. ამ კაბელებს აქვს გარე ზემოქმედებისაგან დამცავი საშუალებები და ორ კილომეტრზე მეტი სამშენებლო სიგრძე.

ტელეკომუნიკაციის ხაზის დიდი გამტარუნარიანობის უზრუნველყოფის მიზნით ამზადებენ ისეთ ბოჭკოვან-ოპტიკურ კაბელებს, რომლებსაც დიდი რაოდენობით (8-დე) გააჩნია მცირე მილევის უზრუნველმყოფი ერთმოდინი ბოჭკოები, ხოლო გამანაწილებელი ქსელების კაბელები ქსელის სეგმენტებს შორის მანძილის მიხედვით შეიძლება შეიცავდეს 144-დე როგორც ერთმოდინ, ასევე მრავალმოდინ ბოჭკოებს.

ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელების დამამზადებისას ძირითადად გამოიყენება ორი სახის კონსტრუქცია – კონსტრუქციები ელემენტების თავისუფალი გადაადგილებით და კონსტრუქციები ელემენტებს შორის მყარი კავშირით.

არსებობს ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელების კონსტრუქციების მრავალრიცხოვანი კომბინაციები, რომლებიც გამოყენებული მასალების დიდ

ასორტიმენტთან ერთად იძლევა ისეთი კაბელის შერჩევის საშუალებას, რომელიც საუკეთესოდ აკმაყოფილებს პროექტის ყველა პირობას, მათ შორის მოთხოვნებს ღირებულების თვალსაზრისით. ნახ. 63-ზე წარმოდგენილია ოპტიკური კაბელის კონსტრუქციის ნიმუში.



ნახ. 63. ოპტიკური კაბელის კონსტრუქციის ნიმუში:
 1 – ოპტიკური ბოჭკო; 2 – პოლიეთილენის მილაკი; 3 – ძალური ელემენტი;
 4 და 5 – შიგა და გარე პოლიეთილენური გარსაცმები

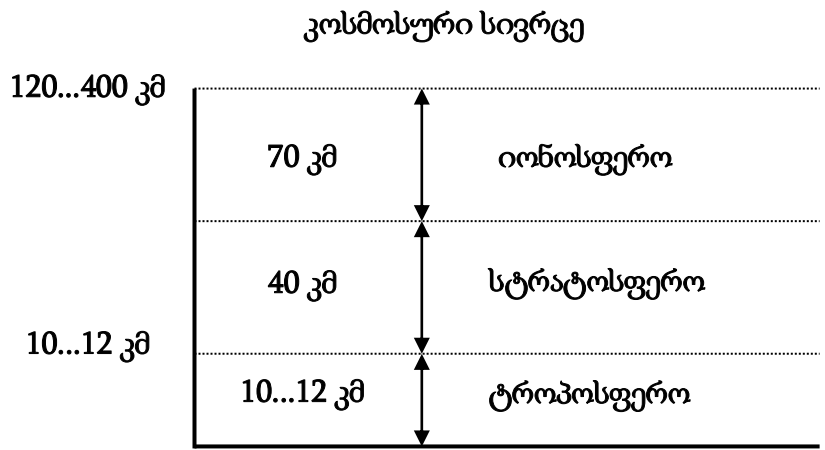
ოპტიკური კაბელების სამშენებლო სიგრძეების გადაბმა (შეერთება) ხორციელდება სპეციალური კონსტრუქციის საკაბელო ქუროების საშუალებით.

ტელეკომუნიკაციის რადიოხაზებში (რადიოკავშირის ხაზებში) ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელების არეს უმრავლეს შემთხვევაში (კოსმოსურ აპარატებს შორის კავშირის სახეობის გარდა) წარმოადგენს დედამიწის ატმოსფერო. ნახ. 64-ზე ნაჩვენებია დედამიწის ატმოსფეროს გამარტივებული აგებულება.

დედამიწის ატმოსფეროს აგებულება რეალურად უფრო რთულია და ტროფოსფეროდ, სტრატოსფეროდ და იონოსფეროდ მისი დაყოფა საკმაოდ პირობითია. ფენების სიმაღლეები მიახლოებითია და ისინი სხვადასხვაა დედამიწის

სხვადასხვა გეოგრაფიული წერტილისათვის. ატმოსფეროს მასის დაახლოებით 80% თავმოყრილია ტროპოსფეროში და 20% – სტრატოსფეროში. იონოსფეროში ატმოსფეროს სიმკვრივე ძალზე მცირეა და მასსა და კოსმოსურ სივრცეს შორის საზღვარი პირობითია, ვინაიდან ატმოსფეროს კვალი გვხვდება აგრეთვე 400 კმ სიმაღლეზეც კი. მიღებულია, რომ ატმოსფეროს მკვრივი ფენები მთავრდება დაახლოებით 120 კმ სიმაღლეზე.

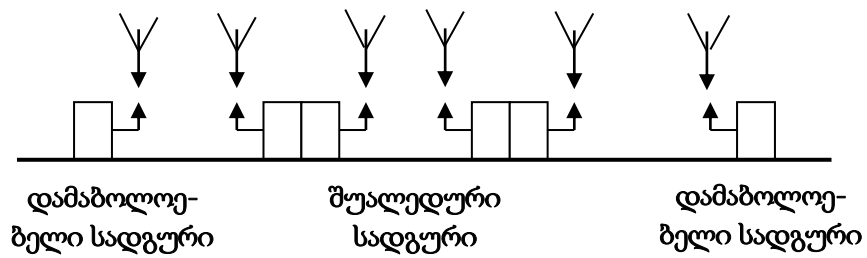
რადიოკავშირის ხაზი შედგება გადამცემისაგან (იგი, თავის მხრივ, შეიცავს გადამცემ ანტენას, რომელიც გამოსახივებს რადიოტალღას), რადიოტალღების გავრცელების გარემოსაგან გადამცემიდან მიმღებამდე და მიმღებისაგან, რომელიც, თავის მხრივ, შეიცავს რადიოტალღების მიმღებ ანტენას.



ნახ. 64. დედამიწის ატმოსფეროს აგებულება

რადიოტალღის სიგრძე $\lambda = v/f$ (იხ. 3.8 გამოსახულება), სადაც f – რხევის სიხშირეა ჰერცებში (ჰც), ხოლო $v = v_0 = 3 \times 10^8$ მ/წმ (სინათლის გავრცელების სიჩქარე).

ნახ. 65-ზე წარმოდგენილია რადიოხაზის ტიპური სახე. ხაზი შეიძლება შეიცავდეს ორ დამაბოლოებელ სადგურს. ასეთი რადიოხაზების მაგალითია მასიური ხასიათის შეტყობინებათა გადაცემის ქსელები (სატელევიზიო და რადიომაუწყებლობის ქსელები). რადიოხაზი შეიძლება შეიცავდეს რამდენიმე შუალედურ მიმღებ-გადამცემ სადგურს (ასე აიგება გადაცემის რადიოსარელო სისტემების ხაზები).



რადიოტალღების კლასიფიკაცია და მათი გავრცელების ხერხები წარმოდგენილია ცხრილი 8 და ცხრილი 9-ში. რადიოტალღების დიაპაზონებად დაყოფა დადგენილია რადიოკავშირის საერთაშორისო რეგლამენტით (ITU-R). დეციმილიმეტრულ ტალღებს (იხ. ცხრილი 9) სხვანაირად **ოპტიკურ ტალღებსაც** უწოდებენ და იგი იყოფა **ინფრაწითელ** (სიხშირეთა დიაპაზონი 300...400 გჰც, ტალღის სიგრძე 0,75...1 მმ), **ხილული სინათლის** (400...750 გჰც, 0,4...0,75 მმ) და **ულტრაიისფერ** (750...3000 გჰც, 0,1...0,4 მმ) ტალღებად.

თავისუფალ სივრცეში რადიოტალღები სწორხაზოვნად ვრცელდება. გადამცემი სადგურის (იგი, როგორც წესი მდებარეობს დედამიწის ზედაპირზე) ანტენის მიერ გამოსხივებული რადიოტალღები მანამ, სანამ მიაღწევენ მიმღებ ანტენამდე, ზოგადად რთულ გზას გადის. მიღების წერტილში ველის დამაბულობის მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, რომელთაგან ძირითადია:

1. ელექტრომაგნიტური ტალღების არეკვლა დედამიწის ზედაპირიდან;
2. ატმოსფეროს იონიზირებულ ფენებში (იონოსფეროში) გარდატეხა (არეკვლა);
3. გაფანტვა ატმოსფეროს ქვედა ფენების (ტროპოსფეროს) დიელექტრიკულ არაერთგვაროვნებებში;
4. დედამიწის სფერული ფორმით გამოწვეული დიფრაქცია, რის გამოც გრძელი და საშუალო ტალღები გარს უვლიან დედამიწას ამობურცულობაზე.

გარდა ამისა, მიღების წერტილში ველის დამაბულობა დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე, დედამიწის ატმოსფეროს მზით განათებულობაზე და აგრეთვე რიგ სხვა ფაქტორებზე.

ცხრილი 8

რადიოტალღების სახეობა	რადიოტალღების გავრცელების ძირითადი ხერხები	კავშირის სიშორე, კმ
მირიამეტრული და	დიფრაქცია;	ათასეულებამდე;

გრძელი და საშუალო ტალღების დიაპაზონებში მუშაობს რადიომაუწყებლობის სადგურები დიდი სიმძლავრის გადამცემებით (150...500 კვტ) დიდ მანძილზე გადაცემისათვის და შედარებით ნაკლები სიმძლავრის (30 კვტ-დე) გადამცემებით – რამდენიმე ასეულ კილომეტრზე მაუწყებლობისათვის.

რამდენიმე ათეული მეტრი სიგრძის მოკლე რადიოტალღებს შეუძლია არეკვლა ნახევრად გამტარი გარემოსაგან – იონოსფეროსაგან. მრავალჯერ აირეკლება რა იონოსფეროსაგან და დედამიწის ზედაპირისაგან, მოკლე ტალღებს შეუძლია გარს შემოუარონ დედამიწას, რის გამოც მათი გავრცელების სიშორე შეუზღუდავია. თუმცა მოკლე ტალღების გავრცელების პირობები ძალზე არასტაბილურია იონოსფეროს მდგომარეობის არამუდმივობის გამო, ვინაიდან მასში ელექტრონების კონცენტრაცია დამოკიდებულია მათი ფენის (შრის) სიმადლეზე დედამიწის ზედაპირიდან და იგი იცვლება მზის სხივების ზემოქმედების ცვლილებასთან ერთად. იონოსფეროს სხვადასხვა ფენიდან არეკვლილი მოკლე ტალღები შეიძლება მიღების ადგილას (მიმღებში) ერთდროულად მოხვდეს სხვადასხვა გზით (სხვადასხვა სხივით).

მრავალსხივიანობით გამოწვეული ინტერფერენციისა და გავრცელების პირობების ცვლილების შედეგად მიმღებში მოხვედრილი მოკლე ტალღები ძლიერ შესუსტებული იქნება.

მოკლე ტალღების დიაპაზონში მუშაობს დიდი რაოდენობის რადიომაუწყებლობის სადგურები, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ურთიერთხელშეშლები სადგურებს შორის. მოკლეტალღიანი რადიოკავშირის ხაზების ორგანიზებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნასსიხშირეთა შეზღუდული ზოლები (არაუმეტეს 5...6 კჰც-ისა). ასეთ ზოლებში შეიძლება 3 ან 4 ტელეფონისა და 6 ტელეგრაფის არხის ორგანიზება. მცირე გამტარუნარიანობისა და დაბალი საიმედობის გამო რადიოკავშირის მოკლეტალღიანი ხაზები ძირითადად გამოიყენება ძნელად მისადგომ, დაშორებულ და მოძრავ (მობილურ) ობიექტებთან კავშირისათვის. მოკლეტალღიანი ხაზების ღირსებაა მათი ორგანიზების სიმარტივე და გადამცემების მცირე სიმძლავრე შორეული კავშირის განხორციელების შემთხვევაში.

რადიოკავშირისათვის გამოყენებულ ძირითად დიაპაზონებს წარმოადგენს დეციმეტრული და სანტიმეტრული ტალღების დიაპაზონები. ასეთი ტალღებისათვის იონოსფერო გამჭვირვალეა და ამიტომ ისინი ვრცელდება სწორხაზოვნად როგორც დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ, ასევე კოსმოსურ სივრცეში, ოღონდ ამ დიაპაზონებში რადიოტალღების მდგრადი გავრცელება შესაძლებელია მხოლოდ პირდაპირი ხედვის ფარგლებში. ამიტომ ამ ტალღების შორ მანძილზე გადასაცემად აუცილებელია რეტრანსლატორების გამოყენება.

ცხრილი 9

რადიოტალღების სახე	რადიოტალღების ტიპი	რადიოტალღების დიაპაზონი (ტალღის სიგრძე)	დიაპაზონის ნომერი	სიხშირეთა დიაპაზონი	რადიო-სიხშირეთა სახეობა
მირიამეტრული	ზეგრძელი	10...100 კმ	4	3...30 კჰც	ძალზე დაბალი
კილომეტრული	გრძელი	1...10 კმ	5	30...300 კჰც	დაბალი
ჰექტომეტრული	საშუალო	100...1000 კმ	6	300...3000 კჰც	საშუალო

დეციმეტრული ტალღების გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ტროპოსფეროს შრე, რომელიც არაერთგვაროვან გარემოს წარმოადგენს. ტროპოსფეროს არაერთგვაროვნება კი იწვევს მისგან არეკვლილი ტალღების გაფანტვას, რის გამოც მათ შეუძლია 1000 კმ-დე გავრცელება, რომელიც ბევრად აღემატება პირდაპირი ხედვის არეს.

რადიოკავშირისათვის გამოყენებულ ძირითად დიაპაზონებს წარმოადგენს დეციმეტრული და სანტიმეტრული ტალღების დიაპაზონები. ასეთი ტალღებისათვის იონოსფერო გამჭვირვალეა და ამიტომ ისინი ვრცელდება სწორხაზოვნად როგორც დედამიწის ზედაპირის გასწვრივ, ასევე კოსმოსურ სივრცეში, ოღონდ ამ დიაპაზონებში რადიოტალღების მდგრადი გავრცელება შესაძლებელია მხოლოდ პირდაპირი ხედვის ფარგლებში. ამიტომ ამ ტალღების შორ მანძილზე გადასაცემად აუცილებელია რეტრანსლატორების გამოყენება.

დეციმეტრული ტალღების გავრცელებაზე გავლენას ახდენს ტროპოსფეროს შრე, რომელიც არაერთგვაროვან გარემოს წარმოადგენს. ტროპოსფეროს არაერთგვაროვნება კი იწვევს მისგან არეკვლილი ტალღების გაფანტვას, რის გამოც

მათ შეუძლია 1000 კმ-დე გავრცელება, რომელიც ბევრად აღემატება პირდაპირი ხედვის არეს.

ტელეკომუნიკაციის ძირითად რადიოხაზებს რადიოსარელო ხაზები (რსხ) წარმოადგენს, რომლებიც მუშაობს სანტიმეტრული ტალღების (ზემაღალი სიხშირის), ზოგიერთ შემთხვევაში კი დეციმეტრული ტალღების (ულტრამაღალი სიხშირის) დიაპაზონში. ტელეკომუნიკაციის რადიოხაზები (რადიოკავშირის ხაზები) იყოფა პირდაპირი ხედვის, ტროპოსფერულ, იონოსფერულ და მეტეორულ ხაზებად, აგრეთვე ტელეკომუნიკაციის ხაზებად დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის გამოყენებით. რადიოკავშირის ხაზებით ხორციელდება კავშირის დამყარება მოძრავი რადიოკავშირის, კერძოდ, პროფესიონალურ (ტრანკინგულ), ფიჭური კავშირის, პერსონალური რადიოგამომახებისა და უმავთულო ტელეფონების სისტემებში.

ლიტერატურა

1. ჯ. ხუნწარია, კ. ხომტარია, ლ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. ტელეკომუნიკაციის პირველადი, საარხო და სახაზო სიგნალები. – თბილისი, სტუ, «ტექნიკური უნივერსიტეტი», 2009. – 237 გვ.

2. ჯ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. მრავალარხიანი ელექტროკავშირგაბმულობა. – თბილისი, სტუ, 1994. – 100 გვ.
3. ვ. ნანობაშვილი, ვ. ნანობაშვილი. ტელეკომუნიკაციის მიმმართველი სისტემები: ელექტრულ კაბელებზე აგებული ტელეკომუნიკაციის ხაზები. – თბილისი, 2002. – 143 გვ.
4. ვ. ნანობაშვილი, ვ. ნანობაშვილი. ტელეკომუნიკაციის მიმმართველი სისტემები: ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები. – თბილისი, 2002. – 122 გვ.
5. ჯ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. ტელეკომუნიკაციის მრავალარხიანი ციფრული სისტემები. – თბილისი, სტუ, 1998. 82 გვ.
6. ITU-T Recommendations. Series G.700, G.800, G.900.
7. Многоканальные системы передачи: Учебник для вузов/ Н. Н. Баева, В. Н. Гордиенко, С. А. Курицын и др. – М.: Радио и связь, 1996. – 312 с.
8. Системы и сети передачи информации: Учебное пособие для ВУЗов/ М. В. Гаранин, В. И. Журавлёв, С. В. Кунегин. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.