

ჯ. ხუნწარია, ვ აბულაძე

ტელეკომუნიკაციის სისტემები

(ლექციების კონსპექტი)

ნაწილი პირველი

ტელეკომუნიკაციის ანალოგური და ციფრული
სიბნალები, არხები და ხაზები

თ ბ ი ლ ი ს ი

2001

საგანი "ტელეკომუნიკაციის სისტემები" გათვალისწინებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კავშირგაბმულობის ფაკულტეტის ტელეკომუნიკაციის სპეციალობის ბაკალავრიატის სასწავლო გეგმით და იგი იკითხება მე-5 (10 კრედიტი), მე-6 (10 კრედიტი), მე-7 (10 კრედიტი) და მე-8 (5 კრედიტი) სემესტრებში.

წინამდებარე ლექციების კონსპექტი მოიცავს მე-5 სემესტრში გადასაცემ 56 სალექციო საათზე გათვლილ მასალას. ამავე სემესტრში ტარდება პრაქტიკული მეცადინეობები 56 საათის განმავლობაში და სრულდება 3 დამოუკიდებელი სამუშაო, რომელთა ვარიანტები და შესრულების ნიმუშები წარმოდგენილია ლიტერატურაში [8].

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი	4
1. ზოგადი ცნობები ინფორმაციის გადაცემის შესახებ	8
1.1. შეტყობინებები და სიგნალები	8
1.2. ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა	15
1.3. გადაცემის დონეები	18
1.4. დონეთა დიაგრამა	21
1.5. პირველადი სიგნალების პარამეტრები და მახასიათებლები	24
1.5.1. ტელეფონის სიგნალი	28
1.5.2. ხმოვანი მაუწყებლობის სიგნალები	34
1.5.3. ფაქსიმილური კავშირის სიგნალი	36
1.5.4. ტელევიზიის სიგნალი	38
1.5.5. ტელეგრაფისა და მონაცემთა გადაცემის სიგნალები	43
1.5.6. პირველადი ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოდგენის თავისებურებანი	45
1.5.7. პირველადი ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოდგენა და შესაბამისი ციფრული სიგნალების პარამეტრები	50
1.6. ტელეკომუნიკაციის სახეობათა კლასიფიკაცია	57
1.7. ძირითადი ცნობები ტელეკომუნიკაციის ქსელების შესახებ	59
1.8. ტელეკომუნიკაციის სფეროს სტანდარტიზაციის ორგანიზაციები	68
1.10. სატელეკომუნიკაციო არხები	93
1.10.1. სატელეკომუნიკაციო არხების მახასიათებლები და პარამეტრები	93
1.10.2. ტონალური სიხშირის სტანდარტული არხი	101
1.10.3. ფართოზოლოვანი სტანდარტული არხები	108
1.10.4. ტელეკომუნიკაციის სიგნალებისა და არხების მახასიათებლების შეპირისპირება	111

1.9. ტელეკომუნიკაციის საზები	71
1.9.1. ტელეკომუნიკაციის საკაბელო და საჰაერო საზები მეტალის გამტარების საფუძველზე	71
1.9.2. ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემა	76
1.9.3. ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური საზები.....	78
1.9.4. საკაბელო სისტემები.....	85
1.9.5. ტელეკომუნიკაციის რადიოსაზები.....	87
ლიტერატურა	121

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

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.

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 ღებულობს მხედველობის ორგანოს, ხოლო 10...20 %-ს – სმენის ორგანოს საშუალებით. მგრძნობიარობის დანარჩენი ორგანოები (შეხება, გემო, სუნის) ადამიანს ჯამში აძლევს 1...2% –მდე ინფორმაციას. ამრიგად, ადამიანის მხედველობისა და სმენის ორგანოები ნერვულ სისტემასთან ერთად წარმოადგენს ტვინში ინფორმაციის მიწოდების ძირითად არსებს. ტვინიდან ინფორმაციის გაცემა ასევე ხდება ნერვული სისტემისა და შემსრულებელი ორგანოებისაგან (პირი, კიდურები) შედგენილი არსებით. მათგან ძირითადს 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.

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.

კავშირგაბმულობის 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.

ელექტროკავშირის (ტელეკომუნიკაციის) წარმოშობას 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". 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 ა.გ.ბელმა გამოიგონა 1876 წელს. ბერძნული სიტყვა "ტელეფონი" ნიშნავს "ხმას შორიდან".

XIX საუკუნის მე-2 ნახევარში თეორიულად დამტკიცდა ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობა, რომლებსაც უდიდესი სიჩქარით შეუძლიათ ღია სივრცეში (ეთერში) გავრცელება. ამ გარემოებამ მეცნიერებს მისცა რადიოს და შემდგომში ტელევიზიის შექმნის საშუალება. სატელევიზიო მაუწყებლობა წარმოიქმნა XX

საუკუნის დასაწყისში. სიტყვა "ტელევიზია" ნიშნავს "მანძილზე ხედვას".

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.

თავდაპირველად სიგნალების გადაცემა ხორციელდებოდა მხოლოდ ბოძებზე დაკიდებული ან გრუნტში ჩადებული მეტალის სადენების საშუალებით. მაგრამ გამტარების გრუნტში ჩადება ან საყრდენებზე დაკიდება ყველგან შეუძლებელია. ამ მდგომარეობიდან გამოსავალი გამოჩნდა მაშინ, როდესაც თეორიულად დამტკიცდა ელექტრომაგნიტური ტალღების არსებობა, რომლებსაც უდიდესი სიჩქარით შეუძლიათ ღია სივრცეში გავრცელება. ამ გარემოებამ მეცნიერებს მისცა რადიოს შექმნის საშუალება, რამაც საფუძველი ჩაუყარა რადიოკავშირის თანამედროვე (რადიოსარელო, თანამგზავრული, ტრანკინგული, ფიჭური და სხვა) სისტემების შექმნას.

განსაკუთრებულ აღნიშვნას იმსახურებს ინფორმაციის გადაცემისათვის გამოყენებული უახლესი 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 მიღევა; გარეშე ელექტრომაგნიტური ხელშეშლებისაგან დაცულობა; მაღალი საიმედოობა; მცირე ღირებულება, გაბარიტები და წონა.

ტელეკომუნიკაციის განსახორციელებლად დღეს ადამიანები იყენებენ სხვადასხვა საშუალებებს – მეტალის სადენიან გამტარებს 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.

1. ზოგადი ცნობები ინფორმაციის ბადაცემის შესახებ

1.1. შეტყობინებები და სიბნალები

ცნებასთან "ინფორმაცია" არის 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 (სმოვანი) 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 გადაიტანებზე (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) გამოსახულებებისათვის, ასევე ურთიერთობა კომპიუტერებს შორის. კომპიუტერი კი, როგორც წესი,

ალიქვამს 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. **ობტიკური** შეტყობინებების ინფორმაციული პარამეტრები ახასიათებს გამოსახულებათა უბნების ობტიკურ 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, რომლებისგანაცაა 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 დებულობს მხოლოდ ამ ინტერვალში არსებული სასრულო რაოდენობის მნიშვნელობებიდან ნებისმიერ ერთ-ერთ მნიშვნელობას. დისკრეტული შეტყობინებებს წარმოადგენენ დოკუმენტური (ტექსტური) შეტყობინებები და მონაცემები, ვინაიდან ასეთი შეტყობინებები წარმოდგება 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 (ძაბვა, დენი, სიმძლავრე) ცვლილებას დროში.

ელექტრული სიგნალები, ისევე როგორც შეტყობინებები, შეიძლება იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული. დისკრეტული სიგნალების

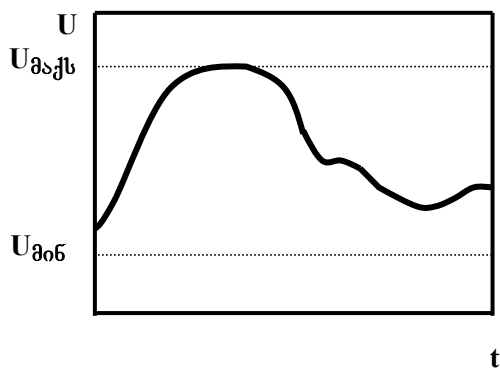
კერძო შემთხვევას წარმოადგენს ციფრული სიგნალები. ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ ვინაიდან სიგნალები დროსა და სივრცეში გავრცობილი (განშლილი) პროცესებია, ამიტომ ისინი შეიძლება იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული როგორც დროში, ასევე მისი პარამეტრების მნიშვნელობათა მიხედვით. თუ სიგნალი უწყვეტია როგორც დროში ასევე მნიშვნელობათა მიხედვით (სურ. 1.1), 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_d 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 1.2 სურათზე წარმოდგენილი გრაფიკის, ასევე 1.3 სურათზე ნახვენები პერიოდული იმპულსების მიმდევრობის სახით (პერიოდია T_d). იმ შემთხვევაში, როდესაც სიგნალი დროში უწყვეტია, ხოლო მნიშვნელობათა მიხედვით დისკრეტული (სურ. 1.4), მაშინ ასეთ სიგნალს დაკვანტულს უწოდებენ (მაგალითად, სიგნალი, რომელიც დროში უწყვეტად ასახავს დღეღამის 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. 1.5) 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_c) უწოდებენ. რეალურ

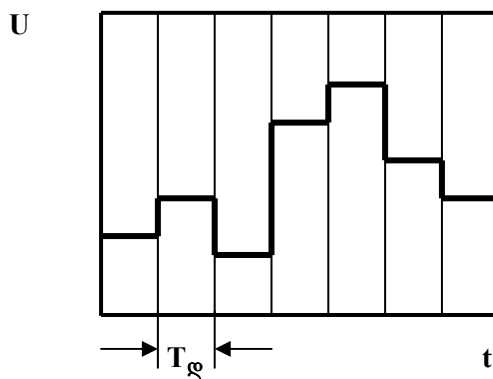
სისტემებში მეზობელი სიმბოლოები ერთმანეთისაგან დაშორებულია გარკვეული T_3 ინტერვალით (პაუზით) როგორც ეს 1.6 სურათზეა ნაჩვენები.

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 გამოსახულებებზე 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).

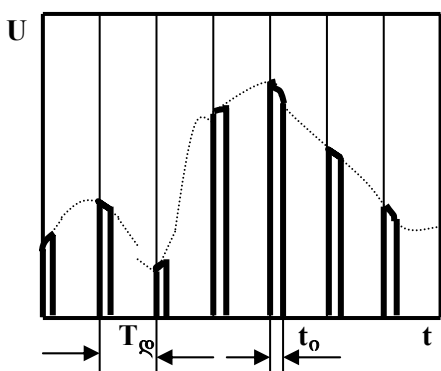
პირველადი ანალოგური სიგნალები შეიძლება გადაიცეს ანალოგური სახით (დღემდე ექსპლუატაციაშია გადაცემის ანალოგური სისტემები), თუმცა დღეისათვის ფართო გავრცელება პოვა გადაცემის ციფრულმა მეთოდებმა (სიგნალების ციფრული სახით გადაცემის მეთოდებმა) მათი მთელი რიგი უპირატესობების გამო ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით. 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 1.6).



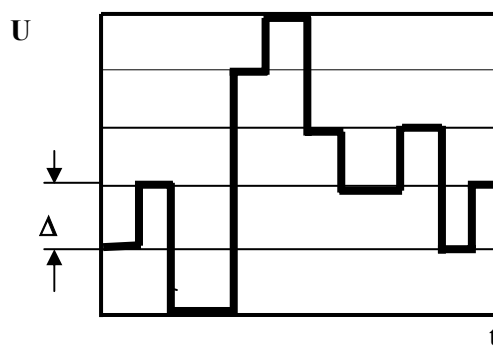
სურ. 1.1. ანალოგური სიგნალის დროითი დიაგრამა



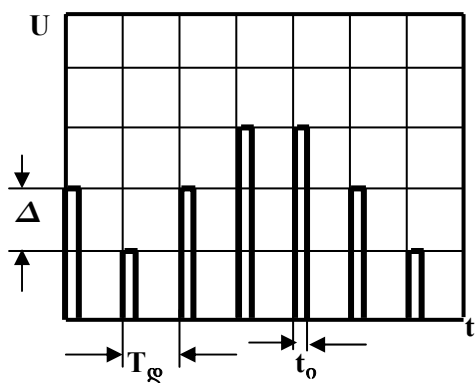
სურ. 1.2. დროში დისკრეტული სიგნალის დროითი დიაგრამა



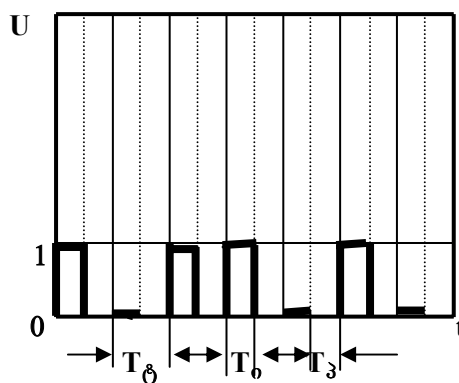
სურ. 1.3. დროში დისკრეტული სიგნალის დროითი დიაგრამა იმპულსების მიმდევრობის სახით



სურ. 1.4. დაკვანტული სიგნალის დროითი დიაგრამა



სურ. 1.5. დროში დისკრეტული და დაკვანტული სიგნალის დროითი დიაგრამა



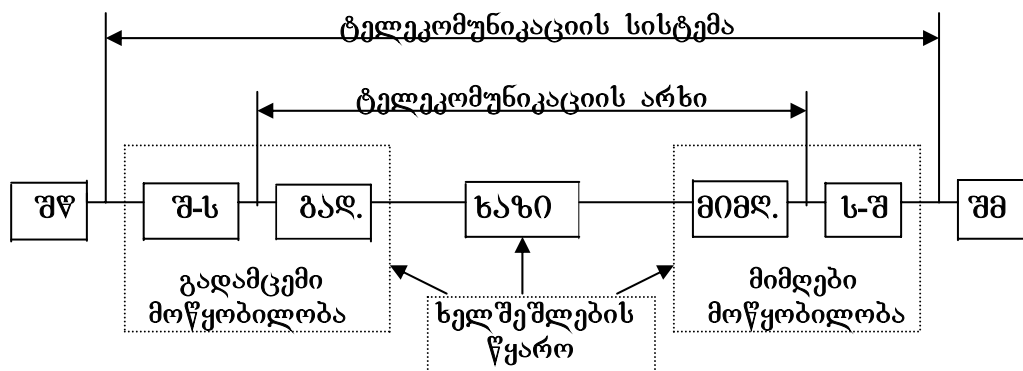
სურ. 1.6. 0კმ სიგნალის დროითი დიაგრამა

12. ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა

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

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

ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული სქემა წარმოდგენილია 1.7 სურათზე.



სურ. 1.7. ტელეკომუნიკაციის სისტემის განზოგადებული
სტრუქტურული სქემა

შეტყობინების წყაროს (შვ) 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 გადაცემის (ბაღ.) 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.

კავშირის ხაზის გამოსასვლელიდან სიგნალები მიეწოდება მიმღების (მ) 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 1.6 სურათზე პირობითად გაერთიანებულია.

ამრიგად, სისტემის მიმღებს მიეწოდება სიგნალი, რომელიც შეიძლება ხელშეშლებით იყოს დამახინჯებული. შეტყობინება კი, რომელსაც ღებულობს 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 გარდამქმნებს.

პირდაპირი გარდამქმნისას 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. კოდები გამოიყენება დისკრეტული შეტყობინებების სიგნალად გარდაქმნისათვის.

1.3. ბადაცემის დონეები

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

$$P = m \text{Log}_a(S_i/S_j),$$

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

იმ შემთხვევაში, როდესაც არხის (ტრაქტის) რომელიმე i -რ წერტილში S_i 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:

$$P_{\mathcal{P}ij} = 10 \text{ Lg} (P_i/P_j); \quad P_{Uij} = 20 \text{ Lg} (U_i/U_j); \quad P_{Iij} = 20 \text{ Lg} (I_i/I_j), \quad (1.1)$$

ხოლო აბსოლუტური დონეები:

$$P_{\mathcal{P}io} = 10 \text{ Lg} (P_i/P_o); \quad P_{Uio} = 20 \text{ Lg} (U_i/U_o); \quad P_{Iio} = 20 \text{ Lg} (I_i/I_o), \quad (1.2)$$

სადაც P_o , U_o და I_o ეტალონური სიმძლავრე, ძაბვა და დენია ($P_o = 1$ მგტ, $U_o = 0,775$ ვ, $I_o = 1,29$ მა). აღნიშნულ ეტალონურ სიდიდეებს შორის შემდეგი თანაფარდობაა: $U_o = P_o/I_o$, $U_o = I_o Z_o$, სადაც $Z_o = 600$ 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:

$$P_{\mathcal{P}ij} = 0,5 \text{ Ln} (P_i/P_j); \quad P_{Uij} = \text{Ln} (U_i/U_j); \quad P_{Iij} = \text{Ln} (I_i/I_j),$$

$$P_{\mathcal{P}io} = 0,5 \text{ Ln} (P_i/P_o); \quad P_{Uio} = \text{Ln} (U_i/U_o); \quad P_{Iio} = \text{Ln} (I_i/I_o).$$

ნეპერსა და დეციბელს შორის შემდეგი დამოკიდებულებებია: $1\text{ნპ} = 8,686$ დბ; $1\text{დბ} = 0,115$ 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:

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

ანალოგიურად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ:

$$P_{\mathcal{P}ij} = P_{Uij} - 10Lg(Z_i/Z_j); \quad P_{Uij} = P_{Iij} + 20Lg(Z_i/Z_j);$$

$$P_{\mathcal{P}io} = P_{Iio} + 10Lg(Z_i/Z_o); \quad P_{\mathcal{P}io} = P_{Uio} - 10Lg(Z_i/Z_o); \quad P_{Uio} = P_{Iio} + 20Lg(Z_i/Z_o).$$

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

$$P_{\mathcal{P}ij} = P_{Uij} = P_{Iij} \quad \text{და} \quad P_{\mathcal{P}io} = P_{Uio} = P_{Iio}.$$

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

$$P_{\mathcal{P}ij} = 10Lg(\mathcal{P}_i/\mathcal{P}_j) = 10Lg(\mathcal{P}_i/\mathcal{P}_o / \mathcal{P}_j/\mathcal{P}_o) = 10Lg(\mathcal{P}_i/\mathcal{P}_o) - 10Lg(\mathcal{P}_j/\mathcal{P}_o) = P_{\mathcal{P}io} - P_{\mathcal{P}jo}.$$

ანალოგიურად:

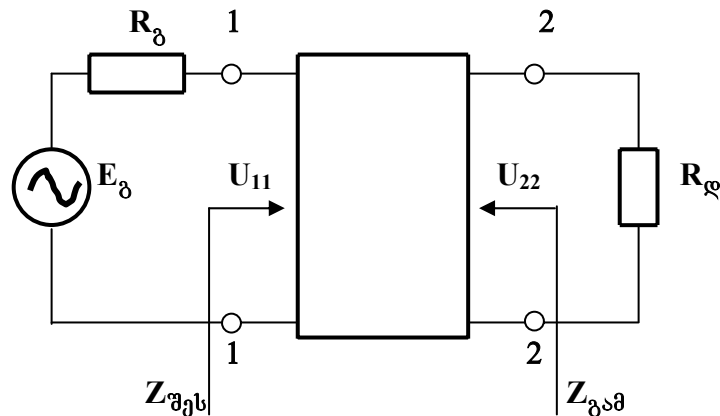
$$P_{Uij} = P_{Uio} - P_{Ujo} \quad \text{და} \quad P_{Iij} = P_{Iio} - P_{Ijo}.$$

მაშასადამე, 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.

დონის გაზომვისათვის შედარებით ხშირად გამოიყენება 1.8 სურათზე წარმოდგენილი ეტალონური გენერატორის სქემა.



სურ. 1.8. ეტალონური გენერატორის სქემა

აღნიშნულ სქემაში გამოსაკვლევი ობიექტის (მაგალითად, რომელიღაც ოთხპოლუსას) შესასვლელს მიუერთდება გამომცდელი სიგნალის გენერატორი, რომლის პარამეტრები მთლიანადაა ცნობილი, ანუ ცნობილია გენერატორის გამოსასვლელი წინაღობა R_g , მის მიერ განვითარებული ელექტრომამოძრავებელი ძალა (ემძ) E_g (ან ძაბვა ობიექტის შესასვლელზე U_{11}) და ობიექტის შესასვლელი წინაღობა $Z_{შეს}$. ობიექტის გამოსასვლელს მიუერთდება ისეთი შესასვლელი წინაღობის მქონე დონის მაჩვენებელი, რომელიც დატვირთვის R_g წინაღობის ნომინალური მნიშვნელობის ტოლია. ამ დროს რეალური დატვირთვა გამორთულია. გადაცემის დონეების გაზომვისას გამომცდელის როლს უმთავრესად ასრულებს ერთსიხშირიანი სინუსოიდური გენერატორი, რომლის სიხშირეც ასევე უნდა იყოს ცნობილი, ხოლო საწყისი ფაზა, როგორც წესი, არ ფიქსირდება.

იმ შემთხვევაში, როდესაც გამომცდელი გენერატორის შიგა წინაღობაა 600 ომი და იგი ავითარებს $1,55 \text{ ვ-ის}$ ტოლ ელექტრომამოძრავებელ ძალას (ემძ), მაშინ დატვირთვის R_g წინაღობაზე გაზომილ დონეს გაზომვის დონეს უწოდებენ.

(1. 2) გამოსასვლელების უკუგარდაქმნით მივიღებთ:

$$P_i = P_0 10^{0,1P_{P_{i0}}}; \quad U_i = U_0 10^{0,05P_{U_{i0}}}; \quad I_i = I_0 10^{0,05P_{I_{i0}}}$$

მათი საშუალებით გადაცემის ტრაქტის i -რ წერტილში სიგნალის სიმძლავრე, ძაბვა და დენი შეიძლება გამოვთვალოთ სიმძლავრის, ძაბვისა და დენის აბსოლუტური დონეების გამოყენებით.

1.4. დონეთა დიაგრამა

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

$$a_g = 10 \text{ Lg} (P_1 / P_2), \quad \text{დბ} \quad (1.3)$$

სადაც P_1 სიმძლავრეა, რომელსაც ავითარებს სიგნალის წყარო მასთან შეთანხმებულ წინაღობაზე, ანუ იდეალურ შემთხვევაში, ხოლო P_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.

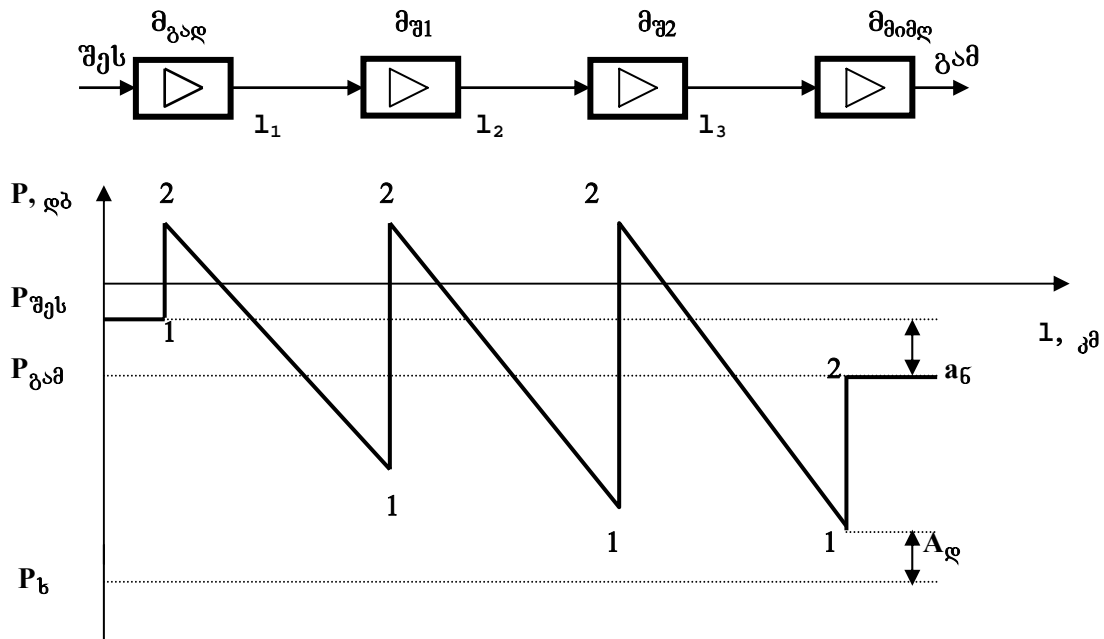
მუშა მილევის მსგავსად განიხილება მუშა გაძლიერების ცნება:

$$s_g = 10 \text{ Lg} (P_2 / P_1), \quad \text{დბ} \quad (1.4)$$

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 (სურ. 1.9).

1.9 სურათზე წარმოდგენილი გადაცემის არხი შედგება გადაცემის მაძლიერებლისაგან ($მ_{გაძ}$), ხაზის სამი მონაკვეთისაგან (უბნისაგან), რომელთა სიგრძეებია l_1 კმ, l_2 კმ და l_3 კმ, ორი შუალედური, ანუ სახაზო მაძლიერებლისაგან ($მ_{ჟ1}$ და $მ_{ჟ2}$) და მიმღების მაძლიერებლისაგან ($მ_{მიღ}$). აღსანიშნავია, რომ ციფრულ სისტემებში მაძლიერებლების ფუნქციას ითავსებს რეგენერატორები. დონეთა დიაგრამაზე 1-ით და 2-ით აღნიშნულია წერტილები, რომლებიც

შესაბამება 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).



სურ. 19. დონეთა დიაგრამის აგების პრინციპი

წერტილებში 1 სიგნალის მინიმალურად დასაშვები დონე განისაზღვრება ხელშეშლის დონესთან (P_b) შედარებით სიგნალის დონის (P_b) საჭირო გადამეტების (გადაჭარბების) სიდიდით, რომელსაც ხელშეშლებისაგან დაცულობას ($A_{დ}$) უწოდებენ და იგი დეციბელებში განისაზღვრება ასე:

$$A_{დ} = 10 \text{ Lg} (P_b / P_b) = P_b - P_b, \text{ დბ} \quad (1.5)$$

სადაც P_b და P_b შესაბამისად სიგნალისა და ხელშეშლის სიმძლავრეებია, ხოლო P_b და P_b – მათი დონეები.

არხის შესასვლელსა (შეს) და გამოსასვლელზე (გამ) სიგნალის დონეთა სხვაობა განსაზღვრავს სიგნალის ნარჩენ მილევას ($a_{დ}$). იგი ყველა მუშა მილევისა და ყველა მუშა გაძლიერების (ყველა უბნის მილევისა და ყველა მაძლიერებლის გაძლიერების) ჯამებს შორის

სხვაობის (არხის შემავალი და გამომავალი სიგნალების დონეთა სხვაობის) ტოლია:

$$a_{\zeta} = \sum_{i=1}^{n-1} a_{\eta i} - \sum_{k=1}^n s_{\eta k} = P_{\eta \text{ეს}} - P_{\eta \text{ამ}}, \quad \text{დბ} \quad (1.6)$$

როგორც 1.9 სურათიდან და უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, მაძლიერებლების (რეგენერატორების) რაოდენობა ერთით მეტია ხაზის უბნების (გაძლიერების, რეგენერაციის უბნების) რაოდენობაზე, ხოლო შუალედური მაძლიერებლების (რეგენერატორების) რაოდენობა კი ერთით ნაკლებია უბნების რაოდენობაზე, რაც გასათვალისწინებელია დონეთა დიაგრამების აგებისათვის სათანადო გაანგარიშებების ჩატარებისას.

1.5. პირველადი სიბნალების პარამეტრები და მახასიათებლები

სატელეკომუნიკაციო სიგნალების აღწერა აუცილებელია გადაცემის პროცესში მათი ადეკვატური დამუშავებისათვის. ვინაიდან ნებისმიერი ელექტრული სიგნალი წარმოადგენს დროში ცვლად პროცესს (იხ. §1.1), ამიტომ იგი აღიწერება გარკვეული დროითი ფუნქციით, რომლის განსაზღვრითაც განსაზღვრული იქნება სიგნალიც. ყველაზე მარტივია სიგნალი, რომელიც იცვლება სინუსის კანონით. მას სინუსოიდური ანუ ჰარმონიული ეწოდება. ტელეკომუნიკაციის რეალური სიგნალები კი რთულია, მაგრამ ნებისმიერი მათგანი შეიძლება წარმოვადგინოთ ჰარმონიული შემდგენების (ჰარმონიკების) ერთობლიობით (ჯამით):

$$u(t) = \sum_{i=1}^{\infty} U_i \sin(2\pi f_i t + \phi_i), \quad (1.7)$$

სადაც: U_i , f_i და ϕ_i i -რი ჰარმონიკის ამპლიტუდა, სიხშირე და ფაზაა შესაბამისად.

სიგნალის შესაბამისი შემდგენების ერთობლიობას ამ სიგნალის სპექტრს უწოდებენ.

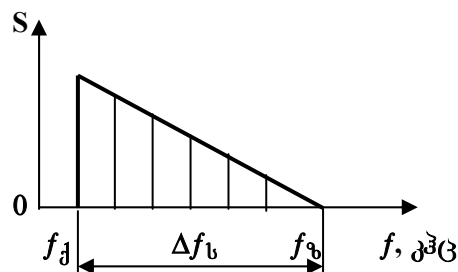
სიგნალის სპექტრის სიგანე ეწოდება სიხშირეთა ინტერვალს, რომელიც მოიცავს სიგნალის ყველა შემდგენს.

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

უწყვეტი (ანალოგური) სიგნალების ძირითად პარამეტრებს წარმოადგენს მათ მიერ დაკავებული სიხშირული ზოლის (სპექტრის) ეფექტური სიგანე Δf_{Σ} (სხვანაირად მას სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლი შეიძლება ვუწოდოთ), საშუალო სიმძლავრე P_{Σ} , დინამიკური დიაპაზონი D , პიკ-ფაქტორი Q და ინფორმაციის რაოდენობა I_s .

სიხშირეთა ზოლის ეფექტურ სიგანეს (Δf_{Σ}) უწოდებენ სიგნალის სპექტრის ძირითად ნაწილს, რომელიც უნდა გადაიცეს არხით ამ სიგნალის მიმღებში მაღალი ხარისხით აღდგენის მიზნით. $\Delta f_{\Sigma} = f_{\Sigma} - f_{\Delta}$, სადაც f_{Σ} და f_{Δ} შესაბამისად სიგნალის ზედა (მაქსიმალური) და ქვედა (მინიმალური) ზღვრული სიხშირეებია. ტექნიკურ ლიტერატურაში Δf_{Σ} -ს ხშირად სიგნალის სპექტრის ეფექტურ სიგანეს უწოდებენ.

არჩევენ ამპლიტუდურ და ენერგეტიკულ სპექტრებს. პირველ შემთხვევაში სპექტრული დიაგრამის ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია სიგნალის ჰარმონიკული შემდგენების (ჰარმონიკების) ამპლიტუდა, ხოლო მეორე შემთხვევაში – სიმძლავრე. აბცისთა ღერძზე კი გადაზომილია ჰარმონიკების სიხშირეები. 1.10 სურათზე წარმოდგენილია სიგნალის ამპლიტუდური სპექტრის გრაფიკული გამოსახვის ნიმუში.



სურ. 1.10. სიგნალის ამპლიტუდური სპექტრის წარმოდგენის ნიმუში

სიგნალის საშუალო სიმძლავრე P_{Σ} განისაზღვრება დროის გარკვეულ (მაგალითად, ერთი საათის განმავლობაში) სიმძლავრის

გაზომვის შედეგების გასაშუალებით. გასაშუალება საჭიროა იმის გამო, რომ სიგნალების სიმძლავრე დროში იცვლება.

სიგნალის დინამიკური დიაპაზონი D წარმოდგენას გვაძლევს სიგნალის სიმძლავრის შესაძლო ცვლილების დიაპაზონზე არხის ერთსა და იმავე წერტილში:

$$D = 10 \text{ Lg}(\mathcal{P}_{\text{მაქს}} / \mathcal{P}_{\text{მინ}}) = P_{\text{მაქს}} - P_{\text{მინ}} , \text{ დბ} \quad (1.8)$$

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

$$Q = 10 \text{ Lg}(\mathcal{P}_{\text{მაქს}} / \mathcal{P}_{\text{საშ}}) = P_{\text{მაქს}} - P_{\text{საშ}} , \text{ დბ} \quad (1.9)$$

ანალოგური სიგნალებისათვის ინფორმაციის რაოდენობა I_s განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$I_s = \Delta f_s \text{Log}_2(1 + \mathcal{P}_{\text{საშ}} / \mathcal{P}_n), \quad \text{ბიტი/წმ} \quad (1.10)$$

სადაც Δf_s სიგნალის სპექტრის სიგანეა, ხოლო \mathcal{P}_n – არხში მომქმედი ხმაურების სიმძლავრე, რომელიც კავშირის ხარისხის განმსაზღვრელ მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოადგენს.

დისკრეტული (მათ შორის ციფრული) სიგნალებისათვის უმთავრეს პარამეტრს წარმოადგენს გადაცემის სიჩქარე, რომელიც გამოითლება დროის ერთეულში (მაგალითად, ერთ წამში) გადაცემული იმპულსების რაოდენობით. თუ ერთი იმპულსის ხანგრძლივობაა T_0 , და იმპულსები გადაიცემა ერთმანეთის მიყოლებით (პაუზის გარეშე), მაშინ გადაცემის სიჩქარე

$$B = 1/T_0 , \quad \text{იმპ/წმ (ბოდი).}$$

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

ციფრულ სიგნალებში გადაცემულ იმპულსებს სიმბოლოებს ან ბიტებს უწოდებენ, ამიტომ სიგნალის გადაცემის სიჩქარის განზომილებაა ბიტი/წმ.

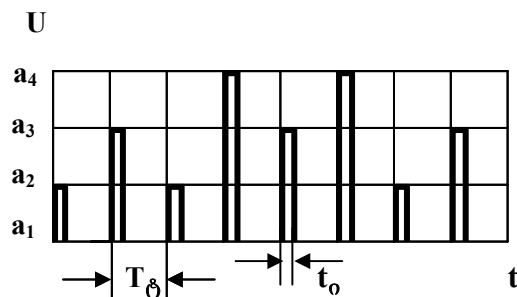
როგორც უკანასკნელი გამოსახულებიდან ჩანს, გადაცემის სიჩქარე უკუპროპორციულია იმპულსების ხანგრძლივობისა. პრაქტიკულად ასეთი სიგნალების სპექტრული შემდგენების (ჰარმონიკების) ძირითადი ენერგია თავმოყრილია სიხშირეთა დიაპაზონში, რომელიც არ აღემატება $1/T_0$ -ს. ვინაიდან $1/T_0$ არის დისკრეტული სიგნალის გადაცემის სიჩქარე, ამიტომ რაც უფრო მეტია იგი, მით უფრო მეტი სიხშირული ზოლია საჭირო ამ სიგნალების გადაცემისათვის.

ციფრული სიგნალების ინფორმაციის რაოდენობა

$$I_G = -F_{\delta} \sum_{i=1}^L p_i \text{Log}_2 p_i, \quad \text{ბიტი/წმ}, \quad (1.11)$$

სადაც: F_{δ} დისკრეტულ მიმდევრობაში მნიშვნელობათა გამეორების, ანუ ტაქტური სიხშირეა ($F_{\delta}=1/T_{\delta}$); L - დაკვანტვის დონეების (სიგნალის დასაშვები მნიშვნელობების) რაოდენობაა, ხოლო p_i - i -ური დონის მნიშვნელობათა ალბათობა.

1.11 სურათზე წარმოდგენილია ციფრული სიგნალის ნიმუში, როცა $L=4$.



სურ. 1.11. ოთხდონიანი ციფრული სიგნალის გრაფიკი

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

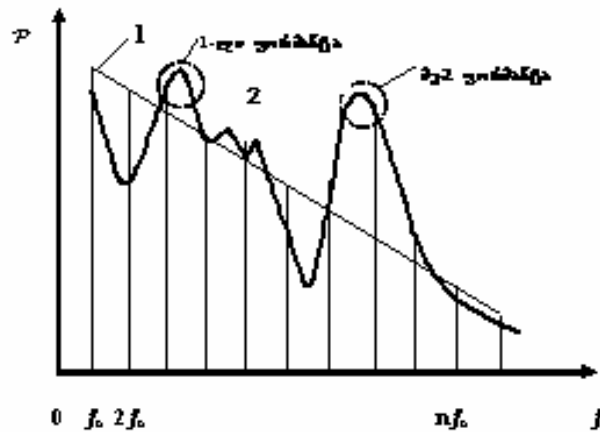
$$I_G = F_G \text{Log}_2 l, \text{ ბიტი/წმ} \quad (1.12)$$

როდესაც საქმე გვაქვს **0კმ** სიგნალთან (იხ. სურ.1.6), მაშინ $l=2$. ამიტომ $I_{0კმ} = F_G$. მაშასადამე, **0კმ** სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა რიცხობრივად ტაქტური სიხშირის ტოლია.

ძირითად ტელესაკომუნიკაციო სიგნალებს წარმოადგენენ: ტელეფონის, ხმოვანი მაუწყებლობის, ფაქსიმილური, ტელევიზიის, ტელეგრაფის, მონაცემების გადამცემი სიგნალები. განვიხილოთ მათი პარამეტრები და მახასიათებლები.

1.5.1. ტელეფონის სიგნალი

ტელეფონის სიგნალი მიეკუთვნება მეტყველების სიგნალების ჯგუფს. მეტყველების ბგერა წარმოიქმნება ფილტვებიდან ჰაერის ნაკადის სალაპარაკო კვანძებსა და პირისა და ცხვირის ღრუებში გავლის შედეგად. არსებობს მეტყველების ბგერების ორი ძირითადი ტიპი – **ვოკალიზებული და არავოკალიზებული**. ვოკალიზებული ბგერები წარმოიქმნება სალაპარაკო კვანძების რხევის შედეგად ეგრეთ წოდებულ ძირითადი ტონის f_0 სიხშირეზე (იხ. სურ. 1.12, სადაც წარმოდგენილია მეტყველების სიგნალის სიმძლავრის სპექტრული შედგენილობა), რომელთა მნიშვნელობები მოთავსებულია 50...80 ჰც-დან (ბასი) 200...250 ჰც-დე (ქალის ან ბავშვის ხმები) საზღვრებში. ძირითადი ტონის იმპულსები შეიცავს 40-დე ჰარმონიკას ($2f_0, \dots, nf_0$), თანაც მათი ამპლიტუდები სიხშირის ზრდასთან ერთად მცირდება დაახლოებით 12 დბ-ით ოქტავაზე (1-ლი გრაფიკი). შევნიშნოთ, რომ ოქტავა წარმოადგენს სიხშირეთა ზოლს (დიაპაზონს), რომლის ზედა სიხშირე ორჯერ მეტია ქვედაზე. ამრიგად, $2f_0$ ჰარმონიკის ამპლიტუდა 12 დბ-ით მეტია $4f_0$ ჰარმონიკის ამპლიტუდაზე და ა.შ. ლაპარაკისას ძირითადი ტონის სიხშირე იცვლება მნიშვნელოვან საზღვრებში.



სურ. 1.12. მეტყველების სიგნალის სპექტრის შედგენილობა

ლაპარაკის არავოკალიზებულ ბგერებს აქვს ხმაურის ხასიათი.

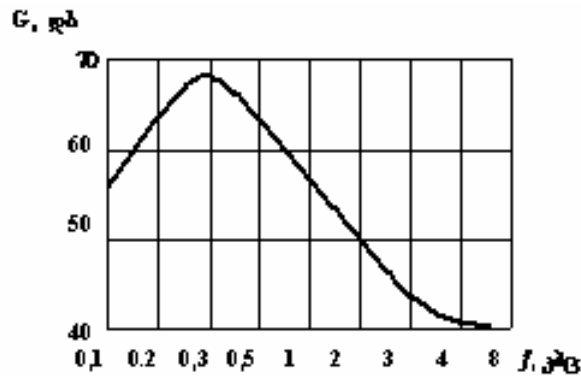
ფილტვებიდან ჰაერის ნაკადის სალაპარაკო კვანძების, პირისა და ცხვირის ღრუს მეშვეობით გავლის პროცესში წარმოიქმნება ლაპარაკის ბგერები, რომლის სპექტრის შემდგენების სიმძლავრე სხვადასხვაა (სურ. 1.12-ის მე-2 გრაფიკი). მაღალი სიმძლავრის არეებს **ფორმანტები** ეწოდება. ლაპარაკის სხვადასხვა ბგერები შეიცავს ორიდან ოთხამდე ფორმანტას. ტელეფონის სიგნალის მაღალი სიმძლავრე ხასიათდება ხმამაღლობის დონით, გარჩევადობით, ხმის ბუნებრივი უღერადობით და ხელშეშლების დაბალი დონით. ეს ფაქტორები განსაზღვრავს სატელეფონო არხებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.

განვიხილოთ ტელეფონის სიგნალის ძირითადი პარამეტრები.

როგორც აღნიშნული იყო, ტელეფონის სიგნალი მეტყველების სიგნალების ერთ-ერთი სახეობაა. მეტყველების სიგნალის **ენერგეტიკული სპექტრი** – ეს არის სიხშირეთა არე, რომელშიც თავმოყრილია სიგნალის ძირითადი ენერგია (სურ. 1.13):

$$G=10 \text{ Lg}(\Pi^2(f) / \Pi_0^2) \Delta f,$$

სადაც: $\Pi^2(f)$ –ხმის წნევის საშუალო კვადრატის სპექტრული სიმკვრივეა; Π_0^2 – სმენადობის ზღვარია (იგი წარმოადგენს ხმის მინიმალურ წნევას, რომლის შეგრძნებასაც იწყებს ნორმალური სმენის მქონე ადამიანი 600...800 ჰც სიხშირეთა ზოლში); $\Delta f=1$ ჰც.



სურ. 113. მუტუელების სიგნალის ენერგეტიკული სპექტრი

ზოგადად, ლაპარაკი წარმოადგენს ფართოზოლოვან პროცესს, რომლის სპექტრი განფენილია 50...100 ჰც-დან 8...10 კჰც-მდე. ზოგიერთ შემთხვევაში კი 20 კჰც- დე. 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 უღერადობის ნატურალობა. ამიტომ ITU-T –ის რეკომენდაციით (**Telecommunication Standardization Sektor of International Telecommunication Union – ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო კავშირის ტელეკომუნიკაციის სტანდარტიზაციის სექტორი**) ტელეფონის სიგნალისათვის აღნიშნული დიაპაზონი ($f_{\text{წ}}=300$ ჰც, $f_{\text{ფ}}=3400$ ჰც, $\Delta f_{\text{ტელფ.ს}}=3100$ 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 გასაშუალებლისას გარკვეულ სიდიდეს წარმოადგენს.

ITU-T-ის რეკომენდაციით სატელეფონო შეტყობინების აქტივობის ინტერვალში ტელეფონის სიგნალის საშუალო სიმძლავრე წერტილში ნულოვანი გაზომვის დონით $P_{ტელფ.საშ} = 88$ 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 $P_{ტელფ.საშ}=88\eta=22$ 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

$$P_{ტელფ.საშ} = 10 \text{ Lg} (32 \text{ მკვტ} / 1 \text{ მკვტ}) = - 15 \text{ დბ0.}$$

ტელეფონის სიგნალის მაქსიმალური სიმძლავრე $P_{ტელფ.მაქს}=2220$ მკვტ (+3,5დბ0), მინიმალური სიმძლავრის დიაპაზონი $P_{ტელფ.მინ}=0,222...0,7$ მკვტ, რომლის საზღვრების შესაბამისი დონეებია -6,5 დბ0 და -1,6 დბ0. ამიტომ მისი დინამიური დიაპაზონი და პიკ-ფაქტორი (1.8) და (1.9) გამოსახულებების მიხედვით შესაბამისად ტოლია: $D_{ტელფ} \approx 35...40$ დბ, $Q_{ტელფ} \approx 14$ დბ ($P_{ტელფ.საშ} = 88$ მკვტ).

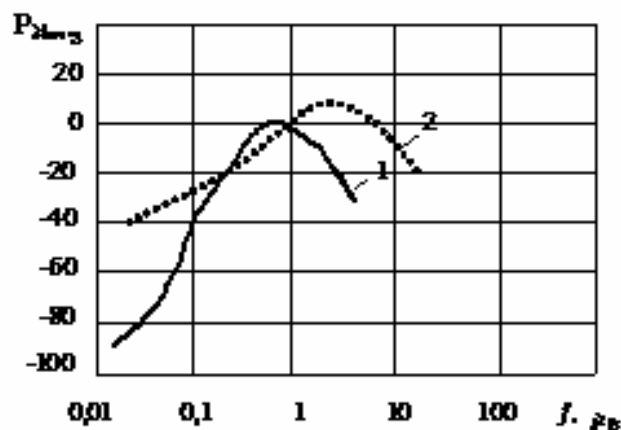
ტელეფონის სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა უნდა გამოითვალოს აქტივობის η კოეფიციენტის გათვალისწინებით, რის გამოც (1.10) გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$I_s = \eta \Delta f_{ტელფ} \cdot \text{Log}_2(1 + P_{ტელფ.საშ}/P_n), \quad \text{ბიტი/წმ} \quad (1.13)$$

სადაც $\Delta f_{ტლფ}=3100$ ჰც, $P_{ტლფ.საწ}=88$ მკვტ, $\eta=0,25...0,35$. რაც შეეხება ხმაურების P_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 მოქმედი 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 P_b 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. 1.14 სურათზე

წარმოდგენილია პსოფომეტრული ფილტრის სიხშირული მახასიათებელი სატელეფონო კავშირისათვის (1-ლი მრუდი), რომელიც გვიჩვენებს სიგნალის პსოფომეტრული დონის ($P_{\text{პსოფ}}$) სიხშირეზე დამოკიდებულებას. ხმაურების სიმძლავრის საშუალო დონე პსოფომეტრულ ერთეულებში 0,3...3,4 კჰც 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.



სურ. 114. პსოფომეტრული ფილტრის სიხშირული მახასიათებელი:
1 – სატელეფონო კავშირისათვის; 2 – ზეუწყებლობისათვის

სატელეფონო კავშირის ხარისხზე ხმაურების გავლენა ხასიათდება შემდეგი მონაცემებით: ნულოვანი გამზომი დონის წერტილში ხმაურების 10000 პგტ-ის (1 პგტ= 10^{-12} ვტ) ტოლი სიმძლავრისას ხმაურები თითქმის არ შეიმჩნევა. 100000 პგტ-ის შემთხვევაში მათი გარჩევა ჯერ კიდევ შესაძლებელია, ხოლო 10^6 პგტ-ისას ლაპარაკის გარჩევადობა გაძნელებულია და კავშირის ხარისხი არაღამაკმაყოფილებელია. მაშასადამე, ვინაიდან $\Delta f_{\text{ტლფ}}=3100$ ჰც, $P_{\text{ტლფ.საშ}}=88$ მკვტ, $\eta=0,25...0,35$ და $P_{\text{ხ}}=100000$ პგტ, ამიტომ $I_{\text{ტლფ.ა}}=8000$ ბიტი/წმ=8 კბიტი/წმ.

1.5.2. ხმოვანი მაუწყებლობის სიბნალეპი

მაუწყებლობის (რადიომაუწყებლობა, ტელევიზიის ხმოვანი თანხლება) პროგრამების გადაცემისას ჩვეულებრივ ბგერის წყაროა მუსიკალური ინსტრუმენტები და ადამიანის ხმა. მაუწყებლობის პირველადი ელექტრული სიგნალები წარმოადგენსარასტაციონალური შემთხვევითი პროცესის რეალიზაციას.

1.1. ცხრილში წარმოდგენილია სამაუწყებლო გადაცემის სიგნალების დინამიური დიაპაზონის მონაცემები. მისი განსაზღვრისას მაქსიმალურად მიჩნეულია დონე, რომლის გადაჭარბების ალბათობაა 2%, ხოლო მინიმალურად – დონე, რომლის გადაჭარბების ალბათობაა 98%.

ცხრილი 1.1

სიგნალის სახეობა	დინამიური დიაპაზონი D , დბ
დიქტორის სიტყვა	25...35
მხატვრული კითხვა	40...50
მცირე ვოკალური და ინსტრუმენტალური ანსამბლები	45...55
სიმფონიური ორკესტრი	65-დუ

მაუწყებლობის სიგნალის საშუალო სიმძლავრე მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გასაშუალების ინტერვალზე. ნულოვანი გამზომი დონის წერტილში მაუწყებლობის სიგნალის საშუალო სიმძლავრე 1 საათის განმავლობაში გასაშუალებისას $P_{\text{მაუწყ.საშ}} = 923$ მკვტ, 1 წუთის განმავლობაში გასაშუალებისას – $P_{\text{მაუწყ.საშ}} = 2230$ მკვტ, ხოლო 1 წამის განმავლობაში გასაშუალებისას – $P_{\text{მაუწყ.საშ}} = 4500$ მკვტ. იმავე წერტილში მაქსიმალური სიმძლავრე $P_{\text{მაუწყ.მაქს}} = 8000$ მკვტ.

მაუწყებლობის სიგნალის სიხშირული სპექტრი განფენილია 10-დან 20000 ჰც დიაპაზონში. თუმცა აღწარმოების ხარისხისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად მაუწყებლობის

სიგნალებისათვის გამოყოფილი სიხშირეთა ზოლი შეიძლება შეიზღუდოს. საკმაოდ მაღალი ხარისხის (1-ლი კლასის მაუწყებლობის არხები) შემთხვევაში ეფექტური ზოლი $\Delta f_{\text{მაუწყ}}=0,05...10$ კჰც, საუკეთესო ხარისხის (უმაღლესი კლასის არხები) შემთხვევაში – $\Delta f_{\text{მაუწყ}}=0,03...15$ კჰც.

სატელეფონო კავშირის მსგავსად მაუწყებლობის არხებში ხელშეშლების სიმძლავრე ფასდება პსოფომეტრულ ერთეულებში. პსოფომეტრული ფილტრის მახასიათებელი მაუწყებლობისათვის ნაჩვენებია 1.14 სურათზე (მე-2 მრუდი). ხელშეშლების პსოფომეტრული დონე მაუწყებლობის სიგნალებისათვის 6 დბ-ით მაღალია აუწონავ (ეფექტურ) მნიშვნელობასთან შედარებით. ITU-T –ის რეკომენდაციით სიხშირეთა $0,05...10$ კჰც დიაპაზონში მაუწყებლობის პროგრამების აღწარმოების მაღალი ხარისხი მიიღწევა ხელშეშლების პსოფომეტრული სიმძლავრისას, რომელიც ნულოვანი გამზომი დონის წერტილში არ აღემატება 16000 პეტ-ს ($P_{\text{პსოფ.მაუწყ}} = -48$ დბ0). ამ სიდიდის შესაბამისი დასაშვები ხელშეშლების აუწონავი დონეა $P_{\text{ფ}}=4000$ პეტ.

თუ ინფორმაციის რაოდენობის გამოსათვლელ 1.10 გამოსახულებაში შევიტანთ მაუწყებლობის სიგნალის პარამეტრებს ($\Delta f=10000$ ჰც, $P_{\text{საფ.მაუწყ}}=923$ მკვტ და $P_{\text{ფ}}=4000$ პეტ), მაშინ მივიღებთ მაუწყებლობის ანალოგური სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობის შეფასებას ზემოდან: $I_{\text{მაუწყ.ა}}=180000$ ბიტი/წმ.

1.5.3. ფაქსიმილური კავშირის სიბნელი

ფაქსიმილური კავშირი ეწოდება უძრავი გამოსახულებების (ნახატები, ნახაზები, ფოტოსურათები, ტექსტები, გაზეთების გვერდები და ა.შ.) გადაცემას ტელეკომუნიკაციის არხების გამოყენებით. პირველადი ფაქსიმილური სიგნალები მიიღება ელექტროოპტიკური ანალიზის შედეგად, რომელიც მდგომარეობს გამოსახულების

ელემენტარული ფართობებიდან არეკვლილი სინათლის ნაკადის ელექტრულ სიგნალად გარდასახვაში. ეს ელემენტარული ფართობები ყალიბდება სინათლის მცირე ლაქის ფოკუსირებით, რომელიც გადაადგილდება გამოსახულების ზედაპირზე. მიმდებში მიღებული ელექტრული სიგნალი იწვევს გარკვეულ ფიზიკურ ზემოქმედებას, რომელიც აფერადებს ჩაწერის მატარებლის ელემენტარულ ფართობებს, რის შედეგადაც მიიღება გადასაცემი გამოსახულების ასლი.

პირველადი ფაქსიმილური სიგნალის სისწორული სპექტრი განისაზღვრება გადასაცემი გამოსახულების ხასიათით, განშლის სიჩქარითა და გასაანალიზებელი ლაქის ზომებით. პირველადი ფაქსიმილური სიგნალის ნახატის მაქსიმალური სისწირე $f_{ნახ}$ შეიძლება გამოითვალოს, თუ ჩავთვლით, რომ ორიგინალი წარმოადგენს ურთიერთმონაცვლე შავ და თეთრ ზოლებს, რომლებიც განშლის მიმართულების პერპენდიკულარულია. ამავე დროს ამ ზოლების სიგანე ტოლია გასაანალიზებელი ლაქის სიგანისა.

ITU-T –ის მიერ რეკომენდირებულია პირველადი ფაქსიმილური სიგნალის მაქსიმალური სისწირის 3 ვარიანტი: $f_{ფაქს.მაქს}=1465$ ჰც, $f_{ფაქს.მაქს}=1100$ ჰც და $f_{ფაქს.მაქს}=732$ ჰც, რაც, ცხადია, შეესაბამება 3 სხვადასხვა ხარისხს (შესაბამისი ფაქსიმილური აპარატები მუშაობს 3 სხვადასხვა სიჩქარეზე).

რეალური გამოსახულებების გადაცემისას მიიღება რთული ფორმის პირველადი სიგნალი, რომლის ენერგეტიკული სპექტრი შეიცავს 0-დან $f_{ფაქს.მაქს}$ სისწირეებს. გამოსახულებათა ხასიათიდან გამომდინარე ისინი იყოფიან შტრისულ (გააჩნია მხოლოდ 2 გრადაცია – თეთრი და შავი) და ნახევარტონურ (მრავალგრადაციულ) გამოსახულებებად. ამ უკანასკნელთა დინამიური დიაპაზონი $D_{ფაქს} \approx 25$ დბ.

თუ ჩავთვლით, რომ მრავალგრადაციული ფაქსიმილური სიგნალის l რაოდენობის გრადაციებიდან თითოეულის ალბათობაა $1/l$ (გრადაციები თანაბარაღბათურია), პიკ-ფაქტორის გამოსაანგარიშებელი 1.9 გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$Q=10Lg 6l^2/(l+1)(2l+1). \quad (1.14)$$

თუ $l=16$, მაშინ პიკ-ფაქტორი $Q=4,5$ დბ.

ფაქსიმილური კავშირის შემთხვევაში ხორციელდება გამოსახულებათა განშლა სტრიქონებისა და ყოველ სტრიქონზე ცალკეული ელემენტების სახით (სხვაგვარად შეუძლებელია გამოსახულების მანძილზე გადაცემა) და, გარდა ამისა, გამოსახულებათა სიკაშკაშის გრადაციების რაოდენობა l სასრულოა, ამიტომ ფაქსიმილური სიგნალი ციფრული სიგნალების ჯგუფს მიეკუთვნება, რის გამოც მისი ინფორმაციის რაოდენობა გამოითვლება 1.12 გამოსახულებით. კერძოდ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $F_{\text{ტ}}=2f_{\text{ფაქს}}$, მაშინ შტრისული (ორგრადაციული – $l=2$) და 16-გრადაციული ($l=16$) გამოსახულებებისათვის ინფორმაციის რაოდენობა შესაბამისად ტოლია: $I_{\text{ფაქს.ც}}=2,93 \times 10^3$ ბიტი/წმ და $I_{\text{ფაქს.ც}}=11,7 \times 10^3$ ბიტი/წმ.

არხში ხელშეშლების არსებობა იწვევს აღდგენილ გამოსახულებაზე წერტილებისა და გადაბნების წარმოქმნას. კავშირის ხარისხი დამაკმაყოფილებელი იქნება იმ შემთხვევაში, თუ ფაქსიმილური სიგნალისა და ხელშეშლის მაქსიმალურ დონეებს შორის სხვაობა იქნება დაახლოებით 35 დბ-ის ტოლი.

ფაქსიმილური კავშირის ერთ-ერთ გავრცელებულ სახეობას წარმოადგენს გაზეთების გვერდების გადაცემა, რისთვისაც გამოიყენება სპეციალური მაღალსიჩქარიანი ფაქსიმილური აპარატები, რომლებიც უზრუნველყოფს გაზეთის გვერდების ასლების მაღალ ხარისხს გამოსახულების სიმკვეთრის მნიშვნელოვანი გაზრდის (გასაანალიზებელი ლაქის სიგანის 0,04...0,06 მმ-დე შემცირების) ხარჯზე. სიგნალის მაქსიმალური სიხშირე ამ შემთხვევაში $f_{\text{მაქს.ფაქს}}=180$ კჰც, ხოლო გადაცემის დრო – 2,3...3,5 წთ. გაზეთის გვერდების გამოსახულება შტრისული, ანუ ორგრადაციულია ($l=2$). ამიტომ შესაბამისი სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა $I_{\text{გაზ}}=360$ კბიტი/წმ.

1.5.4. ტელევიზიის სიბნალო

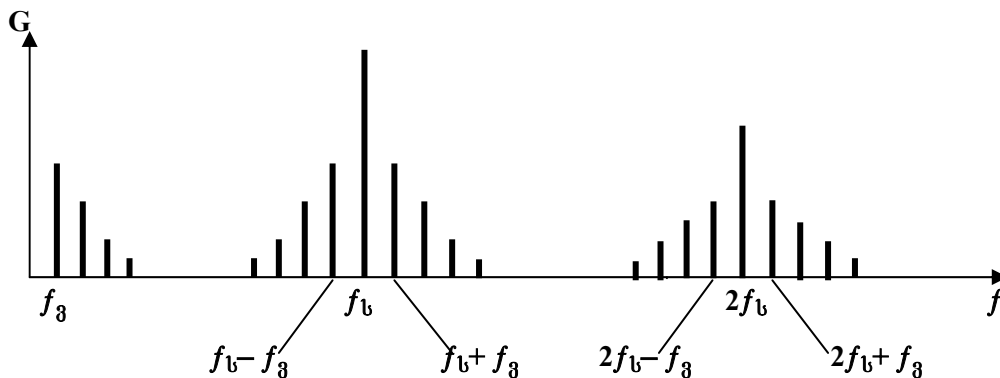
ტელემაუწყებლობის არსებით ხორციელდება მოძრავი გამოსახულებების გადაცემა. როგორც ცნობილია, კინოში მოძრავი გამოსახულებების ეკრანზე აღწარმოება ხდება კინოფირიდან უძრავი გამოსახულებების (კადრების) 25 ჰც სიხშირით მიწოდების გზით, ანუ კინოში გამოიყენება გამოსახულებათა კადრული განშლის პრინციპი. ტელევიზიაში კი, გარდა კადრული განშლისა, ხორციელდება თითოეული კადრის განშლა სტრიქონებად (ე.წ. სტრიქონული განშლა). ჩვენთან არსებული სტანდარტის შესაბამისად სატელევიზიო გამოსახულების კადრში სტრიქონების რაოდენობა $Z=625$. ტელევიზიაში, ისევე როგორც კინოში, 1 წამში გადაიცემა 25 კადრი ($n=25$). იმისათვის, რომ გამოსახულებათა მიმღები მილაკის (კინესკოპის) ეკრანზე გამოირიცხოს ციმციმის ეფექტი, მიღებული სტანდარტით ითვალისწინებენ ე.წ. სტრიქონგამოტოვებით განშლას, როდესაც აღნიშნული 625 სტრიქონი გადაიცემა ორი ნახევარკადრის (ველის) სახით (თითოეული ნახევარკადრის ხანგრძლივობაა $1/50$ წმ) თავდაპირველად კენტი (1-ლი ნახევარკადრი), ხოლო შემდეგ ლუწი (მე-2 ნახევარკადრი) სტრიქონების გადაცემით. 1 წმ-ის განმავლობაში განშლის სტრიქონების რაოდენობა $N=nz=15625$. ერთი სტრიქონის გადაცემის დრო $T_k=64$ მკწმ.

სტრიქონებსა და კადრებს შორის დროის შუალედებში უნდა ჩაქრეს კინესკოპის განმშლელი სხივი. გარდა ამისა, უნდა განხორციელდეს მიმღები (კინესკოპი) და გადამცემი (სატელევიზიო კამერა) მილაკების სხივების სინქრონიზაცია. ამიტომ გამოსახულების სიგნალის გარდა საჭიროა დამხმარე მმართველი იმპულსების (ჩამქრობი და მასინქრონიზირებელი) გადაცემა. ელექტრულ სიგნალს, რომელიც შეიცავს გამოსახულების სიგნალსა და მმართველ იმპულსებს, სრულ სატელევიზიო სიგნალს უწოდებენ.

მაშასადამე, გამოსახულების ყოველი სტრიქონი ($T_k=64$ მკწმ) შეიცავს აქტიურ (როდესაც გამოსახულების განმშლელი სხივი არაა ჩამქრალი) და პასიურ (როდესაც განმშლელი სხივი ჩამქრალია)

ნაწილებს. აქტიური ნაწილის ხანგრძლივობაა $T_{\Sigma}=52$ მკწმ, ხოლო პასიურისა – $T_{\Sigma}=12$ მკწმ.

სატელევიზიო სიგნალის (ვიდეოსიგნალის) სპექტრი დამოკიდებულია გადასაცემი გამოსახულების ხასიათზე, თუმცა სპექტრის სტრუქტურა ძირითადად განისაზღვრება განშლით. ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სატელევიზიო სიგნალის სპექტრი ხასიათდება ენერჯიის თავმოყრილ სტრიქონების სიხშირის ჰარმონიკების ($f_{\Sigma}, 2f_{\Sigma}, \dots$) მიდამოებში ($f_{\Sigma}=15625$ ჰც). 1.15 სურათზე ნაჩვენებია ვიდეოსიგნალის სპექტრი, რომელიც მიღებულია უძრავი გამოსახულების განშლის შედეგად. იგი დისკრეტულია, შეიცავს მუდმივ შემდგენს, აგრეთვე შემდგენებს, რომლებიც ჯერაღია ნახევარკადრების (ველების) $f_{\Sigma}=50$ ჰც და f_{Σ} -ისა და მისი ჰარმონიკების სიხშირეებისა და შემდგენებს, რომელთა სიხშირეებია $mf_{\Sigma} \pm nf_{\Sigma}$, $m, n=1, 2, 3, \dots$.



სურ. 1.15. უძრავი გამოსახულების ვიდეოსიგნალის სპექტრი

სიხშირის ზრდის კვალობაზე ვიდეოსიგნალის სპექტრული შემდგენების ენერჯია მცირდება. ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დადგენილია, რომ შავ-თეთრი გამოსახულებების ვიდეოსიგნალების თითქმის მთელი ენერჯია თავმოყრილია სიხშირეთა ზოლში $0 \dots 1,5$ მჰც, თანაც ძირითადი ენერჯია თავმოყრილია $200 \dots 300$ კჰც ზოლში. დონეთა სხვაობა ვიდეოსიხშირეების მთელ სპექტრში აღწევს $38 \dots 40$ დბ-ს, თანაც 0 -დან 200 კჰც მონაკვეთზე დონეთა ცვლილება შეადგენს დაახლოებით 20 დბ-ს. 0 -დან $300 \dots 500$ კჰც შუალედში სიგნალის ენერჯია კონცენტრირებულია სტრიქონების სიხშირის mf_{Σ} ჰარმონიკების

ირგვლივ. mf_n და $(m+1)f_n$ მეზობელ ჰარმონიკებს შორის ინტერვალების შუაში სიგნალის სიმძლავრე იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება არც გავითვალისწინოთ. სიხშირის ზრდასთან ერთად კონცენტრაციის ეს არეები იფანტება.

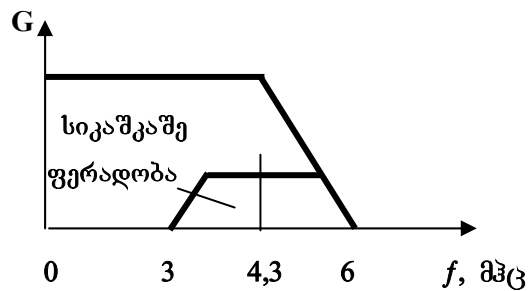
ვიდეოსიგნალის სპექტრის ეფექტური ნაწილის უმაღლესი (მაქსიმალური) სიხშირე $f_{ტელემაქს}=6$ მჰც.

ფერადი ტელეხედვის სისტემებში გადასაცემი გამოსახულება სპეციალური შუქფილტრების საშუალებით ნაწევრდება 3 ერთფეროვან (წითელ – R , მწვანე – G და ლურჯ – B) გამოსახულებად. წითელი, მწვანე და ლურჯი სხივებიდან თითოეული მათგანი ხვდება შესაბამის გადაცემ მძლავრში, რის შედეგადაც ფორმირდება 3 ფერითი სიგნალი – E_R , E_G და E_B . მიმდებ მოწყობილობაში 3 ერთფეროვანი გამოსახულების აჯამვით ხდება გადაცემული ფერადი გამოსახულების აღწარმოება.

ფერადი ტელევიზია თავსებადი უნდა იყოს შავ-თეთრ ტელევიზიასთან. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ, ჯერ ერთი, შესაძლებელი უნდა იყოს ფერადი გადაცემების მონოქრომული (შავ-თეთრი) ტელევიზორებით და, მეორეც, შავ-თეთრი გადაცემების ფერადი ტელევიზორებით მიღება. ფერადი ტელევიზიის სიგნალის სპექტრის სიგანე უნდა იყოს ისეთივე, როგორცაა შავ-თეთრი ტელევიზიის სიგნალის სპექტრი, რათა შესაძლებელი იყოს მათი გადაცემა ერთი და იმავე არხით. ეს პირობები სრულდება პირველადი E_R , E_G და E_B სიგნალების სპეციალური დამუშავებით. მათგან ფორმირდება სიკაშკაშის (შავ-თეთრი გამოსახულების შესაბამისი) სიგნალი $E_Y=0,3E_R+0,59E_G+0,11E_B$. იგი გადაიცემა სიხშირეთა მთელ $0...6$ მჰც ზოლში და უზრუნველყოფს ფერადი და შავ-თეთრი ტელევიზიების თავსებადობას. ფერების გადასაცემად ხდება ორი ფერსხვაობითი (E_{R-Y} და E_{B-Y}) სიგნალის ფორმირება. თითოეული მათგანის გადაცემისათვის საჭიროა $1,5$ მჰც სიგანის სიხშირული ზოლი.

საქართველოში გამოყენებული სატელევიზიო სისტემა სსსრ-ის შემთხვევაში ფორმირდება ფერსხვაობითი სიგნალები $D_R=-1,9E_{R-Y}$ და $D_B=1,5E_{B-Y}$. სიგნალების ამპლიტუდისა და პოლარობის ასეთი შერჩევა უზრუნველყოფს კომპრომისს ოპტიმალურ კოდირებასა და მიმდების

სიმარტივეს პირობებს შორის. D_R და D_B სიგნალები სტრიქონგამოტოვებით გადაიცემა ერთმანეთის მიმდევრობით და ამასთანავე ისინი ამოდულირებენ 4,43 მჰც სიხშირის დამხმარე გადამტან რხევას. ამ დროს ფერსხვაობითი სიგნალების სპექტრი "ჩაიწერება" სიკაშკაშის სიგნალის მაღალსიხშირულ არეში (სურ.1.16).



სურ. 1.16. ფერადი ტელევიზიის ვიდეოსიგნალის სპექტრი

განვიხილოთ სატელევიზიო სისტემაში გამოსახულებათა ხარისხზე ხელშეშლების ზემოქმედების საკითხი. ხელშეშლების ზემოქმედება იწვევს კინესკოპის ეკრანზე ნათელი და ბნელი შტრიხებისა და ლაქების წარმოშობას. მნიშვნელოვანი ხელშეშლებისას ეკრანზე გამოსახულებას ჩანს თითქოსდა მოციმციმე ნათელი და ბნელი წერტილებიანი გამჭვირვალე ფარდის უკან. ძლიერი ფლუქტუაციური ხელშეშლები ამცირებს გამოსახულების კონტრასტულობასა და სიმკვეთრეს და შედეგად სიკაშკაშის გარჩევადი გრადაციების რაოდენობას. სხვადასხვა სიხშირის ხელშეშლები აღიქმება სხვადასხვანაირად თვალის მგრძნობიარობის სიხშირული დამოკიდებულების გამო. ამასთან დაკავშირებით ხელშეშლების ხელშემშლელი მოქმედების შეფასებისას მათ ატარებენ სპეციალურ ამწონ ფილტრში (კსოფომეტრულ ფილტრში), რომლის სიხშირული მახასიათებელი ითვალისწინებს თვალის მგრძნობიარობის სიხშირულ დამოკიდებულებას. 1.17 სურათზე წარმოდგენილია ამწონი ფილტრის სიხშირული მახასიათებელი შავ-თეთრი ტელევიზიისათვის. ასეთი ფილტრის გამოსახულებელზე ხელშეშლის ეფექტური მნიშვნელობა სიხშირეთა 0...6 მჰც ზოლში გაზომვისას 9 დბ-ით ნაკლებია მის შესასვლელთან შედარებით.



სურ. 1.17. ამწონი ფილტრის სიხშირული მახასიათებელი
შავ-თეთრი ტელევიზიისათვის

ფარდობა სიგნალი/ხელშეშლა განისაზღვრება როგორც გამოსახულების სიგნალის დინამიური დიაპაზონის ფარდობა ხელშეშლის მომქმედ მნიშვნელობასთან ამწონი ფილტრის გამოსახულებზე. ITU-T –ის რეკომენდაციით სატელევიზიო სიგნალის აწონილი ფლუქტუაციური ხელშეშლისაგან დაცულობა უნდა იყოს არანაკლებ 57 დბ-ისა, ხოლო თანაბარი სპექტრის მქონე აუწონავი ხელშეშლისაგან – არანაკლებ 48 დბ-ისა. სიგნალი/ხელშეშლა ფარდობის ასეთი სიდიდისას კინესკოპის ეკრანზე ადამიანი ანსხვავებს სიკაშკაშის დაახლოებით 100 გრადაციას. თანამედროვე სატელევიზიო სისტემებში მოითხოვება გაცილებით მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფა, როდესაც სიკაშკაშის გარჩევადი გრადაციების რაოდენობაა 256. გრადაციების ასეთი რაოდენობა სრულიად საკმარისია იმისათვის, რომ აღდგენილ გამოსახულებაზე არ შეიმჩნეოდეს შტრიხული ეფექტი, ანუ გრადაციის ერთი დონიდან მეზობელ დონეზე გადასვლა თვალისთვის აღიქმებოდეს როგორც უწყვეტი გადასვლა.

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე და აგრეთვე თუ ჩავთვლით, რომ სიკაშკაშის ყველა 256-ვე გრადაცია თანაბარაღბათურია, შეიძლება განვსაზღვროთ სატელევიზიო სიგნალის დინამიური დიაპაზონი, პიკ-ფაქტორი და ინფორმაციის რაოდენობა (ინფორმაციის შემცველობა):

$$D=10LgI^2 \approx 48 \text{ დბ}; \quad (1.15)$$

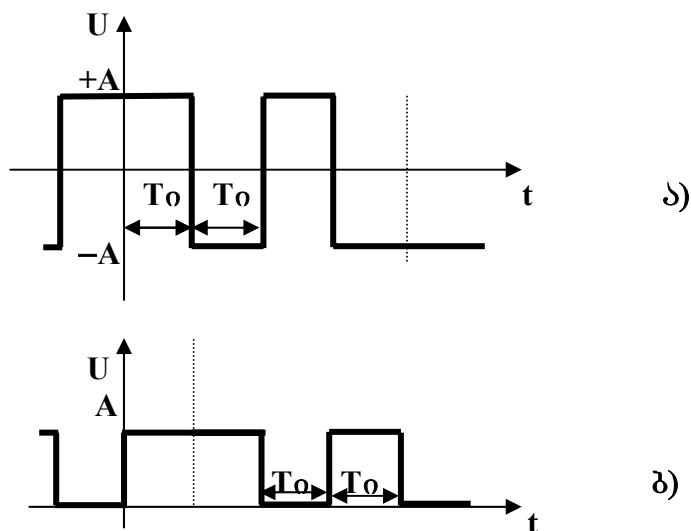
$$Q=10Lg6I^2/(l+1)(2l+1) \approx 12,8 \text{ დბ}; \quad (1.16)$$

$$I_{ტვა} = 2f_{მკს} \text{Log}I \approx 96 \times 10^6 \text{ ბიტი/წმ}. \quad (1.17)$$

$l=100$ -თვის: $D \approx 40$ დბ; $Q \approx 4,8$ დბ; $I_{ტგა} \approx 80 \times 10^6$ ბიტი/წმ.

1.5.5. ტელეგრაფისა და მონაცემთა გადაცემის სიგნალები

პირველადი ტელეგრაფისა და მონაცემების გადაცემის სიგნალებს ჩვეულებრივ აქვთ ორპოლარული (სურ. 1.18ა) ან ერთპოლარული (სურ. 1.18ბ) სწორკუთხა იმპულსების მიმდევრობის სახე. იმპულსების T_0 ხანგრძლივობა განისაზღვრება ბოდებში (წამში იმპულსების რაოდენობით) გაზომილი B სიჩქარით. ტაქტური სიხშირე $F_{ტ} = 1/T_0$ რიცხობრივად შეიძლება გადაცემის B სიჩქარის ტოლი იყოს, რაც სამართლიანია მხოლოდ ორდონიანი (ორობითი) მიმდევრობისათვის (მაგალითად, **0კმ** სიგნალისათვის). მრავალპოზიციური კოდის (მაგალითად, მრავალდონიანი იმპულსების) შემთხვევაში აღნიშნული დამოკიდებულება ირღვევა.



სურ. 1.18. ტელეგრაფისა და მონაცემების გადაცემის სიგნალები

დადებითი და უარყოფითი იმპულსების გამოჩენის $p(+A)$ და $p(-A)$ ალბათობები, აგრეთვე იმპულსებს შორის შტატისტიკური კავშირები განისაზღვრება ინფორმაციის წყაროს თვისებებით. ხშირად $p(+A) = p(-A) = 0,5$ და მიმდევრობის იმპულსები სტატისტიკურად დამოუკიდებელია.

ტელეგრაფის სიგნალის გადაცემისათვის საჭირო სიხშირეთა მინიმალური Δf ზოლის განსაზღვრისათვის მხედველობაშია მისაღები შემდეგი გარემოება: სწორკუთხა იმპულსების დაუმახინჯებელი

გადაცემისათვის საჭიროა სიხშირეთა უსასრულოდ განიერი ზოლი. თუმცა ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოებას, რომ ასეთი სიგნალების გადაცემისას აუცილებელი არაა მიმღებში იმპულსების დაუმახინჯებელი აღდგენა, ანუ მათი ფორმის შენარჩუნება. ამ დროს ინფორმაციის აღდგენისათვის საკმარისია მხოლოდ იმპულსების ნიშნის დაფიქსირება ორპოლარული სიგნალის შემთხვევაში და იმპულსის არსებობის ან არარსებობის დაფიქსირება – ერთპოლარული სიგნალის შემთხვევაში. აღნიშნულის უზრუნველყოფა შესაძლებელია, თუ სატელეკომუნიკაციო არხის სიხშირული მახასიათებლები უახლოვდება იდეალური დაბალი სიხშირეების ფილტრის მახასიათებლებს. ამ შემთხვევაში ორობითი სიგნალის სიხშირეთა ეფექტური ზოლი $\Delta f=0,5F_{\text{გ}}=0,5B$, რაც სამართლიანია მრავალდონიანი იმპულსური სიგნალებისთვისაც.

რეალურ არხებში სიხშირული დამახინჯებების არსებობისას აუცილებელია იმპულსური სიგნალებისათვის გამოყოფილი სიხშირეთა ზოლის რამდენადმე გაფართოება. ამ შემთხვევაში ხშირად მიღებულია, რომ $\Delta f=F_{\text{გ}}=B$.

1.5.6. პირველადი ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოდგენის თავისებურებანი

მთელ მსოფლიოში ტელეკომუნიკაციის განვითარების ძირითად ტენდენციას წარმოადგენს კავშირგაბმულობის ქსელების ციფროვიზაცია, რომელიც ითვალისწინებს ქსელის აგებას სიგნალების გადაცემისა და კომუტაციის ციფრული მეთოდების ბაზაზე გადაცემისა (ბცს) 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, **0კმ** 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 ანუ გადაცემის ხარისხის სუსტი დამოკიდებულება კავშირის მაგისტრალის სიგრძეზე. 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 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 ბცს-ების მოწყობილობების ძალზე მცირე ნაწილს, ამიტომ ასეთ სისტემებში არხების პარამეტრების სტაბილურობა მნიშვნელოვნად მაღალია ანალოგურ სისტემებთან შედარებით. ამას ხელს უწყობს აგრეთვე ბცს-ში მისი ჩატვირთვის ცალკეული არხების პარამეტრებზე გავლენის არარსებობა.

დისკრეტული სიგნალების გადაცემისათვის არხების გამტარუნარიანობის ეფექტური გამოყენება. დისკრეტული სიგნალების ბცს-ის ჯგუფურ ტრაქტში 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 კბიტ/წმ-ია მაშინ, როდესაც ანალოგურ სისტემებში იგი ჩვეულებრივ არ აღემატება 33,6 კბიტ/წმ-ს.

კავშირის ციფრული ქსელის აგების შესაძლებლობა. გადაცემის ციფრული სისტემები კომუტაციის ციფრულ სისტემებთან 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 აღჭურვილობის (მოწყობილობის) დამზადების შრომატევადობის, მისი ღირებულების, მოხმარებული ენერჯისა და გაბარიტების მკვეთრად შემცირების საშუალებას. გარდა ამისა, მნიშვნელოვნად მარტივდება სისტემების ექსპლუატაცია და მართვა 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. **IBM**-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 (**მზმ**) მესამე თაობა (**IBM 360**, 1963 წ.). მსგავსი **მზმ**-ების შექმნამ გამოიწვია **მულტიპლექსირების (არხების შეყვანა/გამოყვანის, ანუ, სხვანაირად, გაერთიანება/დაშლის)** ისეთი კონცეფციის ჩამოყალიბება, რომელიც გულისხმობს შეყვან/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 იერარქიები გადაცემის **64კბიტი/წმ, ≈2მბიტი/წმ, ≈8 მბიტი/წმ, ≈34მბიტი/წმ** და **≈139მბიტი/წმ** სიჩქარეებით, რომლებსაც პლეზიოქრონული (**PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy**), ანუ თითქმის სინქრონული ციფრული იერარქიები 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 Hierarshy**), რომელთა მეშვეობით ამჟამად შესაძლებელია გადაიცეს 40 გბიტი/წმ და მეტი სიჩქარის ციფრული ნაკადები.

ზოგადად, ტელეკომუნიკაციის ქსელის ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია სატელეფონო ქსელი, რომელიც შედგება ავტომატური ტელეფონის სადგურებისაგან (**აბს**), 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 კომუტატორებიდან (თბილისში პირველი ხელის სატელეფონო სადგური ამოქმედდა 1893 წელს) დამთავრებული თანამედროვე ელექტრონულ **აბს**-დღე. დღეისათვის საქართველოში ინტენსიურად ინერგება ტელეკომუნიკაციის უახლესი საშუალებები: ელექტრონული ციფრული კომუტაციის სისტემები; მობილური კავშირის სისტემები; პლეზიოქრონული (**PDH**), და სინქრონული (**SDH**) ციფრული იერარქიის ქსელები; სინქრონული ოპტიკური ქსელები (**SONET**); გადაცემის ასინქრონულ რეჟიმში (**ATM – Asynchronous Transfer Mode**) მომუშავე სისტემები; გადაცემის ციფრული სისტემები ანალოგური სააბონენტო ხაზებისათვის და სხვა, რაც სრულად შეესაბამება სატელეკომუნიკაციო ტექნიკის განვითარების ტენდენციებს მსოფლიოს 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 ფართოხოლოვანი ტექნოლოგიების გამოყენების საკითხი. SDH და ATM ტექნოლოგიებზე აგებული ქსელები, ისევე როგორც გადაცემის ციფრული სისტემები, ანალოგური სააბონენტო ხაზებისათვის ამჟამად ინერგება საქართველოშიც.

1.5.7. პირველადი ანალოგური სიგნალების ციფრული სახით წარმოღობენა და შესაბამისი ციფრული სიგნალების კარამიტრები

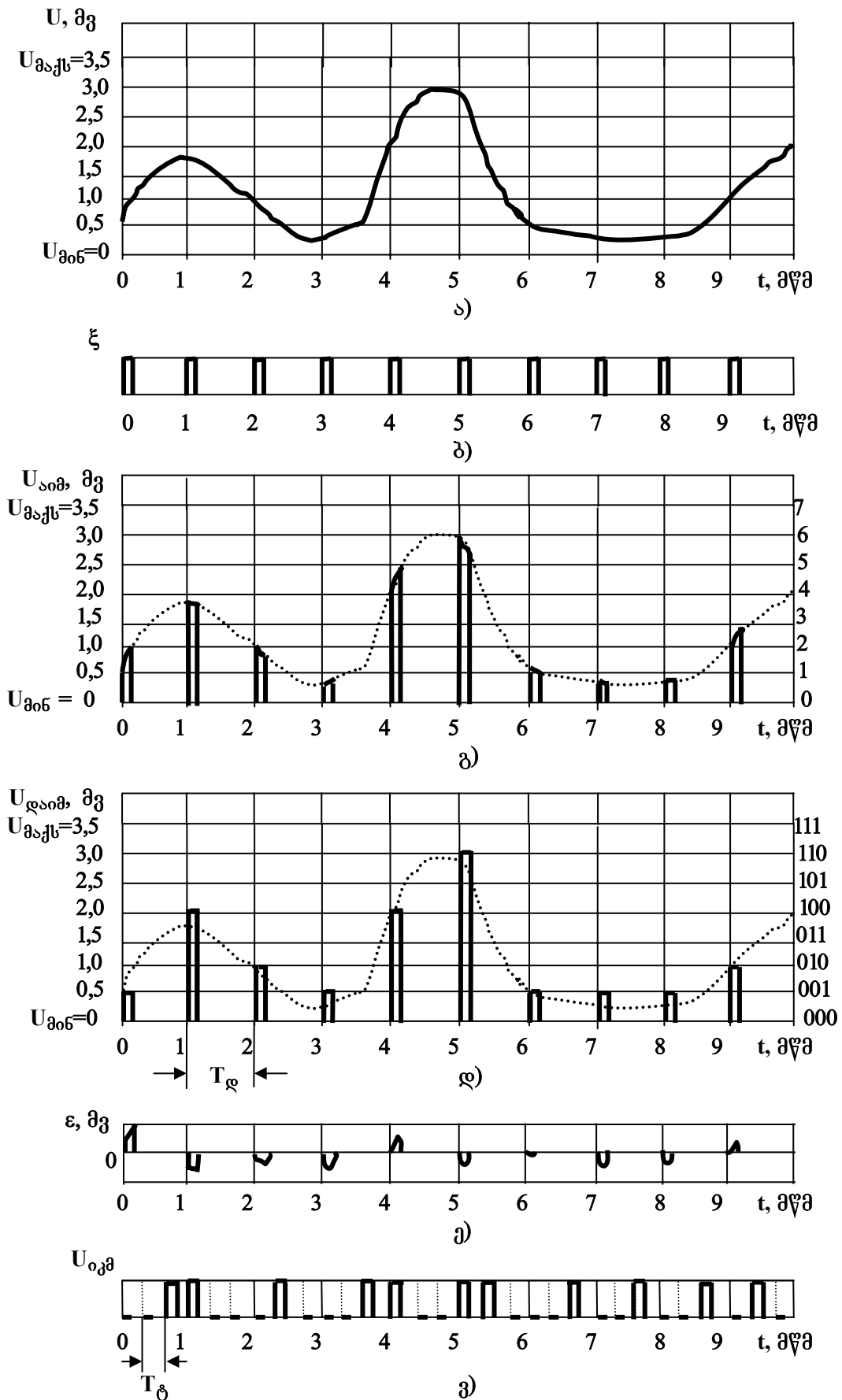
წინა პარაგრაფებში განხილული სიგნალების ჯგუფიდან ფაქსიმილური, მონაცემების გადაცემისა და ტელეგრაფის პირველადი სიგნალები ციფრულ სიგნალებს წარმოადგენენ, ვინაიდან მათ დროის სასრულო ინტერვალში მნიშვნელობათა სასრულო სიმრავლე გააჩნიათ. რაც შეეხება ტელეფონის, ხმოვანი მაუწყებლობის და ტელევიზიის პირველად სიგნალებს, 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 სიგნალი ანალოგურია.

ანალოგური სიგნალების (მისი შესაბამისი დროითი დიაგრამა 1.19ა სურათზეა ნაჩვენები) ციფრული სახით წარმოდგენისათვის (შესაბამისი **0კმ** სიგნალის ფორმირებისათვის) უნდა შესრულდეს შემდეგი 3 ძირითადი ოპერაცია: **T_დ** პერიოდისა და მუდმივი ამპლიტუდის მქონე სწორკუთხა მაღისკრეტიზირებელი იმპულსების მიმდევრობით (სურ.1.19ბ) ანალოგური სიგნალის დროითი დისკრეტიზაცია (სურ.1.19გ); დისკრეტიზაციის შედეგად მიღებული ანათვლების (ელემენტების) დაკვანტვა (უსასრულო რაოდენობის მნიშვნელობათა შეცვლა სასრულო რაოდენობით, ანუ მნიშვნელობათა მიხედვით დისკრეტიზაცია) (სურ.1.19დ); ფორმირებული დაკვანტული (**ღა0მ**) ანათვლების კოდირება (**იმპულსურ-კოდური მოდულაცია –0კმ**) (სურ.1.19ე). კოდირების არსი ნატურალური კოდირების შემთხვევაში მდგომარეობს შემდეგში: თუ დაკვანტვის დონის რიგითი ნომერია **N** (**N=0, 1, 2 ... 2^m-1**), მაშინ:

$$N = \sum_{i=1}^m a_i 2^{m-i} , \quad (1.18)$$

სადაც **a_i** – **N**-ის ორობით კოდში წარმოდგენის **i** –რი თანრიგის შესაბამისი სიმბოლოა (0 ან 1).



სურ. 1.19. ანალოგური სიგნალის ციფრულად გარდაქმნის ეტაპების (საფეხურების) ილუსტრაცია

1.18 გამოსახულების მიხედვით 1.19 სურათზე წარმოდგენილი შემთხვევისათვის, როდესაც დაკვანტვის დონეების რაოდენობა $l=8$ ($m=3$), 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:

$$5 = a_1 2^2 + a_2 2^1 + a_3 2^0 = 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 \quad (a_1=1, a_2=0, a_3=1).$$

როგორც ცნობილია, ანალოგური (უწყვეტი) სიგნალების დისკრეტიზაცია გამართლებულია, თუ დაფიქსირებულია პირველადი ანალოგური სიგნალის ზედა ზღვრული სიხშირე f_{Φ} . ამ მიზნით შესაბამისი სიგნალი უნდა იქნას გატარებული ქვედა სიხშირეების ფილტრში (მსშ), რომლის ჩამოჭრის სიხშირეა f_{Φ} . დისკრეტიზაციის $f_{\mathcal{D}}$ სიხშირე კი შეირჩევა დისკრეტიზაციის (გ. კოტელნიკოვის) თეორემის თანახმად:

$$f_{\mathcal{D}} \geq 2f_{\Phi}, \text{ ანუ დისკრეტიზაციის პერიოდი } T_{\mathcal{D}} = 1/f_{\mathcal{D}} \leq 2f_{\Phi}.$$

ტოლობა დასაშვებია იდეალურ შემთხვევაში, როდესაც ფილტრების მიღების სიხშირული მახასიათებელი იდეალურია ანუ სწორკუთხაა. პრაქტიკულად ფილტრების აღნიშნული მახასიათებელი არაა სწორკუთხა, რის გამოც პრაქტიკაში $f_{\mathcal{D}} > 2f_{\Phi}$. მიღებულია, რომ $f_{\mathcal{D}} = (2,3..2,4)f_{\Phi}$. 1.19 სურათზე $T_{\mathcal{D}} = 1$ მწმ ($f_{\mathcal{D}} = 1$ კჰც).

უნდა აღინიშნოს, რომ დროით დისკრეტიზაციას სხვანაირად ამპლიტუდურ-იმპულსურ მოდულაციას (აიშ) უწოდებენ, ვინაიდან ამ დროს დისკრეტიზატორში (ამპლიტუდურ-იმპულსურ მოდულატორში) საწყისი ანალოგური მამოდულირებელი სიგნალით ხდება სამოდულირებელი, ანუ მადისკრეტიზირებელი სწორკუთხა იმპულსების

ამპლიტუდის ცვლილება (მოდულირება), რის შედეგადაც მიიღება დისკრეტული, ანუ ამპლიტუდურ-იმპულსურად მოდულირებული (აიშ) სიგნალი (იხ. სურ.1.19გ).

აიშ სიგნალის დაკვანტვის შედეგად კი მიიღება ე.წ. **დაიშ** სიგნალი (დაკვანტული აიშ სიგნალი), რომლის ნიმუშიც ნაჩვენებია 1.19დ სურათზე, სადაც დაკვანტვის დონეების რაოდენობა $L=8$ (დონეების ნომერია 0, 1, 2,..., 7). ზოგადად თანაბარი დაკვანტვისას

$$L=(U_{\text{მაქს}}-U_{\text{მინ}}+\Delta)/\Delta. \quad (1.19)$$

1.19 სურათზე განხილული შემთხვევისათვის $U_{\text{მაქს}}=U_{\text{შეზღ}}=3,5$ მვ, $U_{\text{მინ}}=0$ მვ, ხოლო $\Delta=0,5$ მვ. ამიტომ $L=8$.

თუ დაკვანტვის დასაშვები დონე აიღება $U_{\text{მინ}}$ –სა და მისგან დაკვანტვის Δ ბიჯით დაშორებული დონის შუაში ($U_{\text{მაქს}}-სა$ და მისგან დაკვანტვის Δ ბიჯით დაშორებული დონის შუაში), მაშინ თანაბარი დაკვანტვისას დასაშვები დონეების რაოდენობა

$$L=(U_{\text{მაქს}}-U_{\text{მინ}})/\Delta. \quad (1.20)$$

სხვაობას აიშ ანათვლის ნამდვილ (რეალურ) და მის დაკვანტულ (**დაიშ**) მნიშვნელობებს შორის დაკვანტვის შეცდომას (ϵ), ხოლო ამ შეცდომების ერთობლიობას დაკვანტვის ხმაურს უწოდებენ (სურ.1.19ე). ვინაიდან განხილულ შემთხვევაში $L=8$, ამიტომ შესაბამისი ორობითი კოდის თანრიგების (სიმბოლოების, ბიტების) რაოდენობა $m=\text{Log}_2 8=3$ (სურ.1.19ვ), სადაც სიმბოლოები ერთმანეთისაგან დაშორებულია მათი t_0 ხანგრძლივობის ტოლი პაუზით $t_3=t_0=T_{\text{ტ}}/2$, რის გამოც სიმბოლოების მიმდევრობის მეჩხერიანობა $Q=T_{\text{ტ}}/t_0=2$. თავის მხრივ, ტაქტური პერიოდი $T_{\text{ტ}}=T_{\text{დ}}/3=1/3$ მწმ. შესაბამისად, ტაქტური სიხშირე $f_{\text{ტ}}=1/T_{\text{ტ}}=3$ კჰც. აქედან გამომდინარე, სიმბოლოების (ბიტების) და პაუზების ხანგრძლივობები 1.19 სურათის შემთხვევაში ტოლია $t_3=t_0=T_{\text{ტ}}/2=1/6$ მწმ). შევნიშნოთ, რომ იმ შემთხვევაში, როდესაც სიმბოლოები ერთმანეთზე მიჯრითაა მიწყობილი დროში, მაშინ $t_0=T_{\text{ტ}}$ ($t_3=0, Q=1$).

დაკვანტვის პროცესში ყოველი აიშ ანათვლის მნიშვნელობა იცვლება უახლესი დასაშვები მნიშვნელობით. დამკვანტავის მახასიათებლებია: დაკვანტვის დონეების რაოდენობა L ; დაკვანტვის

ბიჯი Δ , რომელიც წარმოადგენს სხვაობას მეზობელ დასაშვებ მნიშვნელობებს შორის; შეზღუდვის ძაბვა $U_{შეზღ}$ – ანათელის ამპლიტუდის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც ექვემდებარება დაკვანტვას. თუ $\Delta = \text{const}$, მაშინ დაკვანტვას თანაბარს უწოდებენ, ხოლო თუ $\Delta \neq \text{const}$, – არათანაბარს. დაკვანტვის შედეგად წარმოიქმნება **დაკვანტვის შეცდომა** – სხვაობა ანათელის ნამდვილ და დაკვანტულ მნიშვნელობებს შორის, რომელთა ერთობლიობა ქმნის **დაკვანტვის ხმაურს**. თანაბარი დაკვანტვისას დაკვანტვის შეცდომა არ აღემატება დაკვანტვის ბიჯის ნახევარს. დაკვანტვის ხმაურის სიმძლავრე $P_{\text{ხ.დაკვ}} = \Delta^2/12$. დაკვანტვის ხმაურისაგან დაცულობა $A_{\text{დ.დაკვ}} = 10Lg(P_{\text{ს}}/P_{\text{ხ.დაკვ}})$, სადაც $P_{\text{ს}}$ – სიგნალის სიმძლავრეა.

სიგნალის დინამიური დიაპაზონის შეზღუდვა ხდება იმ შემთხვევაში, როდესაც დასაკვანტი სიგნალის ძაბვა აღემატება ზღვრულ ძაბვას, და მაშინ ფორმირდება $U_{შეზღ}$ -ის ამპლიტუდის ტოლი ანათვალი (დამკვანტავის მუშაობის ასეთ რეჟიმს მის **გადატვირთვას** უწოდებენ), რაც, თავის მხრივ, იწვევს **შეზღუდვის ხმაურის** წარმოშობას, რომლის სიმძლავრე მნიშვნელოვნად აჭარბებს დაკვანტვის ხმაურის სიმძლავრეს. ამის გამო **აიშ** სიგნალის დაკვანტვისას მიღებული უნდა იქნას სპეციალური ზომები, რომლებიც გამორიცხავს დამკვანტავის გადატვირთვას.

თანაბარი დაკვანტვის ნაკლს წარმოადგენს სიგნალის მცირე დონეების დაკვანტვის ხმაურისაგან მცირე დაცულობა, რის გამოც დაკვანტვის დონეების (და შესაბამისი კოდის თანრიგების) რაოდენობა უნდა იყოს დიდი. თანაბარი დაკვანტვისას შესაბამის კოდში თანრიგების დიდი რაოდენობა კი იწვევს აპარატურის სირთულეს და ტექტური სიხშირის გაუმართლებელ გაზრდას. ეს გარემოება აუცილებელს ხდის სიგნალების არათანაბარი დაკვანტვას, რაც გამოიყენება თანამედროვე გადაცემის ციფრულ სისტემებში (**ბცს**). არათანაბარი დაკვანტვის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ სიგნალების მცირე მნიშვნელობებისათვის დაკვანტვის ბიჯს ირჩევენ მინიმალურს და მას თანდათანობით მაქსიმალურამდე ზრდიან სიგნალების დიდი

მნიშვნელობებისათვის. ამასთან სუსტი სიგნალებისათვის $P_{\text{ს.დ.აკ}}$ მცირდება, ხოლო ძლიერისათვის – იზრდება, რაც ზრდის $A_{\text{დ.დ.აკ}}$ –ის სიდიდეს სუსტი სიგნალებისათვის და ამცირებს მას ძლიერი სიგნალებისათვის, რომლებსაც გააჩნდათ ხელშეშლადაცულობის დიდი მარაგი. შედეგად უზრუნველყოფილი ხდება დაკვანტვის ხმაურებისაგან სიგნალის დაცულობის საჭირო პირობის შესრულება სიგნალის ფართო დინამიურ $D_{\text{ს}}$ დიაპაზონში, რაც დაახლოებით 40 დბ-ს შეადგენს. ამრიგად ხორციელდება $A_{\text{დ.დ.აკ}}$ –ის გათანაბრება სიგნალის დონეთა ცვლილების ფართო დიაპაზონში.

ორობით სისტემაში კოდირების შედეგად დაკვანტული $\Delta 0\text{მ}$ სიგნალის (**ღა0მ სიგნალის**) ყოველი ანათვლის დაკვანტვის დონის ნომერი (ათობითი რიცხვი) წარმოდგება m -თანრიგა ($m=\text{Log}_2 I$) ორობითი მიმდევრობის სახით, რომლის შესაბამის სიგნალს **იმპულსურ-კოდურად მოდულირებული (0მ)** სიგნალი ეწოდება (იხ. სურ.1.19ვ, სადაც $m=3$ ($I=8$)).

დავადგინოთ თითოეული ეტაპის შესაბამისი პარამეტრები ტელეფონის, ხმოვანი მაუწყებლობის და სატელევიზიო სიგნალებისათვის.

1. დისკრეტიზაციის სიხშირის შერჩევა.

ტელეფონის სიგნალებისათვის $f_{\text{ვ}}=3,4$ კჰც. ამიტომ $f_{\text{დ}}>6,8$ კჰც. მიღებული სტანდარტით $f_{\text{დ}}=8$ კჰც (დისკრეტიზაციის პერიოდი $T_{\text{დ}}=1/f_{\text{დ}}=0,125$ მწმ= 125 მკწმ).

ხმოვანი მაუწყებლობის (უმაღლესი კლასი) სიგნალებისათვის $f_{\text{ვ}}=15$ კჰც. შესაბამისად, $f_{\text{დ}}=32$ კჰც.

ფერადი ტელევიზიის სიკაშკაშის შემდგენისათვის (ან შავ-თეთრი ტელევიზიის სიგნალისათვის) $f_{\text{ვ}}=6$ მჰც. $f_{\text{დ}}=13,5$ მჰც. ორიდან თითოეული ფერსხვაობითი სიგნალისათვის $f_{\text{ვ}}=1,5$ მჰც. ამიტომ ორივეს სპექტრის სიგანეა 3 მჰც, რის გამოც $f_{\text{დ}}=6,75$ მჰც.

2. დაკვანტვის დონეთა რაოდენობის განსაზღვრა.

მეტყველების სიგნალების მთელ დინამიურ დიაპაზონში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს დაკვანტვის ხმაურისაგან დაცულობის (A.დ.დაკვ) სიდიდე, რომელიც უნდა იყოს არანაკლებ 30 დბ-ისა. ამისათვის თანაბარი დაკვანტვისას საჭიროა დაკვანტვის 4096 დონე ($I=4096$), ხოლო არათანაბარი დაკვანტვისას – 256 დონე ($I=256$). 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 $I=256$.

2. 0კმ სიგნალის კოდის თანრიგების რაოდენობის განსაზღვრა.

მეტყველების სიგნალების თანაბარი დაკვანტვისას $I=4096$. ამიტომ $m=\text{Log}_2 4096=12$. თუმცა, როგორც აღნიშნული იყო, აღდგენილი სიგნალის ხარისხის გაუარესების გარეშე შეიძლება გამოყენებული იყოს არათანაბარი დაკვანტვა, როდესაც $I=256$, რის გამოც $m=\text{Log}_2 256=8$. ტელევიზიის სიგნალის თითოეული შემდგენისთვისაც $m=8$.

2. ციფრული სიგნალების ტაქტური სიხშირისა და გადაცემის სიჩქარის განსაზღვრა.

ციფრულ სიგნალში დისკრეტიზაციის T_d პერიოდის ($T_d=1/f_d$) განმავლობაში გადაიცემა m ორობითი სიმბოლო, რის გამოც სიმბოლოების გადაცემის პერიოდი (ტაქტური პერიოდი) $T_t=T_d/m$.

შესაბამისად ტაქტური სიხშირე $f_t=mf_d$.

აღნიშნულის გათვალისწინებით: ტელეფონის სიგნალისათვის $f_{ტ.ტლფ}=mf_d=8 \times 8 \text{კჰც}=64 \text{კჰც}$; ხმოვანი მაუწყებლობის სიგნალისათვის $f_{ტ.მაუწყ}=mf_d=8 \times 32 \text{კჰც}=256 \text{კჰც}$; ტელევიზიის სიგნალის სიკაშკაშის შემდგენისათვის $f_{ტ.ტლგ.ს}=mf_d=8 \times 13,5 \text{მჰც}=108 \text{მჰც}$, ხოლო თითოეული ფერსხვაობითი სიგნალისათვის – $f_{ტ.ფ}=mf_d=8 \times 6,75 \text{მჰც}=54 \text{მჰც}$.

შესაბამისი სიგნალების გადაცემის სიჩქარეები და ინფორმაციის რაოდენობებია: $B_{ტლფ.ც}=I_{ტლფ.ც}=64 \text{კბიტი/წმ}$ (მას ძირითადი ციფრული

ნაკადი ეწოდება); $B_{\text{მაუწყც}} = I_{\text{მაუწყც}} = 256 \text{ კბიტ/წმ}$; $B_{\text{ტლგ.ს.ც}} = I_{\text{ტლგ.ს.ც}} = 108 \text{ მბიტ/წმ}$ და $B_{\text{ტლგ.ფ.ც}} = I_{\text{ტლგ.ფ.ც}} = 54 \text{ მბიტ/წმ}$. აქედან გამომდინარე, ტელევიზიის სრული იპმ სიგნალის გადაცემის სინქარე და ინფორმაციის რაოდენობა ტოლია $B_{\text{ტლგ.ც}} = I_{\text{ტლგ.ც}} = B_{\text{ტლ.ს}} + 2B_{\text{ტლგ.ფ}} = 108 \text{ მბიტ/წმ} + 2 \times 54 \text{ მბიტ/წმ} = 216 \text{ მბიტ/წმ}$.

1.6. ტელეკომუნიკაციის სახეობათა კლასიფიკაცია

ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სახეობათა პირობითი კლასიფიკაცია წარმოდგენილია 1.19 სურათზე. გადასაცემა შეტყობინებების სახეობათა მიხედვით ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობა შეიძლება დაიყოს ხმოვანი და ოპტიკური შეტყობინებების გადამცემებად. შეტყობინებათა დანიშნულების მიხედვით ტელეკომუნიკაციის სახეობები შეიძლება დაიყოს აგრეთვე ინდივიდუალური და მასობრივი ხასიათის სახეობებად. შეტყობინებათა მიწოდების დროითი რეჟიმისაგან დამოკიდებულებით ტელეკომუნიკაციის სახეები დაიყოფა სახეობებად, რომელთა დანიშნულებაა: 1. რეალურ დროში მუშაობა; 2. შეტყობინებათა მიწოდება გადავადებით (დაყოვნებით). 1.20 სურათზე წარმოდგენილი კლასიფიკაცია საკმაოდ პირობითია, რადგანაც უკანასკნელ პერიოდში შეიმჩნევა ტელეკომუნიკაციის სახეობების გაერთიანების ტენდენცია ერთიან ინტეგრალურ სისტემაში შეტყობინებათა ყველა სახეობის გადაცემისა და კომუტაციის ციფრული მეთოდების საფუძველზე.

რეალური დრო (real time)	გადავადებული მიწოდება (non-real time)
<p>□ ტელეკონფერენცია რეალურ დროში (chat)</p>	<p>□ ელექტრონული დოკუმენტები: ელექტრონული ფოსტა (e-mail), პერსონალური რადიოგამოძახება (paging), ტელეკონფერენციები (news), პოზიციონირება (GPS)</p> <p>□ დოკუმენტები: ფაქსი, დეკემპები (ტელეგრაფები)</p>
<p>□ ვიდეოკონფერენციები (ვიდეოტელეფონია)</p> <p>□ ვიდეოთვალთვალი</p>	<p>□ ვიდეო მოთხოვნით (Video on Demand)</p>
<p>□ ტელეფონია</p> <p>□ აუდიოტელეკონფერენციები</p>	<p>□ ხმოვანი ფოსტა (voice-mail)</p>
<p>△ ხმოვანი მაუწყებლობა (პირდაპირი რეპორტაჟები)</p>	<p>△ ხმოვანი მაუწყებლობა (ჩაწერილი პროგრამები)</p> <p>△ ავტომატური ინფორმატორები</p>
<p>△ სატელევიზიო მაუწყებლობა (პირდაპირი რეპორტაჟები)</p>	<p>△ სატელევიზიო მაუწყებლობა (ჩაწერილი პროგრამები)</p>
	<p>▲ გაზეთების გადაცემა</p> <p>▲ ტელეტექსტი</p>

- △, ▲ – მასობრივი ხასიათის შეტყობინებები
- , □ – ინდივიდუალური ხასიათის შეტყობინებები
- △, □ – ხმოვანი შეტყობინებები და მოძრავი გამოსახულებები
- ▲, □ – უძრავი გამოსახულებები

სურ. 1.20. ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სახეობები

17. პირითადი ცნობები ტელეკომუნიკაციის ქსელების შესახებ

ტელეკომუნიკაციის ქსელი წარმოადგენს ტექნიკურ საშუალებათა ერთობლიობას, რომელიც უზრუნველყოფს შეტყობინებათა გადაცემასა და განაწილებას. მისი აგების პრინციპები დამოკიდებულია გადასაცემი და გასანაწილებელი შეტყობინებების სახეობაზე.

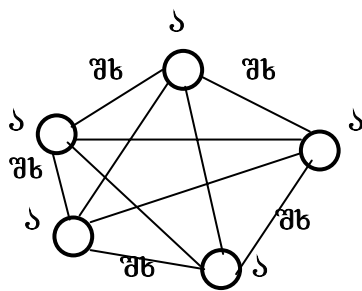
არსებობს ქსელების აგების (ტოპოლოგიის) შემდეგი პრინციპები:

- "თითოეული თითოეულთან" (სურ.1.21): ასეთი ქსელი საიმედოა, გამოირჩევა ოპერატიულობით და შეტყობინებათა გადაცემის მაღალი ხარისხით. იგი პრაქტიკაში გამოიყენება აბონენტთა მცირე რაოდენობის შემთხვევაში;

- რადიალური ("ვარსკვლავი") (სურ.1.22): იგი გამოიყენება შეზღუდული რაოდენობის სააბონენტო პუნქტების შემთხვევაში, რომლებიც მცირე ტერიტორიაზეა განლაგებული;

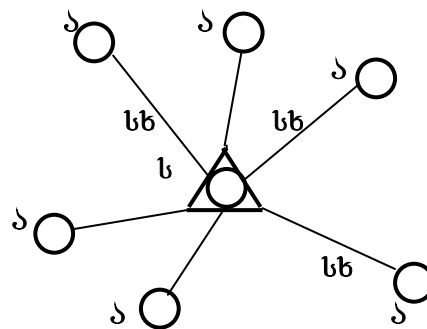
- რადიალურ-კვანძური (სურ.1.23): ასეთი სტრუქტურა გააჩნია ქალაქის სატელეფონო ქსელებს, თუ ქსელის ტევადობა არ აღემატება 80...90 ათას აბონენტს;

- რადიალურ-კვანძური საკვანძო რაიონებით (სურ.1.24): იგი გამოიყენება დიდი ქალაქების სატელეფონო ქსელის აგებისას.



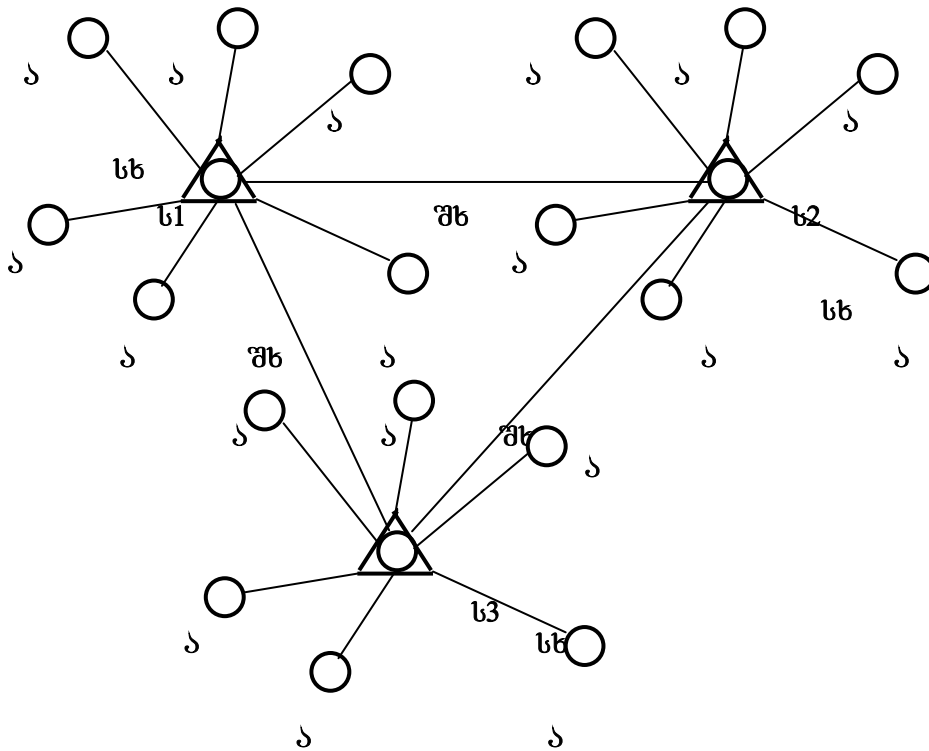
სურ.1.21. ქსელის ტოპოლოგია "თითოეული თითოეულთან":

ა – სააბონენტო მოწყობილობა (ტერმინალი);
შს – შემაერთებული ხაზი

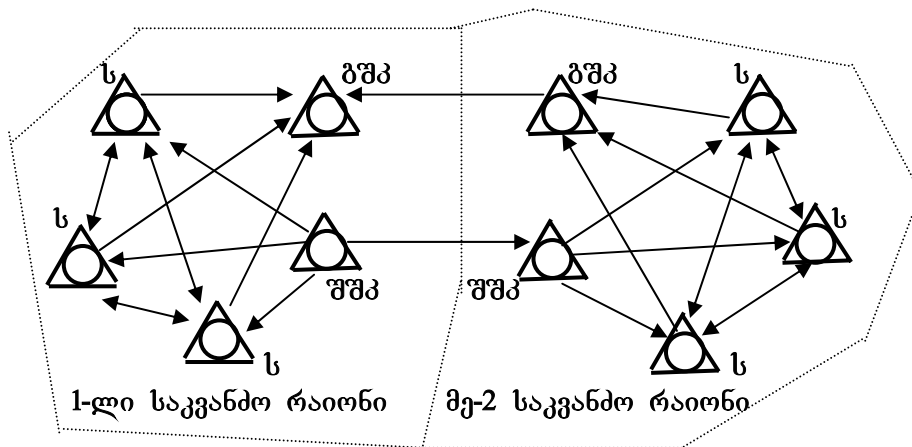


სურ.1.22. ქსელის ტოპოლოგია "ვარსკვლავი":

ა – სააბონენტო მოწყობილობა (ტერმინალი);
სხ – სააბონენტო ხაზი;
ს – სადგური



სურ. 1.23. ქსელის რადიალურ-კვანძური ტოპოლოგია:
 ს – სააბონენტო მოწყობილობა (ტერმინალი); სს – სააბონენტო ხაზი;
 ს1,2,3 – სადგურები; შს – შემაერთებელი ხაზი



სურ. 1.24. რადიალურ-კვანძური ქსელის ტოპოლოგია საკვანძო რაიონებით: ბშპ – გამავალ შეტყობინებათა კვანძი; შშპ – შემავალ შეტყობინებათა კვანძი

ინდივიდუალურ შეტყობინებათა გადაცემის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია აბონენტების დამაბოლოებელი აპარატების დაკავშირება ერთმანეთთან.

ელექტრული წრედს (არხს), რომელიც შედგება რამდენიმე უბნისაგან და რომელიც უზრუნველყოფს სიგნალების გადაცემას აბონენტებს შორის, შემაერთებელი ტრაქტი ეწოდება.

ელექტრული წრედების ძეხვისა და შეერთების პროცესს არხების კომუტაცია ეწოდება.

ქსელს, რომელიც უზრუნველყოფს არხების კომუტაციას, ეწოდება ქსელი არხების კომუტაციით (ქპბ).

ქპბ-ის საკვანძო სადგურებს კომუტაციის სადგურები ეწოდება.

დოკუმენტური შეტყობინებების გადაცემისას, არხების კომუტაციით კავშირის განხორციელების გარდა, შესაძლებელია კვანძიდან კვანძში შეტყობინებათა ეტაპობრივი გადაცემა. გადაცემის ასეთ ხერხს შეტყობინებათა კომუტაცია ეწოდება. შესაბამისად, ქსელს, რომელიც უზრუნველყოფს შეტყობინებათა კომუტაციას, ეწოდება ქსელი შეტყობინებათა კომუტაციით (ქშპ).

ქშპ-ს ნაირსახეობას წარმოადგენს ქსელი პაკეტების კომუტაციით (ქპპ). ამ შემთხვევაში გადამცემი აბონენტისაგან მიღებული შეტყობინება დაიყოფა ფიქსირებული სიგრძის ბლოკებად (პაკეტებად). პაკეტები გადაიცემა ქსელით (არააუცილებლად ერთი და იმავე მარშრუტით) და ერთიანდება შეტყობინებაში მიმღებ აბონენტზე გაცემამდე. თავის მხრივ, ქსპ-ები იყოფა დეიტაგრამულ (ინგლისური სიტყვიდან **datagram**) და ვირტუალური არხების ქსელებად. დეიტაგრამულ ქსელებში თითოეული პაკეტი განიხილება როგორც დამოუკიდებელი ინფორმაციული ბლოკი, თანაც პაკეტებმა შეიძლება გაიარონ ქსელის სხვადასხვა მარშრუტი. ვირტუალური არხების ქსელებში პაკეტების ქსელით გადაცემამდე შეირჩევა გარკვეული თვალსაზრისით ოპტიმალური მარშრუტი, რომლის გავლითაც შემდგომ გადაიცემა პაკეტები. შერჩეულ მარშრუტში შემავალი კვანძების მიმდევრობა ქმნის საკუთრივ ვირტუალურ არხს.

ქშპ-სა და ქპპ-ს საკვანძო სადგურებს შესაბამისად ეწოდება შეტყობინებათა (შპც) და პაკეტთა (პპც) კომუტაციის ცენტრები.

პრაქტიკაში შედარებით ხშირად გამოიყენება როგორც არხების, ასევე პაკეტების კომუტაციის მეთოდი.

სატელეგრაფო ქსელები აიგება რადიალურ-კვანძური პრინციპით ქვეყნის ადმინისტრაციულ-ტერიტორიული დაყოფის გათვალისწინების საფუძველზე. სატელეგრაფო ქსელების დამაბოლოებელ პუნქტებს წარმოადგენენ ან კავშირგაბმულობის განყოფილებები, ან სატელეგრაფო აბონენტები, რომლებსაც გააჩნიათ ტელეგრაფის აპარატები. ქსელს გააჩნია საკვანძო პუნქტების სამი დონე: რაიონული, საოლქო და მთავარი. მონაცემთა გადაცემის ქსელს გააჩნია მსგავსი სტრუქტურა. ფაქსიმილური კავშირის ქსელი კი აიგება სატელეფონო ქსელის ბაზაზე.

მასობრივი შეტყობინებების გადაცემის ქსელებს შორის უმნიშვნელოვანესია მაუწყებლობის ქსელები.

მაუწყებლობა წარმოადგენს ტელეკომუნიკაციის ტექნიკური საშუალებებით საერთო დანიშნულების შეტყობინებათა ერთდროული გადაცემის პროცესს აბონენტთა ფართო წრისათვის.

სამაუწყებლო პროგრამა არის სხვადასხვა შეტყობინების გადაცემის მიმდევრობა დროში. მაუწყებლობის ორგანიზაცია ახორციელებს ორ ამოცანას – სამაუწყებლო პროგრამების მომზადებასა და პროგრამების მიწოდებას აბონენტებზე. მაუწყებლობის ქსელებისადმი წაყენებულ ძირითად მოთხოვნებს წარმოადგენს: ქვეყნის მთელი მოსახლეობის უზრუნველყოფა მაუწყებლობით, გადასაცემი პროგრამების მაღალი ხარისხი, საიმედოობა და ეკონომიურობა.

ხმოვანი მაუწყებლობის ქსელებში პროგრამების განაწილება ხდება ტელეკომუნიკაციის არხებით, განშტოება კი – სპეციალურ კვანძებში. ხმოვანი მაუწყებლობის ქსელები აიგება რადიალურ-კვანძური პრინციპით. პროგრამების აბონენტამდე მიტანის მეთოდის (საშუალების, ხერხის) თვალსაზრისით ერთმანეთისაგან განანსხვავებენ რადიომაუწყებლობასა (პროგრამების გადაცემა ხდება ღია სივრცეში – ეთერში) და გამტარიან მაუწყებლობას (პროგრამები გადაიცემა სპეციალური გამტარიანი ხაზებით ან სატელეფონო კავშირის ხაზებით).

სატელევიზიო მაუწყებლობის ქსელებში ტელევიზიის (ტვ) მათი განშტოება – სპეციალურ კვანძებში. სატელევიზიო მაუწყებლობის ქსელი აიგება რადიალურ-კვანძური პრინციპით.

პრაქტიკაში გამოიყენება აბონენტებისათვის ტვ პროგრამების მიწოდების ორი ხერხი: ტელემაუწყებლობა რადიოსატელევიზიო გადამცემი სადგურების საშუალებით (საეთერო ტვ) და გამტარიანი ტელემაუწყებლობა (საკაბელო ტვ). საეთერო ტელევიზიის თანამედროვე ნაირსახეობაა თანამგზავრული ტვ სააბონენტო დანადგარებზე ტელემაუწყებლობის უშუალო მიღებით. მეტრული და დეციმეტრული დიაპაზონის რადიოტალღების გავრცელების კანონზომიერება ზღუდავს რადიოსატელევიზიო გადამცემი სადგურების სიგნალების მაღალი ხარისხით მიღებას ოპტიკური (პირდაპირი) ხედვის საზღვრებში. მაღალი ხარისხით მიღების ზონის გაზრდისათვის საჭიროა გადამცემი და მიმღები ანტენების ამაღლება. ტიპური რადიოსატელევიზიო გადამცემი სადგურებისათვის, რომელთა ანტენების საყრდენების სიმაღლე 200...300 მ-ია, მომსახურების ზონის რადიუსია 60...100 კმ. მაგალითად, მოსკოვის ოსტანკინოს ტელეანძა, რომლის სიმაღლეა 536 მ, უზრუნველყოფს 120...130 კმ რადიუსის მომსახურების ზონას.

გაზეთების გადაცემის ქსელით მათი გადაცემა უზრუნველყოფილია ფაქსიმული ხერხით "Газета-2" ანალოგური აპარატურის გამოყენებით, რომელიც ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე ექსპლუატაციაში იქნა გაშვებული 20 წელზე დიდი ხნის წინათ. ამჟამად რუსეთის ტერიტორიაზე არსებობს გაზეთების მიმღები 32 პუნქტი, რომლებიც ჩვეულებრივ განლაგებულია ტიპოგრაფიებში. არხების განშტოების პუნქტი არსებობს ცენტრალურ საქალაქთაშორისო სატელეფონო სადგურში, ვინაიდან გაზეთების გადაცემისათვის გამოყენებულია სატელეფონო არხები. გაზეთები გადაიცემა ყოველდღიურად 4...5 სთ-ის განმავლობაში. ამჟამად მცირდება აღნიშნული ქსელის დატვირთვა, ვინაიდან გადაცემისათვის ანალოგური მეთოდის გამოყენება სრულად ვერ აკმაყოფილებს პოლიგრაფისტების თანამედროვე მოთხოვნებს. ამიტომ გაზეთების გადაცემის მიზნით ამჟამად განიხილება არსებული ქსელის

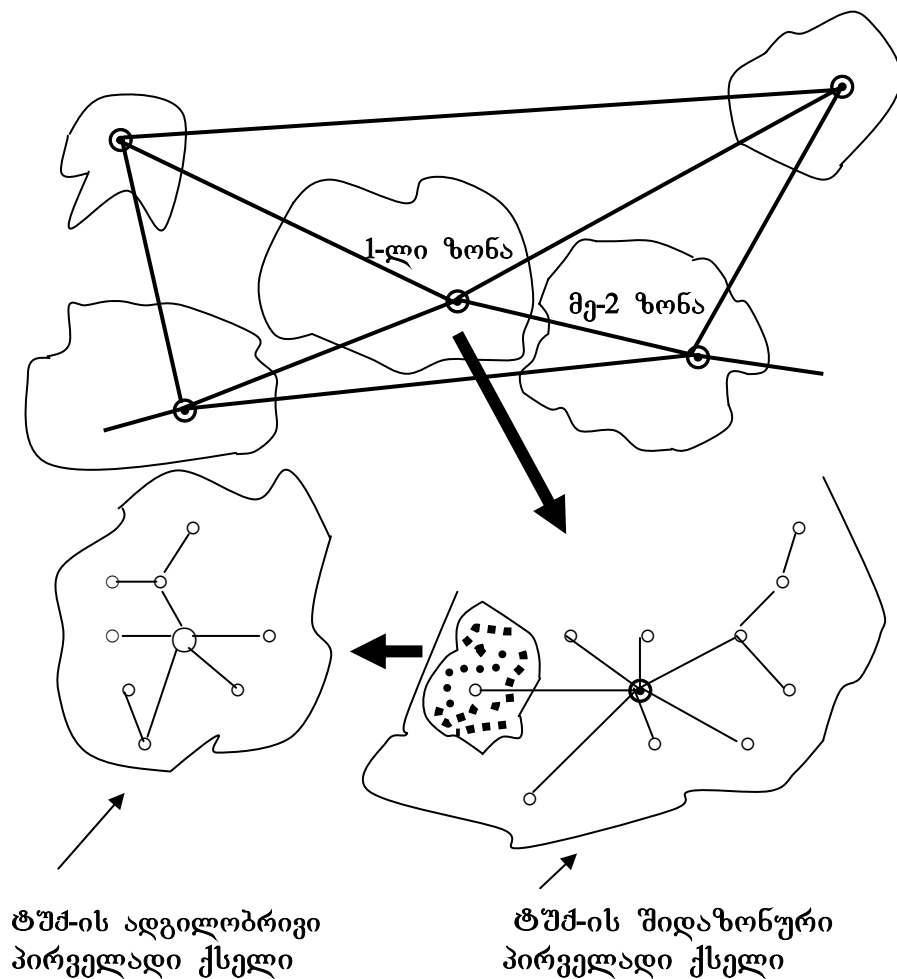
მოდერნიზაციისა და, აგრეთვე, სხვა ქსელების (მაგალითად, ინტერნეტის) გამოყენების შესაძლებლობა.

ისტორიული თვალსაზრისით ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობა დიდი ხნის განმავლობაში ვითარდებოდა ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, რის გამოც მოხდა რამდენიმე ურთიერთდამოუკიდებელი ქსელის ფორმირება. ამასთანავე საერთო დანიშნულების ქსელები ვერ აუდიოდნენ გადასაცემი შეტყობინებების მოცულობას, რაც საჭირო იყო ქვეყნის ნორმალური ეკონომიკური განვითარებისათვის და, ამიტომ, ზოგიერთმა უწყებამ დაიწყო საკუთარი ქსელის შექმნა. ასეთმა ტექნიკურმა პოლიტიკამ გამოიწვია ტექნიკურ საშუალებათა კიდევ უფრო მეტად დაქსაქსვა, ხოლო ქსელების ერთობლიობის ეფექტურობა ქვეყნის მასშტაბით რჩებოდა დაბალი.

XX საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისიდან უკვე ცხადი გახდა, რომ ტელეკომუნიკაციის განვითარების პერსპექტიულ მიმართულებად უნდა გამხდარიყო ქსელების გაერთიანება. შეიძლება გამოიყოს ქსელების გაერთიანების შემდეგი წინამძღვრები: გარდასახვის მეთოდების უნიფიკაცია, სიგნალების გადაცემის აუცილებლობა თანმხვედრი მიმართულებებით, გადაცემისა და კომუტაციის სისტემების მსგავსება.

70-იან წლებში ყოფილ საბჭოთა კავშირში მიღებულ იქნა გადაწყვეტილება კავშირის ერთიანი ავტომატიზირებული ქსელის **(კმამ)** შექმნის შესახებ, რომელსაც არ ეღირსა დამთავრება საბჭოთა კავშირის დაშლის გამო. ამჟამად ეს პროექტი, რომელიც ასახავს გეოპოლიტიკური სიტუაციის ცვლილებასა და ტელეკომუნიკაციის სფეროში ახალ რევოლუციურ მიღწევებს, იწოდება რუსეთის **ტელეკომუნიკაციის (კავშირის) ურთიერთშეკავშირებულ ქსელად (ტშმ)**, რომელიც წარმოადგენს ელექტროკავშირის საერთო დანიშნულების, საუწყებო და ქვეყნის ტერიტორიაზე არსებული სხვა ტექნიკურად ურშეკავშირებული ქსელების ერთობლიობას მათი საუწყებო კუთვნილებისა და საკუთრების ფორმის მიუხედავად და რომლის მართვა ხორციელდება საერთო ცენტრალიზებული პრინციპით. მის მიმართ წაყენებულ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს საიმედოობა და ეკონომიურობა.

ტელეკომუნიკაციის ურთიერთშეკავშირებული ქსელის ტექნიკური საშუალებები გადაცემის პროცესში მონაწილეობს გადასაცემი შეტყობინებების სახეობისაგან დამოუკიდებლად. ამ ელემენტების ერთობლიობა ქმნის ტელეკომუნიკაციის ურთიერთშეკავშირებული ქსელის პირველად ქსელს (სურ.1.25), რომლის შემადგენლობაში შედის ქსელის კვანძები, ქსელის სადგურები და გადაცემის ხაზები. პირველადი ქსელი შედგება ცალკეული ნაწილებისაგან: ადგილობრივი პირველადი ქსელები შემოსაზღვრულია ქალაქის ან სასოფლო რაიონის ტერიტორიით; შიდაზონური პირველადი ქსელები მოიცავს ზონის ტერიტორიას და იგი უზრუნველყოფს ზონის შიგნით არსებული ადგილობრივი ქსელების ურთიერთკავშირს; მაგისტრალური პირველადი ქსელი ერთმანეთთან აკავშირებს ზონურ ქსელებს.



სურ. 1.25. ტელეკომუნიკაციის ურთიერთშეკავშირებული ქსელის პირველადი ქსელის სტრუქტურა

ტელეკომუნიკაციის ურთიერთშეკავშირებული ქსელის შემადგენელი ყოველი ქსელი, გარდა პირველადი ქსელის საშუალებებისა, იყენებს ამ ქსელის კუთვნილ მოწყობილობებსაც. ტელეკომუნიკაციის ურთიერთშეკავშირებული ქსელის **მეორადი ქსელი** წარმოადგენს ტექნიკურ საშუალებათა ერთობლიობას, რომლებიც უზრუნველყოფს **გარკვეული სახის** შეტყობინებათა გადაცემას. მის შემადგენლობაში შედის: დამაბოლოებელი სააბონენტო მოწყობილობები, სააბონენტო ხაზები, საკომუტაციო მოწყობილობები და არხები, რომლებიც გამოიყოფა პირველადი ქსელიდან მეორადი ქსელის ორგანიზებისათვის.

უახლოეს დრომდე ჩვენს ქვეყანაში, ისევე როგორც ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში, კავშირგაბმულობის სამინისტრო პრაქტიკულად იყო ერთადერთი ოპერატორი ტელეკომუნიკაციის სფეროში, რომელიც თავაზობდა მომსახურების შესაბამის სახეობებს ორგანიზაციებსა და მოსახლეობას. უწყებრივი ქსელები უზრუნველყოფდა მხოლოდ ორგანიზაციების შიდა მოთხოვნებს. თუმცა ქვეყანაში ეკონომიკური სიტუაციის ცვლილებამ და მსოფლიოში განვითარებულმა ტენდენციამ, რომელიც მდგომარეობს ტელეკომუნიკაციის ქსელებისა და საშუალებების სახელმწიფოს ან კერძო სუბიექტების მხრიდან მონოპოლური მფლობელობის შეზღუდვაში, გამოიწვია კავშირგაბმულობისა და ფოსტის შესახებ კანონის მიღება, რომელიც განსაზღვრავს კავშირგაბმულობის დარგის დემონოპოლიზაციის ძირითად პრინციპებს. ეს კანონი განსაზღვრავს: კავშირგაბმულობის დარგში მოღვაწეობის სამართლებრივ საფუძვლებს; სახელმწიფო ხელისუფლების ორგანოთა უფლებებს დარგის ფუნქციონირებისა და განვითარების რეგულირების მიზნით; დარგში მოღვაწე და ამ მოღვაწეობის შედეგებით მოსარგებლე ფიზიკური და იურიდიული პირების უფლებებსა და მოვალეობებს.

ამჟამად საქართველოში მრავალ ოპერატორს გააჩნია კავშირგაბმულობის სფეროში მოღვაწეობის ლიცენზია. აბონენტთა კავშირგაბმულობის თანამედროვე მაღალხარისხოვანი მომსახურების მოთხოვნები და, შესაბამისად, მომსახურებათა გადახდისათვის მათი მზადყოფნა აფორმირებს ბაზრის მნიშვნელოვან სექტორს. თუმცა მთელ მსოფლიოში და, მათ შორის ჩვენ ქვეყანაში, ტელეკომუნიკაციის

ტრადიციული ოპერატორებისათვის, რომლებიც აღჭურვილია უზარმაზარი რაოდენობის საკომუტაციო და არხწარმოქმნის მოწყობილობებით, რომელთა ამოგების ვადა ღიდია (20 წელი და მეტი), ძნელია თავიანთი ქსელების სრულმასშტაბიანი მოდერნიზაცია ტელეკომუნიკაციის მომსახურებისადმი წაყენებული თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად. დარგში განხორციელებული დემონოპოლიზაცია იწვევს ახალი აგრესიული ოპერატორების გამოჩენას, რომლებიც იბრძვიან ყოველი პოტენციალური კლიენტის მოსაპოვებლად, იზიდავენ მათ უფრო დაბალი ფასებით, მომსახურების უკეთესი ხარისხითა და ნაირფეროვნებით.

საუწყებო ქსელების ოპერატორები, თავისი მომხმარებლები-სათვის მომსახურებათა გაზრდის გარდა, სხვა მომხმარებლებისთვისაც გეგმავენ თავიანთი ქსელებით მომსახურებას. ამჟამად შეიმჩნევა კონკურენციის ზრდა ტრადიციულ ოპერატორებსა და კავშირგაბმულობის საშუალებათა ალტერნატიულ მომწოდებლებს შორის, რომლებიც მუშაობენ ენერგოსისტემების, ნავთობისა და გაზის გაყვანილობების, რკინიგზისა და მეტროპოლიტენის ქსელების ბაზაზე.

კავშირგაბმულობის დარგის დემონოპოლიზაცია და ამის შედეგად წარმოქმნილი კონკურენცია ოპერატორებს შორის მომგებიანი იქნება აბონენტებისათვის, რაც თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების განვითარების პირობებში აისახება ტელეკომუნიკაციის მომსახურებათა რაოდენობის გაფართოებასა და ხარისხის გაუმჯობესებაზე მათი ღირებულების შემცირებით.

1.8. ტელეკომუნიკაციის სფეროს სტანდარტიზაციის ორგანიზაციები

ტელეკომუნიკაციის სფეროში სტანდარტიზაციის ორგანიზაციების მოღვაწეობის 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 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.

ელექტროკავშირის საერთაშორისო კავშირის (მსკ) ტელეკომუნიკაციების სტანდარტიზაციის სექტორი (მსკ-ტ) (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**) – საერთაშორისო ორგანიზაცია, რომელიც ამუშავებს ტელეკომუნიკაციის დარგის სტანდარტებს. **ITU-T**-ის სტანდარტებს რეკომენდაციები (**Recommendations**) ეწოდება. 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 (**მსკ-რ**) (**Radiocommunication Sector – 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 Telegraps – CEPT).

ამერიკის სტანდარტიზაციის ნაციონალური ინსტიტუტი (American National Standard Institute – ANSI) – ამერიკის შეერთებული შტატების (**აშშ**) ფარგლებში სტანდარტიზაციის ნებაყოფლობითი ჯგუფების მაკოორდირებელი 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: საკვლევი – **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.

ჩვენს ქვეყანაში ტელეკომუნიკაციის დარგში სტანდარტიზაციისა და რეგულირების სამუშაოებს ატარებენ საქართველოს სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიისა და სერტიფიკაციის სახელმწიფო კომიტეტი (საქსტანდარტი), ტრანსპორტისა და კომუნიკაციების სამინისტრო და ტელეკომუნიკაციის დარგის ეროვნული მარეგულირებელი კომისია.

2. სატელეკომუნიკაციო არხები

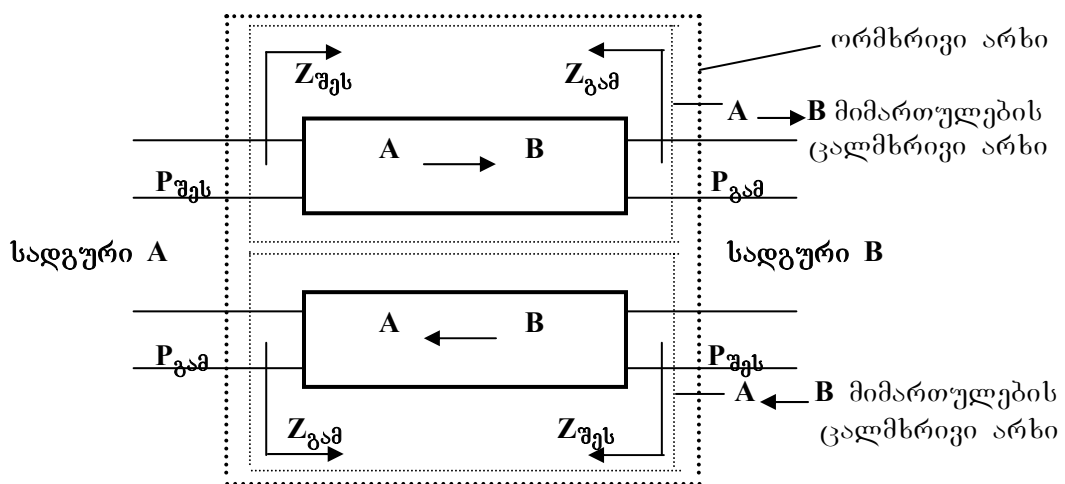
2.1. სატელეკომუნიკაციო არხების მახასიათებლები

და პარამეტრები

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

ტელეკომუნიკაციის არხი დიდი რაოდენობით შეიცავს სხვადასხვა მოწყობილობებს – ფილტრებს, მაძლიერებლებს (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 გარდამქმნელის** (მიმღების პირველადი გარდამქმნელის) შესასვლელთან (იხ. სურ. 1.7).

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, მაძლიერებლებს), 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 2.1 სურათზე 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.



სურ. 2.1. ტელეკომუნიკაციის ორმხრივი არხი

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

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

$$K_{არეკვ} = \left| (Z_{წ} - Z_{ტ}) / (Z_{წ} + Z_{ტ}) \right|, \quad (2.1)$$

ან კიდევ არეკვლის მიღების სიდიდით

$$a_{არეკვ} = 20 \text{Lg} \left| (Z_{წ} + Z_{ტ}) / (Z_{წ} - Z_{ტ}) \right|, \quad \text{დბ} \quad (2.2)$$

სადაც $Z_{წ}$ და $Z_{ტ}$ – ნომინალური და რეალური წინაღობებია.

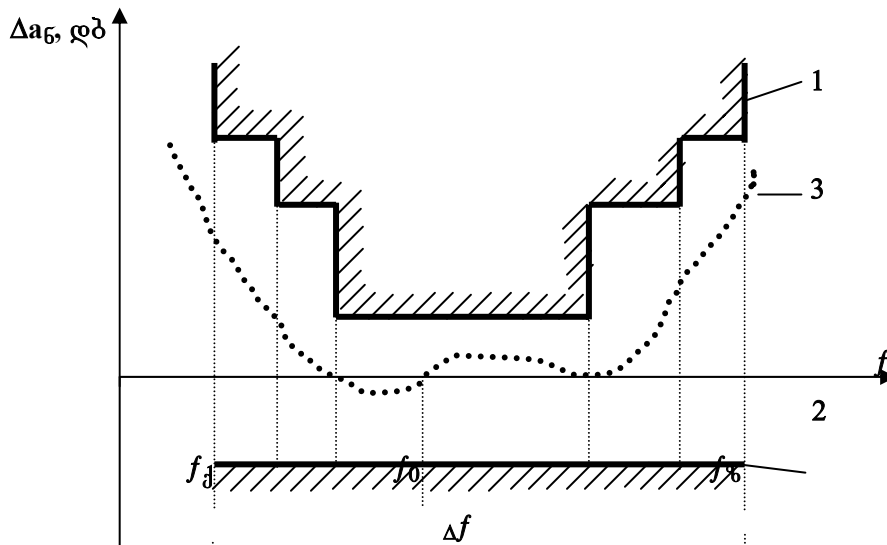
2. არხის ნარჩენი მიღება $a_{წ}$. იგი წარმოადგენს არხის შესასვლელსა და გამოსასვლელზე სიმძლავრის დონეებს შორის სხვაობას, ანუ არხის მუშა მიღებას ისეთ აქტიურ წინააღობებთან არხის შესასვლელისა და გამოსასვლელის მიერთებისას, რომლებიც შეესაბამება შესასვლელი და გამოსასვლელი წინააღობების ნომინალურ მნიშვნელობებს. სხვადასხვა ტიპის არხებისათვის თანხმდებიან საცდელი სიგნალის სიხშირის მნიშვნელობის შესახებ, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება ნარჩენი მიღების გაზომვა. ფიზიკურად ნარჩენი მიღება $a_{წ}$ გვიჩვენებს გაძლიერების (რეგენერაციის) ყველა უბნის მიღებებისა და ყველა მაძლიერებლის (რეგენერატორის) გაძლიერების ჯამებს შორის სხვაობას:

$$a_{წ} = 10 \text{Lg}(P_{შეს} / P_{გამ}) = P_{შეს} - P_{გამ} = \sum_{i=1}^{n-1} a_i - \sum_{k=1}^n S_k, \quad \text{დბ} \quad (2.3)$$

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 მიღების სიხშირული მახასიათებელი და სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლი $\Delta f_{წ}$, (იხ. § 1.5) ანუ სიხშირეთა ზოლი, რომლის საზღვრებში ნარჩენი მიღების გადახრა ($\Delta a_{წ}$) მისი ნომინალური მნიშვნელობიდან განსხვავდება მხოლოდ რაიმე დასაშვები სიდიდით. ეფექტურად გადაცემული სიხშირეთა ზოლის ფარგლებში ხდება ნარჩენი მიღების მისი ნომინალური

მნიშვნელობიდან დასაშვები გადახრების ნორმირება. ნორმირების ერთ-ერთი შესაძლო ვარიანტი მდგომარეობს ნარჩენი მიღევის დასაშვები გადახრების "შაბლონის" გამოყენებაში. ასეთი შაბლონის სანიმუშო სახე წარმოდგენილია 2.2 სურათზე.



სურ. 2.2. ნარჩენი მიღევის ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრების შაბლონის სანიმუშო სახე: f_0 – სიხშირე, რომელზეც განისაზღვრება ნარჩენი მიღევის ნომინალური მნიშვნელობა; f_k , f_k – ეფექტურად გადაცემული სიხშირეთა ზოლის ქვედა და ზედა საზღვრები; 1, 2 – ნარჩენი მიღევის დასაშვები გადახრების საზღვრები; 3 – ნარჩენი მიღევის გაზომილი სიხშირული მახასიათებლის სახე

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

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

5. არხის შემაჯალ და გამომავალ სიგნალებს შორის ფაზური ძვრის სიხშირული მახასიათებელი. როგორც ცნობილია, ტელეკომუნიკაციის სიგნალები რთულია, ანუ ისინი წარმოადგენს სხვადასხვა სიხშირის ჰარმონიული შემდგენების, 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 (დჰდ), ანუ სხვანაირად გადაცემის ჯგუფური დროის (ბჰდ) სიხშირულ მახასიათებელს:

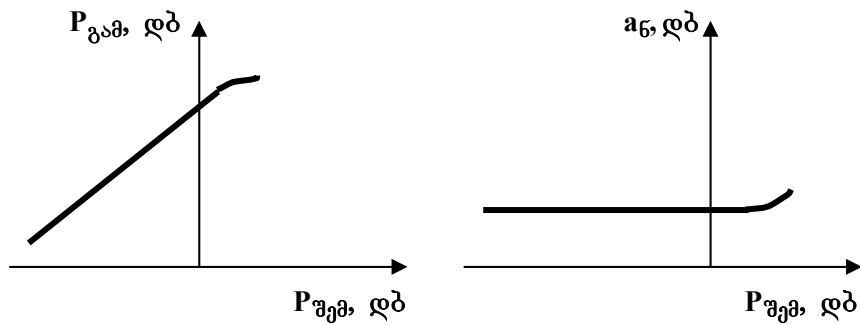
$$\tau = db(f) / df, \quad (2.4)$$

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. იგი განპირობებულია არხის ამპლიტუდური მახასიათებლების არაწრფივობით, რომლებიც წარმოადგენენ არხის გამოსასვლელზე სიგნალის სიმძლავრის (ძაბვის) აბსოლუტური დონის ($P_{გაფ}$) დამოკიდებულებას არხის შესასვლელზე სიგნალის სიმძლავრის (ძაბვის) აბსოლუტურ დონეზე ($P_{შეფ}$), რომელიც იზომება გაზომვის სიგნალის რომელიმე წინასწარ განსაზღვრულ სიხშირეზე, ან აღნიშნულ სიხშირეზე არხის ნარჩენი მილევის ($a_{ფ}$) დამოკიდებულებას შემავალი სიგნალის დონეზე ($P_{შეფ}$). 2.3 სურათზე ნაჩვენებია ამ მახასიათებლების სანიმუშო სახე.



სურ. 2.3. არხის ამპლიტუდური მახასიათებლების სანიმუშო სახე

მაშასადამე, 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.

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 $P_{გამ} = f(P_{შეგ})$ წარმოადგენს კოორდინატთა ღერძებისადმი 45° -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 მიღვევის კოეფიციენტების ცნებები (პარამეტრები):

$$k_{\text{სტ.}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} U_{ri}^2}}{U_1} \quad ; \quad a_{\text{სტ.}} = 20 \text{ Lg}(1/g_{\text{სტ.}}) \quad , \quad (2.5)$$

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

ხშირად იყენებენ აგრეთვე ჰარმონიკების მიხედვით არაწრფივობის მიღების პარამეტრს:

$$a_{\text{სტ.},i} = 20 \text{ Lg}(U_1/U_{ri}) = P_{U1} - P_{U_{ri}} \quad , \quad \text{დბ} \quad (2.6)$$

7. გადასაცემი სიგნალის სიხშირის ცვლილება.

8. ხელშეშლების დონე (სიმძლავრე) წერტილში ნულოვანი გაზომვის დონით.

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

$$D_{\text{არხ}} = 10 \text{ Lg}(P_{\text{ს.მაქს}}/P_{\text{ს}}) = P_{\text{ს.მაქს}} - P_{\text{ს}} \quad , \quad \text{დბ} \quad (2.7)$$

სადაც $P_{\text{ს.მაქს}}$ – სიგნალის მაქსიმალური დასაშვები სიმძლავრეა; $P_{\text{ს}}$ – აუწონავი ხელშეშლების სიმძლავრეა, რომლებიც მიკუთვნებულია ნულოვანი გაზომვის დონის წერტილისადმი; $P_{\text{ს.მაქს}}$ და $P_{\text{ს}}$ კი $P_{\text{ს.მაქს}}$ -ისა და $P_{\text{ს}}$ -ის დონეებია.

10. სიგნალისა და ხელშეშლის სიმძლავრეთა ფარდობა ($P_{\text{ს}}/P_{\text{ს}}$) ან ხელშეშლებისაგან დაცულობა.

$$A_{\text{დ}} = 10 \text{ Lg}((P_{\text{ს}}/P_{\text{ს}})) = P_{\text{ს}} - P_{\text{ს}} \quad , \quad \text{დბ} \quad (2.8)$$

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

$$A_{\text{დ}} = 10 \text{ Lg}(P_{\text{ს.საშ}}/P_{\text{ს}}) = P_{\text{ს.საშ}} - P_{\text{ს}} \quad , \quad \text{დბ} \quad (2.9)$$

11. არხის გამტარუნარიანობა.

ანალოგური არხებისათვის გამტარუნარიანობა

$$C = \Delta f_{\text{ს}} \text{Log}_2 (1 + \mathcal{P}_{\text{ს.საშ}} / \mathcal{P}_{\text{ს}}) , \quad \text{ბიტი/წმ} \quad (2.10)$$

სადაც $\Delta f_{\text{ს}}$ – სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლის სიგანეა; $\mathcal{P}_{\text{ს.საშ}}$ – სიგნალის საშუალო სიმძლავრეა და $\mathcal{P}_{\text{ს}}$ – ხელშეშლების აუწონავი საშუალო სიმძლავრეა გაზომვის ნულოვანი დონის წერტილში.

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

დისკრეტული არხებისათვის გამტარუნარიანობა განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$C = -F_{\text{გ}} \sum_{i=1}^l p_i \text{Log}_2 p_i , \quad \text{ბიტი/წმ} , \quad (2.11)$$

სადაც: $F_{\text{გ}}$ დისკრეტულ სიგნალში მნიშვნელობათა გამეორების, ანუ ტაქტური სიხშირეა ($F_{\text{გ}} = 1/T_{\text{გ}}$); l – დისკრეტული სიგნალის დონეთა რაოდენობაა, ხოლო p_i – i -ური დონის მნიშვნელობათა ალბათობა.

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

$$C = F_{\text{გ}} \text{Log}_2 l , \quad \text{ბიტი/წმ} \quad (2.12)$$

კონკრეტულ შემთხვევაში, როდესაც ციფრული არხით გადაიცემა **0კმ** ციფრული სიგნალი (იხ. სურ.1.6 და სურ. 1.19ვ), მაშინ $l=2$. ამიტომ $C = F_{\text{გ}}$. თავის მხრივ კი, როგორც ცნობილია, ტაქტური სიხშირე რიცხობრივად ციფრული სიგნალის გადაცემის სიჩქარის ტოლია. ამიტომ ციფრული არხის გამტარუნარიანობა რიცხობრივად შესაბამისი ციფრული სიგნალის ტაქტური სიხშირისა და გადაცემის სიჩქარის ტოლია, ანუ $C = F_{\text{გ}} = B$. (ერთმანეთს შევადართო სიგნალისა და არხის პარამეტრების შესაბამისი გამოსახულებები).

უნდა აღინიშნოს, რომ სატელეკომუნიკაციო არხების ზემოთმოტანილი 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 სიგნალებს წარმოადგენენ: ტელეფონის (ტონალური სიხშირის – **ტს**), ხმოვანი მაუწყებლობის, ფაქსიმილური, ტელევიზიის, ტელეგრაფის, მონაცემების გადაცემის არხები. მათგან ტონალური სიხშირის (**ტს**) არხები მიჩნეულია ტელეკომუნიკაციის გადამცემი სისტემის ტევადობის ერთეულად და ისინი ძირითადად გამოიყენება ტელეფონის სიგნალების გადასაცემად. თუმცა მათი საშუალებით შეიძლება გადაიცეს ფაქსიმილური, ტელეგრაფის და მონაცემთა გადაცემის სიგნალები.

2.2. ტონალური სიხშირის სტანდარტული არხი

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 უნიფიცირებული, სტანდარტული არხების ნაკრებს.

სატელეკომუნიკაციო ტექნიკის განვითარების გარიჟრაჟზე საერთაშორისო და საქალაქთაშორისო არხებით, როგორც წესი, გადაიცემოდა მხოლოდ სატელეფონო შეტყობინებები. ამჟამადაც სატელეფონო კავშირი შეადგენს ტელეკომუნიკაციის ყველა სახეობის უმეტეს ნაწილს. ამიტომ ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სისტემებში ძირითად სტანდარტულ არხად მიჩნეულია არხი სიხშირეთა ეფექტურად

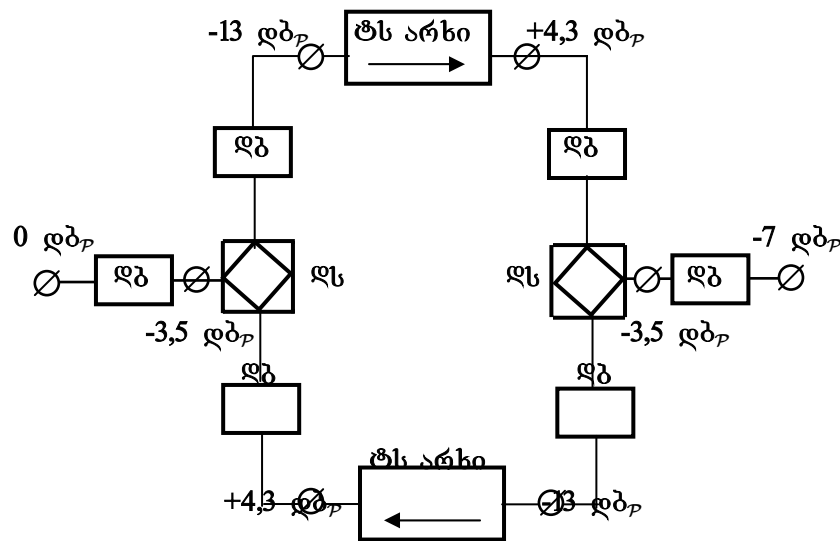
უმეტეს ნაწილს. ამიტომ ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სისტემებში ძირითად სტანდარტულ არხად მიჩნეულია არხი სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცემი ზოლით 300...3400 კც (0,3...3,4 კპც), რომელიც ტელეფონის სიგნალის სპექტრის შესაბამისია. ამ არხის მახასიათებლების ნორმირება ხდება ისეთნაირად, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელი იყოს გადაცემა ფაქსიმილური, ტელეგრაფისა და მონაცემთა გადაცემის სიგნალებისა, ანუ ყველა იმ სიგნალისა, რომელთა ინფორმაციის რაოდენობა **I** არ აღემატება არხის **C** გამტარუნარიანობას. ასეთი ტიპის არხს **ტონალური სიხშირის არხი (ტს არხი) ეწოდება.**

როგორც ცნობილია, **ტს** არხი ორმხრივია და იგი შეიცავს ორსადენიან დაბოლოებასა და ოთხსადენიან ტრაქტს. მათი შეთავსებისათვის კი აუცილებელია განმხოლოების მოწყობილობის **(დიფერენციალური სისტემის – დიფსისტემის (დს))** გამოყენება. ორგამტარიან დაბოლოებებში ჩართული **დამაგრძელებლები (სიგნალის მიღევის განმახორციელებელი მოწყობილობები)** უზრუნველყოფენ 3,5 დბ-ის ტოლ მიღევას და მათ **ტრანზიტული მოწყობილობები ეწოდება.** **ტს-ის** არხის მახასიათებლების ნორმირება ხდება **ITU-T-ის** რეკომენდაციების **M** სერიით.

განვიხილოთ **ტს-ის** არხის ძირითადი მახასიათებლები და პარამეტრები.

ტს-ის არხის სტანდარტულ წერტილებში სიმძლავრის **ნორმირებული (ნომინალური) გაზომვის დონეებია** (სურ. 2.4): არხის შესასვლელზე – 0 დბ, არხის გამოსასვლელზე – -3,5 დბ, ოთხგამტარიანი ტრაქტის შესასვლელზე – -13 დბ, ოთხგამტარიანი ტრაქტის გამოსასვლელზე – 4,3 დბ, ტრანზიტული დამაგრძელებლის შესასვლელზე – -3,5 დბ, და არხის გამოსასვლელზე – -7 დბ.

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

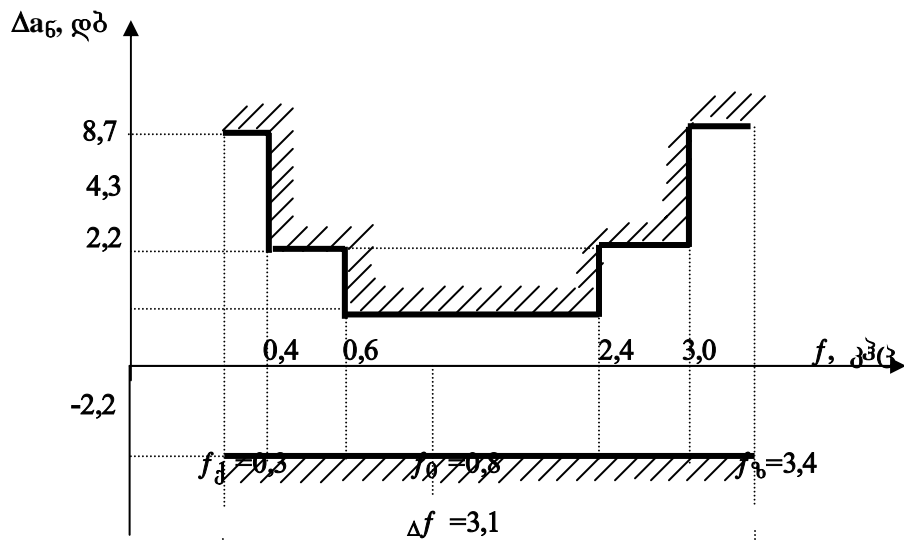


სურ. 2.4. ტს-ის არხის გაზომვის ნომინალური დონეები:
 დბ – დამაგრძელებელი; დს – დიფისიტემა

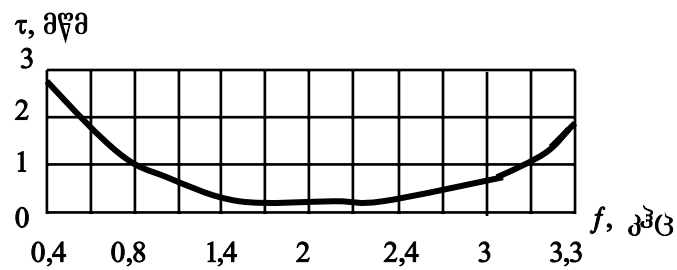
ტს-ის არხის ნარჩენი მილევა a_6 შეადგენს 7 დბ-ს. მისი გადახრა 0,95 ალბათობით არ უნდა აღემატებოდეს 2,2 დბ-ს.

ტს-ის არხის სიხშირეთა ეფექტურად გადასაცები ზოლი (სმზ) – ესაა ზოლი, რომლის განაპირა $f_j = 0,3$ კჰც და $f_k = 3,4$ კჰც სიხშირეებზე ნარჩენი მილევა a_6 7 დბ-ით (1 ნბ-ით) აღემატება a_6 -ის მნიშვნელობას $f_0 = 800$ ჰც სიხშირეზე. ტს-ის არხის ნარჩენი მილევის ნომინალურიდან (7 დბ) გადახრის (Δa_6) სიხშირული მახასიათებელი უნდა მოთავსდეს შაბლონის საზღვრებში (სურ. 2.5) ტრანზიტების მაქსიმალური რაოდენობის (12 კვლავგადაცემის უბნის) შემთხვევაში.

ხმოვანი (ბგერითი) სიგნალების გადაცემისას ფაზოსიხშირული დამახინჯებები არც თუ ისე არსებითია. მაგრამ ვინაიდან ტს-ის არხები აგრეთვე გამოიყენება ფაქსიმილური კავშირისა და მონაცემების გადაცემისათვის, ამიტომ მნიშვნელოვანი ფაზოსიხშირული დამახინჯებები ტს-ის არხებისთვისაც დაუშვებელია. ამიტომ ნორმირდება გადაცემის ჯგუფური τ დროის (ბჰდ) გადახრა 1900 ჰც სიხშირეზე 2500 კმ-იანი ერთი ტრანზიტული უბნისათვის (სურ. 2.6). როგორც წინა პარაგრაფში იყო აღნიშნული, τ -ს სხვანაირად დაყოვნების ჯგუფურ დროსაც უწოდებენ.



სურ. 2.5. ანალოგური ტს-ის არხის ნარჩენი მიღწევის გადახრის ნორმირების შაბლონი



სურ. 2.6. ტს-ის არხის გადაცემის ჯგუფური დროის გადახრები (მწმ)

ტს-ის არხის არაწრფივი დამახინჯებების კოეფიციენტი $k_{აგ}$ ერთ ტრანზიტულ უბანზე 800კჰც 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 მიღწევა ნულოვანი გაზომვის წერტილში უნდა იყოს მუდმივი 0,3დბ სიზუსტით 0,3...3,4 კჰც დიაპაზონის ნებისმიერ სიხშირეზე გაზომვის სიგნალის დონის $-17,5$ -დან $+3,5$ დბ-დე ცვლილებისას. გაზომვის სიგნალის დონის მომატებისას 8,7 და 20 დბ-დე ნარჩენი მიღწევა უნდა შემცირდეს არანაკლებ 1,75 და 7,8 დბ-ით შესაბამისად.

ტს-ის არხის გამოსასვლელზე ინფორმაციული სიგნალის გარდა არსებობს ხელშეშლები, რომლებიც მიმდებ ბოლოში განისაზღვრება

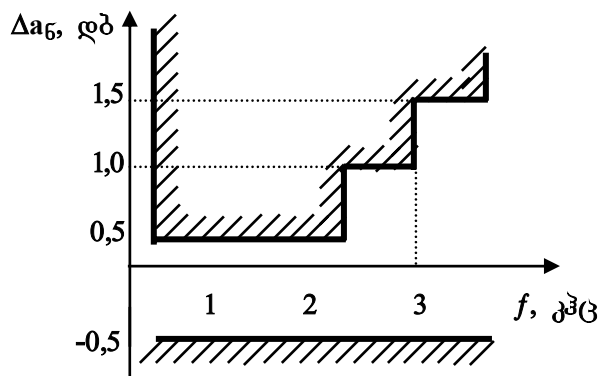
გაზომვის ნულოვანი დონის წერტილში. მაშინ შესაბამისი აუწონავი სიმძლავრე $P_{\Sigma}=87000$ პეტ-ს.

ტს-ის არხებისათვის ხდება აგრეთვე არხში სიგნალის საშუალო და პიკური (მაქსიმალური) სიმძლავრეების ნორმირება. ნულოვანი გაზომვის დონის წერტილში სიგნალის სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა შეადგენს 32 მკვტ-ს ($P_{\Sigma\text{აშ}}=32$ მკვტ), ხოლო მაქსიმალური – 2220 მკვტ-ს ($P_{\Sigma\text{პიკ}}=2220$ მკვტ). აღნიშნულიდან გამომდინარე და იმის გათვალისწინებით, რომ **ტს**-ის არხისათვის $\Delta f = f_{\Sigma} - f_{\text{ქ}} = 3400 - 300 = 3100$ ჰც, (2.10) გამოსახულების საფუძველზე შეიძლება შეფასდეს **ტს**-ის ანალოგური არხის გამტარუნარიანობა $C \approx 25 \times 10^3$ ბიტი/წმ.

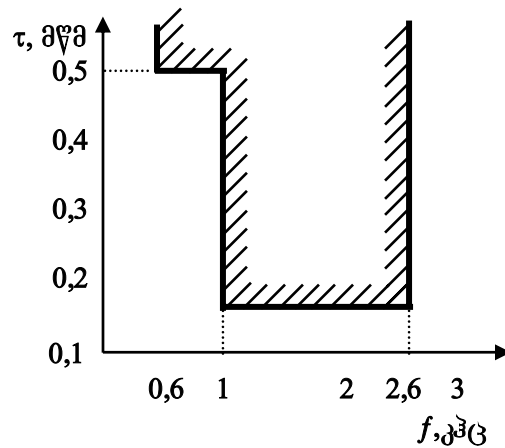
გადაცემის ციფრული და ოპტიკური სისტემებით ორგანიზებული **ტს**-ის სტანდარტული არხები უფრო მაღალხარისხიანია, ვიდრე მეტალის სადენიანი საკაბელო და რადიოკავშირის სისტემებით ორგანიზებული **ტს**-ის ანალოგური არხები. ამიტომ **ტს**-ის ციფრული არხების რიგ მახასიათებლებს გააჩნია შემდეგი განმასხვავებელი ნიშნები:

ტს-ის ციფრული არხებისათვის ამპლიტუდურ-სიხშირული დამახინჯებების ნორმები ITU-T-ის მიერ მოცემულია შაბლონის სახით (სურ. 2.7). თუ ერთმანეთს შევადარებთ ციფრული და ანალოგური **ტს**-ის არხების ნარჩენი მიღევების დასაშვებ გადახრებს (იხ. სურ. 2.5), მაშინ შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ციფრული არხებისათვის ნორმები უფრო მკაცრია. იგივე შეიძლება ითქვას ფაზოსიხშირული დამახინჯებების შესახებაც (სურ. 2.8).

ციფრული **ტს**-ის არხებისათვის შემოაქვთ დამატებითი მახასიათებელი, რომელიც აფასებს დაკვანტვის ხმაურებს. იგი წარმოადგენს სიგნალი/ (დაკვანტვის ხმაური) ფარდობის (სხშ) სიგნალის დონეზე დამოკიდებულებას (სურ. 2.9).



სურ. 2.7. ციფრული ტს-ს არხის ნარჩენი მილევის გადახრების შაბლონი



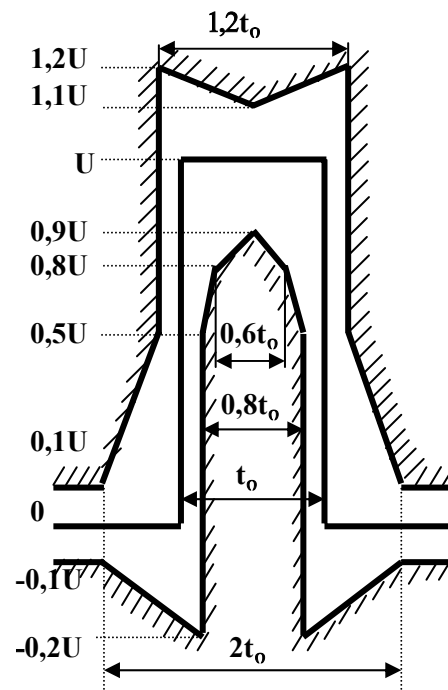
სურ. 2.8. ციფრული ტს-ს არხის ბჟღ-ს დასაშვები არათანაბრობის შაბლონი



სურ. 2.9. სიგნალი/(დაკეანტვის ხმაური) ფარდობის (სსშ) სიგნალის დონეზე დამოკიდებულება

გარდა აღნიშნულისა, 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 2.10 სურათზე, სადაც t_0 – იმპულსის ნომინალური ხანგრძლივობაა, ხოლო U – მისი ნომინალური ამპლიტუდა.

შევაფასოთ ტს-ის ციფრული არხის (ციფრული სატელეფონო არხის) გამტარუნარიანობა C . როგორც 1.5.7 პარაგრაფშია ნაჩვენები, ტელეფონის ციფრული სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა $I=64$ კბიტი/წმ. ციფრული სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობა I და შესაბამისი არხის გამტარუნარიანობა C ფასდება იდენტური



სურ. 2.10. შაბლონი, რომელშიც უნდა მოთავსდეს ციფრული სიგნალის იმპულსი

გამოსახულებებით, რაც ჩანს 1.12 და 2.12 გამოსახულებების ურთიერთშედარების შედეგად. მაშასადამე, $C=I=64$ კბიტი/წმ. შევნიშნოთ, რომ ციფრული სისტემების იერარქიაში ასეთ არსს ძირითად ციფრულ არსს, ხოლო შესაბამის ნაკადს – ძირითად ციფრულ ნაკადს უწოდებენ.

2.3. ფართობოლოვანი სტანდარტული არხები

ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე აპარატურებში, გარდა ტს-ის არხებისა, გათვალისწინებულია ტს-ის არხებთან შედარებით უფრო მაღალი გამტარუნარიანობის მქონე არხების, ანუ ფართობოლოვანი (ჯგუფური) არხების შექმნა, რომლებიც ყალიბდება N რაოდენობის ტს არხების გაერთიანებით (ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ისეთი მრავალარხიანი სისტემისა და შესაბამისი აპარატურის აგებასთან, რომელიც აერთიანებს N ტს-ის არხს). უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც ანალოგურ, ასევე ციფრულ მრავალარხიან სისტემებში გასაერთიანებელი ტს 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 ტს-ის 1920 და 3600 არხის გაერთიანება, რის შედეგადაც ასეთი ფართოხოლოვანი არხებით შესაძლებელი ხდება მაუწყებლობისა და ტელევიზიის სიგნალების გადაცემაც კი. საერთოევროპული სტანდარტის ციფრული მრავალარხიანი სისტემებისათვის $-N=1$ (ძირითადი ციფრული არხი), 30 (პირველადი ციფრული არხი); 120 (მეორეული ციფრული არხი); 480 (მესამეული ციფრული არხი); 1920 (მეოთხეული ციფრული არხი) და ა.შ. დიდი გამტარუნარიანობის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზების გამოყენების შემთხვევაში ამჟამად შესაძლებელი გახდა უფრო მძლავრი (STM-1, STM-4, STM-16 და STM-64) ციფრული ნაკადების გადაცემა.

2.1 ცხრილში წარმოდგენილია ფართოხოლოვანი ანალოგური სტანდარტული არხების ელექტრული მახასიათებლები.

ცხრილი 2.1

პარამეტრი	არხი			
	წინასწარ- ჯგუფური	პირველადი	მეორეული	მესამეული
ეფექტურად გადასაცემი სისწორული ზოლი, კპც	12,3...23,4	60,6...107,7	312,3...551,4	812,3...2043,7
შესასვლელი და გამოსასვლელი წინაღობები, ომი	600	150	75	75
სიგნალის გაზომვის ნომინალური დონე შესასვლელი/გამოსასვლელი, დბ _ა	-36/-14	-36/-23	-36/-23	-36/-23
ნარჩენი მიღევა, დბ	-22	-13	-13	-13
ნარჩენი მიღევის სისწორული მახასიათებლის დასაშვები არათანაბრობა	±0,87	±0,87	±0,87	±0,5
ბჰდ-ის დასაშვები გადახრები (მონოტონური შემდგენის მიხედვით), მკვმ	40 (13...23 კპც)	10 (65...103 კპც)	5 (330...530 კპც)	0,25 (900...1900 კპც)
სიგნალის საშუალო სიმძლავრე წერტილში ნულოვანი გაზომვის დონით, მკვტ	96	348	1920	9600
აუწონავი ხელშემღების დასაშვები სიმძლავრე 25000 კმ სიგრძის მაგისტრალის წერტილში ნულოვანი გაზომვის დონით, მკვტ	0,8	3,16	16	80
გამტარუნარიანობა 25000 კმ სიგრძის მაგისტრალზე, კბიტი/წმ	82	330	1650	8500

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 (პცი)** საერთოევროპული სტანდარტის პირველადი, მეორეული, მესამეული და მეოთხეული საფეხურებისათვის წარმოდგენილია 2.2 ცხრილში.

ცხრილი 2.2

პარამეტრი	არხი			
	პირველადი	მეორეული	მესამეული	მეოთხეული
გადაცემის სიხარე 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	$\pm 2,37$	± 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.

ამჟამად უკვე დანერგილი თანამედროვე ტექნოლოგია (**სცი – სინქრონული ციფრული იერარქია**) და ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზების შეუდარებლად მაღალი გამტარუნარიანობა იძლევა გაცილებით მძლავრი ციფრული ნაკადების ფორმირებისა და გადაცემის

საშუალებას. სცო-ის საფეხურების (დონეების) შესაბამისი ციფრული ნაკადების სიჩქარეები და მოდულების დასახელება წარმოდგენილია 2.3 ცხრილში.

ცხრილი 2.3

დონე	მოდული	გადაცემის სიჩქარე
1	STM-1	155,520 მგბიტი/წმ
2	STM-4	622,080 მგბიტი/წმ
3	STM-16	2488,320 მგბიტი/წმ
4	STM-64	9953,280 მგბიტი/წმ

2.4. ტელეკომუნიკაციის სიბნალებისა და არხების მახასიათებლების შიშვითი სიხშირე

შეგადართო ერთმანეთს პირველადი სიბნალებისა და შესაბამისი არხების მახასიათებლები. ამისათვის სიბნალების ძირითადი პარამეტრები თავმოყრილად წარმოვადგინოთ ცხრილის სახით (ცხრილი 2.4).

ცხრილი 2.4

სიბნალის სახეობა	$f_{\text{კ}}$ კჰც	$f_{\text{ბ}}$ კჰც	D , დბ	$A_{\text{დ}}$, დბ	I , ბიტი/წმ
ტელეფონის ანალოგური სიბნალი	0,3	3,4	40	21	8×10^3
მაუწყებლობის ანალოგური სიბნალი	0,05	10	65	48	180×10^3
ფაქსიმილური სიბნალი 120 სტრიქონი/წმ-ით გადაცემის სიჩქარის დროს:					
ნახევარტონური	0	1,465	24	35	$11,7 \times 10^3$
შტრიხული	0	1,465	-	35	$2,93 \times 10^3$
გაზეთის გვერდების გადაცემა	0	180	-	35	360×10^3
ტელევიზიის სიბნალი	0	6000	40	57	80×10^6
მონაცემთა გადაცემა	0	$0,5F_{\text{ტ}}$	-	20	$F_{\text{ტ}}$

2.4 ცხრილში $A_{\text{დ}}$ წარმოადგენს სიბნალის დონის ხელშეშლების დონისაგან გადაჭარბების სიდიდეს (ხელშეშლებისაგან დაცულობას), რომლის დროსაც უზრუნველყოფილია კავშირის საჭირო ხარისხი. ცხრილში ტელეფონისა და მაუწყებლობის სიბნალებისათვის $A_{\text{დ}}$ -ს მნიშვნელობა შეესაბამება ხელშეშლების ფსოფომეტრულ (აწონილ) დონეს, ხოლო ფაქსიმილური და ტელევიზიის სიბნალებისათვის – აუწონავ დონეს. მონაცემების გადაცემის ორობითი (ციფრული) სიბნალისათვის $A_{\text{დ}}$ შეესაბამება ხელშეშლების ალბათობას $p_{\text{ტ}}=10^{-6}$. გაზეთის გვერდების გადაცემის სიბნალის მონაცემები კი შეესაბამება ერთი გვერდის დაახლოებით 3 წთ-ის განმავლობაში გადაცემას.

2.4 ცხრილში მოტანილი მონაცემების შეპირისპირება შესაბამისი სტანდარტული (უნიფიცირებული) არხების მახასიათებლებთან რიგი მნიშვნელოვანი დასკვნების გაკეთების საშუალებას.

ტს-ის არხი შეიძლება გამოყენებული იყოს ტელეფონის, ფაქსიმილური და მონაცემთა გადაცემის სიგნალების გადასაცემად. ტელეფონის სიგნალების გადაცემისას გამოიყენება დაახლოებით 30% **ტს**-ის არხის გამტარუნარიანობისა ($I=8000$ ბიტი/წმ, $C=25000$ ბიტი/წმ). ეს გარემოება იძლევა **ტს**-ის არხის გამტარუნარიანობის ეფექტურად გამოყენების საშუალებას, ვინაიდან ლაპარაკის სიგნალების პაუზებში შეიძლება დამატებით გადაიცეს მონაცემთა ან ფაქსიმილური სიგნალები. ამ შემთხვევაში **ტს**-ის არხი ლაპარაკის გადაცემისათვის გამოიყენება მხოლოდ დროის იმ შუალედებში, როდესაც მის შესასვლელზე არსებობს ლაპარაკის სიგნალი, ანუ ლაპარაკის (ბგერითი) სიგნალის აქტივობის შუალედებში. დანარჩენ დროს **ტს**-ის არხით ხორციელდება მონაცემთა ან ფაქსიმილური სიგნალის გადაცემა.

გარდა ამისა, უნდა აღინიშნოს, რომ ტელეფონის სიგნალი გამოირჩევა მნიშვნელოვანი სიჭარბით, რომლის მოცილება იძლევა **ტს**-ის ერთი არხით რამდენიმე სატელეფონო შეტყობინების გადაცემის შესაძლებლობას. ამ მიზნით გამოიყენება ე.წ. ვოკოდერები (სიტყვიდან **voice coder – ხმის კოდერი**), რომლებიც გადამცემში ანალიზებენ ლაპარაკის პირველად სიგნალებს, მათგან გამოყოფენ მონაცემებს ლაპარაკის ძირითადი პარამეტრების შესახებ, რითაც ამცირებენ სიგნალში არსებულ სიჭარბეს (ანუ ახდენენ სიგნალის ეფექტურ კოდირებას), ხოლო მიმღებში ახდენენ ლაპარაკის სიგნალის სინთეზირებას (აღდგენას). ლაპარაკის სიგნალის აღნიშნული ძირითადი პარამეტრებია ძირითადი ტონის სიხშირე და აბონენტის სალაპარაკო ტრაქტის მახასიათებლები. ძირითადი ტონის სიხშირე იცვლება მდორედ და ისეთი სიხშირით, რომელიც არ აღემატება 10 ჰც-ს. შესაბამისად, სიგნალები, რომლებსაც გადააქვთ ინფორმაცია ამ ცვლილებების შესახებ, ანუ ე.წ. **სიგნალ-პარამეტრები** ვიწროხოლოვანია. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ სიგნალ-პარამეტრების სპექტრის სიგანე 25...30 ჰც-ია, ხოლო მიმღებში

აღდგენისათვის მათი რიცხვი არ უნდა აღემატებოდეს 10...15-ს. ამრიგად, ყველა სიგნალ-პარამეტრის გადასაცემად უნდა გადაიცეს 10-დე სატელეფონო შეტყობინება. ასეთი ტიპის **პარამეტრულს** უწოდებენ. სიჭარბის შემცირების თვალსაზრისით უფრო მეტი ეფექტურობით გამოირჩევა ე.წ. **ფონემური ვოკოდერები**, რომელთა მოქმედების პრინციპი იმაში მდგომარეობს, რომ გადამცემ მოწყობილობაში ლაპარაკის პირველადი სიგნალის ანალიზის შედეგად ხდება **ფონემების** ამოცნობა. თითოეულ ფონემს შეუსაბამებენ რომელიმე კოდურ სიგნალს, რომელიც გადაიცემა სატელეკომუნიკაციო არხით. მიმღებ მოწყობილობაში მიღებული კოდური სიგნალების საშუალებით კი ხდება ფონემების სინთეზირება. ფონემების რაოდენობა სხვადასხვა სიგნალებისათვის სხვადასხვაა, მაგრამ იგი არ აღემატება 60-ს. ამიტომ მათი კოდირებისათვის საკმარისია ექვსთანრიგა ორობითი კოდი. ვინაიდან ფონემების წარმოთქმის სიხშირე არ აღემატება 10 ჰც-ს, ამიტომ ფონემური ვოკოდერის კოდური სიგნალის გადაცემის სიჩქარე იქნება არაუმეტეს 60 ბიტი/წმ-სა.

ფაქსიმილური სიგნალების (განსაკუთრებით შტრიხული გამოსახულებების) გადაცემის დროსაც გამოიყენება არხის გამტარუნარიანობის დაახლოებით 10%. ამასთან დაკავშირებით წარმოიქმნება შტრიხული გამოსახულებების გადაცემის სიჩქარის მნიშვნელოვანი გაზრდის პრობლემა. თუმცა მხედველობაშია მისაღების გარემოება, რომ გამოსახულების განშლის სიჩქარის გაზრდისას იზრდება სიგნალის ენერგეტიკული სპექტრის ზედა ზღვრული სიხშირე (სურათის სიხშირე). ეს გარემოება იწვევს სერიოზულ ტექნიკურ სიძნელეებს სიგნალის სპექტრის **ტს**-ის არხის ეფექტურად გადასაცემ სიხშირულ ზოლთან შეთანხმებისას. გარდა ამისა, ფაქსიმილური კავშირის შემთხვევაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს არხის ფაზური დამახინჯებები, რომელიც ზღუდავს გადაცემის სიჩქარეს. ამის შედეგია არხის **დაყოვნების ჯგუფური τ დროის (ღჟღ)** სიხშირული მახასიათებლის კორექციის აუცილებლობა.

პირველადი ციფრული შეტყობინებების (მონაცემთა გადაცემა, სატელეგრაფო კავშირი) შემთხვევაში გადაცემის შესაძლო სიჩქარე იზღუდება არხის გამტარუნარიანობით. ამასთანავე გადაცემის მაღალი

(10...15 კბიტი/წმ-ის რიგის) სიჩქარეების მიღწევა დაკავშირებულია რიგ სერიოზულ ტექნიკურ სიძნელეებთან. მოცემულ შემთხვევაში, ისევე როგორც ფაქსიმილური კავშირისას, აუცილებელია არხის წრფივი (ფაზო-სიხშირული და ამპლიტუდურ-სიხშირული) დამახინჯებების კორექცია მაღალი სიზუსტით და სიგნალის გარდაქმნის სპეციალური მოწყობილობების დამუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფს სიგნალის სპექტრის არხის ეფექტურად გადასაცემ სიხშირეთა ზოლთან შეთანხმებას, ნარჩენი მიღწევის კომპენსაციასა და სიგნალის სიხშირის ცვლილებას.

ფართოზოლოვანი არხები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ციფრული შეტყობინებების მაღალი სიჩქარით გადაცემისათვის. თუმცა არხი გამტარუნარიანობის შესადარი სიჩქარეების მიღწევა მოითხოვს რიგი ისეთი ამოცანების გადაწყვეტას, რომლებიც ანალოგიურია ზემოთჩამოთვლილი ამოცანებისა.

გაზეთის გვერდების გადაცემის სიგნალები გადაიცემა მეორეული ფართოზოლოვანი არხებით. ერთი გვერდის გადაცემის ხანგრძლივობა დაახლოებით 3 წთ-ია. მეორეული არხის გამტარუნარიანობისა (1650 კბიტი/წმ) და სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობის (360 კბიტი/წმ) შედარება გვიჩვენებს, რომ ამ შემთხვევაშიც არსებობს გადაცემის სიჩქარის ამაღლების შესაძლებლობები. სიჭარბის შემცირება და სიგნალის ოპტიმალური კოდირება იძლევა გაზეთის გვერდების პირველადი ფართოზოლოვანი არხებით გადაცემის საშუალებას სიჩქარის შეუმცირებლად.

წინასწარჯგუფური არხისეფექტურად გადასაცემი სიხშირული ზოლი (11,1 კჰც) საკმარისია მაუწყებლობის სიგნალების გადაცემისათვის. თუმცა წინასწარჯგუფური არხის გამტარუნარიანობა (82 კბიტი/წმ) გაცილებით ნაკლებია მაუწყებლობის სიგნალის ინფორმაციის რაოდენობაზე (180 კბიტი/წმ). სიგნალის ფიქსირებული სიხშირული ზოლისა და საშუალო სიმძლავრის შემთხვევაში არხის გამტარუნარიანობა შეიძლება გაიზარდოს მხოლოდ ხელშეშლების სიმძლავრის შემცირების ხარჯზე. აქედან გამომდინარე, მაუწყებლობის პროგრამების გადაცემისათვის განკუთვნილი არხში უნდა ჩაირთოს ხელშეშლების შემამცირებელი მოწყობილობები. მხედველობაშია

აგრეთვე მისაღები ის გარემოებაც, რომ მაუწყებლობის სიგნალის საშუალო სიმძლავრე (923 მკვტ) მნიშვნელოვნად აღემატება წინასწარჯგუფური არხის საშუალო დასაშვებ სიმძლავრეს (95 მკვტ). ყოველივე აღნიშნულის გათვალისწინებით ვასკენით, რომ მაუწყებლობის სიგნალების გადასაცემად საჭიროა სპეციალური არხი.

ტელევიზიის სიგნალის სისწორეთა ზოლი და ინფორმაციის რაოდენობა (ინფორმაციული შემცველობა) მნიშვნელოვნად აღემატება მესამეული ფართოზოლოვანი უნიფიცირებული არხის შესაბამის პარამეტრებს. ამიტომ ტელევიზიის სიგნალების გადაცემისათვის აუცილებელია სპეციალური სატელევიზიო არხი.

უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც მაუწყებლობის, ასევე გამოსახულებათა (კერძოდ, ტელევიზიის) სიგნალებისათვის დამახასიათებელია მნიშვნელოვანი სიჭარბე, რომელთა შემცირებისათვის (იდეალურ შემთხვევაში – მოცილებისათვის) შეიძლება გამოყენებული იქნას ამჟამად უკვე დამუშავებული და დამუშავების სტადიაში არსებული მთელი რიგი მეთოდებისა, რომლებიც იძლევა დაბალი იერარქიის არსებითაც კი მათი ხარისხიანი გადაცემის საშუალებას.

3. ტელეკომუნიკაციის ხაზები

3.1. ტელეკომუნიკაციის საკაბელო და საჰაერო ხაზები მეტალის გამტარების საფუძველზე

როგორც 1.2 პარაგრაფიდან ჩანს, 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; ფართოზოლოვნება და სხვადასხვა სახის შეტყობინების გადაცემისათვის მათი გამოყენების შესაძლებლობა; წრედების დაცულობა ურთიერთგავლენებისაგან, გარეშე ხელშეშლებისაგან და ფიზიკური ზემოქმედებისაგან (ატმოსფერული მოვლენები, კოროზია და სხვა); ხაზების პარამეტრების სტაბილურობა, კავშირის მდგრადობა და საიმედოობა; ტელეკომუნიკაციის სისტემის ეკონომიურობა.

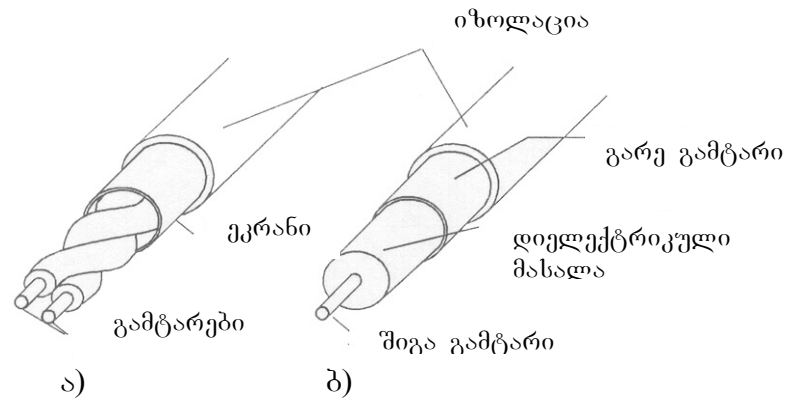
ტერმინების "სადენი", "კაბელი" და "ტელეკომუნიკაციის (კავშირის) ხაზი" გამოყენებისას ხშირად ურთიერთაღრევას აქვს ადგილი.

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 (ელვაგანმმუსტველები, დამცველები და სხვა), აგრეთვე გაძლიერების და რეგენერაციის პუნქტებით.

განვიხილოთ ტელეკომუნიკაციის სადენიანი ხაზები. უმარტივეს შემთხვევაში სადენიანი ხაზი არის ფიზიკური წრედი, რომელიც მეტალის ორი გამტარის წყვილისაგან იქმნება. კონსტრუქციისა და გამტარების ურთიერთგანლაგების თვალსაზრისით არჩევენ სიმეტრიულ და კოაქსიალურ სადენებსა და სატელეკომუნიკაციო (ელექტროკავშირის) კაბელებს (სურ. 3.1).



სურ. 3.1. სიმეტრიული (ა) და კოაქსიალური (ბ) სადენების ტიპური სახეები

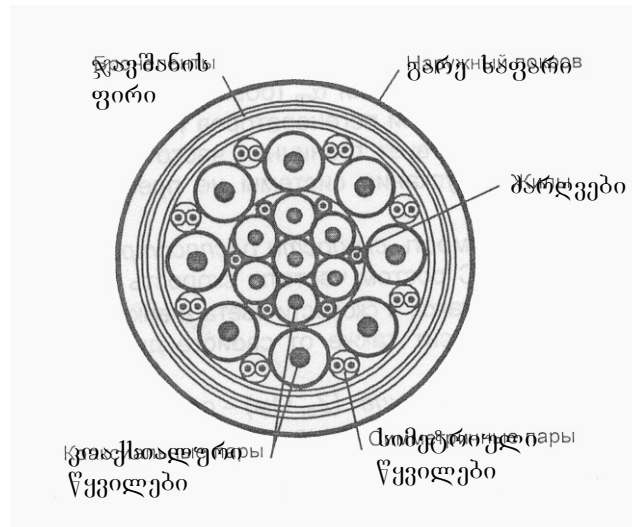
სიმეტრიული სადენი შედგება ელექტრული და კონსტრუქციული თვალსაზრისით ორი აბსოლუტურად ერთნაირი იზოლირებული გამტარისაგან. უცხოურ წყაროებში მას ხშირად "ხვეულ (დაწნულ) წყვილს" (**Twisted Pair – TP**) უწოდებენ. განასხვავებენ ეკრანირებულ (**shielded**) და არაეკრანირებულ (**unshielded**) სიმეტრიულ სადენებს.

კოაქსიალური (ინგლისური სიტყვიდან **co-axial** – თანადერძული) სადენი წარმოადგენს ორ ცილინდრს შეთავსებული დერძით, თანაც ერთი ცილინდრი – მთლიანი შიგა გამტარი – კონცენტრულადაა მოთავსებული მეორე დრუ 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.

3.2 სურათზე ნაჩვენებია მაგისტრალური ქსელისათვის განკუთვნილი საბჭოთა წარმოების **КМБ-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.



სურ. 3.2. **KMB-8/7** კაბელის კონსტრუქცია

ტელეკომუნიკაციის საჰაერო ხაზებს მაიზოლირებული 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. საჰაერო ხაზებში გამოყენებული სიხშირული დიაპაზონი არ აღემატება 150 კჰც-ს.

ელექტრული კაბელების კლასიფიკაცია ძირითადად ხორციელდება შემდეგი ნიშნების მიხედვით: კონსტრუქცია (სიმეტრიული და კოაქსიალური – იხ. სურ. 3.1); 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 (საჰაერო, 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. ელექტრული კაბელების მარკირება და მათი ძირითადი ტიპების დახასიათება იხილით ლიტერატურაში [6].

კაბელების გადაცემის პარამეტრების დახასიათებლად მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ის გარემოება, რომ კაბელებში ელექტრომაგნიტური ენერჯიის გადაცემა ხასიათდება ხაზის გასწვრივ ენერჯიის გადაცემითა და საკაბელო წრედებს შორის ენერჯიის ურთიერთგადასვლით. ხაზის გასწვრივ ენერჯიის გადაცემას ახასიათებენ გადაცემის პირველადი და მეორეული პარამეტრებით, ხოლო საკაბელო წრედებს შორის ენერჯიის ურთიერთგადასვლას – გაველენის პირველადი და მეორეული პარამეტრებით.

გადაცემის პირველადი პარამეტრებია: აქტიური წინაღობა R ; სრული ინდუქტივობა L , რომელიც წარმოადგენს კაბელის გამტარების შიგა $L_{\text{შ}}$ და გამტართშორის $L_{\text{გ}}$ ინდუქტივობების ჯამს; გამტართშორისი ტევადობა C ; იზოლაციის გამტარობა G , რომელიც ახასიათებს ენერჯიის დანაკარგებს წრედის საიზოლაციო მასალებში.

გადაცემის მეორეული პარამეტრებია: ტალღური წინაღობა $Z_{\text{გ}}$; ელექტრომაგნიტური ენერჯიის მიღევის α , ფაზის β და გავრცელების γ კოეფიციენტები და ელექტრომაგნიტური ენერჯიის გავრცელების სიჩქარე V .

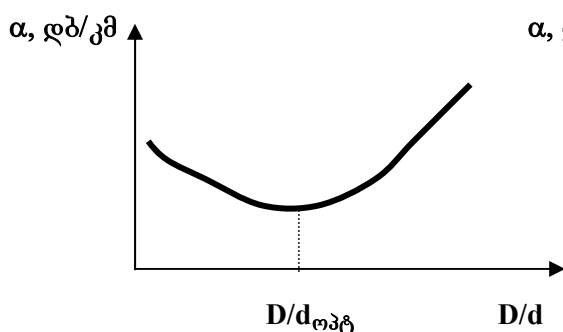
გადაცემის პირველადი და მეორეული პარამეტრების ანალიზი და მათი გაანგარიშების მეთოდთა წარმოდგენილია ლიტერატურაში [6].

გარდა აღნიშნულ ლიტერატურაში წარმოდგენილი მასალისა უნდა აღინიშნოს შემდეგი: მიღევის კოეფიციენტი (α , დბ/კმ) დამოკიდებულია გამტარებისა და საიზოლაციო მასალების თვისებებზე. საუკეთესო თვისებები (მცირე წინაღობა) გააჩნია სპილენძსა და ვერცხლს.

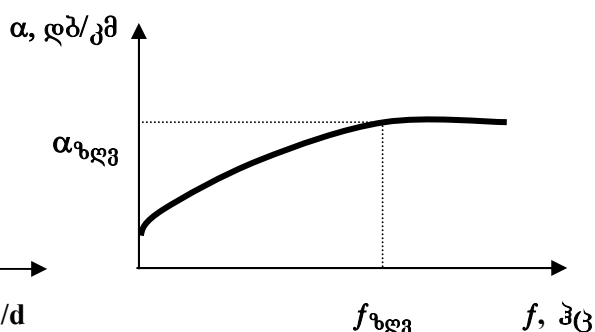
მიღევის კოეფიციენტი დამოკიდებულია აგრეთვე გამტარების გეომეტრიულ ზომებზე. დიდი დიამეტრის მქონე სიმეტრიულ კაბელებს გააჩნია მცირე მიღევის კოეფიციენტი. კოაქსიალური კაბელების მიღევის კოეფიციენტი დამოკიდებულია გარე და შიგა გამტარების დიამეტრების თანაფარდობაზე (სურ.3.3). სხვადასხვა გარე მასალისათვის ოპტიმალური თანაფარდობებია: სპილენძისათვის – 3,6; ალუმინისათვის – 3,9; ტყვიისათვის – 5,2.

ძალზე მნიშვნელოვან მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს გადამცემი სატელეკომუნიკაციო სისტემის ფართოხოლოვანებას, წარმოადგენს მიღევის კოეფიციენტის სიხშირეზე დამოკიდებულება (სურ.3.4). თუ განსაზღვრულია ზღვრული მიღევის კოეფიციენტი $\alpha_{ზღვ}$ (ჩვეულებრივ იგი განისაზღვრება მაძლიერებლების ან რეგენერატორების შესაძლებლობებით), მაშინ მოცემულ კოეფიციენტს შეესაბამება სისტემის გატარების ზღვრული სიხშირე $f_{ზღვ}$. სისტემის გატარების ზოლი არ აღემატება გატარების ზღვრულ სიხშირეს.

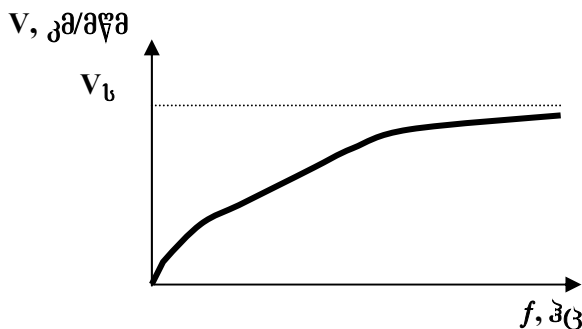
გავრცელების დროის (V , კმ/მწმ) სიხშირული დამოკიდებულება ნაჩვენებია 3.5 სურათზე. სიხშირის ზრდასთან ერთად გავრცელების დრო იზრდება და უახლოვდება ვაკუუმში სინათლის გავრცელების სიჩქარეს $V_{\approx 300}$ კმ/მწმ. ეს პარამეტრი დამოკიდებულია აგრეთვე კაბელში გამოყენებულ დიელექტრიკზე.



სურ. 3.3. კოაქსიალური კაბელის მიღევის კოეფიციენტის დამოკიდებულება გამტარების დიამეტრების ფარდობაზე



სურ. 3.4. მეტალის კაბელის მიღევის კოეფიციენტის სიხშირული დამოკიდებულება



სურ. 3.5. ელექტრომაგნიტური ტალღის გავრცელების სიჩქარის სისწორული დამოკიდებულება

ტალღური წინაღობა (Z_0 , ომი) – წინააღობაა, 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 წინააღობა დამოკიდებულია კაბელის ტევადობისა და ინდუქტივობის ხვედრით მნიშვნელობებზე. კოაქსიალური კაბელებისათვის ტალღური წინააღობა

$$Z_y = (Z \ln (D/d))/2\pi, \tag{3.1}$$

სადაც Z – დიელექტრიკის ტალღური წინააღობაა, 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 სისწირეთა 10 მჰც-დე ზოლში. კოაქსიალური კაბელების ძირითადი პარამეტრები წარმოდგენილია 3.1 ცხრილში.

ცხრილი 3.1

კაბელის ტიპი	გამტარის დიამეტრი მმ	ITU-T-ს რეკომენდაცია	სისწირეთა სამუშაო ზოლი მჰც
მინი-პპ	0,7/2,9	G.621	0,2...20
მცირეგაბარითული პპ	1,2/4,4	G.622	0,06...70
ნორმალიზებული პპ	2,6/9,5	G.623	0.06...300

3.2. ელექტრომაგნიტური თავსებადობის პრობლემა

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

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

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

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 საზღვი, რადიოსადგურები, რკინიგზის ელექტროფიციტირებული საზღვი, სამრეწველო საწარმოების ელექტრული ქსელები და ცალკეული ენერგოტევადი მოწყობილობები.

გარეშე ელექტრომაგნიტური ველები ტელეკომუნიკაციის საზღვებში ინდუქციით წარმოშობენ ხელშეშლებს, რომლებიც არა მარტო ამცირებენ კავშირის ხარისხს, არამედ ზოგჯერ ალაგზნებენ დიდ ძაბვასა და დენს, რომლებიც იწვევს ტელეკომუნიკაციის საზღვისა და აპარატურის რღვევას (დაშლას). აღნიშნულ ზემოქმედებებს ტელეკომუნიკაციის საზღვის წრედზე ელექტრომაგნიტურ ზემოქმედებებს ან უბრალოდ ზემოქმედებებს 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 ზემოქმედებისაგან;

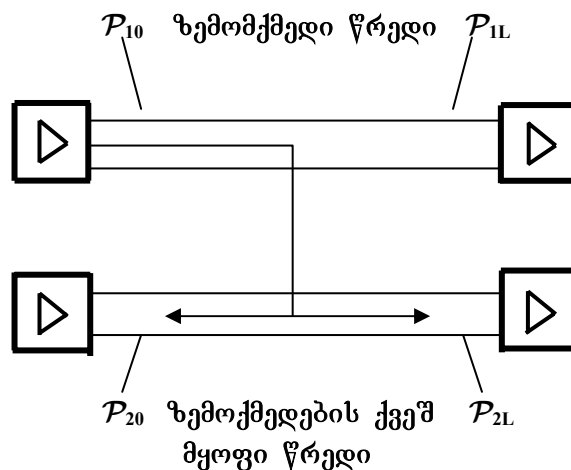
2. დასაპროექტებელი მოწყობილობებისა და სისტემების მიერ წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური ველების სხვა სისტემებსა და მოწყობილობებზე გავლენის დონეები შეიზღუდოს დასაშვები მნიშვნელობებით.

გავლენის პირველადი პარამეტრები განისაზღვრება წრედებს შორის ელექტრული (K_{12}) და მაგნიტური (M_{12}) კავშირებით, რომელთა ფიზიკური არსი განხილულია ლიტერატურაში და რომლებიც შესაბამისად გამოისახება წინააღობისა (ომი) და გამტარობის (სმ – სიმენსი) ერთეულებში [6].

ურთიერთზემოქმედებების დონის რაოდენობრივი შეფასებისას ჩვეულებრივ განიხილავენ ორ – **ზემომქმედ და ზემოქმედების ქვეშე მყოფ წრედს**. პირველი მათგანი ელექტრომაგნიტური ველის შემქმნელი წრედი, ხოლო მეორე – წრედი, რომელშიც ინდუცირდება ხელშეშლები (სურ. 3.6). **ხაზის ახლო ბოლოს** უწოდებენ მას, რომელზედაც მიერთებულია გენერატორი, ხოლო **შორეულ ბოლოს** – მას, რომელზედაც მიერთებულია წრედის დატვირთვა. შესაბამისად განიხილება წრედებში სიგნალების სიმძლავრეები: P_{10} – ზემომქმედი წრედის ახლო ბოლოზე; P_{1L} – ზემომქმედი წრედის შორეულ ბოლოზე; P_{20} – ზემოქმედების ქვეშე მყოფი წრედის ახლო ბოლოზე; P_{2L} – ზემოქმედების ქვეშე მყოფი წრედის შორეულ ბოლოზე.

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

$$A_0 = 10 \text{ Lg}(P_{10}/P_{20}) \quad \text{და} \quad A_L = 10 \text{ Lg}(P_{1L}/P_{2L}). \quad (3.2)$$



სურ. 3.6. წრედების ურთიერთგავლენის ილუსტრაცია

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

$$A_{\text{დაც.}} = P_{\text{ს}} - P_{\text{ს}}. \quad (3.3)$$

გარდამავალი მიღება ხაზის ახლო ბოლოზე A_0 , გარდამავალი მიღება ხაზის შორეულ ბოლოზე A_L და გარდამავალი ხელშეშლებისაგან დაცულობა $A_{\text{დაც.}}$ წარმოადგენს გაგლენის მეორეულ პარამეტრებს.

გაგლენის პირველადი და მეორეული პარამეტრების ანალიზი, მათი გაანგარიშების მეთოდობა და აგრეთვე ურთიერთ და გარეშე გაგლენებისაგან საკაბელო ხაზების დაცვის ღონისძიებები წარმოდგენილია ლიტერატურაში [6].

მეტალის სადენიანი მიმმართველი სისტემებით ციფრული სიგნალების გადაცემისას საჭირო ხდება ორობითი 0კმ სიგნალიდან სამობითი სიგნალების (სახაზო კოდების) ფორმირება, რაც განპირობებულია ხაზების კონსტრუირებისა და მშენებლობის თავისებურებებით სხვა მიმმართველ სისტემებთან შედარებით. ეს საკითხები განხილული იქნება ტელეკომუნიკაციის სისტემების კურსის შემდეგ ნაწილში.

3.3. ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები

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

ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები (**ტბონ**) 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, სიიაფე, რომელიც განპირობებულია კონსტრუქციაში ფერადი მეტალების არარსებობით.

რა თქმა უნდა, **ტბონს**-ს გააჩნია რიგი ნაკლოვანებებისა, კერძოდ:

1. ტელეკომუნიკაციის ხაზების შექმნისას საჭიროა მაღალი იმედიანობის აქტიური ელემენტები, რომლებიც ელექტრულ სიგნალს გარდაქმნის ოპტიკურში და პირიქით და აგრეთვე მცირე მილევის უზრუნველყოფი 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 ძვირადღირებული პრეციზიული ტექნოლოგიური დანადგარი;

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

მიუხედავად ამისა, **ტბონ**-ის 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 შეღწევადობის მქონე გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარე

$$v = v_0 / \sqrt{\epsilon\mu} . \quad (3.4)$$

უმარტივეს შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ტალღა აღიწერება გამოსახულებით:

$$U = U_0 \sin(\omega t - \varphi), \quad (3.5)$$

სადაც: U_0 ტალღის ამპლიტუდაა; ω კუთხური სიხშირეა ჰერცებში (ჰც); 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:

$$v = f\lambda . \quad (3.6)$$

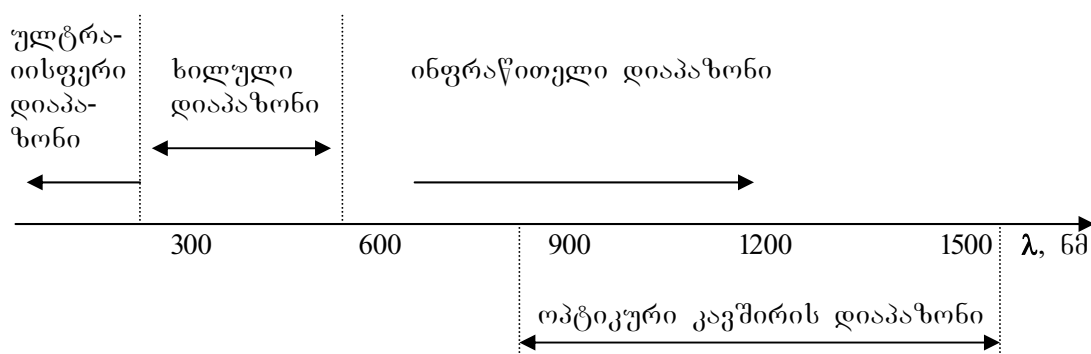
ელექტრომაგნიტურ ტალღებს გააჩნია უსასრულო სპექტრი, რომლის ნაწილი ათვისებულია ტელეკომუნიკაციის სიგნალების გადასაცემად (ცხრილი 3.2).

როგორც 3.7 სურათიდან 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 3.2

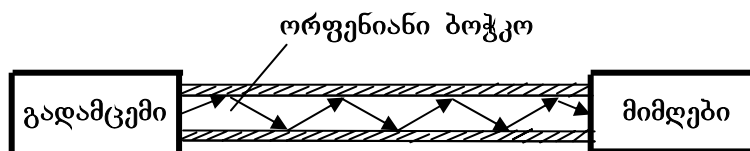
ტალღათა დიაპაზონი	ტალღის სიგრძე λ , მ	რხევის სიხშირე f , კც	გამოყენების სფერო
დაბალსიხშირული	$10^7 - 10^4$	$30 - 3 \times 10^4$	რადიონავიგაცია; რადიოსატელეგრაფო კავშირი
მაღალსიხშირული: გრძელი; საშუალო; მოკლე; ულტრამოკლე	$10^4 - 1$ $10^4 - 10^3$ $10^3 - 10^2$ $10^2 - 10$ $10 - 1$	$3 \times 10^4 - 3 \times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



სურ. 3.7. ელექტრომაგნიტური ტალღების სახეობათა განაწილება

ოპტიკური ბოჭკო (**ობ**) 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 (სურ. 1.32).



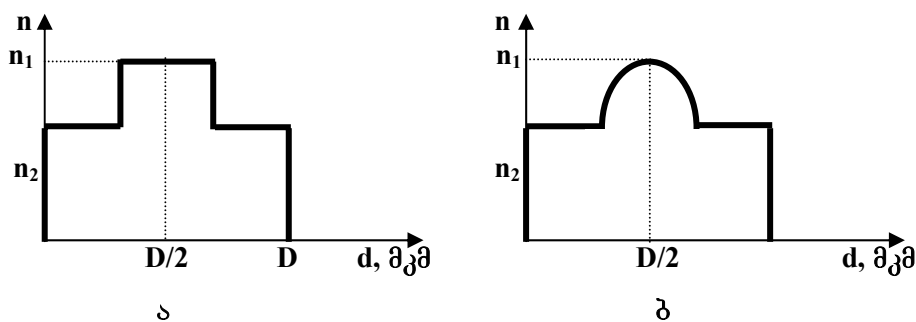
სურ. 1.32. ოპტიკური გამოსხივების გავრცელების ილუსტრაცია

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

$$\theta_{კრ} = \arccos(n_2/n_1), \quad (3.7)$$

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

გულანას გარდატეხის მაჩვენებლის პროფილის სახეობის მიხედვით ერთმანეთისაგან განასხვავებენ საფეხუროვან და გრადიენტულ ოპტიკურ ბოჭკოებს (ობ). საფეხუროვანი ობ-თვის გულანას გარდატეხის მაჩვენებელი მუდმივია (სურ.3.8,ა). გრადიენტული ობ-თვის კი გულანას გარდატეხის მაჩვენებელი მდორედ იცვლება რადიუსის გასწვრივ მისი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან გულანას ღერძზე გარსაცმის გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობამდე (სურ.3.8,ბ).



სურ. 3.8. საფეხუროვანი (ა) და გრადიენტული (ბ) ოპტიკური გარდატეხის მაჩვენებლის პროფილები

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

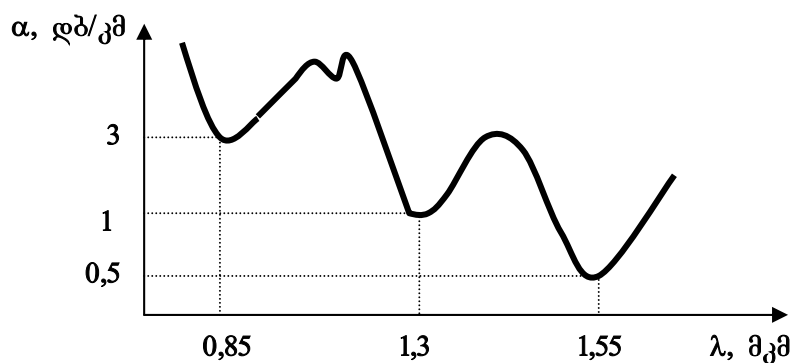
მოდების რაოდენობა დამოკიდებულია ნორმირებული სიხშირის მნიშვნელობაზე. ნორმირებული სიხშირე

$$V = (D\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}) / \lambda, \quad (3.8)$$

სადაც D – ობ-ს გულანას დიამეტრია, ხოლო λ – ტალღის მუშა სიგრძე. ერთმოდური რეჟიმი ხორციელდება იმ შემთხვევაში, როდესაც $V < 2,405$. წინასწარ განსაზღვრულ და შედარებით მცირე სიდიდეებს წარმოადგენს ტალღის მუშა სიგრძე და გარდატეხის მაჩვენებლებს შორის სხვაობა $\delta_n = n_1 - n_2$. ობ-ებისათვის ჩვეულებრივ $\delta_n = 0,003 \dots 0,05$. ამიტომ ერთმოდური ბოჭკოების გულანას D დიამეტრი მცირეა და იგი მოთავსებულია 5...15 მკმ დიაპაზონში (ჩვეულებრივ D უდრის 9-ს ან 10-ს). მრავალმოდური ბოჭკოებისათვის D დიამეტრი 50 მკმ-ის ფარგლებშია (ცვეულებრივ D ტოლია 50-ის ან 62,5-ის). ყველა ტიპის ობ-სათვის 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.

ობ-ს მიღება განისაზღვრება მასში შთანთქმისა და გამოსხივების ფანტის დანაკარგებით. შთანთქმით განპირობებული დანაკარგები დამოკიდებულია მასალის სისუფთავეზე, ხოლო ფანტით განპირობებული დანაკარგები – მასალის გარდატეხის მაჩვენებლის არაერთგვაროვნებაზე.

ობ-ს მიღება არაერთგვაროვანია სხვადასხვა სიგრძის ტალღებისათვის. ობ-ს მიღების α კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტალღის მუშა სიგრძეზე ნაჩვენებია 3.9-ე სურათზე. 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 ფოტომიმღებები. 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 ფოტომიმღებები. ტელეკომუნიკაციის თანამედროვე სისტემებში ჩვეულებრივ გამოიყენება მე-2 ან მე-3 ფანჯარა, რომლებსაც მიღების მცირე კოეფიციენტი გააჩნია. თანამედროვე ტექნოლოგია იძლევა ისეთი ობ-ების დამზადების საშუალებას, რომლებისთვისაც მიღების კოეფიციენტი დეციბელის მეასედი ნაწილის რიგისაა კილომეტრზე.



სურ.3.9. ობ-ს მიღების კოეფიციენტის სპექტრული მახასიათებელი

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.

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:

$$\tau = \sqrt{T_{გაგ}^2 - T_{შეს}^2} , \quad (3.9)$$

სადაც $T_{შეს}$ და $T_{გაგ}$ – იმპულსების ხანგრძლივობაა (ობ-ს შესასვლელსა და გამოსასვლელზე. გაფართოების განზომილებაა ნანოწამი კილომეტრზე (ნწმ/კმ). შეფასებისას იყენებენ ტერმინს **გატარების ზოლი** ($\Delta f \approx 1/\tau$). იგი წარმოადგენს 1კმ სიგრძის ოპტიკურ ბოჭკოში იმპულსის გავლისას მისი გაფართოების შებრუნებულ 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. ერთმოდინ ბოჭკოებს გააჩნია მიღევისა და გატარების ზოლის საუკეთესო მახასიათებლები. თუმცა გამოსხივების ერთმოდინი წყაროები რამდენჯერმე ძვირია მრავალმოდინებთან შედარებით. ერთმოდინ ბოჭკოში უფრო ძნელია გამოსხივების შეყვანა **ღბ**-ების მცირე ზომების გამო. ამავე მიზეზით ერთმოდინი ბოჭკოების გადაბმა მცირე დანაკარგების უზრუნველყოფით ძნელია. ასევე ძვირია ერთმოდინი კაბელებისათვის ოპტიკური გასართების მონტაჟი.

უფრო მოსახერხებელია მრავალმოდინი ბოჭკოების მონტაჟი, ვინაიდან მათი გულანას ზომები რამდენჯერმე აღემატება ერთმოდინ კაბელებში არსებულ გულანას ზომებს. მრავალმოდინი კაბელებისათვის მარტივია ოპტიკური გასართების მონტაჟი შეერთების წერტილში მცირე დანაკარგების უზრუნველყოფით. მრავალმოდინ ბოჭკოებზე გათვლილია გამომსხივებლები ტალღის 0,85 მკმ სიგრძეზე, რომლებიც იაფია და მზადდება ფართო ასორტიმენტით. მაგრამ მრავალმოდინი ბოჭკოებისათვის ტალღის აღნიშნულ სიგრძეზე მიღევა შეადგენს 3..4დბ/კმ და შეუძლებელია მისი მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება. მრავალმოდინი კაბელების გატარების ზოლი აღწევს 800 მმც.კმ-ს, რაც მისაღებია ტელეკომუნიკაციის ლოკალური ქსელებისათვის, მაგრამ არასაკმარისია მაგისტრალური ხაზებისათვის. ერთმოდინი კაბელების გატარების ზოლმა შეიძლება მიაღწიოს 5000 მმც.კმ-დე.

მსოფლიოში ამჟამად არსებობს სხვადასხვა დანიშნულების ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელების (**ბოჭ**) დამამზადებელი რამდენიმე ათეული ფირმა. **ბოჭ**-ის წარმოებისას განმსაზღვრელ პარამეტრებს წარმოადგენს ექსპლუატაციის პირობები და ტელეკომუნიკაციის ხაზის გამტარუნარიანობა. **ბოჭ**-ებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები მოტანილია **ITU-T**-ის **G.650** სერიის რეკომენდაციებში.

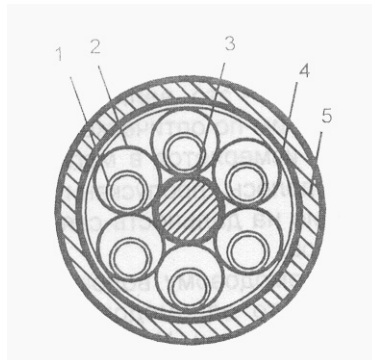
ექსპლუატაციის პირობების მიხედვით ამზადებენ სამონტაჟო, სასადგურო, ზონურ და მაგისტრალურ კაბელებს. პირველი ორი ტიპის კაბელები გათვალისწინებულია შენობებისა და ნაგებობების შიგა გაყვანილობისათვის. ისინი კომპაქტური, მსუბუქი და, როგორც წესი, მცირე სამშენებლო სიგრძისაა. ზონური და მაგისტრალური კაბელები

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 ბოჭებს, რომლებსაც დიდი რაოდენობით (8-დე) გააჩნია მცირე მილევის უზრუნველყოფი ერთმოდინი ბოჭკოები, ხოლო გამანაწილებელი ქსელების კაბელები ქსელის სეგმენტებს შორის მანძილის მიხედვით შეიძლება შეიცავდეს 144-დე როგორც ერთმოდინ, ასევე მრავალმოდინ ბოჭკოებს.

ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელების (ბოჭ-ის) დამზადებისას ძირითადად გამოიყენება ორი სახის კონსტრუქცია – კონსტრუქციები ელემენტების თავისუფალი გადაადგილებით და კონსტრუქციები ელემენტებს შორის მყარი კავშირით.

არსებობს ბოჭ-ის 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. 3.10-ე სურათზე წარმოდგენილია ოპტიკური კაბელის კონსტრუქციის ნიმუში.



სურ. 3.10. 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.

გაცილებით ვრცელი ინფორმაცია ტელეკომუნიკაციის სისტემებში ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზების გამოყენების თავისებურებათა შესახებ წარმოდგენილია ლიტერატურაში [7].

ბოჭკოვან-ოპტიკური მიმმართველი სისტემებით ციფრული სიგნალების გადაცემისას გამოიყენება სხვადასხვა სახაზო კოდები, რომლებიც განხილული იქნება ტელეკომუნიკაციის სისტემების კურსის შემდეგ ნაწილში.

3.4. საბაბელო სისტემები

ამჟამად ტელეკომუნიკაციის სადენიანი ხაზები ფართოდ გამოიყენება ლოკალურ ქსელებში. ტელეკომუნიკაციის ასეთი ხაზები სტანდარტიზირებულია და მათ **სტრუქტურირებულ საბაბელო სისტემებს (სსს)** უწოდებენ. ცნობილია სპეციალური **TR41.8.1** ქვეკომიტეტის **EIA/TIA-568, TSB-36** და **TSB-40** სტანდარტების **3, 4** და **5 სსს-ის** კატეგორიები. გამტარების ძირითადი პარამეტრებია:

- ჰორიზონტალური კაბელების სიგრძე – არაუმეტეს 90 მ-ისა კაბელის ტიპის მიუხედავად;

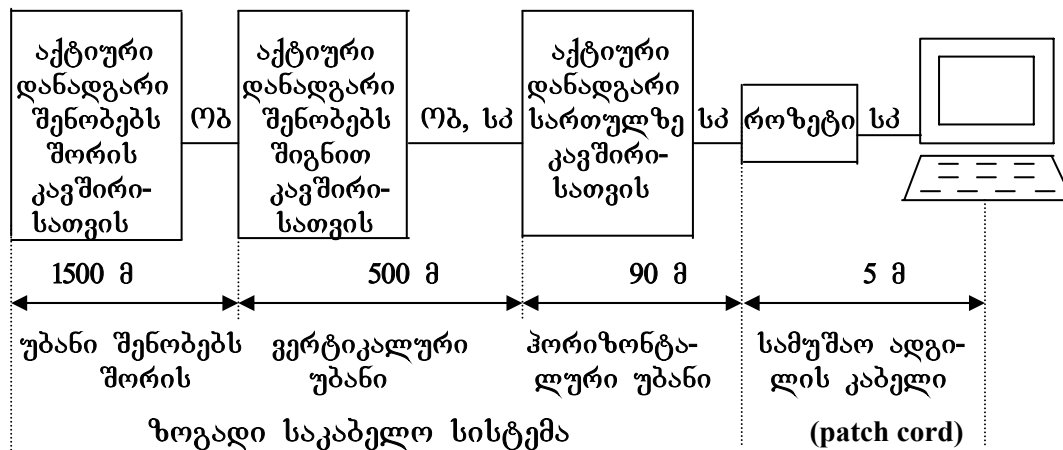
- გამოყენებისათვის დასაშვებია 4 ტიპის კაბელი: 100 ომი ტალღური წინაღობის მქონე არაეკრანირებული ხვეული წყვილებისაგან დამზადებული 4-წყვილიანი კაბელი; 150 ომი ტალღური წინაღობის მქონე ეკრანირებული ხვეული წყვილებისაგან დამზადებული 2-წყვილიანი კაბელი; 50 ომი ტალღური წინაღობის მქონე კოაქსიალური კაბელი; ბოჭკოვან-ოპტიკური კაბელი, რომლის ბოჭკოების დიამეტრია 62,5/125 მკმ.

- შემაერთებლების ტიპები: 8-კონტაქტიანი მოდულური – **RJ-45**; 4-კონტაქტიანი (**IEEE 802.5** სტანდარტის მიხედვით); კოაქსიალური **BNC**; ოპტიკური კაბელი არაა განსაზღვრული;

- ყოველ სამუშაო ადგილზე მაგრდება არანაკლებ ორი როზეტისა;

- კაბელების გაშლა უნდა შეესაბამებოდეს ტოპოლოგიას "ვარსკვლავი".

სსს-ის ზოგადი სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია 3.11 სურათზე.

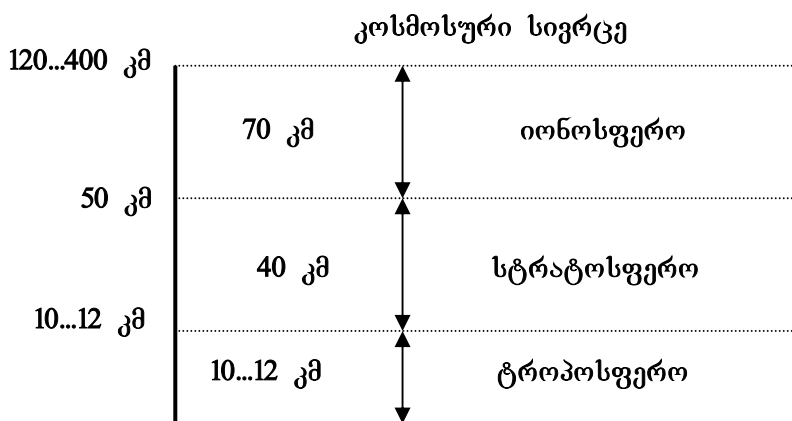


სურ. 3.11. სტრუქტურირებული საკაბელო სისტემის (სსს) სტრუქტურა:
 ოპ – ოპტიკური ბოჭკო; სპ – სიმეტრიული კაბელი;

3.5. ტელეკომუნიკაციის რადიოსახეში

ტელეკომუნიკაციის (ელექტროკავშირის) რადიოსახეში (რადიოკავშირის სახეებში) ელექტრომაგნიტური ტალღების გაფრცვლების არეს უმრავლეს შემთხვევაში (კოსმოსურ აპარატებს შორის კავშირის სახეობის გარდა) წარმოადგენს დედამიწის ატმოსფერო. 3.12 სურათზე 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 ტროფოსფეროში 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.

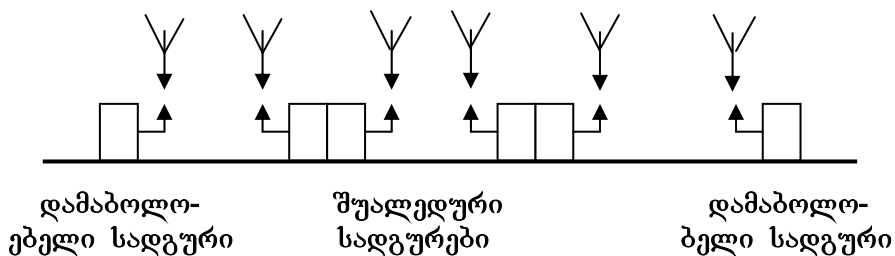


სურ. 3.12. დედამიწის ატმოსფეროს აგებულება

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

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.

3.13 სურათზე წარმოდგენილია რადიოხაზის ტიპიური სახე. ხაზი შეიქმნება შეიცავდეს ორ დამაბოლოებელ სადგურს. ასეთი რადიოხაზების მაგალითია მასიური ხასიათის შეტყობინებათა გადაცემის ქსელები (სატელევიზიო და რადიომაუწყებლობის ქსელები). რადიოხაზი შეიქმნება შეიცავდეს რამდენიმე შუალედურ მიმღებ-გადამცემ სადგურს (ასე აიგება გადაცემის რადიოსარეგო სისტემების ხაზები).



სურ. 3.13. რადიოხაზის ტიპიური სახე

რადიოტალღების კლასიფიკაცია და მათი გავრცელების ხერხები წარმოდგენილია 3.3 და 3.4 ცხრილებში. რადიოტალღების დიაპაზონებად დაყოფა დადგენილია რადიოკავშირის საერთაშორისო რეგლამენტით (ITU-R). დეციმილიმეტრულ ტალღებს (იხ. ცხრილი 3.4) 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 დაძაბულობის 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 დაძაბულობა დამოკიდებულია ტალღის სიგრძეზე, დედამიწის ატმოსფეროს მზით განათებულობაზე და აგრეთვე რიგ სხვა ფაქტორებზე.

ცხრილი 3.3

რადიოტალღების სახეობა	რადიოტალღების გავრცელების ძირითადი ხერხები	კავშირის სიშორე, კმ
მირიამეტრული და კილომეტრული (ზეგრ- ძელი და გრძელი)	დიფრაქცია. დედამიწიდან და იონოს- ფეროდან არეკვლა	ათასეულებამდე. ათასეულები
ჰექტომეტრული (საშუალო სიგრძის)	დიფრაქცია. გარდატეხა იონოსფეროში	ასეულები. ათასეულები
დეკამეტრული (მოკლე)	გარდატეხა იონოსფეროში და არეკვლა დედამიწიდან	ათასეულები
მეტრული და უფრო მოკლე	თავისუფალი გავრცელება და დედამიწიდან არეკვლა	ათეულები. ასეულები

ცხრილი 3.4

რადიო-ტალღების სახე	რადიო-ტალღების ტიპი	რადიო-ტალღების დიაპაზონი (ტალღის სიგრძე)	დიაპაზონის ნომერი	სიხშირეთა დიაპაზონი	რადიო-სიხშირეთა სახეობა
მირიამეტრული	ზეგრძელი	10...100 კმ	4	3...30 კჰც	ძალზე დაბალი (ძღს-ОНЧ)
კილომეტრული	გრძელი	1...10 კმ	5	30...300 კჰც	დაბალი (ღს - НЧ)
ჰექტომეტრული	საშუალო	100...1000 მ	6	300...3000 კჰც	საშუალო (სს - СЧ)
დეკამეტრული	მოკლე	10...100 მ	7	3...30 მჰც	მაღალი (მს-ВЧ)
მეტრული	ულტრა- მოკლე	1...10 მ	8	30...300 მჰც	ძალზე მაღალი (ძმს-ОВЧ)
დეციმეტრული		10...100 სმ	9	300...3000 მჰც	ულტრა- მაღალი (უმს-УВЧ)
სანტიმეტრული		1...10 სმ	10	3...30 გჰც	ზემაღალი (ზმს-СВЧ)
მილიმეტრული		1...10 მმ	11	30...300 გჰც	უკიდურესად მაღალი (უმს-КВЧ)
დეციმილიმეტრული		0,1...1 მმ	12	300...3000 გჰც	ჰიპერმაღალი (ჰმს-ГВЧ)

შენიშვნა: **ОНЧ** – очень низкие частоты; **НЧ** – низкие частоты; **СЧ** – средние частоты; **ВЧ** - высокие частоты; **ОВЧ** – очень высокие частоты; **УВЧ** – ультравысокие частоты; **СВЧ** – сверхвысокие частоты; **КВЧ** – крайне высокие частоты; **ГВЧ** – гипер высокие частоты.

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) სიმაღლეზე 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 იქნას სისშირეთა შეზღუდული ზოლები (არაუმეტეს 5...6 კვც-ისა). ასეთ ზოლებში შეიძლება 3 ან 4 ტელეფონისა და 6 ტელეგრაფის არხის ორგანიზება. მცირე გამტარუნარიანობისა და დაბალი საიმედოობის გამო რადიოკავშირის მოკლეტალღიანი ხაზები ძირითადად გამოიყენება ძნელად მისაღვომ, 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.

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 – **ზმს**), ზოგიერთ შემთხვევაში კი დეციმეტრული ტალღების (ულტრამაღალი სიხშირის – **უმს**) დიაპაზონში. ტელეკომუნიკაციის რადიოხაზები (რადიოკავშირის ხაზები) იყოფა პირდაპირი ხედვის, ტროპოსფერულ, იონოსფერულ და მეტეორულ ხაზებად, აგრეთვე ტელეკომუნიკაციის ხაზებად დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის (**ღხთ**) გამოყენებით. რადიოკავშირის ხაზებით ხორციელდება კავშირის დამყარება მოძრავი რადიოკავშირის, კერძოდ, პროფესიონალურ (ტრანკინგულ), ფიჭური კავშირის, პერსონალური რადიოგამოძახებისა და უმაჯთულო ტელეფონების სისტემებში.

ლ ი ტ ე რ ა ტ უ რ ა

1. ITU-T Recommendations. Series G.700, G.800, G.900.
2. Гитлиц М.В., Лев А.Ю. Теоретические основы многоканальной связи. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
3. Многоканальные системы передачи: Учебник для вузов/ Н. Н. Баева, В. Н. Гордиенко, С. А. Курицын и др. – М.: Радио и связь, 1996. – 312 с.
4. 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.
5. ჯ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. მრავალარხიანი ელექტროკავშირგაბმულობა. – თბილისი, სტუ, 1994. – 100 გვ.
6. ვ. ნანობაშვილი, ვ. ნანობაშვილი. ტელეკომუნიკაციის მიმართველი სისტემები: ელექტრულ კაბელებზე აგებული ტელეკომუნიკაციის ხაზები. – თბილისი, 2002. – 143 გვ.
7. ვ. ნანობაშვილი, ვ. ნანობაშვილი. ტელეკომუნიკაციის მიმართველი სისტემები: ტელეკომუნიკაციის ბოჭკოვან-ოპტიკური ხაზები. – თბილისი, 2002. – 122 გვ.
8. ჯ. ხუნწარია, ვ. აბულაძე. ტელეკომუნიკაციის მრავალარხიანი ციფრული სისტემები. – თბილისი, სტუ, 1998. – 82 გვ.