

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნანა როსტიაშვილი

კავშირის ხარისხის კვლევა გადაცემის
ციფრულ - ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: „ტელეკომუნიკაცია“

შიფრი - 0714

თბილისი

2021

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი
ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი რ. სვანიძე
რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2021 წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია
მისამართი: 0166, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

საქართველოს სატელეკომუნიკაციო ქსელი ხასიათდება მრავალფეროვნებით, მომსახურების სერვისების სიმრავლე და მომსახურების მიწოდებაზე კონკურენცია დღის წესრიგში აყენებს კავშირის მომსახურების ხარისხის ამაღლების საკითხს. რაც მომხმარებელთა უფლებების დაცვასთან და კავშირის მომსახურების რეგულირების ამოცანის გადაწყვეტასთან არის დაკავშირებული. კავშირის მომსახურების ხარისხზე მონიტორინგი ხორციელდება მსოფლიოს 150 -ზე, მეტ ქვეყანაში. ათეულობით ქვეყნის ანლიზის მიხედვით ფიქსირებულ სატელეფონო ქსელების მომსახურების ხარისხზე მოთხოვნილება აიხსნება იმით, რომ ისტორიულად ფიქსირებული ქსელები წარმოადგენენ სატელეკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის საფუძველს. სატელეკომუნიკაციო ქსელების ხარისხობრივი მაჩვენებლების კვლევა მთლიანობაში გულისხმობს, როგორც მობილური თანამგზავრული და სხვა ქსელების ასევე, ბოჭკოვან-ოპტიკური ქსელების კვლევას, რომლებიც წარმოადგენენ თანამედროვე სადენიანი ქსელების უდიდეს ნაწილს. წინამდებარე ნაშრომი მიძღვნილია სწორედ ამ საკითხებზე.

თემის აქტუალობა. გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან - ოპტიკური სისტემები (გცბოს) მოიცავენ ტელეკომუნიკაციის ინფრასტრუქტურის უდიდეს ნაწილს ხოლო, კავშირის ხარისხის მაჩვენებლის შეფასება აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს. ხარისხის შეფასების უმნიშვნელოვანესი პარამეტრია ბიტურ შეცდომათა ალბათობა (BER), მასზე მოქმედი ფაქტორები მოიცავენ სისტემის კვანძებში და კომპონენტებში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებს. გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებზე ექსპლუატაციის პროცესში მოქმედი ფაქტორები აუარესებენ BER-ის მნიშვნელობას, ზღუდავენ სისტემის ენეგეტიკულ პოტენციალს (ბიუჯეტს). რაც აუარესებს გცბოს მწარმოებლობას. აქედან გამომდინარე,

წინამდებარე ნაშრომის კვლევის ამოცანა აქტუალურ გამოწვევას წარმოადგენს.

ნაშრომის მიზანი და ძირითადი ამოცანები. ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ბიტურ შეცდომათა გამომწვევი მიზეზების კვლევა გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში, პრობლემის გადაწყვეტის გზების შემუშავება.

ძირითად ამოცანებს წარმოადგენს:

1. ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე და ენეგეტიკულ პოტენციალზე მოქმედი ფაქტორები გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემებში.
2. სიმბოლოთაშორისი ინტერეფერენციის (ISI) მიზეზები და ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER)-ის შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან ოპტიკურ სისტემებში.
3. გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკური სისტემის მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის (ბარიერის) შერჩევა და ოპტიმიზაცია.
4. ჯიტერის გამოწვევი მიზეზები, მისი შეფასება და გავლენა ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე.
5. ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) დამოკიდებულება ლაზერის ფარდობითი ინტესივობის ხმაურზე (RIN Relative Intensity Noise), მოდემის გაყოფის ხმაურზე (MPN Mode Partition Noise), სიმბოლოთაშორის დამახინჯებაზე (ISI- Intersymbol Interference). ამ ფაქტორების ასახვა სიმულაციის ჯარიმაზე.
6. სიმბოლოთაშორისი დამახინჯება, მოდემის გაყოფის ხმაური და სიმულაციის ჯარიმის შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში.
7. გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკური სისტემების მიმღები მოწყობილობების ანალიზი, ხმაურები მათი გამომწვევი მიზეზები, დომინანტი ხმაურების რეჟიმების ანალიზი.
8. კავშირი ბიტურ შეცდომათა ალბათობასა და გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკური სისტემის მწარმოებლობას შორის.

კვლევის საგანი და მეთოდები.

კვლევის საგანს წარმოადგენს შეცდომათა გამომწვევი მიზეზების ანალიზი გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში მიმდინარე სხვადასხვა მოვლენების გამო: ჯიტერი, სიმბოლოებს შორის ინტერფერენცია, მიმდების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის არაოპტიმალურობა და გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის დონის შერჩევა;

- ხმაურების დონის დადგენა და სიგნალი/ხმაური ფარდობის, ბიტური შეცდომათა ალბათობის განსაზღვრა;

- დამახინჯებების წყაროების იმიტაცია, სიმბოლოთაშორისი დამახინჯება, დროითი ჯიტერის გავლენა და მათი შემცირება გცბოს-ის ფუნქციონალური კვანძების მოდელირებით და მრავალი სხვა; ოპტიკური კაბელის ჩადებისა და მონტაჟის დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ამ პროცესის სწორ, არსებული ნორმების და სტანდარტების შესაბამისად ორგანიზებას. კერძოდ, როგორც ცნობილია ოკ-ის მიღევა შედგება საკუთარი ოპტიკური ბოჭკოს (ობ)-ს, კლასიკური მახასიათებლებისგან: მიღევა შთანთქმაზე, მიღევა ინფრაწითელ გამოსხივებაზე და ა.შ. და დამატებითი (რადიაციული, ინსტალაციის, შეერთებების) მიღევისგან, რომელზეც მოდის საერთო მიღევის 20%. ასევე ჯიტერის წარმოშობის მიზეზები გცბო-ში, ჯიტერის ფიზიკური არსი, ჯიტერის კავშირის ხარისხზე შესაძლო გავლენის პირობები. დროითი ჯიტერის ეფექტის გამო წარმოშობილი სიმპლავრის ჯარიმის ($P_{ჯარ.}$) დამოკიდებულება ჯიტერისა და სისტემის გადაცემის სიჩქარის კომპლექსურ პარამეტრთან. წარმოდგენილია ასევე სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის ძირითადი მიზეზები მოყვანილია მათი ფიზიკური არსი და შემცირების გზები. ასევე, სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის (სში) გავლენა გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (გცბოს) ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე (BER). ხმაურების კლასიფიკაცია თერმული (ჯონსონის) ხმაური და საფანტისებური (კვანტური) ხმაურის გამომწვევი მიზეზები და რეჟიმები.

ფოტოდეტექტორის ფუნქციონირების პრინციპი და მისი მგრძობიარობა. გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის (ბარიერის) შერჩევა და ოპტიმიზაცია. მილევის კოეფიციენტი, ლაზერის გამოსხივების ინტენსიობის ხმაური RIN და მიმღების მგრძობიარობა.

გამოყენებული კვლევის მეთოდები:

გადაცემის ბოჭკოვან - ოპტიკური სისტემების თეორია, ალბათობის და შემთხვევითი სიგნალების თეორია, იმიტაციური მოდელირების საკითხები.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე ძირითადი შედეგები თეორიული და პრაქტიკული ღირებულება.

ნაშრომის მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს ერთიანი მიდგომა გცბოს კავშირის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლის-ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) და სისტემის მწარმოებლურობის მიმართ გცბოს კვანძებში მიმდინარე ისეთი ფიზიკური პროცესების გამო, როგორცაა: ჯიტერი, ოპტიკური მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის (ბარიერის) ოპტიმიზაცია, ხმაურის რეჟიმების ანალიზი, ლაზერის ფარდობითი ინტენსივობის ხმაური (RIN Relative Intensity Noise)), მოდების გაყოფის ხმაური (MPN Mode Partition Noise)), სიმბოლოთაშორის დამახინჯება (ISI- Intersymbol Interference).

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის შესახებ ძირითადი შედეგები სხვადასხვა წლებში მოხსენებული და განხილული იყო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებზე და სემინარებზე. მათ შორის:

- ✓ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია 6.06.2016 – 25.06.2016 წ. სამი მოხსენება მიენიჭა II ადგილი
- ✓ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია 07.06.2017 – 27.06.2017 წ. ორი მოხსენება მიენიჭა I ადგილი

- ✓ აკაკი წერეთლის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, მეოთხე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ქუთაისი 29 ოქტომბერი 2016 წ. ორი მოხსენება [გვ. 182-187];
- ✓ საერთაშორისო კონფერენცია. სამეცნიერო კვლევები თანამედროვე სამყაროში: თეორიული საფუძვლები და ინოვაციური მიდგომები. 2020 წლის 20 აგვისტო. სან-ფრანცისკო კალიფორნია, აშშ.
(ორი მოხსენება) http://www.bmpublgrou.com/126_15.htm
doi: 10.15350/L_26/15.9 / doi: 10.15350/L_26/15.10

ნაშრომის მიმოხილვითი და ძირითადი ნაწილები, ასევე მთლიანად დასრულებული ნაშრომი, მოხსენებული იყო სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტში გამართულ, სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებულ, I, II და III კოლოქვიუმებზე და წინასწარ დაცვაზე.

პუბლიკაციები სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია 7 სამეცნიერო სტატიაში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავალის, 5 თავისა და 51 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისგან. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს 127 გვერდს ნახაზების და ორი დანართის ჩათვლით.

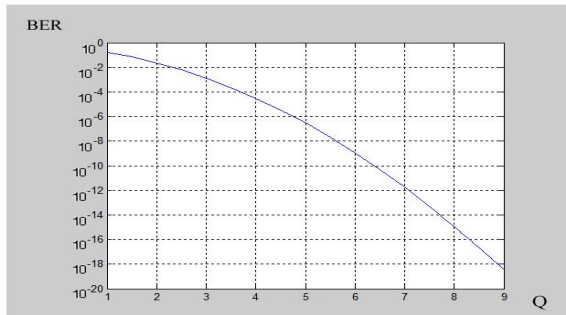
ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ნაშრომში განხილულია გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს) კავშირის ხარისხის პრობლემა და მისი გადაწყვეტის გზები. წარმოდგენილია გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (გცბოს) გადამცემში (ლაზერი), სახაზო ტრაქტში, ოპტიკურ მიმღებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები და მათი გავლენა ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე (კოეფიციენტზე)- BER. ერთიანი მიდგომით დადგენილია გცბოს-ში, არსებული მოვლენების: ჯიტერის, სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის, მოდების გაყოფის ხმაურის MPN (Mode Partition Noise) ფარდობითი ინტენსივობის ხმაურის RIN (Relative Intensity Noise) მნიშვნელობები ბიტურ შეცდომათა ალბათობასთან მიმართებით, აგრეთვე, ოპტიკური მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ოპტიმიზაციის საკითხები.

პირველ თავში - დასაბუთებულია, რომ სატელეკომუნიკაციო სერვისების განვითარების თანამედროვე პირობებში ქსელური ოპერატორის არჩევის დროს მომხმარებლები ორიენტაციას აკეთებენ ორ პარამეტრზე: მომსახურების ღირებულებასა და ხარისხზე, ხოლო მომსახურების თანაბარი ღირებულების შემთხვევაში - მომსახურების ხარისხზე. ტრაფიკის მოცულობის ზრდასთან ერთად ტელეკომუნიკაციის ქსელებში ახალი ტექნოლოგიების დანერგვა და არსებულის მოდერნიზაცია განხორციელებული უნდა იქნას კავშირის მომსახურების ხარისხის მონიტორინგისა და კონტროლის თანამედროვე სისტემის დანერგვასთან ერთად. დასმულ საკითხთან მიმართებით ნაშრომში ჩამოყალიბებულია ქვეყანაში კავშირის ხარისხის მონიტორინგის სისტემის კონცეფცია ქსელის მაჩვენებლების მუდმივი მონიტორინგის და მათ ცვლილებაზე დროული რეაგირების შესახებ, რაც ოპერატორ კომპანიებს საშუალებას მისცემს გააკონტროლონ ქსელის ტექნიკური მდგომარეობა, აწარმოონ მოწყობილობების დროული განახლება, შეინარჩუნონ არსებული

აბონენტები და ჰქონდეთ გარანტია მიიღონ ახალი მომხმარებლები. წარმოდგენილი რეკომენდაციების და ღონისძიებების გატარება შეუწყობს ხელს საქართველოს სატელეკომუნიკაციო სექტორის ევროკავშირის შესაბამის სტრუქტურებთან ინტეგრაციას.

მეორე თავში -დადგენილია, რომ არსებობს ციფრული არხების ხარისხობრივი შეფასების გრძელვადიანი და ოპერატიული ნორმები. გრძელვადიანი ნორმები განისაზღვრება ITU-T G.821 და G.826 რეკომენდაციებით, ხოლო ოპერატიული - M.2100, M.2110 და M.2120 რეკომენდაციებით. ამასთან ერთად M.2100-ის მიხედვით ციფრული ტრაქტის ხარისხი შეცდომათა კრიტერიუმის მიხედვით იყოფა სამ კატეგორიად: ნორმალური - $BER < 10^{-6}$; შემცირებული - $10^{-6} \leq BER < 10^{-3}$ (წინასაავარიო მდგომარეობა); მიუღებელი $BER \geq 10^{-3}$ (ავარიული მდგომარეობა). მოთხოვნები გცბოს-ში კავშირის ხარისხისა და შეცდომათა ალბათობის მიმართ მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე კავშირის სხვა სისტემებში და უნდა იყოს ფარგლებში $BER=10^{-9}-10^{-15}$. შეიძლება ვისარგებლოთ ირიბი მეთოდით, ცალსახა ფუნქციონალური დამოკიდებულებით BER-სა და სიგნალი/ხმაური ფარდობას შორის. ოპტიკური სიგნალების გადაცემის ხარისხობრივი მახასიათებლების შეფასებისთვის იდენტურია Q - ფაქტორის განსაზღვრა, არსებობს ცალსახა დამოკიდებულება BER-სა და Q - ფაქტორს შორის. ამის გამო, ხშირად ამ მაჩვენებლებს მიუთითებენ, როგორც - Q(BER). აქედან გამომდინარე სარგებლობენ დამოკიდებულებით $BER = \psi(Q)$ (ნახ.1.)



ნახ. 1. დამოკიდებულება Q - ფაქტორსა და ბიტურ შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტს BER-ს შორის $BER = \psi(Q)$

Q-ფაქტორი იანგარიშება ფორმულით:

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 - \sigma_0} \text{ an } Q(\text{db}) = 10 \lg(Q^2) = 20 \lg(Q); \quad (1)$$

სადაც I_1 - ციფრული ნაკადის „1“-ის დონეა, I_0 - ციფრული ნაკადის „0“-ის დონის მნიშვნელობაა, შესაბამისად σ_1 და σ_0 „1“-ის და „0“-ის დონეების საშუალო კვადრატული გადახრებია.

BER -ის მნიშვნელობა გამოითვლება შეცდომათა ფუნქციის (ლაპლასის ფუნქცია, ალბათობის ინტეგრალი) საშუალებით ან მისი მაპროქსიმირებელი ფორმულით:

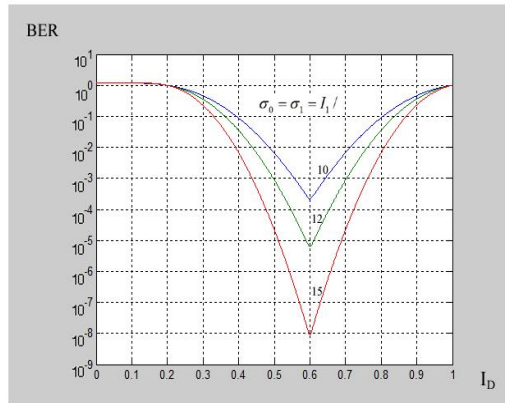
$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \approx \frac{1}{Q\sqrt{2}} \exp \left(-\frac{Q^2}{2} \right); \quad (2)$$

ასევე, მეორე თავში წარმოდგენილია შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) შეფასება ციფრული კავშირის ხარისხისა მაჩვენებლის Q-ფაქტორის განსაზღვრის მეშვეობით ციფრული ორობითი სიგნალის სიმბოლოების დონეებისა და დისპერსიების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

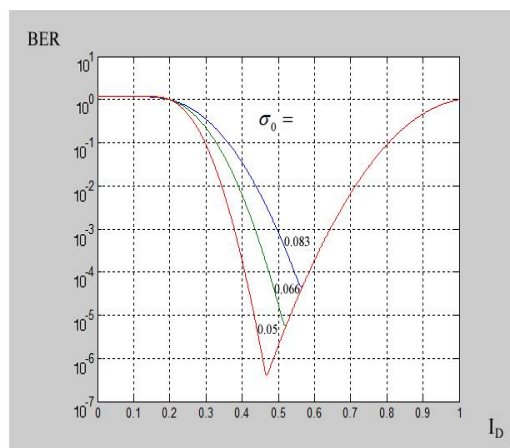
ქვემოთ მოყვანილი ფორმულით გამოთვლილ იქნა ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) მნიშვნელობის დამოკიდებულება ზღურბლის დონე (I_D) მნიშვნელობის მიმართ:

$$BER = \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{I_1 - I_D}{\sigma_1 \sqrt{2}} \right) + \operatorname{erfc} \left(\frac{I_D - I_0}{\sigma_0 \sqrt{2}} \right) \right] \quad (3)$$

აქ, $-I_D$ -ოპტიკური მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის დონეა, I_1, I_0 - შესაბამისად ციფრული ნაკადის „1“ და „0“ დონეებია, σ_1, σ_0 - შესაბამისად „1“ და „0“ დონეების დისპერსიებია, erf-ალბათობის ფუნქციაა, რომელიც მოიცემა ცხრილების მეშვეობით. ნახ.2.ა.ბ. წარმოდგენილია გრაფიკები $BER=Y(I_D)$, როდესაც ბიტური სიმბოლოების დისპერსიები $\sigma_0 = \sigma_1 = \frac{I_1}{10}; \frac{I_1}{12}; \frac{I_1}{15}$, აგრეთვე σ_0 -ის, σ_1 -ის, „1“-ის (I_1) და „0“-ის (I_0) დონეების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.



ნახ.2. ა) ბიტური სიმბოლოების დისპერსიები $\sigma_0 = \sigma_1 = \frac{I_1}{10}; \frac{I_1}{12}; \frac{I_1}{15}$, „1“-ის დონე $I_1=1$, „0“-ის დონე $I_0=0$



ნახ.2. ბ) ბიტური სიმბოლოების დისპერსიები $\sigma_0 = 0.05; 0.066; 0.083$, $\sigma_1 = 0.1$. „1“-ის დონე $I_1=1$, „0“-ის დონე $I_0=0.2$

ამ დამოკიდებულებებიდან ჩანს, რომ, როდესაც, „1“ და „0“ დონეებს გააჩნიათ მაქსიმალური და მინიმალური შესაძლო მნიშვნელობები „1“-ის დონე $I_1=1$, „0“-ის დონე $I_0=0$, მაშინ, გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის მნიშვნელობა $I_D=0.5$, $\sigma_1 = \sigma_0$ ნებისმიერი დასაშვები მნიშვნელობის დროს (ნახ. 2.ა.), ამ შემთხვევაში BER-ს გააჩნია სხვადასხვა მიშვნელობები, კერძოდ, $\sigma_1 = \sigma_0 = I_1/10$, $BER \approx 10^{-6}$; $\sigma_1 = \sigma_0 = I_1/12$, $BER = 10^{-8}$; $\sigma_1 = \sigma_0 = I_1/15$, $BER \approx 10^{-12}$.

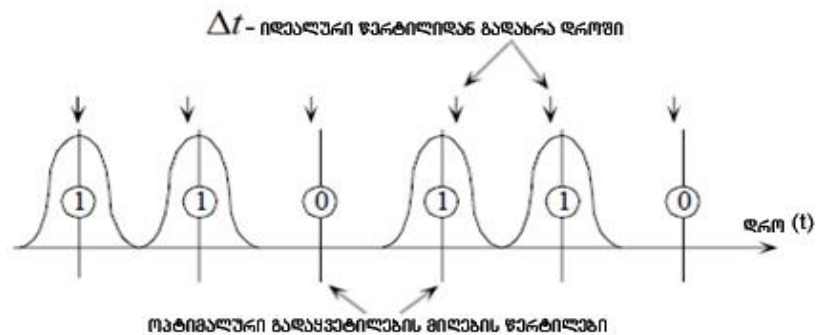
ბიტური სიმბოლოების დისპერსიების სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს $\sigma_0 = 0.05; 0.066; 0.083$, $\sigma_1 = 0.1, 0.2$, ხოლო „1“-ის დონე $I_1=1$ და „0“-ის დონე

$I_0=0.1, 0.2$, ბიტურ შეცდომათა კოეფიციენტი მოქცეულია $BER=10^{-2}-10^{-8}$ ფარგლებში, გადამწვეტი მოწყობილობის ზღურბლი კი $I_D=0.3-0.45$ -მდე (ნახ.2ბ).

ამრიგად, დადგენილია დამოკიდებულებები გცბოს-ის მიმღების გადამწვეტ მოწყობილობაში ორობითი სიმბოლოების დონეების და შესაბამისი დისპერსიების სხვადასხვა მნიშვნელობებს შორის, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია შევავსოთ ციფრული სისტემის ხარისხის მაჩვენებელი Q-ფაქტორის (ბიტურ შეცდომათა კოეფიციენტის - BER) მნიშვნელობა.

მესამე თავში წარმოდგენილია გცბო-ში ამ მოვლენების წარმოშობის მიზეზები და მისი ანალიზი კავშირის ხარისხზე შესაძლო გავლენის პირობები, შეცდომათა ალბათობის შეფასება დროითი ჯიტერის გათვალისწინებით და სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის დროს (ISI).

ნახ.3 მოყვანილია დროითი ჯიტერის გავლენა გადაწყვეტილების მიღებაზე:



ნახ.3. დროითი ჯიტერის გავლენა გადაწყვეტილების მიღებაზე:
 ა) იმპულსის ცენტრში, ბ) რეალური იდეალური წერტილიდან Δt დროით გადახრილი ორობითი იმპულსების მიმდევრობა

როგორც აღინიშნა, ჯიტერის გავლენა გამოიხატება გცბოს გადამწვეტ მოწყობილობაში ციფრული ხმაურით შენიღბული სიგნალის მიმართ გადაწყვეტილების მიღებაში, ვინაიდან, მოცემული სიგნალი განიცდის ფლუქტუაციას (ფიქსირებული მდგომარეობიდან გადახრას), რაც შესაბამისად აისახება გადაწყვეტილების მიღების სიზუსტეზე. შედეგი

გამოისახება სიმძლავრის ჯარიმაში, რომელიც დამოკიდებულია იმპულსის ფორმაზე. Q-ფაქტორი შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით:

$$Q = \frac{I_1 - \langle \Delta i_j \rangle}{(\sigma_T^2 + \sigma_j^2)^{1/2} + \sigma_T} \quad (4)$$

სადაც, I_1 - „1“ დონეა ციფრული ნაკადის მიმდევრობაში; Δi_j -დენის ფლუქტაციაა; σ_T -სითბური ხმაურის დისპერსიაა; $\sigma_j - \Delta t$ დროის მიმართ დისპერსია.

კოეფიციენტები b და δ_j გამოისახება შემდეგნაირად:

$$b = (4\pi^2/3 - 8)(B\tau_j)^2, \quad (5)$$

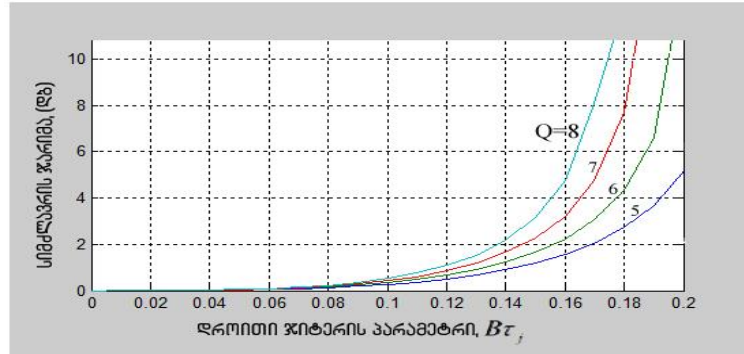
$$\delta_j = 10 \log_{10} \left(\frac{P(b)}{P(0)} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1 - b/2}{(1 - b/2)^2 - b^2 Q^2 / 2} \right), \quad (6)$$

სადაც, $P_{\text{იმლ.}}(b)$ -მიმღების საშუალო ოპტიკური მგრძნობიარობაა სიმძლავრის მიხედვით $P_{\text{იმლ.}}(0)$ -მიმღების მგრძნობიარობაა სიმძლავრის მიხედვით გამორთულ მდგომარეობაში. დავამყაროთ დროითი ჯიტერის ეფექტის გამო წარმოშობილი სიმძლავრის ჯარიმის ($P_{\text{ჯარ.}}$) დამოკიდებულება ჯიტერის პარამეტრთან. ამისათვის მართებულია ავიღოთ დროითი ჯიტერის პარამეტრი - $B\tau_j$ ნამრავლის სახით. ანუ, ავგოთ დამოკიდებულება $P_{\text{ჯარ.}} = \Psi(B\tau_j)$. აქ B -ციფრული მიმდევრობის გადაცემის სიჩქარეა $B=1/T$; τ_j - საშუალო კვადრატული გადახრაა (დისპერსია), ასეთი გრაფიკი საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ჯარიმა ნებისმიერი იერარქიის ციფრული სისტემის (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256.....) შემთხვევაში.

ნახ.4-ზე მოყვანილია დამოკიდებულება $P_{\text{ჯარ.}} = \Psi(B\tau_j)$, როდესაც $Q=5,6,7,8$.

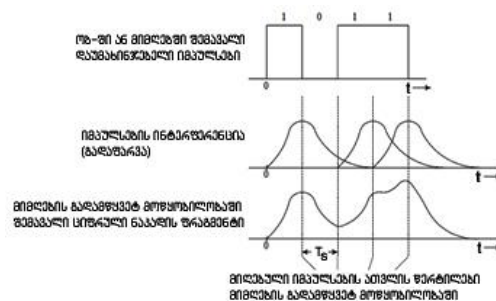
დროითი ჯიტერი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გცბოს ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე; სიმძლავრის ჯარიმა დამოკიდებულია $Q(\text{BER})$ მნიშვნელობაზე. ჯარიმა მით მეტი იქნება, რაც უფრო მაღალია ბიტურ შეცდომათა ალბათობა (BER);

ჯიტერის მოქმედი მნიშვნელობა უნდა მერყეობდეს ბიტური ინტერვალის ხანგრძლიობის 5-10 %-ის ფარგლებში.



ნახ.4. დროითი ჯიტერის პარამეტრის $B\tau_j$ დამოკიდებულება სიმძლავრის ჯარიმაზე Q ფაქტორის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს $Q=5,6,7,8$.

ნახ.5-ზე წარმოდგენილია ორობითი ციფრული სიგნალის ობ-ში გავლისას არსებული სში.

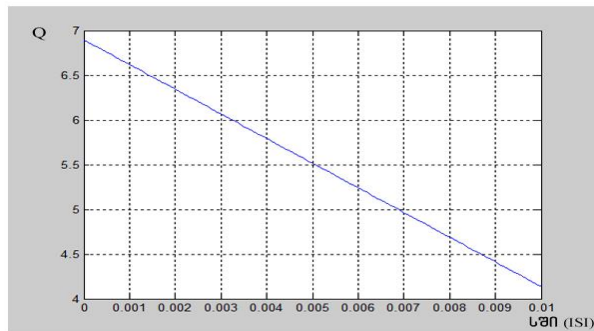


ნახ.5. ბინარულ ციფრულ სისტემაში სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის მაგალითი

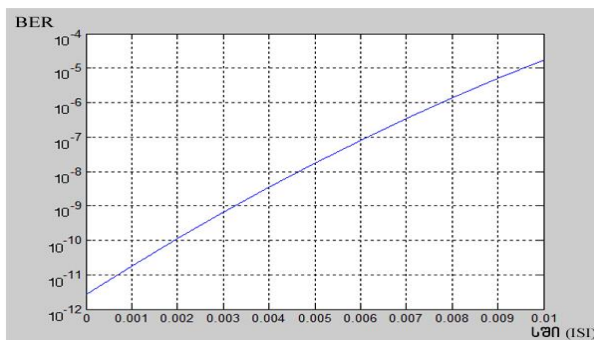
რაც შეეხება გცბოს მიმღებ მოწყობილობას, იქაც ანალოგურ მოვლენას აქვს ადგილი ოპტიკური მიმღების გატარების ზოლის სასრული სიგანის გამო. შევნიშნავთ, რომ ოპტიკური მიმღების გატარების ზოლი რამდენადმე ოპტიმალური უნდა იყოს გცბოს სახაზო ტრაქტიდან მიღებული ცოფრული მიმდევრობის სპექტრთან. ამასთან, თუ მიმღების გატარების ზოლი მნიშვნელოვნად აღემატება ამ ციფრული სიგნალის გატარებისათვის საჭირო სიხშირულ ზოლს, მაშინ აუცილებელია მისი შემცირება, ვინაიდან

ფართე ზოლის დროს შესაბამისად, პროპორციულად გაიზრდება ხმაურის დონე. ამავე დროს, გატარების ზოლის ქვემოდან შემცირება იწვევს დამახინჯებას პირველი რიგის სში-ის სახით, ხოლო გატარების ზოლის ზემოდან შეზღუდვა დამახინჯებას მეორე რიგის სში-ის სახით. გვბოს-ში ერთდროულად შეიძლება არსებობდეს როგორც ობ-ს დისპერსია, ისე სში.

დავამყარეთ რაოდენობრივი დამოკიდებულებები Q -ფაქტორსა და სში (ISI) - $Q = \Psi(\text{ISI})$ და აქედან გამომდინარე $\text{BER} = \Psi(\text{სში})$ შორის. ქვემოთ ნახ.6.ა,ბ. მოყვანილია $Q = \Psi(\text{ISI})$, $\text{BER} = \Psi(\text{ISI})$ დამოკიდებულებები I_1 და I_0 სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს, σ_1 , σ_0 მუდმივი მნიშვნელობებისას $\sigma_1 = 3.378 \cdot 10^{-3}$, $\sigma_0 = 3.373 \cdot 10^{-3}$.



ნახ.6. ა) Q – ფაქტორის დამოკიდებულება სში-ზე: $Q = \Psi(\text{ISI})$; $I_0 = 0.05$, $I_1 = 0.1$

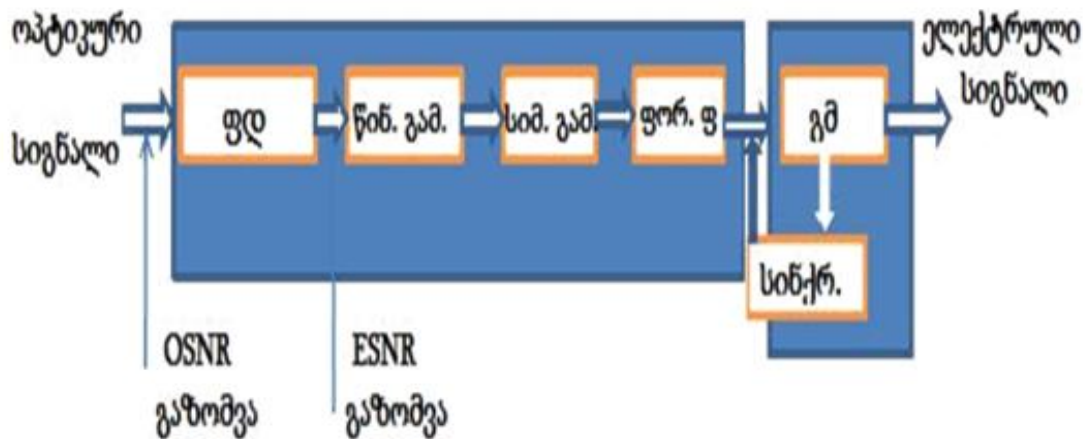


ნახ.6.ბ) BER – ფაქტორის დამოკიდებულება სში-ზე: $\text{BER} = \Psi(\text{ISI})$ $I_0 = 0.05$, $I_1 = 0.1$

დადგენილია, რომ სიმბოლოთშორისი ინტერფერენცია (სში-ISI), რომელიც გამოწვეულია ოპტიკური ბოჭკოს დისპერსიით და მიმღების გატარების ზოლის სასრული სიგანით, არაწრფივი პროცესებით ოპტიკურ

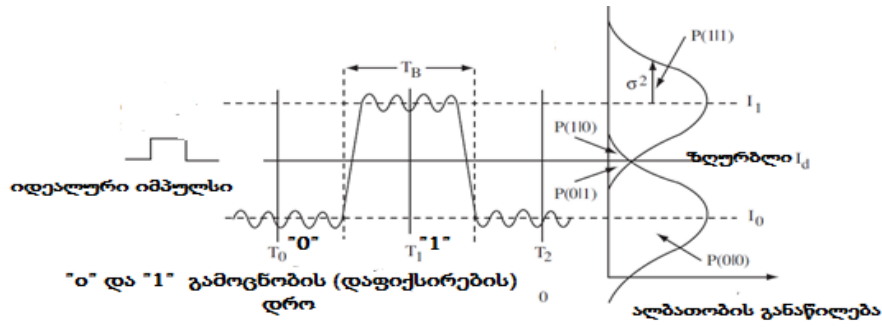
ბოჭკოში და სხვა მნიშვნელოვან გავლენას ახდეს მთლიანად გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის ხარისხობრივ მაჩვენებელზე ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) კოეფიციენტის გაუარესების (გაზრდის) სახით.

მეოთხე თავი ეძღვნება გცბო-ში ხმაურების პრობლემას. ხმაურის თემა გცბოს დაპროექტების და ექსპლუატაციის დროს მნიშვნელოვანია და სერიოზულ განხილვას საჭიროებს. ხმაურის წყარო გცბო-ში შეიძლება იყოს გადამცემი ლაზერი, ოპტიკური მიმღები, აგრეთვე სხვა კვანძები. მათ შორის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესია ოპტიკური მიმღები (ნახ.7).



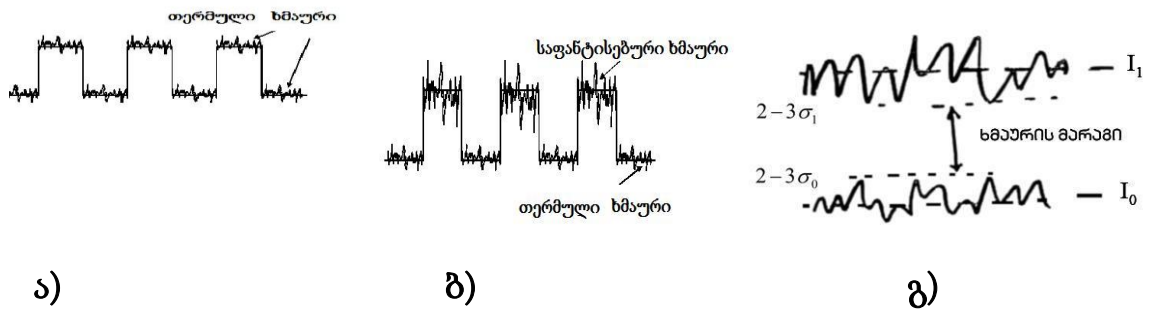
ნახ.7. გცბოს ოპტიკური მიმღების სტრუქტურული სქემა

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ BER უნდა დავუშვათ, რომ ორივე სახის ხმაური აღიწერება გაუსის (ნორმალური) განაწილების კანონის საშუალებით 0 და 1 სიმბოლოებიდან სტანდარტული გადახრის სახით. ამ გადახრების ალბათობა, როგორც წესი 0 და 1 თვის სხვადასხვაა. ნახ.8 წარმოდგენილია ოპტიკურ მიმღებში მონაცემების მიღება $P(1/0)$ „1“-ის „0“ ში გადასვლის ალბათობა.



ნახ.8. ოპტიკურ მიმღებში მონაცემების მიღება P(1/0) „1“-ის „0“ ში გადასვლის ალბათობის განაწილება

ნაშრომში განხილულია, რომ მიმღებში არსებობს სიჩუმის, მოცულობითი და ზედაპირული ხმაურის დენები, თერმული (სითბური, ჯონსონის), საფანტისებური (კვანტური) ხმაურები. ამათგან, დასაბუთებულია, რომ მიმღებზე ძირითად გავლენას ახდენს თერმული და საფანტისებური ხმაურები. აქედან, გამომდინარე, ყალიბდება ორი ძირითადი დომინანტური რეჟიმი: დომინანტური ხმაურის თერმული რეჟიმი ($\sigma_s \ll \sigma_T$) და დომინანტური საფანტისებური ხმაურის რეჟიმი ($\sigma_T \ll \sigma_s$). ცხადია არსებობს გარდამავალი რეჟიმები, როდესაც $\sigma_s = \sigma_T$ ან ე.წ „ხმაურის მარაგის“ რეჟიმი, როდესაც $\sigma_T \approx \sigma_s \approx 0$ (ნახ. 9.ა,ბ,გ).



ნახ.9. ა). თერმული ხმაურის რეჟიმი ($\sigma_T \ll \sigma_s$)

ნახ.9. ბ). საფანტისებური ხმაურის რეჟიმი ($\sigma_s \ll \sigma_T$)

ნახ.9. გ). ხმაურის მარაგის რეჟიმი $\sigma_T \approx \sigma_s \approx 0$

ნაშრომში ჩვენ განვიხილეთ ელექტრული სიგნალი/ხმაური (ESNR) ფარდობა:

$$\text{სიგნ/ხმაური} = \frac{\text{სიგნალი: ფდ-ის ფოტოდენი (სიმძლავრე)}}{\text{ფდ-ის ხმაურის სიმძლ.+გამამძლ. ხმაურ. სიმძლ}}$$

გცბოს ოპტიკურ ტრაქტში ოპტიკური გადამცემიდან მიმღების ფოტოდეტექტორამდე ჩვენ გვაქვს ოპტიკური სიგნალი. ამ შემთხვევაში ფარდობა ოპტიკური სიგნალი/ხმაური (OSNR), ხოლო ფოტოდეტექტორის შემდეგ ჩვენ გვაქვს ელექტრული სიგნალის ფარდობა/ხმაურთან (ESNR), ვინაიდან ფოტოდეტექტორში ოპტიკური სიგნალი გარდაიქმნა ელექტრულ სიგნალად, აქედან გამომდინარე, სიგნალი/ხმაური ფარდობის პარამეტრები OSNR გაზომვისას უნდა მოხდეს ფდ-ის შესასვლელში, ხოლო ESNR-გადამწვეტი მოწყობილობის წინ (იხ. ნახ.7).

მეხუთე თავში წარმოდგენილია ლაზერის ფარდობითი ინტესივობის ხმაური (RIN), მოდების გაყოფის ხმაური (MPN), და მათი დამოკიდებულება ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე. ხმაურების შეფასება სიმძლავრის ჯარიმით. დადგენილია, რომ გცბოს არსებულმა დამახინჯებათა რამოდენიმე სახემ შესაძლებელია მნიშვნელოვანი გავლენა მოახდინოს გადასაცემ სასარგებლო სიგნალზე. ასეთი დარღვევები იწვევენ სისტემის რიგი პარამეტრების და მთლიანად მწარმოებლურობის ბიტებურ შეცდომათა ალბათობის გაუარესებას, კერძოდ, და შედეგად, ჯარიმას სიმძლავრის მიხედვით.

სიმძლავრეზე ჯარიმის ფიზიკური არსი მდგომარეობს შემდეგში: იმისათვის რომ შევინარჩუნოთ BER -ის მუდმივი მნიშვნელობა, საჭირო ხდება მიმღები მოწყობილობის შესასვლელზე სიმძლავრის გაზრდა, რაც იმას ნიშნავს, რომ BER -ის არსებული მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად აუცილებელია ჯარიმის გადახდა.

ანალიზით დავადგინეთ და წინამდებარე ნაშრომში ვითვალისწინებთ რეკომენდაციებს ჯამური (სარეზერვო) დაშვებაზე $C_{\text{რეზ}}=6$ დბ-ის ფარგლებში მაგისტრალური ქსელებისათვის. თუმცა, ზოგიერთი მწარმოებლები იზღუდებიან 4,8 დბ-მდე და 3 დბ-მდეც კი. რეკ. ITU-T G.957 ადგენს გცბოს კვანძებში დანაკარგების დასაფარად

მომსახურების ვადის დამთავრების მომენტისათვის რეზერვის სახით დატოვებული იქნას 2-4 დბ: მოდების გაყოფის რეჟიმი გცბოს-ში, წარმოიშვება იმ ლაზერებში, რომლებშიც გარდა გრძივი მოდებისა ადგილი აქვს განივი მოდების არსებობას. შედეგად, ამ მოდების ფლუქტუაციის ხდება მოდების გაყოფის რეჟიმის წარმოშობა.

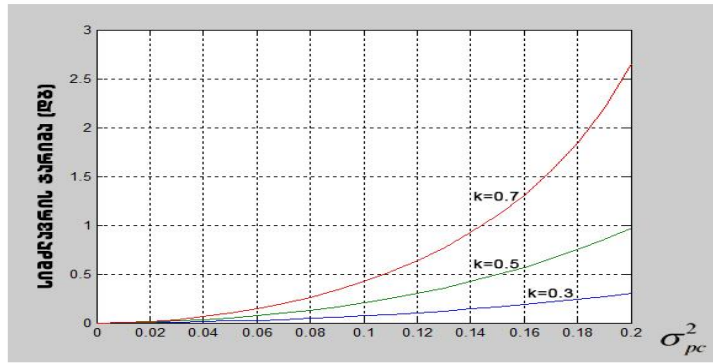
ამ შემთხვევაში SNR-ფარდობა სიგნალი/ხმაური, განპირობებული მოდების გაყოფის ხმაურით σ_{pc}^2 -მოდების გაყოფის ხმაური, ხმაურის სიმძლავრე მოდური ხმაური გამიჯვნის გამო. ხოლო, სიმძლავრის ჯარიმა მოდური გაყოფის ხმაურის σ_{pc}^2 გამო განისაზღვრება ცნობილი ფორმულით :

$$P_{mod\ jar} = -5\log(1 - Q^2 \sigma_{pc} k^2) \quad (7)$$

სადაც, Q - ფაქტორი დაკავშირებულია ბიტურ შეცდომათა ალბათობასთან (BER) გაუსის მიახლოებით. მაგალითად, როდესაც BER=10⁻⁹, Q=6.

მოდების გაყოფის კოეფიციენტი K აღნიშნავს ლაზერულ დიოდში მოდების განცალკევების რეჟიმის მახასიათებელს. დიდი k -თვის მოდების გაყოფის კოეფიციენტი მაღალია. ეს კოეფიციენტი გაზომვადია და არსებობს მისი გაზომვის მარტივი მეთოდები. ექსპლუატაციის სხვადასხვა პირობებში K იცვლება მრავალმოდური ოპტიკური ბოჭკოებისათვის $K=0,14-0,7$ საზღვრებში. როდესაც გადაცემული იმპულსის სიგანის გაზრდისას K მცირდება, ანუ გადაცემის დაბალი სიჩქარის დროს მოდების გაყოფის ხმაური მცირდება. ერთმოდური ოპტიკურ სისტემებში $K=0,4-0,7$, თუ გამოიყენება ერთმოდური გრძივმოდური ლაზერები, ერთმოდური ოპტიკურ სისტემებში გამოსხივებული სპექტრის ვიწრო სიგანით, მოდების გაყოფის ხმაური ითვლება დომინანტ შემზღვევად.

ნახ. 10. წარმოდგენილია სიმძლავრის ჯარიმის დამოკიდებულება მოდური სეგმენტის ხმაურზე.

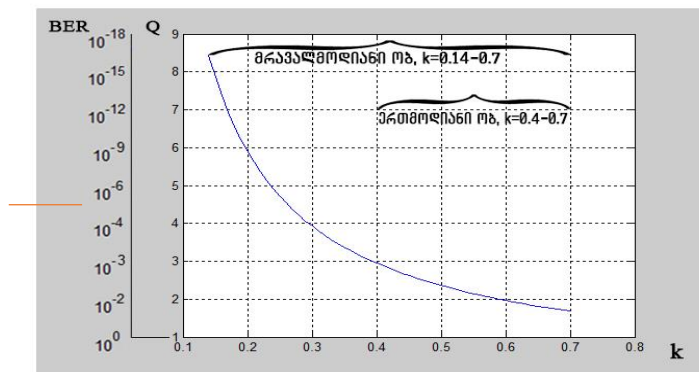


ნახ.10. სიმძლავრის ჯარიმის დამოკიდებულება მოდური სეგმენტის ხმაურზე, მოდური სეგმენტის კოეფიციენტის (k) სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის: k=0.3; 0.5; 0.7. Q=6; BER ≈ 10⁻⁹.

ნაშრომში მიღებული იქნა Q- ფაქტორის გამოსახულება, რომელმაც საშუალება მოგვცა დაგვეკავშირებინა Q ფაქტორის დამოკიდებულება მოდური სეგმენტის კოეფიციენტზე (k).

$$Q = \sqrt{1 - \frac{10^{-P_{Mod.Jar}/5}}{\sigma_{pc} k^2}}; \quad (8)$$

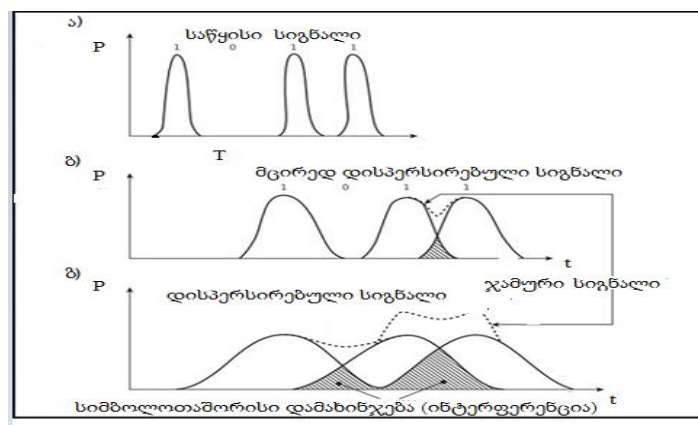
Q ფაქტორის დამოკიდებულება მოდური სეგმენტის კოეფიციენტზე (k). მოდური სეგმენტის ხმაური (მსხ) $\sigma_{pc}^2 = 0.18$, სიმძლავრის ჯარიმა $P_{ახ} = 0.1$ დბ. წარმოდგენილია ნახ. 11.-ზე,



ნახ. 11. Q ფაქტორის დამოკიდებულება მოდური სეგმენტის კოეფიციენტზე (k). მოდური სეგმენტის ხმაური (მსხ) $\sigma_{pc}^2 = 0.18$, სიმძლავრის ჯარიმა $P_{ახ} = 0.1$ დბ.

ხმაური მოდების გაყოფის გამო შეიძლება შემცირდეს, თუ ბიტურ შეცდომათა ალბათობა მცირდება, ან ოპერაციული ტალღის მუშა სიგრძე ნულოვანი დისპერსიული ტალღის სიგრძის ტოლია. გცბოს-ისათვის

დამახასიათებელია მონაცემების გადაცემის მაღალი სიჩქარე და ხმაურის დაბალი დონე. შესაბამისად, საჭიროა მოიძებნოს მიდგომები მოდემის გაყოფის ეფექტის მინიმიზაციისათვის გადაცემის მაღალი სიჩქარეებზე. იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ლაზერი განაწილებული უკუკავშირით (DFB-distributed feedback laser) გამოიყენება დისპერსიის პრობლემის გადასაწყვეტად ტალღის სიგრძეზე, რომელიც შორს არის ნულოვანი დისპერსიის ტალღის სიგრძისაგან, მოდემის გაყოფის ხმაურმა შეიძლება გამოიწვიოს სისტემური პრობლემა. მიზეზი არის ის, რომ DFB ლაზერის ძირითად მოდას თან ახლავს უფრო მცირე ამპლიტუდის მრავალი გვერდითი მოდა. ამ გვერდითმა მოვლენებმა შეიძლება გამოიწვიოს რეჟიმის ფლუქტუაცია, რომელიც განაპირობებს მოდემის გაყოფის ხმაურს. ამავე თავში წარმოდგენილია აგრეთვე სიმბოლოთაშორისი დამახინჯების, მოდემის გაყოფის ხმაურის და სიმძლავრის ჯარიმის შეფასება საკითხები. გაფართოებული (დისპერსირებული) სიმბოლოები იკავებენ სატაქტო ინტერვალის (T) ნაწილს (ნახ.12). რაც იწვევს გადაცემული სიმძლავრის გაუარესებას. ITU-T G.957 რეკომენდაცია ადგენს დისპერსიის გამო იმპულსებს შორის ენერჯიის გადანაწილების და გადაცემული სიმძლავრის შემცირებას (გაუარესებას), რაც ფასდება სიმძლავრის ჯარიმის სახით.



ნახ.12. სიმბოლოთაშორისი დამახინჯების ილუსტრაცია ოპტიკურ კაბელში ციფრული სიგნალების გადაცემის დროს

NRZ ფორმატის სახაზო სიგნალისათვის და სელექტიური SLM (Selective laser melting) ლაზერის გამოყენების შემთხვევაში გამოისახება ფორმულით .

$$P_{ISI} = 5 \log (1 + 2\pi\alpha^2); \quad (9)$$

ხოლო, მიღება:

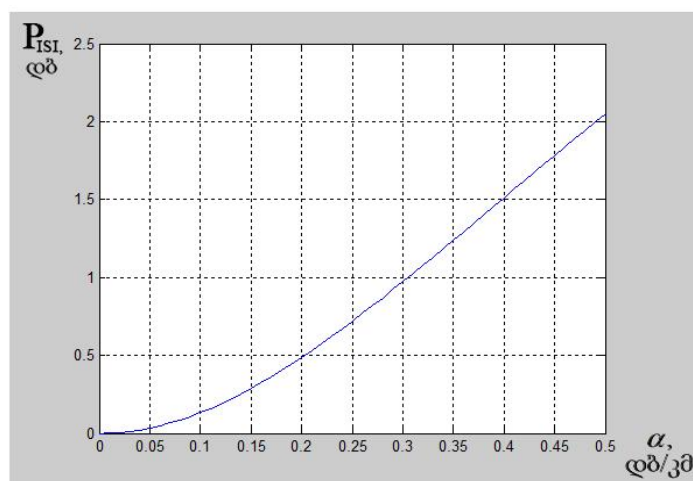
$$\alpha = \left(\frac{10^{\frac{P_{ISI}}{5}} - 1}{2\pi} \right)^{0.5}; \quad (10)$$

სადაც, Pisi-სიმბოლოთაშორის დამახინჯებით გამოწვეული სიმძლავრის ჯარიმაა, $\epsilon \equiv \alpha$ მიღებაა, დბ/კმ.

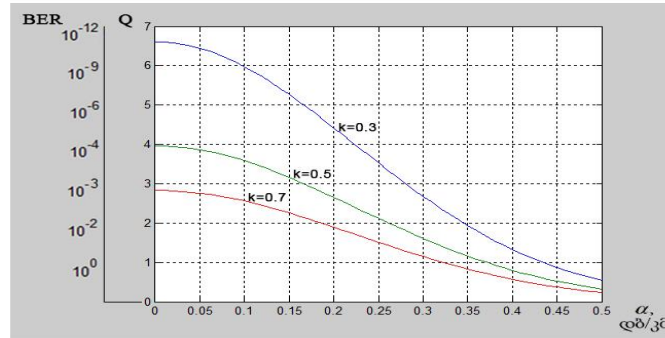
(13) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მიღებული შედეგი არ არის დამოკიდებული ბიტურ შეცდომათა ალაბათობაზე, რომელიც აღებულია BER=10⁻¹⁰ დროს.

ნახ.13-ზე, მოყვანილია სიმბოლოთაშორისი დამახინჯების გამო სიმძლავრეზე ჯარიმის დამოკიდებულება მიღებაზე - $P_{isi} = \Psi(\alpha)$, ხოლო, ნახ.14 -ზე, Q ფაქტორის $Q = \Psi(BER)$ დამოკიდებულება მიღებაზე.

ამრიგად, როგორც მოსალოდნელი იყო ოპტიკური არხის მიღება განაპირობებს სიმძლავრის ჯარიმას სიმბოლოთაშორისი დამახინჯებაზე.



ნახ.13. სიმბოლოთაშორისი დამახინჯების სიმძლავრეზე ჯარიმის დამოკიდებულება მიღებაზე $P_{isi} = \Psi(\alpha)$.



ნახ.14. Q ფაქტორის $Q = \Psi(\text{BER})$ დამოკიდებულება მილევაზე, მოდური სეგმენტის კოეფიციენტის (k) სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. $k=0.3; 0.5; 0.7$. მოდური სეგმენტის ხმაურის $P_{MPN}=0.2$ დროს.

P_{MPN} გავლენის დასადგენად მიღებული იქნა გამოსახულება Q ფაქტორისათვის:

$$Q = \frac{2(1 - 10^{-10P_{MPN}})}{k(1 - e^{-\pi^2 \alpha^2})} ; \quad (11)$$

ვინაიდან, სიმბოლოთაშორისი დამახინჯების, მოდური სეგმენტის ხმაურის წარმოშობის წყაროები დამოუკიდებლები არიან, ამის გამო, საერთო ჯარიმა სიმძლავრის გაუარესებაზე შეიძლება შევავასოთ, როგორც სიმბოლოთაშორის სიმძლავრეზე ჯარიმისა და ლაზერის მოდური სეგმენტის ხმაურზე (მოდების გაყოფის ხმაურზე) ჯარიმების ჯამი:

$$P_{\text{ჯარ.საერთო}} = P_{\text{ისი}} + P_{\text{MPN}} \quad (12)$$

ასევე, ვინაიდან ხმაურის სხვა ზემოთ განხილული წყაროებიც ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლები არიან შესაძლებელია მათი აჯამვა და აქედან გამომდინარე, გცბოს დასაშვებ რეზერვთან მიმართებით მათი წილის შეფასება.

ამრიგად, სიმბოლოთაშორის დამახინჯებაზე ჯარიმა - $P_{\text{ისი}}$ და ჯარიმა სიმძლავრის მიხედვით- P_{MPN} მოდების გაყოფის ხმაურზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ გცბოს ხარისხობრივ მახასიათებლებზე: Q-ფაქტორსა და ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე, მის ენერგეტიკულ პოტენციალზე (ბიუჯეტზე) და აუცილებლად უნდა იქნას შეფასებული და გათვალისწინებული სისტემის ენერგეტიკული პოტენციალის რეზერვი დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის დროს.

დასკვნა

1. შემუშავებულია რეკომენდაციები კავშირის ხარისხის მონიტორინგის სისტემის დანერგვის შესახებ როგორც ფიქსირებულ, ისე მობილური კავშირის ქსელებში. წარმოდგენილი რეკომენდაციების და ღონისძიებების გატარება მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს საქართველოს სატელეკომუნიკაციო სექტორის ევროკავშირის შესაბამის სტრუქტურებთან ინტეგრაციას.

2. დადგენილ იქნა დამოკიდებულებები გცბოს-ის მიმღების გადამწყვეტ მოწყობილობაში ორობითი სიმბოლოების დონეების და შესაბამისი დისპერსიების სხვადასხვა მნიშვნელობებს შორის, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია შევავსოთ ციფრული სისტემის ხარისხის მაჩვენებელი Q-ფაქტორის (ბიტურ შეცდომათა კოეფიციენტის - BER) მნიშვნელობა. გამოთვლილი და აგებული იქნა კონკრეტული დამოკიდებულებები $BER = f(Q)$ და $I_1; I_0; \sigma_1; \sigma_0$ რეალურ მნიშვნელობებს შორის, აგებულია შესაბამისი გრაფიკები.

3. ჯიტერის, როგორც უარყოფითი მოვლენის გავლენა გცბოს-ის მუშაობის ხარისხობრივ მახასიათებლებზე შეფასებულ იქნა ჯიტერის მოვლენაზე ასახული სიმძლავრის ჯარიმის სახით; განსაზღვრულია დროითი ჯიტერის პარამეტრის $B\tau_j$ დამოკიდებულება სიმძლავრის ჯარიმაზე Q ფაქტორის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. Q=5,6,7,8. რამაც საშუალება მოგვცა დაგვედგინა ჯარიმა ნებისმიერი იერარქიის ციფრული სისტემის (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 STM-256.....) შემთხვევაში.

4. დადგენილი იქნა, რომ:

- დროითი ჯიტერი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გცბოს ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე;

- სიმპლავრის ჯარიმა დამოკიდებულია $Q(BER)$ მნიშვნელობაზე. ჯარიმა მით მეტი იქნება, რაც უფრო მაღალია ბიტურ შეცდომათა ალბათობა (BER);
- ჯიტერის მოქმედი მნიშვნელობა უნდა მერყეობდეს ბიტური ინტერვალის ხანგრძლიობის 5-10 %-ის ფარგლებში.

5. განსაზღვრული იქნა სიმბოლოთშორისი ინტერფერენციის ძირითადი მიზეზები გცბოს-ში. მოყვანილია მისი ფიზიკური არსი და შემცირების გზები. დადგენილი იქნა იქნა სიმბოლოთშორისი ინტერფერენციის (სში) გავლენა გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (გცბოს) შეცდომათა ალბათობაზე (BER), სში-ის შედეგად თვალის დიაგრამის ღიობის შემცირების გამო.

6. დადგენილია, რომ სიმბოლოთშორისი ინტერფერენცია (ISI), რომელიც გამოწვეულია ოპტიკური ბოჭკოს დისპერსიით და მიმღების გატარების ზოლის სასრული სიგანით, არაწრფივი პროცესებით ოპტიკურ ბოჭკოში და სხვა მნიშვნელოვან გავლენას ახდეს მთლიანად გცბოს ხარისხობრივ მაჩვენებელზე - ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე და ზრდის მას.

7. განხორციელდა მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის (ბარიერის) ოპტიმიზაცია. დადგინდა, რომ გცბოს მიმღების ზღურბლის ოპტიმიზაციას დიდი მნიშვნელობა აქვს მთლიანად ოპტიკური კავშირის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესების საქმეში. მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ოპტიმიზაციით უზრუნველყოფთ ბიტურ შეცდომათა ალბათობის ოპტიმიზაციას. გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის ოპტიმიზაციის ამოცანა მდგომარეობს შემდეგში: როდესაც $(I_1, I_0, \sigma_\tau \equiv \sigma_1, \sigma_s \equiv \sigma_0)$ პარამეტრების ისეთ შერჩევაში, როდესაც გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის ყველა შესაძლო შემთხვევებს შორის მიიღება საუკეთესო (ოპტიმალური) მნიშვნელობა, რომლითაც გარანტირებულია BERopt საუკეთესო მნიშვნელობა.

8. დადგენილი იქნა, რომ გცბო-ში ბიტურ შეცდომათა ალბათობაზე გავლენას გარდა ჯიტერისა, ოპტიკური არხის გარტარების ზოლის შემცირებისა, გავლენას ახდენენ ისეთი ფაქტორები, როგორებიცაა მოდალური ხმაური, ლაზერის ფარდობითი ინტესივობის ხმაური (RIN Relitive Intensaity Noise)), მოდების გაყოფის ხმაური (MPN Mode Partition Noise)), სიმბოლოთაშორის დამახინჯება (ISI- Intersymbol Interferene). ეს მოვლენები უნდა აისახოს სიმძლავრის ჯარიმის სახით.

9. სიმძლავრეზე ჯარიმის ფიზიკური არსი მდგომარეობს შემდეგში: იმისათვის რომ შევინარჩუნოთ BER -ის მუდმივი მნიშვნელობა, საჭირო ხდება მიმღები მოწყობილობის შესასვლელზე სიმძლავრის გაზრდა, რაც იმას ნიშნავს, რომ BER -ის არსებული მნიშვნელობის შესანარჩუნებლად აუცილებელია ჯარიმის გადახდა.

10. დადგენილი იქნა, რომ და წინამდებარე ნაშრომში გათვალისწინებულია რეკომენდაციები ჯამური (სარეზერვო) დაშვებაზე $C_{რეზ}=6$ დბ-ის ფარგლებში მაგისტრალური ქსელებისათვის. თუმცა, ზოგიერთი მწარმოებლები იზღუდებიან 4,8 დბ-მდე და 3 დბ-მდეც კი. რეკ. ITU-T G.957 ადგენს გცბოს კვანძებში დანაკარგების დასაფარად მომსახურების ვადის დამთავრების მომენტისათვის რეზერვის სახით დატოვებული იქნას 2-4 დბ:

11. მიღებული იქნა გამოსახულება, რომლიც საშუალება მოგვცა დაგვეკავშირებინა Q ფაქტორის დამოკიდებულება მოდური სეგმენტის კოეფიციენტზე (k). მოდური სეგმენტის ხმაური (მსხ)აგებული იქნა დამოკიდებულებები Q- ფაქტორსა მოდური სეგმენტის კოეფიციენტს (k) შორის ერთმოდინი და მრავალმოდინი ოპტიკური ბოჭკოებისათვის. რაც საშუალებას მოგვცემს გათვალისწინებული იქნას გცბოს გადამცემი მიწყობილობის ლაზერის შერჩევას.

12. გამოტანილი იქნა მნიშვნელოვანი დასკვნა, რომ, ჯარიმა სიმბოლოთაშორის დამახინჯებაზე χ - Pisi და ჯარიმა სიმძლავრის მიხედვით მოდების გაყოფის ხმაურზე - P_{MPN} მნიშვნელოვან გავლენას

ახდენენ გცბოს ხარისხობრივ მახასიათებლებზე - Q-ფაქტორსა და აუცილებლად უნდა იქნას შეფასებული და გათვალისწინებული სისტემის ენერგეტიკული პოტენციალის რეზერვის დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის დროს. წარმოდგენილი გრაფიკებით შესაძლებელია შევაფასოთ აგრეთვე $Q = \Psi (BER)$ მნიშვნელობის დამოკიდებულება მილევის და მოდების გაყოფის ხმაურთან მიმართებით. ყოველივე ეს შესაბამისობაში უნდა მოვიდეს წინამდებარე დასკვნის მე-4 პუნქტში მოცემულ რეკომენდაციებთან გცბოს რეგენერაციული პუნქტის ანგარიშისას მილევის ჯამური, სარეზერვო დაშვების დროს.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული შრომები

1. როსტიაშვილი ნ. გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში Q- ფაქტორის ოპტიმალური მნიშვნელობის დადგენა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისები. 06 - 25 ივნისი 2016 წ.
2. როსტიაშვილი ნ. გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) განსაზღვრა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისები. 06 - 25 ივნისი 2016 წ.
3. როსტიაშვილი ნ. კავშირის მომსახურების ხარისხის ამალღების გზები გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისები. 06 - 25 ივნისი 2016 წ.
4. როსტიაშვილი ნ. ბიტურ შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში დროითი ჯიტერის გათვალისწინებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისები. 07 - 27 ივნისი 2016 წ.
5. როსტიაშვილი ნ. შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემის (გცბოს) მიმღების გადამწყვეტ მოწყობილობაში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თეზისები. 07 - 27 ივნისი 2016 წ.
6. როსტიაშვილი ნ. რ., ჩხაიძე მ. თ., სვანიძე რ. გ. ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს). Georgian Engineering News, 2016, №4, გვ. 37-42.
7. როსტიაშვილი ნ., ჩხაიძე მ., სვანიძე რ. შეცდომათა ალბათობის შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს). IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია – ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, 2016 წ., გვ. 182-185.
8. როსტიაშვილი ნ., ჩხაიძე მ., სვანიძე რ. შეცდომათა ალბათობის გაზომვის პრინციპები გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს). IV საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია – ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. მოხსენებების კრებული. ქუთაისი, 2016 წ., გვ. 185–187.
9. სვანიძე რ., როსტიაშვილი ნ., ჩხაიძე მ. სიმბოლოთაშორისი დამახინჯება, მოდემის გაყოფის ხმაური და სიმძლავრის ჯარიმის შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან - ოპტიკურ სისტემებში. Georgian Engineering News, 2020, №1, ტომი 90, გვ. 23-29.
10. Svanidze R., Rostiashvili N., Chincharauli J. Factors affecting the probability of bit errors and energy potential in digital fiber-optic transmission

systems. International Conference. August 20, 2020. San Francisco, California, USA. Scientific enquiry in the contemporary world: Theoretical basics and innovative approach 15 th edition http://www.bmpubgroup.com/l26_15.htm doi: 10.15350/L_26/15.9

11. Svanidze R., Rostiashvili N., Chincharauli J. The probability of bit errors (BER) and the mode of noise division of the transmission laser modes in digital-fiber-optic transmission systems. International Conference. August 20, 2020. San Francisco, California, USA. Scientific enquiry in the contemporary world: Theoretical basics and Innovative approach 15 th addition. http://www.bmpubgroup.com/l26_15.htm doi: 10.15350/L_26/15.10

12. როსტიაშვილი ნ. ბიტურ შეცდომათა ალბათობის შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს) დროითი ჯიტერის და სიმბოლოთაშორისი ინტერფერენციის გათვალისწინებით. საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტუალი“ №42, 2021 წ.

ABSTRACT

The dissertation presents the issues of connection quality research in digital fiber-optic transmission systems. Communication network in Georgia is characterized by diversity, many types of technology operate in the telecommunication networks of the country, on the one hand the abundance of services and on the other hand competition for service delivery, raises the issue of improving the quality of union services, which is related to the protection of consumer rights. Compilation of a list of quality services of the union service, develop a methodology for evaluating parameters and indicators, determining the norms of connection quality indicators as a whole means solving the task of regulating the connection services. As a result, we will improve the quality of communication services in the Georgian telecommunications market, introduction of new technologies, protection of consumers' rights, integration of the country into the EU space. Improving the quality of connection services in the telecommunications sector will also help improve the competitive environment in the telecommunications network market. As well as modernization of network infrastructure by operators. When choosing a network operator, users focus on two parameters: cost and quality of service. When the cost of services of network operators is equal to the average, the quality of service for the customer plays a crucial role.

Continuous monitoring of network indicators and timely response to their change, allows operators to monitor the technical condition of the network, perform timely device upgrades, retain existing subscribers, and guarantee new customers, provided, where there is a transition of customers from one network to another, which is greatly facilitated by portability. Communication operators and users should be widely involved in monitoring the quality of communication services. The main tasks of monitoring the quality of connection services are:

Supporting competitiveness in the telecommunications market. The need to expand and modernize the communication network in the conditions of increasing the volume of traffic. Providing high quality service to existing customers and attracting new customers. Develop a quality monitoring system and define the basic principles of its operation. Facilitate the integration of the Georgian telecommunications sector with the relevant structures of the European Union.

The paper discusses the main aspects of union services, evaluation methodology and solutions, analysis of the structural scheme and the decisive device, the nature

of the noise, its classification and the role in the formation of the probability (coefficient) of bit errors.

The main characteristics that determine the quality of a digital fiber-optic transmission system are: Bit Error Rate (BER), Q-factor, connection between BER and Q-factor. The threshold model for calculating the threshold level of the transmitting device of the digital fiber-optic transceiver is p-i-n and in the case of avalanche APD photodetectors, as well as the ideal model. The paper discusses the determination of the optimal value of the Q-factor in digital fiber-optic transmission systems. When determining the quality of optical channels, the principle of determining the optimal level (ID) threshold of the decisive device of the digital fiber-optic transmission systems receiver is given according to the recommendation of the International Communication Organization ITU-T O.201. The physical essence of the origin of the temporal jitter and its effect on the probability of bit errors are discussed. The relationship of the power penalty (P pen.) Due to the temporal jitter effect to the complex parameter of the jitter and system transmission speed is evaluated. The paper shares an approach to quantitative estimation of the jitter when the jitter is evaluated by its full spread: by amplitude (determined jitter) and by the mean square deviation (random jitter). The paper also presents the main causes of interfacial interference in digital fiber-optic transmission systems. Their physical essence and ways of reduction are given. As well as the classification of noise in the digital fiber-optic transmission systems and the evaluation of the relationship between signal-noise. Thermal (Johnson) noise, its challenging causes. Causes of scattering (quantum) noise, the principle of operation of one of the main nodes - photodetector and its sensitivity to current (monochromatic sensitivity), as well as the relationship between OSNR and ESNR. Mileage coefficient, laser radiation intensity noise RIN and receiver sensitivity. The results of this work can be used in designing of the units of Digital Fiber-Optics Transmission Systems.