

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

ADAPTİV OPTİK LİFLİ ŞƏBƏKƏLƏR VƏ ONUN MONİTORİNQİ

İxtisas: 3325.01 - “Telekommunikasiya texnologiyası”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Mehman Hüseyn oğlu Həsənov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin "Radiotexnika və telekommunikasiya" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Vaqif Əli oğlu Məhərrəmov**

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın həqiqi üzvü, t.e.d., professor
Əli Məmməd oğlu Abbasov

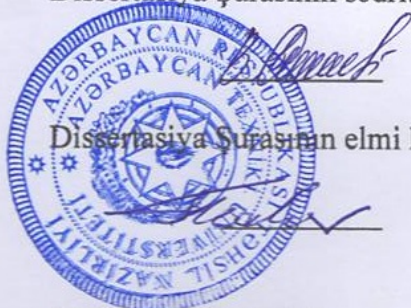
texnika elmləri doktoru, professor
Famil Hüseyn oğlu Məmmədov

texnika elmləri doktoru, professor
Cavanşir Firidun oğlu Məmmədov

texnika elmləri doktoru, professor
Tofiq İbrahim oğlu Süleymanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor



Vaqif Əlicavad oğlu Qasimov

Dissertasiya Şurasının elmi katibi: texnika elmləri namizədi, dosent

Vahid Qara oğlu Fərhadov

Elmi seminarın sədri:

texnika elmləri doktoru, professor
Bayram Qənimət oğlu İbrahimov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Optik lifli veriliş şəbəkələrinin üstünlüklərindən biri, informasiya “okeanı”nda informasiya həcminin artımı, multiservis xidmətlərin çoxalması, məsafədən idarəetmə çeşidlərinin saylarının artımı və s. hesabına artan trafikə görə, genişzolaqlı olmasıdır. Optik lifli veriliş şəbəkələri (OLVŞ) üzərindən informasiya ötürülməsinin dəfələrlə sürətlərinin qlobal miqyasda artımı bu sahənin öyrənilməsinin, analizinin, yeni intellektual adaptiv nəzəri və praktiki şəbəkə texnologiyalarının yaradılması üçün nə qədər vacib olduğunu bir daha təsdiqləyir.

OLVŞ-nin vacib sahələrindən biri onlar əsasında qurulmuş xüsusi optik şəbəkələrdə (OŞ) informasiya itkisinin qarşısının alınması üçün zədələnməyə tam nəzarəti təmin etmək üçün istənilən zaman kəsiyində şəbəkənin texniki parametrlərinin və keyfiyyət göstəricilərinin monitorinqinin aparıla bilməsidir. Bununla bərabər hazırda Beynəlxalq Telekomunikasiya İttifaqının (BTİ) G.680 tövsiyəsinə əsasən müasir optik infokommunikasiya və kompüter şəbəkələrində daha baha başa gələn optik-elektrik-optik və elektrik-optik-elektrik çeviricilərinin sayının azaldılması və onun (texniki və keyfiyyət) parametrlərinin saxlanması şərtində tam optik-optik çeviricilərlə əvəz edilməklə magistral şəbəkələrin uzunluğunun 2000 *km*-dən daha uzaq məsafəyə çatdırılmasıdır. Əlbəttə, belə qlobal məsələlərin həlli zamanı şəbəkəyə tam nəzarət, zədələnmələrin, informasiya itkisinin qarşısını almaq, parametrlərlə bərabər informasiya daşıyan işıq ötürücüsünün keyfiyyət göstəricilərinə, lazım gəldikdə zədələnməmiş və ya fotonların sayının dəyişməsinə uyğun kanalların başqa işıq ötürücüsünə yönləndirilməsi, trafik sənəyinin (daşmasının) tənzimlənməsi üçün yeni avadanlıqların yaradılması və s. bu kimi məsələlər daha qlobal xarakter daşıyır.

MDB və xarici ölkələrdə optik veriliş sistemləri və onların monitorinq effektivliyinin yüksəldilməsi problemi və texniki təminatı ilə yaxından məşğul olan mütəxəssislər tərəfindən aparılmış uzunmüddətli tədqiqatlara baxmayaraq, optik lifli veriliş şəbəkələrində yeni adaptiv optik şəbəkələrin qurulması prinsiplərinin işlənilməsinə və yeni monitorinq üsullarının yaradılmasına kifayət qədər diqqət

yetirilməmişdir və bu məsələlər təkmilləşdirilməsi zəruriyyəti tədqiq ediləcək istiqamətin seçimini müəyyən edib və dissertasiya işinin məqsəd və vəzifələrinin müəyyən olunması üçün əsas yaradıb.

Bir optik lif üzərindən dalğa uzunluğuna görə sıxlaşdırma metodlarından istifadə etməklə 240 ədəd müxtəlif λ dalğa uzunluğundan istifadə etmək olar. Hər bir dalğa uzunluğu ilə 10 *Qbit/s* sürəti ilə informasiya ötürülsə, bir optik lif üzərindən 2,4 *Tbit/s*-ə qədər informasiya ötürmək imkanı yaranır.

Qeyd olunanlara görə *Tbit/s* sürətli optik liflərlə təchiz olunmuş adaptiv optik şəbəkələrin qurulması, zədələnmələrin yerinin avtomatik aşkar olunması, zədələnmiş OL-lərdən kanalların aktiv liflərə yönləndirilməsi olduqca aktual və vacib elmi-texniki məsələdir.

Tədqiqat obyektı və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyektı magistral və passiv optik lifli veriliş şəbəkələr, idarə olunan kommutatorlar, texniki qurğular və vasitələr, monitoring sistemləridir.

Dissertasiya işinin predmeti optik lifli veriliş şəbəkələrinin qurulmasının texnoloji və texniki vasitələri və monitoring qurğularıdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Optik lifli şəbəkələrinin texniki, istismar və keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılması üçün yeni adaptiv optik şəbəkələrin qurulması prinsiplərinin və onların monitoring üsullarının işlənilməsidir.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş məqsədə çatmaq üçün sistemli analiz nəzəriyyəsiindən, pyzeoeffekt nəzəriyyəsinin əsaslarından, elektrik dövrələri nəzəriyyəsiindən, harmonik xəttləşdirmə metodundan, rəqslər nəzəriyyəsiindən, dinamik analogiya metodundan və ədədi üsullardan istifadə edilmişdir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

- optik lifli veriliş şəbəkələrində yeni adaptiv optik şəbəkələrin qurulması prinsipi;

- adaptiv optik şəbəkələrin qurulması, məsafədən nəzarət və monitoringi üçün müxtəlif dalğa uzunluqları ilə işləyən optik kommutatorların qurulması;

- adaptiv optik şəbəkələrin effektivliyinin yüksəldilməsi üçün yeni optik kommutatorların qurulma prinsipləri;

- optik lifli veriliş şəbəkələrinin mikropyzeoptik və mikro-

elektromexaniki optik kommutatorlarının idarə olunma üsulu;

- optik lifli rabitə şəbəkələrinin parametrlərinin qiymətləndirilməsi üçün mikropyzeoptik kommutatorların elementlərinin parametrlərinin hesablanması metodikası;

- optik veriliş şəbəkələrinin parametrlərinin avtomatik nəzarəti üçün yeni monitorinq üsulu.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işində aşağıdakı elmi yeniliklər əldə edilmişdir:

1. İlk dəfə olaraq optik lifli veriliş şəbəkələrində yeni adaptiv tam optik şəbəkənin qurulması prinsipi işlənmişdir.

2. Adaptiv optik şəbəkələr üçün yeni optik kommutatorların qurulma prinsipləri işlənmiş və nəzəri əsaslandırılmışdır.

3. Optik lifli veriliş şəbəkələrinin mikropyzeoptik və mikroelektromexaniki optik kommutatorların idarə olunma üsulu işlənmişdir.

4. Mikropyzeoptik kommutatorların elementlərinin parametrlərinin hesablanması üçün metodika işlənmişdir.

5. Mikroelektromexaniki və mikropyzeoelektrik optik kommutatorların yeni riyazi modeli işlənmişdir.

6. Adaptiv optik şəbəkələrin qurulması, məsafədən nəzarət və monitorinqi üçün müxtəlif dalğa uzunluqları ilə işləyən optik kommutatorların rejimlərinin işləmə prinsipləri verilmişdir.

7. Optik veriliş şəbəkələrinin parametrlərinə avtomatik nəzarət edilməsi üçün yeni monitorinq qurğusunun qurulması prinsipi təklif edilmiş və nəzəri olaraq əsaslandırılmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Təklif olunan model və metodlardan adaptiv optik lifli şəbəkələrdə, optik kanalları kommutasiya edən optik kommutatorlarda, optik lifli şəbəkələrin vəziyyətini məsafədən diaqnostika və nəzarətini yerinə yetirən yeni monitorinq sistemlərində istifadəsinin mümkünlüyü təcrübi olaraq sınaqdan keçirilmişdir.

Nəticələrin dürüstlüklük dərəcəsi. Dissertasiyada alınmış nəzəri nəticələr BTİ-nin tövsiyələrinə əsaslanmaqla adaptiv optik lifli şəbəkələrin real praktikada monitorinqindən alınmış nəticələrlə sübut edilmiş, istehsalatda və tədris prosesində tətbiqlərlə təsdiq edilmiş və müvafiq aktlar alınmışdır.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işinin nəticələri müəllif tərəfindən şəxsən alınmışdır. Əsas elmi nəticələrin tətbiqi müəllifin iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

İşin nəticələrinin həyata keçirilməsi və tətbiqi. Adaptiv optik lifli şəbəkələr və onun monitorinqinin təhlili və tədqiqi zamanı alınmış elmi və təcrübi nəticələr Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyinin idarə və müəssisələrinin optik şəbəkələrinin effektivliyinin yüksəlməsi məqsədi ilə tətbiq və tədqiq edilmişdir. Eyni zamanda dissertasiya işinin elmi və metodiki yenilikləri AzTU-nun “İnformasiya və telekommunikasiya texnologiyaları” fakültəsinin “Radiotexnika və telekommunikasiya” kafedrasında aparılan elmi-tədqiqat və tədris prosesində, eləcə də metodiki işlərin və dərs vəsaitlərinin tərtibində geniş istifadə edilmişdir. Alınmış nəticələrin yuxarıda göstərilən tədris müəssisəsi və “Teleradio” İstehsalat Birliyinin şəbəkəsində tətbiqi müvafiq aktlarla təsdiq edilmişdir.

Dissertasiya işinin aprobasiyası. Dissertasiya işində əldə edilmiş əsas elmi-nəzəri və praktiki nəticələr beynəlxalq və respublika səviyyəli konfranslarda, simpoziumlarda və seminarlarda məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

Elektromexatronika üzrə birinci beynəlxalq konfrans, Sankt-Peterburq, 1997-ci il; “Cihazların, qurğuların və sistemlərin analizi-nin, etibarlılığının və keyfiyyətinin təmin edilməsinin aktual problemləri” beynəlxalq elmi konfrans, Penza, 1997-ci il; Beynəlxalq elmi konfrans, Gəncə, 1999-cu il; 3-cü beynəlxalq elmi konfrans, Ulyanovsk, 1999-cu il; 3-cü beynəlxalq elmi konfrans, Odessa, 2002-ci il; İnteraktiv sistemlər, insan və kompüterin qarşılıqlı problemləri, 2001-ci il; “Azərbaycanın regionlarında müasir rabitə və informasiya texnologiyalarının tətbiqi” beynəlxalq elmi konfrans, Mingəçevir, 2006-cı il; AzTU-nun professor-müəllim heyətinin və aspirantların elmi konfransı, Bakı, 2006-2017-ci illər; “Fizikanın müasir problemləri” III Respublika konfransı, Bakı, 2009-cu il; “Etibarlılıq və keyfiyyət 2010” beynəlxalq simpozium, Penza, 2010-cu il; “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” beynəlxalq elmi konfrans, Bakı, 2014-2016-cı illər; Beynəlxalq iştiraklı ümumrusiya konfransı, Rusiya Xalqlar Dostluğu Universiteti, Moskva, 2017-ci il; Tələbə, magistr və aspi-

rantların dördüncü beynəlxalq elmi konfransı, Xarkov, 2017-ci il; “Elm və texnikanın aktual problemləri” elmi konfransı, Ufa, 2017-ci il; “Müasir rabitə vasitələri” mövzulu XXII BET konfrans, Minsk, 2017-ci il; “İnformasiya cəmiyyəti texnologiyaları” adlı BE konfrans, Moskva, 2018-ci il; “Qlobal tendensiyalar və müasir Azərbaycan” Respublika elmi konfransı, Mingəçevir, 2018-ci il; “İnfokommunikasiyada siqnalların sinxronlaşdırılması, formalaşması və işlənməsi sistemləri” beynəlxalq ETK, Minsk, 2018; “İnformatika və modelləşdirmənin problemləri” BE konfransı, Xarkov-Odessa, 2018-ci il; Beynəlxalq Avtomatik İdarəetmə Federasiyasının “Texnologiya, mədəniyyət və beynəlxalq sabitlik” mövzusunda keçirdiyi beynəlxalq konfrans, Bakı, 2018-ci il; “İKT-nin tətbiqi” adlı 13-cü beynəlxalq konfrans, Bakı, 2019-cu il; “Müasir rabitə vasitələri” adlı XXIV beynəlxalq elmi konfrans, Minsk, 2019-cu il; “WECONF-2019” adlı BK, Sankt-Peterburq, 2019-cu il; “Rabitə və texnologiyanın idarə olunması” adlı BK, Vyana, 2021-ci il; “Səhra şəraitində bort kommunikasiyasında siqnalların generasiyası və emalı sistemləri” adlı beynəlxalq elmi konfrans, Moskva, 2021-ci il; “Yumşaq hesablama, sözlərlə hesablama, qavrama və süni intellekt nəzəriyyəsi və tətbiqi üzrə 11-ci BK (ICSCW-20210)”, Antalya, 2021-ci il.

İşin nəticələrinin dərc olunması. Dissertasiya işinin nəticələri üzrə nüfuzlu elmi jurnallarda 65 məqalə, beynəlxalq və respublika konfranslarının materiallarında 14 tezis, 2 kitab nəşr edilmiş və 5 müəlliflik şəhadətnaməsi və patent alınmışdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat. Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetində yerinə yetirilmişdir.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, altı fəsil, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavələr olmaqla A4 formatlı 283 səhifə kompüter mətnindən ibarət olub, özündə 111 şəkil, 4 cədvəl, 201 adda istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və 2 əlavəni birləşdirir. Dissertasiya işinin girişi A4 formatlı 8 səhifə, 1-ci fəsil 44 səhifə, 2-ci fəsil 26 səhifə, 3-cü fəsil 35 səhifə, 4-cü fəsil 50 səhifə, 5-ci fəsil 39 səhifə, 6-cı fəsil 44 səhifə, nəticə 2 səhifə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı 23 səhifə, əlavələr 5 səhifə, ixtisarlara və şərti işarələr siyahısı 13 səhifə kompüter mətnindən ibarətdir. Dissertasiyadakı işarələrin sayı 424000-ə bərabərdir.

TƏDQIQATIN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı, onun elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi, məsələlərin həlli üçün yeni üsul və metodlar sadalanmış, müdafiəyə çıxarılmış əsas müddəalar, elmi yeniliyi və praktiki dəyəri, elmi nəticələri, həmçinin işin strukturu, aprobasiyası və tədqiqatların nəticələrinin tətbiqi haqqında məlumatlar öz əksini tapmışdır.

Birinci fəsildə optik rabitənin inkişaf tarixinin mərhələlərinə baxılmış, optik lifli veriliş sistemlərinin icmalı verilmiş, icmal nəticəsində optik sistemlərin veriliş və qəbul potensialını artırmaq üçün müasir OLVŞ-nin struktur sxemləri analiz olunmuş, uzunmüddətli aparılmış tədqiqatlar nəticəsində adaptiv optik lifli şəbəkələr və onun monitorinqi analiz edilərək dissertasiya işinin qarşısında duran problemlərin həlli üçün qarşıda duran tədqiqat məsələləri ardıcıl və ətraflı formalaşdırılmışdır.

OLVŞ-nin üzərindən müasir telekommunikasiya xidmətləri ilə bərabər, hərəkətli və hərəkətsiz obyekt və əşyaların məsafədən idarə olunması, ağıllı ev layihələrinin həyata keçirilməsinin geniş yayılması, yeni super optik magistral şəbəkələrin qurulması, dalğa uzunluğuna görə kommutasiya məsələləri, tam optik şəbəkəyə keçid və soliton texnologiyasına keçidin problemlərinin analizi, magistral, korporativ, istərsə də passiv optik şəbəkələrin məsafədən avtomatik monitorinqi, monitorinq zamanı optik liflərin işçi vəziyyətinə təsir edən amillər OLVŞ-nin kompleks şəkildə bir daha tədqiq olunmasının vacibliyi əks olunmuşdur.

Optik şəbəkələrin tam arxitekturaları, o cümlədən tamamilə kommutasiya kanalına malik optik şəbəkələrin arxitekturalarının, optik şəbəkələrin qurulma konvergensiyası prinsipləri verilmişdir. Bununla bərabər, adaptiv optik lifli şəbəkələrin yaradılması üçün optik lifli veriliş şəbəkələrindəki itkilər və dispersiya, onların yaranma mənbələri araşdırılmış, eyni zamanda itkilərin qiyməti müəyyənləşdirilmiş və adaptiv optik lifli şəbəkələr və onun elementlərinin qurulması məsələlərinə baxılmışdır.

İkinci fəsildə adaptiv optik lifli şəbəkələr və onun elementlərinin yeni konstruksiyaları və iş prinsipi verilmişdir. Adaptiv optik

lifli şəbəkələrə keçidlə əlaqədar, optik lifli şəbəkələrin arxitekturasını, şəbəkələrin və lokal şəbəkələrin operativ marşrutlaşdırılmasını, optik informasiya axınlarının sürətini və effektiv kommutasiyasını təmin edən bütün növ optik kommutatorların analizi nəticəsində adaptiv optik lifli şəbəkələrin mövcud şəbəkələrə inteqrasiyası üçün dalğa uzunluqlarına görə sıxlaşdırma sistemləri, dalğavari süzgəclər və optik kommutatorlar analiz olunmuş, ayrı-ayrı λ_1 , λ_2 , və λ_N dalğa uzunluqlu optik informasiya axınlarının multipleksləşdirmə-demultipleksləşdirmə optik qurğuları, o cümlədən, spektrə görə sıxlaşdırma mulipleksorlarının iş prinsiplərinin analizi aparılmışdır.

Adaptiv optik lifli şəbəkələr telekommunikasiya və kompüter şəbəkələrinə, o cümlədən magistral və müxtəlif arxitekturalı optik şəbəkələrə aiddir və geniş yayımlı telekommunikasiya şəbəkələrində, eləcə də lokal şəbəkələrdə verilənlərin mübadiləsində istifadəsi şəbəkənin dayanıqlığını, etibarlılığını, məsafədən monitoring və idarəetməni, informasiyanın təhlükəsizliyini, effektivliyinin artımını təmin etmək imkanına malikdir.

Şəkil 1-də təklif olunan adaptiv optik lifli şəbəkənin sxemi verilmişdir. Bu şəbəkə ağacvari arxitekturalı malik PON (Passive Optical Networks) şəbəkəsi ilə müqayisə olunaraq, üstünlükləri, o cümlədən, təklif edilən şəbəkədə bütün liflərə eyni zamanda və kəsilməz olaraq nəzarət olunması, bütün liflərin vəziyyətinin avtomatik olaraq diaqnozlaşdırılması, idarəetmə sistemi vasitəsilə bütün abonent qovşaqları fasiləsiz alternativ optik rabitə kanalı ilə təmin edilməsi və beləliklə, optik lifli rabitə şəbəkəsinin istismar imkanlarının genişləndirilməsi əks olunmuşdur.

Şəkil 1-dən göründüyü kimi optik lifli şəbəkə 1-optik lifli ilgəkdən, 10-mərkəzi qovşaqdan, 11- N - abonent qovşağından, 12-əsas vericidən, 13-əsas qəbuledicidən, 14-ehtiyat vericidən, 15-ehtiyat qəbuledicidən, 16-əsas ilgəyin başlanğıcından və 17-sonundan, 18-ehtiyat ilgəyin sonundan və 19-başlanğıcından, 20-abonent qovşağının vericisindən və 21-qəbuledicisindən ibarətdir.

Optik şəbəkəyə əlavə olaraq m - optik lifləri 2, 3, ..., 4, 5; m - istiqamətləndirilmiş ayrııcılar 6, 7, ..., 8, 9; m - optik lifin 22-birinci və 23-ikinci ikiistiqamətli optik kommutatorları; 24- N - optik cəmləyici/paylayıcıları; m - optik lifin vəziyyətini öyrənmək

mətli optik kommutatorla rabitədədir. 10-mərkəzi qovşağın 13-əsas qəbuledicisi isə 17-əsas ilgəyin sonu və 23-ikinci ikiistiqamətli optik kommutatorla rabitədədir. 10-mərkəzi qovşağın 14-ehtiyat vericisi 19-ehtiyat ilgəyin başlanğıcı ilə və 23-ikinci ikiistiqamətli optik kommutatorla rabitədədir. 10-mərkəzi qovşağın 15-ehtiyat qəbuledicisi isə 18-ehtiyat ilgəyin sonu ilə və 22-birinci ikiistiqamətli optik kommutatorla rabitədədir. 22-birinci ikiistiqamətli optik kommutator 29-birinci yarımqəffaf güzgü vasitəsilə m - optik liflərlə 2, 3,...,4, 5 rabitədədir. 23-ikinci ikiistiqamətli optik kommutator 30-ikinci yarımqəffaf güzgü vasitəsilə m - optik liflərlə 2, 3,...,4, 5 rabitədədir. 24-optik cəmləyici/paylayıcıların bir çıxışı istiqamətləndirilmiş ayrıcılarla 6, 7,...,8, 9, digər çıxışı isə 11-abonent şəbəkəsinin 20-vericisi və 21-qəbuledicisi ilə rabitədədir. 25-uzaqdan nəzarətmə sistemi, 26-birinci və 27-ikinci məlumat çıxışları və uyğun olaraq, 29-birinci və 30-ikinci yarımqəffaf güzgülər vasitəsilə m - optik liflərlə 2, 3,...,4, 5 komanda çıxışı vasitəsilə isə 28-idarətmə sistemilə rabitədədir. Digər tərəfdən, 28-idarətmə sistemi bir çıxışı ilə 25-uzaqdan nəzarətmə sistemi ilə, digər çıxışı ilə isə 22-birinci və 23-ikinci ikiistiqamətli optik kommutatorla rabitədədir.

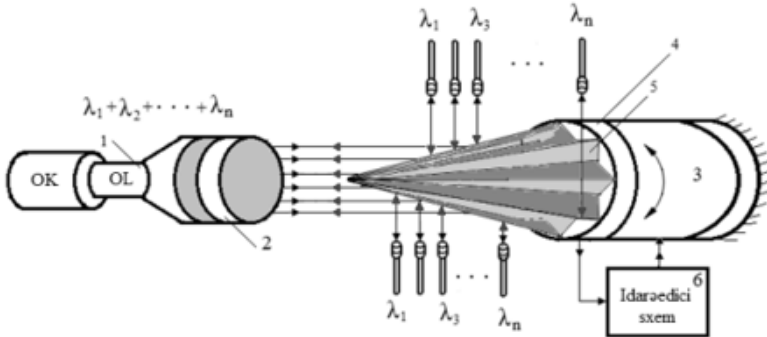
Bu fəsildə adaptiv optik şəbəkənin iş prinsipi, adaptiv passiv optik şəbəkə - PON şəbəkəsi kimi tanınan şəbəkənin iş prinsipilə eyniliyi nəzərə alınmış və $\lambda_{1n} - \lambda_{nm}$ -ə kimi müxtəlif dalğa uzunluqlarında istər magistral, istərsə də PON şəbəkələrində tətbiqi təklif olunmuşdur.

İlgəkvəri (dairəvi) arxitekturaya malik adaptiv şəbəkə ikiistiqamətli m optik 2, 3,...,4, 5 lifə, 22-birinci və 23-ikinci ikiistiqamətli optik kommutatora, 24- N - optik sıxlaşdırıcı/paylaşdırıcılarla, 26-birinci və 27-ikinci məlumat və bir komanda çıxışına malik 25-uzaqdan nəzarətmə sistemi ilə, 28-idarətmə sistemi ilə və 29-birinci və 30-ikinci yarımqəffaf güzgülərlə təchiz edilməklə şəbəkədə 1+1 rejimi (rezervləşdirilmə) həll olunmuşdur.

Beləliklə, təklif edilən adaptiv optik şəbəkədə bütün optik liflər eyni zamanda və kəsilməz olaraq nəzarət olunur və bütün liflərin vəziyyəti avtomatik olaraq diaqnozlaşdırılır və idarətmə sistemi vasitəsilə bütün abonent qovşaqları fasiləsiz optik rabitə kanalı ilə təmin edilir.

Üçüncü fəsildə optik informasiya selinin kommutasiya qurğularının qurulma prinsipləri əsasında və yarımşəffaf optik kommutatorlar, tətbiq vasitələri və onların işləmə prinsipi əldə olunmuş nəticələrdən istifadə edilərək, gələcək tədqiqatlarda inkişaf etdirilmiş və optik lifli şəbəkələrin tədqiqində prinsipcə yeni elmi nəticələr əldə olunmuşdur.

Bu fəsildə yüksək parametrlərə malik çoxkanallı optik kommutatorları üçün mikropyezomühərriklərin köməyi ilə yeni çoxfunksiyalı pyezokommutator yaradılmışdır. Optik kommutatorların keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılması və çox funksionallığının təmini məqsədilə şəkil 2-də göstərilən adaptiv çoxkanallı mikropyezoelektrik optik kommutator və onun idarəetmə bloku hazırlanmışdır.



Şəkil 2. Adaptiv çoxkanallı mikropyezoelektrik optik kommutator və onun idarəetmə blokunun funksional sxemi

Şəkil 2-dən göründüyü kimi, qurğu 1-optik liflərdən təşkil olunmuş optik kablədən (OK), 2-fokuslayıcı linzalardan, 3-pyezoelektrik mikromühərrikdən, 4-reversiv rotordan, 5-səkkizitnli əks-ətdirici güzgüdə və 6-idarə blokundan ibarətdir. İdarə olunan güzgüdə daxil olan optik şüanın 1-5%-i (əvvəlcədən təyin olunmuş etalon qiyməti) idarəetmə qurğuya daxil olur. İdarəetmə qurğuya daxil olan optik şüa fotoqəbuledicilərin köməyi ilə elektrik siqnalına çevrilərək müqayisəetmə sxemə ötürülür. Fotoqəbuledicinin çıxışından daxil olan siqnalın səviyyəsi “etalon” siqnalın səviyyəsi ilə müqayisə olunur və burada üç hala nəzər yetirək:

- fotoqəbuledicinin çıxışından daxil olan siqnalın səviyyəsi “etalon” siqnalın səviyyəsi ilə eynidir ($u_f = u_e$);

- fotoqəbuledicidən daxil olan siqnalın səviyyəsi “etalon” siqnalın səviyyəsindən kiçikdir ($u_f < u_e$);

- fotoqəbuledicinin çıxışından daxil olan siqnalın səviyyəsi “etalon” siqnalın səviyyəsindən böyükdür ($u_f > u_e$).

I halda mikropyezomühərrikin girişinə heç bir idarəedici komanda daxil olmur və bu hal idarə olunan güzgülər tərəfindən istiqamətlər üzrə ötürülən müxtəlif dalğa uzunluğuna malik optik şüaların ötürülməsinin normal halıdır.

II halda müqayisə sxeminin girişinə daxil olan siqnalın səviyyəsi etalondan kiçik olduqda pyezoprivodun girişinə gərginlik gücləndiricisinin köməyi ilə $u_f < u_e - a$ uyğun idarəedici gərginlik verilir və bu halda mühərrik idarəedici güzgünü $u_f = u_e$ halına qədər idarə edir. $u_f = u_e$ halında isə hərəkətini dayandırılır.

III halda isə $u_f > u_e$ olduqda eyni ilə II halda olduğu proses baş verir. Əgər $u_f = u_e$ -ə bərabərləşmişsə, deməli şəbəkənin monitoring zəruriyyəti yaranır.

Mikropyezomühərrikin tətbiqi ilə optik kanal çeviricilərinin ümumiləşdirilmiş sxeminin iş prinsipinə əsasən qeyd olunanları nəzərə alaraq şəbəkənin kommutasiya prosesinin analizini aşağıdakı kimi göstərmək olar:

Müqayisənin nəticəsi		idarə olunan güzgüyə təsiri
$u_f = u_e$	0	hərəkətsiz
$u_f > u_e$	+ 1	sağa
$u_f < u_e$	- 1	sola
$u_f > u_e$	$u_f > u_e$	problem var
$u_f < u_e, u_f < u_e$		problem var

burada u_f, u_e siqnalın etalon gərginliyinin səviyyəsini göstərən amplitud qiymətləridir.

Beləliklə, qeyd olunan şərt daxilində sistem daimi avtomatik idarəetmə nəzarəti altında yerləşir. Sistemin işinin dəqiqliyi etalon gərginliyinin amplitud qiymətilə təyin edilir.

Buradan göründüyü kimi idarə olunan güzgü ilə pyezoelektrik mikromühərrikin kanal çevirici kimi uyğunlaşdırılması, optik kanalların multipleksiya və demultipleksiya edilməsi (ikitarəfli istiqamətlər üzrə) ilk dəfə təklif olunur.

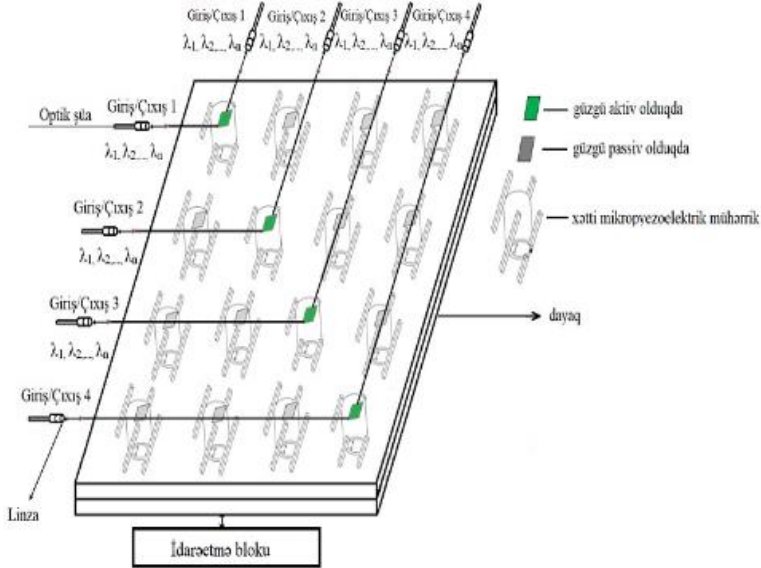
yarımkürənin 8-ayrılmış bölmələrinin radial mexaniki rəqsləri nəticəsində 17-ışığı şüası dəstəsi 19-fokuslayan güzgünün köməyi ilə pyezoelektrik yarımkürənin mərkəzində fokuslanır. Şüalanan siqnal 1-optik lifli kabelinin 2-damarının qövsvari səthinə düşərək 20-fokuslayan linza vasitəsilə 21-fotoelektrik qəbulediciyə ötürülür.

1-optik kabelinin çıxışında şüalanma intensivliyinin azalması ilə 21-fotoelektrik qəbuledicisində çevrilməsindən sonra 23-bazasında formalaşan və 22-blokunda gücləndirilən, həmçinin 24-blokunda detektə olunan siqnalın əks əlaqəsi kabel daxilindəki nazik naqıl vasitəsilə 11-sabit cərəyan mənbəyinin idarəedici girişinə verilir, onun gücləndirmə əmsalını dəyişdirməklə 4-bimorf pyezoelektrik elementi əylərək yeni vəziyyət alır, sonuncu optik lifin çıxışında işıq şüasının vəziyyətinin dəyişməsinə və şüalanmanın maksimal əksolunma qiyməti müşahidə edilir və bu zaman 23-formalaşdırıcının ikinci çıxışından çıxan elektrik siqnalı 25-gücləndiricisinin girişinə verilir, bu da onun 8-radial mexaniki kabel bölməsinin rəqs amplitudunun artmasına gətirir. Bu da öz növbəsində güc gücləndiricisinin çıxışından qidalanma gərginliyi 14-elektrodlara yarımkürənin 7-ayırılma bölməsinə verilir. 7-pyzeoelement yarımkürənin 8-ayrılmış bölmələrinin radial mexaniki rəqsləri nəticəsində işıq 17-şüa dəstəsi 19-fokuslayan güzgünün köməyi ilə pyezoelektrik yarımkürənin mərkəzində fokuslanır, başqa sözlə, faydalı siqnalın şüalanmasının intensivliyinin artmasına gətirir.

Şəkil 4-də xətti mikropyzeoelektrik mühərrikli müxtəlif dalğa uzunluqlu çoxfunksiyalı pyezoelektrik optik kanal kommutatorunun (CFPEOKK) iş prinsipini özündə əks etdirən sadələşdirilmiş sxemi təklif olunmuşdur.

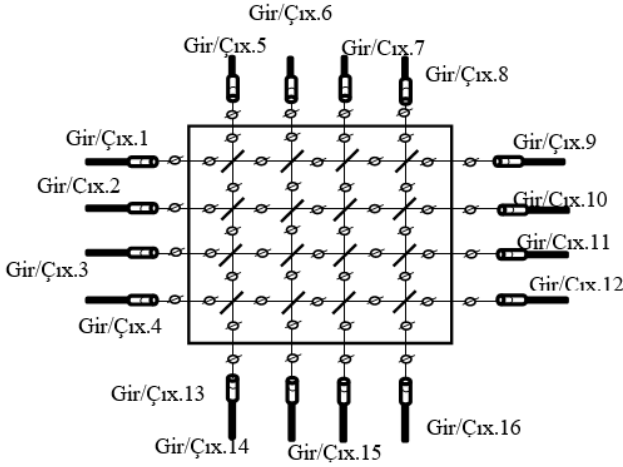
Təklif olunmuş sxemdən görüldüyü kimi, kommutator 16 ədəd hərəkət edən güzgüdən ibarət olub, dörd sətir və dörd ədəd sütunun kəsişməsində yerləşir. Nəticədə spektrə görə sıxlaşmış λ_n - müxtəlif dalğa uzunluğuna malik 16 ədəd giriş və çıxış portu təşkil etmək olar. Hər bir kəsişmədə yerləşmiş güzgülər işıq şüasının kommutasiya olunmasından asılı olaraq iki dayanıqlı vəziyyətdə ola bilər. Güzgülərin lazımi istiqamətdə mikronlarla hərəkəti üçün, konstruktiv quruluşuna, çıxış parametrlərinə və digər göstəricilərinə görə çox saylı pyezomühərriklər yaradılmasına baxmayaraq, hal-hazırda optik

lifli verilmiş şəbəkələrində çoxkanallı, çoxfunksiyalı yüksək sürətlə işləyən optik kommutator qurğularının yaradılmasında yeni xətti mikro-pyoelektrik mühərrik (XMPEM) qurulması və tətbiqi vacib məsələlərdən biridir. Bu məqsədlə mikrometr diapazonda yüksək dəqiqliklə xətti hərəkətə malik idarə olunan yeni XMPEM-in konstruk-siyası təklif olunmuşdur.



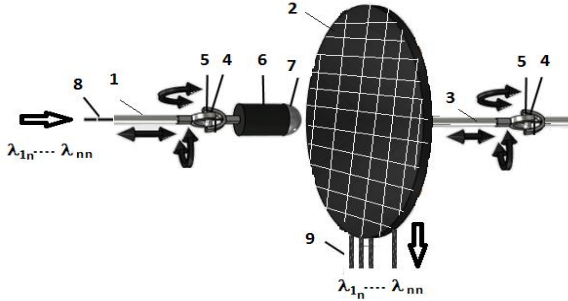
Şəkil 4. CFPEOKK-nın sxemi

Bu fəsilə qeyd olunan optik kommutatorların iş prinsiplərinə əsasən təqdim olunan sxem əsasında çoxfunksiyalı optik kommutatorun sxemi tərtib olunmuşdur. Optik kommutatorun portlarının hamısı eyni zamanda bütün portlar üzrə qarşılıqlı daxil olan və çıxan portlardan ibarət olub, bütün optik şüaları bir optik portla qəbul və ötürmə imkanlarına malikdir və çoxfunksiyalı çoxkanallı idarə olunan optik kommutatorların yaradılması üçün orijinal kommutator və qurulma prinsipi təklif olunmuşdur (şəkil 5). Qeyd olunanları nəzərə alaraq yeni 1-fəzada qarşılıqlı hərəkət edə bilən lifli optik hissə; 2-yarımsferik kommutasiya səthi; 3-fəzada qarşılıqlı hərəkət edə bilən mexaniki hissə; 4-kristavina; 5- mikromühərriklər; 6-skanlayıcı lazer; 7-fokuslayıcı linza; 8-optik dalğaötürücü;

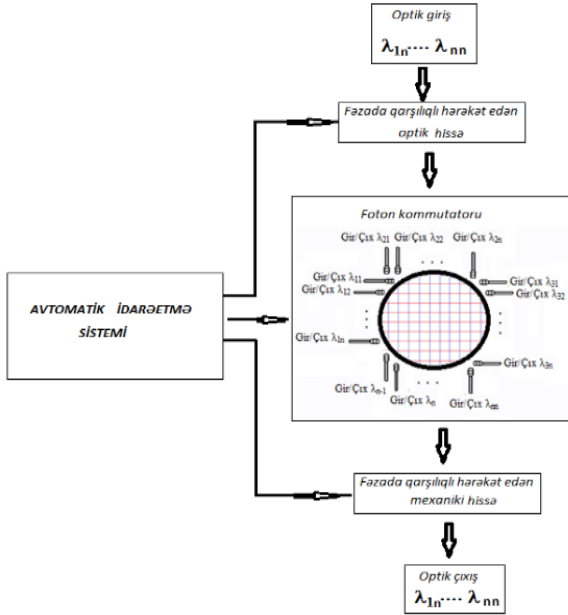


Şəkil 5. Çoxfunksiyalı optik kommutator

9-kommutasiya olunan çıxış foton kanallarına malik ($n \times n$) sayda çoxportlu (n sayda giriş kanallarını n sayda çıxış kanallarına kommutasiya etmək imkanı) daha qısa kommutasiya müddətinə malik yeni 3D optik foton kommutatoru təklif olunmuş (şəkil 6) və onun idarə olunmasının blok-sxemi tərtib edilmişdir (şəkil 7).



Şəkil 6. 3D optik foton kommutatorunun modelinin ümumi sxemi



Şəkil 7. 3D optik foton kommutatorun kanallarının idarə olunmasının blok-sxemi

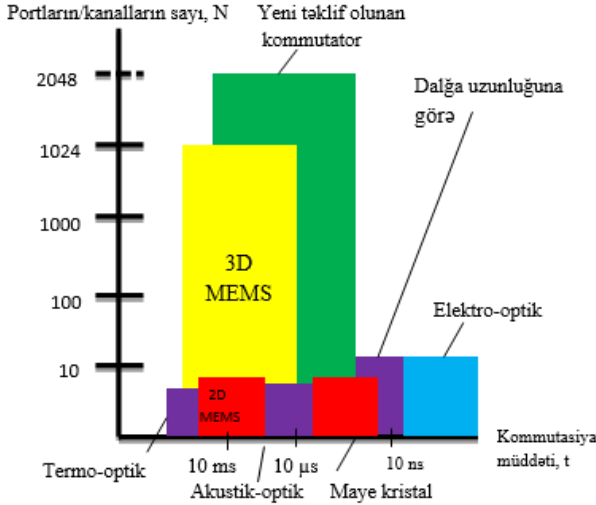
Şəkil 6 və şəkil 7-dən görüldüyü kimi 3D optik foton kommutatoru giriş/çixış λ_{11} -dən giriş/çixış λ_{nn} giriş və çixış portlarına malikdir. Hər bir port giriş və çixış funksiyasını həyata keçirmək imkanına malikdir. 1-foton kommutatorunun fəzada qarşılıqlı hərəkət edə bilən lifli optik hissəsinə spektrə görə sıxlaşdırılmış n sayda λ_{nn} , dalğa uzunluğu optik foton kanallarından siqnallar daxil olur. 8-optik lifdən daxil olan optik

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{ni} = \lambda_{11} + \lambda_{22} + \lambda_{13} + \dots + \lambda_{nn} + \lambda_{21} + \lambda_{2n} + \dots + \lambda_{31} + \dots + \lambda_n + \dots + \lambda_{nn}$$

dalğa uzunluqlarında tələb olunan λ_{xx} -i seleksiya edərək digər 9-kommutasiya olunan optik foton çixış kanallarına kommutasiya etmək üçün 4-kristavinalara bərkidilmiş avtomatik idarəetmə sistemi tərəfindən verilən uyğun komanda əsasında 5-mikromühərriklərin köməyi ilə 6-skanlayıcı lazer fəzada 3D üzrə hərəkət etmək imkanına malik olduğu üçün lazım olan kanalların kəşşməsinə meyl etdirilir

və 7-linza vasitəsilə yarı şəffaf güzgüyə istiqamətləndirilir. Kəsişmə nöqtəsində yerləşən yarı şəffaf güzgünün köməyi ilə kanalların kommutasiyası həyata keçirilir və optik informasiya seli kommutasiya olunan 9-çıxış foton kanallarına ötürülür.

Təklif olunan 3D optik foton kommutatoru digər MEMS tipli kommutatorlarla müqayisə olunmuş (şəkil 8) və kommutasiya sürətinə və kommutasiya olunan kanalların sayına görə göstəriciləri 2 dəfəyə qədər artırılmışdır.



Şəkil 8. 3D optik foton kommutatorunun digər kommutatorlarla müqayisəsi

Dördüncü fəsildə adaptiv optik şəbəkələrinin riyazi modelinin yaradılması üçün ilk növbədə OLRŞ-nin əsas elementlərinin riyazi modelinin qurulması məsələlərinə baxılmışdır. Konstruksiyasının sadəliyini, ölçülərinin kiçik olmasını, kiçik qida mənbəyindən istifadə olunmasını, idarə olunmasının sadəliyini, mikronlarla və yüksək sürətlə yerdəyişmə hərəkətini, OLVŞ-də geniş tətbiqini, gələcəkdə parametrlərinin daha çevik idarə olunmasını effektivliyinin təkmilləşdirilməsi məqsədi ilə pyzeoelementlərdən istifadə edilmişdir. Burada nazik lövhəli düzbucaqlı bimorf pyzeoelementdən istifadə etməklə təqdim olunmuş pyzeoelektromexaniki optik kommutatorun riyazi modeli qurulmuş, eyni zamanda passiv aktiv lövhəli deflek-

torun (şəkil 9) məxsusi tezliyinin analizi aparılmışdır.

Lövhəli deflektor əyilmə rəqsləri ilə həyacanlandırdıqda mexaniki sistemin rezonans tezliyinə uyğun onun səthi öz formasını dəyişməyə məruz qalır. Qəbul etsək ki, əyilən sahənin en kəsiyi deformatsiyadan sonra orta hissənin səthinə perpendikulyardır və normal gərginlikdə en kəsiyə təsiri nəzərə almamaqla, əyilməyə məruz qalan passiv-aktiv lövhəli deflektorun ayrı-ayrı sahələrinin (1-ci və 2-ci) dalğa tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır:

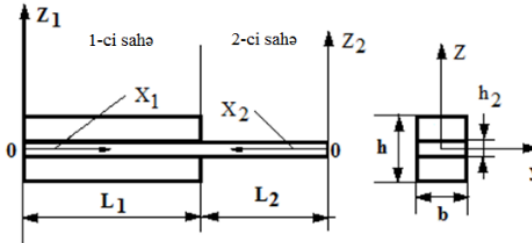
1-ci sahə üçün

$$D_1 \frac{\partial^4 z_1}{\partial x_1^4} + m_1 \frac{\partial^2 z_1}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

2-ci sahə üçün

$$D_2 \frac{\partial^4 z}{\partial x_2^4} + m_2 \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = 0, \quad (2)$$

burada D_1 və D_2 - uyğun olaraq 1-ci və ikinci sahənin sərtliyi; m_1 və m_2 - 1-ci və 2-ci sahənin uzunluğunun kütlə vahidi; t - zaman; x , z - müvafiq koordinatlardır.



Şəkil 9. Bimorf lövhəli deflektorun konstruktiv parametrləri

(1), (2) tənliklərinin həlli üçün bimorf və ikiqatlı lövhəli deflektorlardan istifadə etməklə, eyni zamanda istifadə olunan materialların sabitlərindən və həndəsi ölçülərindən asılı olaraq passiv-aktiv deflektorun tezliyi bir passiv-aktiv sahəsinin sadə harmonik rəqslərinin tezliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$f = \frac{(k_i l_i)^2 \cdot h}{2\pi \sqrt{12} \cdot l^2} \sqrt{\frac{E_{IOi}}{\rho_i}} = K_f \cdot \frac{h}{l^2}, \quad (3)$$

burada $k_i l_i$ - tezlik əmsalı olub, mexaniki sistemin tezlik bərabərliyi

ilə təyin olunur, rəqslərin birinci üç formasında: $k_1 l_1 = 1,875$, $k_2 l_2 = 4,694$, $k_3 l_3 = 7,855$ qiymətlərinə malikdir; h - rəqs edən hissənin qalınlığı olub, ikiqatlı deflektorlarda o gətirilmiş h_{pr1} qiymətinə bərabərdir; E_{10i} - deflektorun rəqsdə iştirak edən material sahəsinin elastikliyi; ρ_i - rəqs edən hissənin sıxlığı olub, material qeyri-həmcins olarsa, orda istifadə olunan materialların sıxlığının orta qiymətinə malik olacaq ρ_{or} ; K_{fi} - tezlik sabitidir.

Cədvəl 1-də sirkonat titan qurğuşun-19 (STQ-19) qarışıqlı pyezokeramikadan hazırlanmış passiv-aktiv lövhəli bimorf deflektorun parametrləri göstərilmişdir və burada passiv sahə 65 Γ marqanslı poladdan hazırlanmışdır.

Cədvəl 1

Sirkonat titan qurğuşun-19 (STQ-19) qarışıqlı pyezokeramikadan hazırlanmış passiv-aktiv lövhəli bimorf deflektorun parametrləri

Parametrlər	STQ (İTC)- 19	Marqanslı polad 65 Γ
$E_{10i}, N/m^2$	$0,72 \times 10^{11}$	2×10^{11}
$\rho_i, kq/m^3$	$7,3 \times 10^3$	$7,81 \times 10^3$
h, m^3	$0,8 \times 10^{-3}$	$0,310 \times 10^{-3}$
l, m	$(1-5) \times 10^{-2}$	$(5-40) \times 10^{-3}$
$k_i l_i$	1,875	4,694

Qalınlığı 3 mm, uzunluğu $l = 1 \div 5$ mm STB-19 markalı pyezokeramikadan istifadə etməklə yaradılmış lövhəli bimorf deflektorun rəqslərinin birinci məxsusi tezliyinin hesabı cədvəl 2-də öz əksini tapmışdır.

Bimorf lövhəli deflektorların parametrlərini seçməklə optik siqnalların kommutasiya qurğularında avtomatik konfigurasiya-rekonfigurasiya əməliyyatlarının aparılması və marşrutlanma cədvəllərinin tərtibatında istifadə olunması tövsiyə olunmuşdur.

Cədvəl 2

Bimorf lövhəli deflektorların parametrləri

	<i>l, mm</i>				
	1	2	3	4	5
f_0	4080 <i>Hs</i>	1020 <i>Hs</i>	453 <i>Hs</i>	255 <i>Hs</i>	163 <i>Hs</i>
T	0,2 <i>ms</i>	1 <i>ms</i>	2 <i>ms</i>	4 <i>ms</i>	6 <i>ms</i>

Passiv sahəsi qalınlığı $h=3$ *mm*, uzunluğu $l=5$ *mm* olan marqanslı poladdan hazırlanmış passiv-aktiv lövhəli deflektorun passiv sahəsinin rəqslərinin birinci f_{01} və ikinci f_{02} məxsusi tezliklərinin nəticələri cədvəl 3-də göstərilmişdir. Cədvəl 2 və cədvəl 3-ün analizi göstərir ki, passiv-aktiv lövhəli deflektorun uzunluğu $l=5$ *mm* olduqda onun işçi tezliyi $0,2/16 \times 10^{-3} = 12,5$ dəfə arta bilər.

Cədvəl 3

Passiv-aktiv lövhəli deflektorun passiv sahəsinin rəqslərinin birinci f_{01} və ikinci f_{02} məxsusi tezlikləri

	<i>l, mm</i>							
	5	10	15	20	25	30	35	40
f_{01}	9800 <i>Hs</i>	2450 <i>Hs</i>	1089 <i>Hs</i>	612 <i>Hs</i>	392 <i>Hs</i>	272 <i>Hs</i>	200 <i>Hs</i>	153 <i>Hs</i>
T_{01}	0,1 <i>ms</i>	0,4 <i>ms</i>	1 <i>ms</i>	1,6 <i>ms</i>	2,5 <i>ms</i>	3,7 <i>ms</i>	5 <i>ms</i>	6,5 <i>ms</i>
f_{02}	61,4 <i>kHs</i>	15,4 <i>kHs</i>	6,83 <i>kHs</i>	3,84 <i>kHs</i>	2,46 <i>kHs</i>	1,71 <i>kHs</i>	1,25 <i>kHs</i>	0,96 <i>kHs</i>
T_{02}	16 <i>mks</i>	65 <i>mks</i>	146 <i>mks</i>	0,26 <i>ms</i>	0,4 <i>ms</i>	0,6 <i>ms</i>	0,8 <i>ms</i>	1 <i>ms</i>

Mikroelektromexaniki kommutatorlarda (10-dan 500 *ms*-yə qədər keçid tezliyi olan) passiv-aktiv deflektorlardan istifadə etməklə onun bir vəziyyətdən digər vəziyyətə keçid sürətini 31250-yə qədər artırmaq olar.

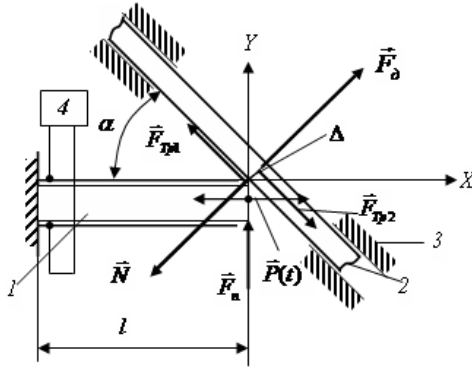
Optik kommutatorlarda istifadə olunan mikropyezomühərriklərin parametrlərinin təyini üçün dinamik analogiya metodundan istifadə edilərək onun ekvivalent sxemi qurulmuş, ona uyğun optik yarım-

şəffaf güzgülərin hərəkət sürətini təyin etmək üçün pyezomühərrikin sürəti, f.i.ə. təyin edilmişdir.

Bu fəsildə optik kommutatorlar üçün mikropyezomühərriklərin elementlərinin tezliklərinin uyğunlaşdırılması metodikası işlənmiş və bu metodika əsasında optik kommutatorların əsas vacib elementi olan mikropyezomühərrikin optimal hazırlanması göstərilmişdir. Pyezoelektrik mühərriklərin (PEM) keyfiyyət göstəriciləri, əsasən pyezoelementlə hərəkətedici rotorun qarşılıqlı təsirindən, pyezoelementin son ucunda pyezoelement hərəkət trayektoriyasından çox asılıdır. Yüksək tezlikli, yüksək f.i.ə. malik və daha yüksək hərəkət dəqiqliyinə və gücə malik PEM-də bir dövr ərzində pyezoelementin hərəkətedici hissəyə toxunan ucu ellipsvari hərəkət etdikdə alınır.

Belə halda uzununa və eninə rəqslərin tezliyi ($f = f_e$) bir-birinə bərabər, onlar arasında faza sürüşməsi $\varphi_0 = 90^\circ$, hərəkətedici elementin (HEE) əyilmə rəqsləri pyezoelementin tezlik rəqslərinə uyğun olmalıdır. Belə şərtlərin ödənilməsi üçün PE və HEE-in ölçülərinin tezliyə görə uyğunlaşdırılması tələb olunur. Ona görə burada optik veriliş sistemlərində çoxkanallı, çoxfunksiyalı optik kommutatorlarda təbii məqsədi ilə PEM-in elementlərinin, o cümlədən, PE-nin və HEE-nin qarşılıqlı təsirini nəzərə almaqla hər ikisinin tezlik və ölçülərinin uyğunlaşdırılması metodikasının hazırlanmasına baxılmışdır. PEM-in ən sadə konstruksiyası şəkil 10-də göstərilmişdir.

Şəkil 10-da 1-PE, 2-HEE, 3-istiqamətləndirici dayaq, 4-ultrasəs generatorudur. Şəkil 10-dan görüldüyü kimi PE-nin bir tərəfi möhkəm sıxılaraq bağlanmış, digər tərəfi isə α bucağı altında HEE-yə F_n gücü ilə sıxılmışdır. HEE istiqamətləndirici dayaq arasında xətti iki tərəfə hərəkət etmək və ya HEE dairəvi şəkildə olarsa, fırlanmaq imkanına malikdir. PE və HEE düzbucaqlı formasında olub uyğun olaraq a , a_1 ölçüdə eninə, b , b_1 ölçüdə qalınlığa, uyğun olaraq PE l uzunluğuna, HEE isə istiqamətləndirici dayaq arasında l_1 uzunluğa malikdirlər.



Şəkil 10. PEM-in sadələşdirilmiş konstruktiv sxemi

PE və HEE arasındakı qarşılıqlı təsir dinamikası operator formasında diferensial tənliklə ifadə olunur:

$$\begin{cases} u(t) = L_u(l, s)[P(t) - \Phi_x(u, w, su, sw)], \\ w(t) = -L_w(l, s)[P_n(t) - \Phi_y(u, w, su, sw)], \end{cases} \quad (4)$$

burada u, w - hərəkət olmadığı hala nisbətən x və y oxları üzrə PE və HEE-nin nisbi yerdəyişməsi, $P(t) = a_p \sin \omega t$ - əks pyezoeffekt nəticəsində PE-in sonunda yaranan güc, $\omega = 2\pi f$ dairəvi tezlik, $s = \partial/\partial t$.

Φ_x, Φ_y - x və y oxları üzrə PE və HEE arasındakı toxunma (zərbə) Φ qeyri-xətti qüvvənin proyeksiyalarıdır:

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} &= \bar{N} + \bar{N} + \bar{F}_{sür1}, \\ \bar{N} &= -\bar{F}_\delta, \bar{F}_{sür1} = -\bar{F}_{sür2}, \end{aligned} \quad (5)$$

burada \bar{F}_δ - HEE-yə təzyiq gücü, $\bar{F}_{sür1}, \bar{F}_{sür2}$ - uyğun olaraq PE və HEE-nin sürtünmə gücüdür.

$L_u(l, s), L_w(l, s)$ - PE-nin boş-azad tərəfinə təsir edən tək harmonik qüvvə ilə ($a_p=1$) təyin olunan PE və HEE arasında dinamik ötürmələrin cəm operatorlarıdır,

$$\begin{cases} L_u(l, s) = \frac{l}{ES\xi_u} \left(tg\xi_u - j \frac{\chi}{4\pi} \frac{0.5 \sin 2\xi_u}{\cos^2 \xi_u} \right), \\ L_w(l, s) = \frac{EI}{l^3} (A + jB), \end{cases} \quad (6)$$

burada

$$A = \frac{ch\xi_w \sin \xi_w - sh\xi_w \cos \xi_w}{\xi_w^3 (1 + ch\xi_w \cos \xi_w)}, \quad (7)$$

$$B = \frac{\chi \left[\frac{\xi_w}{2} (ch2\xi_w - \cos 2\xi_w) + 2\xi_w sh\xi_w \sin \xi_w + (1 + ch\xi_w \cos \xi_w)(ch\xi_w \sin \xi_w - sh\xi_w \cos \xi_w) \right]}{\xi_w^3 (1 + ch\xi_w \cos \xi_w)}, \quad (8)$$

burada E - PE-nin elastiklik modulu, S - PE-nin en kəsiyinin sahəsi, χ - udulma əmsalı, $I = \frac{1}{12}ab^3$ - PE en kəsiyinin ətalət momentidir.

$$\xi_u = \frac{\omega l}{\gamma}, \quad \gamma = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad \xi_w = l^4 \sqrt{\frac{\rho \omega^2 S}{EI}}, \quad \rho - \text{PE-nin materialının sıxlığıdır.}$$

(4) sistem tənliyin həllini aşağıdakı kimi həll edilmişdir:

$$u(t) = m_u + u^0(t) = m_u + a_u \sin(\omega t - \varphi_u), \quad (9)$$

$$w(t) = m_w + w^0(t) = m_w + a_w \sin(\omega t - \varphi_w), \quad (10)$$

burada m_u, m_w və u^0, w^0 -nin sabit və dəyişən tərkibləri-dir.

Beləliklə, qarşılıqlı zərbə təsirinin qüvvəsi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Phi_x(u, su) \approx m_{Fu}(m_u, a_u) + k_u(m_u, a_u)u^0 + \beta_u(m_u, a_u)su^0, \quad (11)$$

$$\Phi_y(w, sw) \approx m_{Fw}(m_w, a_w) + k_w(m_w, a_w)w^0 + \beta_w(m_w, a_w)sw^0, \quad (12)$$

burada $m_{Fu}, m_{Fw}, k_u, k_w, \beta_u, \beta_w$ - harmonik xətiləşdirmə əmsalı olub aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$m_{Fu} = \frac{a_u}{2\pi} c \sin \alpha [D_u (2 \arcsin D_u - \pi) + 2 \sin \alpha \sqrt{1 - D_u^2}], \quad (13)$$

$$\begin{aligned} k_u = \frac{1}{\pi} \{ & c \sin \alpha \cos \varphi_u (\sin \alpha - 2) - \mu \omega \cos^2 \alpha \sin \varphi_u \} D_u \sqrt{1 - D_u^2} + \\ & + 0,5(c \sin^2 \alpha \cos \varphi_u + \mu \omega \cos^2 \alpha \sin \varphi_u)(\pi - 2 \arcsin D_u) \}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\beta_u = \frac{1}{\pi\omega} \left\{ [c \sin \alpha \sin \varphi_u (2 - \sin \alpha) - \mu\omega \cos^2 \alpha \cos \varphi_u] D_u \sqrt{1 - D_u^2} + \right. \\ \left. + 0.5(\mu\omega \cos^2 \alpha \cos \varphi_u - c \sin^2 \alpha \sin \varphi_u)(\pi - 2 \arcsin D_u) \right\}, \quad (15)$$

$$m_{Fw} = \frac{a_w}{2\pi} c \cos \alpha [D_w (2 \arcsin D_w - \pi) + 2 \sin \alpha \sqrt{1 - D_w^2}], \quad (16)$$

$$k_w = \frac{1}{\pi} \left\{ [c \cos \alpha \cos \varphi_w (\cos \alpha - 2) - \mu\omega \sin^2 \alpha \sin \varphi_w] D_w \sqrt{1 - D_w^2} + \right. \\ \left. + 0.5(c \cos^2 \alpha \cos \varphi_w + \mu\omega \sin^2 \alpha \sin \varphi_w)(\pi - 2 \arcsin D_w) \right\}, \quad (17)$$

$$\beta_w = \frac{1}{\pi\omega} \left\{ [c \cos \alpha \sin \varphi_w (2 - \cos \alpha) - \mu\omega \sin^2 \alpha \cos \varphi_w] D_w \sqrt{1 - D_w^2} + \right. \\ \left. + 0.5(\mu\omega \sin^2 \alpha \cos \varphi_w - c \cos^2 \alpha \sin \varphi_w)(\pi - 2 \arcsin D_w) \right\}, \quad (18)$$

burada c - HEE-nin sərtlik əmsalı, μ - PE ilə HEE-nin arasındakı sürtünmə əmsalı,

$$D_u = \frac{\Delta - m_u \sin \alpha}{a_u}, \quad D_w = \frac{\Delta - m_w \cos \alpha}{a_w}, \quad (19)$$

Δ - PE ilə HEE arasında toxunmadan sonra qalmış boşluq məsafəsidir.

(6)-(18) ifadələrindən istifadə etməklə (5) sistem tənliyini həll etmək olar və nəticədə $m_u, m_w, a_u, a_w, \varphi_u, \varphi_w$ məchulların transedental bərabərlik sistemləri alınır:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_u = \frac{a_p}{\sqrt{U_u^2 + V_u^2}}, \\ \varphi_u = \arctg \frac{V_u}{U_u}, \\ U_w = 0, \\ V_w = 0, \\ m_u = -\frac{l}{ES} m_{Fu}, \\ m_w = \frac{l^3}{EI} (F_n - m_{Fw}) \end{array} \right. \quad (20)$$

burada

$$U_u = \frac{ES}{l} (\zeta_u \operatorname{ctg} \zeta_u + k_{ul}), \quad (21)$$

$$V_u = \frac{ES}{l} (\omega\beta_{ul} + \frac{\chi\zeta_u}{4\pi} \frac{\zeta_u + 0,5 \sin 2\zeta_u}{\sin^2 \zeta_u}), \quad (22)$$

$$U_w = \frac{EI}{l^3} (\frac{A}{A^2 + B^2} + k_{wl}), \quad (23)$$

$$V_w = \frac{EI}{l^3} (\frac{B}{A^2 + B^2} + \omega\beta_{wl}), \quad (24)$$

$$k_{ul} = \frac{l}{ES} k_u, \quad \beta_{ul} = \frac{l}{ES} \beta_u, \quad k_{wl} = \frac{l^3}{EI} k_w, \quad \beta_{wl} = \frac{l^3}{EI} \beta_w, \quad (25)$$

burada U_u, U_w və V_u, V_w - PE ilə HEE arasında toxunan elementlərin W_U, W_W - cəm halda dinamik möhkəmliyinin uyğun olaraq həqiqi və xəyali hissələridir:

$$\begin{cases} W_U = L_U^{-1}(l, s) + k_u + \beta_u s, \\ W_W = L_W^{-1}(l, s) + k_w + \beta_w s. \end{cases} \quad (26)$$

HEE-nin ölçülərini uyğunlaşdırmaq üçün aşağıdakı formullardan istifadə olunur:

$$c = 3,2E_1 a_1 \left(\frac{b_1}{l_1} \right)^3, \quad (27)$$

$$f = 0,68 \frac{b_1}{l_1^2} \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}}, \quad (28)$$

burada c, f - HEE-nin sərtlik və əyilmə rəqslərinin məxsusi tezliyi, E_1, ρ_1 - HEE-nin elastiklik modulu və materialın sıxlığıdır.

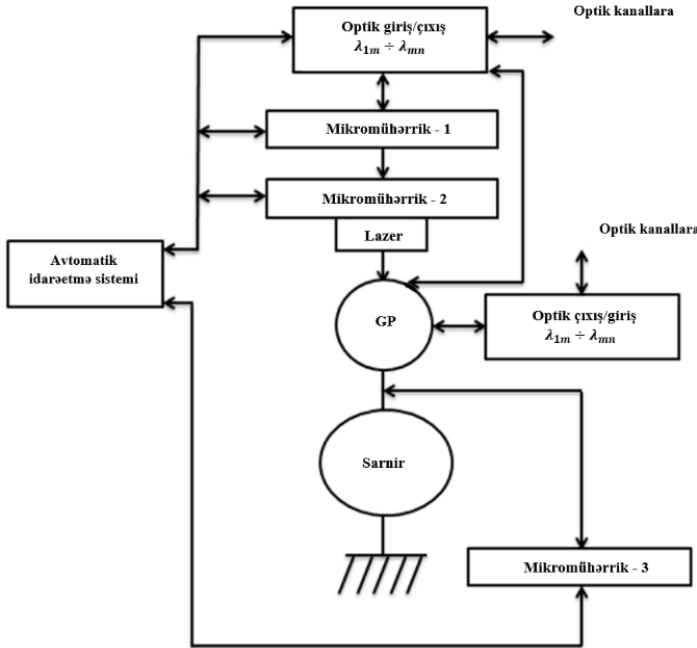
Beləliklə, optik kommutatorlarda istifadə etmək üçün lazımı mikropyezomühərriklərin hazırlanması üçün ilk dəfə PE və HEE-nin tezliklərinin uyğunlaşdırılması üçün metodika işlənmişdir.

Bu fəsildə eyni zamanda təklif olunmuş idarə olunan yeni nəsil 3D optik kommutatorun struktur blok sxemi tərtib olunaraq şəkil 11, onun əsasında Matlab mühitində imtinatsız işləmə ehtimalı hesablanmışdır.

İdarə olunan yeni nəsil 3D optik kommutatorun iş prinsipini əks etdirən struktur blok-sxemi şəkil 11-də göstərilmişdir.

Təqdim edilən OK-nın yeni modelində 1-mikromühərik 2-mikromühərikini sistemin mərkəz oxu ətrafında 360° fırlanmasını təmin edir. 1 və 2-mikromühərriklər optik giriş/çıxış kanaldan daxil

olan optik siqnalları istiqamətlənmiş lazer başlığı vasitəsilə GP-nin üzərində istiqamətləndirir. GP matris formasında hazırlanır və hər bir matris $\lambda_{1n} \div \lambda_{nn}$ dalğa uzunluqlarından birinə hesablanaraq ayrı-ayrı vertikal, horizontal istiqamətlərdə dalğa uzunluqlarına görə ayrılmış optik siqnalları çıxış/giriş optik kanallara istiqamətləndirilir. Əks prosədə eyni qaydaya uyğun həyata keçirilir.



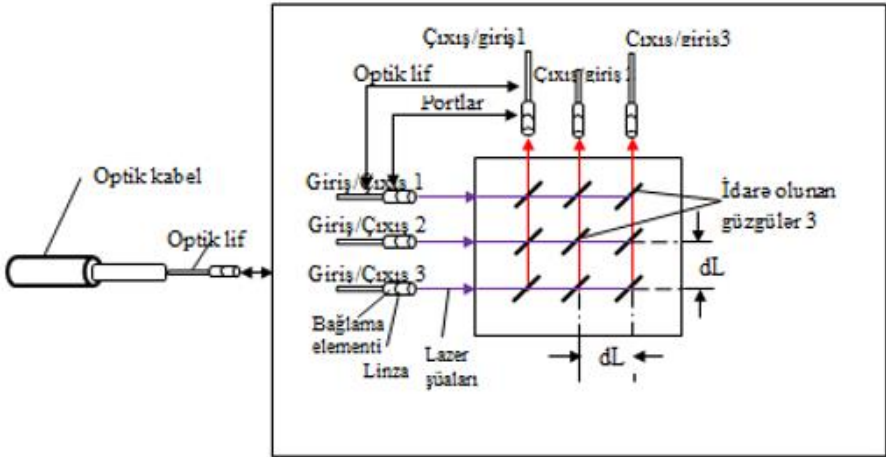
Şəkil 11. İdarə olunan yeni nəsil 3D optik kommutatorun struktur blok-sxemi

Kanalların kommutasiya müddətinin azaldılması üçün GP 7-şarnir üzərində yerləşdirilir və GP optik şüanın lazımı kanala istiqamətləndirilməsi üçün 3-mikromühərrik vasitəsilə hərəkət etdirilir. Optik kommutasiya mühitinin bütün vəziyyətlərinin idarə olunması LCD ekranda əks olunur və LCD ekran əvəzinə USB portlu digər kompüter terminallarından, Bluetooth modulları üzərindən və s. idarə etmək olar. Bütün mikromühərriklərin idarə olunması, GP-nin vəziyyətinin nizamlanması əks əlaqə dövrəsi vasitəsilə qurğunun proqram təminatını və işləməsini təmin edən 10-avtomatik idarəetmə

sisteminin köməylə həyata keçirilir.

Yeni nəsil 3D kommutatorunun ilkin prototipi montaj olunduğundan istifadə edilən materialların 80% kompozit tərkibdən istifadə olunmaqla əl ilə hazırlanmış, 20% hissə isə 3D printer vasitəsilə çap edilərək sınaqdan keçirilmişdir.

Bu fəsilə idarə olunan optik anizotrop kommutasiya mühitinin bərabərölçülü yastı səthli anizotrop dalğaötürücüsünün optik kommutasiya mühitinin riyazi modeli tərtib olunmuşdur. Optik dalğaötürücülərin nüvə və dielektrik səthi yeni yüksək sürətli optik texnologiyaların mühüm elementlərindəndir və optik ötürücü mühitdə divarın qalınlığı və optik parametrləri, elektromaqnit dalğaların yayılmasını və əksətmə xüsusiyyətlərini, yəni öz modulunu müəyyənləşdirir. Bu zaman optik şüa bir izotrop və ya anizotrop mühitdən başqa bir mühitə keçərək kommutasiya olunur. Optik anizotrop mühitdə optik xüsusiyyətlər işıq yayılma istiqamətindən asılıdır, buna görə də dalğa ötürücü oxun optik istiqaməti kommutasiya və ya digər ötürücü mühitdə optik şüanın yayılma şəraitinə təsir edir. Optik şüanın kommutasiya mühitindəki yayılma prosesi şəkil 12-də öz əksini tapmışdır.

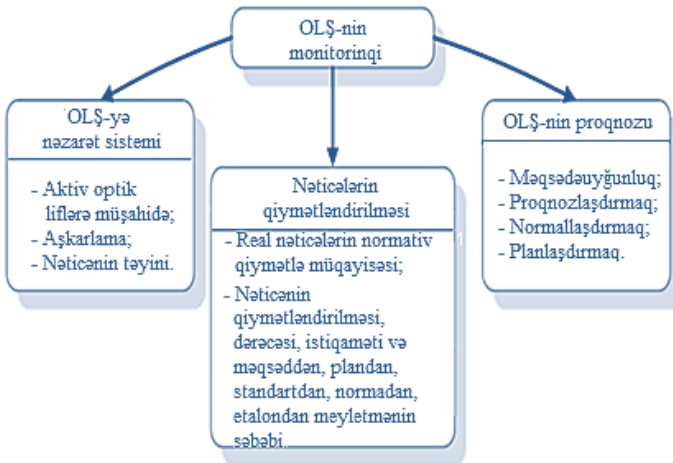


Şəkil 12. Optik kommutasiya dalğaötürücüsündə anizotrop mühitin sxematik təsviri

Şəkil 12-dən görüldüyü kimi 1-optik kabledə optik şüanın daşıyıcısı olan 2-optik lifdən işıq şüası bir mühitdən başqa bir

mühitə, 3-idarə olunan aktiv və ya passiv qurğular (digər anizotrop optik mühitə) vasitəsilə kommutasiya olunaraq istiqamətini dəyişərək digər optik liflərə ötürülür. Optik lifli veriliş şəbəkələrində belə keçid mühitlərin rəngarəng və çoxsaylı olduğunu nəzərə almaqla, yeni optik həllər üçün xüsusi optik xüsusiyyətləri olan optik daşıyıcı mühitin və qurğuların yaradılmasını və elmi tədqiqini tələb edir. Bununla əlaqədar, *TM* və *TE* dalğalarının kommutasiya mühitində yayılma tənlikləri həll olunmuş, qeyd olunan anizotrop mühitin dispersiya düsturlarının həllinə baxılmışdır.

Bəşinci fəsildə optik lifli rabitə şəbəkələrində monitoring sisteminin tədqiqi və monitoringin tətbiqi məsələlərinə baxılmış və optik lifli veriliş şəbəkələri üçün monitoringin ümumiləşdirilmiş blok-sxemi tərtib edilmişdir (şəkil 13).



Şəkil 13. Optik lifli veriliş şəbəkələrinin monitoringinin ümumiləşdirilmiş blok-sxemi

OLVŞ-nin parametrlərinə və optik lifdə işıq şüasının xarakterinə təsir edən əsas faktorlardan $\lambda_i, i = \overline{1, n}$ – dalğa uzunluğundan başqa sönmə, dispersiya və OK-nın buraxma zolağını qeyd etmək olar.

Sönmənin az olmağı, siqnalın kiçik dispersiyası optik rabitə xətti boyunca xətt regeneratörü olmadan optik siqnalı $L_r \rightarrow L_{r, \max}$ çatdırmaqla optik regeneratör arasında məsafəni artırmaq olar.

WDM&DWDM texnologiyaları əsasında OLVŞ-nin veriliş xarakteristikalarının hesablama metodlarının yaradılması üçün effektivlik göstəricilərinin çoxluğunu E_{eff} aşağıdakı altsistem şəklində göstərmək olar:

$$E_{eff}(\lambda_i) = W_1 \{ \max[V_b, \Delta F(\lambda_i), L_r] \}, \quad i = \overline{1, n} \quad (29)$$

(29) ifadəsi OLVŞ-nin ilkin veriliş xarakteristikalarını özündə əks etdirir və optik siqnalların optik liflə V_b - bit sürəti, OLX-in L_{olk} uzunluğu, $\Delta F(\lambda_i)$ OLVS-nin buraxma zolağı ilə xarakterizə olunur.

Burada V_b - bit sürəti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$V_b = \frac{1}{L_{OLK}} \cdot \frac{n_2^2}{n_1^2 \cdot \Delta_b} \cdot C_{\max}(\lambda, L_r). \text{ Bit/s} \quad (30)$$

(30)-da L_{olk} - OLK-nin uzunluğu, n_i - optik lifin özəyinin sınma əmsalı, n_2 - örtüyün sındırma əmsalı, $C_{\max}(\lambda, L_r) - \lambda$ dalğa uzunluğu OLVS-nin buraxma zolağının maksimal qiyməti olub,

$$C_{\max}(\lambda, L_r) = V_b \cdot [\eta_{ei}(n_1, \lambda, n_2, L_r)]^{-1} \quad (31)$$

kimi təyin olunur. Burada $\eta_{ei}(n_1, \lambda_i, n_2, L_r)$ OLRX-nin effektiv istifadə olunma əmsalıdır $\eta_{ei}(n_1, \lambda_i, n_2, \lambda_r) \leq 1$; kanallar spektrə görə bölündüyü halda $(L_r \rightarrow L_{olk})L_r$ - OLRX-nin regenerasiya məsafəsidir.

Müxtəlif λ_i dalğa uzunluqlarında OLRX-nin vacib xarakteristikalarından optik siqnalların optik liflərdə sönməsinin idarə olunması və dispersiyanın səviyyəsinə uyğun kanalların idarə olunması OLVŞ-nin effektivliyinə təsir edir:

$$E_{eff}(\lambda_i) = W_2 \{ \min[\alpha(L_r, \lambda_i), \tau(L_r, \lambda_i)] \}, \quad i = \overline{1, n} \quad (32)$$

burada $\alpha(L_r, \lambda_i) - \lambda_i$ dalğa uzunluğuna malik OLRX-də L_r - regenerasiya sahəsində optik siqnalın sönməsi, $\tau(L_r, \lambda_i) - \lambda_i$ - dalğa uzunluqlu OLRX-nin L_r - regenerasiya sahəsində dispersiyasıdır.

Optik liflərdə olan əsas itkiləri dörd qrupa bölmək olar: məxsusi itkilər; kabledəki itkilər; udulma itkiləri; səpələnmə itkiləri.

Optik liflərdəki sönmə optik lif üzərindən ötürülən optik gücün zəifləməsi ilə təyin olunur:

$$\alpha(\lambda_i) = 10 \lg [P_{\zeta u}(\lambda_i)], i = \overline{1, n} \text{ dB.} \quad (33)$$

(33)-dən göründüyü kimi λ_i - dalğa uzunluğunda işləyən optik liflərdə optik siqnal ötürülən zaman işıq diodunun girişinə daxil olan işıq selinin $P_g(\lambda_i)$ gücü işıq selinin istiqamətinin dəyişməsi və ətraf mühitdə əks olunması zamanı dəyişir. Gücün bir hissəsi isə OL-in dipol polarizasiyası hesabına udulur və Coul istiliyi hesablarına $P_{\zeta u}(\lambda_i)$ azalır.

Optik liflərdə əsas itkiləri nəzərə almaqla OLK-da məxsusi itkiləri aşağıdakı ifadə ilə yazmaq olar:

$$\alpha(\lambda_i) = \alpha_{\eta} + \alpha_u(\lambda_i) + \alpha_{iq}(\lambda_i) + \alpha_{iq}(\lambda_i), \text{ dB/km,} \quad (34)$$

burada $\alpha_{\eta}, \alpha_u(\lambda_i), \alpha_{iq}(\lambda_i), \alpha_{iq}(\lambda_i)$ – uyğun olaraq Reley səpələnməsi nəticəsində, optik lifin materialındakı udulma, infraqırmızı udulma və OLK-nın tərkibindəki qarışıqlardakı udulmadır. OVS-də əsas itkilər aşağıda qeyd olunanlar hesabına baş verə bilər:

- OL-ə siqnal daxil olan zaman $\alpha_{dOL}(\lambda_i), i = \overline{1, n}$;

- OL boyunca optik siqnal ötürülən zaman yaranan itkilər, $\alpha_{OLK}(\lambda_i), i = \overline{1, n}$.

Optik şəbəkələrdə optik siqnalların müxtəlif səbəblərdən səviyyəsinin dəyişməsinə nəzarət etmək üçün şəbəkəyə qoşulan monitorinq qurğularının, digər kommutator, mux/demux və s. avadanlıqların hesabına yaranan digər itkilər $\alpha_{\alpha}(\lambda_i), i = \overline{1, n}$ itkiləri də nəzərə almaqla, OLRX-nin ümumi sönmə əmsalı

$$\alpha_{im}(\lambda_i) = \alpha_{dOL}(\lambda_i) + \alpha_{OLK}(\lambda_i) + \alpha_K(\lambda_i) + \alpha_d(\lambda_i), i = \overline{1, n} \quad (35)$$

olacaqdır.

Optik liflərdə sönmənin azalması, eyni zamanda dispersiyanın azalmasına səbəb olur ki, nəticədə L_r – regenerasiya sahələri arasındakı məsafə artır. OLRX-nin dispersiyası - impulsun genişlənməsi və ya zaman ölçüsü olub, L uzunluğuna malik OLK-nın giriş və çıxışında impulsun davam etmə müddətinin kvadratik fərqi ilə təyin olunur:

$$\tau(L, \lambda_i) = [t_{\zeta u}^2(\lambda_i) - t_{gir}^2(\lambda_i)]^{0.5}, i = \overline{1, n}. \quad (36)$$

İmpulsun genişlənməsi böyüyəndə optik siqnalların qəbul zamanı seleksiyası mümkün olmur. QOM, VOM və OLK-nın ötürmə xarakteristikası kimi OLRX-də dispersiya üç faktorla xarakterizə olunur:

Modlararası dispersiya $\tau_{\text{mod}}(\lambda_i)$; işıq ötürücü mühitin dalğa-ötürücü dispersiyası $\tau_{do}(\lambda_i)$; optik lifin materialının xüsusiyyətinə uyğun - material dispersiyası $\tau_{riy}(\lambda_i)$.

Belə olduğu halda λ_i dalğa uzunluğu ümumi dispersiya üçün:

$$\tau_{\text{üm}}(\lambda_i) = \tau_{riy}(\lambda_i) + \tau_{xr}^2(\lambda_i) + \tau_{qod}^2(\lambda_i) = \tau_{\text{mod}}^2(\lambda_i) + [\tau_{riy}(\lambda_i) + \tau_{iö}(\lambda_i)]^2 + \tau_{qod}^2(\lambda_i). \quad (37)$$

OLRX üçün dispersiya ümumi halda 1 km üçün təyin olunur və əsasən xromatik dispersiyanı təyin etmək olur:

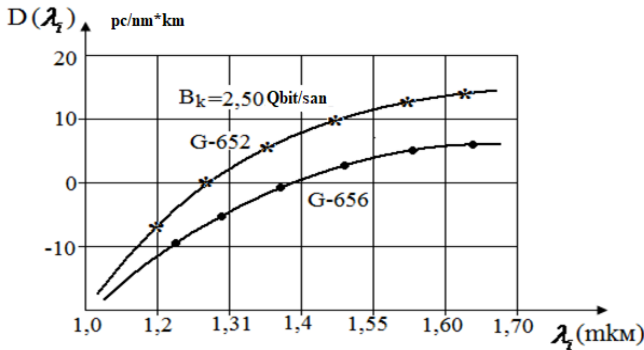
$$\tau_{xr}(L_r, \lambda_i) = D_{xr}(\lambda_i) = D_{xr}(L_r, \lambda) \cdot \Delta\lambda_i, \quad Ps / nm \cdot km, \quad (38)$$

burada $\Delta\lambda_i$ - mənbənin şüasının spektrinin eni, $\lambda_i = (1,25 \div 1,66) mkm$ dalğa uzunluğunda OLRX-nin ötürmə xarakteristikalarının analizinə əsasən $D_{xr}(\lambda_i)$ xromatik dispersiya

$$D_{xr}(\lambda_i) = W[L_r, \lambda_i, B_k], \quad V_b = B_k = 2,5 \text{ Qbit/s} \quad (39)$$

kimi təyin olunur.

Şəkil 14-də OLK ilə ötürülən optik siqnalın xromatik dispersiyasının $\lambda_i = (1,31 \div 1,55) mkm$ dalğa uzunluğundan asılılığı öz əksini tapmışdır.



Şəkil 14. Bit sürətli optik siqnalın xromatik dispersiyasının dalğa uzunluğundan asılılığı

OLVŞ-nin verilmiş parametrlərindən $D_{xr}(\lambda_i) = Y[L_r, \lambda_i, B_k]$ grafi-ki asılılığının analizi göstərir ki, OLRX-nin verilmiş dalğa uzunluğunun artımı ilə xromatik dispersiya artmağa başlayır.

Onun qiyməti $\lambda_i \geq 1,25 \text{ mkm}$ olduqda daha nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişir.

OLK-də yayılan optik şüa impulsunun müddətinin davam etməsini $\tau(L_r, \lambda_i)$ və impulsun genişlənmə qiyməti ilə OLVŞ-nin buraxma zolağı arasındakı əlaqə aşağıdakı düsturla yazmaq olar:

$$\Delta F_{OLK}(\lambda_i) = 1 / \tau(\lambda_i, L_r), \text{ MHS} \quad (40)$$

əgər

$$\lambda_i \leq 1,55 \text{ mkm}, \tau(\lambda_i) = 20 \text{ ns},$$

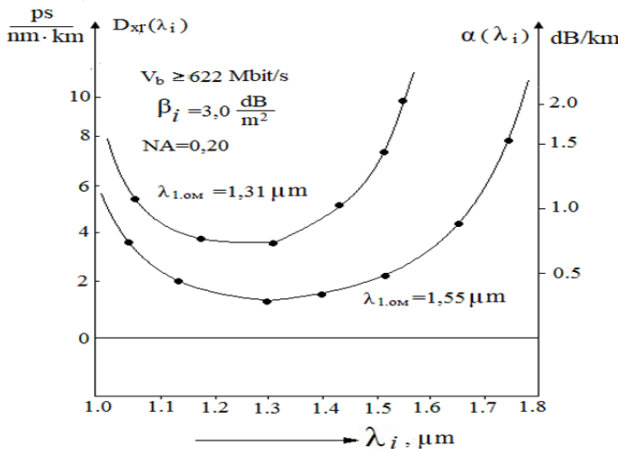
onda

$$\Delta F_{OLK} = \left(\frac{1}{20} \text{ ns}\right) = 50 \cdot 10^6 \text{ MHS}.$$

Eyni zamanda genişzolaqlılıq əmsalı ilə Qaus impulsunun dispersiyası arasında əlaqə $\Delta F(\lambda) = \frac{0,44}{T}, T = T_b = 1/V_b$ ilə təyin olunur.

Burada T_b – optik siqnalın verilişinin bit periodu adlanır.

Şəkil 15-də təkmodlu OLRX-nin sönmə əmsalı və dispersiyasının dalğa uzunluğundan spektral asılılığı əks olunmuşdur.



Şəkil 15. Təkmodlu OLRX-nin sönmə əmsalı və dispersiyasının dalğa uzunluğundan spektral asılılığı

Aparılmış tədqiqata əsasən OLVŞ-nin, o cümlədən adaptiv optik şəbəkələrdə ötürülən müxtəlif λ_i dalğa uzunluğuna malik istənilən kanalda ötürülən siqnalın parametrlərini monitorinq etmək olar və siqnalın sönmə və dispersiya dərəcəsinə uyğun kanalın adaptiv idarə olunmasına uyğun sxemlər qurulmuşdur.

Altıncı fəsildə PON, WDM və DWDM texnologiyalı optik telekommunikasiya şəbəkələrinin parametrlərinin analizi aparılaraq gələcək nəsil paylanmış strukturaya malik optik lifli şəbəkələrinin göstəricilərini hesablamaq üçün metodlar tövsiyə olunmuşdur. Sistem-texniki təhlil əsasında, optik telekommunikasiya sistemləri bazasında optik lifli şəbəkələrinin göstəricilərini hesablamaq üçün elmi-tədqiqatlar metodikası bu istiqamətdə PON, WDM və DWDM texnologiyalarından istifadə edərkən əsasən üç praktiki vəzifənin həllinə yönəlmişdir: PON, WDM və DWDM texnologiyalarına əsaslanan məlumat, tezlik və enerji səmərəli spektral ayırma kanallarının tədqiqat göstəriciləri; optik gücləndiricilərlə yeni geniş zolaqlı optik lifli rabitə xətlərinin və optik ötürürücü sistemlərinin inkişafı; PON, WDM və DWDM texnologiyalarından istifadə edərək genişzolaqlı rabitələrini artırmaq üçün mövcud optik şəbəkələrin modernləşdirilməsi. Eyni zamanda xromatik dispersiyanı nəzərə almaqla, WDM və DWDM texnologiyalarından istifadə edərək müəyyən bir rejimli optik lifdə seçilmiş ötürmə sistemi üçün tələb olunan səhv ehtimalı xarakteristikasını təyin etməyə imkan verən riyazi alqoritmlər verilmişdir.

Tədqiqata əsasən müəyyən edilmişdir ki, multiservis xidmətli yüksək sürətli yerli və nəqliyyat şəbəkələrində WDM/DWDM texnologiyalarından istifadə edilərkən SDH və ATM/IP-telefoniyaları (Synchronous Digital Hierarchies/Asynchronous Transfer Mode-Internet) texnologiyaları mühüm rol oynayırlar. Onların fəaliyyətinin səmərəliliyinin göstəriciləri aşağıdakı intervallarda dəyişir: tezlik diapazonu $\Delta F=(50,\dots,200)$ QHs, çoxsaylı multiplekslənmiş kanallarının sayı $N_k = (16,\dots,64)$ və optoelektron rabitə kanalının optik abonent terminallarının bit ötürülmə sürəti $V_b = (2,5,\dots,40)$ Qbit/s.

Eyni zamanda OLRX xeyli təsir göstərən effektlərdən biri fəza kross modulyasiyası (FKM) və spektral möhürlənmə sisteminin qrup siqnalının yayılması prosesi Şredingerin əlaqəli qeyri-xətti tənliklər

sisteminin köməyi ilə təsvir edilə bilər.

Optik siqnalların ötürülməsində optik lifdəki itkilərin mükəmməl kompensasiyasını nəzərdə tutaraq, iki tərəfli OLRX şəbəkəsi üçün FKM-i nəzərə alaraq yekun ifadəni aşağıdakı kimi yazmaq mümkündür:

$$\begin{cases} i \frac{\partial A_1}{\partial z} - \frac{1}{2} \beta_{21}(z) \frac{\partial^2 A_1}{\partial \tau^2} + \gamma (|A_1|^2 + 2|A_2|^2) A_1 = 0, \\ i \frac{\partial A_2}{\partial z} + i \Delta \beta(z) \frac{\partial A_2}{\partial \tau} - \frac{1}{2} \beta_{22}(z) \frac{\partial^2 A_2}{\partial \tau^2} + \gamma (|A_2|^2 + 2|A_1|^2) A_2 = 0, \end{cases} \quad (41)$$

burada γ - qeyri-xəttilik faktoru; A_i - i - ci kanal üçün optik impuls-
ların təkrarlanması; $\tau = t - \frac{z}{v_{g1}}$ - qrup sürətinə nisbətən verilən vaxt

koordinatı; $\beta_{2i}(z)$ - i - ci kanal qrup sürətlərinin paylanması; $\Delta \beta(z)$ -
bitişik kanallarda impulsar arasında nisbi dəyişmə intervalı olub,
aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\Delta \beta(z) = \beta_{12}(z) - \beta_{11}(z) = \frac{1}{v_{g2}} - \frac{1}{v_{g1}}. \quad (42)$$

(42) ifadəsi istifadə edərkən hesab olunur ki idarəetmə sistemlərinin, parametrləri zamanın və məkanın yavaş dəyişən funksiyaları olan kvaziperiodik dalğaları nəzərdən keçiririk, mühitin cavabı yerli xarakter daşıyır və xətdə zəif xətt qeyri-xətt effekt təsir edir.

Dispersiyanın idarə edilməsi ilə kvazisoliton rejimində intensiv impuls Qaus funksiyası ilə təsvir edilə bilər:

$$A(z, \tau) = a \exp \left(- (1 + iC(z)) \frac{\tau^2}{2T^2(z)} + i\varphi(z) \right), \quad (43)$$

burada $T(z), C(z), \varphi(z)$ - uzunluq, tezliyi və impuls fazasını təsvir edən koordinat funksiyalarıdır; a - normallaşdırılmış amplituddur.

(41) tənliklər sisteminin həlli üçün fiziki parametrlər üzrə parçalanma Fyurje üsulundan istifadə etməklə təyin olunur.

Lakin optik kanalların sayı artdıqca müvəqqəti xərclər kəskin artır ki, bu da bu cür metodların dispersiya xəritələrinin layihələndirilməsinə mane olur.

dirilməsi və seçilməsi mərhələsində tətbiqini məhdudlaşdırır. Laqranj tərəfindən müəyyən edilmiş zaman və məkanda yavaş dəyişən kvaziperiodik dalğaların parametrləri üçün tənlik sistemi əldə etmək mümkündür. Nəticə isə yaxınlaşma hesablamə metodu hesablamə resurslarına tələblərini azaltmağa imkan verir.

Eyler-Laqranj orta variyasiya prinsipindən və tənliklərindən istifadə edərək (43) ifadəsini nəzərə alaraq diferensial tənliklər sisteminə keçmək olar:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT_1}{dZ} = \beta_{21} \cdot \frac{C_1}{T_1}, \\ \frac{dC_1}{dZ} = \beta_{21} \cdot \frac{(C_1^2 + 1)}{T_1^2} + \gamma \cdot \frac{E_{01}}{\sqrt{2\pi}T_1} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \gamma \cdot \frac{T_1 \cdot E_{02}}{T_2} \cdot Q, \\ \frac{dT_2}{dZ} = \beta_{22} \cdot \frac{C_2}{T_2}, \\ \frac{dC_2}{dZ} = \beta_{22} \cdot \frac{(C_2^2 + 1)}{T_2^2} + \gamma \cdot \frac{E_{02}}{\sqrt{2\pi}T_2} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \gamma \cdot \frac{T_2 \cdot E_{01}}{T_1} \cdot Q, \end{array} \right. \quad (44)$$

burada i -ci kanalda E_{0i} - enerji impulsu; Q_{kb} - qarşılıqlı təsir əmsəlidir və vaxt nəzərə alınaraq xarakterik OLRX üçün aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir:

$$Q_{kb} = (T_1 \cdot T_2) / (T_1^2 + T_2^2)^{1.5}. \quad (45)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, sistem (44) optik impulsların dispersiya xəritəsi dövründə qarşılıqlı təsir göstərdiyi vəziyyətə uyğundur. Alınan diferensial tənliklər sistemi Runge-Kutta metodu ilə həll edilmişdir.

Baxılan işdə parametrləri cədvəl 4-də göstərilən iki seqmentlərdən ibarət olan iki sıx dispersiya xəritəsi (DM) nəzərdən keçirilmişdir.

Cədvəl 4-də l_a - DM seqment uzunluğu α anormal dispersiya dərəcəsi β_{2a} , və uzunluq l_n dispersiyanın şərti və orta dərəcəsin uzunluğu $\langle \beta_2 \rangle$ verilən β_{2n} qiyməti üçün nəzərdə tutulur.

Bu fəsildə WDM və DWDM texnologiyalarından istifadə etməklə, optik veriliş şəbəkəsinin fəaliyyətinin təyin edilməsi üçün

alqoritmlərin təyin olunmasına baxılmışdır. Tədqiqata əsasən, nəzərdən keçirilən texnologiyanın mahiyyətinin sayı n -ə bərabər ola bilən hər bir rəqəmli optik axının (STM-n, $n = 1, 4, 16, 64, 256$) olmasıdır və dalğa uzunluğu $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ ilə uyğun optik daşıyıcı mühit üzərindən ötürülür.

Cədvəl 4

DM parametrləri

Parametrlər	l_a, km	$\beta_{2a}, s^2/km$	$\beta_{2n}, ns^2/km$	$\langle \beta_2 \rangle, ns^2/km$	$\Delta\lambda, nm$
DM № 1: SMF+DCF	60	-21,40	125,80	-0,50	0,40
DM № 2: NZDSF(+) +NZDSF(-)	5	-4	4	-0,01	0,40

Optik rabitə şəbəkəsində WDM/DWDM texnologiyalarının tətbiqlə demək olar ki, OLRX buraxma qabiliyyəti yüzlərlə dəfə artır, yəni, $C_{max} = TQbit/s$ və daha çox olması mümkündür. Bu zaman $\lambda_i = (1,31, \dots, 1,55) mkm$ dalğa uzunluqlarında optik liflərdə xromatik dispersiyaya uyğun regenerasiya sahəsinin uzunluğunu müəyyən etmək olar.

Hesablamalar əsasında optik informasiya ötürmə şəbəkəsinin göstəricilərinin (41)-(45) ifadələrinin hesablanması alqoritmə ilə müəyyən edilmişdir. Belə ki, Qauss impulsunun veriliş sürəti üçün icazə verilən impulsun genişlənməsi, birqat optik lif və modulyasiya formatı ilə bağlı məlumatlar hesablama zamanı mənbə məlumatlarıdır. Bu düstur aşağıdakı kimi yazılır:

$$T_{\sigma} \cdot d_M = 4\sigma, T_{\sigma} = B^{-1}, \quad (46)$$

burada T_{σ} - dövrlər, ns , B - optik məlumatın ötürmə sürəti, $Qbit/s$, d_M - modulyasiya forması, σ - Qauss döyünməsinin genişlənməsi üçün icazə verilən normadır, ns .

Eyni zamanda, burada ötürmə sistemi və tətbiq olunan modulyasiya formatı üçün dispersiya uzunluğunu müəyyənlişdiririk:

$$L_{\mathcal{D}} = \beta_2 \cdot (T_0 \cdot d_M)^2, \text{ km} \quad (47)$$

burada β_2 - qrup sürətlərinin dispersiyası, ns^2/km və aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\beta_2 = D \cdot \lambda^2 \cdot (2\pi C_c)^{-1}. \quad (48)$$

Elektrik kanalındakı optik siqnal qəbuledicisi üçün icazə verilən normanı siqnal-səs-küy nisbətinə və səhv ehtimalına əsasən təyin edilmişdir və bu parametr normaya görə 10 dB-yə qədər buraxıla bilən hədd olsa da, elektrik kanalında 6,4 dB-yə bərabər olduğu hesablanmışdır. Elektrik rabitə kanalındakı gücün olduğunu nəzərə alsaq, yekun ifadə belə olar:

$$P_{pe} = P_{ok}^2, Q_O = \sqrt[4]{Q_{ek}} \text{ və ya } Q_{ek} \geq 6 \text{ dB}, \quad (49)$$

burada P_{ok} – optik kanalın gücü, Q_O - optik kanala görə, optik və ya elektrik kanalındakı siqnal-küy nisbəti kimi təyin olunur:

$$OSNR_{OP} = Q_O^2; SNR_{ek} = Q_{ek}^2 \text{ və ya } OSNR_{OP} = 20 \lg Q_O, \text{ dB}; \\ SNR_{ek} = 20 \lg Q_{ek}, \text{ dB}. \quad (50)$$

Beləliklə, təyin olunan $OSNR_S$ dəyəri BER səhv ehtimalı və parametri ilə təməl əlaqələr üzərində qurulur və aşağıdakı kimi Q_O ifadə olunur:

$$P_{BER} = 0,5 \operatorname{erfc}[Q_O / \sqrt{2}], \quad (51)$$

Sonuncu (49)-(51) ifadələrinə görə Q_O parametri belə təyin oluna bilər:

$$Q_O = [(B_O / B_E) \cdot OSNR_{OP}]^{0,5}, \quad (52)$$

burada (B_O / B_E) – optik və elektrik kanallarında olan tezlik zolağının genişliyi (eni) hesab olunur.

Q faktoru olaraq adlandırılan parametr optik siqnalın keyfiyyətini xarakterizə edir. Bu kəmiyyət $P_{BER} = 10^{-10}$ səhv ehtimalı səviyyəsində və ötürücü siqnal səviyyəsində təyin edilir. Belə ki, bu da optik kanallarda 6,0 dB azalmanı təmin etməlidir.

Yuxarıda göstərilən alqoritmlər xromatik dispersiyasının təsirinin həllini aydın şəkildə başa düşməyə və spektral WDM və DWDM texnologiyalarından istifadə edərək müəyyən bir rejimli

optik lifdə seçilmiş ötürmə sistemi üçün tələb olunan səhv ehtimalı xarakteristikasını təyin etməyə imkan verir.

Bu fəsildə DWDM sistemlərində monitoring metod və üsulları analiz olunmuş, OLVŞ-lərinin parametrlərinə məsafədən nəzarət edən yeni monitoring sistemi yaradılmış, real zamanda OLVŞ-nin göstəricilərinə uyğun aparılan ölçmələrin nəticələrinə əsasən kanalların kommutasiya məsələlərinə baxılmışdır. Bu zaman çoxfunksiyalı, çoxkanallı optik kommutatorlardan istifadə edilmişdir. Çoxfunksiyalı, çoxkanallı optik kommutatorlardan istifadə edərək təklif olunan monitoring sistemi aşağıda şərh edilənləri təmin edir:

-təklif olunan optik kommutator optik şuanın buraxıla bilən hissəsini test məqsədilə ayıraraq monitorin qurgusuna ötürür ki, nəticədə monitoring qurgusu optik lif şəbəkəsinin testləşdirilmə nəticələrinin toplanmasını və onun statik analizini aparır;

- statik analiz şəbəkədə və eyni zamanda optik, o cümlədən hər hansı bir dalga uzunluğunda işləyən rabitə kanalında və lifdə baş verə biləcək nasazlıqları şəbəkədə ciddi problem yaradana kimi onları əvvəlcədən aşkar edir və onu proqnozlaşdırır;

- şəbəkədə istifadə edilən optik kabelin planlı və profilaktik təmirinin, kabel sistemində ciddi qəza və zədələnmə əmələ gəlməsini gözləmədən aparılması üçün mövcud imkanları araşdırır;

- şəbəkənin yüksək dərəcədə təhlükəsizliyini təmin edir, belə ki, lifə icazə verilmədən hər hansı qoşulma olduqda avtomatik olaraq başqa kanala istiqamətləndirilməsi təşkil olunur;

- şəbəkənin vəziyyəti haqqında informasiyanın qrafiki təsvirini emal edir;

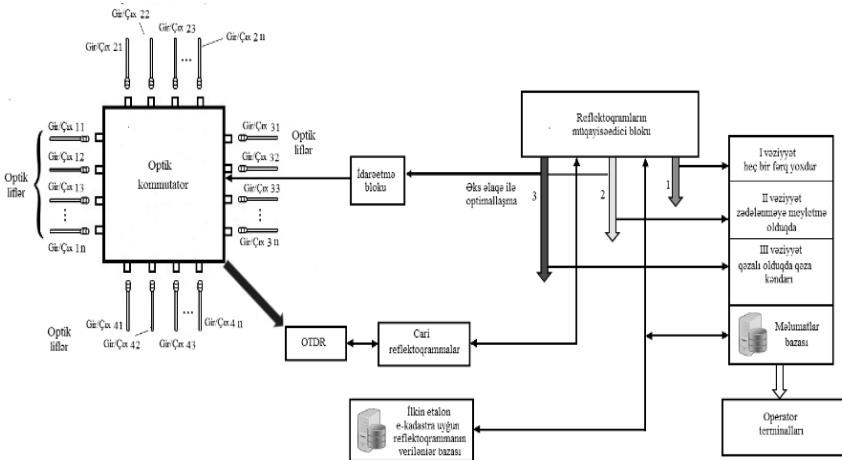
- optik lifin parametrlərinin dəyişikliyinə tendensiyalarının üzə çıxardır, məsafədən (uzaqdan) idarə olunmanı təmin edir və s.

Şəkil 16-da OLVŞ-lərin avtomatik adaptiv monitoring qurğusunun (MQ) sxemi verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi optik siqnalların avtomatik adaptiv monitoringi optik kommutatordan, optik lifli rabitə xətlərinin parametrlərini ölçmə cihazından (OTDR - Optical Time Domain Reflectometer), cari reflektogramlar göstərici tablosundan, ilkin e-kadastra uyğun reflektogramların verilənlər bazasından, reflektogramların müqayisəedici blokundan, müqayisələrin nəticələrinin qeydiyyatını aparan məlumatlar bazasından, məlumatlar

bazasına onlayn qoşulmuş şəbəkəyə nəzarət edən operator terminallarından ibarətdir. MQ-nin giriş və çıxışları eyni zamanda λ_{1n} -dən λ_{4n} -ə qədər informasiya daşıyan müxtəlif dalğa uzunluqları üçün hər iki istiqamətə giriş və çıxış funksiyasını yerinə yetirir.

Monitoring zamanı giriş optik liflərdən daxil olan və çıxış optik liflərə, idarə olunan yarı şəffaf güzgülər vasitəsi ilə kommutasiya olan λ_{1n} -dən λ_{4n} -ə (λ_{nm} dalğa uzunluğuna malik kanalların sayına uyğun kommutatorun konstruksiyası dəyişə bilər) kimi dalğa uzunluğunda optik şüanın 99% faydalı hissəsi informasiya alıcısına-çıxış portlarına istiqamətləndirilir, 1%-i isə optik şəbəkə ilə ötürülən optik şüaların səviyyəsinə nəzarət etmək üçün (monitorinq üçün) istifadə edilir.

İlkin etalon e-kadastraya uyğun reflektogramların verilənlər bazasında və məlumatlar bazasının mərkəzi server sistemlərində yerli və magistral optik şəbəkədə dəqiq elektron xəritədən ibarət olan peşəkar operativ informasiya sistemi quraşdırılır. Şəbəkənin vəziyyəti haqqında informasiya və OK ilə aid bütün sənədlər məlumatlar bazasında saxlanılır və qrafiki şəkildə e-xəritədə təsvir oluna bilər. Eləcə də e-xəritəyə OK-nın liflərindəki nasazlıqlar, həmçinin onların yerləşdiyi yer haqqında dəqiq və tam informasiya daxil edilir.



Şəkil 16. OLVŞ-lərin avtomatik adaptiv monitoring sxemi

Konkret olaraq, istər magistral, istər passiv optik şəbəkələrdən (PON) optik lif üzərindən spektrə görə sıxlaşdırılmış

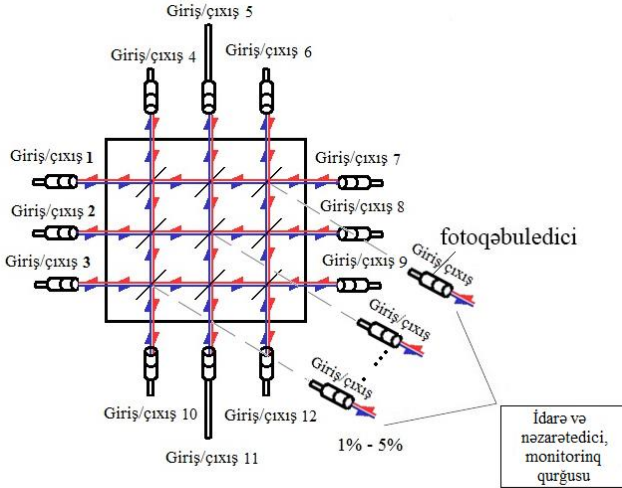
$$\sum_{\omega}^n \lambda_n = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$$

dalğa uzunluqlu optik şüa idarə olunan istənilən yarımşəffaf güzgüyə yönələ bilər. Şüanın istiqamətinin çıxış portlarına kommutasiyası və ya korreksiyası idarəedici blokdan xətti mikropyezomühərrikləri idarə edən u -gərginliyin səviyyəsinə, t -müddətinə uyğun idarə olunur. İdarə olunan yarımşəffaf güzgüdən daxil olan optik şüanın 1%-i OTDR-ə ötürülür. OTDR vasitəsilə verilmiş ilkin proqrama əsasən istənilən və ya bütün kanallar üzrə cari reflektogramlar çıxarılarq reflektogramların müqayisəedici blokuna ötürülür. Müqayisəedici blok eyni zamanda ilkin e-kadastra uyğun verilənlər bazasındakı ilkin verilənlərlə cari nəticələri müqayisə edərək nəticələri məlumatlar bazasına, ordan isə operator terminallarına yönəldir. Operator terminalları ilə bərabər OVŞ-də qəzanın vəziyyətinə uyğun olaraq əks əlaqə ilə idarəetmə bloku vasitəsi ilə kanalların başqa kanallara və ya sönmənin dərəcəsinə uyğun optik kommutatoru yarımşəffaf güzgülərinin fokuslanmasını nizamlamağa çalışır.

Qeyd olunduğu kimi, OTDR-in çıxışından daxil olan siqnalın səviyyəsi “etalon” siqnalın səviyyəsi ilə müqayisə olunduqda burada üç hala nəzərən avtomatik qərar qəbul olunur və təqdim olunan monitoring sisteminin ümumiləşdirilmiş sxeminin iş prinsipinə əsasən qeyd olunanları nəzərə alaraq şəbəkədə yaranan problemlərə uyğun avtomatik kommutasiya aparılır. Analizin nəticəsinə əsasən, optik lifli şəbəkələrdə emal olunan optik informasiya selinin səviyyəsinin dəyişmə səbəbləri araşdırılmışdır. Optik informasiya selinin səviyyəsinə təsir edən göstəricilər, optik kablərin liflərinin müxtəlif səbəblər nəticəsində zədələnməsi zamanı; optik liflərdə fotonların sayının dəyişməsi zamanı (foton itkisi və ya oğurluğu); optik kommutatorların yarımşəffaf güzgülərinin düzgün fokuslanmaması zamanı; optik birləşmə yerlərində istifadə olunan paçkordlarda olan boşluqlar və zədələnməsi səbəbindən; optik muftalarda optik liflərin birləşmə-qaynaq yerlərində və liflərdə

qaralma ləkələrinin yaranması zamanı; aktiv və passiv optik şəbəkələrdə şəbəkə avadanlıqlarından birində elektrik enerjisinin kəsintisi və ya zədələnməsi zamanı yaranır.

Şəkil 17-də monitoringq siqnalının ayrılması üçün optik şaxələndiricinin qeyri-bərabər bölücüsü funksiyasını yerinə yetirən coxfunksiyalı optik kommutatorun sxemi öz əksini tapmışdır.



Şəkil 17. Optik şaxələndirici funksiyasını yerinə yetirən coxfunksiyalı optik kommutatorun sxemi

Şəkil 17-dən görüldüyü kimi ölçülən monitoringq siqnalı optik şaxələndirici funksiyasını yerinə yetirən coxfunksiyalı optik kommutatorun optik girişi portuna verilir. Sonra siqnal fokuslayıcı giriş-linzaya düşür. Giriş linza və ya yarımşəffa güzgü optik süzgəc rolunu oynayır və qeyri-bərabər bölücüsü funksiyasını yerinə yetirərək daxil olan optik siqnalı iki istiqamətdə fokuslayır. İnformasiya daşıyan istiqamətdə optik işıq şuasının təqribən 95%-i, monitoringq qurğusu istiqamətində isə 1-5%-ə qədər optik şua ayrılır.

Demək olar ki, bu proses əlavə olunmuş süzgəcin tətbiqilə bütün güzgülər sistemi tərəfindən icra olunmaq imkanına malikdir. Qrup siqnalı ayrı-ayrı dalğa uzunluqlarına bölünür və fotodetektorlar tərəfindən qəbul edilərək idarə və nəzarətədi monitoringq qurğusuna ötürülür. Müvafiq olaraq ölçü cihazında optoelektron

çevirmə baş verir və verilən vaxt ərzində monitoring qurğusuna daxil olan hər bir siqnaldan hər birinin gücünün səviyyəsi haqqında informasiya emal olunur və nəticələri informasiya operatorunun optik şəbəkənin idarəetmə mərkəzinə ötürülür və siqnalın səviyyəsinə uyğun qərar çıxarılarq icraya göndərilir. Təqdim olunan yeni monitoring qurğusunu və çoxfunksiyalı optik kommutatoru bütün növ optik şəbəkələrdə, o cümlədən, PON, WDM və DWDM texnologiyalı şəbəkələrlə bərabər, korporativ optik şəbəkələrdə də tətbiq etmək olar.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işində aparılmış nəzəri və təcrübi elmi tədqiqatlar nəticəsində aşağıdakı əsas nəticələr əldə edilmişdir:

1. Yeni adaptiv optik lifli şəbəkələrin qurulmasının prinsipi təqdim olunmuş, adaptiv optik şəbəkələrin işini təmin edən müxtəlif tipli optik kommutatorlar təklif olunmuş, iş prinsipləri analiz edilmişdir. Optik kommutatorlarının işləmə prinsipləri əsasında yeni çoxfunksiyalı tam optik kommutatorların yaradılması prinsipi irəli sürülmüşdür.

2. Müxtəlif dalğa uzunluğuna malik optik siqnalları kommutasiya edən, ayıran, çoxkanallı çoxfunksiyalı optik kommutatorlar işlənmiş, optik şəbəkənin funksional imkanlarını genişləndirilməsi elmi əsaslandırılmışdır.

3. Mikropyezoelektrik mühərrikli, bimorf və passiv elastik lövhəli optik kommutatorlar işlənmiş, onların riyazi modelləri qurulmuş və rezonans tezliyi analiz edilmişdir. Hesablamalar nəticəsində işlənmiş kommutatorun məxsusi tezliyi ənənəvi mexaniki kommutatorlara nisbətən üç min dəfə çox olması təsdiq edilmişdir.

4. Adaptiv çoxfunksiyalı, çoxkanallı pyezoelektrik optik kommutatorun köməyiylə optik siqnalların kommutasiyası, ayrılması, birləşdirilməsi, bir hissəsinin monitoring qurğusuna ötürülməsi, optik liflər zədələndiyi halda optik informasiyanın başqa lifə və ya başqa dalğa uzunluğuna kommutasiya olunması, sutkanın zamanından asılı olaraq trafikə paylanmasını təmin edən monitoring sxemi təklif olunmuşdur.

5. Çoxkanallı pyezoelektrik optik kommutatorun pyezomikromühərriklə işləyə bilən yeni konstruktiv sxemləri təklif edilmiş, onların parametrlərinin təyin edilməsi üçün riyazi tənliklər və onların həlli üsulları verilmişdir.

6. Optik kanal kommutatorlarının keyfiyyət göstəricilərinin yüksəldilməsi məqsədilə tətbiqi nəzərdə tutulan mikropyezoelektrik hərəkət çeviricilərinin pyezoelementi ilə onun hərəkətdirici elementinin ölçülərinin uyğunlaşdırılması metodikasının riyazi tənlikləri işlənib hazırlanmışdır.

7. Tutumu 2048-ə qədər artırılmaq imkanlı optik-foton kross-kommutatorları üçün, prinsipcə, yeni 3D optik foton kommutatorunun qurulma prinsipi əsaslandırılmış, onun arxitekturası, iş prinsipi verilmiş, idarə olunmasının blok-sxemi tərtib olunmuş, digər optik kommutatorlarla müqayisə olunmuş, kommutasiya sürətinə və kommutasiya olunan kanalların sayına görə göstəriciləri 2 dəfə artırılaraq imtinasız işləmə ehtimalı təyin olunmuş, Matlab mühitində kommutatorun imtinasız işləmə ehtimalının qrafiki qurulmuşdur.

8. İdarə olunan yarı şəffaf anizotrop kommutasiya mühitinin dalğaötürücüsündə optik oxun sərbəst əyilməsi zamanı düşmə səthində rəqsin modundan asılı olaraq mühitin riyazi modeli qurulmuşdur.

9. Təklif edilmiş optik veriliş sistemlərinin çoxfunksiyalı yeni monitorinq sisteminin iş rejimi, real zaman kəsiyində işləmə prinsipi ilk dəfə olaraq hər tərəfli analiz edilmiş, PON, WDM və DWDM texnologiyaları əsasında optik telekommunikasiya sistemlərinin göstəricilərinin hesablanmasında tədqiq olunan dalğalı multipleksiya sistemindən istifadə etməklə optik veriliş xətlərində optik siqnalların sönməsinə və yaxşılaşdırılmasına nəzarət üsulları və optik məlumat ötürmə sistemlərinin göstəricilərinin və dispersiyanın idarəetmə rejimində təkmilləşdirilmiş optik liflərin parametrlərinin təyin edilməsi üçün alqoritmlərin hesablanmasının metodu təklif olunmuşdur.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı elmi məqalələrdə şərh olunmuşdur:

1. Имамвердиев, К.М., Юсуфзаде, Э.М., Гасанов, М.Г. Пьезоэлектромагнитный шаговый двигатель для перемещения носителя информации, Авторское свидетельство, №1583996, СССР, 1990.

2. Мамедов В.А., Юсуфзаде Э.М., Гасанов М.Г., Мехтиев А.К. “Пьезоэлектрический лентопротяжный механизм”, Авторское свидетельство. № 1756938, Союз Советских Социалистических Республик, 22 апреля 1992 г, 8 с.

3. Вишнеvский, В.С., Курилко, А.А., Матвийчук, Д.А., Вишнеvский, Д.В., Гасанов, М.Г. Пьезоэлектрический реверсивный привод. Авторское свидетельство, №1827708, Москва, 1993.

4. Гасанов, М.Г., Имамвердиева, М.К. Двумерная математическая модель пьезоэлектрических преобразователей перемещения // – Bakı: AzTU-nun Elmi əsərləri, – 1993. №2, – с. 78-80.

5. Джафаров, Э.М., Гасанов, М.Г., Имамвердиева, М.К. Двумерная математическая модель пьезоэлектрических преобразователей перемещения // «Электротехника и электрическая связь», – Баку: – 1994, – с. 85-87.

6. Ibrahimov, B.C., Rahimov, O.A., Həsənov, M.H. The investigation efficiency of multifunctional terminal equipment in the system of transmission DATA // KongreBmesse für industrielle MeBtechnik Rhein-Main Hallen (Messen und Verarbeiten elentrischer und nichtelektrischer Cröben), – Cröben: – 5-7 september, – 1995, – 5 p.

7. Гасанов, М.Г., Рагимов, Д.М. Адаптивные пьезоэлектрические переключатели оптических каналов // Сборник докладов междунар. НТК. «Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов устройств и систем», – Пенза: – 26-31 май, – 1997, – с. 179-180.

8. Məmmədov, M.Ə. Müasir telekommunikasiya texnologiyaları. Monoqrafiya./ M.Ə.Məmmədov, M.H.Həsənov, N.F.Rəsulov – Bakı: Çaşıoğlu, – 1998. – 118 s.

9. Məmmədov, M.Ə., Rəsulov, C.M., Həsənov, M.H., Vəliyev, Z.M. Telekommunikasiya texnologiyalarının inkişaf mərhələlərinin

analizi // Первая международная научно-техническая конференция «Достижения и перспективы развития радиотехники, электроники и связи в республике» – Баку, – 1998, – с. 74-75.

10. Həsənov, M.H., Rəsulov, S.M., Məmmədov, M.Ə., Məmmədov, İ.Ə. Optik foton texnologiyasının analizi // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 81 illik yubileyinə həsr olunmuş “Yeyinti, yüngül sənaye və xidmət sahələrinin aktual problemləri” beynəlxalq elmi-texniki konfransı, – Gəncə, – 1999. – s. 130-131.

11. Hasanov, M.H., Huseynov, N.E., Mammadov, M.A., Rasulov, J.M. Channels Control Setting in Transferring Systems // Interactive systems: The problems of Human Computer Interaction, – Ulyanovsk, – 1999. p. 131.

12. Məmmədov, M.Ə., Həsənov, M.H., Yusifzadə, E.M. Optik liflərin pyezoelektrik kommutasiya qurğusu. Azərbaycan Respublikası Milli Patent ekspertiza mərkəzi, Patent N94/000330, Bakı, 1999.

13. Həsənov, M.H. Optik veriliş şəbəkəsinin avadanlıqları. Monoqrafiya./ – Bakı: Sabah, – 2001. – 152 s.

14. Годжаев, Э.М., Гасанов, М.Г., Гусейнов, Н.Э. Пьезоэлектрические преобразователи для применения в оптических устройствах связи // Труды 3-й междунар. НТК, – Одесса: – 21-24 май, – 2002. – с. 136.

15. Гасанов, М.Г. Анализ подходов к исследованию интернет-трафика в сетях телекоммуникационной связи // AzTU-nun professor-müəllim heyətinin və aspirantların 53-cü elmi texniki konfransı, – Bakı: – 2006. – с. 177-179.

16. Гасанов, М.Г. Определение характеристик системы передачи неоднородного трафика в сетях передаче данных // Международная конференция “Идентификация, измерение характеристик и имитация случайных сигналов (состояние, перспективы развития)”, – Новосибирский: – 2009. – с. 20-21.

17. Həsənov, M.H. Qloballaşma şəraitində infokommunikasiya texnologiyaları sisteminin idarə edilməsinin təkmilləşdirilməsinin nəzəri-metodoloji əsasları // – Bakı: AzTU-nun Elmi əsərləri, – 2009. №3, – с. 97-101.

18. Гасанов, М.Г. Оптоэлектронные приборы и позиционно-чувствительный фотодетектор в оптических системах передачи // *Fizikanın müasir problemləri*, – Bakı: – 2009. – с. 44-47.

19. Гасанов, М.Г. Исследование достоверности функционирования технических средств систем управления передачей неоднородной информации // *Международный Симпозиум «Надёжность и качество»*, – Пенза: – 2009. – с. 114-115.

20. Ибрагимов, Б.Г., Гасанов, М.Г. Методы повышения отказоустойчивости терминальных оборудований мультисервисных сетей связи на основе энтропийного подхода // *Международный Симпозиум «Надёжность и качество»*, – Пенза: – 2010. – с. 14-16.

21. Гасанов, М.Г. Эффективность пьезоэлектрического дефлектора светового луча в технике связи // – Баку: Известия высших технических учебных заведений Азербайджана (Информатика и автоматика), – 2010, – №2 (66). – с. 44-46.

22. Гасанов, М.Г. Модели оценки надёжности функционирования системы управления передачей неоднородной информации // – Bakı: *AzTU-nun elmi əsərləri*, – 2010, – №2, – cild IX (34). – с. 57-61.

23. Мамедов, М.А., Гасанов, М.Г. Исследования качества связи и вероятностных характеристик цифрового канала // – Bakı: *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*, – 2011, – №2, – cild 3. – с. 67-74.

24. Мамедов, М.А., Гасанов, М.Г. Исследования методов расчёта помехоустойчивости волоконно-оптических систем передачи // “*İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri*” beynəlxalq elmi-texniki konfrans, – Bakı: – 2014. – с. 34-39.

25. Həsənov, M.H. Mikropyezoelektromexaniki optik kommutatorların tədqiqi // “*İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri*” beynəlxalq elmi-texniki konfrans, – Bakı: – 2016. – с. 31-37.

26. Həsənov, M.H., Əliyev, C.Ə. Mexaniki gücün təsirinin statistikasının qiymətləndirilməsi // “*İnformasiya və kommunikasiya*

texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfrans, – Bakı: – 2016. – s. 80-87.

27. Həsənov, M.H., Əliyev, C.Ə. Optik lifin qısamüddətli möhkəmliyinin və statik köhnəlməsinin tədqiqi // “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfrans, – Bakı: – 2016. – s. 92-95.

28. Гасанов, М.Г., Магеррамов, В.А. Применение пьезоэлектрического дефлектора светового луча в оптических коммутаторах волоконно-оптических сетей связи // – Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2017, – №2, cild 9. – s. 116-121.

29. Ибрагимов, Б.Г., Гасанов, М.Г., Керимов, В.Р. К анализу показателей эффективности функционирования сетей NGN/IMS при оказании мультимедийных услуг // Всероссийская конференция Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем, – Москва: – 2017. – с. 124-126.

30. Həsənov, M.H. Optik lifli veriliş şəbəkələrinin monitoring sistemi // – Bakı: Azərbaycan Texniki Universitetinin elmi əsərləri, – 2017, – №1. – s. 84-89.

31. Гасанов, М.Г., Гаджиева, К.Р. Физическая и математическая модель нелинейных пьезоэлектрических преобразователей для линейных перемещений // X Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники», – Уфа: – 2017. Том 1. – с. 292-293.

32. Гасанов, М.Г., Гардашов, С.Г. Определение оптимальных размеров элементов пьезоэлектрического двигателя для оптических коммутаторов // – Харків: Вісник Національного технічного університету, серія: Інформатика та моделювання. Збірник наукових праць, – 2017. – №50 (1271). – с. 25-35.

33. Гасанов, М.Г., Гардашов, С.Г. Частотного согласования размеров элементов пьезоэлектрического двигателя для оптических коммутаторов // – Пенза, журнал «Надежность и качества сложных систем», – 2017. – №4. – с. 49-55.

34. Гасанов, М.Г. Многофункциональный многоканальный пьезоэлектрический коммутатор для оптических сетей // XXII международная научно-техническая конференция «Современные средства связи», – Минск: – 2017. – с. 16-17.

35. Hasanov, M.H., Ibrahimov, B.G., Qodjaeva, Sh.F. Research efficiency optical transport networks with use transferring and reception optoelectronics module // International Journal of Research – Granthaalayah, – 2017. Vol. 6, – Issue 2. – pp. 324-330.

https://www.granthaalayahpublication.org/journals/index.php/granthaalayah/article/view/IJRG18_A02_1179

36. Гасанов, М.Г. Многоканальный пьезоэлектрический коммутатор адаптивных оптических сетей // – Bakı: – Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2017, – cild 9, – №4. – с. 107-113.

37. Мəһəррəмов, V.Ə., Нəсəнов, M.H. Adaptiv optik lifli şəbəkə. Sənaye Mülkiyyəti Obyektlərinin Ekspertizası Mərkəzi (AzPatent), Patent № a 2017 0010, Bakı, 2017.

38. Hasanov, M.H., Maharramzada, M.R., Aliyeva, B.V., Qodjaeva, S.F. On one principle of monitoring the network of optical transmission systems // Международной научно-технической конференции «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях», – Минск: – 2018. – р. 7.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8457044>

39. Hasanov, M.H., Aliyeva, B.V., Qodjaeva, Sh.F. Monitoring of Optical Fibrous Networks // 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, – Baku: – 13-15 september, –2018.–р.7.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318328635>

40. Hasanov, M.H., Maharramzada, M.R., Aliyeva, B.V., Qodjaeva, Sh.F. On one principle of monitoring the network of optical transmission systems // – Минск: – Научный журнал «Проблемы инфокоммуникаций», – 2018, – №2 (8). – р. 40-45.

41. Гасанов, М.Г., Гусейнов, А.М., Имангулиев, А.Г., Гаджиева, К.Р. Моделирование волнового процесса в однородной линии с сосредоточенных элементов // Международная

научно-техническая конференция «Современные средства связи», – Минск: – 2018. – с. 22-23.

42. Həsənov, M.H. Optik lifli şəbəkələrin monitorinqi // – Bakı: Beynəlxalq Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2018, – cild 10, – №2. – s. 78-83.

43. Ibrahimov, B.G., Hasanov, M.H. Analysis of methods Increasing the Quality of the Operation Optical Signal Transfer Systems in Telecommunication Systems // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, –Minsk:–2018.–pp.1-6.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8457007>.

44. Ibrahimov, B.Q, Hasanov, M.H. Research of Methods Transfer Characteristics Fiber-Optical Communication Lines // International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, – 2018. – pp. 586-591. <https://www.academia.edu/36265285/>

45. Hasanov, M.H., Hacıyeva, K.R., Qodjaeva, Sh.F. Multifunctional adaptive piezoelectric switch of optical channels // – Moscow: T-Comm. Telecommunications and transport, – 2018, – Vol. 12, – №3. – pp. 64-68.

46. Hasanov, M.H. Piezoelectric Optical Deflector With Adaptive Mirror // – Moscow: T-Comm. Telecommunications and transport, – 2018, – №6. – pp. 56-60.

47. Humbatov, R.T., Ibrahimov, B.G., Hasanov, M.H., Ibrahimov, R.F. Research On The Performance Of Intelligent Communication Networks // 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, – Baku: – 13-15 september, – 2018. – p. 5.

https://ifac.papercept.net/conferences/conferences/TECIS18/program/TECIS18_ContentListWeb_3.html

48. Həsənov, M.H. Optik foton kommutatoru. Azərbaycan Respublikasının Əqli Mülkiyyət Agentliyi, Patent və Əmtəə Nişanlarının Ekspertizası Mərkəzi, müsbət rəy, №a20190118, 2019.

49. Həsənov, M.H. Tam optik şəbəkələrin 7D optik foton kommutatoru // – Bakı: – Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2019, – cild 11, – №4. – s. 65-69.

50. Гасанов, М.Г., Магеррамзаде, М.Р., Годжаева, Ш.Ф., Заманова, Н.Дж. Принцип построения нового оптического фотонного переключателя // XXIV международной научно-технической конференции «Современные средства связи», – Minsk: – 2019. – с. 18-19.

51. Hasanov, M.H., Islamov, I.J., Maharramzadeh, M.R., Imanquliyev, A.G., Zamanova, N.J., Gojayeva, Sh.F. About a principle of the prevention of attacks in optical networks // – Moscow: – T-Comm. Telecommunications and transport, – 2019, – Vol. 13, – №1. – pp. 70-75.

52. Islamov, I.J., Ismibayli, E.G., Hasanov M.H., Gaziyeu, Y.G., Ahmadova, S.R., Abdullayev, R.Sh. Calculation of the Electromagnetic Field of a Rectangular Waveguide with Chiral Medium // – Massachusetts, USA: – Progress In Electromagnetics Research B, – 2019, – Vol. 84. – pp. 97-114.

<http://www.jpier.org/PIERB/pierb84/06.19041804.pdf>

53. Ibrahimov, B.G., Hasanov, M.H, Humbatov, S.H. Study and Analysis of Nonlinear Effects in Optical Systems Using Spectral Technologies // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, – Minsk: – 2019. – pp. 10-15.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8706734>

54. Hasanov, M.H. Photon switch of full optical networks // – Moscow: – T-Comm. Telecommunications and transport, – 2019, – Vol. 13, – №8. – pp. 47-51.

55. Hasanov, M.H. Modeling of waveguide with an anisotropic medium// – Moscow: – T-Comm. Telecommunications and transport, – 2019, – Vol. 13, – №12. – pp. 62-68.

56. Islamov, I.J., Hasanov, M.H. Simulation of a waveguide with a nonlinear medium // 13th IEEE International Conference, AICT-2019, – Baku: – 23-25 October, – 2019. – pp. 239-244.

[13th IEEE International Conference, AICT'2019.](#)

57. Hasanov, M.H., Ibrahimov, B.G., Mardanov, N.T. Research and Analysis Performance Indicators NGN/IMS Networks in the Transmission Multimedia Traffic // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), – Saint-Petersburg: – 2019. – pp. 1-4.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8840117>

58. Həsənov, M.H., Məhərrəmzadə, M.R. Optik kommutasiya mühitinin tədqiqi // – Bakı: – Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2020, – cild 12, – №2. – s. 65-73.

59. İbrahimov, B.G., Hasanov, M.H. Research and Analysis Indicators Optical Telecommunication Networks Based on POM, WDM and DWDM Technology // EMCTECH, – Vienna, – 2020.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9261545>

60. İbrahimov, B.G., Hasanov, M.H., Mardanov, N.T. Research and analysis efficiency optical communication networks on the basis optical WDM and DWDM technologies // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, – Moscow: – 2020. pp. 1-6.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9078635>

61. Həsənov, M.H., Atayev, N. Yeni nəsil 3D optik kommutatoru // Azərbaycan Texniki Universitetinin 70 illik yubileyinə həsr olunmuş “Dördüncü sənaye inqilabının texnoloji perspektivləri: sənaye interneti, kiberfiziki sistemlər və intellektual texnologiyalar” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransı, – Bakı: – 2020. – s. 604-609.

62. Hasanov, M.H., Ağayev, N.B., Atayev, N.A., Fətəliyev, V.M. A new generation of controlled optic switch // – Moscow: – T-Comm. Telecommunications and transport, – 2021, – Vol. 15, – №3. – pp. 63-68. <https://ieeexplore.ieee.org>

63. İbrahimov, B.G., Hasanov, M.H. Researches methods for increasing the throughput of fiber-optical communication networks based on optical spectral technology // International scientific conference “2021 systems of signals generating and processing in the field of on board communications”, – Moscow: – 16-18 march, – 2021.

<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9415976/proceeding?pagenumber=3>

64. Hasanov, M.H. Research indicators nonlinear effects in fibre optic communication lines in use WDM and DWDM technologies // International scientific conference “2021 systems of signals

generating and processing in the field of on board communications”,
– Moscow: – 16-18 march, – 2021.

<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9415976/proceeding?pagenumber=3>

65. Ibrahimov, B.G., Hasanov, M.H., Agayev, F.H.. Research and analysis comprehensive indicators efficiency in links multiservice communication networks // Волновая электроника и ее применение в информационных и телекоммуникационных системах, – Санкт-Петербург: – 31 мая-04 июня, – 2021.

66. Islamov, I.J., Hasanov, M.H., Abbasov, M.H. Simulation of Electrodynamics Processes in a Cylindrical-Rectangular Microwave Waveguide Systems Transmitting Information // 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception – ICSCCW2021, – Antalya: – 23-24 August, – 2021 .

Həmmüəlliflərlə çap olunmuş elmi işlərdə müəllifin şəxsi iştirakı:

-[14-18, 20, 21, 24, 29, 33, 35, 41, 45, 47, 48, 63] - sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir;

-[1-13, 19, 22, 23, 25-28, 30-32, 34, 36-40, 42-44, 46, 49-62, 64, 65] - sayılı işlərdə məsələnin qoyuluşu, alınmış elmi nəticələr və elmi izahatlar müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 22 oktyabr 2021-ci il tarixində saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: H.Cavid prospekti 25, Bakı, Azərbaycan, AZ 1073, Azərbaycan Texniki Universiteti.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 15.09.2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb:
Kağızın formatı:
Həcm:
Tiraj: 100