

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ОӘК 621.3

Қолжазба нұсқасында

Оразбеков Еркебулан

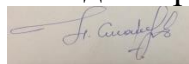
Магистрі академиялық дәрежесін іздену үшін

### МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертация тақырыбы Талшықты-оптикалық шешімдермен қолданатын рұқсат желісін жобалау математикалық модельдеу

Мамандық 6М071900 – «Радиотехника, электроника, телекоммуникациялар»

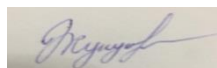
Ғылыми жетекші,  
PhD докторы, сениор-лектор



Н.К.Смайлов

«01» шілде 2020 г.

Оппонент,  
Физ-мат.ғыл.канд., АУЭС доценті

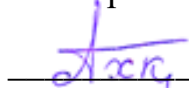


Жунусов К.Х.

«03» шілде 2020 г.

Нормобақылаушы:

Сениор-лектор, доктор PhD



А.Хабай

«01» шілде 2020 г.

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

ЭТжҒТ каф.меңгерушісі

И.Сырғабаев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6М071900 – «Радиотехника, электроника, телекоммуникациялар»

**БЕКІТЕМІН**

ЭТжҒТ каф.меңгерушісі

И.Сыргабаев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**магистерлік диссертация орындауға  
ТАПСЫРМА**

Магистрант *Оразбеков Еркебулан*

Тақырыбы: *«Талшықты-оптикалық шешімдермен қолданатын рұқсат желісін жобалау математикалық модельдеу»*

Университет ректорының *22.11.2019 ж. № 391-М бұйрығымен* бекітілген.

Дайын диссертацияны тапсыру уақыты *«5» шілде 2020 ж.*

Магистерлік диссертацияға берілген алғашқы мәліметтер: *1) Идеал 8 арналы WDM мультиплексорының спектрлік сипаттамалары; 2) CWDM жүйелерінің спектрлік арналарының орталық толқын ұзындығы; 3) WDM жүйелерінің жіктелуі.*

Диссертациялық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

*а) PON технологиясының жұмыс істеу қағидасымен құрылымы;*

*б) Арналарды спектрлік тығыздау технологиялары. WDM PON технологиясы;*

*в) WDM-PON гибриді желісін математикалық модельдеу. Модельдеу нәтижелері.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

*а) WDM мультиплексорының спектрлік сипаттамалары;*

*б) WDM PON желісінің моделі;*

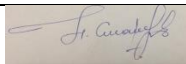
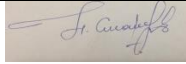

*в) Оптикалық сплиттердің негізгі сипаттамалары;*

Ұсынылатын негізгі әдебиет : *1) Р.Р. Убайдуллаев. Талшықты-оптикалық желілер. ЭКО-ТРЕНДЗ, Мәскеу, 1998. 2) Былина М.С., Глаголев С.Ф., Кочановский Л.Н., Пискунов В.В. Талшықты-оптикалық сызықтық тракттың параметрлерін өлшеу: Оқу құралы/СПб ГУТ.-СПб, 2002. 3) Курицын С. А. Телекоммуникациялық тарату жүйелерін құру негіздері: Оқу құралы. 2004.*

магистерлік диссертацияны дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
PON технологиясының жұмыс істеу қағидасымен құрылымы	04.01.2020 -25.01.2020	орындалды
Арналарды спектрлік тығыздау технологиялары. WDM PON технологиясы	20.01.2020 -25.02.2020	орындалды
WDM-PON гибриді желісін математикалық модельдеу. Модельдеу нәтижелері	25.02.2020 – 01.07.2020	орындалды

Диссертациялық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған бөлімдерге қойған  
**қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диссертация жұмысының тақырыбын талдау	Н.К.Смайлов, PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы	10.01.2020 ж.	
Теориялық ақпарат	Н.К.Смайлов, PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы	03.02.2020 ж.	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы Хабай А.	01.07.2020 ж.	

Ғылыми жетекші



Н.К.Смайлов

Магистрант



Е.А.Оразбеков

Мерзімі

«01» шілде 2020 ж.

## АНДАТПА

Диссертацияда PON технологиясын қолдана отырып, кең жолақты абоненттік қатынау желілеріндегі алмасу жылдамдығын арттыру көзделген.

Абоненттердің қажеттіліктері үнемі өсіп келеді және қазіргі заманғы құрылымдар оларды қамтамасыз ете алмайтындықтан, рұқсат желілеріндегі ақпарат алмасудың жылдамдығын арттыру өте өзекті мәселе болып табылады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы: жаңа TDM және WDM PON негізінде гибридтік желінің математикалық моделі ұсынылды.

Жұмыс 4 бөлімнен тұрады және PON құрылымдарында спектрлік сығымдау технологияларын қолдану ерекшеліктерін зерттеуге арналған.

PON технологиясы, WDM технологиясының түрлері, WDM көмегімен байланыс желілеріне арналған жабдық, WDM мультиплексорларының параметрлері қарастырылған. Қолданыстағы PON жүйелерінде WDM-TDM гибридті мультиплекстеуін қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Қолданыстағы қол жеткізу желілерін жаңарту үшін осы технологияны қолданудың өзектілігі туралы қорытынды жасалды.

## АННОТАЦИЯ

Основной целью проводимых исследований является повышение скорости обмена в сетях широкополосного абонентского доступа, прежде всего по технологии PON, т.к. потребности абонентов постоянно растут и современные структуры уже не могут их обеспечить.

Научной новизной работы является предложенная гибридная математическая модель сети на основе TDM и WDM PON технологии.

Работа состоит из 4 глав и посвящена исследованию особенностей применения технологий спектрального уплотнения в структурах PON.

В работе рассмотрена технология PON, виды технологии WDM, оборудование, предназначенное для сетей связи с применением WDM, конструкции и параметры мультиплексоров WDM. Рассмотрена возможность реализации гибридного мультиплексирования WDM-TDM в существующих системах PON. Сделаны выводы об актуальности применения этой технологии с целью модернизации существующих сетей доступа.

## **ABSTRACT**

The main goal of the research is to increase the exchange rate in broadband subscriber access networks, primarily using PON technologies, because The needs of subscribers are constantly growing and modern structures can no longer provide them.

The scientific novelty of the work is the proposed hybrid mathematical network model based on TDM and WDM PON technologies.

The work consists of 4 chapters and is devoted to the study of the application of spectral densification technologies in the PON structure.

The paper considers PON technologies, types of WDM technologies, equipment designed for communication networks with WDM, designs and parameters of WDM multiplexers. The possibility of implementing hybrid WDM-TDM multiplexing in existing PON systems is considered. Conclusions are drawn on the relevance of the use of this technology.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1. PON технологиясы	11
1.1 Қызметтерге қойылатын талаптар	11
1.2 PON желісінде қызмет көрсету сапасын қамтамасыз етудің жалпы қағидалары	13
1.3 Желідегі ақпарат алмасу жылдамдығына қойылатын талаптар	14
1.4 Рұқсат желілердің топологиясы	16
1.5 PON топологиялары	20
1.6 Пассивті оптикалық желілердегі ақаулардың түсінігі және жіктелуі	21
1.7 Пассивті оптикалық желінің сенімділігін бағалау әдістемесі	23
1.8 PON желісінің құрылымы	25
1.9 PON жұмыс істеу қағидасы	26
1.10 FTTx технологиясы	27
2. Арнаның спектральды тығыздау технологиялары	30
2.1 WDM технологиясын қолданатын оптикалық сызықтық тракттың құрылымдық схемасы	30
2.2 WDM жүйелерінің түрлері. WDM жиіліктік жоспары...	31
2.3 WDM жүйесінің компоненттеріне қойылатын арнайы талаптар	34
2.4 WDM пассивті оптикалық мультиплексорлары және демультимплексорлары параметрлері	36
2.5 Мультиплексорлардың спектрлік сипаттамалары және WDM демультимплексорлары	37
2.6 (FEXT) Шеттегі арналар арасындағы өтпелі өшулік. Арналарды оқшаулау. Айқас кедергілер	39
2.7 Жақын уақыттағы арналар арасындағы өтпелі өшулік(NEXT). Арнаның бағытталуы	40
2.8 Кіріс және қайтару шығындары	41
2.9 WDM жүйелерін оптикалық рұқсат желілеріне енгізу. WDM-PON технологиясы	41
3. Жабдықтар	47
3.1 Белсенді желілік жабдық	47
3.2 WDM мультиплексорлары және демультимплексорлар	48
3.3 OLT станция жабдықтары	52
3.4 ONU / ONT абоненттік жабдығы	53
3.5 Пассивті жабдықтар	54
4. WDM-PON гибриді желісін модельдеу	59
4.1 Модельдеу ортасын таңдау	59
4.2 OptiSystem интерфейсінің негізгі ерекшеліктері	62
4.3 Модельдеуге арналған алғашқы мәліметтер	64
4.4 Желінің архитектурасы	64
4.5 TDM және WDM PON шешімдерімен салыстыру	67

4.6	Модельдеу нәтижелері	68
	Қорытынды	69
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	70



## КІРІСПЕ

Талшықты желілердің пайда болуы қоғамды ақпараттандыру процесіне күшті серпін берген маңызды оқиға болды.

Алғашқы жүйелер телефон желілерімен әскери қосымшаларда қолдануды тапты және мәліметтерді тарату үшін мультимодты градиент талшығын пайдаланды.

Келесі қадам - бір модальды талшыққа көшу, бұл жылдамдықты арттыруға және деректерді жіберуге болатын ең үлкен қашықтықты көбейтіге мүмкіндік берді. Деректерді таратудың дәстүрлі микротолқынды және спутниктік жүйелерін оптикалық транктар алмастыра бастады.

Электронды-оптикалық құрылғылар мен оптикалық талшықтарды өндіру технологияларының қарқынды дамуы 80-жылдардың ортасында жеке пайдаланушылар мен ұйымдарды қосу үшін талшықты пайдалануға мүмкіндік берді.

Алғашқы тарату желілерін іске қосу нүкте-нүкте топологиялары арқылы жүзеге асырылды, бірақ бірнеше жылдан кейін пассивті оптикалық желілер (PON) технологиясы құрылды, бұл нүкте-көп нүкте топологияларын ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

PON сізге кең жолақты мультисервистік желіні құруға мүмкіндік береді, ол арқылы трафиктің стандартты түрлерінен және қызметтердің қарапайым түрлерінен басқа, көптеген басқа деректерді жібере аласыз.

Мұндай желі барлық заманауи талаптарға жауап беруі және келесі модернизациялау мүмкіндіктері болуы үшін, пайдаланушылар санының өсуі жағдайында, сондай-ақ көрсетілетін қызметтерге үнемі өсіп келе жатқан сұраныстың пайда болуында бірнеше артықшылықтары бар пассивті оптикалық PON желілерін құру технологиясын қолдану қажет:

- таратудың жоғары жылдамдығы - PON 155 Мбит / с-тен 2,5 Гбит / с дейінгі жылдамдыққа ие, бұл қазіргі уақытта ақпаратты жіберудің ең жылдам тәсілі болып табылады;

- гетерогенді трафикті қолдау - жүйе кез-келген ақпаратты (мәліметтер, видео, дауыс) жіберуге қабілетті;

- жоғары сыйымдылық - сапаны жоғалтпастан, жүйе бір уақытта бірнеше ресурстардан ағындарды өңдей алады. Бір абоненттік портқа бірнеше компьютерлер, теледидарлар, IP-телефондар және т.б. қосыла алады;

- техникалық қызмет көрсетуге шығындары аз - PON электр қуатын және қосымша техникалық қызмет көрсетуді қажет етпейтін енжар бөлгіштерді пайдаланады;

- материалды оңтайлы пайдалану - абоненттердің максималды санын бір талшыққа қосу арқылы, біз азырақ кабельді пайдалану мүмкіндігін аламыз, бұл айтарлықтай үнемдеуге әкеледі;

- шу иммунитеті және кернеу өзгерістерінен қорғау - бұралған жұп кабельдерді қолданатын жүйелерден айырмашылығы, PON сыртқы әсерлерге ұшырамайды және кернеудің өсуінен, кедергілердің пайда болуынан қорғалған;

- ықшамдау мүмкіндігі - сигналды ықшамдау (мультиплексинг) қажет болған жағдайда қолданыстағы кабель бойынша қосымша ақпарат ағындарын таратуға мүмкіндік береді. Сондықтан, оны қауіпсіздік жүйелері, бейнебақылау, өрт қауіпсіздігі және т.б. қоса қызметтерді қосу үшін пайдалануға болады;

PON-технологияларының үздіксіз дамуы - қуаттың, жылдамдықтың және арзан компоненттердің көбеюі деректерді тарату технологияларының ішінде болашағы зор деп санауға мүмкіндік береді;

Әдеттегідей, талшықты-оптикалық тарату жүйесі TDM (Time Division Multiplexing) уақытты бөлу мультиплекстеу SDH, ATM, Ethernet кіретін технологиясын қолданады. TDM технологиясындағы жаңа жетістіктерді пайдалану талшықты-оптикалық байланыс желілерінің өткізу қабілетін 40 Гбит / с дейін арттырды. TDM ішіндегі тарату жылдамдығының одан әрі артуы, бір жағынан, электрониканың мүмкіндіктерімен және екінші жағынан, оптикалық сигналдың дисперсиялық бұрмалануымен шектеледі.

Бұл мәселені шешудің технологиясы - спектрлік мультиплекстеу технологиясы - WDM (Wavelength Division Multiplexing). WDM жүйелеріндегі байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін арттыру үшін бір оптикалық каналдағы (TDM сияқты) берілу жылдамдығын арттырудың орнына арналар саны (пайдаланылған толқын ұзындығы) көбейтіледі.

WDM технологиясының маңызды артықшылығы - дайын талшықты желілерді тығыздау үшін пайдалану мүмкіндігі. WDM пайдалану қолданыстағы инфрақұрылымдағы тарату жүйелерінің бірнеше буынына жеткілікті өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етуі керек.

Зерттеудің негізгі мақсаты - ең алдымен PON технологиясын қолдана отырып, кең жолақты абоненттік қатынау желілерінде алмасу жылдамдығын арттыру Абоненттердің қажеттіліктері үнемі өсіп келеді және қазіргі заманғы құрылымдар оларды бұдан әрі қамтамасыз ете алмайды. Диссертация спектральды мультиплекстеу технологияларын қолдану есебінен желідегі айырбас бағамының өсуін ұсынады. Бұл мәселені шешу үшін кеңжолақты қатынау желілерін құрудың қолданыстағы топологияларын зерттеу, талшықты-оптикалық қатынау желілерінде WDM, CWDM, DWDM спектрлік мультиплекстеу технологияларын пайдалану мүмкіндіктерін талдау, сонымен қатар қажетті жабдықтар мен кабельдік жүйелерді зерттеу қажет.

## 1. PON ТЕХНОЛОГИЯСЫ

### 1.1 Қызметтерге қойылатын талаптар

Интернеттің дамуымен ұсынылатын байланыс қызметтерінің саны үнемі өсіп келеді, бұл таратылуы керек мәліметтер ағынының көбеюіне әкеледі. Бұл ұялы байланыс операторлардың көліктік желілердің өткізу қабілетін арттыратын жаңа мүмкіндіктер іздеуге мәжбүр етеді. Шешім қабылдау кезінде ескеру қажет:

- желінің үнемділігі;
- абоненттердің қажеттіліктері;
- желіні одан әрі дамыту әлеуеті.

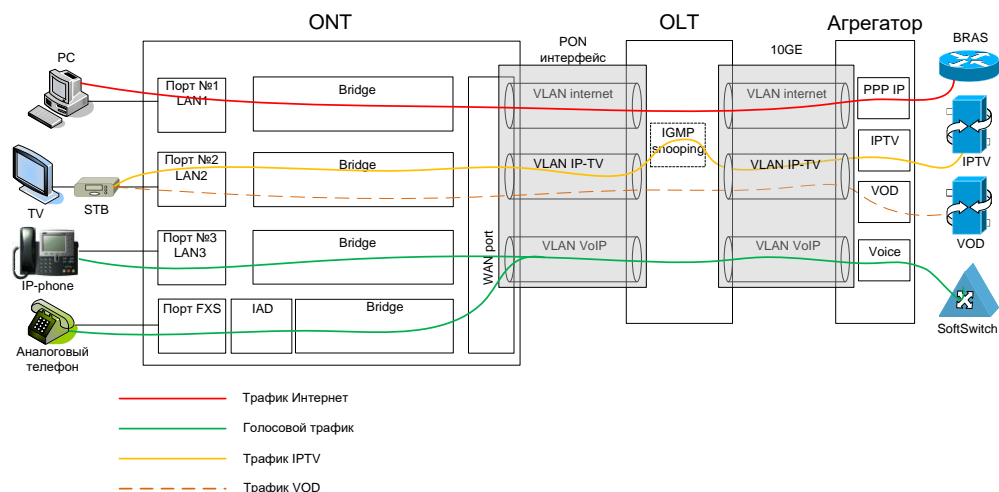
Осы шарттардың әрбіреуінде жоғары нәтижеге қол жеткізу PON технологиясының пайда болуының арқасында жүзеге асты.. Ағаш тәрізді талшықты-кабелдік архитектураның, сондай-ақ түйіндер арасында толығымен пассивті оптикалық желінің құрылуының арқасында бұл технология үнемді және кең жолақты деректерді таратуды қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, пассивті оптикалық желілердің архитектурасы қажет болған жағдайда абоненттердің қазіргі және болашақ қажеттіліктеріне байланысты желілік тораптар мен өткізу қабілетін көбейтуге мүмкіндігін бере алады.

Қазіргі уақытта дауыстық (телефон) қатынас, желілеріндегі трафиктің басым түрі болып қала береді. Алайда, кабельдік байланыс технологияларын жетілдіру процесі жалғасуда. Осыған байланысты жаңа технологиялар мен байланыс қызметтері кеңінен қолданылады. Интернет, электрондық пошта, IP-телефония, интерактивті цифрлық теледидар, технологиялық, құқықтық, қаржылық ақпараттарды беру, медициналық қызметтерді қашықтықтан пайдалану, компьютерлік Ethernet желілерін пайдалану және т.б.

Пассивті оптикалық желі технологиясын қолдану, кешенді түрде деректер, телефония, IPTV және кабельдік теледидар қызметтерін ұсынуға мүмкіндік берді.

Кешенді қызмет көрсету мүмкіндігі абоненттік жабдықты пайдаланумен жүзеге асырылуда.

PON арқылы NGN қызметтеріне қол жетімділікті қамтамасыз ету үшін сервистік гибридік модель қолданылады. PON арқылы NGN қызметтеріне қол жеткізудің логикалық моделінің орындалуы 1.1 суретте келтірілген.



1.1 Сурет - Логикалық үлгіні іске асыру

Абоненттік жабдық арасындағы бөлімдерде Triple Play қызметтеріне қол жеткізуді ұйымдастырған кезде (оптикалық желі терминалы - ONT) соңғы жабдықта үш VLAN сервистері ұйымдастырылған (сервистік VLAN моделі енгізілуде), оның ішінде Интернет-трафик, VoIP және IPTV трафигін таратуға арналған бір VLAN беріледі. ONT жабдықтарында абоненттік жабдықты қосуға арналған порттың физикалық сәйкестендіргіші және сәйкес қызмет VLAN сәйкестендіргіші салыстырылады.

Қазақстанда абоненттік жабдықты пайдалану желіні құрудың ең көп таралған технологиялары - ADSL және FTTx. Соңғысы, талшықты-оптикалық кабель Ethernet коммутаторының көмегімен байланыс түйінінен қажетті жерге, «х» нүктесін, содан кейін абонентке мыс к+абелін орнатады деп болжайды. Сонымен қатар, FTTx ADSL-ге қарағанда абонентке кеңірек арна ұйымдастыруға мүмкіндік береді (24 абонентке 1 Гбит / с).

Бір қарағанда, мұндай жылдамдық жеткілікті болады, бірақ ұсынылатын қызметтерге арналған технологиялар әлі де өркендеп жатыр және әр уақытта бұрынғыға қарағанда кеңірек өткізу қабілеттілігін қажет етеді. Сонымен, стандартты ажыратымдылықтағы сигналды тарату үшін шамамен 1-4 Мбит / с диапазонындағы, ажыратымдылығы жоғары сигнал үшін 6-дан 25 Мбит / с-қа дейін, және 3D теледидары үшін - 30 Мбит / с-тан жоғары жылдамдық қажет.

Сонымен қатар, FTTx технологиясының мұндай кемшіліктерін есте ұстаған жөн: оператор мен абоненттің арасында үнемі техникалық қызмет көрсетуді қажет ететін белсенді жабдықтың болуы; қол жеткізу түйінін үздіксіз қуатпен қамтамасыз ету және оны вандалдардан қорғау қажеттілігі.

IP-телефония қызметтерін ұсыну үшін оператордан абоненттің жауапкершілік аймағына дейін (пәтер немесе кеңсе) сайтта үздіксіз және энергияға тәуелсіз телефон байланысын ұйымдастыру қажет. Бұл шарттарды сақтау желіні құруға және оны тез қайтаруға жұмсалатын шығындармен өте аз болса да, оны ұстауға (пайдалану шығындарына) едәуір инвестицияларды қажет етеді, бұл операциялық шығындарды азайту принципін ұстанатын Қазақстанның ірі операторларының саясатынан түбегейлі ерекшеленеді.

## **1.2 PON желісінде қызмет көрсету сапасын қамтамасыз етудің жалпы принциптері**

Қызмет сапасын қамтамасыз ету моделі сараланған қызметтер архитектурасы бойынша негізделген (RFC2474, RFC2475, RFC3260). Сараланған қызметтердің архитектурасы трафикті топтарға бөлу және әр топқа тиісті деңгейде қызмет көрсету механизмдеріне негізделген.

Әр топқа қызметтердің нақты сараланған коды тапсырылған. Әр кадр үшін OLT қашықтан сараланған қызметтің идентификаторының мәнін талдайды. Қашықтан басқару құралының идентификаторының мәніне сүйене отырып, OLT пакеттің таралуының тиісті механизмін (бітелуді басқару механизмі) таңдайды. Бітелген жағдайда өткізу қабілетін басқару кезек механизмін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Пакеттер кезек бойынша орналастырылған ретпен өңделеді.

Абоненттік трафикті жіктеу OLT бойынша жүзеге асырылады. Жіктеуді жүргізу үшін трафик берілетін VLAN пайдаланылады.

Желіде пайдаланылатын қызмет көрсету моделінің сапасы трафиктің 7 тобын қолданады:

- желілік құрылғыларды басқару тобы;
- IP телефония қызметінің тобы;
- IPTV қызметінің тобы;
- Premium санатындағы VPN тобы;
- Silver санатындағы VPN тобы;
- Bronze санатындағы VPN тобы;
- Интернет желісіне рұқсат қызметінің тобы.

Басқару трафигі OLT басқару интерфейсінде жіктеледі.

IP телефония қызметі трафигінің жіктелуі VLAN негізінде құрылған, оның аясында біріктірілген қызметтерді ұсыну кезінде дауыстық трафик беріледі.

IPTV қызметінің трафигін жіктеу VLAN-ға негізделген, оның аясында интеграцияланған қызметтерді ұсыну кезінде видео-трафик таратылады.

Интернет желісіне қатынау қызметі трафигінің жіктелуі VLAN атрибутына негізделген, оның аясында абоненттік трафик беріледі.

## **1.3 Желідегі ақпарат алмасу жылдамдығына қойылатын талаптар**

Triple play қызметтерін алу үшін бір абонентке берілу керек жылдамдықты келесі ойлардан анықтауға болады.

Берілген QoS-ті техникалық қолдау (қызмет көрсету сапасы) - бұл ең алдымен абоненттік қатынау желісінің қажетті өткізу қабілетін іске асыру.

Абоненттік арнаның өткізу қабілеттілігі тұрғысынан үлкен мөлшердегі ресурстарды қажет ететін тағы бір қосымша - бұл ойын қызметі. Желілік ойындарға, әсіресе рөлдік ойындарға толықтай ену үшін кемінде 4 Мбит / с жылдамдық қажет. Басқа қосымшалар соншалықты «қарқынды» емес: 64 кбит / с телефон байланысы үшін жеткілікті, 128 кбит / с жоғары сапалы хабар тарату үшін ұсынылады, 10-15 Мбит / с Интернетке шығу үшін жеткілікті.

Біз бір абонентке берілген минималды жылдамдықты көрсетілген қызметтердің әрқайсысы үшін жылдамдықтың суперпозициясымен анықталуы керек.

Осылайша, желідегі әрбір абонентке берілген жылдамдықтың бағасын мына өрнек арқылы анықтауға болады:

$$V_{\Sigma ab} = (N_{ab} \times 0,064) \times Y_{\text{тлф}} + V_{\Sigma \text{инт}} \times Y_{\text{инт}} + V_{\Sigma \text{ТВ}} + V_{\text{Eth}}$$

мұнда,  $N_{ab}$  - абонентке ұсынылатын арналар саны (1 - 3, ұйымдар үшін - 10 дейін);  $Y_{\text{тлф}}$  - белгілі бір жүктеме, яғни. бір абонент жасаған орташа жүктеме,  $Y_{\text{тлф}} = 0,01 - 0,05$  Earl;

$Y_{\text{инт}}$  - абоненттің Интернетке кіру жылдамдығы 10 - 50 Мбит / с ;  $Y_{\text{инт}}$  - орташа жүктеме, яғни интернетке кіру үшін арнаға бір абонент жасаған орташа жүктеме,  $Y_{\text{инт}} = 0,05 - 0,2$ , бір уақытта интернетке қосылатын абоненттердің санын ескереді;  $V_{\Sigma \text{ТВ}}$  - телерадио хабарларын тарату қызметтерін ұсынудың жалпы жылдамдығын келесі ойлардан анықтауға болады:

- барлық абоненттер бір уақытта теледидар қабылдағыштарын пайдаланады;

- бір абонентке теледидар қабылдағыш саны - макс. 3;

- бір уақытта қосылған арналардың саны - 2 теледидар, 1 HDTV.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, абонентке жоғары жылдамдықты арнаны ұйымдастыруға мүмкіндік беретін оптикалық көліктік желі негізінде қолданыстағы желілерді жаңарту қажет деген қорытынды жасау қиынды. Бұл жағынан ең перспективалы - бұл xPON технологиясы.

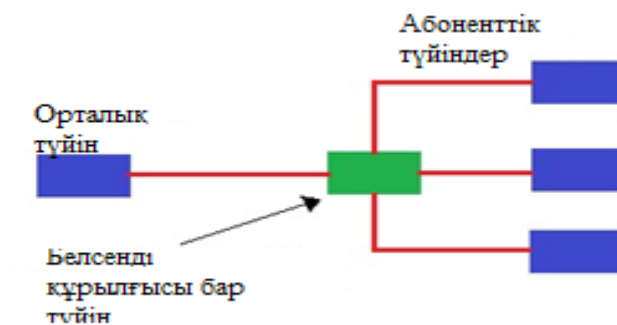
## 1.4 Рұқсат желілердің топологиясы

Оптикалық қатынау желілерін құру топологиясын ескере отырып, екі негізгі түрді бөлуге болады: «белсенді түйіндері бар ағаш» және «пассивті түйіндері бар ағаш».

### 1.4.1 «Белсенді түйіндері бар ағаш»

Талшықты пайдалану тұрғысынан «белсенді түйіндері бар ағаш» топологиясы өте үнемді шешім болып табылады. Ол Ethernet стандартында қолдануға ыңғайлы, онда жылдамдықтың иерархиясы 1000/100/10 Мбит / с

(1000Base-LX, 100Base-FX, 10Base-FL) орталық тораптан абоненттерге дейін бар. Бірақ сонымен бірге ағаштың әр түйініне белсенді құрылғы орнатылуы керек (1.2-сурет).

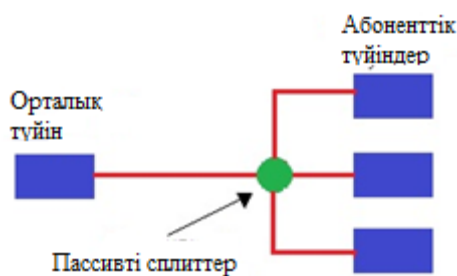


1.2 Сурет – «Белсенді түйіндері бар ағаш» топологиясы

Бұл топологияны негізінен салыстырмалы түрде арзан болып табылатын Ethernet қол жеткізу желілері пайдаланады. Бұл топологияның басты кемшілігі - ағаш түйіндерінде жеке электр көзін жабдықтауды қажет ететін белсенді құрылғылардың қажеттілігі.

#### 1.4.2 «Пассивті түйіндері бар ағаш»

PON технологиясы P2MP (нүктеден-көп нүктеге дейін) топологиясына негізделген. Осылайша, PON көмегімен желіні құру кезінде ондаған абоненттерді қамтитын ағаш тәрізді архитектурасы бар талшықты-оптикалық сегмент орталық тораптың бір портына қосылған. Сонымен бірге PON-дың басты ерекшелігі - ағаштың аралық түйіндеріне пассивті оптикалық сплиттерлер (сплиттерлер) орнатылған, олар өте жинақы және қуат пен техникалық қызмет көрсетуді қажет етпейді (1.3-сурет).



1.3 Сурет – «Пассивті түйіндері бар ағаш» топологиясы

Орталық тораптан сплиттерге дейінгі аймақта бір ғана талшықты пайдалану оптикалық талшықтардың жалпы ұзындығын азайтады, бұл кабельдік инфрақұрылымды едәуір үнемдеуге мүмкіндік береді. Сонымен

қатар, орталық тораптағы оптикалық таратқыштар мен қабылдағыштардың саны азаяды, бұл PON негізіндегі желіні үнемді етеді.

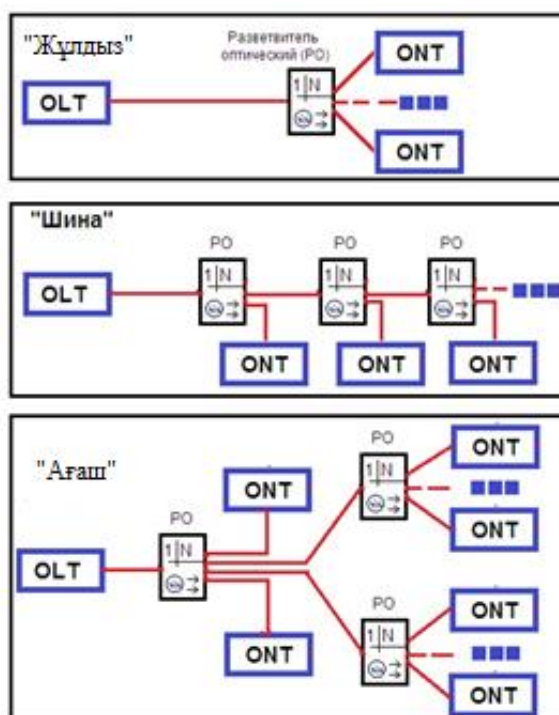
## 1.5 PON топологиялары

«Пассивті түйіндері бар ағаш» топологиясын қарастыра отырып, біз оның үш негізгі түрін ажыратуға болады: «жұлдыз», «шина», «ағаш» (1.4-сурет).

«Жұлдыз» абоненттер тығыз немесе / немесе таралған жағдайда қолданылады. Бұл топология операциялық өлшеулерді жүргізу және желі ақауларын анықтау үшін өте қарапайым және ыңғайлы.

«Автобусты» магистральды желінің созылған сызықты құрылымына қолдануға болады. Сплиттердің біркелкі емес шығу қуаттарын дәл есептеу және оларды қолдану үшін сәйкес типтерді таңдау қажет. Көптеген каскадтардың көмегімен тізбек тиімсіз болады.

«Ағаш» тұрғын үй ғимараттарының орналасуы мен тығыздығы әртүрлі тармақталған және үлкен сызықты тізбек құру үшін қолданылады. Схема бөлгіштердің бөлу факторларын тандай отырып, желінің тармақтарының (біркелкі немесе біркелкі емес) қуатын есептеуді талап етеді.



1.4 Сурет – PON топологиялары

Әр топологияның өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар, барлық үш топологияның салыстырмалы сипаттамасы 1-кестеде келтірілген.



### 1.1 Кесте – Үш топологияның салыстырмалы сипаттамасы

Топология сипаттамалары	Топология түрлері		
	Жұлдыз	Шина	Ағаш
Талшықты оптикалық кабелдің үнемділігі	Төмен	Жоғары	Жоғары
Орналасқан құрылғылардың географиясы	Еркін орналасу	Көліктік магистральдар бойы	Кластерлер/ еркін орналасу
Өркендеу мүмкіндігі	Бос порттардың максималды қолданылуы	Магистраль бойы шектелген	Сплиттерлердің Дұрыс есептелуін қажет етеді
Қабылдау сигналының деңгейі	Бірдей	Біркелкі сплиттерларда әртүрлі	Нақты есептеулер қажет
Басқа да артықшылықтары/ кемшіліктері	Тығыз абоненттері бар аудандарда жаппай байланыс	Каскадтардың артық мөлшерлерінде сплиттерлердің артық шығынға ұшырауы	Барлық абоненттердік қосылу мүмкіндігі

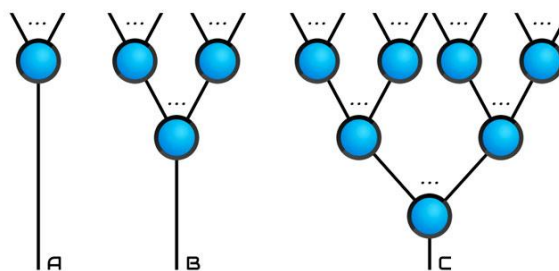
Пассивті оптикалық желінің негізгі элементтеріне мыналар жатады: кабель, жалғастырғыш, оптикалық ажыратылатын байланыс, оптикалық патч-корд, оптикалық сплиттер, механикалық оптикалық талшықты коннектор.

Ең көп қолданылатын шина және ағаш топологиялары. Барлық қалған топологиялар, қандай-да бір жолмен, олардың туындылары болып табылады.

#### 1.5.1 Ағаш топологиясы

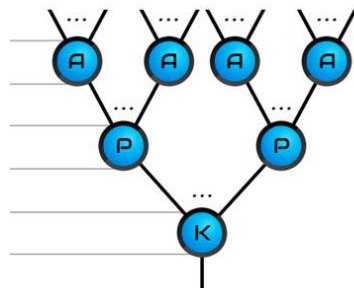
PON желілерін дамыту сәтінде ағаш топологиясы ең танымал және дәстүрлі болып табылады. «Ағаш» - бұл қарапайым, икемді және түсінікті топология, абоненттік базаны құру үшін үлкен әлеует бар, сондықтан алдымен осы топологияны қарастырамыз.

PON ағаштары көбінесе бір-біріне каскадты жүргізетін PLC сплиттерлерінде жасалады. Каскадта қанша PLC сплиттері барына байланысты 1x, 2x, 3x ... деңгейлі ағаштар бөлінеді (сонымен қатар «екі каскадты торабы бар ағаш» сияқты өрнектерді табуға болады немесе «2x каскадты ағаш»).



1.5 Сурет– 1 каскад (А), 2 каскад (В) және 3 каскад (С) ағаштары

Ағашты неғұрлым каскадты түйіндермен тұрғызу теориялық мүмкін (4, 5, тіпті 6), бірақ іс жүзінде мұндай схемалар қолданылмайды. Көбінесе PON желілерін сипаттау кезінде «магистральдық / тарату / абоненттік бөлімдер», «түбір / тарату / абоненттік бөлгіштер» сияқты ұғымдарды кездестіруге болады (1.6-сурет).



1.6 Сурет - PON желісіндегі белгілер.

Топологияны таңдау, әдетте, абоненттік сайттан алынып тасталады, яғни. Біріншіден, абоненттік сплиттердің типі (сыйымдылығы) анықталады, ал содан кейін - қалғандары. Абоненттік бөлгіштердің сыйымдылығын таңдау келесі критерийлердің бірімен анықталады:

- желіні құрудың жылдамдығы / еңбекқорлығы;
- қосылушы абоненттердің жылдамдығы / еңбекқорлығы.

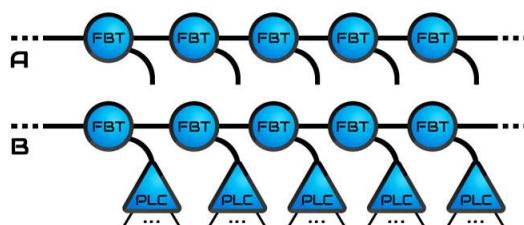
Бұл өлшемдер бір-бірімен тығыз байланысты және провайдер олардың біреуінің пайдасына таңдау жасауы керек.

Біз абоненттік сплиттердің сыйымдылығын таңдағаннан кейін, біздің ағаш үшін каскадтық түйіндердің санын анықтауға тура келеді. Провайдерлер әдетте екі деңгейлі ағаштарды пайдаланады: «1x4 + 1x16», «1x8 + 1x8»

және «1x16 + 1x4». Көп жағдайда 3 сплиттердің каскадтарын пайдалану қажет емес және талшықты қатаң сақтау қажеттілігі туындаған кезде ғана негізделеді.

### 1.5.2 «Шина» топологиясы

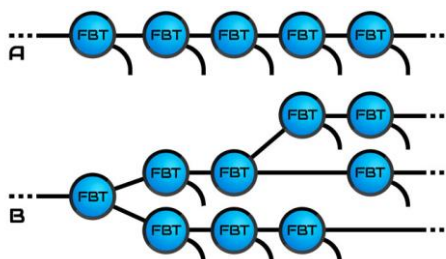
Шина топологиясын провайдерлер сирек қолданады - көбінесе талшықтарды қатаң үнемдеу қажет болған жағдайда немесе аудан картасы бірнеше өте ұзын көшелермен (бірнеше шақырым) ұсынылған жағдайда. Шина топологиясының екі жіктелуі бар: қолданылатын сплиттердің түрі және тармақталу дәрежесі бойынша. Пайдаланылған сплиттердің түрі бойынша шиналар классикалық және біріктірілген болып бөлінеді (1.7-сурет).



1.7 Сурет - Шина топологиясының түрлері: классикалық (А) және аралас (В)

Классикалық шина FBT 1x2 тең емес сериялы қосылыстардың каскады: шығыны аз, магистральға қосылады, ал абонент шығысқа неғұрлым мұқият қосылады. Шина өзінің классикалық түрінде ешқашан пайдаланылмайды, өйткені 64 FBT сплиттерін сериялы түрде қосу мүмкін емес, сонымен бірге әр абонентке сигналдың жеткілікті қуатын сақтау мүмкін емес. Сондықтан шинаның аралас нұсқасы әрқашан қолданылады: FBT сплиттерінің шығысына абонент емес, PLC сплиттер қосылады. Осылайша, классикалық шинада тек FBT-сплиттерлер қолданылады, ал аралас шиналарда - FBT және PLC.

Тармақталу дәрежесі бойынша шиналар сызықты және сызықты емес болып бөлінеді (1.8-сурет).



1.8 Сурет - Шина топологиясының түрлері: сызықты (А) және сызықты емес (В).

Сызықтық шина 1x2 FBT тең емес бір-бірімен қатар қосылған және шыршаның гирляндасына ұқсайды. Сызықты емес шина бірдей бөлгіштерге салынған, бірақ кем дегенде 1 тармақ түйіні бар, сондықтан ол ағашқа көбірек ұқсайды.

Шина топологиясын сипаттау кезінде ағаштың топологиясын сипаттауда шамамен бірдей терминология қолданылады. Жалғыз айырмашылық шинада, әдетте, тарату бөлімі жоқ - магистральдық бөлім (FBT сплиттерінің каскады) және абоненттік бөлімі бар. Тиісінше, шина топологиясының сипаттамасында бөлу және түбір бөлгіштер сияқты ұғымдар жоқ - тек магистральдық сплиттерлер (FBT) және абонент (PLC) бар.

Іс жүзінде, шинаны пайдалану сізге ұзын көше бойында филиалдар болмаған кезде желіні салу қажет болған жағдайда ғана пайдалы болады.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, ағаш топологиясы пайдалану тұрғысынан қарапайым, сонымен қатар масштабталу мүмкіндігі жоғары деп қорытынды жасауға болады. Бұл PON технологиясын қолдана отырып, кеңжолақты қатынау желілерін құру кезінде оны қолдануға ең тартымды етеді.

## **1.6 Пассивті оптикалық желілердегі ақаулардың түсінігі және жіктелуі**

Сенімділік теориясында сәтсіздік ұғымы объектінің жұмыс істейтін күйін бұзудан тұратын оқиға ретінде түсініледі. Кеңжолақты қатынау желілеріне, атап айтқанда пассивті оптикалық желілерге қатысты, сәтсіздік ұғымын осы желі арқылы абоненттерге көрсетілетін қызметтердің (қызметтердің) істен шығуы ретінде тұжырымдауға болады. Бүгінгі күні бұл қызметтердің саны өте үлкен, олар: интернетке қол жеткізу, телефон, теледидар, бейнеконференция және басқалар. Сонымен қатар, әртүрлі қызметтердің жұмыс істеуін қамтамасыз ететін байланыс желілеріне қойылатын талаптар әртүрлі болуы мүмкін. Деректерді беру кезінде қайтарымды жоғалтуға қойылатын талаптарды төмендетуге болады, сонымен бірге теледидарлық сигналдың берілуіне, бұл параметрдің нормаларға сәйкес келмеуі сәтсіздікке әкеледі. Қызметтің жұмысына байланыс линияларының жарамдылығын бағалау міндетін қоятын - жеке, бір қызметті сапалы ұсынуға жарамсыз болуы мүмкін.

Берілген сапада қызмет көрсетудің жарамдылығын қамтамасыз ету үшін қажет сигнал таратудың физикалық орта сипаттамаларына қойылатын талаптарды оны қамтамасыз ету үшін пайдаланылатын белсенді жабдық өндірушілер анықтайды және сайып келгенде физикалық параметрлерге дейін төмендетеді. Пассивті оптикалық желілер үшін келесі параметрлер кіреді:

- желінің жалпы жоғалуы;
- жолдың жоғалуы.

Желіні жобалау кезінде бұл факт ескеріледі, алайда жұмыс кезінде әртүрлі факторлардың әсерінен желінің жиынтық және қайтарылу шығындары өзгеруі мүмкін және сайып келгенде олар үшін белгіленген шектеулерден асып кетуі мүмкін, бұл ұсынылатын қызметтердің толық немесе ішінара жоғалуына әкеледі - істен шығу. Ақаулардың пайда болуы заттың немесе (жүйенің) термодинамикалық тепе-теңдік күйіне жету тенденциясына байланысты желілік элементтер жасалған материалдардағы физикалық және химиялық процестерге байланысты. Кез келген тепе-теңдіксіз тұйықталған жүйе тепе-теңдік күйіне өтеді, ал жүйе өзінің жұмыс сипаттамаларын өзгерте алмауы мүмкін, өйткені белгілі бір параметрлерді (температура, энтропия, көлем, қысым) сақтау кезінде тепе-теңдік күйіне өту мүмкін.

Пайда болу сипаты бойынша пассивті оптикалық желінің сәтсіздіктері кенеттен және біртіндеп жіктелуі мүмкін.

Олардың арасындағы түбегейлі айырмашылық - жүйенің істен шығу жағдайына өту жылдамдығы, кенеттен сәтсіздіктер көп жағдайда үшінші тараптардың араласуының нәтижесі (жұмыс кезінде бұзылу, вандализм) немесе табиғи және техногендік сипаттағы апаттар (өрт, жер сілкінісі, дауыл және т.б.), және материалдардың тозуына байланысты біртіндеп істен шығу.

### 1.6.1 Біртіндеп істен шығу

Белгілі бір қоршаған орта жағдайларында сызықтық параметрлердің уақытқа тәуелділігін бағалаудың екі негізгі әдісі бар. Бірінші әдіс - бұл желіні пайдалану кезінде статистикалық мәліметтерді жинау, оларды әрі қарай өңдеу және жүріп жатқан процестердегі заңдылықтарды анықтау, бұл әдіс көп уақытты қажет етеді, бұл көптеген практикалық проблемалар үшін қолайсыз. Екінші әдіс - желі құрылған элементтерге ресурстық (мәжбүрлі) сынақтар жүргізу. Элементтердің сенімділігі туралы мәліметтерге сүйене отырып, тұтастай алғанда желінің сенімділігі туралы қорытынды жасауға болады.

Температура мен ылғалдылық әсерінен жалпы шығындар және кері шағылысу коэффициенті артуы мүмкін, бұл ақпарат таратудағы қателер санының өсуіне әкеледі. Н. Синнадурай электрлік және оптикалық элементтердің сенімділігіне температура мен ылғалдылықтың әсерін зерттеуге үлкен үлес қосты, оның эмпирикалық теңдеуі зерттелетін жүйе орналасқан ортаның істен шығу уақыты, температурасы мен ылғалдылығы арасындағы байланысты көрсетеді

$$t_1 / t_2 = (RH_1 / RH_2)^X \cdot e^{(E_A / k \times T_1 - E_A / k \times T_2)}, \quad (1.1)$$

мұндағы  $t_1$  және  $t_2$  - сәйкесінше  $T_1, T_2$  (Kelvin) температурада және  $RH_{1,2}$  салыстырмалы ылғалдылықта сәтсіздік пайда болған уақыт;

$k$  - Больцман тұрақтысы, эВ/К;

$E_A$  - активтендіру энергиясы;

$X$  - ылғалдылықтың әсер ету коэффициенті.

Белсендіру энергиясын есептеу үшін әртүрлі температура жағдайларында және тұрақты ылғалдылықта ( $RH_1 = RH_2$ ) сынақтар жүргізу қажет. Бұл жағдайда өрнек келесі түрде болады

$$t_1 / t_2 = e^{(E_A / k \times T_1 - E_A / k \times T_2)}, \quad (1.2)$$

$E_A$  өрнектеп шығарғанда:

$$E_A = \frac{k \times T_1 \times T_2 \times \ln(t_1 / t_2)}{T_2 - T_1}, \quad (1.3)$$

Температураның әсер ету коэффициентін есептеу үшін тұрақты температурада және әр түрлі ылғалдылықта ( $T_1 = T_2$ ) сынақтар жүргізу қажет. Бұл жағдайда өрнек келесі түрде болады

$$t_1 / t_2 = (RH_1 / RH_2)^X, \quad (1.4)$$

X-ты аламыз:

$$X = \log_{RH_1 / RH_2} t_1 / t_2, \quad (1.5)$$

Активтендіру энергиясының мәндерін және ылғалдың әсер ету коэффициентін өрнекке ауыстыра отырып, температура мен ылғалдылықтың берілген мәндерінде сәтсіздікке дейін элементтің жұмыс уақытын есептей аламыз.

Пассивті оптикалық желілердің негізгі элементтерінің бірі - талшықты-оптикалық кабель. Оптикалық кабельдердің сенімділігінің маңызды аспектісі - оптикалық талшықтағы кернеуді сипаттайтын шама. Әдетте, оптикалық талшықтағы кернеуді бағалау үшін созылу жүктемесінің әсерінен оптикалық талшықтың салыстырмалы ұзарту (%) түсінігі қолданылады. Талшықтың салыстырмалы ұзаруын біле отырып, сәтсіздікке дейінгі уақытты келесі өрнекті қолдана отырып есептей аламыз

$$T_0 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot x^{-18,5}, \quad (1.6)$$

мұндағы  $T_0$  - сәтсіздікке ұшырайтын уақыт,  $x$  - оптикалық талшықтың салыстырмалы ұзарту (%).

Кабельдегі жұмыс кезінде оның талшығының жоғарылауы температура айырмашылығы, жұмысты орындауға үшінші тараптың араласуы, вандализм және т.б. сияқты факторлардың әсерінен болады. Талшықты кернеуді бақылау проблемалық аймақты уақытында анықтауға және оны қалпына келтіру үшін қажетті шараларды қабылдауға мүмкіндік береді.

Осылайша, кабельдің оптикалық талшығындағы кернеу шамасын өлшеу жұмыс істемеу уақытын болжауға және қауіпті аймақтарды уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

### 1.6.2 Кенеттен істен шығу

Талдау кенеттен істен шығулар желінің элементтеріндегі механикалық кернеулердің салдары екенін көрсетті. Бақыланатын желіде кенеттен болатын сәтсіздіктердің негізгі себептерін мыналармен байланыстыруға болады: үшінші тараптардың жұмысы, вандализм, табиғи апаттар, кеміргіштер, қоғамдық апаттар, өрттер.

Жоғарыда аталған факторлардың әрқайсысы бойынша сәтсіздіктердің жалпы санына қосылатын үлес пассивті оптика жұмыс істейтін ортаға байланысты өзгеруі мүмкін.

### 1.7 Пассивті оптикалық желінің сенімділігін бағалау әдістемесі

Сенімділік теориясы тұрғысынан пассивті оптикалық желілер қалпына келтірілетін жүйелерге жатады. Пассивті оптикалық желілердің сенімділік көрсеткіштерін одан әрі зерделеу кезінде станциядағы оптикалық желі терминалынан (OLT) абоненттік қондырғыға (ONT) дейінгі аймақтағы желінің тұжырымдамасымен, сигнал таралуының физикалық ортасымен жұмыс істеген жөн. Пассивті оптикалық желілердегі физикалық арнаның құрылымдық диаграммасын қатар қосылған элементтерден тұратын жүйе түрінде көрсетуге болады. Сонымен қатар, желіні құрайтын элементтер қайта қалпына келтірілетін немесе қалпына келтірілмейтін болуы мүмкін.

Элементтерден тұратын сызықтың сенімділік көрсеткіштерін есептеу кезінде олардың тізбекті немесе параллель байланысын ажыратыңыз. N элементтерін тізбектей қосқан кезде желінің сәтсіз жұмыс істеу мүмкіндігі (сәтсіздік тәуелсіз болған жағдайда) тең болады:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\Lambda t}, \quad (1.7)$$

мұндағы  $p_i(t)$  – i-інші элементтің қатесіз жұмыс істеу ықтималдығы;  
 $\lambda_i$  – i-інші элементтің қателік қарқындылығы;  
 $\Lambda$  – объекттің қателік қарқындылығы:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (1.8)$$

Параллель жалғанған элементтер үшін сәтсіз жұмыс ықтималдығы:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n (1 - p_i(t)), \quad (1.9)$$

Желілік элементтердің параллель қосылуы жүктелген және жеңілдетілген резервтерге тең.

Пассивті оптикалық желілерде желілік элементтердің жүктелген немесе жеңіл резервтерін пайдалану OLT-де қосымша оптикалық порттың болуын білдіреді. Мұндай резервтеу әдістерінің бірі - OLT-ден сплиттерге дейінгі

аймақтағы кабельдік сегментті брондау. Бұл жағдайда екі немесе одан көп кіріс порты бар оптикалық сплиттерлер қолданылады. Егер байланыс желісі терминалының жұмыс портынан сплиттерге дейінгі аймақтағы кабельдік сегменттің зақымдануына байланысты байланыс сапасы нашарласа, резервтік порт автоматты түрде қосылады.

Белсенді жабдықта қосымша порттарды пайдаланбай, пассивті оптикалық желілердегі желілік элементтердің жүктелуі немесе жеңіл болуы өте қиын, бұл оны жаппай қолдануға жарамсыз етеді. Пассивті оптикалық желілердегі желілік элементтердің резервтік көшірмесінің ең көп таралған әдісі – жүктелмеген резервтау болып табылады. Жүктелмеген резервтау артықшылық сызық элементінің бұзылу ықтималдығын төмендетпейді. Жүктелмеген резервтеудің жалғыз артықшылығы - ақаулықтан кейін желінің жұмыс күйін қалпына келтіруге қажет уақытының қысқаруы. Сақтық көшірме элементтері жоқ сызық үшін қалпына келтіру уақыты сәтсіз элементті жөндеу (немесе ауыстыру) уақытына тең болады, бұл өз кезегінде кең ауқымда өзгеруі мүмкін. Физикалық арна элементтерін резервтеу кезінде, сәтсіздіктен кейін желіні қалпына келтіру уақыты сәтсіз болғанның орнына резервтік элементтің қосылу уақытына тең болады. Бұл көп жағдайда желінің қалпына келу уақытын едәуір қысқартады және оның болжамдылығын арттырады.

Тапсырыстың орындылығы көптеген факторларға байланысты, сондықтан брондаудың орындылығын бағалау үшін интегралды индикаторды, мысалы, шығындарды пайдалану ыңғайлы. Сақталған элементтің істен шығу салдарын жоюға оператордың шығындарын төмендегідей өрнекке келтіруге болады:

$$S_{BO1} = S_{IPЭ} + S_{CP} + S_{OTK1}, \quad (1.10)$$

мұндағы  $S_{IPЭ}$  – істен шыққан элементтің орнына сақтық элементті қосу шығыны;

$S_{CP}$  – сақтық элементті құруға кеткен шығындар (оның ішінде: сақтық элементтің құны, сақтық элементті орнату жұмыстарының құны, сақтық элементке қызмет көрсетуге кететін шығын және т.б.);

$S_{OTK1}$  – элемент істен шыққан кезіндегі абонентке қызмет көрсетілмегені үшін оператордың шығындары;  $S_{OTK1}$  желінің істен шығу уақытының  $t_1$  функциясын көрсетеді  $f$ :

$$S_{OTK1} = f(t_1), \quad (1.11)$$

мұндағы  $f(t_1)$  – кешендік көрсеткіш болып табылады, оның ішіне: желінің істен шығуы кезіндегі абонентке көрсетілмеген қызметтердің құны, жұмыс мекеменің имиджі және абоненттердің көрсетілетін қызметтердің сапасымен қанағаттануы және т.б. Демек  $t_1$  өскен сайын  $S_{OTK1}$  де өседі.



Сақтық элементтің кесірінен туындаған оператордың шығындарын төмендегідей жазуға болады:

$$S_{BO2} = S_p + S_{OTK2}, \quad (1.12)$$

мұндағы  $S_p$  – істен шығудан кейінгі оператордың желіні қайта қалпына келтіруге кеткен шығындар (жөндеу жұмыстары, немесе істен шыққан элементті алмастыру);

$S_{OTK2}$  – элемент істен шыққан кезіндегі абонентке қызмет көрсетілмегені үшін оператордың шығындары:

$$S_{OTK2} = f(t_2), \quad (1.13)$$

Элементті резервтеуді, егер сақталған элементтің істен шығу салдарын жоюға кететін болса, орынды деп санауға болады

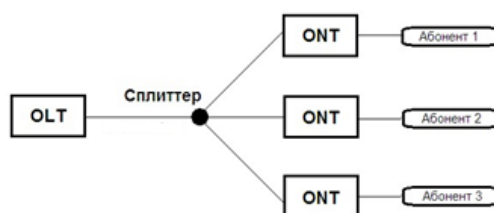
Әдетте, резервтеуге келетін элементтер төмендегі қасиеттердің біреуіне немесе бірнешеуіне:

- ұзақ уақытқа созылған жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары;
- элементті жөндеудің жоғары құны (немесе жөндеуге жарамсыздығы);
- тәуелді абоненттердің едәуір саны;

Пассивті оптикалық желілерде бұл белгілерге әдетте ие болады: магистральдық желілер, оптикалық сплиттерлер, сплиттерлік байланыстар. Элементтерді резервтеу кезінде резервтік және артық элемент бірдей фактордың әсерінен олардың бір мезгілде істен шығу ықтималдығын азайту үшін кеңістікте орналастырылуы керек.

## 1.8 PON желісінің құрылымы

PON желісін келесі негізгі элементтерді бөлуге болады: орталық OLT торабының трансивер модулі, пассивті сплиттерлі байланыс желілері және ONT абоненттік құрылғылары (1.9 сурет).



1.9 Сурет – PON желісінің құрылымы

OLT - бұл көптеген абоненттік құрылғыларға қосыла алатын трансивер модулі және сол уақытта олардың әрқайсысымен деректер ағынымен алмасуға мүмкіндік береді.

Сплиттер - бұл оптикалық сигналдарды бөлуге немесе біріктіруге арналған пассивті оптикалық жабдық. Бұл жинақы және ешқандай қуат пен техникалық қызмет көрсетуді қажет етпейді. Сплиттерлер сонымен қатар тұрақтылық сипаттамалары, кірістіліктің төмен шығыны және кең өткізу қабілеттілігімен ерекшеленеді.

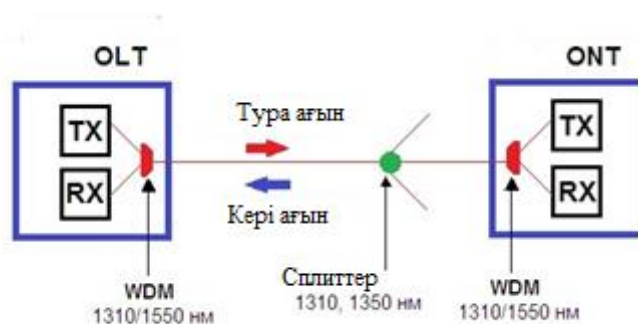
ONT - бұл тұрғын үйлерде және кеңселерде орнатуға арналған және абоненттерге желіге кең жолақты қол жетімділікті ұсынатын абоненттік терминал.

PON құрылымы ағаш тәріздес. Желінің осындай құрылымы әр талшықты-оптикалық сегмент орталық түйінде бір OLT трансиверіне қосылады. Бұл тәсіл, нүктелік топологиядан айырмашылығы, жабдықтың құнын айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді.

### 1.9 PON жұмыс істеу қағидасы

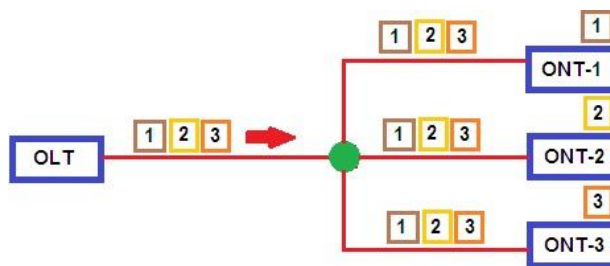
Жоғарыда көрсетілгендей, PON архитектурасы сізге OLT трансивер модулін қолдануға мүмкіндік береді, ол бірден ONT абоненттік құрылғыларына деректерді жіберуге және олардың әрқайсысынан деректерді алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бір OLT-ге қосылған ONT саны трансиверлік жабдықтың максималды жылдамдығы мен қуат бюджетіне байланысты максималды болуы мүмкін.

Деректер ағыны OLT-ден ONT-ке, тікелей (төмен қарай) ағынмен, 1550 нм толқын ұзындығымен тасымалданады. Өз кезегінде әр түрлі абоненттік түйіндерден орталық түйінге келетін ақпарат кері (жоғары) ағын болып табылады және 1310 нм толқын ұзындығында беріледі. Ағындарды OLT және ONT-ке бөлуді оларға салынған WDM мультиплексорлары жүзеге асырады (1.10-сурет).



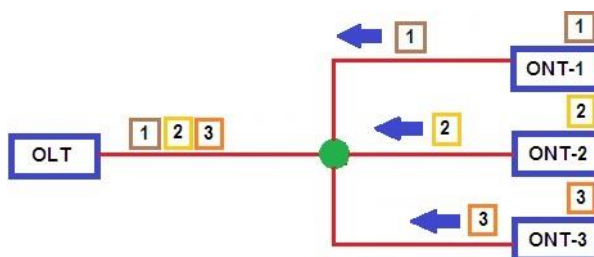
1.10 Сурет - Ағындарды бөлу қағидасы

Оптикалық сигнал деңгейінде алға ағын таратылады. Сонымен бірге абоненттік түйіндердің әрқайсысы мекен-жай өрістерін оқиды және ақпараттың тек оған арналған бөлігінің жалпы ағынын алады (1.11-сурет).



1.11 Сурет - Тікелей ағын

Барлық ONT абоненттік тораптарынан кері ағындар уақытты бөлу (TDMA) тұжырымдамасын қолдана отырып, бірдей толқын ұзындығында беріледі. Әрбір ONT үшін жеке кесте жасалады, ол сонымен бірге осы ONT-ны OLT-мен жоюға байланысты кешіктіруді түзетуді ескереді. Осы кесте бойынша деректер беріліп, бұл әртүрлі абоненттік тораптардан сигналдар өту мүмкіндігін жоққа шығарады (1.12-сурет).



1.12 Сурет - Қайтару ағыны

## 1.10 FTTx технологиясы

Телекоммуникация қызметтерінің тұрақты дамуы, сондай-ақ жаңаларының пайда болуы, өсіп келе жатқан деректерді жоғары жылдамдықта беру қажеттілігін тудырады, бұл операторларды бұған қол жеткізуге көмектесетін шешімдерді іздеуге шақырады. Олардың іздеуі FTTx технологиясының («Fiber to ...») пайда болуына әкеледі, ол абоненттерге жоғары жылдамдықты берік және үнемді арна ұсынуға мүмкіндік береді.

FTTx дегеніміз оптикалық талшық байланыс торабынан белгілі бір жерге («x» нүктесі), содан кейін абонентке мыс кабелінен тартылатын қол жеткізу желісінің кабельдік инфрақұрылымын ұйымдастырудың жалпы тәсілі ретінде түсіндіріледі (оптика тікелей оптикаға салынатын нұсқасы да мүмкін) абоненттік құрылғы).

Келесі FTTx ендірулерін төмендегідей бөлуге болады:

- FTTN (Fiber to the Node) - желілік түйінге талшық;
- FTTC (Fiber to Curb) - көршілерге, блоктарға немесе үйлер тобына талшық;
- FTTB (Fiber to the Building) - ғимаратқа талшық;
- FTTH (Fiber to the Home) - тұрғын үйге талшық (пәтер немесе жеке коттедж).

Олардың басты айырмашылығы - оптикалық кабельдің абоненттік қондырғыға қаншалықты жақын орналасуы (1.13-сурет).



1.13 Сурет - FTTx енгізу жолдары

Алғашқы болып FTTH және FTTC технологиялары жасалды.

FTTH негізінен арзан және тез ұйымдастырылған шешім ретінде пайдаланылады, онда «мыс» инфрақұрылымы бар және оптикалық кабельді өткізу тиімсіз. Сонымен қатар, айтарлықтай кемшіліктер бар: кәріздегі мыс сымдарының проблемаларына байланысты көрсетілетін қызметтердің төмен сапасы, сонымен қатар бір кабельдегі қосылыстардың жылдамдығы мен санына айтарлықтай шектеулер.

FTTC жағдайында мыс кабельдерінің сапасына байланысты проблемалар туындамайды, сондай-ақ телефон контурына судың кіруі мүмкін, өйткені бұл технология ғимарат ішінде мыс кабельдерін қолдануды қарастырады, бұл мыс бөлігі бойынша деректердің жоғары жылдамдығына мүмкіндік береді.

FTTB технологиясы оптикалық талшықты үйге көбінесе жертөледе немесе шатырда (ол үнемді) әкеліп, содан кейін ONU-ға қосуды білдіреді. Оптикалық OLT терминалы орталық түйінде орнатылады, ол ONU абоненттік құрылғыларымен (немесе FTTH жағдайында ONT) трафикпен алмасу параметрлерін анықтайды.

Үйдің айналасындағы желіні одан әрі тарату бұралған жұп кабель арқылы жүзеге асырылады.

Көбінесе бұл тәсіл көп қабатты үйлерде және орта деңгейдегі бизнес орталықтарда желіні кеңейту үшін қолданылады. FTTB-де FTTH пайдалану

кезіндегідей көптеген талшықтары бар қымбат оптикалық кабель салудың қажеті жоқ.

Алайда, көбінесе олар мұндай желіні пайдалану кезінде пайда болатын факторларға назар аудармайды және оның кейбір кемшіліктері бар. Олардың бірі - үй ішіндегі бұралған жұп қосылыстардың диапазоны 100 метрмен шектелген, сонымен қатар үйлердің шатырлары мен жертөлелеріне белсенді жабдықты орнату қажет. Бұл жағдайда орнатылған жабдық істен шығады, вандализм мен ұрлық әрекеттеріне ұшырайды. Сондай-ақ, көбінесе үй қондырғысының бөлмесіндегі қуат көзі сапасыз. Найзағай кезінде мыс сымдарына жоғары токтар қосылады, бұл порттардың өртенуіне әкеледі.

Осыған байланысты неғұрлым сенімді желіні құруға ұмтылған операторлар FTTH технологиясына пайдаланушының пәтеріне немесе жеке үйіне оптикалық талшықты тартуды қосатын технологияға көбірек көңіл бөлуде.

Бұл технологияның негізгі белгілері:

1. Жоғары сенімділік. Тек оптикалық белсенді компоненттерді қолдану арқылы құрылған барлық мультисервистік және теледидарлық желілер (АЖ) сенімділігі жоғары.

2. Қашықтықтан қорек көзін қосудың қажеті жоқ (яғни коаксиалды кабель арқылы), бұл көбінесе операторларға үлкен қиындықтар тудыратын еді.

3. Бағыт бойынша да / автоматты түрде де резервтеуді жүзеге асыру мүмкіндігі (сақиналық резерв) және шығындары аз өткізгіштерге. Ол үшін артық оптикалық талшықтар талшықты-оптикалық кабельде болуы керек.

4. Негізгі тарату тораптарына оптикалық кросс-шкафтарды орнатуға байланысты FTTH желісін қайта конфигурациялаудың жеңілдігі.

5. FTTH технологиясын қолдана отырып құрылған желілер, мультикорлы оптика арқасында бір уақытта жоғары жылдамдықты Ethernet желілерін салуға мүмкіндік береді. Осылайша, жаңа желілерді салуда FTTH технологиясын қолдану қажет, бұл кейіннен параллель Ethernet желісін ұйымдастыру үшін бос талшықтарды пайдалануға мүмкіндік береді.

## 2 АРНАНЫҢ СПЕКТРАЛЬДЫ ТЫҒЫЗДАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

### 2.1 WDM технологиясын қолданатын оптикалық сызықтық тракттың құрылымдық схемасы

WDM жүйелеріндегі байланыс желісінің өткізу қабілеттілігін арттыру үшін бір оптикалық каналдағы (TDM сияқты) берілу жылдамдығын арттырудың орнына арналар саны (пайдаланылған толқын ұзындығы) көбейтіледі.

WDM технологиясының маңызды артықшылығы - дайындалған талшықты желілерді тығыздау үшін пайдалану мүмкіндігі. WDM пайдалану қолданыстағы инфрақұрылымдағы тасымалдау жүйелерінің бірнеше буынының жеткілікті өткізу қабілеттілігін қамтамасыз етуі керек.

WDM технологиясын қолданатын жүйелер жылдамдығы жоғары сигналдарды сигнал беруші жаққа оптикалық талшыққа енгізуге және одан қабылдаушы жаққа бір уақытта  $n$  толқындардың ұзындығы  $n$  ( $i = 0, 1, \dots, n - 1$ ) оптикалық тасымалдаушыларға шығуға мүмкіндік береді, бұл оптикалық талшықтың өткізу қабілетін  $n$  есе арттыруға мүмкіндік береді. 14-суретте WDM технологиясын қолданатын сызықтық оптикалық тракттың (LOT) құрылымдық схемасы көрсетілген.

LOT терминал жабдықтары мыналарды қамтиды:

- канал түзуші жабдықтың кодын сызықтық кодқа түрлендіретін, сигналда бірліктер мен нөлдердің ұзын тізбегінің пайда болуын болдырмайтын PK1i және PK2i код түрлендіргіштері;

- Таратушы толқын ұзындығын тудыратын сәулелену көздерінен және тасымалданатын сигналдардың сәулеленуін модуляциялайтын модуляторлардан тұратын таратушы құрылғылар. Негізінен WDM жүйелері үшін сәуле көзі ретінде жіктелген кері байланысы бар (DFB - Distribution Feed Back) немесе Bragg шағылыстырғыштары бар (DFGs) бір режимді лазерлер қолданылады.

- фотоқабылдағыш құрылғылар ;

- пассивті оптикалық мультиплексор және WDM демультимплексоры.

Ti нүктелерінде TDM  $n$ -жиындарының таратушы бөліктерінен ақпараттық электр сигналдары жеткізіледі, олардың әрқайсысы бөлек таратқыш құрылғыны пайдаланып оптикалық сигналға айналады. Содан кейін сигналдар WDM мультиплексорының көмегімен бір топтық оптикалық сигналға біріктіріледі.

Қабылдау жағында топтық оптикалық сигналды WDM демультимплексорымен жеке арналардың оптикалық сигналдарына бөледі. Содан кейін әрбір оптикалық сигнал жеке фотодетектордың көмегімен электрлік түрлендіріледі. Ti нүктелері арқылы электр сигналдары TDM  $n$ -жиындарының қабылдау бөліктеріне беріледі.

Алыс қашықтықтағы желілерде мультиплексор, демумльтиплексор және оптикалық талшық енгізген тозуды өтеу үшін топтық оптикалық сигналды күшейту үшін оптикалық күшейткіштер қолданылады. Баспана LOT соңғы нүктелерінің бөлігі бола алады. Бұл жағдайда таратушы жағында күшейткіш, ал қабылдайтын жағында алдын-ала күшейткіш орнатылады. Эрбий иондары бар талшық негізіндегі ең көп қолданылатын оптикалық күшейткіштер (EDFA - Erbium Doped Fiber күшейткіш).

## 2.2 WDM жүйелерінің түрлері. WDM жиіліктік жоспары

WDM жүйелерінің маңызды параметрі - көршілес спектральды каналдар арасындағы қашықтық (толқын ұзындығы арасындағы қашықтық). Осы параметрге сәйкес WDM жүйелері әдетте мыналарға бөлінеді:

- WWDM - *Wide Wavelength Division Multiplexing* - көршілес арналар арасындағы үлкен қашықтықта орналасқан (20 нм-ден астам) «кең» спектрлік мультиплекстеу жүйесі.

- CWDM - *Coarse Wavelength Division Multiplexing* - көрші каналдар арасындағы қашықтық 20 нм болатын қатаң спектрлік мультиплекстеу жүйелері.

- DWDM - *Dense Wavelength Division Multiplexing* - көрші арналары арасындағы қашықтығы 1,6, 0,8 немесе 0,4 нм (200, 100 немесе 50 ГГц) тығыз спектрлік мультиплекстеу жүйелері.

- HDWDM - *High Dense Wavelength Division Multiplexing* - көрші арналар арасындағы қашықтық 0,4 нм-ден (50 ГГц-тен аз) асатын спектрлік мультиплекстеу жүйесі.

### 2.1 Кесте – WDM жүйелерінің жіктелуі

WDM түрлері	WWDM	CWDM	DWDM	HDWDM
Арналардың толқын ұзындығын (жиілігін) бөлу	> 20 нм	20 нм	1.6 нм (200 ГГц)	0.8 нм (100 ГГц)
Пайдаланылған мөлдір терезелер	O, S	O, E, S, C, L	S, C, L	S, C, L
Арналардың типтік саны	2	2-16	40	80

#### 2.2.1 WWDM технологиясы

Тәжірибелік қолдануды тапқан алғашқы WDM жүйелері (WWDM) екі толқындық WDM жүйелері болды, олар екі негізгі толқындардың ұзындығы 1310 нм және 1550 нм бір режимді талшықта 2 және 3-ші мөлдірлік терезелерінен біріктірілген. WDM екі толқындық жүйелерінің тәжірибелік сәті олардың бір талшықты сигнал беру жылдамдығын екі есе арттыруға немесе дуплексті жүйелерді құруға байланысты қолданыстағы жабдықты өзгертпестен және қарапайым және сенімді екі толқынды мультиплексор / демумльтиплексорларды пайдаланбай бір талшыққа. Екі толқындық ұзындықтағы

WDM жүйелері қазіргі уақытта қол жеткізу желілерінде, атап айтқанда пассивті оптикалық желілерде кеңінен қолданылады.

WDM жүйелерінің басты артықшылығы - көршілес арналар арасындағы үлкен спектрлік интервалға байланысты іске асырудың қарапайымдылығы. Екінші жағынан, үлкен спектрлік диапазон олардың өткізу қабілеттілігін одан әрі жоғарылауын шектейді.

### 2.2.2 DWDM және HDWDM технологиялары

1990 жылдардың ортасында эрбиймен жабдықталған талшықты күшейткіштердің (EDFAs) кеңінен енгізілуіне байланысты DWDM технологиясы тез дами бастады. Ең кең таралған жүйелер - жиілік интервалы  $\Delta f = 100$  ГГц, 50 ГГц болатын каналдардың орналасуы. 25 және 12,5 ГГц жиілік аралықтарында HDWDM жүйелері де жасалуда.

DWDM және HDWDM жүйелерінің жиілік жоспары G.694.1 анықталған. Бұл 193,1 THz базалық жиілікке негізделген стандартты жиіліктер жиынтығы. Осы ұсынысқа сәйкес, THz-тегі спектрлік каналдардың орталық жиіліктері келесідей анықталады:

$$\Delta f = 12.5 \text{ ГГц}; f_i = 193.1 + i \cdot 0.0125 \quad (2.1)$$

$$\Delta f = 25 \text{ ГГц}; f_i = 193.1 + i \cdot 0.025 \quad (2.2)$$

$$\Delta f = 50 \text{ ГГц}; f_i = 193.1 + i \cdot 0.05 \quad (2.3)$$

$$\Delta f = 100 \text{ ГГц}; f_i = 193.1 + i \cdot 0.1 \quad (2.4)$$

$$\Delta f = 200 \text{ ГГц}; f_i = 193.1 + i \cdot 0.2 \quad (2.5)$$

(2.1-2.5) өрнектерінде  $n$  бүтін сан индекс оң және теріс мәндерді қабылдай алады, сонымен қатар нөлге тең бола алады. Спектралды арналардың сәйкес толқын ұзындығы келесі өрнекпен анықталады:

$$\lambda_i = \frac{c}{f_i}, \quad (2.6)$$

DWDM жүйелері 1525 ... 1565 нм (C-диапазоны) және 1565 ... 1625 нм (L-диапазоны) мөлдір терезелерді қолдануы мүмкін. C және L диапазондарын бір уақытта қолданғанда шамамен 120 арна 0,8 нм (100 ГГц) қадаммен ұйымдастырылуы мүмкін. Көбінесе тек C-диапазоны пайдаланылады, өйткені осы диапазонда реттелетін арналардың саны өте үлкен және G.652 талшығындағы сөну C-диапазонында L-диапазонына қарағанда біршама төмен.



Кейбір жағдайларда (мысалы, G.653 талшығында DWDM жүйесін қолданған кезде) төрт толқындық араластырудың сызықты емес әсерінің әсерін азайту үшін арналардың біркелкі емес таралуын қолдануға болады. Арналар арасындағы біркелкі аралықтарда жаңа жалған сигнал, әдетте, басқа арналардың тасымалдаушы жиіліктерімен сәйкес келеді және осылайша қиылысудың пайда болуына әкеледі. Арналар арасындағы біркелкі емес аралықтарда төрт толқындық араластырудың өнімдері басқа пайдаланылған арналарға түспейтініне қол жеткізуге болады.

DWDM технологиясын пайдалану үлкен көлемдегі трафикті беру үшін негізделген. Бір талшық арқылы берілетін оптикалық арналар санының ұлғаюымен ақпарат бірлігін беру құны төмендейді. Сонымен, толықтай толтырылған 160 арналы жүйеде бір биттік ақпаратты жіберу құны 40 арналы жүйе үшін тиісті индикатордан аз. Алайда, толық емес жүктеме кезінде 40 арналы жүйеге арналған жабдықтардың бағасы 160 арналы жүйенің бағасынан айтарлықтай төмен екенін ескеру қажет.

### 2.2.3 CWDM технологиясы

DWDM технологиясы оптикалық күшейткіштерді қолдануды қажет ететін үлкен қашықтықтағы ақпараттар ағынын ұзақ қашықтыққа жеткізу үшін қалааралық байланыс желілерінде таптырмайтын болып шықты. Жақында, қалалық желілер мен қол жеткізу желілері белсенді дамып келеді, онда спектрлік мультиплекстеу технологияларын қолдану ұсынылады, бірақ көбінесе DWDM және HDWDM технологиялары ұсынатын көптеген арналарды таратудың қажеті жоқ. Сондықтан спектральды каналдардың тығыз орналасуы бар CWDM жүйелері жасалды.

CWDM жүйелерінде іргелес спектральды арналар арасындағы қашықтық 20 нм құрайды, бұл 1271 мен 1611 нм аралығында 18 канал ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Спектрлік каналдардың орталық толқын ұзындығын анықтайтын G.694.2 ұсынысы CWDM жүйелеріне арналған (2.1-кесте).

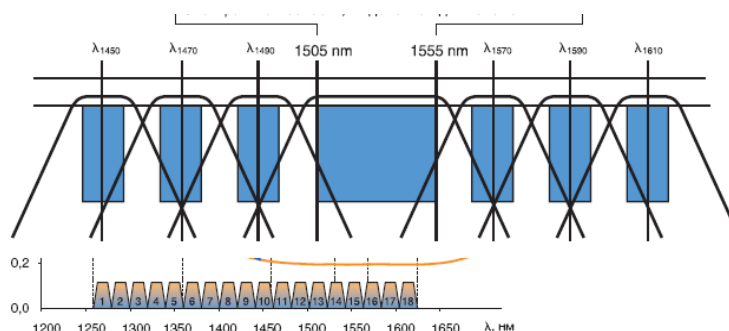
2.2 Кесте - CWDM жүйелерінің спектрлік арналарының орталық толқын ұзындығы

Арна нөмірі	Орталық арнаның толқын ұзындығы, нм	Жиілік, ТГц	Арна нөмірі	Орталық арнаның толқын ұзындығы, нм	Жиілік, ТГц
1	1271	235.9	10	1451	206.6
2	1291	232.2	11	1471	203.8
3	1311	228.7	12	1491	201.1
4	1331	225.2	13	1511	198.4
5	1351	221.9	14	1531	195.8
6	1371	218.7	15	1551	193.3
7	1391	215.5	16	1571	190.8
8	1411	212.5	17	1591	188.4
9	1431	209.5	18	1611	186.1

Негізінен, өнеркәсіптік жүйелерде 18 емес, бірақ 16 жұмыс толқын ұзындығы ұсынылады, бұл Рейлдің шашырау коэффициентінің жоғарылауына байланысты толқын ұзындығы 1310 нм-ден аз толқындардың артуымен байланысты. Бір оптикалық каналда 16 каналдан асатын 2,5 Гбит / с жылдамдықпен жалпы жылдамдығы 40 Гбит / с ( $16 \cdot 2,5$  Гбит / с) қамтамасыз етілуі мүмкін.

SWDM технологиясының DWDM және HDWDM технологиясынан басты артықшылығы - арзанырақ шығындар болып табылады.

CWDM технологиясының басты кемшілігі - арналардың шектеулі саны. Сондықтан гибридік технологияны пайдалану қызығушылық тудырады: CWDM-ден DWDM. Мұндай гибридік технологияны жүзеге асырудың бірі 2.1 суретте көрсетілген.



2.1 Сурет - CWDM және DWDM гибридік технологиясын енгізу

## 2.3 WDM жүйесінің компоненттеріне қойылатын арнайы талаптар

### 2.3.1 Оптикалық талшық

CWDM жүйелері G.652 сәйкес жасалған талшықтарды қолдана алады. Алайда, барлық арналарды пайдалану үшін, 6-шы және 7-ші спектрлік каналдарға жақын, 1383 нм толқын ұзындығында төмендетілген сөну коэффициенті бар оптикалық толқындарды пайдалану ұсынылады.

1370 және 1390 нм. Оларды әдетте ZWPF (судың Peak Fiber) немесе LWPF (судың шыңына аз талшық) деп атайды. ZWPF талшықтары (LWPF) G.652.C-та жабылған және G.652D.

Егер CWDM жүйесі – гидроксил топтарының сәулеленуіне байланысты жоғалуы 1383 нм толқын ұзындығында кәдімгі бір режимді талшықпен қолданылса, ең жоғары спектрлік арналар саны 1470-тен 1610 нм-ге дейін 8-ге дейін азаяды.

DWDM және HDWDM спектрлік мультиплекстеу жүйелерінде қолдану үшін, нөлдік емес дисперсиясы бар арнайы OM (нөлдік дисперсиялық бұрмалануы бар ХЭО терминологиясына сәйкес) - NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber) жасалған. Бұл талшықтардың хроматикалық дисперсиясы DWDM

жүйелерінің жұмыс ауқымындағы белгілі бір нөлдік мәннен асады. Бұл дисперсия сызықтық емес әсерлердің әсерін азайтады - төрт толқындық араластыру және кросс-фазалық модуляция.

NZDS талшықтарының параметрлері G.655 және G.656 ұсыныстарымен анықталған. G.655 талшықтары C-диапазонындағы спектральды тығыздау жүйелерінде қолдану үшін оңтайландырылған. Олар үшін 1530–1565 нм толқын ұзындығындағы хроматикалық дисперсияның нөлдік емес мәні кепілдендірілген. G.656 талшықтары спектральды тығыздау жүйелерімен пайдалануға оңтайландырылған

C және L диапазондарында және нөлдік емес хроматикалық дисперсия мәні, сонымен қатар толқындардың ұзындығы 1460–1625 нм болатын біркелкі ажыратылу сипаттамасы бар.

Әр түрлі оптикалық арналардың сызықтық емес өзара әрекеттесуіне байланысты шығындарды болдырмау үшін оптикалық талшықтағы сигналдың жалпы қуаты орташа есеппен 100 мВт (немесе 20 дБм) аспауы керек. Бұл талап бір оптикалық арнаның сигнал қуатын шектейді. 80 каналды жүйе үшін бір канал үшін сигнал деңгейі 1 дБм, 40 каналды жүйе үшін - 4 дБм, 32 каналды жүйе үшін - 5 дБм болады. Сондықтан арналар санының ұлғаюымен күшейту және қалпына келтіру бөлімдерінің ұзындығы қысқарады, бұл бір оптикалық арна тұрғысынан жабдықтың құнын арттыруға әкеледі. Әр арнадағы сигнал деңгейін сәл жоғарылату үшін режимнің өріс диаметрі ұлғайтылған LEAF (Large Effective Area Fiber) оптикалық талшықтарын пайдалануға болады. C және L диапазондарында нөлдік емес оң хроматикалық дисперсиясы бар стандартты G.652 талшықтарын DWDM жүйелерінде қолдануға болатындығын ескеріңіз. Алайда, бұл талшықтардың хроматикалық дисперсиясы салыстырмалы түрде үлкен болғандықтан, өтемақы талап етілуі мүмкін. Сонымен қатар, G.652 талшықтары біркелкі емес құлдырау сипатына ие, C және L жолақтарындағы тозу коэффициентінің өзгеруі 0,02 дБ / км-ге жетуі мүмкін, бұл күшейту бөліміндегі әр түрлі каналдардағы тозу кезіндегі айтарлықтай айырмашылыққа әкелуі мүмкін. Күшейту бөлігінің ұзындығын есептеу кезінде үлкен ескірген арналарға назар аудару керек, бұл күшейткіштерді немесе регенераторларды жиі орнату қажеттілігіне, сайып келгенде, құнын арттыруға әкеледі.

### 2.3.2 Радиациялық көздер және модуляторлар

CWDM жүйелері негізінен лазерлік сәуле шығару көздерінің 2 түрін пайдаланады - DFB (Distribution Feed Back) лазерлері және VCSEL (Тік қуысты бетті шығаратын лазер).

CWDM жүйелерінде қолданылатын DFB лазерлері термиялық тұрақтандыруды қажет етпейді, көлемді және күрделі басқару тізбектері шағын, үнемді және өзіндік құны төмен. CWDM үшін әдеттегі DFB лазерінің сәулелену қуаты 1 мВт және өткізу қабілеті шамамен 0,2 нм. Сәулелендірілген қуат сигналды 50–70 км қашықтықта BER деңгейімен 10-15 жеткізуге жеткілікті. Лазердің температуралық тұрақтылығы 0,08 0,12 нм/°C аралығында. Бұл

температура диапазонында 6-8 нм аралығында толқын ұзындығының 0-70 ° C өзгеруіне сәйкес келеді, бұл CWDM үшін қолайлы.

Толқын ұзындығы 1500–1610 нм диапазонына арналған VCSEL лазерлері жақында пайда болды, сондықтан олар әлі де аз кездеседі, бірақ CWDM жүйесінде қолданудың жақсы перспективалары бар. Олардың артықшылығы төмен шығындар, энергияның жақсы сипаттамалары және шағын өлшемдер болып табылады, олар таратқыштың алатын аймағын азайтады және энергияны тұтынуды азайтады.

DWDM жүйелерінде DFB лазерлері кеңінен қолданылады. DWDM лазерлеріне қойылатын маңызды талап - эмиссия спектріндегі орталық толқын ұзындығының тұрақтылығы. G.692 ұсынымына сәйкес, орталық толқын ұзындығының ауытқуы көрші оптикалық арналар арасындағы жиілік аралықтарының  $\pm 1/5$  аспауы керек. Мысалы, көрші арналар арасындағы қашықтық 100 ГГц болатын жүйеде орталық толқын ұзындығының ауытқуы  $\pm 20$  ГГц-ден аспауы керек.

Лазер температурасы толқын ұзындығына айтарлықтай әсер ететіні белгілі. Толқын ұзындығының температураның өзгеруіне сезімталдығы орташа алғанда 0,08 нм / ° C құрайды. Сондықтан температураны тұрақтандыру керек. HDWDM жүйелері үшін сымдар шығаратын жылу және дененің бетінен шыққан жылу сәулесі толқын ұзындығына айтарлықтай әсер етуі мүмкін, бұл лазер корпусының дизайнына қосымша талаптар қояды. Температурадан басқа, лазердің қозу тогы толқын ұзындығына әсер етуі мүмкін. Ағымдағы сезімталдық - 0,008 нм / mA, бұл температура әсерінен айтарлықтай аз.

Төмен жылдамдықты WDM жүйелерінде ішкі лазерлік модуляция қолданылады - сорғылық токты өзгерту арқылы сәуле қуатын басқару. Жоғары тарату жылдамдығында, қазіргі модуляция тым көп қыбырлауға әкеледі, сондықтан сыртқы лазерлік модуляция қолданылады.

Егер бір оптикалық арнаның жылдамдығы 2,5 Гбит / с аспаса (CWDM және төмен жылдамдықты DWDM жүйелері), ішкі лазерлік модуляцияны қолдануға болады. Жоғары жылдамдықты DWDM жүйелерінде сыртқы модуляторлар қолданылады, бұл жүйенің құны мен күрделілігін арттырады, қосымша оптикалық шығындарды енгізеді және радиацияның поляризация күйін бақылауды қиындатады. Модулятордың құны оптикалық тарату құрылғысының негізгі компоненттерінің бірі болып табылады, кейбір жағдайларда лазердің өзіндік құнынан асып түседі.

## **2.4 WDM пассивті оптикалық мультиплексорлары және демультиплексорлары параметрлері**

Пассивті оптикалық WDM мультиплексорлары және демультиплексорлары әдетте келесі параметрлермен сипатталады:

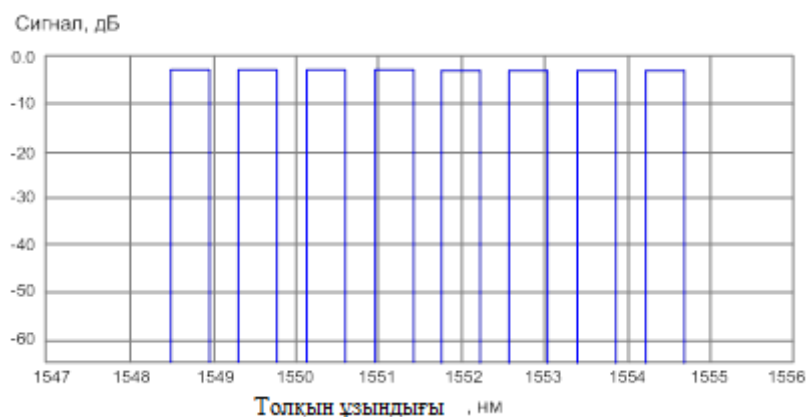
- біріктірілген арналардың орталық толқын ұзындығы,

- біріктірілген арналардың өткізу қабілеттілігі,
- арналар арасындағы аралық,
- біріккен арналардың біркелкі емес спектрлік сипаттамалары,
- шеткі арналар арасындағы уақытша сөну,
- арналарды оқшаулау,
- кірістен айырылу,
- жақын аралықта арналар арасындағы уақытша сөну,
- арна бағыты
- қайтарылатын шығындар.

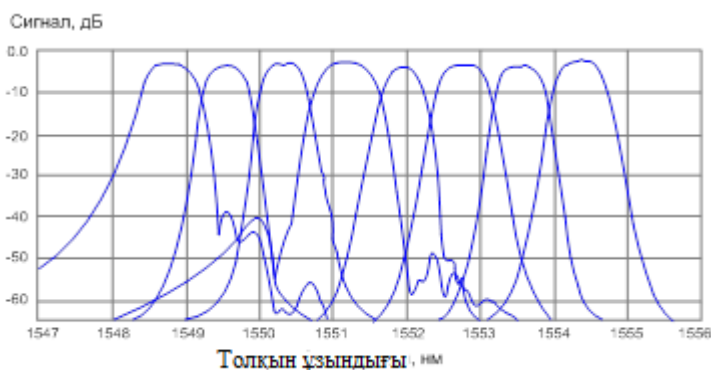
Демультимплексорлар мен мультиплексорларды өндіруде қолданылатын технологиялар ұқсас болғанымен, демультимплексорларды шығару әдетте қиын мәселе болып табылады. Факт дегеніміз, демультимплексор арна оқшаулауымен сипатталады - алыс шетіндегі арналар арасындағы минималды өтпелілік, ал мультиплексор тікелей бағытта сипатталады - жақын аралықтағы арналар арасындағы минималды өтпелілік. Ең үлкен технологиялық қиындықтар каналдар арасындағы үлкен уақытша өтпелі құрылғыларды шығарумен байланысты. Арналар арасындағы интервал азаяды және арналар саны артады, демультимплексорларды шығару технологиялық тұрғыдан қиындай түседі.

## 2.5 Мультиплексорлардың спектрлік сипаттамалары және WDM демультимплексорлары

Спектрлік сипаттамаларға орталық толқын ұзындығы, өткізу қабілеттілігі және біріктірілген (ортақ) арналардың біркелкі еместігі, сондай-ақ арналар арасындағы интервал жатады. Идеал құрылғыда әр спектрлік арнаның сипаттамасы симметриялы және барлық арналардың сипаттамалары бірдей. Нақты құрылғыларда әртүрлі арналардың сипаттамалары бір-бірінен ерекшеленеді (2.2,2.3-сурет).



2.2 Сурет - Идеал 8 арналы WDM мультиплексорының спектрлік сипаттамалары (демультимплексор)



### 2.3 Сурет - Нақты 8 арналы WDM мультиплексорының (демультиплексордың) спектрлік сипаттамалары

Әрбір спектрлік арна орталық толқын ұзындығы мен спектрдің ені сияқты параметрлермен сипатталады .

Толқындардың орталық ұзындығы толқындардың жоғарғы және төменгі арифметикалық орташа мәні ретінде анықталады:

$$\lambda_i = \frac{\lambda_{loweri} + \lambda_{upperi}}{2} \quad (2.7)$$

мұндағы  $\lambda_{loweri}$  және  $\lambda_{upperi}$  - толқындардың жоғарғы және төменгі ұзындығы - кірістіру шығыны берілген деңгейге жетеді (әдетте 3 дБ).

Оптикалық арнаның идеалды симметриялы спектрі үшін орталық толқын ұзындығы спектрлік максимумның толқын ұзындығына сәйкес келеді. Нақты арна үшін орталық толқын ұзындығы спектрлік максимумның толқын ұзындығымен сәйкес келмеуі мүмкін. Негізінен таратқыштың номиналды толқын ұзындығын орталық толқын ұзындығына мүмкіндігінше жақындатуға тырысады. Әдетте бұл Халықаралық электробайланыс одағының (ХЭО) жиілік жоспарына сәйкес келетін толқындардың бірі.

Толқындардың жоғарғы және төменгі бөліктерінің арасындағы интервал арнаның өткізу қабілеттілігі деп аталады:

$$\Delta\lambda_i = \lambda_{upperi} - \lambda_{loweri} , \quad (2.8)$$

Арнаның өткізу қабілетін 3 дБ-да да, басқа деңгейлерде де өлшеуге болады. Өткізу қабілетін екі немесе одан да көп шекті деңгейде анықтау оның пішінін шеттерде көрсетуге мүмкіндік береді. Өткізудің жоғары өткізу қабілеттілігі (-20 дБ немесе -30 дБ) WDM жүйелерінің іргелес арналарында мүмкін болатын қиылысу деңгейін болжау үшін пайдалы.

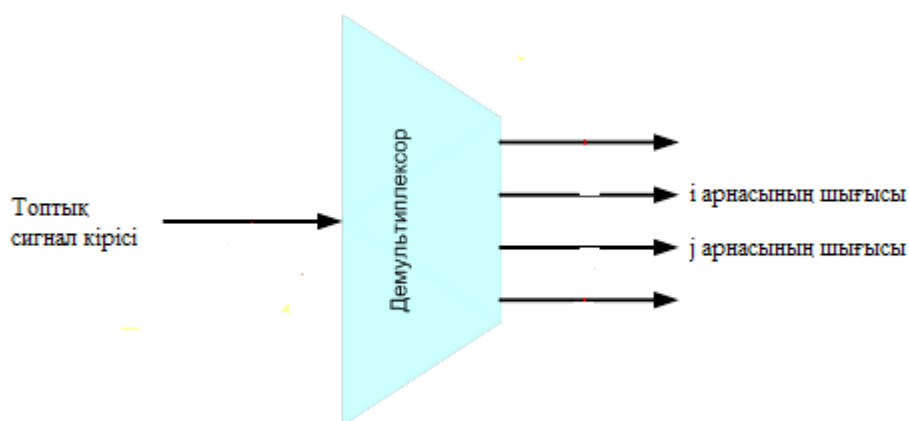
WDM жүйесінің номиналды өткізу қабілеттілігінің арналық жауабы ешқашан біркелкі болмайды. Спектрлік сипаттаманың біркелкі еместігі

өлшенген немесе номиналды өткізу қабілеттілігіндегі шығындардың минималды және максималды деңгейлері арасындағы айырмашылықпен анықталады.

Арнаның спектрлік сипаттамаларының біркелкі еместігі WDM жүйесін жасаушыға таратқыштың толқын ұзындығы номиналды өткізу қабілеттілігінде өзгерген кезде берілетін қуат деңгейінің мүмкін таралуын қамтамасыз етеді.

## 2.6 Шеттегі арналар арасындағы өтпелі өшулік. Арналарды оқшаулау. Айқас кедергілер

Орталық толқын ұзындығы бар демультимплексордың шығу арналарының бірін қарастырайық. Бұл толқын ұзындығындағы радиацияның көп бөлігі пайдалы сигналды білдіретін осы арна арқылы өтеді. Алайда, осы толқын ұзындығындағы сәулеленудің бір бөлігі кедергі ретінде басқа шығыс арналарда да болуы мүмкін.



2.4 Сурет - шеттегі өтпелі өшулікті анықтау

I каналынан j арнаның шетіне дейінгі өтпелі өшулік (FEXT - Алдыңғы жағы Crosstalk) өрнек арқылы анықталады:

$$A_{lij} = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{0i}}{P_{lj}} \right), \quad (2.9)$$

мұндағы  $P_{0i}$  - i каналының кірісіндегі оптикалық қуат;

$P_{lij}$  - j арнасының шығысындағы оптикалық кедергі;

I арнаны оқшаулау  $A_{lij}$  -тің ең төменгі мәнін білдіреді:

$$Isol_i = \min A_{lij}, \text{ } n \text{ } p \text{ } u \text{ } j \neq i, \quad (2.10)$$

25 дБ оқшаулау дегеніміз, негізгі каналдың толқын ұзындығындағы кез-келген іргелес каналдардағы сигнал деңгейі осы толқын ұзындығындағы негізгі арнаның кіріс деңгейінен кемінде 25 дБ төмен екенін білдіреді.

Көршілес арналарды оқшаулау 25 дБ және одан жоғары деңгейде дәстүрлі түрде жеткілікті деп саналады. Алайда, арналардың көбеюімен және әлсіз сигналдарды ажырату қажеттілігімен арнаны оқшаулауға қойылатын талаптар артады.

Айқас иммунитет - әсер ететін каналдың і-ден барлық арналардың шетіне дейінгі уақытша құлдырауы - өрнекпен анықталады:

$$A_{ii} = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{0i}}{\sum_{j \neq i} P_{0j}} \right), \quad (2.11)$$

## 2.7 Жақын уақыттағы арналар арасындағы өтпелі өшулік. Арнаның бағытталуы

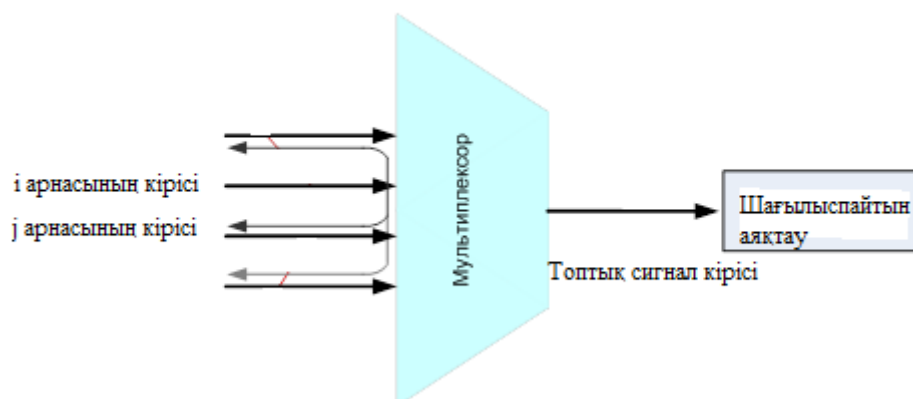
Орталық толқын ұзындығы  $\lambda_i$  мультиплексордың кіріс арналарының бірін қарастырыңыз. Бұл толқын ұзындығының сәулеленуі кедергі ретінде басқа кіріс арналарында болуы мүмкін (ең алдымен көрші арналарда).

$i$  және  $j$  кіріс порттарының арасындағы жақын аяғына уақытша өту төмендегі өрнекпен анықталады:

$$A_{0ij} = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{0i}}{P_{0j}} \right), \quad (2.12)$$

мұндағы  $P_{0i}$  —  $i$  арнасының кірісіндегі оптикалық қуат;

$P_{0ji}$  — кедергісінің  $i$  арнасынан  $j$  арнасына кірісіндегі оптикалық қуаты;



2.5 Сурет - жақын уақыттағы өтпелі өшулікті анықтау



I-портқа қатысты бағытта жақында өтпелі тоқыраудың минималды мәні түсініледі:

$$Dir_i = \min (A_{0ij}), \text{ при } j \neq i, \quad (2.13)$$

Әдетте, тікелей бағытты өлшеу тек номиналды каналдың толқын ұзындығында жүргізіледі. Берілген толқын ұзындығындағы сигнал *i* каналдың кірісіне қолданылады, ал басқа кіріс порттарына қайтарылған қуат өлшенеді.

## 2.8 Кіріс және қайтару шығындары

WDM мультиплексорлары мен демультиплексорлары үшін кірістер мен кірістердің шығындары талшықты-оптикалық байланыс желісінің басқа компоненттері сияқты анықталады:

$$a_{IL} = -10 \cdot \lg \frac{P_{out}}{P_{in}}, \quad (2.14)$$

$$a_{RL} = -10 \cdot \lg \frac{P_{ref}}{P_{in}}, \quad (2.15)$$

мұндағы  $P_{in}$  – компоненттің кірісіндегі сәулелені қуаты;

$P_{out}$  – компоненттен өткен сәулелену қуаты;

$P_{ref}$  – компоненттен шағылысқан компоненттің сәулеленуі.

WDM мультиплексорлары мен демультиплексорларының кірістірілген шығынын толық сипаттау үшін шығындардың толқын ұзындығына тәуелділігін анықтау қажет.

WDM мультиплексорлары мен демультиплексорлары үшін кірістіру шығыны барынша азаяды, ал қайтарылу жоғалуы барынша көбейтіледі, яғни шағылған қуаттың үлесі мүмкіндігінше азаяды.

## 2.9 WDM жүйелерін оптикалық рұқсат желілеріне енгізу. WDM-PON технологиясы

Жыл сайын кең жолақты қол жетімділік қызметтерін тұтынушылардың саны тұрақты өсіп келе жатқаны белгілі. Талшықты оптикалық тарату жүйесінің элементтер базасы жетілдірілуде және оптикалық байланыс желілерінің, соның ішінде оптикалық қатынау желілерінің параметрлері жетілдірілуде. Жетілдіруді қажет ететін параметрлердің бірі - барлық аудандардағы өткізу қабілеттілігі.

Оптикалық қатынау желісінің, соның ішінде пассивті PON желілерінің

өткізу қабілеттілігін арттырудың бір жолы - WDM технологияларын пайдалану. WDM әдісін қолдана отырып, оптикалық қатынау желісінің өткізу қабілеттілігін жақсартудың келесі артықшылықтары бар:

- қолданыстағы байланыс түйіндерін қайта құру байланыс пен техникалық қызмет көрсетуді үзбей, сонымен қатар жұмыс істеп тұрған жабдықты бөлшектеместен қосымша қондырғыларды орнату арқылы жүзеге асырылады;
- оптикалық қатынау желісінің жаңа қосылу учаскелерін жобалауды қажетті өткізу қабілеттілігін болжанған бағыттар бойынша жеңілдетеді;

Жалпы алғанда, CWDM және DWDM жабдықтарын оптикалық қол жеткізу желілерінде пайдалануға болады. Алайда Халықаралық электрбайланыс одағы тек CWDM технологиясын қол жетімділік желілерінде қолдануды ұсынды (G.983.1-G.983.7 ұсыныстары). Бұл CWDM жабдығының бірнеше артықшылықтарына байланысты:

- жабдықтың ықшам өлшемдері;
- қуатты аз тұтыну;
- мультимодты талшықтарды пайдалану мүмкіндігі;
- төмен шығынды таратқыштарды, оптикалық арналарды бөлу құрылғыларын және мультиплексинг / демультимплексинг схемаларын қолдану арқылы желіні салу кезінде күрделі шығындарды азайту;
- электр қуатын үздіксіз қамтамасыз ету және қоршаған ортаға қажетті жағдай жасау үшін шығындарды азайту арқылы пайдалану шығындарын азайту.

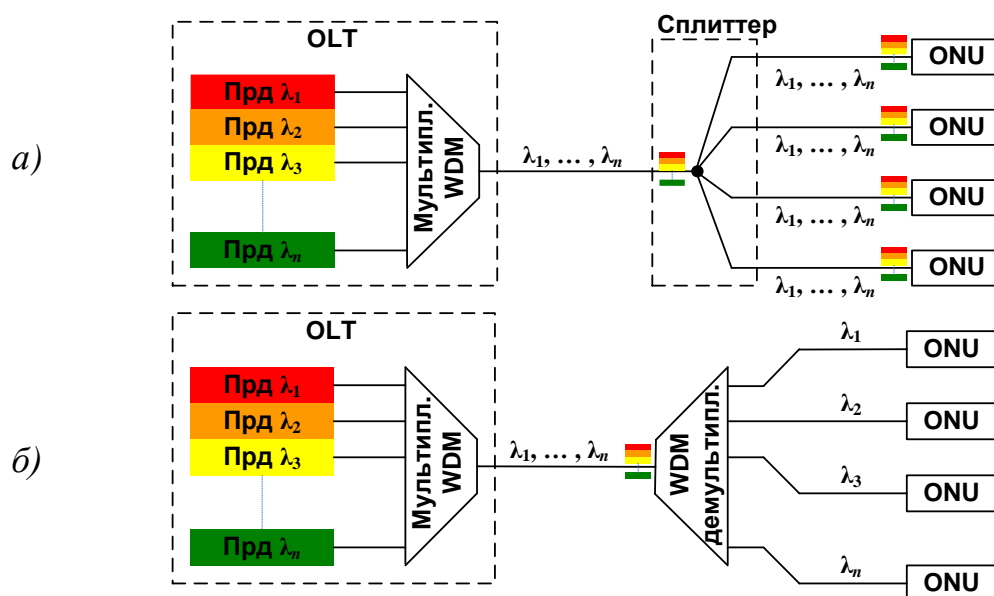
Қол жетімділік желілерінде DWDM жабдығын пайдалану экономикалық тұрғыдан тиімсіз, өйткені оның құны өте жоғары, ал қол жеткізілген өткізу мүмкіндігі мамандардың болжамдары бойынша алдағы 5 жылда қазіргі заманғы қол жеткізу желілеріне сұраныс тудырмайды. Дегенмен, зерттеушілер мен әзірлеушілер оптикалық қол жеткізу желілерінде CWDM және DWDM технологияларын бөлісуге мүмкіндік беретін жабдықты жасауға күш салуда.

Пассивті оптикалық желілерді дамыту бағыттарының бірі - оларға WDM технологиясын енгізу және TDM-PON желілерінен WDM-PON желілеріне көшу. Айта кету керек, дәстүрлі пассивті оптикалық TDM-PON желілерінде WDM технологиясы да қолданылады. Бір оптикалық талшықтың дуплексті байланысын қамтамасыз ету үшін байланыс түйінінен абонентке бағыттау толқын ұзындығы 1490 нм, ал қарама-қарсы бағытта 1310 нм толқын ұзындығы бойынша жүзеге асырылады. Сонымен қатар, аналогты теледидарды тарату үшін үшінші толқын ұзындығы 1550 нм пайдалануға болады. Алайда, TDM-PON жүйелерінде барлық абоненттер бірдей толқын ұзындығын қолданады, ал әртүрлі абоненттерден сигналдарды бөлу уақытында жүзеге асырылады. Бұл абонент үшін деректерді беру жылдамдығының төмендеуіне әкеледі. Абонентте орналасқан жабдық кемінде 1,25 Гбит / с жылдамдықты қамтамасыз етсе де, оған деректерді станция станциясы ұсынған уақытта ғана жіберуге рұқсат етіледі, ал деректерді беру жылдамдығы айтарлықтай төмен. WDM-PON жүйесінде әр абонентке өзінің толқын ұзындығы беріледі. Сондықтан, әрбір

абонент оған орнатылған жабдық қолдайтын берілу жылдамдығына ие болады.

Суретте WDM-PON желісін құрудың екі нұсқасы көрсетілген, олар топтық сигналды абоненттер арасында бөлу әдісімен ерекшеленеді. Бұл үшін (а) суретте кәдімгі сплиттер (сплиттер) қолданылады, ал (б) суретте AWG негізіндегі құрылғыларға негізделген WDM демультимплексор қолданылады. Сплиттері бар схема (а-сурет) WDM технологиясын қолданыстағы PON желілерінде олардың инфрақұрылымын өзгертпестен енгізуге мүмкіндік береді. Бұл схемада толқын ұзындығын абоненттерге динамикалық түрде бөлуге болады, өйткені сплиттердің спектралды таңдауы жоқ.

Демультимплексоры бар схемада (сурет (б)) абоненттерге толқындардың ұзындығы статикалық түрде бөлінеді. Схеманың артықшылығы станция мен пайдаланушы жабдықтар арасындағы аймақтағы шығындардың аз болуы, өйткені қазіргі заманғы демультимплексорлардың кірістері жоғалуы бөлгіштерге қарағанда едәуір төмен, бұл осы бөлімнің ұзындығын арттыруға мүмкіндік береді.



2.6 Сурет - Wdm-pou желісінің құрылысының нұсқалары

Әрбір абонентке ұсынылған өткізу қабілетін кеңейтуге қосымша, WDM-PON жүйесінің артықшылықтары масштабталуды және таратылатын ақпаратты қорғаудың жоғары деңгейін (демультимплексормен схемада) ұсынады, өйткені әр абонент өзінің толқын ұзындығын алады. Логикалық желі топологиясы да жеңілдетілген. Әр толқын ұзындығы үшін OLT және ONT арасындағы байланыс нүкте-көп нүкте емес, нүкте-нүкте болып табылады, бұл әртүрлі абоненттерге әртүрлі жылдамдықты қамтамасыз етуге және деректердің әртүрлі хаттамаларын пайдалануға мүмкіндік береді.

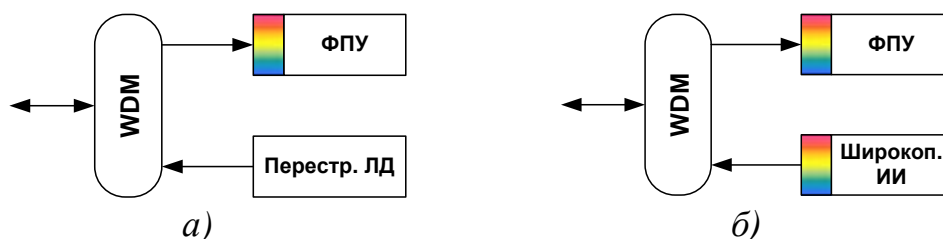
WDM-PON жүйелерінің басты жетіспеушілігі, жақында олардың іске асырылуына және дамуына кедергі келтірді, дәстүрлі жүйелермен

салыстырғанда олардың жоғары құны болды, өйткені мұндай желідегі абоненттік жабдық бірегей болуы керек - абонентке нақты толқын ұзындығын қолдау. Қазіргі жүйелерде бұл проблема «түссіз» ONU деп аталатын - белгілі бір толқын ұзындығына байланыспайтын әмбебап құрылғыларды енгізу арқылы шешіледі.

Түссіз ONU жағдайында жергілікті немесе қашықтан оптикалық байланыс операторын пайдалануға болады. Жергілікті генерация жағдайында оптикалық тасымалдаушы генератор ONU-да орналасқан. Қашықтағы буындарда ONU өзінің генераторына ие емес және OLT-ден келетін оптикалық тасымалдаушыны қолданады.

Жергілікті оптикалық тасымалдаушы генераторды қолданатын түссіз ONU екі жолмен жүзеге асырылуы мүмкін - реттелетін лазерді қолдану арқылы (а-сурет) және кең жолақты радиация көзі мен реттелетін фильтрді қолдану

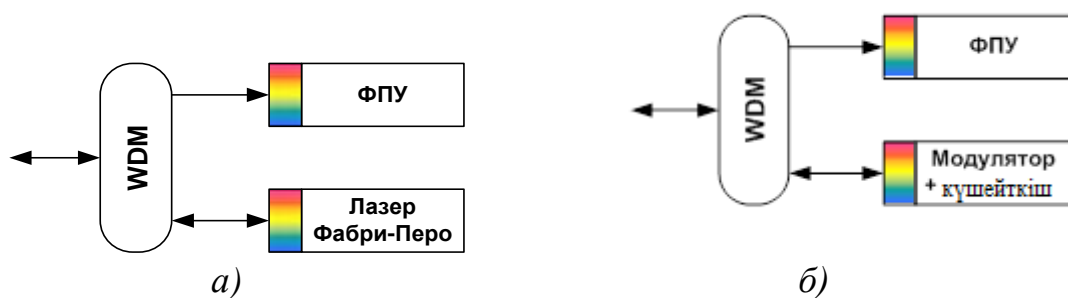
(В) суретіндегі (ОН) ONU схемасы таратқыш ретінде пайдаланылатын реттелетін лазерлі диодты, реттелетін фильтр фотодетекторын және жоғары және төмен ағыс сигналдарын біріктіретін / бөлетін WDM мультиплексор / демультимплексорды қамтиды. және когерентті сәулеленуді қолдану салдарынан жоғары беріліс жылдамдығы. Мұндай ONU-да реттелетін лазерлерде жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіш пен реттелетін сүзгіден тұратын құрылғылар қолданылады. Олар ені 20 нм диапазонында  $\pm 1,75$  ГГц дәлдігімен сәуле шығаруға мүмкіндік береді.



2.7 Сурет - реттелетін лазерлік диодты (а) және кең жолақты сәуле көзін (b) қолданатын «түссіз» ONU

(В) суреттегі ONU схемасы реттелетін лазердің орнына реттелетін сүзгісі бар кең жолақты сәулелену көзін пайдаланатындығымен сипатталады. WDM демультимплексоры бар жүйелердегі мұндай ONU-дің артықшылығы - толқын ұзындығын дәл басқарусыз көздерді пайдалану мүмкіндігі, мысалы, суперлюминесцентті диодтар.

OLT-де орналасқан қашықтағы генераторды пайдаланатын «түссіз» ONU тізбектері 2.8 суретте көрсетілген.



2.8 Сурет - Қашықтағы генераторды қолданатын «түссіз» ONU

2.8 (а) суреттегі нұсқада сәулелендіру көзі ретінде мультимодты Fabry-Pérot лазері қолданылады. Қалаған оптикалық тасымалдаушыға сәйкес келетін тар диапазонды сигнал қашықтағы генератордан мультимодты лазер қуысына енгізіледі, бұл қуаттылық максималды болатын инжектордың толқын ұзындығына жақын толқын ұзындығында бір режимді сәуле шығаруға ауысады. Басқа режимдердің эмиссиясы тоқтатылады. Қарастырылған тізбектің артықшылығы оның қарапайымдылығы, төмен құны, салыстырмалы түрде жоғары модуляция жылдамдығын қамтамасыз ету мүмкіндігі, ал кемшіліктері - толқын ұзындығының шектеулі диапазоны, талап етілетін жоғары қуат және күмәнді тұрақтылық.

Бұл кемшіліктер ONU-да өзінің сәулелену көзі жоқ 2.8 (b) суретте көрсетілген тізбектен ажыратылған. Қашықтағы генератордан алынған оптикалық тасымалдаушы жоғары тұрған деректермен модуленеді, қажет болған жағдайда күшейтіліп, қайтадан OLT-ге жіберіледі. Бұл схемада OLT толқындардың ұзындықтары қандай болатынын толық анықтайды, бұл OLT мен ONU арасындағы толқын ұзындығын бөлу хаттамасының қажеттілігін жояды. Модуляциялаушы сәулелену үшін ONU әдетте оптикалық сигналды модуляциялау мен күшейтуге мүмкіндік беретін шағылыстырғыш жартылай өткізгішті оптикалық күшейткішті (RSOA) пайдаланады. RSUA ONU жоғары шығынға ие, өйткені олар бір пакетте болады температураны тұрақтандыру жүйесімен. Қазіргі уақытта энергияны аз тұтынатын, кішірек өлшемдермен және температураны тұрақтандыруды қажет етпейтін арзан RSOA әзірленуде.

Барлық түссіз ONU тізбектерінің кейбір кемшіліктері бар. Беріліс екі бағытта да бірдей толқын ұзындығымен жүргізілетіндіктен, шу, әсіресе артқы рейльдің шашырауы және Мандельстам-Брилуанның шашырауы нәтижесінде пайда болатын ағынның бағыты бойынша жоғарылайды. Сонымен қатар, RSOA және басқа оптикалық модуляторлар радиациялық поляризацияға сезімтал. Жақын болашақта RSOA құрудың поляризацияға сезімталдығы аз болады деп күтілуде.

Қашықтағы генераторды қалаған толқын ұзындығымен сәулелену көздерінің жиынтығы ретінде немесе кең спектрлі сәулелену көзі ретінде жүзеге асыруға болады, оның спектрі содан кейін қалаған толқын ұзындығына жақын тар спектрлік диапазондарда «кесіледі», мысалы, AWG

демультиплексоры немесе Bragg талшығын пайдалану арқылы. Кең жолақты радиация көзі ретінде оптикалық күшейткіштен күшейтілген стихиялық эмиссияны қолдануға болады.

## 3 ЖАБДЫҚТАР

### 3.1 Белсенді желілік жабдық

Желілік жабдық - компьютерлік желілердің барлық түрлерін: жергілікті, корпоративті, ғаламдық, бүкіл әлем бойынша жұмыс істеуді қамтамасыз ететін құрылғылар мен құрылымдардың кең тобы. Барлық қолданыстағы желілік жабдықтар екі үлкен топқа бөлінеді: белсенді, жұмыс кезінде электр энергиясын тұтынатын және компьютерлер мен басқа құрылғылар арасында деректерді өңдеуге және жіберуге тікелей қатысатын және енжар барлық басқа сорттарды біріктіретін.

- Белсенді жабдықтың негізгі белгілері - бұл электр тізбегінің болуы, электр желісінен қуат алады, белгіленген алгоритмдерге сәйкес ақпаратты қабылдайды, күшейтеді, өңдейді, түрлендіреді және тасымалдайды. Белсенді желілік жабдыққа мыналар кіреді:

- желілік карталар - бұл компьютерге аналық платаның кеңейту слоттарына қосылған, желіге сигналдарды жіберуге және сигналдарды желіден алуға арналған контроллерлер;

- Қайталағыштар - желілік құрылғылар, кіретін аналогтық сигналдың пішінін басқа сегменттің қашықтығына дейін күшейтеді және қайта жасайды. Екі сегментті қосу үшін қайталағыш электр деңгейінде жұмыс істейді. Репетиторлар желілік мекен-жайларды білмейді, сондықтан трафикті азайту үшін пайдалануға болмайды;

- хабтар - кабельдік жүйенің немесе «жұлдызды» топологияның физикалық желісінің орталық құрылғысы, пакет бір порттан алынған кезде, оны басқаларға таратады. Нәтиже - жалпы шина логикалық құрылымы бар желі. Белсенді және пассивті байыту фабрикалары бар. Белсенді хабтар қабылданған сигналдарды күшейтеді және таратады. Пассивті хабтар сигналды күшейтпестен немесе қалпына келтірместен өздері арқылы өткізеді;

- көпірлер - физикалық ұзындығымен шектелген және олардың арасындағы трафикті өткізетін екі бөлек сегментті қосатын желілік құрылғылар. Көпірлер сонымен қатар басқа кабель үшін сигналдарды күшейтеді және түрлендіреді. Бұл желінің максималды көлемін кеңейтуге мүмкіндік береді, бірақ кабельдің максималды ұзындығына, қосылған құрылғылардың санына немесе желі сегментіндегі қайталанушылар санына шек қоймайды;

- коммутаторлар (мультипорттық көпірлер) - кабельдік жүйенің бағдарламалық басқаруымен басқарылатын орталық құрылғылары, кіріс пакеті оның алушының мекен-жайын білу үшін талданатындығына және сәйкесінше тек оған берілуіне байланысты желілік трафикті төмендетеді;

- маршрутизаторлар - желі деңгейінде жұмыс жасайтын және пакеттерді бір желіден екінші желіге жіберуге және бағыттауға, сондай-ақ таратылатын хабарламаларды сүзуге мүмкіндік беретін стандартты желілік құрылғылар;

– медиатүрлендіргіштер - сигнал тарату ортасын бір түрден екінші түрге ауыстыратын құрылғылар;

– желілік қабылдағыштар - байланыс жүйесінің екі физикалық әртүрлі орта арасында сигнал таратуға және қабылдауға арналған құрылғы;

– Мультиплексорлар - бірнеше жүздеген сандық абоненттік желілерді қолдайтын құрылғылар. Мультиплексорлар барлық трафикті бір жылдамдықты арнаға шоғырландыратын абоненттік деректерді жібереді және алады.

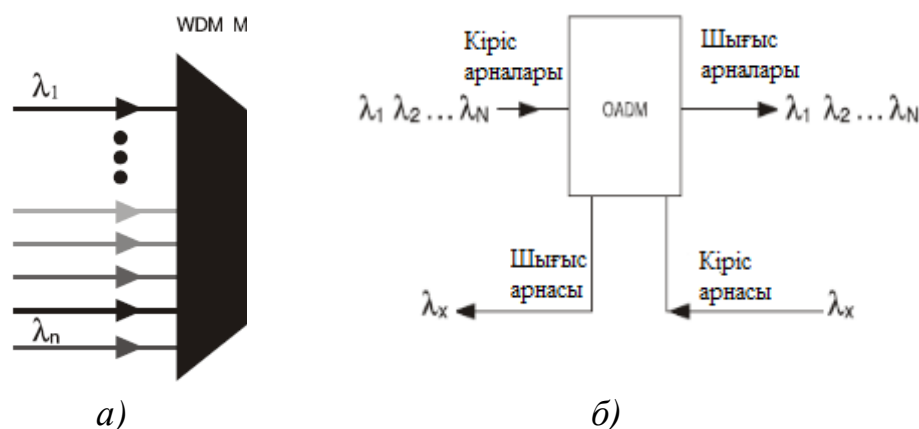
Желіаралық экрандар - басқаруды жүзеге асыратын желілік құрылғылар локальды желіні енгізу және одан шығу және ақпаратты сүзу арқылы жергілікті желіні қорғауды қамтамасыз етеді.

### 3.2 WDM мультиплексорлары және демультиплексорлар

WDM жүйелеріндегі негізгі операциялардың бірі - оптикалық тасымалдаушыларды мультиплекстеу және демультиплекстеу. Оптикалық мультиплекстеу жұмысы математикалық түрде жинақтау функциясымен сипатталады:  $\Sigma\lambda_i$ , мұндағы  $\lambda_i$  модуляцияланған оптикалық тасымалдаушылар. Оптикалық демультиплекстеу жұмысы агрегаттық WDM ағынын анықтау нүктесінде барлық тасымалдаушылардың бөлінуіне негізделген. Бұл мәселе мультиплекстеу мәселесіне кері әсер етеді және оны шешуге болады,

Негізінде бірдей құрылғылар, егер олар қайтымдылық қасиетіне ие болса. Бұл қасиетке көптеген пассивті демультиплексор мультиплексорлары ие, бұл оларды әмбебап етеді және тек демультиплекстеу процесін талдауға мүмкіндік береді.

WDM мультиплексорлары терминалды және кіріс / шығыс мультиплексорлары болып бөлінеді (OADM - оптикалық қосу / түсіру мультиплекторы) (3.1-сурет), олар кейбір арналар транзитпен өтетін кездегі терминалдардан өзгеше болады. OADM мультиплексорлары әдетте кедергі сүзгілері немесе Bragg талшықты торлары негізінде жасалады.



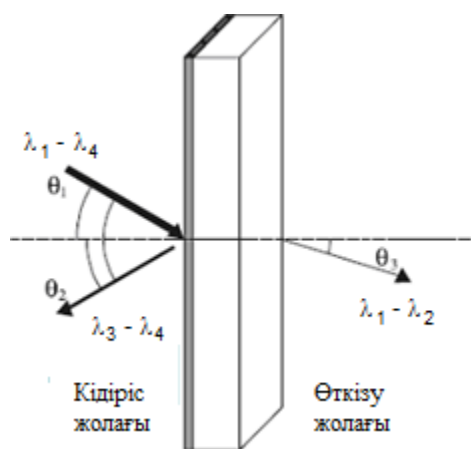
3.1 Сурет - (a) және кіріс-шығыс (b) терминал мультиплексорлары



### 3.2.1 Кедергі сүзгілеріне негізделген мультиплексор (демультиплексор)

Оптикалық кедергілер сүзгісі жұқа пленкалы сүзгі (TFF) деп те аталады. Ол әр түрлі сыну көрсеткіштері бар мөлдір диэлектрлік материалдардың бірнеше қабаттарынан тұрады, олар бірінен кейін бірі оптикалық субстратқа орналастырылады.

Қабаттар арасындағы әр интерфейсте апаттық жарық сәулесінің бір бөлігі кері шағылысады. Шағылысқан жарық оқиғаға кедергі келтіреді, толқын ұзындығына байланысты оны күшейтеді немесе басады. Егер сіз әр қабаттың сыну көрсеткіші мен қалыңдығын дұрыс таңдасаңыз, сіз толқын ұзындығының кез-келген диапазонын өткізіп жіберетін және басқаларын көрсететін сүзгіні ала аласыз (3.2-сурет).



3.2 Сурет - Кедергі сүзгісі

Кедергі сүзгілері негізінде мультиплексорларда (демультиплексорларда) әдетте сүзгілер қолданылады, олардың әрқайсысы композиттік сигналдан бір канал шығарады (немесе оған қосылады). Шағылған жарық жүйеге қайта түспеуі үшін, сүзгілер оптикалық оське бұрылады. Көп толқындық сигналдарды өңдеу үшін көп сатылы сүзгілеу жүйелері қолданылады, оларда бір сүзгіден шағылысқан сәулелер келесі кірістерге енеді. Әрбір сүзгі сөндіруді енгізген сайын, мультиплексордың (демультиплексордың) кірісі жоғалуы арналар санына пропорцияда артады. Сондықтан 32 каналға дейінгі WDM жүйелері үшін жұқа қабықшалы сүзгілер қолданылады, арнаның тығыздығы жоғары жүйелерде басқа технологиялар қолданылады.

Әр сүзгінің қабаттарының параметрлерін таңдау әдістері өте күрделі, бірақ олар белгілі және оптикалық салада бұрыннан қолданылады. Сүзгіге қойылатын талаптар неғұрлым қатаң болса, субстратқа соғұрлым көп қабаттар қажет.

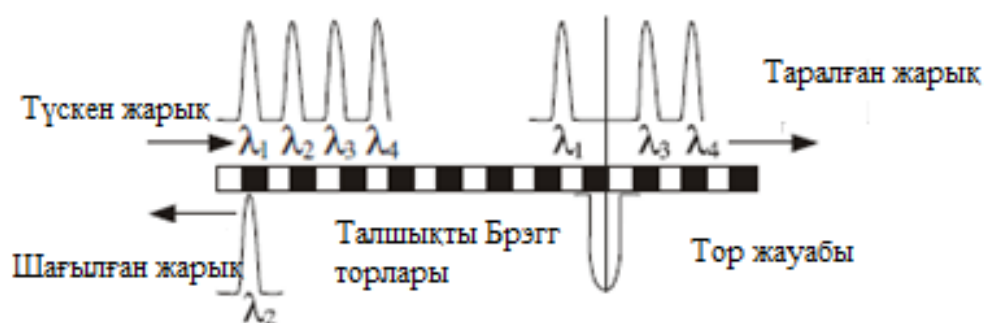
### 3.2.2 Bragg талшығына негізделген мультиплексор (демультиплексор)

Bragg торын тікелей талшықтың өзінде жасауға болады. Белгілі бір заттармен қаныққан кварц әйнегі (әсіресе германий) ультракүлгін сәуленің әсерінен сыну көрсеткішін өзгерте алады.

Егер германий оксидімен сіңірілген талшық ядросы белгілі бір кеңістіктік периодты құрылымы бар ультракүлгін сәулемен сәулеленсе, онда талшық дифракциялық торға айналады. Мерзімді құрылым ультракүлгін сәулеленудің екі сәулесін басып шығару арқылы кедергі үлгісін алу арқылы құрылуы мүмкін.

Тіркелген торы бар талшық толқын ұзындығының белгілі бір диапазонындағы жарықты толығымен көрсетіп, басқа толқын ұзындығының жарығын береді.

Кәдімгі талшықты Bragg торына негізделген сүзгінің орталық толқын ұзындығы оның кезеңімен анықталады, өткізу жолағы оның ұзындығына кері пропорционал. Бұл екі параметр де температураға тәуелді, сондықтан мұндай сүзгілерді термостатқа немесе температураны бақылайтын басқа құрылғыға салу керек (3.3-сурет).



3.3 Сурет - Талшықты bragg демультиплексор

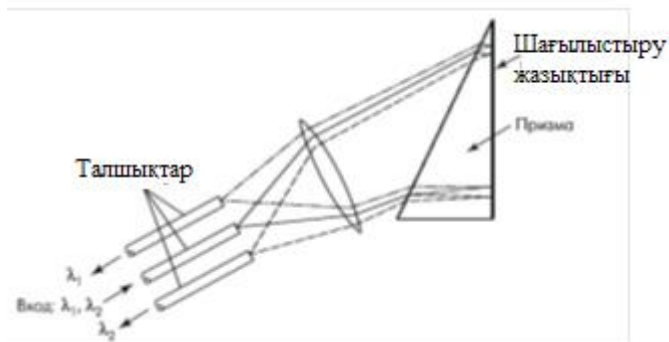
Bragg талшықты торын оптикалық сүзгі ретінде терминалды мультиплекстеу және демультиплекстеу құрылғыларында және I / O мультиплексорлары каналындағы циркуляторлармен бірге қолдануға болады.

### 3.2.3 Бұрыштық дисперсия құбылысына негізделген мультиплексор (демультиплексор)

Бұрыштық дисперсия құбылысына негізделген демультиплекстеу технологиясы келесі физикалық принципті қолданады. Оптикалық сигналдың коллимацияланған сәулесі дисперсті элементтің үстіне түседі және кеңістікте оны жеке тасымалдаушылардың толқын ұзындығына сәйкес келетін бірнеше сәулелерге бөледі. Бұл сәулелер фокусталады және бөлек қабылдау элементтерімен жиналады. Дисперсті элемент ретінде призмань немесе көлемді дифракциялық торды пайдалануға болады.

Мұндай құрылғылардың басты артықшылығы - олардың жоғалуы арналар санына тәуелсіз.

3.4-суретте шашырау элементі ретінде рефлекторлы призматы қолданатын демультимплексор көрсетілген. Мұндай схема Литтроу схемасы деп аталады. Оның артықшылығы - алынған құралдың өлшемдерін азайту және фокустау элементтерінің бір жиынтығын қолдану (бұл жағдайда фокустау элементі ретінде линза қолданылады).



3.4 Сурет - Рефлекторлы призмадағы демультимплексор

Көлемі кең таралған дифракциялық торлар жарық сәулесін шағылысу жазықтығында әр түрлі бұрышта көрсетеді, шағылысқан жарық максималды қарқындылығына жететін бұрыш толқын ұзындығына байланысты. Егер әртүрлі жарық толқындарының сәулелері болған жағдайда, жарықтың жекелеген сызықтарынан шағылысқан кезде белгілі бір ұзындықтағы толқындардың фазалары бір-бірінен дәл бір толқын ұзындығымен ерекшеленетін етіп, бұрылу бұрышын таңдауға болады. Бұл жағдайда шағылысқан толқындар бір-бірін күшейтеді. Бұл бұрыш интенсивті жарықтың толқын ұзындығына берілген максималды беріліс бұрышы болады.

Дифракциялық торды қолданумен демультимплексордың дизайны суретте көрсетілген. Оған жалпақ шағылыстырылған дифракциялық тор, винтті сфералық немесе параболалық айна және тордың ойықтарына бекітілген жиекпен орналастырылған талшықтар кіреді. Кіріс талшықтарынан шыққан мультиплекстелген ағын әр түрлі бұрыштағы толқындардың әр түрлі сәулелерін көрсететін дифракциялық торда айнадан және оқиғадан көрінеді. Қайта айнада шағылысқан бұл сәулелер тиісті тасымалдаушыларды шығарып, талшықтар алапының қабылдау порттары орналасқан нүктелерге бағытталған.

3.2.4 Жазықтық интегралды құрылғылар негізінде мультиплексорлар (демультимплексорлар)

Біріктірілген оптикалық технологияны пайдалану оптикалық тізбектердің функционалды элементтерін біріктіретін миниатюралық құрылғылар жасауға мүмкіндік береді. Арналардың көптігі бар WDM жүйелерінде AWG (Arrayed

Waveguide Grating) - толқындардың фазалық сәйкестендірілген торларына негізделген құрылғы - көп перспективалы интегралды-оптикалық мультиплексор (демультиплексор).

Мультиплексор (демультиплексор) AWG екі жазықтық оптикалық мультиорталық бөлгіштен тұрады: кіріс  $n' m$  және шығу  $m' n$ . Сплиттерлер ұзындықтары белгіленген DL-мен, яғни  $L_{i+1} = L_i + DL$ -мен ерекшеленетін  $m$  толқын гидрлерінің торымен қосылады. Бұл әр түрлі арналардың сигналдары арасында тұрақты фазалық ығысуды береді, бұл жарықтың әр толқын ұзындығы меншікті толқын ұзындығына түседі, яғни әр канал өзінің толқын ұзындығына ие болады.

Мультиплексордың - AWG демультиплексорының мөлшерін екіге азайту үшін ол үшін Littrow схемасы жасалды - бір сплиттері және шағылысатын айнасы бар дизайн. Осы мультиплексор үшін каналдарды бөлу принципі жаңа қарастырылғанға ұқсас. Толқын реттегіш массивтің шығуынан шыққан сигналдар кедергі пайда болатын сплиттерге қайта шағылысады.

Қарастырылған конструкциядағы кіріс және шығыс бөлгіштер мен толқындарды реттегіштер кремнийдің басқа субстратында жүзеге асырылуы мүмкін, бұл тізбектің басқа оптоэлектрондық элементтерімен (фотодетектор және т.б.) функционалды байланыс үшін маңызды. Толқын гидрлері сол субстратта түзілген жазықтық оптикалық талшықтар түрінде жүзеге асырылады.

### 3.3 OLT станция жабдықтары

OLT (Оптикалық желі терминалы) - көптеген абоненттік құрылғыларға қосыла алатын трансивер модулі және сол уақытта олардың әрқайсысымен деректер ағынымен алмасуға мүмкіндік береді.

Станция жабдықтарының сипаттамалары әр түрлі болуына қарамастан төменде сипатталған бірнеше өлшемдерге сәйкес жалпылауға болады.

OLT жабдығы әдетте мультисервистік қол жетімділік платформасы болып табылады және талап етілетін қосымшалар мен желінің жағдайларына байланысты әр түрлі қол жеткізу режимдерін қолдайды. Әдетте, OLT трафикті ауыстырады және көлік желісіне қосылады, бұл абоненттерге көптеген қызметтерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

– Жабдықтың ықтимал конфигурациясы модульдік дизайнмен заманауи қол жетімділік технологиялары мен желілік протоколдарды қолдайтын заманауи қызметтердің барлық түрлерін ұсынуға мүмкіндік береді. Ең танымал OLT модельдері (3.5-сурет) келесі функционалды сипаттамаларға ие:

- L2 және L3 деңгейлеріндегі бағыттау функциялары;
- арналарды біріктіру;
- Ethernet, xDSL, TDM технологияларын қолдау;

- оптикалық қуатты басқару және OLT мен ONT арасындағы қашықтықты өлшеу;
- жолақты динамикалық орналастыру.



### 3.5 Сурет - OLT жабдықтарының пайда болуы:

а) BW-5004-OLT (кеңейтілген бағдарламалар желілері), б) SI3000 Pono (Искратель)

OLT қуаты әдетте кернеуі 48, 60 немесе 72 В болатын тікелей ток көзінен жеткізіледі. Кейбір модельдер 220 В айнымалы ток желісіне қосылуы немесе қажетті қуат кернеуі үшін кіріктірілген қуат блогымен (интерфейс тақтасы) жабдықталған.

### 3.4 ONU / ONT абоненттік жабдығы

PON желілеріндегі абоненттік құрылғылар OLT станция құрылғысымен оптикалық канал байланысын ұйымдастыруға және желілік қызметтерге (Интернетке қол жетімділік, VoIP, HD видео және т.б.) кең жолақты қол жетімділікті қамтамасыз етуге арналған.

– Қосылған абоненттер санына байланысты ONT терминалдарын бөлуге болады:

- көп пәтерлі үй немесе кеңсе пайдаланушыларын біріктіруге арналған көп пайдаланушы;
- бір пәтер немесе жеке үйдің абоненттерін қосуға арналған жалғыз пайдаланушы.

Терминалдар әдетте ғимарат ішінде көлденең бетке орналастырылады немесе қабырғаға орнатылады. Дегенмен, ашық аспан астында қолдануға арналған модельдер бар, бұл модельдер қосымша қорғаныс жабыны бар.

– Терминалдар функционалдылыққа, олардағы желілік интерфейстердің түріне және санына байланысты өзгереді. Қарапайым ONT модельдерінде тек бір GPON интерфейсі (оператордың желісіне қосылу үшін) және бір GE интерфейсі бар. Неғұрлым күрделі модельдерде келесі интерфейстердің тіркелімі болуы мүмкін:

- *10/100 Base-T жылдам Ethernet (әдетте 1-ден 4-ке дейін);*
- *Гигабит Ethernet (әдетте 1-ден 4-ке дейін);*
- *USB интерфейсі (дискіні қосу үшін);*
- *Wi-Fi модулі;*
- *CATV (теледидарды қосуға арналған RF қосқышы);*

- FXS (аналогтық телефон желілерін қосуға арналған қосқыш)
- (1-ден 4-ке дейін).



3.6 Сурет - ONT жабдықтарының пайда болуы:  
 а) echolife hg8242 (huawei), ә) nte-rg-1402gc-w (eltex)

Абоненттік терминалдар әдетте маршрутизатордың функцияларын орындайды, бұл жергілікті желінің жабдықтарын кең жолақты қол жеткізу желісіне қосуға мүмкіндік береді. Wi-Fi модулі арқылы терминал сымсыз кіру нүктесі бола алады. Деректер берумен және нақты дауыстық байланыспен қатар, пайдаланушылар күту, қоңырау шалушы абоненттің нөмірін анықтау және үш жақты конференциялық қоңыраулар, модемдік трафикті телефон арнасы арқылы IP арқылы беру және т.б. сияқты қызметтерді пайдаланушылар пайдалана алады.

Терминалдар қуат берілмеген жағдайда байланыс орнатуға арналған батареямен жабдықталуы мүмкін.

### 3.5 Пассивті жабдықтар

Пассивті жабдық жұмыс істеу үшін қуатты қажет етпейді. Заманауи пассивті желілік жабдықтар келесі түрлермен ұсынылған:

- кабель - коаксиалды, талшықты, бұралған жұп, телефондық;
- розеткалар мен қосқыштар - RG58, RJ45, RJ11, GG45;
- кабельдік арналар, қораптар;
- патч-панельдер, патчтар, шнурлар, муфталар, кресттер;
- телекоммуникациялық және монтаждық шкафтар мен тіректер;
- бөлгіштер;
- циркуляторлар.

#### 3.5.1 Оптикалық муфта

Магистралды және таратушы абоненттік қатынау желілеріне арналған заманауи муфталарда әртүрлі сыртқы диаметрлі кабельдерді енгізу / шығару

үшін бірнеше кабельдік қосылыстар, механикалық конструкцияның тығыздалған және берік пластикалық корпусы (тегіс немесе дөңгелек), дәнекерленген қосылыстарға арналған ыңғайлы сплит кассеталары болуы керек. Кабельдердің муфталарына температураның өзгеруіне, ылғалдың енуіне және басқа да сыртқы әсерлерге қарамастан сенімді түрде герметикалануы керек. Бронды қақпақтағы ұзартылған металл элементтері бар кабельдерді жалғауға арналған муфталарда олардың ішінде электр кабельдерінің электр элементтерін бір-біріне қосу үшін бұрандалы бекіткіштер болуы керек (3.7-сурет).



3.7 Сурет - МТОК-К6 / 108-1КТ3645-К оптикалық муфта түрі

### 3.5.2 Оптикалық тарату шкафы

Оптикалық тарату шкафы желінің негізгі және тарату бөлімдерін біріктіруге арналған және келесі функцияларды орындайды:

- магистральдық кабельдің оптикалық талшықтары;
- еден кабелінің оптикалық талшықтары;
- транзиттік кабельдің оптикалық талшықтары.

Оптикалық тарату шкафы ғимарат ішінде, негізінен шатырда немесе қол жетімділігі шектеулі басқа бөлмеде орнатылады.

### 3.5.3 Оптикалық тарату қорабы

Оптикалық тарату қорабы ішкі және абоненттік кабельдердің түйісетін талшықтарына арналған және келесі функцияларды орындайды:

- интерфейсті оптикалық талшықты кабель;
- абоненттік кабельді қосу.

Оптикалық тарату қорабы ғимараттар ішінде, негізінен қолданыстағы төмен кабельдік торларда орнатуға арналған.

### 3.5.4 Оптикалық сплиттер (сплиттер)

Сплиттер - бұл қуатты қажет етпейтін, кіріс және шығыс порттарының берілген саны бар пассивті оптикалық мультиөрістілік. Оның функциясы кіріс порттарына берілген оптикалық сәуле ағындарын шығыс порттарына қайта жіктеу болып табылады. Егер бірінші жағындағы порттардың саны-бір, ал

екінші жағында бірнеше порт болса, онда ол бірінші жағында бір ағынды бірнешеге бөледі, ал екінші жағында керісінше бірнеше ағындарды бір ағынға біріктіреді. Конфигурация бойынша оптикалық сплиттерді бөлуге болады: NxN (кіріс және шығыс порттарының саны бірдей) және 1xN (бір ағымды бірнеше порттарға бөлу). 1xN конфигурациясы бар сплиттерлер симметриялы (олардағы сәулелену барлық шығу порттары арасында біркелкі бөлінеді) және асимметриялық болып табылады, онда әр шығу портына белгілі бір пайыздық сәулелену қуаты бөлінеді.

Өндіріс технологиясына сәйкес сплиттерлер: балқытылған және жазықтық болып бөлінеді. Қорытпа сплиттер екі немесе одан да көп оптикалық талшықтарды балқыту арқылы жасалады. Жазықтық- кремний кристалында қалың қабатты технология бойынша жасалынған, олардың ұштарына оптикалық талшықтар бекітілген. Жазықтық сплиттер тұрақты және шығысында керекті сипаттамаларды дәл береді, портқа өшулікті аз береді және механикалық кедергілерге аз сезімтал болады. Оптикалық сплиттердің негізгі сипаттамалары 3.1 кестеде келтірілген.

3.1 Кесте – Оптикалық сплиттердің негізгі сипаттамалары

Параметрлер	Сипаттамалары				
Толқындардың жұмыс ұзындығы, нм	1260-1650				
Тармақталу коэффициенті	1x32	1x16	1x8	1x4	1x2
% Бөлу қатынасы	1,6	6,3	12,5	25	50
Әдеттегі кірістің жоғалуы, дБ	16,5	13,5	10,2	7,0	3,8
Кірістірудің максималды шығыны, дБ	17,2	13,9	10,7	7,4	4,2
Біркелкі емес, дБ	1,5	1,2	0,8	0,4	0,4
Қайтару шығыны, дБ	55				
Поляризация тәуелділігінің жоғалуы (PLD), дБ	0,3				
Бағыттылық, дБ	55				
Толқын ұзындығына байланысты жоғалу, дБ	0,3				
Температураның тұрақсыздығы (-400С ... + 750С), дБ	0,4				
Жұмыс температурасы, 0С	-40...+75				
Салыстырмалы ылғалдылық%	5...+95				

### 3.5.5 Циркулятор

Циркулятор - бұл радио жиіліктің және оптикалық диапазондардың электромагниттік толқындарының энергиясын бағытта таратуға арналған көпөрісті құрылғы: бірінші білек берілетін энергия екінші білекке, екіншіден үшіншіге және т.с.с., ең көп саны бар білектен біріншіге ауысады.

Ажыратқыш құрылғылар ретінде циркуляторлар қолданылады. Циркулятордың негізгі сипаттамалары: тікелей шығындар

$$A_{np} = P_{1+} / P_{2-} = P_{2+} / P_{3-} = P_{3+} / P_{1-}, \quad (3.1)$$



және кері шығындар (уақытша тоқтату):

$$A_{обp} = P_{1+} / P_{3-} = P_{2+} / P_{1-} = P_{3+} / P_{2-}, \quad (3.2)$$

Үш білекті циркуляторды қарастыратын болсақ (Ү-айналым), қосу белгісі циркуляторға енгізілген қуаттарға, ал минус белгісі шығыстағы қуаттарға жатады. Жұмыс жиілігінің диапазонында жақсы циркулятор келесідей параметрлерге ие: сәуір - 0,5 дБ;  $A_{об} \geq 30$  дБ.

Циркуляторлар радиодиапазондық және оптикалық (талшықты-оптикалық) болады. Өз кезегінде, радиодиапазондық циркуляторлар іс-әрекет қағидаларымен ерекшеленеді - ферриттік және электронды, сонымен қатар қосылған желілердің түріне қарай - толқынжолдық, коаксиалды және енгізілгіш микрожолдық.

Электрондық циркуляторлар кейбір белсенді фазалық жылжытқыштардың  $\pi$  радиандарында қайтымсыз фазалық ығысу жасау қабілетін пайдаланады. Мұндай циркуляторлар интегралды схемалардың немесе дискретті элементтерге - транзисторларға, диодтарға, резисторларға негізінде жасалады. Электрондық циркуляторлар бірнеше герцтен бірнеше ондаған мегагерцке дейінгі жиіліктерде қолданылады.

Феррит циркуляторының жұмыс принципі ферриттің ерекше магниттік өрістерінің тұрақты магниттік өріспен қозғалу кезінде пайда болатын ерекше қасиеттеріне негізделген. Циркуляторлардың бірнеше құрылымы бар.

Феррит циркуляторлары қуат көзін қажет етпейді және белсенділерге қарағанда айтарлықтай жоғары қуатта жұмыс істейді. Сондай-ақ, олардың жұмыс жиілігінің диапазоны жоғары. Сонымен қатар, төмен жиілікте олардың өлшемдері қолайсыз үлкен болуы мүмкін.

Оптикалық циркулятор - оптикалық байланыс желілерді тығыздатуға негізделген әмбебап құрал. Екі оптикалық сигналды әртүрлі бағытта беру бірдей толқын ұзындығымен жүзеге асырылады, бұл желіні тығыздау кезінде қолданыстағы екі талшықты «брендтелген» таратқыштарды пайдалануға мүмкіндік береді.

Оптикалық циркулятордың жұмысы оптикалық ортадағы жарықтың таралу ерекшелігіне негізделген: поляризацияның әртүрлі жазықтықтарында таралатын поляризацияланған жарық толқындары өзара әсерлеспейді. Бұл тұжырым бірдей ұзындықтағы жарық толқындарына да қатысты.

Телекоммуникация жүйелерінде қолданылатын оптикалық циркуляторда үш порт бар: 1 TX, 2 RX және 3 COM (3.8-сурет).



3.8 Сурет - Оптикалық циркулятор

Оптикалық айналымдағы сигнал 1-3 (TX-COM) және (3-2 COM-RX) бағыттар бойынша тарала алады, сонымен қатар 1 және 2 порттарды оқшаулануының жоғары деңгейі қамтамасыз етіледі. 1 TX және 2 RX порттарын ілмекке(loopback) жабу мүмкін, бұл іс кейінірек сипатталады.

Фарадей айналдырғыштары және сәулешағылыстырғыш кристалдар оптикалық циркуляцияторда поляризацияның әртүрлі жазықтықтар бойымен сәулеленуді жіктеу үшін қолданылады. Соңғысы оптикалық циркулятордың tx және rx порттары арасында оқшаулауды қамтамасыз етеді. Фарадей роторында сигналдың поляризация жазықтығы магнит өрісінің әсерінен айналады. Сәулешағылыстырғыш кристалдар сәулеленуді екіге бөледі, поляризацияның перпендикуляр жазықтықтарында жаңа сәулелер таралады.

Бір талшықты тығыздау үшін екі бірдей оптикалық циркулятор қолданылады, оның COM шығысында сигнал  $45^\circ$  -қа ауытқыған поляризация жазықтығында таралады. Екі оптикалық циркулятордың COM порттарын қосу кезінде поляризация жазықтықтарының айырмашылығы  $90^\circ$  болады. Оптикалық циркуляторлардың максималды экономикалық тиімділігіне деректерді беру жылдамдығы 10 Гб / с және одан жоғары арналарды тығыздау арқылы қол жеткізіледі, алайда кез-келген мәліметтерді беру протоколы арқылы мәліметтерді беруге болады.

Екі байланыс арнасын бір талшыққа тығыздау үшін екі беріліс терезесі бар оптикалық циркуляторлар қолданылады. Бұл құрылғыларда 1310 және 1550 нм жылдамдықтағы екі бірдейтерезелі циркулятор кең жолақты WDM фильтрі арқылы біріктірілген. Бір талшықтан деректерді беруді ұйымдастыру үшін екі бірдей циркулятор және 1310 және 1550 нм жұмыс толқын ұзындығы бар екі жұп стандартты қабылдағыш қажет.

## 4 WDM-PON гибриді желісін модельдеу

### 4.1 Модельдеу ортасын таңдау

Ірі қалалардың көптеген желілері он жыл ішінде жаңартылған жоқ. Трафиктің үнемі артуы кейбір аудандарда өсуге ешқандай ресурстар қалмайтындығына әкелді. Желінің өткізу қабілеттілігінің жеткіліксіздігі, сондай-ақ талшықты тозу деп те аталады, бұл байланыс операторлары тез арада шешуді қалайтын мәселе. Спектральды қысу жүйесін қосу оптикалық көлік жүйесіне талшықтардың таусылуы (жетіспеушілігі) мәселенің қарапайым және үнемді шешімі болып табылады. Қолданыстағы оптикалық талшыққа қосымша абоненттерге қызмет көрсетуді үзбестен қызмет көрсетуге болады.

Қазіргі ғылыми практикада ғылыми білімнің маңызды әдісі модельдеу болып табылады, онда зерттелетін нақты объект модельге ауыстырылады. Бұл әдістің мақсаты эксперимент жүргізу және модельденген жүйеде зерттелетін процестердің мінез-құлқын болжау болып табылады.

Модельдеу процесінің негізгі екі түрі бар: физикалық және математикалық модельдеу.

Физикалық модельдеу зерттеу жүйесінің өзін модель ретінде қолдануды немесе оны басқа жүйеге ауыстыруды, бірақ физикалық табиғаты бірдей немесе ұқсас болуды білдіреді. Бұл жүйенің кемшіліктері - бұл өте күшті шектеулер, өйткені физикалық модельдеу жүйесі зерттелетін параметрлердің аздығымен мәселелердің белгілі бір түрлерін шешуге мүмкіндік береді. Бұл үлкен күрделілікке, сонымен қатар уақыт пен материалдық шығындарға байланысты, бұл кейде экспериментті экономикалық тұрғыдан тиімсіз етеді. Оның үстіне физикалық модельдеу жүргізу кейбір салаларда адам денсаулығына немесе табиғатқа зиян келтіру қаупі немесе физикалық мүмкін емес эксперимент нәтижесінде мүмкін емес міндетке айналады.

Математикалық модельдеу – өте тиімді әдіс. Оның көмегімен теориялық процестерді тәжірибелікпен біріктіруге мүмкіндік туды. Математикалық модель дегеніміз - жүйенің параметрлерін, кіріс сигналдарын, бастапқы шарттары мен уақытына байланысты өзгеру процесін анықтайтын әртүрлі қатынастар жиынтығы.

Математикалық модельдеу өз кезегінде қазіргі кезде кеңінен қолданылатын екі түрге бөлінеді: аналитикалық және компьютерлік.

Аналитикалық модельдеу әдісінде жүйелік элементтердің жұмыс істейтін процестері нақты шешімдер алуға мүмкіндік беретін математикалық қатынастар немесе логикалық жағдайлар түрінде жазылады. Аналитикалық модельдеуді қолдану кезінде әр түрлі теңдеулерді шешу кезінде теориялық нәтижелер алынады, содан кейін олар практикада алынған нәтижелермен салыстырылады. Бұл әдістің артықшылықтары үлкен жалпылау қуатын және бірнеше рет қолдануды қамтиды, алайда жүйенің жалпы қасиеттерін алу үшін бастапқы модельді жеңілдету қажет. Осыған байланысты бұл әдіс қарапайым

жүйелер үшін ғана қолданылады және күрделі есептерді шешуде қолданылмайды.

Компьютерлік модельдеуде зерттелетін жүйенің моделі - бұл компьютерлік бағдарлама, онымен есептеуді жүргізуге мүмкіндік береді. Белгілі бір математикалық аппаратты қолдану негізінде компьютерлік модельдеу өзара байланысты үш түрге бөлінеді: статистикалық, сандық, имитациялық.

Сандық әдіспен үлгіні құру үшін есептеу математикасы қолданылады, ал эксперимент берілген бастапқы шарттар мен параметрлер үшін математикалық теңдеулерді шешуден тұрады.

Статистикалық модельдеу - модуляцияланған жүйеде жүретін процестер туралы статистикалық мәліметтерді алуға мүмкіндік беретін модельдеу түрі.

Имитациялық модель - басқа модельдеу жүйелеріне қарағанда күрделі мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін ең көп қолданылатын әдіс. Имитациялық модель - зерттелетін объектіні жобалау, талдау және бағалау кезінде эксперимент жүргізу үшін пайдаланылатын объектінің логикалық-математикалық сипаттамасы. Бұл әдіспен физикалық объект тәжірибе жүргізілетін нақты жүйені нақты сипаттайтын модельмен алмастырылады. Бұл жүйеге әртүрлі кездейсоқ факторлар мен әсерлерді орнатуға және ескеруге мүмкіндік береді.

Компьютерлік модельдеу ғылыми және практикалық зерттеулердің қазіргі кезеңдерінің ажырамас бөлігі болып табылады. Қазіргі уақытта онсыз күрделі ғылыми мәселелерді шешу мүмкін емес.

Бұл әдіс әр түрлі тапсырмаларды әзірлеуге және тестілеуге, оларға эксперимент жүргізуге айтарлықтай жеңілдетеді. Бұл нақты жүйені құруға емес, оны бастапқы модельдерді, уақытты қайта-қайта өзгертуге, көптеген түрлі сынақтар жүргізуге және белгілі бір статистикалық мәліметтерді сандық немесе графикалық түрде жинауға мүмкіндік беретін имитациялық моделімен алмастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, компьютерлік модельдеудің көптеген артықшылықтары бар, мысалы, физикалық аналогы қол жетімді емес, іске асыру қиын және экономикалық тұрғыдан тиімсіз жүйелерді, сонымен қатар нақты үлгілерді модельдеу адам өмірі мен қоршаған ортаға қауіпті болуы мүмкін. Сонымен қатар, үлгіні толық көлемде шығармай оңтайлы параметрлерді табу үшін әртүрлі сипаттағы объектілерді, соның ішінде дерексіз немесе дамып жатқан объектілерді зерттеуге және бейнелеуге болады. Бұл әдіс барлық ғылыми салаларда қолданылады. Бұл артықшылықтар компьютерлік модельдеуді қазіргі заманғы күрделі жүйелер мен тапсырмаларды құруда, зерттеуде және жасауда негізгі құрал етеді, бұл экономикалық тиімділікті қамтамасыз етеді.

Бүгінгі таңда компоненттерді, коммуникацияларды, жүйелер мен желілерді жобалау, модельдеу және оңтайландыру үшін, фотоника, оптоэлектроника және әртүрлі фотоникалық бағдарламалар саласындағы қарқынды дамып келе жатқан бағдарламалар үшін қолданылатын, бағдарламалық жасақтама нарығында дамуды, тестілеуді және жылдам әрі дәл

жүргізуге мүмкіндік беретін көптеген құралдар бар. Жұмыста Optisystem V.13 бағдарламасы қолданылады.

OptiSystem - бұл пайдаланушыларға оптикалық желінің кез-келген түрін кез-келген оптикалық желінің физикалық деңгейінде, аналогты видео тарату жүйесінен құрлықаралық магистральдарға дейінгі жоспарлау, сынақтан өткізуге және модельдеуге мүмкіндік беретін инновациялық кешенді бағдарламалық пакет, сонымен қатар оны жоспарлау және іске асыру үшін бүкіл әлемдегі телекоммуникациялық компаниялар қолдана алады. толық оптикалық желі, арзан және уақытты үнемдейтін тәсіл, зерттеушілер оны тиімді жұмыс істеу үшін қолдана алады. OptiSystem - бұл басқа модельдеу схемаларына сүйенбейтін жеке өнім. Оның мүмкіндіктері арнайы компоненттерді қосу арқылы оңай кеңейтіліп, көптеген құралдармен оңай өзара әрекеттесе алады. OptiSystem құрамында 200-ден астам оптикалық дизайн үлгілерінің кең кітапханасы бар, оларды оптикалық дизайн жобалары немесе жаттығулар мен көрсетулер үшін шаблон ретінде пайдалануға болады.

Жүйенің артықшылықтары:

- прототип құру тез және арзан;
- жүйенің жұмысы туралы жалпы түсінік;
- жүйелік сипаттамалардың кең жиынтығына тікелей қол жетімділік;
- автоматты сканерлеу және параметрлерді оңтайландыру;
- төзімділіктің техникалық сипаттамаларына әсер ететін параметрлердің сезімталдығын бағалау;
- инвестициялық тәуекелдердің және нарыққа шығу уақытының күрт төмендеуі ;
- әлеуетті тұтынушыларға ұсыну үшін дизайн нұсқалары мен сценарийлерінің визуалды бейнесі

OptiSystem физикалық деңгейде кез-келген оптикалық желінің дизайнын автоматтандыруға, сондай-ақ қалааралық жүйелерден қалалық компьютерлік желілерге (MAN) және жергілікті желілерге (LAN) дейінгі оптикалық желілердің кең спектрін талдауға мүмкіндік береді.

OptiSystem қосымшаларының кең спектрі мыналарды қамтиды:

- физикалық деңгейде компоненттен жүйелік деңгейге дейінгі оптикалық байланыс жүйесін жобалау;
- CATV немесе TDM / WDM желісін жобалау;
- пассивті оптикалық желілерге арналған FTTx технологиясы (PON);
- бос ғарыш жүйелері (FSO);
- радиотолқындарды (ROF) қолданатын жүйелер;
- SONET / SDH сақиналарының дизайны;
- таратқыштың, каналдың, күшейткіштің және қабылдағыштың құрылымы;
- дисперсиялық картаны жобалау;
- түрлі қабылдағыш модельдерімен BER және жүйелік айыппұлдарды бағалау
- Жетілдірілген BER жүйесі және бюджеттік желілік есептеулер

## 4.2 OptiSystem интерфейсінің негізгі ерекшеліктері

Компоненттер кітапханасы. Толық тиімді болу үшін компонентті модульдер нақты құрылғының нақты іс-әрекетін және белгілі бір эффектілерді таңдалған дәлдік пен тиімділікке сай жаңғырта алуы керек. OptiSystem компоненттерінің кітапханасында жүздеген компоненттер бар, олардың барлығы нақты әлемдегі қосымшалармен салыстыруға болатын нәтижелер беру үшін қатаң тексерілген.

Өлшенетін компоненттер. OptiSystem компоненттерінің кітапханасы нақты құрылғыларда өлшене алатын параметрлерді енгізуге мүмкіндік береді. Ол әртүрлі өндірушілердің сынақ және өлшеу жабдықтарымен біріктірілген.

Optiwave бағдарламасының құралдарымен интеграциясы

OptiSystem компоненттер деңгейінде интегралды және талшықты оптикаға арналған Optiwave арнайы бағдарламалық құралдарын пайдалануға мүмкіндік береді: OptiAmplifier, OptiBPM, OptiGrating, WDM\_Phase, OptiFiber және OptiSPICE.

Аралас сигнал беру. OptiSystem компоненттік кітапханада оптикалық және электрлік сигналдар үшін аралас сигнал форматтарын өңдейді. OptiSystem қажетті сигналды дәлдік пен тиімділікке қатысты тиісті алгоритмдерді қолдана отырып, сигналдарды есептейді.

Сапа және өнімділік алгоритмдері. Жүйенің жұмысын болжау үшін OptiSystem сандық талдау немесе жартылай аналитикалық әдістерді қолдана отырып символаралық кедергілері мен шуымен шектелген жүйелер үшін BER және Q-Factor сияқты параметрлерді есептейді.

Елестетудің кеңейтілген құралдары. Елестетудің жетілдірілген құралдары OSA спектрлерін, сигналдар күрсінистерін, көз диаграммаларын, поляризация күйлерін, шоқжұлдыз диаграммаларын және басқаларын жасайды. Сонымен қатар WDM-дің анализдері, сигналдың беріктігін, өсуін, шуыл мөлшерін және арнаға шу коэффициентін (OSNR) көрсететін құралдары бар.

Деректер мониторлары. Жүйе модельдеу аяқталғаннан кейін деректерді сақтау және мониторларды бекіту үшін компоненттер порттарын таңдауға мүмкіндік береді. Бұл модельдеуден кейін деректерді қайта есептеместен өңдеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, дәл сол порттағы мониторға визуализаторлардың еркін санын қосуға болады.

Шағын жүйелермен иерархиялық модельдеу. Бағдарлама симуляторы икемді және тиімді болуы үшін әр түрлі абстракция деңгейлерінде, оның ішінде жүйелік деңгейлерде, ішкі жүйелерде және компоненттерде модельдерді көрсету қажет. OptiSystem құрамдас бөліктер мен жүйелердің нақты иерархиялық анықтамасына ие, бұл сізге компоненттер деңгейінде интегралды және талшықты оптика үшін арнайы бағдарламалық құралдарды қолдануға және оларды қажетті дәлдікке сәйкес егжей-тегжейлі модельдеуге мүмкіндік береді

Қолданушылық компоненттер. Жүйе ішкі жүйелер мен пайдаланушылар кітапханаларына негізделген жаңа компоненттерді қосуға немесе үшінші тараптың MATLAB немесе Simulink сияқты құралын қолданып бірлескен модельдеуді қолдануға мүмкіндік береді.

Сценарийлердің күшті тілі. Бағдарламаның симуляторы параметрлерге арифметикалық өрнектерді енгізуге және стандартты Visual Basic сценарий тілін қолдана отырып, компоненттер мен ішкі жүйелер арасында бөлісуге болатын ғаламдық параметрлер жасауға мүмкіндік береді. Сценарий тілі сонымен қатар сценарий бетін пайдаланып есептеулерді, орналасуды және кейінгі өңдеуді қоса OptiSystem-ны басқарып, бақылай алады.

Деректер ағынын заманауи есептеу. Есептеуді жоспарлаушы модельдеуді басқарады, компоненттер модулдерінің орындалу тәртібін таңдалған мәліметтер ағымына сәйкес анықтайды. Берілу қабатын модельдеуге бағытталған мәліметтер ағынының негізгі моделі - бұл компоненттердің итерация мәліметтері (CIDF). CIDF домені уақытты жоспарлауды, қолдау жағдайларын, деректерге тәуелді итерацияны және шынайы рекурсияны қолданады.

Көптеген жобалар. Сіздің жобаларыңызды тез және тиімді құруға және өзгертуге мүмкіндік беретін бірдей жобалық файлды қолдана отырып, жеткілікті мөлшерде жобаларды жасауға болады. Әр OptiSystem жобалық файлында көптеген дизайн нұсқалары болуы мүмкін. Дизайн нұсқалары дербес есептеледі және өзгертіледі, бірақ есептеу нәтижелерін әртүрлі нұсқаларда біріктіруге болады, бұл сізге жобаларды салыстыруға мүмкіндік береді.

Есеп парағы. Толық теңшелетін есеп парағы жобада қол жетімді параметрлер мен нәтижелер жиынтығын көрсетуге мүмкіндік береді. Жасалған есептер қайта өңделетін және тасымалданатын кестелерге, мәтінге, 2D және 3D графикаларға ұйымдастырылады. Оған алдын-ала форматталған есептер схемасымен экспорт және HTML шаблондары да енеді.

Параметрлерді өзгерту және оңтайландыру. Модельдеуді бірнеше рет өзгерту арқылы қайталауға болады. OptiSystem кез-келген нәтижені азайту немесе ұлғайту үшін кез-келген параметрді оңтайландырады немесе мақсатты нәтижелерді іздей алады. Бірнеше параметрлерді және көптеген оңтайландыруларды біріктіруге болады.

OptiPerformer. Жүйенің кез-келген топологиясы мен компоненттерін сипаттау сценарийі үшін толық OptiSystem жобасы шифрланып, OptiPerformer-ге экспортталады. Содан кейін OptiPerformer пайдаланушылары спецификациялардың белгілі бір диапазонындағы кез-келген параметрді өзгерте алады және егжей-тегжейлі графиктер мен есептерді қолдана отырып, жүйенің нәтижесін бақылайды.

Материалдың жіктелуі. OptiSystem жүйесі, орналасуы немесе компоненті бойынша сұрыпталған жобаланған жүйеге шығындарды талдау кестесін ұсынады. Шығындар туралы мәліметтерді басқа қолданбаларға немесе электрондық кестелерге экспорттауға болады.

### 4.3 Модельдеуге арналған алғашқы мәліметтер

Қатынау желілеріндегі бірадрестық және мультиадрестық мүмкіндіктер қауіпсіздікті дамытудың басты міндеті болып табылады. Үш жақты ойнату қызметін (дауыстық деректер бейнесі) жеткізу қазіргі заманғы қол жеткізу желілерінің қажеттілігіне айналды. Алайда HDTV (айқындығы жоғары теледидар) және VoD (сұраныс бойынша бейне) сияқты жаңа қызметтер қазіргі кездегі инфрақұрылымда жүзеге асырылуы қиын болатын жоғары тасымалдау қабілеттерін қажет етеді.

Оптикалық рұқсат желілері - олардың өткізу қабілеті шексіздігімен тарату диапазонының жоғарылығына байланысты тамаша шешім. Үнемділік - мұндай желілерді жобалаудағы маңызды параметрлердің бірі, сондықтан капиталды және пайдалану шығындарын азайту үшін қымбат жабдықты бірлесіп пайдалану өте маңызды. Сонымен қатар, инфрақұрылым мен жабдықты асыра бағаламау үшін өткізу қабілетін басқаруды қарастырған жөн.

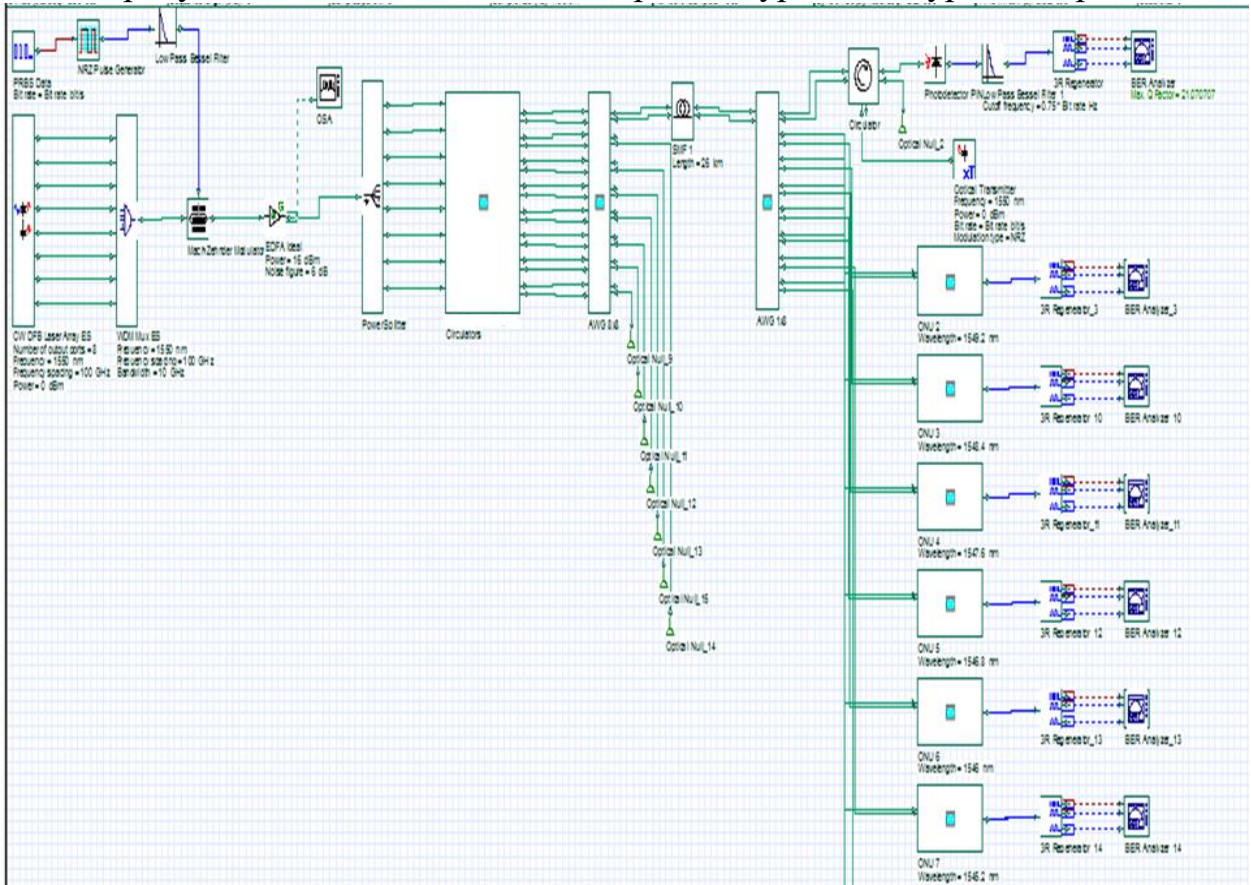
Диссертация пассивті оптикалық желіні модельдеуге негізделген.

Сонымен бірге, мультикасттық және бірыңғай трафикті алмасу орталығы (OLT) пайдаланушылық жабдыққа (оптикалық желі блогы - ONU) қосу үшін пайдаланылатын толқын ұзындығының торларының бос спектрлік диапазонының (FSR) жиілігін қолдана отырып, толқын ұзындығына көбейтілген. Жабдықты тиімді бөлісу үшін AWG екі кезеңі қолданылады. Сондай-ақ, ONU-дің құны талап етілетін құрылғылардың көптігімен және олардың әр түпкі пайдаланушы үшін арнайы құрылғы болғандықтан өте маңызды. Сондықтан, рефлекторлы модуляторды қолдана отырып, WDM-нің қарапайымдылығы мен ашықтығына негізделген дизайн ұсынылған. Бұл топологияның негізгі жаңалықтары - мәліметтерді мультикасттық тарату үшін пайдалану және OLT-де орналасқан лазерлі стек-лайнды стандарты TDM негізіндегі ONU-ге беру үшін. Сонымен қатар, көп деңгейлі таратқыштарды бөлісу үшін AWG мультиплексорларының екі деңгейін қолдана отырып, ұсынылған бағыттау әдісін қолдану жетілдірілген.



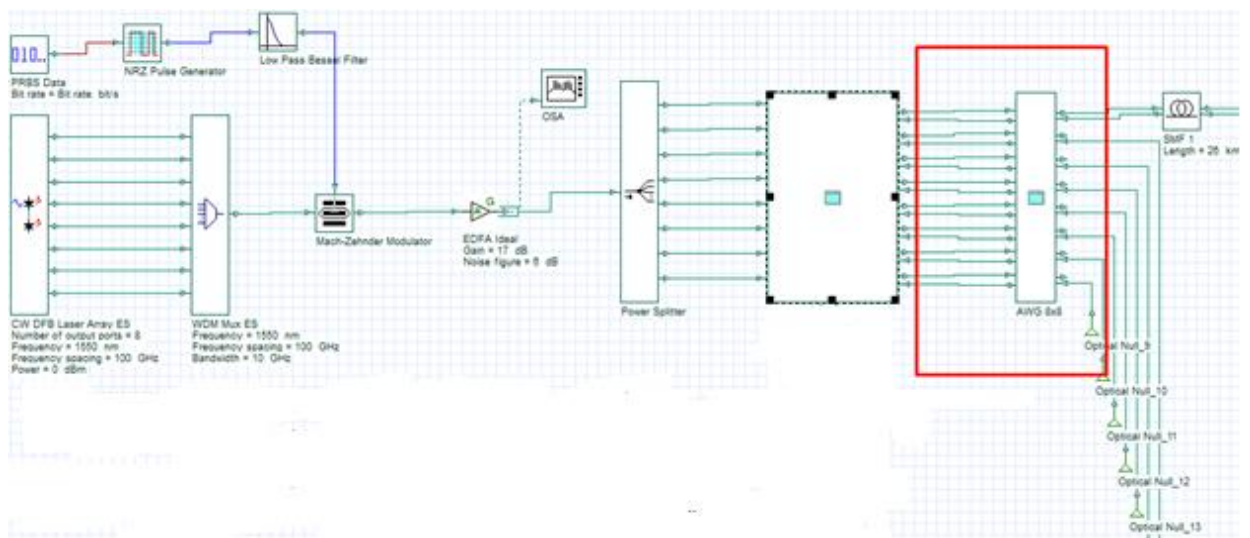
## 4.4 Желінің архитектурасы

Optisystem модельдеген желінің архитектурасы 4.1 суретте көрсетілген.



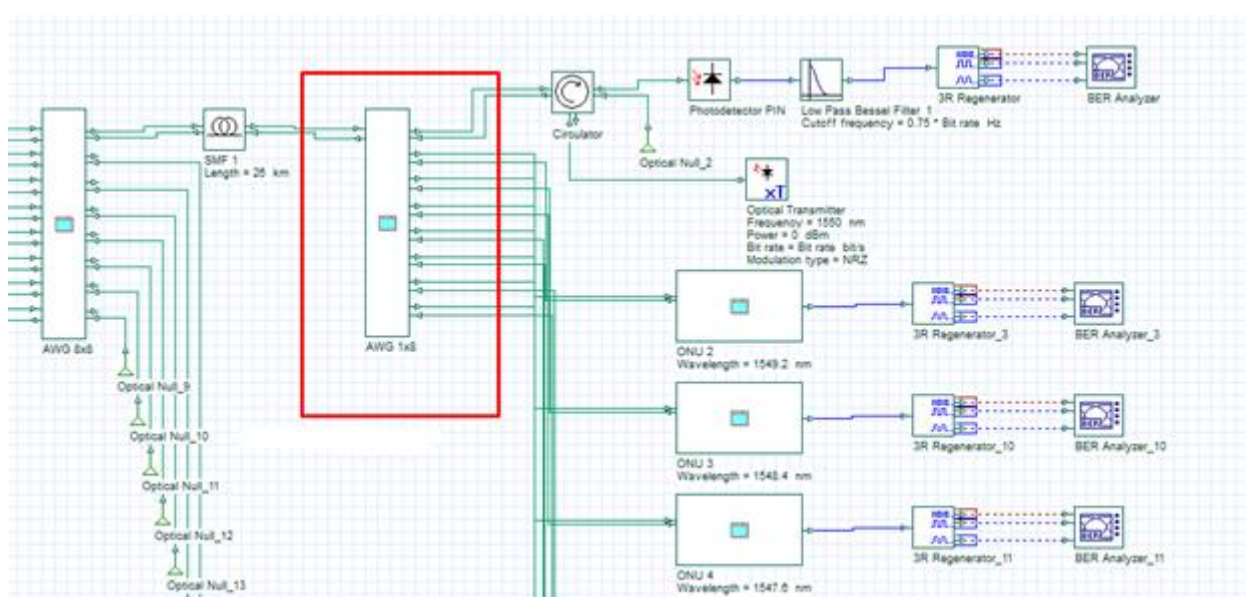
4.1 Сурет - Желінің архитектурасы

Ол екі деңгейлі AWG мультиплексорларын қолдануға негізделген. Бірінші деңгей -  $N \times N$  AWG мультиплексоры (сурет 4.2), ол оптикалық таратушы жабдықты  $N$  қашықтағы түйіндерге қосады.



## 4.2 Сурет - Бірінші деңгейлі AWG мультиплексоры

Бұл қашықтағы тораптар бастапқы өткізу жолағын және іргелес AWG FSR көмегімен шығыс порттардың әрқайсысына  $2 \dots N$  толқын ұзындығын беретін  $1 \times N$  болады. ONU-да екі қабылдағыш бар. Multicast қабылдағышы қарапайым фотоқабылдағыш болып табылады. Бірыңғай қабылдағыш сонымен бірге ағынды деректерді модульдей алады. OLT-дан жіберілген тасымалдаушыны қашықтан модуляциялай алатын кез-келген құрылғы шағылысатын жартылай өткізгіш күшейткіш (RSOA) ретінде қолдануға жарамды. ONU-да жарық генерациясы болмағандықтан, олар толқын ұзындығына тәуелсіз. Алайда, өзгертілмеген оптикалық тасымалдаушыны OLT-ден жіберу керек. AWG мультиплексоры бар екінші деңгей 4.3 суретте көрсетілген.



## 4.3 Сурет - AWG екінші деңгейлі мультиплексор

OLT оптикалық көздері - бұл арнайы лазер жиынтығы және стационарлық лазер жиынтығы. Реттелетін лазер жиынтығы бірыңғай таратуды жүзеге асырады және  $N$  қашықтан басқарылатын түйіндердің біріне қосылған  $N$  ONU арасында TDM негізінде бөлінеді. Бұл сәулет өткізу қабілетін динамикалық түрде бөлуге мүмкіндік береді, өйткені уақыт интервалдарын берілу қажеттілігіне байланысты динамикалық түрде бөлуге болады. Бекітілген лазер пакеті  $NW$  толқын ұзындығы бар бағыттаушы кестеге сәйкес келетін, бірақ негізгі өткізу жолағын пайдаланбайтын  $N$  лазерлерінен тұрады.

Іргелес FSR. Оптикалық көздер бір модулятор арқылы қосылады және модуляцияланады, содан кейін орталық AWG  $N \times N$   $N$  кіріс портына бөлінеді. Модулятордан кейін оптикалық пайда қажет. Бұл архитектура әр лазерді  $N$  коэффициентімен бөліседі. Әрбір жеке лазер  $N$  TDM пайдаланушыларына

қызмет етеді, ал N лазерлері көпкестті лазерлер қатарынан NxN пайдаланушылары қосыла алатын бүкіл желіге қызмет етеді.

#### 4.5 TDM және WDM PON шешімдерімен салыстыру

Таза TDM және таза WDM PON тәсілдерінің арасындағы үлгіленген желілік ымыралар. Айта кету керек, логикалық шығындарды салыстыру біздің желімізді N TDM немесе N PON WDM-мен салыстыру болып табылады.

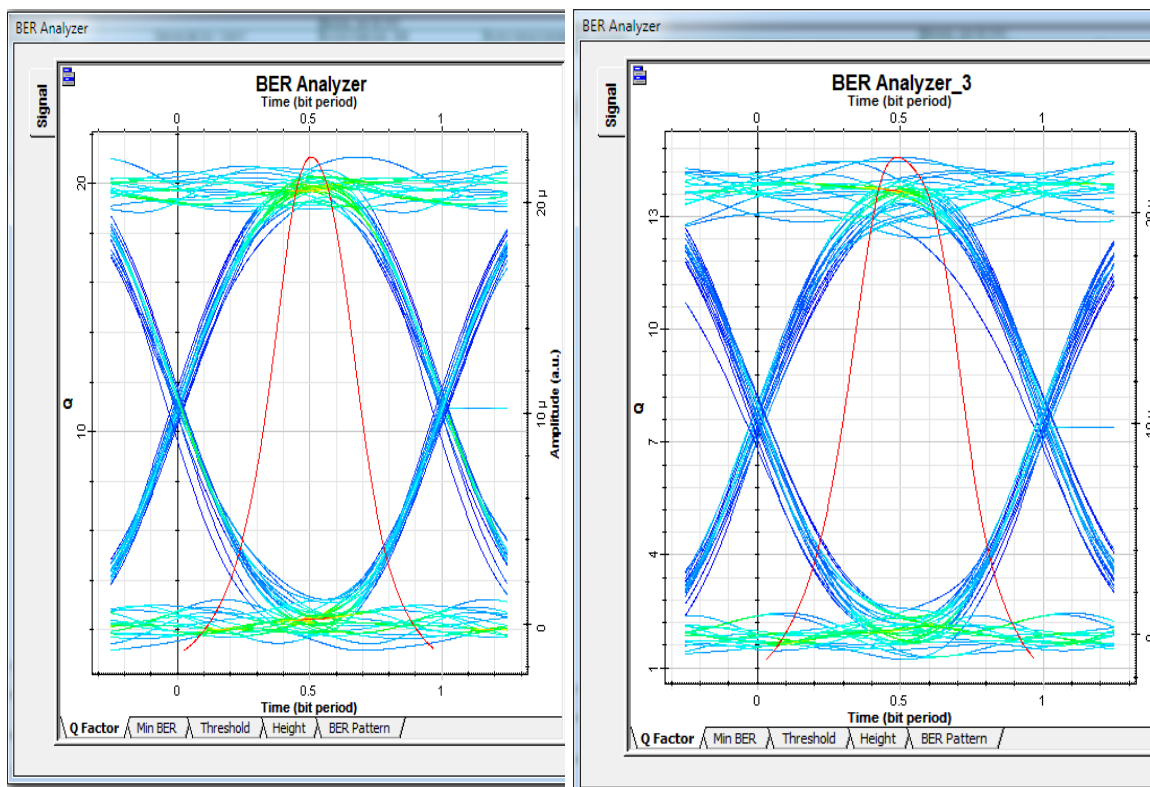
Ұсынылған топологияның маңызды артықшылығы - қауіпсіздік. Әрбір ONU бір және бөлінген толқын ұзындығын алатындықтан, қалған ONU екінші ONU мен OLT арасындағы байланысқа қол жеткізе алмайды. PON TDM-де мұндай жағдай болмайды, өйткені бұл желілерде ONU-лар хабар тарататын арнаны тыңдап, барлық басқа ONU-ға жіберілетіні туралы ақпарат алады.

Желінің жұмысына келетін болсақ, біріншіден айта кету керек, таза WDM PON-да әр ONU-дің OLT арасында тұрақты ұсынылған-нүктелік байланыс бар, ұсынылған гибриді желі мен TDM PON-да, трансмиссиялық ресурстар ортақ жақын пайдаланушылар. Осылайша, желінің ең жақсы жұмысын қамтамасыз ететін желілік шешім - бұл барлық WU шешімдері, онда әр ONU үшін арнайы лазер бар. TDM таза шешімін гибридік желімен салыстыру кезінде желінің өнімділігі негізінен әрбір ONU-ға уақыт аралықтарын тағайындау үшін таңдалған логикалық протоколға байланысты екенін ескерген жөн. Бұл протоколды орындау біздің ұсынылған желілік топологияда әлдеқайда қарапайым, өйткені алгоритм OLT-де іске қосылуы керек. ONU протокол үшін толығымен ашық. Ұсынылған топологияның тағы бір артықшылығы - өткізу қабілеттілігін кеңейту. Желінің жұмысын жақсарту үшін біз лазерлерді оңай қосуға болады, ал таза TDM PON-да беру үшін тек бір лазер қолданылады. Осылайша, TDM PON-да әр пайдаланушы үшін өткізу қабілеттілігінің теориялық мәні -  $BW / N$ , біздің ұсынылған желімізде -  $L = BW / N$ , мұндағы L - бір желі сегментіне бөлінген лазерлердің саны. Сонымен қатар, біздің гибридік топологиямыз үшін ресурстарды динамикалық түрде бөлу тиімдірек, өйткені біз желінің нақты сегментіне қосылған ONU үшін кең уақыт аралықтарын тағайындау арқылы пайдаланушының қажеттіліктеріне байланысты өткізу қабілеттілігін нақты желілік сегменттерге бағыттай аламыз. Бұл түсінік географиялық динамикалық өткізу қабілетін бөлу деп аталады. Сонымен, шығындар туралы айтатын болсақ, TDM-тің таза әдісі тиімді болып табылады. Екінші жағынан, WDM әдісі ең қымбат, өйткені әрбір ONU үшін бір лазер қажет. Сонымен қатар, сыртқы қондырғыда орналасқан WDM жабдығы оптикалық сплиттерге қарағанда қымбатырақ. Ұсынылған шешім - шығындар тұрғысынан TDM және WDM арасындағы аралық нүкте. Сыртқы жағынан, топология WDM PON-ға ұқсас, бірақ OLT жағында әр ONU үшін бір лазердің қажеті жоқ. Рас, біз беру үшін реттелетін лазерлердің бағасы тіркелген WDM лазерлеріне қарағанда жоғары, бірақ екінші жағынан бізге қажет құрылғылар саны әлдеқайда аз. Қорытындылай келе, N PON WDM және TDM-мен

салыстырғанда, ұсынылған топологияның келесі артықшылықтары бар: PON TDM-тен гөрі қауіпсіз, масштабталатын және икемді, бұл сонымен қатар желінің жоғары өнімділігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, бұл WDM PON-ны іске асырудан гөрі арзан, бірақ ол жақсы беріліс мүмкіндіктерін ұсынады. Сонымен, ол сонымен қатар өткізу қабілетін географиялық динамикалық бөлудің жаңалығымен ерекшеленеді.

#### 4.6 Модельдеу нәтижелері

Берілген сигналдың сапасы мен желілік топологияны модельдеудің дұрыстығын тексеру үшін, соңғы пайдаланушының жағында сигналдың көз диаграммасы келтірілген (4.4-сурет).



4.4 Сурет - Сигналдың соңғы тұтынушы жағындағы көздің диаграммасы

## ҚОРЫТЫНДЫ

Магистрлік диссертацияның бірінші бөлігінде кеңжолақты қол жеткізу желілерінде, желілік топологияда, PON желісінің құрылымында абоненттерге көрсетілетін қызметтерге қойылатын талаптар қаралды, пассивті оптикалық желінің сенімділігі бағаланды. Зерттеу көрсеткендей, PON технологиясын қолдану арқылы салынған желілер масштабтауға және жетілдіруге ең перспективті және ыңғайлы.

Диссертацияның екінші бөлімінде бір талшықты құрылымды пайдалану тиімділігін және оптикалық мультиплексорлар мен демультимплексорлардың параметрлерін, сондай-ақ оптикалық талшықтардың параметрлерін арттыруға мүмкіндік беретін WDM оптикалық мультиплекстеу технологиялары қарастырылған. жаңа TDM және WDM PON негізінде гибридік желінің математикалық моделі ұсынылды.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Р.Р. Убайдуллаев. Талшықты-оптикалық желілер. ЭКО-ТРЕНДЗ, Мәскеу, 1998.
2. Былина М.С., Глаголев С.Ф., Кочановский Л.Н., Пискунов В.В. Талшықты-оптикалық сызықтық тракттың параметрлерін өлшеу: Оқу құралы/СПб ГУТ.-СПб, 2002.
3. Курицын С. А. Телекоммуникациялық тарату жүйелерін құру негіздері: Оқу құралы. 2004.
4. Алексеев Е.Б. Оптикалық рұқсат желілері. Оқу құралы - МТУ СИ, 2005.
5. Матюхин А. Ю., Курицын С. А. Көп арналы тарату жүйелері: Оқу құралы/СПб ГУТ. – СПб, 2013.
6. Андрэ Жирар. WDM жүйелерінің технологиясы және тестілеу жөніндегі нұсқаулық. / Андрэ Жирар– М.: EXFO, 2001.
7. Аснис Л.Н. Оптикалық байланыс үшін спектрлік мультиплекстеу технологиялары: Оқу құралы / Л.Н.Лисин, И.Ю. Денисюк – СПб; СПбГУ ИТМО, 2008.
8. Талшықты-оптикалық технология: Қазіргі жағдайы және болашағы. – Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. – М.: ООО «Талшықты-оптикалық технология», 2005.
9. Былина М.С. «Талшықты-оптикалық байланыс желілері» пәні бойынша дәріс конспектілері»
10. Наний О.Е. Спектрлік мультиплексті тарату арналары технологиясының негіздері (WDM). / LIGHTWAVE Russian edition №2 2004. – 47- 54 бет.
11. Слепов Н. WDM жүйелерінің оптикалық мультиплексорлары және демультимплексорлары / Н.Слепов – ЭЛЕКТРОНИКА: Ғылым, Технология, Бизнес 8/2004.
12. Слепов Н. Қазіргі WDM технологиясының ерекшеліктері / Н.Слепов – ЭЛЕКТРОНИКА:Ғылым, Технология, Бизнес 6/2004.
13. Савин Е.З. Талшықты-оптикалық кабельдер және пассивті компоненттер : Оқу құралы. — ФГБОУ «Теміржол көлігіндегі білім беру орталығы», 2012.
14. Эяль Шрага. GPON: СТАНДАРТЫ GIGABIT PON// LIGHTWAVE Russia Edition 2006 №1 36-40 б.
15. Хакімжанов Т.Е. Еңбек қорғау. Жоғары оқу орындары үшін оқу құралы. – Алматы «Эверо», 2008. 78-81б.
16. Алексеев Е.Б. «Основы проектирования и технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи». Учебное пособие, ИПК МТУСИ, ООО «Оргсервис-2000», М., 2004.
17. Рекомендация МСЭ-Т G.984.1. Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): General characteristics.

18. Долотов Д.В. Оптические технологии в сетях доступа, «Технологии и средства связи», спецвыпуск «Системы абонентского доступа», 2004.
19. ФТТх: Где оптимальное место для «х» // Журнал «Сети и системы связи» № 9, сентябрь 2008
20. Косивцов П. Поведение IP-трафика в сетях NGN.- Москва. Журнал «Технологии и средства связи». №5 2009
21. Лихачев Н. Мультисервисные сети и технология IPTV//Connect. - №3–2007. – 52-55 б.
22. Гроднев И.И., Мурадян А.Г., Шарафутдинов Р.М. и др. «Волоконно-оптические системы передачи и кабели». Справочник, «Радио и связь», М., 1993.
23. Алексеев Е.Б., Скляр О.К., Устинов С.А. Оптические сети операторов связи DWDM и CWDM в России, «Технологии и средства связи», 2004, № 2.
24. Тюхтин М.Ф. Системы интернет – телевидения. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2008. – 320 б.
25. F. El-Nahal and A. Husein, —Bidirectional WDM-PON architecture using a reflective filter and cyclic AWG|| Optik – Int. J. Light Electron Opt., Vol. 122, Issue 19, pp. 1776-1778, October 2011.
26. C. Arellano, C. Bock, and J. Prat, "RSOA-based Optical Network Units for WDM-PON," in Optical Society , America, pp. 1-3, 2005.
27. J. Yu, B. Kim, N. Kim, —Wavelength Re-use Scheme with Reflective SOA for WDM-PON Link," Vol. 3, pp. 1704 – 1710, 2008.
28. L.Y. Chan, C.K. Chan, D.T.K Tong, E Tong and L.K. Chen, —Upstream traffic transmitter using injection-locked Fabry-Perot laser diode as modulator for WDM access networks,|| electronics letters , Vol. 38 No. I, 3rd January 2002.
29. Z. Xu, Y. Wen, C. Chae, Y. Wang, and C. Lu, —10 Gb/s WDM-PON Upstream Transmission Using Injection-locked Fabry-Perot Laser Diodes,|| in Lightwave Department, Institute for Infocomm Research, Singapore 119613, 2006.
30. E. Wong, "Next-Generation Broadband Access Networks and Technologies," Journal of lightwave technology VOL. 30, NO. 4, February 15, 2012.
31. Dragone, \_\_A NxN optical multiplexer using a planar arrangement of two star couplers,“ IEEE Photon. Technol. Lett., vol.3, pp812–815, 1991.
32. M. Cen, \_\_Study on Supervision of Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network systems, “ Master of Science Thesis, KTH information and communication technology, pp9-10, 2011.
33. N. Frigo, \_\_A Survey of Fiber Optics in Local Access Architectures,“ in Optical Fiber Telecommunications, IIIA, edited by I.P. Kaminow and T.L. Koch, Academic Press, pp461–522, 1997.
34. H. Dutton, —Understanding Optical Communications||, International Technical Support Organization, pp. 102-113, September 1998.