

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Касимов Талип Кудратович

«EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу»

### **ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

«20» 05 2022 ж.

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:



Т.К.Касимов

Пікір беруші  
Даукеев ат.АЭБУ доценті,  
техн.ғыл.канд.

 А.О.Касимов

«20» мамыр 2022 ж.

Ғылыми жетекші  
ЭТЖҒТ каф.лекторы,  
техн.ғыл.магистры

 С.Е.Ибекеев

«20» мамыр 2022 ж.

Алматы 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

 Е.Таштай

« 21 » XIII 2021 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Касимов Талип Кудратович

Тақырыбы «EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу»

Университет ректорының «24» желтоқсан 2021 ж. №489-П/Ө

бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) Талшықты байланыс жолы, 110 км;
- 2) Оптикалық күшейткіш;
- 3) Өшулік 0,0022 дБ/км;
- 4) Қосқыштар саны – 5.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Талшықты-оптикалық байланыс жүйелеріне сипаттама беру; б) қосқыштарды қосу; в) Күшейткіштер жұмысын талдау; г) Регенераторлар; д) Сигнал/кедергі қатынасын есептеу; е) Регенерациялық учаскенің ұзындығын анықтау.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиет 17 атау: 1) Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: учебное пособие. Лань, 2018 г.

2) Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие, 2016.

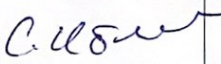


3) Соколов В.А. Волоконно-оптические линии связи, 2019 г.

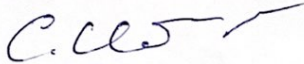
дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**


Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	01.12.2021-25.12.2021	орындалды
Теориялық ақпарат	20.01.2022 -25.02.2022	орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі	25.02.2022 – 20.05.2022	орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

**қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	С.Е.Ибекеев, техника ғылымдарының магистрі, ЭТЖҒТ каф.лекторы	20.05.22	
Теориялық ақпарат	С.Е.Ибекеев, техника ғылымдарының магистрі, ЭТЖҒТ каф.лекторы	20.05.22	
Норма бақылау	С.Е.Ибекеев, техника ғылымдарының магистрі, ЭТЖҒТ каф.лекторы	20.05.22	

Ғылыми жетекшісі  С.Е.Ибекеев  
 (қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Т.К.Касимов

Күні «20» 05 2022 ж.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста қоспа талшықтағы күшейткіштер сипаттамасы берілген.

Бірінші бөлімде EDFA күшейткіштерінің түрлері, фтор-цирконат негізіндегі күшейткіштер, олардың модификациясы берілген.

Екінші бөлімінде EDFA қолдану аймақтары, ерекшеліктері, жұмыс принциптері көрсетілген.

Дипломдық жұмыстың жобалық бөлігінде оптикалық байланыс жолын таңдау кезінде қойылатын талаптар және желілік регенератор мен күшейткіштерді орналастыру реттіліктері сипатталған.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе дано описание усилителей на добавочном волокне.

В первом разделе представлены типы усилителей EDFA, усилители на основе фтор-цирконата, их модификации.

В разделе два представлены области применения, особенности, принципы работы EDFA.

В проектной части дипломной работы описаны требования, предъявляемые при выборе оптического пути связи и последовательности размещения линейных регенераторов и усилителей.

## ANNOTATION

In this thesis, a description of amplifiers in additive fiber is given.

The first section presents the types of EDFA amplifiers, fluoro-zirconate-based amplifiers, their modifications.

The second section describes the areas of use, features, and operating principles of EDFA.

The design part of the thesis describes the requirements for choosing an optical communication path and the sequence of placement of linear regenerators and amplifiers.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Қоспа талшығындағы күшейткіштер	10
1.1 Эрбийлі күшейткіштің жұмыс принципі	11
1.3 EDFA күшейткіштерінің түрлері	14
1.3.1 Фтор-цирконат негізіндегі күшейткіштер	15
1.4 Талшықты-оптикалық күшейткіштердің модификациялары	19
2 EDFA қолдану	22
2.1 EDFA жұмыс принципі	22
2.2 EDFA негізгі конфигурациясы	23
2.3 Шуыл көрсеткіші	25
2.4 EDFA жұмыс істеуі	28
3 EDFA күшейткіш жұмысының математикалық есептеулері	36
3.1 Регенерациялық учаскенің ұзындығын анықтау	36
3.2 Дисперсиялық компенсатор параметрлерін есептеу	39
3.3 Желілік регенераторлар мен оптикалық күшейткіштерді орналастыру	41
3.4 Оптикалық сигнал-кедергі қатынасын есептеу	41
3.5 Жобаланған ТОВЖ үшін өнеркәсіптік жабдықты таңдау	43
3.6 Жобаланған байланыс желісі үшін оптикалық кабельді таңдау	45
Қорытынды	49
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	50



## КІРІСПЕ

Эрбиймен (EDFA) легирленген талшықты күшейткіш-бұл оптикалық талшықты сигналды күшейтетін құрылғы. Ол телекоммуникация саласында және әртүрлі зерттеу салаларында қолданылады. EDFA эрбиум деп аталатын материалмен "легирленген". Электрондарды басқару арқылы нәтижелерді жеңілдету үшін химиялық элементтерді қолдану процесін білдіреді.

Эрбиум (EDFA) легирленген талшықты күшейткішті түсіндіреді.

Жалпы, EDFA Фотон сәулеленуін ынталандыру принципі бойынша жұмыс істейді. EDFA-ны қолданған кезде, эрбиуммен қапталған оптикалық талшық өзекке лазерлік диодтардан жарық түсіреді. Телекоммуникация жүйелеріндегі мұндай орнату талшықты-оптикалық байланысқа, мысалы, деректер таратқыштың қуатын арттыруға көмектеседі. EDFA-ны пассивті талшықты-оптикалық желінің ұзын бөліктеріне қызмет көрсету үшін де қолдануға болады, сонымен қатар кейбір жабдық түрлерін сынау үшін де қолдануға болады.

Сорғы жолақтары деп аталатын сорғы лазерлері кремний талшығына легірлеуші қоспаларды енгізеді, нәтижесінде күшейту немесе күшейту пайда болады. EDFA күшейту сорғы лазері эрбий иондарын қоздырған кезде пайда болады, содан кейін олар жоғары энергия деңгейіне жетеді. Фотондар эрбий иондарының деңгейі төмендеген немесе азайған кезде шығарылады. Бұл ыдырау процесі тербелмелі атомдық серпімді құрылымдар болып табылатын фонондар мен шыны матрицаның өзара әрекеттесуін тудырады.

EDFA жылдамдығы немесе күшейту терезесі оптикалық күшейту толқын ұзындығының диапазонына негізделген және допинг иондарының спектроскопиялық қасиеттерімен, шыны талшықтың құрылымымен және толқын ұзындығымен және сорғы лазерінің қуатымен анықталады. Иондар шыны талшыққа түскенде, энергия деңгейлері кеңейеді, бұл күшейту терезесінің кеңеюіне және толқын ұзындығының бөлінуімен мультиплексті байланыс үшін қолданылатын талшықты-оптикалық күшейткіштердің кең жолақты жарық спектріне әкеледі. Бұл бір күшейткішті толқын ұзындығы күшейту терезесінде болған кезде талшықты-оптикалық арнаның барлық сигналдарымен пайдалануға болады. Оптикалық оқшаулағыштар EDFA-ның екі жағында орналасқан және сигналдардың бірнеше бағытта таралуына жол бермейтін диодтар ретінде қызмет етеді.

EDFA, әдетте, шамамен 800 шақырым (км) максималды қашықтықты қамтитын 10 аралықтан аспайды. Ұзақ қашықтықта сигналдың уақыты мен формасын өзгерту үшін аралық сызықты қайталағыш қажет, сонымен қатар оптикалық талшықтың бүгілуіне байланысты әр түрлі жарық шашырауынан жиналған шуды сүзу қажет. Сонымен қатар, EDFA толқын ұзындығын 1525 нанометрден (нм) қысқарта алмайды.

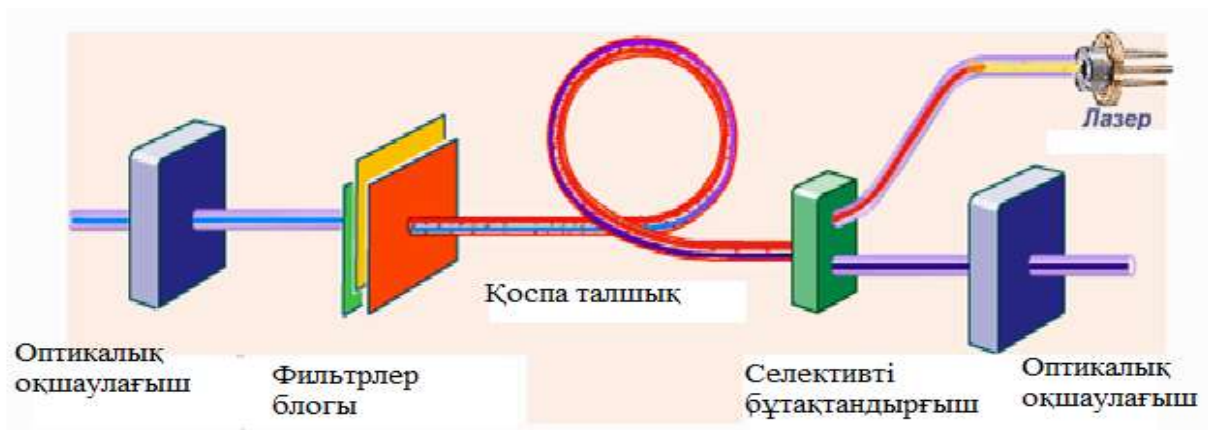
## 1 Қоспа талшығындағы күшейткіштер

Бұл күшейткіштер эрбий, неодим немесе празеодим иондары, сондай-ақ тулий қосылған оптикалық талшық негізінде жасалады.

Оптикалық талшық сегментіндегі қоспалы қоспалардың атомдары сорғы лазерімен қозғалады. Нәтижесінде күшейтілген сигналдың толқын ұзындығында қозған атомдардың сәулеленуі ынталандырылады. Сирек жер элементтерімен біріктірілген күшейткіштер толқын ұзындығының кең диапазонында жарық сигналының амплитудасын жүздеген және мыңдаған есе арттыра алады. Литий ниобатын қолдану оптикалық транзисторлар болып табылатын электрлік басқарылатын күшейткіштерді жасауға мүмкіндік береді.

EDFA күшейткіштері

Оптикалық күшейткіштер эрбий – EDFA(erbium doped fiber amplifier) иондарымен легирленген OT сегментінде өте кең таралған (30-сурет).



1.1 Сурет - Қоспалы талшықтағы оптикалық күшейткіш

EDFA күшейткішінде айдау лазері бағытталмаған (схемада көрсетілгендей) айдауды немесе бағытталмаған үрлеуді жүзеге асыра алады. Екі сатылы күшейткіштерде тең және қарама - қарсы сорғының артықшылықтарын біріктіру үшін сорғы екі жағынан да жүзеге асырылуы мүмкін.

Эрбий иондарын қозған күйге ауыстыру үшін оптикалық айдау қажет.

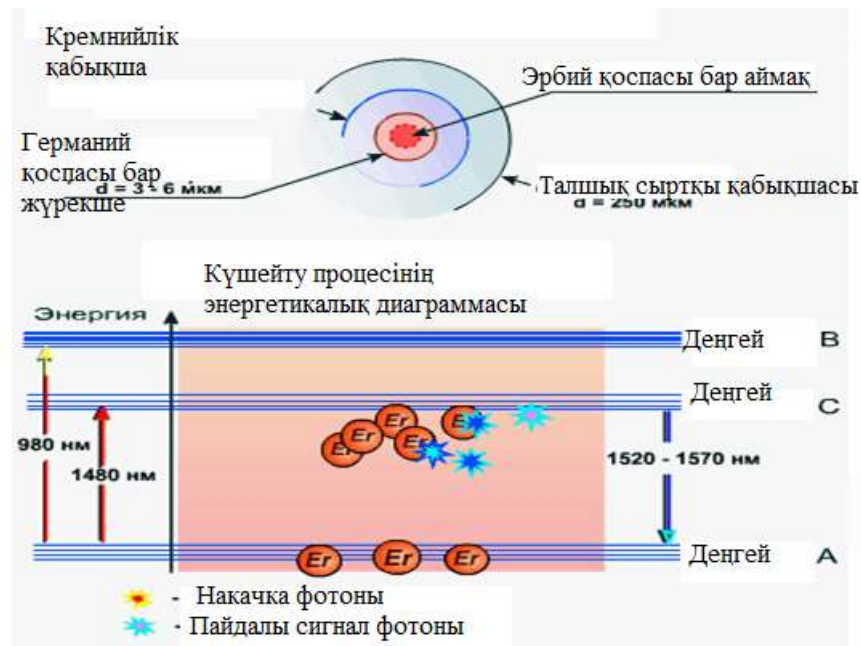
Күшейткіштің кірісі мен шығысындағы оптикалық оқшаулағыштар (жарық сигналдарын тек бір бағытта өткізетін құрылғылар) күшейткішке байланыс желісінің гетерогенділігінен паразиттік шағылысқан сигналдардың енуіне жол бермеу үшін қолданылады. Шағылысқан сигналдар күшейткішінің жұмысы нашарлататын шу көзі болып табылады.

Көп сатылы күшейткіштерде EDFA бөлімдеріне бөлінетін оқшаулағыштар күшейткіштің оптикалық шуын тиімді төмендетуді қамтамасыз етеді.

## 1.1 Эрбийлі күшейткіштің жұмыс принципі

Мәжбүрлі сәулелену кезінде жарықтың күшейту құбылысына негізделген (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Эрбий күшейткішіндегі жарықтың жоғарылауы  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  энергия деңгейлері арасындағы ауысуға байланысты болады (31-сурет). Бұл деңгейлердің әрқайсысы эрбий иондарының кварц әйнегінің кристалішілік өрісімен әрекеттесуіне байланысты бірнеше ішкі деңгейлерге бөлінеді (Старк эффектiсi). Сорғы фотондарының жұтылуына байланысты сорғы энергиясының әсерінен эрбиум иондары негізгі күйден (A деңгейі) жоғары қозған күйге (B деңгейі) өтеді, ол қысқа мерзімді (өмір сүру ұзақтығы  $\tau_B=1$  мкс) және релаксация процестеріне байланысты олар метастабильді энергетикалық деңгейге (C деңгейі) ұзақ өмір сүретін күйге өтеді. Метастабильді термин эрбий ионының осы энергетикалық деңгейде тұру уақыты (өмір сүру ұзақтығы) салыстырмалы түрде ұзақ ( $\tau_C=10$  мс, яғни  $\tau_C=10\,000\tau_B$ ) екенін білдіреді. Демек, C деңгейінде, сәйкес сорғы қуатында орналасқан иондар саны негізгі A деңгейіндегі иондар санынан асып кетуі мүмкін.



## 1.2 Сурет– Эрбий күшейткішіндегі жарықтың жоғарылауы

A деңгейі негізгі күй деп аталады, өйткені сорғы болмаған кезде барлық эрбий иондары осы энергия деңгейінде болады, яғни заттың негізгі энергия деңгейінің популяциясы максималды, энергияның барлық басқа деңгейлерінің популяциясы деңгей энергиясының жоғарылауымен тез төмендейді.

Белгілі бір энергия деңгейінде орналасқан көлем бірлігіндегі иондар саны осы энергия деңгейінің популяциясы деп аталады.

Ионның кейбір жоғары энергетикалық деңгейінің популяциясы кейбір төменгі деңгейдегі популяциядан асатын ортаның жағдайы өте ерекше және

деңгей популяциясының инверсиясы немесе қысқаша айтқанда популяция инверсиясы деп аталды.

Егер сәулелену (пайдалы сигналдың сәулеленуі) популяцияның инверсиясымен ортаға метастабильді күйден негізгі күйге өту энергиясымен сәйкес келетін фотон энергиясымен түссе, онда ионның С метастабильді деңгейінен А негізгі деңгейіне ауысуы бір уақытта басқа фотонның пайда болуынан (ынталандырылған эмиссия) ықтималдығы жоғары.

Эрбий иондарымен өзара әрекеттесу кезінде фотондар санының көбеюі популяцияның инверсиясы бар ортада жарықтың күшеюін білдіреді.

Толқын ұзындығы мен күшейту спектрі белсенді иондардың түрімен қатаң анықталатынын ескереміз. Эрбий иондарымен легирленген талшықтың күшейту спектрі кварцты оптикалық талшықтың ең аз жоғалту аймағына сәйкес келуі сәтті сәйкестік болып табылады.

Эрбийдің барлық иондары метастабильді күйде емес және күшейтуді қамтамасыз етеді.

Кейбір иондар А деңгейінде болады және бұл иондар энергиясы ауысу энергиясымен сәйкес келетін фотондармен әрекеттесе отырып, оларды тиімді сіңіреді, С деңгейіне өтеді. Бұл жағдайда эрбий иондарының күшейту спектрі жұтылу спектрімен іс жүзінде сәйкес келеді. Егер С деңгейіндегі иондар саны негізгі А деңгейіндегі иондар санынан аз болса, онда жұтылу байқалады. Сондықтан жарықты күшейтудің қажетті шарты екі жұмыс энергиясының С және А деңгейлері арасында популяциялық инверсияны құру болып табылады.

Эрбий күшейткішіндегі популяцияның инверсиясын құру үшін эрбийдің иондарының жартысын С метастабильді деңгейге ауыстыру қажет. А және С деңгейлерінің популяциясы тең болатын оптикалық күшейткіштің айдау қуаты шекті қуат деп аталады.

Сорғының қуаты шекті мәннен төмен болғанда, күшейту емес, жарық сигналы жұтылады.

Сорғы қуаты артқан сайын белсенді иондардың көбеюі қозған күйге ауысады. Бұл алдымен сіңіру коэффициентінің төмендеуіне, содан кейін жарықтың жоғарылауына әкеледі. Сондай-ақ, күшейту спектрі сіңіру спектріне қатысты ұзын толқындық аймаққа біршама ауысатынын атап өтеміз. Сондықтан спектрдің ұзын толқын бөлігінде күшейту үшін инверсияның аз мәні қажет.

Үш деңгейлі сорғы схемасын қолдану эрбийлі күшейткіштің келесі маңызды қасиеттерінің пайда болуына әкеледі.

Белсенді оптикалық талшықты «жарықтандыру» болатын шекті сорғы қуатының болуы, яғни нөлдік шығындарға қол жеткізіледі. Сорғы қуаты шекті мәннен асқанда сигналды күшейту басталады. Белсенді талшықтың құрылымына, қоспаның концентрациясына және сорғы толқын ұзындығына байланысты шекті қуат фракциядан бірнеше мВт бірлікке дейін ауытқиды.

Эрбийлі талшықтың оңтайлы ұзындығын таңдау қажеттілігі, яғни эрбийлі иондардың берілген концентрациясында максималды күшейтуге қол жеткізілетін ұзындық. Талшықтың ұзындығы оңтайлы ұзындықтан үлкен болса, сигналдың жұтылуы талшықтың алыс бөліктерінде байқалады, ал ұзындығы жеткіліксіз эрбиум талшығын пайдалану кезінде сорғы сәулесі

толығымен қолданылмайды. Эрбийлі талшықтың оңтайлы ұзындығы, әдетте, күшейтілген сигналдың жиілігіне байланысты. Сигнал жиілігі неғұрлым аз болса, эрбийлі талшықтың ұзындығы максималды күшейтуге сәйкес келеді.

Күшейтілген сигнал болмаған кезде эрбий иондары өздігінен бастапқы күйге өтіп, осы ауысуға сәйкес келетін энергиясы бар фотондар шығарады. Яғни, өздігінен сәуле пайда болады. Ал жұмыс режимінде күшейтілген сигнал болған кезде қоздырылған иондардың бір бөлігі өздігінен негізгі күйге өтеді, ал стихиялық сәулелену де күшейеді, бұл күшейтілген стихиялық сәулеленудің пайда болуына әкеледі.

Жақсартылған стихиялық сәулелену шудың негізгі көзі болып табылады, сонымен қатар кірісті шектейді, әсіресе әлсіз сигнал болған жағдайда.

Эрбий иондарын қозған күйге ауыстыру үшін қажетті оптикалық сору олардың сіңіру жолақтарының біріне сәйкес келетін толқын ұзындығында жүзеге асырылады. Сорғыны пайдалану тиімділігі бірнеше сіңіру жолақтары үшін сорғының қуатына кірістің максималды мәнімен анықталады. Ең жоғары тиімділік 980 және 1480 нм. Бірмодалы талшыққа енгізілген қуаты бірнеше жүз мВт сорғы құрылғылары әзірленді. Үлкен сорғы қуаты бір уақытта арналардың спектрлік бөлінуі (DWDM) бар жүйелердегі ақпараттық арналардың үлкен санының жоғары кірісін қамтамасыз ету үшін қажет.

Белсенді талшықтың өзегін құрайтын қоспаларды таңдау, сонымен қатар эрбий иондарының концентрациясын таңдау принципті маңызды болып табылады. Кварц шынысына әртүрлі қосындылар эрбий иондарының энергетикалық деңгейлерінің Штарк бөлінуінің сипатын өзгертеді. Бұл жұтылу және сәуле шығару спектрлерінің өзгеруіне әкеледі. (Қосымша - А1)

ОТ ядросындағы эрбийлі иондардың концентрациясы оның берілген сигнал мен сорғы деңгейінде күшейткіште қолданылатын ұзындығын анықтайды.

Белсенді иондар концентрациясының жоғарғы шегі кооперативті ап конверсия әсерінің пайда болуымен анықталады. Бұл құбылыс белсенді иондардың көп шоғырлануымен екі немесе одан да көп эрбий иондарынан тұратын кластерлер пайда болуы мүмкін. Бұл иондар қозған күйде болған кезде энергия алмасу жүреді, нәтижесінде олардың біреуі одан да жоғары энергияға айналады, ал екіншісі – негізгі деңгейге сәуле шығармайды. Осылайша, эрбий иондарының бір бөлігі күшейткіштің тиімділігін төмендетіп, күшейтілген сигналдың сәулеленуін сіңіреді.

Эрбий иондарының концентрациясының төменгі шегі ампер өндірісінде тым ұзақ белсенді Жарық өткізгіштің ыңғайсыз екендігімен, сондай-ақ белсенді Жарық өткізгіштің көп мөлшерін қолданған кезде күшейткіштің құны өсетіндігімен анықталады. Іс жүзінде эрбий иондарының концентрациясы 1018...1019 см<sup>-3</sup> құрайды, бұл бірнеше бірліктен бірнеше ондаған метрге дейін қолданылатын белсенді Жарық өткізгіштің ұзындығын қамтамасыз етеді.

### 1.3 EDFA күшейткіштерінің түрлері

Олар 2 түрде болады:

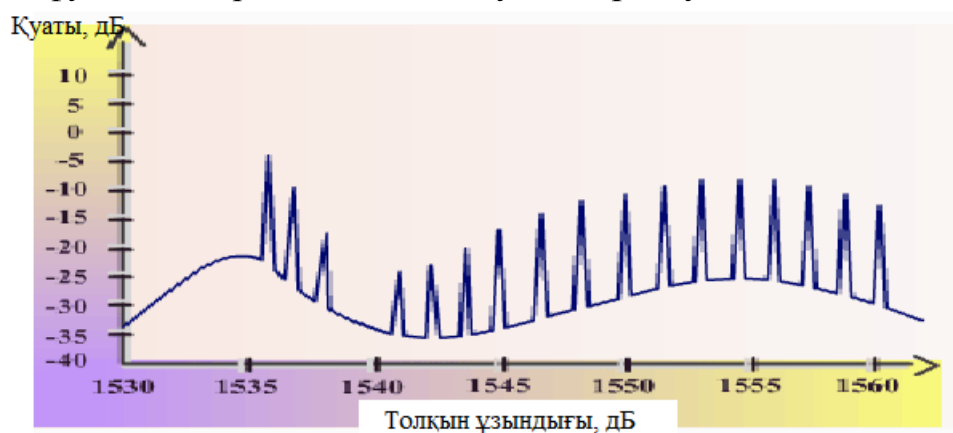
- кремний негізінде;
- фтор-цирконат негізінде.

Ішкі құрылымы өте ұқсас болғандықтан, бұл күшейткіштер тек сатып алу талшығымен ерекшеленеді. Кремний негізіндегі EDFA күшейткіштері нарықта бірінші болып пайда болды және WDM сигналын әр түрлі толқын ұзындығында аз енгізілген шу кезінде кең спектрлік диапазонда күшейту мүмкіндігінің арқасында дамыды. Бүгінгі таңда күшейткіштердің екі түрі де (кремний және фтор-цирконат) Эрбийдің оптикалық сәулеленуінің 1530 нм-ден 1560 нм-ге дейінгі барлық диапазонында жұмыс істей алады. Алайда, кремний негізіндегі оптикалық күшейткіштерде фтор-циркон негізіндегі күшейткіштер сияқты біркелкі беріліс қисығы жоқ.

Дизайн ерекшеліктеріне байланысты EDFA күшейткіштері күшейтілген сигналға белгілі бір шу шығарады, бұл сигнал/шу арақатынасының төмендеуіне және каскадтардың саны мен қалпына келтіру аймағының ұзындығын шектеуге әкеледі.

Кремний негізіндегі күшейткіштер

Кремний талшықтарындағы дәстүрлі күшейткіштердегі DWDM сигналының күшеюі бір технологиялық проблемамен байланысты - толқын ұзындығының функциясы ретінде пайда алудың бұзылуы.



1.3 Сурет - STM-16 каналына (2,5 Гбит/с) жылдамдықпен мультиплексті арна сигналын күшейту

Көріп отырғаныңыздай, кейбір арналарда сигнал/шу (SNR) қатынасы өте жоғары, ал басқаларында, әсіресе 1540 нм аймағында, SNR мәні төмен. Нәтижесінде, кейбір арналарда күшейткіш арқылы өтетін DWDM сигналы (мысалы, 1545 нм-ден жоғары) қолайлы SNR болады, ал басқаларында (1540 нм ауданы) SNR қатынасы қанағаттанарлық емес.

Кремний негізіндегі EDFA күшейткіштерінің технологиясын танудың нәтижесінде, бүгінгі күні EDFA-ның осы сорттары кеңінен таралған. Кейбір тұтынушылар (байланыс операторлары) 1530-дан 1542 нм-ге дейінгі төменгі

кіріс аймағын алып тастап, тар терезеге риза болып, қисықтың бітелу мәселесін шешеді.

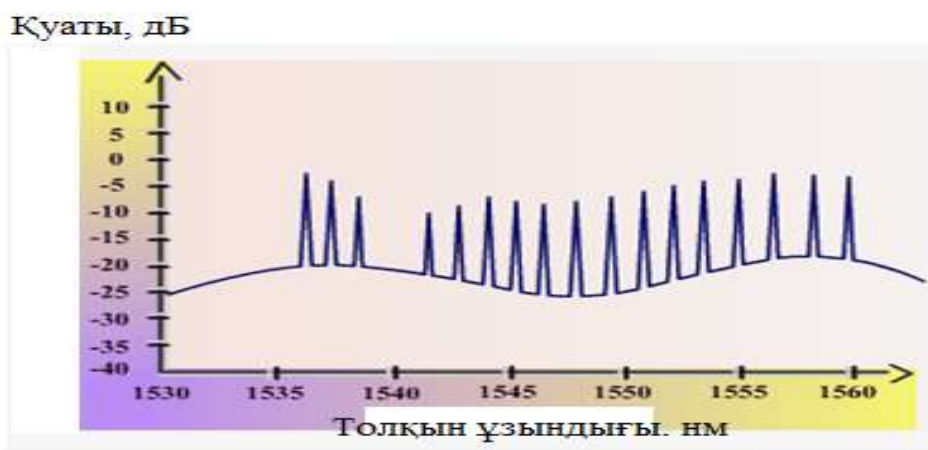
Мәселені шешудің тағы бір тәсілі - шығыс сигналдарының амплитудасы мен әртүрлі арналардағы SNR мәндерінің біркелкі көрінісін алу үшін кіріс сигналының алдын-ала селективті әлсіреуі. Селективті әлсіреу кезінде басқа арналардағы энергия да қайта бөлінетінін ескеру қажет. Нәтижесінде жүйені оңтайландыру күрделі итерациялық процедураға айналады. Қосылған немесе жойылған арналардың бит жылдамдығы әр түрлі болған кезде қосымша қиындықтар туындайды. Мысалы, STM -64 (10 Гбит/с) берілісі үшін SNR қатынасы STM -16 (2,5 Гбит/с) берілісіне қарағанда 6 дБ артық болуы тиіс. Соңғы жағдайда STM-64 арнасына қосымша қуат қосылуы керек.

Бұл мәселені түсінетін жабдық өндірушілері толығымен оптикалық желі элементтеріне өзін-өзі оңтайландыратын әртүрлі алгоритмдерді енгізе бастайды. Арналар арасындағы энергияны динамикалық оптикалық теңдестіру мүмкіндігін қамтамасыз ету тек кремний негізіндегі EDFA-мен жұмыс істеу үшін ғана емес, сонымен бірге желінің сенімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

### 1.3.1 Фтор-цирконат негізіндегі күшейткіштер

Бұл күшейткіштердің тұрақты үстірттері бар. Фтор бар талшық Эрбийдің көп мөлшерін сіңіре алады, бұл DWDM сигналын күшейту үшін ашылатын 1530-1562 нм аймағында профильдің жақсаруына әкеледі.

DWDM сигналының қаншалықты тиімді күшейтілгенін көрсетеді. Мультиплекстелген арналар барлық өткізу қабілеттілігінде SNR мәндеріне жақын. Бұл арналар қосылған немесе жойылған кезде сигналдарды ойнату кезінде оптикалық теңдестіру процедурасын айтарлықтай жеңілдетеді.



### 1.4 Сурет– DWDM сигналының қаншалықты тиімді күшейтілуі

EDFA фтор-цирконат күшейткішінің бір кемшілігі -кремний шуынан жоғары болуы, бұл 1480 нм сорғы лазерінің үлкен жұмыс толқын ұзындығының

салдарынан. Кремний EDFA тән 980 нм толқынының ұзындығы фтор-цирконат күшейткішінің жұмысы үшін тиімді емес, өйткені бұл толқын ұзындығында басқа күйлердің қозуымен бірге жүретін сіңіру бөлімі үлкен. Бұл кемшілік күшейткіштер арасындағы қашықтықты шектейтін оптикалық күшейткіштер каскадымен өте созылған регенерациясыз сегменттерді салу кезінде көрінеді.

Негізгі параметрлері:

- күшейту коэффициенті
- сигналдың шығу қуаты
- шу факторы және күшейтілген стихиялық сәулелену қуаты
- спектрлік ені және күшейту жолағының біркелкілігі

Эрбий иондарының энергия деңгейлеріндегі популяция мөлшеріне әсерін елемеуге болатын әлсіз сигналдың пайдасы қанықпаған пайда деп аталады. Ол сору қуаты мен эрбийлі талшықтың ұзындығының жоғарылауымен артады. Сонымен қатар, күшейткіштің өздігінен қанықтылығы өздігінен сәулеленумен және паразиттік лазерлік генерацияның пайда болуымен кірістің шексіз өсуіне жол бермейді. Зертханалық жағдайда 50 дБ, әлсіз сигнал үшін 30 дБ сериялық күшейткіштерде күшейту. Кіріс қуатының артуы метастабильді лазерлік деңгейінің популяциясын азайтады және осылайша кірісті азайтады.

Сигналдың шығу қуаты келесі күшейткішке дейінгі қашықтықты анықтайды. Сондықтан, бұл күшейткіштің маңызды параметрі, сондай – ақ сорғының энергия тиімділігі - PCE (сигналдың өзгеру күшінің сорғы қуатына қатынасы). Жоғары PCE қамтамасыз ету үшін барлық дерлік сорғы фотондары өздерінің энергиясын сигнал фотондарына беруі керек. Сигналды күшейту процесінде пайда болған сигнал фотондарының жұтылған сорғы фотондарының санына қатынасы QE кванттық сору тиімділігі деп аталады. Фотонның шығу радиациясының энергиясы фотонның айдау энергиясынан аз болғандықтан, энергия тиімділігі квантқа қарағанда аз және сорғы толқын ұзындығы мен  $PCE = \lambda_p / \lambda_s QE$  сигналының қатынасына байланысты. Сондықтан, қазіргі уақытта 1480 нм айдау кезінде 86% кванттық тиімділікпен 91% энергия тиімділігіне қол жеткізілді. 980 нм-де 55% кванттық энергия тиімділігі 86% құрайды.

Үлкен энергия тиімділігі сору үшін аз қуатты сәулелену көздерін пайдалануға мүмкіндік береді, сондықтан арзан. Бұл сипаттама арналардың спектрлік бөлінуі бар жүйелерде өте маңызды, мұнда үлкен қуат сигналдарының көп мөлшерін бір уақытта күшейту қажет.

Қос қабығы бар эрбийлі талшықты жарық өткізгіштер негізіндегі күшейткіштер қуаты 1,5 Вт (33дБ) асатын шығу сәулеленуін алуды қамтамасыз етеді.

Шудың негізгі көзі - эрбий ионы энергияның метастабильді деңгейінен а негізгі деңгейіне өткен кезде стихиялық (стихиялық) сәуле. Бұл стихиялық сәуле күшейткіш бойымен таралатын әлсіз сигнал сияқты күшейткіштің бүкіл ұзындығы бойымен күшейтіліп, қайта сіңеді. Бұл күшейтілген стихиялық сәулелену спектрі (ASE) мен күшейтілмеген стихиялық сәулелену спектрі (SE) арасындағы айырмашылықты түсіндіреді.

Күшейтілген стихиялық сәулелену талшық арқылы таралған кезде ақпараттық сигнал сияқты сіңеді және күшейеді. ASE қуатын арттыру сандық



байланыс жүйелеріндегі қателіктердің көзі болып табылатын фотодетектор шуының жоғарылауына әкеледі. Ақпаратты беру жүйесі қабылдаған сандық сигналдың сапасы қабылданған электр сигналының Шу қуатына қатынасының мәнімен анықталады. Бұл мән – сигнал/шудың электрлік қатынасы, сигнал шығаратын фототок квадратының фототоктың орташа квадраттық ауытқуына қатынасына тең.  $SNR_e$  фотодетектордың сипаттамаларына байланысты, сондықтан оптикалық сигналдың сапасын тікелей сипаттай алмайды. Сондықтан  $B_{\Sigma}=B_0$  жолағы бар идеалды фотодетекторда электрге тең болатын  $B_0$  оптикалық спектрлік жолағында OSNR сигнал/шудың оптикалық қатынасы туралы түсінік енгізіледі. Идеал жылу шуылы жоқ және кванттық тиімділігі 100% болатын фотодетектор деп аталады.

Шу факторының мәні NF оптикалық күшейткіш арқылы өткен кезде кіріс когерентті сигналдың C/Ш қатынасының нашарлау өлшемі болып табылады

$$OSNR_{INCOG} = \frac{I_s^2}{\sigma_{shot}^2} = \frac{P_s}{2h\nu_s B_0} \quad (1.1)$$

Шоттки шуылы (бөлшек) - шығу тегі жарықтың кванттық табиғатымен байланысты. Сигнал жасаған Фототок.

$$N_f = \frac{1}{G} [1 + 2n_{sp} (G - 1)] \quad (1.2)$$

G-күшейту

$n_{sp}$ - бұл жұмыс деңгейінің орташа популяцияларына байланысты стихиялық сәулелену факторы.

Риясыз және мәжбүрлі сәулеленудің салыстырмалы ықтималдығын анықтайды. Стихиялық сәулелену ықтималдығы с энергиясының метастабильді деңгейінің орташа популяциясымен анықталады, ал C және A деңгейлеріндегі популяция айырмашылығының мәжбүрлі ауысу ықтималдығы  $n_{sp}=1$  стихиялық сәулелену факторының минималды мәніне жұмыс ауысуының популяциясының толық инверсиясы арқылы қол жеткізіледі.

3дБ шу көрсеткіші жоғары күшейткіштің кез келген түрі үшін мүмкін болатын ең төменгі көрсеткіш болып табылады. Сериялық күшейткіштердің типтік мәндері 5 дБ құрайды.

Жоғары күшейту кезіндегі шудың көрсеткіші тек C метатұрақты деңгейі мен негізгі A деңгейінің популяцияларының арақатынасына байланысты болғандықтан, 980 нм жоғары қуатты сорғыны пайдалана отырып, ең аз шу мәнін қамтамасыз етуге болады. деңгейлік схема. Бұл жағдайда, теориялық тұрғыдан, жер асты деңгейі A популяциясын нөлге дейін азайтуға болады. 1480 нм-дегі сорғы сәулеленуінің өзі метатұрақты C энергия деңгейінде орналасқан эрби иондарымен тиімді әрекеттеседі және бұл A деңгейінің популяциясын нөлге дейін төмендетуге болмайды. Сондықтан 1480 нм айдау кезіндегі шу деңгейі 980 нм айдаудағыдан жоғары. Қарсы айдау кезінде шу коэффициенті де біршама жоғары болады, өйткені метатұрақты C деңгейінің үлкен популяциясын және A деңгейінің төмен популяциясын қамтамасыз ету өте маңызды.

Күшейту жолағының ені спектрлік мультиплекстеу жүйелеріндегі спектрлік каналдар санына шешуші әсер етеді. Ол оптикалық талшық ядросының материалындағы эрбий иондарының сәулелену спектрімен анықталады. Негізгі материалдың эмиссия спектріне әсері эрбий иондарының осы материалдың молекулаларымен қоршалуымен байланысты. Қоршаған орта молекулаларының әсерінен эрбий иондарының энергия деңгейлері кіші деңгейге бөлінеді. Бөліну мөлшері сәулелену жолағының енін анықтайды. Радиациялық жолақ неғұрлым кең болса, күшейткішті салу кезінде неғұрлым кең спектрге қол жеткізуге болады. Алюмосиликат әйнегіндегі эрбий иондары сәулеленудің кең спектріне ие.

Белсенді талшықтың ұзындығын ұлғайту арқылы 1560 нм толқын ұзындығына дейін жеткілікті үлкен күшейтуді алуға болады, одан жоғары күшейту күрт төмендейді. Осылайша, күшейткіштің дәстүрлі конфигурациясының өткізу қабілеттілігі шамамен 30 нм (1530-1560 нм) құрайды. Бұл күшейту жолағы стандартты жолақ (шартты диапазон) С-диапазоны деп аталады. Люминесценция қарқындылығы 1600 нм-ге дейін айтарлықтай мәнге ие, ал 1560–1600 нм-де сіңіру өте тез төмендейді, бұл жарық сигналдарын күшейту үшін осы диапазонды пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл ұзын толқын диапазоны (ұзын толқын ұзындығы диапазоны) L-диапазоны, егер ұзын эрбий талшығы пайдаланылса, онда күшейту мүмкін.

Айта кету керек, мұндай күшейткіш дизайнымен белсенді орта толығымен инверттелмейді, ал С диапазонындағы оптикалық сигналдар үшін мұндай құрылғы абсорбер ретінде жұмыс істейді. Сондықтан күшейту алдында оптикалық сигналдар С және L жолақтарына бөлінеді және әрқайсысы өзінің күшейткішін пайдаланады.

Жұмыс спектрінің диапазонының одан әрі кеңеюі аймақтың 1480-1530 нм S-диапазонын (short wavelength band) пайдаланумен байланысты. Бұл аймақтағы эрбий иондарының люминесценция қарқындылығы L-ден кем емес, бірақ сигналдың күшті жұтылуы айтарлықтай. Бұл мәселе басқа күшейткіштермен салыстырғанда қуатты сорғы көздерін пайдалану арқылы шешіледі. Екінші мәселе анағұрлым маңызды және S-диапазонындағы сигналдың күшеюі мен С-диапазонындағы өздігінен эмиссия арасындағы күшті бәсекелестікпен байланысты, бұл үшін күшейту шарттары қолайлырақ. Күшейтілген өздігінен шығарындыларды басу үшін сүзгілерді пайдаланып S-диапазонында күшейту немесе 1530-1560 диапазонында иілу шығындарын енгізу мүмкіндігін көрсететін жұмыстар бар.

Жолақты кеңейту саласындағы зерттеудің тағы бір бағыты люминесценция спектрін кеңейтуге мүмкіндік беретін талшықты өзек материалын іздеумен байланысты. Теллурит әйнегіне негізделген күшейткіштер әлі де зертханалық зерттеулер сатысында.

Арналардың спектрлік бөлінуі бар жүйелер үшін жұмыс спектрлік диапазонындағы кірістің біркелкілігі маңызды. Әлсіз сигнал үшін біркелкілік жолақ ішінде 10 дБ-ден асуы мүмкін. Жұмыс жағдайында оптикалық сигналдың жалпы қуатының артуына байланысты кірістің біркелкі еместігі азаяды.

Дегенмен, бірнеше күшейткіштер арқылы ұзын сызықта өткен кезде, кірістің жалпы гетерогенділігі аз күшейтілген арналарда ақпараттың жоғалуына әкелуі мүмкін. Осылайша, күшейту спектрін тегістеу өзекті болып табылады. Мұны істеу үшін, әдетте, су мен көлемдік элементтерге негізделген спектрлік селективті сіңіргіш сүзгілер күшейткіш тізбегіне енгізіледі.

Сүзгілердің танымал түрлерінің бірі - фотоиндукцияланған ұзақ мерзімді тор (LPG, long-period grating). Мұндай торлар талшық өзегін оның беті арқылы ультракүлгін сәулемен кеңістіктік мерзімді сәулелену арқылы жасалады. Периоды, әдетте, 0,1-1 мм диапазонында жатқан тор негізгі режим мен қаптау режимдері арасындағы резонанстық өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді. Бұл өзара әрекеттесу салдары - резонанстық толқын ұзындығы бар талшықтың іргелі режимі энергиясының бір бөлігін қаптау режимдерінің энергиясына түрлендіру және осы режимдердің жылдам ыдырауы. Сіңіру спектрі мен қарқындылығы торлы кезеңмен және талшықтың сәулелену уақытымен анықталады.

Осы техниканы қолдана отырып жасалған тегістейтін сүзгілерді қолдану жұмыс ауқымында кірістің өзгеруін дБ-нің оннан бір бөлігіне дейін азайтуға мүмкіндік береді.

Эрбиймен легіріленген талшықты-оптикалық күшейткіштер байланыс желілерінде ультра ұзақ учаскелерді жүзеге асыруға арналған. Мысалы: талшықты-оптикалық күшейткіштерді қолдану 0,2 дБ/км-ге дейін сөнетін кабельдерде ұзындығы 200 км-ге дейін қалпына келтіру бөлімдерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

#### 1.4 Талшықты-оптикалық күшейткіштердің модификациялары

Талшықты-оптикалық күшейткіштердің үш модификациясы бар:

- Талшықты-оптикалық байланыс (ТОБЖ) кіріс оптикалық сигнал деңгейін арттыру үшін пайдаланылатын қуат күшейткіш
- Фотоқабылдағыштың сезімталдығын арттыру үшін алдын-ала күшейткіш
- Оптикалық регенератордың орнына қолданылатын сызықтық күшейткіш;

1.1 Кесте - Техникалық сипаттамалары:

Талшықты-оптикалық қуат күшейткіші

Оптикалық сигналдың толқын ұзындығы, нм	1530...1560
Кіріс оптикалық қуат деңгейі, дБм	-6...0
Максималды шығу қуаты, дБм	15
Шу коэффициенті, дБ	6 артық емес

### 1.1-кестенің жалғасы

#### Талшықты-оптикалық алдын ала күшейткіш

Оптикалық сигналдың толқын ұзындығы, нм	1530...1560
Максималды күшейту (Рвх кезінде= - 40 дБм), дБм	22±2
Максималды шығыс сигналы (Рвх кезінде= - 22 дБм), дБм	-11 артық емес
Оптикалық сүзгінің өткізу жолағының ені, нм	1±0,2
Шу коэффициенті, дБ	6,0+1,0 артық емес

### 1.1-кестенің жалғасы

#### Сызықтық талшықты-оптикалық күшейткіш

Оптикалық сигналдың толқын ұзындығы, нм	1530...1560
Кіріс қуаты, дБм	-15...-6
Шу коэффициенті, дБ	6,0 артық емес
Оптикалық сүзгінің өткізу ені, нм	1,0±0,2

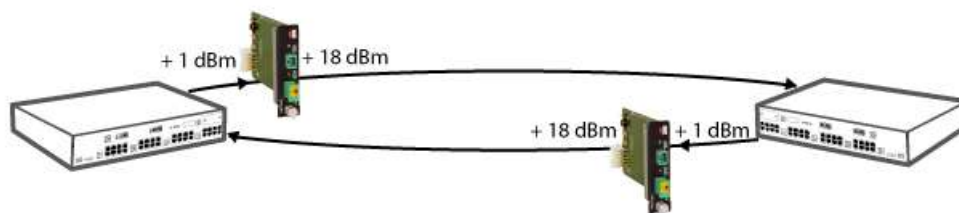
#### EM3160Ax-оптикалық күшейткіштер

MRV Communications компаниясының Fiber Driver (EM3160AC18AS және EM3160AL18AS) платформасына арналған оптикалық күшейткіштер модульдері оптикалық сигналды электр сигналына түрлендірместен 18 дБм-ге дейін оптикалық сигналды күшейтетін эрбийлі оптикалық күшейткіштер (EDFA) болып табылады (әдеттегі қайталағыштарда болады).

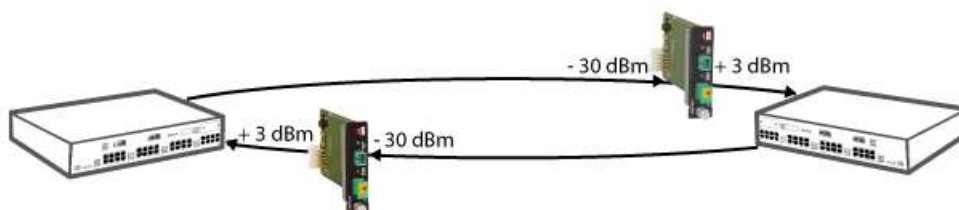
FiberDriver оптикалық күшейткіштері протокол мен толқын ұзындығына тәуелсіз және C (1529-1565 нм) немесе L (1565-1605 нм) диапазонында бір немесе бірнеше арнаны күшейте алады. Бұл модульдерді күшейткіштер, сызықтық күшейткіштер немесе алдын-ала күшейткіштер ретінде қолдануға болады, осылайша желі элементтерінің санын азайтып, желінің дизайнын жеңілдетеді. Оларды әртүрлі желілік топологияларда қолдануға болады, оның ішінде сақина, нүкте-нүкте және аралық енгізу/шығару мультиплексорлары бар топология.

#### Мүмкіндіктер

- Оптикалық сигналды электр сигналына түрлендірусіз оптикалық сызықтардың ауқымын ұлғайту
- Шығу қуаты 18 дБм дейін
- Әр түрлі хаттамалар мен толқын ұзындығы үшін
- WDM C немесе L диапазондарын қолдайды
- Күшейткіштер, күшейткіштер немесе сызықтық күшейткіштер ретінде пайдалануға болады
- "Сақина", "нүкте-нүкте" топологияларында және аралық енгізу/шығару мультиплексорлары бар топологияларда жұмыс істейді
- SNMP, Telnet арқылы CLI немесе MegaVision Web арқылы басқару
- Шағын өлшемдері



1.5 Сурет - Таратқыштың шығысындағы оптикалық күшейткіш.



1.6 Сурет - Таратқыштың кірісіндегі оптикалық күшейткіш

## 2 EDFA қолдану

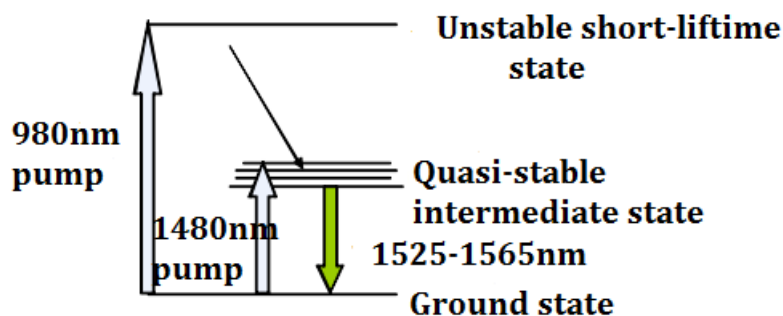
Оптикалық күшейткіштер оптикалық байланыс желілері үшін маңызды технология болып табылады, бұл көптеген терабиттерді бірнеше жүз шақырымнан мыңдаған шақырымға дейін талшықтағы шығындарды шектеуді жеңуге мүмкіндік береді. Оптикалық байланыс жүйелерінде жиі қолданылатын алғашқы оптикалық күшейткіш ретінде EDFA WDM жүйелерін енгізу арқылы беріліс өткізу қабілеттілігінің күрт өсуіне әкелді. Жоғары шығыс қуатымен, жоғары кірістілікпен, кең өткізу қабілеттілігімен, поляризациядан тәуелсіз және төмен шуылмен жабдықталған EDFA жаңа буынның оптикалық байланыс жүйесінде қолданылатын негізгі компоненттердің біріне айналды. Сонымен EDFA дегеніміз не? EDFA жұмыс принципін білесіз бе?

EDFA дегеніміз не?

Эрбиум (EDFA) қосылған талшықты күшейткіш-бұл талшықты-оптикалық байланыс жүйесі арқылы берілетін оптикалық сигналдардың қарқындылығын арттыру үшін қолданылатын оптикалық релелік құрылғы. Оптикалық талшық сирек кездесетін жер элементі эрбиймен легирленген, сондықтан шыны талшық жарықты бір жиілікте сіңіріп, басқа жиілікте жарық шығарады.

### 2.1 EDFA жұмыс принципі

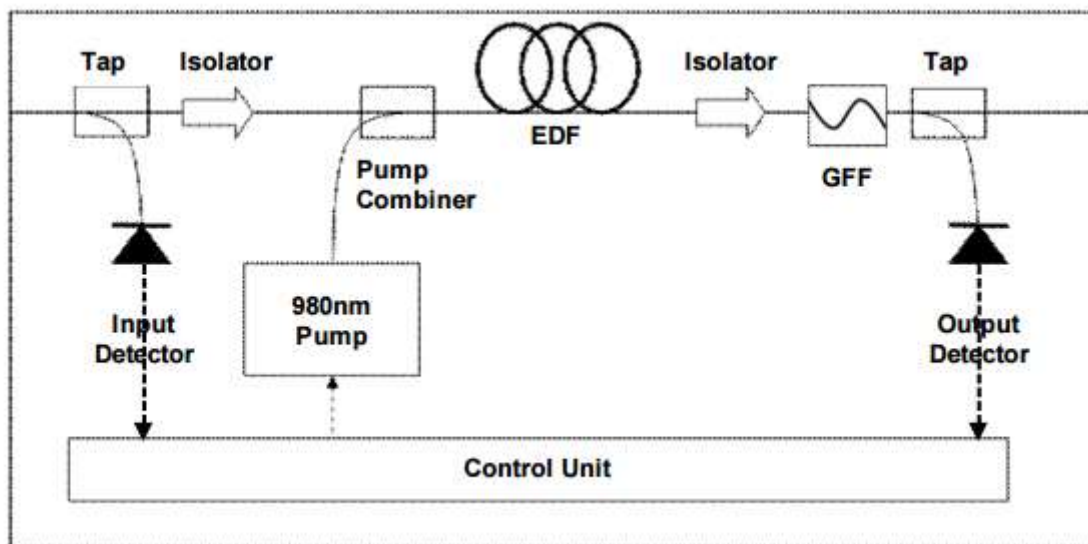
Эрбиуммен легирленген талшық (EDF) EDFA технологиясының негізі болып табылады, ол эрбиуммен легирленген кремнийлі талшық болып табылады. Эрбиум қолайлы толқын ұзындығымен (не 980 нм, не 1480 нм) Жарық энергиясымен жарықтандырылған кезде, ол ұзақ қызмет ету мерзімі бар аралық күйге өтеді, содан кейін ол 1525-1565 нм диапазонында жарық шығарып, қайтадан жер күйіне түседі. Эрбийді толқын ұзындығы 980 нм жарықпен айдауға болады, бұл жағдайда ол қысқа өмір сүретін тұрақсыз күйден өтіп, квази-тұрақты күйге дейін тез ыдырайды немесе толқын ұзындығы 1480 нм жарықпен өтеді, бұл жағдайда ол квази-тұрақты күйге дейін тікелей қозғалады. Квази тұрақты күйде болғаннан кейін ол негізгі күйге түсіп, 1525-1565 нм диапазонында жарық шығарады. Бұл ыдырау процесін бұрын пайда болған жарықпен ынталандыруға болады, бұл күшейтуге әкеледі. EDFA жұмыс принципі 1-суретте көрсетілген.



2.1 Сурет - EDFA жұмыс принципі.

## 2.2 EDFA негізгі конфигурациясы

EDFA конфигурациясы негізінен EDF, сорғы лазері және компоненттен тұрады (көбінесе WDM деп аталады), олар бір уақытта EDF арқылы таралуы үшін сигнал мен толқын ұзындығын біріктіреді. Негізінде, EDFA сорғы энергиясы сигналмен бірдей бағытта (тікелей накачка), сигналға қарама-қарсы бағытта (кері накачка) немесе екі бағытта бірге болатындай етіп жасалуы мүмкін. Накачка энергиясы 980 нм накачка энергиясы немесе 1480 нм накачка энергиясы немесе екеуінің тіркесімі болуы мүмкін. EDFA-ның ең көп таралған конфигурациясы-980 нм накачка энергиясын қолдана отырып, тікелей айдау конфигурациясы, 2-суретте көрсетілгендей.



2.2 Сурет - 980 нм сорғы (накачка) энергиясымен EDFA конфигурациясы

EDFA қолдану

EDFA деген не және EDFA жұмыс принципін зерттегеннен кейін. Әрі қарай, біз EDFA қолдану нысандары мен қолдану салаларын талқылаймыз.

Өтініш нысандары. Күшейткіш-күшейткіш

Күшейткіш ретінде пайдаланылған кезде, EDFA 3-суретте көрсетілгендей мультиплекстелген көп толқындық сигналдың шығыс қуатын жақсарту үшін оптикалық таратқыштың шығысына орналастырылады. Осылайша, оптикалық байланыстың берілу қашықтығын арттыруға болады. Бұл өтініш формасы EDFA-ға жоғары шығу қуаты туралы талап қояды.



2.3 Сурет - Күшейткіштің орналасу реті

Қолдану салалары

EDFA келесі қосымшаларға ие:

EDFA жоғары өнімді және жоғары жылдамдықты оптикалық байланыс жүйесінде қолданыла алады. EDFA қолдану оео қайталағышының болмауына байланысты қабылдағыштардың төмен сезімталдығы мен қысқа қашықтыққа қатысты мәселелерді шешу үшін өте сындарлы.

EDFA алыс оптикалық байланыс жүйесінде пайдаланылуы мүмкін. EDFA көмегімен қалпына келтіретін қайталағыштардың санын азайту үшін қайталағыштар арасындағы қашықтықты ұлғайту арқылы құрылыс құнын едәуір төмендетуге болады. Ұзақ мерзімді оптикалық байланыс жүйесі негізінен жер үсті магистральдық оптикалық тарату жүйесін және талшықты-оптикалық кабель арқылы су астындағы тарату жүйесін қамтиды.

EDFA-ны абоненттік қол жетімділіктің талшықты-оптикалық жүйесінде пайдалануға болады. Егер тарату қашықтығы тым үлкен болса, EDFA желі арқылы беру шығындарын өтеу үшін желілік күшейткіш ретінде жұмыс істейді, бұл абоненттердің санын едәуір арттырады.

EDFA толқын ұзындығына бөлінген мультиплекстеу жүйесінде (WDM), әсіресе толқын ұзындығына бөлінген тығыз мультиплекстеу жүйесінде (DWDM) қолданыла алады. EDFA-ны WDM жүйесінде қолдану шығындар мәселелерін шешуге және хроматикалық дисперсияның әсерін азайтуға қабілетті.

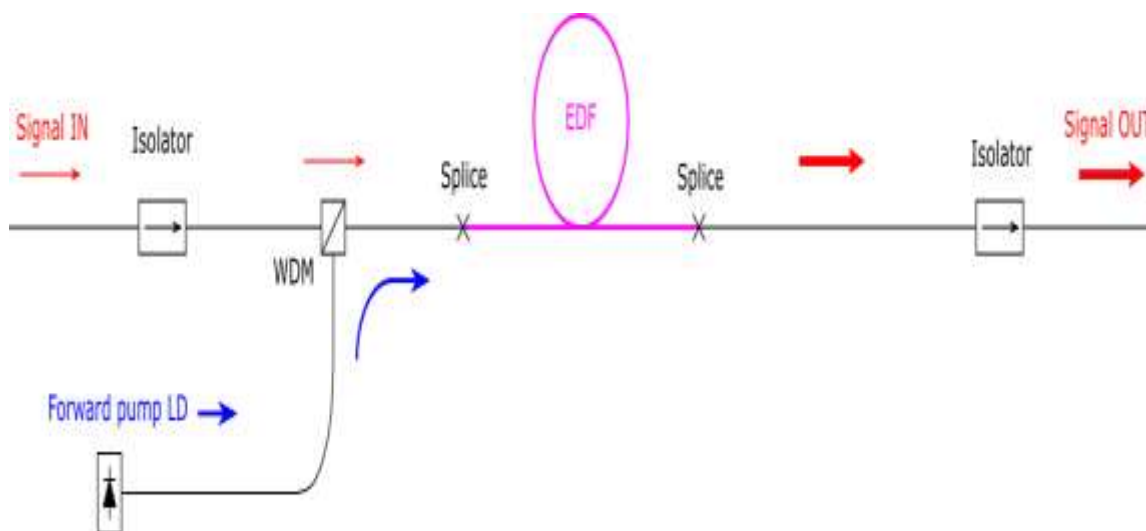
EDFA қоғамдық антенна теледидар жүйесінде (CATV) пайдаланылуы мүмкін. CATV жүйесінде EDFA оптикалық таратқыштың кіріс қуатын едәуір арттыратын күшейткіш ретінде жұмыс істейді. Оптикалық қуат сплиттерінің шығынын өтеу үшін EDFA қолдану тарату желісінің көлемін едәуір арттырып, абоненттердің санын көбейте алады.

Ішкі конфигурация

2.4-суретте EDFA жалпы конфигурациясы көрсетілген. Кіріс сигналы WDM филиалын пайдаланып сорғы жарығымен біріктіріліп, EDF-ке жіберіледі. EDF-те берілген сорғы жарығы популяцияның инверсиясын



тудырады, ал кіріс сигналы ынталандырылған сәулеленумен күшейтіледі. Оқшаулағыштар Шығыс портынан қажетсіз кері шағылысуды жою арқылы сигналдың өсуін тұрақтандыру үшін, сондай-ақ күшейткіштің лазер ретінде жұмыс істеуіне жол бермеу үшін кірісте де, шығуда да орналастырылған. Бұл жалпы конфигурацияда LD сорғысының толқын ұзындығы Эрбийдің ең жоғары сіңіру толқын ұзындығына жақын (сыртқы талшықты Брагг торымен) бекітіледі; толқын ұзындығының диапазоны әдетте 974 нм-ден 980 нм-ге дейін.



2.4 Сурет - EDFA жалпы конфигурациясы

Негізгі оптикалық сипаттамалары

Бұл бөлімде EDFA-ның маңызды оптикалық сипаттамалары түсіндіріледі.

Қаныққан Шығыс қуаты (немесе максималды шығыс қуаты)

Қаныққан Шығыс қуаты-күшейткішке сигналдың жеткілікті кіріс қуаты берілген кезде күшейткіштің максималды шығыс қуаты (әдетте шамамен 0 дБм немесе одан жоғары). Күшейткіш күшейткіш әдетте осы күйде жұмыс істейді, сондықтан қаныққан Шығыс қуаты күшейткіш күшейткіштің маңызды сипаттамасы болып табылады.

Шағын сигнал күшейту

Кішкентай сигналдағы пайда-бұл күшейткішке берілетін сигналдың қуаты өте аз болған кезде күшейткіштегі пайда (әдетте -30 дБм). Алдын ала күшейткіш әдетте осы күйде жұмыс істейді, сондықтан кіші сигналдың пайдасы алдын-ала күшейткіш үшін маңызды сипаттама болып табылады.

### 2.3 Шуыл көрсеткіші

EDFA көмегімен күшейту бастапқы сигналға біршама шу қосады – негізінен EDF–тен стихиялық сәулеленудің (ASE) күшеюіне байланысты - және осылайша сигнал/шу қатынасын (сигнал/шу қатынасы) азайтады. Оптикалық күшейткіштің шу деңгейі (NF) дБ-де көрсетілген Сигнал/шу қатынасының

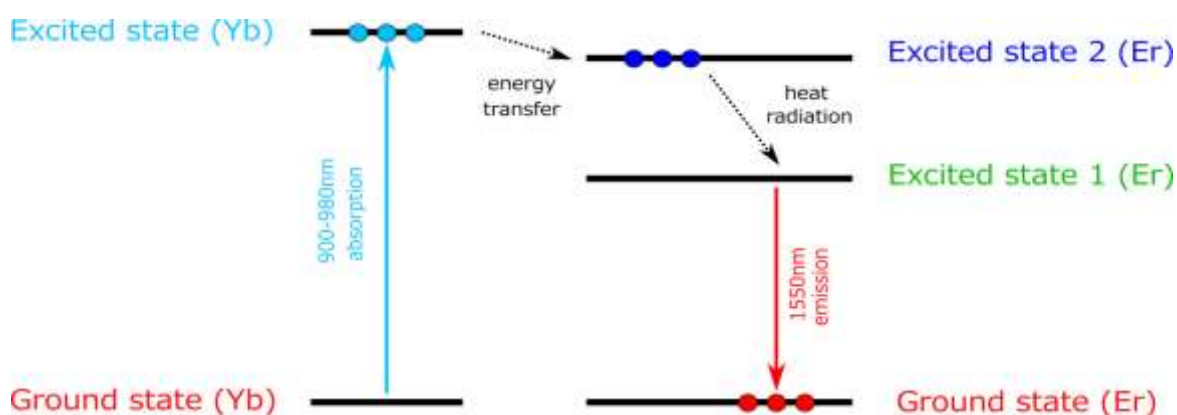
нашарлауының өлшемі болып табылады, ал кіші NF төменгі Шу сипаттамасын көрсетеді (теориялық минимум 3 дБ). Әдетте, ASE төмен кіріс сигналында тез өседі, сондықтан NF алдын-ала күшейткіш үшін маңызды сипаттама болып табылады (яғни, төмен кіріс қуаты). Екінші жағынан, ASE сигналдың кіріс қуаты жоғары болған кезде жақсы басылады және жоғары кіріс қуатымен өлшенген NF мәні онша маңызды емес. Коммерциялық EDFA NF-тің әдеттегі мәні, сигналдың аз кіріс қуаты 5-тен 7 дБ-ге дейін.

EDFA толқын ұзындығына бөлінген мультиплекстеу (WDM) беру үшін қолданылған кезде, барлық WDM арналарында бірдей пайда болуы өте жақсы болар еді. Шындығында, арналардың әрқайсысында әр түрлі күшейту мәні бар және бұл өзгеріс күшейту жазықтығы деп аталады. Көптеген EDFA (мысалы, су астындағы оптикалық беріліс) оптикалық тарату желісінде біріктірілгенде, күшейту біркелкілігі өте маңызды, өйткені кірістің өзгеруі EDFA тізбектерінде жиналып, WDM арналары арасындағы сигнал қуатының үлкен айырмашылығына әкеледі. Арматураның тегістігін жақсартуға болады, мысалы, EDF әйнегінің құрамын өзгерту (алюминийдің жоғары концентрациясы) немесе арматураны тегістейтін сыртқы оптикалық сүзгіні қосу арқылы.

Жоғары қуатты жұмыс істеу үшін Er / Yb бірлескен доп талшықты күшейткіш

Жоғары қуатты жұмыс істеу үшін танымал таңдау болып табылады және эрбиймен / иттербиймен легіріленген талшықты күшейткіш жиі қолданылады [3]. Бұл схемада иттербий (Yb) сіңіруді жоғарылату үшін сенсбилизатор ретінде біріктірілген, өйткені ядро мен сорғы жарығы арасындағы нашар қабаттасудың салдарынан жұтылу конвертте әлдеқайда аз болады.

Er/Yb бірлескен легіріленген талшығының жұмыс принципі 5-суретте көрсетілген. Er иондары келесі екі кезеңмен қозғалады: (1) сорғы фотондары алдымен Yb иондарын қоздырады, ал (2) қоздырылған Yb иондары энергияны Er иондарына өткізіп, оларды қозған 2 күйіне ауыстырады.



2.5 Сурет - Er/Yb біріктірілген талшықты энергетикалық диаграмма

Әрине, Эрбийдің допинг деңгейін жоғарылату арқылы жоғары сіңіруге қол жеткізу оңайырақ болар еді. Алайда, эрбий допингінің жоғары деңгейі (миллионға  $\geq 5000$  бөлік) күшейткіштің төмен тиімділігіне әкелетіні белгілі,

өйткені екі іргелес Er иондарының (иондық жұп) өзара әрекеттесуі артады. Мұндай өзара әрекеттесулер Yb иондарының жұптары үшін әлдеқайда маңызды емес, сондықтан күшейткіштің тиімділігіне нұқсан келтірместен допингтің жоғары деңгейіне (миллионға  $\geq 10\,000$  бөлік) рұқсат етіледі. Көптеген қуатты EDFA (әдетте  $\geq 500$  МВт) бұл конфигурацияны қолданады және көбінесе EYDFA деп аталады.

EDFA (эрбиймен легіріленген талшықты күшейткіш)

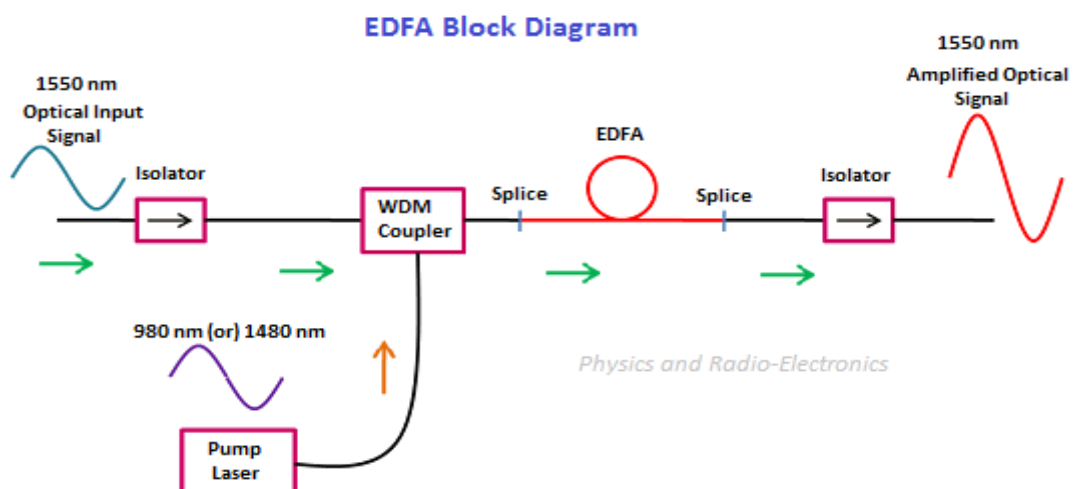
Талшықты-оптикалық байланыс кезінде жарық сигналдары оптикалық талшық арқылы сигналды босатпай өте ұзақ қашықтыққа беріледі. Алайда, тарату қашықтығы жүздеген шақырымға жеткенде, сигнал жоғалуы мүмкін. Оптикалық сигналдың жоғалуын өтеу үшін оптикалық сигналдарды күшейту керек. Оптикалық сигналдарды күшейту үшін біз оптикалық күшейткіш деп аталатын құрылғыны қолданамыз. Оптикалық сигнал күшейткіштері Фотон сәулеленуімен ынталандыру әдісі арқылы оптикалық сигналдардың күшеюін қамтамасыз етеді. Оптикалық күшейткіштердің ең көп таралған түрі-EDFA. EDFA эрбиймен легіріленген талшықты күшейткішті білдіреді.

Бұрын, егер біз оптикалық сигналдың берілу ауқымын арттырғымыз келсе, оптикалық регенерация станциясын әр 80-100 км-ге талшықты-оптикалық байланыс желісіне орнату қажет болды. регенерация станциясы оптикалық талшықтың әлсіреуіне байланысты Оптикалық сигналдың жоғалуын жеңу үшін оптикалық сигналдарды электронды түрде қалпына келтіреді. Алайда, қалпына келтіру станциясын орнату үлкен шығындарды талап етеді және бүкіл желіні жаңарту оңай емес.

Оптикалық күшейткіштердің пайда болуымен бәрі оңайырақ болды. Оптикалық күшейткіштер қалпына келтіру станциясының қажеттілігінсіз оптикалық сигналдың берілу ауқымын арттыра алады. Сонымен қатар, оптикалық күшейткіштер арқылы желіні жаңарту үнемді.

EDFA жұмыс принципі лазерлермен бірдей, тек EDFA лазерлік тербелістер үшін резонатор қажет болатын резонаторды қажет етпейді.

EDFA (эрбиймен легіріленген талшықты күшейткіш) - оптикалық беріліс қашықтығын ұлғайту үшін талшықтар мен компоненттерден тұындаған оптикалық сигналдың әлсіреуін өтеу үшін қолданылатын оптикалық құрылғы.



2.6 Сурет - EDFA жұмыс принципі

EDFA C және L диапазонында қолданылады. C диапазонының толқын ұзындығының диапазоны 1530 нм - ден 1565 нм-ге дейін. C-band қалыпты диапазонды білдіреді. Бұл ұзақ қашықтықтағы оптикалық байланыс үшін қолданылатын толқын ұзындығының маңызды диапазоны, өйткені с диапазонындағы оптикалық сигналдың өшуі өте төмен. L диапазонындағы толқын ұзындығының диапазоны 1565 нм-ден 1625 нм-ге дейін. L-диапазон ұзын толқындық диапазонды білдіреді. Бұл ұзақ қашықтықтағы оптикалық байланыс үшін қолданылатын екінші маңызды толқын ұзындығының диапазоны, өйткені I диапазонындағы оптикалық сигналдың өшуі C диапазонынан кейін өте төмен.

EDFA бір уақытта бірнеше оптикалық сигналдарды күшейтеді. Оптикалық талшықты таратпас бұрын оптикалық сигналдарды тікелей күшейтуге қабілетті.

EDFA түрлері

EDFA күшейткіштері мақсатына байланысты үш түрге бөлінеді:

Оптикалық күшейткіш (екеуі де)

Оптикалық алдын-ала күшейткіш (OPA)

Оптикалық сызықтық күшейткіш (OLA)

Оптикалық күшейткіш (екеуі де)

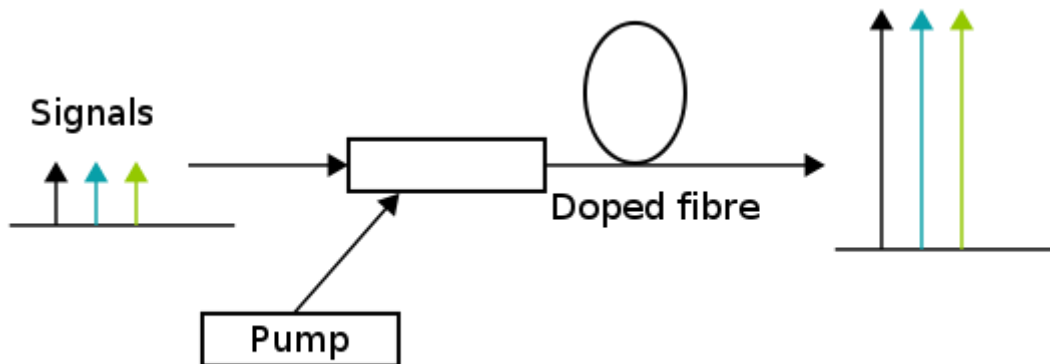
Оптикалық күшейткіш таратқыштың артында орналасқан. Ол оптикалық талшыққа жіберілмес бұрын мультиплекстелген оптикалық сигналдарды күшейтеді.

Ерекшеліктері екеуі де: жоғары кіріс қуаты; жоғары шығу қуаты; орташа оптикалық күшейту

## 2.4 EDFA жұмыс істеуі

Оптикалық талшықтың әдеттегі өзегі "эрбия" тривалентті иондарымен қорытылған кезде, эрбиймен легіріленген талшық пайда болады. Эрбиуммен қапталған бұл талшық оптикалық сигналды күшейтегін күшейткіш ретінде әрекет етеді. Демек, ол EDFA (эрбиймен легіріленген талшықты күшейткіш) деп аталады. Эрбиуммен қапталған талшық толқын ұзындығы 980 нм немесе 1480 нм лазермен жасалады және 1550 нм аймағында оптикалық күшейтуді қамтамасыз етеді.

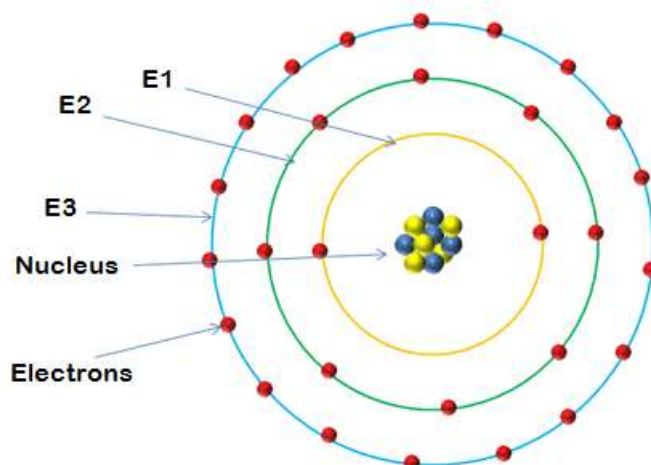
Біз EDFA-ға лазер сәулесін тікелей жібере алмаймыз. Алдында осы лазер қажет. Осы мақсатта біз EDFA-да лазерді мультиплекстеу үшін WDM коннекторын (толқын ұзындығын бөлу мультиплексі) қолданамыз. Осыдан кейін EDFA оптикалық күшейтуге қол жеткізу үшін лазермен жасалады.



2.7 Сурет - Эрбиймен легіріленген талшықты күшейткіш

EDFA оптикалық күшейтуге қол жеткізу үшін популяцияны инверсиялау әдісін қолданады. EDFA-ға өтпес бұрын, алдымен нақты лазер қалай жұмыс істейтінін көрейік. Лазер жарықтың күшеюін және сәулеленудің ынталандырылған сәулеленуін білдіреді. Атауынан көрініп тұрғандай, лазер сәулеленуді қоздыратын процесс арқылы жарықты күшейтеді.

Әлемдегі әрбір зат атомдар деп аталатын ұсақ бөлшектерден тұрады. Алайда атомдар әлемдегі ең кішкентай бөлшектер емес. Атомдардан әлдеқайда аз бөлшектер бар. Бұл бөлшектер электрондар, протондар және нейтрондар. Бұл бөлшектердің бірігуі атомды құрайды. Әр атомда электрондар, протондар және нейтрондар жиынтығы болады. Электрондардың теріс заряды бар, протондардың оң заряды бар, ал нейтрондардың заряды жоқ. Протондар мен нейтрондар әрқашан күшті ядролық өзара әрекеттесудің арқасында бірге тұрады.

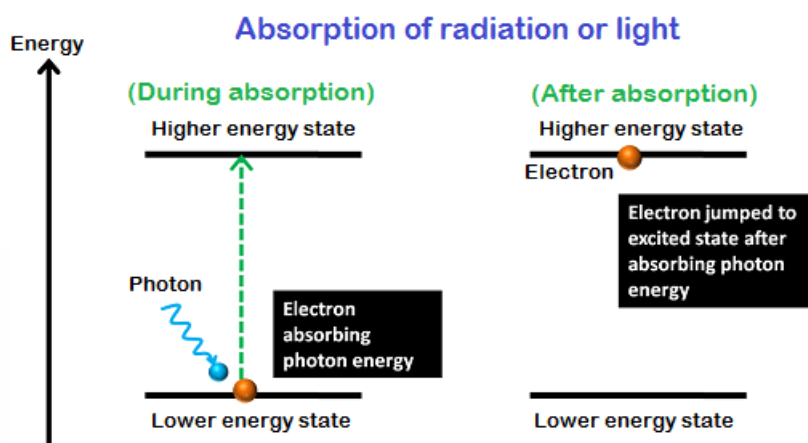


2.8 Сурет - Атомдағы электрондар, протондар, нейтрондар жиынтығы

Протоны және нейтрондар бір-бірігімен бірігеді. Ядроның жалпы заряды оң протондарға байланысты оң болады (нейтрондарда заряд болмайды). Екінші жағынан, электрондардың теріс заряды бар (Протон зарядына қарама-қарсы). Қарама-қарсы зарядтардың арасында тартылыс күші бар екенін білеміз. Осылайша, электрондар электрондар мен ядро арасындағы электростатикалық тартылыс күшіне байланысты әрдайым әр түрлі қашықтықта ядро айналасында айналады.

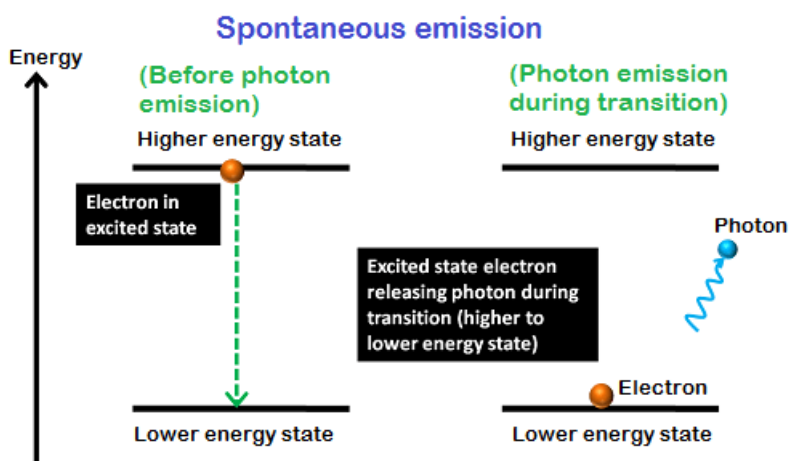
Ядродан әр түрлі қашықтықта айналатын электрондар оған байланысты әртүрлі энергия деңгейіне ие. Ядродан өте жақын қашықтықта айналатын электрондар энергияның ең төменгі деңгейіне ие, ал ядродан үлкен қашықтықта айналатын электрондар энергияның ең жоғары деңгейіне ие.

Ядродан үлкен қашықтықта орналасқан электрондар энергияның ең жоғары деңгейіне ие, өйткені олар жарық, жылу және кернеу сияқты сыртқы энергия көздерінен қосымша энергия алу арқылы осы деңгейге жетті. Жоғары энергия деңгейіне өту үшін сыртқы энергия көздерінен қосымша энергия алу процесі радиациялық сіңіру деп аталады.



2.9Сурет - Сыртқы энергия көздерінен қосымша энергия алу процесі

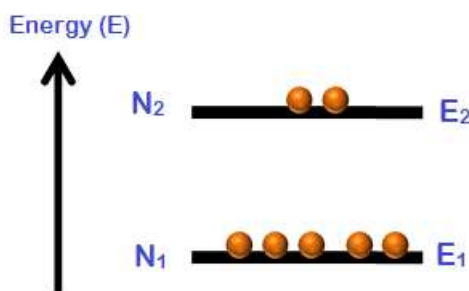
Жоғары энергия деңгейіндегі электрондар ұзаққа созылмайды. Қысқа уақыттан кейін олар энергияны жылу немесе жарық түрінде шығарып, төменгі энергия деңгейіне оралады. Бұл процесс өздігінен сәуле шығару деп аталады. Лазер осы тұжырымдама негізінде жұмыс істейді.



2.10 Сурет– Сәуле шығару процесі

Электрондар энергияны жарық ретінде шығарса да, бұл процесте жарық күшейтілмейді. Осылайша, өздігінен сәулелену процесі лазер жасау үшін қолданылмайды.

Лазер ынталандырылған сәуле деп аталатын арнайы процесс негізінде жұмыс істейді. Жарықтың күшеюіне қол жеткізу үшін жоғары энергия деңгейіндегі электрондардың саны ( $E_2$ ) төменгі энергия деңгейіндегі электрондардың санынан ( $E_1$ ) көп болуы керек. Екі деңгейлі энергетикалық жүйеде жоғары энергия деңгейіндегі электрондардың саны әрқашан төменгі энергия деңгейіндегі электрондардың санынан аз болады. Кейбір жағдайларда жоғары энергия деңгейіндегі электрондардың саны төменгі энергия деңгейіндегі электрондардың санына тең болады. Осылайша, екі деңгейлі энергия жүйесі жарықты күшейту үшін пайдасыз.



2.1 Сурет 1 - Жарықтың күшеюі

Жарықтың күшеюіне 3 немесе одан да көп энергия деңгейі бар жүйені қолдану арқылы қол жеткізіледі. Энергия деңгейі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым Жарық күшейеді. Мысалы, 4 деңгейлі энергия жүйесі 3 деңгейлі энергия жүйесіне қарағанда үлкен оптикалық пайда әкеледі.

EDFA екі лазерлік диодпен (екі бағытты сорғы) немесе бір лазерлік диодпен (бір бағытты сорғы) жасалады. Көбінесе бір лазерлік диодпен сорылатын EDFA қолданылады. Бұл нұсқаулықта бір лазерлік диодпен сорылған EDFA талқыланады.

EDFA фотондардың екі түрлі толқын ұзындығымен жасалады: 980 нм немесе 1480 нм.

EDFA толқын ұзындығы 980 нм лазерлік диодпен жасалады

Толқын ұзындығы 980 нм фотондар толқын ұзындығы 1480 нм фотондарға қарағанда көбірек энергияға ие. Осылайша, лазерлік диод эрбий иондарын толқын ұзындығы 980 нм фотондармен сорған кезде,  $E_1$  негізгі күйіндегі электрондар жеткілікті энергияны сіңіреді және  $E_3$  қозған күйіне өтеді.  $E_3$  энергетикалық күйіндегі электрондардың өмір сүру уақыты шамамен 1 мкс құрайды, бұл өте аз. Осылайша, қысқа уақыттан кейін қозған  $E_3$  күйіндегі электрондар метастабильді күйге немесе қозған  $E_2$  күйіне өтіп, жылу түрінде энергия шығарады (радиациялық емес сәуле). Метастабильді күйдегі немесе қозған  $E_2$  күйіндегі электрондардың өмір сүру уақыты  $E_3$  қозған күйге қарағанда үлкен; сондықтан  $E_2$  метастабильді күйде көптеген электрондар орналасады. Бұл жағдайда  $E_2$  метастабильді күйінің популяциясы  $E_1$  негізгі

күйіне қарағанда үлкен. Осылайша, жарықтың күшеюіне пайдалы популяцияның инверсиясына қол жеткізіледі.

Біраз уақыттан кейін E2 метастабильді күйдегі электрондар E1 күйіне оралып, энергиясын Фотон түрінде шығарады. Фотондарды шығарудың бұл процесі стихиялық эмиссия деп аталады. Стихиялық сәулелену нәтижесінде шығарылған фотондар кіретін фотондармен бірдей бағытта қозғалмайды; оның орнына олар кездейсоқ бағытта қозғалады. Сонымен, бұл фотондар шу шығарады. Өздігінен сәулелену EDFA-дағы шудың негізгі көзі болып табылады.

E2 метастабильді күйінен шыққан фотондар метастабильді күйдің басқа электрондарымен әрекеттесіп, оларды E1 негізгі күйіне оралуға мәжбүр етеді. Осылайша, екі Фотон 1550 нм толқын ұзындығында шығарылады. Фотондарды шығарудың бұл процесі сәулеленудің мәжбүрлі шығарылуы деп аталады. Сол сияқты миллиондаған фотондар мәжбүрлі сәулелену нәтижесінде шығарылады. Шығарылған фотондардың толқын ұзындығы мен бағыты Кіріс жарық сигналына сәйкес келеді. Мәжбүрлі сәулелену нәтижесінде шығарылатын фотондар-толқын ұзындығы мен бағыты бірдей жарық сигналына қосылған қосымша фотондар. Осылайша, жарықтың күшеюіне толқын ұзындығы 1550 нм, толқын ұзындығы 980 нм болатын лазерлік диод арқылы қол жеткізіледі.

EDFA толқын ұзындығы 1480 нм лазерлік диодпен жасалады

Екі деңгейлі энергетикалық жүйеде халық санының инверсиясына қол жеткізу мүмкін емес екенін білеміз. Алайда, толқын ұзындығы 1480 нм болатын лазерлік диод фотондарды тікелей метастабильді күйге жібереді.

EDFA қолдану салалары

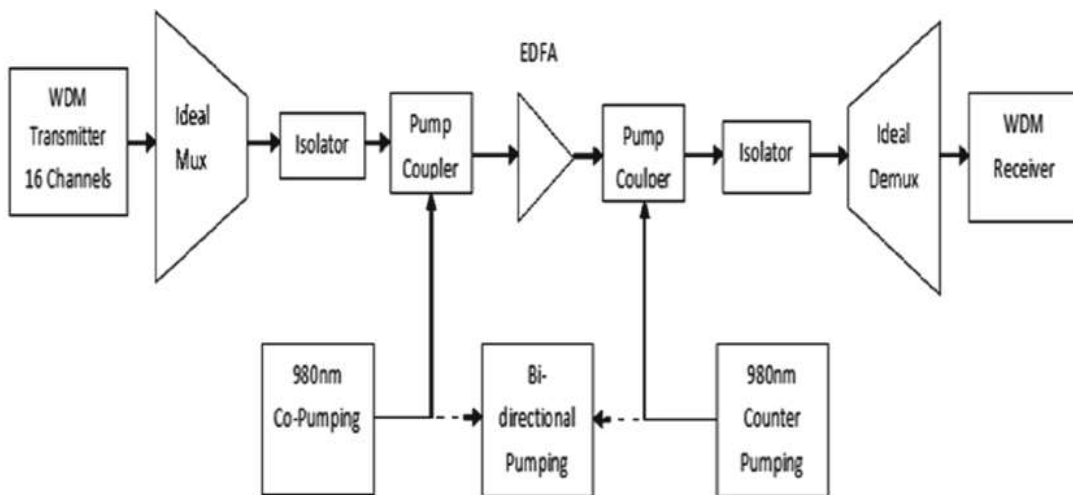
Эрбиймен легіріленген талшықты күшейткіш алғашқы сәтті оптикалық күшейткіш және 1990 жылдары талшықты-оптикалық желілерді жылдам орналастырудың маңызды факторы болды. Оны әдеттегі оптикалық сандық байланыс жүйелерінде қолдана отырып, біз оптикалық қайталағыштардың белгілі бір санын үнемдей аламыз. Сонымен қатар, релелік диапазонды едәуір арттыруға болады, бұл үлкен ұзындықтағы талшықты-оптикалық кабель жүйелері үшін өте маңызды. Мұндай жағдайларда EDFA жиі қолданылады.

EDFA жоғары өнімді және жоғары жылдамдықты оптикалық байланыс жүйесінде қолданыла алады. Ол оео қайталағышының болмауына байланысты қабылдағыштардың төмен сезімталдығымен және қысқа беріліс қашықтығымен жұмыс істеу үшін сындарлы және тамаша шешім ұсынады.

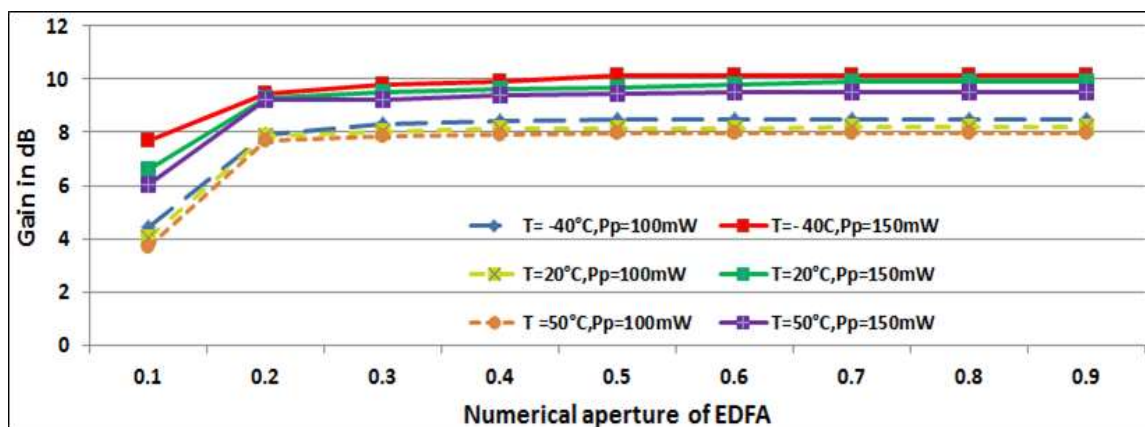
Сонымен қатар, EDFA-ны жердегі магистральдық оптикалық беріліс жүйесі және су астындағы талшықты кабель арқылы беру жүйесі сияқты алыс оптикалық байланыс жүйелерінде қолдануға болады. Бұл қалпына келтіретін қайталағыштардың санын азайту арқылы құрылыс құнын едәуір төмендетуге көмектеседі.

Сонымен қатар, EDFA толқын ұзындығын бөлу мультиплекстеу жүйесінде (WDM), әсіресе толқын ұзындығын бөлу тығыз мультиплекстеу жүйесінде (DWDM) де қолданыла алады. Бұл шығындар мәселелерін сәтті шешуге мүмкіндік береді және хроматикалық дисперсияның әсерін азайтады.





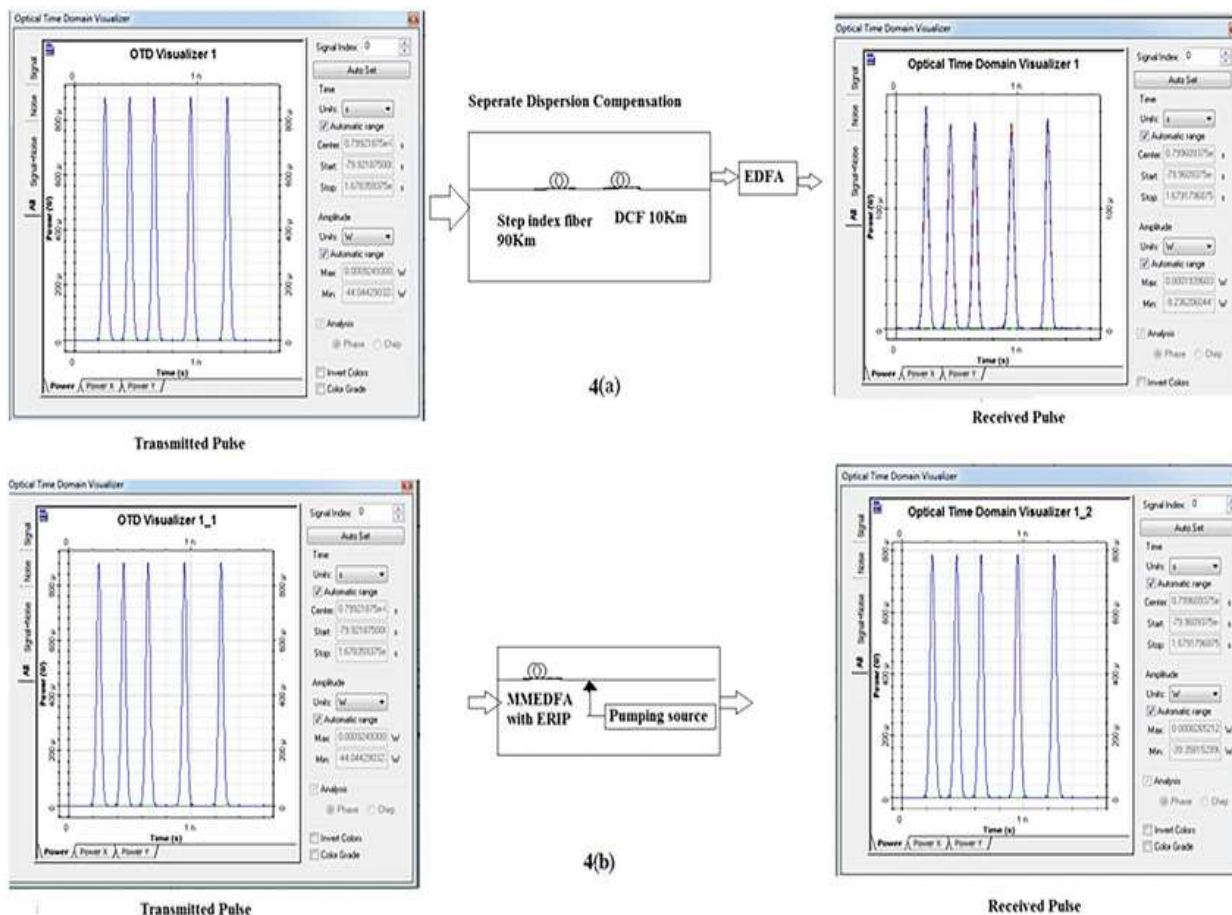
2.12 Сурет - EDFA толқын ұзындығын бөлу мультиплекстеу жүйесінде (WDM), тығыз мультиплекстеу жүйесінде (DWDM) қолданылуы



2.13 Сурет– Сандық апертура мен күшейті коэффициенттер арасындағы қатынас

Бұл жұмыста кеңістікті бөлудің тиімді мультиплекстеу жүйесі-сыну көрсеткішінің жоғары профилі бар көп режимді EDFA қолдана отырып, толқын ұзындығын бөлетін мультиплекстеу жүйесін зерттеген (6).

Қысқаша сипаттама толқын ұзындығына бөлу Мультиплексі (SDM) - бұл толқын ұзындығына бөлу мультиплекстеу жүйесінде (WDM) мультимодтық берілістің ұжымдық өткізу қабілетін арттыруға арналған технология. Бұл жұмыста төрт толқын ұзындығы 229,6-232,6 THz сигналдары беріледі. Әрбір толқын ұзындығы үшін үш сызықты полярланған (LP) режим SDM көмегімен мультиплекстеледі.



2.14 Сурет - (а) арнадағы берілген және қабылданған импульс 1. (б) арнадағы берілген және қабылданған импульс 2. DCF, дисперсияны өтейтін талшық; ERIP, жоғары сыну көрсеткіші бар профиль; mmedfa, эрбиймен легіріленген мультимодты талшықты күшейткіш

Бұл 12 LP режимі Step Index (MSI) төрт параллель мультимодты талшықтармен беріледі және төрт желілік блокпен (ONU) қабылданады. Бұл sdm-WDM жүйесі үшін алдын-ала күшейткіш ретінде эрбийум (MMEDFA) қосылған мультимодты талшықты күшейткіш қолданылады, сыну көрсеткішінің (ERIP) профілі жоғарылайды. Бұл ERIP талшықтың таралу сипаттамаларына сәйкес ITU-T G. 651.1 стандартына сәйкес келеді. LP режимдері беріледі және ұсынылған беріліс жүйесінің өнімділігі кеңістіктік электр өрістерін, қажетті сору қуатын, Шығыс оптикалық қуатын және бит қателіктерінің жиілігін (BER) ескере отырып бағаланады. Кілт сөздер дисперсия, талшықты күшейткіш, эрбиймен легіріленген, мультимодты талшық, сорғы қуаты, сыну көрсеткішінің профілі, кеңістікті бөлу мультиплексі.

Кіріспе толқын ұзындығына бөлу Мультиплексі (WDM) оптикалық желілерде желінің қауіпсіздігі, үлкен өткізу қабілеттілігі және жоғары жылдамдық сияқты негізгі артықшылықтардың арқасында кеңінен қолданылады.

WDM-пассивті оптикалық желі (PON) кеңейту, басқару қарапайымдылығы және 3 үнемділігі сияқты бірқатар тартымды артықшылықтарға ие. Кеңістікті бөлу мультиплексі (SDM) - бұл мәліметтерді

оптикалық беру үшін бірнеше кеңістіктік арналарды қолданатын мультиплекстеу схемасы. Әрбір кеңістіктік режим жеке арна ретінде әрекет ететіндіктен, SDM<sub>5,6</sub>-да өткізу қабілеті артады. Мод бөлу мультиплексі (MDM) іс жүзінде SDM болып табылады, онда бірнеше мод бірдей толқын ұзындығында және бірдей мультимодты талшықта (MMF) немесе 7,8 аз режимді талшықта (FMF) беріледі. Кеңістіктік арналар санына сәйкес MDM талшықтың өткізу қабілетін жақсартады. Бұл талшықтардың санын азайту үшін қолданылады және 9-11 қысқа қол жетімді қосымшаларда қолданылады. WDM-ді SDM немесе MDM-мен біріктірген кезде, оптикалық желілердің жалпы өткізу қабілеті өте үлкен болады 12. Үш толқын ұзындығы мен екі режим үшін MDM еркін кеңістіктегі радио оптикасындағы лагерь–Гаусс (LG) және пончик режимдерін салыстыру арқылы қол жеткізіледі 13. Sdm-ді FMF 14 арқылы беру кезінде мод дисперсиясы мен байланыс мәселелері айтарлықтай талқыланатын тақырыпқа айналады. Sdm-ге қатысты әртүрлі sdm тәсілдері үшін қажетті ішкі жүйелер талқыланады талшықты компоненттер және желілік элементтер.

### 3 EDFA күшейткіш жұмысының математикалық есептеулері

#### 3.1 Регенерациялық учаскенің ұзындығын анықтау

Есептеу үшін жолдың алдыңғы тарауларында қарастырылған параметрлерге сәйкес келетін жолды алыңыз. Трассаның ұзындығы 550 км, ұшып өту ұзындығы 110 км, стандартты талшық, берілу жылдамдығы 2,5 Гбит/сек. Регенерация аймағының ұзындығын өшулікке байланысты есептейміз.

Жалпы жағдайда регенерация учаскесінің ұзындығының екі шамасын өшулік бойынша есептеу керек [2,3]:

$L_{\alpha \text{ макс}}$  – регенерация учаскесінің максималды жобалық ұзындығы;

$L_{\alpha \text{ мин}}$  – регенерация учаскесінің минималды жобалық ұзындығы;

Регенерация учаскесінің ұзындығын бағалау үшін келесі өрнектерді қолданамыз

$$L_{\alpha \text{ макс}} < \frac{A_{\text{макс}} - M - n \cdot \alpha_{\text{рс}}}{\alpha_{\text{ок}} + \frac{\alpha_{\text{нс}}}{L_{\text{стр}}}}, \quad (3.1)$$

$$L_{\alpha \text{ мин}} > \frac{A_{\text{мин}}}{\alpha_{\text{ок}} + \frac{\alpha_{\text{нс}}}{L_{\text{стр}}}}, \quad (3.2)$$

мұндағы  $A_{\text{макс}}$ ,  $A_{\text{мин}}$  – таңдалған ГОБЖ аппаратурасының жабылатын сөнүінің рұқсат етілетін және ең төменгі мәні, қызмет ету мерзімінің соңына қарай қателер коэффициентінің мәні  $1 \cdot 10^{-10}$  аспайды:

$$A = P_1 - P_{\text{пр}}, \quad (3.3)$$

$P_1$  – ОТ кабельдегі қуат деңгейі,  $P_{1\text{макс}} = 0$  дБм ;

$P_{1\text{мин}} = -10$  дБм ;

$P_{\text{пр}}$  – шекті сезімталдық,  $P_{\text{пр}} = -32$  дБм;

$\alpha_{\text{ок}}$  – ОК-дағы километрлік өшулік,  
 $\alpha_{\text{ок}} = 0,22$  дБ/км;

$\alpha_{нс}$  – регенерация учаскесіндегі кабельдің құрылыс ұзындығы арасындағы түйіспедегі оптикалық сәулелену қуатының сөнуінің орташа мәні

$$\alpha_{нс} = 0,01 \text{ дБ};$$

$\alpha_{рс}$  – алмалы-салмалы немесе разъемды оптикалық қосқыштың оптикалық сәулелену қуатының өшуі

$$\alpha_{рс} = 0,5 \text{ дБ};$$

$L_{стр}$  – регенерация учаскесіндегі құрылыс ұзындығының орташа мәні,  $L_{стр} = 6 \text{ км}$ ;

$n$  – регенерация учаскесіндегі алмалы-салмалы оптикалық қосқыштар саны,  $n = 2$ ;

$M$  – регенерация учаскесіндегі кабель бойынша ТОВЖ қоры,

$$M = 4 \text{ дБ.}$$

Онда

$$A_{\max} = 0 - (-32) = 32(\text{дБ});$$

$$A_{\min} = -10 - (-32) = 22(\text{дБ});$$

$$L_{\alpha \max} < \frac{32 - 4 - 2 \cdot 0,5}{0,22 + \frac{0,01}{6}} < 121(\text{км}), \quad (3.4)$$

$$L_{\alpha \min} > \frac{22}{0,22 + \frac{0,01}{6}} > 99(\text{км}). \quad (3.5)$$

Аралықтарды секцияға орналастыру кезінде әрбір аралықтағы шығындар мен дисперсияны өтеу қажет. Секцияға кіретін барлық аралықтардың жоғалуы мен дисперсиясының нақты орнын толтыру және барлық сызықтық күшейткіштердің күшеюі бірдей. Егер аралық ұзындығы номиналдан аз болса, онда аралықтың қажетті минималды тозуын аттенуатор көмегімен алуға болады  $a_{ам}(5, 10, 15$  немесе  $20$  дБ) өшулігімен. Аралықтың ұзындығы  $L_{а \min}$ -нен кем болмауы керек және  $L_{а \max}$ -тен артық болмауы керек, өйткені күшейткіштің күшеюі кіріс сигналының қуатына байланысты және күшейткіштің кірісі мен шығысындағы сигнал қуатының деңгейі рұқсат етілген шектерде болуы керек, әйтпесе сигнал бұрмалануы мүмкін[3].

Жолдың барлық учаскелерінде километрлік өшулікті есептейміз. Ұшып өту учаскелерінің сөнуі (3.6) формуласы бойынша анықталады.

$$\alpha = \alpha_{ок} \cdot L + \alpha_{ам}, \quad (3.6)$$

мұндағы  $\alpha_{ок}$  – таңдалған кабельдің километрлік өшулігі

$$\alpha_{ок} = 0,22 \text{ dB} / \text{км} ;$$

$\alpha_{ат}$  – аттенюатор өшулігі;

$L$  – аралық ұзындығы, км.

Өшулік шамасын анықтаймыз.

$$\alpha = 0,22 \cdot 110 = 24,2(\text{dB}) .$$

Жоғарыда айтылғандай, регенерация аймағының ұзындығы қосымша дисперсиямен шектеледі [3].

Байланыс желісіндегі рұқсат етілген ұзындықты  $L_B$ ,  $\tau_{xp}$  үшін 2,5 Гбит/сек жылдамдықта анықтаймыз:

$$L_B \leq \frac{\pi \cdot c}{8 \cdot B^2 \cdot \tau_{xp} \cdot \lambda^2}, \quad (3.7)$$

мұндағы,  $c$  – жарық жылдамдығы,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ;

$B$  – таралу жылдамдығы,  $B = 2,5 \text{ Гбит/с}$ ;

$\tau_{xp}$  – таңдалған ОК-дағы бір режимді ОБ-ның меншікті хроматикалық дисперсиясы;

$\lambda$  - арнаның толқын ұзындығы,  $\lambda = 1560,61 \text{ нм}$  .

$$L_B \leq \frac{3,14 \cdot 3 \cdot 10^8}{8 \cdot (2,5 \cdot 10^9)^2 \cdot \frac{18 \cdot 10^{-12}}{10^{-9}} \cdot (1560,61 \cdot 10^{-9})^2} = 428 (\text{км}) .$$

Сонда Рұқсат етілген дисперсия

$$\tau_{xp, \text{доп}} = \tau_{xp} \cdot B. \quad (3.8)$$

(3.8)-тегі мәндерді қойып, аламыз

$$\tau_{xp, \text{доп}} = 18 \cdot 428 = 7704 (\text{нс} / \text{нм}) .$$

Беріліс бөлімі үшін хроматикалық дисперсияның есептелген мәні анықталады

$$\tau_{xp, \text{секц.}} = \tau_{xp} \cdot L, \quad (3.9)$$

$$x_{p.секц.} = 18 \cdot 110 = 5940 (\text{пс} / \text{нм}) .$$

Есептелген дисперсия шамалары рұқсат етілген дисперсиядан аз, сондықтан дисперсияны өтеу құрылғылары бізге қажет емес.

Бірақ егер біз аралықтардың санын 5-ке дейін арттырғымыз келсе, онда дисперсиялық Компенсаторларды орнату қажет болады.

### 3.2 Дисперсиялық компенсатор параметрлерін есептеу

Жүйедегі өсу уақыты 2,5 Гбит/с жылдамдықта қалыпты жұмыс істеуді қамтамасыз ететіндей есептеледі, фронттың өсу уақыты мен төмендеу уақыты IEEE стандартымен анықталады. Өсу уақыты-бұл 0,1-ден 0,9 номиналды мәнге дейін жарық қарқындылығының өсуіне қажетті уақыт. Рецессия уақыты-Жарық қарқындылығының 0,9-дан 0-ге дейін төмендеуі үшін қажет уақыт, 1 номиналды мәні [4].

Жарық қарқындылығының өсу уақытын формула бойынша есептейміз (3.10)

$$T_r^2 = T_{tr}^2 + T_{fBER}^2 + T_{rec}^2, \quad (3.10)$$

мұндағы  $T_{tr}$ ,  $T_{fBER}$ ,  $T_{rec}$  – оптикалық кабельдің Жарық таратқышы мен жарық қабылдағышының өсу уақыты.

В беру жылдамдығы мен  $\Delta f$  беру ені арасындағы байланыс сандық сигнал форматына, яғни nrz форматына байланысты.  $T_{tr}$  максималды мәннен аз болуы керек

$$T_{tr} \leq 0,7/B.$$

Лазерлік диоды бар таратқыш үшін шамамен 0, 1 нс болуы керек. Қабылдағыштың өсу уақыты мына формула бойынша есептеледі

$$T_{rec} = 0,35/\Delta f, \quad (3.11)$$

$$T_{rec} = 0,35/(10 \cdot 10^9) = 0,035 (\text{нс}).$$

$T_{fBER}$  (3.9) бойынша анықталады:

$$T_{fBER}^2 = (D \cdot L \cdot \Delta \lambda)^2, \quad (3.12)$$

мұндағы  $D \cdot L \cdot \Delta \lambda$  – топтық жылдамдықтың өсу уақыты;

$D = 2$  пс/нм·км – ОТ дисперсиясы;

$\Delta\lambda$  – спектрлік ені ,  $\Delta\lambda = 0,5 \dots 1 \text{ нм}$ ;

$L = 550 \text{ км}$  – оптикалық тракт ұзындығы

$$T_{\text{fiber}} = 2 \cdot 550 \cdot 1 = 1,100 \text{ (нс)}.$$

Біз жүйенің өсу уақытын формула бойынша есептейміз

$$T_r = T_{\text{fiber}} \cdot (T_{\text{tr}}^2 + T_{\text{fiber}}^2 + T_{\text{rec}}^2)^{0,5} \quad (3.10)$$

$$T_r = 1,1 \cdot (0,1^2 + 1,1^2 + 0,035^2)^{0,5} = 1,34 \text{ (нс)},$$

$$T_{\text{tr}} \leq 0,7 / (2,5 \cdot 10^9) = 0,28 \text{ (нс)}.$$

Теңестіргенде

$$1,34 \text{ (нс)} \leq 0,28 \text{ (нс)}.$$

Бұл шарт орындалмайды, сондықтан дисперсиялық Компенсаторларды орнату қажет.

Дисперсияны өтеу үшін шарт орындалуы керек

$$D \cdot L \approx D_{\text{кд}}, \quad (3.13)$$

мұндағы  $D$  – OT хроматикалық дисперсиясы;

$L$  – байланыс ұзындығы;

$D_{\text{кд}}$  – дисперсиялық компенсатор модулінің дисперсия мәні.

Бұл дисперсияны өтеу үшін OPTIXBWS 320g жүйесінің DCM - 80 дисперсиялық өтемақы модулін қолданамыз. Модульдің техникалық сипаттамалары келтірілген

Дисперсия компенсациясы модулін құрғаннан соң

$$T_{\text{fiber}} = (1,528 - 1,320) \cdot 1 = 0,208 \text{ (нс)},$$

$$T_r = 1,1 \cdot (0,1^2 + 0,208^2 + 0,035^2)^{0,5} = 0,257 \text{ (нс)}.$$

Мәндерді теңестіріп қарастырамыз

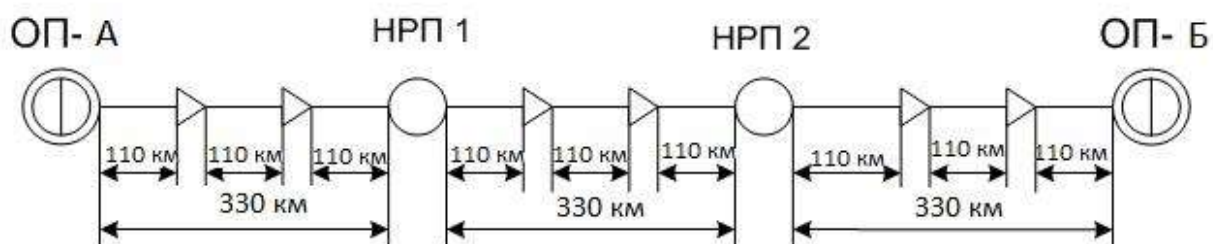
$$0,257 \text{ (нс)} \leq 0,28 \text{ (нс)},$$

бірақ ол орындалмайды. Дисперсиялық Компенсатор күшейткіш сатылары арасындағы қабылдау соңында орнатылады. Дисперсияның компенсаторы сөніп қалатындықтан, артық қуат резерві - 2,62 дБм болады.

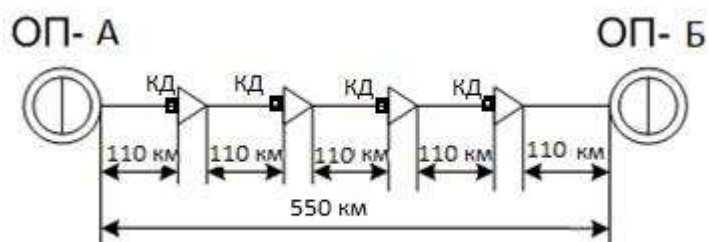


### 3.3 Желілік регенераторлар мен оптикалық күшейткіштерді орналастыру

OLA және қызмет көрсетілмейтін регенерациялық пункттерді (НРП) орналастыру аппаратураның таңдалған түрі және кабельдің сипаттамалары үшін алынған регенерациялық учаскелердің рұқсат етілген ұзындығын ескере отырып жүргізіледі (3.1-сурет).



3.1 Сурет - ГОСТ сәйкес күшейткіштерді орналастыру схемасы



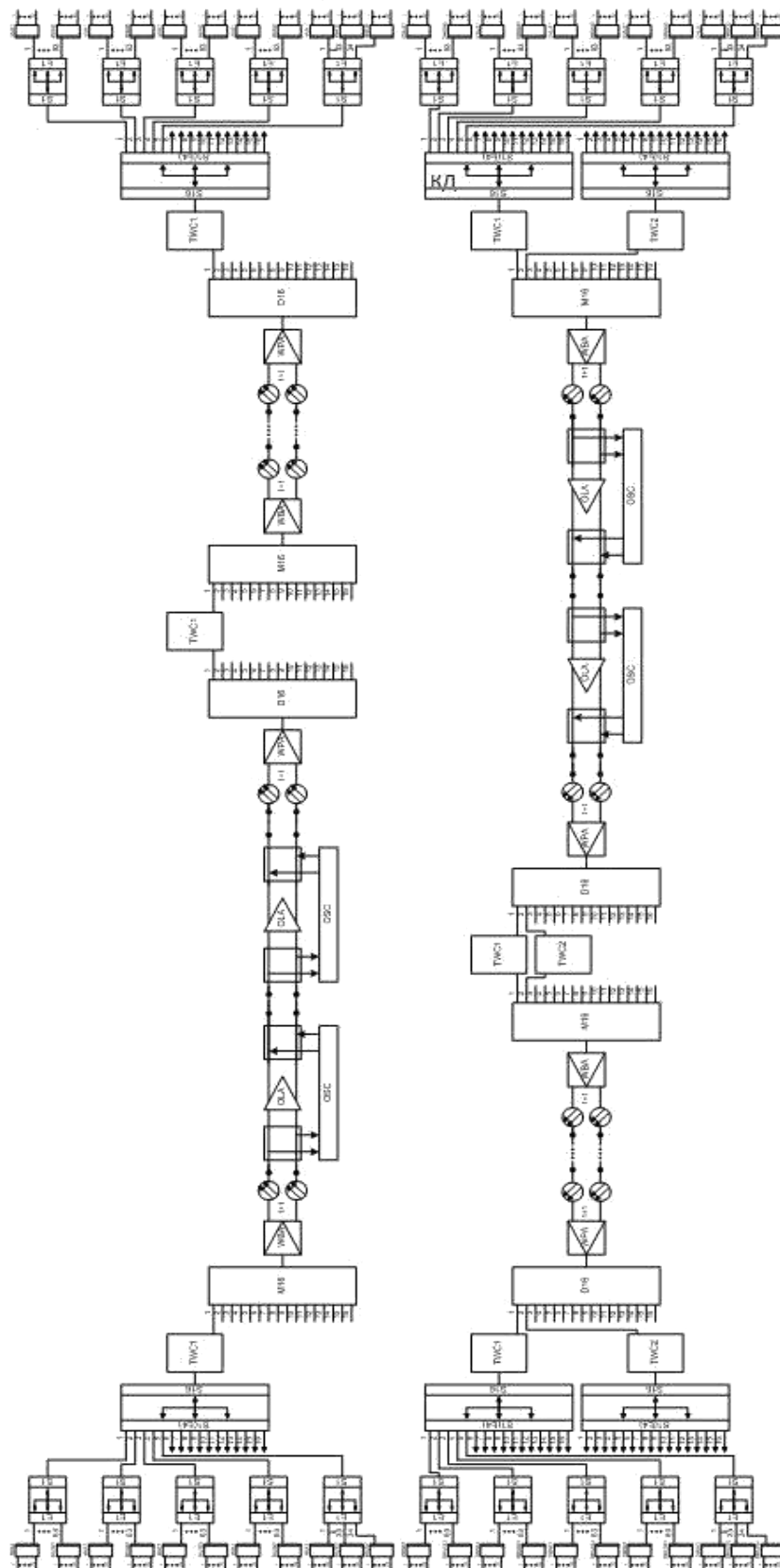
3.2 Сурет - Дисперсиялық күшейткіштер мен компенсаторларды орналастыру схемасы

Байланысты ұйымдастыру схемасында (3.2-сурет) біз соңғы, күшейту және қалпына келтіру нүктелерін, осы нүктелерде орнатылған барлық мультиплексорларды, сондай-ақ олардың арасындағы қосылыстарды көрсеттік.

### 3.4 Оптикалық сигнал-кедергі қатынасын есептеу

сигнал-кедергі қатынасы (3. 12) формула бойынша анықталады

$$\text{OSNR} = P_{\text{chmax}} - L - \text{NF} - 10\lg N - 10\lg(h \cdot \sigma \cdot \Delta \cdot \sigma_0), \quad (3.14)$$



3.3Сурет - Регенерациялық секциядағы байланыс сызбасы

мұндағы  $L = 24,2$  дБ – күшейткіштер арасындағы аралық ұзындығындағы шығындар;

$NF = 6$  дБ – сыртқы шу коэффициенті;

$10 \lg (h \cdot \sigma \cdot \Delta \cdot \sigma_0) = -58$  дБм;

мұндағы  $\sigma_0$  – оптикалық жолақ ені;

$N$  – желідегі күшейткіштер саны.

Біз есептейміз OSNR секциялар бойынша, сәйкесінше регенераторға дейін және одан кейін

$$OSNR_I = 3,02 - 24,2 - 6 - 10 \lg 8 + 58 = 23,59 \text{ (дБ)}.$$

Оптикалық сигнал-кедергі қатынасы ең төменгі 18 дБ деңгейінен асып, нормаға сәйкес келеді. Бұл сигналдың жақсы сапасын көрсетеді.

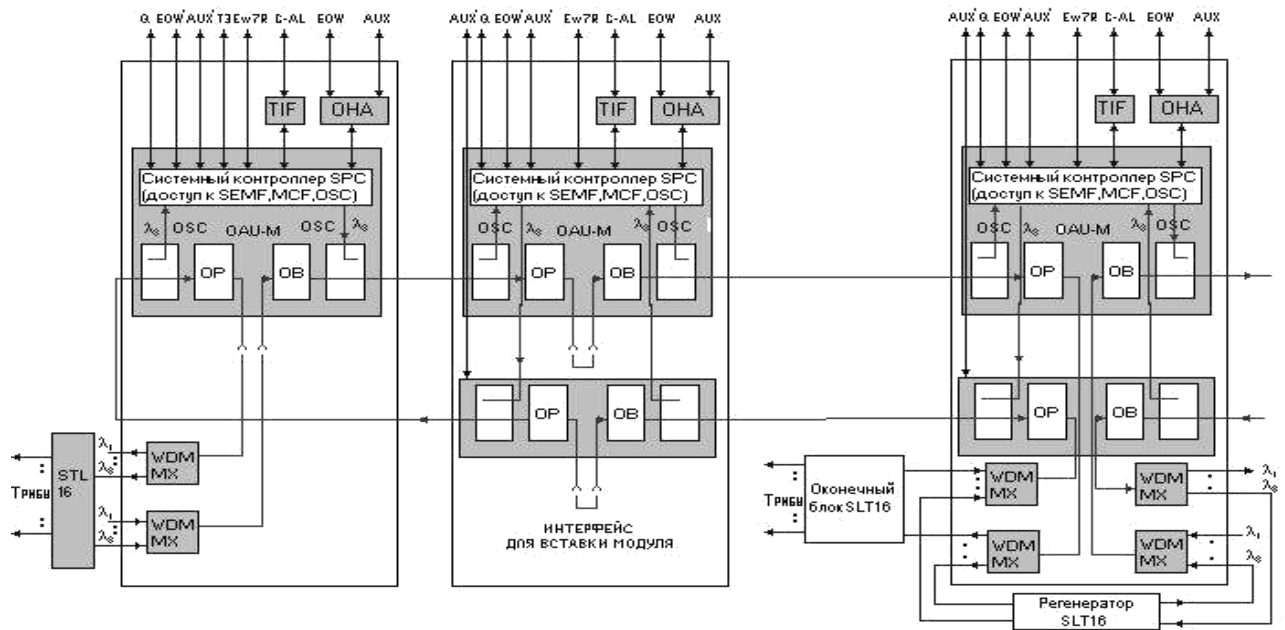
### 3.5 Жобаланған ТОВЖ үшін өнеркәсіптік жабдықты таңдау

Жүйені модельдеу үшін қажетті техникалық сипаттамалары бар мультиплексор моделін таңдау керек. Одан әрі жүргізуге болады модельдеу әр түрлі модельдеріне және үлгілерімен және өткізу техникалық талдау, қандай нұсқалар неғұрлым қолайлы техникалық сипаттамалары бойынша қойылған міндеттері. Енді мен жеткізушілер тарату жүйелерін жобалау және пайдалану үшін жиі қолданатын модельді алғым келеді. Бұл Siemens компаниясының WL8/32 жабдығы, телекоммуникация нарығында өзін жақсы жағынан көрсетті[9]. W18 / 32 сериялық көп арналы мультиплексордың блок-схемасын қарастырыңыз. Мультиплексор схемасы 34-суретте көрсетілген.

Мультиплексордың негізгі сипаттамалары:

- модель-WL8 / 16 / Z2;
- арналардың саны-8/16 / 32, болашақта арналарды құру мүмкіндігі бар;
- сызықтық кодтар-NRZ;
- сигналдың өту жылдамдығы-20-320 Гбит/с;
- стандартты топологиялар - "нүкте-нүкте", " қорғауы бар қос сақина";
- L10 - 140 км максималды ұзындығы, рұқсат етілген аралық саны – 5;
- жылдамдығы-2,5-10 Гбит/с;
- тасымалдаушы жиіліктер-LOO ГГц;
- қажетті талшық-SMF, NZDSF;
- 1480/2 НМ/МГц басқару арнасы;
- интерфейстер-OC-48, 192; STM-1 6/64;
- TMN – QZ басқару.

Мультиплексор бір-бірінен 100 ГГц және стандартты арна жоспарына сәйкес орналасқан N-оптикалық тасымалдаушыларды біріктіре алады



3.4 Сурет - Siemens компаниясының w18/32 мультиплексор схемасы [9]

202,6 THz (1480,0 нм) жиіліктегі арна қызметтік бақылау арнасы үшін пайдаланылады, ол арналар желісінде соңғы болып табылады [9].

Әрбір оптикалық тасымалдаушы қазіргі уақытта Siemens компаниясының STM-16 (2,5 ГГц) деңгейлі SDHSL L6 мультиплексорының шығуынан кіріс сигналымен модуляциялануы мүмкін және болашақта STM-64 (10 ГГц) sl64 мультиплексорының шығыс сигналын қолдана алады, бұл бір талшықтың арна сыйымдылығын 20-дан 80 Гбит/с-қа дейін жеткізуге мүмкіндік береді.

WDM мультиплексірлеу жүйесі үш модульмен жинақталады: OTM оптикалық терминалдық модулі (WLT), оптикалық күшейткіш. ОУМ модулі (WLP) және OPM оптикалық регенераторлық модулі (WLR). Олардың өзара әрекеттесуінің жалпы схемасы келесідей: SLT-нн синхронды сызықтық терминал мультиплексорларының сигналдары wlt модулімен көбейтіліп, күшейтіледі, WLP модулімен қосымша күшейтіледі (мысалы, 120 км қашықтықты бір бөлікпен жабу қажет болса). және BOK-қа беріледі (wlt және WLP модульдері бөлімді құрайды). Содан кейін сигналдар келесі бөлімде қабылданады немесе (мысалы, 600 км - ден асатын қашықтыққа беруді қамтамасыз ету қажет болса) WLR модулімен қалпына келтіріледі және келесі секцияға және осылайша демодуляция жүретін соңғы қабылдау бөліміне беріледі.

Бұл модульдер "нүкте-нүкте" топологиясын келесі үш нұсқада, BOK кабелімен бір, екі немесе үш модуль қолданылған кезде қолдана алады:

а) 1 - WLT -BOK - WLT - BOK ... BOK - WLT;

б) 2 - WLT - WLP- BOK - WLP -WLT- BOK ... BOK - WLP - WLT

в) 3 - WLT - WLP - BOK - WLP - WLT - BOK ... BOK - WLR - WLP - WLT - BOK ... BOK - WLP - WLT.

Беру режимінде WLT модулі WDM-MX блогында STM-16 деңгейіндегі SDH (SLT терминалды мультиплексорларынан) ағындарын (арналарын) жинақтайды (және STM-64 дейін), 20 (80) Гбит/с агрегаттық ағынын қалыптастырады, оны күшейткіш күшейтеді. Әрі қарай, оған қызмет көрсететін бақылау арнасы қосылады. Содан кейін жалпы ағын BOK-қа беріледі (1-нұсқа) немесе WLP модулімен күшейтіледі (2-нұсқа). Соңғы жағдайда тасымалдаушы кіріс ағынынан ерекшеленеді, SPC контроллері талдайтын OSC арнасы, содан кейін күшейтілген негізгі ағынмен қайтадан біріктіріледі. Негізгі ағын алдынала орнатқышпен күшейтіледі (WLP модуліндегі екі каскадты күшейткіштің бірінші сатысы), содан кейін күшейткішке (OAU-M модулінде жабық секіргіш болған кезде) немесе кіру интерфейсі арқылы Каскад аралық қол жеткізу мүмкіндігін қолдана отырып, кірістірілген Каскад блогына, мысалы, өтемдік дисперсияға беріледі. талшық (егер жалпы дисперсияны түзету қажет болса). Содан кейін бустерге және одан әрі BOK-қа. 2-нұсқада BOK ағыны қабылдау жағының WLP Модулінің кірісіне беріледі, ал в нұсқасында 3 -WLR регенератор кірісі.

Қабылдау режимінде WLT модулі ағынды BOK-тан (1-нұсқа) немесе WLP-ден (2-нұсқа) алады, онда өңдеу жоғарыда сипатталған ретпен жүзеге асырылады, бірақ сол SPC көмегімен басқа арна (OAU-S блогы) арқылы жүзеге асырылады. Қабылданған WLT ағыны, оғ блогында алдынала күшейтілгеннен кейін, SLT терминалды мультиплексорларының кіріс интерфейстеріне берілетін N Шығыс ағындарындағы WDM-DX блогымен демультимплекстеледі.

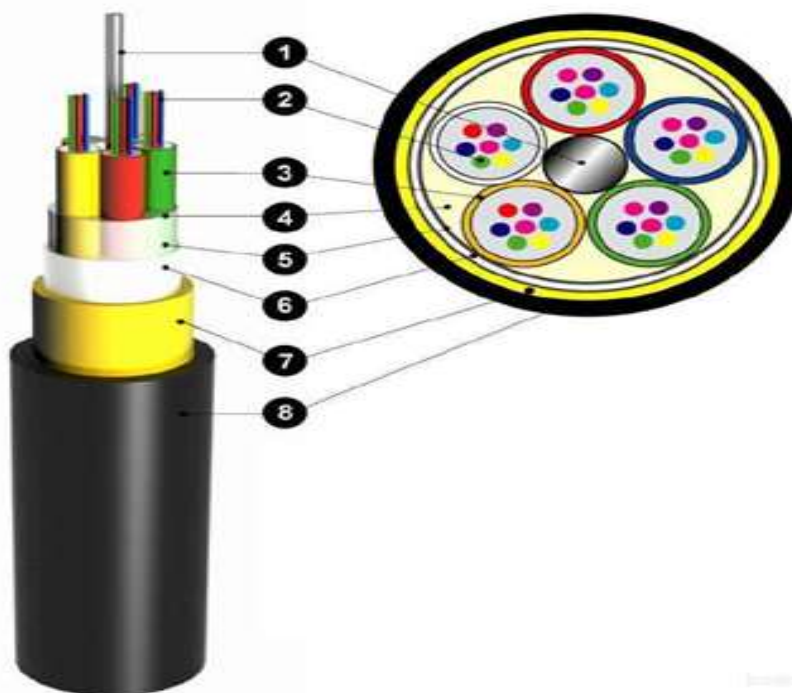
WLR Регенератор Модулінің схемасы WLT схемасына ұқсас, бірақ симметриялы - оның O/OV блоктарының екі жиынтығы (яғни OAU-M және OAU-S) және WDM-MX/WDM-DX блоктарының екі жиынтығы бар. Соңғылары стандартты SDH қалпына КЕЛТІРУШІСІНЕ жабық SLR (STM-16 немесе STM-64 деңгейі), ол іс жүзінде классикалық схема бойынша қалпына келтіруді жүзеге асырады: O/E-кіріс сигналын түрлендіру электрондық қалпына келтіру және кері E/O-шығыс сигналын түрлендіру.

Жалпы басқару барлық үш модульде OAU-M блогының SPC контроллерімен жүзеге асырылады, оның кірісіне әртүрлі басқару және дабыл сигналдары беріледі: аух сыртқы басқару және EOW ішкі басқару, ол тақырыпқа кіру блогы арқылы беріледі; TIF блогы арқылы берілетін Q интерфейсі және C-AL дабыл сигналдары арқылы TMN типті NMS басқару [9].

### **3.6 Жобаланған байланыс желісі үшін оптикалық кабельді таңдау**

Менің жұмысым үшін Мен осы салада әлемдік көшбасшы болып табылатын АҚШ-тың CORNING INC талшығын таңдадым. Регенерациясыз 550 км қашықтықта 2,5 Гбит/с жылдамдықпен ақпараттың сапалы берілуін ұйымдастыру үшін Корнинг LAEFTM (XЭО-Т G. 655 ұсынысы) бір режимді талшығын пайдалану қажет. 35-суретте магистральдық желілер үшін

қолданылатын кабель үлгісі 3.1-кестеде көрсетілген және техникалық сипаттамалары келтірілген.



3.5 Сурет - ОКЛЖ типті кабельдің көлденең қимасы [5]

- 1 -Корнинг " фирмасының оптикалық талшығы";
- 2 - гидрофобты агрегат;
- 3 - Орталық күш элементі (шыны пластик);
- 4 - күш элементтері (арамидті жіптер);
- 5 - кордель;
- 6 - бекіту таспасы;
- 7 - жару сымы (талап бойынша);
- 8 - полимерлі түтік;
- 9 - полимерлі қорғаныс ішкі қабығы;
- 10 - полимерлік қорғаныс сыртқы қабығы;
- 11 -таңбалау

Әрбір жеке жағдайда кабельдің параметрлері аралық мәндеріне және пайдалану шарттарына байланысты тапсырыс берушінің техникалық талаптарына сәйкес есептеледі.

### 3.1 Кесте - ОКЛЖ кабелінің пайдалану сипаттамалары [5].

Параметр	Мәні
ОТ саны	2-96,0
Номиналды сыртқы диаметрі, мм	12,0-22,00
Есептелген салмақ, кг/м	120-4 10,0
*Өшу коэффициенті, дБ/км, не более: - 1.31 мкм толқын ұзындығында - 1.55 мкм толқын ұзындығында	0,340 0,200
*Хроматикалық дисперсия, пс/нм·км, не более: - 1.31 мкм толқын ұзындығында - 1.55 мкм толқын ұзындығында	18,0 5,50
Жарылыс күші, кН, аз емес	10,00 - 100,00
Рұқсат етілген созылу күші, кН	3,50 - 30,00

Тарау бойынша қорытындылар: үшінші тарауда мен модельденген сызықты математикалық есептеуді жасадым. Мен регенерация учаскесінің минималды және максималды ұзындығын есептедім, ол 99 және 121 км болды, бұл 110 км модель үшін таңдалған мәннен аспайды. Тағы бір есептеу 550 км жол мен 110 км жол сияқты жасалды. Мен бұл есептеуде дисперсиялық Компенсаторларды орнату қажет екенін білдім. Мен шығындарды дисперсиялық Компенсаторларды ескере отырып есептедім, бұл есептеулер Opti Sim көмегімен модельделген аймақтың мәндеріне сәйкес келеді. Сондықтан менің міндет атқарды.

ТОБЖ маршруттарын нормалар мен стандарттарға сәйкес зерттеу мүмкін емес болғандықтан, желі мен жабдықтың өзі үшін қауіпті емес, сондықтан көптеген жобалау ұйымдары модельдеу пакеттерін пайдаланады. Мұндай жоба өте үнемді, көрнекі және орнату үшін үлкен инвестицияларды қажет етпейді. Әлемде талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін модельдеу үшін көптеген әртүрлі бағдарламалар қолданылады. Талдау үшін мен әртүрлі бағыттағы бірнеше бағдарламалық жасақтаманы таңдауға болады:

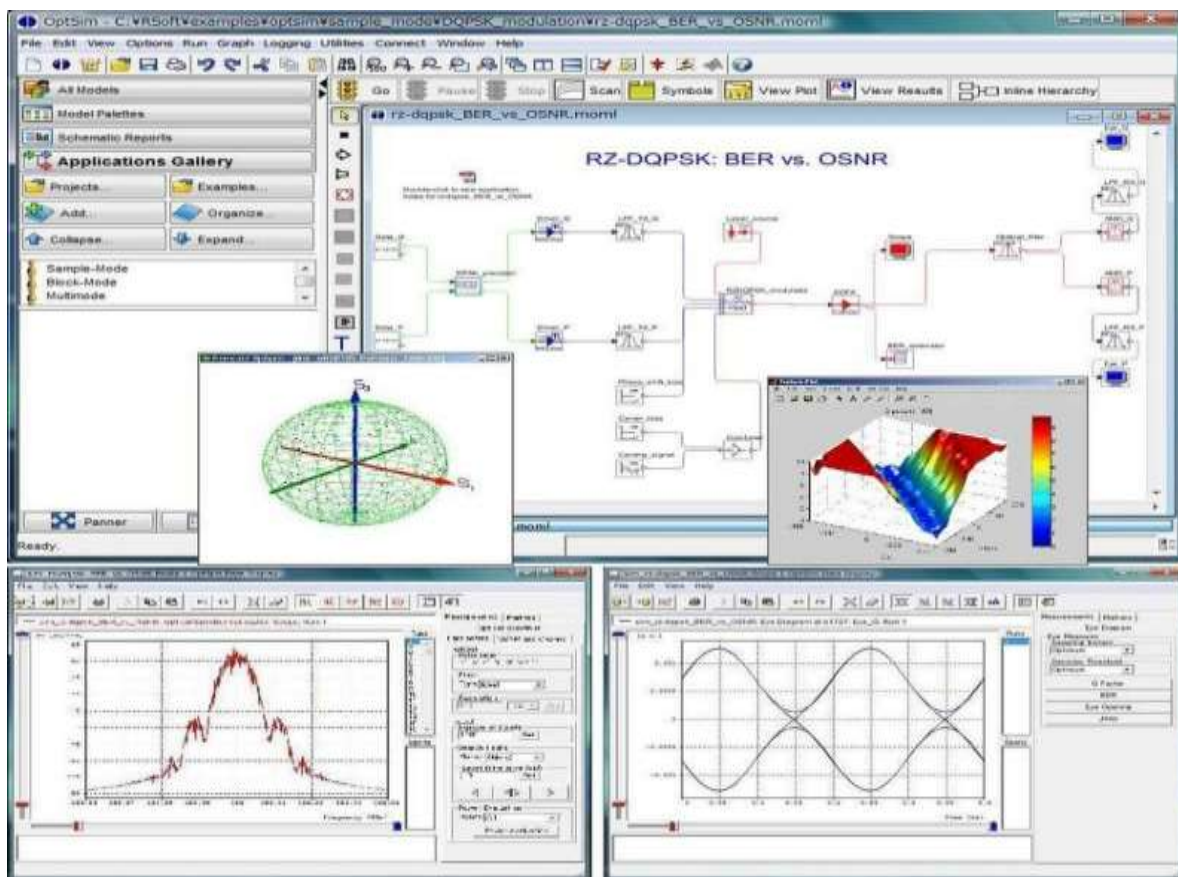
- Lab View;
- Math lab;
- OptiNet;
- OPTISIM.

Қажетті бағдарламалық өнімді таңдау үшін біз желінің сипаттамаларына, байланыс арналарына және жалпы барлық жабдықтарға тоқталамыз. Бұл мәліметтер заманауи оптикалық телекоммуникациялық жүйелердің әртүрлі байланыс желілерін жоспарлауға, имитациялауға және тексеруге мүмкіндік береді.

Math lab - бұл кез-келген байланыс желілері мен әртүрлі жағдайдағы тарату жүйелерін модельдеуге арналған әмбебап бағдарлама. Бағдарламаның мүмкіндіктері іс жүзінде шектеусіз.

Opti Net - бұл талшықты-оптикалық желілерді имитациялауға мүмкіндік беретін, білім беру мақсатында және дизайнерлер үшін кеңінен қолданылатын бағдарлама.

OptSim - арналардың спектрлік бөлінуімен оптикалық байланыс жүйелерінде деректерді талдау үшін қолданылады, оған OptSim және OptiSim бағдарламаларының отбасы кіреді, Matlab-пен бірлескен модельдеу. 1-суретте OptiSim бағдарламасының терезесі көрсетілген.



3.6 Сурет - Бағдарлама терезесі

Жұмыс үшін OptSim бағдарламасы таңдалды. Бұл бағдарламада жеке желілерді (600-ден астам оптикалық компоненттер) және арналары көп жүйелерді модельдеуге арналған үлкен кітапхана бар.

Бағдарламаның мүмкіндіктерін жетекші ресейлік зертханалар әртүрлі мақсаттағы оптикалық байланыс желілерін жобалау және зерттеу үшін пайдаланады. Бағдарлама қол жетімді интерфейске ие және нәтижелерді жеткілікті түрде анық талдауға мүмкіндік береді.



## ҚОРЫТЫНДЫ

Бүгінгі таңда ең озық және танымал оптикалық күшейткіш бола отырып, EDFA талшықты-оптикалық байланыс желілерінде кеңінен қолданылады. Динамикалық күшейтудің кең диапазонында біркелкі пайда болуымен, төмен шуылмен, жоғары қанықтыру қуатымен және өтпелі кезеңдерді тамаша басумен тұрақты жұмыс істеуімен сипатталады, ол жақын арада оптикалық байланыста өте маңызды және алмастырылмайтын орынды алады.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, біз EDFA-ны, оның ішінде EDFA жұмыс принципін және оны қолдануды жақсы түсінеміз. Оптикалық күшейткіштер үшін қол жетімді түрлі технологиялардың ішінен EDFA технологиясы бүгінгі таңда ең озық болып табылады. Қазіргі уақытта EDFA талшықты-оптикалық байланыс желілерінде кеңінен қолданылады. Байланыс технологиялары одан әрі дамыған сайын, EDFA Болашақ оптикалық күшейткіштер үшін таңдаулы таңдау болады. Үлкен динамикалық күшейту диапазонында, төмен шу, жоғары қанықтыру қуаты және тамаша өтпелі басу арқылы тұрақты жұмыс істейтін жалпақ күшейту функцияларымен жабдықталған EDFA абоненттерге жақсы қызмет көрсету үшін оптикалық байланыс жүйесінде маңызды рөл атқарады.

Есептеу бөлігінде аралықтың есебі, сондай-ақ оны құру жоспары жүргізілді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В. Компоненты телекоммуникационных систем. Анализ инженерных решений. – М.: МИЭТ, 2008.
- 2 Евсеенко Г. Н. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: РКСИ, 2005
- 3 Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости, Москва, 2009
- 4 Баркун М. А., Ходасевич О. Р. - Цифровые системы синхронной коммутации. -М.:Эко-Трендз, 2008 г
- 5 Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: Nera Telecommunications, 2008.
- 6 Справочник по радиорелейным системам; Международный союз электросвязи, - Бюро радиосвязи, Женева, 2009
- 7 Телекоммуникационные системы и сети. Т1: Учеб. Пособие/ Крук Б. И., Попантонопуло В. Н., Шувалов В. П., - Изд. 2-е, испр и доп., - Новосибирск, 2009
- 8 Голубицкая Е.А., Жигульская Г.М. Экономика связи. – М.: Радио и связь, 2009
- 9 Гончарук В.Д., Канаев Н.Я. Экономика, организация и планирование предприятий связи. М., 2008
- 10 Инструкции по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции и услуг на предприятиях, Астана, 2009
- 11 Положением о составе затрат на производство продукции, выполнение работ и оказание услуг, Р К, Астана, 2008
- 12 Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. – М.: Радио и связь, 2008
- 13 Верховский Е.И. Пожарная безопасность на предприятиях радиоэлектроники. – М.: Высшая школа, 2009
- 14 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 2008
- 15 Беляров Ю. А., Хлопков В. В. Охрана труда в организациях связи. Практические рекомендации, М., Книжный мир; 2010.
- 16 Д.В. Иоргачев, О.В.Бондаренко «Волоконно-оптические кабели и линии связи».- М.: Эко-Трендз, 2002.- 282 с.
- 17 Иванов А.Б. «Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения».- М.:Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.- 671с.
- 18 Р.Р.Убайдуллаев «Волоконно-оптические сети».- М.: Эко-трендз, 1998.- 267 с.
- 19 В.И.Корнейчук, Т.В.Макаров, И.П.Панфилов «Оптические системы передачи».- К.: «Техніка», 1994. 388 с.

20 И.И.Гроднев, А.Г.Мурадян, Р.М.Шарафутдинов и др. «Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник» .- М.: Радио и связь, 1993.-264с.

21 А.С.Курков, О.Е.Наний «Эрбиевые волоконно-оптические усилители»// LIGHTWAVE russian edition, №1, 2003. С.14-19.

22 Андрэ Жирар. Руководство по технологии и тестированию систем WDM.-М.:EXFO, 2001./Пер.с англ. под ред. М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В.Шмалько. /Общая редакция А.В.Шмалько. Компоненты ВОЛТ. Учебное пособие. Киев, 2006. – стр 25-70.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Касимов Талип Кудратович

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу»

Берілген бітіру жұмысында EDFA күшейткіштерінің сызбалары зерттелді. Талшықты-оптикалық байланыс жүйелеріне тоқталып, EDFA күшейткіштерінің жұмыс принциптері, олардың қазіргі замандағы орыны қарастырылған.

Кафедраның зертханалық қондырғыларында зерттеулер жасалған.

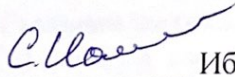
Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

ТОБЖ да EDFA күшейткішін пайдалану, параметрлерін зерттеу орынды.

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Касимов Талип Кудратович 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**

ЭТ және FT каф.лекторы,  
техн.ғыл.магистрі



Ибекеев С.Е.

(қолы)

«15» мамыр 2022 ж.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Касимов Талип Кудратович

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу»

Берілген бітіру жұмысында EDFA күшейткіштерінің сызбалары зерттелді. Талшықты-оптикалық байланыс жүйелеріне тоқталып, EDFA күшейткіштерінің жұмыс принциптері, олардың қазіргі замандағы орыны қарастырылған.

Кафедраның зертханалық қондырғыларында зерттеулер жасалған.

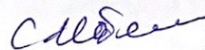
ТОБЖ да EDFA күшейткішін пайдалану, параметрлерін зерттеу орынды.

Бұл дипломдық жұмыста талшықты байланыс жолында күшейткіштер орналастыру, оларды таңдау мәселелері қарастырылады.

EDFA күшейткішін басқа оптикалық күшейткіштермен салыстырмалы түрде қарастырылып, бірмодалы талшық таңдап алынған.

Жалпы, студент Касимов Талип 5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне алдын-ала қорғауға ұсынылады.

**Ғылыми жетекші**  
ЭТ және FT каф.лекторы,  
техн.ғыл.магистрі

 Ибекеев С.Е.

(қолы)

«10» мамыр 2022 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Касимов Талип Кудратович

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар  
(мамандық атауы мен шифры)

Тақырыбы: «EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 5 парақ;  
б) түсініктеме 55 бет.

**ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ**

Берілген бітіру жұмысында EDFA күшейткіштерінің сызбалары зерттелді. Талшықты-оптикалық байланыс жүйелеріне тоқталып, EDFA күшейткіштерінің жұмыс принциптері, олардың қазіргі замандағы орыны қарастырылған.

Кафедраның зертханалық қондырғыларында зерттеулер жасалған.

ТОБЖ да EDFA күшейткішін пайдалану, параметрлерін зерттеу орынды.

EDFA күшейткішін басқа оптикалық күшейткіштермен салыстырмалы түрде қарастырылып, бірмодалы талшық таңдап алынған.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба жоғарға оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – желілерді құруды талдау және салыстыру технологиялардағы ғылыми бағытқа жауап береді.

**ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ**

Жалпы, дипломдық жобаға "өте жақсы" (95%) деген баға, ал студент Касимов Талип Кудратович мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

**Сын - пікір беруші**

АУЭС доценті,

техн.ғыл.канд

(қызметі, ғыл дәрежесі, атағы)

Т.О.Касимов

(колы)

« »



Қолтаңбаны растаймын  
Подпись заверяю

Касимов Т.О.

« 19 » 05 аты-жөні  
2022 ж.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Касимов Талип Кудратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: EDFA оптикалык күшейткіш схемаларын зерттеу

Научный руководитель: Серикбек Ибекеев

Коэффициент Подобия 1: 2.5

Коэффициент Подобия 2: 0.3

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 51

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2022-05-19

Дата

Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагнаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Касимов Талип Кудратович

Тақырыбы: EDFA оптикалық күшейткіш схемаларын зерттеу

Жетекшісі: Серикбек Ибекеев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.3

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 51

Аральықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2022-05-19

Күні

Кафедра меңгерушісі

