

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Казакбаев Елдар Ержанұлы

«Күшейткіштердің жұмысын талдау»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

Тақырыбы «Күшейткіштердің жұмысын талдау»

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Орындаған: *Кем*

Е.Е.Казакбаев

Рецензент:

«ARNAU ENERGY»

ЖШС директоры

*Баймұхамед Т.С.*

« *24* » *05* 2024 ж.



Ғылыми жетекші

техн.ғыл.магистры,

аға оқытушы

*С.Е.Ибекеев*

« *24* » *05* 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы



**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Казакбаев Елдар Ержанұлы

Тақырыбы: «Күшейткіштердің жұмысын талдау».

Университет ректорының «04» желтоқсан 2023ж. №548 - П/Ө бұйрығымен  
бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі 30 «мамыр» 2024 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

1. EDFA күшейткіші, жұмысы;
2. Фабри-Перо күшейткішінің жұмыс принциптері;
3. Қосалқы элементтер, компоненттерді қосу сұлбасы.
4. Толқын ұзындығы 850-1550 нм.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Күшейткіштің өлшеу диапазоны;
- б) Фабри Перо күшейткішінің сызбасын сызу;
- в) Күшейту коэффициенттерін есептеу.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:




1. Джерелил Б, Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства, Москва, 2016.
2. Чернов Г. DS18B20 описание работы с датчиком температуры. Москва, 2017 ж..
3. Улли С. Программирование микроконтрольных плат Arduino, 2010 г..

Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі	Ескерту
Күшейткіштің өлшеу диапазонын негіздеу	07.02.2024 ж - 23.03.2024 г.	орындалды
Күшейткіштер туралы ақпарат	24.03.2024 ж. - 19.04.2024	орындалды
Жұмыс режимдерін есептеу	20.04.2024 ж. – 30.04.2024 г.	орындалды

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған

Қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Теориялық бөлім	Техн.ғыл.магистры, ЭТжҒТ каф. аға оқытушы Ибекеев С.Е.	27.05.2024 ж.	
Есептеу бөлімі	Техн.ғыл.магистры, ЭТжҒТ каф. аға оқытушы Ибекеев С.Е.	27.05.2024 ж.	
Норма бақылау	Техника ғылымдарының магистры, ассистент Ақылжан П.	27.05.2024 ж.	

Ғылыми жетекшісі  Ибекеев С.Е.

(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  Е.Е.Казакбаев

(қолы)

Күні « 30 » 05 2024 ж.

## **АНДАТПА**

Аталған дипломдық жұмыста қазіргі кезде уақытта кең тараған оптикалық күшейткіштер, жартылай өткізгішті күшейткіштер, EDFA күшейткіштері, олардың пайдалалылығын көрсету, оптикалық сигналды күшейту кезіндегі алатын орыны көрсетілген.

Жұмыста жалпы жартылай өткізгішті күшейткіштер, EDFA күшейткіштері, оптикалық күшейткіштер жайында мағлұмат қарастырылған және олардан пайдаланудың әдістері айтылған. Жұмыстың мақсаты күшейткіштерді қолданатын сан алуан техниканың біздерге қаншалықты пайдалы екенін зерттеу.

Жұмыс барысында қолданылатын құрылғыны алып, елімізде қолдануға есептеулер жүргізілген. Есептік бөлімде күшейткіштің белгілі бір жерге орнатып, оның тигізетін пайдасы есептелінген.

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дипломной работе показаны наиболее распространенные в настоящее время оптические усилители, полупроводниковые усилители, усилители EDFA, демонстрация их полезности, место, которое они занимают при усилении оптического сигнала.

В работе рассмотрены общие сведения об полупроводниковых усилителях, усилителях EDFA, оптических усилителях и из них изложены методы их использования. Цель работы-изучить, насколько полезны для нас самые разные техники, использующие усилители.

В ходе работы были произведены расчеты по получению используемого устройства и его использованию в стране. В расчетном разделе рассчитаны преимущества усилителя, устанавливаемого в определенном месте.

## **ANNOTATION**

This thesis shows the currently widespread optical amplifiers, semiconductor amplifiers, EDFA amplifiers, demonstrating their usefulness, their location when amplifying an optical signal.

The paper provides information about semiconductor amplifiers, EDFA amplifiers, optical amplifiers in general and describes the methods of their use. The purpose of the work is to study how a wide variety of techniques using amplifiers are useful for us.

In the course of the work, the device used was taken and calculations were made for use in the country. In the calculation section, the amplifier is installed in a certain place and its benefits are calculated.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Мәселенің туындауы	9
1.1 Талшықты-оптикалық күшейткіші	9
1.2 Оптикалық Раман күшейткіші	10
1.3 EDFA күшейткіші	11
1.4 Оптикалық желі қосқышы	12
2 Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштер	14
2.1 Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштердің дизайны	14
2.2 Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштерді зерттеу	16
2.3 Көп толқынды оптикалық EDFA күшейткіштері	19
2.4 Негізгі техникалық параметрлер және EDFA сипаттамалары	21
EDFA өнеркәсіптік оптикалық күшейткіш жабдықтарының	
2.5 сипаттамалары мен құрылымы	22
3 Есептеу бөлімі	26
3.1 Көп өзекті оптикалық жүйенің жабдықтарын таңдау	26
3.2 Өзектер арасындағы айқаспалы кедергілерді талдау	29
3.3 Оптикалық талшықтар арасындағы өзара әсерді есептеу	31
3.4 Талшықтың дисперсиясын есептеу	32
Қорытынды	34
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	35

## КІРІСПЕ

Кіріспе кванттық электрониканың пайда болуынан бастап оптикалық сәулеленуді күшейтуге ерекше назар аударылды. Талшықты оптикада сәулеленудің негізгі көзі жартылай өткізгіш лазер болып табылады, оның келесі негізгі артықшылықтары бар: размерам өлшемдер, жоғары тиімділік, жартылай өткізгіш құрылымдардың үлкен таңдауы және сәйкесінше толқын ұзындығы. Бірдей артықшылықтарға ие жартылай өткізгіш құрылымдардың тағы бір түрі-жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштер.

Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштер.

Шығыс сәулелену қуатын күшейткіш ретінде қолданылады; талшық арқылы ақпарат беру кезінде байланыс желілеріндегі шығындарды өтеуге арналған желілік күшейткіштер; Фото қабылдағыштардың сезімталдығын арттыруға арналған оптикалық алдын ала күшейткіштер; жартылай өткізгіш сақиналы лазерлерге, гироскоптарға және толқындық түрлендіргіштерге арналған негіздер; оптикалық модуляторлар; Белсенді орта арқылы өтетін оптикалық сигналға электрлік жауап бойынша электр тізбегіндегі ақпараттық сигналды алу үшін; оптикалық қосқыштар және т. б. [1-3].

Жұмыстың өзектілігі-әлі толық зерттелмеген және енгізілген оптикалық күшейтуді түсіну мүмкіндігі бар. Талшықтардың жаңа түрін, ең алдымен MCF-SM, MCF-FM мүмкіндіктерін зерттеу практикалық қызығушылық тудырады. Бұл талшықтар жылдамдық режимдері 100 Тбит/с-тан жоғары, яғни 1 Пбит/с-қа дейін және одан жоғары тарату жүйелерін құруға негіз бола алады.. Сондықтан көп ядролы талшықтарды қолдана отырып, байланыс желісі арқылы деректерді беру өзекті болып табылады.

Бұл жұмыс оптикалық талшықтағы өзектердің өзара әсерін бағалау үшін теңдеулерді қолданды

Практикалық жазу базасы. Жұмыс нәтижелері өткізу қабілеттілігінің жоғарылауы үшін, қалалық және магистральдық, халықаралық және трансконтинентальды желілерде көп ядролы талшықтарда қолдану үшін ұсынылады.

Өткізу қабілеттілігінің жылдам өсуімен күресу және оптикалық сызықтық емес эффекттер проблемаға айналды. Осы әсерлерге байланысты кәдімгі талшықтың өткізу қабілеті оның негізгі шегіне жақындайды. Сондықтан көп ядролы оптикалық жүйені зерттеу бүгінгі күнге дейін байланыс және телекоммуникация қызметтерін әзірлеушілер мен пайдаланушылар үшін үлкен қызығушылық тудырады.



## 1 Мәселенің туындауы

### 1.1 Талшықты-оптикалық күшейткіштер

Талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің (ЖБЖ) қазіргі даму деңгейі ақпаратты беру жылдамдығын арттыруды (1гбит/сек жоғары диапазонда) және релелік учаскелердің ұзындығын ұлғайтуды (100км жоғары диапазонда) талап етеді. Бұл талшықты-оптикалық байланыс желілерінде (ТОБЖ) ақпарат берудің жаңа әдістері мен құрылғыларын іздеу және әзірлеу қажеттілігін тудырады. Ең перспективалы әдістердің бірі-оптикалық сигналдарды когерентті қабылдау, ал жаңа ТОБЖ-ның ең перспективалы элементтерінің бірі - сирек жер иондарымен легирленген талшықтарға негізделген талшықты оптикалық күшейткіш.

Сонымен, қазіргі уақытта қолданылатын трансатлантикалық байланыс желілерінде оптикалық оптикалық күшейткіштер спектрлік тығыздағышпен оптикалық сигналдарды қалпына келтіру үшін қолданылады. Бұл жағдайда талшықты оптикалық күшейткіштің кең күшейту жолағы спектрлік тығыздағышпен бір уақытта 10 арнаға дейін регенерация жасауға мүмкіндік береді.

Оптикалық күшейтуді қолдану, шын мәнінде, когерентті қабылдау жүйелерінде оптикалық сигналды қалпына келтірудің жалғыз қолайлы әдісі болып табылады. Дәстүрлі опто-электронды регенераторлардан айырмашылығы, оптикалық күшейту кезінде бастапқы оптикалық сигналдың спектрлік қасиеттері 5 сақталады, бұл ақпаратты когерентті қабылдауы бар перспективалық жүйелер үшін өте маңызды. Осы мақсатта оптикалық талшықты күшейткіштерді қолдану осындай күшейткіштерге тән артықшылықтарға байланысты ең перспективалы болып көрінеді. Жартылай өткізгішті оптикалық күшейткіштермен салыстырғанда талшықты оптикалық күшейткіштер (vou) бірқатар артықшылықтарға ие, соның ішінде:

1. күшейту сызығының жоғары жылу тұрақтылығы;
2. талшықпен түйіскен кезде аз шығын;
3. кең күшейту сызығы;
4. спектрлік тығыздау сигналдарын күшейту кезіндегі шағын айқаспалы кедергілер;
5. кіріс сәулесінің поляризациясына аз күшейту сезімталдығы;
6. кіріс сигналының қанықтыру қуатының үлкен деңгейі;
7. ЖБҚ-ның өз шуын азайтуға мүмкіндік беретін жүгіру толқыны режимін қарапайым іске асыру.

Қазіргі уақытта 1,55 мкм диапазонында жұмыс істеуге арналған талшықты оптикалық күшейткіштер өнеркәсіптік түрде шығарылады. Сонымен қатар, 1,3 мкм диапазонында жұмыс істеу үшін оптикалық күшейткіштерге қажеттілік бар, ал мұндай күшейткіштердің теориясы мен практикасы әлдеқайда аз дамыған. 6

Талшықты оптикалық күшейткіштердің артықшылықтары Жарық өткізгіште таралатын оптикалық сигналдардың параметрлеріне белсенді әсер ету үшін оптикалық талшықты жарық өткізгіштерді мақсатты қолдану мүмкіндігіне

негізделген. Бұл ретте негізгі мәселе осы талшық арқылы берілетін сигналдардың қасиеттерінің барынша тиімді мақсатты өзгеруін қамтамасыз ету үшін жасалған арнайы оптикалық талшықтарды әзірлеу болып табылады.

Арнайы оптикалық талшықтардың бұл класына дәстүрлі талшықты жарық өткізгіштерге тән толқындық су қасиеттерін біріктіретін сирек жер элементтерінің иондарымен белсендірілген талшықты оптикалық жарық өткізгіштер, яғни талшық өзегіндегі сәулеленудің толық ішкі шағылысуы арқылы оптикалық сигналдарды беру мүмкіндігі және осы оптикалық сәулеленудің параметрлеріне белсенді әсер ету мүмкіндігі жатады. талшықтың өзегін құрайтын күшейтетін орта. Ақпаратты Берудің оптикалық жүйелерінде осы арнайы оптикалық талшықтарды қолдану оларға дәстүрлі түрде электронды құралдармен орындалатын функциялардың бір бөлігін жүктеуге мүмкіндік береді - мысалы, оптикалық сигналдарды күшейту, қуатты, қысқа және ультра қысқа импульстарды генерациялау үшін, әртүрлі физикалық шамалардағы датчиктерде.

Сонымен қатар, талшықты оптикалық күшейткіштердің маңызды қасиеттерін көрсететін кейбір мәселелер жеткілікті зерттелмеген. Атап айтқанда, Шу параметрлері, оларды есептеу әдістері, талшық параметрлерінің Шу сипаттамаларына әсері, әр түрлі сорғы геометриясының әсері, яғни белсенді орта бойындағы инверсияның әр түрлі таралуы және осы факторлардың пайда мен Шу коэффициентіне әсері, сондай-ақ меншікті шуды азайту әдістері

## 1.2 Оптикалық Раман күшейткіші

EDFA күшейткішінің жұмыс жолағы мен өткізу қабілеттілігінің шектеулері барған сайын айқын бола бастағандықтан, Раман күшейткіші ынталандырылған Раман шашырауы арқылы сигналдарды күшейтетін жетілдірілген оптикалық күшейткіш ретінде ұсынылды. Желінің болашақ қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ол кез-келген толқын ұзындығында күшейтуді қамтамасыз ете алады.

Қазіргі уақытта нарықта комбинациялық күшейткіштердің екі түрі бар:

- Раман шоғырланған күшейткіш, ол әрдайым DCF (дисперсиялық компенсация талшығы) немесе күшейту ортасы ретінде жоғары сызықты емес талшықты қолданады. Оның күшейту талшығы салыстырмалы түрде қысқа, әдетте 10 км ішінде;

- таратылған Раман күшейткіші. Оның күшейткіш ортасы әдеттегі талшық болып табылады, ол әлдеқайда ұзағырақ, әдетте ондаған шақырымға созылады.

Раман күшейткіші жұмыс істеп тұрған кезде, айдау лазерін сигналмен бірдей бағытта (бағыттаушы сорғы), қарама-қарсы бағытта (бағытқа қарсы сорғы) немесе екі бағытта таратқыш талшыққа қосуға болады. Содан кейін сигналды күшейту үшін сигналдар мен сорғы лазері оптикалық талшықтың ішінде сызықтық емес өзара әрекеттеседі. Жалпы, қарама-қарсы айдау жиі кездеседі, өйткені суретте көрсетілгендей сорғыдан сигналға Шу беру азаяды.

EDFA және Раман оптикалық күшейткіштері туралы негізгі ақпаратты зерттей отырып, Раман күшейткіші екі негізгі себеп бойынша жақсы жұмыс істейтінін ескеру қажет:

EDFA жолағы бар болғаны 1525 нм-ден 1565 нм-ге дейін және 1570 нм-ден 1610 нм-ге дейін кең жолақ бар;

Разряд таратушы талшықтың ішінде үлестірілген күшейтуді қамтамасыз етеді.

### 1.3 EDFA күшейткіші

Таратқыш талшық Раман күшейткішінде күшейткіш орта ретінде пайдаланылатындықтан, ол Күшейткіштер мен регенерация аймақтары арасындағы бос орындардың ұзындығын арттыра алады. Жоғарыда аталған екі артықшылықты қоспағанда, Раман күшейткішін EDFA кеңейту үшін де пайдалануға болады.

1.1-кестеде EDFA мен Раман оптикалық күшейткіштерінің арасындағы айырмашылықтар келтірілген.

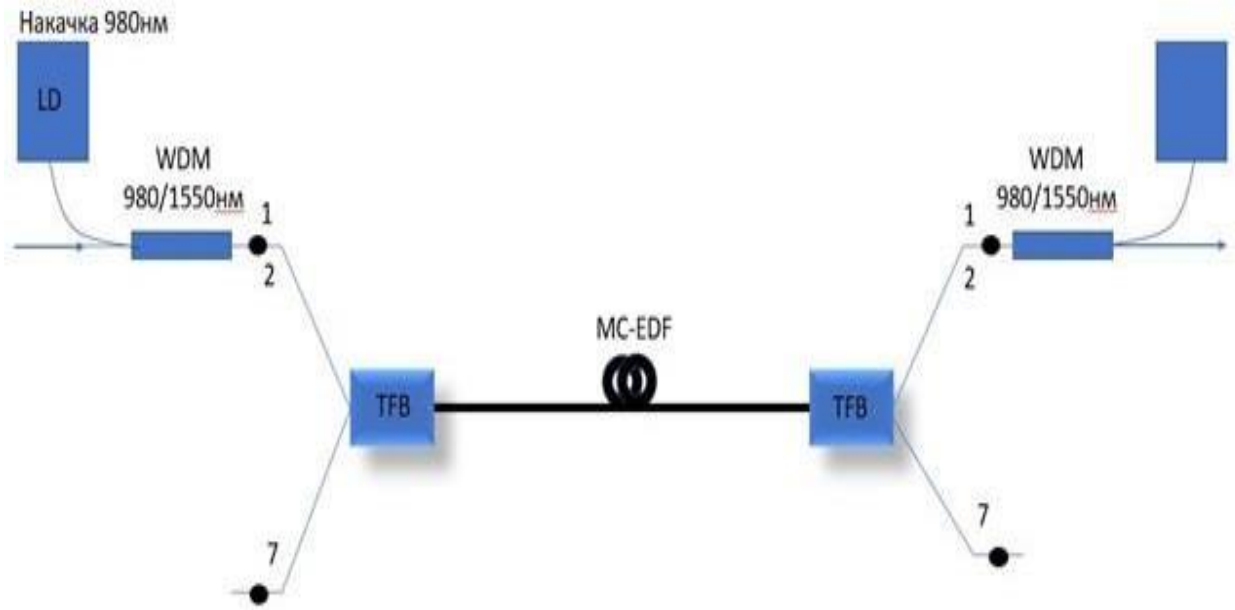
Кесте 1.1 - EDFA және Раман күшейткіштерінің салыстырмалы сипаттамалары

Параметр	EDFA	Раманов күшейткіші
Толқын ұзындығы (нм)	1525,0÷1565,0, 1570,0÷1610,0	Барлық толқын ұзындығында
Күшейту (дБ)	> 40,0	> 25,0
Шуыл көрсеткіштер (дБ)	5,0	5,0
Накачка қуаты (дБм)	25,0	> 30,0
Шығындар факторы	Салыстырмалы төмен	Салыстырмалы жоғары

Сигнал уақыт өте келе әлсірейтінін ескере отырып, MCF бар алыс желілерде сигнал беруді қолдау үшін әрбір өзек үшін оптикалық күшейткіштер қамтамасыз етілуі керек. Негізінен эрбий негізіндегі күшейткіштер EDFA және Раман d<sub>ra</sub> күшейткіштері келісілген қарсы сорғымен қолданылады.

Эрбий легирленген MCF күшейткіштерін жеке сорғы лазерлерінің көмегімен жасауға болады. Тағы бір тәсіл-көп режимді лазерлермен жабдықталған MCF қабығын сору. SMF EDFA массивіне қарағанда тиімдірек болу үшін көбірек энергияны енгізу қажет.

Сигналдың сәулеленуін және сорғыны біріктіру үшін әдетте пластина түріндегі оксидті пленкалардың жұқа пленкалы жинағы қолданылады, ол сигналдық компоненттердің сәулеленуіне мүмкіндік береді және сорғының сәулеленуін көрсетеді.



1.1 - сурет – Mc-EDFA негізіндегі оптикалық күшейткіштің құрылымы

Сигналдарды тасымалдайтын жарық сәулесі эрбий легирленген оптикалық талшық арқылы өткенде, айдау лазері WDM тармақтары арқылы эрбий 980 және 1480 нм сіңіру шырдарында күшейткіш энергиясын қамтамасыз етеді. Содан кейін оптикалық сүзгі сигналдың қабылдануына кедергі келтірмеу үшін сорғы сәулесінің қалған іздерін жояды. Оқшаулағыштар EDFA шағылыстарын азайту үшін күшейткіштерге салынған. TFB блоктары (талшықты байланыстырушы қосқыш) оптикалық күшейткішке ақпарат сигналдарын енгізу, айдау және күшейтуден кейін бөлу үшін жеке талшықтарды қосуға мүмкіндік береді.

Мұндай күшейткіштерде эрбий қоспалары шоғырланған көп ядролы талшықты бір ядросы бар жүйелерде де, MCF жүйелерінде де қолдануға болады. Әр түрлі сорғы әдістеріндегі күшейту өзектері арасындағы әсерді, күшейту коэффициенттері бойынша шекті мәндерді, өздігінен шығарылатын Шу шамаларын және сызықтық емес әсерлерді зерттеуді жалғастыратындығынескеру қажет.

#### 1.4 Оптикалық желі қосқышы

Коммутаторлар түйіндер арасындағы сигнал беру жолдарын басқарады. Дәстүрлі мыс желілерінде бұл маршрутизация деректер пакетінің идентификаторларына негізделген. Оптикалық желілердегі маршруттау,

керісінше, сигналдың физикалық қасиеттеріне негізделуі мүмкін. Бұл, мысалы, WDM-дегі толқын ұзындығы немесе көп талшықты тасымалдау кезінде өзек болуы мүмкін.

MCF өзектерін бөлуге және MCF өзектеріне сигналдарды енгізу үшін жеке талшықтарды біріктіруге арналған оптикалық блоктар тұрақты температура мен механикалық сипаттамалары бар монолитті құрылымдар түрінде салынған. Бұл конструкциялар басқарылатын өзек оқшаулау/енгізу мультиплексорларын және өзек қосқыштарын іске асыру үшін қолданылады. Мысалы, MEMS (microelectromechanical systems) микро электромеханикалық коммутациялық жүйелерінің микро айналарымен басқарылатын коммутаторлар.

Коммутатордағы сигнал маршрутының мысалы көрсетілген. Барлық қосылған сымдардың жеті өзегі бар. Әр сигналдың өз ядросы болады. Сигналды бағыттау кезінде ол динамикалық немесе статикалық түрде орындалуы мүмкін. Физикалық маршруттау әдісі коммутаторға байланысты өзгереді, яғни коммутаторлардың әртүрлі түрлерінде әртүрлі әдіснамалар болады. Әртүрлі ядролар арасындағы физикалық байланыстың әсеріне байланысты көп ядролы талшықты технологияны қолдану ауқымы километрмен шектеледі. Бір ядролы талшықтардың шектеулі икемділігі көп ядролы талшықтардан ерекшеленеді.

## 2 Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштер

### 2.1 Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштердің дизайны

Жартылай өткізгішті оптикалық күшейткіштердің жұмыс принципі кіріс қоздырғыш сәулелену фотондарының белсенді ортаның электронды түтік жұптарымен әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын қозған эмиссияны қолдануға негізделген. Бұл жағдайда кіріс сигналы бастапқы фотондардың көзі болып табылады, олардың энергиясы электрондарды өткізгіштік аймағының жоғарғы деңгейлерінен валенттік аймақтың төменгі деңгейіне түсіру үшін жеткілікті болуы керек, мұнда электрондар мен тесіктер рекомбинацияланып, қайталама фотондардың пайда болуына әкеледі. Соңғысы белсенді аймақтың толқындық құрылымымен жүреді, онда олардың көшкінінің ұлғаюы және сәулеленудің шығуы формамен, толқын ұзындығымен, поляризация күйімен және кіріске түсетін Роу-ға ұқсас басқа параметрлермен жүреді [4]. Бұл жұмыста гетероэпитаксиалды құрылымдарға негізделген жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштер жасалды және зерттелді:

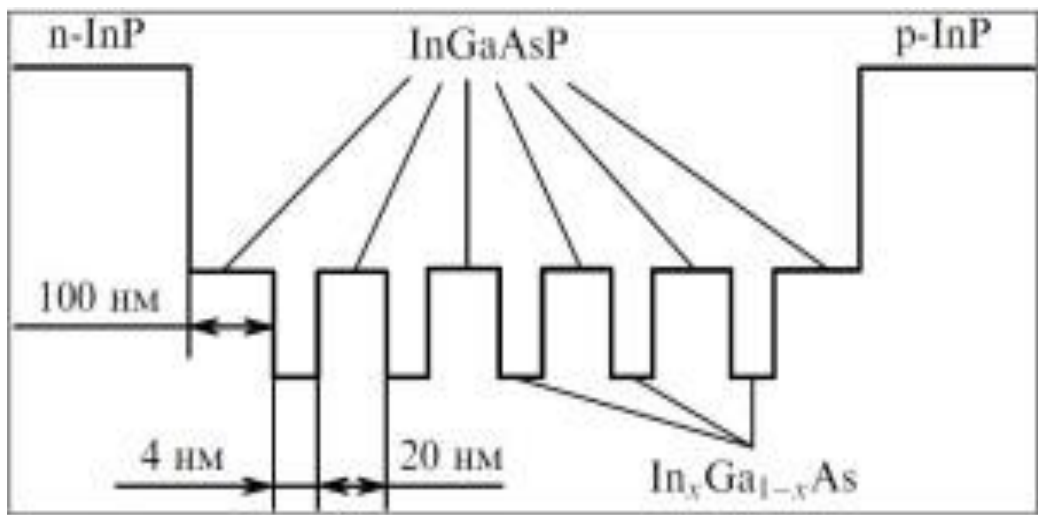
- 840 нм диапазоны үшін GaAlAs/GaAs негізіндегі бір кванттық шұңқырмен;

- 1060 нм диапазоны үшін InGaAs/GaAlAs/GaAs негізіндегі екі кванттық шұңқырмен;

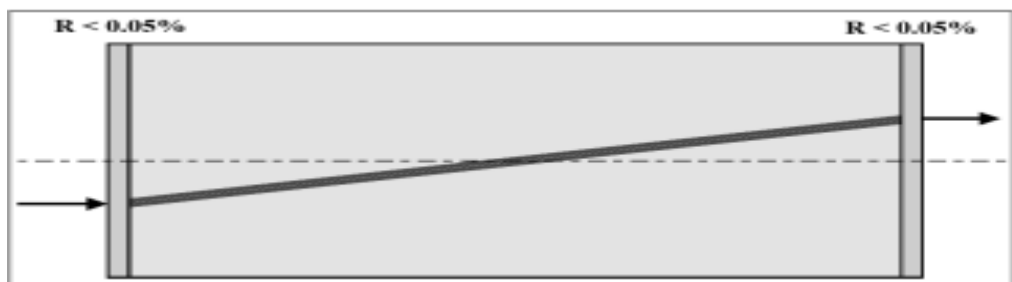
- 1300 және InP диапазондары үшін InGaAsP/LNP негізіндегі бес кванттық шұңқырмен 1550 нм.

Кванттық өлшемді құрылымдарды пайдалану тасымалдаушы инъекциясының тиімділігін арттыруды және жоғары температурада тасымалдаушының белсенді аймақтан ағып кетуіне жол бермеуді қамтамасыз етеді [5]. Бес кванттық шұңқыры бар InGaAsP/LNP негізіндегі кванттық құрылымның геометриялық өлшемдері суретте көрсетілген.

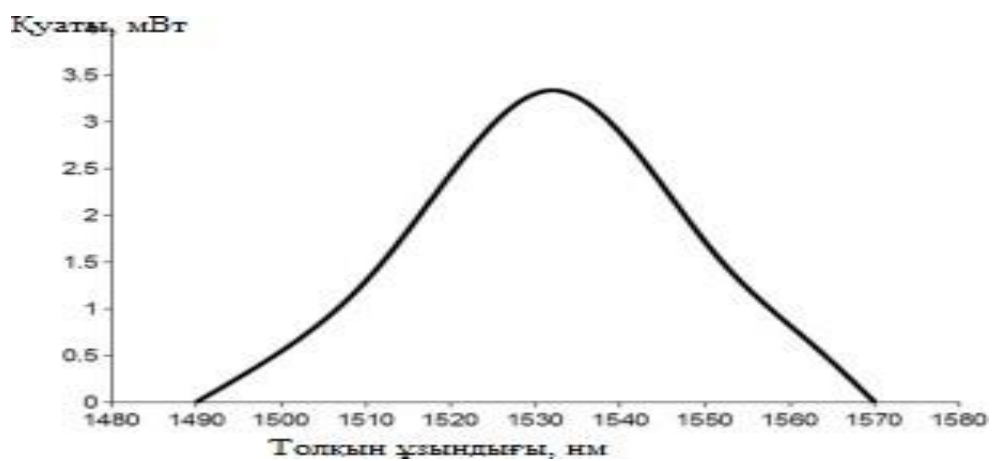
Мезажолақтың ені 3 мкм, резонатордың ұзындығы 800-1600 мкм болды. Белсенді элементтің алдыңғы және артқы беттеріне шағылысу коэффициенті  $< 0.05\%$  болатын көп қабатты ағартқыш жабындар қолданылды. Мезаполис белсенді элементтің сынған беттеріне 7 градус бұрышта орналасқан. Оптикалық күшейткіштің белсенді элементі термостабилизация схемасымен басқарылатын термоэлектрлік микро тоңазытқышқа орналастырылған мыс жылу қабылдағышқа орнатылды. Күшейткіштің белсенді элементінің артқы және алдыңғы беттерінен сәулелену  $80\%$  - ға дейін кіріс коэффициентін қамтамасыз ететін ұшында цилиндрлік микролензасы бар бір режимді Жарық өткізгішке енгізілді. Кірісі мен шығысындағы талшықты-оптикалық кабельдер FC/APC типті коннекторлармен аяқталды және құрамында поляризацияны сақтайтын немесе сақтамайтын бір режимді талшық болды.



2.1 - сурет – Жартылай өткізгішті оптикалық күшейткіш конструкциясы



2.2 - сурет – Жартылай өткізгішті активті элемент



2.3 - сурет – Жартылай өткізгішті оптикалық күшейткіш сәулелену оптикалық спектрі

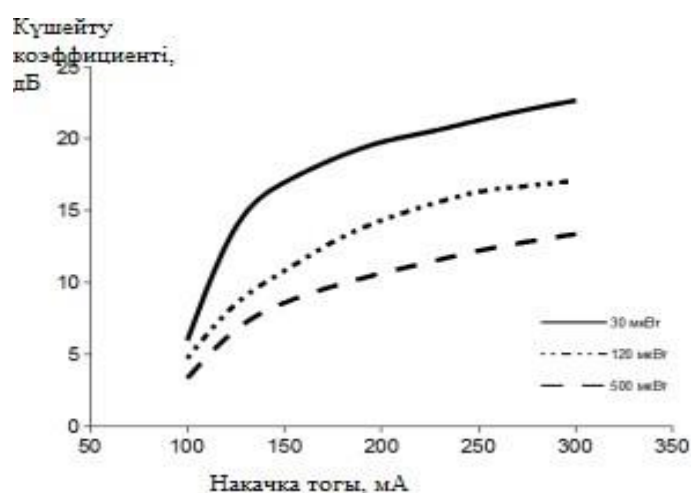
## 2.2 Жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштерді зерттеу

Өнімділікті зерттеу оптикалық изоляторды күшейткіштің кірісіне қосқан кезде оптикалық спектр анализаторының көмегімен жүргізілді. Күшейткіштің кірісіне күшейтілген сигнал бермей, 300 мА сорғы тогында 1532 нм толқын ұзындығындағы күшейткіштің сәулелену спектрін зерттеу (сурет. 3) сәулелену спектрінің жарты ені 30-40 нм құрайды, бұл сәулеленудің супер люминесцентті сипатын көрсетеді және күшейткіштің бұл түрі қозғалатын толқын күшейткіші болып табылады. Роу шығысындағы сәулелену-күшейтілген стихиялық сәулелену.

Бұл өздігінен және мәжбүрлі сәулеленудің тіркесімі. Өткізгіштік аймағында тасымалдаушылардың жеткілікті жоғары тығыздығымен фотондардың өздігінен сәулеленуі жүреді. Бұл фотондардың бір бөлігі белсенді толқын өткізгіштің негізгі режиміне сәйкес келеді, сондықтан олардың күшеюі орын алады. Күшейткіштің шығысында кең спектрлі сәулелену пайда болады және салыстырмалы түрде жоғары қуат (мәжбүрлі сәулелену арқылы оптикалық күшейтуге байланысты). G күшейту коэффициенті оптикалық күшейткіштің шығысындағы сигналдың P<sub>out</sub> қуатының оның кірісіндегі сигналдың P<sub>in</sub> қуатына қатынасы ретінде анықталды [6]:

$$G = P_{out} / P_{in}, \quad (2.1)$$

(1) күшейткіштің кірісіндегі кіріс сигналының әр түрлі мәндеріндегі сорғы тогына Роу күшейту коэффициентінің тәуелділігі суретте көрсетілген.

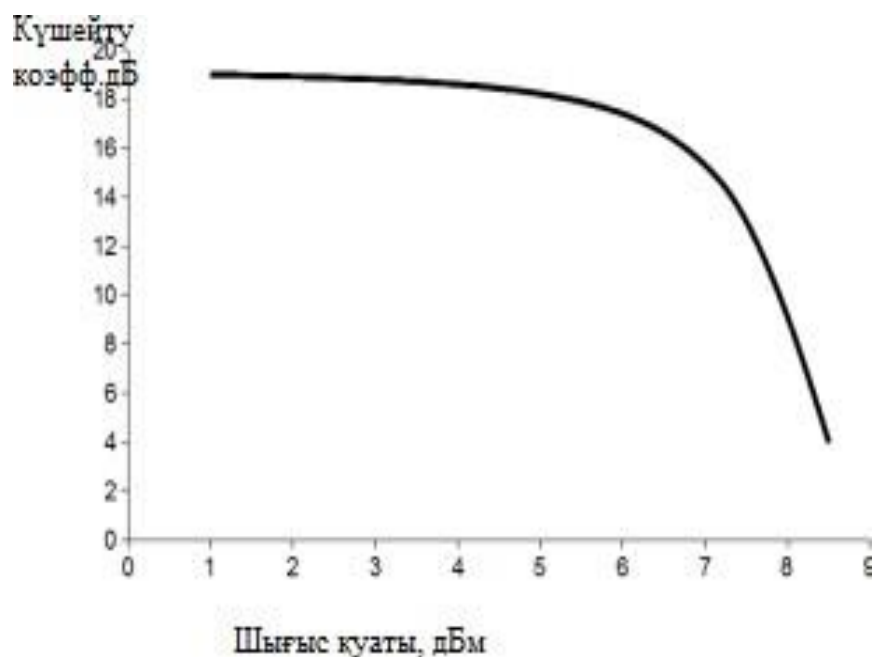


2.4 - сурет – 30, 120, 500 мкВт кіріс сигналы кезіндегі жартылай өткізгішті оптикалық күшейткіштің күшейту коэффициенті

Күшейту коэффициенті сигналдың күшейтілген қуатына да байланысты. Қуатты кіріс сигналы белсенді аймақтағы медианың тығыздығын төмендетеді,



бұл өз кезегінде кірісті азайтады және максималды кірісті үлкен толқын ұзындығына қарай жылжытады. 180 мА инъекция тогындағы шығысындағы кірістің қуатқа тәуелділігі суретте көрсетілген.



2.5 - сурет – 180 мА инъекция тогындағы шығысындағы кірістің қуатқа тәуелділігі

Пайда қанықтылығы  $\rho$  [7]  $G = G_{ss} \exp(P / P_{sat})$ , (2) мұндағы  $G_{ss}$  — әлсіз сигналдың пайда болуы,  $P_{sat}$ -қанықтыру қуаты  $P_{SAT} = h\nu A\eta / (\tau\Gamma\alpha)$ , мұндағы

$$NF = \frac{2 \cdot \rho_{ASE}}{Gh\nu}, \quad (2.1)$$

мұндағы  $\tau$ -тасымалдаушылардың өмір сүру уақыты,

$\Gamma$  - оптикалық шектеу коэффициенті,

$\alpha$  - дифференциалды күшейту,

$A$  - белсенді жолақтың көлденең қимасының ауданы,

$\epsilon$  - сәулеленуді енгізу коэффициенті.

Қанықтыру қуаты - бұл кірістілік 2 есе төмендейтін шығыс қуаты. Тогының жоғарылауы қанықтыру қуатын арттырады, өйткені тасымалдаушылардың өмір сүру уақыты мен дифференциалды күшейту азаяды. Әр түрлі инъекция токтарындағы қанықтыру қуатының мәндері кестеде келтірілген.

Кесте 2.1 – Қанығу қуатының ток инжекциясына тәуелділігі

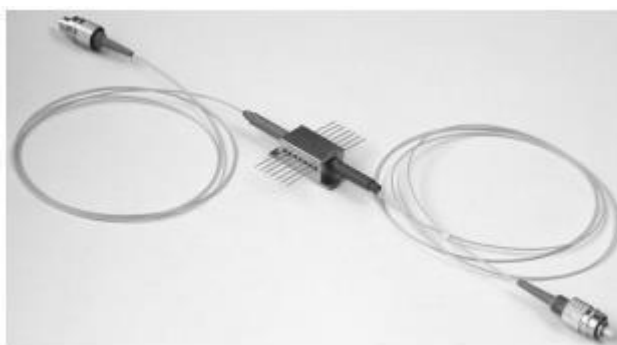
Накачка тогы, мА	Қанығу қуаты, дБм
150	5
200	8
250	10
300	11

1. Күшейтілген сигналдың сапасына әсер ететін негізгі сипаттама - бұл шу факторы. Шу факторы пайдалы сигналмен салыстырғанда күшейткіштегі шудың қаншалықты өсетінін көрсетеді және кіріс сигнал-шу қатынасы күшейткіштің шығысындағы сигнал-шу қатынасы ретінде анықталады. Оптикалық күшейткіштің негізгі шу көзі сигнал мен күшейтілген стихиялық сәулелену арасындағы соққылар болып табылады. Шу факторы келесідей көрінеді:

$$NF = 2n_{sp}\alpha, \quad (2.1)$$

Кесте 2.2 – Өртүрлі инжекция тоғының шу факторы

Инжекция тогы, мА	Шуыл, дБм
150	5
200	8
250	10
300	11



2.6 - сурет – Жартылай өткізгішті күшейткіш

## 2.3 Көп толқынды оптикалық EDFA күшейткіштері

Эрбий легирленген талшықтағы күшейткіштер (EDFA — Erbium-Doped 1550 нм аймағында жұмыс істейтін) сәтті қолданылады

Алдын ала және сызықтық күшейткіштер ретінде Заманауи сондай-ақ қуат күшейткіштері. EDFA қолдану электронды қайталағыштарды пайдаланбай оп сигналдарын 1000 км-ден астам қашықтыққа жіберуге мүмкіндік береді.

Жартылай өткізгішті (SOA) және Раман (ra) салыстырғанда эрбиум талшықты-оптикалық күшейткіштері келесі артықшылықтарға ие:

- коэффициенті жоғары болған кезде енгізілетін аз (1дБ кем) шығын
- күшейтілген жарықтың поляризациясына сезімтал емес күшейту;
- бірнеше ақ балық өскен кезде шағын айқаспалы кедергілер;
- шу кванттық шек деңгейінде енгізілген Шу (~ 3 4 4 ДБ);
- спектрлік тәуелділік күшейту жақсы көбейтіледі о айырмашылық үлгіге және температураға аз тәуелді.

EDFA кемшіліктері мыналарды қамтуы керек:

- 1,53 мкм шамасында ғана күшейту мүмкіндігі;
- қуатты оптикалық айдау көзінің қажеттілігі және толқын ұзындығына селективті (WDM модулі);

Интегралды орындаудың мүмкін және үлкен ұзындықтағы талшықтарды қолдану қажеттілігі [13].

Сорғыны сіңіру шыңдарының кез келгенінің толқын ұзындығында жасауға болады (суретті қараңыз. 2.1), ең көп таралған сорғы диапазондары-1,48; 0,98 мкм, оларда қуатты және миниатюралық жартылай өткізгіш лазерлер жұмыс істейді. Сорғы диапазоны  $\lambda$   $\lambda_e$  0,98 мкм. Осы диапазонда айдалатын эрбийлі талшықты-оптикалық күшейткіштер ең жоғары айдау тиімділігіне, сондай-ақ кванттық шегіне жақын минималды Шу коэффициентіне (~ 3 дБ) ие. Күшейтілген сигналдың шығыс қуаты 500 мВт-тан асуы мүмкін, сорғы фотондарын сигнал фотондарына түрлендірудің 80% дифференциалды тиімділігі. Бұл қасиеттер үлкен сіңіру қимасымен және ынталандырылған сәулеленудің толық болмауымен және айдау толқынының толқын ұзындығында қозған күймен жұтылуымен байланысты.

0,98 мкм диапазонындағы сорғы 1,48 мкм диапазонындағы сорғымен салыстырғанда үлкен практикалық мәнге ие, өйткені сигналдың толқын ұзындығы мен сорғының үлкен айырмашылығы EDFA құрамындағы селективті бұтақтарға қойылатын талаптарды азайтады.

Сорғы диапазоны 1,48 мкм. EDFA резонанстық айдау метастабильді деңгейге тікелей әсер етпейді, сонымен қатар ауысуда инверсияның пайда болуына әкеледі және жоғары пайда әкеледі. Бұл Старк эффектінің әсерінен метастабильді деңгейдің жұқа құрылымының гетерогенділігіне байланысты жиіліктің сдысуының және осы ауысудың жұтылу және сәулелену спектрлерінің үлкен айырмашылығының салдары.

Бұл әсер 30 нм-ге дейін күшейту жолағын қамтамасыз етеді  $\lambda = 1,53$  мкм [13]. 1,48 мкм толқын ұзындығындағы жартылай өткізгіш диод ең жақсы кванттық

түрлендіру коэффициентін береді және толқын ұзындығының тамаша тұрақтылығын қамтамасыз ететін үлкен спектрлік сіңіру диапазонында жұмыс істейді. Толқын ұзындығы 1,48 мкм лазерлік диод сонымен қатар ең төменгі Шу коэффициентін қосады, өйткені ол метастабильді энергия деңгейіндегі популяцияның толық инверсиясына жетеді. Кестеде 1,48 мкм және 0,98 мкм сорғының салыстырмалы талдауы келтірілген. 2.1.

Кесте 2.1 – EDFA күшейткіші үшін екі толқын ұзындығын салыстыру

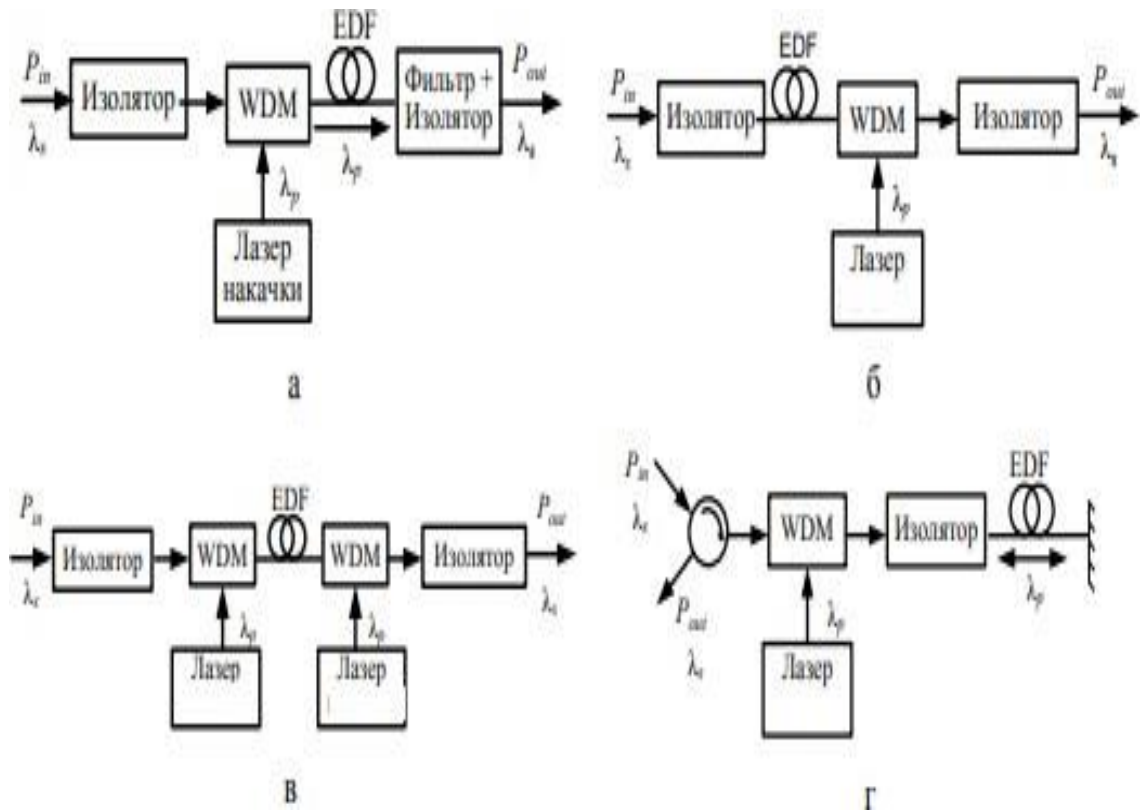
Толқын ұзындығы, нм	1480	980
Жарық көзі	InGaAsP/InP – ЛД Ф-П	InGaAs – ЛД супер торшасы бар
Күшейту тиімділігі, дБ/МВт	5	10
Шуыл коэффициенті, дБ	5,5	3-4,5
Қуаты, дБм	+20	+5
Толқын ұзындығы диапазоны, нм	кең 20 (1470-1490)	тар диапазон, 2(979-981)
Накачка шығыс қуаты, мВт	50-200	10-20

EDFA сорғысы диапазонға қарамастан төрт негізгі схема бойынша жүзеге асырылады (сурет. 2.2, а-г). Жұмыс толқынының EDFA элементтері: эрбиуммен легирленген талшық, толқын ұзындығына селективті оптикалық сплиттер және айдау көзі — жартылай өткізгіш лазер. Дейін толық қолданылатын оптикалық оқшаулағыштар күшейткіштің шығысындағы сигнал-шу қатынасын арттыру үшін талшықтың ұштарынан шағылысулардың сигнал көзінің жұмыс режиміне әсерін азайтуды қамтамасыз етеді. Оқшаулағыштар тербелістерді және ASE-ді азайту үшін күшейткіштің екі ұшына орналастырылған.

Трафиктен тікелей сі байланыс жүйесінен туындайтын басқа Шу. Барлық EDFA компоненттері мүмкіндігінше аз шығын, шағылысу және өтпелі кедергілерді енгізуі керек.

Ұсынылған сорғы тізбектері әлсіз сигналды күшейтудің шамамен бірдей сипаттамаларына ие, бірақ жоғары қанықпаған қуатқа жету үшін қарсы сорғы тізбегіне артықшылық беріледі (сурет. 2.2, б) және екі бағытты сорғымен (сурет. 2.2, в).

Рефлекторлық типтегі эрбиум талшықты күшейткіштері жоғары дифференциалды күшейтуді қамтамасыз етеді (сорғы қуатының әрбір милливатт үшін децибелдегі пайда), бұл сорғы қуатын тиімдірек пайдалануға әкеледі және EDFA-ның оның өзгеруіне сезімталдығын арттырады [13].



2.7 - сурет – EDFA құрылысының негізгі схемалары:  
а-тікелей айдау; в - кері айдау;  
в-екі бағытты сорғы; г-шағылыстыратын сорғы

## 2.4 Негізгі техникалық параметрлер және EDFA сипаттамалары

Біз EDFA-ны сипаттайтын негізгі параметрлерді анықтаймыз: қанықтыру қуаты, пайда, сәулеленуден күшейтілген стихиялық қуат және Шу факторы.

Қанықтыру қуаты  $P_{s.o}$  (saturation Output Power) — күшейткіштің максималды шығыс қуатын анықтайды. Қуаттың үлкен мәні трансляциясыз учаскенің қашықтығын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл параметр оптикалық күшейткіш үлгісіне байланысты өзгереді. Қуатты EDFA-да ол 36 дБм-ден асуы мүмкін.

G (Gain) күшейту коэффициенті күшейткіштің кірісі мен шығысындағы (пайдалы) сигналдардың қуат қатынасынан анықталады. Пайда мөлшері кіріс қуатына байланысты және кіріс сигналының қуаты азайған сайын оның максималды шегіне жетуге ұмтылады. ASE (күшейтілген Spontaneous Emission) күшейтілген стихиялық сәулелену қуаты. Кіріс сигналы болмаған кезде EDFA фотондардың өздігінен шығарылу көзі болып табылады. Сәулелену спектрі эрбий атомдарының энергия аймағының формасына және аймақ деңгейлерінің популяциясының статистикалық таралуына байланысты. EDFA күшейткішінің өзегіндегі талшық арқылы таралатын өздігінен пайда болған фотондар

қайталанады, нәтижесінде фазасы, поляризациясы және таралу бағыты бірдей толқын ұзындығында қайталама фотондар пайда болады.

Өздігінен түсірілген фотосуреттер спектрі - алынған стихиялық фотондар спектрі күшейтілген стихиялық сәулелену деп аталады. Оның қуаты 1 Гц мөлшерінде қалыпқа келтіріледі және Ватт/герц өлшеміне ие.

Егер күшейткіштің кірісіне лазерден сигнал берілсе, онда бұрын күшейтілген стихиялық сәулелену үшін жұмыс істеген энергетикалық ауысуларға дейін анықталған, кіріс сигналын күшейте отырып, лазерден сигналдың әсерінен сәулеленуге қатыса бастайды. Осылайша, пайдалы кіріс сигналының күшеюі ғана емес, сонымен қатар ASE әлсіреуі де орын алады (сурет. 2.3). EDFA каскадты оптикалық сызықтар мультиплексті сигналспектрлік тар жеке арналармен ұсынылған кезде жақсы көрінеді. Оптоэлектронды қабылдау Модулінің алдында тікелей реттелген тар жолақты сүзгілерді пайдалану жұмыс толқын ұзындығы, сондай-ақ күшейтілген стихиялық сәулеленуден шу деңгейін төмендетуге көмектеседі.

Сондай-ақ, желідегі күшейткіштердің көптігі кезінде күшейтудің сорғы лазерінің Жарық поляризациясына тәуелділігі бар [1].

Спектрлік күшейту сәтсіздігі. Толқын ұзындығының белгілі бір диапазонындағы қуатқа тәуелді сигналдың әлсіреуі spectral hole-burning (SHB) спектрлік күшейту сәтсіздігі деп аталады [7]. Бұл құбылыс EDFA-да күштісигнал иондардың орташа санын азайтқан кезде пайда болады, осылайша белгілі бір толқын ұзындығында пайда болады.

Зерттеулер көрсеткендей, күшейтудің төмендеуі толқын ұзындығы аймағында әр децибелге 0,3 дБ жылдамдықпен 1,55 мкм көрінуге бейім [7].

EDFA күшейтуінің біркелкі истігі мен төмендеуі бұрмалануға сезімтал жүйелерде (WDM, DWDM) жағымсыз салдарға әкеледі. Күшейтудің ауытқуы сынақ толқын ұзындығындағы кірістің өзгеруінің анықтамалық толқын ұзындығындағы кірістің өзгеруіне қатынасы ретінде анықталады [17].

## **2.5 EDFA өнеркәсіптік оптикалық күшейткіш жабдықтарының сипаттамалары мен құрылымы**

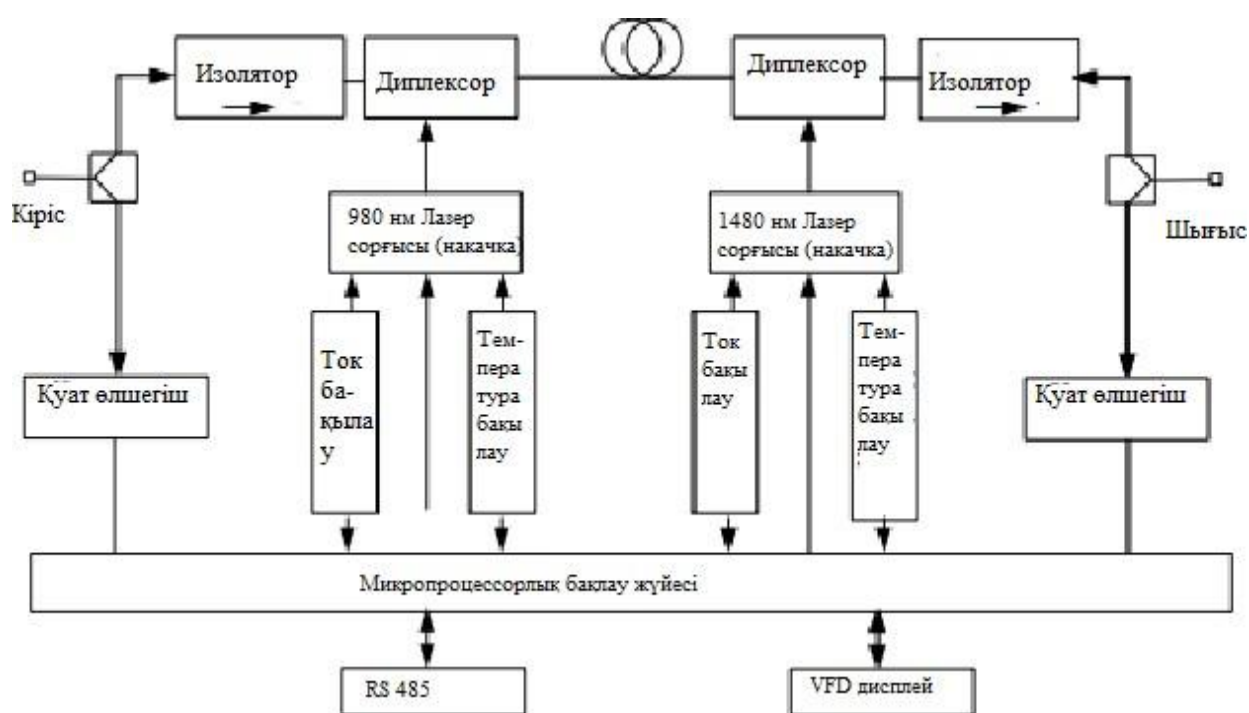
Кестеде 2.2 әр түрлі өндірушілердің EDFA типті желілік оптикалық күшейткіштерінің негізгі техникалық параметрлері келтірілген [3-4].

2.8-суретте ARCOTEL жабдығының функционалды схемасы берілген WE1550. WE1550-XX-980/1480 нм жоғары сенімді айдау лазерлері бар EDFA типті оптикалық күшейткіштер.

Жақсы пайдалану көрсеткіштері осы модельді үлкен және орташа кабельдік теледидардың әртүрлі желілерінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Кесте 2.2 - Оптикалық сызықтық күшейткіштерді салыстыру

	Optix BWS 320 G (Huawei Company)	Spectral Wave 40/80 DWDM System (NEC)	1640 WM (Alcatel)	«Пуск» (НТО Ирэ-Полус)
Арна саны	32	40	80	32
Кіріс қуаты диапазоны, дБм	-30 .... -13	-22,5 ... 2,5	-	-36 ...10
Шуыл коэффициенті, дБ	5,5	6-7	5	7
Шығыстағы максималды қуат, дБм	20	8-21	28	3,5-27
Күшейту коэффициенті, дБ	32-35	30-33	20	15-30
Амплитудалық жиіліктік сипаттам, дБ	2	2	1	2
Поляризациялық шығындар, дБ	0,5	-	-	-



2.8 - сурет – ARCOTEL We1550 EDFA функционалды схемасы

2.9-суретте THORLABS өндірісінің EDFA күшейткіші сыртқы түрі [4].



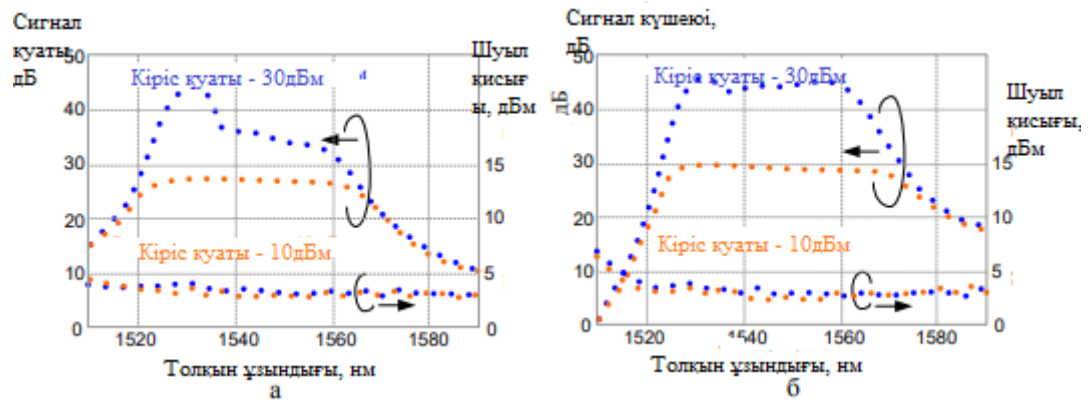
2.9 - сурет – THORLABS шығарған EDFA көрінісі

2.3-кестеде негізгі жұмыс сипаттамалары, ал суретте. 2.11 және 2.12- Thorlabs шығарған EDFA типті күшейткіштердің жұмыс тәуелділігі (Жапония) [4].

Кесте 2.3 – Үш диапазондағы күшейткіштердің параметрлері: S, C, L

Толқын ұзындығы, нм	S 1455-1485	C 1530-1565	L 1560-1600
Күшейту коэффициенті (Pшығ – 30 дБМ), дБ	25	40	30
Күшейту коэффициенті Pшығ – 0 дБМ, дБ	13	-	13
Шуыл коэффициенті, дБМ	7	5	5
Шығыс қуаты		17	
Күшейту коэффициенті тұрақтылығы, дБ	0,001	0,005	0,005
Жұмыс температурасы, °C	+10 ... +40	0 ... +40	-10 ... +45
Бағасы, доллармен	28000	17000	19000





2.10 - сурет – С диапазоны күшейткішіне күшейту және шуыл коэффициентінің тәуелділігі

### 3 Есептеу бөлімі

Раман күшейткішімен қатар КӨПТЕГЕН пайдаланушылар EDFA күшейткіштерін де таңдайды. Раман күшейткішімен салыстырғанда EDFA күшейткішінің де көптеген артықшылықтары бар:

- төмен құны;
- сорғы қуатын жоғары пайдалану;
- энергияны түрлендірудің жоғары тиімділігі;
- жақсы тұрақтылық;

Бұл аз мөлшерде кросс-интерференциямен жоғары пайда.

#### 3.1 Оптикалық жүйенің жабдықтарын таңдау

Жабдықты таңдау үшін көп өзекті оптикалық жүйені жобалау кезінде бастапқы шарттар пайдалану кезеңінде өз жұмысында қамтамасыз етілуі тиіс негізгі көрсеткіштердің мәндеріне қойылатын талаптар болып табылады. Жабдықты таңдау Alcatel-Lucent 1625 Lambda Extreme Transport (1625 LambdaXtreme) – Бір ортақ платформаны ұсынатын Alcatel-Lucent Technologies компаниясының негізгі тасымалдау шешімінің жаңа буыны.

Bell Labs компаниясының революциялық технологияларына негізделген 1625 LambdaXtreme күрделі желілерді жобалау, орнату және басқару шығындарын жеңілдетуге және айтарлықтай азайтуға көмектеседі.

Эрбиум негізіндегі оптикалық күшейтілген көп жүректі оптикалық жүйе үшін EDFA-1550/23 (2x19) оптикалық күшейткіші таңдалды. +23 дБм, 2 выхода по 19 дБм. Оптикалық талшық эрбиймен легирленген JDSU (АҚШ), jdsu сорғы лазері (АҚШ), SNMP, кіріс: -5 ÷ +10 дБм, 220 ВАК 2 қуат көзі (қосымша 48 ВДК), 1u, 19".

EDFA-1550/23 (2x19) оптикалық күшейткіштің негізгі сипаттамалары 2.2-кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 - EDFA-1550/23 (2x19) оптикалық күшейткіштің негізгі сипаттамалары

Сипаттамасы	Көрсеткіштер							
Орындау категориясы	Стандартты							
Толқын ұзындығы, нм	1535÷1565							
Оптикалық шығыстар, дана	2							
1 шығысқа оптикалық қуаты, дБм	15	16	17	18	19	20	21	
Жалпы оптикалық қуаты, дБм	19	20	21	22	23	24	25	
Кіріс оптикалық қуаты (дБм)	-5 ÷ +10							
Шығыстағы қуаттың тұрақты диапазоны, дБм	± 0,2							

Шуыл коэффициенті		5.5 артық емес
Кері сипаттағы жоғалтулар, дБм	Кірісте	45 кем емес
	шығыста	45 кем емес
Оптикалық разъем		SC/APC (FC/APC)
«сигнал/шуыл» деңгейі (C/N), дБ		50,0 кем емес
Композитті интермодуляция (CTB), дБ		63,0 кем емес
Дискретті интермодуляция (CSO), дБ		63,0 кем емес
Желі интерфейсі		RJ45, RS232
Қорек көзі, В		160÷250 В айнымалы (48 В тұрақты.)
Қорек көзі, дана		2
Температур диапазоны – жұмыс, °С		-5 ÷ +55
Салыстырмалы ылғалдылық, %		max 95% (конденсациясыз)
Сақтау температурасы, °С		-30 ÷ +70
Корпус типі		1U
Масса, кг		6 кем емес
Габариттік өлшемі, мм		483(ені)×340(тереңдігі)×44(биіктігі)

Раман күшейтілген оптикалық жүйеге Raman optilab (RAR) күшейткіші таңдалды.

Roman optilab (RAR) оптикалық күшейткішінің негізгі сипаттамалары 2.3-кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 - Raman optilab (RA-R) оптикалық күшейткішінің негізгі сипаттамалары

Сипаттамасы	Көрсеткіштер
Толқын ұзындығы, нм	RA-C 1525÷1565 үшін, RA-CL 1528÷1605 үшін
Сигнала күшейтуі, дБ	RA-C 11÷13 үшін, RA-CL 10÷12 үшін
Күшейту, дБ	RA-C ± 0.75 үшін, RA-CL ± 0.90 үшін
Лазер саны, дана.	RA-C – 4,0 үшін, RA-CL – 6,0 үшін
Шығыс сигналы деңгейі, дБ	- 40,0 ÷ +5,0
Шуыл эффективный көрсеткіші, дБ	- 1.30
Поляризациялық модалық дисперсия, пс	max 0.20
Поляризация күшейту коэффициенті, дБ	max 0.20
Стабильді қуаты, дБ	±0.1 8 сағат
Шығыс пен кірісті оқшаулау, дБ	30 ең кіші

Оптикалық разъемдар	SMF-28 талшық стандарты 3 мм.
Номиналды қуаты	SC/APC, FC/APC, LC/APC
Оптикалық шығыс порты	FC/APC, LC/APC
Жұмыс температурасы, °C	0,0° ÷ +50,0
Сақтау қою температурасы, °C	- 10,0 ÷ +70,0
Қорек көзі, В/Гц	80÷240 В, 43÷63 Гц айнымалы, 40 ÷ 58 В тұрақты
Пайдаланатын қуаты, Вт	80 ең үлкен
Бақылау/Мониторинг	Лазер температурасы, тоғы
Коммуникациялық интерфейс	Интерфейсі
Сигнализация	Қызып кетуі
Габариттік өлшемі, дюйм	19,0 (ені)×20.50 (ені)×3.50 (биіктігі)

EDFA және Раман оптикалық күшейткіштерінің артықшылықтары бар екенін ескере отырып, сұрақ туындайды: сигналдарды күшейту үшін қайсысын пайдалану керек. Бұл талшықты-оптикалық байланыс талаптарына байланысты. Жобалау кезінде талшықты-оптикалық байланыс желісінің ұзындығы, талшық түрі, ыдырауы және арналар саны сияқты сипаттамаларын ескеру қажет

EDFA күшейткіші қажеттілікті қанағаттандырған кезде, Раман күшейткіші қажет емес, өйткені Раман күшейткіші қымбатырақ.

Талшықтың өзі ретінде біз бір режимді мамандандырылған таңдаймыз (SM) талшық 7-ші өзектермен, серияSSM-7C1500(6.1/125) fibercore компаниялары

Бұл талшық келесі ерекшеліктермен ерекшеленеді:

- Әр түрлі сигналдарды әр түрлі өзектер арқылы бір уақытта беру;
- ВБР жазу үшін фотосезімтал өзектері бар құрылымды пайдалану мүмкіндігі;

- SSM-7C1500 (6.1 / 125), SPUN талшығы, 3D пішінді сенсорларды жасауға өте ыңғайлы;

Бір талшық арқылы берілетін деректердің әлеуетті көлемін ұлғайту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Кесте 3.4 - SSM-7с1500 талшығының сипаттамалары (6.1 / 125)

Параметр	Мәні	Өлшем бірлігі
Толқын ұзындығы	1550,0–1650,0	Нм
Отсечка толқын ұзындығы	1300,0–1500,0	Нм
Сандық апертура	0,200–0,220	-
Мода өрісінің диаметрі	5,70–6,50	Мкм
Жабынды түрі	Акрил	-
Температурасы	-55,0 +85,0	°С
Жабынды диаметрі	200,0 ±7,0	Мкм

Байланысты қуат теориясы (СРТ) – талшық кірісіне бір ядроға енгізілген қуат іргелес өзектерге тасымалданып, одан шыққан кезде сигнал күшін өлшеу принципіне толығымен негізделген.

Біз бойлық талшық параметрлерін және MCF кроссоверін өлшеу әдісін таңдадық.

Біз модельдеу арқылы модульдік байланыс коэффициентіне негізделген MFD таралуын өлшеу дәлдігін көрсетеміз.

Бастапқы деректер:

100 Тбит/с жылдамдықтағы көп ядролы талшықтар;

талшықтың ыдырау көрсеткіші 0,158 ДБ / км;

жұмыс диапазоны 1260 – 1625 нм;

MCF талшық қабығының диаметрі  $D = (140 - 240)$  мкм;

негізгі орталықтар арасындағы қашықтық  $\Lambda = (35-70)$  мкм;

қорғаныс қабығына дейінгі қашықтық  $d = (30-50)$  мкм;

- өзектер саны  $n = 7$ ;

$$R1=(4,1 - 5,7) \text{ Мкм}, r2 = (9-12) \text{ мкм}, r3 = (13-18) \text{ мкм},$$

цилиндрлік өзек құрылымының радиустары.

### 3.2 Өзектер арасындағы айқаспалы кедергілерді талдау

Бір қабықта көптеген жақын орналасқан өзектердің болуына байланысты іргелес өзектер арасындағы айқаспалы байланыс негізгі фактор болып табылады. Оларды оптикалық сигналдың қуатымен сандық түрде сипаттауға болады, өйткені өзектердің бірінде таралатын оптикалық қуаттың бір бөлігі беру процесінде іргелес өзектерге түседі (сурет.3). Екі іргелес өзектер арасындағы ІСХТ ХТ (дБ) =  $10\lg(P'/P)$  түрінде көрсетілуі мүмкін, мұндағы  $P$  және  $P'$  – сәйкесінше сигнал енгізілген  $q$  өзегінің және іргелес  $p$  өзегінің шығысындағы оптикалық қуат.

Кросс-кедергілердің дамуын талдау үшін жартылай аналитикалық әдісті қолдану әдетке айналған, онда алдымен жеке ядроға  $\beta$  режимінің тұрақты таралуының мәні сандық түрде анықталады

$$\frac{dA_p}{dz} = -j \sum_{p \neq q} k_{pq} A_q(z) \exp(j\Delta\beta_{pq} z) f(z), \quad (3.1)$$

$$f(z) = \exp[j(\Phi_p - \Phi_q)] \delta f(z), \quad (3.2)$$

Соңғы элементтер әдісі, содан кейін бұл мән  $\beta$  кросс-кедергілерді бағалау үшін СМТ/СРТ әдісінде қолданылады.

Байланысты режим теориясы (СМТ) – оптикалық талшықтағы іргелес өзектер арасындағы байланыс әсерін талдаудың күшті әдісі. Егер екі өзек бір-біріне жеткілікті жақын болса, онда әр режимнің өзегінде таралатындар бір-бірімен байланысады және кедергі жасай алады. Егер осы өзара әрекеттесу нәтижесінде осы өзектердегі электромагниттік өрістің таралуы аз өзгерсе, онда байланысқан өзектерді СМТ тәсілімен сипаттауға болады. Әдетте байланысты режимдердің теңдеулері келесідей жазылады.

$$\frac{dP_p}{dz} = \sum_{p \neq q} h_{pq}(z) [P_q(z) - P_p(z)], \quad (3.3)$$

мұндағы  $p$  - оптикалық ұзындықты өзгертетін оптикалық талшықтың бұралуы мен иілу әсеріне жауап беретін кездейсоқ фазалық функция.

Байланысты қуат теориясы (СРТ) – толығымен принципке негізделген талшық кірісіндегі бір өзекке енгізілген қуат көрші өзектерге тасымалданып, олардан шыққан кезде сигнал күшін өлшеу. Салыстыру арқылы СМТ, СРТ иілу және бұралу әсерлерінің орташа үлесін ескере отырып, МСФ-тегі айқаспалы кедергілердің орташа деңгейін дәлірек және жылдам бағалауға мүмкіндік береді. Байланысты қуат теңдеулерін келесідей жазуға болады:

$$h_{pq} = \frac{2k_{pq}^2 R_b}{\beta \lambda}, \quad (3.4)$$

### 3.3 Оптикалық талшықтар арасындағы өзара әсерді есептеу

Айқаспалы кедергілерді (crosstalk, ХТ) сигналдың магнит/электр өрісінің көршілес өзектердегі сигналдарға қабаттасуынан болатын кедергі ретінде анықтауға болады.

$L = 20$  км талшықтың бастапқы деректері мен ұзындығын ескере отырып,  $1550$  нм толқын ұзындығындағы  $7$  ядро талшығы үшін айқаспалы кедергілерді есептейміз:

$$ХТ = \frac{2k^2RL}{\beta \lambda}, \quad (3.6)$$

мұндағы  $k$  өзара әрекеттесетін өзектер арасындағы байланыс коэффициенті;

$R$  талшықты орау радиусы =  $140$  мм;

$L$  талшықтың ұзындығы =  $20$  км;

Бұл өзектегі таралу константасы. Байланыс коэффициенті  $k$  түрінде көрсетілуі мүмкін:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2 \cdot 3.14}{1550 \cdot 10^{-9}} = 4.05 \cdot 10^{-12},$$

$$\beta = kn = 1.4551 \cdot 4.05 \cdot 10^{-12} = 5.89 \cdot 10^{-12},$$

мұндағы  $\lambda$  толқын ұзындығы  $1550$  нм.

Өзектегі таралу константасы:

$$ХТ_{c0} = \frac{2k^2RL}{\beta \lambda} = \frac{2 \cdot (4.05 \cdot 10^{-12}) \cdot 0.14 \cdot 2 \cdot 10^4}{5.89 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-5}} = -45.91 \text{ дБ},$$

Мұндағы  $n$ -өзектегі сыну көрсеткіші  $1.4551$ .

Әрі қарай  $1550$  нм толқын ұзындығындағы айқаспалы кедергілерді өздері есептеу керек:

$$ХТ_{worst} = ХТ + 10\log n = -45.91 + 10\log 7 = -37.459 \text{ дБ}$$

Кесте 3.5 - Көп ядролы талшықтың дизайн параметрлері

Құрылымы	ХТ траншеясыз (дБ)	Траншея, $\Delta_2 = -00.70\%$	Траншея, $\Delta_2 = -1.4\%$
C0	- 11.490	-45.910	-67.040
C1	- 11.440	-49.370	-72.790
C2	- 23.480	-59.580	-82.570
C3	- 38.060	-72.080	-94.550
C4	- 58.750	-90.180	-111.880
C5	- 84.360	-113.050	-133.810

### 3.4 Талшықтың дисперсиясын есептеу

D дисперсиясы толқын ұзындығы бойынша тиімді  $n_{eff}$  сыну көрсеткішінің екінші туындысына пропорционал, біз олардың параметрлеріне сәйкес 5 конструкция үшін дисперсия мәнін есептейміз:

$$D_{c1}(\lambda) = -\frac{\lambda d^2 n_{eff}}{c d\lambda^2} = -\frac{1550}{3 \cdot 10^8} \frac{40^2 \cdot 1.4524}{40 \cdot 1550^2} = -1.9493 \cdot 10^{-6} \text{ пс} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{км}^{-1},$$

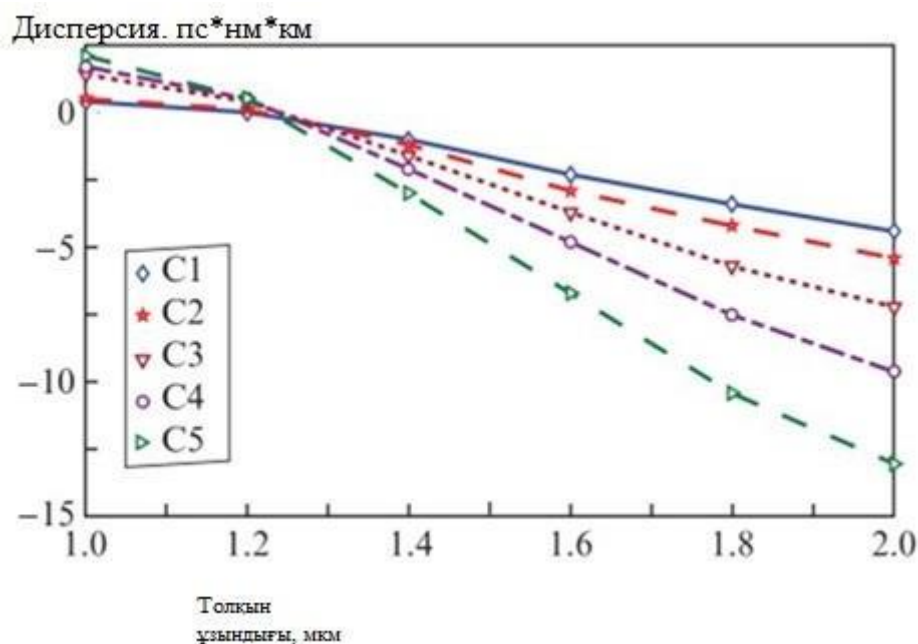
$$D_{c2}(\lambda) = -\frac{\lambda d^2 n_{eff}}{c d\lambda^2} = -\frac{1550}{3 \cdot 10^8} \frac{40^2 \cdot 1.4553}{40 \cdot 1550^2} = -2.1493 \cdot 10^{-6} \text{ пс} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{км}^{-1},$$

$$D_{c3}(\lambda) = -\frac{\lambda d^2 n_{eff}}{c d\lambda^2} = -\frac{1550}{3 \cdot 10^8} \frac{40^2 \cdot 1.454}{40 \cdot 1550^2} = -2.5498 \cdot 10^{-6} \text{ пс} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{км}^{-1},$$

$$D_{c4}(\lambda) = -\frac{\lambda d^2 n_{eff}}{c d\lambda^2} = -\frac{1550}{3 \cdot 10^8} \frac{40^2 \cdot 1.4556}{40 \cdot 1550^2} = -2.9457 \cdot 10^{-6} \text{ пс} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{км}^{-1},$$

$$D_{c5}(\lambda) = -\frac{\lambda d^2 n_{eff}}{c d\lambda^2} = -\frac{1550}{3 \cdot 10^8} \frac{40^2 \cdot 1.4569}{40 \cdot 1550^2} = -5.1826 \cdot 10^{-6} \text{ пс} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{км}^{-1},$$





3.1 - сурет – Бес құрылым үшін дисперсияның толқын ұзындығына тәуелділігінің графигі

Талшықтың хроматикалық дисперсиясының орнын толтыруға қол жеткізілетін кеңейтілген ТОВЖ-да берілетін сигналдың негізгі сызықтық бұрмалануы поляризациялық режим дисперсиясымен (PMD) байланысты. Бұл поляризацияның негізгі күйлері бар сәулелер арасындағы дифференциалды топтық кідіріске байланысты.

Поляризациялық режим дисперсиясының мәні  $D_{PM}$  формула бойынша есептеледі:

$$D_{PMd} = T \cdot \sqrt{L},$$

$$D_{PMd1} = T \cdot \sqrt{L} = 0.2951 \cdot \sqrt{20} = 0.132 \text{ пс} / \text{км}^{\frac{1}{2}},$$

$$D_{PMd2} = T \cdot \sqrt{L} = 0.2999 \cdot \sqrt{20} = 0.134 \text{ пс} / \text{км}^{\frac{1}{2}},$$

$$D_{PMd3} = T \cdot \sqrt{L} = 0.009 \cdot \sqrt{20} = 0.044 \text{ пс} / \text{км}^{\frac{1}{2}},$$

$$D_{PMd3} = \sqrt{0.132 + 0.134 + 0.044 + 0.093 + 0.205 + 0.116 + 0.205} = 0.779 \text{ пс} / \text{км}^{\frac{1}{2}},$$

## ҚОРЫТЫНДЫ

Осы жұмысты жасау және жазу кезінде әдебиеттер тізімінде берілген тақырып бойынша дереккөздер талданды.

Осы жұмыста қойылған мақсаттар мен міндеттер орындалды. Өзектілігі тұжырымдалған және көрсетілген. Нарықтағы қолданыстағы нұсқаларға шолу жасалды.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде оптикалық күшейткіштердің сипаттамалары алынған келесі деректер.

Күшейту коэффициенті 20-27 дБ.

Максималды демалыс күшейткіштің шығысындағы қуат 12 дБм.

Минималды кіріс қуаты сигнал (сезімталдық) -20 дБм.

Қанықтыру қуаты 8-11 дБм.

Шу факторы 7-8 дБ.

Күшейту жолағының ені 30-40 нм.

Жүргізілген жұмыстардың нәтижесінде жартылай өткізгіш оптикалық күшейткіштер қосулы толқын ұзындығы 840, 1064, 1300, 1550 нм кванттық өлшемді гетерокұрылымдар.

Сипатталған жұмыс кезінде оптикалық күшейткіштер қолданылды.

Талшықты-оптикалық беру жүйелерінде қуат күшейткіштері ретінде жартылай өткізгіш сақиналы лазер негізінде жасалған шығыс сәулеленуі пайдаланылады және толқын ұзындығы 1550 нм айналу сенсоры [9].

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Дураев В.П. // Лазерная техника и оптоэлектроника. 2012. № 3-4. С. 40.
- 2 Слепов Н.Н. Оптические усилители. Ч. 1 // Мир связи. 1999. № 8. С. 88–91.
- 3 Слепов Н.Н. Оптические волновые конвертеры и модуляторы // Электроника: наука, технология, бизнес. 2000. № 6. С. 6.
- 4 Волоконно-оптическая техника (история, достижения, перспективы) / Под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. Москва, 2000.
- 5 Дураев В.П., Неделин Е.Т., Недобывайло Т.П. и др. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31, № 6. С. 529–530.
- 6 Eisenstein G., Jopson R.M., Linke R.A. et al. Gain measurements of InGaAsP 1.5  $\mu\text{m}$  optical amplifiers // Electron. Lett. 1985. V. 21, N 23. P. 1076–1077.
- 7 Siegman A.E. Lasers. University Science Books. Mill Valley, 1986. Section 7.7. P. 297–303.
- 8 Simon J.C., Doussiere P., Pophillat L., Fernier B. Gain and noise characteristics of a 1.5  $\mu\text{m}$  near-travellingwave semiconductor laser amplifier // Electron. Lett. 1989. V. 25. P. 434–436.
- 9 Акпаров В.В., Дмитриев В.Г., Дураев В.П., Казаков А.А. // Квантовая электроника. 2010. Т. 40, № 10. С. 851.

## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жұмыс

Казакбаев Елдар Ержанұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Күшейткіштердің жұмысын талдау»

Бұл дипломдық жұмыста күшейткіштерді талдау, пайдаланудың негізгі талаптары, және күшейткіштердің негізгі көрсеткіштері және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Күшейткіштердің жұмысын талдау» тақырыбы қарастырылды. Салыстырмалы талдау жүргізілді, сонымен қатар көптеген күшейткіштердің сипаттамалары ұсынылды. Сондай-ақ, күшейткіштердің жұмыс істеу қабілетін едәуір арттыруға болатын нұсқалар ұсынылды.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Жаңа технологияны қолдану нұсқалары, EDFA күшейткіштері, компоненттері, заманауи аспаптарды көрсету өте орынды.

Жалпы, дипломдық жұмысқа "жақсы" (80 %) деген баға қойылып, ал студент Казакбаев Елдар Ержанұлы 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering оқу бағдарламасы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

### Ғылыми жетекші

ЭТ және FT каф.

аға оқытушы,

техн. ғыл. магистры

 Ибекеев С.Е.

(қолы)

«25» мамыр 2024 ж.



## РЕЦЕНЗИЯ

### Дипломдық жұмыс

Казакбаев Елдар Ержанұлы

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering мамандығы

Тақырыбына: «Күшейткіштердің жұмысын талдау»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 13 парақ;  
б) түсініктеме 23 бет.

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру күшейткіштердің жұмысын талдай отырып, жобалау туралы ақпарат жиналған. Негізгі өлшемдер жүргізіп, параметрлері есептелген. Күшейткіштерді қолдана отырып, стендті пайдалану шарттары келтірілген. Жоба сұлба бойынша құрастырылған.

Күшейткіштерді қолдануды жақсарту мәселелері қарастырылады. Жұмыста жалпы EDFA күшейткіштері жайында мағлұматтар қарастырылған және олардан пайдаланудың бірнеше әдісі айтылған.

Күшейткіштерге талдау жасалып, осы өлшемдерде олардың тиімділігі мен дәлдігін анықталды. Сонымен қатар оларды одан әрі пайдалану және жетілдіру бойынша практикалық ұсыныстар берілген. Дипломдық жұмыста күшейткіш есептеулерін, құрылымы сызбасында студент өз тарапынан қандай жақсартулар енгізуі мүмкіндігін көрсете алмаған. Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – күшейткіштерді талдаудағы ғылыми бағытқа жауап береді.

### ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға "жақсы" (85%) деген баға, ал студент Казакбаев Елдар Ержанұлы 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering білім беру бағдарламасының «техника және технологиялар бакалавры» дәрежесіне лайықты деп санаймын.

Рецензент:

«ARNAU ENERGY» ЖШС директоры

Т.С. Баймұхамед

« 17 »



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

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

**Автор: Казакбаев Елдар Ержанұлы**

**Тақырыбы: Күшейткіштердің жұмысын талдау**

**Жетекшісі: Серикбек Ибекеев**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 14.5**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.8**

**Дәйексөз (35): 0.8**

**Әріптерді ауыстыру: 4**

**Аралықтар: 4**

**Шағын кеңістіктер: 4**

**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.

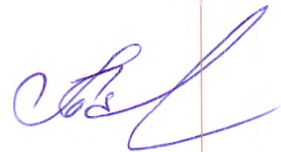
Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

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

**Негіздеме:**

Күні

Кафедра меңгерушісі



30.05.2024



## Протокол

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

Автор: Казакбаев Елдар Ержанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Күшейткіштердің жұмысын талдау

Научный руководитель: Серикбек Ибекеев

Коэффициент Подобия 1: 14.5

Коэффициент Подобия 2: 2.8

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 4


Интервалы: 4

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:

Дата

 Маржасул С  
проверяющий эксперт

29.05.2024<sub>2</sub>

## Протокол

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

Автор: Казакбаев Елдар Ержанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Күшейткіштердің жұмысын талдау

Научный руководитель: Серикбек Ибежеев

Коэффициент Подобия 1: 14.5

Коэффициент Подобия 2: 2.8

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 4

Интервалы: 4

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:

Дата

Заведующий кафедрой

30.05.24.  
3