

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Молдабек Ерұлан Бахытбекұлы

«Талшықтық-оптикалық байланысты ұйымдастыру кезінде күшейткіштер
түрлерін таңдауды талдау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Бүркітбаев ат.Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрландыру институты
Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

_____ И.Сырғабаев

« _____ » _____ 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Талшықтық-оптикалық байланысты ұйымдастыру кезінде
күшейткіштер түрлерін таңдауды талдау»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Пікір беруші

техн.ғыл.канд.,

АУЭС доценті

_____ А.О.Касимов

« 22 » _____ 05 _____ 2020 ж.

Ғылыми жетекші

экон.ғыл.канд., лектор

_____ А.Е.Куттыбаева

«22» _____ 05 _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Бүркітбаев ат.өндірістік автоматтандыру және цифрландыру институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі,

_____ И.Сыргабаев

« _____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Молдабек Ерұлан Бахытбекұлы*

Тақырыбы «Талшықтық-оптикалық байланысты ұйымдастыру кезінде күшейткіштер түрлерін таңдауды талдау»

Университет ректорының «27» қаңтар 2020 ж. №762-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «21» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Оптикалық талшықтық кәбілдер ОКК – 70-0,02, - 0,3 – 6, оптикалық желі арқылы ақпаратты беру принциптері, 2) EDFA оптикалық күшейткіштері; 3) Толқын ұзындықтары $\lambda = 1535$ және 1550 нм;

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Эрбимен легирленген талшықтағы күшейткіш (EDFA); ә) Талшықты оптикалық байланыс жүйесіндегі (ТОБЖ) оптикалық күшейткіштер параметрлерін зерттеу; б) Раманов күшейткіштері; Сигнал/кедергі қатынасын есептеу.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

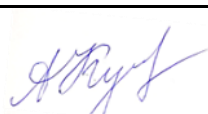
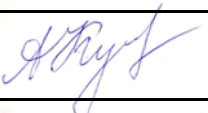
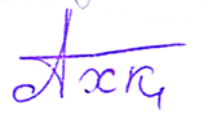
1) Легирленген эрбимен талшықты күшейткіштің оңайлатылған схемасы; 2) Оптикалық талшықты-оптикалық күшейткіштерді пайдаланудың үш түрлі нұсқасы; 3) EDFA күшейткіші блок-сызбасы; 4) - EDFA типтік күшейткішінің спектрі; 5) EDFA типті күшейткіштерді пайдалану сұлбалары.

Ұсынылатын негізгі әдебиет 10 атау: 1) Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Модернизация сетей доступа в эпоху NGN// Вестник связи.-2003.-№6; 2) Горнак А. xWDM в мультисервисной сети [Электронный ресурс] / Горнак / - Режим доступа к статье: <http://www.nstel.ru/articles/xwdm/>. 3) Шемякин Д. Сети Metro DWDM: как повысить эффективность решений / - Режим доступа к статье: <http://www.iksmedia.ru/articles/261937.html>.


ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫСТЫ (ЖОБАНЫ) ДАЙЫНДАУ
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2020 -25.01.2020	орындалды
Теориялық ақпарат	20.01.2020 -25.02.2020	орындалды
Жабдықтар жұмысының есебі	25.02.2020 – 20.05.2020	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	А.Е.Куттыбаева, ЭТЖҒТ каф.лекторы	24.04.2020	
Теориялық ақпарат	А.Е.Куттыбаева, ЭТЖҒТ каф.лекторы	24.04.2020	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы Хабай А.	22.05.2020	

Ғылыми жетекшісі _____


(қолы)

А.Е.Куттыбаева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____



Е.Б.Молдабек

Күні

“ 22 ” _____ 05 _____ 2020 ж.

АҢДАТПА

Талшықты-оптикалық байланыс жүйесінде пайдаланылатын талшықты-оптикалық күшейткіштер, лазерлік диодтағы күшейткіштер, эрбиймен легирленген талшықты басқа да күшейткіштер сипаттамалары келтірілген.

EDFA типті күшейткіштердің сыни жұмыс параметрлері, Раманов күшейткіштері сұлбалары көрсетілген.

Есептеу бөлімінде инженерлік есептеу арқылы біраз мәндер алынған, дисперсияны компенсациялау үшін талшықтар қолданылады.

Күшейткіштерді орналастырылып, сигнал/кедергі қатынасын есептелді.

АННОТАЦИЯ

Приведены характеристики волоконно-оптических усилителей, используемых в волоконно-оптических системах связи, усилителей в лазерных диодах, других усилителей из волокон, легированных эрбием.

Критические параметры работы усилителей типа ЭДФА, приведены схемы усилителей Раманова.

В разделе расчета некоторые значения получены путем инженерных расчетов, волокна используются для компенсации дисперсии. Усилители были размещены, и было рассчитано отношение сигнал / шум.

ANNOTATION

The characteristics of fiber-optic amplifiers used in fiber-optic communication systems, amplifiers in laser diodes, and other amplifiers made of fiber doped with erbium are given. The critical parameters of the operation of EDFA amplifiers are given Raman amplifier circuits.

In the calculation section, some values are obtained by engineering calculations, the fibers are used to compensate for dispersion. Amplifiers were placed and the signal-to-noise ratio was calculated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Талшықты-оптикалық күшейткіштер	10
1.1 Талшықты-оптикалық күшейткіштер түрлері	11
1.2 Лазерлік диодтардағы күшейткіштер	11
1.3 Эрбимен легирленген талшықтағы күшейткіш (EDFA)	13
1.4 Тапсырманың қойылымы	17
2 Сирек жер элементтерімен легирленген талшықтағы басқа да күшейткіштер	20
2.1 EDFA типті күшейткіштердің сыни жұмыс параметрлері	20
2.2 Раманов күшейткіштері	22
3 Инженерлік есептеу	25
3.1 ТОБЖ – WDM арналған оптикалық талшықтар	25
3.2 Параметрлері мен сипаттамалары	25
3.3 Өткізу жолағы	26
3.4 Өткізу жолағы және тарату жылдамдығы	27
3.5 Дисперсияны компенсациялау үшін талшықтар	29
3.6 ТОБЖ ұйымдастыру принциптері	30
3.7 Индивидуалды (жеке) шығыстар – $S_1 - S_n$ интерфейсі	33
3.8 RMN арналарының жеке кіру порттары	35
3.9 Күшейткіштерді орналастыру	37
3.10 Сигнал/кедергі қатынасын есептеу	39
Қорытынды	
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	

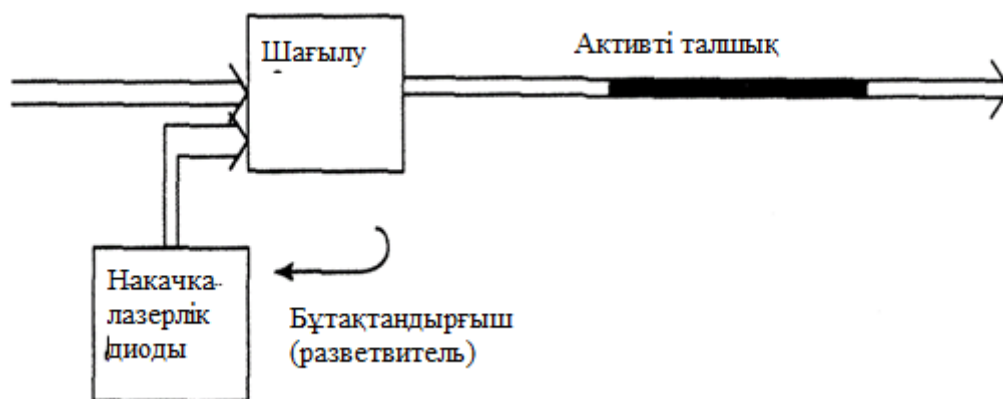
КІРІСПЕ

Жақында ВВА күшті күшейткіштер тобында өзінің керемет сипаттамалары мен антирефлексия жабындары саласындағы қол жеткен прогресті ескере отырып басым болды. Допты талшықты опператордан айырмашылығы, лазерлік диодты күшейткіштер лазерлер (яғни таратқыштар) жұмыс істей алатын кез-келген толқын ұзындығында жақсы жұмыс істеуге арналған.

Жақында УБВ күшті күшейткіштер тобында өзінің керемет сипаттамалары мен антирефлексия жабындары саласындағы қол жеткен прогресті ескере отырып басым болды. Допты талшықты опператордан айырмашылығы, лазерлік диодты күшейткіштер лазерлер (яғни таратқыштар) жұмыс істей алатын кез-келген толқын ұзындығында жақсы жұмыс істеуге арналған.

1 Талшықты-оптикалық күшейткіштер

Оптикалық күшейткіштің (ОУ) үш негізгі түрі бар, олар ВОСП пайдалану үшін әзірленген: лазерлік диодтағы күшейткіштер, легирленген талшықтағы күшейткіштер және романдық күшейткіштер. Қазіргі уақытта оу легирленген талшықта нарықта басым. Үшін қоспалау элементі пайдаланылады эрбий, ал ОУ деп аталады күшейткіші арналған волокне, легированном эрбием (EDFA). Лазерлік диодтарда олармен бәсекелес ОУ оларға әлі күнге дейін қымбат өндіріс, поляризацияға сезімталдық және айқас кедергілердің жоғары деңгейімен жол берді.



Сурет 1.1 - Легирленген эрбиеммен талшықты күшейткіштің оңайлатылған схемасы

Суретте EDFA типті күшейткіштің жеңілдетілген блок-схемасы көрсетілген. Ол тек бір белсенді блок - блоктан тұрады. Накачка әдетте лазерлік жарық көзін пайдаланады, бұл таратқышта қолданылады. EDFA өнеркәсіптік күшейткіштері үшін 980 немесе 1480 нм айдау көздері қолданылады.

Суретте келтірілген толқын ұзындығы бойынша бөлінген қарапайым мультиплексор болып табылады, онда тармақтаушы комбайнер/мультиплексор рөлін атқарады, яғни жай ғана жұмыс оптикалық сигналы бар айдаудың жарық сигналын біріктіреді. Бұл екі сигнал белсенді аймақ (талшық) арқылы өтеді, онда сигналдың нақты күшеюі болады. Белсенді аймақ арнайы дайындалған оптикалық талшықтан тұрады, ол белгілі бір дәрежеде эрбиймен, сирек жер элементімен легирленген. Ең қарапайым схемамен EDFA типті ОУ-да қажетті күшейту 1525-тен 1565 нм-ге дейінгі толқын ұзындығының тар жолағына қатысты қамтамасыз етіледі. Алайда, біз толқын ұзындығы тар жолақ деп атаймыз, көптеген WDM арналарын орналастыру үшін жеткілікті кеңістікті қамтамасыз етеді.

Бұл жағдайда, WDM-нің барлық жүйесіне бір ғана күшейткіш қажет болады. Мысалы, WDM жүйесінде 16 арнасы бар болсын. Сонда бұл конфигурация үшін 16 Регенератор және тек бір ОК қажет. Сонымен қатар,

регенератор ағынның белгілі бір жылдамдығына есептелген. Ұзақ жүйемен (мысалы, 700 км-ден астам) дисперсияны әлсірету және толқын пішінін қалпына келтіру үшін кем дегенде бір регенераторды қолдану қажет.

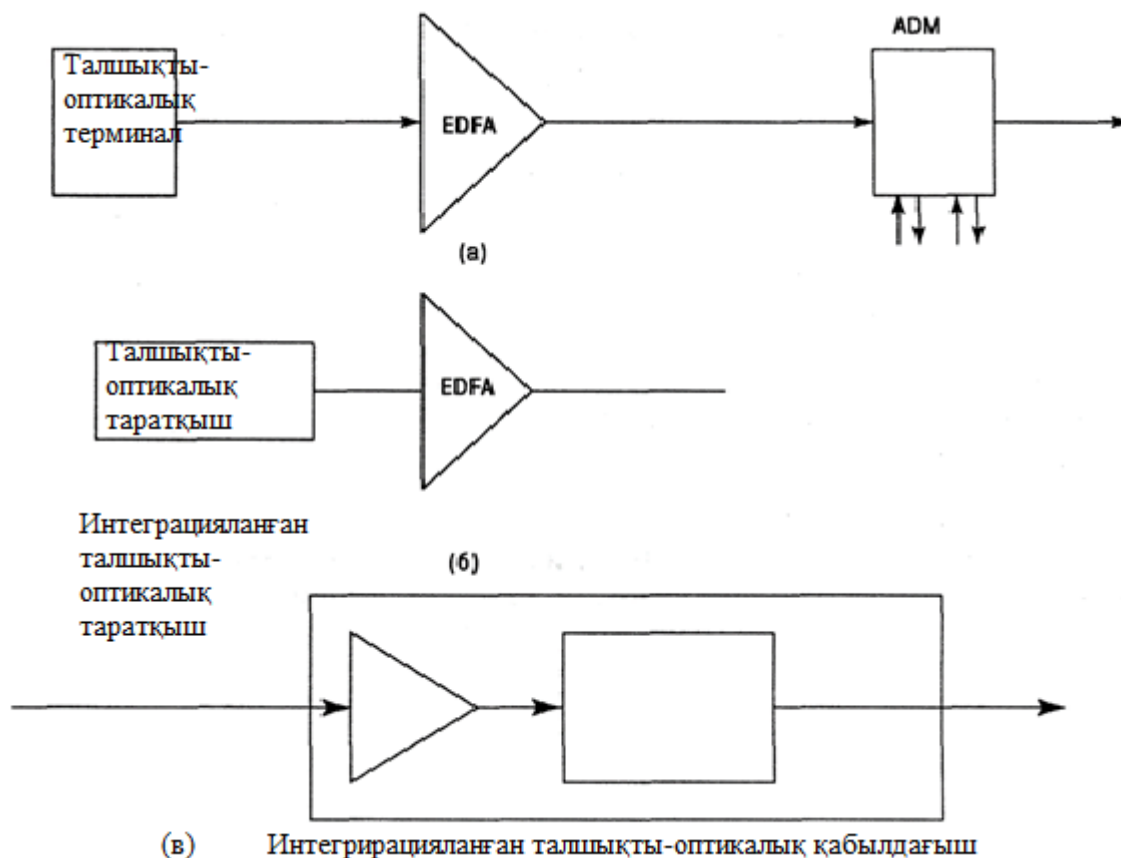
1.1 Талшықты-оптикалық күшейткіштер түрлері

Екі типті талшықты-оптикалық күшейткіштердің: күшейткіш арналған лазерном диод және күшейткіш арналған волокне, легированном редкоземельными элементтері. Раман мен Бриллюэн күшейткіштері де бар. Біз, негізінен, күшейткіштердің екі бірінші түріне ғана тоқтаймыз, олардың ішінде сирек жер элементтерімен легирленген күшейткіштер. Бұл топтың ОУ практикалық үлгісі EDFA типті күшейткіш болып табылады. Дегенмен, мұндай күшейткіштердің басқа түрлері әзірлеу сатысында, олардың кейбіреулері төменде қаралатын болады.

1.2 Лазерлік диодтардағы күшейткіштер

Барынша күшейту күшейткіш арналған лазерном диод кезінде инжекционды токта 80 мА-ды құрайды 19 дБ, ал жолақтар ені деңгейінде -3 дБ - шамамен 50 нм. Өте кең Өткізу жолағы — жартылай өткізгіш лазерлік күшейткіштердің артықшылықтарының бірі. Көптеген кванттық (әлеуетті) шұңқырлары (MQW) бар лазерлерді пайдалану кезінде күшейткіштердің кең спектрін, олардың энергетикалық аймақтарының өзіндік құрылымының арқасында күтуге болады. Бұл күшейткіштердің шу деңгейі 5-7 дБ [1].

Суретте көрсетілгендей, талшықты-оптикалық күшейткіштерді (ВОУ) орналастырудың үш түрлі тәсілі бар. 1.2-суретте олардың сызықтық күшейткіш режимінде қолданылуы көрсетілген. Бұл жағдайда күшейткіштер қашықтағы енгізу-шығару мультиплексорының немесе соңғы қабылдағыштың сезімталдығының қажетті ауқымына сәйкес келетін деңгейге дейін сигналды күшейту үшін талшықты-оптикалық тракт бойындағы стратегиялық нүктелерде орнатылады.



Сурет 1.2 - Оптикалық талшықты-оптикалық күшейткіштерді пайдаланудың үш түрлі нұсқасы: (а) желілік күшейткіш; (б) қуатты күшейткіш (бустер); (в) көздеу

Суретте қуатты күшейткіш (бустер) көрсетілген. Қалыпты конфигурация кезінде оны сигнал қуатын деңгейге дейін арттыру үшін оптикалық таратқыштың артына бірден орналастырады +15 - +20 дБм. Мұндай сигнал деңгейлері аралықтың үлкен ұзындығы үшін не қажет, не, мысалы, WDM жүйелерінде енгізілетін шығындардың Елеулі деңгейі бар пассивті элементтердің үлкен саны пайдаланылатын кезде.

Суретте көздеу ретінде қолданылатын талшықты-оптикалық күшейткіш көрсетілген. Бұл жағдайда ЖБО трактінің қашықтағы ұшына, тікелей қашықтағы қабылдағыштың алдында орналастырылады. Көп жағдайда мұндай конфигурацияда күшейткіш қабылдағышпен интеграцияланады. Бұл жағдайда су қабылдағыштың сезімталдық деңгейін төмендетеді. Сигналды қабылдағыш үшін қолайлы деңгейге дейін жоғарылатады және көп шығын деңгейі бар бірнеше элементтер арқылы немесе ұзақ жолдан өткен төмен деңгейдегі сигнал алады.

Лазерлік диодтағы күшейткіштер суретте көрсетілген барлық үш нұсқада қолданылуы мүмкін. Олар 1310 нм толқын ұзындығы диапазонында жұмыс істей алады, онда EDFA типті күшейткіштердің қанағаттанғысыз сипаттамалары бар. EDFA күшейткіштері 1550 нм толқын ұзындығы диапазонына арналған.

Лазерлік диодтарда ОУ көздеу ретінде пайдаланылғанда оптикалық қабылдағышқа берілетін сигналдың нәтижелік деңгейі қабылдағыштың сипаттамалары жылу шуылының деңгейімен шектелмей, бөлшек шудың деңгейімен шектеледі. Бұл көзде сигнал/шу қатынасы, сондай-ақ орнатылған сәуленің шуы есебінен нашарлайды. Салыстырмалы жоғары шу коэффициенті (шамамен 5-7 дБ) үлгі күшейткіш лазерлік диодтарда олардың өте идеалды ретінде алдыңғы күшейткіштерді пайдалануға болады. Бірақ бұл жағдайда да, олар қабылдағыштың сезімталдығын айтарлықтай жақсартпайды.

Егер лазерлік диодта күшейткіш қуатты күшейткіш ретінде пайдаланылса, оның шығу қуаты әдетте < 10 мВт деңгейінде шектелген. Бұл салыстырмалы түрде аз (шамамен 5 мВт) қанығу қуатымен түсіндіріледі.

Жартылай өткізгіштік ОУ (ПО У) олардың сызықтық күшейткіш ретінде пайдалану тиімсіз болатын бірқатар кемшіліктерге ие. Бұл кемшіліктердің арасында: поляризацияға сезімталдық, арналар арасындағы өтпелі кедергілер (WDM жүйесі үшін сезімтал), талшыққа енгізгенде үлкен шығындар атап өтуге болады. EDFA күшейткіштерінде мұндай мәселелер жоқ, бірақ біз атап өткендей, олар тек 1550 нм мөлдірлік терезесінде ғана пайдаланылуы мүмкін.

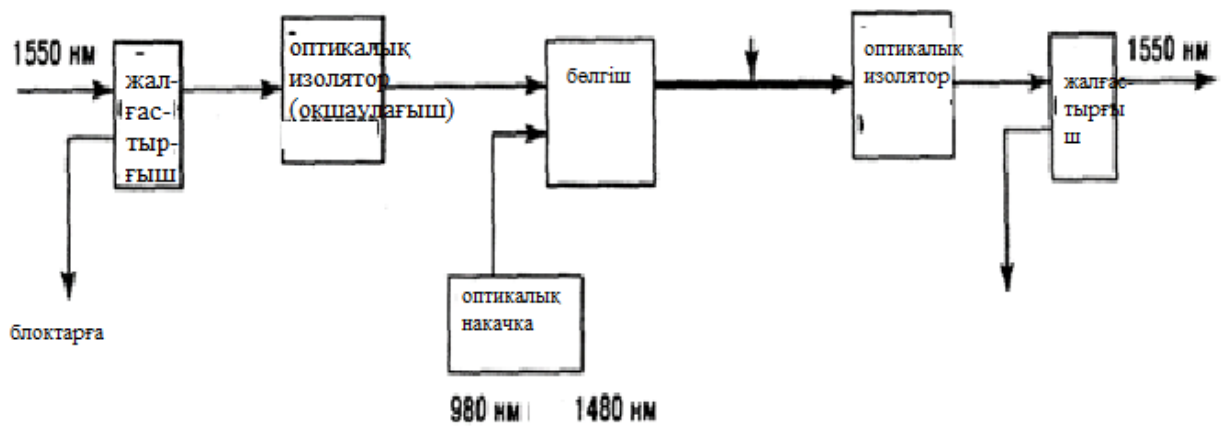
1.3 Эрбимен легирленген талшықтағы күшейткіш (EDFA)

EDFA типті күшейткіш-ең практикалық ВОУ бірі. Жоғарыда атап өткендей, оны қолдану 1550 нм мөлдірлік терезесімен шектелген. Оны пайдалану WDM жүйесін құруға мүмкіндік берді.

Бұл оң-дың күшеюі сирек кездесетін металмен легирленген шығыны төмен талшықтың барлық ұзындығы бойынша жүреді. Бұл мақсатта эрбий, гольмий, неодим, самарий, таллий және иттербий сияқты сирек кездесетін металдардың иондары қолданылуы мүмкін. Олар 500-ден 3500 нм-ге дейінгі толқын ұзындықтарында жұмыс істейтін ВОУ құруға мүмкіндік береді.

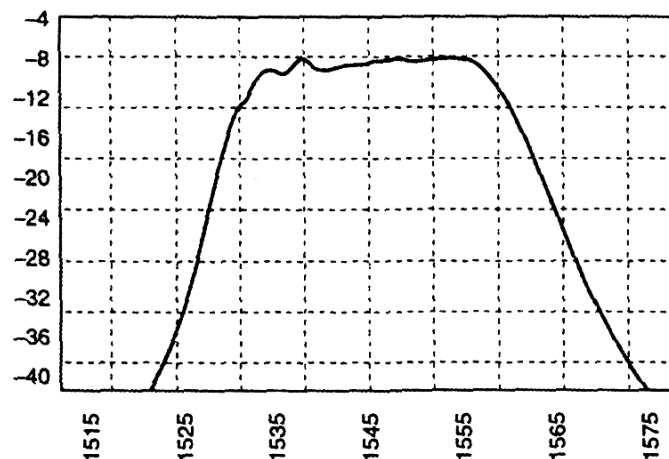
Екі белсенді элементтен тұрады: Белсенді талшықтар, ег3+ қоспаланған және лайықты айдау. Накачка ұсынылған полупроводниковым лазерлік жіберумен. Сигнал беру үшін тартып шағару да талшығы талап етіледі кем дегенде бір қажет. EDFA типті күшейткіш спектрінің түрі суретте көрсетілген.

Толқын ұзындығы 980 немесе 1480 нм болуы мүмкін. Бұдан басқа, EDFA типті ОК 600-700 нм диапазонында айдау толқындарының ұзындығын пайдалана алады. Айдау үшін GaAs лазерлік диодтарды қолданған жөн, олар шамамен 11 дБ/мВт айдау тиімділігіне жетеді.



Сурет 1.3 - EDFA күшейткіші блок-сызбасы

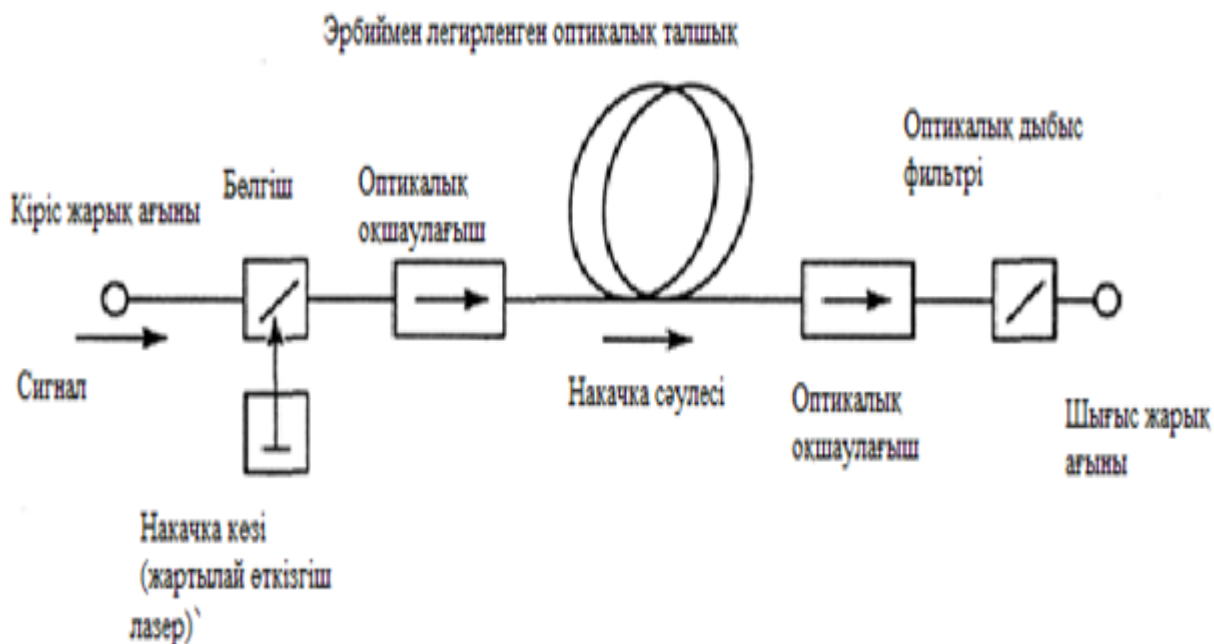
EDFA бірнеше түрлі конфигурациялары бар. Олардың бірі суретте көрсетілген. Сигнал ағыны бір бағытта тарайды. Толтыру үшін қолданылатын төрт түрлі конфигурацияны көрсетеді. Бір толқын көзін тікелей бағытта (бағытталған айдаудың) пайдалануды көрсетеді. Суретте кері бағытта бір айдау көзін (бағыттауға қарсы айдау) пайдалануды көрсетеді. Бұл жағдайда көрсеткіштер, егер сигналдың қуаты қанығу деңгейімен салыстырғанда аз болса, алдыңғы конфигурациямен салыстырғанда шамамен бірдей. Қанықтыру режимінде түрленудің тиімділігі, әдетте, қарама-қарсы қотаруды пайдалану кезінде, негізінен, негізгі рөлді күшейтілген спонтанды сәулелену (ASE) атқаратындығына байланысты көп. Егер төмен шу болуы маңызды болса, онда тұзды пайдалану жақсы.



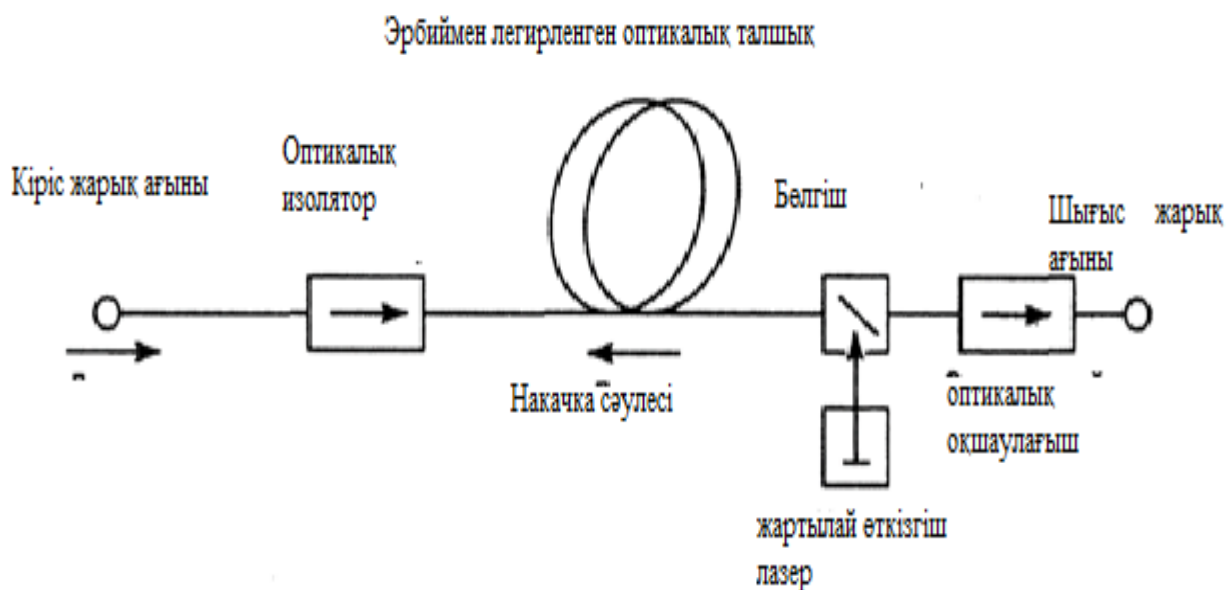
Сурет 1.4 - EDFA типтік күшейткішінің спектрі. Жолақтың ені шамамен 40 нм, оның ішінде тек 30 нм қолданылады. (EXFO рұқсатымен)

Сондай-ақ, екі бағытты накачка, суретте көрсетілген екі накачкамен конфигурация бар. Онда күшейткіш бір уақытта екі бағытта да айдалады. Әдетте бағыттауға қарсы айдау үшін толқын ұзындығы 1480 нм, ал бағытталған айдау

үшін - 980 нм қолданылады. Бұл олардың әрқайсысының күшті жақтарын пайдалануға мүмкіндік береді. 1480 нм-ге сорғыш жоғары кванттық тиімділігі бар, бірақ шудың жоғары коэффициенті де бар, ал 980 нм-ге сорғыш кванттық шегіне жақын шудың коэффициентін қамтамасыз ете алады.



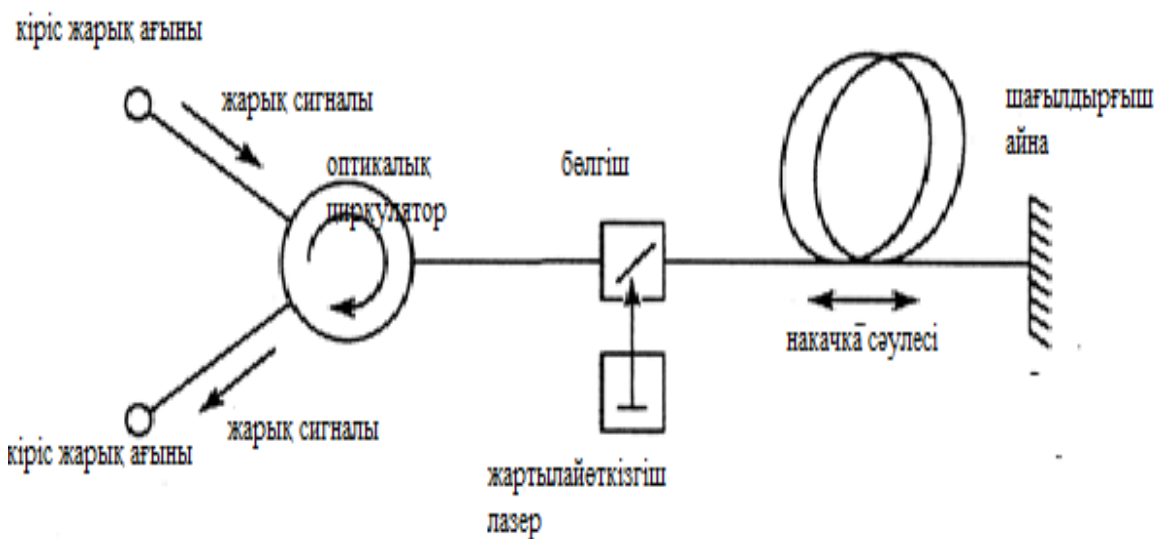
а) бір бағытталған накачка



б) қарсы бағытталған накачка



в) Екі бағыттағы накачка



г) Шағылдырғыш накачка

Сурет 1.5 - EDFA типті күшейткіштерді пайдалану сұлбалары а, б, в, г

Әдетте бір қаңқасы бар EDFA типті ОК қанықтыру режимінде +16 дБм шығыс қуатын және аз сигналды күшейту режимінде 5-6 дБ шудың коэффициентін қамтамасыз етеді. Егер бір уақытта екі айдауыш пайдаланылса, онда шығыс қуатын +26 дБм дейін ұлғайтуды күтуге болады. Кванттық шегіне жақын төмен, шудың коэффициентінің мәнін күшейткіштің көп каскадты нұсқасында ұстап тұруға болады. Бұл сұлбаны пайдалану кезінде бір окшаулағыш бірінші күшейту каскадынан кейін (әдетте, шудың коэффициентін анықтайды) бірінші Каскад көрсеткіштерінің нашарлауынан ASE әсерімен қорғау үшін орналастырылады, ол екінші каскадтан кері бағытта таралуы мүмкін.

Кесте 1.1 - EDFA күшейткіштері үшін екі толқынды салыстыру

Толқын ұзындығы	1480 нм	980 нм
Жарық көзі	InGaAsP/InP - ЛД Ф-П	InGaAs - ЛД с супер-решеткой
Күшейту тиімділігі	5 дБ/мВт	10 дБ/мВт
Шу коэффициенті	- 5,5 дБ	3-4,5 дБ
1 қанығу қуаты)	+20 дБм	+5дБм
Ұзын толқын диапазоны	кең, 20 нм (1470 - 1490 нм)	жіңішке, 2 нм (979-981 нм)
Сәуленің ыдырауы	қиын	жеңіл
Шығу	50-200 мВт	10-20 мВт
айдау қуаты		

¹⁾ Шыңдау қуатына байланысты. Қазіргі уақытта үлкен қуаттылыққа 1480 нм дейін жету оңай.

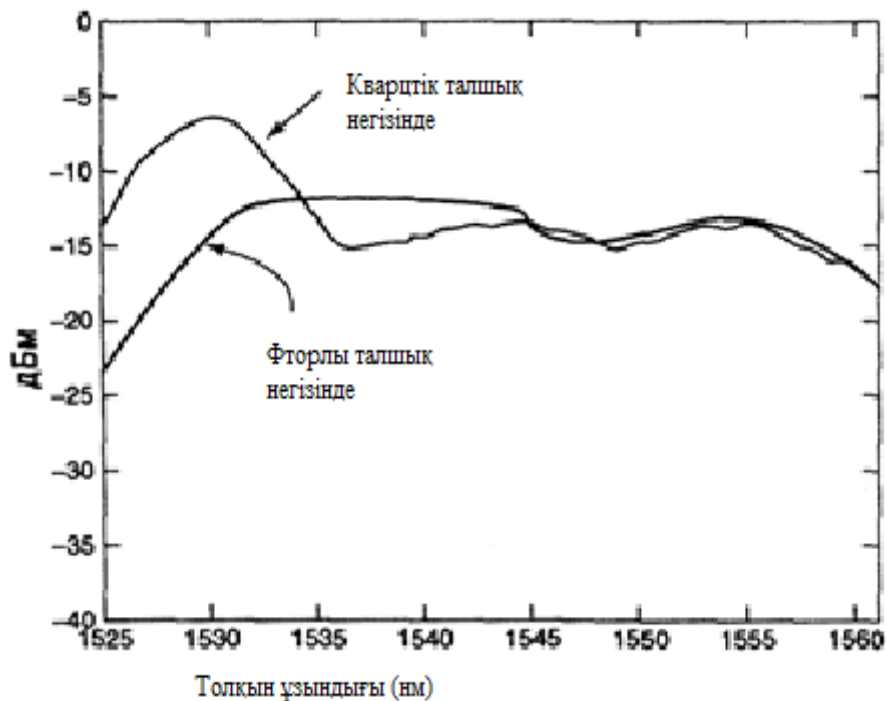
- кіріс және шығыс Жарық ағындарын бағыттайтын оптикалық циркуляторды пайдалана отырып, шағылыстыратын тербеліс көрсетілген.

Бұл жағдайда, ең бастысы, көрсетілген конфигурацияларды қарау кезінде тербеліс толқынының ұзындығын таңдау болып табылады — 980 немесе 1480 нм. Бұл екі толқынның салыстырмалы талдауы кестеде келтірілген.

1.4 Тапсырманың қойылымы

EDFA күшейткіштерінің екі нұсқасы бар. Олар өндірушілер дайындайды және ВОСП жобалаушыларына қол жетімді: жоғарыда сипатталған кварц талшығы негізіндегі EDFA күшейткіштері және фторлы талшықтар негізіндегі күшейткіштер.

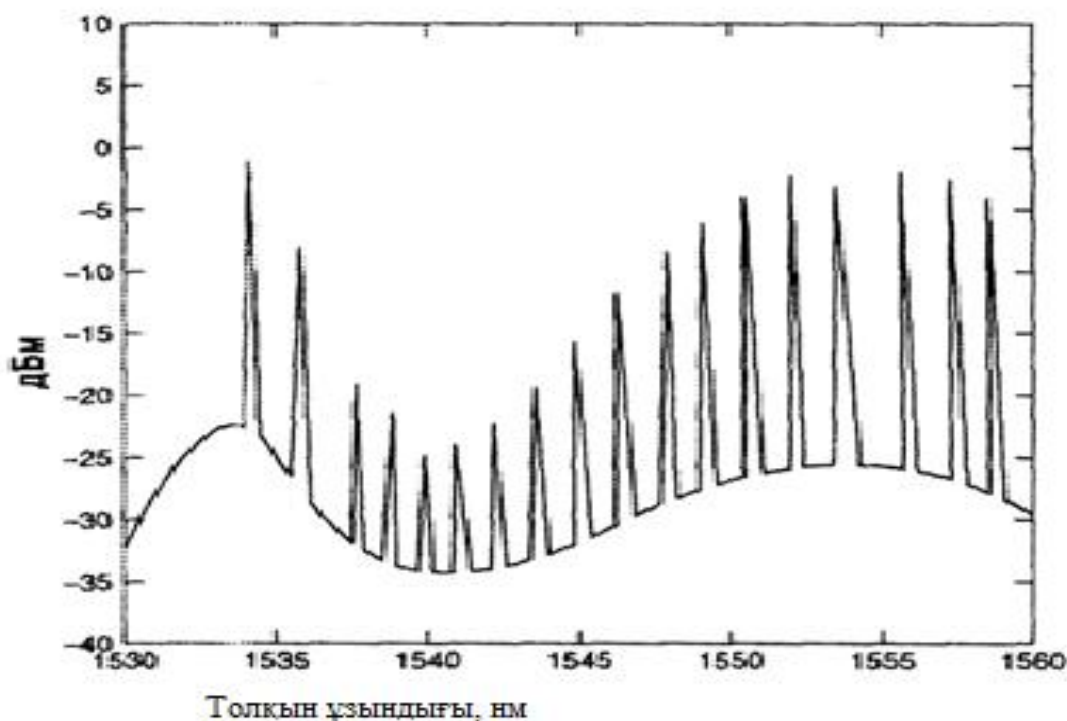
Олар бір-біріне өте ұқсас және эрбимен легирленген жұмыс талшығымен ерекшеленеді. Олар бірдей күшейту аймағын жабады: 1525-1560 нм сол негізгі сипаттамалары бар және тек шығу сипаттамасының қисығымен ерекшеленеді. Қолданылатын фторлы талшықтар үшін EDFA Шығу сипаттамасы күріш көрінгендей тегіс көрінеді. 7.9.



Сурет 1.6 - Кварц талшығы мен фторлы талшықтың негізіндегі EDFA күшейткіштерінің Шығу сипаттамасы

Шығу сипаттамасы WDM көп арналы жүйелері үшін өте маңызды. Қарапайым (кварц талшығы негізінде) EDFA күшейткіштері WDM тасымалдаушы үшін олардың әрқайсысында шамамен бірдей амплитуданы жасау мүмкіндігі болу үшін сол немесе басқа арнаға мәжбүрлі түрде Буланды. Мұндай жағдайларды жасау жолдарының бірі Шығыс сипаттамасының ұзын толқынды бөлігін ғана пайдалану есебінен күшейткіш жолағының тарылуы болды (сурет. 7.9). Бұл 1530-1542 нм жолағын сүзу арқылы жүзеге асырылды. Бұл нәтижелердің бірі WDM жүйелерінде тығыз жиіліктік жоспарды пайдалану болды. Бұл, алайда, 6-тарауында талқыланған төрт толқынды араласу сияқты бейсыздықтың кейбір түрлеріне сезімталдықтың артуын тудырды. Басқа әдісі уплощения демалыс сипаттамалары тұрады селективном әлсірету, вводимом әр арна кірісінде күшейткіштің жасау жазық демалыс сипаттамалары. Бұл өте қиын операция.

Арналардың деңгейін орнатудың осы күрделі операциясын төмендету (немесе мүлдем жою) үшін өндірушілер желілік элементтердің схемаларына өздігінен оптимизация алгоритмдерін енгізді. DWDM жүйесінде сигнал беретін кварц талшығы негізіндегі EDFA үшін теңгерілмеген Шығыс сипаттамасының түрі сурет. 7.10.



Сурет 1.7 - DWDM топтық сигналын жеткізетін кварц талшығы негізіндегі EDFA үшін теңгерілмеген Шығыс сипаттамасының түрі

Оптикалық талшықтың негізгі артықшылығы, оның оптикалық талшықтың негізіндегі EDFA-ға қарағанда 1540 нм-ге жуық толқын ұзындығы аймағында Шығу сипаттамасы анағұрлым тегіс. Дегенмен, фторлы талшықтың негізінде EDFA пайдаланудың бір кемшілігі бар.

Оның Шу коэффициенті жоғары, өйткені ол кварц талшығы негізінде EDFA мүмкін болатын 980 нм емес, 1480 нм айдау пайдаланады. Толқын ұзындығын фтор талшықты пайдаланған кезде айдау үшін 980 нм пайдалану қозған күйдің жұтылуына байланысты тиімсіз. Бірақ, бұл кең жолақты оптикалық кабельдерді пайдалану мүмкіндігі үшін ақы төлеу қажет, бұл кезде күшейткіштердің барлық өткізу жолағын қолдануға болады.

2 Сирек жер элементтерімен легирленген талшықтағы басқа да күшейткіштер

Күшейткіш эрбимен легирленген талшықтардан жасалады. Жолағы шамамен 35 нм терезесінде ашықтығын 1550 нм. Егер шығын деңгейі 0,35 дБ / км дейін болса, онда ені 400 нм болатын DWDM жолағын қолдануға болады. Мұндай кең жолақты пайдалану үшін басқа сирек кездесетін қоспалармен күшейткіштер қажет. Мұндай күшейткіштердің бірі-90 нм дейін күшейту жолағын кеңейте алатын эрбийлі (EDFA) легирленген теллуритті талшықта оптикалық күшейткіш болуы мүмкін.

Егер оптикалық күшейткіштерді (TDFFA) немесе празеодиммен (PDFFA) легирленген фторист талшығында қолдансаңыз, 1550 нм терезесінде өткізу жолағын одан әрі кеңейтуге болады. TDFFA типті Тули күшейткішін пайдаланып 1470-тен 1650 нм-ге дейін күшейткіш жолағын алуға болады. Оптикалық талшықтың оптикалық талшықтарындағы күшейткіш 1310 нм мөлдірлік терезесінде жұмыс істейді.

EDFA типті эрби күшейткішімен эксперимент жасай отырып, NTT Laboratories (Жапония) мамандары арнайы эквалайзерді пайдалану арқылы 1561-1611 нм диапазонында салыстырмалы жалпақ сипаттамасы бар күшейткішті құруға мүмкіндік алды. Бұл күшейткіш шамамен 25 дБ күшейту коэффициенті және 6 дБ аз шу деңгейі болды. Осы эксперименталды үлгінің негізінде NTT компаниясы кейіннен 1570-1617 нм жұмыс диапазонында жазық сипаттамасы бар EDFA типті күшейткішті құрды.

2.1 EDFA типті күшейткіштердің сыни жұмыс параметрлері

Күшейту және шығыс сипаттамасы. Алғашқы бөлімінде көргеніміздей, кварц талшығы негізіндегі EDFA күшейткішінің Шығыс сипаттамасы толқын ұзындығына байланысты күшейткіш жолағына өзгереді. Осындай күшейткішті күшейту туралы да айтуға болады. Күшейту кіріс сигналының поляризациясының қуаты мен жағдайына байланысты. Ол сондай-ақ әрбір WDM/DWDM арнасының салыстырмалы кіріс қуатына байланысты өзгереді. Сондықтан, кіріс қуатының уақытша таралуының әсері, әдетте, жаңа арналарды енгізу немесе бар арналарды шығару кезінде пайдаланылатын көп арналы қолданулар шеңберінде сипатталуы және басқарылуы тиіс. EDFA типті ОК күшейту Ріп берілген орташа кіріс қуаты мен P_{out} орташа шығыс қуаты бойынша есептелуі мүмкін. Бұл жағдайда сигналдың белгілі бір ұзындығына қатысты төменде келтірілген қуат көрінісінде берілгенін байқаймыз.

$$G_{dB} = 10 \log \left[\frac{P_{out}(\lambda_c) - P_{ase}(\lambda_c)}{P_{in}(\lambda_c)} \right] \quad (2.1)$$

мұндағы P_{ase} — күшейтілген спонтанды сәуле шығару қуатының деңгейі.

Ескереміз, бұл құрамдас қуатын ASE шегеріледі есептеу кезінде күшейту GdB бұл көріністе.

Оптикалық күшейткіштің күшеюі кіріс сигналының деңгейіне байланысты. Күшейткіштің әлсіз кіріс сигналдары үшін үлкен күшеюін көрсетеді. Мысалы, кіріс сигналдары үшін 30 дБ-дан артық күшейткішті күтуге болады -20 дБ-дан кем. Осылайша, амплитудалық сипаттаманың сызықтығы-сигналдың үлкен деңгейлері үшін маңызды параметр.

EDFA күшейткішін сипаттау үшін тестке аз сигналдық күшейткішін анықтауды, 3 дБ деңгейіндегі жолақты және қанықтандырудың шығыс қуатын қосу қажет. Бұл үш параметр кіріс сигналының толқын ұзындығымен өзгеруі мүмкін. Төменде анықталған EDFA күшейткішінің келесі параметрлері:

Профиль-қандай да бір сипаттамадағы толқын ұзындығының тәуелділігін сипаттау үшін пайдаланылатын термин. Шуылдың күшеюі бір толқынға қатысты дБ-да көрінеді, ал шуылдың күшеюі толқын ұзындығының өзгеруіне байланысты нақты күшейткіштің күшеюі.

Күшейткіштің біркелкілігі-күшейткіштің шығысындағы жеке арналарда күшейткіштің максималды айырмасы барлық кірістерде сигнал қуаты бірдей болған жағдайда.

Сигналды күшейту-күшейткіштің жұмыс нүктесін анықтайтын принципті көрсеткіш. Екінші жағынан, шудың күшеюі шағын сигналға қатысты күшеюі болып табылады, ол тіпті жұмыс нүктесіне әсер етпейді, ал келесі үлкен сигнал күшейткіштің қанығуына әкеледі.

Айқас қанығу - басқа арнаның (немесе бірнеше арналардың) кіріс деңгейі кейбір шамаға өзгергенде нақты арнаны күшейтуді өзгерту.

Кесте 2.1 - EDFA жұмыс сипаттамаларын екі толқын ұзындығында салыстыру: 1536 және 1550 нм

Салыстырмалы толқын ұзындығы	1535 - 1536 нм	1550 - 1554 нм
Күшейту	38-43 дБ	38-41 дБ
Жұмыс жолағының ені	2нм	4 нм
Шу коэффициенті	5,0 дБ	4,25 дБ
Шығу қуаты қанығу	+ 15дБм	+ 15,8дБм

2.1-кестеде екі толқын ұзындығындағы жұмыс сипаттамаларын салыстыру келтірілген: 1536 және 1550 нм. Бұл толқынның соңғы ұзындығы ығысқан нөлдік дисперсияның толқын ұзындығына сәйкес келеді.

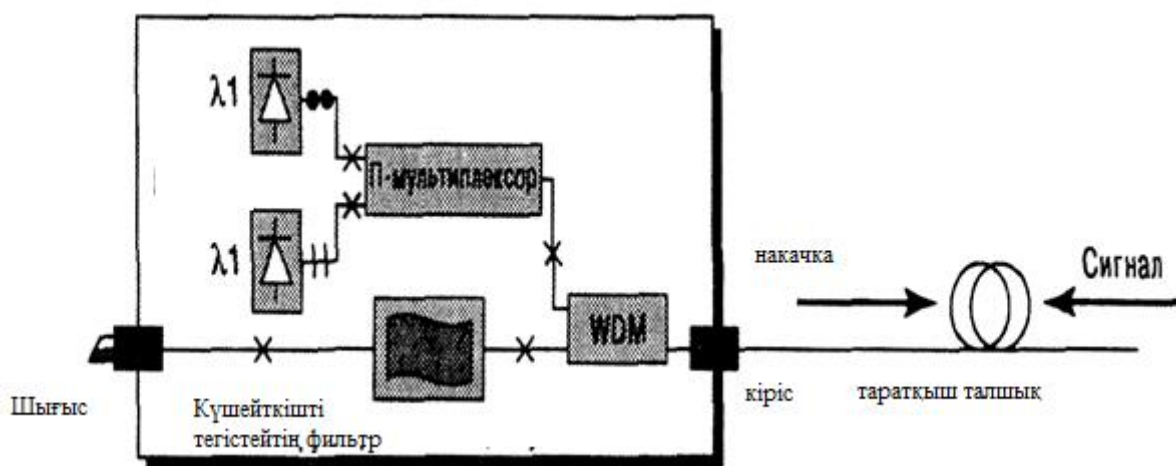
2.2 Раманов күшейткіштері

Жұмыста «жоғары қуатты (қысқа толқындық) насос фотондары матрицалық матрицаның тербелмелі режимдерін шашыратып, оларды төмен энергиялы (ұзын толқындық) фотондарға дәйекті түрде қосқан кезде раман күшейту жүреді» деп атап көрсетілген. .

Бұл процесс практикалық іске асыру кезінде Раман (DRAT) әсерінің көмегімен беріліс деп аталады; тербеліс жарығы сигналды енгізуге қарама-қарсы жағынан талшықты желілік күшейткішке енгізіледі. Бұл конфигурацияда Раман күшейткіші аз ойлайтын көз ретінде жұмыс істейді. Төмен деңгейлі рамандық күшейтудің негізгі артықшылығы-ол талшыққа қосымша сызықсыз әсер етпейді.

Суретте таратылған Раман күшейткіші схемалық түрде көрсетілген. Суретте көрсетілгендей: «Екі ортогоналды поляризацияланған лазерлі сорғы диодтарының сигналдары поляризация (P-мультиплекстеу) арқылы мультиплекстеліп, WDM-де біріктіріліп, берілетін талшыққа қарсы бағытталған накачка жасайды.

Нәтижесінде тікелей бағытта таратылатын сигнал талшықта рамановалық күшейтуді алады. Бағыттауға қарсы қотаруды пайдалану сигналға шудың әсерін азайтады.

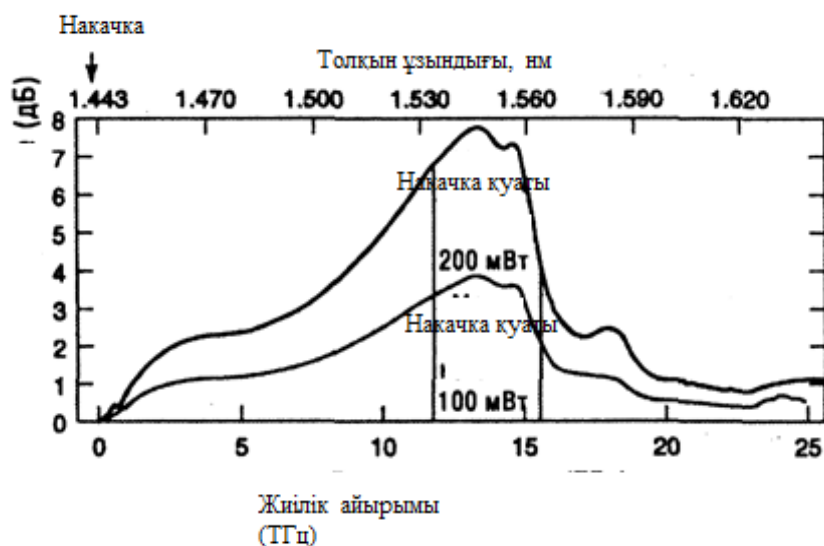


Сурет 2.1 – Таратылған раманов күшейткішінің блок-сұлбасы

Таратқыштың Шығыс сипаттамасы таратқыштың сигналын жұтып алу, тиімді аудан және рамандық күшейту коэффициенті сияқты таратқыштың қасиеттеріне байланысты. Бірінде практикалық мысалдар келтірілген [7], күшейту құрады тек 3,75 дБ.

Күшейткіштің әркелкілігі ТОК үшін маңызды параметрлердің бірі болып табылады, атап айтқанда WDM/DWDM жүйелері қолданылады. Рама күшейткіші жағдайында, нақты сигнал үшін күшейту сигнал жиілігінің айырмасына және тербеліске байланысты.

Суретте үлкен ұзындықтағы талшықтың аз сигналдық рамандық күшеюі көрсетілген. Жолақтың еніне күшейту коэффициентінің 20 Гц астам көбейтіндісі, ауданда 13,2 ТГц күшейту шыңымен. Әр түрлі сигналдар олардың жиілігі мен айдау жиілігіне байланысты әртүрлі күшейтуді алады. Демек, толқын ұзындарының кез келген диапазоны күшейту деңгейінің кейбір ауытқуы болады. Суретте көрсетілген 200 мВт айдау деңгейі үшін. $7,12, 7,78$ дБ максималды күшейту деңгейі (максимал - минимал) $3,5$ дБ. (дБ-да күшейту тербелісі)/(дБ-да максималды күшейту) $= 3,5/7,78 = 0,45$ ретінде анықталатын күшейту деңгейінің нақты ауытқуы.



Сурет 2.2 - 100 және 200 мВт шыңдау қуаты деңгейінде 1443 нм шыңдаумен үлкен ұзындықтағы талшық рамандық күшейту спектрі

Суретте ұзындығы 30 нм (1530-1560 нм) диапазоны көрсетілген.

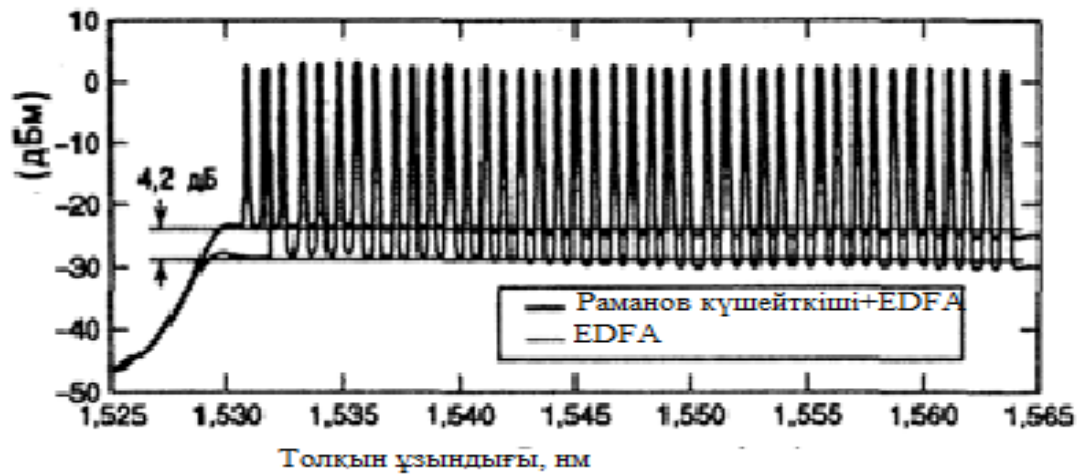
Сонымен қатар, оптикалық талшықтың оптикалық талшығын жобалау кезінде қалыптасқан (көп толқынды) WDM сигналын тасымалдайды; таралған рамандық күшейткіштің және тандемдік жалғаудағы EDFA күшейткішінің комбинациясы тамаша нәтижелер береді және ASE өсуін азайтуға мүмкіндік береді.

Суретте DWDM жүйесінің оптикалық спектрі көрсетілген, онда екі жағдай үшін ұзындығы 125 км талшық үшін сигнал/шу (OSNR) қатынасы белгіленген:

- 1) Раман күшейту каскадымен гибриді көздеу + EDFA;
- 2) тек EDFA қолданылады. Бірісуреттен көрініп тұрғандай, гибриді схемасы береді, 4,2 дБ көп сигнал/шуыл қатынасы.

Ұзындығы 125 км ұшып өткеннен кейін сигнал/шу қатынасын жақсарту

LEAF талшығымен 125 км пролетті өткен соң сигнал/шуыл қатынасының жақсаруы



Сурет 2.3 – 32 толқын ұзындығы бар DWDM жүйесінің оптикалық спектрі

Максималды күшеюі бірдей, ал гибриді схемада шекті тұғыры 4,2 дБ төмен.

3 Инженерлік есептеу

3.1 ТОВЖ – WDM арналған оптикалық талшықтар

ТОВЖ – WDM ұйымдастыру үшін бір модальды оптикалық талшықтар қолданылады, олардың түрлері 3.1- кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 - Бір модальды оптикалық талшықтар

№	Оптикалық талшықтардың түрлері	Қысқартылған атауы	Өзекшенін/қабықтың диаметрі	МСЭ-Т ұсынысы
1	Бірмодальды сатылы талшық ауыстырылмайтын дисперсиямен (стандартты). Step index single mode fiber	SMF	$\frac{8 \div 10}{125}$	G.652
2	Бірмодальды талшық ауыстырмалы дисперсиямен. Dispersion-shifted single mode fiber	DSF	$\frac{8 \div 10}{125}$	G.653
3	Бірмодальды талшық нөлдік емес ауыстырмалы дисперсиямен. Non-zero dispersionshifted single mode fiber	NZDSF	$\frac{8 \div 10}{125}$	G.655

3.2 Параметрлері мен сипаттамалары

ОТ өндірісінің технологиясын жетілдіру α_k (дБ/км) жиілігінде бес мөлдір терезенің пайда болуына әкелді. 3.2 кестеде қазіргі заманғы ТОВЖ – WDM ең жиі қолданылатын үш мөлдірлік терезесінің негізгі параметрлері мен сипаттамалары келтірілген.

Мөлдірлік терезелері:

бірінші – 830÷870 нм, $\lambda_1= 850$ нм;

екінші – 1270÷1325 нм, $\lambda_2= 1310$ нм;

үшінші – 1528÷1565 нм, $\lambda_3= 1550$ нм;

төртінші – 1565÷1620 нм, $\lambda_4= 1580$ нм;

бесінші – 1325÷1425 нм, $\lambda_5= 1400$ нм.

Айта кетейік, бірнеше мөлдірлік терезесі бар ОТ тек екі-үш фирма ғана шығарады. Мысалы, AllWave (Lucent Technologies фирмасы) талшық төрт

терезеден тұрады, 1280 нм ÷ 1620 нм диапазоны ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$) – мөлдірлік терезелерінің орталық жиілігі.

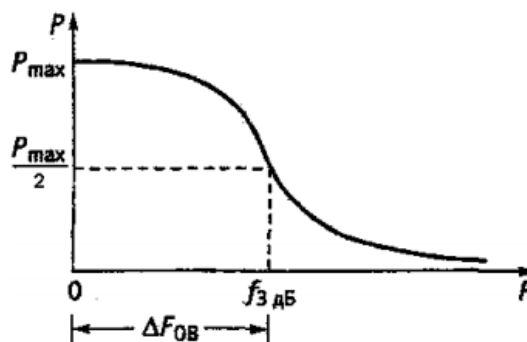
Кесте 3.2 - Бір модальы ТО кейбір жалпыланған параметрлері

Мөлдірлік терезелері	2 (1270 ÷ 1325)	3 (1528 ÷ 1565)			4 (1565 ÷ 1610)
МСЭ ұсыныстары	G.652	G.652	G.653	G.655	G.655
Параметрлері					
α_k , дБ/км	0,35 ÷ 0,5	0,19 ÷ 0,35	0,25 ÷ 0,5	0,19 ÷ 0,35	0,25 ÷ 0,3
λ_{g0} , нм	1310 ± 10	1550	1550 ± 10	1529,4	
D_{xp} , –	3,5	18÷20	1÷3,5	2,0 ÷ 6,0	4,5 ÷ 11,0
δD_{xp} ,	0,092	–	0,085	<0,196	–
PMD, пс	≤0,2	0,2	≤0,5	–	≤0,5

Белгілері:
 α_k – өшу коэффициенті;
 λ_{g0} – нөлдік дисперсия толқын ұзындығы;
 D_{xp} – хроматикалық дисперсия шамасы;
 δD_{xp} – хроматикалық дисперсияның иілуі;
PMD – поляризацияланған мод дисперсиясы.

3.3 Өткізу жолағы

ОТ өткізу қабілеттілігі оның модуляциялық сипаттамасынан Р сәулелену күшінің F модуляцияланатын сигнал жиілігіне тәуелділігімен анықталады (3.1 сурет). Суреттен F_{OT} талшығының өткізгіштік жиілігі f_3 дБ максималды өту жиілігіне сәйкес келетін $0,5P_{max}$ деңгейінде анықталғанын көруге болады.



Сурет 3.1 - ОТ модуляциялық сипаттамасы

Егер, оптикалық импульс ОТ шығысында Гаусс қисығы түрінде болса, келесі теңдік орындалады:

$$\Delta F_{\text{ОТ}} \cdot L = \frac{0.187}{|D_{\text{хр}}| \cdot \sigma_{\text{л}}} = \frac{0.44}{|D_{\text{хр}}| \cdot \Delta \lambda_{0.5}}, \quad (3.1)$$

мұндағы, $D_{\text{хр}} \left(\frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \right)$ – меншікті хроматикалық дисперсия;
 $\Delta \lambda_{0.5}$ (нм) – спектральды лазер сызығының кіріс қуатының жартылай деңгейіндегі ені;
 $\sigma_{\text{л}}$ (нм) – спектральды лазер сызығының орта квадратты ені;
 L (км) – байланыс ұзындығы.

Нөлдік хроматикалық дисперсия кезіндегі толқын ұзындығыда λ_0 (ОТ үшін G.652 және G.6523) өткізу жолағы күрт кеңейеді және келесі теңдікпен анықталады Δ :

$$\Delta F_{\text{ОТ}} \cdot L = \frac{0.616}{\delta D_{\text{хр}} \cdot L \cdot \sigma_{\text{л}}^2} \quad (3.2)$$

мұндағы, $\delta D_{\text{хр}}$ – хроматикалық дисперсия спектралды сипаттама қисығының ауытқуы (пс/км·нм²).

3.4 Өткізу жолағы және тарату жылдамдығы

Тарату жылдамдығы импульс формасына және импульстік тізбектің түріне байланысты екені белгілі. Әдетте импульстік тізбек – бұл бір-бірінен кейін келе жатқан нөлдер мен бірліктердің кездейсоқ жиынтығы. Мұндай кездейсоқ процесс үшін В беру жылдамдығы және импульстің орта квадраттық ұзақтығы $\sigma_{\text{и}}$ келесі қатынаспен байланысты:

$$B \leq \frac{1}{4\sigma_{\text{и}}} \quad (3.3)$$

Тікбұрышты импульс үшін оптикалық өткізу жолағы $\Delta F_{\text{ОТ}}$ мен тарату жылдамдығы арасындағы байланыс анықталады:

$$B \approx \Delta F_{\text{ОТ}} \quad (3.4)$$

Сәйкесінше, (3.1) теңдікте $\Delta F_{\text{ОТ}}$ жолағы орнына В үлкендігін қоюға болады.

$$B \cdot L = \frac{0.187}{D_{\text{хр}} \cdot \sigma_{\text{л}}} \quad (3.5)$$

BL кеңдігін көбінесі ТО «кеңжолақтығы» деп те атайды . Гаусс үшін импульс теңдігі:

$$B = 1.34 \cdot \Delta F_{\text{от}} \quad (3.6)$$

Яғни (3.7) арқылы анықтаймыз:

$$B \cdot L = \frac{0.25}{D_{\text{хр}} \cdot \sigma_{\text{л}}} \quad (3.7)$$

Дисперсияға байланысты қабылдау нүктесінде оптикалық толқын бойымен таралатын тікбұрышты импульстің Гаусстыққа айналатынын атап өтеміз. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда таратқыштың шығысында лазер арқылы Гаусс импульсі пайда болады. ОТ бойынша тарату кезінде оның нысаны өзгермейді. Сондықтан көп жағдайда есептеулер (3.6) формула бойынша жүргізіледі.

Сәуле шығару көзінің спектрі G.957 ұсынымына сәйкес не спектральды желінің орташа квадраттық ені - , не спектральды желінің ені - 20 дБ (яғни лазердің ең жоғары сәуле шығару қуатынан 0,01 деңгейінде) – 0,01, не – 3 дБ деңгейінде (яғни Pmax 0,5 деңгейінде) - 0,05 берілуі мүмкін. Гаусстік импульс үшін:

$$\sigma_{\text{л}} = 0.425 \cdot \Delta\lambda_{0.5} \cong 0.212 \cdot \Delta\lambda_{0.01} \quad (3.8)$$

Кесте 3.3 - Байланыс ұзындығының және өткізу дисперсияның берілу жылдамдығына тәуелділігі

STM типі	B, Гбит/с	L, км	$D_{\text{хрдоп}}$, пс/нм
STM	2,5	40	640
STM	10	30,62	490
STM	40	1,9	30,629

Егер есептелген дисперсия кеңдігі $D_{\text{хрдоп}}$ үлкен болса, қалған дисперсияны компенсациялау керек. Дисперсияны компенсациялау әдістері төменде қарастырылған.

3.5 Дисперсияны компенсациялау үшін талшықтар

(3.1) және (3.2) бір модальды OT өткізу жолақтары тек қана кіші хроматикалық дисперсияда алынуы мүмкін. ТОБЖ – WDM жаңа ОК магистральдарын ұйымдастыру кезінде ОК DSF немесе NZDSF қолданылады (3.1 және 3.2 кестелер). DSF талшықтары бар оптикалық кәбілдер салыстырмалы түрде аз арналар санымен (4 немесе 8) ТОБЖ – WDM үшін қолданылады, өйткені арналар саны ұлғайған кезде олардың арасында төрт толқынды араласудан (FWM) ауыспалы әсерлері пайда болады. Бұл әсіресе спектрдегі арналардың тығыз орналасуы бар жүйелерде байқалады (dense WDM – DWDM).

Мұндай жүйелері бар жаңа магистральдарды ұйымдастыру үшін NZDSF талшықтары бар ОК қолдану ұсынылады. Бұл талшықтар үшінші және төртінші мөлдірліктің диапазондарында дисперсияның оң және теріс мәні болуы мүмкін. Кезектестіру учаскелері магистралі (мысалы, ОК құрылысының ұзындығы) оң және теріс дисперсиялармен ауыстыру арқылы біз регенерация бөлімінің орташа мәнін аламыз. DSF және NZDSF талшықтарының сипаттамалары 3.2 суретте көрсетілген, ол дисперсияның барлық сипаттамаларының көлбеуі-оң, қисықтар өспелі сипатқа ие.

Қазіргі уақытта SMF талшық бар бір модальды ОК едәуір саны салынған, оның дисперсиясының сипаттамасы 3.2 суретте берілген. Қарастырылған мөлдірлік терезелеріндегі бұл талшықтың айтарлықтай дисперсиясы бар (тәртібі 18 пс/(нм · км)).

Мұндай талшықтардың дисперсиясын компенсациялау үшін DSF (dispersion compensating fiber) талшық әзірленді, оның сипаттамасы 3.3-суретте келтірілген. Қисық құлайтын сипатқа ие, барлық диапазонда дисперсия белгісі-теріс. Мұндай талшық белгілі бір магистраль нүктелерінде (мысалы, күшейткіш пунктте) қосылатын модульді құра отырып, катушкаға оралады, сондықтан учаскенің дисперсиясының орташа мәнін анықтауға болады.

3.6 ТОБЖ ұйымдастыру принциптері

ТОБЖ-WDM құрылымдық сұлбасы сәйкесінше G.692 МСЭ-Т 3.1 суретте көрсетілген.

Мұнда TX_i , RX_i ($i=1,2,\dots,n$) – әр арнаның N-арналық ТОБЖ – WDM таратушы және қабылдаушы транспондерлері (қабылдап – таратушы);

OM – оптикалық мультиплексор;

OA – оптикалық күшейткіш;

OD – оптикалық демультиплексор;

RX_i – i -ші таратушы транспондердің кірісінде бақылау нүктесі (интерфейс);

SX_i – i -ші қабылдау транспондерінің шығысындағы бақылау нүктесі;

$S_i \div S_n - 1 \dots n$ арналарына арналған таратушы транспондерлердің оптикалық қосқыштарының (OC) шығысындағы бақылау нүктесі;

$RM_1 \div RM_n$ – OM/OA блогының алдындағы ОС кірісіндегі бақылау нүктелері;

MPI-S – OM/OR блоктан кейін ОС шығысындағы басқару нүктесі (интерфейс);

S' – LOA сызықтық оптикалық күшейткішінен кейін ОС шығысындағы бақылау нүктесі;

R' – желілік оптикалық күшейткіштің алдында ОС кірісіндегі бақылау нүктесі;

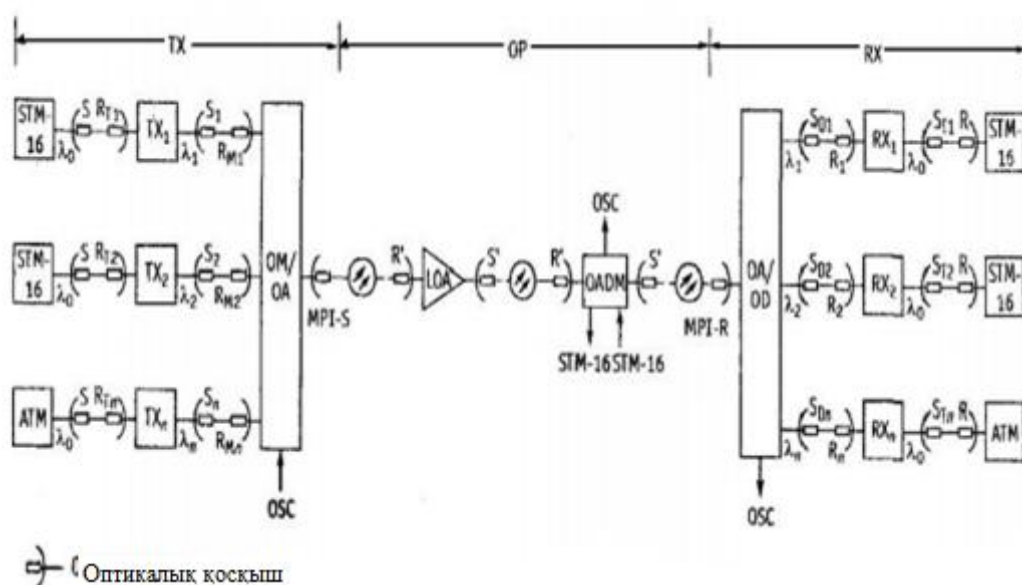
MPI-R – OA оптикалық күшейткіштің алдына OD оптикалық демодулятордың кірісіндегі бақылау нүктесі (интерфейс);

$SD_1 \div SD_n$ – OA/OD блоктан кейін ОС шығысындағы бақылау нүктелері;

OSC – оптикалық қызметтік арнаны қосу нүктелері;

OADM – оптикалық арналарды енгізу - шығару мультиплексоры;

S, R – таратқыштардың шығысындағы және STM-N аппаратурасының қабылдағыштарының шығысындағы интерфейсстер.



Сурет 3.2 - ТОбЖ – WDM құрылымдық сұлбасы

3.2 суретте көрсетілгендей, ТОбЖ – WDM құрылымдық сұлбасы құрамына оптикалық таратқыш (TX), оптикалық қабылдағыш (RX) және басты оптикалық тракт (OP) кіреді.

Оптикалық таратқыштың құрамында арналық қабылдағыш таратқыштары (транспондерлер) $TX_1 \div TX_n$ құрылғысы бар, атап айтқанда, STM-N λ_0 толқын ұзындығын арна спектрінің толқын ұзындығы $\lambda_1 \div \lambda_n$ түрлендіреді. Әдетте, түрлендіру операциясын транспондерлер құрамына кіретін конверторлар орындайды. TX_i шығуында арналық сигнал пайда болады, оның спектрі STM-N тарату жылдамдығына сәйкес келеді. Оптикалық сигналдар, демек, олардың спектрлері оптикалық мультиплексордың (OM) көмегімен біріктіріледі; оның шығуында топтық сигнал пайда болады, оның спектрі арналық сигналдардың жиынтық спектрін қамтиды:

$$\Delta f_{ГС} = \Delta f_{КС} + (n - 1)\Delta f_{НЧР} \quad (3.9)$$

мұндағы, $\Delta f_{ГС}$ – топтық сигнал спектрі;

$\Delta f_{КС}$ – арналық сигнал спектрі;

$\Delta f_{НЧР}$ – арнаның жиілікті номиналды ажыратылуы (ЖНА).

Оптикалық тасымалдаушы арналарды таңдау принциптері –
($i = 1, 2, \dots, n$).

Топтық сигнал аяқталған оптикалық күшейткішпен арттырылады ОА (бустер) және оның көмегімен MPI-S интерфейсіне сызықты сигналдың РЛС жалпы орташа қуатын орнатады.

Басты оптикалық тракт (ОР) сызықты оптикалық күшейткіштен тұрады (LOA), оптикалық талшық ұзындағы $l_1 \dots l_i \dots l_k$ ауданында өшулікті өте мақұлайды. Оптикалық күшейткіштің орнына оптикалық күшейткіш сияқты S' және R' интерфейстерімен бірдей OADM арналарын енгізу/шығару мультиплексоры қосылуы мүмкін.

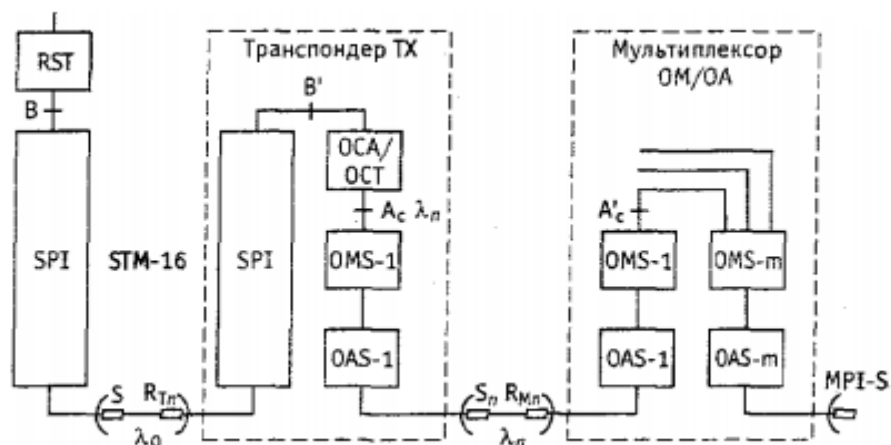
Қабылдағыш (RX) алдын – ала оптикалық күшейткіштен тұрады (OA), ол сызықты сигнал, демультимплексорды (OD) күшейтеді, топтық сигналды арналы сигналға бөледі. Қабылдағыш транспондер RX_i , құрамына STM-N немесе ATM сәйкес келетін және, $\lambda_1 \div \lambda_n$ толқын ұзындығын λ_0 , толқын ұзындығына түрлендіретін конверторлар кіреді.

Оптикалық қызмет арнасы (OSC) WDM спектрінен тыс немесе оның ішінде жатқан толқын ұзындығында ұйымдастырылады. OSC оптикалық таратқыш пен қабылдағышта, сызықтық күшейткіште және оптикалық тракт кіру/шығу мультиплексорында (OADM) қосылып ажыратылады.

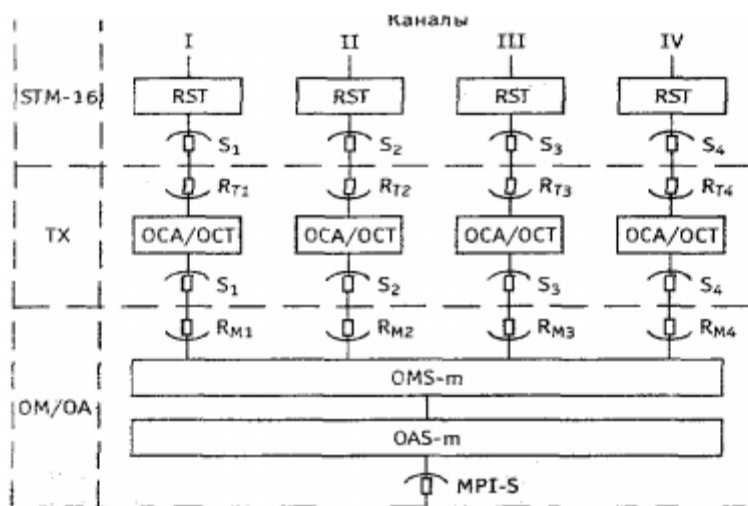
3.3-суретте МСЭ-Т G.681. ұсынысы бойынша таратқыш конфигурациясы бейнеленген. Мұнда STM-16 функционалды блогы, (TX_n) транспондері, (OM/OA) мультиплексоры, интерфейс реті мен оптикалық қосылғыштар және таратқыштар көрсетілген.

Функциональды блок STM-16:

- 1)RST – регенерациялы секция соңы;
- 2)SPI – физикалық интерфейс; Транспондердің функциональды блогы;
- 3)SPI – физикалық интерфейс;
- 4)OCA – оптикалық арна бейімделуі;
- 5)OCT – оптикалық аяқталу;
- 6)OMS-1 – бірарналы мультиплексорлы секция аяқталуы мен бейімделуі;
- 7)OAS-1 – оптикалық секция күшейткіш аяқталуы мен бейімделуі;
- 8)OAS-1, OMS-1 – транспондер аналогты блогына арналған блок;
- 9)OMS-m – көпарналы мультиплексорлы секция бейімделуі мен аяқталуы;
- 10)OAS-m – оптикалық күшейткіш соңының аяқталуы мен бейімделуі.



Сурет 3.3 - G.681 ұсынылған таратқыш конфигурациясы



Сурет 3.4 - ТОБЖ – WDM арналарының OM/OA блогына оңайлатылған байланысы

Таратқыш схемасын жеңілдетуге рұқсат беріледі. Сонымен қатар, регенерациялық секцияның аяқталуын (RST шығысы, В нүктесі) OCA/OCT транспондер блогының кіруімен тікелей қосуға болады (В' нүктесі). Ары қарай, λ_0 толқын ұзындығының λ_n толқын ұзындығына түрлендіру транспондер OCA/OCT блоктарында жүргізілетіндіктен, OMS-m OM/OA блогының кіруіне (A_c нүктесі) осы блоктың шығуын тікелей қосу мүмкіндігіне жол беріледі.

3.8 суретте 4 арналы ТОБЖ – WDM арналарын OM/OA блогына оңай жалғау көрсетілген.

Мұнда STM-16 Модулінің регенерациялық секцияларының (RST) аяқталуы транспондерлердің OCA/OCT блоктарымен тікелей қосылған. Осы блоктағы арналық сигнал түрлендіруі $\lambda_1 \div \lambda_4$ толқын ұзындығымен сипатталады және OMS-m ($m = 4$) мультиплексорында бірігеді.

Топтық оптикалы сигнал жоғалтуларды компенсациялайтын OAS-m бустерімен күшейтіледі. Ол қажетті оптикалық қуатты MPI-S интерфейсіне қамтамасыз етіп, OMS-m және OCA/OCT блогына енгізеді (6 ÷ 8 дБ

реттілігімен). Соңғы әзірлемелерде конверторлардың блоктары (ОСА/ОСТ) конструктивті түрде STM-16 себетінде (корзина) орналасуы мүмкін. Бұл жағдайда $S_1 \div S_n$ интерфейсі «түсті» деп аталады.

3.7 Индивидуалды (жеке) шығыстар – S_1 – S_n интерфейсі

f_n арналарының орталық жиілігі таңдалған жиілік жоспарына сәйкес болуы тиіс.

Арнаның спектрлік сипаттамасы екі параметрмен анықталады:

- 1) спектрдің ені $\lambda_{0,01}$ оптикалық сигналдың деңгейі бойынша – 20 дБ);
- 2) бүйірлік мод басу қатынасы.

3.8 сурет Транспондер шығысындағы $P_{ТХ}$ сәулелендіру қуатының толқын ұзындығына λ тәуелділігі бірінші параметрді суреттейді. Деңгей – 20 дБ нормаланған бірлікке қатысты қайта есептегенде 0,01 шамасына сәйкес келеді.

Екінші параметрді анықтау теңдігі:

$$n = 10 \lg \frac{P_{ОСН}}{P_{Пок}} \text{ дБ} \quad (3.10)$$

мұндағы $P_{ОСН}, P_{Пок}$ – сәйкесінше негізгі және бүйірлік мод қуаттары.

Күшейту коэффициентінің $P_{ВЫХ}$ тәуелділігінің функциясы A қосымшасында, MathCad компьютерлік бағдарламасында көрсетілген.

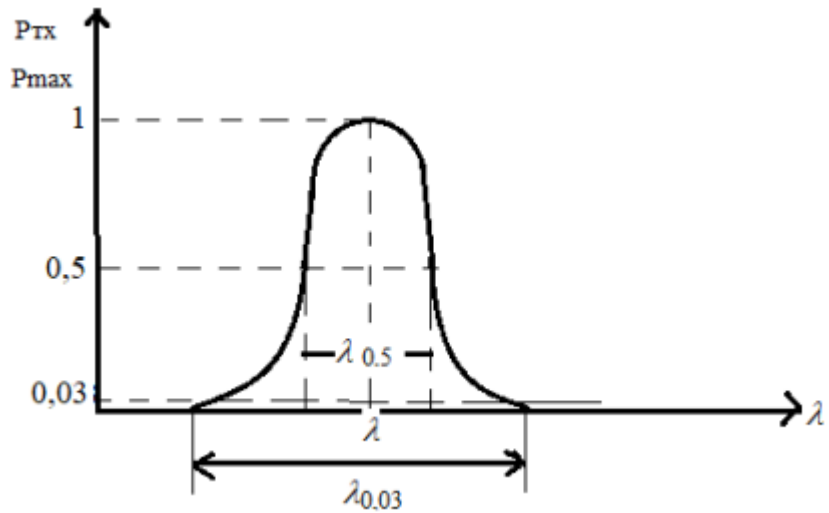
Арна спектрінің ені арна бойынша тарату жылдамдығымен және оптикалық модуляция түрімен анықталады.

SPI блогындағы оптикалық модуляторда тікелей модуляция қарқындылығы жүзеге асады. Бұл модуляция түрі радиотехникадағы амплитудалық модуляцияға сәйкес. Модулятор шығысындағы оптикалық сигнал кескіні 3.9 суретте, ал оның спектрі – 3.10 суретте көрсетілген. Тік осьте электр өріс амплитудасы $A(t)$ мен спектралді тығыздығы $G(f)$ бейнеленген.

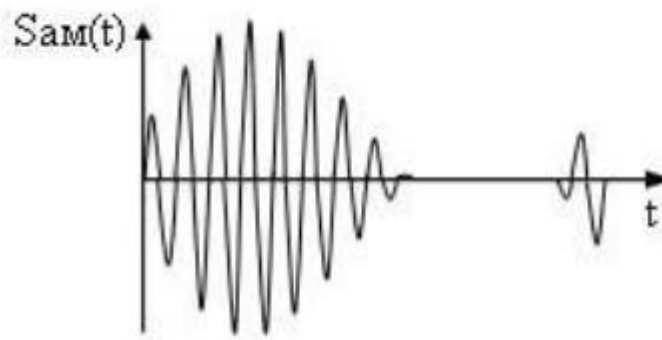
3.10 суретінде көрсетілгендей арна спектрі:

$$\Delta F_{ch} \cong 2 \cdot 2 \cdot B$$

Орталық жиіліктің ауытқуы – Δf_n , бұл ауытқу айнала жағдайының өзгеруі (температура, ылғал, қысым т.б.) сәулелендіру сұлба элементтерінің ескеруімен байланысты. G.692 ұсынысында жиіліктік ауытқуы арнаның жиілікті номиналды ажыратылуына (ЖНА) тәуелді (3.4 кесте).



Сурет 3.5 - Оптикалық сигнал спектрінің еніне қарай



Сурет 3.6 - Модулятор шығысындағы оптикалық сигнал кескіні

Кесте 3.4 - (G.692) сәйкес Δf_n нормаланған шамалар

НЧР (ЖНА), ГГц	50	100	$x \geq 200$
Максимальды шама Δf_n , ГГц	?	?	$x/5$

"?" белгісі норманың болмауын білдіреді.

Орташа берілетін қуат – P_S , дБ.

G.957 ұсынысына сәйкес – бұл жалған кездейсоқ сандық тізбектің орташаланған қуаты; әдетте оның ең жоғарғы және ең төменгі мәндері нормаланады. Олардың STM-16 үшін шамалары G. 957-те келтірілген. Әдетте S – 16.2 және L – 16.1 нұсқалары қолданылады.

Өшулік қатынасы χ . Бұл термин сәйкесінше бірлік (P_1) және нөлдік (P_0) беру кезіндегі орташа қуаттардың қатынасы деп аталады:

$$\chi = 10 \lg \frac{P_1}{P_0} \text{ дБ} \quad (3.11)$$

Мысалы, STM-16 $\chi \geq 8$ дБ.

3.8 RMN арналарының жеке кіру порттары

Бұл порттардағы параметрлер $S_1 - S_n$ нүктелеріндегімен бірдей. Мұнда орташа қуаттар аз болуы мүмкін, себебі S_n және RMN порттары арасында өшуге жол беріледі.

Анықтамалар мен терминология

Оптикалық тракт (ОР) – MPI-S және MPI-R интерфейстері арасында осы ТОВЖ – WDM сәйкес келетін тарату жылдамдығымен оптикалық сигналдарды беруді қамтамасыз ететін техникалық құралдар кешені (3.8 сурет).

ТОВЖ – WDM-де ОР келесі топологиялары мүмкін:

- «нүкте-нүкте» арналарды бөлусіз;
- «нүкте-нүкте» арнаны бөлумен;
- «сақина».

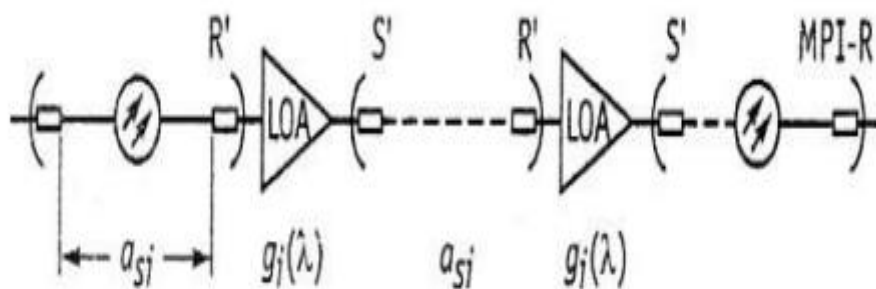
ОР сипаттамасы үшін келесі терминдер жиі қолданылады:

Пролет (span) – таратқыштың (TX) және сызықты күшейткіштің (LOA) арасындағы немесе көршілес LOA арасындағы немесе LOA мен қабылдағыш (RX) арасындағы оптикалық жолдың бөлімі.

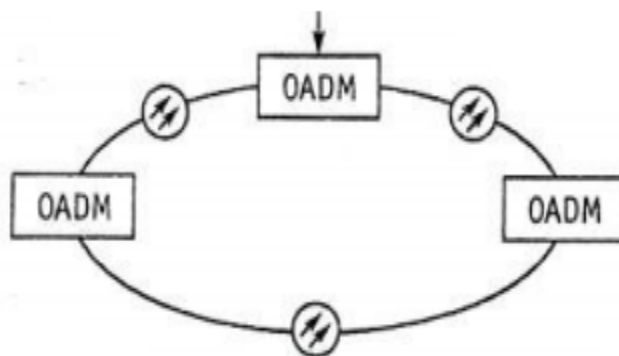
Секция – таратқыш пен сызықтық қалпына келтіргіш (РЛ) немесе оған жақын орналасқан РЛ арасындағы бөлім.

Дистанция – бұл ТОВЖ – WDM ұйымдастырылуы мүмкін ең үлкен қашықтық. Дистанция бірнеше секцияларды немесе бір немесе бірнеше пролет қамтуы мүмкін.

Негізінде, оптикалық жолда күшейткіштер болмауы мүмкін, содан кейін оның параметрлері оптикалық кабельдің параметрлерімен анықталады.



Сурет 3.7- ТОВЖ – WDM оптикалық трактінің «нүкте-нүкте» арналарды бөлусіз топологиясы



Сурет 3.8 - ТОВЖ- WDM оптикалық трактінің «сақина» топологиясы

Дегенмен, көптеген жағдайда ОР құрамында бірнеше LOA болады. Сондықтан олардың оңтайлы орналасуы туралы мәселе туындайды.

3.9 Күшейткіштерді орналастыру

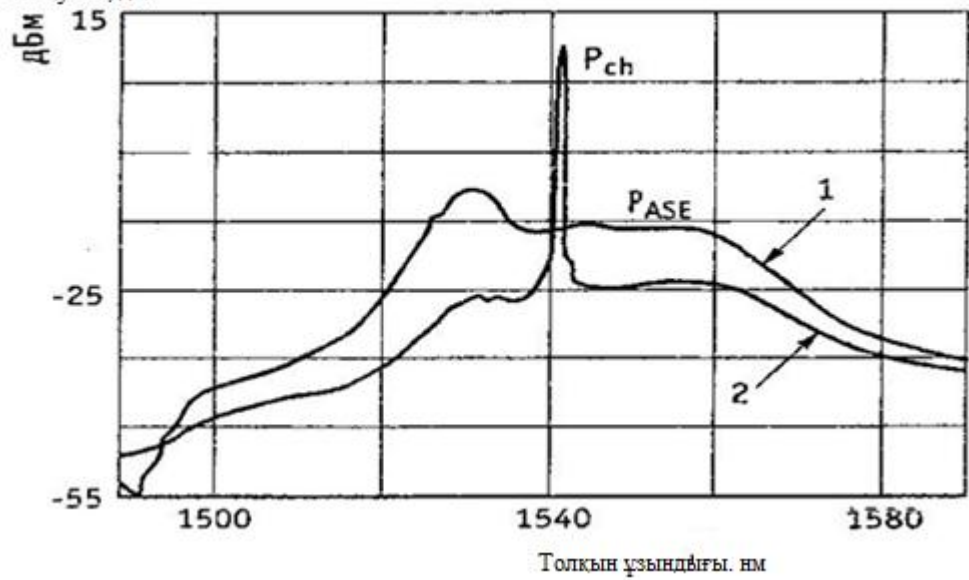
MPI-S интерфейсіндегі сигнал оптикалық сандық сигналдардың қосындысы болып табылады, олардың әрқайсысы периодпен сипатталады. Бұл сигналдарды қосу нәтижесінде аналогтық сигнал пайда болады, ол оптикалық тракт бойынша таратылып, сызықтық бұрмалауға ұшырайды – амплитудалық – жиіліктік (АЖБ) және фазалық – жиіліктік (ФЖБ).

Оптикалық трактідегі күшейткіштер MPI-R интерфейсінде оптикалық трактінің шығуында сигнал нысаны ОР (MPI-S интерфейсі) кіріс сигнал формасымен сәйкес келуі тиіс, ал MPI-R интерфейсінде сигнал/кедергі (OSNR) оптикалық қатынасы берілген нормаға сәйкес келуі тиіс.

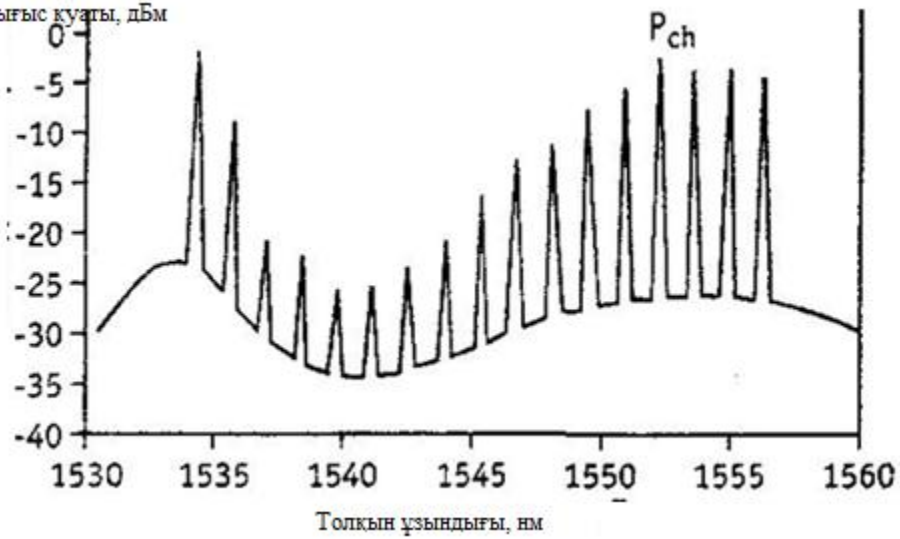
Оптикалық күшейткіштердің құрамында эрбиум (EDFA) легирленген оптикалық талшық бар екенін ескере отырып, ТОВЖ – WDM секциясында күшейткіштерді орналастыру принциптерін қарастырайық. Бұл күшейткіштің негізгі параметрлері:

- 1) P_{sat} қанығу қуаты;
- 2) максималды шығу қуаты P_{max} ;
- 3) күшейту коэффициенті G (немесе g).

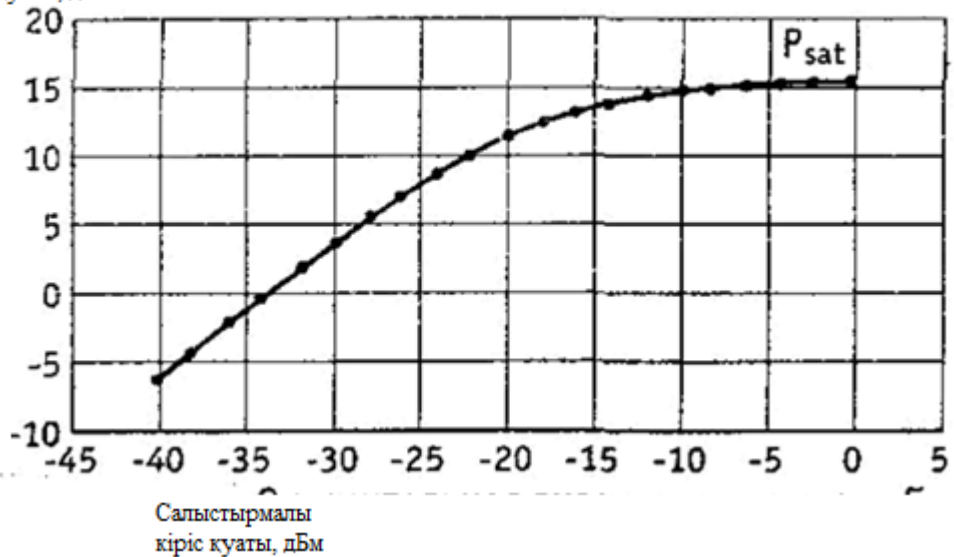
Салыстырмалы шығыс қуаты, дБм



Салыстырмалы шығыс қуаты, дБм



Салыстырмалы шығыс қуаты, дБм



Сурет 3.9 – Шығыс қуаты мен кіріс қуатын салыстыру

мұндағы, $P_{\text{СВХ}}, P_{\text{СВЫХ}}$ – сәйкесінше күшейткіштің кірісі мен шығысындағы оптикалық сигналдардың қуаты;

P_{ASE} – күшейген өздігінен сәуле шығару қуаты (amplified spontaneous emission ASE) (3.13,а – сурет);

$P_{\text{ПВХ}}, P_{\text{ПВЫХ}}$ – сәйкесінше күшейткіштің кірісі мен шығысындағы кедергі қуаты;

f_y (Гц) күшейткішпен күшейтілетін сигналдар спектрі. Әдетте бұл спектр ОТ сәйкес мөлдірлік терезесінің спектрімен сәйкес келеді.

Енді желілік күшейткіштерді (LOA) секцияға (3.17) ара қатынасы орындалатындай етіп орналастырамыз. Яғни, аралықтың өшуі LOA-ның тиісті күшейтуімен өтелетіндей. Алайда, бұл ретте мынаны ескеру қажет:

– күшейткіштің кірісінде сигнал болмаған кезде оның шығуында едәуір қуатты (ASE) өздігінен сәулелену орын алады (3.13,б – сурет, 1 – қисық);

– күшейткіштің шығуында бір арнаның сигналы пайда болғанда, ASE қуаты азаяды (3.13,б – сурет, 2 – қисық);

– күшейткіштің шығуында көпарналы сигнал пайда болғанда, спектралды сипаттаманың біркелкі еместігінен сигналдардың шығыс қуаты бірдей емес, бұл сайып келгенде арналар арасындағы өзара әсерге әкелуі мүмкін (3.13,в – сурет).

Арналардың жұмыс істеу шарттарын жақсарту үшін арналық сигналдардың қуатын теңестіру қажет. Күшейткіштің шығысындағы арна сигналдарының қуатын теңестіру тек қанықтыру режимінде, яғни P_{sat} шығыс қуатында болады. Бұл параметр барлық LOA-лар үшін бірдей болғандықтан, G күшейткіштерінің күшейту факторлары бірдей болуы керек. Бірақ сонда (3.16) барлық аралықтар a_s бірдей өшуі тиіс. Осылайша, секцияның ең оңтайлы жұмыс режимі барлық аралықтардың a_s өшуі бірдей және сызықтық күшейткіштердің күшейту коэффициенттері бірдей болған жағдайда ғана орын алады:

$$a_{s1} = a_{s2} = \dots = a_{si} = \dots = a_{sn} = g(\lambda_H \div \lambda_B) \quad (3.18)$$

$P_{\text{СВХ0}}$ күшейткішінің кірісіндегі сигнал қуаты ара қатынасы орындалатындай болуы тиіс:

$$P_{\text{СВЫХ}} \geq P_{\text{ВЫХН}} \quad (3.19)$$

Егер күшейткіштің кірісіндегі сигнал қуаты $P_{\text{СВХ}} \leq P_{\text{СВХ0}}$ болса, сигналдың Шығыс қуатында ASE шуының үлесі артады, егер $P_{\text{СВХ}} \geq P_{\text{СВХ0}}$ болса, тек ASE шуы күшейтіледі.

Осылайша, оптикалық күшейткіштерді секцияға орналастыру кезінде барлық аралықтардың өшуі бірдей және $g(\lambda_1 \div \lambda_2)$ EDFA бірдей күшейтуімен өтелетініне ұмтылу қажет.

3.10 Сигнал/кедергі қатынасын есептеу

Оптикалық сигнал/кедергі қатынасы (OSNR) бір N-арналы ТОБЖ – WDM арнасы үшін MPI-R интерфейсында бустер кірісінде ASE кедергілерін елемеуге болады деген болжаммен есептеледі. OSNR мына формула бойынша есептеледі:

$$OSNR_R \cong P_{chs} - ASE - NF - 10lgN_{yc} - 10lg(h \cdot f \cdot \Delta f_{ch}) \quad (3.20)$$

мұндағы, P_{chs} – MPI-S интерфейсында бір арнаның шығыс қуатының (дБ) деңгейі;

N_{yc} – күшейткіштер саны;

NF – EDFA шу коэффициенті;

h – Планк тұрақтысы;

f – 1,55 мкм толқын ұзындығына сәйкес келетін жиілік;

Δf_{ch} – оптикалық арна жолағы.

Δf_{ch} мәні арнадағы ақпарат бұрмаланбастан және көрші арналардың әсерінен STM-16 жылдамдығымен берілетін етіп таңдалады. НЧР = 100 ГГц жиілік жоспарында, МСЭ G.692 ұсынымына сәйкес, $\lambda_0 = 1550$ нм болатын арнада 0,1 нм диапазон болуы керек, ол $\Delta f_{ch} \approx 2,5$ ГГц диапазонына сәйкес келеді. Бұл жағдайда:

$$10lg h \cdot f \cdot \Delta f_{ch} = 10lg 6.628 \cdot 10^{-34} \cdot 193.1 \cdot 10^{12} \cdot (12.5 \cdot 10^9 / 10^{-3}) \approx -58 \text{ дБ}$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Соңғы жылдары ұялы телефонияның дамуы ұсынылатын қызметтердің экспоненциалды өсуін көрсетті. Роуминг, ақылды желілер, қысқа мультимедиялық хабарламалар және т.б. сияқты қызметтер байланыс операторларының кірісін арттырудың маңызды құрамдас бөлігі.

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, контроллердегі жүктеме максималды жүктеме деңгейіне жақындаған кезде, біздің жағдайымызда бір сағат ішінде 100500 қоңырау шалынады, коммутатор мен контроллер төмен жылдамдықта қосылған кезде CunSR 3,74% дейін төмендеді, бұл мүмкін емес. байланыс операторы. 3 қосылым опциясын қайта санағаннан кейін біз HSL 6 LSL сигнализациясының 10 қосылымы ең қолайлы деп санадық, CunSR - 2,17, бұл қосылым оператор үшін де, абонент үшін де ең жақсы болатындығын дәлелдейді.

Талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін ұйымдастыру принциптері қарастырылып, сигнал/кедергі қатынасы есептелді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 <http://www.masters.donntu.edu.ua/2010/fkita/arshinova/diss/index.htm>
- 2 Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Модернизация сетей доступа в эпоху NGN// Вестник связи.-2003.-№6.
- 3 Горнак А. xWDM в мультисервисной сети [Электронный ресурс] /
- 4 Горнак / - Режим доступа к статье: <http://www.nstel.ru/articles/xwdm/>
- 5 Шемякин Д. Сети Metro DWDM: как повысить эффективность решений / - Режим доступа к статье: <http://www.iksmedia.ru/articles/261937.html>
- 6 Планирование цифровых систем передачи [Электронный ресурс] / : <http://masters.donntu.edu.ua/2004/kita/martyschenko/library/plan.htm>
- 7 Слепов Н. Особенности современной технологии WDM / Н. Слепов / - Режим доступа к статье: <http://www.electronics.ru/issue/2004/6/19>
- 8 Гирарт А. Сравнение технологий TDM и WDM [Электронный ресурс] / А. Гирарт / - Режим доступа к статье: <http://www.teralink.ru/?do=printt&id=54>
- 9 Слепов Н. Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны [Электронный ресурс] / Н. Слепов / - Режим доступа к статье: http://www.osp.ru/nets/1999/04/144015/_p1.html
- 10 Сергеев А. И снова о WDM [Электронный ресурс] / А. Сергеев / - Режим доступа к статье: <http://www.connect.ru/article.asp?id=5075>
- 11 http://www.infinera.com/russian/files/RU-Infinera-WP-Network_Efficiency_Quotient.pdf