

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Оспанов Нұржан Жеңісжанұлы

«Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу тиімділіктерін
арттыру»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Оспанов Нұржан Жеңісжанұлы

«Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу тиімділіктерін
арттыру»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.

 Е.Таштай

« 03 » 05 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу тиімділіктерін арттыру»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:



Н.Ж.Оспанов

Пікір беруші

техн.ғыл.канд.,

АУЭС ТКС каф.меңгерушісі

 А.С.Байкенов

« 24 » 04 2019 ж.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. лекторы

 Г.М.Байкенова

« 24 » 04 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі,

техн.ғыл.канд.-ы

 Е.Таштай

«20» 01 2019 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Нұржан Оспанов Жеңісжанұлы

Тақырыбы «Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу тиімділіктерін арттыру»

Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. № 1162-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «25» сәуір 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: 1) Жезқазған қаласының АТС мәліметтері, 2)EDFA күшейткіштер тізімі 3)Регенерациялық аймақтар ұзындығы, өшулікті есептеу.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Жезқазған байланыс жолдарының қазіргі жағдайы; ә) Оптикалық кабельдер түрлерін ОКК-50-2-0,5, регенераторларды қарастыру; б)Оптикалық байланыс жолдарын, кабельдік өшулікті есептеу.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдары регенераторлар, күшейткіштер слайдтарында көрсетілген.




Ұсынылатын негізгі әдебиет 4 атау: 1 Фриман Р.Л., Волоконно-оптические системы связи. Перевод с английского под редакцией Слепова Н.Н. – М.: Техносфера, 2007. – 440 с. 2 Гроднев И.И., Мурадян А.Г., Шарафутдинов Р.М. и др. Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник. – М.: Радио и связь, 2008. – 264 с. 3 Скляр О.К., Современные волоконно-оптические системы передачи. – М.: Салон-Р, 2007. – 237 с. 4 Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В., Оптические волокна для линии связи. – М.: ЛЕСАРарт, 2009. – 288 с.

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Сандық фотоқабылдағыш құрылғы	20.01.2019 - 01.03.2019	орындалды
Талшықты-оптикалық күшейткіші бар ТОТЖ кедергілерден қорғалуын зерттеу	02.03.2019 - 02.04.2019	орындалды
Арналардың спектрлі тығыздалуымен ТОВЖ кедергіден қорғаныстығын зерттеу	01.04.2019 – 15.04.2019	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
Сандық фотоқабылдағыш құрылғы	/Г.М.Байкенова, ЭТЖҒТ каф.лекторы	24.04.19	
Талшықты-оптикалық күшейткіші бар ТОТЖ кедергілерден қорғалуын зерттеу	/Г.М.Байкенова, ЭТЖҒТ каф.лекторы	24.04.19	
Норма бақылау	PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы Тайсариева К.Н.	29.04.19	

Ғылыми жетекшісі _____



(қолы)

/Г.М.Байкенова

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____



Н.Оспанов

Күні

“ 24 ” 04

_____ 2019 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық DWDM желісі құрылғысын орнату қарастырылды. Бұл бітіру жұмысында заманауи құрылғысы таңдалды.

Дипломдық жұмыста желінің негізгі параметрлері есептелді, DWDM жобаланатын жүйесінің өткізу қабілеті, сенімділік көрсеткіштері, шудан қорғанудың шектік мәнін, регенерация бөлігінің ұзындығы мен сигнал қуаты және оптикалық кабелдегі шығындар MathCad бағдарламасымен және оптикалық күшейткіші бар ТОВЖ-нің бөгеуілге орнықтылығы есептелді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрена возможность установки волоконно-оптической DWDM-сети в Жезказгане. В этой градации выбрано современное устройство.

Разработаны основные параметры сети, рассчитаны пропускная способность DWDM, показатели надежности, предел защиты от шума, длина и мощность сигнала блока регенерации и потери оптического кабеля в программном обеспечении MathCad.

ANNOTATION

In this thesis work considered the possibility of installing a fiber-optic DWDM network in Zhezkazgan. In this graduation, a modern device is chosen.

Basic network parameters were developed, DWDM throughput, reliability indicators, noise protection limit, signal length and signal power of the regeneration unit and optical cable loss in the MathCad software were calculated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Сандық фотоқабылдағыш құрылғы	11
1.1 Сандық фотоқабылдағыш құрылғының сезімталдық межесі	16
1.2 ФҚҚ кірістік тізбегін сигнал/кедергі максималды қатынасы критерийі бойынша синтезі	19
1.3 Жоғары жылдамдықты тарату жүйелері үшін фото қабылдағыш құрылғыларды зерттеу	22
1.4 Мәселенің қойылымы	23
2 Талшықты-оптикалық күшейткіші бар ТОТЖ кедергілерден қорғалуын зерттеу	25
2.1 Талшықты-оптикалық күшейткіштер	25
2.2 Сызықты жолға ТОК қосу	26
2.3 Оптикалық қабылдағыш құрылғының (ОҚҚ) сезгіштік шегін анықтау	27
2.4 Дисперсияның түрлері	32
2.5 DWDM жүйесі және оның компоненттері	40
3 Арналардың спектрлі тығыздалуымен ТОБЖ кедергіден қорғаныстығын зерттеу	46
3.1 ТОБЖ кедергіге қорғаныстығын жоғарылататын оптикалық құрылғыларды дайындау	46
3.2 Бірмодты оптикалық талшықтарда ЭМТ таралуы	47
3.3 Фабри – Пероның өтпелі резонаторының негізіндегі оптикалық сүзгілер	47
Қорытынды	54
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	55

КІРІСПЕ

Заманауи талшықтық-оптикалық беру жүйесі (ТОБЖ) өзінің әр түрлілігімен сипатталады. ТОБЖ тасымалдау желісінде және қолжетімділік желілерде пайдаланады; соңғы кезде ТОБЖ жергілікті желіде де қолданысқа ие – ол FDDI (FiberDistributedDataInterface) технологияларын пайдаланатын желі, оның тарату жылдамдығы, яғни $V=100$ Мбит/с-ке тең болатын байланысты ұйымдастыру үшін мүмкіндік жасайды және синхронды цифрлық иерархиясының (SDH) беру жүйелерінің (ТЖ) стандартты цифрлық ағындарының жылдамдықтарына ие АТМ ұяшығының коммутацияларын қолданушы АТМ (AsynchronousTransferMode) технология. SDH ТОБЖ бірге плезиохронды ТЖ (PDH) қолданылады. Тарату жүйелеріне қойылған талаптар олардың желісінің қандай бөлігінде пайдаланатынына, желіні құрудың қандай технологиялары қолданылатынына байланысты болады сонымен қатар жеткілікті дәрежеде әр түрлі болады. Оның ішіндегі ең универсал және негізгісі түрінде қондырғыны пайдалану тиімділіктерін арттыру қарастырылады, сондайақ соған байланысты байланыс арналарының құнының азаюы сипатталады.

Талшықтық-оптикалық байланыстың маңызды беталысы түрінде таратылатын ақпараттың өзгермей артуы қарастырылады. Осылай, мысалы ТҚТС 1996 ж. қалалық АТС қатарын біріктіретін STM-4 (жылдамдығы 622 Мбит/с) қолдану арқылы синхрондық сақина құрылады. 1998 ж. желінің кеңеюі мен тарату жылдамдықтырының 2.5 Гбит/с дейін жоғарылауы жоспарланады. Таратылатын мәліметтің көлемін арттыруға бірнеше баламалы ТЖ немесе жіберудің жоғары жылдамдығына ие болатын ТЖ пайдалануға болады. Жоғарғы жылдамдыққа ие болатын ТЖ қолдану қондырғысының және оптикалы талшықтардың қолдану тиімділігін көбейтуге және байланыс арналарының құнын азайтуға мүмкіндік береді.

Қазіргі кезде ең жоғары тарату жылдамдығы 10 Гбит/с - STM - 64 ТЖ іске асырылған. Бұл жіберу жылдамдығы көрініс бойынша электронды сұлбалардың жылдам әрекеттінің шекті мәніне сай келеді. Құрастырушылардың маңызды күші электронды-оптикалық құрылғылардың және электронды құрылғының орнын басатын толық оптикалық құрылғылар зерттелуі және дайындалуына бағытталды. Бірінші кезекте осы сызықтық генератор, мультиплексор мен демультимплексорға қатысты болып есептелінеді.

Компьютерлі модельдеу негізінде фото қабылдағыш құрылғының математикалық моделі қалыптастырылды. Бағдарлама сигналдардың сызықтық оптикалы жолы және ФКҚ құрылғысы арқылы өтуіне мүмкіндік жасайды. Фурье талдауы негізінде ФКҚ шығысындағы сигналдардың спектрлік және импульсті сипаттамалары алынған. Лекті көбейту (M) оңтайлы коэффициенттерінің, (ЛФД үшін) шуыл артуы негізінде рұқсат жасалған кері байланыстың кедергісі (R_{oc}), әр түрлі бастапқы шарттағы ФКҚ сезімталдық межесінің есептеуі жүргізілді: жіберу жылдамдығы, ОТ хроматикалы дисперсия, фотодиодтың түрі, кіріс каскадтың транзисторлары, сүзгінің түрі [1].

Сигнал/бөгеуіл максималдық қатынастың критеріі бойынша синтездеудің негізінде келістіруші фотодиод сонымен қатар асқын күшейткіш құрылғысының қағидалық сұлбасы алынды.

Дипломдық жұмыстың нәтижелері негізінде оқу үрдісі негізінде пайдаланылған екі компьютерлі зертханалық жұмыс пен курстық жобалауда пайдаланған Турбо Паскаль тілінде ФКҚ сезімталдық межесін есептеу арқылы бағдарламалар құрылған.

Дипломның бірінші бөлімінде ФКҚ шуыл көздері зерттелді, $p-1-p$ бар ФД мен ЛФД ФКҚ сезімталдық межесіне талдамалық сипаттамалары табылды, лекті көбеюдің ең тиімді коэффициенті табылған болатын, «жоғарылатылған косинус» түрінің фильтрлік жағдайына Персоника интегралы мен Баттерворт бойынша аппроксимациясы бар ЖЖФ саналды, сезімталдық межесінің өлшемі минималды болатын жағдай қарастырылды. 1.2 бөлімінде сигнал/бөгеуіл максималды қатынасының критеріі бойынша синтездеудің нәтижесінде, ФД мен ҚҚ арасындағы келісімдерін жақсарту буыны іске асырылды. Күшейткіштің кірісіне келтірілген сигнал/бөгеуіл қатынасының келісілген индуктивтілігін қосқанда, күшеюдің кірістік каскады транзисторы түріне байланысты 3-5 дБ жақсарды.

Екінші бөлімде ТОҚ ұстап тұратын ТОВЖ бөшеуілден қорғалғандығы зерттелінді. ТОҚ қосылу схемасының ФКҚ сезімталдық межесінің сызықтық жолына әсер етуі қарастырылды. 2.1 тарауда күшейтілген спонтанды эмиссиямен байланысты ТОҚ шуылы қарастырылады.

Үшінші бөлім арнадарының спектрлік тығыздалуы бар ТОВЖ кедергіден қорғалуын зерттеу үшін және кедергіден қорғауды жоғарылатуға мүмкіндік жасайтын оптикалық құрылғыларды даярлуға арналған. 3.3 және 3.4 бөлімдерде жарық ағындарды бөлген кезіндегі Фабри-Перо мен Мах-Цендер фильтрлерінің негізінде демультимплексорда туындайтын бөгеуілдер зерттелді. 2 сұлба үшін де фильтр шығысында сигнал/шуыл (S/N) қатынасы мен арна аралық кедергілердің

әсерінен сезімтал межесінде (P) айрығы табылған болатын. ФҚ сүзгісіне оптикалық ілесуші көрші арналар арасындағы жұмыстан шығудан S/N мен P қатынастары тәуелділігі сонымен қатар МЦ сүзгісіне сигналдар спектрінің еніне қатысты S/N мен P қатынасының тәуелділігі зерттелінді.

Қарастырылатын МЦ фильтрінің негізінде ТОҚ күшейту спектрін деңгейлеуші оптикалы түзеткіштердің (ОТ) қағидалық схемасы ұсынылған.

Дипломдық жұмыстағы жүргізілген есептеулер ЭЕМ Turbo Pascal бағдарламалаудың тілі мен Mathcad6.0 Plus пен Mathcad 5.0 Plus математикалы дестелерінің қолданбалы бағдарламасының көмегімен іске асты. Анықталған интегралды есептеу Ромберг интегралдаудың сандық алгоритмін қолданатын Mathcad ортасында жүргізді.

1 Цифрлық фотоқабылдағыш құрылғы

Уақыт бойынша тығыздау болғанда тарату жылдамдығының жоғарылауы оптикалық импульстарының ұзақтықтарының азаюы салдарынан іске асырылады, WDM болғанда әртүрлі толқын ұзындықтарына бөлінген оптикалы ілесушілерді қолдану есебінен жүргізілді. TDM технологияларының потенциалдық мүмкіндігі WDM қарағанда жоғары болып келеді; көп жағдайда TDM кезінде телефондық арнаға кететін жабдықтар құны WDM қарағанда шамамен жартысындай аз болады. Бірақ, WDM технологиялары дәлірек зерттелген деп есептеледі. Каналдардың уақыт бойынша және спектрлік тығыздалуының бірігуі қазірдің өзінде жіберу жылдамдығының мыңдаған Гбит/с тең мәнді алуға мүмкіндік жасайды. Тікелей детектрлеуге ие болатын жоғары жылдамдықты жіберу жүйелерінің маңызды құрылғыларын, оларға қойылатын талапты және сигналды тарату мен өңдеуіне байланысты маңызды мәселелерді қарастырамыз [2].

Модуляция.

Қарқындылықтың тура модуляциясы болғанда, ҚТС сызықтық жиілікті модуляция (СЖМ) болады, белгісі бойынша оптикалы талшықты СЖМ сай келеді, ол оптикалы талшықтың (ОТ) хроматикалы дисперсиясының жылдам артуына алып келді, сол себепті көптеген кезде сыртқы модуляция қолданылады,

онда СЖМ туындамайды, не СЖМ белгісімен ОТ қарама-қарсы болып есептелінеді, ол ең қолайлы жұмыстың режимі болып есептелінеді. Сәулеленудің көзі ретінде жіңішке спектрлі желісіне, сәулелену жоғарғы қуатына сонымен қатар бір толқын ұзындығында бірмоданың тұрақты генерациясына иеленетін бір модальық сәулеленудің көздері қолданылады. Спектрлік тығыздауы бар ТЖ сәулеленуі жиілігінің флуктуациясы, сәулеленудің модалары секіруі спектрлі желінің тек кеңеюіне ғана емес, сонымен қатар, арналар арасындағы тоғыспалы бөгеуілдерге де алып келеді, сол себепті ТЖ сәулелену көзіне спектрлік тығыздауы бар ТЖ қарағанда анағұрлым күрделі талап қойылады. Сыртқы модуляциялау үшін көбінесе электрлік оптикалық модулятор (ЭОМ), беттік акустикалы толқындардағы модулятор (БАТ) және т.б. пайдаланады.

Таратудың ортасы.

Мәліметтерді тарату үшін бірмодальы ОТ (БОТ) қолданылады. Айқындық терезеде 1,55 мкм ОТ ең минималды шығынға (0,15-0,25 дБ/км) және меншікті хроматикалы дисперсияға 17-18 пс/нм*км ие болды. 1,3 мкм толқынның ұзындығында шығындар мәні 0.3 - 0.5 дБ/км, ал дисперсияның 1-3 пс/нм*км мәнін құрды. 10 Гбит/с жіберу жылдамдығы кезінде ВЦ байланыстың бөлігінің ұзындығына жіберу жылдамдығын шектеуші маңызды фактор ретінде ОТ тоқтатуы қарастырылады, сондықтан ұсынылатын толқынның ұзындығының шамасы 1.55 мкм-ге тең болады. Бірақ, тарату жылдамдығы көбейген сайын, рұқсат етілген дисперсияларға қойылатын талаптар қатты болып саналады. Сонымен бірге, таратудың жоғары жылдамдықтарында ақпараттық сигналдың спектрінің ені тек ҚТС спектрлік желілерінің енімен ғана емес, сонымен қатар, модульдеуші сигналдың спектрінің енімен де анықталуы мүмкін, мысаға, 10 Гбит/с жіберу жылдамдығына $\Delta\lambda = 0.08$ нм спектрдің ені сай келеді. ҚТС спектрінің ені сигналдың спектр енінен 2-3 есе кем болса, онда қосынды спектрін толықтай ақпараттық сигналдардың енімен анықталады. Бұл деп отырғанымыз дисперсияның өзі В артуымен көбейетін болады дегенді білдіреді. В мөлшері 10 Гбит/с тең болғанда, байланыстар аумағының ұзындығы ОТ тоқтатылуымен емес, оның дисперсиясы арқылы анықталады.

БОТ дисперсиясының өтелуі айқындық терезеде 1,55 мкм тең болып есептелінеді. Кейінгі кездері ОТ дисперсиясын өтеуші құрылғылардың қатары ұсынылды. Олардың арасында көп қолданысқа келесі құрылғылар ие: - оң дисперсияға ие оптикалы талшықтар, кері дисперсияға ие болатын қарапайым ОТ кезектеседі; оның негізгі кемшілігі енгізілетін тоқтау үлкен шамадағы

мөлшері (мұндай ОТ қосылуы байланыстың аумағындағы жалпы тоқтауды 30 - 50 % арттырады);

- араласқан және теңестірілген дисперсиясы бар оптикалық талшық 1.55 мкм ұзындықта нөлдік дисперсияның аумағына ие (< 2.5 пс/нм*км) сонымен бірге 1.36 және 1.65 мкм толқынның ұзындығы аралығында бір текті төменгі дисперсияны (3-5 пс/нм*км) иеленеді; мұндай талшықтарда W –тәріздес және үшбұрышты сыну көрсеткішінің бейнесі қолданылады, негізгі кемшілігі жоғарғы құндылығы мен тегіс дисперсиялы талшықтарға енгізілетін үлкен шығын (1,53мкм толқынның ұзындығында 0,42 дБ).

- дисперсияның өтемеуіштері сызықты өзгертін периодты брэггтық дифракциондық торлар ДТ (ChirpedGrating). Құрылғының негізгі кемшілігі түрінде әртүрлі толқынның ұзындықтарында бірден бірнеше сигналдың дисперсиясының өтелу қиындылығы қарастырылды, және бұл қиындықтар жоғарыда аталған барлық құрылғы үшін туындайды, тек теңестірілген дисперсиясы бар ОТ тізімде жоқ.

Эрбийлік талшықты-оптикалы күшейткіштер

80-ші жылдардың соңында 1,55 мкм толқынның ұзындығындағы оптикалық талшықта шығындардың өтемеделуіне эрбийлік талшықтықоптикалық күшейткіш (ErbiumFiberDopedAmplifier) дайындалды, олар кезекті электрондық-оптикалық және оптоэлектрондық түрлендіру арқылы сәтті бәсекелесетін және регенераторды ысырып шығарады. Көпарналық сигналдарды күшейтуге ТОҚ қолдану WDM бар ТОВЖ экономикалық тиімділігін жылдам арттырды. ТОҚ жергілікті желіде пайдалану сигналдың көп ретті тармақтануы кезінде шығынның өтемеделуін және бұл тармақталудың санын арттыруға мүмкіндік жасады. ТОҚ қосылуының 3 сұлбасы қолданысқа иеленді: таратуға қуатты күшейткіштер, асқын күшейткіштер, сызықты күшейткіштер. Бірінші сұлбаның кемшілігі түрінде төменгі рұқсат етілетін G күшейту коэффициенті, ($G_{\text{прер}}$ жүргізілу әдетте, ОТ сызықтық еместігінің көп қуаты кезінде туатын 5-15 мВт шамасымен шектелді), екінші сұлбада G шамасы қанығу қуаты мәнімен шектелген, алайда спонтандық эмиссия әсерінен туындаған шуылдап фотоқабылдағыш құрылғысының (ФҚҚ) кірісіндегі сигнал/бөгеуіл қатынасын нашарлатады. Сызықтық күшейткішті сұлба сигнал/бөгеуіл қатынасынан қарастырғанда ең тиімді болып есептелінеді, күшею коэффициентінің мәні айтарлықтай жоғары болып таңдалуы мүмкін (2040 дБ арасында), ал шуылдар күшейтілген спонтандық эмиссия әсерінен желімен әлсіздендірген ФҚҚ кірісіне түседі.

ТОҚ күшейту спектрлерін теңестіру

Күшеюдің спектрін түзету тәсілдерін екі топқа бөле аламыз: 1,532 мкм жуық мәндегі сигналды әлсірететін әртүрлі оптикалық фильтрлерді қолдану мен эрбийлік күшейткіштің өзінде күшейткіштерді басқару. Оптикалы фильтрлердің ішінде ең көп қолданыстағы түрі брэггтық дифракциондық тордың ДР негізіндегі фильтрлер және ұзақ периодтық торлар негізіндегі фильтрлер болып табылады. Сыну көрсеткіші ДТ «фотосезімтал» ОТ ультра күлгін лазермен қосынды германийлі өзекшеде «жазылып» құрылды және Брэгг шартына бағынатын толқын ұзындықтарында сигналды былай сипаттайды: $A_s = 2\pi L$, мұнда π – жіберілетін моданың оңтайлы сыну көрсеткіші мен L – тор периоды, тарату спектрінде бұл кемуге сәйкес келеді. Ұзақ периодты торлар маңызды қабықшалық моданың және моданың өзекшесінің бірінің резонансты өзара әрекеттесуін қолданады, олар келесі шарттарда туындайды: $D - D, 2L/L$, мұнда D және D , қабықша мен өзекше модаларының таралуының тұрақтылары. Осы шарттарды орындау кезінде негізгі моданың сәулеленуі бір бөлігі қабықты моданың сәулеленуіне түрлендіреді және талшықтардан шығады. Ұзақ периодты торлар брэггтық ДТ қарағанда үлкен периодқа иеленеді, яғни анағұрлым қолайлы, дайындалуы бойынша қарапайым сонымен қатар шағылысатын сигналдарды құрмайды.

Құрылғының екінші тобы кіріс сигналы мен айдаудың деңгейінен күшеюдің тәуелділігін қолданады не ОТ өзекшелерінің әр түрлі құрамы бар гибриді ТОҚ қолданады.

1,3 мкм толқынның ұзындығына арналған оптикалы күшейткіштер.

Ең кең қолданыстағы 1,3 мкм аралығы болады, ол 2-қатардың нөлдік хроматикалы дисперсиялық аймағымен сәйкес болады – 1-3 пс/нм*км. 1,3 мкм толқынның ұзындығын қолданудың артықшылықтары дәл осы толқынның ұзындығындағы эрбийлік ТОҚ кем болмайтын оптикалық күшейткішті қолдануға байланысты болады. Празеодим шыныда орындалған күшейткіштер келесі кемшіліктерге ие болады: оның айдауы үшін қаттыденелік лазер керек етіледі (айдау қуаты 30 дБ күшейту коэффициентіне 500-1000 мВт болуы керек), празеодимді талшықтар анағұрлым әлсіз және қосынды эрбийлік ОТ қарағанда химиялық тұрақтылығы төмен, келесі бір кемшілігі кварцты ОТ мен празеодимді шынының өзекше диаметрінің әр түрлілігі және сандық апертура түйісуінің күрделілігін қарауға болады. [12]-де 1,3 мкм толқынның ұзындығында жұмыс жасайтын Рамандық сейілу құбылысы негізінде таратылған күшейткіштер ұсынылды; 350 мВт қуаты кезінде күшейту коэффициенті 30 дБ құрады [3].

Оптикалық демультимплексор. WDM зерттеу кезіндегі ең көп қызығушылықты толықтай оптикалы демультимплексорлар (ДМ) тудырды. Оның зерттеуі мен дайындау пайдалануындағы маңызды жетістік – интегралдық және талшықтық-оптикалық сұлбаларды қолдану, көлемдік компонентті және ауаны таралатын ортасы ретінде ескермеу. Байланыстар желісінің құрылуына орай демультимплексорларға қойылатын талаптар әр түрлі болуы мүмкін. Нүкте-нүкте байланыстарын ұйымдастыру сұлбасы кезінде ДМ арналарды бөлуі керек, өте күрделі сұлба кезінде бір уақыттағы бөлу мен арналардың оптикалық нұсқада бөлуі талап етіледі, осындай ДМ кіріс/шығыс электрондық демультимплексорларына баламалы болады. ДМ зерттеу кезінде негізгі назар байланыстың сапасын нашарлататын арна аралық бөгеуіл деңгейінің кемуіне бөлінеді. ДМ негізгі элементі ретінде бағытталған тармақталу (БТ) және оптикалық сүзгі қарастырылады. Оптикалы сүзгілер Фабри-Перо резонаторлары және Мах-Цендер интерферометрлерінің «классикалық» құрылымы негізінде әзірленуі мүмкін. Оптикалық фильтрлердің жаңа классы ретінде құрылғының ұзындығы бойынша байланыстың коэффициентінің тәуелділігі бар толқынның арнасы мен Брэггтық ДТ негізінде сүзгінің құрылымдары қарастырылды, олар байланыс аймағының бір толқынның арнасында қалыптастырылды. Құрылғы кіріс/шығыс мультиплексорының функциясын іске асырады. Құрылымның негізгі кемшілігі интерференцияланған болып табылмауы және иіннің нақты дәлдігін талап етпеуі.

Талшықты-оптикалық тарату жүйесін қолдану (ТОБЖ) соңғы кездері таратылатын ақпарат көлемінің бірден артуына мүмкіндік тудырады. Қазіргі таңда таратудың ең максималды жылдамдығы 10 Гбит/с дейін 8ТМ-64 ТЖ жүзеге асырылады. Ақпараттарды тарату жылдамдығының ары қарайға жоғарылауы сигналды өңдеу жүйесінің электрондық сұлбаларының тез әрекеттілігімен шектелді.

Құрастырушының негізгі күші электрондық құрылғылардың және электрондық-оптикалық құрылғылардың орнын басатын толық оптикалық құрылғылардың зерттелуі және дайындалуына бағытталды. Бірінші кезекте осы сызықтық генераторлар және мультиплексорлар, демультимплексорларға қатысты болып есептелінеді.

Жіберу жүйесінің тиімділігін анықтайтын негізгі параметрдің бірі ретінде оның бөгеуілден қорғалғандығы болады. ТЖ бөгеуілден қорғалғандығын фотоқабылдағыш құрылғысының (ФҚК) сезімталдық межесі арқылы бағалайды. Сезімталдықтың межесі (ФҚК) – қабылдаудағы ең аз орташа қуат мәні, сол кезде

жиіліктердің берілген аймағында сигнал/бөгеуіл берілген қатынасы сақталады. Сезімталдықтың межесін азайту байланыс аймағының ұзындығын жоғарылатуға мүмкіндік береді немесе ақпараттың таратылу жылдамдығын жоғарылатады және соңғы нәтижеде ТЖ қондырғыларының қолдану тиімділігін жоғарылатады.

Жоғарғы жылдамдықты ТОТЖ қолдану ақпараттарды өңдеудің жаңа құрылғыларын құруды талап етеді. Көптеген проблемалар әлі де шешімін таппаған не олардың шешімі тиімді емес. Олардың негізгісі төменде келтірілген.

1) Жіберу жылдамдығы 10 Гбит/с және де одан көп болған кезде ФҚҚ электронды сұлбасын таратылған параметр тізбегі ретінде қарастыру керек. Сондықтан ФҚҚ жобалауға, ФҚҚ шуылын есептеуге және сезімталдық межесінің кемуіне арналған жаңа тәсілдеме қажет.

2) Талшықты-оптикалық күшейткішті (ТОК) қолдану оптикалық талшықтағы (ОТ) шығындардың өтемделуіне сонымен қатар байланыстың ұзақтығын жоғарылатуға мүмкіндік берді. Алайда ТОК қолдану кезінде күшейтілген спонтандық эмиссиясымен (КСЭ) байланыстырылған шуыл туындайды, ол ТЖ кедергіден қорғалуына әсерін тигізеді. КСЭ шуыл шамасын бағалау керек және бұл шуыл минималды мәнде болатын шарттарды табу қажет.

ТОК күшейтудің бірқалыпты емес спектрлі сипаттамасымен сипатталады. Егер де арналардың спектрлік тығыздалуы бар ТЖ көптеген оптикалық күшейткіштер пайдаланса, онда күшейту сипаттамасын теңестіруші құрылғы керек.

3) 10 Гбит/с және одан көп тарату жылдамдығында байланыс аймағының (BL) ұзындығына жіберу жылдамдығын шектеуші маңызды фактор ретінде ОТ кемуі емес, оның дисперсиясы қарастырылды. Дисперсия белгі аралық бөгеуілге алып келеді. Байланыс аймағының ұзындығының артуына немесе тарату жылдамдығы артуына ОТ дисперсиясын өтемдеуші құрылғылары қажет.

4) Спектрлік тығыздалуы бар ТЖ арналардың біріктірілуі және бөлінулері үшін оптикалық мультиплексор/демультиплексор пайдаланылады, олардың негізгі элементі оптикалық фильтрлер. Негізгі мәселелердің бірі ретінде арналар арасындағы түйіспелік ауытқуларды кемуіне мүмкіндік беретін сүзгілердің іске асырылуы қарастырылады.

Негізгі мақсаты – ТОБЖ бөгеуілден қорғалуының арту тәсілдерін дайындау және зерттеу, оптикалық қабылдағыш құрылғысының сезімталдық параметрін зерттеу, ФҚҚ сезімталдығын әлсірететін факторларды зерттеу мен сигнал/бөгеуіл максималдық қатынасының критеріі бойынша жеке құрылғыны

синтездеу және оңтайландыру тәсілдері бойынша ТОТЖ бөгеуілден қорғалуын арттыру.

Сигнал/бөгеуіл максималдық қатынасының критеріі бойынша берілген жиілікті сипаттамаға ФҚҚ кіріс тізбегі синтезделген. Фотодиодтар (ФД) мен алдын ала күшейткіштің (АК) арасындағы сәйкестікті жақсартуға келістіруші төртұштықты қосу ұсынылды. Нәтижесінде күшейткіш кірісіне келтірілген сигнал/бөгеуіл қатынасы келістіруші төртұштығы жоқ сұлбаға қарағанда 3-5 дБн артты.

ТОҚ 3 қосылу сұлбасы үшін толқындық оптикалық күшейткіші бар (ТОК) ТОБЖ үшін сезімталдықты есептеу ұсынылды. ТОК асқын күшейткіштер ретінде қосқанда тар аумақты оптикалық фильтрді пайдалану қажеттілігі көрсетілді, фильтрдің спектрлік сипаттамаларына қойылатын талаптар қарастырылады, бөгеуілден қорғалуды нашарлататын фактор зерттелді және сезімталдықты төмендету әдістері ұсынылды.

Байланыстырылған толқынның арналасы негізінде оптикалық фильтрлердің синтезделуіне жаңа тәсілдер ұсынылды. Бүйір жақ желектерінің деңгейлерін азайту үшін, байланыстың коэффициентінің бойлық координатасына тәуелділігі ұсынылады. Оптикалық сүзгілерді синтездеудің нәтижесінде байланыстырылған толқынның арналары негізінде $k(z)$ байланыстың коэффициентін берілген тәуелділіктер бойынша бүйір жақтың желектеріне байланысты етіп 10 дБм (-10 -20 дБм дейінгі аралықта) төмендетуге мүмкіндік туды, бұл жағдай осындай фильтрлердің каналдарының спектрлік тығыздауы бар ТЖ пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, берілген $k(z)$ іске асыруға мүмкіндік беретін толқынның арналарының физикалық бөлінуі функциясы табылды. Баламалы нәтижелер Брэгттық дифракциялық тор (ДТ) негізіндегі ОТ өзекшесінде қалыптасқан оптикалық фильтрлер үшін алынды.

МЦ қарастырылатын фильтрі негізінде ТОК күшейту спектрін тегістеуші оптикалы түзеткіштің (ОТ) принциптік сұлбасы ұсынылды. Бұл сұлбаның ерекшелігі қолданбалы кернеу өзгерісі кезінде түзеткішті тарату сипаттамасын өзгертуіне мүмкіндік жасайды. ТОК күшейтудің бірқалыпты емес болуы ОТ қосылғаннан соң 1,53-1,56 мкм аралықта 1-2 дБ мәнінен аспады.

5 1,55 мкм толқындар ұзындығында БОТ дисперсияның өтемделуіне ОТ өзекшесінде қалыптасқан, сызықты өзгеретін периодқа иеленеді, Брэгттық дифракциялық тор негізінде дисперсия өтемдеуші құрылғыны қолдану ұсынылды. Құрылғының параметрі есептелген: жіберу аймағы, құрылатын

дисперсияның шамасы, құрылғының ұзындығы бойынша ДТ периодтың өзгеру функциясы және құрылғыны қосудың сұлбалары дайындалды [4].

1.1 Сандық фотоқабылдағыш құрылғысының сезімталдық межесі

Фотоқабылдағыш құрылғысының (ФҚК) сезімталдығын талдағанда, Smith R.G., Personick S.D., әдістері пайдаланылады, онда шуылдың жіберілуі гаусстық болып саналады. Ақпараттың жіберілуі кезіндегі қателіктердің ықтималдылығы сигналдардың "0" таратылуы кезіндегі "1" мәннің болуымен (не керісінше) анықталады:

$$\rho_{\text{ош}} = 1 - F(Q)$$

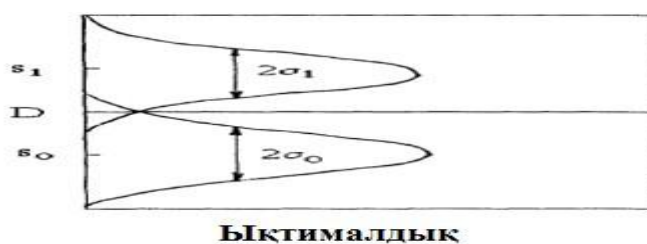
мұнда

$$F(Q) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^Q \exp(-x^2/x) dx \quad (1.1)$$

$$Q = (D - s_0)/\sigma_0 = -(D - s_1)/\sigma_1 \quad (1.2)$$

мұнда s_0, s_1 - "0" мен "1" таратылуы болғанда сәйкесінше күтілетін сигналдардың шамасы және σ - орташа квадраттық ауытқу;

D – межелік деңгей (1.1-сурет).



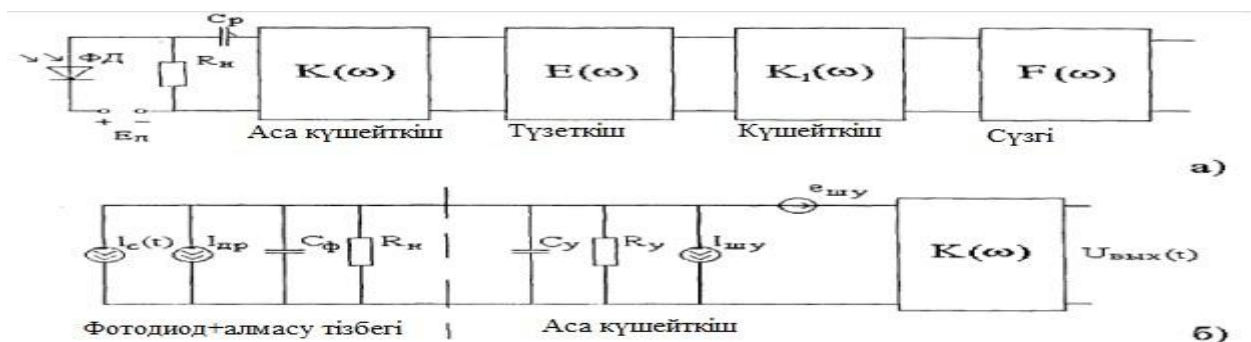
Сурет 1.1 - Екі деңгейлі цифрлық сигналға арналған ықтималдықтарды тарататын тығыздық функциясы

Ықтималдық тарауының тоқтататын «шықпларының» боялған аймағы жалған сигналдардың қабылдау аймағына сәйкес келеді.

$\rho_{\text{ош}}$ шамасы нақты жіберу жүйесі қанағаттандыра алатын талаптарға сай болады, әдетте $10^{-7} - 10^{-12}$ аралығында болады. Есептеу үшін $\rho_{\text{ош}} = 10^{-9}$ ($Q=6$) өлшемін пайдаланамыз.

p-i-p бар фотодиодтық ФҚК шуылының тогы

Осы бөлімде алдын ала күшейткіштердегі (АК) шуылдың көздерін зерттейміз. Кіріс каскад ретінде өрістік немесе униполярлы транзистордағы (ӨТ), биполярлы транзистордағы (БТ) күшейткіштерді пайдаланылуы мүмкін немесе электрондардың жоғарғы қозғалыстағы (ЭЖК) транзистордағы күшейткіш қолданылады. Кейде кіріс каскадта бірнеше параллель етіп қосылған транзисторларды қолданады. Осы БТ жағдайында – базаның жіберілген кедергісін азайтуға мүмкіндік жасайды, ал өрістік транзистор жағдайында – сипаттаманың құламалығын арттыруға мүмкіндік тудырады. ӨТ үшін АК қосылудың екі сұлбасы қолданылады: жоғары омды кіріс (интегралдаушы күшейткіш) сонымен қатар кері байланыстың сұлбасы (трансимпедансты күшейткіштер). Интегралдаушы күшейткішті ФҚК шуылын табамыз (1.2-сурет):



а – қабылдаушы модульдің блок-сұлбасы; б – баламалық сұлбасы

Сурет 1.2 - Күшейткіштің кірістік тізбегі

1.2-суреттен қабылдағыштық модульдің блок-сұлбасын көреміз. Күшейткіш жеке асқын күшейткіш және жиілікті түзеткіштік каскадтан (түзеткіш) тұрады. Түзету таралатын оптикалы модуль, оптикалық талшықтар, фотодиодтар және асқын күшейткіштер арқылы бұрмаланатын кіріс импульс түрін қайта қалпына келтіруге керек болып табылады.

Өрістік транзистордың шуылы

Бекітпе жылыстау тогы бытыралы шуылы:

$$i_{\text{шy}}^2 = 2 e I_{\text{УТ}} I_{\text{n}_2} B, \quad (1.3)$$

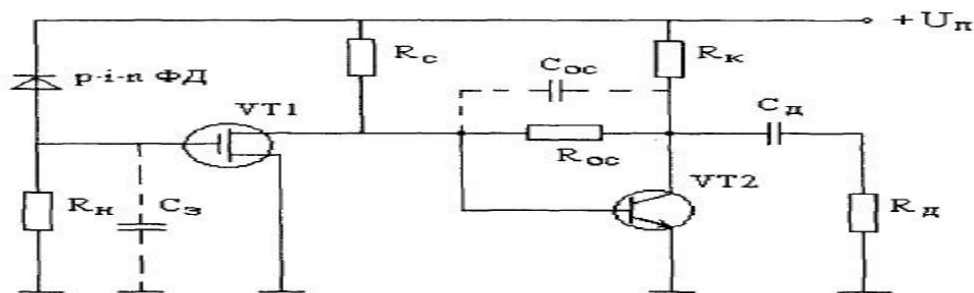
мұндағы I_{UT} – ΘT бекітпесінің жылыстау тоғы.

Кезекті күшейткіш әсерін келесідей сипатта ескеруге болады: екінші күшейту каскадының ЭҚК gR^{\wedge} кернеу бойынша асқын күшейткішінің күшейту коэффициентіне бөледі, одан кейін шуылдық тоқты табады сонымен қатар оны асқын күшейткіштің шуыл тоғына қосады, K^{\wedge} . – асқын күшейткішінің өрістік транзистордағы ағу тізбектеріндегі кедергісі, екінші реттік каскад шуылы аса жоғары емес және оларды ескермей қоюға болады. ФҚҚ сезімталдығын P тендеуі арқылы белгілі ортақ шуыдарл кезінде анықтауға болады.

Күшейткіштердің басқа анағұрлым көп таралған түрі ретінде трансимпеданстық күшейткішті (ТИК) қарастырамыз, оның сезімталдығы төмен, бірақ үлкен динамикалық аралықтарға ие. ТИК шуылдық тоғын жоғарыда көрсетілген тәсіл бойынша есептей аламыз және өрнектеріндегі кедергіге алмасулар болғанда орындалады. ТИК жиілікті сипаттамасы уақыттың тұрақтысымен шектелген, осы уақытта $K_{дСд}$ уақыт тұрақтысы жоғарғы омдық күшейткіштің аумағын шектейді.

Сезімталдық межесін есептеудің мысалы

Қабылдағыштық модульдің сұлбасы үшін сезімталдық межесін 1.3-суретте анықтаймыз.



VT1 -GaAs Шотки тосқауыл бар ΘT ; R_{oc} – параллель ООС кедергі; $C_{д} R_{д}$ – кіріс тізбегінің сигнал интегралдауды өтемдеуші дифференциалды буын
Сурет 1.3 - PIN - GaAs-MESFET қабылдағыштық модульдің қағидалық сұлбасы

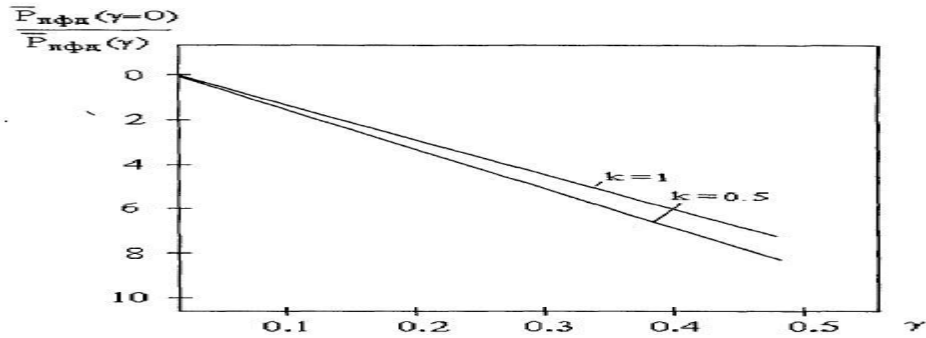
Токтық шуыл базаның тоғының бөлшекті шуылын қарастырады, ал шуыл кернеуінің көзі базаның жылулық шуылына сай келеді және сонымен қосылған база-эмиттер өткелінің кедергісіне сай болады.

Бастапқы шарттар:

Жіберу жылдамдығы $B = 170$ МБит/с, $T = 293$ К. Есептеген кезде кірісіне гаусстық түрдегі импульстар беріледі ($a=0.3$), ФҚҚ шығысында NRZ түрдегі

«жоғарылатылған косинус» импульсін қалыптастырушы фильтр қосылған [5].

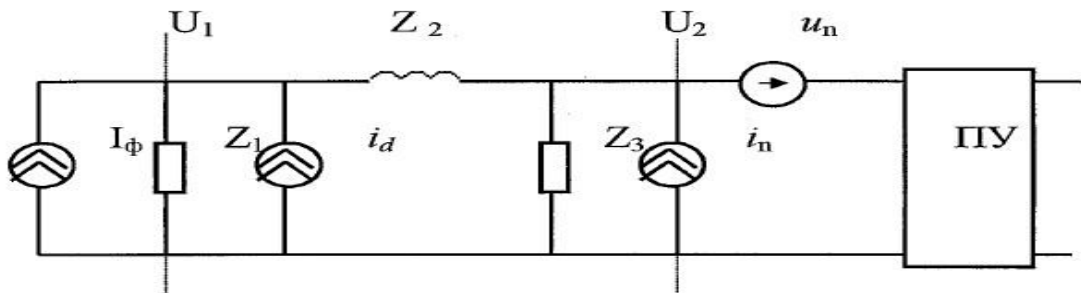
1.4-суретте γ коэффициенті артуымен сезімталдық қалай нашарлайтындығы бейнеленеді ($\gamma=0$ кезінде жеженің мөлшерінің салыстырмалылығы). Мысалға, ЛФД үшін шала өткізгішті қосылудан $\gamma=0,1$ және $k=0,5$ тең болғанда, сезімталдық межесіндегі кему $1,7$ дБм мәнін құрайды.



Сурет 1.4 - ФҚК сезімталдық межесінің әлсіреуінің тәуелділігі

1.2 ФҚК кіріс тізбегін сигнал/бөгеуіл максималды қатынасы критеріі бойынша синтезі

Қосқан кезде фотоқабылдағыш құрылғыда фотодиодтар (ФД) мен индуктивтіліктің алдын-ала күшейткіші (АК) арасында сонымен қатар сәйкестендіру шартының орындалуы.

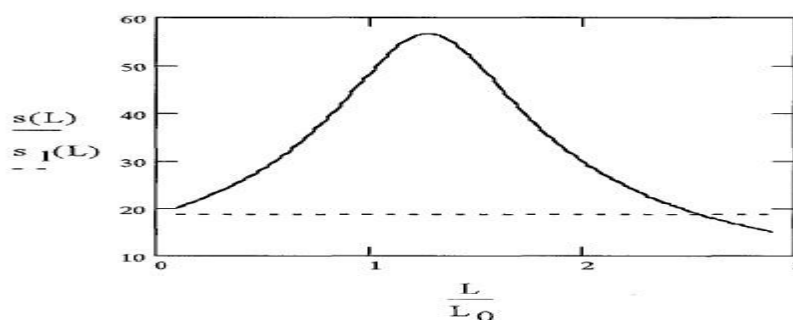


Сурет 1.5 - ФҚК кірістік тізбегінің баламалық шуылының сұлбасы

Фотодиодтар 1ф фототоктың көзі ретінде ұсынылды, ал, $Z1$ – соның кешендік кедергісі болып табылады; АК кірісінде шуылды кернеу мен шуылдық ток генераторымен қосылған шуылсыз элементтер ретінде ұсынылды, 4 – күшейткіштің кіріс импедансы; $Z2$ – индуктивтіліктің кедергісі.

БТ кіріс кедергісі 1 кОм деп алынды, ӨТ-да – 1 МОм, фотодиод сыйымдылығы мен транзистордың кіріс сыйымдылығы 1 пФ тең, фототоктың шамасы 1 мкА. (1.41) бойынша анықталған келістіруші индуктивтілік мәні ФҚҚ тарату аумағы үшін $\Delta\Gamma = 140$ МГц болады, ол мынаған тең: $L_0 = 1.29$ мкГн .

1.6-суретте биполярлы транзистордағы АК үшін салыстырмалы түрде L_0 қалыптандырылған индуктивтіліктің мәніне тәуелділігі (8/К) келтірілді.

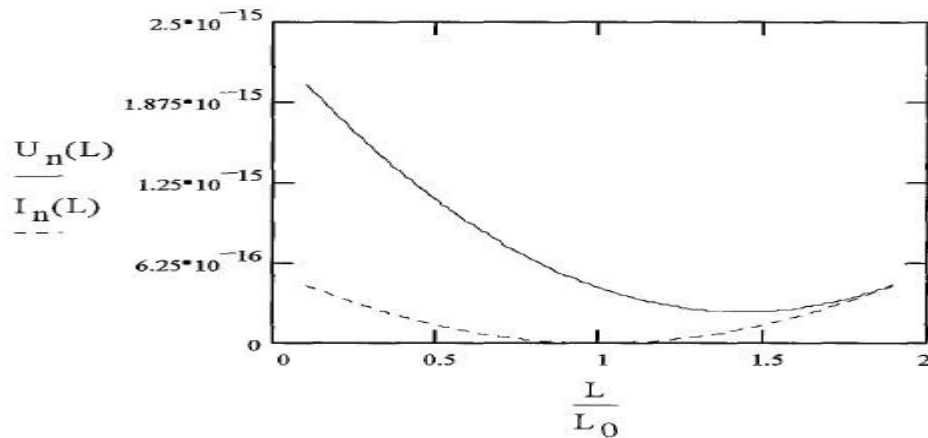


Сурет 1.6 - БТ АК сұлбасы үшін келістіруші индуктивтілік мәніне тәуелділігі (8/М) (тұтас сызық)

Үзілмелі сызықты келістіруші емес индуктивтіліктің сұлбасындағы (8/М) қатынасы көрсетілді.

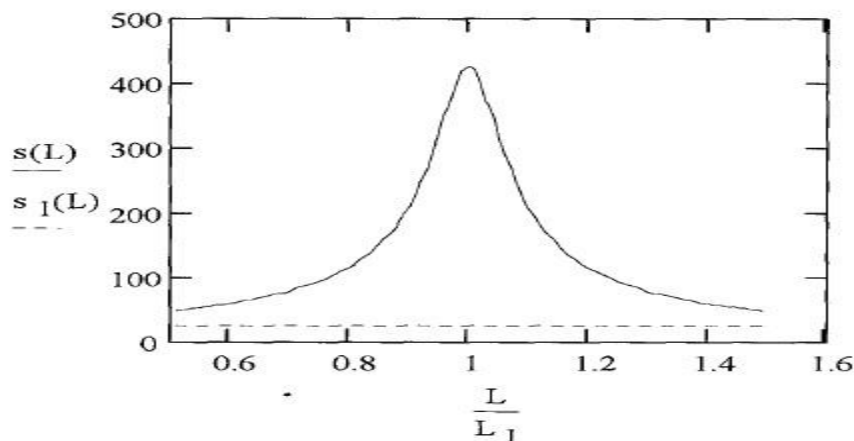
Индуктивтіліксіз сұлба үшін (8/М) қатынас 25,45 дБ тең болады, ал келістіруші индуктивтіліктің сұлбасы үшін (8/М) ең жоғары қатынасы 1.3 Ыо индуктивтіліктің мәні үшін 35 дБ құрды (1.7-сурет). 1.8-суреттен көргеніміздей, индуктивтіліктің болжамалы мәні (8/М) ең жоғарғы мәніне сәйкес келмейді.

Сонымен бірге, % және I шуыл көзімен байланысты шуылды жеке қарастырамыз. 1.7-суреттен Пп және 1п шуылының спектрлік тығыздығының тәуелділіктерін көре аламыз, мұнда 1п бөлімінде бірінші мәнге сәйкес келеді (1.39), Пд – үшіншіге сәйкес келеді. 1.9-суреттен көргеніміздей (1.41) шарты 1п шуылдық тоғының спектрлік тығыздығының ең аз мәнін алуға мүмкіндік береді.



Сурет 1.7 - ш>тУ10в Ип (тұтас сызық) спектрлі тығыздығының және 1п (үзілмелі сызық) биполярлық транзисторға арналған тәуелділігі

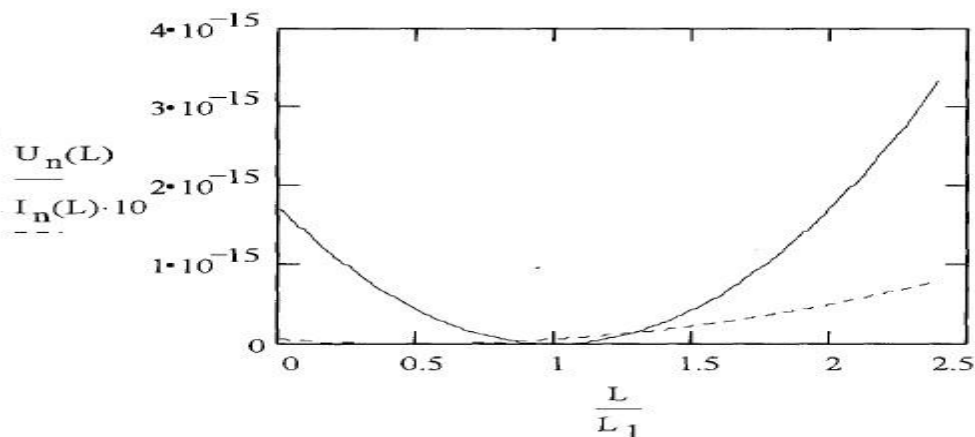
1.8-суреттен L_i сәйкес қалыптандырылған индуктивтіліктің мәнінің (S/N) тәуелділігін көреміз.



Сурет 1.8 – Өрістік транзистор сұлбасы үшін L_i сәйкес қалыптандырылған индуктивтілік мәнінің (S/N) тәуелділігі

Тұтас сызық индуктивтіліктік сұлбаға сәйкес келеді, ал үзілмелі сызық–индуктивтіліксіз сұлбаға сәйкес болып табылады.

Индуктивтіліксіз (S/N) сұлба үшін 27.6 дБ мәнге тең, L_i тең түзеткіштер индуктивтілік үшін (S/N) сигнал бөгеуіл қатынасы 52.5 дБ тең болады. 1.9суреттен U_n мен 10 1п ΘT спектрлі тығыздықты шуылдың L шамасына тәуелділігін көреміз.



Сурет 1.9 – Өрістік транзистор үшін Пд (тұтас сызық) мен 101п (үзілмелі сызық) шуылының спектрлік тығыздығы тәуелділігі

Алынған нәтижені тексеру үшін бөгеуілден қорғалудың артуы бойынша тәжірибелер қойылды. ФҚҚ (ИКМ-480/5) Сопка-3 тарататын жүйеге келістіруші индуктивтіліктер орнатылған. Нәтижесінде бұрынғы қателік ықтималдылығы кезінде кіріс сигналдың деңгейін 2 дБм азайтуға болады [6].

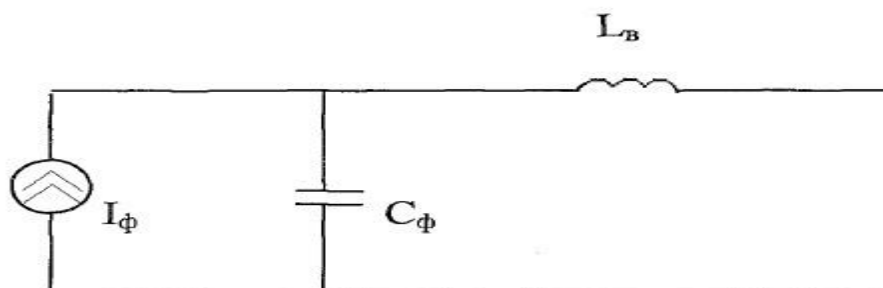
Алынған нәтиже негізінде бір уақытта берілген жиіліктік сипаттамалар бойынша ФҚҚ кіріс тізбегін синтездеуге және 3-қатардың төменгі жиілігін сүзгі ретінде шуылдың ең аз мәнін ұсынған. Берілген Γ мәнінде сұлба элементтерін аппроксимациялайтын полин тізбегінің беріліс функцияға сәйкес мәнін қойып табуға болады (авторлы жарияланымдар тізіміндегі жұмыстар [3]).

1.3 Жоғарғы жылдамдықты тарату жүйелері үшін фотоқабылдағыш құрылғыларды зерттеу

STM – 64, STM -16 тарату жүйелері үшін тарату аумағы 6-8, 1.5 - 2 ГГц болатын және өзіндік шуылының төменгі деңгейлі қабылдағыштық модулдар талап етіледі. Күшейту коэффициенті тарату аумағы ретінде критикалы шама болып есептелмейді; талшықтық-оптикалық күшейткіштерді ендірумен қатар күшейтуге арналған талаптардың азайтылуы мүмкін. Фотодиодтар (ФД) және алдын ала күшейткіштер (АК) жоғарғы жылдамдықты жіберу жүйелері үшін интегралды немесе гибридік орындалуда бір микросұлбада әзірленеді. Бұл

контакттардың индуктивтілігі мен кедергісі, монтажды сыйымдылық сияқты паразиттік элементті минимумға алып келуге мүмкіндік жасайды. Чип бір немесе одан көп алдын ала күшейту каскадының ФД тұрады кей кезде эквалайзерден де тұруы мүмкін.

1.10-суретте жоғарғы жиілікті фотодиодтың баламалы сұлбасы келтірілген.

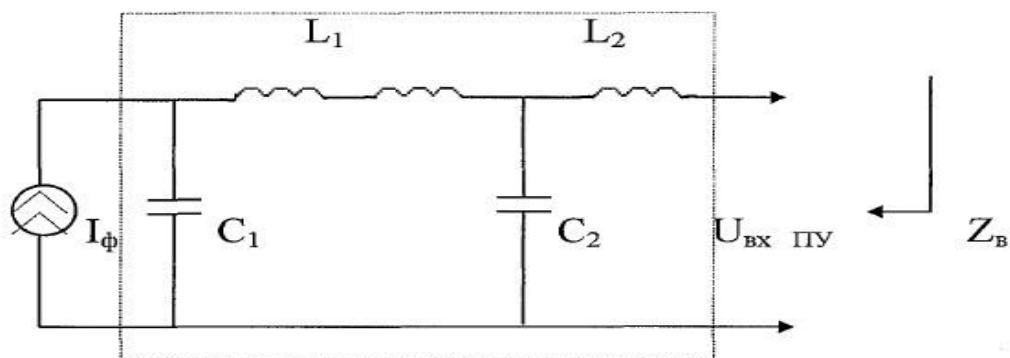


ФД 1ф фототок көзі ретінде қарастырылды, $L_в$ – шықпалардың индуктивтілігі, $C_Ф$ – жабық $p - n$ ауысудың сыйымдылығы

Сурет 1.10 - Жоғарғы жиілікті фотодиодтың баламалы сұлбасы

1.10-суретте көрсетілген сұлбаның талдауынан күшейткіштің кіріс кедергісінің мәнін: $= '$ байқауға болады, соған сай ФД шығысында кедергі тең емес. Келісудің болмауы толқын кірісінде болуы мүмкін, ол күшейткіштің шығысындағы кернеудің шуылын құру мүмкін. Кедергілер сәйкестілігі үшін 1.14-суретте төртұштық ұсынылды. ФД сыйымдылығы төртұштықтың құрамына кіреді, $L_в$ индуктивтілік ескерілмейді. Келістіруші төртұштық жүктемесінің кедергісі $2в$ тең, жүктелген ТЖФ түрінде қарастырады. Аппроксимацияның түрін таңдау тек АК сипаттамасынан ғана емес, сонымен қатар, одан кейін қосылған түзеткіштер мен межелік құрылғыларға, оларға қойылатын талапқа тәуелді болады. Сол себепті нақты жағдайдан бөлек аппроксимациялаудың оңтайлы түрін таңдауға болмайды. Аппроксимацияның түрін таңдаған кезде екі негізгі талапты ескеруіміз керек: фильтр жібермейтін аймақта айтарлықтай жоғары азаюға ие болу керек (шуылды аумақты азайту үшін) сонымен бірге сызықтық ФЖС (импульс түрінің ауытқуын азайтуға) қажет. Осы талаптар қандай да бір дәреже бойынша қарама-қайшы. Үлкен ФЖС Баттерворт фильтрі ие, жібермеу аймағындағы жоғары азаюды Чебышев фильтрі қамтамасыздандырады. Сондай-ақ, ең ұтымды шешім түрінде жіберу аумағына бірнеше талаптар қойылады. Азаюдың бірқалыпсыздығының жоғары

тербелістері (Чебышев фильтрі жағдайында) не үлкен рұқсат еткен азаю (Баттерворт фильтрі жағдайында) жіберу аймағында келісушіліктің төмендеуіне алып келеді және кіріс байқалуына алып келеді. Жіберу аймағында азаюға қойылатын талаптың жоғарылауы жібермеу аймағында фильтр сипаттамасының құламалылығын төмендетеді.



C_1 – фотодиодтың сыйымдылығы. L_1 – төртұштық индуктивтілігін және $Z_{\text{в}}$ шықпалар индуктивтілігін қосады

Сурет 1.11 - Келістірілген төртұштықтың сұлбасы

Келістіруші құрылғы синтезі. Фильтрдің жобалауына 2 тәсіледеме бар. Бірінші түрі ең алдымен фильтрді синтездейді, онда фотодиод элементі қосылады, ал содан кейін сыйымдылық $C_\phi = C_1$ тең болатын фотодиодтар дайындалады. Фотодиодтың сыйымдылығы $p - n$ ауысу аумағына және коректенудің кернеуіне тәуелді болады. Болжалған сыйымдылықта аспапты құруға мүмкіндік жасайды. Есептеудің келесі қатары ұсынады: аппроксимацияның түрі таңдалды; тарату аумағына қойылатын талаптардың кезінде фильтр элементі нұсқалардың ФТЖ арналған кестеден алынады және тарату аумағына беріледі сонымен қатар күшейткіштің кіріс кедергісі алынды.

1.4 Мәселенің қойылымы

Фильтр жобалауына 2 тәсіл бар. Бірінші түрі ең алдымен фильтрді синтездейді, ол кезде фотодиодтың элементтері қосылады, ал одан кейін сыйымдылық $C_\phi = C_1$ тең болатын фотодиодтар дайындалады. Фотодиодтың

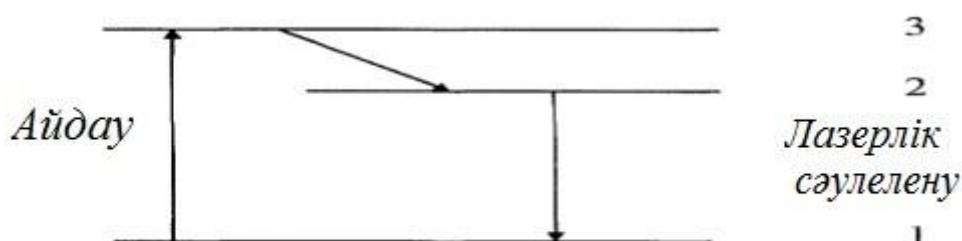
сыйымдылығы $p - n$ ауысуының аймағымен керектену кернеуіне тәуелді болады.

Болжалған сыйымдылықта аспапты құру үшін мүмкіндік болады. Есептеулердің келесі қатары ұсынады: аппроксимацияның түрі таңдалады; тарату аумағына қойылатын талаптар кезінде фильтр элементтері нұсқаның ФТЖ арналған кесте бойынша алынады, тарату аумағына беріледі және күшейткіштің кіріс кедергісі алынды.

2 Талшықтық-оптикалық күшейткіші бар ТОБЖ бөгеуілдерден қорғалуын зерттеу

2.1 Талшықтық-оптикалық күшейткіштер

Талшықтық-оптикалық күшейткіштер (ТОК) қосынды эрбий иондарының оптикалы талшықтарының кесіндісі түрінде қарастырылады. Ол индукцияланған эмиссияға сәйкес жарықты күшейтеді. Талшықтық-оптикалық күшейткіштер кері байланысы жоқ лазерлер ретінде ұсынылады. Жинақтау инверсиясы айдау лазері көмегімен қолжетімді болады, ол бағытталған тармақталудың көмегімен қосылды. Әдетте айдаудың үш деңгейлі сұлбасы қолданылады 2.1-сурет.



Сурет 2.1 - Талшықтық-оптикалық күшейткіштерінің үш деңгейлі сұлбасы

Айдау фотонының жұтылуы нәтижесінде қоспаның электрондары (эрбий) қосымша энергияны алып, анағұрлым жоғары энергетикалы деңгейге орнын алмастырады (3 деңгей), содан кейін ол тез арада екінші деңгейге ауысады. Сақталып қалған энергия индукцияланған сәулелену көмегімен сигналдық сәулені күшейтуге қолданылады.

Электронның 3-ші деңгейден метастабильді 2-ші деңгейге сәулеленусіз тез ауысуының 3 деңгейлі гомогенді жүйені қарастырамыз. Бұл спонтанды эмиссияның күшеюі мен жұтылу деңгейінің қозуы аса маңызды емес деп

санаймыз. Жұтылу деңгейінің қозу құбылысы ТОҚ көрінетін жарық арқылы айлауы болғанда байқалған (толқынның ұзындығы 650 нм). 980 мен 1480 нм толқын ұзындықтары бар айдау уақытында бұл құбылыс аса маңызды болмайды. Сонымен қатар, эрбий иондарының қоспасы ОТ өзекшесі бар біртектес деп санаймыз.

Сигналдар мен толтырудың қуаты себепші болатын эмиссия және кенеттік эмиссияның жұтылуы әсерінен күшейткіштің ұзындығы бойынша ауысады. Егер себепші болған эмиссия барлық эмиссиясы сигналдың модында және де қуат шығынында жиналса, сонда ОТ толтыру тек 1 мен 3 деңгей арасында жұтылуға негізделген егер кенеттік эмиссия салымын ескермесек.

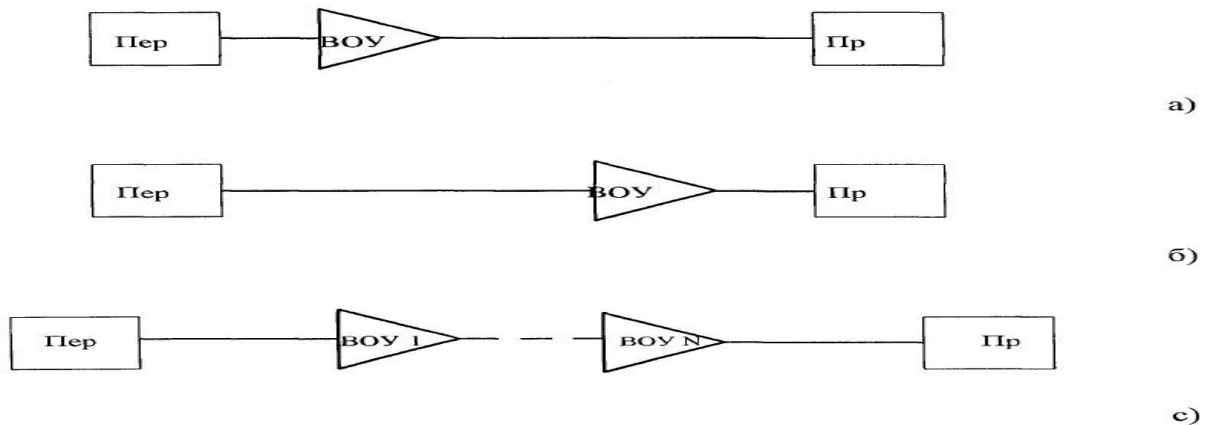
Сигналдың дұрыс бағытта тарағаны ескеріліп жазылды, яғни бұл кезде толтыру сигнал бағытымен сәйкес болуы мүмкін не белгіге тәуелді теріс бағытта таралу мүмкін.

ШОҚ шуыл құрылғысы соңғы кезде жеткілікті толық зерттелуіне қарамастан, әдебиеттерде берілістің бөгеуілден қорғаныстық жүйесіне ШОҚ шуының әсері жайында сұрақтар, сезгіш шегіне ШОҚ пен ФБҚ шуының біріккен әсерін ескеруге әдіснамалар толық жинақталмады, ТОБЖ бөгеуілден қорғаныстығына оптикалық күшейткіштің санын каскадтау мен оптикалық фильтрлеу әсерінің сұрақтары толықтай зерттелмеген. Осы тарау мынадай сұрақтарды зерттеуге арналған.

Бірлік ұзындықта ШОҚ күшейтудің коэффициенті төмендегі формуламен есептелінеді: $g=G_c(N_2 - N_1)$. Күшейту коэффициенті кіріс сигналы жиілігіне, күшейткіш ұзындығына, толтыру толқын ұзындығына, ОТ өзегінің құрамына кіретін қоспалауыш қоспаларға сәйкес болады. Осының барлығы, күшейтудің спектрі 1530 – 1535 нм аумағында пикке және де 1540 - 1560 нм диапазонында қалыпты аймақта сипаттағы күрделі пішінге ие болатындығына алып келеі. 1530 мен 1550 нм ұзындықтағы күшейту айырмашылығы сәйкес күшейткіште ең максималды ~ 40 дБ күшейткен кезде ~ 10 дБ құрайды.

2.2 Сызықты жолға ТОҚ қосу

ТОТЖ-да сызықтық жолға (СЖ) ТОҚ қосылуының сұлбасының бірнеше қолданыстарын тапты. 2.2 суреттен олардың негізгілерінің бірін сұлбалы түрде көре аламыз.



а) қуатты күшейткіш ретінде, б) аса күшейткіш ретінде, в) сызықтық күшейткіш ретінде

Сурет 2.2 - СЖ-да ТОК қолдану сұлбасы

Тарату кезінде ТОК қуаттық күшейткіш ретінде пайдалану

Қуатты күшейткіштер немесе " booster " (2.2 а-сурет) таратушы лазерден соң бірден қосылады. Қуатты күшейткіштер беріліс лазеріне қойылатын талапты азайтуға мүмкіндік береді, сызықты емес қателіктерді азайтатын, үлкен емес оптикалы қуаттарда жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

ТОК кірісінде оптикалық сигнал: $P_{пер}(t)$. ШОҚ шығысында сигнал: $G P_{пер}(t) + P_{сп}$. Қабылдағыштардың кірісінде сигнал төмендегідей анықталады:

$$P_c(t) = [G P_{пер}(t) + P_{сп}] / a , \quad (2.1)$$

мұнда "a" барық оптикалы жолдың өшу коэффициенті деп аталады.

Қабылдағыштағы ТОК адын-ала күшейткіш түрінде пайдалану .

Оптикалы аса күшейкіш қабылдау кезінде сигналдың деңгейін көтеруге мүмкіндік береді. Мұндай күшейткіш аймақтың ұзындығын үлкейтуге немесе электрондық күшейткішке (өзіндік шуға) талапты төмендетуге мүмкіндік жасайды. $P_{іісп}(t)$ таратқыштың шығысындағы оптикалы сигнал. ШОҚ кірісінде сигнал осылай табылады: ШОҚ шығысындағы (қабылдағыш кірісінде) сигнал:

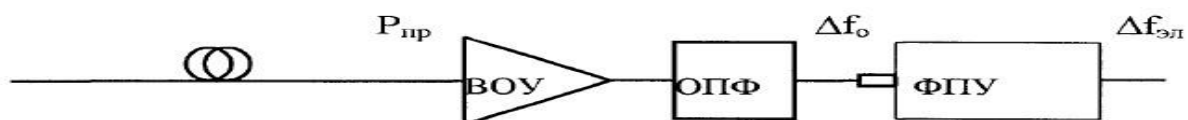
$$P_c(t) = P_{пер}(t) G / a + P_{сп} . \quad (2.2)$$

ТОК сызықты күшейткіштер түрінде пайдалану

ШОҚ созылыңқы (магистральды) байланыс желісінде сызықтық күшейткіш ретінде қолданылады. Олар сәтті түрде электрондық регенераторлармен бірге бәсекелеседі және де оларды ығыстырады. ШОҚ жиі көп арналы жүйеде (спектрлі тығыздалған жүйеде) тиімді пайдаланады, яғни бір ШОҚ барлық каналдардың (бұл жағдайда электрондық регенераторлар, әр арна үшін жеке құрылғы керек) күшейтілуі үшін қолданылады. Сызықты күшейткіштің үлкен санын қолдану кезіндегі пайда болған негізгі мәселелер – күшейтілген кенеттен пайда болатын эмиссиямен байланысқан шудың жиналуы. Көп арналы жүйеде негізгі мәселе ШОҚ күшейту спектрі әркелкілігі мен арналар арасындағы түйіспелі қателіктің пайда болуымен тікелей байланысты [7].

2.3 Оптикалық қабылдағыш құрылғысының (ОҚК) сезгіштік шегін анықтау

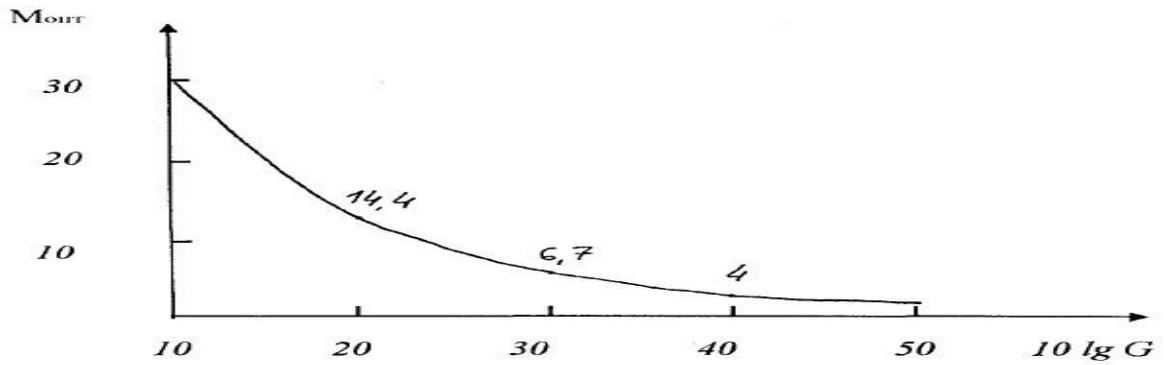
Оптикалы қабылдағыш құрылғысы (2.3-сурет), күшейту коэффициентімен оптикалы аса күшейткіштерден, A_{fo} өткізгіш жолағымен оптикалы жолақтың сүзгісі (ОЖС) және шығыста электрлік сигнал шығатын фотоқабылдағыш құрылғысынан (ФҚК) тұрады.



Сурет 2.3 - Кірісінде оптикалы аса күшейткіші бар қабылдағыш құрылғының сұлбасы

ШОҚ кірісінде сигналдардың оптикалы өрісінде ФД p-i-n қолданылған кезінде сезгіштік шегі.

Өрнект берілген G болғанда көшкіндік көбейтудің қолайлы коэффициентін табуға мүмкіндік жасайды. 2.3-суретте $M_{от} = 1/(10/g G)$ тәуелділігі графигі көрсетілді. Графиктен көрініп тұрғандай көшкінді көбейту коэффициенті G артқан сайын ақырындап кемиді. Сол себепті шарты шексіз болып табылады.



Күшейту коэффициентінің КФД ТОК ($O = 100$, $M_{opt} = 14.4$; $C = 1000$ үшін,
 $M_{opt} = 6.7$ үшін)

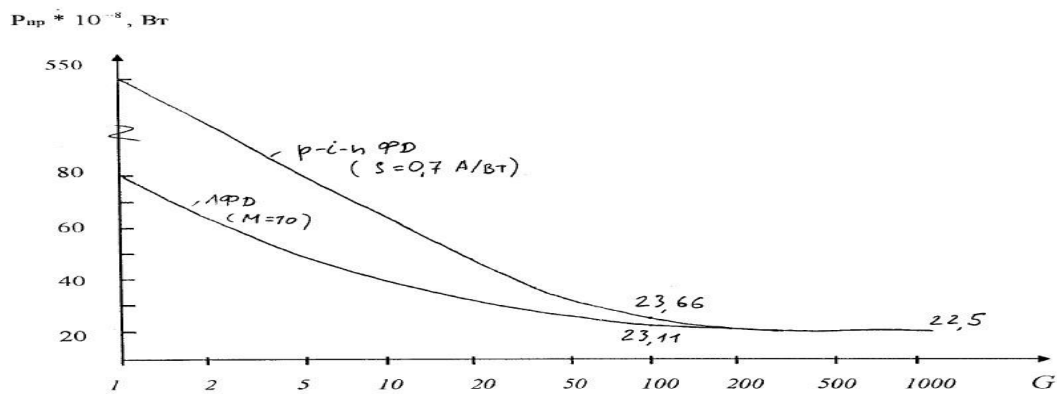
Сурет 2.4 - Көшкінді көбейтудің қолайлы коэффициенті тәуелділігі

2.2-формула орындалғанда қосынды ең аз және тең болады:

$$C = 4 (S/N)^2 (n_{сп} h\nu)^2 \Delta f_{эл} \Delta f_o . \quad (2.3)$$

Алдыңғы бөлімде оптикалы фильтрдің өткізгіштік жолағына қойылған талаптар қарастырылған болатын (2.14). Олар КФД қосқан жағдайдан кейін де өзгеріссіз қалды.

КФД қосқан кезде P есе бытыралы шуы үлкейеді және де M' есе сұлбаның электрондық шулары төмендейді. Шарттарды орындағанда КФД-мен оптикалық қабылдағыш құрылғыларының сезгіштік шегі ФД р-1-п жағдай кезіндегі сияқты болады. Осылай, ФД р-1-п орнына КФД қосқанда сезгіштік шегі жақсармайды және оптикалы сүзгінің өткізу жолағына талапты әлсіретпейді. Алайда, КФД қосқанда, O күшейту коэффициентіне қойылған талаптарды төмендеуіне әкеледі. 2.5-суретте КФД мен фотодиод р-1-п жағдайлары үшін $R_{пр} = f(O)$ тәуелділігінің графигі көрсетілді.



Сурет 2.5 - КФД және фотодиод р-1-п үшін ШОҚ О күшейту коэффициентінен оптикалы қабылдағыш құрылғының Р_{ср} сезгіш шегіне тәуелділігінің графигі (О шамасы логарифмдік масштабта бөлінген)

2.2 а суретте таратуда сигнал қуатын, күшейту режимін пайдаланған кезде ШОҚ қосылу сұлбасы көрсетілді. 2.2.1 бөлімде қабылдағыш құрылғысының кірісінде оптикалы сигнал үшін өрнектер жазылды: $P_c(t) = [GP_{ср}(t) + P_{ep}] / a$, мұндағы a – барлық оптикалы жолдың өшу коэффициенті болып табылады.

Эрбийлік ТОК кенеттен болған эмиссияның жолағы шамамен алғанда ~ 4 ТГц құрайды. Таратуда қуат күшейткіші түрінде ШОҚ пайдалану кезінде көп жағдайда кенеттен болатын эмиссиясының күшейтілген жолақты шектеу үшін оптикалық фильтр қажет емес [8,9].

Өшу коэффициенті есебі мысалы. Алдында пайдаланған шамалар үшін оптикалы жолдың коэффициентін былай есептейміз. $O = 100$, $f = 4$ ТГц (2.2) формуласын қолдана отырып, L сонымен қатар c коэффициентінің шамасын табамыз:

$$L = 435, c = 0.82 \cdot 10$$

(2.3) теңдеуді шешіп, a сызықты жолдың шекті рұқсат етілетін өшу мөлшерін анықтаймыз

$$a = 8.8 \cdot 10 \text{ (39.4 дБ)}.$$

Берілістегі сигнал деңгейін сызықтық жолдың шекті рұқсат етілетін өшуін оптикалы кабелдің километрлік өшуін анықтап, тікелей түрде сигналдардың өшуінен күшейткіш аумақтың ұзындығын табуға болады [8].

Күшейту коэффициенті $O = 100$ үшін қуатты күшейткіштер мен аса күшейткіштер ретінде ШОҚ қолдану кезінде оптикалы қабылдағыш құрылғысының сезгіштігінің шегін салыстырамыз [10,11]. Қуаттық күшейткіште: $P_{пр} = P_{пер} - a = -39.4$ дБ. Аса күшейткішке: $P_{пр} = -36.3$ дБ.

$$S/N = SGP_{пер} / \sigma_{ост} a . \quad (2.4)$$

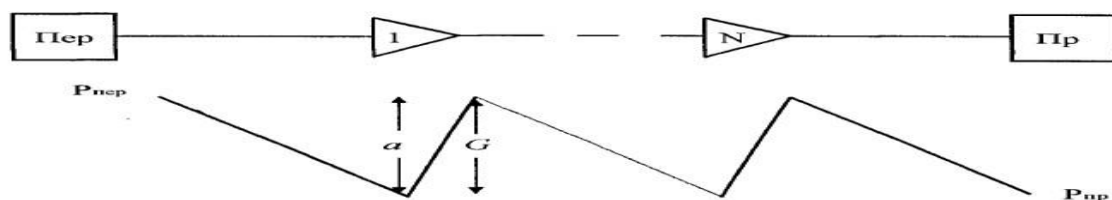
Өшу коэффициентін былай есептейміз:

$$a = SGP_{пер} / (2 S/N \sigma_{ост}) \quad (2.5)$$

Берілісте қуаттық күшейткіштер ретінде ШОҚ қосқан кезде аса күшейткіш режимімен салыстырғанда сезгіштік шекте ұтыс пайда болады. Сондай-ақ, оптикалық фильтрді пайдаланудың керегі жоқ. ОТ сызықсыз эффектiсi сигналдарының үлкен деңгейi кезінде пайда болған күшейту коэффициентін шектеу үлкен кемшілік болып саналады.

ШОҚ сызықтық күшейткіш ретінде пайдалану ойы қосылудың алдыңғы сұлбасын қарастырғаннан соң өзінен-өзі пайда болады. Негізі, бұл сұлба екі басқа қателіктерінен айырылды: сезгіштік шегінің төмендігі мен алды-ала күшейткіштер ретінде ШОҚ қосылған жағдайда, тар жолақты оптикалы сүзгінің қолданылу қажеттілігі; қуаттық күшейткіш кезінде күшейткіштің жоғары коэффициентін қолдануының мүмкін еместігі. Әдетте сызықтық күшейткіштер, ШОҚ күшейткіші оптикалық жолдың алдыңғы аумағының өшуін өтейтіндей етіп қосылады. Ол 2.6 суретте көрсетілген. Егерде ШОҚ күшейтудің коэффициенті ОТ өшу коэффициентімен тең болатын болса ($G = a$), онда қабылдағыш құрылғысының кірісіндегі оптикалы сигнал үшін төмендегі сияқты жазуға болады:

$$P_c = (P_{пер} + N S_{сг} \Delta f_o) / a .$$



(2.6)

Сурет 2.6 - ТОК таралу сұлбасы мен деңгей диаграммасы, а – оптикалық сызықтық жол аймағының өшу коэффициенті, О – ТОК күшейту коэффициенті

Сезгіштік шек есебінің мысалы. ТОК мәнін бере отырып, шеше жатып қабылдағыш құрылғысының сезгіштік шегін анықтай аламыз. Қабылдағыш пен таратқыштан ($N = 1$) тең тұрған бір ШОҚ үшін сезгіштігінің шегі: $P_{пр} = 11.4$ мкВт. Теңдікті қолдана отырып: $P_{пр} = P_{пер}/a$ сонымен қатар $a = G$, күшейткіш аумақтың максималды өшулігін анықтай аламыз. $P_{пер} = 1$ мВт, $a = 91$ (19.6 дБ) тең болады. Екі аймақтан тұрақтан оптикалы жолдың толықтай рұқсат еткен өшуілігі 39.2 дБ болады.

Күшейткіштер саны. Қосылыс оптикалық қабылдағыш құрылғысының сезгіштік шегін азайтпайтын, күшейткіштің рұқсат еткен санын табамыз. Ол үшін төмендегі шарт орындалуы тиіс:

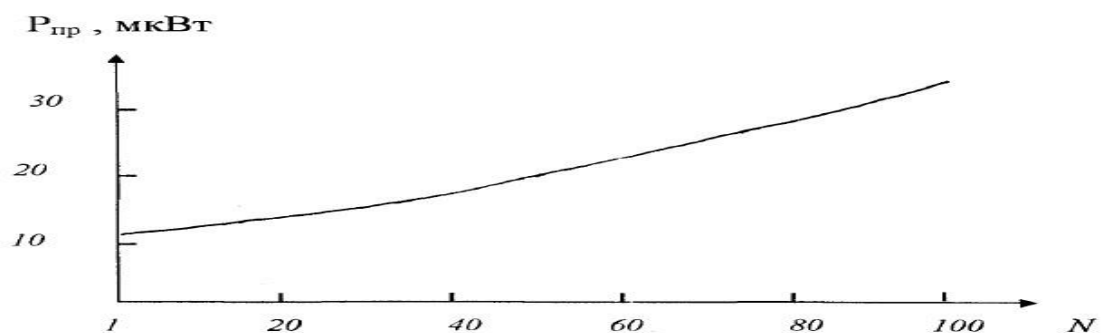
$$\sigma^2_{с-сэ} + \sigma^2_{сэ-сэ} \ll \sigma^2_{ост} . \quad (2.7)$$

Егер де СЭ – сигналдың шуы СЭ - СЭ шуынан көп болса, сезгіштік шек төмендемеген кезде, онда күшейтілудің рұқсат етілген мөлшері, төмендегі шарт бойынша болуы керек:

$$N < S^2_{ост} / 4 S^2 P_{пр} n_{сп} h\nu , \quad (2.8)$$

мұндағы $S'_{ост}$ – электрондық күшейткіш шуылының спектрлік тығыздығы. $P_{пр}=11.4$ мкВт есептеп, $M < 10$ ала аламыз.

2.6-суретте N күшейткіштер санынан $P_{пр}$ сезгіштік шектің тәуелділік графигін көрсетеміз.



Сурет 2.7 - Сызықтық ШОҚ мөлшерінен $P_{пр}$ сезгіштік шектің тәуелділігі,
 $N=50$ сезгіштік шегі кезінде $5 \cdot 10^4$ ($P_{пр} = 22.8$ мкВт) артады

ШОҚ сызықтық күшейткіш ретінде пайдалану кезінде сезгіштік шегінің қуатты күшейту жағдайындағындай болады. Сызықтық күшейту жағдайы болғанда күшейтудің коэффициентін таңдау қуаттық күшейту жағдайындағы сияқты жоғарыдан шектелмеген болып келеді. Қосылудың мұндай сұлбасы кезінде қосылыстардың басқа сұлбаларына қарағанда күшейткіш аумақтың максималды ұзындықты қамтамасыз етуімізге болады. Алайда, сезгіштік шегінің кемуі болмайтын кезде күшейткіштің максималды өлшемі шартпен шектелген. Экономикалы көзқарастан сызықты жолға ШОҚ қосатын сұлбаның үлкен кемшілігі болып сызықтық ШОҚ үшін дистанционды қоректендіру қажеттілігі не қорек көзі бар елді-мекендердің бар болуы болып есептеледі [12,13].

2.4 Дисперсия түрлері

Дисперсия дегеніміз – импульстар кеңеюі болып табылады – ол уақыт өлшемділігінде болады және де L ұзындықты кабелдің кірісі және шығысындағы импульстар ұзындығының квадраттық айырымы ретінде табылады. Әдетте дисперсияны 1 км санағанда нормаланады және пс/км арқылы өлшенеді. Дисперсияны жалпы алғанда төмендегі көрсетілген үш негізгі факторлармен сипаттаймыз:

- бағытталған үлгінің таралу жылдамдығының әр түрлігімен (t_{mod} үгіаралық дисперсия);
- жарық өткізгіш құрылымның бағытталған қасиетімен (толқындық өткізу дисперсиясы t_w);
- оптикалы талшық сымының материалы қасиетімен (t_{mat} материалдық дисперсия).



Сурет 2.8 - Дисперсияның түрлері

Дисперсияның мәні азайған сайын талшықпен көп мәлімет ағынын таратуға болады. Қорытындылайтын дисперсия t формуласы арқылы анықталады.

Модалар аралық дисперсиялар үлгідегі әр түрлі жылдамдықтардың таралуының салдарынан пайда болады және көп үлгілі талшықтарда орын алады. Сыну көрсеткіші параболалы профилі бар сатылы көпүлгілік талшықтар және градиентті көп модалы талшықтар үшін сәйкес формуламен табылады.

$$\tau_{\text{мод}} = \frac{\Delta \cdot n_1}{c} l \quad l < L_c \text{ болғанда} \quad (2.9)$$

$$\tau_{\text{мод}} = \frac{\Delta \cdot n_1}{c} \sqrt{l \cdot L_c} \quad l > L_c \text{ болғанда} \quad (2.10)$$

мұнда L_c – модалар аралық байланысы ұзындықтары (сатылы талшықтар үшін 5 км мөлшерінде, градиенттік талшықтар үшін – 10 км мөлшерінде).

Дисперсия заңы сызықтыдан квадраттыға өзгеруі шын талшықтарда болатын тегіссіздіктерге байланысты болады. Бұл тегіссіздік үлгілер арасында әсер етуге әкеледі сонымен қатар олардың ішінде энергияның қайтадан таралуына алып келеді. $L > L_c$ болғанда анық тәртіп болады, мұндай кезде барлық үлгі белгілі бір қалыпты қатынаста сәуле шығаруға қатысады. Әдетте көп үлгілі талшықты қолданғанда белсенді құрылғылар арасында байланыс сызықтарының ұзындықтары 2 км көп болмайды және үлгіаралық байланыс ұзындығынан біршама кем болады [14].

Градиенттік талшықтың модааралық дисперсияның D мәнінен квадраттық тәуелділіктің әсері сатылықпен салыстырғанда біршама аз, бұл градиенттік көпмодалы талшықтық байланыс жолағында пайдалану тиімдірек.

Тәжірибеде, әсіресе көп модалы талшықты сипаттағанда өткізу жолағы термині жиі пайдаланады. Өткізу жолағы W есептегенде формуланы пайдалануға болады [9].

Өткізу жолақтары $MГц/км$ арқылы өлшенеді. Өткізу жолақтарын анықтаудан көргеніміздей, дисперсия таралу қашықтығы және таралатын сигналдардың жоғары жиілігін шектейді. W физикалық мағынасы – жолақтың ұзындығы 1 км болғандағы таралатын сигналдың ең жоғарғы модуляция жиілігі болып табылады. Егер дисперсия қашықтық артуымен сызықтық артатын болса, онда өткізу жолақтары қашықтыққа кері пропорционал болады [15].

Хромды дисперсия волноводты және материалдық құрамнан тұрады және бір модалы, көп модалы талшықта таралғанда да орын алады. Алайда ол бір модалы талшықтарда анық байқалады, мода аралық дисперсияның болмауы әсерінен.

Материалдық дисперсия талшық сыну көрсеткішінің толқындық ұзындығына тәуелділігі бойынша негізделген. Бір модалы талшықтың теңдеуіне сыну көрсеткіші толқынның ұзындығына дифференциал тәуелділігі кіреді.

Волноводты дисперсиялар үлгінің таралатын коэффициентінің толқынның ұзындығына тәуелділігі арқылы белгіленеді [16].

Мұндағы $M(l)$ және $N(l)$ коэффициенті енгізілген – меншіктік материал мен волноводты дисперсия тиісінше, D_l (нм) – толқынның ұзындығының когеренттік емес сәулелену көзі әсерінен толқындар ұзындығының ұлғаюы. Хромды дисперсияның меншіктік коэффициент $D(l)=M(l)N(l)$ түрінде анықталды. Меншіктік дисперсиялар $ps/(нм*км)$ өлшемде болады. Егерде толқынөткізгіштік коэффициенті нөлден көп болса, материалдық дисперсия коэффициент оң және теріс бола алады. Мұнда белгілі толқын ұзындығында (мөлшермен 1310 ± 10 нм сатылық бір үлгілі талшықтар үшін) $N(l)$ мен $M(l)$ өзара компенсация жүреді, қорытқы дисперсиялар $D(l)$ 0-ге айналады. Мұндай толқынның ұзындығын оны 0-дік дисперсиясының толқын ұзындығы болып табылады l_0 . Берілген нақты талшықтар үшін өзгеретін толқын ұзындығы диапазоны көрсетіледі [10].

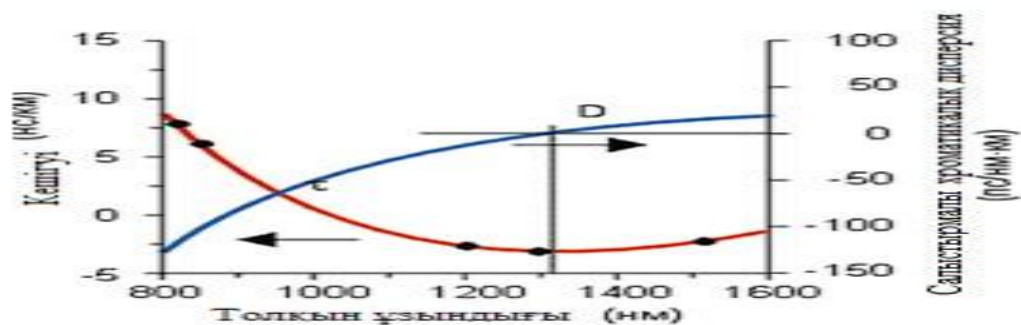
Corning компаниясық келесі меншіктік хромдық дисперсия тәсілін қолданады [17].

Ұзындығы 1 км-ден кем емес талшық жарықтың қысқа импульсының таралуында уақытша кідіріс өлшенеді. Интерполярлау диапазоннан (MMF үшін

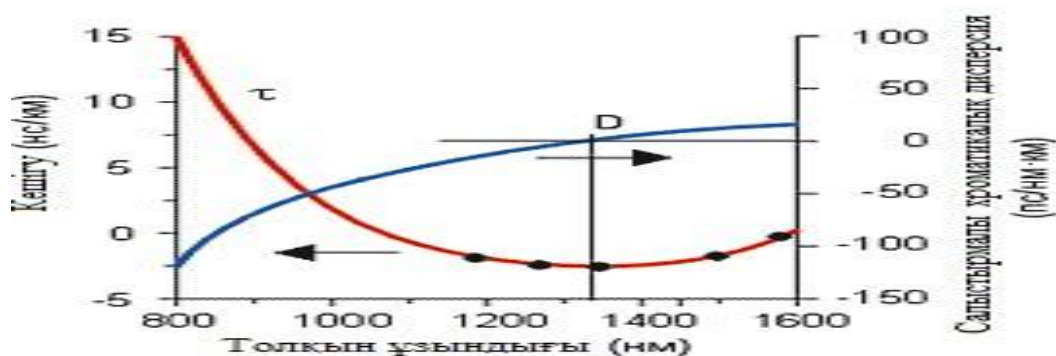
800-1600 нм, DSF пен SF үшін 1200-1600 нм) бірнеше толқынның ұзындығына деректерді таңдағаннан соң сол толқынның ұзындығында кідірісті өлшеу қайта таңдалады, алайда қысқа эталонды талшықтарда (ұзындығы 2 м). Онда алынатын кідіріс уақыты ұзын талшықтарда алынған сай уақыттан саналады, қателіктің жүйелік құраушыларын жою үшін.

Қысққ уақыт бойынша тоқтаулар және салыстырмалы хроматикалы дисперсия үшін:

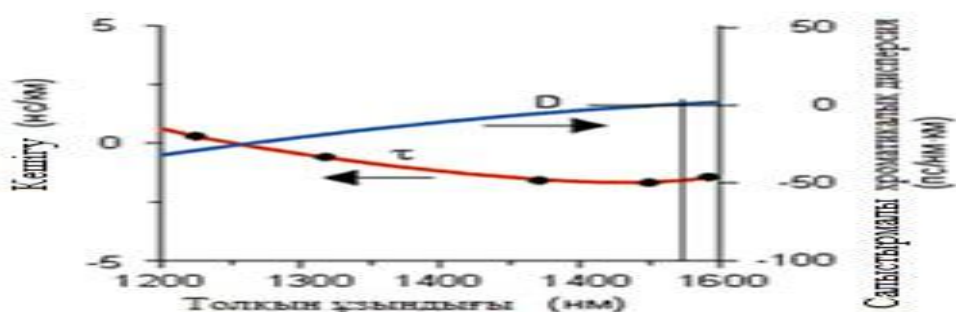
а) бір модальы градиенттік талшық (62,5/125).



б) бір модальы сатылы талшық (SF)



в) ығысқан дисперсиялы бір модальы талшық (DSF)



Сурет 2.9 – Бір модалы сатылы және көп модалы градиентті талшық Селмейердің (Sellmeier, [4]) Эмпирикалы формуласы: $t(l) = A + Bl^2 + Cl^{-2}$) пайдаланады. А, В, С коэффициенті келтіріледі және тәжірибелі нүктелер t қисығында болатындай таңдалады.

Онда, меншікті хромды дисперсия төмендегі формула бойынша есептелінеді. Нөлдік дисперсиясының толқындық ұзындығы (ZeroDispersionWavelength), жаңадан көрсеткіш $S_0 = 8B$ – нөлдік дисперсиясының көлбеуі болып табылады, (ZeroDispersionSlope), өлшемі пс/(нм²*км) болады, l – меншіктік хромдық дисперсияның анықталатын жұмысшы толқындық ұзындығы.

Ығыстырылған дисперсия бар талшықтар үшін уақыт бойынша кідірістердің формуласы былай $t(l) = A + Bl + Cl \ln l$ түрде жазылады, сәйкес меншікті дисперсиясы түрінде анықталады.

$S_0 = C/l_0$ және $l_0 = e^{-(1+B/C)}$ көрсеткіштердің мәнімен, мұндағы l -жұмысшы толқындық ұзындық, S_0 - нөлдік дисперсиясы көлбеуі және l_0 -нөлдік дисперсиясының толқындық ұзындығы.

Хромдық дисперсиясының меншікті хромды дисперсиямен мынадай қатынас болады $t_{chr}(l) = D(l) \cdot Dl$, мұндағы Dl - көздің сәулеленетін спектрінің ені. Хромды дисперсиясының азакюына сәулеленудің когерентті көздерін қолдану алып келеді, мысалы лазерлі таратқыштар ($Dl \sim 2$ нм), және де нөлдік дисперсияның толқындық ұзындығына жақын толқындар ұзындығын қолдану.

Поляризациялы модалы дисперсиялар t_{pmd} (PolarizationModeDispersion) үлгінің 2 өзара перпендикулярлы поляризацияланған құраушысының таралу жылдамдықтарының әртүрлі болуы ебөбінен туындайды. Меншіктік дисперсиялық коэффициенті T 1 кмге есептеп нормаланды және де өлшемі (пс/км^{1/2}) болып келеді, ал t_{pmd} артады $t_{pmd} = T \cdot L^{1/2}$ заңдары бойынша. Оң бөлігінде t_{pmd}^2 көбейтінісін қосуымыз керек қорытынды шашырауларды есептеу үшін. t_{pmd}^2 шамасы үлкен емес болуы себебінен бірүлгілі талшықта көріне алады және сәулелену жолақтары өте жіңішке 0,1 нм болады және төменгі кеңжолақты сигналдарды қолданғанда (өткізуінің жолағы 2,4 Гбит/ с және одан жоғары). Мұндай жағдайда хромды дисперсия поляризациялық модалы дисперсиямен салыстыратындай болады (2.3 суретте).



Сурет 2.10 – Бір модальды талшықта шындығында бір ғана үлгі таралмайды, екі маңызды үлгі – бастапқы сигналдың екі поляризациясы таралуы мүмкін

Идеал талшықта геометрия бойынша кемшілігі болмайтын екі үлгі де бірдей жылдамдықпен таралатын еді. Алайда тәжірибеде талшық идеалды емес геометрия бойынша болады, осы үлгінің екі поляризациясының әртүрлі жылдамдықтарына әкеледі [18, 19].

t_{pmd} көп деңгейлі лазер модульденген сигналмен бірге айқындалып және жоғалулардың поляризациялы тәуелділігімен ұқсас видеосигнал амплитудасының уақытша ауытқу нәтижесінде видео сапасы нашарлайды не теледидар экранында диагональды жолақтар айқындалады. Жоғарғы жолақты цифрлық сигналды таратқанда (2,4 Гбит/с артық) t_{pmd} болғанда қателердің пайда болуы биттік жылдамдық өседі.

Поляризациялы модальды дисперсияның туындаудың негізгі себебі бір модальды талшықтың өзектің пішінінің дөңгелек болмауы (сопақша) болып есептелінеді. Талшықты дайындағанда тек қатаң қадағалау осы көрсеткіштің аз мәндеріне әкеледі [20].

Материалды дисперсия. Материалды дисперсия деген – талшық ұзындығынан бұзатын көрсеткішке шартты тәуелділік дисперсия:

$$n = \Psi(\lambda). \quad (2.11)$$

Әртүрлі ұзындықта толқындар ВС әртүрлі жылдамдық бойынша қозғалады, сол мода да. Бұзатын көрсеткіш мынаған тең болады:

$$n = c/v, \quad (2.12)$$

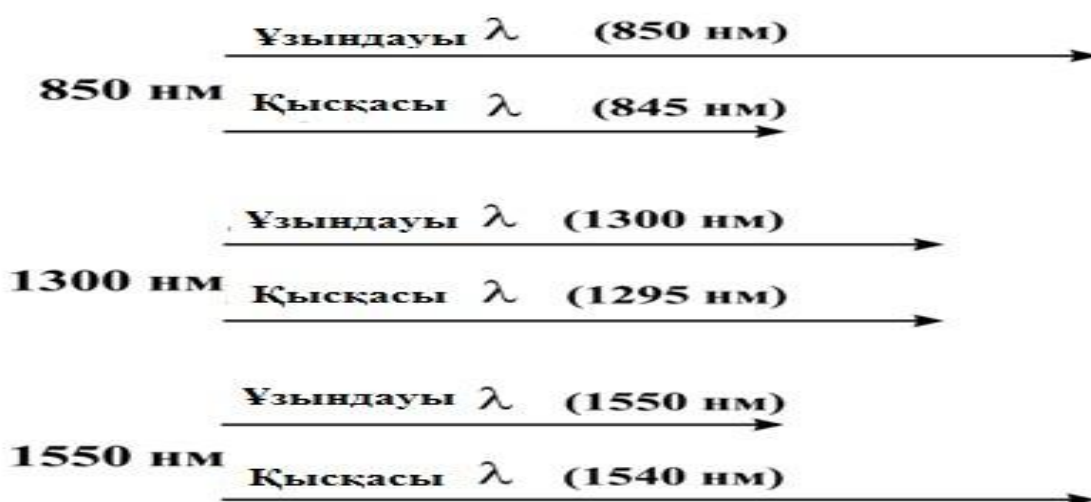
Әртүрлі ұзындықтағы толқын әр түрлі жылдамдықтармен қозғалғандықтан, жылдамдықтың шамасы осы теңдікте әр толқынның ұзындығы

үшін өзгеріп отырады. Солай болса бұзу көрсеткіші толқынның ұзындықтарына тәуелді болып өзгереді. Бұл көрініспен байланысты дисперсиялар материалдық (молекулярлық) дисперсиялар деп аталады, себебі талшықты заттардың физикалы сапасына тәуелді болады. Материалды дисперсия ортадағы материал электрондармен байланысты бей сызықты сипаттамалар әкелетін толқынның электромагнит өзара әсерлесуі бойынша анықталады. Материалдық дисперсиясының деңгейі 2 факторға тәуелді:

- талшыққа енген жарықтың толқынның ұзындығының диапазонына;
- қорек көзі орталық жұмыстық толқындық ұзындығына;

Әр факторларды жекелей қарастырайық. Ережеге сәйкес қорек көзі толқынның 1 ұзындығын бөле алмайды; ол толқынның спектрін бөледі. $\Delta\lambda$ толқынның ұзындығының диапазондары қорек көзінің спектрлі ені болып табылады. Жарықты шағылыстырушы диодтар (ЖШД) $\Delta\lambda \approx 35\text{ нм}$ жоғары спектрлік ені арқылы сипатталады, лазерлі диод (ЛД) азымен: 2-3 нм аралығында көп модалы және де 0,01- 0,02 дейін бір модалы [21, 22].

- 850 нм аймағында ұзын толқын (қызыл) қысқа (көк) толқындар ұзындығымен салыстырғанда тез қозғалады (2.4 - сурет). Нұсқағыш ұзындық толқын жылдамдығымен тура келеді, тиісінше ұзын нұсқағыш тез қозғалысқа тура келеді. Ұзындығы 850 нм болатын толқын 845 нм ұзындықтағы толқынға қарағанда әйнек талшықтармен тез қозғалады (2.4 суретте бейнеленген).



Сурет 2.11 - Әр түрлі ұзындықтағы толқын жарығын тарату жылдамдығы

1550 нм аймақта жағдай басқа: қысқа толқын ұзын толқынмен салыстырғанда тезірек қозғалады; ұзындықтары 1550 нм толқындар ұзындығы 1540 нм болатын толқындарға қарағанда асықпай қозғалады.

Спектрдің кей нүктесінде сәйкес орын алады, сонда көк пен қызыл толқындар бірдей жылдамдықпен қозғалады. Осы жылдамдықтардың сәйкес болуы 1300 нм аймақта орындалады.

Бір модальды талшықтың материалды дисперсиясы үшін толқындар ұзындығынан бұзу көрсеткіші дифференциалды тәуелділігі кіреді:

$$\tau_{\text{мат}}(\Delta\lambda, l) = \Delta\lambda \cdot l \cdot \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} = \Delta\lambda \cdot l \cdot M(\lambda), \quad (2.13)$$

мұнда $\Delta\lambda$ сәулеленетін қорек көзінің спектр ені;

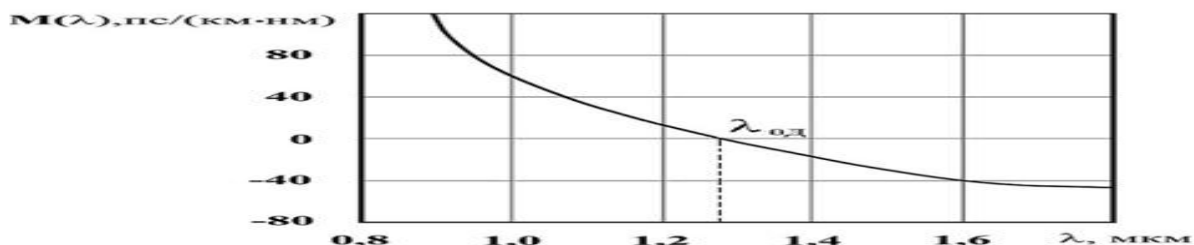
l – жарық жетекші ұзындығы λ –

шағылыстыратын толқынның ұзындығы c –

вакуумдағы жарықтың жылдамдығы n_1 –

өзектің бұзу көрсеткіші

Бөлінген материалды дисперсиясы [пс/(км*нм)] қоректің көзі спектр ені нанометрінде және де жарық жетекші ұзындықтың километрінде пикосекунд арқылы өлшенеді. Толқынның ұзындығына тәуелді бөлінетін материалдық дисперсиясы (2.5 суретте бейнеленген).



Сурет 2.12 - Салыстырмалы материалды дисперсиясы көлемдік кварцтық әйнегінің толқын ұзындығына тәуелділігі

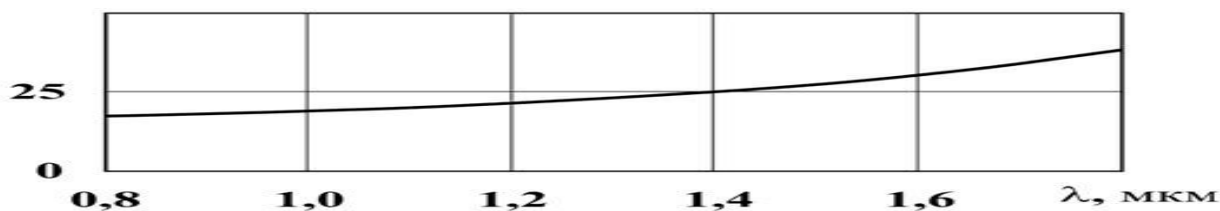
$M(\lambda)$ 1000 – 1600нм ұзындық аралығындағы көлемдік кварц әйнекте плюс 70-тен минус 40 пс/(км·нм) мөлшермен 1300нм нақты айтқанда 1270 нм толқынның ұзындықтырында нөлдік шаманы қабылдай отырып сызықты болып өзгереді.

Бөлінген материалды дисперсиясы $M(\lambda)$ нөлге айнала алатын толқын ұзындықтары $\lambda_{од}$ көлемдік ортаға нөлдік дисперсиясының толқын ұзындығы болып табылады. $\lambda_{од}$ төменгі толқын ұзындығының аймағындағы материалдық дисперсиясы қалыпты қызыл толқын көк толқынның алдына түседі және ерте келеді. $\lambda_{од}$ жоғары толқын ұзындығының аймағында материалды дисперсиялар жалған қызыл толқын қалып қояды сонымен қатар кешігіп келеді.

Сипатталғанның ішінен дисперсияны азайту үшін қажет екені белгілі, бір жақтан қорек көзін таңдағанда оптикалық қорек көзі СИД түрден ЛД түріне өтіп кетеді, екінші жағынан жағынан қорек көзі 850 нм толқынның ұзындығынан қорек көзі 1300 нм толқынның ұзындығына нөлдік дисперсиясы эффектінің қолдану үшін өту керек.

Волновод дисперсиясы деніміз – моданың эффектті түрде бұзу көрсеткішін өзгертетін толқынжетекші құрылымды себеппен көлемдік ортаның дисперсиясынан ерекшеленетін жарық жетекшінің нақты дисперсиясы. Толқынның ұзындығын есептегенде өрістің көп бөлігі орама бөлігіне кіреді және де ортаның бұзуының көрсеткішін өзгертеді. Орта бұзу көрсеткішін өзгертіп дисперсияны да өзгерте аламыз.

Кварцтық бір модальды талшық бөлінген волноводты дисперсияның толқынның ұзындығына типті тәуелділігі. (2.13-сурет).



Сурет 2.13 - Бөлінген кварцты талшықтың волновод дисперсиясының толқынның ұзындығына тәуелділігі

2.13 - суреттен көрініп тұрғанымыздай $N(\lambda)$ толқын жетекті дисперсиясы әрқашан нөлден жоғары, яғни қалыпты болады.

Толқын жетекті дисперсиясының қосылымы:

- өзекше радиусына;
- орама мен өзекшенің бұзу көрсеткішінің әртүрлілігіне;
- орамның санына тәуелді.

Көп модальды ОВ толқынжетекті дисперсиясы шама бойынша аз.

Талшықтың сыну көрсеткіші мыналар. Талшықтың негізгі 3 түрі белгілі:

сатылы сыну коэффициенті бар көп модальды, сыну коэффициентінің ақырындап өзгеруі көп модальды мен бірмодальдылар.

Сатылық сыну коэффициенті бар көп модальды сәуле жол өзекше және жабылғы арасында шекарада сыну коэффициенттерінің тез өзгерісі болуымен анықталады.

Сыну коэффициенттерінің жайлап өзгерісі бар көп модальды сәуле жол талшықты оптикалық өсіне бағытталу сәуленің үздіксіз ауытқуы түріндегі жарық таралудың болуымен анықталады.

Жарық азғана ГШ бар облыста тез таралады, осы таралу уақытының айырмасының азаюына яғни дисперсияға алып келеді. Егер профильдің пішіні параболикалыққа жақындаса дисперсия ең аз мәнге ие болады.

Бір модальды сәуле жолдардың жиілік жолағының шекті енуі және таралудың белгілі сипаттамасы бар. Ол аса көлемді мәліметті алыс қашықтықтарға жіберуге идеалды түрде келеді. Бір модальды сәуле жолдардың сыну көрсеткіші әр түрлі болады.

Әртүрлі фазалы кешігу (мода дисперсиясы) ВС бойынша таралу кезіндегі импульс шығып кетуінің 1 себебі болып есептеледі. Модальды дисперсияның әсер етуі көп модальды ВС үшін тез білдірілген және де тезірек болған сайын диаметрі өседі.

Модальды дисперсиясы үш жолмен кішірейе алады:

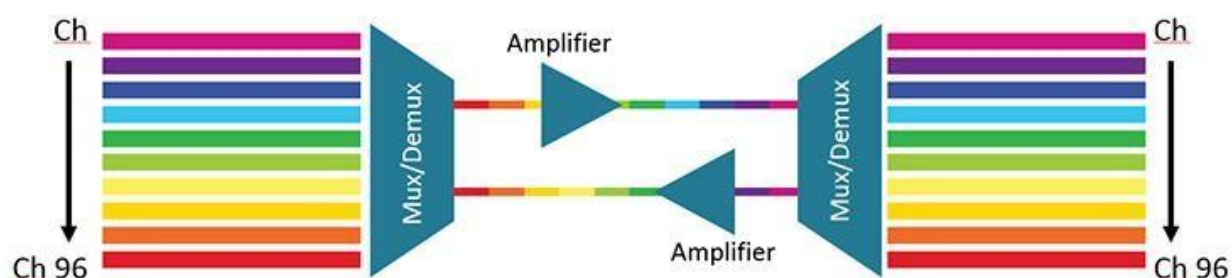
- бұзу көрсеткіші пішінін өзгертіп, яғни градиенттік ВС пайдалану арқылы;
– d_c – өзекшенің диаметрін азайту арқылы; - жоғарғы тәртіптегі моданы басу арқылы.

Градиенттік талшықты пайдаланғанда модальды дисперсиясының қалай кішіреюін қарастырамыз.

Градиенттік ВС бұзу көрсеткіші жүрекше шетінен ортасына ақырындап үлкейеді. Жіберу қызметі сондай-ақ белағаштық пен апертуралық сәуле үшін әртүрлі болып келеді. Апертуралы сәуле үлкен геометриялы ұзындыққа ие болады. Бірақ өзекшенің қиянында апертуралы сәуле жылдамдығы белағаш сәуленің жылдамдығымен алыстырғанда көп болады. Түзету уақытының әсерінен ВСда әртүрлі сәулеленің өтуі кезінде модальды дисперсиясының кенет азаюы болады.

2.5 DWDM жүйесі және оның компоненттері

Тығыз толқынды мультиплекстеу DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – мультигигабитті және де терабитті жылдамдықтармен жұмыс жасайтын жаңа дәуірдің оптикалы магистралін құру үшін арналған көп санды оптикалы каналдарды бір талшық арқылы таратудың қазіргі уақыттағы технологиясы. Өнімділіктің осындай революциялық секірісін мультиплекстеудің мүлде өзгеше әдісі қамтамасыздандырады – оптикалық талшықтардағы мәлімет бір уақытта бірнеше жарықтың толқынымен таратылады. DWDM технологиясы арқылы таралатын жарықтың ағыны әр түрлі толқы ұзындығынан (λ) тұрады (2.8-сурет).



Сурет 2.14 – DWDM технологиясы көмегімен таралатын жарықтың ағыны құрамының көрінісі

DWDM желісі арна коммутациясы қағидасымен жұмыс жасайды, бұл жағдайда әрбір жарық толқыны спектрлі арна болып табылады және де өзі жеке деректер тасымалдайды. Бір талшық арқылы бірнеше мыңдаған стандартты арнаны таратуға болады. DWDM технологиясын құрғанда қолданылған аппаратуралар максимум C-диапазонда (1530-1565 нм) ені 100 ГГц тең 40 канал не ені 50 ГГц тең болатын 80 оптикалы канал мультиплекстеуге мүмкіндік жасайды. Бұл кезде бір оптикалы арнаның ең жоғары сыйымдылығы 10 Гбит/с құрайды (STM-64). L (1570-1605 нм) диапазонда арна ені 50 ГГц болғанда оптикалық каналдардың мүмкін болуының саны 160 дейін жетеді.

DWDM технологиясын көп көлемдегі трафикті таратуға пайдалану тиімді. Бір талшық арқылы таралатын оптикалы арналар санының артуымен бірлік ақпаратты тарату бағасы азаяды. Бірақ жүктемелер толық болмағанда арналар саны аз жүйені пайдалану тиімді болады.

DWDM магистралді тұрғызу жоғарғы жылдамдықты абонентті интерфейстерге қосылу үшін арналған DWDM мультиплексорды орнатуды білдіреді. Мультиплексордың арақашықтығы регенерациялы құрылғысыз 100 км жетуі мүмкін.

DWDM технологияларының жұмыс жасау принципі өте қарапайым. 1 талшықта бірнеше оптикалы арналарды ұйымдастыруға SDH сигналдары «бояйды», әр сигнал үшін оптикалы толқын ұзындықтарын өзгертеді. «Боялған» сигналдар мультиплексор арқылы араласады да, оптикалы жолға таралады. Соңғы пунктте кері операциялар - «боялған» SDH сигналдардың топтық сигналдардан бөлінуі өтеді және тұтынушыға таратылады.

Осы технология оптикалы сәуле шығару көзіне жоғары талап қояды. Бір оптикалық талшық арқылы көптеген толқындық ағынды таратуға DWDM технологиясы нақты қондырғымен қамтамасыз етілген. Телекоммуникация жүйесінде қолданылатын стандарттық лазерді қамтамасыз ететін толқынның ұзындығы қателігі DWDM жүйелері қателігінен мың есе үлкен. Көрші каналдар бір-біріне әсер етпеуі үшін сәулеленудің спектр ені оптикалы арна енінен кем болуы керек, яғни 0,2-0,3нм аралығында болуы керек.

Бір талшық арқылы бірнеше STM сигналдарын тарату үшін оны SDH түрінен DWDM түріне түрленуі қажет. Бұл процесті транспондер жүзеге асырады. Кірісіне DWDM түріне белгіленген толқынның ұзындығы мен жіңішке сәулеленудің спектріне ие сигналға түрленетін STM-сигнал беріледі. Оптикалы STM-сигнал электрлі түрге түрленеді, сигнал пішіні қалпына келеді және де ары кері DWDM түрге электрооптикалы түрлену болады. Сигнал пішінін қалпына келтіруге 3R-түрлендіру пайдаланады: 1R (re-amplification) – сигналды күшейту, 2R-1R, сигнал пішіні қалыпқа келтіру (reshaping), 3R-2R ресинхрондау процесі (retiming). Салыстырмалы түрде аз қашықтыққа 2R қызметі бар транспондерді пайдалану жеткілікті.

DWDM технологиясы жалпы жағдайда бір не одан көп лазерлі таратқыш, мультиплексор, бір немесе бірнеше EDFA күшейткіш, енгізу/шығару мультиплексоры, оптикалы талшық, демультиплексор және фотоқабылдағыштың сәйкес мөлшері және қолданылатын байланыс протоколына сәйкес таратылатын мәліметті, желілік басқару жүйесін өңдейтін электронды құрылғыдан тұрады.

Берілген технология талшықтық-оптикалық арнаның және байланыс желісінің тасымалдау қабілетін мың есе өсіруге мүмкіндік жасайды. Олардың уақыт бойынша тығыздау (TDM) технологиясымен бірге пайдалануы бір

оптикалы талшық бойымен мәліметтерді терабиттік жылдамдыққа тасымалдауға жеткізеді.

DWDM алдындағы технологиялар толқын ұзындығымен бөлінумен оптикалы мультиплекстеу (WDM) – оптикалы тығыздаудың жаңа технологиясы болып табылады, 1970-1980 ж.ж. өңделген. Өткізу қабілеті артуының шектелмеген мүмкіндігі бар иілгіш тармақталған оптикалы желіні құратын перспективті технологиялар WDM (WavelengthDivisionMultiplexing) толқынды мультиплекстеу технологиялары болып есептеледі. WDM технологияларының мәні – оптикалы талшықтың мүмкіндігін тиімді пайдалануға мүмкіндік жасайтын, бір оптикалы талшық бойымен бір кезде әртүрлі толқын ұзындығындағы бірнеше мәліметтік канал тарата алады. WDM технологиялары жаңа кәбелдерді жүргізусіз және талшыққа жаңа қондырғыларды орнатусыз талшықтық-оптикалық байланыс жолының өткізу қабілеттілігін өсіруге мүмкіндік жасайды. Бірнеше арнамен жұмыс жасаған анағұрлым ыңғайлы болып келеді, өйткені талшықта арнаның кез келген санын өңдеу үшін тек қана бір WDM мультиплексор, 1 WDM демультимплексор және қашықтыққа байланысты оптикалы күшейткіш керек. WDM алғашқы жүйесі 1330, 1550 нм 2 арнадан тұрды. Кейін, 1550 нм терезеде арналар арасындағы қашықтық 8-10 нм төрт арналы жүйе пайда болды. Өндірушінің және де WDM компонентті жетілдірушінің біріншілікке таласы соңында, DWDM (DenseWDM) тығыз толқынды мультиплекстеу технологияларын өңдеуге 8, 16, 32, 64 арналары бар жүйенің пайда болуына келіп соғады. Қазіргі уақытта арналардың арасындағы стандартты арақашықтық 0,8 нм болып саналады. 192 каналды коммерциялық жүйе де бар.

Экономикалық жағынан онда жергілікті желіде WDM сәйкес құрылғылар жоғарғы бағамен шектеледі, соның ішінде тасымалдайтын құрылғылар және трафикті коммутациялау күрделілігі. Зерттеудің көрсетуіне сәйкес WDM негізінде шешімдер төмен масштабты желіде де экономикалық жағынан оңтайлы бола алады. Сол үшін тіректі және жергілікті желілер түйіндесетін жерде орналастырылатын арзан кіріс /шығыс мультиплексорды пайдалану керек.

WDM технологияларын пайдаланғанда бір талшықтың бойымен әр түрлі толқын ұзындығында бір кезде түрлі қосымшаны таратуға болады: кабелдік телефония, теледидар, Интернет трафигі, оптикалы кабелде керек талшықтың бойымен бейнені қор ретінде қолдануға болады. Болашақта талшықтың құны жаңа технологияның пайдалануымен азайса да, талшықтық-оптикалық инфрақұрылым әр кезде қымбат болады. Оны тиімді пайдалану үшін оптикалы кабелдің ауыстыруынсыз ұзақ мерзімге желінің өту қабілетін өсіру, көрсетілетін

қызмет құрамын өзгертуді керек етеді. WDM технологиялары осындай мүмкіндікке ие.

WDM технологиялары негізінде кең өту жолағын керек ететін алыс қашықтықағы байланыс жолында пайдаланады, қалалық және аймақты масштабты желілер және кабелдің теледидар жүйесі WDM технологиялары үшін үлкен нарық болып есептелінеді. Жатқан кабелді тиімді қолдану қажеттілігі бір талшық арқылы таралатын арналар санын негізгі түрде артуына және олардың арасында қашықтықтың азаюына алып келді. Қазіргі уақытта арналардың арасында (0,8 нм) 100 ГГц немесе одан аз жиілікті интервал бар жүйе DWDM тығыз толқынды мультиплекстеу жүйелерін атайды. Теория бойынша толқынның ұзындығының әрбір диапазонында жіберуге болады, алайда WDM жүйесінде пайдалану үшін практикалы шектеу толқынның ұзындығы 1500 нанометр шамасында тар диапазон болып отыр. Алайда осы диапазонда ақпарат таратуға үлкен мүмкіндіктер жасайды.

DWDM технологиялары әр түрлі трафиктерді таратуды біріктіреді. DWDM құрылғысын қолдану барша деңгейдегі байланыстар желілерінің дамуымен кеңеюде. DWDM технологияларын іске асыруға аппаратураның жоғары баға факторы өте маңызды болады. Жақын жиілікті қолданғанда сәуле шығарудың жоғары тұрақтылықты толқынның ұзындығы бар тар жолақты шалаөткізгішті лазерді керек етеді, бұл DWDM жүйелерінің ең қымбат және де оның таралуын анықтайтын элементі болып табылады. Бірақ, айтылған кемшілік DWDM технологиясының маңыздылығын жоймайды.

DWDM технологияларының артықшылығы:

- Әр түрлі өндірушінің құрылғысынан OTN OTU-1/2/3, SDH STM-1/4/16/64/256, Ethernet хаттамаланың ашық таратылуы;
- Барлық спектральды арнаның бір мезгілде күшейтілуі;
- Көп арнаны тарату кезіндегі желінің жоғарғы сыйымдылығы;
- Жіберудің жоғары жылдамдығы және оптикалы талшық;
- Сақиналық топология 100% қауіпсіздікті қамтамасыз етуі және оптикалы магистраль каналдарын қарапайым түрде көбейтуі;
- Жаңа каналдарды енгізу негізінде жылдам апгрейд, мульти қызметтілік.

Соңғы кезде DWDM құрылғы алыс қашықтықта байланыс операторлары жоғары жылдамдықты тасу желілерін құруға жоғары жылдамдықта жіберу және

түрлі протоколды пайдалану мұқтажы бар көп санды қолданушылар қолдана алатын «сақина» немесе «нүкте-нүкте» топологиясы, қуатты қалалы тасымалдау магистраль негізінде пайдаланады. 100G DWDM жүргізілген сынақтың нәтижесі қолданыста талшықтық-оптикалық инфрақұрылымның жоғарғы жылдамдықта жұмыс жасау мүмкіндігін растады.

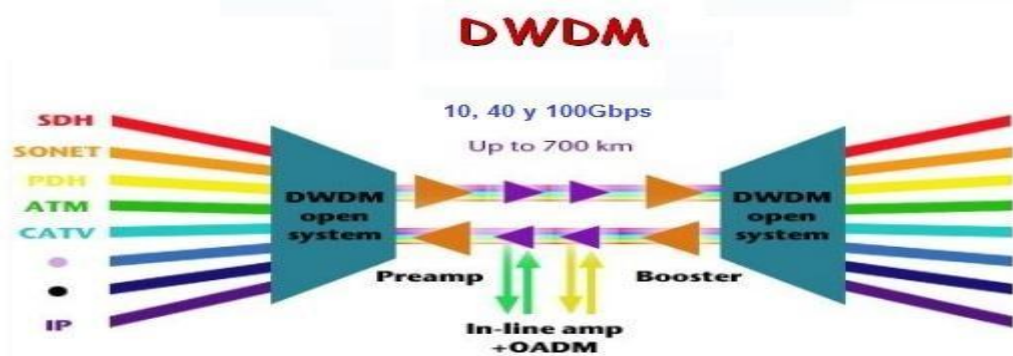
Оптикалы мультиплексор бірнеше толқынның ұзындығын бір ортақ сигналға біріктіруге және де ортақ дабылдан әртүрлі ұзындықтағы толқынды бөліп алу операциясын жүзеге асырады. Толқынды бөліп алу үшін мультиплексорде әртүрлі оптикалық механизмдер пайдалануы мүмкін. Аз толқынды, мысалы 16 немесе 32 қолдайтын мультиплексорде жұқа қабықшалы сүзгілер пайдаланады. Олар көп қабықшалы жабындар ретінде 30-45° қиылған оптикалы талшықтың кесілген бөлік пайдаланатын пластиналардан құрылады.

DWDM мультиплексорында интегралды түрде дифракциялы фазалық тор не дифракциялық құрылым (ArrayedWaveguideGrating, AWG) пайдаланады. Пластинаның қызметін оптикалық толқынды таратқыш немесе талшық атқарады.

DWDM мультиплексорына (WDM айырмашылығы) өзіне тән 2 ерекшелігі бар:

- тек бір EDFA күшейту аймағы (1530-1560нм) шегінде мөлдір терезені 1550 нм қолданады;
- мультиплексті каналдар арасында $\Delta\lambda$ минимал қашықтық 3,2 / 1,6 / 0,8 не 0,4 нм.

Енгізу-шығару оптикалы мультиплексоры (OpticalAdd-DropMultiplexer, OADM) ортақ оптикалы сигналдан таратылатын сигнал спектрі өзгермейтіндей белігілі ұзындықта толқындарды шығарып және де онда толқынның ұзындығы сигналды енгізе алады. OADM толқынды енгізу-шығару операциясын оптикалы құралдармен немесе аралық электрлі пішінге түрлендірумен орындай алады. OADM мультиплексорының пайдалануы 2.9-суретте көрсетілген.



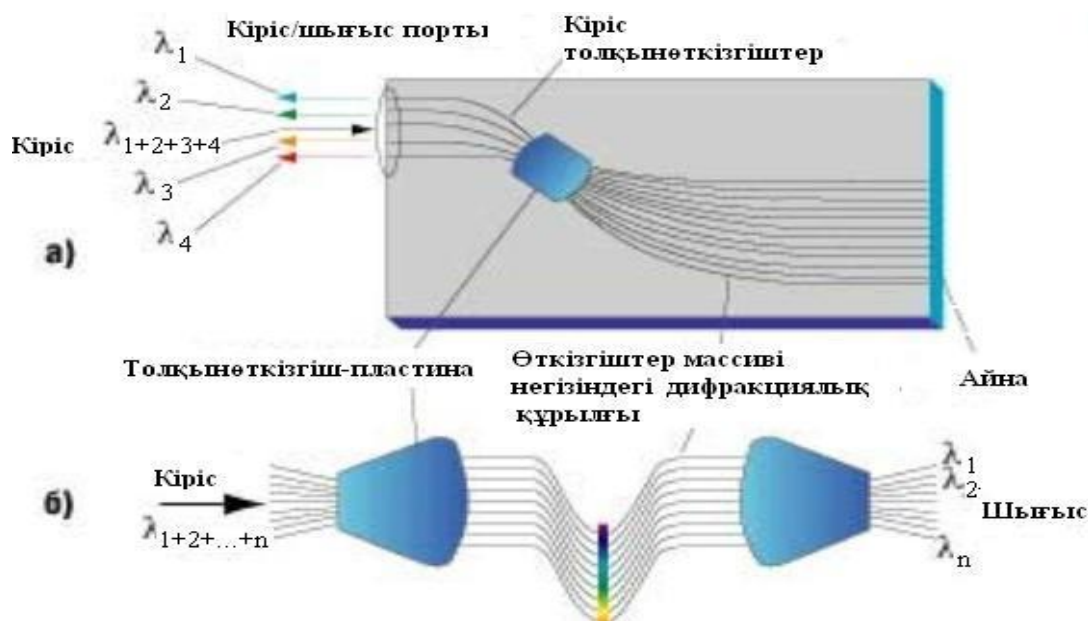
Сурет 2.15 - Қосылу/бөліну мүмкіндігі бар DWDM жүйесінің сұлбасы

DWDM мультиплексоры 32 және де одан көп арналардың жұмысына арналған болғандықтан, бір мезгілде барлық каналдар мультиплексорленетін (демультиплексорленетін) DWDM қондырғысымен бірге оның қатарында WDM жүйесіде аналогы жоқ және басқа арнаның көптеген мөлшерімен көрсетілетін маңызды мультиплексті каналға бір не бірнеше каналды шығару режимінде жұмыс жасайтын жаңа қондырғылар қолданылады. Демумплексордың шығыс порты белгілі толқынның ұзындықтарымен бекітілді, осындай қондырғылар толқынның ұзындығы бойынша пассивтік бағыттауды іске асыруы мүмкін. Тағы мультиплексорды қарастырсақ, ол SMA-16. SMA-16 өзінің өткізу жолағының кең болуымен ерекшелінеді. SMA-16 соңғы мультиплексор және де кросс-коммутатор түрінде қарастыруға болады. Мұндай аппаратура қазіргі заманның талабына сәйкес резервті механизмнің қабілетіне ие, таңдап алынған топологияға сай жоғары сенім параметрлерін қамтамасыздандырады. Арна арасындағы қашықтығы аз, бір уақытта бірнеше арналармен жұмыс жасау керек болғандықтан, DWDM мультиплексорын істеу кезінде WDM мультиплексорына қарағанда жоғары дәлдікті талап етеді. Сондай-ақ DWDM қондырғысы полюсындағы алыс (оқшаулау) және жақын (бағытталу коэффициенті) өтпелі бөгеуілдер бойынша жоғарғы сипаттаманы қамтамасыз етудің маңызы бар. Осылардың барлығы WDM қарағанда DWDM қондырғысының қымбат болуына әкеп соғады.

DWDM айналы шағылдыру элементі бар мультиплексорының типті сұлбасы 2.10a-суретте көрсетілген. Оның жұмысын демультиплекстеу режимінде қарастырамыз. Түскен мультиплексті сигнал кіріс портқа келеді. Содан кейін бұл сигнал толқын өткізгіш-пластинадан өтіп, дифракциялы AWG құрылғылардан тұратын толқын өткізгіштермен таратылады. Әрбір толқын өткізгішінде сигнал мультиплексті болып келеді, әрбір $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_N$ канал барлық

толқынды өткізгіштерінде осылай қалады. Ары сигналдардың айна жазықтығына шағылысуы іске асады және ақырында жарық ағыны қайтадан фокусталу іске асатын толқындар өткізгіш-пластинаға жиналады, әртүрлі арнаға сай интенсивтіліктің интерференциялы максимумдарын кеңістік бойынша таралуының интерференциясы пайда болады. Толқын өткізгіш-пластиналар геометриясы, дәлірек айтқанда AWG толқын өткізгішінің шығыс полюсы мен ұзындығы интерференциялы максимум шығыс полюсымен сай болатындай етіп саналады. Мультиплекстеу кері жолмен жүзеге асады.

Мультиплексорларды құрудың басқа тәсілі бір жұп толқын өткізгіш-пластинаға негізделді (2.16б сурет). Осындай құрылғының жұмыс жасау принципі алдыңғы жағдайға ұқсас, айырмашылығы- фокустау мен интерференцияға қосымша пластинаның қолданылуы.



- а) шағылыстырғыш элемент бар мультиплексордың сұлбасы;
- б) екі толқын өткізгіш пластиналары бар мультиплексордың сұлбасы;

Сурет 2.16 - DWDM мультиплексордың сұлбасы

AWG интегралды торы (фазар) DWDM мультиплексорының маңызды элементіне айналды. Жақсы масштабтаған және мыңдаған спектрлі арнасы бар жүйеде сәтті жұмыс жасай алатындықтан олар негізі жарықтық сигналды толық демультиплекстеу үшін пайдаланады. DWDM мультиплексоры таза пассивті элемент болып, сигналға үлкен өшулік енгізеді. Жоғалу шамасы артқан кезде

DWDM мультиплексорларының алдына және/немесе артқа оптикалық күшейткішті қою қажеттілігі туындайды.

3 Арналардың спектрлі тығыздалуымен ТОТЖ бөгеуілден қорғаныстығын зерттеу

3.1 ТОТЖ бөгеуілге қорғаныстығын жоғарылататын оптикалы құрылғыларды дайындау

Жезқазған қаласының қазіргі кездегі жайдайы. Қала 1954 жылы құралды. Қала аумағы 1,8 мың шаршы километрге тең. Қала халқының саны 2017 жылғы 1 қаңтарда 97,3 мың адамды құрады. Жезқазған қаласы байырғы Сарыарқа жерінде орналасқан, негізгі аумағы кең байтақ, көз жетпес даланы құрайтын шексіз жазықтық пен алқаптардан тұрады. Сол себептен, Сарыарқа ерте заманнан бері көптеген халықтар арасында Ұлы дала деген атқа ие болған. Ал телефондық байланысы мыс сымды кәбіл арқылы байланысқан.

Осы мыс сым орнына талшықты-оптикалық кәбіл салу арқылы ғаламтор желісін қосып, жылдамдықты жақсартуға әбден болады.

Берілетін ақпарат көлемін арттыру мен ОТ кең жолағын толық қолдану үшін соңғы кездері каналдардың спектрлі тығыздалуы (WDM, WavelengthDivisionMultiplexing) пайдаланады. Мәліметтер толқынның әр түрлі ұзындығына берілетін, оптикалы тасымалдаушының көмегімен 1 ОТ бойынша таралады. Осындай ТОбЖ қосындыланған таралу жылдамдығын бүгінгі таңда бөлек арнаның таралу жылдамдығы 10 Гбит/с дейін және тұнықтылықтың терезесінде ОТ өткізгіш жолағымен шектелгенде 1 ТБит/с қол жеткізуге болады. Мұндай таралу жүйенің құндылығына барлық көпарналы сигналдарды күшейтуге бір талшықты-оптикалық күшейткішті пайдалану, көпарналы сигналдарды тарату кезінде бір оптикалы талшықты қолдану мүмкіндігі жатады;

осы технология қолжетімді желілерін тұрғызғанда өте ыңғайлы – мұның барлығы спектр бойынша тығыздалу технологияларын пайдалануды экономикалық тиімді етеді. Қабылдағыш жақта жарық ағындардың бөлінуінде байланыс сапасы төмендеуі маңызды мәселе болып есептеледі. Жарық ағындардың бірігу/бөлінуіне оптикалы мультиплексор/демультиплексор пайдаланады, оптикалық фильтрлер олардың маңызды элементтері болып есептелінеді.

Оптикалық фильтрлер ТОВЖ негізгі құрауышы болып есептеледі. Бұл спектрлі тығыздалу технологиясын күшейтуге және ШОҚ күшейген кенеттен болатын эмиссияны шектеуге оптикалы жолақты сүзгіні пайдалануға негізделген (2 бөлімде ШОҚ әр түрлі қосылу сұлбасы үшін қабылдағыш құрылғысының сезгіш шегі көзқарасынан Afonx /Aфэл қатынасы қажеттіліктері зерттелінді). АГопт / Afэл азаюы сигнал/бөгеуіл қатынасын жоғарылататыны анықталды және сигнал/бөгеуіл қатынасының азаюы болмайтын кезде электрлі жолаққа (сигналдардың таралу жылдамдығы) қатынас бойынша ОПФ ең жоғары өткізу жолағы табылды. Сонымен бірге, оптикалы режекторлы фильтрлер толтыру сигналдарын басуға, толтыру сигналдарының қуатын бақылауға қолданылуы мүмкін.

Оптикалы арналардың бөлінуіне сапалы құрылғылар құру мәселесі негізгі және толық зерттелмеген болып есептеледі, сонымен бірге, әзірге тұрақталған схемалы техникалық шешім жоқ, оптикалық фильрлердің қолайлы құрылымы табылмаған. Бұл тарау каналдардың спектрі тығыздалған ТОТЖ бөгеуілге қорғаныстығын: оптикалы мультиплексордың /демультиплексордың сұлбасын және де оптикалық фильрді дайындауды, осы құрылғыға арнааралық бөгеуілдерді зерттеуді, оптикалы сүзгіні синтездеу, импульстың формасын түзету құрылғысын (дисперсия компенсаторы), эрбийлік ШОҚ күшейту сипаттамасы спектрлі түзетілуді зерттеуге арналған.

Оптикалық фильтрлер режекторлы фильтрлер жағдайында өткізу жолағында (кескіндеу) ең жоғары өткізулерге, өткізбейтін жолақта (-30,-20 дБ) шеткі желекте ең аз мүмкін болатын деңгейге ие болды. ОТ түйіскенде және сыртқы әсердің салдарының шығыны (механикалық жылжу, температураның ауытқуы) аз болуы тиіс; бұл талапқа ОТ тікелей дайын құрылғылар және интегралды технология арқылы орындалған құрылғылар қанағаттандырды.

Бұд жағдайлар қатарында орталық жиіліктерді ыңғайлау не фильтрлеу жолағын қайтадан құру мүмкіндігі болатын құрылғыға ие болу қажет.

Маха-Цендер (МЦ) интерферометрлер негізіндегі фильтрлер – МахаЦендер интерферометрінде 2 когерентті жарық диодтардың интерференциялы өзара қатынасын қолданады. МЦ фильтрі периодты спектрлік сипаттамаға ие. Өткізудің жолағы (ӨЖ) интерферометрлер иінінде толқын таралуының оптикалық айрмашылығына сәйкес болады. Мұндай фильтрдің оптикалық өткізгіштік жолағымен электрлік басқаруға болады: егерде мұндай фильтрді электр оптикалы кристаллдың төсемінде дайындаса, пайдаланған кернеуден сыну көрсеткіштерінің тәуелділігі қолданылады.

Толқын каналдарының негізінде байланысқан фильтрлер [9-10] толқын каналының қасында орналасқан модо ішілік өзара қатынас әсерін қолданады. Қабықшада таралған «ұшы» әсерінен бір толқын каналында таралатын мод көрші ЭМТ қоздырады және 1-ші және 2-ші толқын арнасында модтардың тұрақты таралуының теңдігі кезінде бірінші толқындар арнасынан басқасына энергияның толықтай қайта келуі, ол мод байланыстарының шағын коэффициенті болғанда да болады. Өзара қатынас параметрі фильтрдің спектрлі сипаттамалары толқын каналдары арасындағы қашықтықпен модо байланыстар коэффициенті және оның 2ден тәуелділігі арқылы анықталады.

ДР негізіндегі фильтрлар модолар өзара қатынастарының әсерін қолданады. Тек осы кезде ғана толқынның әртекті құрылымынан тура және де кескінделу арасындағы энергиямен алмасу процесі болады. Егерде түсетін толқындар үшін Брэгг шарты орындалса, онда толқынның осы ұзындығында сигнал кескіні болады. Кескіндеу жолағы шеткі желек деңгейі құрылғының ұзындығы (ДР штрихтер саны) мод байланысының коэффициенттеріне байланысты және де оның ДР тәуелділігі ОТ өзегінің сыну көрсеткіші периодтық түрде өзгеру әсерінде болатын, УФ лазерінің көмегімен оптикалы талшықта тура пайда болады. Сызықтық-өзгертін периодтармен (СӨП) брэггтық ДР базасында ОТ 2-ретті дисперсияның өтемақысының құралын құруы мүмкін. ДР-ның периодты квадратты өзгерісі арқылы үшінші ретті дисперсияларды өтей алады. Ширек толқынды жылжуы бар ДР базасында тығыз (0.1-0.2 нм) өткізгіштік жолақта жұмыс жасайтын, оптикалық фильтр алуға болады [12].

Ұзақпериодтық ДР, ұқсас технологиялар бойынша әзірленген, кескіндеудің үлкен жолақтарына ие. Олар өзектің маңызды модоның, қабықшаның 1 модының резонанстық өзара әсерін қолданады. Ұзақ периодты ДР технологиялық және де дайындалуы қарапайым болып келеді; олар ШОҚ күшейткіш спектрін теңестіруге пайдаланылуы мүмкін.

3.2 Бірмодты оптикалық талшықтарда ЭМТ таралуы

Оптикалы талшықта (ОТ) ЭМТ таралуы Максвелл теңдеуімен сипатталады.

Әр мод үшін талшықтағы қуаттық тығыздықтың таралуын ОТ көлденең жазықтық бойында көлденең өріс үшін $E \cdot H$ Пойнтин векторын есептеу жолы арқылы модолық анализді қарапайым табуға мүмкіндік береді. Сонымен бірге өзекше-қабықшасының бетінен өтетін толқындардың сол қашықтығын табу мүмкін болады. Қимамен интеграциялап, қабықшаға және өзекшеге ауыстырылатын модтың толық қуаттың сол бөлігін анықтауға болады. НЕЦ ДОЛЯ моды үшін қабықшада жіберілетін қуат ($V=2$) жалпы қуаттың мөлшермен 36 % -ын құрайды.

3.3 Фабри – Пероның өтпелі резонаторының негізіндегі оптикалық сүзгілер

Бір бірінің ашықтығында орналасқан, екі жартылай мөлдір айналар ФабриПеро (ФП) резонаторын құрайды. Бұл құрылым, айналар арасында кері өту уақытына осы толқынның жиілігі қысқа болған жағдайда, түсетін толқын үшін максималды өткізілімге ие болады. Осылайша, ФП резонаторы жолақты сүзгі ретінде, белгілі сипаттық жиіліктерде болатын өткізу шыңдарында пайдаланылады.

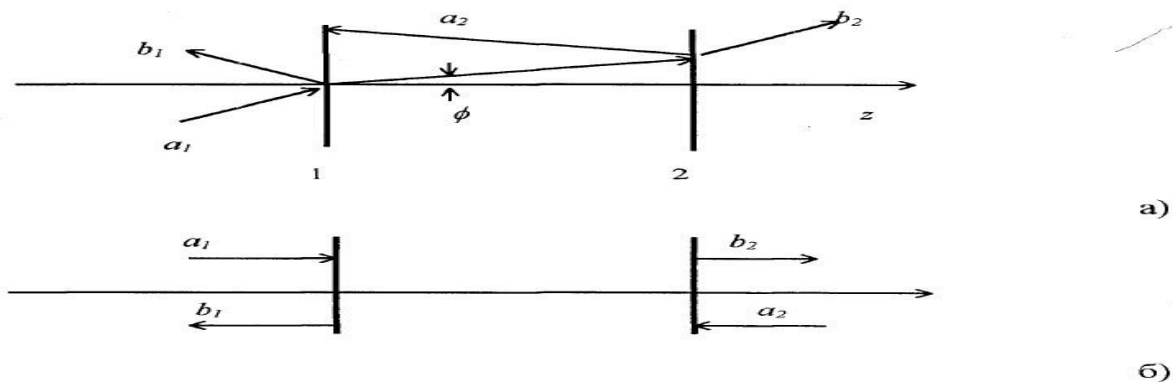
ФП резонаторын сипаттау кезінде, қабатты оптикалық орта арқылы болатын, тығыз толқындар үшін шашырау матрицасының формализмі пайдаланылады. Түсетін және кескінделетін толқындардың амплитудасы мына қатынаспен байланысты (3.1-сурет):

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (3.1a)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (3.1б)$$

мұндағы a_1 , a_2 – түсетін толқынның амплитудасы, b_1 , b_2 – кескінделетін толқынның амплитудасы, δy – шашырау матрицасының элементі. Егер жүйеде шығындар болмаса, онда жүйедегі қуаттың толық келуі нөлге тең болуы керек:

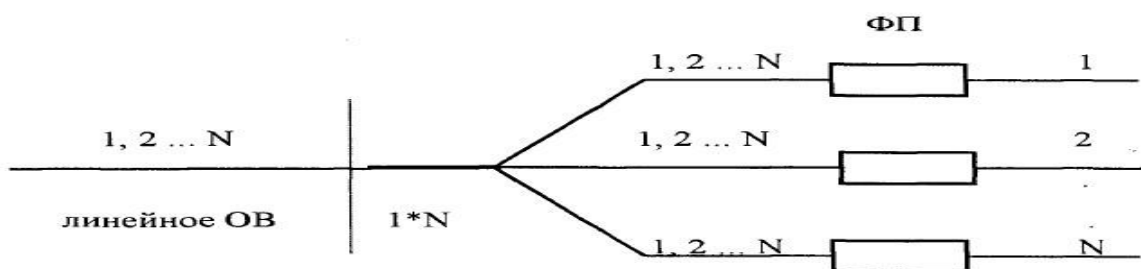
$$|a_2|^2 - |b_2|^2 + |a_1|^2 - |b_1|^2 = 0 \quad (3.2)$$



а) ФП резонаторында кескінделетін толқындар, б) түсетін және кескінделетін толқындармен жүйенің сұлбалық үлгісі

Сурет 3.1 – Толқындар сұлбасы

Демультимплексордың (ДМП) келесі сұлбасын ұсынамыз. ОТ шығысына, әрқайсысы «өзінің» оптикалық тасымалдаушыарына бапталған, ПС жолақты сүзгілері иіндеріне қосылған, $1 \times K$ бағытталған тармақтатқыш (БТ) қосылған (3.4 сурет). Көп арналы сигналдың бөлінісінен кейін, әрбір арнаның оптикалық сигналы, детектрлеу мен келесі өңделулер болатын, «өзінің» сурет қабылдайтын құрылғысына келіп түседі.



Сурет 3.2 - M-арналы оптикалық демультимплексордың сұлбасы

ПС сүзгісінің негізгі параметрлерінің есебі. ПС жолақты сүзгісіне және тармақтағышқа бағытталған 1×8 базасындағы 8 – арналы оптикалық демультплексорды зерттейміз. Бірінші арнаның оптикалық тасымалдауышының толқын ұзындығы - 1544 нм, сегізіншісінікі - 1558 нм, көрші арналардың оптикалық тасымалдауыштарының арасындағы айырмашылық 2 нм. Берілген ұзындықта сүзгінің өткізгіштік толқынының ұзындығы максималды болуы үшін, синус белгісінің астында тұрған өрнек (3.3) тең болуы керек: мұнда $t = 1, 2, 3 \dots k$. Бұл шартты қайта жазайық:

$$2 n l / \lambda_1 = m \quad (3.3)$$

Өткізгіштің максимумдары арасындағы қашықтың көп арналы сигналдың жолағынан (14 нм) көп болуы керек. Максимум өткізгіштер арасындағы қашықтық үшін өрнекті жазамыз (3.4);

$$\lambda_1 = 2 n l \Delta \lambda / \lambda_2 \quad (3.4)$$

Бұл өрнектен жазатынымыз:

$$\Delta \lambda = \lambda_1 \lambda_2 / 2 n l \quad (3.5)$$

(3.5) (3.6)ке қойып t табамыз.

$$m = \lambda_2 / \Delta \lambda \quad (3.6)$$

Егер алынған шама толық болмаса, онда t -ны жақын толық санған дейін жуықтаймыз және оны (3.7) қоямыз. Резонатордың ұзындығы тең болады:

$$l = m \lambda_1 / 2 n \quad (3.7)$$

Максимум өткізгіштер 18 нм арасындағы қашықтық үшін бөлінетін 1 арнаның (1544 нм) ПС сүзгі резонаторының ұзындығын есептейміз. Резонатор затының сыну көрсеткіші $n=3.5$

$$\lambda_2 = 1544 \text{ нм}, \quad \Delta \lambda = 18 \text{ нм}, \quad \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta \lambda = 1562 \text{ нм}$$

формуласынан t табамыз: $t = 86.77$, оны 87 дейін жуықтаймыз. (3.7)
формуласынан резонатор ұзындығын табамыз

$$l = 87 \cdot 1544 / (2 \cdot 3.5) = 19189.7 \text{ нм.}$$

Кәбілде қолданылатын конструктивті параметрлердің оптикалық талшығын анықтайық. ОКК-50-01-4 типті кәбілде шағылу қабықшасының диаметрі $= 125 \pm 3$ мкм және жүрекше диаметрі $= 50 \pm 3$ мкм градиентті оптикалық талшық қолданылады. Сигналдардың таралуы $\lambda = 1,3$ мкм толқын ұзындығында жүзеге асады.

Басында сыну коэффициентінің мәнін анықтаймыз n_1 . Ол үшін (3)-формуланы қолданамыз:

$$n_1 = \sqrt{\frac{n_2^2}{1 - 2\Delta}} = \sqrt{\frac{1,490^2}{1 - 2 \cdot 0,01}} = 1,505$$

ОКК-50-01-4 типті оптикалық кәбілдегі оптикалық талшықта таралатын модалар санын (6) – формула арқылы анықтаймыз:

$$N_1 = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 = \left(\frac{3,14 \cdot 25}{1,3} \sqrt{1,505^2 - 1,490^2} \right)^2 = 328 \text{ модалар саны}$$

Жүрекше диаметрі 0В шегінде модалар саны өзгересін анықтаймыз. Жүрекше диаметрі 50 ± 3 мкм аралығында өзгере алады. Сондықтан модалар санының минималды саны мынаған тең:

$$N_2 = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 = \left(\frac{3,14 \cdot (25 - 1,5)}{1,3} \sqrt{1,505^2 - 1,490^2} \right)^2 = 290 \text{ модалар саны}$$

модалар санының максималды саны мынаған тең:

$$N_3 = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 = \left(\frac{3,14 \cdot (25 + 1,5)}{1,3} \sqrt{1,505^2 - 1,490^2} \right)^2 = 368 \text{ модалар саны}$$

Сондықтан модалар саны 78-ге өзгереді.

$$N_1=328 \text{ мод, } N_2=290 \text{ мод, } N_3=368 \text{ мод, } \Delta N=78 \text{ мод.}$$

Оптикалық талшықтағы өзіндік шығындарды анықта, егер сигнал таратылуы үшінші терезеде емес, бірінші терезеде болса. Оптикалық талшықтың параметрі:

$$n_2=1.490, \Delta=0.01, \text{tg}\delta =10^{-11}.$$

Алдымен n_1 сыну коэффициентін анықтаймыз

$$n_1 = \sqrt{\frac{n_2^2}{1-2\Delta}} = \sqrt{\frac{1,490^2}{1-2 \cdot 0,01}} = 1,505 \quad \text{сыну коэффициенті}$$

1,55 мкм толқын ұзындығында жұмыс істейтін жұту энергиясын қарастырайық(үшінші терезе мөлдірлігінде) :

$$\alpha_{II} = 8,69 \frac{\pi n_1 \text{tg}\delta}{\lambda} = 8,69 \frac{3,14 \cdot 1,505 \cdot 10^{-11}}{1,55 \cdot 10^{-9}} = 0,26 \text{ дБ/км}$$

0,85 мкм толқын ұзындығында жұмыс істейтін жұту энергиясын қарастырайық(бірінші терезе мөлдірлігінде) :

$$\alpha_{II} = 8,69 \frac{\pi n_1 \text{tg}\delta}{\lambda} = 8,69 \frac{3,14 \cdot 1,505 \cdot 10^{-11}}{0,85 \cdot 10^{-9}} = 0,48 \text{ дБ/км}$$

Үшінші терезе мөлдірлігінде жұмыс істегенде шашылу энергиясы:

$$\alpha_p = \frac{K_p}{\lambda^4} = \frac{0,85}{1,55^4} = 0,14 \text{ дБ/км}$$

0,85 мкм толқын ұзындығында жұмыс істейтін шашылу энергиясын қарастырайық(бірінші терезе мөлдірлігінде) :

$$\alpha_p = \frac{K_p}{\lambda^4} = \frac{0,85}{0,85^4} = 1,53 \text{ дБ/км}$$

Оптикалық талшықтағы үшінші терезедегі өзіндік шығындарды анықтаймыз:

$$\alpha_c = \alpha_{II} + \alpha_p = 0,26 + 0,14 = 0,4 \text{ дБ/км.}$$

Оптикалық талшықтағы бірінші терезедегі өзіндік шығындарды анықтаймыз:

$$\alpha_c = \alpha_n + \alpha_p = 0,48 + 1,53 = 2,01 \text{ дБ/км.}$$

Осыған орай, егер сигналдың таратылуын үшінші терезе мөлдірлігінен бірінші терезе мөлдірлігіне өткенін байқасақ, өзіндік шығындардың 1,61 дБ/кмге ұлғайғанын көреміз.

Световодты трактағы өшулер өзіндік және қосымша шығындармен сипатталады. Олар деформация және иілулерден пайда болады.

Өзіндік шығындар шығын жұтылуы α_n мен шашылу шығындарымен α_p сипатталады.

$$\alpha_{\text{собр}} = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_{\text{пр}}.$$

Жұтылу шығындары материал тазалығы мен басқа қоспалардың қосылуына тәуелді.

Жұтылу әсерінен өшу диэлектрлік поляризацияға байланысты болады және сызықты өсіп, световодтың материалына байланысты. Ол мына формуламен анықталады:

$$\alpha_n = 8,69 \cdot \frac{n_1 \cdot \text{tg} \delta}{\lambda},$$

мұндағы n_1 – жүрекшенің сыну көрсеткіші;

λ – толқын ұзындығы, мкм;

$\text{tg} \delta$ – световодтың диэлектрлік шығындарының тангенсі (кварц үшін 10^{-10}).

Шашылу талшық световодтардың материалының біртексіздігінен, толқын ұзындығының аз өлшемінен обусловлено және жылу флуктуацияларынан пайда болады. Шашылудағы шығындарды мына формуламен анықтайды

$$\alpha_p = \frac{K_p}{\lambda^4},$$

мұндағы K_p – шашылу коэффициенті (кварц үшін $(0,8 \dots 1,5) \text{ дБ/км} \cdot \text{мкм}^4$);

λ – толқын ұзындығы, мкм.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бірінші тарауда бөгелуден қорғанушылық теңдігінің нашарлығы, алғаш математикалық аппараты есептеу үшін шегінің сезімталдығы ФПУ талданады.

Екінші тарауда ТОбЖ бөгелуден қорғанушылық талшықты-оптикалық күшейткіштері мен (ТОК) пайдалану кезінде негізгі қосу схемаларын пайдалану арқылы ТОК желілік трактісі анализденеді.

ТОбЖ сезімталдылығы үшін ТОК үш сұлбаларды арқылы есептеу әдістемесі қарастырылған.

Келесі нәтижелер көрсетеді:

1) Брэгговтық дифракция торлары негізінде ОТ жүрекшесінде қалыптасқан аналогты нәтижелер алынады;

2) Көрші арналардың оптикалық арналары мен спектрлік сызық көздерінің ені арасындағы сигнал/бөгеуіл қатынасы шағылысу көзін оптикалық демультимплексордың шығысына сезімталдығының әсері зерттелді;

3) Фильтр негізінде ТОК күшейткіш спектрді түзету оптикалық принципті сұлбасы ұсынылған. ОК қосылуынан кейін ТОК күшейткішінің әркелкілігі 1.53

- 1.56 мкм жолағында 1 - 2 дБ аспайды;

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Развитие сетей подвижной связи в мире: тенденции, перспективы// Сайттағы электронды нұсқасы <http://www.sotovik.ru>
- 2 Сотовая связь стандарта GSM// Сайттағы электронды нұсқасы <http://www.kunegin.narod.ru>
- 3 Закиров З.Г., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р. Сотовая связь стандарта GSM. – М.: Экотрендз, 2004
- 4 Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: ЭкоТредз Ко, 1997. – 238с.
- 5 Тихвинский В.О. Регулирование и экономика подвижной связи. – М.: Экотрендз, 2005
- 5 Карташевский В.Г. Сети подвижной связи. – М.: М.: Экотрендз, 2004
- 6 Ericsson GSM system survey / Ericsson; - Оpubл. 08.08.2003
- 7 GSM Fundamental/Huawei Training material - Оpubл. 04.02.2001
- 8 Бабков В.Ю. Вознюк М.А Системы мобильной связи. Санкт-Петербург, 1999
- 9 Модели методы расчета абонентской нагрузки в сотовых сетях.// Сайттағы электронды нұсқасы <http://members.tripod.com/telecom project/nagr.htm>
- 10 Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П, Харкевич А.Д. Теория телетрафика. – М.: РиС, 1996
- 11 Многоканальная электросвязь и РРЛ: Учебник / Под ред. Н.Н. Бaeвой. – М.: Радио и связь, 1988. – 312 с.
- 12 Мордухович Л.Г. Радиорелейные линии связи. –М.:РиС, 1989 - 169 с.
- 13 Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник / Под ред. Н.И. Баклашова, Н.Ж. Китаева, Б.Д. Терехов. – М.: Радио и связь, 1999. – 288 с.
- 14 Расчет зануления: Методическое указание к выполнению дипломного проекта / Т.С. Санатова. □ Алма-Ата: РУМК, 1991. □ с.
- 15 Хакиmjанов Т.Е. Безопасность жизнедеятельности. Расчет аспирационных систем. Дипломное проектирование. – Алматы, 2002

- 16 Охрана труда: Учебник / Под ред. Б.А. Князевский. – М.: Высшая школа, 1992. – 311 с.
- 17 Экономика связи: Учебник для вузов/О.С. Срапионов, М.А Горелик, В.И. Холодарь и др ; Под ред. Срапионова – М.:Радио и связь, 1992.-320 с.
- 18 Основы экономики и телекоммуникаций (связи) /Под ред. Горелик М.А. и Голубинкой Е.А. -М.: Радио и связь, 1997.
- 19 Волков О. М. Пожарная безопасность вычислительных центров. – М.: Стройиздат, 1990. – 416 с.
- 20 Телекоммуникациядағы талшықты-оптикалық жүйелер. Тәжірибелік сабақтарға арналған әдістемелік нұсқауық. – Алматы, 2013.
- 21 Қазіргі заманғы радиобайланыстық жүйелер. Куттыбаева А.Е. Алматы, 2015.
- 22.Талшықты-оптикалық байланыс жүйелері. Нурманов М.Ш., Куттыбаева А.Е. Алматы, 2016..

Дипломдық жұмысқа
РЕЦЕНЗИЯ

Оспанов Нұржан

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу
тиімділіктерін арттыру»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 12 парақ;
б) түсініктеме 52 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Дипломдық жұмыстың негізгі міндеттері жоғарыжылдамдықты цифрлық талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің бөгеуіл тұрақтылығын көтеру әдістерін зерттеу болып табылады. Сезімталдылық шегін төмендететін факторлары, ФПУ шуыл тоғы, талшықты-оптикалық күшейткіштерді пайдалану кезінде ОПУ сезімталдылық деңгейі, таратуда қуат күшейткіші негізінде пайдаланылатын талшықты-оптикалық күшейткіштер пайдалану факторлары келтірілген.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

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

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

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

Сын - пікір беруші

Пікір беруші

 Б.С.Байкенов
тех.ғыл. канд.,
АУЭС ТКС каф. меңгерушісі
2019 ж.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Дипломдық жоба

Оспанов Нұржан

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу тиімділіктерін арттыру».

Бұл бітіру жұмысында Жезқазған қаласында талшықты - оптикалық байланыс желісін өңдеу мәселелері қарастырылған. Тарату жүйелері және оптикалық кабель жабдықтарының таңдауы, оптикалық кабель мен тарату жүйелері параметрлерінің есептері жасалған.

Желінің таралу аймағы талданған.

Дипломдық жобада қарастырылған мәселелер өте орынды.

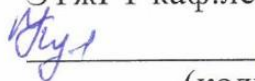
Экономикалық бөлімінде осы жолға кеткен қаражат мөлшері, адам саны, тартылатын арналар саны есептелген.

Еңбек қорғау және қауіпсіздік шаралары ұйымдастырылып, өртке қарсы ұсыныстар жасалған.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Дипломант Оспанов Нұржан алдына қойған инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті. Сонымен қоса, дипломдық жоба стандартқа сай жасалған. Студент Оспанов Нұржан диплом алдын-ала қорғауға жіберілді.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф.лекторы

 Байкенова Г.М.
(қолы)

«24» 04 2019 ж.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ШІКІРІ**

Дипломдық жоба

Оспанов Нұржан

5B071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар

Тақырыбы: «Жезқазған қаласында оптикалық-талшықтық кәбіл салу тиімділіктерін арттыру».

Бұл бітіру жұмысында Дипломдық жұмыстың негізгі міндеттері жоғарыжылдамдықты цифрлық талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің бөгеуіл тұрақтылығын көтеру әдістерін зерттеу болып табылады. Таратуда қуат күшейткіші негізінде пайдаланылатын талшықты-оптикалық күшейткіштер пайдалану факторлары келтірілген.

Желінің таралу аймағы талданған.

Дипломдық жобада қарастырылған мәселелер өте орынды.

Экономикалық бөлімінде осы жолға кеткен қаражат мөлшері, адам саны, тартылатын арналар саны есептелген.

Еңбек қорғау және қауіпсіздік шаралары ұйымдастырылып, өртке қарсы ұсыныстар жасалған.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Дипломант Оспанов Нұржан алдына қойған инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті. Сонымен қоса, дипломдық жоба стандартқа сай жасалған. Жалпы дипломдық жобаны «85» бағалап, студент Оспанов Нұржанды 5B071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай деп бағалаймын.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф.лекторы,

М.Т.Н.

 Байкенова Г.М.
(ҚОЛЫ)

«24» 04 2019 ж.