

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Искакова Асем Жастилековна

Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелер

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201– Телекоммуникациялар мамандығы

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. кандидаты

Г. Гаиптай

«05» 05 2023 ж.



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелер»

6B06201 – Телекоммуникациялар мамандығы

Орындаған:

Искаова

А.Искаова

Рецензент

“Корпорация Сайман”
ЖШС өндіріс бойынша
директордың орынбасары
Ә.Алиев

«05» 05 2023 ж.



Ғылыми жетекші

техн. ғыл. маг.-ы,
аға оқытушы

С.Е.Ибекеев

«05» 05 2023 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 – Телекоммуникация



**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Искакова Асем Жастилековна*

Тақырыбы «Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелер»

Университет ректорының «23» қараша 2022 ж. № 408П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «25» мамыр 2023 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- а) солитондық тарату жылдамдығы 2,56 Тбит/сек;
- б) лазер сәулелену көзі жиілігі 10 ГГц;
- в) электрлік регенерациясыз тарату ара қашықтығы – 4000 км;
- г) жүрекше тиімді ауданы – 25 мкм²; толқын ұзындығы – 1550 нм;
- д) солитонды импульс ұзақтығы 2,7-3,0 пс.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Солитонды талшықты-оптикалық жүйелерін талдау;
- б) Солитонды талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің сызбасы;
- в) Солитонды талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің басты параметрлерін есептеу.

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Сызба материалдары 10-12 слайдта көрсетілген.

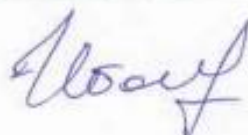

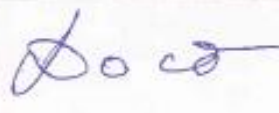
Ұсынылатын негізгі әдебиет 16 атау

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелерді талдау;	1.02.2023 - 21.02.2023	Есеп беру - 10 бет
Жабдықты таңдау және солитонды құрастыру схемалары;	21.02.2023 - 01.03.2023	Есеп беру - 10 бет
Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің негізгі параметрлерін есептеу.	01.03.2023 - 14.05.2023	Есеп беру - 10 бет

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

қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, техн.ғы.магистры Ибекеев С.Е.	25.05.	
Теориялық ақпарат	ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, техн.ғы.магистры Ибекеев С.Е.	25.05.	
Норма бақылау	ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы Досбаев Ж.М.	25.05	

Ғылыми жетекшісі

(қолы)

С.Е.Ибекеев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

А.Искакова

Күні

“25” 05

2023 ж.

АНДАТПА

Бұл жұмыста солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелері талданған. Оптикалық солитондардың негізгі түсініктеріне, солитонды беру оптикалық жүйелеріне аналитикалық шолу жасалды.

Жабдықты таңдау және солитонды құрастыру схемалары, солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері, Раман күшейткіші бар солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері, эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық тарату жүйелері көрсетілді.

Уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулелену есептелді.

АННОТАЦИЯ

В этой работе проанализированы волоконно-оптические системы с солитонной передачей. Проведен аналитический обзор основных понятий оптических солитонов, оптических систем передачи солитонов.

Были показаны схемы выбора оборудования и сборки солитона, системы передачи солитонного волокна, системы передачи Солитонного волокна с Рамановским усилителем, системы распределения солитонного волокна с оптическим усилением на основе эрбия.

Расчитано дисперсионное волновое излучение с временными солитонами.

ANNOTATION

In this work, fiber-optic systems with soliton transmission were analyzed. An analytical review of the basic concepts of optical solitons, soliton transmission optical systems is carried out.

Equipment selection and soliton Assembly schemes, soliton fiber optic transmission systems, soliton fiber optic transmission systems with Raman amplifier, soliton fiber optic transmission systems with erbium-based optically amplified soliton fiber optic transmission systems were demonstrated.

Dispersion wave radiation with temporary solitons was calculated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	
1 Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелерді талдау	8
1.1 Оптикалық солитондардың негізгі түсініктері	8
1.2 Солитонды беру оптикалық жүйелеріне аналитикалық шолу	9
1.3 Тәжірибелік солитондық байланыс желілер	19
1.4 Тапсырманың қойылымы	22
2 Жабдықты таңдау және солитонды құрастыру схемалары ЖТҚС	24
2.1 Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері	24
2.2 Раман күшейткіші бар солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері	25
2.3 Эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық тарату жүйелері	27
2.4 Эрбий негізіндегі оптикалық күшейтумен солитонды ТОБЖ желісін таңдау негіздемесі	30
2.5 Оптикалық Раман күшейткішімен солитонды ТОБЖ таңдау негіздемесі	33
2.6 Солитонды ТОБЖ жабдықтарын таңдау	35
3 Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің негізгі параметрлерін есептеу	38
3.1 Негізгі параметрлерді есептеу мәселесін қою	38
3.2 Уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулеленуді талдау	38
3.3 Уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулеленуді есептеу	40
Қорытынды	47
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	48

КІРІСПЕ

Зерттеудің мақсаты жоғары биттік жылдамдықпен жоғары жиілікті сигнал беруді және аз шығынмен және кедергісіз ұзақ қашықтыққа деректердің үлкен өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ететін солитонды талшықты-оптикалық жүйені дамыту.

Жұмыстың міндеті эрбиймен легирленген оптикалық күшейткіштер мен раман күшейткіштерінің схемаларын құру, содан кейін жабдықты таңдау және солитонды оптикалық беру жүйелерінің негізгі параметрлерін есептеу арқылы бағалау мақсатында солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелерге талдау жүргізу.

Жаңалық оптикалық солитондардың перспективалық теориясы негізінде зерттеудің жаңа әдістемесін және практикалық және қоғамдық мүдделерге әсер ететін және қазіргі заманғы талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін зерттеуде белсенді ғылыми қызметтің жаңа бағыттарын ашатын сызықтық емес дифференциалдық тендеулердің математикалық тұжырымдамасын қолдану.

Жұмыстың өзектілігі әлі толық зерттелмеген солитондардың табиғатын түсіну мүмкіндігі бар.

Бүгінгі күні солитон тасымалдаушылары оптикалық байланыс желісі арқылы деректерді беруде маңызды рөл атқарады және қорғалған оптикалық байланыста көптеген қолданбаларды қамтамасыз етеді. Сондықтан, солитонды импульстік тасымалдаушыларды қолдана отырып, байланыс желісі арқылы деректерді беру өзекті болып табылады.

Зерттеудің теориялық және әдіснамалық негізі.

Жұмыста модификацияланған Шредингер тендеуі, талшықты сыну Керр эффектiсi, өзiн-өзi фазалық модуляциялау әдiсi, Гордон-Хаустың хроматикалық дисперсиялық эффектiсi, Фабри-Перо анықтамалық сүзгiлерi, сандық модельдеу арқылы болжау әдiсi, оптикалық талшықты сыну индексiнiң профильдерiн құру әдiстерi, жоғары деңгейлi интерпретацияланған MatLab бағдарламалау тiлi қолданылды.

Практикалық жазу базасы. Жұмыс нәтижелері жоғары өткізу қабілеттілігін солитонды талшықты-оптикалық беруде, қалалық және магистральдық, халықаралық және трансконтиненталдық желілерде қолдану үшін ұсынылады.

Орындау қажеттілігінің негіздемесі. 5G, мобильді және кең жолақты байланыстың дамуына байланысты оптикалық желілік технологиялардың дамуы зерттеушілердің назарын аударды. Дегенмен, зерттеулер негізінен технологияның таралуын анықтау үшін макроскопиялық перспективаны пайдаланудан гөрі техникалық немесе нарықтық аспектілерге бағытталған. Сондықтан солитонмен берілетін талшықты-оптикалық жүйені зерттеу бүгінгі күні байланыс және телекоммуникация қызметтерін әзірлеушілер үшін де, пайдаланушылар үшін де үлкен қызығушылық тудырады.

1 Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелерді талдау

1.1 Оптикалық солитондардың негізгі түсініктері

Талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде оптикалық деректерді беру қашықтығы мен өткізу қабілеттілігін шектеу проблемаға айналды. Бұл мәселені шешу үшін оптикалық солитондардың қажеттілігіне әкелетін зерттеулер жүргізілді.

Талшықты-оптикалық тарату желісінің негізгі элементтеріне таратқыш оптикалық талшықпен өзара байланысқан таратқыш пен қабылдағыш жатады. Оптикалық талшықтарда берілу кезінде хроматикалық дисперсия, жоғалту (сигналдың әлсіреуі) және сызықтық емес пайда болады. Дисперсия және сызықтық емес сигналдың бұрмалануына әкеледі [1].

Оптикалық қабылдағыштың соңғы сезімталдығы болғандықтан, жүйенің қатесіз жұмысына қол жеткізу үшін сигнал жеткілікті жоғары деңгейге ие болуы керек. Екінші жағынан, сигнал деңгейін жоғарылату арқылы талшықтағы сызықтық емес әсерлерді де арттыруға болады. Ұзақ қашықтыққа беру кезінде талшықтың жоғалуын өтеу үшін оптикалық күшейткіштерді мезгіл-мезгіл электр беру желісі бойымен орнату керек. Бұл жағдайда жүйеге жаңа қателік көзі – кенеттен сәулеленудің шу күшейткіші енгізіледі.

Мұнда тіпті идеалды оптикалық күшейткіштер өздігінен сәулеленудің шуын тудыратынын ескеру қажет. Шу мөлшері берілу қашықтығымен (күшейткіштер санымен) артады. «Сигнал/шу» (SNR) қатынасын жүйенің қатесіз жұмыс істеуі үшін жеткілікті жоғары ұстау үшін сигнал деңгейін жоғарылату қажет, сондықтан сызықтық емес әсерлерден туындауы мүмкін мәселелер туындайды.

Сызықтық емес әсерлер P сигналының қуаты мен L тарату диапазонының көбейтіндісіне пропорционалды және бұл екі фактор да қашықтыққа қарай артады. Қорытындылай келе, барлық проблемалар – дисперсия, шу және сызықтық емес – берілу ауқымының жоғарылауымен өседі деп айтуға болады. Деректер жылдамдығы артқан сайын проблемалар да артады.

Сызықтық емес болған кезде сигналдың бұрмалануымен күресу өте қиын екенін атап өту маңызды, өйткені сызықтық емес барлық зиянды әсерлерді біріктіре алады, мысалы, дисперсия, Шу, поляризация режимінің дисперсиясы, талшықтың кездейсоқ қос сәуле сынуы, поляризацияға тәуелді жоғалту / күшейту және т. б. бұл сызықтық емес әсерлер бақылаудан шыққан кезде пайда болады.

Солитонды беру идеясы сызықтықты дұрыс бағытқа бағыттау және оны өз пайдасына пайдалану болып табылады. Солитон импульстарын тасымалдаушы ретінде пайдаланған кезде дисперсия мен сызықтық емес әсерлер бір-бірін теңестіреді (немесе өтейді) және осылайша таралу ауқымының ұлғаюымен сигнал сапасын төмендетпейді. Бұл режимде

импульстар өздерінің спектрлік және уақыттық формаларын өзгертпестен талшық арқылы таралады. Дисперсиялық және сызықтық емес әсерлердің бұл өзара өтемақысы "классикалық" солитондар жағдайында қашықтықпен және дисперсиялық басқарылатын солитондар жағдайында дисперсиялық карта ұзындығы деп аталатын мерзімді түрде жүреді.

Сонымен қатар, оптикалық солитондардың ерекше ерекшеліктеріне байланысты солитондарды беру поляризациялық режим дисперсиясы сияқты басқа деректерді беру мәселелерін шешуге көмектеседі.

Жиілік бағыттаушы сүзгілермен (атап айтқанда, жылжымалы бағыттаушы сүзгілермен) пайдаланылған кезде, солитон жүйелері зиянды Шу әсерлерін тежеу және толқын ұзындығын бөлу мультиплекстелген беріліспен (WDM) байланысты тұрақсыздықты азайту арқылы сигналдың үздіксіз толық оптикалық регенерациясын қамтамасыз етеді.

Солитон деректері беріліс бойымен әр түрлі қашықтықта бірдей көрінетіндіктен, солитон типі әсіресе оптикалық деректер желілері үшін тартымды. Сонымен қатар, импульстардың жоғары сапасы мен нөлге оралу (RZ) сипатына байланысты солитон деректері оптикалық өндеуге толығымен жарамды.

1.2 Солитонды беру оптикалық жүйелеріне аналитикалық шолу

Оптикалық талшықтардағы сигналдың таралуы сигналдың электр өрісінің күрделі конверті үшін сызықты емес Шредингер теңдеуімен сипатталады. Бұл теңдеу көптеген практикалық жағдайларда сигнал эволюциясында негізгі рөл атқаратын фазалық модуляция мен дисперсия әсерлерінің бірлескен әрекетін сипаттайды.

Өзгертілген Шредингер теңдеуіне қосымша сызықтық және сызықтық емес эффекттерді қосуға болады. Математикалық тұрғыдан солитондар импульстің таралуының солитондық режимдерінің сапалы физикалық сипаттамасы бар тұрақты шешімдер деп айтуға болады [1].

Алдымен дисперсия әсерін қарастырыңыз. Оптикалық импульстің ені t - де соңғы спектрлік өткізу қабілеттілігі $1/t$ болады. импульс түрлендірумен шектелген немесе кері қайтарылмаған кезде барлық спектрлік компоненттердің фазасы бірдей болады.

Уақыт аймағында барлық спектрлік компоненттер уақыт бойынша қабаттасады немесе бір-бірінің үстіне отырады деп айтуға болады. Дисперсияға байланысты әр түрлі спектрлік компоненттер талшықта әр түрлі топтық жылдамдықпен таралады.

Дисперсияның бір ғана әрекеті нәтижесінде бастапқы емес чирпирленген импульс кеңейіп, чирпирленген (жиілік модуляцияланған) болады.

Чирп-бұл қысқартылған CHIRP (Compressed High-Intensity Radiated Pulse) – тығыздалған жоғары қарқынды шығарылатын сигнал, яғни сызықтық жиілік модуляциясы.

Чирп белгісі талшықтың топтық жылдамдығының дисперсия белгісіне байланысты және келесі теңдеумен сипатталады:

$$D = \frac{d\left(\frac{1}{V_{gr}}\right)}{d\lambda} \quad (1.1)$$

мұндағы, V_{gr} – топтық жылдамдық;

λ – жарықтың толқын ұзындығы.

Импульс $\sqrt{2}$ коэффициентіне кеңейетін дисперсия ұзындығы деп аталатын талшықтың тән ұзындығы талшықтың дисперсиясымен де, импульстің енімен де анықталады:

$$Z_d = \frac{2\pi c 0.322 \tau^2}{\lambda^2 D} \quad (1.2)$$

мұндағы, c – жарық жылдамдығы;

τ – импульстің кеңеюі.

Импульстің спектрлік диапазоны өзгеріссіз қалатынын ескерейік, өйткені дисперсия сызықтық әсер болып табылады.

Енді өзін-өзі модуляциялаудың сызықтық емес әсерін қарастырыңыз. Керр әсерінің арқасында талшықтың сыну көрсеткіші сигналдың қарқындылығына байланысты, $n(I) = n_1 + n_2 I$, мұндағы n_2 – сызықтық емес сыну көрсеткіші, ал қарқындылығы $I = P/A$, мұндағы P – сигнал күші және A – талшықтың тиімді көлденең қимасы. Импульс талшық арқылы тараған кезде импульстің әртүрлі бөліктері сызықтық емес фазалық ығысудың әртүрлі мәндеріне ие болады:

$$\varphi(t) = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 I(t) L \quad (1.3)$$

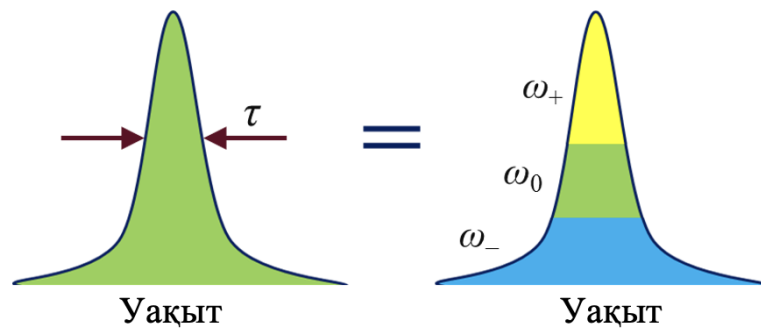
мұндағы, $I(t)$ – уақыт аймағындағы қарқындылық импульсінің түрі;

L – беріліс ауқымы.

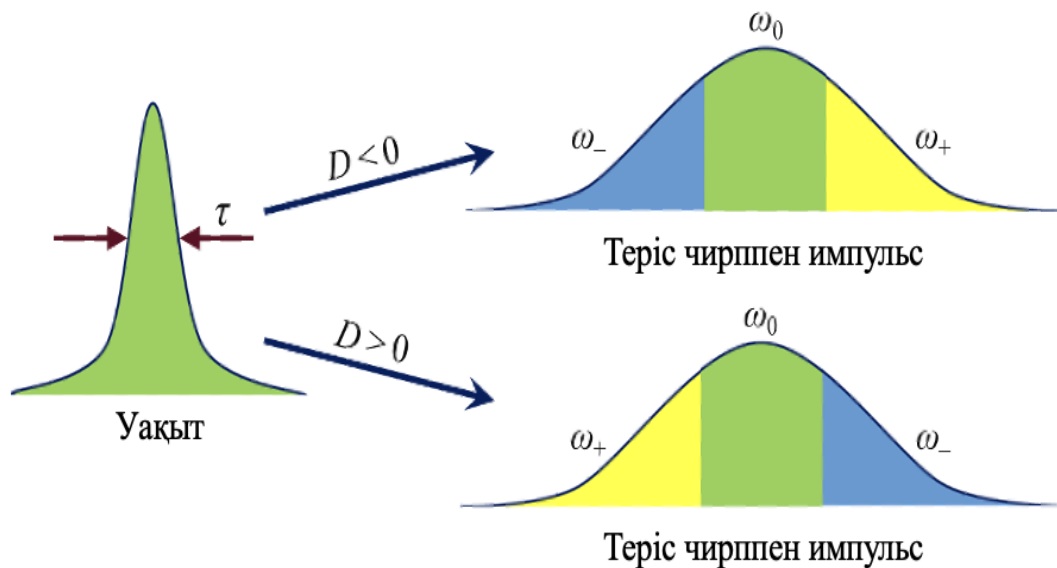
Бұл уақытқа тәуелді сызықтық емес фазалық сдысу импульстің әртүрлі бөліктері әртүрлі жиілік ығысуларын бастан кешіретінін білдіреді:

$$\delta\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{2\pi}{\lambda} n_2 L \frac{I(t)}{dt} \quad (1.4)$$

мұндағы, $\omega(t)$ – жиіліктің ығысуы.



1.1-сурет – Шектеулі түрлендіру импульсі: импульстің барлық спектрлік компоненттері бір-біріне "отырады"



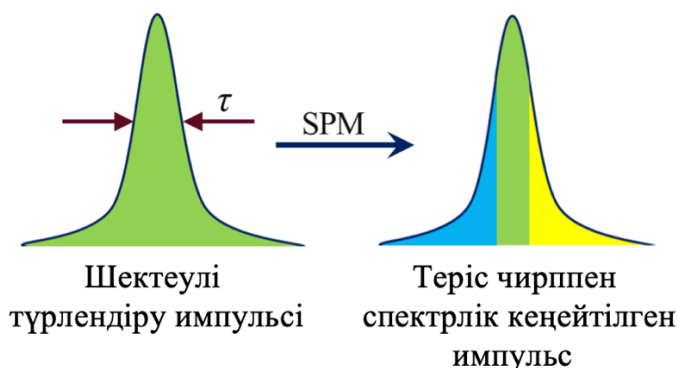
1.2-сурет – Топтық жылдамдық дисперсиясының түрлендірумен шектелген импульске әсері

Көріп отырғандай, жиіліктің ауысуы импульс формасынан уақыт туындысымен анықталады. Кремний негізіндегі талшықтардағы сызықтық емес сыну көрсеткіші оң болғандықтан, өздігінен фазалық модуляция әсері әрқашан импульстің алдыңғы жиегін "қызыл" спектрлік аймаққа (жиіліктің ығысуы), ал импульстің артқы жиегін "көк" спектрлік аймаққа (жиіліктің ығысуы) ауыстырады. Бұл бастапқыда чирпиленбеген импульс спектрлік кеңейіп, теріс чирпацияланатынын білдіреді (1.3-сурет). Импульс спектрлік түрде екі есе кеңейетін сызықтық емес ұзындық деп аталатын талшықтың тән ұзындығы анықталады:

$$Z_{NL} = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 I_0 \quad (1.5)$$

(1.5) теңдеуден импульс қарқындылығының уақыт профилі өзгермейтінін көруге болады.

Бақылау болмаған жағдайда, сызықтық емес және дисперсия деректерді беру үшін өте зиянды болуы мүмкін, бұл сигналдың спектрлік және уақыттық сипаттамаларын айтарлықтай бұрмалайды. Енді осы эффектілердің бірлескен әрекеті олардың спектрлік және уақыттық конверттерін өзгертпестен деректер импульстарының тұрақты таралуына әкелетін солитондық деректер режиміне қол жеткізу арқылы осы эффектілерді қалай басқаруға болатынын қарастырайық.



1.3-сурет – Өздігінен фазалық модуляцияның шектеулі түрлендіру импульсіне әсері

SPM (Self-Phase Modulation) - өздігінен фазалық модуляция. Дисперсия мен сызықтық емес аралас әрекетті балама ретілік ретінде қарастырыңыз. Чирпсіз импульспен делік (3). автофазалық модуляция импульстардың спектрін кеңейтеді және теріс жиілік чирпін жасайды, импульстің алдыңғы шеті қызыл, ал артқы шеті көк болады. Содан кейін бұл бұралған импульске оң импульс қолданылғанда, қызыл спектрлік компоненттер көкке қатысты уақыт бойынша кешіктіріледі. Егер дұрыс дисперсия шамасы қолданылса, импульстік чирп белгісі теріс болуы мүмкін: көк спектрлік компоненттер уақыт өте келе импульстің алдыңғы жиегіне ауысады, ал қызыл спектрлік компоненттер артқы жиекке қарай жылжиды. Сызықтық емес қайтадан қолданылғанда, ол алдыңғы жиектің жиілігін спектрдің қызыл аймағына ауыстырады және артқы жиектің жиілігін арттырады. Бұл дегеніміз, алдыңғы Көк жиек қайтадан жасылға айналады, артқы қызыл жиек те жасылға айналады және импульстік спектрдің өткізу қабілеті бастапқы еніне дейін тарылады. Солитондардың сипатталған таралу режиміне сызықтық емес және дисперсиялық әсерлер бір-бірін дәл өтеген кезде қол жеткізіледі. Шындығында, дисперсия мен сызықтық емес әсерлер бір уақытта әрекет етеді, осылайша импульстің спектрлік және уақыттық ені қашықтықпен тұрақты болып қалады және жалғыз таза әсер (бүкіл импульс бойынша тұрақты) фазалық сдғысу болып табылады. дисперсияның таралу ұзындығына 0,5 рад.

Солитон режимінің шарты сызықтық емес және дисперсиялық ұзындықтардың теңдігі болып табылады: $Z_d = Z_{NL}$. Солитонның ең жоғары

қуаты, импульстің ені және талшықтың дисперсиясы арасындағы байланысты табу үшін бұл өрнекті қайта жазуға болады:

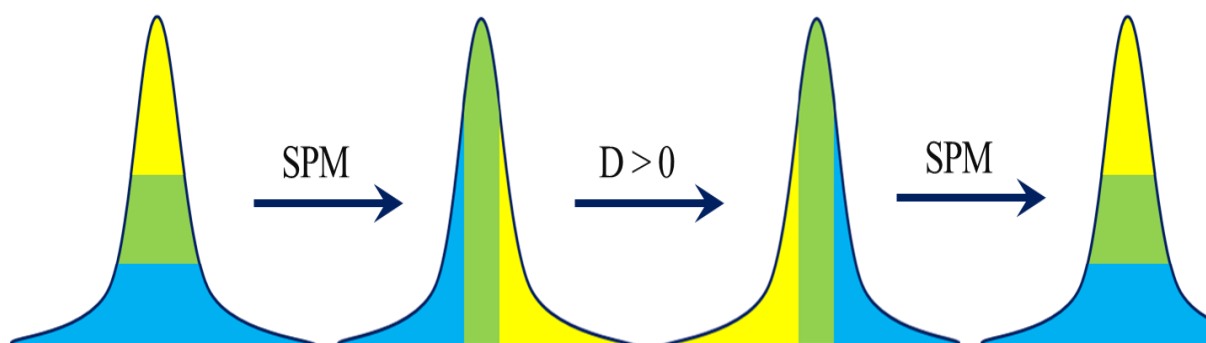
$$P_0 = \frac{\lambda^3 DA}{0.322 \cdot 4\pi^2 cn_2 \tau^2} \quad (1.6)$$

мұндағы, P_0 – солитонның ең жоғары қуаты.

Айта кетейік, біздің алдыңғы шолуымызда айтылғандай, талшықтардағы солитондардың классикалық таралуы D талшығының дисперсиясының оң белгісін қажет етеді (n_2 оң болған жағдайда). Сандық мысалды қарастырайық. Талшықта таралатын ені $t = 20$ пс импульсі үшін $D = 0.5 \text{ пс} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$, талшықтың көлденең қимасының ауданы $A = 25 \text{ мкм}^2$, $\lambda = 1,55 \text{ мкм}$ және типтік мәні $n_2 = 2.6 \text{ см}^2/\text{Вт}$, солитонның ең жоғары қуатын табуға болады 2.4 МВт . Бұл жағдайда шашырау ұзындығы $Z_d = 200 \text{ км}$.

Оптикалық солитондардың ең маңызды қасиеті-олардың тұрақтылығы. Импульс талшыққа енгізілгенде, оның дәл пішіні, солитон параметрлері және солитон ретінде таралуы міндетті емес. Кіріс параметрлері оптимумнан тым алыс болмаса да, сызықтық емес таралу кезінде импульс солитон түзіп, неолитон компоненттерін тастай отырып, "қайта құрылады".

Мысалы, t енінің қайтарылмаған импульсі оның кіріс P қуаты $P_0/4$ -тен үлкен және $2.25 \cdot P_0$ -ден аз болғанша бір солитонға айналады. Мұнда P_0 -солитонның қуаты. Классикалық солитонның сапалы түсіндірмесі 1.4-суретте көрсетілген.



1.4-сурет – Классикалық солитонның сапалы түсіндірмесі

Дисперсия мен сызықтықтың бірлескен әрекеті (фазалық модуляцияның өзі) тұрақты спектрлік және уақыттық ені бар импульстардың тұрақты таралуына әкеледі.

Солитондар сонымен қатар импульстік энергияның өзгеруіне және тасымалдау сызығы бойындағы талшық параметрлеріне төзімді. Әзірге бұл өзгерістер жеткілікті жылдам (бұзылу кезеңі солитонның дисперсиясының ұзындығынан едәуір аз, Z_d), солитон тек осы параметрлердің орташа мәндерін "сезінеді". Бұл мүмкіндік практикалық жүйелер үшін өте маңызды. Атап айтқанда, бұл талшықтың жоғалуы мезгіл-мезгіл шоғырланған

күшейткіштермен өтелетін ұзақ қашықтыққа тарату жүйелерінде солитондарды пайдалануға мүмкіндік береді. Күшейткіштер арасындағы қашықтық солитондарының дисперсиясының ұзындығынан әлдеқайда аз болғанша $L_{amp} \ll Z_d$ солитондар бұл жүйелерде өте жақсы жұмыс істейді. Барлық солитондық бұзылулар дисперсиялық толқындарға шығарылатын солитон энергиясының бір бөлігін жоғалтуға әкелетінін ескеріңіз.

Талшық параметрі (немесе импульс энергиясы) айтарлықтай өзгертін сипаттамалық ұзындық солитонның дисперсия ұзындығынан әлдеқайда үлкен болған кезде беріліс бойындағы параметрлердің баяу өзгеру жағдайын қарастырыңыз. Солитон параметрлері осы өзгерістерге адиабатикалық түрде сәйкес келеді. Бұл дегеніміз, 1.5 теңдеуіндегі барлық параметрлерді қашықтыққа тәуелді деп санауға болады және 1.5 теңдеуі жарамды болып қалады. Оны келесі түрде қайта жазуға болады:

$$\tau(z) = \text{const} \frac{D(z)\lambda(z)}{P(z)\tau(z)} = \text{const} \frac{D(z)A(z)}{\text{Energy}(z)} \quad (1.6)$$

Бұл теңдеуден көптеген маңызды салдарларды алуға болады. Бір мысал, $D(z)$ және $A(z)$ тұрақты болған жағдайда, жоғалған талшықтағы импульстің кеңеюі(және спектрлік тарылу) болуы мүмкін.

Солитонды кеңейтуді кіріс сигналының жоғары қуаты қажет болған кезде қайталағышсыз деректер жүйелерінде пайдалануға болады. Екінші жағынан, адиабаталық күшейтілген талшықта импульстің қысылуын алуға болады. Ұқсас әсерлерді талшықтың дисперсиясын және мод аймағын ұзындығы бойынша өзгерту арқылы алуға болады. Мысалы, адиабаталық солитонды қысуды дисперсия-конустық талшық деп аталатын, баяу төмендейтін дисперсиямен алуға болады.

Солитонның адиабаталық таралуы міндетті түрде осы параметрлердің әрқайсысынан – импульс энергиясынан, талшықтың дисперсиясынан және

режим ауданынан $\frac{D(z)A(z)}{\text{Energy}(z)}$ барлық өрнегі өзгергенше адиабаталық түрде

өзгеруін талап етпейтінін атап өту маңызды қашықтыққа байланысты адиабаталық түрде өзгереді. Мысалы, солитонның дисперсиялық конуста таралуы талшық егер дисперсия импульстік энергиямен бірдей жылдамдықпен азаятын болса, тұрақты дисперсиямен шығынсыз талшықта берілуге тең болады.

Осы уақытқа дейін біз бір импульстің таралуын талқыладық. Байланыс жүйелерінде импульстік ағындармен күресу керек. Бір толқын ұзындығында талшыққа екі немесе одан да көп солитон импульсі таралса, олар бір-бірімен әрекеттесе алады: бір солитон импульсінің құйрықтары басқа импульспен қабаттасуы мүмкін. Кросс-фазалық модуляция әсеріне байланысты бұл қабаттасу өзара әрекеттесетін солитондардың жиіліктік сдысуларына әкеледі. Жиіліктің сдысу белгілері екі солитонға қарама-қарсы. Талшықтардың дисперсиясы арқылы жиіліктің өзгеруі солитондардың топтық

жылдамдығының өзгеруіне әкеледі. Солитондарды бөлу кезінде өзара әрекеттесу күші өте тез төмендейді және көптеген практикалық қолданбалар үшін бөлу солитонның импульс енінен 4-5 есе көп болған кезде елеусіз аз деп санауға болады.

Өзара әрекеттесу сипаты солитондардың өзара оптикалық фазаларына байланысты:

- олар бірдей болған кезде, солитондар бір-біріне тартылады;
- олар фазада болмаған кезде, солитондар бір-бірін итереді;
- фазалық айырмашылық $\pi/2$, болғанда, солитондар өзара әрекеттеспейді.

Солитондардың бұрын сипатталған қасиеттері солитонға негізделген тарату жүйелерін жобалаудың инженерлік ережелерін анықтайды. Біріншіден, әрбір жеке импульс талшықтың тұрақты дисперсиясымен және үзік-үзік күшейткіштермен мезгіл-мезгіл өтелетін шығындармен беріліс желісінде тұрақты екеніне көз жеткізу үшін күшейткіштер арасындағы қашықтық Z_d солитонының дисперсиясының ұзындығынан әлдеқайда аз болуы керек.

Маңызды импульсаралық өзара әрекеттесуді болдырмау үшін іргелес импульстар арасындағы ең аз қашықтық $T > 4t$ болуы керек, мұндағы $1/T$ – биттердің берілу жылдамдығы, ал t – солитон импульсінің ені. Эквалайзерден анықталған импульстік қуат орташа қуат ретінде қарастырылуы керек. Егер сигнал энергиясы $\exp(\gamma z)$ сияқты күшейткіштер арасындағы талшықты аралықтардағы қашықтықпен азаятын болса, онда γ - жоғалту жылдамдығы, содан кейін жолдың орташа қуаты әрбір күшейткіштің шығысындағы импульстік қуатпен байланысты талшықты аралыққа кіру ретінде анықталады:

$$P_0 = P_{in} \frac{1 - \exp(\gamma \cdot L_{amp})}{|\gamma| L_{amp}} \quad (1.7)$$

мұндағы, L_{amp} – бұл күшейткіштер арасындағы қашықтық.

Бұрын айтылғандай, дисперсиялық және сызықтық емес әсерлер бір-бірін солитонды беріліс режимінде "өтейді", осылайша импульстар олардың уақыттық және спектрлік формаларын өзгертпестен таралады. Беріліс параметрлерінің ауытқу шкаласының ұзындығы солитонның дисперсиясының ұзындығынан едәуір аз болса, импульстар тек орташа параметрлерді "сезінеді". Алайда, бұзылулар дисперсиялық толқындардың солитондармен шашырауына әкелуі мүмкін екенін ескерсек.

Солитонды тасымалдау жүйелерінде қателіктердің екі негізгі көзі бар:

- импульстік энергияның ауытқуы;
- импульстардың келу уақытының ауытқуы.

Энергияның ауытқуының шығу тегі жүйенің басқа түрлерімен бірдей-күшейткіштер тудыратын шудың өздігінен шығуы. Әрбір күшейткіш спектрлік тығыздықтағы шуды енгізеді, содан кейін өткізу қабілеттілігінің бірлігіне шаққандағы қуат анықталады:

$$P_v = (G - 1)n_{sp}h_\nu \quad (1.8)$$

мұндағы, G – күшейткіштің күшейту коэффициенті;
 h_ν – фотон энергиясы;
 $n_{sp} > 1$ – күшейткіштің сапасын сипаттайтын кездейсоқ сәулелену коэффициенті.

Ең жақсы жағдайда, күшейткіш қатты төңкерілген кезде, n_{sp} бірлікке жақын болады. Кірістірілген спектрлік сүзгілері жоқ кең жолақты беріліс жүйесінде шоғырланған күшейткіштер талшықтың жоғалуын дәл өтегенде, шу қашықтыққа (күшейткіштер санына) сәйкес сызықты түрде өседі. Ұзындығы L тарату желісінің шығысында жол бойындағы орташа спектрлік тығыздық анықталады:

$$P_{vav} = |\gamma|Ln_{sp}h_\nu F(G) \quad (1.9)$$

мұндағы, $F(G)$ – жоғары күшейткіштердің болуы немесе күшейткіштер арасындағы үлкен аралық үшін төлеуге тура келетін шығындарды сипаттайтын функция.

$F(G)$ функциясы келесідей анықталады:

$$F(G) = \frac{(G - 1)^2}{G \ln^2 G} \quad (1.10)$$

$F(G)$ функциясы $F(G) = 1$ болғанда минималды болады, ал үлестірілген пайда болған жағдайда $G < 1$ жоғарылайды. Беріліс шығысындағы "сигнал/шу" қатынасы қатесіз беріліске ие болу үшін жеткілікті жоғары болуы керек. P_v шуының спектрлік тығыздығында энергия бірліктері бар екенін ескеріңіз. Бұл сонымен қатар кез-келген уақытта алынған шу энергиясы T спектрлік жиілік диапазонында. Қатенің ықтималдығы 10^{-9} және 10^{-15} -тен аз болуы үшін импульс энергиясының энергияға қатынасы сәйкесінше 100 және 160 болуы керек. Мысалы, орташа шығыны 0,21 дБ/км., $n_{sp} = 1.5$, күшейткіштер арасындағы қашықтық 50 км. әрбір талшықты аралықтың кіруіндегі импульстің минималды энергиясы осындай $L = 5000$ км жүйеде 10^{-9} -дан аз қателікке ие 200 наноДЖ, Ал $L = 10\ 000$ км үшін 400 наноДж.

Солитондық жүйелердегі қатенің тағы бір түрі-импульстардың келу уақытының ауытқуы немесе уақытша дірілдеу. Уақыттың шайқалуы бірнеше факторларға байланысты болуы мүмкін. Іргелес импульстік өзара әрекеттесу импульстардың уақыт бойынша ауысуына әкелуі мүмкін. Өзара әрекеттесу мәселелерін солитондарды уақыт бойынша олардың енінің 4 немесе 5-тен астамына бөлу арқылы іс жүзінде жоюға болады. Уақытша дірілдің өте маңызды көзі-стихиялық сәулеленудің шуы. Сигналға шу қосылған сайын ол солитондардың тасымалдаушы жиіліктерін кездейсоқ модуляциялайды. Содан кейін талшықтың хроматикалық дисперсиясы бұл жиілік өзгерістерін

импульстардың келу уақытының өзгеруіне түрлендіреді. Бұл әсер Гордон Хаустың әсері ретінде белгілі. Уақытша дірілдің дисперсиясы, яғни Гордон Хаус эффектісі тудыратын діріл анықталады:

$$\sigma_{GH}^2 \approx 0.2n_2hn_{sp}F(G)\frac{|\gamma| \cdot D}{\lambda \cdot \tau}L^3 \quad (1.11)$$

Қате импульс анықтау жүйесінің W қабылдау уақыт терезесінен тыс болған кезде пайда болады (бұл терезе әдетте T биттік ұясынан сәл кішірек). Қате ықтималдығы 10^{-9} дан аз болуы үшін қабылдау терезесі уақытша дірілдің 12 стандартты ауытқуынан үлкен болуы керек, ол анықталады:

$$W \geq 12\sigma_{GH} \quad (1.12)$$

Джиттер Гордон Хаус биттердің максималды жылдамдығы мен берілу қашықтығын шектейді. Джиттер қашықтыққа байланысты өте тез өседі; ол t азайған кезде де артады. Максималды беру диапазонын шектейтін тағы бір фактор σ_{GH} импульс энергиясына пропорционал, ал ұзақ қашықтыққа беру жүйелері «сигнал/шу» қатынасын жоғары деңгейде ұстап тұру үшін жеткілікті жоғары импульс энергиясына ие болуы керек.

Уақытша дірілдің тағы бір көзі-импульстардың акустикалық өзара әрекеттесуі. Талшықтағы электрострикциялық әсердің арқасында әрбір таралатын импульс талшықта акустикалық толқын тудырады. Басқа импульстар акустикалық толқынның әсерінен сыну көрсеткішінің өзгеруін сезінеді. Нәтижесінде импульс жиілігінің өзгеруі талшықтың хроматикалық дисперсиясының әсерінен келу уақытының ауытқуына әкеледі. Акустикалық әсер «ұзақ мерзімді» өзара әрекеттесуді тудырады: бірнеше наносекундтармен бөлінген импульстар осы әсер арқылы өзара әрекеттесе алады. Акустикалық уақыт дірілін келесі жеңілдетілген теңдеу арқылы бағалауға болады:

$$\sigma_a \approx 4.3\frac{D}{\tau}\sqrt{(R - 0799)L^2} \quad (1.13)$$

Мұнда өлшем бірліктері орнатылған: стандартты ауытқу σ_a (пс), дисперсия D (пс·нм⁻¹·км⁻¹), биттердің берілу жылдамдығы $R = 1/T$ (Гбит/с), қашықтық L (м⁶).

(13) теңдеуі сонымен қатар $A = 50$ мкм² талшық режимінің аймағын ұсынады². Акустикалық діріл бит жылдамдығымен артады және ол Гордон Хаус діріліне қарағанда қашықтыққа тәуелділікке ие.

Алдыңғы ойлардан көрініп тұрғандай, уақытша діріл жүйелердің қашықтығы мен қуатына үлкен шектеулер қоюы мүмкін және оны бақылау қажет.

Гордон-Хаус және акустикалық уақыттық тербелістер импульстардың жиілік ауытқуларынан туындайды. Бұл солитондардың жиілігін басқару

арқылы уақытша джиттерді де басқаруға болатындығын білдіреді. Жиілікті реттеу тарату желісі бойымен, әдетте күшейткіштер орналасқан жерлерде тар жолақты сүзгілерді (жиілік бағыттаушы сүзгілер деп аталады) мезгіл-мезгіл енгізу арқылы жүзеге асырылуы мүмкін.

Егер қандай да бір себептермен солитонның орталық жиілігі сүзгі шыңынанмещысса, импульстар спектрі бойынша сүзгі индукцияланған дифференциалды шығындар импульс жиілігін сүзгі шыңына қарай «итереді». Нәтижесінде импульстар спектрі тән демпферлік ұзындығы бар сүзгі шыңына қайта оралады.

Егер демпферлік ұзындық L беру қашықтығынан едәуір аз болса, бағыттаушы сүзгілер уақытша дірілді күрт азайтады. Сүзілген жүйеде уақытша дірілді есептеу үшін біз Гордон-Хаус дірілдеуіне арналған өрнекті қолданамыз:

$$\sigma_{GH,f}^2 \approx 0.6n_2hn_{sp}F(G)\frac{|\gamma|\cdot D}{\lambda\cdot\tau}L\lambda^2 \quad (1.14)$$

Бағыттаушы сүзгілердің демпферлік қасиеттері негізінен оның шыңына жақын орналасқан сүзгі реакциясының қисықтығымен анықталады. Бұл бағыттаушы сүзгілер ретінде таяз Фабри-Перо анықтамалық сүзгілерін пайдалануға болатынын білдіреді. Фабри-Перо сүзгілерінің бірнеше шыңдары бар және әртүрлі WDM арналары үшін әртүрлі шыңдарды пайдалануға болады. Бағыттаушы сүзгілердің жиілік дірілін басқару қабілеті сүзгі өнімділігімен де, солитон спектрінің өткізу қабілеттілігімен де анықталады. Айна шағылысу қарқындылығы R және еркін спектрлік диапазоны (FSR) бар Фабри-Перо сүзгілері жағдайында ыдырау ұзындығы анықталады:

$$\Delta = 0.483(\tau FSR)^2 \frac{(1-R)^2}{R} L_f \quad (1.15)$$

мұндағы, L_f – бұл бағыттаушы сүзгілер арасындағы қашықтық.

Гордон-Хаус пен акустикалық дірілдер тек солитонды таратуға ғана тән емес. Бұл әсерлерге кез-келген беріліс жүйелері, соның ішінде сызықтық беріліс деп аталады. Дегенмен, бағыттаушы сүзгілерді тек солитон жүйелерінде пайдалануға болады. Импульс бағыттаушы сүзгіден өткен сайын оның спектрі тарылады. Солитондар талшықты сызықтық емес арқылы өткізу қабілеттілігін тез қалпына келтіре алады, ал сызықтық беріліс кезінде сүзгі әрекеті сигналды үздіксіз бұзады.

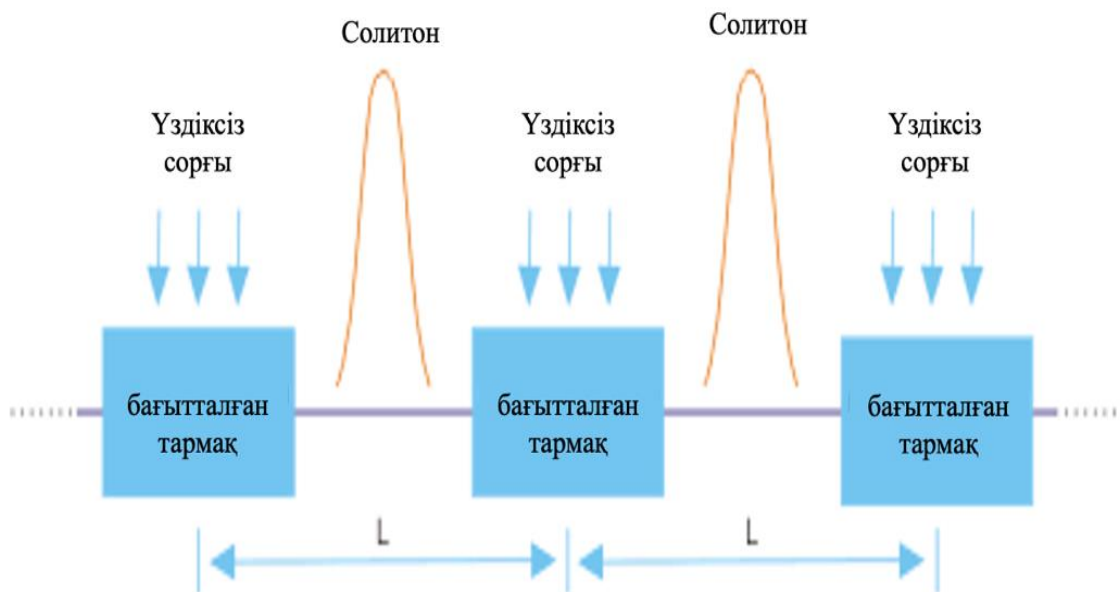
Егер сигналға жиілік бағыттаушы сүзгілерден басқа, биттердің берілу жылдамдығында амплитудалық немесе фазалық модуляция қашықтықпен мезгіл-мезгіл қолданылса, уақытша дірілдің тиімдірек төмендеуіне қол жеткізуге болады. Бұл жағдайда іс жүзінде шексіз қашықтыққа «қатесіз» беріліске қол жеткізуге болады (10 Гбит/с жылдамдықпен 1 миллион километр көрсетілді). Дегенмен, бұл әдіс пассивті емес, жоғары жылдамдықты

электроника қатысады және модуляция қолданылған сайын сағатты қалпына келтіру қажет. Сонымен қатар, WDM берілу жағдайында барлық арналар модуляция алдында демультимплекстеліп, содан кейін қайтадан мультиплекстелуі керек, әр арнаның өзіндік сағаттық қалпына келуі және модуляторы болуы керек. Көріп отырғаныңыздай, бұл әдіс электронды регенерация схемаларымен көптеген кемшіліктерге ие.

Жиілік бағыттаушы сүзгілер жүйелердегі уақытша дірілді айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Сонымен қатар, кейбір жағдайларда олар қосымша проблемалар тудыруы мүмкін. Солитон сүзгіден өткен сайын біраз энергияны жоғалтады. Бұл шығындардың орнын толтыру үшін күшейткіштер қосымша (артық) күшейтуді қамтамасыз етуі керек. Бұл жағдайда стихиялық сәулелену шуы және сүзгі шыңының маңындағы спектрі бар басқа солитондық емес компоненттер қашықтықпен экспоненциалды өсуді бастан кешіреді, бұл «сигнал/шу» қатынасын төмендетеді және солитондық тұрақсыздыққа әкелуі мүмкін. Нәтижесінде артық күшейтуді азайту үшін жеткілікті әлсіз сүзгілерді қолдану керек. Іс жүзінде сүзгі қуаты уақытша діріл мен шамадан тыс күшейтуді азайту үшін таңдалады.

1.3 Тәжірибелік солитондық байланыс желілері

Солитондық байланыс желілерін құру саласында соңғы уақытта белгілі бір прогреске қол жеткізілді және осындай сызықтардың эксперименттік үлгілері жасалды. Солитондық байланыс желілерін құрудағы Прогресс, егер WDM толқындық мультиплекстеу жүйелерінің қарқынды дамуы болмаса, маңыздырақ болуы мүмкін. 1.5-суретте солитондық байланыс желісінің сызбасы берілген.



1.5-сурет – "Нүкте-нүкте" топологиясының солитондық байланыс желісінің сызбасы

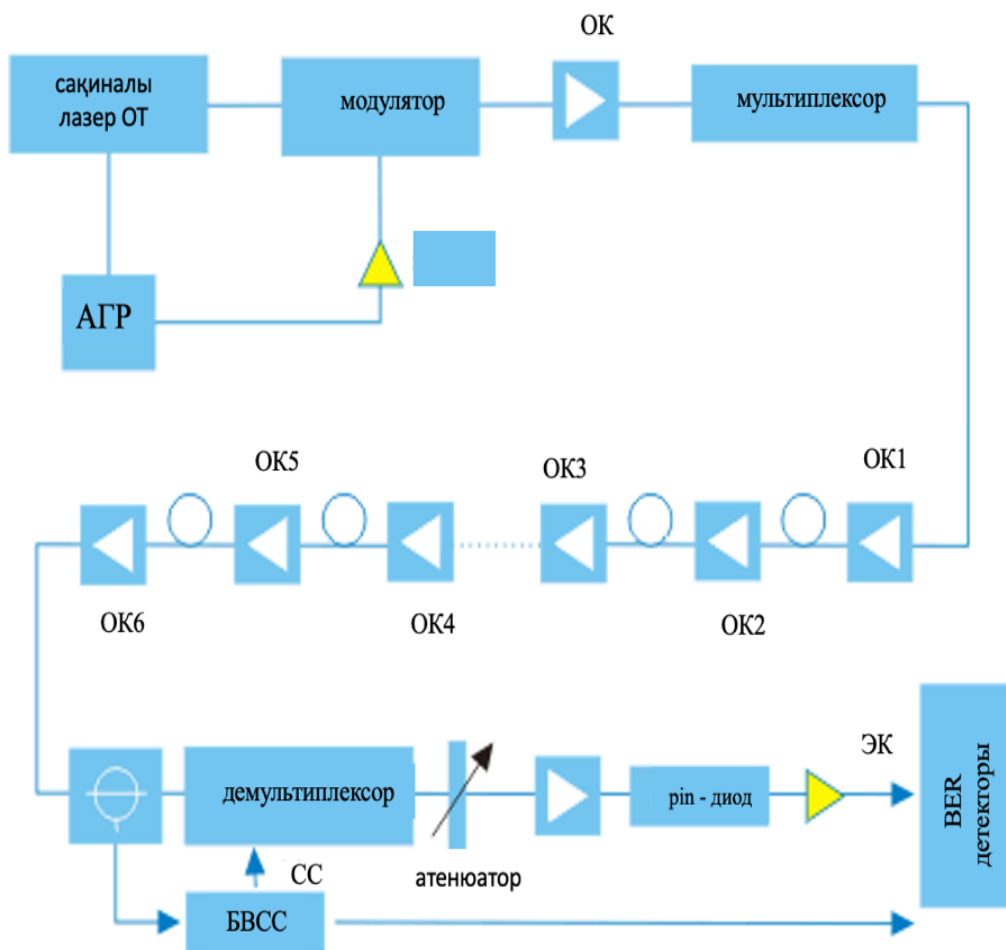
Байланыс сызығының схемасы "нүкте-нүкте" топологиясына негізделген және ВКР - күшейткіштері бар L ұзындықтағы Жарық өткізгіштердің сызықтық сегменттерінен тұратын сызықтық тізбектің архитектурасын жүзеге асырады. Күшейту осылай ұйымдастырылған (1.5суретте.): әр сегменттің ұштарында бағытталған тармақтағыштар (НО) орнатылған, олар арқылы байланыс желісіне (жарық өткізгіш) екі бағытта да 1460 нм толқын ұзындығында жұмыс істейтін үздіксіз лазерден айдалатын сәуле енгізіледі. Схемада әдеттегі ОМ талшығын ($b_2 = -20$ пс²/км) және дисперсиялық ығысуы бар ОМ талшығын ($b_2 = -2$ пс²/км) $g = 5$ Вт⁻¹ • км⁻¹ параметрімен және 1550 нм толқын ұзындығында жұмыс істейтін 25 мкм² тиімді өзек ауданымен пайдалануға болады. Іске асырылған L мәндері 40-50 км және сызықтың жалпы ұзындығы 600 км болды. ол негізінен детекторға импульстің келу уақытының ауытқуын тудыратын когерентті күшейтудің кездейсоқ шуымен шектелді (Гордон–Хаус эффектісі (Gordon-Haus effect)). Жаңа эксперименттік солитондық байланыс желілерін құруға үлкен серпін 1989 жылы эрбий легирленген ОТ (EDFA) көмегімен күшейткіш орта ретінде және 1480 нм толқын ұзындығында жұмыс істейтін диодты сорғы ОК пайда болды. Бұл ОЖ-лар шоғырланған күшейткіштер класына жатады (ВКР күшейткіштері сияқты таралмайды). 1993 жылы осы күшейткіштерді қолданатын эксперименттік солитондық байланыс желілері пайда болды. Ол желінің ұзындығы 4200 км-ге тең 8,2 Гбит/с жылдамдықты, күшейткіштер арасындағы сегменттің ұзындығы 28 км, ОТ сегментіне АТ&Т DSF талшығы (25 км) және АТ&Т D5 талшығы (3 км) кірді. Бұл ретте қол жеткізілген BER деңгейі 10⁻⁹-дан төмен болмады. Басқа байланыс желісін NTT (Жапония) әзірледі. Ол 50000 км сызықтың эквивалентті ұзындығында 10 Гбит/с жылдамдықты және күшейткіштер арасындағы сегменттің ұзындығын – 50 км пайдаланды. EDFA типті күшейткіштер эксперименттік байланыс жүйесінде (1994) 80 Гбит/с жылдамдықпен және 1550 нм толқын ұзындығында жұмыс істейтін ОМ талшығымен де қолданылды. Іске асырылған L мәндері 25 км, ал сызықтың жалпы ұзындығы BER = 10⁻¹⁰ деңгейімен 500 км болды (1.6 - суретте.). Бұл жағдайда күшейткіштер арасындағы қашықтық солитон кезеңінен үлкен немесе онымен салыстырылатын етіп таңдалды. Сонымен қатар, дисперсиялық ауыспалы талшықты (DSF) пайдалану солитонды қалыптастыру үшін қажетті қуат көзін айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік берді.

Көрсетілген эксперименттік сызық әрқайсысының ұзындығы 25 км болатын 20 сызықтық сегменттерден тұрды. Сегмент EDFA күшейткіші мен сәйкес ұзындықтағы ОМ талшығын біріктірді. Схема келесідей жұмыс істеді.

Жүйе кірісіндегі ақпараттық реттілік генераторы (АРГ) 10 ГГц импульстік сәулелену көзін және (ЭК электр күшейткіші арқылы) литий ниобатындағы оптикалық модуляторды (NL – LiNbO₃) басқарды. Бұл байлам немесе блок 10 Гбит/с жылдамдықтағы бір деректер арнасына тең болды, 80

Гбит/с жылдамдықтағы импульстардың ақпараттық тізбегін алу үшін жазықтық түрінде енгізілген оптикалық мультиплексор қолданылды.

Жүйе кірісіндегі ақпараттық реттілік генераторы (АРГ) 10 ГГц импульстік сәулелену көзін және (ЭК электр күшейткіші арқылы) литий ниобатындағы оптикалық модуляторды (NL – LiNbO₃) басқарды. Бұл байлам немесе блок 10 Гбит/с жылдамдықтағы бір деректер арнасына тең болды, 80 Гбит/с жылдамдықтағы импульстардың ақпараттық тізбегін алу үшін осындай 8 эквивалентті арнаны біріктіретін жазықтық оптикалық ИС ретінде енгізілген оптикалық мультиплексор қолданылды.



1.6-сурет – Солитондық байланыс желісінің перспективалық схемасы

10 МГц арналық синхрондау сигналын қабылдау кезінде бөлектеу үшін аталған блоктар олар шығаратын солитондардың амплитудасы бір-бірінен ерекшеленетін етіп реттелді (суретте мультиплексордың алдындағы сигнал түрі).

Сәулелену көзі 10 ГГц жиілікте жұмыс істейтін лазер болды (100 пс период) белсенді режимде (ML laser) және ЭК кері байланыс тізбегінде эрбий (uva) легирленген OT сақинасымен. Лазер 1552 нм толқын ұзындығында 22,7-3,0 пс солитон импульстарын жасады. Мультиплексордың шығысындағы

сигналда 12,5 пс биттік интервал болды, бұл солитондар арасындағы солитон импульсінің ені шамамен 3 болатын қашықтыққа сәйкес келді, бұл олардың өзара әрекеттесуінің болмауына жағдай жасады.

Солитонды байланыс желілерін пайдалану перспективалары. Жоғарыда айтылғандай, солитон жүйелерінің перспективалылығы және олардың әдеттегі оптикалық беру әдістерінен артықшылығы, солитонға қарағанда, сызықтық емес әсерлерді жоюға немесе азайтуға негізделген және дисперсиялық ығысуы бар OT-ты қолдана отырып, берілу жылдамдығын арттыру бағытында да, регенерация аймағының ұзындығын ұлғайту бағытында да бағаланады. Бұған негізгі кедергілер: когерентті күшейту шуы (Гордон-Хаус эффектісі), күшейтілген стихиялық сәулеленудің жинақталуы (ASE) және CCB солитон-солитон өзара әрекеттесуі.

Регенерациялық учаскенің ұзындығын ұлғайту перспективалары

Регенерациялық учаскенің ұзындығын ұлғайту перспективаларына келетін болсақ, олар кәдімгі оптикалық жүйелерге қарағанда солитондық жүйелер үшін әлдеқайда жақсы, тіпті EDFA типті ОК қолданған кезде қарапайым жүйелердің регенерациялық учаскесінің ұзындығын 250-500 км-ге дейін жеткізуге мүмкіндік беретін соңғы жақсартулардың сөзсіз прогресін ескере отырып. Регенераторларсыз ультра ұзақ қашықтыққа жұмыс істей алатын және тек EDFA типті күшейткіштерді қолданатын синхронды солитон жүйелері үшін 1991-1992 жылдары уақыт пен жиілік аймақтарында солитонды бір уақытта басқару технологиясы ұсынылды. Бұл технология екі басқару механизмін қолданады:

- мерзімді синхронды модуляция (MCM) – уақытша аймақтағы солитонның орнын басқаруға арналған

- тар жолақты қайта реттелетін жолақ сүзгісі (ТҚРС) – жиілік аймағында басқаруға арналған.

MCM Гордон Хаус эффектісінен туындаған солитон фазасының дірілін жоюға ғана емес, сонымен қатар стихиялық сәулеленуден (ASE) туындаған шу деңгейін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. ТҚРС, бұл 0.3-0.4 нм жолағы бар тар жолақты бақылау сүзгісі, оның орталық толқын ұзындығы жиілік аймағында солитон энергиясын тұрақтандыру тізбегін басқарады. Солитонды басқарудың осы технологиясын қолдана отырып, ұзындығы 500 км солитондық байланыс желісінің сақинасында EDFA типті күшейткіштермен әр 50 км сайын 180 миллион км өтуге қол жеткізілді.

1.4 Тапсырманың қойылымы

Жұмыс солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйені зерттеуге арналған.

Раман күшейткіші және эрбий негізіндегі оптикалық күшейтуі бар солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің құрылыс схемалары мен блок-схемаларын әзірлеу қажет.

Эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген және оптикалық Раман күшейткіші бар солитонды беру құрылғылары мен сипаттамаларын таңдауды негіздей отырып, солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің жабдықтарын таңдау.

Солитонды талшықты-оптикалық тарату жүйелерінің негізгі параметрлерін есептеуді, уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулеленуді талдауды, уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулеленуді есептеуді жүргізу. Есептеу коэффициенттерін анықтау, дисперсия сипаттамаларын құру және алынған есептеу нәтижелеріне талдау жасау.

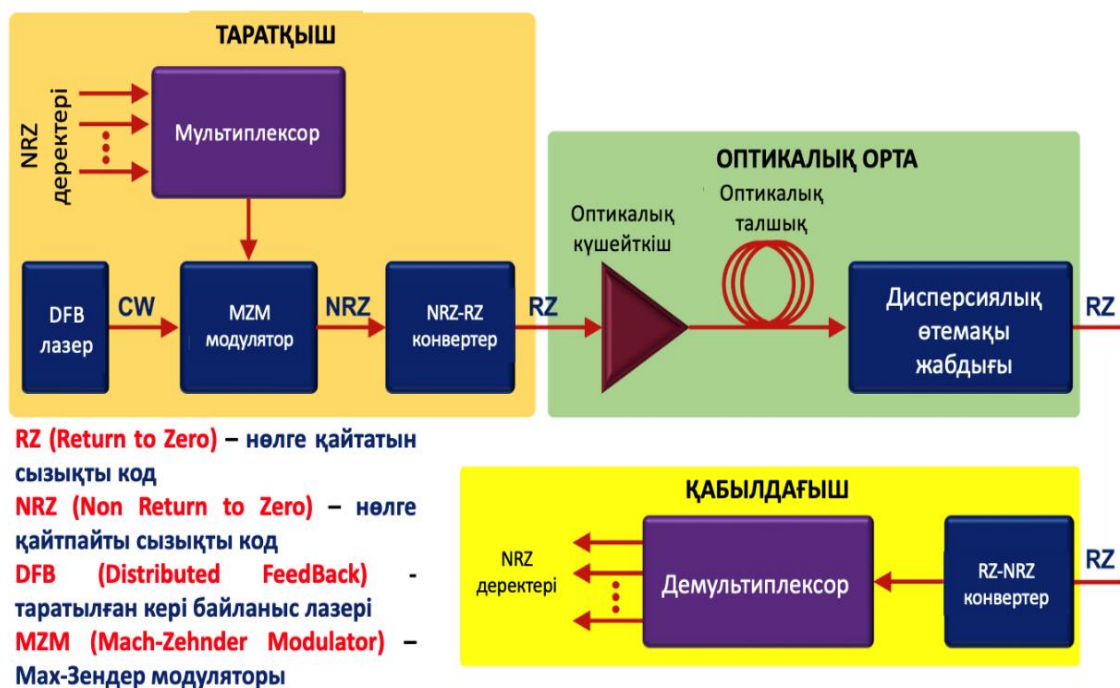
2 Жабдықты таңдау және солитонды құрастыру схемалары ЖТҚС

2.1 Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері

«Солитон» 1965 жылы сызықтық емес ортада таралатын импульстардың бөлшектерге ұқсас қасиеттерін сипаттау үшін ойлап табылған. Оптикалық талшықтарда солитондардың болуы талшықтардың ішінде таралатын оптикалық импульстарға тәуелсіз әсер ету кезінде талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінің өнімділігін шектейтін топтық жылдамдық дисперсиясы (GVD) мен өздігінен фазалық модуляция (SPM) арасындағы тепе-теңдіктің нәтижесі болып табылады [1].

Солитондар - бұл көптеген терабиттердің секундына өте жоғары оптикалық берілу жылдамдығын ұзақ қашықтықта ұстап тұра алатын сызықтық емес оптикалық импульстар.

2.1-суретте талшықты-оптикалық солитонды беру жүйесінің блок-схемасы көрсетілген.



2.1-сурет – Талшықты-оптикалық солитонды беру жүйесінің блок-схемасы

Таратқыш бөліміндегі негізгі элемент (2.1-сурет) нөлге оралу импульсінің генераторы болып табылады. RZ импульстарын генерациялаудың қарапайым тәсілі-DFB лазерлік көзімен жұмыс істейтін оптикалық модулятор мен NRZ-RZ түрлендіргішін пайдалану. Бұл жағдайда Маха-Зендер модуляторы NRZ деректерін қажетті беру жылдамдығымен модуляциялау үшін қолданылады (яғни 2.5-тен 40 Гбит/с-қа дейінгі диапазонда). Дегенмен, бір NRZ деректер ағынын пайдаланудың орнына, RZ импульстарына түрлендіру орын алмас бұрын бірнеше мультиплекстелген NRZ деректер

ағындарын қамтитын NRZ оптикалық сигналын модуляциялау пайдалы. Қабылдау соңында кіріс сигналы RZ-ден NRZ-ге кері түрлендіруді қажет етеді, содан кейін демультимплексор әр арна үшін нақты NRZ деректерін бөледі.

Оптикалық солитон импульстарының генерациясы ультра жылдам RZ импульстарын алу үшін таратқыш қажет болатын солитон берілісіне қол жеткізу үшін өте маңызды. Ең дұрысы, RZ импульстік көзін режимді құлыптайтын талшықты сақиналы лазер сияқты RZ лазерлік көзі арқылы жүзеге асыруға болады. Іс жүзінде мұндай лазерлік көздерді жүзеге асыру қиын, өйткені олар өте жылдам RZ импульстарын жасау кезінде тұрақты жиілікті сақтау үшін қажет.

Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері бір немесе көп толқынды болуы мүмкін. Бір толқын ұзындығындағы арна жүйесінде оптикалық талшыққа RZ импульстарын іске қосу үшін тек бір таратқыш қолданылады. Көп толқынды оптикалық солитон жүйелері бір уақытта бірнеше таратқыштарды пайдаланады, мұнда деректер WDM көмегімен мультиплекстеледі.

2.2 Раман күшейткіші бар солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелері

Раман күшейту оптикалық байланыс желілерінде пайдалану үшін дәйекті түрде дамып келе жатқан технологияны білдіреді. Ұзақ мерзімді желілерде жиі қолданылатын Раман күшейткіші толқын ұзындығын бөлу (DWDM) тығыз мультиплекстеу желілерінде де қамтуды кеңейтеді деп күтілуде.

Осылайша, бұл өсіп келе жатқан іске асыру желілік операторлар үнемі кездесетін өткізу қабілеттілігіне деген үлкен сұранысқа негізделген.

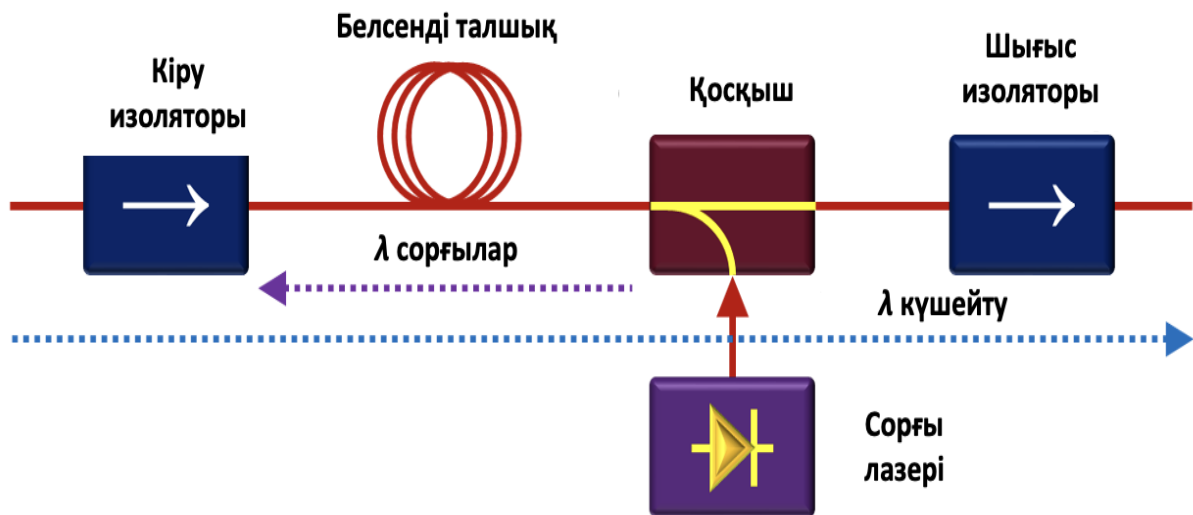
Раман күшейткіші 100G және одан жоғары желіде қолдану үшін пайдалы екенін дәлелдеді. Ол барған сайын танымал бола бастады, өйткені ол жоғары өткізу қабілеттілігінің қажеттілігін қанағаттандыра алады [1].

Желінің өткізу қабілетін арттырудың әртүрлі баламалары бар:

- С-диапазонан L-диапазонына шығу;
- таңбалардың жиілігін арттыру;
- спектрлік тиімділікті арттыру.

Нұсқалардың кез келгені оптикалық сигналдың OSNR (Optical Signal-to-Noise-Ratio) шуына жоғары қатынасын қажет етеді. Раман күшейткіші әдетте қуатты арттыру үшін қажет osdr кеңістіктік аймағының жоғары оптикалық рефлектометриясын OSDR (Optical Space Domain Reflectometry) қамтамасыз етеді, сонымен бірге қымбат оптикалық-электронды регенерация қажеттілігін жояды және дискретті және үлестірілген болып бөлінеді.

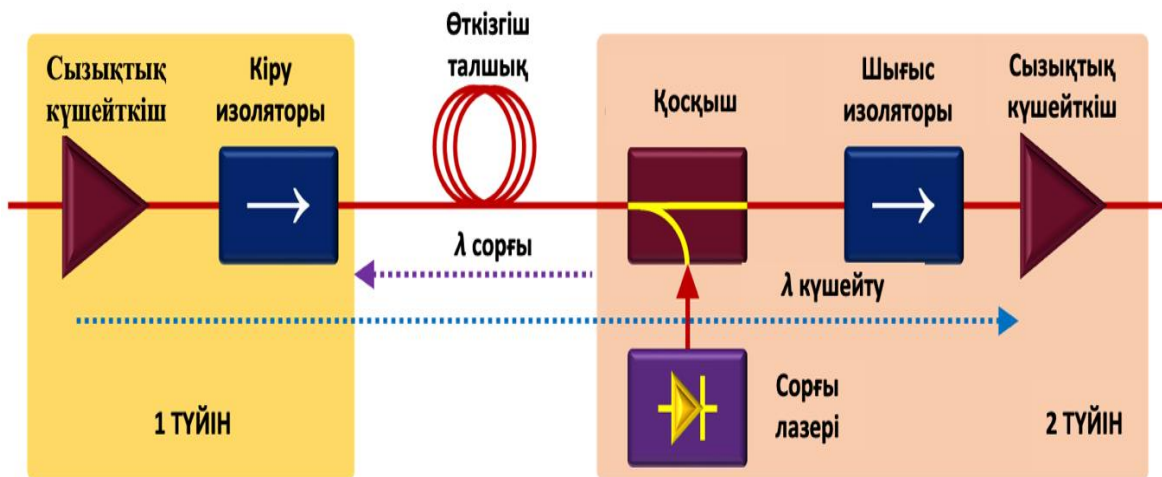
Дискретті раман күшейткішінің схемасы 2.2-суретте көрсетілген.



2.2-сурет – Дискретті раман күшейткішінің схемасы

Раман күшейту әдетте Желілік талшықты күшейту ортасы ретінде пайдаланады. EDFA бар талшықты аралыққа тарату раман күшейткішін қосу арқылы сигнал қуатының жоғалуын азайтуға болады.

Таратылған раман күшейткішінің схемасы 2.3-суретте көрсетілген.



2.3-сурет – Таратылған раман күшейткішінің схемасы

Әдетте орналастырылатын қарсы таралатын Раман күшейткіші Раман сорғысының бір немесе бірнеше лазерлерінен және толқын ұзындығын біріктіргіштен тұрады, осылайша Раман сорғысының толқын ұзындығы сигналға қарама-қарсы бағытта талшыққа беріледі. Талшық бойымен таралатын сигнал әлсірейді, бірақ ол Раман сорғысы орналасқан талшықтың соңына қарай жылжыған сайын, ол Раман сорғысының толқын ұзындығынан біршама күшейе бастайды. Сигналдың жоғары қуаты осылайша OSDR-ді арттырады, бұл талшықтардың ұзағырақ диапазонын, жоғары өткізу

кабілеттілігін және спектрлік тиімділікті және ұзақ байланыс қашықтығын қамтамасыз етеді.

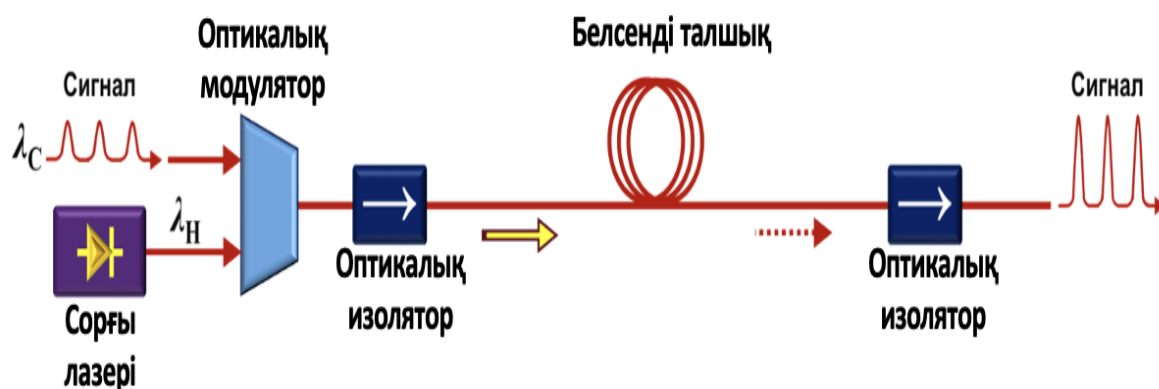
2.3 Эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық тарату жүйелері

Эрбий легирленген талшықты лазерлік жүйелердегі импульстардың ультра жылдам генерациясы 1550 нм толқын ұзындығы диапазонында жұмыс істейді. Ультра жылдам импульстардың генерациясы резонанстық қаныққан сіңіргіш айналары бар солитонды талшықты лазерлерде, сондай-ақ эрбиуммен легирленген жоғары тиімді үлкен режимді талшықтардағы олардың күшеюінде жүреді.

Толық талшықты компоненттерді қолдана отырып, әр түрлі күшейту схемалары жоғары қайталанатын лазерлік жүйеден рекордтық импульстік энергияға қол жеткізуге әкеледі.

Жүйе 230 наноДж импульс энергиясына сәйкес келетін 35 МГц қайталау жиілігінде орташа 8 Вт қуат береді. Сыртқы қысудан кейін ұзындығы 850 фс болатын конверсиямен шектелген импульстар алынады. Импульстің ең жоғары қуаты 180 кВт-тан асады [1].

Бір сорғы лазері бар эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық беру жүйесінің схемасы 2.4-суретте көрсетілген.



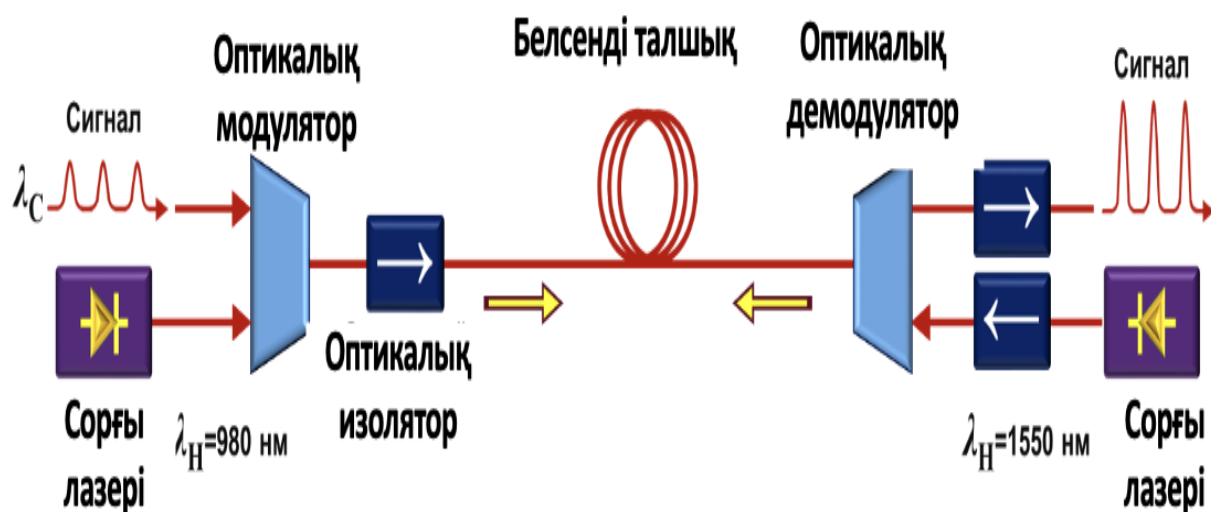
2.4-сурет – Бір сорғы лазері бар оптикалық эрбийлік күшейткішінің схемасы

Бір сорғы лазері бар оптикалық Эрбийді күшейткіш схемасында оптикалық модулятор толқын ұзындығы λ_C сигналын алады және толқын ұзындығы λ_H сорғы лазерінен. Оптикалық модулятор сигналдарды араластырады және оптикалық изолятор арқылы талшықты-оптикалық тарату жүйесінің желісіне белсенді талшық арқылы жеткізеді. Соңғы нүктеде оптикалық изолятор арқылы сипаттамалары өзгертілген сигнал пайда болады.

Лазердің сәулелену көзінің жиілігі 10 ГГц, толқын ұзындығы 1550 нм болатын 2.56 Тбит/с дейінгі солитонды беру жылдамдығы қамтамасыз етіледі.

Сигналдың электрлік регенерациясынсыз берілу қашықтығы шамамен бірнеше мың шақырымды құрайды. Солитон импульстарының ұзақтығы шамамен $2,7 \div 3,0$ пс құрайды.

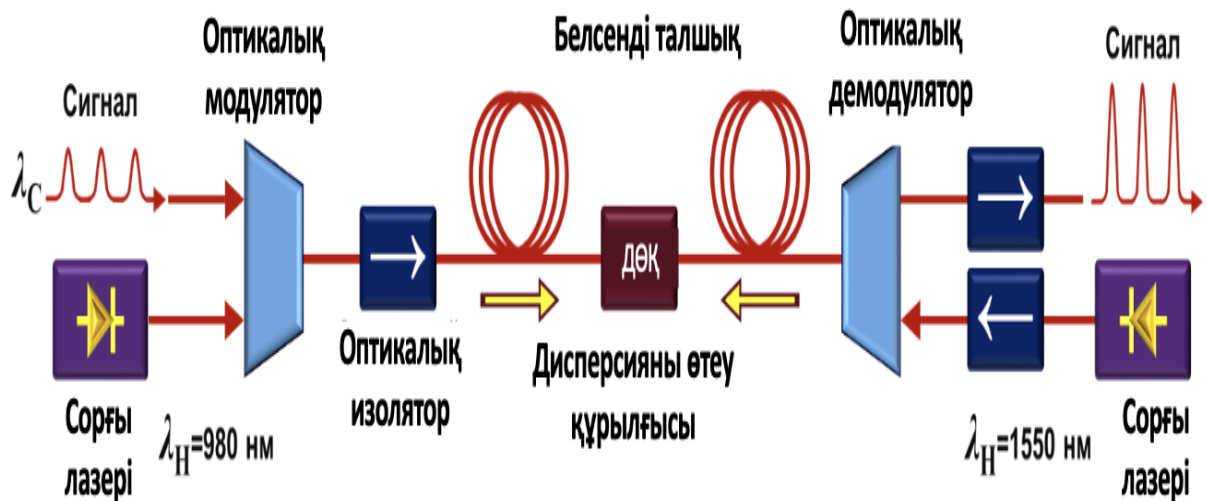
Екі сорғы лазері бар эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық беру жүйесінің схемасы 2.5-суретте көрсетілген.



2.5-сурет – Оптикалық эрбий күшейткішінің екі сорғы лазерімен схемасы

Оптикалық эрбийдің күшейткіш схемасында екі сорғы лазерімен оптикалық модулятор толқын ұзындығы λ_c сигналын алады толқын ұзындығы $\lambda_H=980$ нм бірінші сорғы лазерінен. Оптикалық модулятор сигналдарды араластырады және оптикалық изолятор арқылы талшықты-оптикалық тарату жүйесінің желісіне белсенді талшық арқылы жеткізеді. Соңғы нүктеде оптикалық демодулятор арқылы өзгерген сипаттамалары бар сигнал пайда болады. Толқын ұзындығының екінші лазері $\lambda_H=1550$ нм оптикалық демодулятор арқылы қарсы ағын жасайды.

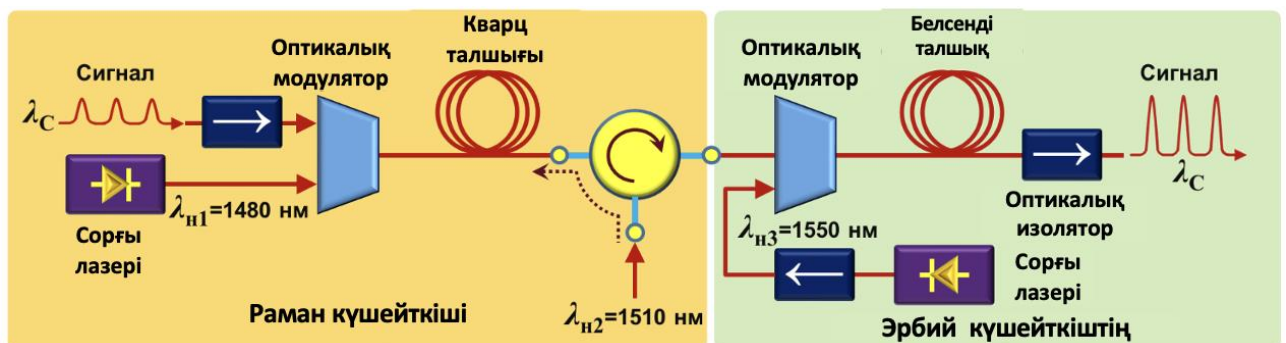
Дисперсиялық компенсациясы бар эрбий негізіндегі оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық беру жүйесінің схемасы 2.6-суретте көрсетілген.



2.6-сурет – Дисперсиялық компенсациясы бар оптикалық эрбий күшейткішінің схемасы

Дисперсиялық компенсацияланған оптикалық Эрбийді күшейткіш схемасында оптикалық модулятор толқын ұзындығы λ_c сигналын алады. Ж және толқын ұзындығы $\lambda_H=980$ нм бірінші сорғы лазерінен. Оптикалық модулятор сигналдарды араластырады және оптикалық изолятор арқылы талшықты-оптикалық тарату жүйесінің желісіне белсенді талшық арқылы жеткізеді. Соңғы нүктеде оптикалық демодулятор арқылы өзгерген сипаттамалары бар сигнал пайда болады. Толқын ұзындығының екінші лазері $\lambda_H=1550$ нм оптикалық демодулятор және белсенді оптикалық талшық арқылы қарсы ағын жасайды. Талшықты-оптикалық жүйенің желісінде дисперсия құрылғысы ДӨҚ арқылы өтеледі.

Оптикалық раман күшейткіші мен эрбий негізіндегі күшейткіштің тіркесімі бар солитонды талшықты-оптикалық беру жүйесінің схемасы 2.7-суретте көрсетілген.



2.7-сурет – Біріктірілген талшықты-оптикалық күшейткіштердің схемасы

Біріктірілген талшықты-оптикалық күшейткіштер схемасында Рамаң күшейткіші толқын ұзындығы λ_c сигналын қабылдайды және лазерлік

күшейткіштер арқылы екі толқын ұзындығын құрайды $\lambda_{n1}=1480$ нм және $\lambda_{n2}=1510$ нм, олар оптикалық модулятор мен тарату құрылғысына беріледі.

Эрбийум күшейткіші сорғы лазері арқылы пайда болады $\lambda_{n1}=1550$ нм, ол оптикалық модуляторға беріледі және шығуда модуляцияланған сигналды құрайды.

Лазерлік диод кіріс оптикалық сигналының толқын ұзындығынан ерекшеленетін 980 нм немесе 1480 нм толқын ұзындығымен жарық шығарады. Бұл лазер сәулесі WDM (Wavelength Division Multiplexing) coupler деп аталатын құрылғы арқылы кіріс оптикалық сигналымен араласады.

Лазер сәулесі мен оптикалық кіріс сигналдары EDFA талшығына жіберіледі. Лазер сәулесі эрбий иондарымен әрекеттескенде, ол оларды ынталандырады және бірдей толқын ұзындығы (1550 нм) және кіріс сигналының бағыты бойынша күшейтілген оптикалық сигнал шығарады. Бұл процесс ынталандырылған сәулелену деп аталады.

Алайда, кездейсоқ бағытта қозғалатын күшейтілген оптикалық сигналдың белгілі бір мөлшері де жасалады. Бұл оптикалық сигнал EDFA жүйесінде шу шығарады. Бұл оптикалық сигнал шуын оқшаулағышпен азайтуға болады. Оптикалық оқшаулағыш жарықтың бір бағытта өтуіне мүмкіндік береді және жарықтың басқа бағытта берілуін блоктайды. Ол Шығыс портынан қажетсіз кері шағылысқан оптикалық сигналды жояды. Қосылыс кәдімгі оптикалық талшық пен эрбий легирленген талшықты біріктіру үшін қолданылады.

2.4 Эрбий негізіндегі оптикалық күшейтумен солитонды ТОВЖ желісін таңдау негіздемесі

Эрбий легирленген оптикалық талшыққа негізделген оптикалық күшейткіш оптикалық сигналдарды электр пішініне айналдырмай күшейтеді. Оларға жатады EDFA телекоммуникациялық талшықтар ең аз шығынға ұшырайтын 1,5 мкм толқын ұзындығы аймағында жарықты күшейту үшін эрбий легирленген талшықты айдау үшін жартылай өткізгіш лазерлерді қолданатын күшейткіштер.

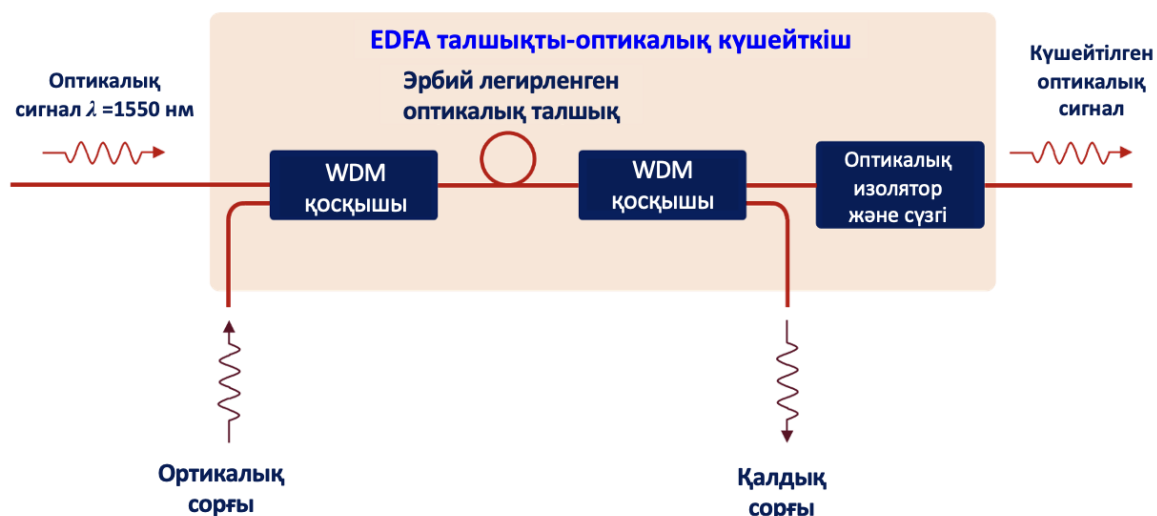
EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) – эрбий иондарымен легирленген оптикалық талшыққа арналған оптикалық талшықты күшейткіш.

DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) – тығыз спектрлік тығыздау, оптикалық арналардың үлкен санының бір талшықты берудің заманауи технологияларының бірі [1].

Ол төмен шуға ие және бір уақытта көптеген толқын ұзындығын күшейте алады, бұл DWDM желісін мүмкін етеді және оптикалық байланыс желілері үшін негізгі технологияға айналады.

EDFA іске асырылғаннан бері күшейткіштер тез дамып келеді және оптикалық байланыстың көптеген қосымшалары үшін жалғыз таңдау болды.

EDFA құрылымы мен жұмыс принципі 3.1-суретте көрсетілген. EDFA эрбий ионымен легирленген шыны оптикалық талшықтан, WDM муфтасынан, оқшаулағыштардан, оптикалық сүзгіден және сорғы көзінен тұрады.



3.1-сурет – Талшықты-оптикалық күшейткіштің EDFA құрылымдық схемасы

Жоғарыдағы суретте EDFA қалай жұмыс істейтіні көрсетілген. Сигналды тасымалдайтын жарық сәулесі эрбий легирленген оптикалық талшық арқылы өткенде, айдау лазері WDM тармақтары арқылы эрбий 980 және 1480 нм сіңіру шыңдарында күшейткіш энергиясын қамтамасыз етеді. Содан кейін оптикалық сүзгі сигналдың қабылдануына кедергі келтірмеу үшін сорғы сәулесінің қалған іздерін жояды. Оқшаулағыштар EDFA шағылыстарын азайту үшін күшейткіштерге салынған.

EDFA-ны дұрыс таңдау үшін, ең алдымен, EDFA-ны пайдалану керек Желі түріне көз жеткізіңіз. Желілік қосымшаға байланысты EDFA әдетте келесі түрлерге бөлінеді:

- DWDM EDFA: желінің бұл түрі үшін EDFA жоғары шу қуаты ғана емес, сонымен қатар барлық толқын ұзындығының арналарын бірдей күшейту үшін тегістелген пайда болуы керек;

- SDH EDFA: SDH желісі үшін EDFA дизайны максималды анықтау сезімталдығына қол жеткізу үшін максималды қуат бюджетін қамтамасыз етуі керек;

- CATV EDFA: сондай-ақ, ол ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз ету үшін жылу мен желдетуді ескере отырып, шу деңгейі төмен CATV кабельдік теледидарында қолдануға арналған EDFA бар.

EDFA - эрбий легирленген оптикалық талшыққа негізделген оптикалық күшейткіш, ол оптикалық сигналдарды электр пішініне айналдырмай күшейтеді. EDFA телекоммуникациялық талшықтар ең аз шығынға ұшырайтын 1,5 мкм толқын ұзындығы аймағында жарықты күшейту үшін эрбий легирленген талшықты айдау үшін жартылай өткізгіш лазерлерді пайдаланады. Ол төмен шуға ие және бір уақытта көптеген толқын ұзындығын

күшейте алады, бұл DWDM желісін мүмкін етеді және оптикалық байланыс желілері үшін негізгі технологияға айналады. EDFA іске асырылғаннан бері ол тез дамып, оптикалық байланыстың көптеген қосымшалары үшін күшейткіштің таңдауына айналды.

EDFA құрылымы мен жұмыс принципі қарапайым. EDFA эрбий ионымен легирленген шыны оптикалық талшықтан, WDM муфтасынан, оқшаулағыштардан, оптикалық сүзгіден және сорғы көзінен тұрады.

Ең алдымен, сіз EDFA пайдалану қажет желі түріне көз жеткізуіңіз керек. Желілік қосымшаға байланысты EDFA әдетте келесі түрлерге бөлінеді:

DWDM EDFA: желінің бұл түрі үшін EDFA жоғары, төмен шу қуаты ғана емес, сонымен қатар барлық толқын ұзындығының арналарын бірдей күшейту үшін тегістелген пайда болуы керек.

SDH EDFA: SDH желісі үшін EDFA дизайны максималды анықтау сезімталдығына қол жеткізу үшін максималды қуат бюджетін қамтамасыз етуі керек.

CATV EDFA: сондай-ақ ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз ету үшін жылу шығаруды және желдетуді ескере отырып, шу деңгейі төмен CATV қолдануға арналған EDFA бар.

EDFA оптикалық деректер арналарының өнімділігін арттыру үшін қолданылатын әдіс EDFA таңдау кезінде де маңызды. Осыған байланысты нарықта EDFAS үш түрін табуға болады:

- EDFA күшейткіші: оптикалық талшыққа сигнал түскенге дейін оптикалық таратқыштың оптикалық шығысын арттыру үшін қолданылады;

- ендірілген EDFA: оптикалық сигнал оптикалық талшық бойымен қозғалған кезде әлсірейді және оптикалық сигналды бастапқы қуат деңгейіне дейін қалпына келтіру үшін қолданылады;

- EDFA алдын ала күшейткіші: оптикалық қабылдағыштың сезімталдығын арттыру үшін оптикалық арнаның соңында қолданылады.

EDFA таңдамас бұрын бірқатар басқа маңызды элементтерді ескеру қажет.

Толқын ұзындығы: EDFA арқылы қанша толқын ұзындығы өтетініне, сондай-ақ 1530-дан 1562 нм-ге дейінгі бастапқы және соңғы толқын ұзындығына көз жеткізу керек. Бір толқын ұзындығымен байланысу үшін сіз нақты толқын ұзындығын нақты білу керек.

Бюджет қуаты немесе шығын: бюджет бүкіл байланыс желісі үшін қанша пайда қажет екенін анықтайды.

EDFA орналасуы: таратқыштан кейін, қабылдағыштың алдында немесе аралықтың ортасында. EDFA талшықты-оптикалық күшейткіш 3.2-суретте көрсетілген.



3.2-сурет – EDFA талшықты-оптикалық күшейткіш

Дұрыс EDFA таңдау мұқият тәсілді қажет етеді. EDFA түрлері мен санына сенімді болу үшін әр түрлі EDFA-ны жоғары сапалы және төмен бағамен жеткізетін өндірушілердің нарығын, сондай-ақ клиенттердің сұраныстарын қанағаттандыратын ақысыз EDFA шешімдерін зерттеу қажет.

2.5 Оптикалық Раман күшейткішімен солитонды ТОВЖ таңдау негіздемесі

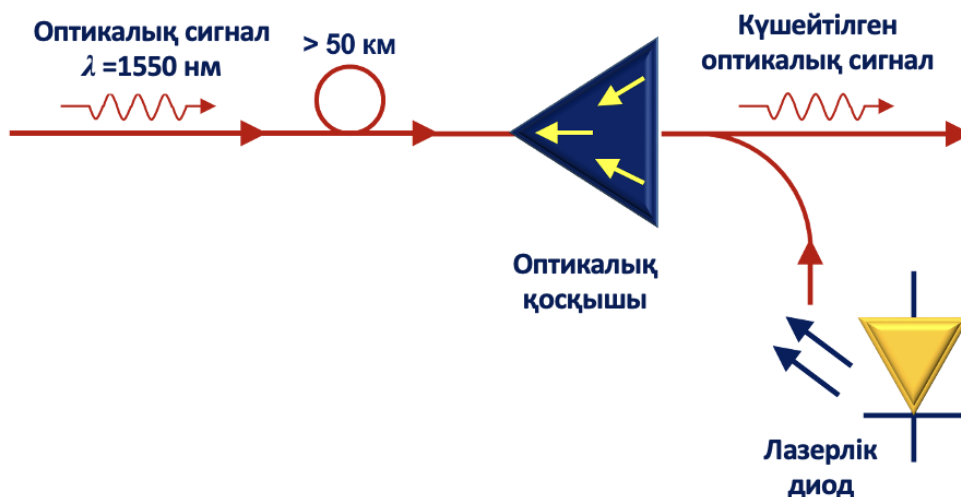
EDFA күшейткішінің жұмыс жолағы мен өткізу қабілеттілігінің шектеулері барған сайын айқын бола бастағандықтан, раман күшейткіші ынталандырылған раман шашырауы арқылы сигналдарды күшейтетін жетілдірілген оптикалық күшейткіш ретінде ұсынылды. Желінің болашақ қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ол кез келген толқын ұзындығында күшейтуді қамтамасыз ете алады [1].

Қазіргі уақытта нарықта комбинациялық күшейткіштердің екі түрі бар:

- күшейту ортасы ретінде әрқашан DCF (дисперсиялық компенсация талшығы) немесе жоғары сызықты емес талшықты қолданатын шоғырланған раман күшейткіші. Оның күшейту талшығы салыстырмалы түрде қысқа, әдетте 10 км ішінде;

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

Раман күшейткіші жұмыс істеп тұрған кезде, айдау лазерін сигналмен бірдей бағытта (бағыттаушы сорғы), қарама-қарсы бағытта (бағытқа қарсы сорғы) немесе екі бағытта таратқыш талшыққа қосуға болады. Содан кейін сигналды күшейту үшін сигналдар мен сорғы лазері оптикалық талшықтың ішінде сызықтық емес өзара әрекеттеседі. Жалпы, қарама-қарсы айдау жиі кездеседі, өйткені 3.3-суретте көрсетілгендей шудың сорғыдан сигналға берілуі азаяды.



3.3-сурет – Раман күшейткішінің құрылымдық схемасы

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

- оның кең жолағы бар, ал EDFA жолағы тек 1525 нм-ден 1565 нм-ге дейін және 1570 нм-ден 1610 нм-ге дейін;
- таратушы талшықтың ішінде үлестірілген күшейтуді қамтамасыз етеді.

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

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

Кесте 3.1 – EDFA және раман күшейткіштерінің салыстырмалы сипаттамалары

Параметр	EDFA күшейткіші	Раман күшейткіші
Толқын ұзындығы (нм)	1525÷1565, 1570÷1610	Барлық толқын ұзындығы
Күшейту (дБ)	> 40	> 25
Шу көрсеткіші (дБ)	5	5
Сорғы қуаты (дБм)	25	> 30
Шығындар факторы	Салыстырмалы түрде төмен	Салыстырмалы түрде жоғары

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

- құны төмен;
- сорғы қуатын жоғары пайдалану;
- энергияны түрлендірудің жоғары тиімділігі;
- күшейтудің жақсы тұрақтылығы;
- аздаған айқаспалы кедергілері бар жоғары күшейту коэффициенті.

2.6 Солитонды ТОВЖ жабдықтарын таңдау

Жабдықты таңдау үшін солитон ТОВЖ жобалау кезінде бастапқы шарттар пайдалану кезеңінде өз жұмысында қамтамасыз етілуі тиіс негізгі көрсеткіштердің мәндеріне қойылатын талаптар болып табылады.

Солитон ТОВЖ жабдығын таңдауға арналған бастапқы деректер:

- солитонды беру жылдамдығы 2.56 Тбит/с дейін;
- лазерлік сәулелену көзінің жиілігі-10 ГГц;
- сигналдың электрлік регенерациясыз беру қашықтығы 4000 км дейін;
- өзектің тиімді ауданы 25 мкм²;
- толқын ұзындығы – 1550 нм;
- солитон импульстарының ұзақтығы 2,7÷3,0 пс.

Бастапқы деректерге сәйкес, біз Alcatel-Lucent 1625 Lambda Extreme Transport (1625 lambdaxtreme®) жабдықтарын таңдау туралы шешім қабылдаймыз – бұл Alcatel-Lucent Technologies компаниясының бір ортақ платформаны ұсынатын негізгі көлік шешімінің жаңа буыны.


Жаңа талшықты оптика технологиялары бойынша ұзақ мерзімді, ультра ұзақ мерзімді және ультра жоғары магистральдық тасымалдаудың жалпы платформасы үшін толқын ұзындығы 64×40G дейін, солитонды беру жылдамдығы 2,56 Тбит/с сигналды электрлік регенерациясыз беру қашықтығын 4000 км-ге дейін қамтамасыз етеді. Бұл ретте 4x2.5G және 4x10G клиенттік интерфейстері бар мультиплекстеуші транспондерлерді және икемді, қашықтан бағдарламалық конфигурацияланатын, өнімділігі жоғары жабдықтарды қолдану қажет [1].

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

Эрбий негізіндегі солитонды оптикалық күшейту үшін EDFA-1550/23 (2x19) оптикалық күшейткіш таңдалды. +23 дБм, 2 шығу 19 дБм. Эрбий легирленген JDSU (АҚШ) оптикалық талшық, JDSU (АҚШ) сорғы лазері, SNMP, кіріс: -5 ÷ +10дБм, 220VAC қуат көзі (қосымша 48VDC), 1U, 19".

EDFA-1550/23 (2x19) оптикалық күшейткіштің негізгі сипаттамалары 3.2 кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 – EDFA-1550/23 (2x19)оптикалық күшейткіштің негізгі сипаттамалары

Сипаттама атауы		Көрсеткіштер 						
Орындау сатысы		стандартты						
Оптикалық диапазонның толқын ұзындығы, нм		1535÷1565						
Оптикалық шығыстар, дана.		2						
1 шығысқа арналған оптикалық қуат, дБм		15	16	17	18	19	20	21
Оптикалық шығыс қуаты, жалпы, дБм		19	20	21	22	23	24	25
Оптикалық кіріс қуаты (дБм)		-5 ÷ +10						
Тұрақты шығыс қуат диапазоны, дБм		± 0,2						
Шу коэффициенті		5.5 артық емес						
Кері сипаттағы шығындар, дБм	кірісте	45 кем емес						
	шығыста	45 кем емес						
Оптикалық қосқыш		SC/APC (қосымша FC/APC)						
«Сигнал/шум» деңгейі (C/N), дБ		50 кем емес						
Композиттік интермодуляция (СТВ), дБ		63 кем емес						
Дискретті интермодуляция (CSO), дБ		63 кем емес						
Желілік интерфейс		RJ45, RS232						
Қоректендіру кернеуі, В		160÷250 В перем. (48 В пост.)						
Қуат көздері, дана.		2						
Температура диапазоны – жұмыс, °С		-5 ÷ +55						
Салыстырмалы ылғалдылық, %		max 95% (конденсациясыз)						
Сақтау температурасы, °С		-30 ÷ +70						
Корпус түрі		1U						
Массасы, кг		6 кем емес						
Габариттік өлшемдері, мм		483(ені)×340(тереңдігі)×44(биіктігі)						

Раман күшейтілген солитон ТОВЖ үшін Raman Optilab (RA-R) күшейткіші таңдалды.

Raman Optilab (RA-R) оптикалық күшейткішінің негізгі сипаттамалары 3.3 кестеде келтірілген.

Кесте 3.3 – Raman Optilab (RA-R) оптикалық күшейткішінің негізгі сипаттамалары

Сипаттама атауы	Көрсеткіштер
1	2
Оптикалық диапазонның толқын ұзындығы, нм	RA-C 1525÷1565 үшін , RA-CL 1528÷1605 үшін
Сигналды күшейтудің орташа мәні, дБ	RA-C 11÷13 үшін , RA-CL 10÷12 үшін
Жазықтықтағы күшейту, дБ	RA-C ± 0.75 үшін, RA-CL ± 0.90 үшін
Сорғы лазерінің саны, дана кестенің жалғасы	RA-C – 4 үшін, RA-CL – 6 үшін
Кіріс сигналының деңгейі, дБ	- 40 ÷ +5
Шудың тиімді көрсеткіші, дБ	- 1.3
Поляризациялық режим дисперсиясы, пс	max 0.2
Поляризацияны күшейту коэффициенті, дБ	max 0.2
Тұрақты қуат, дБ	± 0.1 8 сағаттан артық
Кіру және шығу оқшаулау, дБ	min 30
Оптикалық кіріс қосқыштары	3 мм стандарты бар SMF-28 талшық
Жоғары қуат номиналды	SC/APC, FC/APC, LC/APC (қосымша)
Оптикалық шығыс порты	SC/APC коннектор, FC/APC, LC/APC (қосымша)
Жұмыс температурасы, °C	0° ÷ +50
Сақтау температурасы, °C	- 10 ÷ +70
Қуат көзі, В/Гц	80÷240 В, 43÷63 Гц айн, 40 = 58 в тұр. (қосымша) қосарланған қуат стандарты
Қуат тұтыну, Вт	max 80
Бақылау/Мониторинг	сорғы лазерінің температурасы мен тогы
Байланыс интерфейсі	RS232 интерфейс кабелі компьютерден тірекке орнату блоктарына дейін
Дабыл	Қызу, токпен қызып кету
Жалпы өлшемдер, дюйм	19 (ені)×20.5 (тереңдігі)×3.5 (биіктігі)

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

3 Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің негізгі параметрлерін есептеу

3.1 Негізгі параметрлерді есептеу мәселесін қою

Дисперсиямен басқарылатын пассивті сақина резонаторы бар. Уақытша солитондармен дисперсиялық толқындардың сәулеленуі байқалады. Сандық модельдеу арқылы аналитикалық болжам жасау қажет.

Жоғары ретті Дисперсия уақыт аймағындағы солитондардың әрекетін анықтайды. Уақытша аймақтағы солитондар әсіресе микрорезонаторларда, бұл жағдайда пассивті сақина резонаторында көрінеді. Осылайша, спектрлік сипаттамалардың кең жолақты жоталарында пайда болатын спектрлік ерекшеліктердің шығу тегі анықталады.

Бастапқы деректер:

- солитонды беру жылдамдығы 2.56 Тбит/с дейін;
- лазерлік сәулелену көзінің жиілігі – 10 ГГц;
- сигналдың электрлік регенерациясыз беру қашықтығы 4000 км дейін;
- өзектің тиімді ауданы 25 мкм²;
- толқын ұзындығы– 1550 нм;
- солитон импульстарының ұзақтығы 2,7÷3,0 пс.

3.2 Уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулеленуді талдау

Дисперсиялық толқындардың сәулеленуі жоғары ретті дисперсиямен қозғалатын қарқынды жарық импульстарымен жүреді. Бұл, әдетте, таралатын импульстің фазасы басқа жиіліктегі сызықтық толқынның (немесе толқындардың) фазасымен бірдей өзгеріп, бұл толқынның резонанстық энергия беру арқылы күшеюіне мүмкіндік бергенде пайда болады. Бақылаулардың басым көпшілігі дисперсиялық толқындардың сәулеленуін тек жарқын солитондармен байланыстырады, бірақ іс жүзінде бұл процесс әлдеқайда жалпы, өйткені. ол қалыпты және қалыптан тыс дисперсиялық режимдерде қараңғы солитондармен, тіпті солитондық емес импульстармен де болуы мүмкін [1].

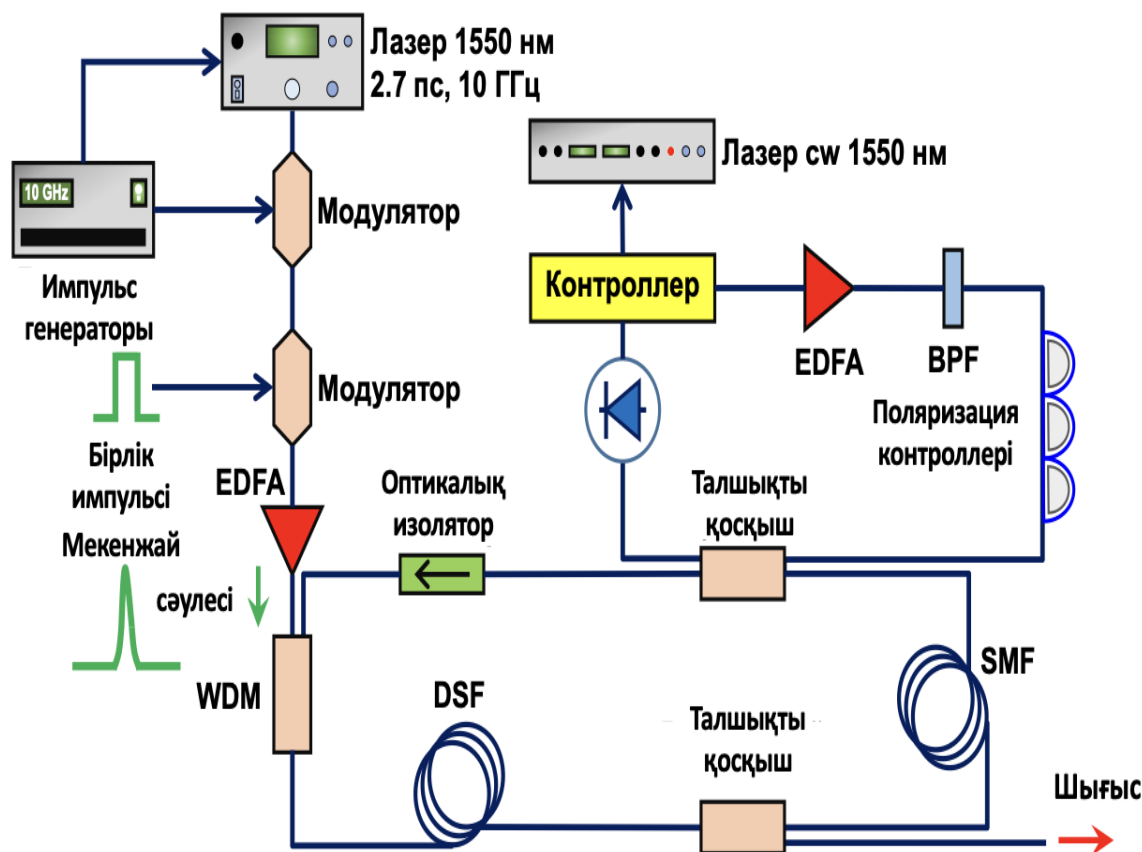
Қараңғы солитонның пайда болуы белгілі қарқындылығы бар үздіксіз толқында қарқындылық жергілікті түрде төмендей бастағанда, басқаша айтқанда, жарық толқынында Бос орындар пайда болған кезде пайда болады.

Бүгінгі күні бұл процесс сызықты емес талшықты оптикадағы жиілікті түрлендірудің орталық механизмдерінің бірі ретінде танылды, онда ол қайта реттелетін когерентті сәулелену көздерін жүзеге асыру үшін пайдаланылды және солитонды талшықты-оптикалық жүйелерде қолданылатын кең жолақты

сәулелену спектрлерін генерациялаудың маңызды құрамдас бөлігі ретінде анықталды.

Когерентті сәулелену оның фазалық модуляциясы арқылы жарық сигналы арқылы ақпаратты беруді білдіреді.

Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйені есептеу схемасы 3.1-суретте келтірілген.



3.1-сурет – Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйені есептеуге арналған схема

Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйенің схемасына мыналар кіреді:

- 10 ГГц импульс генераторы;
- толқын ұзындығы 1550 нм, солитон импульсінің ұзақтығы 2.7 пс, жиілігі 10 ГГц лазер;
- 1550 нм жиілікпен үздіксіз (CW, Continuous Wave талшықты лазерлер);
- 10 ГГц жиілікпен импульстік модулятор;
- бірлік импульс модуляторы;
- EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) – эрбиймен легирленген талшықты күшейткіш;
- BPF (BandPass Filter) – диапазонды жолақты сүзгі;
- WDM (Wavelength Division Multiplexing) – толқын ұзындығын бөлетін мультиплексор;

- SMF (Single Mode Fiber) - бір режимді талшық;
- DSF (Dispersion – Shifted Single Mode Fiber) - дисперсиялық ығысу талшығы;
- үздіксіз лазерлік басқару контроллері;
- талшықты поляризация контроллері;
- талшықты қосқыштар;
- оптикалық оқшаулағыш.

3.3 Уақытша солитондармен дисперсиялық толқындық сәулеленуді есептеу

Микрорезонаторлары бар уақытша солитондардың дисперсиялық толқындық сәулеленуінде екі компонент қолданылады:

- ZDW (Zero-Dispersion Wavelength) – нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы;

- DW (Dispersion Wavelength) – дисперсиямен толқын ұзындығы.

Толқындық сәулеленудің дисперсиясы сәйкес толқын ұзындығының режимінің топтық таралу жылдамдығының тәуелділігін анықтайды, бұл сайып келгенде оптикалық талшықтың сыну көрсеткіші профилінің пішінін құруға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда дисперсия алынған профильге сәйкес режим алатын кеңістіктің және талшықтың сыну көрсеткішінің тәуелділігін анықтайды.

Жарық өткізгіштердің өзегінің үлкен диаметрлері бар кейбір жағдайларда толқындық сәулеленудің дисперсиясы ескерілмейді. Бір режимді оптикалық талшықтар өзегінің радиусы аз, толқындық сәулеленудің айтарлықтай дисперсиясына ие, ол келесідей анықталады:

$$D_w = -\frac{(n_1 - n_2)}{c \cdot \lambda} V \frac{\partial^2(V \cdot b)}{\partial V^2} \quad (3.1)$$

мұндағы, V – нормаланған жиілік, Гц;

$(n_1 - n_2)$ – оптикалық ортаның сыну көрсеткіші;

c – вакуумдағы жарық жылдамдығы, м/с;

λ – толқын ұзындығы, м;

b – толқын таралуының нормаланған тұрақты мәні, ол келесі қатынаспен анықталады:

$$b = \frac{\frac{\beta}{\delta} - n_2}{n_1 - n_2} \quad (3.2)$$

мұндағы, β – дисперсия коэффициенті, $\text{пс}^2/\text{км}$;

δ – реттеу шамасы, рад.

D дисперсиясының алынған мәні D_{mat} материалдық компоненті мен D_w толқындық компонентінің қосындысы ретінде анықталады және бірінші және екінші диффузиялық тұрақтыларды келесі теңдеумен байланыстырады:

$$D = -\frac{\lambda}{2\pi c} \left(2 \frac{\partial \beta}{\partial \lambda} + \lambda \frac{\partial^2 \beta}{\partial \lambda^2} \right) \quad (3.3)$$

Оптикалық талшықтардың сыну көрсеткішінің профильдері толқын өткізгіштің теріс бөлігінде материалдық дисперсияны өтеу қаншалықты қажет екенін көрсетеді. Оптикалық талшықтарда дисперсиялардың материалдық және толқындық бөлігінің компоненттерін қосқанда, нөлдік дисперсияның толқын ұзындығы $\lambda = 1550$ нм мөлдірліктің үшінші терезесінің аймағына ауысады.

Берілген спектрлік диапазонда белгілі бір тасымалдаушы бар SMF оптикалық талшығы үшін дисперсия келесі теңдеумен анықталады:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right), \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \quad (3.4)$$

мұндағы, S_0 – бір режимді SMF оптикалық талшығы үшін толқындық сәулеленудің көлбеу дисперсия коэффициентінің мәні $0.092 \text{ пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$.

Берілген спектрлік диапазонның белгілі бір тасымалдаушы жиілігінде DSF ығысқан дисперсиясы бар талшықтар келесі интерполяциялық дисперсиялық сипаттамамен бағаланады:

$$D(\lambda) = \lambda_0 S_0 \cdot \ln \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right), \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \quad (3.5)$$

Кейбір жағдайларда, әсіресе бір режимді оптикалық талшықтар үшін спектрлік диапазондардың шекаралық интервалдарына сәйкес келетін әр түрлі толқын ұзындығындағы дисперсия коэффициенттерінің мәндері анықталады. Бұл жағдайда дисперсиялық сипаттама келесі теңдеумен есептеледі:

$$D(\lambda) = \left[\frac{D(\lambda_2) - D(\lambda_1)}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) \right] + D(\lambda_2), \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \quad (3.6)$$

1550 нм жиілігі бар үздіксіз талшықты лазерге резонатордың резонансы әсер етеді, осылайша жүйенің интерферометриялық тұрақтылығы сақталады. Солитонды беріліс қатесінің сигналы кіріс талшықты қосқыштан шағылысатын қозғаушы күштің бір бөлігінен туындайды. Сондықтан лазер үшін $\delta_0 = 0,5 \div 0,56$ радиан параметрін резонатордың ең жақын резонансына дейін қабылдаймыз.

Лазер параметрлерінің қабылданған аралығы үшін 1 және 1.3 ватт қуат мәнін орната отырып, дисперсия коэффициенттерін есептейміз. Сонымен

қатар, 1535÷1565 нм аралығындағы толқын ұзындығының мәндері үшін спектрлік қуаттарды анықтаймыз, өйткені 1550 нм бастапқы толқын ұзындығы берілген интервалдың орталық белгісі болып табылады.

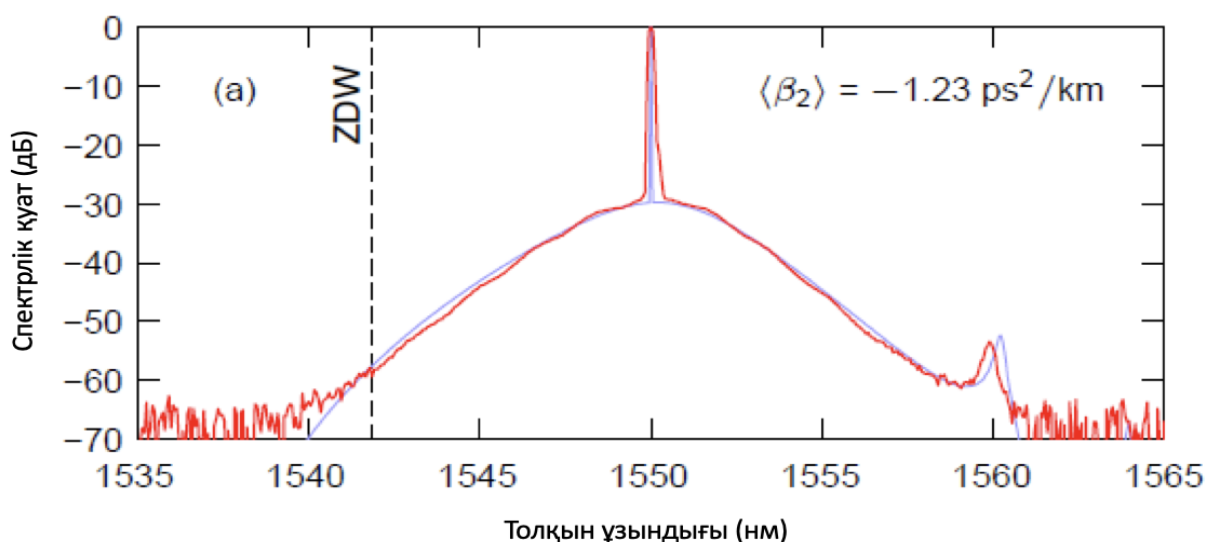
Есептеулер техникалық мәселелерді шешуге бағытталған MatLAB қолданбалы бағдарламалар пакетінің мүмкіндіктерін қолдана отырып жүргізілетін болады. MatLAB матрицалық деректер құрылымына негізделген, функциялардың кең спектріне ие және интерфейстер басқа бағдарламалау тілдерінде жазылған бағдарламаларды қолдайды [1].

$P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.55$ рад үшін есептелген дисперсия коэффициенттері 3.1 кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 – $P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.55$ рад үшін есептелген дисперсия коэффициенттері

Толқын ұзындығы λ_{DW} , нм	Спектрлік қуат P_s , дБ	Нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы (λ_{ZDW}) , нм	Дисперсия коэффициенті β_2 , пс ² /км
1535	0	1541,9	-1,23
1540	-64		
1545	-44		
1550	0		
1555	-45		
1560	-54		
1565	0		

Толқын ұзындығы мен спектрлік қуаттың есептік мәндеріне сәйкес $P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.55$ рад үшін дисперсия сипаттамаларын құрамыз



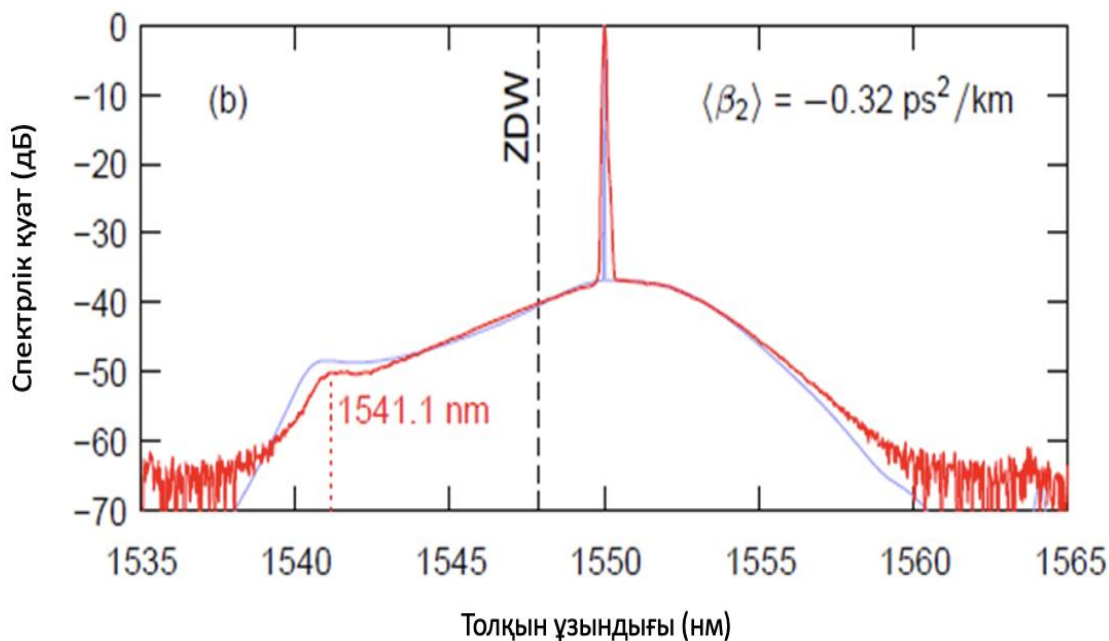
3.2-сурет – $P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.55$ рад үшін дисперсия сипаттамалары

$P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.5$ рад үшін есептелген дисперсия коэффициенттері 4.2 кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 – $P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.5$ рад үшін есептелген дисперсия коэффициенттері

Толқын ұзындығы λ_{DW} , нм	Спектрлік қуат P_S , дБ	Нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы (λ_{ZDW}), нм	Дисперсия коэффициенті β_2 , пс ² /км
1535	0	1547,85	-0,32
1540	-56		
1545	-46		
1550	0		
1555	-46		
1560	-62		
1565	0		

Толқын ұзындығы мен спектрлік қуаттың есептік мәндеріне сәйкес $P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.5$ рад үшін дисперсия сипаттамаларын құрамыз.



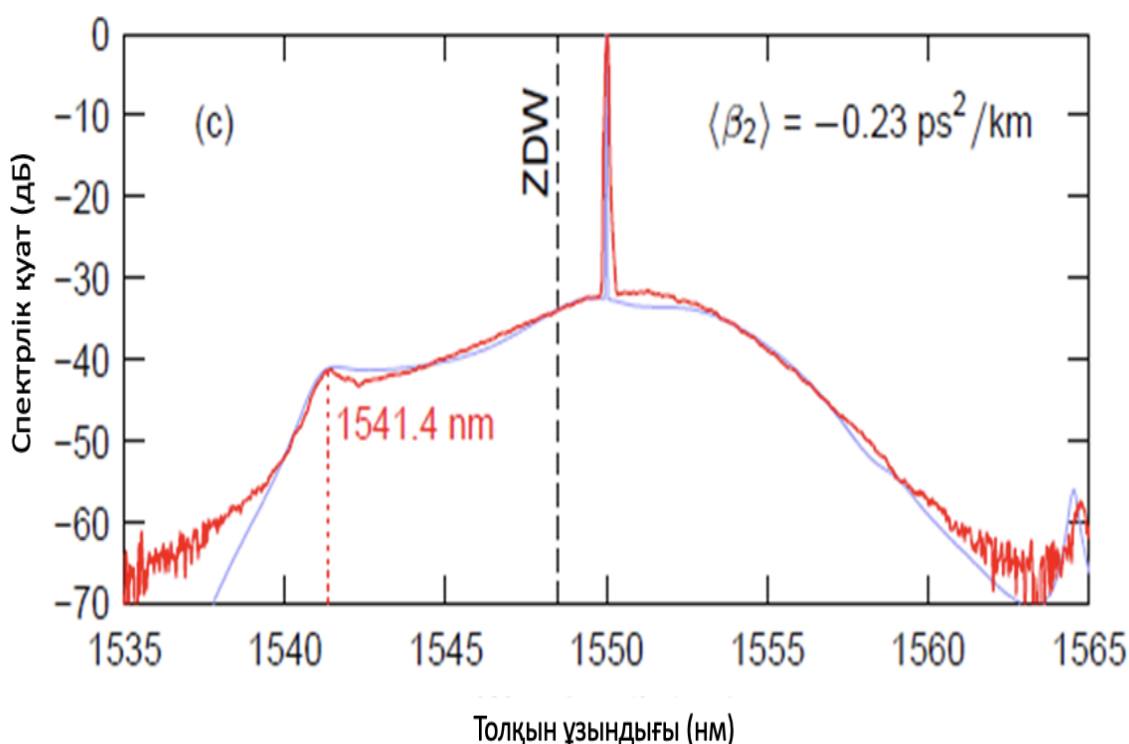
3.3-сурет – $P_{in} = 1$ Вт, $\delta_0 = 0.5$ рад үшін дисперсия сипаттамалары

$P_{in} = 1.3$ Вт, $\delta_0 = 0.56$ рад үшін есептелген дисперсия коэффициенттері 4.3 кестеде келтірілген.

Кесте 3.3 – $P_{in} = 1.3$ Вт, $\delta_0 = 0.56$ rad үшін есептелген дисперсия коэффициенттері

Толқын ұзындығы λ_{DW} , нм	Спектрлік қуат P_S , дБ	Нөлдік дисперсиялық толқын ұзындығы (λ_{ZDW}), нм	Дисперсия коэффициенті β_2 , пс ² /км
1535	0	1548,5	-0,23
1540	-52		
1545	-40		
1550	0		
1555	-38		
1560	-57		
1565	-62		

Толқын ұзындығы мен спектрлік қуаттың есептік мәндеріне сәйкес $P_{in} = 1.3$ Вт, $\delta_0 = 0.56$ rad үшін дисперсия сипаттамаларын құрамыз.



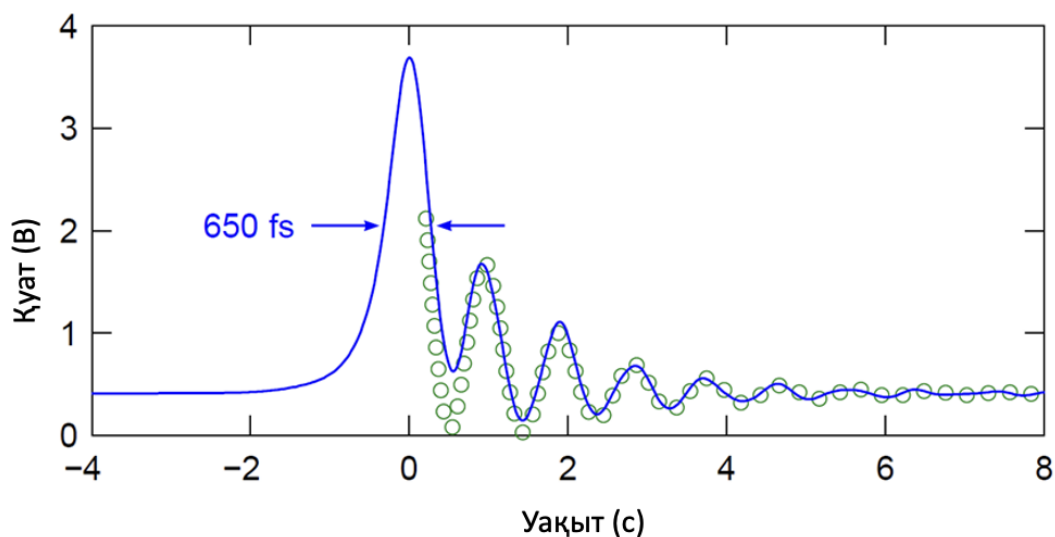
3.4-сурет – $P_{in} = 1.3$ Вт, $\delta_0 = 0.56$ rad үшін дисперсия сипаттамалары

Уақытша солитонның қарқындылық профилін құруға арналған есептік мәндер 4.4-кестеде келтірілген.

Кесте 3.4 – уақытша солитонның қарқындылық профилін құруға арналған есептік мәндер

Уақыты, с	Қуаты, Вт	Уақыты, с	Қуаты, Вт	Уақыты, с	Қуаты, Вт
-4,0	0,400	0,0	3,750	4,0	0,402
-3,8	0,401	0,2	2,901	4,2	0,365
-3,6	0,402	0,4	1,206	4,4	0,401
-3,4	0,403	0,6	0,604	4,6	0,411
-3,2	0,404	0,8	1,503	4,8	0,409
-3,0	0,405	1,0	1,509	5,0	0,389
-2,8	0,406	1,2	0,785	5,2	0,395
-2,6	0,407	1,4	0,219	5,4	0,401
-2,4	0,408	1,6	0,402	5,6	0,397
-2,2	0,409	1,8	1,003	5,8	0,399
-2,0	0,410	2,0	1,002	6,0	0,400
-1,8	0,418	2,2	0,401	6,2	0,401
-1,6	0,425	2,4	0,208	6,4	0,409
-1,4	0,436	2,6	0,398	6,6	0,401
-1,2	0,447	2,8	1,609	6,8	0,402
-1,0	0,502	3,0	0,509	7,0	0,402
-0,8	0,750	3,2	0,316	7,2	0,403
-0,6	1,009	3,4	0,315	7,4	0,404
-0,4	1,780	3,6	0,423	7,6	0,403
-0,2	2,903	3,8	0,445	7,8	0,402

3.4-кестеде келтірілген есептік мәндер бойынша. уақытша солитонның қарқындылық профилін құрайық.



3.5-сурет – Уақытша солитонның қарқындылығының есептік профилі

Уақытша солитонның қарқындылығының болжамды профилі 4.5-суретте көк сызықпен көрсетілген, жасыл шеңберлер қуат қарқындылығының сипаттамасының асимптотикалық жуықтауын көрсетеді. Қуаттың ені 650 fs (фемтосекундтар).

ҚОРЫТЫНДЫ

Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйені зерттеу жобалау тапсырмасына сәйкес келеді.

Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелерге талдау жүргізілді, онда оптикалық солитондардың негізгі ұғымдары және солитонды берілісі бар оптикалық жүйелерге аналитикалық шолу қарастырылды.

Дискретті және таратылған Раман күшейткішінен солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің схемалары мен блок-схемалары салынған. Солитонды оптикалық тарату жүйелері үшін бір және екі сорғы лазерлері бар және дисперсиялық компенсациясы бар эрбий негізіндегі оптикалық күшейту схемалары салынған. Біріктірілген талшықты-оптикалық күшейткіштердің схемасы жасалды.

Эрбий негізінде оптикалық күшейтілген солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің жабдықтарын таңдау жүргізілді, талшықты-оптикалық күшейткіштің EDFA құрылымдық схемасы жасалды.

Оптикалық Раман күшейткіші бар солитонды талшықты-оптикалық жүйелердің жабдықтарын таңдау жүргізілді, Раман күшейткішінің құрылымдық схемасы жасалды.

EDFA және Раман күшейткіштерінің салыстырмалы сипаттамаларын талдау негізінде солитонды беру жабдықтары таңдалды және EDFA-1550/23 (2x19) және Raman Optilab (RA-R) оптикалық күшейткіштерінің негізгі сипаттамалары анықталды.

Солитонды талшықты-оптикалық беру жүйелерінің негізгі параметрлерін есептеу жүргізілді, онда тапсырма тұжырымдалды, уақытша солитондардың дисперсиялық толқындық сәулеленуін талдау, уақытша солитондардың дисперсиялық толқындық сәулеленуін бағалау.

Зерттеу нәтижелерін ғылыми және практикалық қызметте және қолданбалы сипатта қолдану мүмкіндігі жұмыс нәтижелерінің ғылыми және танымдық құндылығын анықтайды. Таңдалған әдіс зерттеу сипатына ие және ғылыми зерттеулерге және одан әрі кәсіби қызметке қызығушылық тудырады.

Есептеу дисперсиямен басқарылатын бір режимді талшықты-сақиналы резонатор үшін жүргізілді. Резонатордың орташа дисперсиясының жеткілікті төмендеуімен бүкіл толқын ұзындығында дамитын спектрлік шыңдар алынады.

Бір режимді SMF талшығы мен DSF дисперсиялық сдәсу талшығын салыстыру солитонды беру жылдамдығы шамамен 2.56 Тбит/с, лазерлік сәулелену көзінің жиілігі 10 ГГц, тиімді ядро аймағының ұзындығы 25 мкм² және толқын ұзындығы 1550 нм сигналдың электрлік регенерациясынсыз 4000 км-ге дейін берілу қашықтығын қамтамасыз ететінін көрсетеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Фокин В.Г., Ибрагимов Р.З. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи: Учебное пособие/СибГУ.–Новосибирск, 2015. – 161 с.:ил.
- 2 Розанов Н.Н. Диссипативные оптические солитоны. От микро к нано- и атто-. Издательство: М.: Физматлит, 2011. – 536с.
- 3 Асеева Н.В., Громов Е.М., Тютин В.В. Взаимодействие коротких векторных однокомпонентных солитонов (амплитудно-фазовые эффекты).– М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 52с.
- 4 Mollenauer, Linn F. Solitons in Optical Fibers: Fundamentals and Applications., Academic Press.-Publication Year 2017.
- 5 Fedor Mitschke. Fiber Optics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2016. p. 349
- 6 Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. Уч. пособие, 3-е изд., Издательство: Лань-Пресс, 2016. – 268 с.
- 7 Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. Издательство: Физматлит, 2015.– 648с.
- 8 Гончаренко А.М. Оптические гауссовы пучки и солитоны. Издательство: Беларуская навука. 2011. – 126с.
- 9 Александр Поляков. Волоконно-оптические информационно-измерительные WDM-системы.– М.:LAP Lambert Academic Publishing, 2018. – 324 с.
- 10 Герман-Галкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК.–М.:Корона-Век, 2014. – 368 с.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Искакова Асем Жастилековна

6B06201 - Телекоммуникация

Тақырыбына: «Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелер».

Берілген бітіру жұмысында солитонды берілісі бар оптикалық байланыс жұмысын ұйымдастыру мәселелері қарастырылады. Қолданылатын технология үшін тарату жүйелерінің жабдықтары мен оптикалық кабель таңдалды және талдау жасалады.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

Жұмыста ұзақтығы қысқа импульстерді қалыптастыру жолдары, импульстерді шығару мен күшейтуге арналған құрылғылардың құрылысы көрсетілген.

Солитонды берілісі бар оптикалық желінің типтік құрылымы, технологиясының артықшылықтары атап өтілді.

Физикалық деңгейі үшін бағалау есебі жасалды.

Дипломдық жобаға 95 (өте жақсы) деген баға, ал студент Искакова Асем телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы,
техн.ғыл.магистры

Ибекеев С.Е.

(КОЛЫ)

«25» 2023 ж.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ және ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И.СӘТБАЕВ атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ
РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Искакова Асем Жастилековна

6B06201 - Телекоммуникация

Тақырыбына: «Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелер».

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 56 парақ;
б) түсініктеме 5 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында солитонды талшықтардың қасиеттері қарастырылады. Қолданылатын технология үшін тарату жүйелерінің жабдықтары мен оптикалық кабель таңдалды және талдау жасалады. Тығыздаудың негізгі қасиеттері қысқаша баяндалған.

Бұл жұмыста солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелері талданған. Оптикалық солитондардың негізгі түсініктеріне, солитонды беру оптикалық жүйелеріне аналитикалық шолу жасалды.

Дипломдық жұмыста оптикалық лазерлердің, базалық құрылымы сызбасында студент өз тарапынан қандай жақсартулар енгізуі мүмкіндігін көрсете алмаған. Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба 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" (90%) деген баға, ал Искакова Асем Жастилековна 6B06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензент

“Корпорация Сайман”
ЖШС өндіріс бойынша
директордың орынбасары

_____ Ә.Алиев

(КОЛЫ)

« » 2023 ж.

Ф КазҰТУ 704-24. Рецензия

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Искакова Асем Жастилековна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Солитонды берілісі бар талшықты-оптикалық жүйелер

Научный руководитель: Серикбек Ибекеев

Коэффициент Подобия 1: 0.4

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 5

Знаки из других алфавитов: 22

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

2023-05-31

Дата

Сұңғат Марксұлы



проверяющий эксперт