ӘОЖ 004.9 **DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-133-142**

Қ. Б. Мадияр[2]✉, К.Х. Жунусов[2], Г.Б. Кашаганова[1,2,3]
[1]Turan University, Алматы, Қазақстан
[2]Satbayev University, Алматы, Қазақстан
[3]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: madiyarqaysen@gmail.com

БІР МОДАЛЫ ТАЛШЫҚТЫҢ ХРОМАТИКАЛЫҚ ДИСПЕРСИЯСЫНЫҢ АЛДЫН-АЛА ЖӘНЕ КЕЙІНГІ КОМПЕНСАЦИЯСЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл жұмыс тасымалданатын ақпараттың өсіп келе жатқан ағыны аясында ұзақ қашықтықтағы жоғары өткізу қабілеттілігі бар оптикалық байланыстарды құрудың маңыздылығын зерттейді. Тасымалдау қашықтығы артқан сайын импульстердің кеңеюіне байланысты туындайтын мәселе, тиімді таратуды қамтамасыз ету үшін сигналдың дисперсиясын қалпына келтіруді (компенсациялауды) қажет ететін өзекті мәселе болып табылады. Мақалада дисперсиялық компенсациялау талшығы (DCF – dispersion compensation fiber) көмегімен дисперсияны компенсациялау әдісіне назар аударылады. Мақалада әртүрлі кіріс сигналының қуат деңгейлерінде DCF екі схемасын - жіберуге дейінгі және жіберуден кейінгі компенсацияларды Optisystem 21 бағдарламалау жүйесінде зерттеу жүргізілді. Зерттеу нәтижелері DCF трансмиссиядан дейінгі компенсация схемасы төмен биттік қателік пен жоғары сапа факторына қол жеткізетінін көрсетеді, бұл оны оптикалық желілердегі дисперсиялық компенсацияның ең тиімді әдісі етеді.

Түйінді сөздер. Талшықты оптикалық байланыс желісі, хроматикалық дисперсия, дисперсиялық компенсациялау талшығы, сапа факторы, Бит қателігінің жылдамдығы (BER).

Кіріспе.

Заманауи цифрлық қызметтерге негізделген жаһандық өзара байланыс, цифрлық ресурстарға жылдам және сенімді қол жеткізу қажеттілігі қазіргі уақытта байланыс желілерін қоғамдағы негізгі инфрақұрылымдардың бірі ретінде қарастыруға болады. Байланыс операторлары технология дамуының әрбір қадамында желілерді тиімдірек және арзанырақ етуге тырысады. Бұл жағдаятта талшықты-оптикалық құрылғылар жетекші рөл атқарады, өйткені тұрақты өсіп келе жатқан трафик сұранысына қажеттілікті өтей алады.

Қазіргі уақытта дүние жүзіндегі коммуникациялардың көпшілігі оптикалық технологияларға сүйенеді. Осының нәтижесінде әртүрлі ғылым салаларында байланысты дамыту негізгі мәселердің бірі. Бұл мақсат әдетте үш негізгі аспектіде әрекет ету арқылы жүзеге асырылады: арзан құрылғыларды жасау, оптикалық байланыс жүйелерінің кейбір физикалық шектеулерін жеңуге көмектесетін цифрлық шешімдерді енгізу және желі дизайнын оңтайландыру [1].

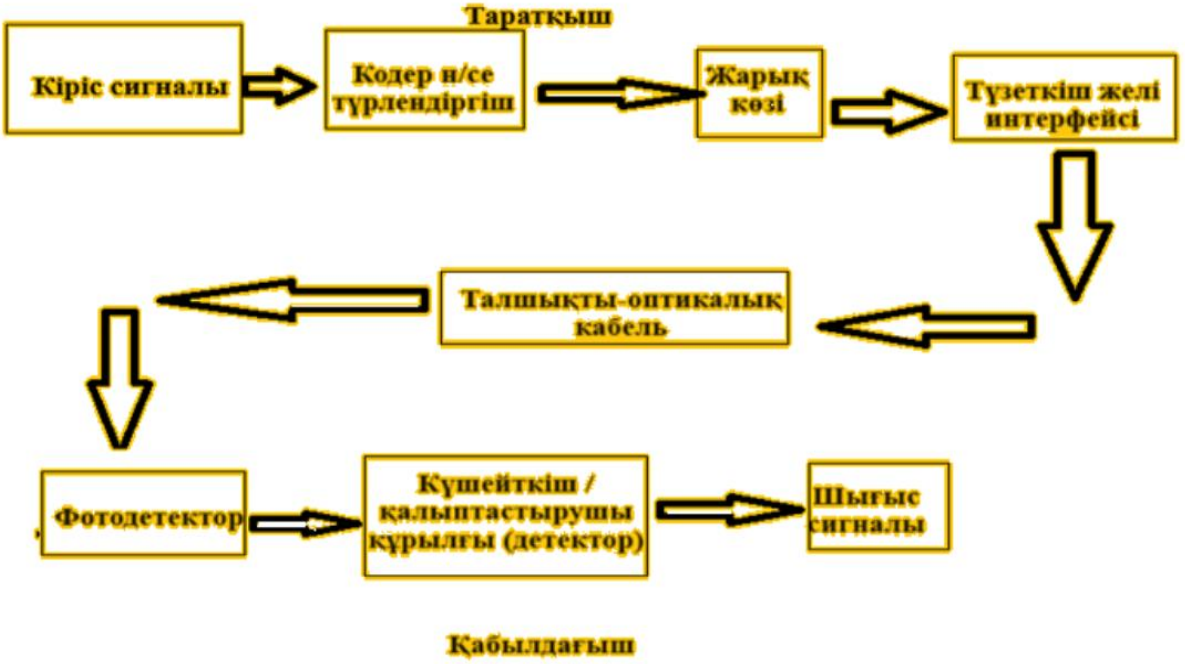
Оптикалық талшықты байланыс жүйесінде оптикалық сигналдар талшық арқылы алыс қашықтыққа беріледі. Оптикалық байланыс жүйесінің негізгі мақсаты-биттік қатесі аз және сапаның максималды коэффициенті бар алыс қашықтыққа берілуге қол жеткізу. Ал бұл мақсатқа жету үшін бірнеше факторларға көңіл бөлу керек [2]. Аса маңызды факторлардың бірі дисперсия болып табылады. Ал дисперсия есебінен бұзылған сигнал сапасын жақсарту үшін дисперсияны компенсациялау керек [3]. Дисперсияның әртүрлі түрлерінің ішіндегі ең көрнектісі хроматикалық дисперсия болып табылады, оны әртүрлі

компенсация әдістерін қолдану арқылы қалпына келтіруге болады, мысалы, дисперсиялық компенсациялау талшығы (DCF), Брэгг талшықты торы (FBG) және т. б. [4]

Материалдар мен тәсілдер.

Талшықты оптикалық байланыс желісі.

Оптикалық талшық - оптикалық байланыс телекоммуникациялық жүйелердің сапасы мен жылдамдығын арттыруда маңызды рөл атқарады [5]. Күнделікті өмірде оптикалық талшықтарды телекоммуникациялық арналарда қолданумен қатар, деректерді берудің жоғары жылдамдығына жету үшін интернет және жергілікті желілер (LAN) үшін де пайдалануға болады [6]. 1-суретте оптикалық талшықтағы оптикалық байланыс тізбегінің негізгі элементтері көрсетілген. Кіріс электр сигналы оптикалық көзден келетін жарық қуатын модуляциялайды. Сандық талшықты оптикалық байланыс жүйесінде кіріс электрлік ақпарат кодтауыштан кодталған цифрлық импульстар түрінде көрсетіледі және бұл электрлік сигналдар жартылай өткізгіш лазерден немесе жарықдиодты жарықтандырудан түсетін жарық қуатын модуляциялайды, оларды оптикалық сигналдарға түрлендіреді. Қабылдау бөлігінде фотодетектор оптикалық сигналдарды электрлік сигналдарға түрлендіреді. Декодер электрлік импульстарды бастапқы электрлік импульстарға қайта түрлендіреді.



1 сурет - Талшықты оптикалық байланыс желісінің құрылымдық схемасы

Талқылау.

Дисперсиялық компенсациялау әдістері.

Жүйенің жалпы өнімділігін жақсарту үшін дисперсиялық компенсацияның бірнеше әдістері бар. Осы әдістердің ішінде кейбір әдістер жиі қолданылады. Олар DCF (дисперсиялық компенсациялық талшықтар), FBG (талшықты Bragg торы) және EDC (электрондық дисперсияны) ретінде жіктеледі.

DCF пайдалану идеясы алғаш рет 1980 жылы ұсынылды. DCF - дисперсияны компенсациялау және талшықтағы импульсты қалпына келтірудің ең жақсы әдісі болып табылады[3]. DCF пайдалану әдісін (1) теңдеу арқылы түсіндіруге болады [6].

$$D_1L_1 + D_2L_2 = 0\,. \quad (1)$$

Мұнда D_1, сәйкесінше SMF және (DCF) дисперсия коэффициенттері
L_1, L_2 сәйкесінше SMF және DCF ұзындықтары

$$L_2 = -L_1\frac{D_1}{D_2}. \quad (2)$$

Жоғары жылдамдықты жүйелердегі дисперсияны компенсациялау үшін DCF дисперсия мен ұзындығын тауып алуымыз керек.

Ұсынылған жүйе.

Белгілі болғандай, егер сигналды алыс қашықтыққа жіберу керек болса, хроматикалық дисперсия шығыс сигналының сапасын төмендететін негізгі мәселе болып табылады. Сондықтан компенсация жасау керек. Сонымен, бұл ұсынылған модельде 100 км қашықтыққа бірмодалы оптикалық талшықты пайдалану арқылы сигналды береміз. Мұнда біз бірнеше компонентерді қолданамыз.

Жалған кездейсоқ сандар генераторы (PRNG, ағылш. Pseudo random number generator, PRNG) - элементтері бір-бірінен өзара тәуелсіз және берілген үлестірімге (әдетте біркелкі) бағынатын сандар тізбегін тудыратын алгоритмдік жүйе.

Импульстік генератор – белгілі бір қайталану жылдамдығымен және берілген уақыт аралығымен импульстарды генерациялайтын құрылғы.

Лазер – түрленетін электр энергиясын когерентті, монохроматикалық, поляризацияланған және тар бағытталған сәулелену энергиясына айналдыратын құрылғы.

Маха-Цандер модуляторы – бұл Мах-Цандер интегралды оптикалық интерферометрлеріне негізделген сыртқы жоғары жылдамдықты оптикалық тасымалдаушы модулятор.

Күшейткіш – сигнал қуатын арттыру үшін қолданылатын құрылғы.

Бессель оптикалық сүзгісі – белгілі бір жиіліктегі пайдалы сигналды бөлектеу үшін қабылдау жағында қолданылатын құрылғы. Оның топтық кідірісі өткізу қабілеттілігінің жиілігінде іс жүзінде өзгермейді, нәтижесінде мұндай сүзгінің шығуындағы сүзілетін сигналдың формасы өзгеріссіз қалады.

Фотодетектор – оптикалық сәулеленуді тіркейтін және фотодетектордың шығысындағы электр сигналына кіретін оптикалық сигналды түрлендіретін жартылай өткізгіш құрылғы.

Төмен жиілікті Бессель сүзгісі – белгілі бір жиіліктен төмен сигналдың жиілік спектрін тиімді өткізетін және қабылдауда аналогтық сигнал алу үшін қажет электрондық құрылғы.

BER анализаторы – деректерді беру кезінде бірлік тактілік интервалға (биттік кезең) қате қабылданған биттердің санын көрсететін құрылғы.

Жүйе моделі.

Ұзақ қашықтықта деректерді беру жылдамдығының жоғары жылдамдығына қол жеткізу үшін оптикалық талшықты дисперсиядан туындаған жоғалтулар мен нашарлауды қалпына келтіретіндей етіп жасау керек. Бұл үшін DCF, FBG және т.б. әртүрлі компенсация әдістері қолданылады. Мұнда біз DCF пайдаланамыз. Ол екі схемада орындалады, яғни алдыңғы және кейінгі. Optisystem 21 бағдарламалау ортасы қолданылады. Түрлі конфигурациядағы DCF көмегімен дисперсияны компенсациялау 2, 3 суреттерде көрсетілген

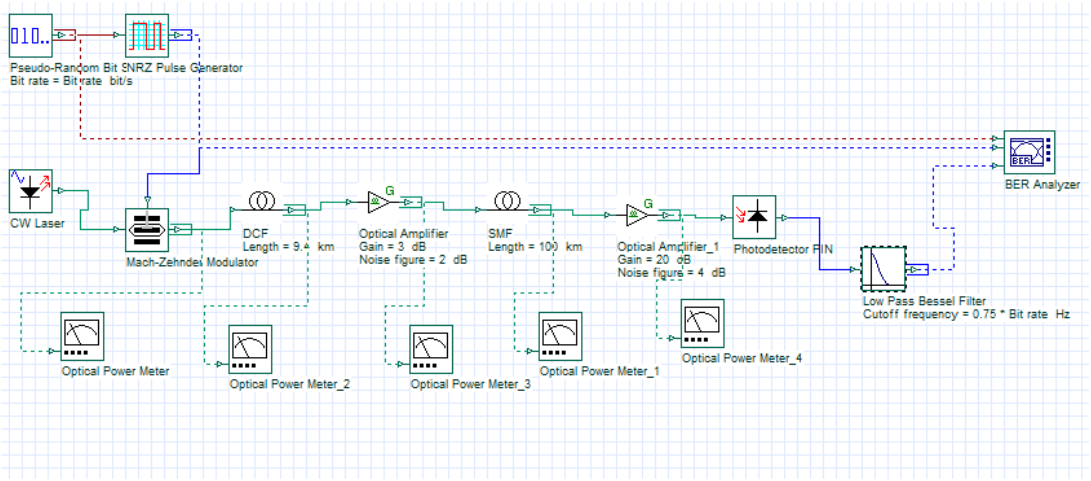
1 кесте - Модельдеу Параметрлері

№	Параметр	Шамасы
1	Жиілігі (THz)	193,1
2	Қуаты(dBm)	1-10
3	Extinction Ratio	30

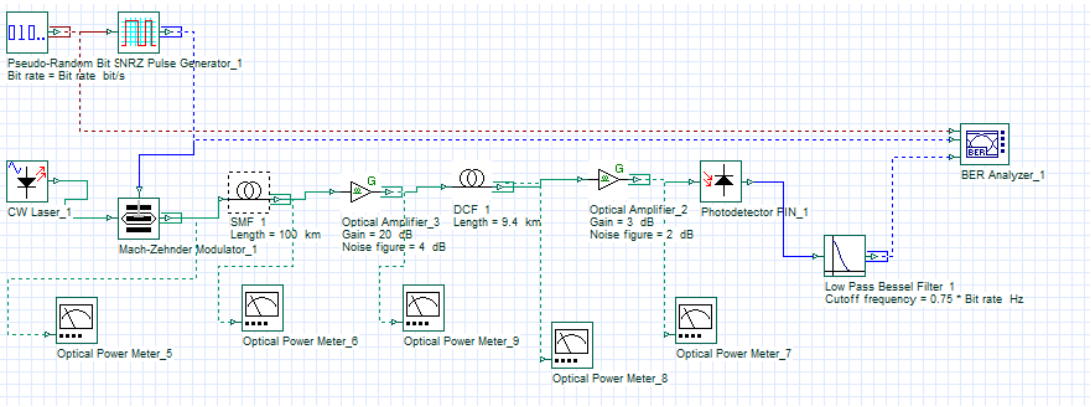
2 кесте - Талшық Параметрлері

№	Параметр	Шамасы
1	Талшықтың ұзындығы (км)	100 км
2	толқын ұзындығы (нм)	1550
3	DCF ұзындығы(км)	9,44
4	Әлсіреу(дб/км)	0,2
5	Дифференциалды көлбеу	0,1
6	Дисперсия SMF(пс/нм/км)	17
7	Дисперсия DCF(пс/нм/км)	-180

Модельдеу үшін 1 және 2-кестеде көрсетілген параметрлер қолданылды және 2 және 3 суреттерде байланыс арнасының схемаларының модельдері көрсетілген.



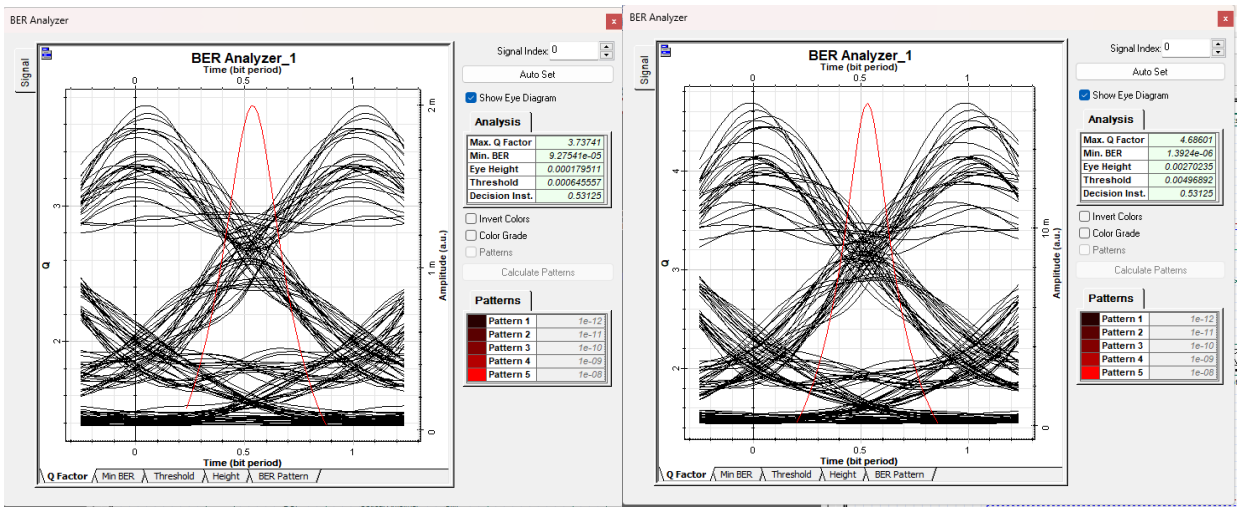
2 сурет - Дисперсияны калпына келтіруден дейінгі модельденген жүйенің схемасы



3 сурет - Дисперсияны калпына келтіруден кейінгі модельденген жүйенің схемасы

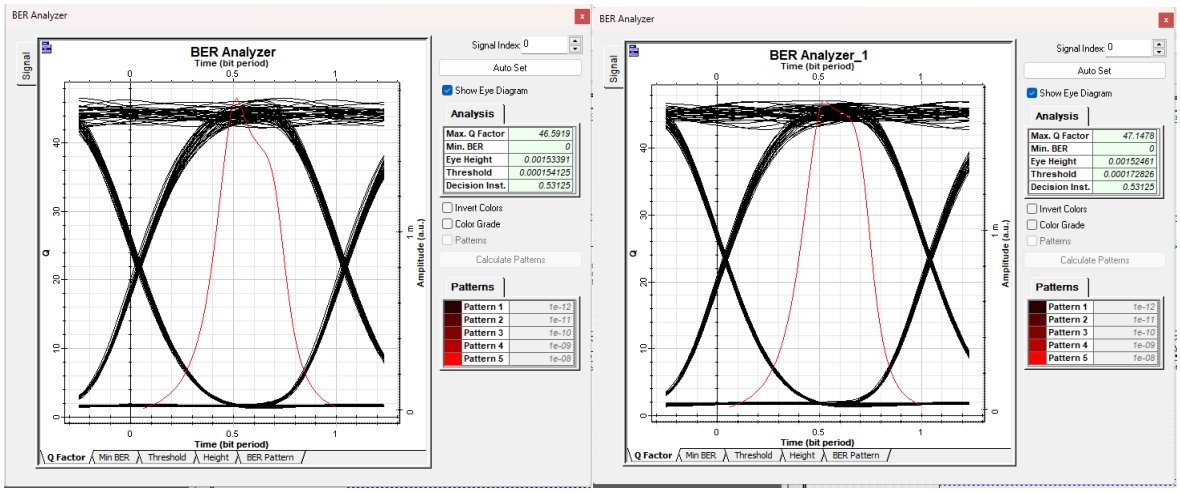
Нәтижелер.

100 км SMF қашықтығы үшін DCF пайдалану арқылы сапа факторы, бит қателігі жылдамдығы, көз биіктігі және 1-10 дБм аралығындағы кіріс қуаттары үшін шекті мән тұрғысынан талданды. Дисперсиялық компенсациялау талшығы (DCF) әртүрлі схемаларына арналған көз диаграммасы, яғни. алдын ала компенсациялау және кейінгі компенсациялау 4 және 5-суретте көрсетілген. Екі түрлі схема үшін BER, сапа коэффициенті (Q. factor), көз биіктігі (eye height) және шекті мән (threshold) тиісінше 4, 5 кестелерде көрсетілген.



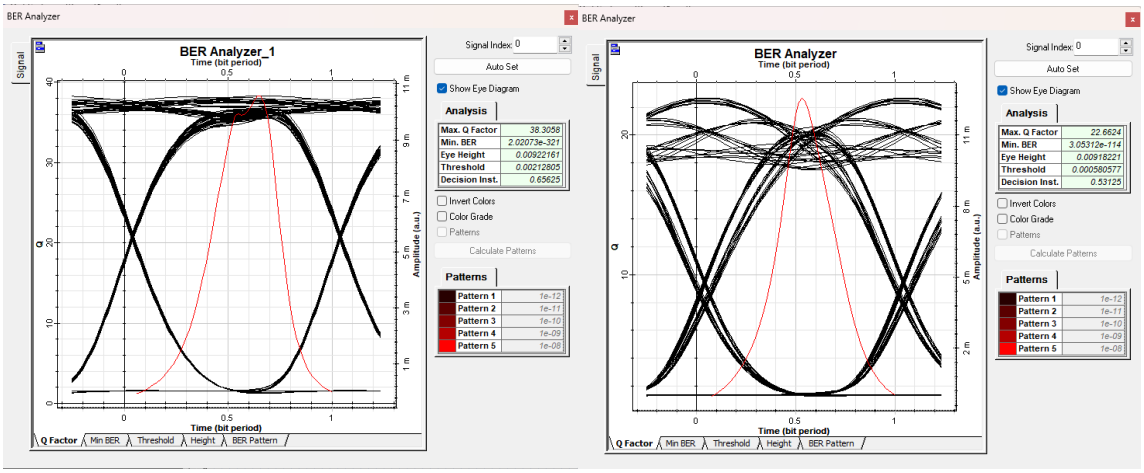
a) b)

4 сурет - 1 дБМ (a) және 10 дБМ (b) қуат көздерінде дисперсиялық компенсациялау талшығынсыз алынған көз диаграммалары



a) b)

5 сурет - 1 дБМ кезіндегі дейінгі (a) және кейінгі (b) дисперсиялық компенсациялау талшығымен алынған көз диаграммалары



a) b)

6 сурет - 10 дБМ кезіндегі дейінгі (a) және кейінгі (b) дисперсиялық компенсациялау талшығымен алынған көз диаграммалары

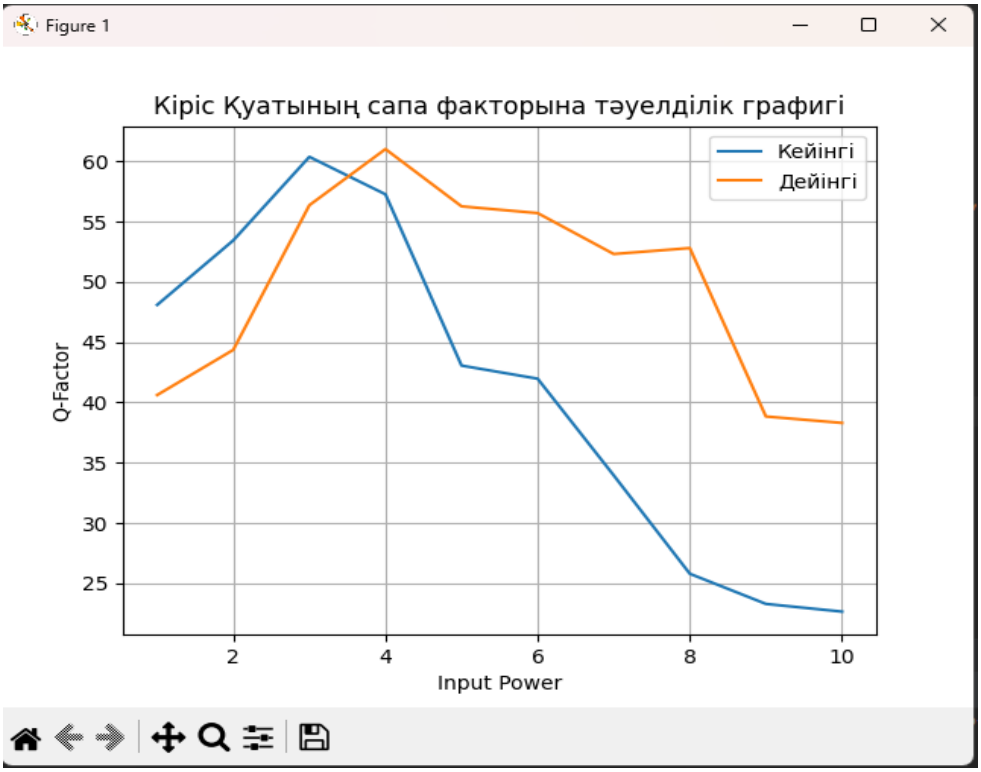
4 кесте - 1 дБм-ден 10 дбм-ге дейінгі кірістердегі DCF нәтижелері

Кіріс қуаты	Q factor	BER	Eye Height	Шығыс қуаты dBm
1	48,0918	0	0,001532	0,826
2	53,4391	0	0,001948	1,552
3	60,3658	0	0,002478	2,124
4	57,257	0	0,0031	2,944
5	43,0597	0	0,003851	3,921
6	41,9716	0	0,00487	4,648
7	33,9585	2,64497E-253	0,006031	5,455
8	25,803	2,40731E-147	0,00739	6,41
9	23,3012	1,27906E-120	0,00923	7,259
10	22,6624	3,05312E-73	0,00918	7,053

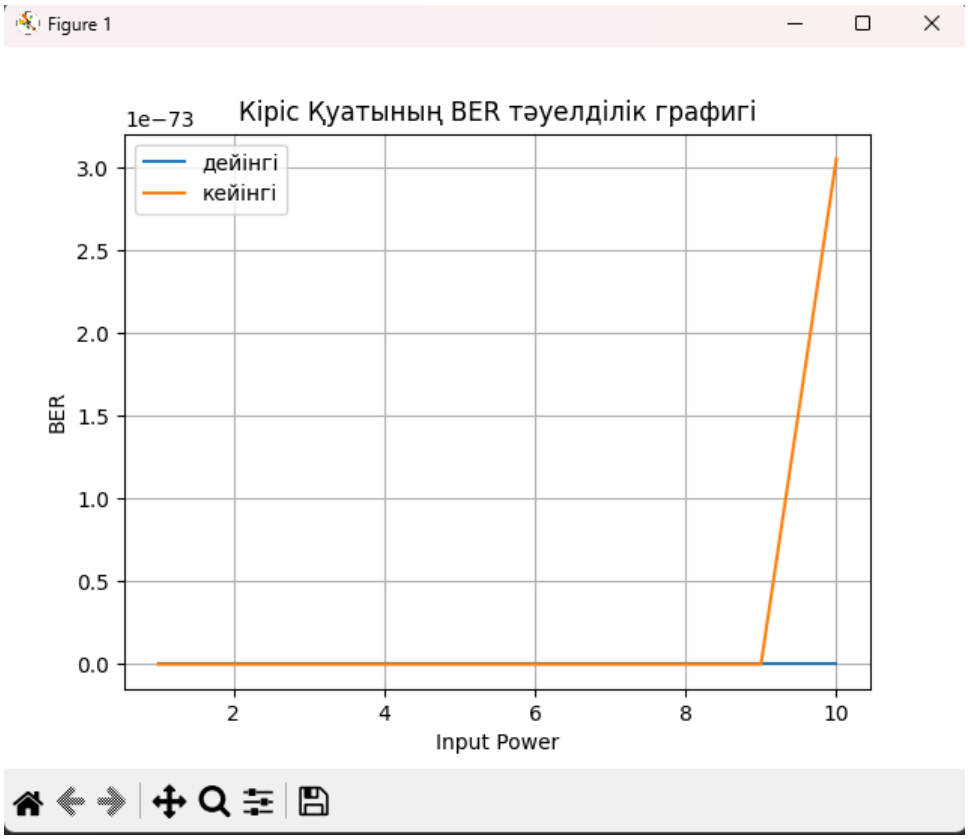
5 кесте - 1 дБм-ден 10 дбм-ге кейінгі кірістердегі DCF нәтижелері

Кіріс қуаты	Q factor	BER	Eye Height	Шығыс қуаты dBm
1	40,6197	0	0,001505	1,119
2	44,3646	0	0,001905	1,909
3	56,3549	0	0,002441	2,43
4	61,0078	0	0,0031	3,257
5	56,2604	0	0,003854	4,022
6	55,7022	0	0,004815	4,826
7	52,31	0	0,006025	5,604
8	52,8019	0	0,007548	6,406
9	38,8399	0	0,009233	7,293
10	38,3058	2,02073E-321	0,00922161	7,268

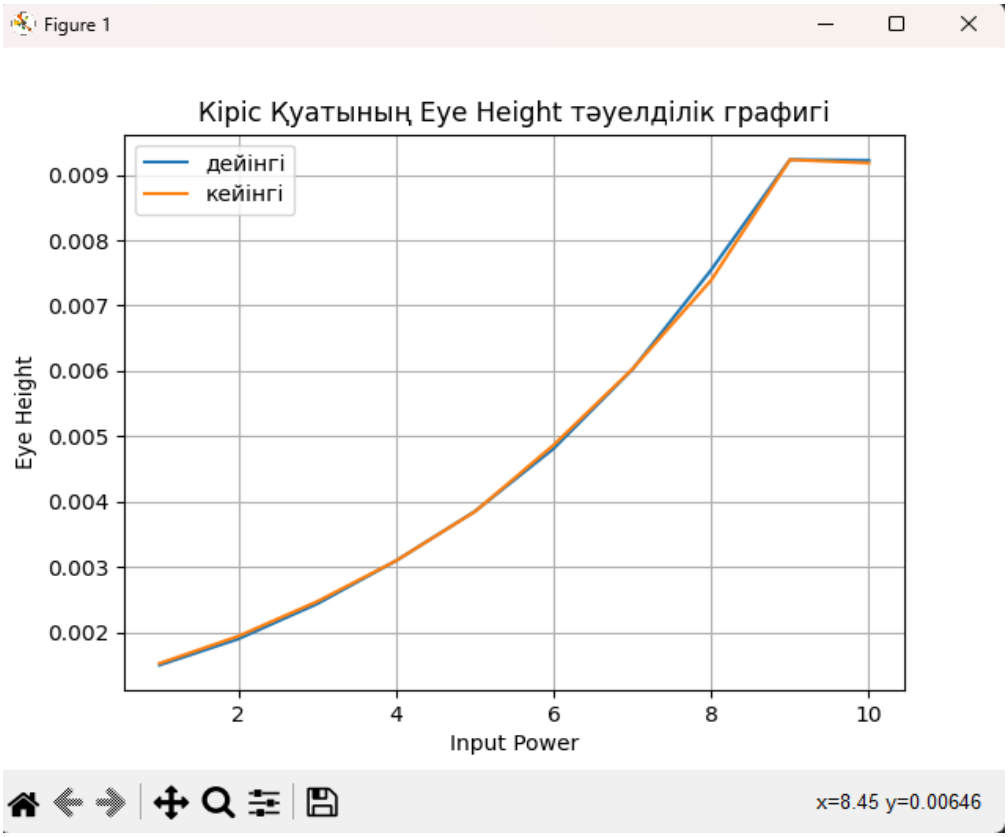
1-10 дбм кіріс қуаты үшін әртүрлі конфигурациялардың салыстырмалы нәтижелері



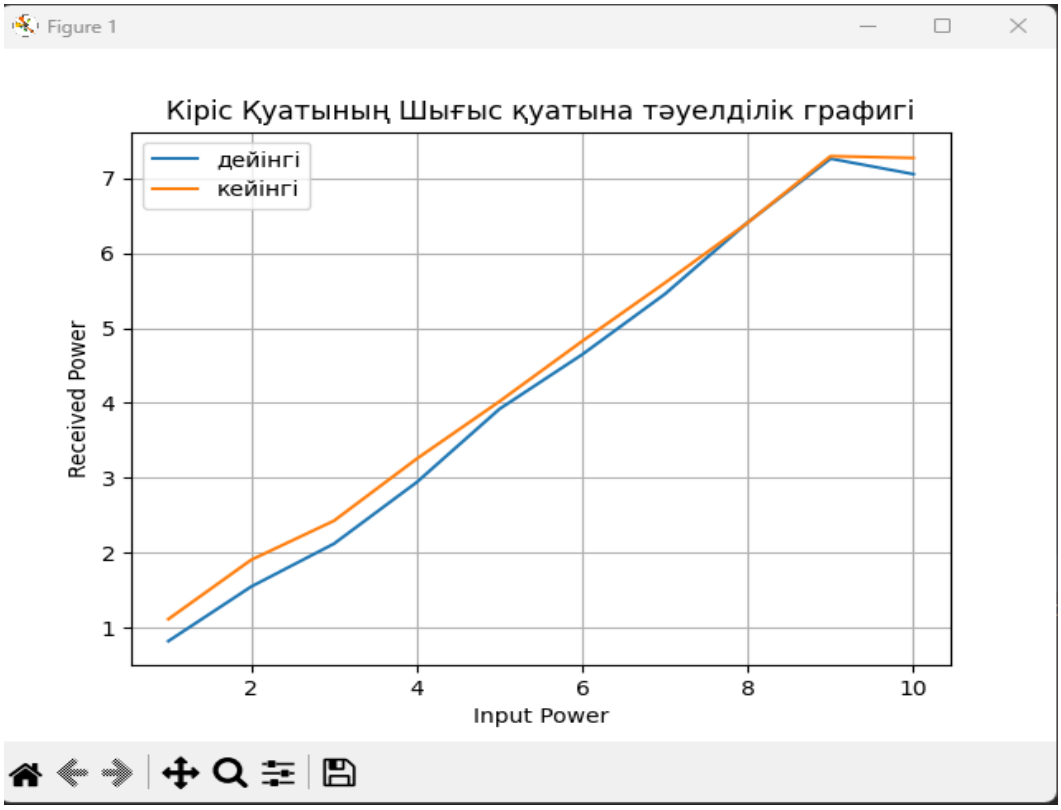
7 сурет - Кіріс қуатының сапа факторына тәуелділік графигі



8 сурет - Кіріс қуатының BER тәуелділік графигі



9 сурет - Кіріс қуатының көз биіктігіне тәуелділік графигі



10 сурет - Кіріс қуатының шығыс қуатына тәуелділік графигі

Қорытынды.

Алыс қашықтыққа сигнал беру процесінде хроматикалық дисперсия берілетін сигналдың сапасына әсер ететін анықтаушы факторға айналады. Осы мақалада келтірілген зерттеу модельдеуде ұсынылған әртүрлі схемаларда DCF (дисперсиялық компенсациялық талшық) көмегімен дисперсияны өтеуге толығымен бағытталған. Дейінгі және кейінгі компенсациялау әдістерімен жүйенің өнімділігін талдау үшін ұзындығы 9,4 км DCF және 100 км SMF талшықтар пайдаланылды. Екі схема сәйкесінше суреттерде көрсетілгендей 1-ден 10 дБм-ге дейінгі кіріс қуаттарында олардың сапа коэффициенті, биттік қателік, көздің биіктігі және алынған қуат негізінде талданды. Модельдеу нәтижелерін талдай отырып дейінгі компенсациялау кейінгі компенсациялау әдісімен салыстырғанда жақсы нәтиже көрсететіні анықталды.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Rizzelli, G. Advances in Optical Fiber Communications. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 4818. https://doi.org/10.3390/app12104818

[2] S. V. Kartalopoulos, "Factors affecting the signal quality in optical data transmission and estimation method for BER and SNR," *International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2004. Proceedings. ITCC 2004.*, Las Vegas, NV, USA, 2004, pp. 615-619 Vol.2, doi: 10.1109/ITCC.2004.1286721. https://ieeexplore.ieee.org/document/1286721

[3] Gopika P and S.A. Thomas, "Performance Analysis of Dispersion Compensation using FBG and DCF in WDM systems," IJARCCE, vol. 4, Issue no. 10, pp. 223-226, October, 2015. https://www.ijarcce.com/upload/2015/october-15/IJARCCE%2047.pdf

[4] N.K. Kahlon, G. Kaur. Various Dispersion Compensation Techniques for Optical System: A Survey.Open Journal Of Communications And Software, Volume 1, Number 1; May 2014.

http://www.scipublish.com/journals/CS/papers/423

[5] Liu, Xiang & Zhu, Zuqing. (2018). Advances in Optical Communications Technologies. IEEE Communications Magazine. 56. 176-176. 10.1109/MCOM.2018.8291136. https://ieeexplore.ieee.org/document/8291136

[6] P. Neheeda, M. Pradeep, P.J. Shaija. Analysis of WDM System With Dispersion Compensation Schemes, Procedia Computer Science, Volume 93, 2016, Pages 647-654, ISSN 1877-0509. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091631496X

Madiyar Kaisen, master's student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, k.madiyar@satbayev.university

Kanat Zhunusov, candidate of physical and mathematical sciences, professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, k.zhunussov@satbayev.university

Gulzhan Kashaganova, PhD, Turan University, Satbayev University, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, g.kashaganova@satbayev.university

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PRELIMINARY AND SUBSEQUENT COMPENSATION OF CHROMATIC DISPERSION OF A SINGLE-MODE FIBER

Abstract. This work explores the importance of creating high-bandwidth optical communications over long distances against the backdrop of a growing flow of transmitted information. Due to the expansion of pulses as the transmission distance increases, signal dispersion is an urgent problem that requires recovery (compensation) to ensure effective

transmission. The article focuses on the method of dispersion compensation using a dispersion compensation fiber (DCF – dispersion compensation fiber). The article conducted a study of two DCF circuits at different input signal power levels - pre-send and post-send compensation in the Optisystem 21 programming system. The results of the study show that the DCF pre-transmission compensation scheme achieves a low bit error and a high-quality factor, making it the most effective method of dispersion compensation in optical networks.

Keywords. Fiber optic communication line, chromatic dispersion, dispersion compensation fiber, quality factor, bit error rate (Ber).

Мадияр Қайсен, магистрант, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, k.madiyar@satbayev.university

Канат Жунусов, ф.-м.ғ.к., профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, k.zhunussov@satbayev.university

Гулжан Кашаганова, PhD, Turan University, Satbayev University, Алматинский технологический университет, Алматы, Қазақстан, g.kashaganova@satbayev.university

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КОМПЕНСАЦИИ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ОДНОМОДОВОГО ВОЛОКНА

Аннотация. В этой работе исследуется важность создания оптических соединений с высокой пропускной способностью на больших расстояниях на фоне растущего потока передаваемой информации. Из-за расширения импульсов по мере увеличения расстояния передачи дисперсия сигнала является насущной проблемой, требующей восстановления (компенсации) для обеспечения эффективной передачи. В статье основное внимание уделяется методу компенсации дисперсии с использованием волокна компенсации дисперсии (DCF – dispersion compensation fiber). В статье было проведено исследование двух схем DCF - компенсаций до и после передачи-на различных уровнях мощности входного сигнала в системе программирования Optisystem 21. Результаты исследования показывают, что схема компенсации передачи DCF - компенсаций до обеспечивает низкую погрешность передачи и высокий фактор качества, что делает ее наиболее эффективным методом компенсации дисперсии в оптических сетях.

Ключевые слова. Волоконно-оптическая линия связи, хроматическая дисперсия, волокно компенсации дисперсии, фактор качества, битовая погрешность (BER).

****

Келіп түсті: 02 сәуір 2024 ж.; қабылданды: 15 маусым 2024 ж.