

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Жұматова Жанар Жұматқызы

«Сигналдарды өндеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық
түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 – «Телекоммуникация» мамандығы

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техника ғылымдарының кандидаты

 Е. Таштай

«20» 05 2025 ж.

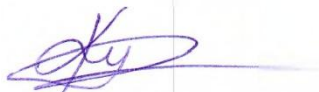


ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен
электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу»

6B06201 – «Телекоммуникация»

Орындаған:



Жұматова Ж.Ж.

Пікір беруші

М.Тынышбаев атындағы АЛТ
университеті, PhD, «АКТ»
кафедрасының ассистент
профессоры



Мәдібайұлы Ж.

«20» 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші

ҚазҰТЗУ, т.ғ.м., Электроника,
телекоммуникация және ғарыштық
технологиялар кафедрасының
аға оқытушысы



Марксұлы С.

«20» 05 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6B06201 Телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

 Е. Таштай

«31» 05 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы *Жұматова Жанар Жұматқызы*

Тақырыбы *«Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу»*

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. №26 П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі *«30» сәуір 2025 ж.*

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: 1) *Негізгі платформа: Arduino Uno немесе ESP8266 контроллері* 2) *Электрооптикалық түрлендіргіштің түрі: Инфрақызыл сәулелік лазерлік диод негізіндегі түрлендіргіш.* 3) *Деректерді өңдеу платформасы: MATLAB немесе Python негізінде.* 4) *Сигналдарды өңдеу алгоритмдері: Фурье түрлендіру, жиілік спектрін талдау, OFDM технологиясы.* 5) *Қуат көзі: Литий-ионды аккумулятор (4.2 В, 3000 мАсағ).* 6) *Сигнал дерек көздері: температура және ылғалдылық датчиктері (DHT11), көмірқышқыл газ сенсоры (MQ-135) немесе потенциометр.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) *Электрооптикалық түрлендіргіштердің жұмыс істеу қағидаттарын зерттеу.* б) *Сигналдарды өңдеу алгоритмдерін талдау және таңдау.* в) *Электрооптикалық түрлендіргіш пен сигналды өңдеу алгоритмдерінің өзара әрекеттесуін зерттеу.* г) *Сигналды өңдеудің тиімділігін арттыру үшін алгоритмдерді оңтайландыру.* д) *Алынған нәтижелердің дәлдігін бағалау және оларды визуализациялау.*

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 1) *Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2009). Discrete-Time Signal Processing. Pearson Education. ISBN: 978-0131988422.* 2) *Goodman, J. W. (2005). Introduction to Fourier Optics. Roberts and Company Publishers. ISBN: 978-0974707723.* 3) *М. Н. Мкртчян, "Цифровая обработка*

сигналов: алгоритмы и реализации", ISBN: 978-5-9912-0102-7. 4) Изучаем программирование на Python. Бэрри П. ISBN 978-5-699-98595-1 Издательство Эксмо. 5) MATLAB көмегімен сигналдарды өңдеу. MathWorks ресми нұсқаулығы. 6) Полещук Н. Н., Самоучитель AutoCAD (2019).

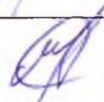
дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	04.01.2025 - 01.02.2025	орындау
Теориялық ақпарат	01.02.2025 - 01.03.2025	орындау
Жабдықтар жұмысының есебі және жұмысты рәсімдеу	01.03.2025 - 30.05.2025	орындау

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	Марксұлы С. ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, т.ғ.м.	13.03.2025	
Теориялық ақпарат	Марксұлы С. ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, т.ғ.м.	29.04.2025	
Норма бақылау	Досбаев Ж.М. ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы, PhD	19.05.2025	

Ғылыми жетекшісі



Марксұлы С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Жұматова Ж.Ж.

Күні «02» ақпан 2025 ж.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста электрооптикалық түрлендіргіштің жұмыс істеу қағидалары жан-жақты талданды. Сонымен қатар, олардың физикалық және математикалық модельдері қарастырылып, модельдеу барысында оптикалық арна арқылы өтетін сигналдардың түрлену процесі зерттелді. Арна бойында болуы ықтимал кедергілер, сигналдың өшу деңгейі және сапасына әсер ететін факторлар егжей-тегжейлі анықталды.

Электрооптикалық түрлендіргіштер телекоммуникация жүйелерінде, оптикалық сенсорларда және ақпаратты жоғары жылдамдықта өңдеу салаларында шешуші рөл атқарады. Сонымен қатар, бұл жұмыс электрооптикалық түрлендіргіштердің технологиялық даму бағыттарын анықтап, олардың байланыс жүйелеріндегі қолданысын кеңейтуге ғылыми негіз береді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе всесторонне проанализированы принципы работы электрооптического преобразователя. Кроме того, были рассмотрены их физические и математические модели, а в ходе моделирования был изучен процесс преобразования сигналов, проходящих через оптический канал. Подробно определены возможные помехи вдоль канала, уровень затухания сигнала и факторы, влияющие на качество.

Электрооптические преобразователи играют решающую роль в телекоммуникационных системах, оптических датчиках и областях высокоскоростной обработки информации. Кроме того, данная работа дает научную основу для определения направлений технологического развития электрооптических преобразователей и расширения их применения в системах связи.

ANNOTATION

In this thesis, the principles of the operation of an electrooptical converter are comprehensively analyzed. In addition, their physical and mathematical models were considered, and during the simulation, the process of converting signals passing through an optical channel was studied. Possible interference along the channel, the level of signal attenuation, and factors affecting quality are determined in detail.

Electro-optical converters play a crucial role in telecommunication systems, optical sensors, and high-speed information processing fields. In addition, this work provides a scientific basis for determining the directions of technological development of electro-optical converters and expanding their use in communication systems.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Сигналдарды өңдеу алгоритмдерінің теориялық негіздері	8
1.1 Цифрлық және аналогтық сигналдарды өңдеудің негізгі әдістері	8
1.2 Сигналдарды түрлендірудің теориялық негіздері	9
1.3 ЭОЭ/ОЭО байланысына шолу	12
1.4 Электрооптикалық түрлендіргіштер	15
1.5 Электрооптикалық мониторинг саласындағы алдыңғы зерттеулер және олардың нәтижелері	20
2 Инфрақызыл сәулелену негізінде сигналдарды түрлендіру және тұрғын-үй ішіндегі қоршаған орта параметрлерін зерттеу	25
2.1 Инфрақызыл сәулелену негізінде түрленуді қолдайтын зерттеу эксперименттері	25
2.2 Сәулелік жарықтану арқылы сигналдарды түрлендірудің негізгі теориялық аспектілері	27
2.3 Инфрақызыл сәулесі арқылы сигналдарды тәжірибелік тұрғыда зерттеу	30
2.4 Инфрақызыл сәулеленуге негізделген жобаны модельдеу және тексеру	42
3 HFBR түрлендіргіші және электрооптикалық түрлену жобасы негізіндегі қорытынды есептеулер	49
3.1 Электрооптикалық HFBR түрлендіргіш құрылғысы және электрооптика процессіне қосымша зерттеулер	49
3.2 Электрооптикалық түрлендіргіштер сигналдарының математикалық моделіне анализ	56
3.3 Құрылғыны сәйкестікке тексеру және ғимараттарға кіріктіруді жоспарлау негіздері	62
Қорытынды	65
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	66
Қосымша А	70
Қосымша Б	72
Қосымша В	74

КІРІСПЕ

Бүгінгі таңда ақпараттық–коммуникациялық технологиялар саласында талшықты–оптикалық байланыс жүйелері маңызды рөл атқарады. Телекоммуникацияның даму кезеңдерінде индустриалды желілерден бастап, қазіргі ақпараттық дәуірге өту қарқынды өзгерістер мен жаңашылдықтарды талап етті. Талшықты–оптикалық кабельдік технологияның енгізілуі байланыс жылдамдығын арттырып, сигналдардың жоғалуын азайтуға мүмкіндік берді. Бұл өз кезегінде ғаламдық және локальді желілердің сенімділігін және тиімділігін қамтамасыз етуде аса маңызды факторға айналды.

Электрооптикалық түрлендіргіштер – электрлік сигналдарды жарық сигналдарына түрлендіретін және қайтадан электр сигналдарына айналдыратын құрылғылар ретінде талшықты–оптикалық байланыс жүйелерінің ажырамас бөлігі болып табылады. Осыған байланысты олардың жұмыс істеу қағидаларын, математикалық және физикалық модельдерін зерттеу ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті мәселе саналады.

Бұл жұмыстың мақсаты электрооптикалық түрлендіргіштердің жұмыс принциптерін зерттеп, олардың модельдерін әзірлеу және MATLAB/Simulink платформасында модельдеу арқылы сигналдардың сапасын арттыру жолдарын анықтау. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: электрооптикалық түрлендіргіштің құрылымы мен жұмысын талдау, сигналдарды өңдеу әдістерін зерттеу, модельдеу арқылы кедергілердің әсерін бағалау, және тиімділікті арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Ғылыми жаңалығы ретінде электрооптикалық түрлендіргіштердің сандық сигналдарды өңдеу негізінде модельдеу тәсілдері мен алгоритмдерін талдау арқылы олардың жұмысын жақсартуға бағытталған кешенді әдістерді ұсыну болып табылады. Теориялық және әдіснамалық негіз ретінде оптикалық және электрондық байланыс саласындағы соңғы зерттеулер мен модельдеу әдістері қарастырылды. Практикалық маңызы – ұсынылған модельдер мен алгоритмдер телекоммуникациялық жүйелердің сенімділігін және тиімділігін арттыруға, сондай-ақ электрооптикалық түрлендіргіштердің жаңа технологиялық шешімдерін әзірлеуге негіз бола алады.

Осы зерттеуді жүргізу қажеттілігі қазіргі заманғы жоғары жылдамдықты байланыс жүйелерін жетілдіру және олардың сапасын арттыру міндеттеріне тікелей байланысты.

1 Сигналдарды өңдеу алгоритмдерінің теориялық негіздері

1.1 Цифрлық және аналогтық сигналдарды өңдеудің негізгі әдістері

Сигналдарды өңдеу алгоритмдері мен электрооптикалық түрлендіргіштердің өзара әрекеттесуін зерттеу қазіргі заманғы жоғары жылдамдықты оптикалық байланыс және көп спектрлі бейнелеу жүйелерінде маңызды орын алады. Бұл бөлімде осы өзара әрекеттесудің теориялық негіздерін қарастырады. Бұл мақалада оптикалық байланыс жүйелерінде қолданылатын электрооптикалық түрлендіргіштер үшін жоғары жылдамдықты сигналдарды өңдеу алгоритмдері талқыланады. Авторлар сигналдың сапасын жақсарту және жүйенің өткізу қабілетін арттыру мақсатында жаңа әдістерді ұсынады. А. Иванов және т.б. авторлар электрооптикалық модуляторларда қолданылатын озық цифрлық сигналдарды өңдеу әдістері қарастырылады. Зерттеушілер сигналдың бұрмалануын азайту және модуляция тиімділігін арттыру үшін жаңа алгоритмдерді енгізеді [1].

[2] ғылыми зерттеу жұмысында электрооптикалық түрлендіру жүйелерінде аналогтық сигналдарды өңдеуді оңтайландыру мәселелері қарастырылады. Авторлар сигналдың шуын төмендету және түрлендіру дәлдігін арттыру үшін түрлі әдістерді салыстырады. К. Чен және Д. Петров жұмысында электрооптикалық түрлендіргіштерді цифрлық сигналдарды өңдеу блоктарымен біріктіру арқылы жүйенің өнімділігін арттыру жолдары зерттеледі. Авторлар интеграцияның артықшылықтарын көрсетіп, нақты қолданбаларда тиімділігін дәлелдейді [3]. Электрооптикалық сенсорлық қолданбалар үшін нақты уақыттағы сигналдарды өңдеу алгоритмдерін [4] С. Гонсалес, Р. Накамура зерттеген. Зерттеушілер жоғары дәлдікті және жылдамдықты қамтамасыз ететін әдістерді талқылайды.

«Noise Reduction Techniques in Electro–Optic Signal Processing Systems» атты мақалада электрооптикалық сигналдарды өңдеу жүйелерінде шуды азайту әдістері қарастырылады. Авторлар әртүрлі фильтрация және сигналды қалпына келтіру тәсілдерін салыстырып, ең тиімділерін анықтайды [5]. Ал, келесі [6] зерттеуде электрооптикалық аналогтық–сандық түрлендірудің негізгі мәселелері мен оларды шешу жолдары талқыланады. Авторлар жоғары жылдамдықты және дәлдікті қамтамасыз ету үшін жаңа архитектуралар мен алгоритмдерді ұсынады.

Г. Сингх, Е. Мопено «Electro–Optic Analog–to–Digital Conversion: Challenges and Solutions» мақаласында цифрлық алдын ала бұрмалауды қолдану арқылы электрооптикалық модуляторлардың өнімділігін арттыру әдістері зерттеледі. Зерттеушілер бұл тәсілдің сызықсыз бұрмалануларды азайтудағы тиімділігін көрсетеді [7]. Осы жұмыстарды жетілдіруде Л.

Мартинес, Ф. Чжан электрооптикалық сигналдарды өңдеуде машиналық оқыту әдістерін қолдану мүмкіндіктері қарастырған. Авторлар нейрондық желілер мен басқа да алгоритмдердің жүйе өнімділігін жақсартудағы әлеуетін талдайды [8].

Озық сигналдарды өңдеу әдістері арқылы электрооптикалық түрлендіру жүйелерінің өткізу жолағын кеңейту жолдары [9, 10] зерттелген. Авторлар спектрлік тиімділікті арттыру үшін жаңа тәсілдерді ұсынады.

1.2 Сигналдарды түрлендірудің теориялық негіздері

Қазір деректерді алыс қашықтыққа жіберу әдісі ешкімді таң қалдырмайды. Бірақ 200 жыл бұрын мұндай технологиялар ақпараттық прогресстің керемет жетістігі болған. Радиобайланысты құру және осы жаңалықпен байланысты зерттеулер қазіргі заманғы технологиялардың қарқынды дамуына өзіндік негіз болды. Радиобайланыстың пайда болуының тарихы қарама-қайшылықтарға толы. Сигналдар – радиобайланыстың ең негізгі тасушысы. Радиобайланыстың дамуының негізгі сатылары ғылыми орталарда А. С. Поповтың өнертабысы – радиоқабылдағыштың пайда болуымен байланыстырылады. Сымды байланыс желілерінде мыс сым, талшықты – оптикалық кабель, коаксиалды кабель сынды физикалық арналар қолданылады. Сымсыз байланыстың негізінде магнит және электр өрісі арқылы электромагниттік толқындар көмегімен сигнал алмасу жүзеге асады.

Телекоммуникация саласында әр жасалынған операция белгілі бір сигналдың туындауына себепші болады. Ақпаратты өңдеу, тасымалдау, тарату және қабылдап алу процесстері кезінде бір ақпарат дестесі бірнеше рет түрленеді. Сигналдарың шифрлануы және дешифрлануы оның ақпараттық тұтастығын қамтамасыз ету үшін жасалынады. Бұндай процесстердің барлығы деректер базасында ақпарат алмасу кезінде орын алады. Ал физикалық тұрғыдан бір арнадан екінші арнаға ақпарат сигнал ретінде тасымалданған кезде өзгеше түрлену орын алады. Жалпы сигнал сөзі латын тілінен аударғанда «белгі» деген мағынаны береді, яғни хабардың арна бойында екенін растайтын, тасымалдау расымен де орын алып жатқандығын дәлелдейтін физикалық процесс болып табылады. Телекоммуникация саласында ақпарат электр сигналы ретінде қолданылып келеді. Тіптен байырғы ғасырлардан бері адамдар соғыс – шайқас кезеңдерінде «жеңіліс» туралы ақпаратты жеткізу үшін ақ ту көтеретін болған. Бұл ақпаратты қашықтықтан сигнал жіберу арқылы тасымалдаудың ең алғашқы прототиптері болып табылады.

Сигнал (ақпарат және байланыс теориясында) – байланыс жүйесінде хабарламаларды беру үшін пайдаланылатын материалдық тасымалдаушы ақпарат. Сигналдардың пайда болу факторларына байланысты классификациясы бойынша өте көптеген топтарға бөлінеді.

Кесте 1.1 – Сигналдардың жалпылама жіктелуі

	Сигнал параметрлерін сипаттайтын функцияға байланысты	
1	Үздіксіз (аналогты) сигнал	Аналогтық сигнал – берілген параметрлердің әрқайсысы уақыт функциясымен және мүмкін мәндердің үздіксіз жиынтығымен сипатталатын деректер сигналы.
2	Дискреттелген сигнал	Дискреттелген сигнал – бұл белгілі бір уақыт аралығында нақты мәндерді қабылдайтын сигнал.
3	Квантталған сигнал	Квантталған сигнал – бұл дискретті уақыт нүктелерінде өлшенетін, бірақ сонымен бірге оның амплитудасы деңгейлер бойынша квантталатын сигнал.
4	Дискретті (цифрлық) сигнал	Сандық деректер сигналы–ұсынылған параметрлердің әрқайсысы дискретті уақыт функциясымен және мүмкін мәндердің ақырғы жиынтығымен сипатталатын сигнал.
	Сигнал беру әдісі бойынша	
5	Детерминирленген сигнал (анықталынған)	Сигнал кез келген уақытта дәл анықталған сигналдар, олар кездейсоқ өзгерістерге ұшырамайды және белгілі бір заңдылыққа бағынады.
6	Кездейсоқ сигнал	Кез келген уақытта ерікті мәндерді қабылдайтын сигналдар, бұндай сигналдарды нақты математикалық функциямен анықтау мүмкін емес болып табылады.
	Сигнал тасымалдаушының физикалық табиғаты бойынша	
7	Электрлік сигнал	Ақпаратты тасымалдау, өңдеу, сақтау үшін қолданылатын уақыт бойынша өзгеретін кернеу (вольт), ток (ампер) немесе қуат (ватт) түрінде берілетін физикалық шама.
8	Электромагниттік сигнал	Сигнал кеңістікте физикалық арнасыз электр және магнит өрісі көмегімен таратылатын сигналдар, негізінен сымсыз байланыс орнату, радиобайланыс, телекоммуникация, оптикалық жүйелерде кеңінен қолданылады.
9	Акустикалық сигнал	Бұл сигналдар дыбыс түрінде таралады және ультрадыбыстық құрылғыларға, адам есту жүйесіне, музыкалық аспаптарға және телекоммуникацияға байланысты қолданылады.
10	Оптикалық сигнал	Жарық импульстары арқылы деректерді тасымалдайтын сигнал. Талшықты–оптикалық кабельдер арнасында негізгі тасушы сигнал.

Бұл сигналдардың жалпылама жіктелу типтері болып табылады. Негізінен сигналдарды әр түрлі жағдаяттық факторларға байланысты тағы да қосымша класстарға жіктеуге болады. Ұсынылған классификация сигналдардың әртүрлі қасиеттерін сипаттауға мүмкіндік береді және телекоммуникация, электроника, радиотехника салаларында кеңінен қолданылады.

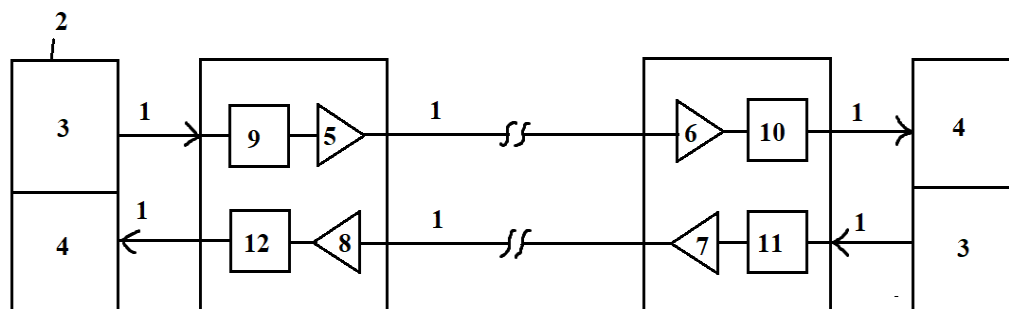
Сигналдық зерттеулердің бастапқы кезеңіндегі атқарылатын алғашқы жұмыс – сигналдарды математикалық модельге түрлендіру болып табылады. Телекоммуникация және радиобайланыс жүйелерінде математикалық модель (ММ) құру жобалаудың ең басты құралы болғандықтан, сигналдарды түрлендіру алгоритмдерінің бастапқы қадамдарының бірі болып саналады.

Мысалы гармоникалық сигналдың қарапайым математикалық моделі төмендегідей:

$$x(t) = Ae^{j(2\pi ft + \phi)} \quad (1.1)$$

Осы сынды математикалық модельдерді түрлендіре отыра сигналдың келесі қадамын заңдылық бойынша анықтауға болады, сондай-ақ сигналды жіберу барысында орын алуы мүмкін өшуліктер мен пайда болатын бөгеуілдердің алдын – алу профилактикалық жұмыстарын атқаруға болады.

Деректерді ақпарат көзінен қабылдағышқа жіберу процесінде ақпарат тасымалдаушысы болып табылатын сигналдарды бірнеше рет түрлендіру қажеттілігі туындайды. Бұл екі жақты байланыс орнату үшін де қолданылатын алгоритм. Екі жақты байланыс орнатудың мысалы ретінде – Э-О-Э (электр – оптика – электр) алгоритмін айта аламыз. Осы жұмыстың негізінде зерттеуге бағытталған принцип ЭОЭ/ОЭО болып табылады.



1.1-сурет – Екі жақты байланыс орнату

1.1 – суретте екі жақты талшықты–оптикалық байланыс желісінің 1997 жылы жарыққа шыққан желілік құрылымдық схемасы болып табылады. Мұндағы: 1 – талшықты–оптикалық кабель, 2 – лазер көзі (3) бар таратқыш блок, 4 – қабылдағыш блок, 5 – 8 оптикалық күшейткіштер, 9 – 12 фотодетекторлық адаптерлер. Яғни оптикалық күшейткіштің кірісінде және соңғы оптикалық күшейткіштің шығысында адаптерлер бар, мұнда адаптерлер оптоэлектрлік түрлендіру модулінен, сигнал деңгейін реттеу блогынан және әрбір оптикалық күшейткіштің толқын ұзындығына сәйкес реттелген оптикалық шығыс сигналын генерациялайтын лазерден тұрады.

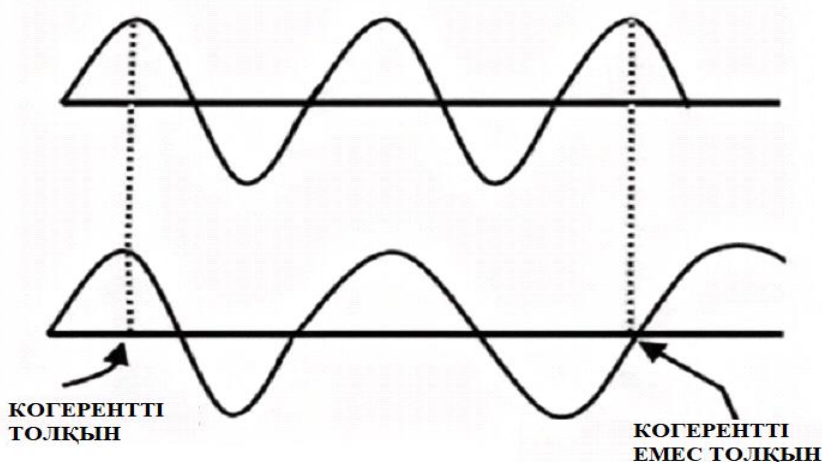
Сигналдарды түрлендірудің негізгі себебі – тарату жүйелеріндегі әртүрлі параметрлер мен сипаттамалардың бір-бірімен үйлесімсіздігі. Мысалы: сигнал көздері мен қабылдағыштары; әртүрлі параметрлерге ие байланыс арналары; соңғы және аралық жабдықтар және т.б. Арна арқылы сигнал беру үшін оның параметрлері арна көлемінен аз немесе оған тең болуы

керек, егер бұл талап орындалмайтын болса дерек тасымалы кезінде жоғалтулар, өшулік пайда болады.

1.3 ЭОЭ/ОЭО байланысына шолу

Соңғы он жылда әлемде 5G сымсыз байланысы, автономды көліктер, бұлттық қызметтер, телемедицина, үлкен деректер, жасанды интеллект/Машиналық оқыту (AI/ML) және COVID–19 пандемиясынан туындаған қашықтан жұмыс істеу қажеттілігі сияқты технологиялардың пайда болуының арқасында интернет–деректер трафигі қарқынды өсті. Фотондарды, яғни жарық импульстарын тасымалдаушы ретінде пайдаланатын ақпаратты өңдеуге және беруге арналған материалдарды қолдану салалары өте көп.

Талшықты – оптикалық кабельмен сигналдарды тарату барысында міндетті түрде электро – оптика – электро (ЭОЭ) немесе оптика – электро – оптика (ОЭО) процесстері жүзеге асады. Бұл түрленудің негізгі мақсаты – сигналдың когеренттілігін сақтай отырып, оны оптикалық жарық импульсынан электрлік формаға және кері оптикалық импульсқа дәйекті түрде түрлендіру. Когеренттілік дегеніміз – сигналдардың толқын ұзындылықтары бірдей мәнге ие, уақыт өткен сайын толқын өз формасын жоғалтпайтын, фазалық ауытқуы тұрақты және нөлге тең сәйкестендірілген ағын.



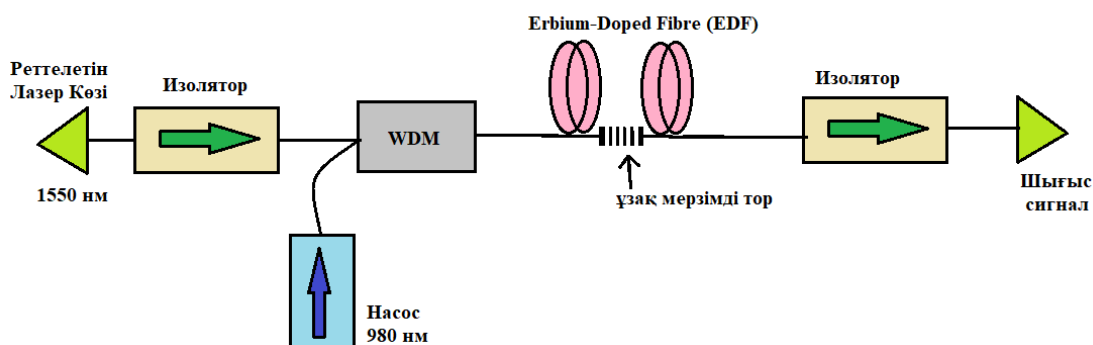
1.2-сурет – Когеренттілік құбылысы

Электрлік сигнал және оптикалық сигналдың параметрлері мен характеристикалары әртүрі болғанымен, олардың функциялары ұқсас, ол деректік импульстар тарату. Екі түрлі физикалық формаға ие импульстарды бір-бірімен синхрондау – электрооптикалық түрлендіргіштің негізгі тапсырмасы болып табылады.

Электрооптикалық түрлену негізгі екі сигнал типінің өзара комбинациясы болып табылады, олар – электрлік сигнал және жарық сигналы.

Бұл сигналдардың өзара әрекеттесуі әдетте фотодетекторлар, SFP модульдар, HFBR түрлендіргіштері, инфрақызыл датчиктер және т.б. құрылғылар арқылы жүзеге асады. Жарық сигналдары талшықты – оптикалық кабельдердің тасушы импульсы болып табылады.

Осы орайда оптикалық – талшықты кабельдің қазіргі телекоммуникациялық жүйелердегі орыны ауқымды. Соңғы бірнеше жылда интернет трафиктің күрт өсуі, абоненттік құрылғылардың көбеюі талшықты–оптикалық желілердің жалпы көлемін арттырды. Деректерді өткізу жолағының кеңеюі өткізу қабілетінің артуына қол жеткізді. Талшықты – оптикалық кабель бойындағы өткізу қабілетінің өсуіне әсер еткен басты компонент құрамында эрбий элементі бар талшықты–оптикалық күшейткіш (EDFA) болып табылады [11]. Ол 1530-1560 нм диапазонындағы кеңжолақты байланысты қамтамасыз етеді. Талшықты – оптикалық кабельдің негізгі тасушы арнасы шыны бөлігін эрбий қоспасымен біріктіру арқылы – өте төмен мөлшердегі өшулікке ие талшықты ала аламыз, сондай-ақ күшейтілетін жолақ енін шынының құрамы арқылы өзгертуге болады. Дәл өлшенген мөлшердегі EDFA элементтерінің композициясы бір мезетте 32 және одан да көп толқын ұзындығын күшейте алады, яғни деректер сыйымдылығын бір арналы жүйелермен салыстырғанда 32 есе арттыруға мүмкіндік береді. EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier – күшейткіштері сигнал күшін 1000 есе арттыра алады, жоғары сенімділікпен төмен шуылмен 1 Тбит/с-тан асатын деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді. Бұл мақалада [11] EDFA күшейткіштерінің өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік беретін болашақ телекоммуникациялық желілерде қолданыс табуы мүмкін сирек қоспалар комбинацияларына зерттеулер жүргізілген.



1.3-сурет – EDFA күшейткіштерінің құрылымы

Талшықты – оптикалық кабельдер мыс сым мен коаксиалды кабельге қарағанда көбірек ақпарат сыйымдылығын және сигнал күшейткіштері арасындағы үлкен қашықтықты қамтамасыз ете алады. Коаксиалды кабель – бұл орталық өткізгіштен, оқшаулағыш материалдан, сыртқы экраннан (немесе орамнан) және қорғаныс қабығынан тұратын кабель түрі. Ол көбінесе радиожилік сигналдарын беру үшін қолданылады, мысалы, теледидар

жүйелерінде, компьютерлік желілерде және басқа байланыс құрылғыларында. Бұл кабельдерде өшулік сигнал жиілігі артқан сайын эквивалентті түрде бірге артып отырады, сондықтан бұл ұзақ қашықтыққа жоғары жылдамдықпен деректерді таратудың тиімсіз жолы етеді. Ал кремний қоспасы бар талшықты – оптикалық кабельдерде сигналдың әлсіреуі төмен және сигнал жиілігіне тәуелсіз болып табылады, сондай - ақ оптикалық талшық үлкен қашықтықтарға 100 Гбит/с жылдамдықты оңай қамтамасыз ете алады, бұл идеалды жағдайда, қазіргі кезде деректерді жіберу және қабылдау жылдамдығы қолданыстағы электронды құрылғылардың характеристикаларына байланысты. Мақалада зерттелген ақпарат бойынша теориялық тұрғыда 50 Тбит/с - тан асатын жылдамдықты жасау мүмкіндігі қарастырылған.

1980 жылдары сигналдарды күшейту ретрансляторлар деп аталатын электронды құрылғылар көмегімен жүзеге асырылды, олар жарық сигналын анықтап, оны электронды сигналға түрлендіре отырып электрлік сигналды күшейткен және күшейтілген сигналды кері оптикалық импульс ретінде жіберіп күшейту жұмысын атқарған. Бұл процесс өте тиімсіз болған, осы орайда оптикалық күшейткіштер пайда болды. 1980 жылдардың аяғында толық оптикалық күшейткіш құрылғысы бір уақытта бірнеше арналарды бір оптикалық талшықта әр түрлі толқын ұзындықтарында күшейтуге мүмкіндік берді. Қазір бұл технология электронды – оптикалық түрленуді қажет етпестен бір талшықтағы бірнеше арнаны бір уақытта күшейтуге мүмкіндік береді. Аталған процессті электрлік түрде жүзеге асыру үшін әр арнаны бөліп (демультиплексрлеу) әрқайсысын бөлек-бөлек күшейтіп кері рекомбинациялау (мультиплектрлеу) қажет болатын еді. Сәйкесінше бұндай күшейткіштер үлкен қаражат шығынын тудыратын еді.

Талшық бойынан сапалы ақпарат алмасуды қамтамасыз ету үшін, талшықтың құрамындағы қоспалар өте маңызды болып табылады. Талшықтағы жарық сигналының өшуліксіз, кедергілерсіз және жоғары өткізу қабілетімен жіберілуін қамтамасыз ету мақсатында [12] мақаласы біршама зерттеулер жүргізген. [11] мақаладан ескергеніміздей қазіргі кезде талшықтың қабілетін арттыру үшін оптикалық күшейткіштерде эрбий қоспасы бар талшықтар қолданылатын еді. Өнімділігі жоғары электро-оптиканың құрамдас материалдарын дайындау – 5G байланысы, радарларды анықтау, терагерц және электро-оптикалық модуляторлар сияқты оптоэлектрондық байланыс технологиясының сапасын арттыратын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Сапалы талшық әзірлеу барысында органикалық материалдардың бейорганикалық материалдармен салыстырғандағы электрооптикалық коэффициентінің артықшылығы бар [12]. Сондай - ақ, олар жартылайөткізгіш микроэлектронды құрылғылармен оңай интеграцияланады, бұл қолданыс перспективаларын арттырады [13]. ОЭО интерферометрі сәулеленуі бар когерентті құрылғылар үшін де пайдалы [14]. Электрооптикалық коэффициентті теориялық түрде идеалды болып

табылатын материал – хромофор ($\sim 1000 \text{ pm/V}$). Алайда тәжірибелік тұрғыда қолданыстағы хромофорлардың электрооптикалық коэффициенті 300 pm/V - тан төмен. Бұл мәселенің шешімі поляризация яғни жарықтандыру процессін дамыту болып табылады. Сондықтан электрооптикалық түрлену процессі жүзеге асу үшін оны құраушы компоненттеріне қойылатын талаптар жоғары.

Осы орайды, фотонды сүзгі ретінде ацетилен анықтамалық ұяшығы бар фазалық электро-оптикалық модуляторға негізделген оптоэлектрондық генератордың (ОЭО) жұмыс режимдері зерттелді [15].



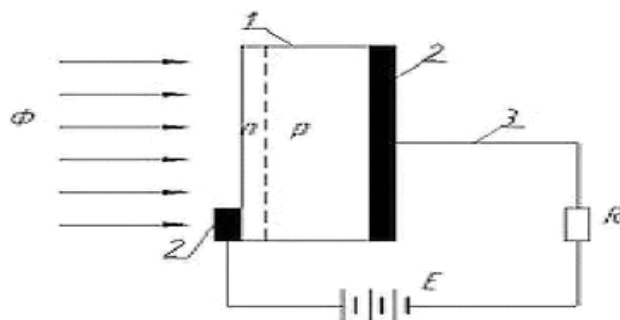
1.4-сурет – Қарастырылған ОЭО-ның схемалық бейнесі

Алғашқы тәжірибелер ОЭО оптикалық жолымен ашық конфигурацияда жүргізілді. Ацетилен анықтамалық ұяшығы арқылы фазалық модуляцияны амплитудаға (модуляцияға) түрлендірудің екі түрлі режимі зерттелді. Бірінші режимде, кең жолақты, демодуляция фазалық модуляцияланған толқынның тасымалдаушы жиілік компонентіне қосымша фазалық ығысуды енгізу арқылы жүзеге асырылды. Яғни, ОЭО түрлендіргіштері немесе түрлендіргіштері (optical-electrical-optical) оптикалық сигналды түрлендіруге және қалпына келтіруге арналған белсенді желілік құрылғылар.

1.4 Электрооптикалық түрлендіргіштер

Электрооптикалық түрлендіру – бұл электр өрісіне жауап ретінде материалдың оптикалық қасиеттерімен болатын өзгеріс. Сәйкесінше электрооптикалық түрлендіргіштер дегеніміз – екі электрлік құрылымы арасында талшықты – оптикалық кабель арқылы дерек алмасу кезіндегі талшық бойындағы жарық импульсының электрлік импульсқа (және керісінше) конвертациялануы арқылы ақпарат алмасу процессі.

Негізгі түрлендіруге қатысатын жартылайөткізгіш элемент ол – фотодиод.



1.5-сурет – Фотодиод құрылымдық сұлбасы

1.5-суретте көрсетілгендей бірінші нұсқау жартылайөткізгіш кристалл, екінші нұсқау контакттік, үшінші нүкте шығыс бөлігі болып табылады. Сонымен қатар фотондық электромагниттік сәулелену ағыны Φ белгісімен, тұрақты ток көзі $\mathcal{E}$ белгісімен және диодқа түсетін жүктеме R_n белгіленген.

Фотодиод – бұл жарықтың әсерінен электр тогын өндіретін жартылай өткізгіштік құрылғы. Оның негізгі құрылымдық сұлбасы келесідей компоненттерден тұрады:

- P-N ауысуы – фотодиодтың негізгі бөлігі, жарықтың әсерінен ток тудырылатын аймақ:

- а) P - аймақ – оң зарядталған (кемтік өткізгіштік);

- б) N - аймақ – теріс зарядталған (электрондық өткізгіштік);

- Жарық сезгіш қабат (активті аймақ) – фотондардың әсерінен электрон–кемтік жұптар түзіліп, электр тогын тудырады;

- Электродтар – токтың сыртқы тізбекке берілуін қамтамасыз етеді:

- а) Анод (+) - P аймаққа қосылады.

- б) Катод (–) - N аймаққа қосылады;

- Оптикалық терезе - жарықтың жартылай өткізгішке өтуін қамтамасыз ететін мөлдір қабат;

- Қорғаныш қабаты - сыртқы әсерлерден қорғау үшін пайдаланылады.

Фотодиодтың негізгі жұмыс істеу принципі: жарық түсірілгенде, p–n ауысуында электрон–кемтік жұптар пайда болады, олар электр өрісінің әсерінен электродтарға қарай қозғалып, фототок тудырады. Фотодиодтар күн панельдерінде, оптикалық сенсорларда, телекоммуникацияда және медициналық құралдарда кеңінен қолданылады.

Электрооптикалық түрлендіргіштердің түрлері:

1. Электрооптикалық модуляторлар – бұл құрылғылар электр әсеріне жауап ретінде амплитудасы, фазасы және жиілігі сияқты жарық параметрлерін өзгертеді. Мысалы, Пельтье модуляторы оптикалық байланыс жүйелерінде жарықты модуляциялау үшін қолданылады. Ең соңғы инновациялық электрооптикалық түрлендіргіштер сұйық кристалды (жидкокристаллический) форматта жасалған [16]. Оның негізгі артықшылығы – модуляция жиілігі 500 кГц-ке дейін және 400 наносекундқа дейін электро-

оптикалық жауап беру уақытын қамтамасыз етеді. Жұмыс жасау принципі бойынша – геликоидты құрылымның критикалық өрісі аз электр өрістерінде сұйық кристалл геликоидтың электр өрісі (DNF эффектiсi) арқылы деформация режимінде жұмыс істейді.

2. Электрооптикалық детекторлар – электрооптикалық датчиктер оптикалық сигналдарды электр сигналдарына айналдырады. Фотоэлементтер немесе фотодиодтар сияқты фотодетекторлар жарық сигналдарын қабылдайды және оларды жарық қарқындылығына сәйкес келетін электр тогына айналдырады.

Қазірге заманауи зерттеулер бойынша бір фотонды детекторлары бар ТГц-тік өрісінің бір циклді электро-оптикалық үлгісі – электрооптикалық үлгіні және ультра қысқа импульстік зондтарды қолдана отырып, уақытша аймақтағы терагерц спектроскопиясы (ТГц-TDS) терагерц сәулеленуінің электр өрісін тікелей өлшеудің жақсы дәлелденген әдісі болып табылады [17]. Осы орайда, аталған зерттеуге ұқсас [17] бір фотонды гейгерлік режимде жұмыс жасайтын толқын ұзындығы 1550 нм-ге тең лавиндік фотодиодтар негізінде жасалған детекторлар бар. Олар көбінесе криптографиялық құпиялылықпен ақпарат жіберу кезінде қолданылады.

3. SFP модульдер – жоғары жылдамдықтағы байланысты қамтамасыз ететін оптикалық трансивер. Көбінесе үлкен ауқымдағы кәсіпорындарда UTP кабельдің қажеттілігін болдырмай желіде деректер алмасу үшін қолданылады. Ол коммутаторлармен байланыс орната алатын стандартты тарату/қабылдау модулі болып табылады. Модульдің көптеген түрлері бар. Сондықтан телекоммуникациялық жабдықтар өндіретін компаниялар әртүрлі серияларды шығарады. Мысалы: SFP модуль Mikrotik S+RJ10 S+RJ10 ; Модуль Mikrotik SFP+; Трансивер Juniper EX-SFP-1GE-LX40K және тағы басқалары.

Толқын ұзындығы бойынша талшықты–оптикалық кабельдерге арналған SFP модульдерінің түрлері және олардың белгіленуі:

- 850 нм, 550 м MMF - SX;
- 1310 нм, 10 км SMF - LX;
- 1550 нм, (40 км - EX, 80 км - ZX, 120 км - EZX) және DWDM;
- 1310/1550 нм, 10 км SMF - BX.

Электрооптикалық түрлену процессі келесі параметрлерге және характеристикаларға сәйкес жүзеге асады:

- Қосқыш түрі (коннектор): LC, RJ45, MTP/MPO-16;
- Талшықты – оптикалық кабель беру жылдамдығы – 1, 2, 4, 8, 16, 32 Gbps;
- Ethernet кабель беру жылдамдығы – 100 Mbps, 1 Gbps, 1,25 Gbps, 10 Gbps, 20 Gbps;
- Өлшемдер: 113.9-156 мм²;
- Тасымалдаушы түрі: талшықты – оптика, мыс, DAC;
- Арналар саны: 1-ден 8-ге дейін;
- Күйі: тұрақты [19].



1.6-сурет – Mikrotik S+RJ10 модулі.

1.6-суреттергі оптикалық трансивер Marvell 88X3310P чипсеті негізінде жұмыс істейді. Mikrotik S+RJ10 модулі максималды желіде байланыс орнату қашықтығы 200 м, арнаның өткізу қабілеті 10 Гбит/с-қа тең, өлшемі оңтайлы шағын болғандықтан модульді жұмыс орынына байланысты оңай транспортталады. Алдын-ала параметрлерін орнатуды қажет етпейді, сигналдың параметрлеріне сәйкес синхрондалады. Модуль төмен қуатты тұтынады: 2,4 Вт-тан аспайды[20].

Huawei SFP модулін қолдана отырып жасалған деректерді оқу тақтасын модельдеу [21]. Small form-factor pluggable (SFP) – Шағын форма–факторлық қосылатын модуль (SFP) – бұл спецификация оптикалық модульдік трансиверлердің жаңа буыны. SFP – деректерді оптикалық талшықтарға жіберу, содан кейін оптикалық талшықтардан оптикалық сигналдарды қабылдау және оларды электрлік сигналдарға түрлендіру үшін электрлік сигналдарды оптикалық сигналдарға түрлендіретін құрылғы.



1.7-сурет – Нүктеден нүктеге оптикалық талшықты жүйенің типтік конфигурациясы

Бұл схема интернет деректерін электрлік сигналға, содан кейін оптикалық сигналға түрлендіретін талшықты-оптикалық байланыс жүйесін көрсетеді. Сигналды оптикалық күшейткіштер қашықтық бойында күшейтіп, сигналдың әлсіреуін азайтады.

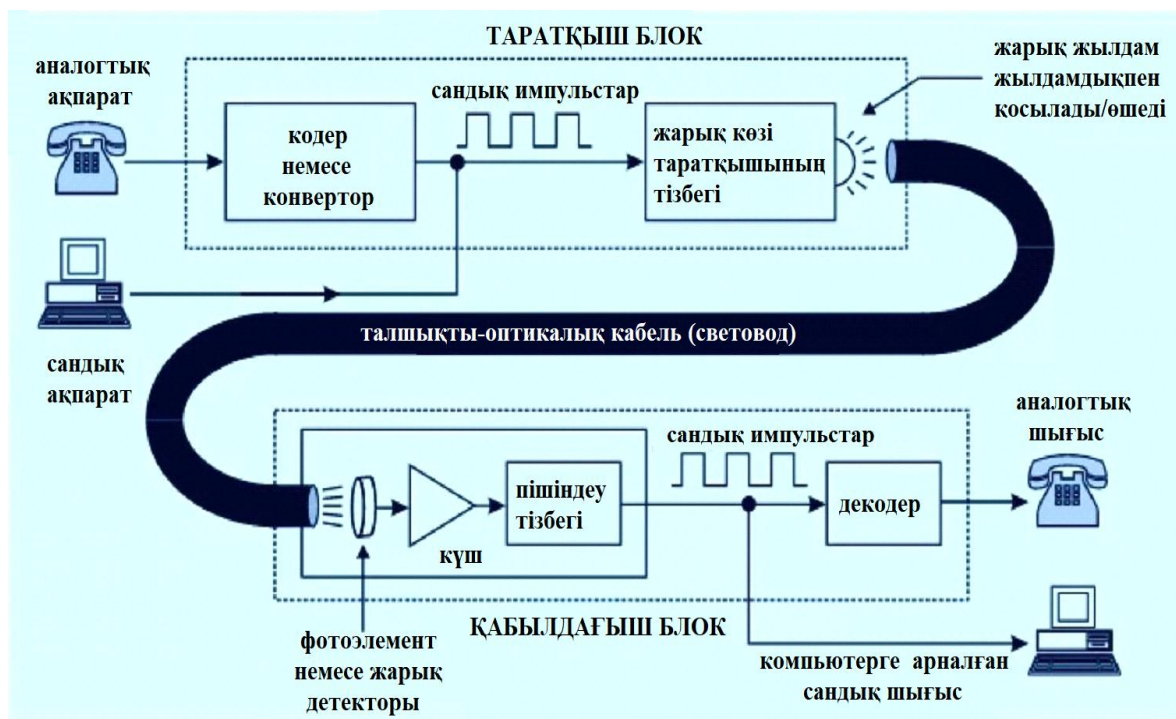
Бұл SFP құрылғыларын 850 нм 1310 нм сияқты бірнеше жиіліктерді жіберу және қабылдау үшін пайдалануға болады. 1490 нм 1550 нм Өткізу

Қабілеттілігін 1 Мбит/с-тан 1000 Гбит/с-қа дейін немесе одан да көп реттеуге болады [21].

4. Инфрақызыл (ИҚ) сәулелі датчиктер - инфрақызыл сәулелі толқындарға әсер беретін детектор. Негізгі екі түрі бар - жылулық және фотондық. Электрооптикалық түрлену процессі кезінде фотондық детектор қолданылады. Себебі фотон талшықты - оптикалық кабельдің тасушысы жарық импульсы болып табылады. IR (infrared radiation) сенсорлары автоматтандыру және басқару, денсаулық сақтау, қауіпсіздік және климатты басқару жүйелері сияқты көптеген салаларда қолданылады.

Инфрақызыл сәулелер дегеніміз — толқынының ұзындығы 760 нм-ден 2 мм-ге ($\lambda = 0,74$ мкм) және ($\lambda \sim 1-2$ мм) дейінгі аралықта жататын электромагниттік сәуле.

ИҚ детекторларда көбінесе инфрақызыл толқындарға сезімтал және оны электрлік сигналға айналдыра алатын фотодиодтар болады. Бұл фотодетекторлар инфрақызыл сәуленің толқын ұзындығының кең ауқымында жұмыс істей алады (мысалы, 800-1700 нм).



1.8-сурет – Талшық арқылы ақпарат жіберу

1.8-суреттегі байланыс схемасы инфрақызыл датчиктер арқылы талшықты – оптикалық кабель арқылы байланыс орнатудың мысалы көрсетілген. Таратқыш блокта кодер немесе конверторға аналогты сигнал келіп түседі және ол цифрлық сигналға түрленеді, түрленген цифрлық сигнал жарық көзі таратқышының тізбегіне түседі жарық жоғары жылдамдықпен қосылады/өшеді. Жарық сәулесі оптикалық кабель арқылы өте жоғары жылдамдықпен транспортталып қабылдағыш блокка түседі. Қабылдағыш

блокта жарық импульсын фотоэлемент немесе жарық детекторы қабылдап алып пішіндеу тізбегі арқылы кері электрлік сигналға түрлендіреді, ары қарай декодер арқылы кері процесс орын ала отыра сигнал аналогты сигналға түрленеді. Осылайша сәулелік принципке негізделген фотондық электрооптикалық түрлену орын алады.

Жалпы электрооптикалық түрлену процессін жүзеге асыратын құрылғылар өте көп. Алайда олардың барлығы бір принцип бойынша жұмыс жасайды. Ол – жарық диоды және фотодетектор арқылы импульстарды түрлендіру. Фотодиод деп аталатын жартылай өткізгіш оптикалық сәулелену қабылдағышы – p-n түйісуіндегі процесстер арқылы оның фотосезімтал аймағына түскен жарықты электр зарядына айналдырады.

1.5 Электрооптикалық мониторинг саласындағы алдыңғы зерттеулер және олардың нәтижелері

Электрооптикалық түрлендіргіштердің құрылымы, жұмыс жасау принципі 2025 жылғы технологиялар үшін инновациялық жаңашылдыққа жатпайды. Бірақ та аталған технология кез – келген FTTx, GPON, 5G сынды байланыс желілерінде ажырамас қолданба. 5G сымсыз технологиясы - оптикалық сигнал түрлендіргішінің модулі антеннамен байланысқан электродтық электро-оптикалық модулятор мен WDM қосу/түсіру сүзгілерінің көмегімен жасалған [22]. Бұл тығыз пайдаланушы ортасында мобильді алдыңғы тасымалдағыштарда жоғары байланыс үшін пассивті сигнал түрлендіргіші үшін қолайлы. Зерттеу жобасында 28 ГГц диапазонына арналған антеннамен байланысқан электрод модуляторлары ұсынылған.

Электрооптикалық түрлендіргіштердің қолдану аясы өте кең. Мысалы: телекоммуникациялар, ғарыштық және аэроғарыштық жүйелер, радар және қашықтықтан өлшеу, медициналық диагностика, өнеркәсіптік бақылау жүйелері, оптикалық сенсорлар және т.б. Бұл құрылғылардың қолдану аясы үнемі кеңейіп келеді, себебі олар көптеген салаларда жоғары жылдамдықты, дәл және тиімді шешімдерді қамтамасыз етеді. Аталған салалардың бір ортақ қолдану бағыты бар, ол - мониторинг жүйесі. Ондаған жылдар бойы физикалық және механикалық құбылыстарды өлшеудің негізгі әдісі электр датчиктері болған. Электрлік датчиктердің қолданыста кең таралғанына қарамастан, біршама кемшіліктері де болды: электромагниттік өрістердегі кедергілерге сезімталдылық, деректерді тарату кезінде сигналдық жоғалулар, қысқа тұйықталу орын алмайтын электр тізбегін ұйымдастыру қажеттілігі. Бұл шектеулер электрлік датчиктерді күрделі тапсырмалар үшін қолдануды жарамсыз етті [23]. Осы орайда талшықты-оптикалық датчиктер мәселенің таптырмас шешімі болды [24].

Әдебиеттерді зерттеу барысында [25-26] эксперименттік зерттеулер АІС жүйесінің темірбетон арқалығының жүктеме өзгерісін және оның бұзылуын бақылауға қабілетті екенін көрсетті.

АІС (Artificial Intelligence-based Control) мақалаларда жасанды интеллект (AI) және оптоэлектрондық талдауға негізделген интеллектуалды басқару жүйесін білдіреді. Мақалалар аясында АІС талшықты-оптикалық сенсорларды қолдана отырып, темірбетон конструкцияларының күйін бақылау үшін қолданылады.

Алынған деректер қосымша шығындардың қолданылатын қысымға сызықтық тәуелділігін анықтауға мүмкіндік берді. АІС құрылымның бұзылу қаупін уақытылы анықтап, алдын-алу шараларын қабылдауға көмектеседі, сондай-ақ жарықтардың пайда болған орнын анықтай алады. Қарапайым дизайны мен төмен бағасы оны қолданыстағы аналогтардан ерекшелендіреді. Бір режимді оптикалық талшық пен оптоэлектрондық талдау пикселдердің сандық үлгісін қалыптастырып, жүктеме өзгерісін дәл бағалауға мүмкіндік береді. Ұсынылған әдіс температура өзгерістерінен туындайтын кедергілерге төзімді. АІС негізінде әр сенсор 10-50 м аралығындағы аймақты бақылайтын квази-бөлінген мониторинг жүйесін құруға болады.

Жаңа ғимараттардың құрылысы кезінде монолитті темірбетонды конструкциялардың техникалық күй-жайы, құрылыстық материалдардың қалануын адамның жіті бақылауда ұстауы тиімсіз [27-28]. Оры орайда ғимараттың техникалық күйін бақылау үшін электрлік және талшықты-оптикалық тензометрлік датчиктер қолданылады. Электрлік тензометрдің кемшілігі - қолдану радиусының аздығы 800 м және құны. Сондықтан талшықты - оптикалық датчиктердің мониторингтік қолдану әлдеқайда тиімдірек. Бұндай датчиктер Брэгг торларының негізінде жұмыс жасайды.



1.9-сурет – Іргетастағы жарықтар

Брэгг торлары (FBG – Fiber Bragg Gratings) – бұл оптикалық талшықтың өзегінде периодты түрде сыну көрсеткішінің өзгеруінен пайда болатын

құрылым. Олар жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын шағылыстырып, қалғандарын өткізеді. Бұл қасиет Брэгг шарты арқылы анықталады:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1.2)$$

мұндағы:

- λ_B – Брэгг толқын ұзындығы;
- n_{eff} – талшықтың тиімді сыну көрсеткіші;
- Λ – сыну көрсеткіші өзгерісінің периоды.

Брэгг торлары талшықты-оптикалық датчиктерде температура, қысым және кернеуді өлшеу үшін, талшықты лазерлерде және лазерлік диодтарда толқын ұзындығын тұрақтандыру мен басқару үшін, сондай-ақ оптикалық байланыс жүйелерінде дисперсияны компенсациялау және спектрлік сүзгілер ретінде қолданылады. Олар мұнай-газ өнеркәсібінде, құрылыс саласында, медицинада, аэроғарыштық және телекоммуникациялық технологияларда кеңінен пайдаланылады.

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті ғалымдары тәжірибе ретінде габариті $X = 50$ мм, $Y = 50$ мм және $Z = 400$ мм болатын цемент модельге ішінде талшықты-оптикалық датчигі арматуралық өзекке тексеріс жүргізілді. PC-400D цементінен жасалынған блоктарды PGI 500 өлшегіш гидравликалық прессі арқылы сынаған.

Нәтижесінде мемлекеттік ГОСТ 310.4-81 [29] стандартына сәйкес сынақ кезінде байқалған талшықты-оптикалық датчик (AIC) ұсынған мониторинг результаттары: зертханадағы температура - $24-25$ °C - ге өзгерген; Сәуле осьтері бойымен жылжу $OX = 0$ м, $OY = 0$ м және $OZ = 0$ м[25].



1.10-сурет – Оптикалық модульдер

1.10 – суретте талшықты-оптикалық мониторинг жүйесінде қолданылатын оптикалық модуль көрсетілген. Бұл модуль герметикалық

корпуста тұрады, ол сыртқы жарықтың кіруінен қорғайды, осылайша мүмкін болатын кедергілерді болдырмайды. Оптикалық модуль SC типті талшықты-оптикалық коннекторымен жабдықталған, оның диаметрі 2,5 мм және UPC Ultra физикалық байланысы бар.

Әрбір арна жарық сигналын электр сигналына түрлендіріп, оны микропроцессорлық деректерді өңдеу блогына жіберетін жеке фотоматрицамен жабдықталған. Қосылу USB-кабель арқылы жүзеге асады, ал деректер арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы өңделеді. Оптоэлектрондық талдау әдісі жарық дақтарының өзгерістерін анықтау үшін қолданылады.

Бұл модульдің негізгі мақсаты – оптикалық сигнал параметрлерінің өзгерісін тіркеу, осылайша темірбетон құрылымдарының жағдайын нақты уақытта бақылауға мүмкіндік беру.



1.11-сурет – Зерттеу нәтижесі

1.11 - суретте әр түрлі жүктемелердегі жарық нүктесінің суреттері дақтардың деградациясын көрсетеді.

Осы зерттеу жұмысына ұқсас Қарағанды Техникалық Университетінің ғалымдары жүргізген зерттеулерінің нәтижесінде карьерлердегі опырылуларды бақылауға арналған талшықты-оптикалық мониторинг жүйесі жасалып, сынақтан өтті [26]. Жүйе тау жыныстарының ығысуын және жарықтардың пайда болуын нақты уақытта бақылайды, G.652 стандартына сәйкес келетін оптикалық талшық пен аппараттық-бағдарламалық кешенді пайдаланады. Эксперименттер нәтижесінде пиксель саны мен орын ауыстыру арасындағы сызықтық тәуелділік анықталып, өлшеу қателігі 6.21% құрады. Машиналық оқыту алгоритмдері жарық дақтарының қарқындылығын бақылай отырып, деректерді өңдеудің дәлдігін арттырады. Өнеркәсіптік сынақтар «Алтыналмас» Кенжем карьерінде жүргізіліп, жүйенің тиімділігі дәлелденді. Бір датчиктің құны 150 USD, ал аппараттық-бағдарламалық кешен – 2000 USD, жүйе 16-32 датчикті қамтып, 100 м-ге дейінгі аумақты бақылай алады. Электронды сенсорларға қарағанда, бұл жүйе төмен қуат тұтынып, 30-50 км қашықтықта жұмыс істейді. Қолдану салалары карьерлердегі опырылуларды болжау, шахталар мен жер қыртысы тұрақтылығын бақылау болып табылады.

Болашақта өлшеу арналарының санын арттыру, алгоритмдерді оңтайландыру және жаппай өндіріске енгізу жоспарланған. Бұл жүйе тау-кен өндірісінде қауіпсіздік пен тиімділікті арттыруға арналған қолжетімді, сенімді шешім бола алады.

Сонымен қатар, электрооптикалық түрлендіргіштер SEMS басқару сигналдарын генерациялау және адаптивті беттердің деформациясын бақылау үшін қолданылады [30]. Радиотелескоптарда олар негізгі тарелканың адаптивті бетіндегі секциялық тақтайшалардың ығысуын өлшейді. Түрлендіргіш құрамына негізгі модуль (оптикалық қабылдау жүйесі, CMOS фотодетектор), өңдеу модулі және анықтамалық белгілер кіреді. CMOS фотодетекторы миллиондаған пиксельді сенсорлардан тұрады және жарықты электрлік сигналға түрлендіреді. Алгоритмдер ретінде адаптивті шекті сүзу, кадрлық айырмашылықты анықтау, бинарлау және байланыстырылған аймақтар арқылы объектілерді іздеу қолданылған. Зертханалық сынақтарда $50 \pm 0,2$ м қашықтықта 5 мм ығысу анықталып, түрлендіргіштің 0,2 мм-ден аспайтын қателігі тіркелді.

Бұл технологияларды практика түрінде қолданудың бір мысалы - ОЕО интерферометрлері, ол толық оптикалық-электронды-оптикалық түрлендіруді орындайды [31]. Интерферометр - интерференция құбылысына негізделген өлшеу құралы. Ол жарық немесе басқа электромагниттік сәулені бірнеше когерентті бөліктерге бөлу арқылы жұмыс істейді. Содан кейін бұл бөліктер әртүрлі оптикалық жолдардан өтіп, бір-бірімен араласады. Осы сәулелердің интерференциясы нәтижесінде экранда сәулелер арасындағы фазалық айырмашылық сияқты әртүрлі параметрлерді өлшеуге мүмкіндік беретін ерекше үлгі жасалады.

Талқыланған талшықты-оптикалық мониторинг жүйесі мен сигналдарды электрооптикалық түрлендіру арасындағы ортақ тақырып – оптикалық сигналдарды өңдеу және түрлендіру.

2 Инфрақызыл сәулелену негізінде сигналдарды түрлендіру және тұрғын-үй ішіндегі қоршаған орта параметрлерін зерттеу.

2.1. Инфрақызыл сәулелену негізінде түрленуді қолдайтын зерттеу эксперименттері

Инфрақызыл сәулелік датчиктер жұмыс істеу принциптері бойынша келесідегідей жобалар жүргізілген, Arduino микроконтроллеріне негізделген қоймаларға арналған автоматты есік жүйесін жобалау - мақала инфрақызыл (IR) сенсорларды қолдана отырып, Arduino микроконтроллеріне негізделген қойма бөлмелері үшін автоматты есік жүйесін жасауға арналған [32]. Зерттеудің негізгі мақсаты объектілерді анықтаған кезде есіктерді автоматты түрде ашу және жабу арқылы қоймадағы тауарлардың қозғалысын басқарудың тиімділігін арттыру болып табылады. Бұл қолмен басқару қажеттілігін азайтуға, қауіпсіздік деңгейін арттыруға және қол жеткізу процесін жылдамдатуға мүмкіндік береді. Зерттеу әдістемесі жүйенің жұмысын егжей-тегжейлі бағалауға мүмкіндік беретін эксперименттік аппараттық тестілеуді және прототиптеуді қамтиды. Даму барысында IR сенсорлары, сервомоторлар және Arduino микроконтроллері біріктіріліп, бірыңғай автоматтандырылған жүйені құрайды. Эксперименттік нәтижелер жүйенің тиімді жұмыс істейтінін, объектілерді дәл анықтайтынын және олардың пайда болуына тез жауап беретінін көрсетті. Автоматтандырылған есік өнімділікті арттырып қана қоймайды, сонымен қатар температура мен тазалық сияқты қойма ішіндегі қолайлы жағдайларды сақтауға көмектеседі. Осылайша, бұл зерттеу өнеркәсіптік автоматтандыру саласына, әсіресе қойма процестерін басқару саласына айтарлықтай үлес қосады. Сонымен қатар, инфрақызыл (ИҚ) датчиктердің, резистивті тізбектердің, Arduino микроконтроллерінің, дыбыстық сигналдың, сервомотордың және жарық диодтарының көмегімен теміржол қақпаларын автоматты түрде жабу [33-35] үшін қолданылады. Теміржол өткелдерін Автоматтандыру және жолдардың жай-күйін бақылау теміржол көлігінің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырудың маңызды міндеттері болып табылады. Бұл жұмыстар заманауи сенсорлық технологияларды, Arduino Uno және Raspberry Pi микроконтроллерлерін, сондай-ақ гидравликалық механизмдерді қолдана отырып, теміржол өткелдерін басқарудың және рельстердегі ақауларды анықтаудың интеллектуалды жүйесін қарастырады. Ұсынылған жүйеге пойыздардың қозғалысын бақылау және кедергілерді анықтау үшін инфрақызыл (IR) және ультрадыбыстық датчиктер кіреді. Шлагбаумдар мен гидравликалық жолдарды басқару модулі көліктің теміржол өткелдеріне кіруін автоматты түрде реттейді, бұл үздіксіз қозғалысты қамтамасыз етеді және апат қаупін азайтады. Сонымен қатар, тізбектің кедергісін өзгертуге негізделген рельстердегі жарықшақтарды анықтау механизмі, сондай-ақ сенсорлардан

нақты уақыттағы деректерді талдау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану жүзеге асырылды.

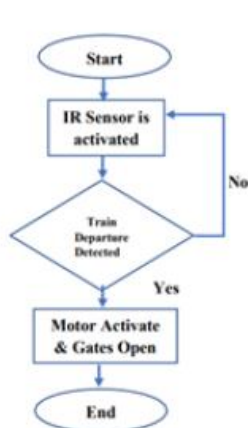


Figure- 6: Flowchart of opening the gate

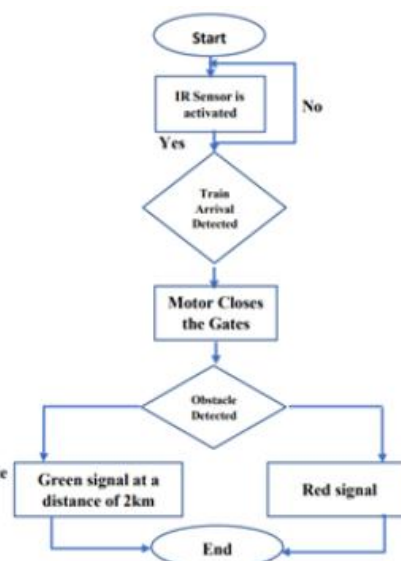


Figure-5: Flowchart of closing of gate

2.1-сурет – Инфрақызыл датчик қолданатын есік жүйесінің жұмыс алгоритмі (ағылшын тілінде)



Қақпаны ашу процесінің блок-сұлбасы



Қақпаны жабу процесінің блок-сұлбасы

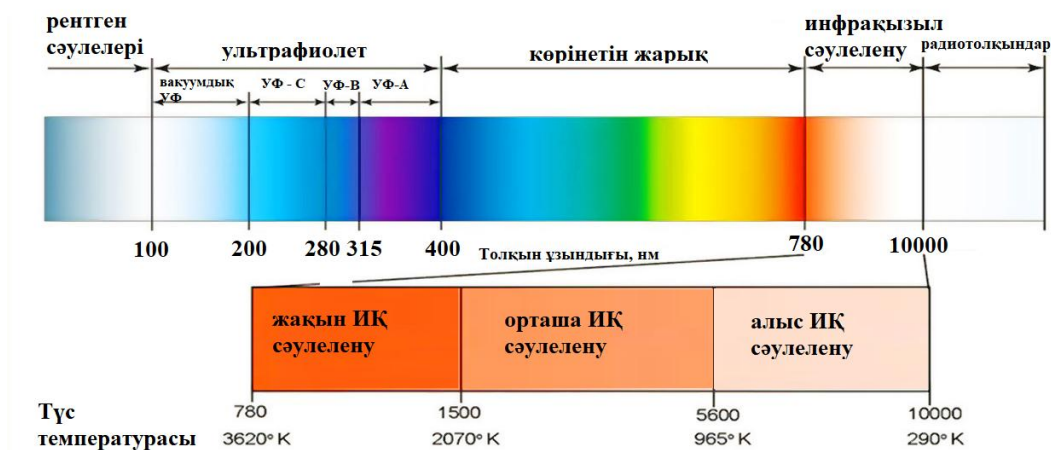
2.2-сурет – Инфрақызыл датчик қолданатын есік жүйесінің жұмыс алгоритмі (қазақ тілінде)

Автоматты түрде есікті ашып/жабу жүйесі адами факторды төмендету, инфрақұрылымның жай-күйін бақылауды жақсарту және көлік ағындарының үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету арқылы теміржол көлігінің қауіпсіздігін жақсартуға арналған кешенді шешім болып табылады [35].

Сонымен қатар, электрооптикалық түрлену саласында, соның ішінде инфрақызыл сәулеленуді қолданалтын GP2Y0A21YK0F инфрақызыл сенсоры мен Arduino UNO микроконтроллерін қолданатын үй қауіпсіздігі жүйесін әзірлеу қарастырылады [36]. Жүйе екі негізгі бөліктен тұрады: анықталған объектіге дейінгі қашықтықты көрсететін дисплей және объект анықталған кезде дыбыс шығаратын және қозғалысты орындайтын сервомотор. Эксперименттер барысында жүйе объектілерді 7-ден 30 см-ге дейін тиімді анықтайтындығы анықталды, бірақ өлшеу дәлдігі нысанның пішініне, өлшеміне және көлбеу бұрышына, сондай-ақ қоршаған орта жағдайларына байланысты болуы мүмкін. Зерттеу нәтижелері бұл жүйені қауіпсіздік технологиялары саласындағы одан әрі дамудың негізі ретінде пайдалану мүмкіндігін көрсетеді.

2.2 Сәулелік жарықтану арқылы сигналдарды түрлендірудің негізгі теориялық аспектілері

Инфрақызыл (ИК) сәулелену негізінде сигналдарды түрлендіру – электромагниттік толқындарды пайдаланып, ақпаратты бір ортадан екіншісіне жарық сигналдары арқылы беру және қайта өңдеу процесі. Бұл технология оптикалық байланыс жүйелерінде, сенсорлық құрылғыларда және лазерлік жүйелерде кеңінен қолданылады.



2.3-сурет – Толқын диапозондары

Инфрақызыл сәуле – бұл электромагниттік толқындардың бір түрі, оның толқын ұзындығы 0,74 мкм-ден 1,2 мм-ге дейінгі аралықта орналасады. Бұл диапазон көрінетін қызыл жарықтан ұзын толқынды және қысқа толқынды радиотолқындардан қысқа болып келеді. Инфрақызыл сәулелердің табиғаты көрінетін жарықпен ұқсас, бірақ оларды адам көзі қабылдай алмайды. Дегенмен, кез келген жылы дене инфрақызыл сәуле шығарады, бұл олардың

жылулық энергиясының көрінісі болып табылады. Инфрақызыл сәулеленудің физикалық сипаттамалары оның толқын ұзындығы 0,74 мкм – 1,2 мм, жиілік диапазоны 300 ГГц – 400 ТГц, ал энергиясы 1,24 мэВ – 1,7 эВ аралығында болатынын көрсетеді. Бұл диапазон көрінетін жарық пен радиотолқындар арасындағы өтпелі аймаққа жатады және жылулық сәулелену процестерімен тығыз байланысты.

ИК сәулелену талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде сигналды жылдам және кідіріссіз тарату үшін қолданылады.

Зерттеудің негізгі мақсаты - аналогтық сигналдарды жарық сигналы арқылы жіберу және электрооптикалық байланыс негізінде нәтижелерді алу. Осы мақсаттың негізінде Arduino Uno және ESP тақталарының арасында талшықты-оптикалық кабельдің көмегімен қоршаған орта деректерімен бөлісу процессі орын алады. Осы орайда, бізде сымсыз, дереу ақпарат алуға мүмкіндік беретін желі типтері [37] (Bluetooth, AirDrop, LoRa, ZigBee және т.б.) бар да не үшін процессті күрделендіріп талшықты-оптикалық кабель арқылы ақпарат алмасамыз? - деген сұрақ туындауы мүмкін. Көпқабатты тұрғын-үйлерде тұратын мүмкіндігі шектеулі жандар үшін, заманауи девайстарды қолдануды білмейтін қарт адамдар үшін бұл зерттеу жобасы өте тиімді болып табылады. Жобаны ғимараттарға кіріктіру барысында оны локальді түрде орнату, яғни қазіргі кезде қолданысқа ие Домофон терминалының құрылу типіндей [38] құру қарастырылады. Адам өміріне қауіп төндеретін жағдаяттар барысында электрооптикалық датчик негізіндегі қоршаған орта датчигі ғимараттың қабырға қалыңдығына, жалпы күйіне қарамастан әр үйге тікелей мәлімет беруге мүмкіндігі бар. Осылайша, модельдеу элементтері бар эксперименттік зерттеудің таңдалған әдісі электрооптикалық желі көмегімен қашықтағы қоршаған орта ақпараттарын автоматты басқару процесін зерттеуге, құрылғының сенімді және тұрақты жұмысын қамтамасыз ететін тиімді басқару жүйесін әзірлеуге және енгізуге мүмкіндік береді.

Электро-оптикалық қосылысты қолдану алгоритмдері оның түріне және қолдану саласына байланысты өзгереді. Алгоритмдердің негізгі санаттарына мыналар жатады:

1. Аналогтық сигналды түрлендіру алгоритмдері – лазерлік модуляторлар мен фотодетекторлар сияқты аналогтық электро-оптикалық жүйелерде қолданылады. Алгоритмдердің мысалдары:

- Амплитудалық модуляция (АМ) – оптикалық сигнал қарқындылығының өзгеруі.

- Жиілік модуляциясы (FM) – тасымалдаушы толқын жиілігінің өзгеруі.
- Фазалық модуляция (PM) – оптикалық сигнал фазасының өзгеруі [39].

2. Сандық талшықты - оптикалық деректер жүйелері сандық түрлендіру алгоритмдерін қолданады. Негізгі алгоритмдер – сигналдарды кодтау: NRZ, RZ, Манчестер және PAM4 [40], сигналдарды QPSK және QAM арқылы

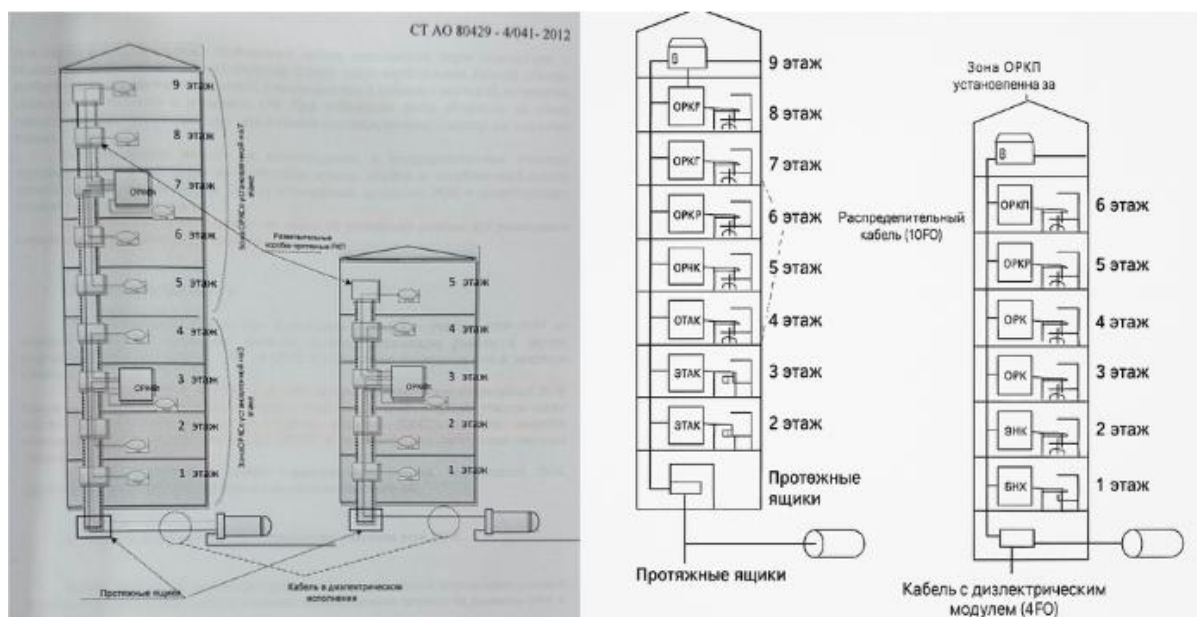
өзгертуге болады [41], қателерді түзету үшін FEC (Forward Error Correction) алгоритмдері қолданылады.

3. Оптикалық қосылыстарды басқару алгоритмдері деректерді беру жүйелерінде және талшықты желілерде қолданылады. Негізгі стратегиялар: маршруттауды оңтайландыру үшін OSPF және MPLS алгоритмдерін қолдану [42], сигнал қуатын басқару күшейткіштерді басқару, дисперсияны өтеу алгоритмдері адаптивті трансмиссияны болжау үшін қолданылады.

4. Когерентті электро-оптикалық түрлендіру алгоритмі: когерентті лазер көзі электрлік кіріс сигналымен модуляцияланады. Оптикалық сигнал байланыс арнасы арқылы беріледі. Қабылдау жағында тірек лазері бар когерентті детектор қолданылады. Қолданылуы: талшықты-оптикалық байланыс желілері жоғары өткізу қабілеттілігі кванттық байланыстар.

Инфрақызыл датчиктерді басқаруда қолданылатын негізгі алгоритмдер бірнеше түрге бөлінеді: сигналды фильтрациялау, объектілерді анықтау, координаттарды анықтау, қозғалысты бақылау, температураны өлшеу және т.б.

Инфрақызыл сәулелер негізіндегі датчиктерді басқару процессі және базалық алгоритмдерін зерттеу үшін келесідей материалдарды қарастырайық.



2.4-сурет – 9 және 5 қабатты тұрғын-үйге локальды желіні кіріктіру.

2.4 – суреттегі АО «Қазақтелеком» талшықты - оптикалық кабельді көпқабатты үйге орналастыру схемасына сүйене отыра келесідей ережелерді аламыз:

– 9 қабатты тұрғын - үй үшін датчиктерді басқару базасын кіріктіру әр үш қабат сайын орын алады. Ал датчиктердің өзін міндетті түрде әр қабатқа жобалаймыз.

– 5 қабатты тұрғын - үй үшін датчиктерді басқару базасын кіріктіру тек үшінші қабатта орын алады. Ал датчиктердің өзін міндетті түрде әр қабатқа жобалаймыз.

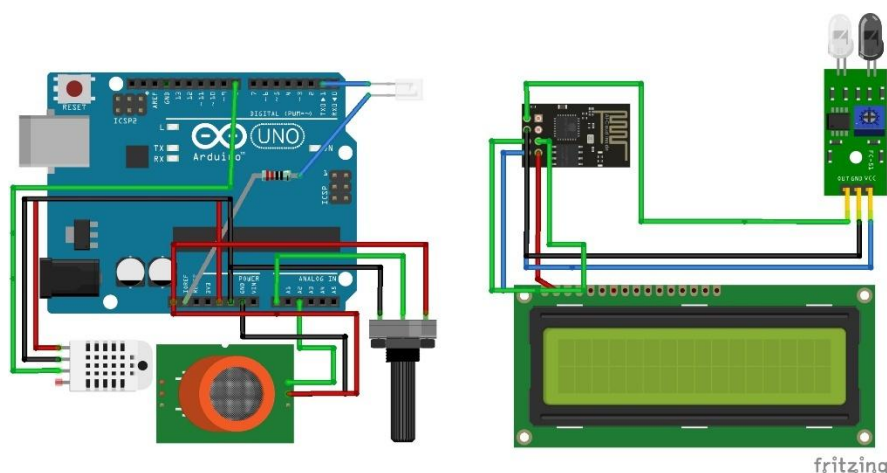
Стандарттық ережелерге сәйкес инфрақызыл сәуле негізіндегі қоршаған орта деректерін өңдейтін датчикті берілген схема бойынша жоспарланады [43].

2.3 Инфрақызыл сәулесі арқылы сигналдарды тәжірибелік тұрғыда зерттеу

Электрооптикалық түрленуді инфрақызыл сәулелену арқылы жүзеге асыру жобасы үшін алдымен электрооптикалық байланыс орнату үшін қажетті құраушы және өлшеуіш аспаптарды тағайындау керек. Эксперименттік жұмыс негізгі екі құраушыдан тұрады. Датчиктің ақпарат тарату бөлігінде жұмыс жасау қабілеттілігін тексеру үшін айнымалы резистор - потенциометр, DHT11 температура датчигі ретінде, газ датчигі ретінде MQ-135 пайдаланылды. Ақпаратты қабылдау бөлігінде инфрақызыл сенсор модулі IR Sensor және ESP8266 микроконтроллері тағайындалды. Бұл шешім эксперименттік жобаның талшықты - оптикалық кабельмен және қосымша мүмкіндіктер үшін IoT технологияларымен сәйкестігіне байланысты қабылданды. Бұлттық шығыс тақтасы ретінде - Telegram Bot қосымшасы және деректердің локальді шығыс тақтасы ретінде LCD1602 дисплей тағайындалады.

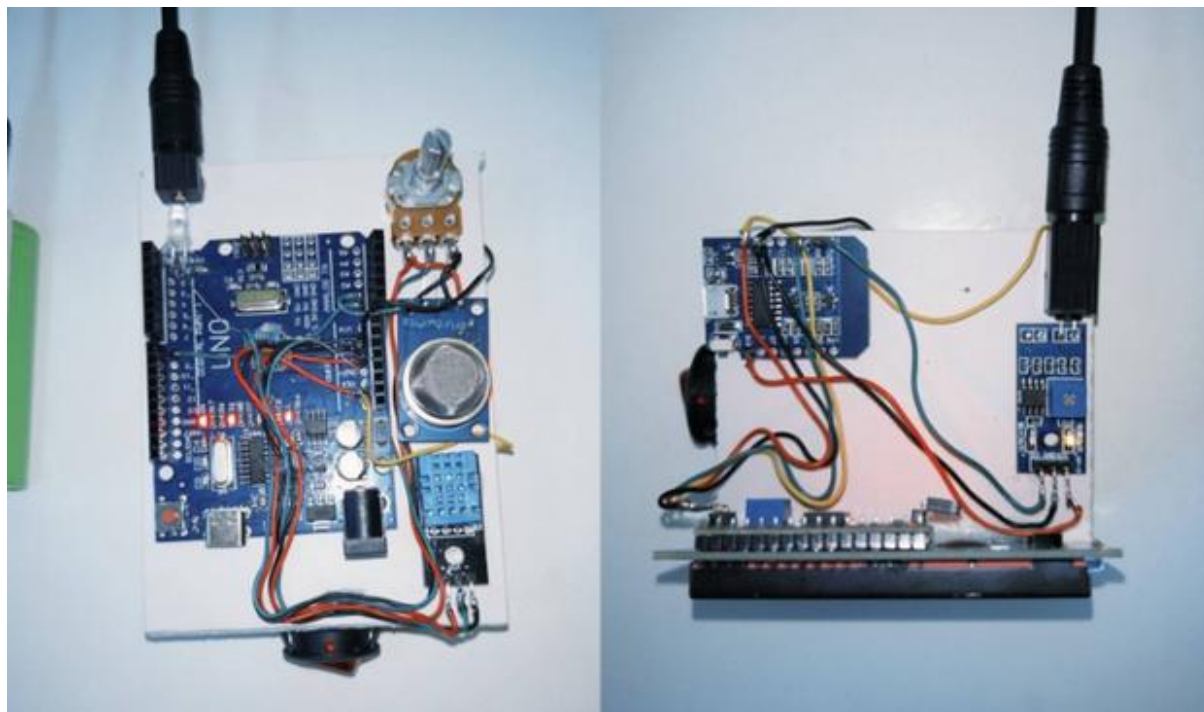
Пайдаланылған компоненттер:

- Arduino Uno 1;
- DHT11 1;
- Gas sensor MQ-135 1;
- Потенциометр 1;
- Toslink оптикалық кабель;
- Инфрақызыл сенсор модулі (IR Sensor) 1;
- ESP8266 1;
- LCD1602 дисплей 1.



2.5-сурет – Жобаның құрылымдық сұлбасы

Бұл жобада қоршаған ортаның параметрлерін анықтайтын датчиктердің ұсынатын ақпараттарын пайдалана отыра электрооптикалық байланыс негізін зерттейтін боламыз. Сәйкесінше 2.5 - сұлбада зерттеу құрылғысының құрылымдық сұлбасы көрсетілген. Сұлбада температура және ылғалдылық пен газ сенсорлары, потенциометр Arduino Uno тақтасына қосылған. Таратушы блок тікелей қуат көзі аккумуляторға жалғанды. Қабылдаушы блок Жақындық сенсоры (proximity sensor) немесе Инфрақызыл сенсор (IR Sensor) микроконтроллер негізінде байланыс орнатады.



а)

б)

2.6-сурет – Жобаның құрылымы: а) тарату құрылғының құрастыру сызбасы
б) қабылдау құрылғының корпусы

Біз жобаға 2 тікелей қуат көзі аккумуляторының түймесін қостық. Құрылғының құрастыру сызбасы (а) және корпусы (б) жоғарыда көрсетілген (2.6-сурет).

Жобамызда қолданылатын ESP8266 микроконтроллері Arduino Uno тақтасымен үйлесімді болып табылғандықтан, қосымша мүмкіндіктер IoT (Internet of Things) Заттар интернетімен интеграцияланады. Заттар интернеті (IoT – Internet of Things) – бұл әртүрлі құрылғылардың (сенсорлар, контроллерлер, тұрмыстық техника, өндірістік жабдықтар) интернетке қосылып, бір-бірімен деректер алмасуы [44]. IoT жүйелері адамның араласуынсыз жұмыс істей алады және автоматтандыруды жақсартады. Аталған микроконтроллер Arduino IDE бағдарламалау ортасында жабдықталды. Arduino IDE (Integrated Development Environment) – бұл Arduino микроконтроллерлері үшін негізгі бағдарламалау ортасы. Ол C/C++ негізінде жазылған кодты өңдеуге, тексеруге және жүктеуге мүмкіндік береді. Ол қарапайым интерфейсімен, кітапханалармен, серіктік монитормен ерекшеленеді және аппараттық құрылғылармен жұмыс істеуді жеңілдетеді. Arduino IDE-ні arduino.cc [46] сайтынан жүктеп, тақшаны USB арқылы қосып, код жазып, құрылғыға жүктеу арқылы қолдануға болады.

Микротақта және интеграция платформасы Telegram Bot арасындағы негізгі хаттамалар 2.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.1 – Негізгі протоколдар және олардың қызметі

№	Протокол атауы	Қолдану саласы	Қызметі мен ерекшелігі
1	HTTP	Веб, Telegram, API	HTTP — клиент пен сервер арасында мәлімет алмасу үшін қолданылады. ESP8266 құрылғысы Telegram ботқа хабар жіберу немесе веб-бет көрсету үшін HTTP сұраныстарын (GET, POST) қолдана алады. Алайда бұл протокол ауырлау, нақты уақыттағы қосымшалар үшін кешігулер болуы мүмкін.
2	MQTT	IoT, Smart Home, Blynk	MQTT — жеңіл және сенімді протокол, әсіресе ресурсы шектеулі құрылғылар үшін. Ол publish/subscribe моделін қолданады. Барлық байланыс орталық брокер арқылы өтеді. QoS деңгейлері (0, 1, 2) арқылы мәліметтің сенімділігі қамтамасыз етіледі.
3	WebSocket	Веб арқылы құрылғыны басқару	WebSocket — екі бағытты, толық дуплексті байланыс орнатады. Бұл протокол нақты уақыттағы деректермен жұмыс істеу үшін тиімді. ESP8266 арқылы браузер мен құрылғы арасында тікелей, үзіліссіз байланыс орнатуға болады.

4	CoAP	Төмен қуатты IoT құрылғылары	CoAP — UDP негізіндегі жеңілдетілген протокол. HTTP-ке ұқсас, бірақ энергияны аз тұтынады және кідірісі төмен. Ол REST архитектурасына сәйкес жұмыс істейді, сенсорлық желілер мен төмен қуатты құрылғыларға өте тиімді.
5	UART	Arduino мен ESP8266 арасындағы байланыс	UART — асинхронды сериялық байланыс. Ол екі құрылғы арасында тікелей байланыс орнатады, мысалы, Arduino Uno мен ESP8266 арасында. Жылдамдығы (baud rate), дерек биті және тоқтату биті параметрлерімен бапталады.
6	I2C	Бірнеше құрылғыны бір шинаға қосу	I2C — синхронды, екі сымды протокол (SDA және SCL). Бір мастер және бірнеше слейв құрылғыларды бір шинаға қосуға мүмкіндік береді. ESP8266 арқылы OLED дисплей, RTC модулі сияқты құрылғыларды басқаруға қолайлы.
7	SPI	SD карта, дисплей	SPI — жоғары жылдамдықты, төрт сымды байланыс (MISO, MOSI, SCK, SS). Әрбір слейв құрылғы үшін жеке SS желісі керек. Мәліметтер синхронды түрде жіберіледі, бұл үлкен көлемдегі деректермен жұмыс істеуге тиімді.

2.3 Жоба құралдарын талдау.

2.3.1. Arduino Uno

Бұл жұмыста өлшеуіш аспаптар мен байланыстырушыны басқару үшін Arduino Uno қолданылады. Arduino Uno – ATmega328P микроконтроллеріне негізделген тақша, ол әртүрлі датчиктер мен орындаушы құрылғыларды басқаруға арналған. Бұл микроконтроллер аналогтық және цифрлық сигналдарды өңдей алады, құрылғылармен UART, I2C, SPI сияқты интерфейстер арқылы байланысады және автоматтандырылған жүйелерді құруға мүмкіндік береді. Arduino Uno-ны қолдану арқылы біз жарықдиодтарды, моторларды, релелерді басқара аламыз, температура, ылғалдылық, қысым сияқты параметрлерді өлшей аламыз және алынған мәліметтерді өңдеп, сәйкес әрекеттерді орындауға бағдарлай аламыз. Сонымен қатар, оны сыртқы модульдермен біріктіріп, ақылды құрылғылар жасауға болады.

Кесте 2.2 – Микротақтаның сипаттамалары

Тақша атауы	Микроконтроллер	Жұмыс кернеуі (В)	USB түрі	Ерекшеліктері
Uno R1	ATmega328	5	USB B	Алғашқы нұсқа, стандартты функционал
Uno R2	ATmega328	5	USB B	Жақсартылған USB драйвер
Uno R3	ATmega328P	5	USB B	Қосымша SDA/SCL пиндері, кеңінен қолданылады
Uno SMD	ATmega328 (SMD)	5	USB B	Бетімен орнатылатын микросхема
Uno WiFi R2	ATmega4809 + ESP32	5	Micro-USB	Wi-Fi қолдауы, IoT жобаларға ыңғайлы
Uno Mini Limited	ATmega328P	5	USB-C	Шағын өлшемді, коллекторлық нұсқа
Uno Rev4 WiFi	RA4M1 + ESP32-S3	5	USB-C	Wi-Fi + Bluetooth, көп ресурсты

Arduino Uno интерактивті құрылғыларды жасау және электронды жоба платформасын құру үшін арналған конструкциялық тақта болып табылады. Arduino Uno әр түрлі модельдері бар. Бірақ қазір зерттеу барысында біз тек Arduino Uno тақтасын қолданатын боламыз.

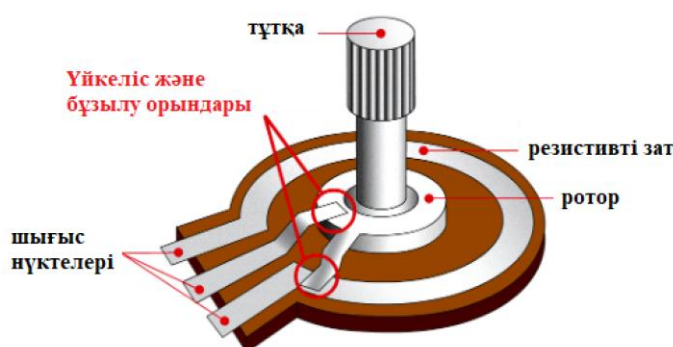


2.7-сурет – Arduino Uno

Arduino Uno құны жағынан тиімді ең көп қолданысқа ие, ATmega328 чіпінің негізінде жұмыс істейтін, 32 КБ флэш-жадысы, 2 Кб SRAM және 1 Кбайт EEPROM жадысы бар стандартты тақта болып табылады. Бұл модель 14 сандық канал (кіріс/шығыс) және 6 аналогтық каналға (кіріс/шығыс) ие. Arduino Uno жүйесі негізгі екі құраушыдан тұрады - микроконтроллер және бағдарламалық жасақтама (IDE).

2.3.2. Тексеру потенциометрі

Потенциометр - реттелетін кедергісі бар айнымалы резистор. Потенциометр қарапайым және практикалық тұрғыда қолдануға тиімді болғандықтан дыбыс деңгейін, кернеуді, контрастты және басқа параметрлерді реттеу тізбектерінде кеңінен қолданылады. Потенциометр әдетте екі мақсатта қолданылады: басқару элементі ретінде және негізгі схемаларда тримпот ретінде [46].



2.8-сурет – Потенциометр құрылымы

Кесте 2.3 – Пин тағайындалуы

Arduino	Потенциометр	Түс
GND	1-ші аяқ (сол жақ)	Қара
A0	2-ші аяқ (ортасы)	Сары
5V	3-ші аяқ (оң жақ)	Қызыл

Электрооптикалық түрлендеріштер негізінде зерттелген эксперименттік жоба барысында айнымалы резистордың шығыстарын сигналдардың тексеруші көзі ретінде тағайындадық.

2.3.3. Таратқыш өлшеуіш датчиктер

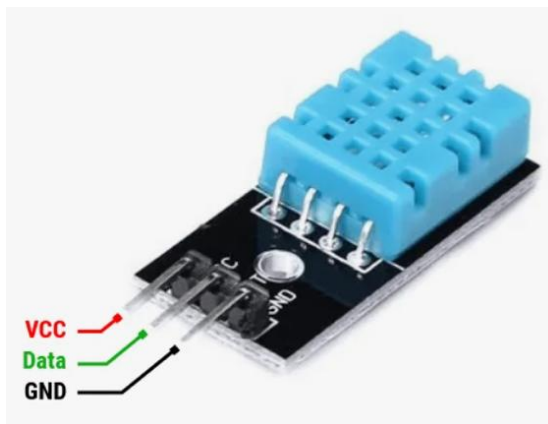
Электрооптикалық байланыс үшін бақыланатын параметрлер және сигнал көздері ретінде DHT11 және MQ-135 датчиктері қолданылады.

2.3.4. DHT11 датчигі

DHT11 датчигі – температура мен ылғалдылықты өлшеуге арналған датчик. Ол қоршаған ортаның температурасын (°C) және салыстырмалы ылғалдылығын (%) анықтап, микроконтроллерге сандық түрде жібереді.

Датчик екі негізгі бөліктен тұрады: температура сенсоры және гигрометр. Гигрометр ауаның ылғалдылығын өлшеу үшін, ал температура

детчигі қоршаған ортаның температурасын анықтау үшін қолданылады. Ішіндегі чип аналогтық сигналдарды сандық форматқа түрлендіріп, микроконтроллер арқылы оқылатын цифрлық сигнал шығарады. Бұл датчик жоғары дәлдікпен жұмыс істеп, сенімді өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді (2.9-сурет).



2.9-сурет – DHT11 өлшеуіш аспабы

Кесте 2.4 – DHT11 техникалық сипаттамалары [47]

Қуат кернеуі	3 -тен 5 В дейін
Максималды көлемдегі деректерді өңдеу кезінде тұтынылатын ток	2.5 мА
Температураны өлшеу диапазоны	0 - 50 °C
Температураны өлшеу дәлдігі	2%
Ылғалдылықты өлшеу диапазоны	20 - 90%
Ылғалдылықты өлшеу қателігі	±5%
Габариті	ұзындығы 15,5 мм, ені 12 мм, биіктігі 5,5 мм
Өлшеу жиілігі	1 Гц

Бұл сенсор төмен қуат тұтынумен және қарапайым интерфейспен ерекшеленеді, сондықтан оны көптеген электрондық жобаларда қолдануға болады.

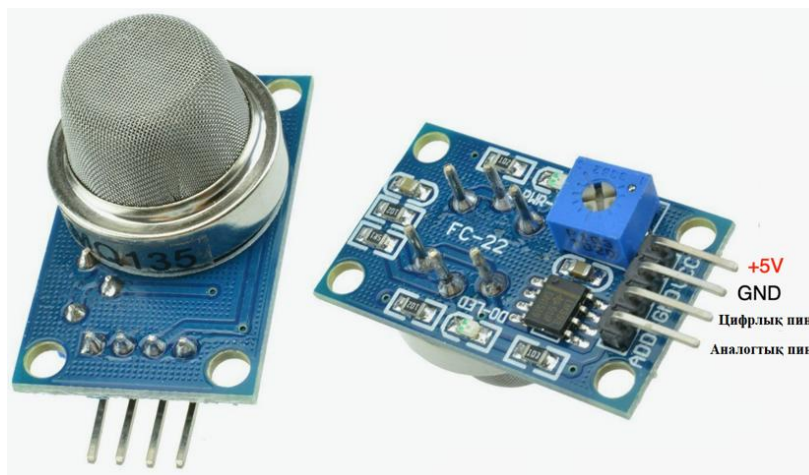
2.3.5. MQ-135 датчигі

MQ-135 датчигі – көмірқышқыл газының сенсоры. Бұл датчик нарықта ауа сапасының сенсоры ретінде тағайындалады. Өйткені ол ауадағы CO₂ концентрациясын ғана емес, басқа газдардың концентрациясын да өлшейді. Жұмыс принципі бойынша датчик SnO₂ қалайы диоксидінің жұқа қабықшалы қабатының анықталатын газ молекулаларымен жанасу кедергісін өзгерту арқылы жұмыс істейді. (2.10-сурет)

Кесте 2.5 – MQ-135 техникалық сипаттамалары [48]

Жылытқыштың қуат кернеуі	5В
Сенсордың қуат кернеуі	3,3-5 В
Тұтынылатын ток	150 мА
Габарит	25,4×25,4 мм

MQ-135 датчигі 6 контактілік бөлігі бар цилиндрлік құрылғы. Мүмкіндіктер: анықтаудың кең ауқымы, жылдам жауап беру және жоғары сезімталдық, тұрақтылық пен беріктік, қарапайым басқару схемасы.



2.10-сурет – MQ-135 өлшеуіш аспабы

MQ-135 сенсорының пиндерінің мақсаты:

- Vcc-қуат 5В.
- GND – «-» қуат.
- D0-сандық пин.
- A0-аналогтық пин.

Яғни, MQ-135 датчигін ауа сапасын мониторингілеу ауадағы көмірқышқыл газының күрт өсуіне жауап беретін сигнал беру үшін пайдалануға болады. Мысалы, өрт дабылы, ғимараттар мен кеңселердегі ауа сапасын бақылау жүйелерінде қолданылады. Аммиакты (NH_3), азот оксидтерін (NO_x), алкогольді, бензолды, түтінді, көмірқышқыл газын (CO_2) және басқа газдарды анықтауға жарамды [48].

2.3.6. ESP8266 микроконтроллері

ESP8266 – бұл Wi-Fi модулі бар арзан әрі қуатты микроконтроллер, ол негізінен интернетке қосылатын құрылғыларды (IoT) жасау үшін қолданылады. ESP8266 микросхемасын Espressif Systems компаниясы шығарған және ол Arduino, MicroPython, Lua сияқты әртүрлі бағдарламалау орталарымен үйлесімді. Оны қосу арқылы интернет арқылы деректерді

жіберуге және алуға, құрылғыларды қашықтан басқаруға және сенсорлардан деректерді алуға болады. ESP8266 3.3 V-де жұмыс істейді, Сондықтан Arduino Uno (5V) - ге қосылған кезде кернеу бөлгіш немесе логикалық деңгей түрлендіргіші қажет.



2.11-сурет – ESP8266 интеграция аспабы

ESP8266 модулі Arduino Uno-мен бірге қолданылғанда, ол құрылғыларды интернетке қосуға және IoT жүйелерін құруға мүмкіндік береді. Бұл модуль UART (Serial) интерфейсі арқылы Arduino-мен байланысады және Wi-Fi желісіне қосылып, деректерді алмасу функцияларын орындайды. ESP8266-ны AT-командалар арқылы басқаруға немесе оған арнайы ESP8266WiFi кітапханасын пайдаланып тікелей бағдарламалар жүктеуге болады. Бұл әдіс ThingSpeak, MQTT, Firebase сияқты бұлттық платформаларға деректерді жіберуге және қашықтан құрылғыларды басқаруға мүмкіндік береді. Arduino Uno ESP8266-мен бірге сенсорлық деректерді жинап, өңдеп, интернет арқылы тарату үшін қолданылады, бұл оны ақылды үйлер, өнеркәсіптік автоматтандыру, және экологиялық мониторинг сияқты салаларда кеңінен қолдануға жол ашады.

Кесте 2.6 - ESP8266 техникалық сипаттамалары [49]

Процессор	32-бит Tensilica L106, 80/160 МГц
Жад	96 КБ RAM, 512 КБ – 16 МБ Flash
Кернеу	3.0V – 3.6V (стандартты 3.3V)
Энергия тұтынуы	70–320 мА, Deep Sleep – 10 мкА
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2.4 ГГц), WPA/WPA2 шифрлау
Интерфейстер	UART, SPI, I2C, I2S, PWM, ADC (1 кіріс, 0–1.0V)
GPIO	11 (цифрлық кіріс/шығыс)
Жұмыс температурасы	-40°C – +125°C

АТ-командалар (AT Commands) – бұл "Attention" сөзінен шыққан арнайы мәтіндік командалар жиынтығы, олар ESP8266, GSM-модульдер, Bluetooth және басқа да құрылғыларды басқару үшін қолданылады. АТ-командалар құрылғымен UART (Serial) интерфейсі арқылы байланыс орнатуға және оған түрлі нұсқаулар жіберуге мүмкіндік береді.

2.3.7. Инфрақызыл датчик

IR (Infrared) датчигі – инфрақызыл сәулелерді пайдаланып объектілерді анықтайтын құрылғы. Ол Arduino-мен біріктіріліп, қашықтықты өлшеу, қозғалысты анықтау және пульт сигналдарын оқу үшін қолданылады.

IR сенсорларының түрлері:

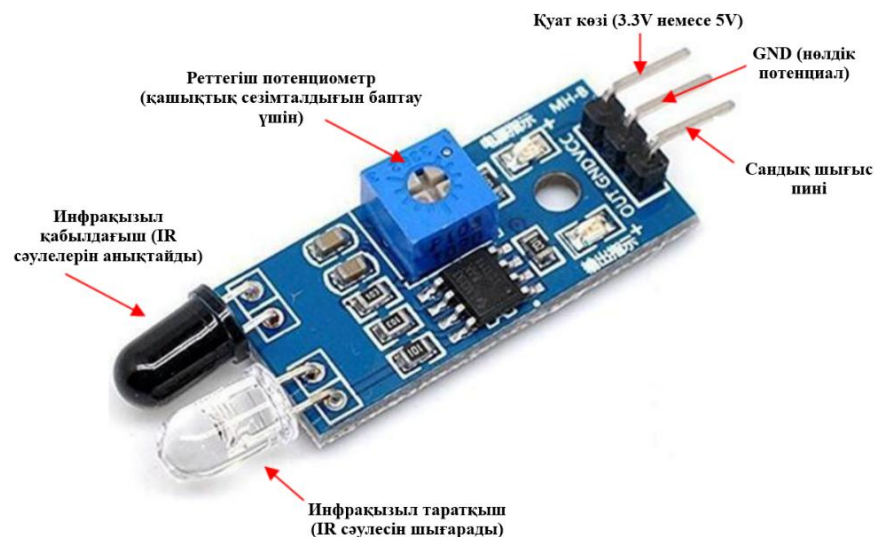
- IR қашықтық сенсоры – объектілерді анықтау үшін қолданылады (мысалы, TCRT5000);

- IR қозғалыс сенсоры (PIR) – адамның қозғалысын анықтайды (HC-SR501);

- IR қабылдағыш модуль – пульт сигналдарын қабылдайды (VS1838B);

- IR таратқыш және қабылдағыш – деректерді сымсыз беру үшін қолданылады.

Біздің зерттеу жобамызда бұл датчик IR таратқыш және қабылдағыш ретінде қолданылады – бұл жарық сигналдарын ақпарат тасымалдау үшін қолданатын технология, ол инфрақызыл сәуле (IR), лазерлік сәуле және оптикалық талшықтар арқылы жүзеге асырылады. Arduino платформасында бұл әдіс IR таратқыштар мен қабылдағыштар (VS1838B, TSOP1738), лазерлік модульдер (KY-008), және фотодиодтар (BPW34) арқылы қолданылады, бұл сымсыз деректер алмасуға және объектілерді анықтауға мүмкіндік береді. IR негізіндегі байланыс қашықтан басқару жүйелерінде, лазерлік байланыс жоғары дәлдікті сигнал беруде, ал оптикалық талшық ақпаратты жылдам әрі жоғалтусыз тарату үшін қолданылады. Ардуино көмегімен электрооптикалық жүйелер сенсорлық желілерде, робототехникада, қауіпсіздік жүйелерінде және оптикалық деректер тасымалдау желілерінде кеңінен пайдаланылады.



2.12-сурет – IR (Infrared) датчигі

Кесте 2.7 - IR (Infrared) датчигінің техникалық сипаттамалары [50]

Жұмыс кернеуі	3.3V – 5V
Энергия тұтынуы	10 мА – 50 мА
Сигнал шығару	цифрлық (HIGH/LOW) немесе аналогтық (кернеу мәні)
Детекция қашықтығы	1 см – 100 см (модельге байланысты)
Жұмыс жиілігі	38 кГц
Көру бұрышы	35° – 45°
Жұмыс температурасы	-20°C – +85°C
Жауап беру уақыты	мс деңгейінде (үлгіге байланысты)
Интерфейстер	GPIO (цифрлық шығу), I2C, UART (кейбір модельдер үшін)

2.3.8. Физикалық арна – талшықты - оптикалық кабель

Талшықты-оптикалық кабель (немесе оптикалық талшықты кабель) – бұл жарық сигналдарын пайдаланып деректерді үлкен қашықтыққа және жоғары жылдамдықпен тасымалдауға арналған кабель түрі. Ол шыны немесе пластик талшықтардан тұрады және электрлік емес, оптикалық сигналдар арқылы ақпарат жеткізеді.

TOSLINK кабелі – бұл цифрлық аудиосигналдарды беру үшін қолданылатын оптикалық кабель. Ол оптикалық талшық арқылы сигналды жарық импульстары түрінде таратады, сондықтан электрлік кедергілер мен шуға төзімді. Бұл технология Toshiba компаниясы тарапынан жасалған және бастапқыда олардың Compact Disc (CD) плеерлеріне арналған болатын [51].

TOSLINK кабелінің ерекшеліктері:

- Цифрлық аудио тарату – көбінесе S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format) интерфейсін қолданады;

- Электромагниттік кедергілерге иммунитет – өйткені деректерді оптикалық жарық арқылы жібереді, электрлік кедергілер әсер етпейді;
- Жоғары сапалы дыбыс – PCM, Dolby Digital, DTS сияқты кодектерді қолдайды;
- Шектеулі ұзындық – әдетте 5-10 метр арасында тиімді жұмыс істейді, бірақ арнайы күшейткіштермен ұзартауға болады.

-



2.12-сурет – TOSLINK кабелі

TOSLINK және талшықты-оптикалық кабельдер екеуі де деректерді жарық сигналдары арқылы тасымалдайды, сондықтан электромагниттік кедергілерге төзімді әрі сигналды жоғалтпай жеткізеді. Олардың негізгі құрылымы шыны немесе пластик талшықтан тұрады, ал жұмыс принципі ішкі толық шағылысуға негізделген. Негізгі айырмашылығы – TOSLINK аудиосигналдарды қысқа қашықтыққа (5-10 м) жеткізу үшін қолданылады, ал талшықты-оптикалық кабель интернет пен телекоммуникацияда жоғары жылдамдықтағы деректерді ұзақ қашықтыққа (100 км-ге дейін) тасымалдауға арналған.

2.3.9. Шығыс деректер дисплейі - LCD 1602

LCD 1602 дисплейі – бұл сұйық кристалды экран (Liquid Crystal Display), 16 таңба және 2 жолдан тұратын индикатор. Ол көбінесе микроконтроллерлермен бірге қолданылады және Arduino, STM32, Raspberry Pi сияқты платформаларда кеңінен пайдаланылады.

Кесте 2.8 - LCD 1602 дисплейінің техникалық сипаттамалары [52]

Таңбалар саны	16 x 2 (16 баған, 2 жол)
Басқарушы контроллер	HD44780
Жұмыс кернеуі	5V DC (кейбір үлгілер 3.3V қолдайды)

2.8-кестенің жалғасы

Ток тұтыну	Шамамен 2-3 мА (артқы жарықсыз)
Артқы жарық	Иә (әдетте жарық диоды, көк немесе жасыл түсті)
Интерфейс	Параллель (4-bit немесе 8-bit режимдері)
Көру бұрышы	45° - 60°
Жұмыс температурасы	-20°C ... +70°C
Өлшемдері	80 мм × 36 мм × 10 мм
Қаріп түрі	5x8 нүктелі матрицалық



2.13-сурет – LCD 1602 дисплейі

LCD 1602 дисплейі екі түрлі режимде жұмыс істей алады: 8-bit режимінде барлық 8 деректер сызығы (D0–D7) қолданылады, бұл жылдам жұмыс істеуге мүмкіндік береді, бірақ көбірек пин қажет етеді, ал 4-bit режимінде тек D4–D7 сызықтары пайдаланылады, бұл GPIO пиндерін үнемдеуге мүмкіндік береді, бірақ деректер екі бөлікте жіберіледі, сондықтан сәл баяу жұмыс істейді. LCD 1602 дисплейінің 16 контактісі бар.

Кесте 2.9 - LCD 1602 дисплейі контактілері [52]

Пин нөмірі	Белгісі	Функциясы
1	VSS	Жер (GND)
2	VDD	Қуат көзі (5V)
3	V0	Контрастты басқару (потенциометр арқылы)
4	RS	Тіркеу таңдауы (1 – деректер, 0 – команда)
5	RW	Оқу/жазу режимі (0 – жазу, 1 – оқу)
6	E	Іске қосу сигналы (Enable)
7-14	D0 - D7	Деректер шинасы (8-bit немесе 4-bit режимінде)
15	A	Артқы жарықты қосу (+5V)
16	K	Артқы жарықты өшіру (GND)

LCD 1602 дисплейінің артықшылықтарына қарапайым интерфейсі, арзан бағасы, көптеген микроконтроллерлермен үйлесімділігі және аз қуат тұтынуы жатады. Дегенмен, оның кемшіліктері ретінде графикалық мүмкіндіктерінің шектеулі болуы, контрастты қолмен реттеу қажеттілігі және бірнеше жолдан тұратын мәтіндермен жұмыс істеудің күрделілігі аталады.

2.4 Инфрақызыл сәулеленуге негізделген жобаны модельдеу және тексеру

Электрооптикалық түрлену процесі онша қатты күрделі болып табылмағандымен, оны жүзеге асыру үшін біршама ньюанстарды міндетті түрде ескеру керек. Электрооптикалық түрлену процесі — оптикалық сигналдарды электрлік сигналдарға және керісінше түрлендіруді жүзеге асыратын күрделі физикалық құбылыс болып табылады. Бұл процесс негізінен жарықтың қасиеттерін (интенсивтілігі, фазасы немесе жиілігі) модуляциялау арқылы ақпаратты тасымалдауға негізделеді. Оны жүзеге асыру барысында оптикалық талшықтың материалы мен сыну көрсеткіші, жарық көзінің толқын ұзындығы, фотоқабылдағыштың сезімталдығы, шу деңгейін төмендету әдістері, модуляция түрі және температуралық тұрақтылық сынды маңызды факторлар ескерілуі қажет. Осы параметрлерді оңтайлы басқару арқылы жоғары жылдамдықты және аз шығынды оптикалық байланыс жүйесін құруға болады.

2.2-бөлімде қарастырып өткеніміздей, жобамыздың негізгі мақсаты - электрооптикалық байланыс негізінде микроконтроллерлер арқылы қоршаған орта параметрлері ретінде берілетін сигнал нәтижелерін алу. Осы мақсатта Arduino Uno және ESP8266 микроконтроллері арасында талшықты-оптикалық кабель арқылы қоршаған орта деректерін жинау, өңдеу және беру процесі жүзеге асырылады.

Жобаны жасамас бұрын алдымен сигналдар базасын және құрылғы параметрлерін орнатып, кодтауымыз керек. Осы орайда бірнеше функцияларды орындайтын кодты платформаға енгізу қажеттілігі туындайды: Wi-Fi желісіне қосылады, Сенсорлардан деректерді қабылдайды, оларды LCD дисплейінде көрсетеді және Telegram ботына жібереді. Arduino IDE арқылы енгізілген кодтың функционалды блоктары:

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3  #include <FastBot.h>
4  #define WIFI_SSID "wifi1234"
5  #define WIFI_PASS "12345678"
6  #define BOT_TOKEN "7589211266:AAETMKi_07batRH3ZIszXh8qozS0uR2fKYU"
7  #define CHAT_ID "774702014"
8  float temp = 0.0, hum = 0.0;
9  int pot = 0, mq2 = 0;
10 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
11 FastBot bot(BOT_TOKEN);

```

2.14-сурет – Кітапханаларды қосу және айнымалыларды жариялау

Бірінші блок тақырып файлдарын қамтиды және тұрақтыларды анықтайды.

```

12 void setup() {
13     Serial.begin(1200);
14     lcd.init();
15     lcd.backlight();
16     lcd.setCursor(0, 0);
17     lcd.print("Connecting to");
18     lcd.setCursor(0, 1);
19     lcd.print("wifi...");
20
21     connectWiFi();
22     bot.setChatID(CHAT_ID);
23     bot.attach(newMsg);
24     bot.showMenu("Датчиктер");
25 }

```

2.15-сурет – Setup () функциясы-жүйені инициализациялау

Екінші блок іске қосылған кезде бір рет орындалады: 1200 Бод сериялық қосылымды іске қосу, дисплейдің артқы жарығын қосу, Wi-Fi қосылымы, бот үшін чат идентификаторын орнату, хабар өңдегішін орнату, Telegram бот мәзірін құру.

```

27 void newMsg(FB_msg& msg) {
28     if (msg.text == "Датчиктер") {
29         String response = "Температура: " + String(temp) + "C\n";
30         response += "Влажность: " + String(hum) + "%\n";
31         response += "Газ: " + String(mq2) + "%\n";
32         response += "Потенциометр: " + String(pot);
33         bot.sendMessage(response);
34     }}

```

2.16-сурет – NewMsg(FB_msg& msg) функциясы-Telegram хабарламаларын өңдеу

Үшінші блок функциясы пайдаланушы "Датчиктер" пәрменін ботқа жіберген кезде шақырылады.

```
36     void connectWiFi() {
37         delay(2000);
38
39         WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
40         while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
41             delay(500);
42             if (millis() > 15000) ESP.restart();
43         }
44         lcd.clear();
45         lcd.setCursor(0,0);
46         lcd.print("Wifi connected!");
47         delay(2000);
48         lcd.clear();
49         lcd.setCursor(0,0);
50         lcd.print("Please,");
51         lcd.setCursor(0,1);
52         lcd.print("connect TOS-LINK");
53     }
```

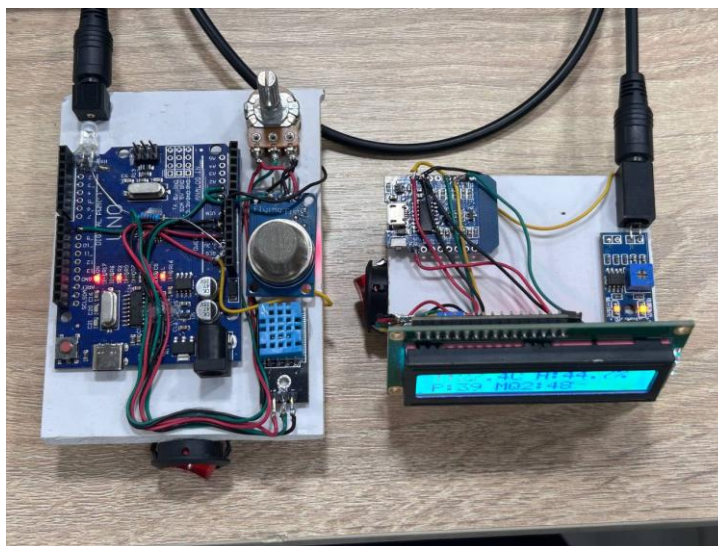
2.17-сурет – ConnectWiFi () функциясы-Wi-Fi қосылымы

Төртінші блок функцияның міндеті - Wi-Fi желісіне қосылу және қажет болған жағдайда микроконтроллерді қайта қосу.

```
55     void loop() {
56         bot.tick();
57         if (Serial.available()) {
58             String inputString = Serial.readStringUntil('\n');
59             Serial.println(inputString);
60             inputString.trim();
61             int firstColon = inputString.indexOf(':');
62             int secondColon = inputString.indexOf(':', firstColon + 1);
63             int thirdColon = inputString.indexOf(':', secondColon + 1);
64
65             if (firstColon != -1 && secondColon != -1 && thirdColon != -1) {
66                 temp = inputString.substring(0, firstColon).toFloat();
67                 hum = inputString.substring(firstColon + 1, secondColon).toFloat();
68                 pot = inputString.substring(secondColon + 1, thirdColon).toInt();
69                 mq2 = inputString.substring(thirdColon + 1).toInt();
70                 lcd.clear();
71                 lcd.setCursor(0, 0);
72                 lcd.print("T:"); lcd.print(temp, 1); lcd.print("C H:"); lcd.print(hum, 1); lcd.print("%");
73                 lcd.setCursor(0, 1);
74                 lcd.print("P:"); lcd.print(pot); lcd.print(" MQ2:"); lcd.print(mq2);
75             } else {
76                 lcd.clear();
77                 lcd.setCursor(0, 0);
78                 lcd.print("Error parsing");
79             }
79         }
```

2.18-сурет – Loop () функциясы-негізгі цикл

Бесінші блоктағы код үнемі жұмыс істейді. Ол Telegram ботының соңғы хабарламаларын талдайды және кірістерді өңдейді. Жүйе деректерді жылдам және дәл жеткізуге мүмкіндік беріп, ақпараттың жоғалуын азайтады және сыртқы электромагниттік кедергілерден қорғайды.



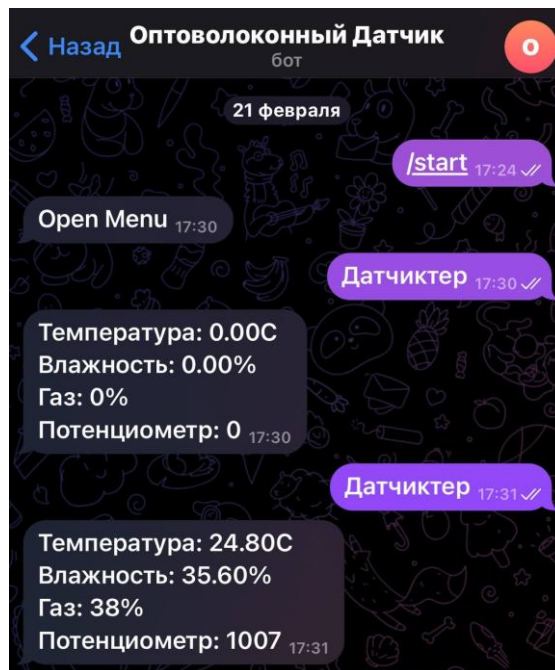
2.19-сурет – Электрооптикалық түрлену байланысын орнату

2.19-суретте микроконтроллерлерге оптикалық кабель тағайындай отыра, ЭОЭ байланысы негізі түзілген. Құрылғының қуаттаушы көзі ретінде 4,2 В аккумулятор тандап алынды. Бұл құрылғының тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз ету және қуаттың тұрақсыздығынан туындайтын ақаулардың алдын алу үшін маңызды.

Құрылғыны іске қосу алгоритмі:

1. Таратқыш блокты іске қосу – ON түймесі;
2. Қабылдағыш блокты іске қосу – ON түймесі;
3. Қабылдағыш блок микроконтроллерінің Wi-Fi желісіне қосу;
4. TOSLINK кабелін арнайы қорапшаларға жалғау;
5. Микроконтроллерді Telegram Bot – пен синхрондау;
6. Байланыс.

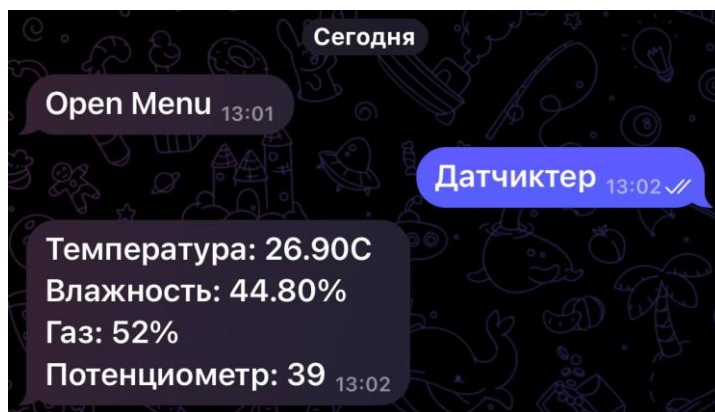
Шынайы уақыттағы деректерді қабылдау бұл датчиктерден, құрылғылардан немесе жүйелерден ағымдағы ақпаратты лезде алу және өңдеу процесі. Шынайы уақыттағы деректерді өңдеу үшін буферленген ағындық өңдеу (buffered stream processing) немесе оқиғаларға негізделген өңдеу (event-driven processing) тәсілдері қолданылады.



2.20-сурет – Электрооптикалық түрлену байланысын орнату

2.20-суретте Telegram ботымен байланысқан оптикалық датчик жүйесінің интерфейсі көрсетілген. Чатта пайдаланушы "/start" командасын жіберіп, кейін "Датчиктер" деп сұрау жіберген. Бот жауап ретінде сенсорлардан алынған деректерді көрсеткен. Бастапқы жауапта (17:30) барлық сенсор көрсеткіштері 0-ге тең (температура: 0.00°C, ылғалдылық: 0.00%, газ: 0%, потенциометр: 0), бұл сенсорлар ажыратылғанын немесе дұрыс деректер жіберілмегенін көрсетуі мүмкін, ал келесі жауапта (17:31) құрылғыдан нақты деректер (температура: 24.80°C, ылғалдылық: 35.60%, газ: 38%, потенциометр: 1007) алына бастаған, бұл сенсорлар дұрыс жұмыс істеп тұрғанын көрсетеді.

Бұл Telegram боты IoT жүйесі арқылы нақты уақыттағы температура, ылғалдылық, газ деңгейі және потенциометр мәндерін алуға мүмкіндік береді. Боттың жұмысында сенсорлық деректерді алдын ала өңдеу, жіберу және визуалдау процестері іске асырылған. Алғашқы хабарламаларда мәндер 0 болуы сенсорлар қосылғаннан кейін ғана деректердің жаңарғанын білдіреді.



2.21-сурет – Электрооптикалық түрлену байланысын орнату

2.21-суретте Arduino немесе басқа микроконтроллер негізіндегі сенсорлық жүйенің LCD дисплейі көрсетілген. Экранда температура (Т: 26.9°C), ылғалдылық (Н: 44.8%), қысым (Р: 39) және газ концентрациясы (MQ2: 52) сияқты параметрлер көрсетілген. Бұл құрылғы нақты уақыттағы мониторингке арналған сенсорлық жүйе болып табылады.



2.22-сурет – Электрооптикалық түрлену байланысын орнату

2.22-суретте Telegram-да "Датчиктер" командасы жіберілгеннен кейін алынған хабарлама көрсетілген. Бот сенсорлардан алынған деректерді жіберіп, келесі мәндерді көрсетеді: температура (26.8°C), ылғалдылық (45%), газ деңгейі (52%), потенциометр мәні (39).

Деректер шынайы уақыт режимінде өңделіп, әртүрлі интерфейстерде (LCD дисплей және Telegram бот) көрсетіліп тұр. Құрылғы IoT технологиясын пайдаланып, сенсорлық ақпаратты жинау және жіберу мүмкіндігін іске асырған. LCD дисплей құрылғыға тікелей қосылған жергілікті интерфейс, ал Telegram бот қашықтан бақылау үшін қолданылған IoT қосымшасы.

Қорытындылай келе, екі суретте де шынайы уақыттағы деректерді жинау және көрсету жүйесі бейнеленген. LCD дисплей жергілікті бақылау үшін қолданылады, ал Telegram бот қашықтан мониторинг жасауға мүмкіндік береді. Деректер негізінен бірдей болғанымен, кейбір параметрлерде айырмашылықтар бар, бұл сенсорлық деректерді өңдеу әдістеріне немесе олардың берілуіне байланысты болуы мүмкін. Жалпы, бұл жүйе IoT технологиясын қолдана отырып, сенсорлық деректерді тиімді қабылдау, өңдеу және визуалдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

3 HFBR түрлендіргіші және электрооптикалық түрлену жобасы негізіндегі қорытынды есептеулер

3.1 Электрооптикалық HFBR түрлендіргіш құрылғысы және электрооптика процессіне қосымша зерттеулер

HFBR (Hewlett-Packard Fiber-Optic Receiver/Transmitter) – электрооптикалық түрлендіргіші – бұл талшықты-оптикалық байланыс желілері арқылы жоғары жылдамдықты деректерді тасымалдауға арналған талшықты-оптикалық түрлендіргіш. HFBR құрылғысы талшықты-оптикалық сигналдарды берудің әртүрлі модельдерін қамтиды.

Таратқыштар арасында HFBR-1414TZ (820 нм, ST коннекторы, 160 Мбод, 2700 м дейін) және HFBR-1521Z (пластикалық талшық үшін, 1-5 Мбод) танымал. Қабылдағыштарға HFBR-2412TZ (820нм, ST қосқышы) және HFBR-2521Z (пластикалық талшық үшін) кіреді. Сондай-ақ, HFBR-53 D5 (850 нм, 1.25 Гбит/с, LC коннекторы) және HFBR-57E5APZ (850 нм, 2 Гбит/с) сияқты трансиверлер бар.



3.1-сурет – HFBR-1414 таратқышы және HFBR-2412Z қабылдағышы

Біздің орайда, менде бар екі жақты байланыс орнату барысында қолданылатын құрылғының екі түрлі моделі қарастырылады: HFBR-1414Z және HFBR-2412Z. Мұндағы HFBR-1414Z таратқыш, HFBR-2412Z қабылдағыш болып табылады.

3.1.1 HFBR-1414Z таратқышы.

HFBR-1414Z талшықты-оптикалық таратқышында 820 нанометрлік алюминий-калий отын эмитенті бар. Ол оптикалық сигналдарды 50/125 мкм, 62,5/125 мкм, 100/140 мкм және 200 мкм пластикалық қабықшалы кремний диоксиді (PCS) оптикалық талшықтарға тиімді жібере алады. Бұл әзірлеушілерге талшық өлшемін таңдауда икемділік береді.

HFBR-1414Z тарату жылдамдығы 160 Мбит/с және сигнал тарату қашықтығы 2,7 километрді қамтиды.

Кесте 3.1 - HFBR-1414Z таратқышының техникалық сипаттамалары

Коннектор түрі	ST (Straight Tip)
Тура кернеу	7 В
Максималды дерек тарату жылдамдығы	160 Мбит/с
Контактілер саны	8
Максималды толқын ұзындығы	865 нм
Ені	12.7 мм
Қуат кернеуі	5 В
Температура	-40....+85 С
Сыйымдылық	55 пФ
Тікелей тұрақты ток (If) (макс.)	100 мА
Кернеу-тұрақты токтың кері тогы (Vr) (макс.)	1.8 В
Тікелей кернеу (Vf) (түрі)	1.7 В
Сипаттамасы	талшықтар (мода)-ММ (62, 5/125 мкм) - Hard Clad Silica

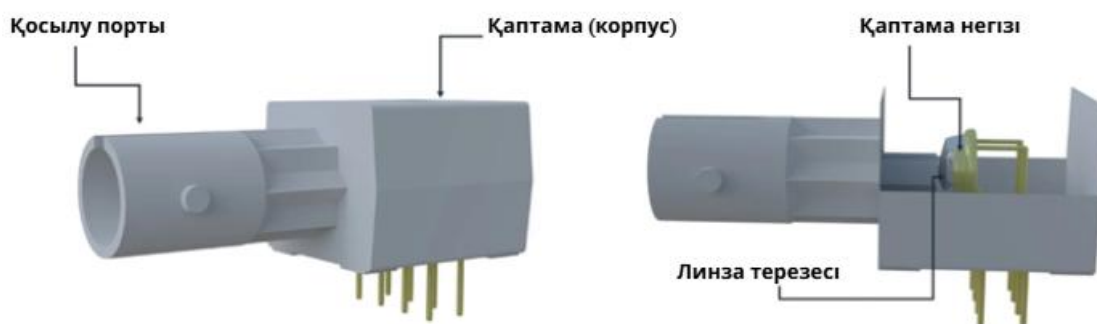


HFBR-1414



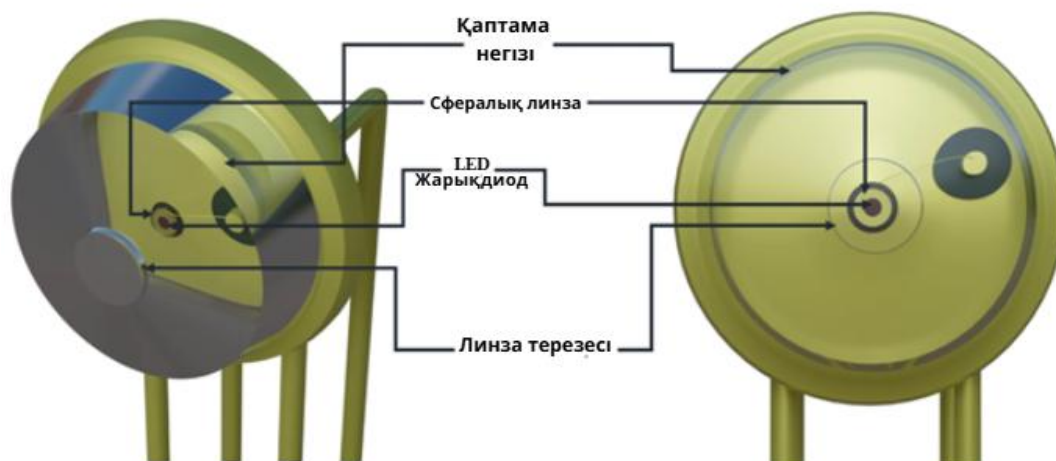
3.2-сурет – HFBR-1414 таратқышы

Құрылғының қазіргі Қазақстан нарығындағы бағасы 10 600 теңгені құрайды [53]. Қолданылу аясы бойынша: компьютерді перифериялық құрылғылармен байланыстыру, компьютерлік мониторингке сілтеме жасау, сандық кросс-байланыс сілтемелері, модемдер және мультиплексорлар, дауыл жүйелері үшін және қолайлы өнеркәсіптік бақылау үшін қолданылады. Талшықтар үшін арнайы әзірленген қуатты таратқыш 50/125 мкм талшыққа 60 мА кезінде -15,8 дБм және 62,5/125 мкм талшыққа -12 дБм оптикалық қуат бере алады.

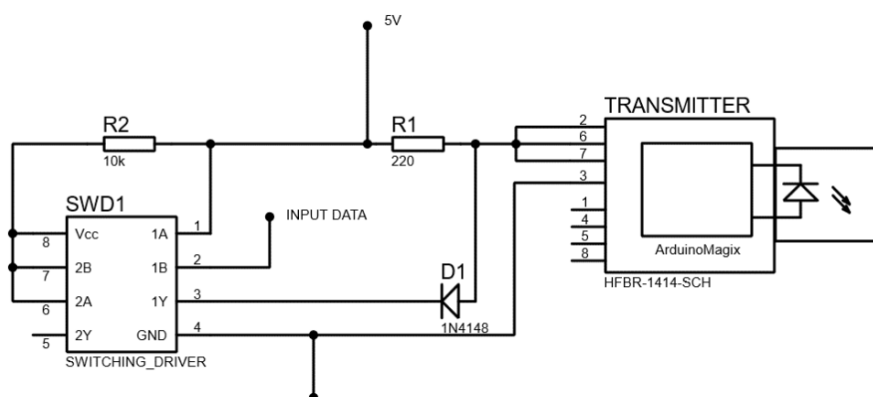


3.3-сурет – HFBR-1414 таратқышының құрылымы

Таратқыштың 8 контакттік байланыс пині бар және осы 8 байланыстың 4-інде (пин 1, пин 4, пин 5 және пин 8) арнайы қосылыстары жоқ, бірақ электрлік жалғанған. 2, 6 және 7 пиндерінде эмиттерді анодпен, ал 3 пинінде катодпен қосылған.



3.4-сурет – HFBR-1414 таратқышының құрылымы



3.5-сурет – HFBR-1414Z таратқышының құрылымдық сұлбасы

3.5-суретте цифрлық құрылғыдан немесе микроконтроллерден алынған деректерді оптикалық сигналға түрлендіріп, HFBR-1414Z арқылы оптикалық талшыққа жіберуге арналған. Жүйенің негізінде SWD1 деп белгіленген цифрлық ауыстырғыш (Switching Driver) орналасқан, ол кіріс деректерін (INPUT DATA) күшейтіп және қажет болса инвертирлеп, оптикалық бергішке жеткізеді. Бұл чип әдетте 74xx сериялы логикалық элемент болуы мүмкін. Кіріс сигналының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін R2 (10 кОм) pull-up резисторы қолданылған. Ал HFBR-1414Z ішіндегі жарықдиодты қорғау және оның ұзақ жұмыс істеуін қамтамасыз ету мақсатында R1 (220 Ом) ток шектеуші резистор, сондай-ақ D1 (1N4148) кернеудің кері әсерінен қорғайтын қайтарма диод ретінде қосылған. HFBR-1414Z транзиттері инфрақызыл жарық шығаратын жарықдиодты модуль болып табылады, мұнда 2-пин анод (ток көзі), 3-пин катод (ток жерге ағып кетеді), ал 6 және 7-пиндер механикалық және оптикалық туралауға арналған корпусқа жалғанады. Барлық жүйе 5V тұрақты кернеумен қоректенеді. Бұл схема индустрия, телекоммуникация және электромагниттік кедергілер көп ортада сенімді дерек беру үшін кеңінен қолданылады.

3.1.2. HFBR-2412Z қабылдағыш

HFBR-2412Z қабылдағышы және HFBR-1414Z таратқыштары толыққанды оптикалық талшықты байланыс желісін құру үшін ең үйлесімді комбинациялық құрылғы тобы болып табылады. HFBR-2412Z үнемді, бірақ тиімділігі жоғары қабылдағыш болып табылады. Бұл қабылдағыш деректерді 5 мегабодқа дейінгі жылдамдықпен 2 километрге дейінгі қашықтықта ала алады.



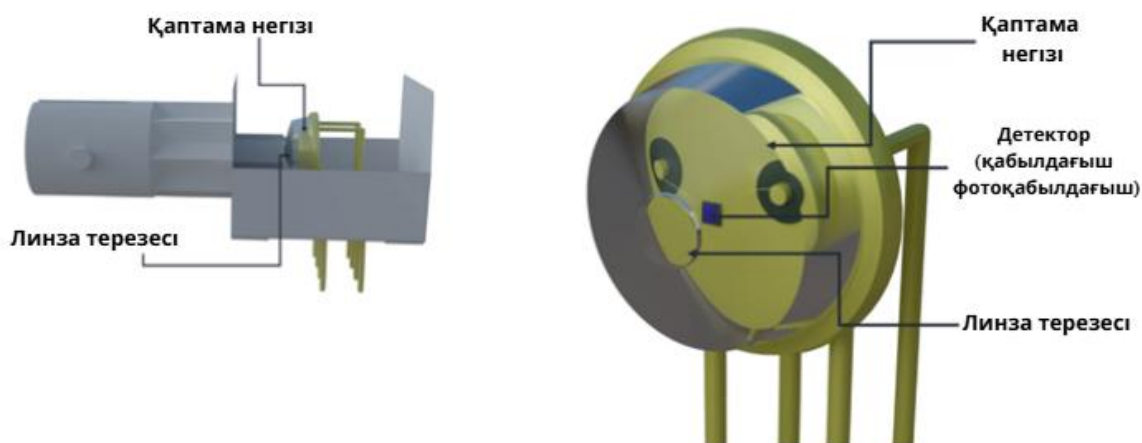
3.6-сурет – HFBR-2412Z қабылдағышы

Ұсынылған құрал оптикалық талшықты кабельдердің көптеген түрлерімен жұмыс істейді, сонымен қатар HFBR-2412Z таратқыштары екіқатарлы корпуста жиналған. Оптикалық талшықты режимдегі модуль-қабылдағыш HFBR-2412Z электрлік сигналдарды оптикалық талшықты сигналға түрлендіреді. Ол мұны фотодиодтың көмегімен жасайды - жарық корпусқа түскен кезде электр тогын шығаратын жартылай өткізгіш құрылғы.

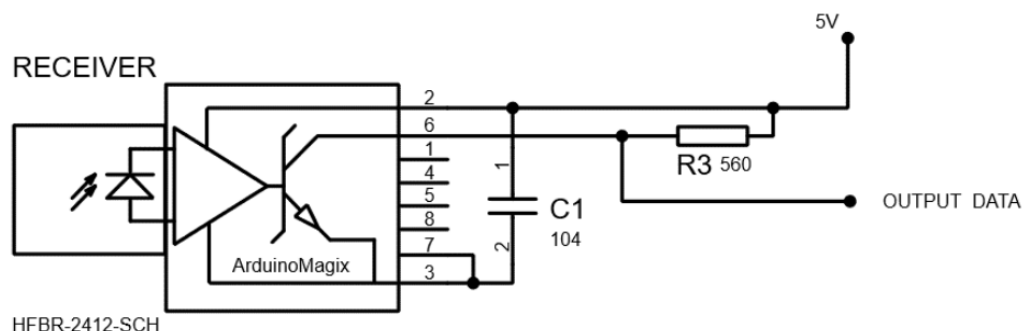
Құрылғының қазіргі Қазақстан нарығындағы бағасы 9300 теңгені құрайды [54].

Кесте 3.2 - HFBR-2412Z таратқышының техникалық сипаттамалары

Коннектор түрі	ST (Straight Tip)
Тура кернеу	5 В
Максималды дерек тарату жылдамдығы	5 МБд
Контактілер саны	8
Максималды толқын ұзындығы	820 нм
Ені	12.7 мм
Қуат кернеуі	5 В
Температура	-40....+85 С
Шығыс ток	25 мА
Сипаттамасы	талшықтар (мода)-ММ (62, 5/125 мкм) - Hard Clad Silica



3.7-сурет – HFBR-2412Z қабылдағышының құрылымы

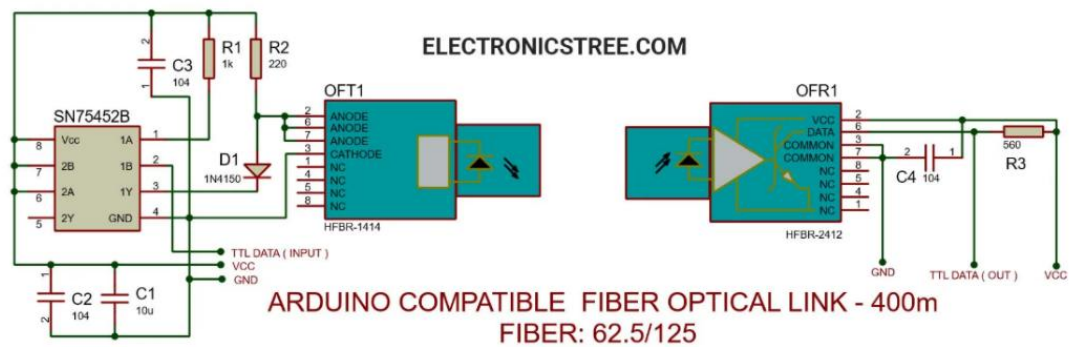


3.8-сурет – HFBR-2412Z қабылдағышының құрылымдық сұлбасы

HFBR-2412Z қабылдағышының жұмыс функциясының басқарушысы - кіру сигналы әртүрлі жүктемелерді басқаруға қабілетті ашық коллекторы бар Шоттки диоды болып табылады. Шоттки диоды релені, жарықдиодтарды және басқа да транзисторларды басқару үшін пайдаланылуы мүмкін. Мұнда HFBR-2412Z модулі жарық сигналын сол жағындағы фотодиод арқылы қабылдайды, жарық түскен сәтте ішкі транзистор іске қосылып, электрлік сигнал пайда болады. Модуль ішінде сигналды күшейтіп және сүзгіден өткізетін арнайы басқарушы блок (ArduinoMagix) орналасқан. Сұлбада C1 конденсаторы (104) жоғары жиілікті кедергілерді сүзу және кернеу тұрақтылығын сақтау үшін қолданылады, ал R3 (560 Ом) резисторы — шығыс сигналды логикалық «1» күйінде ұстап тұратын pull-up элементі. Барлық жүйе 5V тұрақты кернеумен қоректеніп жұмыс істейді. Шығысындағы OUTPUT DATA желісі арқылы цифрлық сигналды Arduino секілді логикалық құрылғыларға беруге болады. Мұндай жүйе өндірістік автоматика, телекоммуникация және электромагниттік кедергі көп ортада сенімді дерек алмасуды қамтамасыз ету үшін жиі қолданылады.

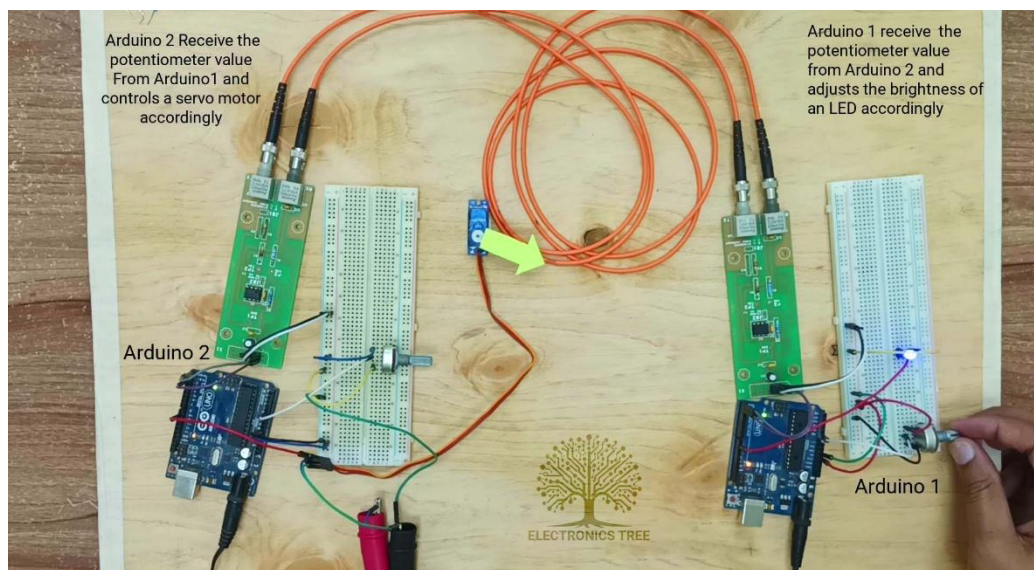
3.1.3. HFBR трансиверіне ғылыми жоба

ELECTRONICS TREE [55] ғылыми-жобалар платформасының “Optical Fiber Communication with Arduino” [56] зерттеу жобасы HFBR электрооптикалық түрлендіргіштернің характеристикаларын тереңдетілген зерттеу - жобалау жұмыстарын жүргізген. Жоба авторы - Мухаммед Осман.



3.9-сурет – Arduino Optical Fiber - әмбебап таратқыш схемасы

Зерттеу жобасының негізгі мақсаты - Arduino көмегімен оптикалық талшықты деректерді беру негіздерін түсіну. Жобаның барысында іске асатын негізгі процесс - электрооптикалық сигналдарың түрленуі. Осы орайда 3.9-суреттегі жиналған құрылғы - екіжақты байланыс орнатуға негізделген электрооптикалық қосылымның прототипі болып табылады.



3.10-сурет – Arduino Optical Fiber - әмбебап таратқышы жинау процессі

Негізгі сигнал көзі - потенциометр. Бұл жұмыс тәжірибелік болғандықтан, тек басқарылатын потенциометр шамасын таратуға негізделген. 2.3-бөлімде біздің жүргізген зерттеуіміз осыған ұқсас - тек қоршаған орта деректерін таратуға негізделген болатын. Бұл демонстрация Arduino деректерді талшықты-оптикалық кабельдері арқылы қалай жібере алатынын көрсетеді. Екі Arduino UART көмегімен бір бірімен әрекеттеседі.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) - әмбебап асинхронды трансивер, электрондық құрылғылар арасындағы деректерді

берудің ең кең таралған интерфейстерінің бірі болып табылады. Бұл екі құрылғыға әртүрлі жылдамдықта байланысуға мүмкіндік береді. UART бір және нөлді беру хаттамасын, сондай-ақ RS-232, RS және TTL сияқты басқа стандарттардың электрлік ерекшеліктерін RS-422 а RS-485 TTL (логикалық транзистор-транзистор - логикалық транзистор-транзистор) пайдаланады [57].

Автордың тесттік жұмыстары барысында сигналдың таралу қашықтығы 342 метрді құраған. Бұл авторлық өнертабыс құрылғысы ретінде жақсы көрсеткіш екендігін атап өткен. Және бұл құрылғы тізбектей талшықты-оптикалық байланыс үшін, сериялық байланыс үшін өте ыңғайлы, себебі құрылғының бағдарламалық қамтамасыз етуі барысында Manchester, 4B5B, 8B/10B кодтауларына мүмкіндік береді.

HFBR-1414TZ модулінің техникалық сипаттамаларына сәйкес, оның тікелей кернеуі (V_f) типтік жағдайда 1,7 В, ал тұтынатын ток мөлшері 100 мА-ға дейін жетуі мүмкін. Құжаттағы "Токтың/кернеудің типтік сипаттамалары" графигін негізге ала отырып [58], 1,5 В кернеу кезінде құрылғы шамамен 15 мА, ал 1,7 В кезінде — 60 мА ток тұтынады. Мұндай ток деңгейінде таратқыш, ең нашар жағдайда, талшықта 3,2 дБ/км оптикалық әлсіреу болған жағдайда 2,35 км дейінгі қашықтыққа сигналды сенімді түрде жеткізе алады.

3.2 Электрооптикалық түрлендіргіштер сигналдарының математикалық моделіне анализ

2.3 - 2.4 бөлімдерде электрооптикалық түрлендіргіштің жұмыс жасау процессін функцияландыру үшін зерттеу жобасын құраған болатынбыз, осы орайда жоба сипаттамаларына сәйкес жүйенің тиімділігін зерттеу және бағалау үшін математикалық анализ жасау қажеттілігі туындайды. Егер жүйенің бір бөлігі істен шықса немесе дұрыс жұмыс істемесе, бүкіл құрылғы жұмысын тоқтатады немесе дұрыс жұмыс істемейді, бұл оның өз функцияларын орындауына кедергі келтіруі мүмкін. Бұл жүйенің барлық бөліктері бір-бірімен байланысты болғандықтан орын алады. Әрбір компоненттің істен шығу жылдамдығы жүйенің сенімділігін бағалау үшін өте маңызды. Істен шығу жылдамдығына бірқатар факторлар әсер етеді, соның ішінде жабдықтың жұмыс жағдайлары, механикалық күштер және қоршаған ортаның температурасы.

Электрооптикалық құралдар жүйелерінде және IoT технологияларында қолданылатын әртүрлі құрылғылардың сигналдық және физикалық сипаттамаларын математикалық тұрғыдан анализ жасау - жүйенің жұмыс тиімділігін бағалау, жүйе компоненттерінің өзара сәйкестігін және үйлесімділігін тексеру, шынайы уақыт барысындағы реакцияны болжауды талап етеді. Жобалау кезіндегі дәл техникалық параметрлерді таңдау, жүйенің физикалық моделін математикалық модель талдауларымен барынша үйлесімді етіп шығаруына негіз болып саналады.

Бұл бөлімде ESP8266, MQ-135, LCD1602, DHT11, TOSLINK кабель, IR датчик және Arduino Uno құрылғылары қолданылған жүйенің сенімділігі есептеледі. Әр құрылғының істен шығу қарқындылығы (λ), пайдалану коэффициенті (K_3) ескерілді.

Кесте 3.3 - Компоненттердің деректері

№	Құрылғы	Істен шығу қарқыны, $\lambda \times 10^{-6}$, 1/сағ
1	Arduino Uno	0,02
2	ESP8266	0,025
3	DHT11	0,018
4	MQ-135	0,022
5	IR датчик	0,015
6	TOSLINK кабель	0,010
7	LCD 1602	0,017
8	Li-Ion аккумуляторы (4.2 В)	0,010

Бұл λ мәндері орташа мәліметтерден алынған. Техникалық дерекнамадан сәл өзгеруі мүмкін, бірақ жоба үшін жарамды табылады.

Жүйенің жалпы істен шығу қарқындылығын есептегенде әрбір элементтің техникалық λ мәніне қосымша пайдалану коэффициенті K_3 қолданылады. Бұл коэффициент жабдықтың нақты жұмыс жағдайларына (жоғары жүктеме, механикалық соққылар, қоршаған орталық факторлар) бейімделген «артық» тәуекелді есепке алуға мүмкіндік береді. Пайдалану коэффициентін есептейміз:

$$K_3 = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_B \times K_T \quad (3.1)$$

- $K_1 = 2,0$ — қолдану коэффициенті (өндіріс орны үшін);
- $K_2 = 1,2$ — кедергі әсері коэффициенті (орташа радиошум);
- $K_3 = 1,3$ — атмосфералық фактор әсері (шанды орта);
- $K_B = 1,1$ — электр кернеу тұрақсыздығы әсері;
- $K_T = 1,05$ — температуралық тербеліс коэффициенті.

$$K_3 = 2 \times 1,2 \times 1,3 \times 1,1 \times 1,05 = 3,5988 \quad (3.2)$$

Осы мәнді жүйенің істен шығу қарқынын есептеу үшін қолданамыз. Жүйенің жалпы істен шығу қарқынын есептеу:

Компоненттердің λ сомасы

$$\Sigma \lambda = (0,018 + 0,030 + 0,020 + 0,025 + 0,012 + 0,008 + 0,015 + 0,010) \times 10^{-6} = 0,138 \times 10^{-6}$$

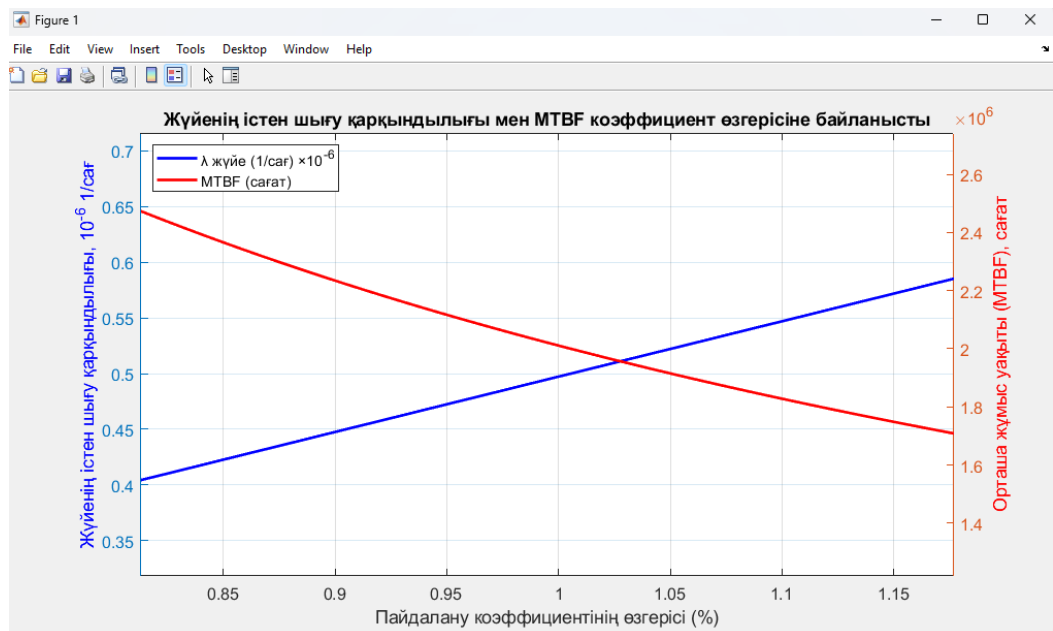
Пайдалану коэффициентін ескерсек:

$$\lambda_{\text{жүйе}} = \Sigma \lambda \times K_3 \quad (3.3)$$

$$\lambda_{\text{жүйе}} = 0,138 \times 10^{-6} \times 3,5988 = 0,4966 \times 10^{-6} \text{ 1/сағ}$$

Бұл жүйе орташа есеппен сағатына 0.0000004966 істен шығу оқиғасына ұшырайды, яғни өте сенімді жүйе. Жүйенің орташа жұмыс уақыты (MTBF) – «Mean Time Between Failures», яғни жүйе істен шығуға дейін орташа қанша уақыт жұмыс істейтінін білдіретін көрсеткіш. Ол жүйенің жалпы істен шығу қарқындылығына кері пропорционал шама болып табылады.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{\text{жүйе}}} = \frac{1}{0,4966 \cdot 10^{-6}} \approx 2010871.58 \text{ сағ} \quad (3.4)$$



3.11-сурет – Жүйенің істен шығу қарқындылығы мен MTBF коэффициент өзгерісіне байланысты (Қосымша А)

Графикте істен шығу қарқындылығы мен орташа жұмыс уақыты (MTBF) көрсетілген векторлардың қиылысуы – олардың бір-біріне кері байланысын білдіреді: жүйенің істен шығу ықтималдығы артқан сайын, орташа жұмыс уақыты қысқарады, ал ықтималдық азайған сайын, жүйе ұзақ уақыт қызмет етеді. Осылайша, бұл қиылыс – бастапқы параметрлердегі тепе-теңдіктің көрінісі және жүйенің сенімділік көрсеткіштерінің өзара тәуелділігін көрсетеді.

Жүйе блоктарының тиімділігін анықтай отыра, сигнал таратушы арна – оптикалық кабельдің жұмыс мүмкіндіктерін талдайық. Біз жобада

көрсетілгендей Arduino UNO және ESP8266 микроконтроллерлері арасында деректерді тарату үшін оптикалық талшықтарды қолдана отырып, "көп сенсорлы электро-оптикалық байланыс жүйесін" жасаймыз. Электрооптикалық түрлену негізіндегі сигналдарды өңдеу алгоритмін модельдеу үшін деректері тиімді беру үшін әдетте "Оптикалық модуляция және Цифрлық сигналды өңдеу (Optical Modulation and Digital Signal Processing)" қолданылады. Алгоритмнің ең ықтимал түрі - OFDM (Ортогональды Жиілікті Бөлу Мультиплекстеу) QAM немесе QPSK көмегімен орын алады.

Осы орайда электрооптикалық түрлену процессі үшін неліктен OFDM технологиясы қолданылады? - деген сұрақ туындауы мүмкін.

Бұл сұраққа жауап, OFDM – бұл көптеген сигналдарды бір оптикалық талшыққа тиімді жіберуге мүмкіндік беретін жоғары жылдамдықты оптикалық байланыс алгоритмі, сонымен қатар цифрлық модуляция технологиясы. Ол деректерді кодтау үшін QAM (квадратуралық амплитудалық модуляция) немесе QPSK (квадратуралық фазалық манипуляция) қолданады, бұл нақты уақыт режимінде көп сенсорлы және ағынды жүйелер үшін жақсы жұмыс істейді.

2.5-суреттегі құрылым ішінде орын алатын сигналдың түрлену алгоритміне сәйкес:

- Сенсорлар: DHT11 (температура мен ылғалдылық), MQ-135 (газды анықтау), потенциометр (аналогтық кіріс) – олардың әрқайсысы OFDM сигналындағы жеке қосалқы тасымалдағышқа қосылуы мүмкін;

- Arduino Uno мен ESP8266 арасындағы байланыс: бұл байланыс арнасы деректерді кедергісіз тиімді тасымалдау үшін OFDM жиілікті мультиплекстеу мүмкіндігін пайдалана алады;

- Талшықты-оптикалық орта: OFDM дисперсия және шу сияқты оптикалық сигналдың бұзылуына төзімді.

Яғни OFDM дисперсия және шу сияқты оптикалық сигналдың бұзылуына төзімді, сондықтан модельдеу негізі ретінде осы алгоритмді қолданатын боламыз. OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) – арналардың ортогональды жиіліктік бөлінуімен мультиплекстеу. OFDM QAM сияқты бір арналы модуляция негізінде жұмыс істейді, яғни сигналдарды сандық түрге түрлендіріп жібереді және деректерді жоғары жылдамдықпен жібере алады және Wi-Fi, LTE және 5G сияқты көптеген заманауи сымсыз байланыс стандарттарының негізгі схемасы болып табылады. Ол әр түрлі жиіліктерде сигналдың әлсіреуіне (селективті әлсіреу) төзімдірек. Яғни, сигнал әртүрлі кедергілерден немесе шағылысулардан кейін де сапасын жақсы сақтайды. Қабылдағышта сигналды өңдеу (теңестіру) оңайырақ, себебі әр жиіліктегі сигналдар бір-біріне әсер етпейді [59]. IFFT (Кері жылдам Фурье түрлендіру) - OFDM жүйесінің ең маңызды кезеңдерінің бірі. IFFT қолдану арқылы әр тасымалдаушы сигналдары уақыт доменінде бір-бірімен араласпай (ортогональды түрде) жинақталып, бірден

беріледі. Бұл ортогональдық көпжолды таралу кезінде сигналдың кедергілерін азайтып, спектрдің тиімді қолданылуын қамтамасыз етеді.

Фурье түрлендіру – кез келген уақыттық сигналды жиілік аймағына түрлендіруге мүмкіндік беретін математикалық әдіс. Бұл әдіс арқылы біз сигналды қандай жиіліктерден тұратынын, әр жиіліктің амплитудасы мен фазасын анықтай аламыз.

Формула (үздіксіз сигнал үшін):

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (3.4)$$

мұндағы:

- $F(\omega)$ – кешенді амплитудалық-жиілік сипаттамасы;
- $x(t)$ – уақыт функциясы;
- j – кешенді бірлік ($j^2 = -1$);
- ω – бұрыштық жиілік (рад/с).

TOSLINK — оптикалық кабель арқылы көбінесе аудио немесе сандық сигнал мәліметі таратылады. Біздің жоба құрылымы бойынша арна бойынан сандық мәлімет ағыны жүреді. Ол кіріс сигналдарды жарық арқылы жіберу үшін модуляциялайды, яғни сигналдың болмысын түрлендіре отыра, фазасын өзгертеді. Модуляция – бұл сигналды жиілік, амплитуда немесе фаза бойынша өзгерту. Осы орайда Фурье түрлендіру сол сигналдың жиіліктік мазмұнын ашады.

IR сигналдың жиілігі мәне 38 000 Гц екенін ескере отыра, IR сигналы үшін бұрыштық жиілікті есептеу:

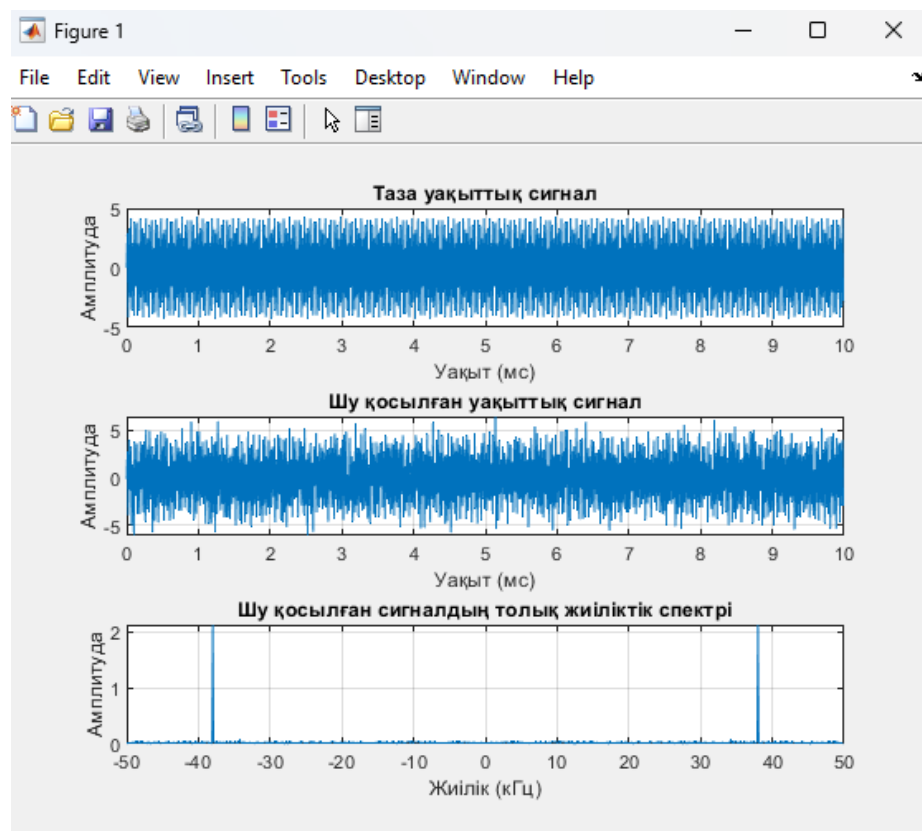
$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 38000 = 238,760 \text{ рад/с} \quad (3.5)$$

Егер жүктеме кедергісі (мысалы, жарық диоды) 100 Ом үшін қабылданса, онда сигналдың ең жоғары қуаты (белсенді қуат):

$$P = \frac{U_{in}^2}{2 \cdot R} = \frac{4,2^2}{2 \cdot 100} = \frac{17,64}{200} = 0,0882 \text{ Вт} \quad (3.6)$$

Фурье түрлендіруден кейінгі сигналдың толық спектрі – негізгі жиілік 38 кГц-те анықталады (бастапқы жиілікпен сәйкес келеді). Амплитудасының шыңы (қалыпқа келтірілгеннен кейін) шамамен 4.2 В – тең.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} 4,2 \sin(2\pi f_0 t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt \quad (3.7)$$



3.12-сурет – Сигнал спектрі (Қосымша Б)

- Бірінші график – таза синусоидалық сигнал.
- Екінші график – оған ақ шу қосылған кездегі уақыттық сигнал.
- Үшінші график – шу қосылған сигналдың екі жақты толық жиіліктік спектрі, мұнда негізгі жиілікке (± 38 кГц) қоса шу спектрінің кездейсоқ жалпақ таралуы көрінеді.

Оптикалық сигнал деректерді беру барысында арнада өшуліктің болуы қалыпты үрдіс. TOSLINK кабелінің ұзындығы 35 см тең. Оптикалық кабельде сигнал қуатының әлсіреуін есептеу үшін келесі формула қолданылады:

$$P_{out} = P_{in} \left(10^{-\frac{\alpha L}{10}} \right)^2 \quad (3.8)$$

мұндағы:

P_{out} – әлсірегеннен кейінгі сигнал күші;
 P_{in} – кіріс сигналының қуаты = 1.125 Вт;
 α – өшу коэффициенті = 0.2 дБ/м;
 L – кабельдің ұзындығы = 0.35 м.
 Нәтижесінде

$$A = 10^{-\frac{0.2 \cdot 0.35}{10}} = 10^{-0.007} \approx 0.984 \quad (3.9)$$

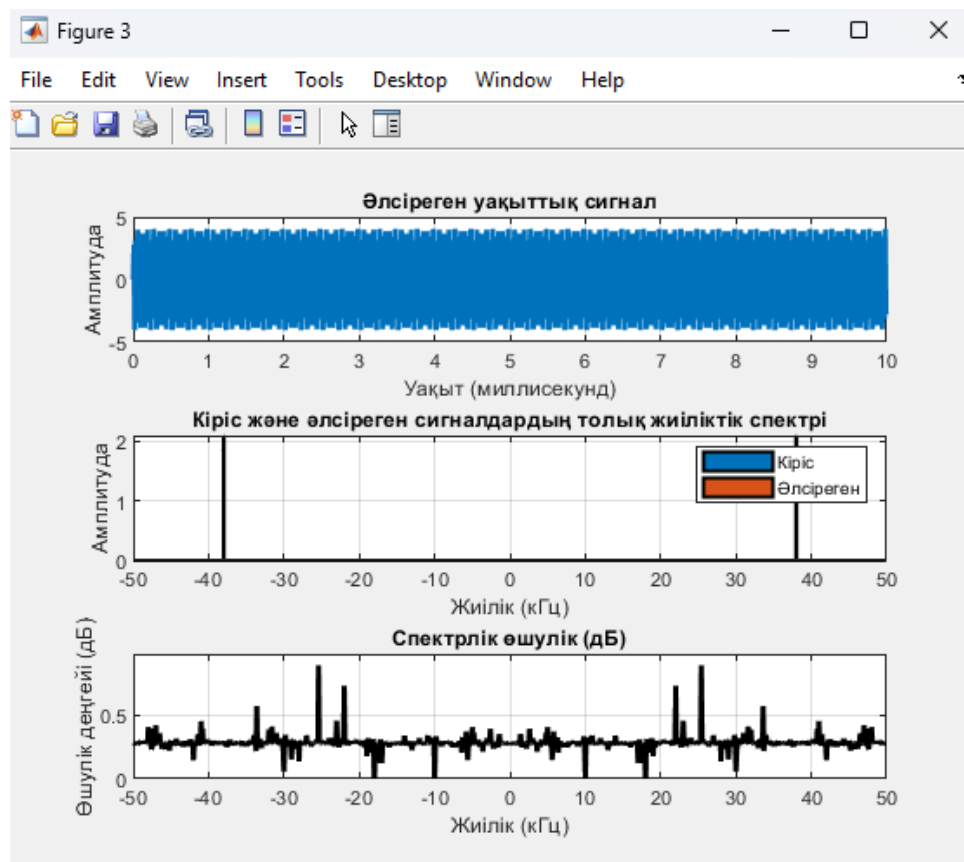
Өшуліктен кейін сигнал күші:

$$P_{out} = 1.125 \cdot (0.984)^2 \approx 1.079 \text{ Вт} \quad (3.10)$$

Дб қуатының жоғалуы:

$$\Delta dB = -10 \log_{10}(A^2) \quad (3.11)$$

Нәтижесінде $\Delta dB = 0.14$ дБ – бұл кабельдің қысқа ұзындығына сәйкес келетін өте аз өшулік шамасы. Мұндай әлсіреу қуаттың шамамен 3.2% төмендеуіне тең.



3.13-сурет – Сигнал спектрі (Қосымша В)

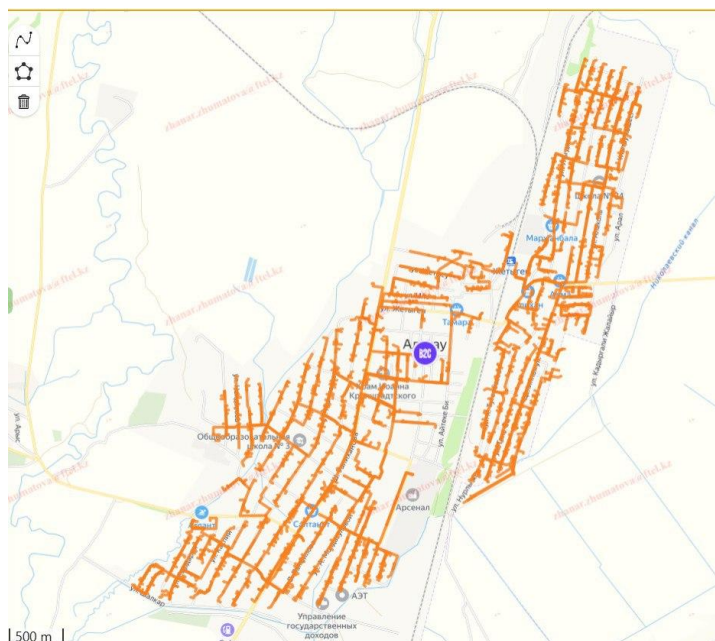
Сигналдың уақыттық домендегі әлсіреуі оның амплитудасының уақыт бойынша қалай төмендейтінін көрсетеді, бұл арқылы сигналдың жалпы қуат жоғалтылуы көрініс табады. Жиіліктік құрамды талдау арқылы кіріс және әлсіреген сигналдардың спектрлері салыстырылады, осылайша әр түрлі жиіліктердің әлсіреуі мен өзгерісі анықталады. Сонымен қатар, спектрлік өшулік децибел бірлігінде есептеліп, жиілік бойынша сигналдың әлсіреу деңгейі сандық және графикалық түрде көрсетіледі, бұл сигналдың сапасы мен берілу тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

3.3 Құрылғыны сәйкестікке тексеру және ғимараттарға кіріктіруді жоспарлау негіздері

Сымсыз желілерді ғимараттарға орнату және байланыс құру материалдық тұрғысынан ыңғайлы болғанымен, олардың негізгі кемшіліктеріне сигналдардың жоғалуы, базалық станцияларға тәуелділік және климаттық өзгерістерге төзімсіздік жатады. Осы орайда сымды желімен ақпарат тарату әлдеқайда сенімдірек екендігін көре аламыз.

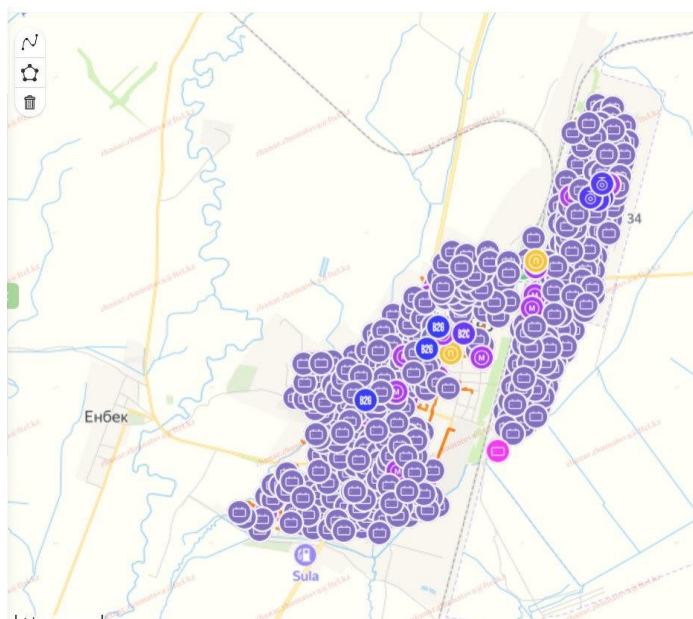
Freedom Telecom компаниясындағы жұмыс тәжірибем бойынша, ақпарат тарату талшықты-оптикалық кабель арнасы арқылы қолданушылар арасында сұранысқа ие, себебі сымды байланыс үздіксіз интернет желісіне гарантия бере алады. Электрооптикалық түрлендіргіштің қолданылу саласына байланысты негізгі өзектілігі ол – ғимараттар ішінде қабырғалардың қалыңдығына қарамастан сигналды жоғалтуларсыз жібере алу мүмкіндігі.

2.2 – бөлімдегі талдауларға сәйкес электрооптикалық түрлендіргішті азаматтық құрылыста қолдану келесі суреттерде көрсетілген.

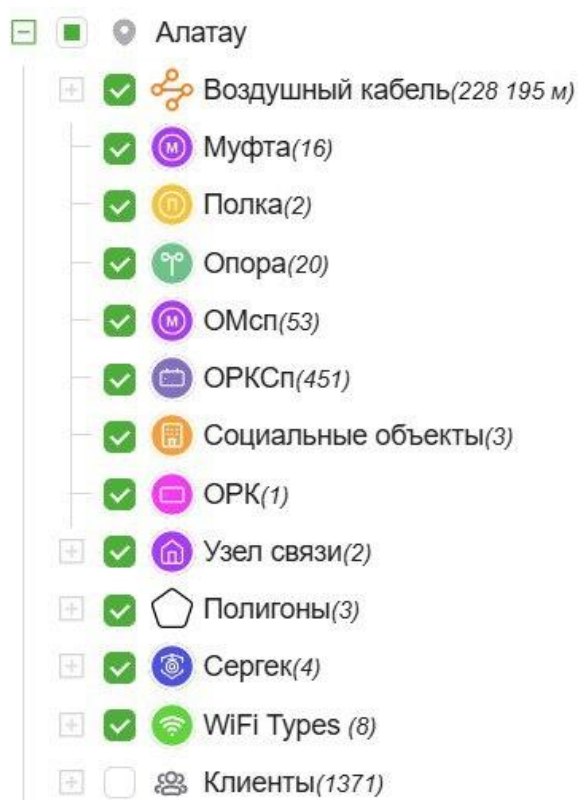


3.14-сурет – Алатау қаласы талшықты-оптикалық кабель магистралі

3.14-суретте көрсетілген сары жолдар талшықты-оптикалық кабельді қала бойынша техникалық мүмкіндігі бар көше магистральдарын көрсетеді.



3.15-сурет – Алатау қаласы бойынша оптикалық қорапшалар



3.16-сурет – Атластағы белгілер

3.15-суреттегі атластағы көрсетілген күлгін қорапшалар – ОРКСп болып табылады. Оптикалық тарату қораптары (ОРКСп) ғимарат ішіндегі байланыс желілерін ұйымдастыру үшін қолданылады. Олар оптикалық кабельдерді қосу, бөлу және қорғау функцияларын атқарады. Бұл қораптар кабельдерді

ОРШ (оптикалық-радиожилік шкаф) желілерімен, ішкі желі тарату жүйелерімен және муфталармен қосу кезінде қолданылады.

Осылайша абоненттерді оптикалық желімен қамтамасыз ету жүзеге асатын болады. Бұл талдаулар электрооптикалық түрлендіргіштің қазіргі кездегі кең қолданысқа ие екендігін көрсетеді.

Ескерту – 3.14-3.16 – суреттер Freedom Telecom компаниясының деректері болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Электрооптикалық түрлендіру технологиясының сымды желілерде қолданылуы ақпаратты жоғары жылдамдықта, сенімді және төмен шығынмен жеткізуге мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер кең өткізу жолағын, сигналдың төмен өшуін және электромагниттік кедергілерге жоғары төзімділікті қамтамасыз етеді. Бұл әсіресе GPON (Gigabit Passive Optical Network) желілері, өнеркәсіптік автоматтандыру жүйелері және нақты уақыт режимінде деректерді беру қажеттілігі бар IoT құрылғыларында маңызды.

Жұмыста сигналдардың классификациясы, симплексті байланыс түріне негізделген электрооптикалық түрлендіру принциптері зерттелді. Фотодиодтар мен инфракызыл сенсорлар негізінде жарық сигналдарын электрлік сигналдарға түрлендіру әдістері талқыланды.

Зерттеу барысында Arduino Uno, Toslink және ESP8266 компоненттері қолданылып, қоршаған орта параметрлерін (температура, ылғалдылық, газ концентрациясы) анықтайтын датчиктерден алынған мәліметтерді жарық арқылы беру әдісі әзірленді. Бұл жүйе Internet of Things (IoT) технологияларымен біріктіріліп, телеграм бот арқылы деректерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік берді.

Сонымен қатар, HFBR сериялы электрооптикалық трансиверлерді қолдану арқылы жүйенің сенімділігі мен тиімділігі тексерілді. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) сигналдарының Фурье спектрлік анализі және кабель бойындағы өшулік деңгейі Matlab бағдарламасында модельденіп, жүйенің орташа жұмыс жасау уақыты және істен шығу қарқындылығы анықталды. Тәжірибелік бөлімде азаматтық құрылыстағы оптикалық магистральдердегі сигнал таратылу жолдары зерттелді.

Жалпы, зерттеу нәтижелері электрооптикалық түрлендіргіштердің тиімділігін арттыру үшін компоненттерді дұрыс таңдау, олардың үйлесімділігін қамтамасыз ету және жүйенің ұзақ мерзімділігіне әсер ететін факторларды жетілдіру маңызды екенін көрсетті.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЭБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. A. Ivanov, B. Smith, S. Lee, Optical Communications Journal, High-Speed Signal Processing Algorithms for Electro-Optic Converters in Optical Communication Systems. 2020, DOI: 10.1016/j.optcom.2020.03.015
2. M. Johnson, L. Kim, Journal of Lightwave Technology, Advanced Digital Signal Processing Techniques in Electro-Optic Modulators, 2019 DOI: 10.1109/JLT.2019.2901234
3. K. Chen, D. Petrov, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Optimization of Analog Signal Processing in Electro-Optic Conversion Systems, 2018, DOI: 10.1109/TMTT.2018.2871234
4. S. Gonzalez, R. Nakamura, IEEE Photonics Journal, Integration of Electro-Optic Converters with Digital Signal Processing Units for Enhanced Performance, 2021, DOI: 10.1109/JPHOT.2021.3084567
5. T. Aliyev, N. Huang, Sensors, Real-Time Signal Processing Algorithms for Electro-Optic Sensing Applications, 2020 DOI: 10.3390/s20082356
6. V. Patel, J. Ren, Optics Express, Noise Reduction Techniques in Electro-Optic Signal Processing Systems, 2019 DOI: 10.1364/OE.27.019672
7. G. Singh, E. Moreno, IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, Electro-Optic Analog-to-Digital Conversion: Challenges and Solutions, 2018, DOI: 10.1109/TCSI.2018.2837890
8. L. Martinez, F. Zhang, Journal of Lightwave Technology, Enhancing Electro-Optic Modulator Performance through Digital Predistortion Techniques, 2021, DOI: 10.1109/JLT.2020.3031234
9. S. Petrova, M. Li, IEEE Access, Machine Learning Approaches in Electro-Optic Signal Processing, 2020 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2998765
10. D. Kim, A. Vasiliev, Optics Letters, Bandwidth Enhancement in Electro-Optic Conversion Systems via Advanced Signal Processing, 2019, DOI: 10.1364/OL.44.002510
11. C. A. Kelepouris, D. Mylonas, C. Santis, and A. G. Malamos, "A Standard-Based Internet of Things Platform and Data Flow Modeling for Smart Environmental Monitoring," Sensors, vol. 21, no. 12, Art. no. 4228, Jun. 2021. DOI: 10.3390/s21124228.
12. S. Feng, S. Wu, W. Zhang, J. Wang, and others, "Organic Electro-Optic Materials with High Electro-Optic Coefficients and Strong Stability," Molecules, vol. 29, no.13, Art. no. 3188, Jul. 2024. DOI: 10.3390/molecules29133188.
13. Wang, L.-D.; Tong, L.; Rong, J.-W.; Wu, J.-W. Nonlinear optical materials based on fluorinated polyurethane-imides and their application in waveguide device. High Perform. Polym. 2023, 35, 785–794. [CrossRef]
14. P. L. McMahon, A. Marandi, Y. Haribara, et al., "A fully programmable 100-spin coherent Ising machine with all-to-all connections," Science 354(6312), 614–617 (2016).

15. В. Лебедев, П. Грузов, И. Ильичев, А. Варламов, И. Таценко, А. Никитин, А. Б. Устинов, С. Степанов, және А. Шамра, "Настраиваемый оптоэлектронный генератор с преобразованием фазовой модуляции в амплитудную с помощью эталонного источника ацетилена"
16. E. P. Pozhidaev, A. Kuznetsov, A. V. Kaznacheev, T. Tkachenko, et al., "Liquid Crystalline Electro–Optical Modulator of Submegahertz Range," *Liquid Crystals and their Application*, vol. 23, no. 4, pp. 94–102, Dec. 2023. doi: 10.18083/LCAppl.2023.4.94
17. T. Shields, A. Dada, L. Hirsch, M. Clerici, et al., "Single–cycle THz–field electro–optical sampling with single–photon detectors," Aug. 2022. doi: 10.5525/gla.researchdata.1330. License: CC BY 4.0.
18. I. I. Ryabtsev, V. V. Preobrazhensky, I. Chistokhin, A. V. Latyshev, et al., "Детекторы одиночных фотонов для квантовых коммуникаций," *Nanoindustry Russia*, vol. 14, no. 7s, pp. 724–726, Oct. 2021. doi: 10.22184/1993–8578.2021.14.7s.724.726
19. https://ru.wikipedia.org/wiki/SFP#%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D1%8B_SFP-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D0%B5%D0%B9
20. https://wifi.kz/catalog/sfp-xfp-and-sfp-modules/sfp-modul-mikrotik-s-rj10/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=109683793&utm_content=16062614775&utm_term=autotargeting&yclid=3256743345917788159
21. C. Loapheang and S. Sitjongsataporn, "Design of Small Form–factor Pluggable Reader using Arduino Board / Arduino тақтасын қолдана отырып, шағын форма–факторлы қосылатын оқырманның дизайны," in *Proc. 2020 Int. Conf. on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, Chiangmai, Thailand, Oct. 14–16, 2020, pp. [not specified]. doi: 10.1109/ICPEI49860.2020.9431389.
22. H. Miyazaki, H. Takahashi, and H. Murata, "Antenna–Coupled Electrode Electro–Optic Modulator for 5G Mobile Applications," *IEEE Journal of Microwaves*, vol. PP, no. 99, pp. 1–6, Sep. 2021. doi: 10.1109/JMW.2021.3107030. License: CC BY–NC–ND 4.0.
23. H. Li, "Title unknown," *Sensors*, Aug. 2024.
24. U. Hira and M. N. Ahmad, "Optical Fiber Sensors," in *Optical Fibers – Recent Advances, New Perspectives and Applications [Working Title]*, IntechOpen, Dec. 2024. doi: 10.5772/intechopen.1007081. License: CC BY 3.0.
25. A. Mekhtiyev, Y. G. Neshina, A. Alkina, L. Kirichenko, et al., "Developing an Intelligent Fiber–Optic System for Monitoring Reinforced Concrete Foundation Structure Damage," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 21, Art. no. 11987, Nov. 2023. doi: 10.3390/app132111987. License: CC BY 4.0.
26. Y. G. Neshina, A. Mekhtiyev, V. Kalytka, I. Kazambayev, et al., "Fiber–Optic System for Monitoring Pit Collapse Prevention," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 11, Art. no. 4678, May 2024. doi: 10.3390/app14114678. License: CC BY 4.0.

27. Z. Hu and Q. Liu, “Numerical Study of Multi-species Transport in Cracked Concrete Under External Load,” *Cailiao Daobao / Materials Reports*, vol. 37, art. no. 21120077, 2023.
28. “Assessment and Retrofitting of Building Structures: Experimental Testing and Modelling—Editorial,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 1, Art. no. 486, Dec. 2022. doi: 10.3390/app13010486. License: CC BY 4.0.
29. GOST 310.4–81; Cements. Methods of Bending and Compression Strength Determination. Standards Publishing House Moscow: Moscow, Russia, 1983.
30. I. Konyakhin, A. Vasilev, and A. V. Petrochenko, “Electrooptic Converter for Measuring Linear Shifts of the Section Boards at the Main Dish of the Radiotelescope,” in *Smart Electromechanical Systems*, Springer, Jan. 2016, pp. [insert page numbers if known]. doi: 10.1007/978–3–319–27547–5_25.
31. S. Mahmud, P. Matalla, J. Dittmer, S. Randel, et al., “Optic–electronic–optic (OEO) interferometer enabling coherent optical add–drop multiplexing,” *Optics Express*, vol. 33, no. 4, pp. 6885–6893, Feb. 2025. doi: 10.1364/OE.532854. License: Optica VOR–OA.
32. Febrian, A. P. Aullia, and F. D. Faridhi, “Perancangan sistem pintu otomatis pada warehouse berbasis Arduino dengan menggunakan sensor IR,” *Jurnal Salome: Multidisipliner Keilmuan*, vol. 3, no. 1, pp. 71–78, Jan. 2025.
33. Y. Maheswar, J. Hemalatha, and G. Surya, “Automatic Railway Gate Crossing Control and Track Crack Detection System Using IoT,” in *Proc. Sri Venkatesa Perumal College of Engineering and Technology Conf.*, May 2024. doi: 10.59544/YDEJ2486/SVPCET24P4.
34. A. Arya, P. Megha, and S. Shijila, “Railway Track Crack Detection Robot,” *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 9, no. 5, pp. 175–179, Sep. 2024. doi: 10.33564/IJEAST.2024.v09i05.023.
35. A. I. Sourav, M. Alam, and A. Rajee, “Automatic Railway Gate Control & Hydraulic Road System Using Arduino UNO,” *Tech. Rep. no. 1*, Comilla University, Jan. 2023. doi: 10.13140/RG.2.2.35038.20807.
36. F. R. Saputri, N. Pranata, and V. R. Lee, “Building Security System Using GP2Y0A21YK0 Infrared Sensor and Arduino UNO,” *International Journal of Information System and Computer Science (IJISCS)*, vol. 7, no. 2, p. 142, Aug. 2023. doi: 10.56327/ijiscs.v7i2.1548. License: CC BY–NC–SA 4.0.
37. Н. Агафонов, “Технологии беспроводной передачи данных: ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi,” *Беспроводные технологии*, no. 1, pp. 10–15, 2006.
38. Проектирование и монтаж систем охранного телевидения и домофонов: рекомендации (Р 78.36.008–99), НИЦ «Охрана», Moscow, Russia, 1999, 86 p.
39. П. П. Березовский, *Основы радиотехники и связи: учебное пособие*, Екатеринбург: Изд–во Урал. ун–та, 2017, 212 с.

40. Т. И. Алиев, В. В. Соснин, и Д. Н. Шинкарук, Компьютерные сети и телекоммуникации: задания и тесты, Санкт–Петербург: Университет ИТМО, 2018, 112 с.
41. H. Kishikawa, M. Uetai, and N. Goto, “All–Optical Modulation Format Conversion Between OOK, QPSK and 8QAM,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, May 2019. doi: 10.1109/JLT.2019.2918815.
42. S. Koehler and A. Binzenhöfer, “MPLS traffic engineering in OSPF networks—A combined approach,” in *Proc. 18th Int. Teletraffic Congress (ITC18)*, Dec. 2003. doi: 10.1016/S1388–3437(03)80147–6.
43. СТ АО 80429–4/041–2012. Правила проектирования, строительства, приемки и эксплуатации линейных сооружений пассивных оптических сетей, 2012.
44. Е. В. Глушак и А. В. Куприянов, Введение в Интернет вещей: учебное пособие, Самара: Издательство Самарского университета, 2023, 104 с.
45. Arduino, “Arduino Official Website.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: May 5, 2025].
46. iArduino, “Потенциометр,” iArduino Wiki. [Online]. Available: <https://wiki.iarduino.ru/page/potenciometr/>.
47. D–Robotics, DHT11 Humidity & Temperature Sensor, D–Robotics UK, 2010, 7 p.
48. Hanwei Electronics Co., Ltd., Датчик газа MQ–135. Технические условия, [Technical specification]
49. Wikipedia contributors, “ESP8266,” *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.
50. “Статья на Dzen,” Dzen.ru, [Online]. Available: <https://dzen.ru/a/X495jm3I–S7aJUGL>. [Accessed: May 5, 2025].
51. Wikipedia contributors, “Toslink,” *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Toslink>.
52. V–PS, “Дисплеи LCD 1602 и 1604 для Arduino,” v–ps.ru, [Online]. Available: <https://www.v–ps.ru/arduino/hard–1602–1604.html>. [
53. Broadcom, “HFBR–1414TZ, оптоволоконный передатчик, 160 МБод, 820 нм, Plastic ST–Threaded Port,” *ChipDip.kz*, [Online]. Available: <https://www.chipdip.kz/product0/8007866991>
54. Broadcom, “HFBR–2412TZ, приемопередатчик 820 нм, 8 МБод, 5 В,” *ChipDip.kz*, [Online]. Available: <https://www.chipdip.kz/product0/8007866986>.
55. Electronics Tree, “Electronics Tree – Tutorials, Projects & Guides,” *electronicstree.com*, [Online]. Available: <https://electronicstree.com/>.
56. Electronics Tree, “Arduino Optical Fiber Transmission,” *electronicstree.com*, [Online]. Available: <https://electronicstree.com/arduino–optical–fiber–transmission/>.
57. iArduino, “Серийные протоколы UART,” iArduino Wiki, [Online]. Available: <https://wiki.iarduino.ru/page/serial–protocols–uart/>.

58. Broadcom Inc., HFBR-0400 Series: Low Cost, Miniature Fiber Optic Components with ST®, SMA, SC and FC Ports – Data Sheet. [PDF]

59. MathWorks, “Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM),” *mathworks.com*, [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/discovery/ofdm.html>.

ҚОСЫМША А

MATLAB-та жүйенің істен шығу қарқындылығы мен орташа жұмыс уақытын (MTBF) есептеп, өзгертін K_e коэффициентіне байланысты графикпен көрсететін толық код:

```
% Компоненттердің техникалық істен шығу қарқындылықтары (1/сағ)
lambda_components = [0.018, 0.030, 0.020, 0.025, 0.012, 0.008, 0.015,
0.010] * 1e-6;
```

```
% Пайдалану коэффициентінің әрбір факторының мәндері
```

```
K1 = 2.0; % Қолдану коэффициенті
```

```
K2 = 1.2; % Кедергі әсері коэффициенті
```

```
K3 = 1.3; % Атмосфералық фактор әсері
```

```
Kv = 1.1; % Электр кернеу тұрақсыздығы
```

```
Kt = 1.05; % Температуралық тербеліс
```

```
% Компоненттер қосындысы
```

```
sum_lambda = sum(lambda_components);
```

```
% Коэффициенттерді аздап өзгертіп, әсерін графикпен көрсету
```

```
variation = linspace(0.8, 1.2, 50); % 50 мән аралығында +/-20% ауытқу
```

```
lambda_system_vals = zeros(size(variation));
```

```
MTBF_vals = zeros(size(variation));
```

```
for i = 1:length(variation)
```

```
    % Пайдалану коэффициентін өзгерту
```

```
    K_e = K1 * K2 * K3 * Kv * Kt * variation(i);
```

```
    % Жүйенің істен шығу қарқындылығы
```

```
    lambda_system_vals(i) = sum_lambda * K_e;
```

```
    % Орташа жұмыс уақыты (MTBF)
```

```
    MTBF_vals(i) = 1 / lambda_system_vals(i);
```

```
end
```

```
% График салу
```

```
figure;
```

```
yyaxis left
```

```
plot(variation, lambda_system_vals*1e6, '-b', 'LineWidth', 2);
```

```
ylabel('Жүйенің істен шығу қарқындылығы,  $10^{-6}$  1/сағ', 'Color', 'b');
```

```

ylim([min(lambda_system_vals*1e6)*0.8
max(lambda_system_vals*1e6)*1.2]);

yyaxis right
plot(variation, MTBF_vals, '-r', 'LineWidth', 2);
ylabel('Орташа жұмыс уақыты (MTBF), сағат', 'Color', 'r');
ylim([min(MTBF_vals)*0.8 max(MTBF_vals)*1.2]);

xlabel('Пайдалану коэффициентінің өзгерісі (%)');
title('Жүйенің істен шығу қарқындылығы мен MTBF коэффициент  
өзгерісіне байланысты');
grid on;
legend({' $\lambda$  жүйе (1/сағ)  $\times 10^{-6}$ ', 'MTBF (сағат)'}, 'Location', 'northwest');
set(gca, 'FontSize', 12);

```

ҚОСЫМША Б

Бұл скрипт уақыттық сигналға шу қосып, одан кейін уақыттық домендегі сигналды және оның толық екі жақты Фурье спектрін визуализациялайды.

```
% Параметрлер
Fs = 100000;
T = 1/Fs;
L = 1000;
t = (0:L-1)*T;

f0 = 38000;
A = 4.2;

% Таза сигнал
x_clean = A * sin(2*pi*f0*t);

% Шу қосу (ақ шу, орташа нөлдік, дисперсия 0.5)
noise = sqrt(0.5) * randn(size(t));

% Шулы сигнал
x_noisy = x_clean + noise;

% Фурье түрлендірулер
Y_clean = fft(x_clean);
Y_noisy = fft(x_noisy);

% Жиілік осі (екі жақты, орталықтандырылған)
f = (-L/2 : L/2-1)*(Fs/L);

% Спектрді орталықтандыру
Y_clean_shifted = fftshift(Y_clean);
Y_noisy_shifted = fftshift(Y_noisy);

P_clean = abs(Y_clean_shifted)/L;
P_noisy = abs(Y_noisy_shifted)/L;

% Графиктер
figure;

% 1. Таза уақыттық сигнал
subplot(3,1,1)
plot(t*1e3, x_clean)
```

```
title('Таза уақыттық сигнал')
xlabel('Уақыт (мс)')
ylabel('Амплитуда')
grid on;
```

```
% 2. Шу қосылған уақыттық сигнал
subplot(3,1,2)
plot(t*1e3, x_noisy)
title('Шу қосылған уақыттық сигнал')
xlabel('Уақыт (мс)')
ylabel('Амплитуда')
grid on;
```

```
% 3. Екі жақты жиіліктік спектр (шу қосылған сигнал)
subplot(3,1,3)
plot(f/1000, P_noisy)
title('Шу қосылған сигналдың толық жиіліктік спектрі')
xlabel('Жиілік (кГц)')
ylabel('Амплитуда')
xlim([-50 50])
grid on;
```

ҚОСЫМША В

Сигналдың уақыттық домендегі әлсіруі оның амплитудасының уақыт бойынша қалай төмендейтінін көрсетеді, бұл арқылы сигналдың жалпы қуат жоғалтылуы көрініс табады.

```
% Параметрлер
Fs = 100000;          % Үлгілеу жиілігі, Гц
T = 1/Fs;
L = 1000;
t = (0:L-1)*T;

% Негізгі сигнал параметрлері
f0 = 38000;
A = 4.2;

% Кіріс сигнал (таза синусоида)
x_in = A * sin(2*pi*f0*t);

% Өшу коэффициенті және кабель ұзындығы
alpha_db_per_m = 0.2;
L_cable = 0.35;

% Әлсіреу коэффициентін есептеу
A_linear = 10^(-(alpha_db_per_m * L_cable)/10);

% Күштің азаюы ( $P_{out} = P_{in} * A^2$ )
power_loss = A_linear^2;

% Әлсіреген сигналды есептеу
x_out = x_in * power_loss;

% Фурье түрлендіру (орталықтандырылған) — кіріс және әлсіреген
сигналдар үшін
Y_in = fftshift(fft(x_in));
Y_out = fftshift(fft(x_out));

% Амплитуда спектрлерін есептеу және масштабтау
P_in = abs(Y_in)/L;
P_out = abs(Y_out)/L;

% Жиілік векторы (екі жақты, теріс және оң жиіліктер)
f = (-L/2 : L/2-1)*(Fs/L);
```

```

% Спектр бойынша өшулікті есептеу (децибелмен)
oshulik_dB = -20*log10(P_out ./ P_in);

% Графиктерді салу
figure;

% 1. Әлсіреген уақыттық сигнал
subplot(3,1,1)
plot(t*1e3, x_out, 'LineWidth', 2)
title('Әлсіреген уақыттық сигнал')
xlabel('Уақыт (миллисекунд)')
ylabel('Амплитуда')
grid on

% 2. Кіріс және әлсіреген сигналдардың амплитуда спектрлері
(бағаналық диаграмма)
subplot(3,1,2)
hold off
bar(f/1000, P_in, 'FaceColor', [0 0.4470 0.7410], 'BarWidth', 1, 'EdgeColor',
'k', 'LineWidth', 1.5)
hold on
bar(f/1000, P_out, 'FaceColor', [0.8500 0.3250 0.0980], 'BarWidth', 0.6,
'EdgeColor', 'k', 'LineWidth', 1.5)
title('Кіріс және әлсіреген сигналдардың толық жиіліктік спектрі')
xlabel('Жиілік (кГц)')
ylabel('Амплитуда')
legend('Кіріс', 'Әлсіреген')
xlim([-50 50])
grid on

% 3. Жиілік бойынша өшулік (децибелмен)
subplot(3,1,3)
plot(f/1000, oshulik_dB, 'k', 'LineWidth', 2)
title('Спектрлік өшулік (дБ)')
xlabel('Жиілік (кГц)')
ylabel('Өшулік деңгейі (дБ)')
xlim([-50 50])
ylim([0 max(oshulik_dB)*1.1])
grid on

```

Дипломдық жоба (жұмыс) бойынша

РЕЦЕНЗИЯ

Жұматова Жанар Жұматқызы

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу

Орындалды:

- а) Графикалық бөлім 3 парақтарда
б) түсіндірме жазба 78 беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Дипломдық жұмыс қазіргі заманғы телекоммуникация жүйелері мен оптикалық байланыс технологиялары саласына қатысты маңызды зерттеуге арналған. Жұмыста электрооптикалық түрлендіргіштердің (ООТ) физикалық және математикалық модельдері қарастырылып, сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдермен өзара байланысы егжей-тегжейлі зерттелген.

Зерттеу барысында автор оптикалық арна арқылы өтетін сигналдың өзгеру сипаттамаларын, соның ішінде сигналдың өшуі, шуыл әсері және басқа да кедергілердің әсерін модельдеу арқылы талдаған. MATLAB және Simulink орталарында жасалған модельдер мен симуляциялар зерттеу нәтижелерінің нақтылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, автор Фурье түрлендіру, спектрлік талдау және цифрлық сүзгілерді қолдану арқылы сигналдарды өңдеу алгоритмдерінің тиімділігін бағалаған.

Жұмыстың негізгі артықшылықтары:

- Зерттеу тақырыбының өзектілігі мен қазіргі заманғы ғылым мен техниканың даму бағыттарымен сәйкестігі;
- Теориялық және практикалық бөлімдердің теңгерімділігі;
- Қолданылған әдістердің ғылыми негізділігі (Fourier анализі, спектрлік өңдеу, математикалық модельдеу);
- Жобалау нәтижелерінің практикалық қолданысқа жарамдылығы (мысалы, оптикалық сенсор жүйелерінде немесе IoT платформаларында).

Техникалық параметрлерді нақтылау мен салыстырмалы талдау берілгенімен, кей жерлерде тәжірибелік нәтижелер мен теориялық модель арасындағы айырмашылыққа тереңірек түсіндірме қажет болуы мүмкін.

Жұмысты бағалау

Жалпы, дипломдық жұмысқа «өте жақсы» (95%) деген баға, ал студент Жұматова Жанар Жұматқызын 6B06201 – Телекоммуникация білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар бакалавры» дәрежесіне ұсынамын.

Рецензент

М.Тынышбаев атындағы
ALT университеті, PhD,
«АКТ» кафедрасының
ассистент профессоры

Мәдібайұлы Ж.
«20» 05 2025 ж.



Дипломдық жобаға (жұмысқа)

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

Жұматова Жанар Жұматқызы

6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу

Студент диплом жұмысында заманауи сымсыз байланыс технологияларындағы өзекті мәселелердің бірі – Wi-Fi сигналының әлсіреуі және оның үй-жайлар мен кеңселердегі тұрақсыздығын шешу жолдарын қарастырады. Жұмыстың теориялық бөлігінде сымсыз желілердің негізгі сипаттамалары, сигнал таралуының физикалық аспектілері мен радиотолқындардың таралу жолындағы кедергілер кеңінен сипатталған. Сонымен қатар, Wi-Fi сигналын күшейтетін құралдардың (қайталағыштар, күшейткіштер, роутерлер) жұмыс істеу принциптері мен артықшылықтары жан-жақты қарастырылған.

Практикалық бөлімде студент MATLAB ортасында сигналдардың әлсіреуін модельдеп, Arduino платформасы арқылы нақты тәжірибелер жүргізіп, Wi-Fi сигналын күшейтудегі әртүрлі әдістердің тиімділігін салыстырған. Huawei AX3 маршрутизаторының алдыңғы қатарлы технологиялар негізінде (мысалы, Wi-Fi 6 және 160 МГц өткізу жолағы) жұмыс істеу мүмкіндігі нақты мысалдармен сипатталған.

Жұмыс құрылымдық жағынан жақсы ұйымдастырылған, ғылыми тіл сақталған. Кіріспе, теориялық бөлім, тәжірибелік зерттеулер, нәтижелер мен қорытынды бөлімдері бір-бірімен қисынды байланысқан. Студенттің зерттеу жүргізудегі ізденісі, бағдарламалау дағдылары және талдау қабілеті жоғары деңгейде екені көрінеді.

Студент, Жұматова Жанар Жұматқызы дипломдық жұмысты жазу барысында жетекші нұсқаулығымен өз бетінше жұмыс істеу қабілетін көрсетті. Дипломдық жұмыс «95/A/ өте жақсы» деп бағаланды, ал Жұматова Жанар Жұматқызын 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші

ЭТЖҒТ каф. аға оқытушы,

техника ғылымдарының магистрі

Марксұлы С.

«20» 05 2025 ж.

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

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

Автор: Жұматова Жанар Жұматқызы

Тақырыбы: Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу

Жетекшісі: Сұңғат Марксұлы

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.2

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 23

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 2

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

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

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

Негіздеме:

2025-05-18

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жұматова Жанар Жұматқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу

Научный руководитель: Сұңғат Маркұлы

Коэффициент Подобия 1: 2

Коэффициент Подобия 2: 0.2

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 23

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:

2025-05-18

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жұматова Жанар Жұматқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Сигналдарды өңдеуге арналған алгоритмдер мен электрооптикалық түрлендіргіштің өзара әрекеттесуін зерттеу

Научный руководитель: Сұңғат Марксұлы

Коэффициент Подобия 1: 2

Коэффициент Подобия 2: 0.2

Микропробелы: 2

Знаки из здругих алфавитов: 23

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:

2025-05-18

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт