МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

Виконав: студент II курсу, групи 8.1763
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Д.Є. Пупирев
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.ф.-м.н., Світанько М.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, професор, д.т.н., Коваленко В.Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Факультет _____
Кафедра *електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Спеціальність *153 «Мікро- та наносистемна техніка»*
(код і назва)
Освітня програма *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ЕІСПЗ*
Критська Т.В.
"____" _____20___року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Пупиреву Дмитру Євгеновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) *Дослідження та розробка пристрою для моніторинга стану оптичних волокон*

керівник роботи *Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент*,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "*28*" *лютого 2024* року № *361-с*

2 Строк подання студентом роботи *02 грудня 2024 року*

3 Вихідні дані до роботи *КОІС,220 В, ± 12 В, Microcap, Proteus, Electronics Workbench*
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)*1. Пристрої для вимірювання параметрів оптичних волокон 2. Пристрій для моніторинга стану оптичних волокон 3. Техніко – економічне обґрунтування 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи*
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Пристрої для тестування оптичних волокон 2. Структурна схема пристрою для моніторинга стану оптичних волокон 3. Випромінювач пристрою для моніторинга стану оптичних волокон 4. Модовий склад випромінювання АІГ:Nd^{3+} лазера 5. Елементи з'єднання оптичних волокон пристрою 6. Оптичні властивості фотоприймача пристрою6. Електрична схема фотоприймального пристрою 7. Моделювання роботи схеми фотоприймального пристрою в середовищі Proteus.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	*Світанько М.В., доцент*	*01.03.2024*	*01.03.2024*
II	*Світанько М.В., доцент*	*01.03.2024*	*01.03.2024*
III	*Світанько М.В., доцент*	*01.03.2024*	*01.03.2024*
IV	*Світанько М.В., доцент*	*01.03.2024*	*01.03.2024*

7 Дата видачі завдання _____*01 березня 2024 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Літературний огляд*	*21.10.2024*	
2	*Розрахункова частина*	*20.11.2024*	
3	*Техніко-економічне обґрунтування розробки*	*20.11.2024*	
4	*Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки*	*20.11.2024*	
5	*Розробка графічної частини роботи*	*24.11.2024*	
6	*Оформлення пояснювальної записки*	*01.12.2024*	
7	*Нормоконтроль*	*02.12.2024*	
8	*Попередній захист роботи*	*05.12.2024*	

Студент _____ _____*Пупирев Д.Є.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ ____*Світанько М.В.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____*Верьовкін Л.Л.*_____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 75 сторінок, 32 рисунків, 16 таблиць, 29 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – оптоволоконні інформаційні системи.

Мета роботи – дослідження та розробка пристрою для моніторинга стану оптичних волокон.

Завдання роботи – на підставі аналізу існуючих систем обрати ефективну систему моніторингу стану оптичних волокон, призначених для оптичних інформаційних каналів підвищенної потужності та щільності інформації; провести моделювання основних функціональних блоків пристрою за допомогою САПР електронних схем.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus, Mathcad.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено пристрій для моніторинга стану оптичних волокон, у якому в якості джерела випромінювання використовуємо АІГ:Nd^{3+} мікро-лазер з діодною накачкою із стійким модовим складом, який передається до оптичного інформаційного каналу.

Результати впроваджень – макет електронного приладу пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – додаткове використання параметричних ефектів для множення чи суттєвої зміни частоти випромінювання мікро лазера.

ОПТИЧНІ ВОЛОКНА, ОПТИЧНА МОДА, МІКРОЛАЗЕР, ФОТОДІОД, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01.03.2024 р. по 02.12.2024 р.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ ……. 6

1. Пристрої для вимірювання параметрів оптичних волокон ……. 7

1.1 Параметри ВОЛЗ та налаштування приладів для їх вимірювання ….. 7

1.2 Оптичні рефлектометри (OTDR)……..... 9

1.3 Оптичний тестер……. 12

1.4 Вимірювачі оптичної потужності …… 12

1.5 PON тестер ……. 18

1.6 Ідентифікатор активних волокон…… 19

1.7 Джерела випромінювання у тестовій апаратурі для ВОЛЗ…… 20

2. Розробка пристрою для моніторинга стану оптичних волокон …… 23

2.1 Структурна схема пристрою для моніторинга стану оптичних волокон ……..... 23

2.2 Оцінка модового складу напівпровідникових джерел випромінювання, що використовуються у оптичних інформаційних каналах …….. 24

2.3 Джерело випромінювання: АІГ:Nd^{3+} лазер з діодною накачкою…… 32

2.4 Розрахунок модового складу АІГ:Nd^{3+} лазера мікролазера з діодною накачкою з використанням схеми множення частоти…… 34

2.5 Елементи з’єднання оптичних волокон пристрою……..

2.6 Електронна схема джерела живлення напіпровідникового лазера накачування……. 41

3. Техніко-економічне обґрунтування розробки пристрою для моніторинга стану оптичних волокон …….. 48

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон…… 48

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон ……..... 53
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон……. 54
4.1 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів…….. 54
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів…… 57
4.3 Виробнича санітарія……... 59
4.4 Електробезпека……... 60
4.5 Пожежна та техногенна безпека об’єкту …….. 61
4.6 Розрахунок освітлення робочого місця …….. 62
Висновки та рекомендації……... 65
Перелік посилань……..…… 67
Додаток 1…… 71

Вступ

Унаш час уже неможливо уявити існування без мережі Internet. Завжди актуальними питаннями у глобальних інформаційних співтовариствах були якісне і оперативне забезпечення каналів зв’язку та ефектине та надійне обслуговування мереж.

Як показав досвід, особливо у періоди стабілізаційних відключень електроенергії, більш надійними, порівняно із традиційними мережами, є мережі волоконно-оптичних ліній зв’язку (ВОЛЗ) [1-5].

Відовідно, для цього типу мереж потрібне специфічне обладнання для обслуговування та оцінки основних експлуатаційних параметрів.

Якщо у звичайних мережах ВОЛЗ до мінімального набору тестового обладнання можна включити оптичний тестер, оптичний рефлектометр, візуальний локатор несправностей, то у мережах із складним багатомодовим складом інформаційного сигналу потрібне більш складне обладнання.

Такого типу оптичні тестери повинні мати у своєму складі спифічні приймальні канали оптичного випромінювання, надчутливу спектральну систему відповідної роздільної здатності, автоматизовану систему контролю параметрів. До того ж у сандартному тестовому оптичному обладнанні існують деякі обмеженя у вимірюваннях, такі як ефект «мертвої точки» [6-8].

Знову ж таки, інформація про схемотехнічну реалізацію подібних тестовихсистем є обмеженою, а по деяких функціональних вузлах та блоказ взагалі відсутня.

Тому актуальним є питання розробки систем моніторинга стану оптичних волокон із інформаційними каналами, заснованими на багатомодовому лазерному випромінюванні.

1. Пристрої для вимірювання параметрів оптичних волокон

1.1. Параметри ВОЛЗ та налаштування приладів для їх вимірювання

Основною досліджуваною характеристикою параметрів ВОЛЗ є загасання (вимірюється в дБ) в оптичному тракті на робочій довжині хвилі. Дана величина показує, наскільки буде загасати (слабшати) оптичний сигнал при проходженні через дану лінію. Її ще називають "вноситься загасання" або» вноситься ослаблення«, англомовні варіанти» Attenuation «або»Insertion loss"[3,6-8].

Основні елементи, які вносять загасання в оптичний тракт-це[3,6-8]:

- безпосередньо оптичне волокно (характеризується втратами на одиницю довжини, дБ / км),
- зварне з'єднання,
- механічні роз'єми,
- оптичні дільники.

Друга важлива характеристика-це зворотне відображення («Optical Return Loss» або «Back Reflection»). Ця величина характеризує значення оптичної потужності, яка відбивається і назад до джерела випромінювання, виражається також в дБ.Джерелом зворотного відображення можуть бути:

- механічні роз'єми,
- тріщини в волокні,
- вільний кінець оптичного роз'єму.

Оптичні коннектори необхідно утримувати в чистоті**.** Оскільки діаметр серцевини волокна становить близько 9 мкм, неозброєним оком помітити забруднення неможливо. Це, в першу чергу, вплине на точність вимірювань,

розміри втрат, які можуть вносити «брудні» роз'єми, Втрати можуть коливатися в дуже широких межах і досягати декількох дБ. Також забруднення збільшують значення зворотного відображення, що вкрай не бажано при передачі АМ сигналу кабельного телебачення.

Найпростіший і економічний-це безворсова серветка, змочена в чистому спирті.Після протирання вологою серветкою необхідно протерти сухою серветкою для усунення розводів.

Один з найбільш зручних методів - це застосування спеціального очищувача CLN2-001, у якому використовуються безворсові чистячі стрічки. При цьому досягається швидке і зручне очищення роз'ємів (рисунок 1.1) [3,6-8].



Рисунок 1.1 Очищувач рулонний CLN2-001

За допомогою даного пристрою проводиться швидка і якісна очистка торцевої поверхні від різних забруднень, підходить для самих різних типів конекторів: SC, FC, LC, ST, MU.

Процес очищення виконується наступним чином: спочатку необхідно відкрити захисну шторку і, щільно притиснувши торцеву поверхню роз'єму до чистячої стрічці, провести уздовж напрямних спочатку від себе, а потім на себе. Для контролю чистоти поверхні можна застосувати спеціальний мікроскоп з 200-кратним збільшенням [3,6-8].

1.2 Оптичні рефлектометри (OTDR)

OTDR розшифровується як Optical Time Domain Reflectometer. Принцип дії рефлектометра полягає в посиланні в тестоване волокно короткого оптичного імпульсу. Через відображень від різних неоднорідностей відбувається утворення зворотного потоку (зворотне розсіювання). Рефлектометр вимірює тимчасову затримку сигналу і рівень відбитого випромінювання. На основі цих даних будує рефлектограмму, що представляє собою графік залежності втрат у волокні від відстані (рисунок 1.2) [3,6-8].



Рисунок 1.2 Оптичний рефлектометр

В результаті роботи оптичний рефлектометр детектирує і математично обробляє прийняті оптичні сигнали (відліки) і будує будуть показані на екрані рефлектограмми - залежність відбитої потужності від відстані в оптичної лінії (або оптичному кабелі). За рефлектограммою можна визначити: довжину лінії, загальне затухання в лінії, а також місця неоднорідностей і виникають в них втрати і відображення. Крім того за нахилом характеристики на прямолінійній ділянці можна визначити коефіцієнт загасання оптичного волокна в кабелі.

Під рефлектограммою розташовується таблиця подій, в якій вказуються чисельно параметри неоднорідностей в лінії: відстань від початку, що вносяться втрати, втрати на відбиття.

Основні параметри оптичних рефлектометрів [3,6-8]:

- динамічний діапазон;
- мертві зони по відображенню і згасанню;
- тривалість зондирующих імпульсів;
- діапазон вимірюваних відстаней;

- число відліків і т.і.

Переваги рефлектометра:

- Рефлектометр-дозволяє за один цикл вимірювань одночасно визначити цілий ряд основних параметрів оптичного волокна:
- його довжину,
- величину загасання на кілометр,
- наявність місць неоднорідностей, їх характер і відстань до них,
- втрати в з'єднувачах, місцях зварювання і т. д. без проведення підготовчих робіт;
- Проведення великої кількості вимірювань з одного кінця оптичного волокна, на відміну від оптичних тестерів.

Недоліки рефлектометра:

- Високі вимоги до введення випромінювання в тестоване волокно;
- Час для отримання рефлектограми з відносно непоганою точністю становить не менше 30 секунд;
- Відносно висока вартість вимірювального обладнання.

На рисунку 1.3 представлена модель рефлектограми з позначенням неоднорідностей, які можуть зустрічатися в волокні [3,6-8].

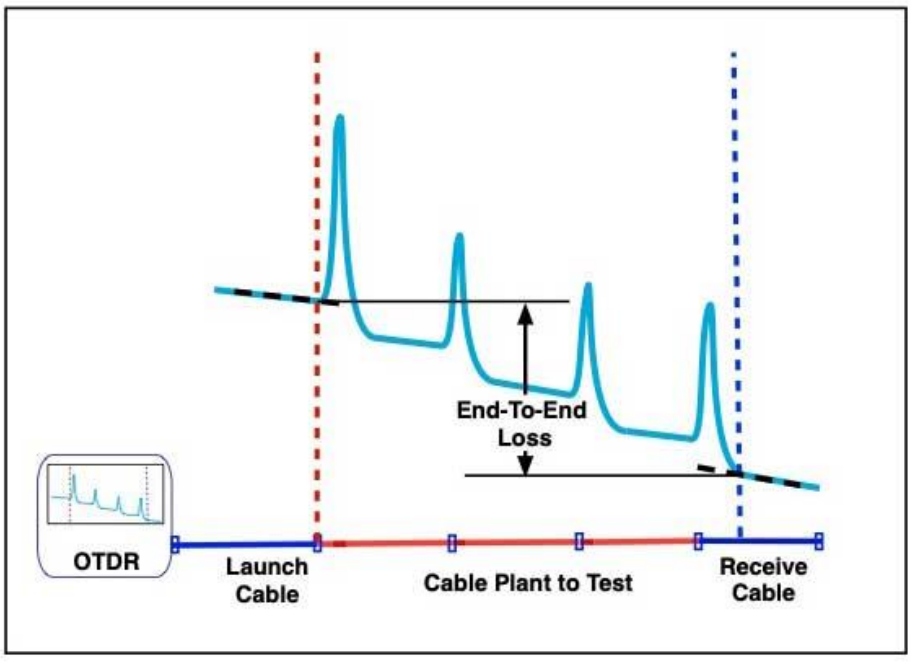


Рисунок 1.3 Модель рефлектограми

1.3 Оптичний тестер

Цей пристрій являє собою джерело випромінювання і вимірювач оптичної потужності в одному корпусі (рисунок 1.4) [3,6-8].

Переваги:

- компактність;
- незалежна робота джерела і вимірювача;
- аналогічні функціональні можливості джерела і вимірювача



Рисунок 1.4 Оптичний тестер

1.4 Вимірювачі оптичної потужності

Даний прилад реєструє рівень вхідної оптичної потужності і відображає значення на екрані (рисунок 1.5) [3,6-8]. Основним елементом

пристрою є фотоприймач. Зазвичай використовується широкосмуговий фотоприймач. Це означає, що він реєструє всю оптичну потужність, що приходить на нього в діапазоні 800-1800 нм. Виставляючи вимірювану довжину хвилі (калібровану) ми отримуємо чисельне значення в дБм або Вт. Якщо в оптичному тракті будуть присутні одночасно випромінювання на декількох довжинах хвиль, то прилад відобразить якусь сумарну величину потужності.

Типовими значеннями вимірюваних довжин хвиль (каліброваних) є все ті ж 1310 і 1550 нм, але також можуть бути і інші: 850, 980, 1300, 1490 нм і т.д. динамічний діапазон вимірювача (оптичні потужності, які він може вимірювати) залежить від застосовуваного фотоприймача, типове значення для InGaAs становить близько 60-70 дБ. Залежно від конкретних застосувань можна підібрати оптимальний прилад. Для вимірювань в телекомунікаційних мережах підійдуть Вимірювачі потужності з більшою чутливістю фотодетектора (+6...-70 дБм), а для оптичних мереж кабельного телебачення важливо вимірювання досить великих потужностей (+26...-50 дБм). Як і джерела випромінювання, пристрій працює від вбудованої батареї, має підсвічування екрану, функцію автоматичного вимкнення, збереження результатів і багато іншого. Вхідний оптичний порт, як правило, має адаптер FC / UPC. Однією з найважливіших функцій даного пристрою є можливість вимірювати втрати оптичного сигналу [3,6-8].



Рисунок 1.5 Вимірювачі оптичної потужності

Крім втрат в лінії вимірювач потужності дозволяє визначати рівень оптичної потужності в окремих точках оптичної мережі. Наприклад, існує оптична мережа кабельного телебачення і нам необхідно вимірювати рівень оптичного сигналу на вході оптичного приймача. Для цього мв працюючій мережі (оптичний передавач включений) підключається вимірювач в потрібному місці, виставляється довжина хвилі, на якій відбувається передача сигналу, і вимірюється рівень сигналу [3,6-8].

В результаті даного вимірювання отримується деяке значення в дБм. Якщо дане значення відповідає допустимому вхідному рівню оптичного приймача і збігається з розрахунковим значенням за проектом, значить втрати в оптичному тракті (оптичний передавач - оптичний приймач) знаходяться в допустимих межах (типове значення вхідного рівня від -7 дБм до +3 дБм в залежності від типу оптичного приймача). Більш того, якщо є можливість виміряти рівень сигналу не тільки на вході приймача, але і на виході оптичного передавача, то можна досить точно оцінити втрати в оптичному тракті.

У мережах кабельного телебачення застосовуються оптичні роз'єми з кутовою поліруванням (APC), це потрібно враховувати, оскільки вимірювачі

оптичної потужності, як правило, мають полірування типу UPC. В цьому випадку необхідно застосовувати комбіновані оптичні шнури для запобігання з'єднання конекторів з різними поліруваннями.

Оскільки вимірювач визначає тільки рівень потужності, то для вимірювання втрат (загасання) в оптичній лінії потрібно зробити два вимірювання. Спочатку-визначити рівень потужності на виході джерела випромінювання (опорний рівень, рисунок 1.6), а потім – рівень потужності сигналу, що пройшов через тестовану лінію. Різниця цих значень (в дБм) або їх логарифмічне відношення (в Вт) і складе втрати в лінії [3,6-8].

Опорний рівень визначається при безпосередньому з'єднанні джерела і вимірювача з'єднувальним шнуром (патч-кордом). При вимірюванні виставляємо відповідну довжину хвилі на джерелі і вимірювачі. Після отримання результату переходимо в режим вимірювання відносних втрат (кнопка dB), на екрані вимірювача з'явиться значення 00.00 dB. Це дозволяє не займатися перерахунком, а при наступному вимірі прямо отримати значення згасання на екрані вимірювача.



Рисунок 1.6 Визначення опорного рівня оптичної лнії [3,6-8]

При другому вимірі, ми підключаємо після шнура цікавить нас ділянку, на якому нам необхідно провести вимірювання втрат, і відразу ж отримаємо на екрані значення втрат в дБ (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 Вимірювання втрат в лінії методом внесених втрат [3,6-8]

Даний метод вимірювання дуже простий, практичний, не вимагає тривалого часу і дорогого обладнання. При цьому досягається невелика похибка вимірювань, порядку 0,1 дБ. При відсутності вимірювального джерела випромінювання для вимірювання загасання може використовуватися будь-який оптичний передавач з довжиною хвилі, яка є у вашому Вимірювачі потужності, що має режим безперервного випромінювання (CW) [3,6-8].

Якщо потрібно проводити вимірювання втрат, коли обидва кінці оптичної лінії знаходяться в одному місці (наприклад, бухта кабелю), то зручно буде скористатися оптично тестером. Принцип вимірювання таким приладом аналогічний зі спільною роботою джерела і вимірювача. Нижче н рисунку 1.8 наведена типова схема вимірювання за допомогою оптичного тестера.

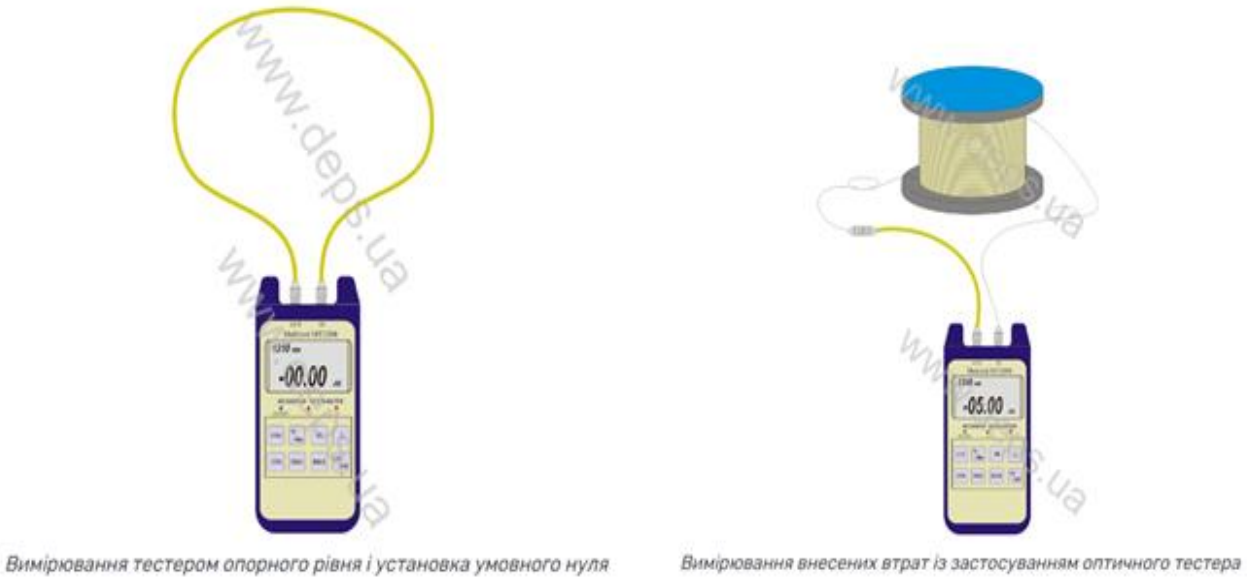


Рисунок 1.8 Схема вимірювання за допомогою оптичного тестера

На екрані оптичного тестера відображаються вносяться втрати досліджуваним зразком волокна. За допомогою оптичного тестера (а також пари приладів джерело + вимірювач) можна вимірювати вносяться втрати не тільки лінійних ділянок волокна, а також оптичних дільників, механічних з'єднань і т. д.

1.5 PON тестер

Слід зазначити окремий тип пристроїв для тестування повністю пасивних оптичних мереж (PON мережі). Тестування проводиться шляхом включення приладу в оптичну лінію(в розрив), з одночасним скануванням на трьох довжинах хвиль - висхідного потоку (від абонента до станції) на довжині хвилі 1310 нм і низхідних потоків (від станції до абонентів) - 1490/1550 нм, що економить час і дає найбільш повну картину вимірювання. Основною відмінністю в порівнянні з вимірювачами оптичної потужності є наявність оптичних фільтрів і окремих фотодетекторів для кожної вимірюваної довжини хвилі (рисунок 1.9) [3,6-8].



Рисунок 1.9 PON тестер

Вимірювання можуть відображатися в різних одиницях-дБм або Вт.
В даному приладі передбачена функція збереження результатів вимірювань у внутрішній пам'яті приладу з можливістю подальшого аналізу даних па ПК.

А також дуже корисна функція автоматичного вимкнення, що дозволить значно збільшити час роботи приладу від батареї.

PON тестер може застосовуватися як при введенні PON мережі в експлуатацію для контролю рівнів оптичної потужності, так і при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт, а також для моніторингу мережі [3,6-8].

1.6 Ідентифікатор активних волокон

На рисунку 1.10 представлений компактний прилад для виявлення активних (наявність оптичного випромінювання) оптичних волокон MULTITEST MT3306A.

Пристрій забезпечує швидкий неруйнівний спосіб визначення наявності та напрямку поширення оптичного сигналу в одномодових волокнах. Прилад дозволяє без відключення приймальної апаратури визначити наявність сигналу в волокнах і його напрямок, а також оцінити оптичну потужність. Якщо в якості сигналу застосовується модульоване випромінювання джерела 270 Гц, 1 кГц або 2 кГц - ідентифікатор також визначає частоту модуляції. Принцип дії полягає в реєстрації оптичного сигналу в місці макроізгіба. Для універсальності передбачені змінні насадки під різні діаметри (волокно, пігтейли і патч-корди).

Цей пристрій дуже зручно при пошуку "активних" і» темних " волокон в оптичних кросах і муфтах, де використовується багато волокон і велика ймовірність випадкового розриву з'єднання[3,6-8].



Рисунок 1.10 Ідентифікатор активних волокон

1.7 Джерела випромінювання у тестовій апаратурі для ВОЛЗ

Основним джерелом випромінювання у тестовій апаратурі є лазерне випромінювання. яке являє собою пристрій, основним елементом якого є напівпровідниковий лазер (лазерний діод), їх кількість може бути різною. Найпоширеніші - це довжини хвиль 1310 нм і 1550 нм, оскільки на цих хвилях в основному відбувається передача оптичного сигналу. Можуть існувати різноманітні варіанти комбінацій різних лазерів, деякі джерела лазерного випромінювання можуть мати в своїй конструкції джерело видимого лазерного випромінювання, про які говорилося вище [3,6-8].

Основним же призначенням даних пристроїв є генерація лазерного випромінювання на фіксованій довжині хвилі для вимірювання втрат в

оптичних лініях. Типове значення рівня оптичної потужності - 7дбм. До додаткових функцій джерел лазерного випромінювання можна віднести генерацію не тільки безперервного сигналу, але і модульованого із заданою частотою (наприклад, 270 Гц, 1 кГц, 2 кГц) для ідентифікації волокон, автоматичне вимикання, рівень заряду батареї і т. д.Вихідний порт випромінювача, як правило, має адаптер FC/UPC.

Деякі моделі цих приладів можуть оснащуватися вбудованим випромінювачем червоного світла (окремий порт) для візуального визначення дефектів.

На рисунку 1.11 представлено випромінювач MULTITEST MT3111m-10 (H) [3,6-8].



Рисунок 1.11 Випромінювач MULTITEST MT3111m-10 (H)

Прилад призначений для перевірки цілісності та ідентифікації волокон/патчкордів в оптичних розподільчих пристроях. Для ідентифікації використовується видиме світло, з довжиною хвилі 650 нм (червоне світло) і потужністю 1, 10 або 30 мВт. Найпотужнішого з яких, буде достатньо для просвічування відстані до ~14,5 км.

Джерело має універсальний роз'єм, який дозволяє підключати оптичні коннектори з ферулою діаметром 2,5 мм, в тому числі коннектори FC, SC і ST. Можливий як режим безперервного світіння, так і імпульсний режим [3,6-8].

Отже, за матеріалами розділу можна зробити насткпні висновки:

1) для тестування стану ВОЛЗ в основному використовуються пристрої із випромінювачами на стандартних довжинах хвиль 650 нм,1310 нм і 1550 нм;

2) протоколи тестування розраховані для ліній стандартного загального вжитку і містять обмежені можливості для контролю оптичних каналів, що використовуються у більш складних інформаційних системах (багатомодовість випромінювання, потужні лазерні системи високої добротності та модуляції);

3) для специфічних ліній ВОЛЗ потрібне застосування окремих видів тестового обладнання.

Тому, метою дипломної роботи є дослідження та розробка пристрою для моніторинга стану оптичних волокон.

Для досягнення мети у роботі потрібно виконати такі завдавння:

1) на підставі аналізу існуючих систем обрати ефективну систему моніторингу стану оптичних волокон, призначених для оптичних інформаційних каналів підвищеної потужності та щільності інформації;

2) розробити структурну схему пристрою;

3) провести моделювання основних функціональних блоків пристрою за допомогою САПР електронних схем;

4) провести техніко-економічний розрахунок системи, що розробляється;

5) розробити заходи із норм дотримання умов безпеки праці та техногенної безпеки.

2. Розробка пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

2.1 Структурна схема пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

Стрімкий розвиток квантово-оптичних інформаційних систем (КОІС) з одного боку уніфікував і спростив процедуру тестування оптичних волокон, які використовують у системах волоконно-оптичних ліній зв'язку (СВОЛЗ) [10-12]. Але, для створення новітніх квантово-оптичних пристроїв, таких як квантовий комп'ютер, спрощена система контролю не надає об'єктивної інформації профізичні та оптичні властивості компонент інформаційної системи. Для подібних систем важливим показиком оцінки якості перенесеного інформаційного сигналу є модовий склад випромінювання, та його ефективність. Тому, розробку структурної схеми пристрою будемо проводити із урахуванням того, що випромінювання (лазерне випромінювання) буде мати стабільні модові показники інформаційного оптичного каналу [10-12].

У роботі прпонується структурна схема, представлена на рисунку 2.1

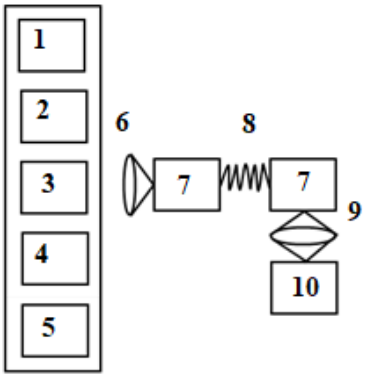


Рисунок 2.1 - Структурна схема пристрою для моніторинга стану оптичних волокон: 1-4 - лазерні діоди (λ_1=803нм; λ_2=824нм; λ_3=866нм; λ_4=902нм); 5 - АІГ:Nd^{3+} лазер з діодною накачкою (λ_5= 1064 нм) 3 -

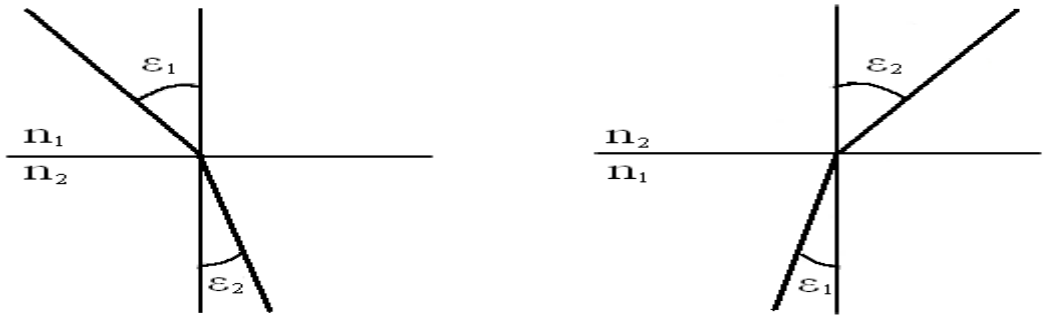
серпантинний фільтр; 6 - пристрій вводу випромінювання у світловод; 7 - тримачі волоконних світловодів; 8 – контрольований світловод; 9 - погоджуючі лінзи; 10 – фотоприймальний блок (ФПБ) [10-12].

2.2 Оцінка модового складу напівпровідникових джерел випромінювання, що використовуються у оптичних інформаційних каналах

Наразі у якості випромінювачів у СВОЛЗ найбільш частіше використовуються довжини хвиль, якіпредставлені у складі струкурної схеми: лазерні напівпровідникові діоди (λ_1=803нм; λ_2=824нм; λ_3=866нм; λ_4=902нм) [10-12]. За основу аналізу використаємо електромагнітну теорію [10-12].

Згідно положень електромагнітної теорії, світловод являє собою два діелектричні середовища - осердя і оболонку. Електромагнітні коливання поширюються по осердю завдяки явищу повного внутрішнього відбиття (ПВВ).

Умови проходження променя через межу розподілу двох середовищ описуються законом Снеліуса. На рис 2.2 показане проходження променя через межу розподілу двох середовищ.



а) б)

Рисунок 2.2 Проходження променя через межу розділу двох середовищ:а) з менш щільного в більш щільне ($n_2 > n_1$);б) з більш щільного в менш щільне ($n_2 < n_1$) (2.1)

Відповідно до закону Снеліуса виконується наступна умова:

$$n_1 \sin\varepsilon_1 = n_2 \sin\varepsilon_2 \ , \qquad (2.2)$$

де n_1 і n_2 – показники заломлення осердя й оболонки світловода відповідно;

ε_1 і ε_2 – кути падіння й заломлення променя відповідно.

Якщо $n_1 > n_2$, те при $\varepsilon_2 = 90$ наступає явище ПВВ. Тоді $\sin\varepsilon_2 = 1$, а $\sin\varepsilon_k = \frac{n_2}{n_1}$ - критичний кут ПВВ. Явище ПВВ спостерігається за умови, якщо $\varepsilon > \varepsilon_k$.

Наведені співвідношення відповідають поняттям геометричної оптики. Виходячи з міркування фізичної оптики при розгляді явища ПВВ, можна дійти висновку, що при критичних кутах падіння променів на межу розподілу двох середовищ повного (100%) відбиття не відбувається. Це можна підтвердити, скориставшись формулами Френеля [3].

$$\rho_{\perp} = \left[\frac{\sqrt{n_n^2 - n_c^2 \sin^2 \varepsilon_k} - n_c \cos\varepsilon_k}{\sqrt{n_n^2 - n_c^2 \sin^2 \varepsilon_k} + n_c \cos\varepsilon_k} \right]^2 ; \qquad (2.3)$$

$$\rho_{\text{II}} = \left[\frac{n_c\sqrt{n_n^2 - n_c^2 \sin^2 \varepsilon_k} - n_n^2 \cos\varepsilon_k}{n_c\sqrt{n_n^2 - n_c^2 \sin^2 \varepsilon_k} + n_n^2 \cos\varepsilon_k} \right]^2 ; \qquad (2.4)$$

$$\rho_{\text{II}} = \left[\frac{n^2 \cos\varepsilon - \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}}{n^2 \cos\varepsilon + \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}} \right]^2 ; \qquad (2.5)$$

$$\rho_{\perp} = \left[\frac{\cos\varepsilon - \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}}{\cos\varepsilon + \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon}} \right]^2 ; \qquad (2.6)$$

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_{\perp} + \rho_{\text{II}}}{2} , \qquad (2.7)$$

де n_n і n_c – показники заломлення покриття й осердя світловода;

$\rho_{\perp}$ і ρ_{II} – коефіцієнти відбиття для площин поляризації паралельної й перпендикулярної площини падіння променя;

$\rho_{ср}$ – середнє значення коефіцієнта відбиття для неполяризованого світла.

Залежність коефіцієнта відбиття від кута падіння, розрахована відповідно до формул (2.3 – 2.7), представлена на рис. 2.3.

Коефіцієнт відбиття на межі розділу двох середовищ, як видно з рисунку, залежить також від коефіцієнта просторового загасання хвилі, що визначається наступним співвідношенням:

$$k = \frac{\lambda}{1{,}736} k' , \qquad (2.8)$$

де k' – натуральний показник поглинання середовища.

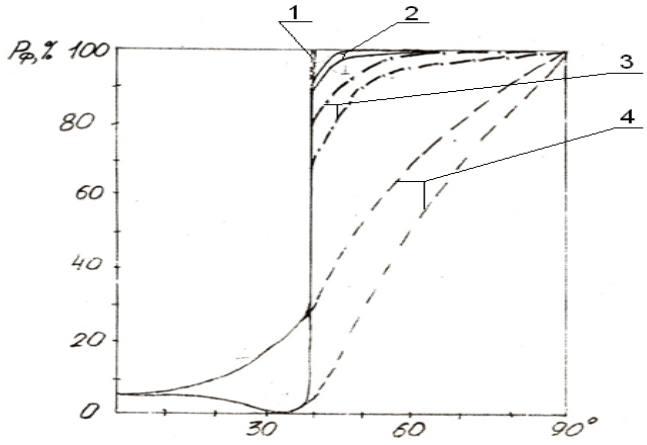


Рисунок 2.3 - Графік залежності коефіцієнта відбиття від кута падіння :
1- k =0; 2- k=0,001; 3- k=0,01; 4-k=0,1

На підставі явища ПВВ можна розрахувати числову апертуру (NA) світловода. Для цього скористаємося рис.2.4.

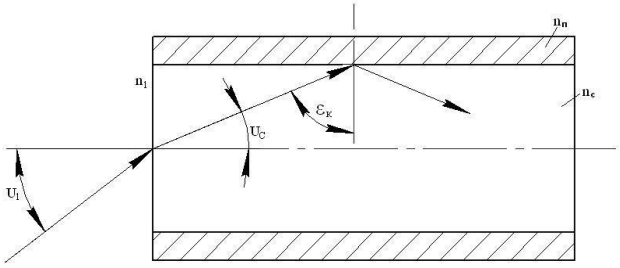


Рисунок 2.4 - До розрахунку числової апертури світловода

Числова апертура в загальному випадку визначається відповідно до співвідношення:

$$NA = n_1 \sin U_1 . \tag{2.9}$$

З урахуванням рис. 1.7 запишемо:

$$n_1 \sin U_1 = n_c \sin U_c = n_c \sin(90 - \varepsilon_k) = \left[\varepsilon_k = \arcsin \frac{n_n}{n_c} \right] = n_c \cos \varepsilon_k = n_c \sqrt{1 - \sin^2 \varepsilon_k} =$$

$$= n_c \sqrt{1 - \left(\frac{n_n}{n_c} \right)^2} = \sqrt{n_c^2 - n_n^2} \tag{2.10}$$

Остаточно:

$$NA = \sqrt{n_c^2 - n_n^2} \tag{2.11}$$

Співвідношення (2.11) є наближеним і дозволяє визначити числову апертуру світловода тільки з урахуванням меридіональних променів (таких, що перетинають вісь світловода). На рис. 2.5 представлений графік залежності числової апертури світловода від відношення показників заломлення покриття й серцевини і різних значень n_c.

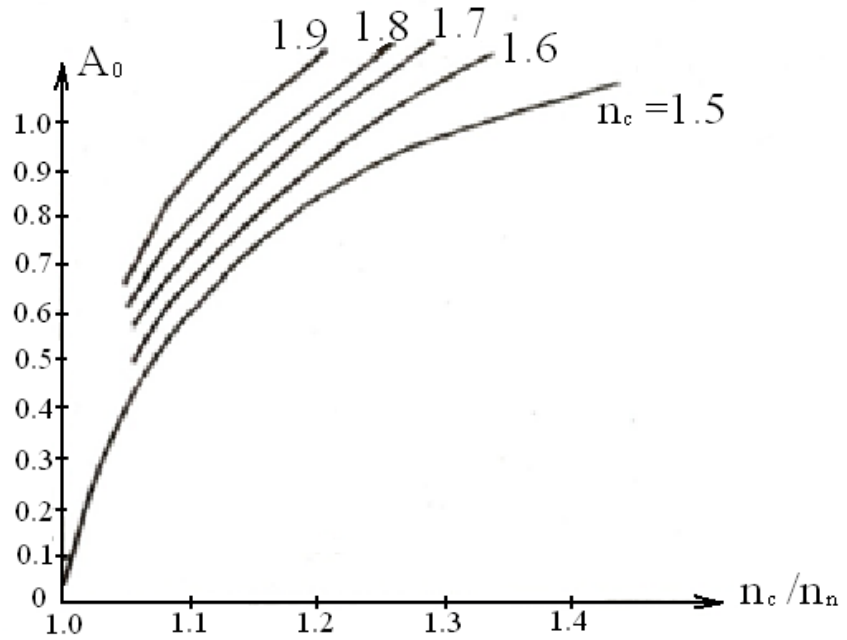


Рисунок 2.5 - Графік залежності числової апертури від відношення показників заломлення покриття й серцевини

З урахуванням косих променів значення числової апертури може бути визначене з наступного співвідношення[10-12]:

$$NA_k^2 = n_1^2 - \frac{2}{\pi}\sqrt{\left(n_c^2 - n_n^2\right)\left(n_1^2 - n_c^2 + n_n^2\right)} + \left[n_1^2 - 2\left(n_c^2 - n_n^2\right)\right]\arccos\left(\sqrt{\frac{n_c^2 - n_n^2}{n_1}}\right) \quad (2.12)$$

$$NA_k = \frac{NA_0}{\cos\gamma}, \quad (2.13)$$

де NA_k – числова апертура з урахуванням косих променів; NA_0 – числова апертура з урахуванням меридіональних променів; γ- кут між площиною розповсюдження променя і напрямком на вісь світловода (рис.2.6,б).

На рис. 2.6,а показаний хід косих променів у циліндричному світловоді.

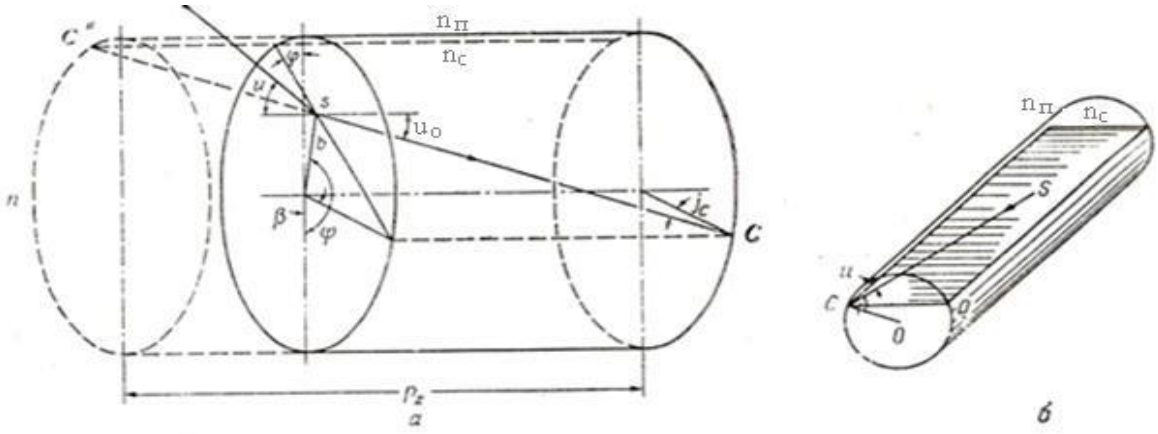


Рисунок 2.6 - Хід косих променів у циліндричному світловоді:
а) схема розповсюдження косого променя; б) схема до визначення числової апертури з урахуванням косих променів

На рис.2.7 наведений графік залежності числової апертури від показника заломлення ($n_c = 1{,}7$) з урахуванням меридіональних і косих променів.

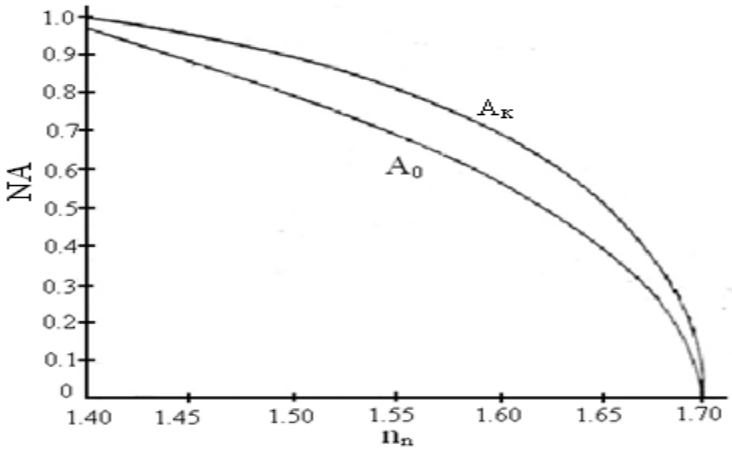


Рисунок 2.8 - Графік залежності числової апертури від показника заломлення з урахуванням меридіональних і косих променів

На рис.2.9 наведений графік залежності співвідношення A_k / A_0 від різних значень показника заломлення серцевини (n_c) і покриття (n_n).

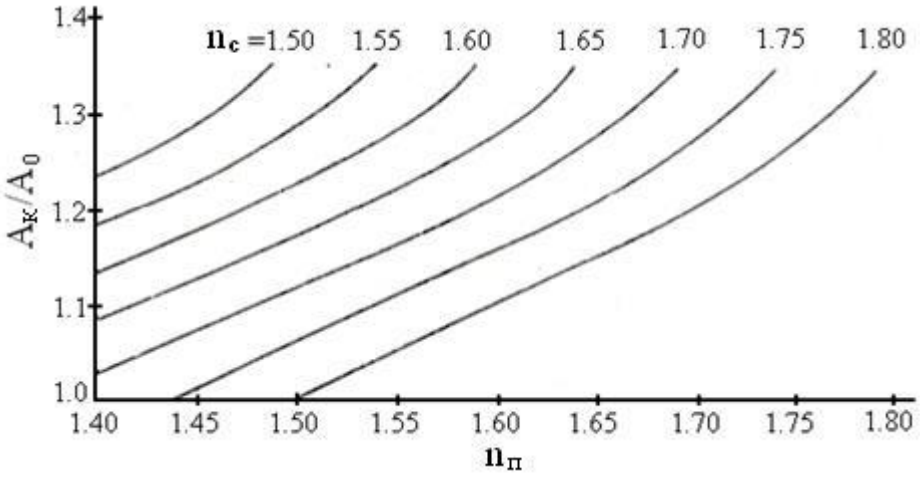


Рисунок 2.9 - Графік залежності співвідношення A_k / A_0 від показників заломлення серцевини й покриття світловода

До основних геометричних характеристик світловода також відносяться:

- довжина шляху променю, що падає під кутом U до осі волокна:

$$P(U) = \frac{l_c}{\sqrt{1 - \dfrac{\sin^2 U}{n_c^2}}} = l_c \sec U_c , \qquad (2.14)$$

де l_c – геометрична довжина світловода.

- кількість відбиттів у світловоді:

$$\eta = \frac{l_c \sin U}{d_c \sqrt{n_c^2 - \sin^2 U}} = \frac{l_c}{d_c} tgU_c \quad , \tag{2.15}$$

де d_c – діаметр серцевини світловода.

На рис. 2.10 показаний графік залежності довжини шляху променів $P(U)$ і кількості відбиттів η від кута падіння променів.

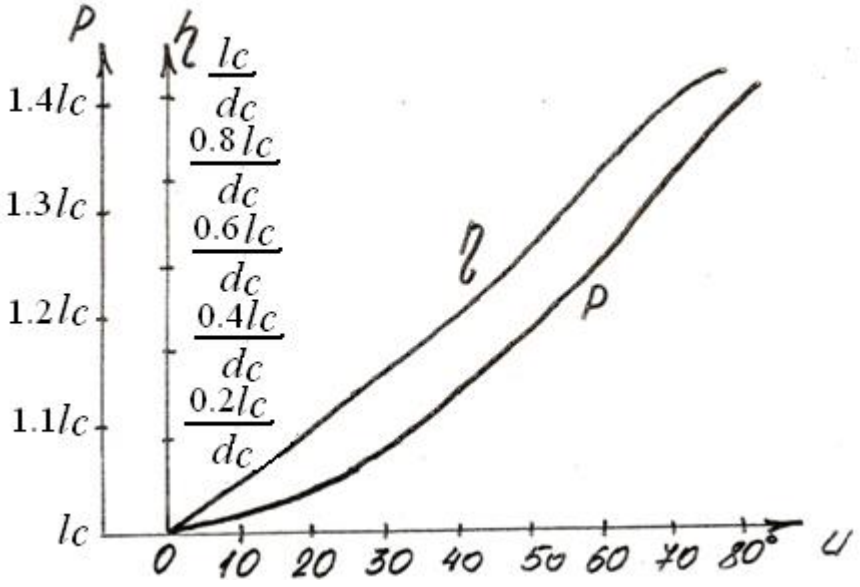


Рисунок 2.10 - Графік залежності Р та η від кута падіння променів

- відносна зміна профіля показника заломлення (ППЗ):

$$\Delta = \frac{n_c - n_n}{n_c} . \tag{2.16}$$

- нормована частота V, що визначає тип світловода:
  - одномодовий – $V < 2{,}4$;
  - багатомодовий – $V > 2{,}4$;
  - нестійка межа - $V = 2{,}4$.

Нормована частота визначається з співвідношення:

$$V = \frac{\pi \cdot d_c}{\lambda} \sqrt{n_c^2 - n_n^2} \tag{2.17}$$

При нестійкій межі тип світловода визначається довжиною хвилі випромінювання λ.

- критична частота світловода ν_k визначає граничну частоту електромагнітного випромінювання, що відповідає можливості поширення у світловоді однієї або більше мод:

$$\nu_k = \frac{c \cdot V}{\pi \cdot d_c \sqrt{n_c^2 - n_n^2}}. \quad (2.18)$$

- довжина хвилі зрізу визначає граничну довжину хвилі випромінювання, що відповідає одномодовому або багатомодовому режиму роботи:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_k}. \quad (2.19)$$

1. Числова апертура

$$\mathrm{NA} = \sqrt{\mathrm{n_c^2 - n_n^2}} = \sqrt{1{,}46^2 - 1{,}457^2} = 0{,}093 \approx 0{,}1. \quad (2.20)$$

$u_a \approx 6^o$.

2. Довжина шляху

$$\sin u_c = \frac{\sin u}{n_c} = \frac{0.1}{1.46} = 0.07$$

$$\sec u_c = \frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 u_c}} = \frac{1}{0.997} = 1.003.$$

$$P(u) = 1003 \quad м = l_c \sec u_c$$

3. Нормована частота

$$\mathrm{V} = \frac{\pi \cdot \mathrm{d}}{\lambda} \sqrt{\mathrm{n_c^2 - n_n^2}} = \frac{\pi \cdot 10}{1{,}3} \cdot 0{,}093 = 2{,}26.$$

Висновок: світловод одномодовий, оскільки V < 2,4.

4. Критична частота світловода

$$\upsilon_{кр} = \frac{c \cdot V}{\pi \cdot d_c \cdot \sqrt{n_c^2 - n_n^2}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 2{,}26}{\pi \cdot 10 \cdot 0{,}093} = 2{,}31 \cdot 10^{14} \text{Гц}.$$

5. Довжина хвилі зрізу

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_k} = \frac{3 \cdot 10^8}{2{,}31 \cdot 10^{14}} = 1{,}3 \text{ мкм}.$$

6. Відносне значення

$$\Delta = \frac{n_c - n_n}{n_c} = \frac{1{,}46 - 1{,}457}{1{,}46} = 2{,}05 \cdot 10^{-3}.$$

Провівши розрахунки і зіставивши їх із розрахунковми графіками, встановили, що апертурні параметри світловодів із днапівпровідниковими лазерними жерелами випромінювання λ_1=803нм, λ_2=824нм, λ_3=866нм, λ_4=902нм не забезпечать стійкого розподілу інтенсивності випромінювання за модовим складом.

2.3 Джерело випромінювання: АІГ:Nd^{3+} лазер з діодною накачкою

Проаналізуємо можливість використання у якості джерела випромінювання АІГ:Nd^{3+} лазер з діодною накачкою (λ= 1064 нм) [13-16]. Схематично конструкція мікролазера з пасивним модулятором добротності з генеруючим середовищем на основі монокристалу $Y_3Al_5O_{12}$:Nd (АІГ-Nd), що випромінює на довжині хвилі λ=1,064 мкм, наведена на рисунку 2.11. Накачування здійснюється лазерним діодом на основі гетероструктур GaAs-AlGaAs з $\lambda_н$ = 808 нм.

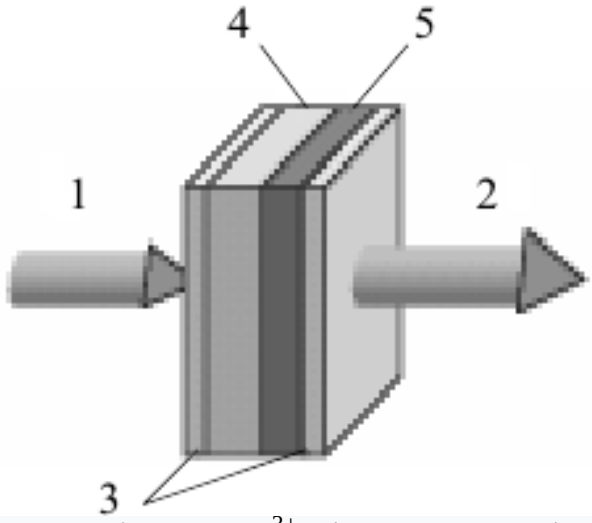


Рисунок 2.11- Конструкція АІГ:Nd^{3+} мікролазера з діодною накачкою: 1 - випромінювання накачування; 2 – вхідний лазерний промін; 3 - дзеркала резонатора; 4 - активне середовище; 5 - пасивний абсорбер.

Додаткове використання параметричних ефектів у нелінійно-оптичних кристалах типу ВВО (BaB_2O4), КТР ($KTiOPO_4$), PPLN (періодично поляризований ніобат літію) та ін. для множення чи суттєвої зміни частоти випромінювання значно розширює сферу застосування мікрочіпових лазерів. Типова схема реалізації мікрочіпового лазера з множенням частоти представлена на рисунку 2.12.

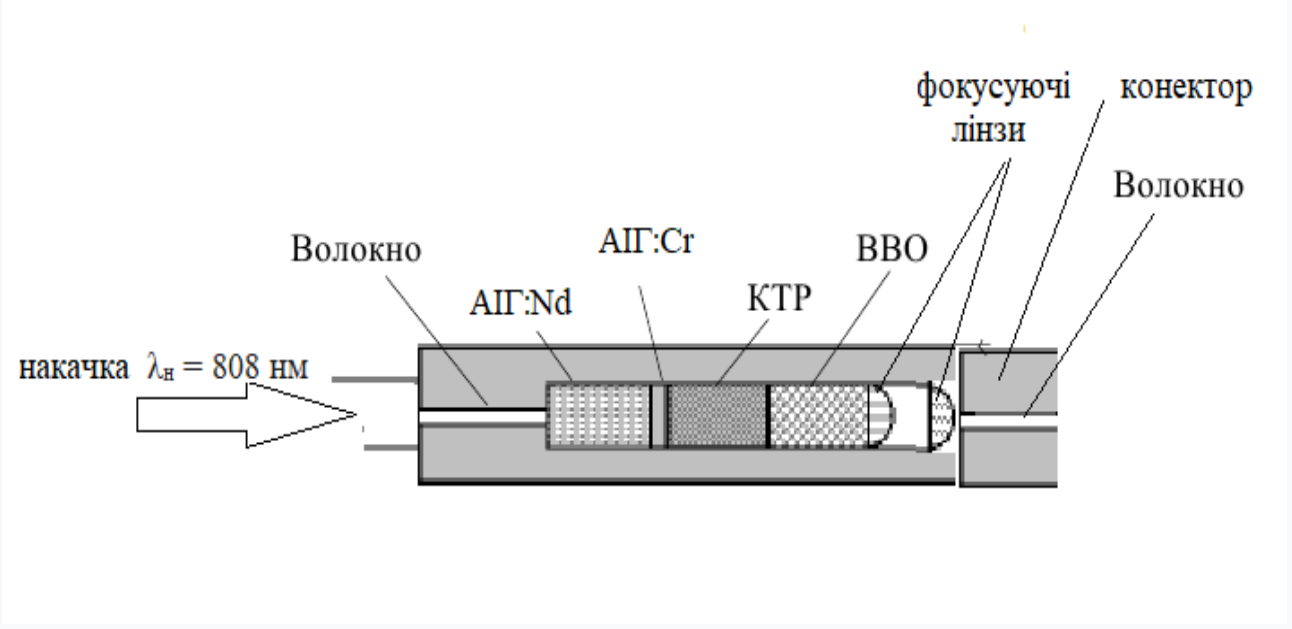


Рисунок 2.12 - Схема реалізації мікрочіпового лазера з множенням частоти

2.4 Розрахунок модового складу АІГ:Nd^{3+} мікролазера з діодною накачкою з використанням схеми множення частоти

Розрахунок модового складу випромінювання проводився за наступними формулами [17-27]:

для від'ємних одновісних кристалів при синхронізмі I типу:

$$\Theta c(I) = \arcsin\left(\frac{n_{i0}^{-2} - n_{i0}^{-2}}{n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}} = \arccos\left(\frac{n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2}}{n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.21)$$

для від'ємних одновісних кристалів при синхронізмі II типу:

$$\Theta c(II) = \arcsin\left(\frac{4(n_{i0}^{-2} - n_{i0}^{-2})}{2n_{i0}\varepsilon_{is} - n_{ie}\varepsilon_{is}}\right)^{\frac{1}{2}} = \arccos\left(\frac{2(n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2})}{2n_{ie}\varepsilon_{ic} - n_{ie}\varepsilon_{ic}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.22)$$

для позитивних одновісних кристалів при синхронізмі I типу:

$$\Theta c(I) = \arcsin\left(\frac{n_{i0}^{-2} - n_{i0}^{-2}}{n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}} = \arccos\left(\frac{n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2}}{n_{i0}^{-2} - n_{ie}^{-2}}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.23)$$

для позитивних кристалів при синхронізмі II типу:

$$\Theta c(II) = \arcsin\left[\frac{\left(\frac{n_{i0}}{2n_{i0} - n_{i0}}\right)^2 - 1}{\left(\frac{n_{i0}}{n_{ie}}\right)^2 - 1}\right]^{\frac{1}{2}} = \arccos\left[\frac{\left(\frac{n_{ie}}{2n_{i0} - n_{i0}}\right)^2 - 1}{\left(\frac{n_{ie}}{n_{i0}}\right)^2 - 1}\right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2.24)$$

де, n_o – показник заломлення звичайного променя, n_e – показник заломлення незвичайного променя, $\varepsilon_{is} = 1 - \left(\frac{n_{i0}}{n_{ie}}\right)^2$, $\varepsilon_{ic} = 1 - \left(\frac{n_{ie}}{n_{i0}}\right)^2$, i – індекси відповідних гармонік.

Як видно із формул (2.21 – 2.24) для розрахунку кутів фазового синхронізму потрібні значення відповідних показників заломлення. Вимірювання показників заломлення проводилися за методом найменшого відхилення на гоніометрі ГС-5. Для вимірювань використовувалася призма з робочими поверхнями розміром 3×5 мм^2 і кутом при вершині ~ 30°, зорієнтована таким чином, що в положенні найменшого відхилення хід

променів був спрямований вздовж кристалооптичної вісі X. Вимірювання проводились в інтервалі довжин хвиль від 0,266 мкм до 1,064 мкм. Як джерело випромінювання використовувався He-Ne лазер (λ = 0,633 мкм), а також АІГ:Nd^{3+} лазер і його гармоніки.

Результати вимірювань показників заломлення представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Показники заломлення

λ, мкм	n_0	n_e
0,266	1,7585	1,6129
0,532	1,6740	1,5551
0,633	1,6674	1,5501
1,064	1,6553	1,5392

За значенням показників заломлення методом найменших квадратів розраховані коефіцієнти рівняння Селмейєра [18]:

$$n^2 = A + \frac{B}{\left(\lambda^2 - C\right)} - D\lambda^2 \ , \qquad (2.25)$$

де n – показник заломлення; A, B, C і D – коефіцієнти; λ - довжина хвилі.

Результати розрахунку коефіцієнтів рівняння Селмейєра представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 - Коефіцієнти рівняння Селмейєра

	A	B	C	D
n_0	2,7360	0,01877	0,01823	0,01353
n_e	2,3752	0,01223	0,01668	0,01517

Результати розрахунку представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Модовий склад випромінювання для генерації гармонік випромінювання АІГ:Nd^{3+} лазера

Довжина хвилі, мкм	Показник заломлення		Тип взаємодії
	n_0	n_e	
1	2	3	4
Друга гармоніка			
λ_1 =1,064	1,6545	1,5392	OOE
λ_2 =0,532	1,6545	1,5392	EOE
λ_2= 0,532	1,6742	1,5547	OEE
Третя гармоніка			
λ_1 = 1,064	1,6545	1,5392	OOE
λ_2 = 0,532	1,6742	1,5547	EOE
λ_3 = 0,355	1,7055	1,5766	OEE
Четверта гармоніка			
λ_1 = 0,532	1,6742	1,5547	OOE
λ_2 = 0,532	1,6742	1,5547	EOE
λ_3 = 0,266	1,7585	1,6126	OEE
П’ята гармоніка (I +IV)			
λ_1 = 1,064	1,6545	1,5392	OOE
λ_2 = 0,266	1,7585	1,6126	EOE
λ_3 = 0,212	1,8518	1,6740	
П’ята гармоніка (II+ III)			
λ_1 = 0,532	1,6742	1,5547	
λ_2 = 0,355	1,7055	1,5766	OOE
λ_3 = 0,212	1,8518	1,6740	

Розраховані значення модового складу випромінювання співпадають зі значеннями кутів фазового синхронізму, представленими у роботі [17]. Як видно із отриманих результатів, уже на виході випромінювача буде спостерігатись стійкий модовий склад, який передається до оптичного каналу.

2.5 Елементи з’дєнання оптичних волокон пристрою

Якщо з’єднання оптоволокна не потребує додаткового розширення, або фокусування оптичного променя застосовуємо стандартний тип з’днання – фокон. Схема фокона представлена на рисунку 2.13 [21].

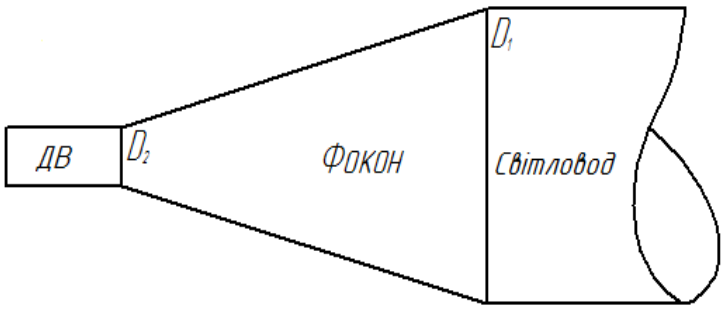


Рисунок 2.13 – Схема вводу випромінювання у світловод із застосуванням фокона

При зменшенні розміру оптичного каналу, або за потри фокусування викоритовуємо з’єднання за допомогою мікролінз та градієнтних лінз (селфок).

Типові схеми з’єднань за допомогою мікролінз предствлено на рисунку 2.14 [21].

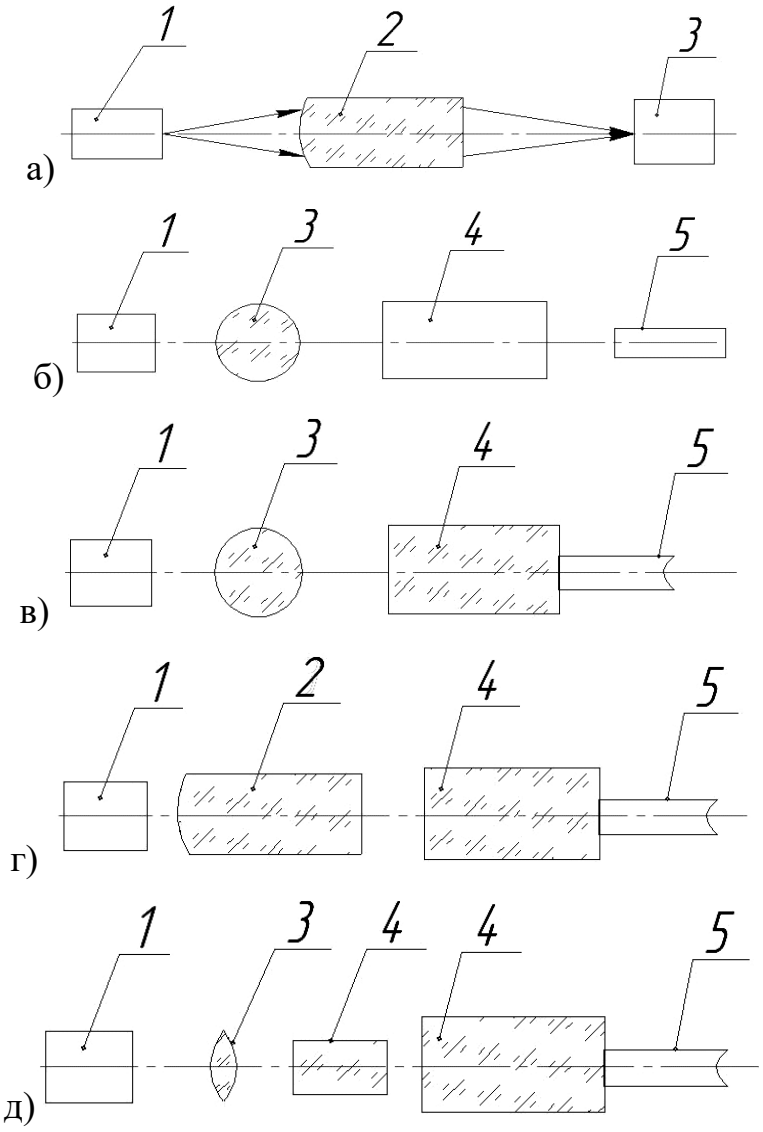


Рисунок 2.14 - Застосування комбінацій лінз для вводу випромінювання: 1 - джерело випромінювання; 2 - градієнтна лінза або селфок; 3 - сферична мікролінза; 4 - селфок; 5 - одномодовий світловод.

Розрахуємо параметри селфока, що використовується у схемах вводу пиромінювання.

Градієнтна лінза - це циліндр з діаметром 2 - 4мм, у якого показник заломлення від центра до краю змінюється за певним законом. Один з найбільш використовуваних законів має наступний вигляд [21]:

$$\frac{n(y)}{n_0} = 1 - 0.5g^2y^2 \quad , \tag{2.26}$$

де $n(y)$ - характеристика залежності ППП від центра до краю селфока;

n_0 – показник заломлення в центрі селфока;

y – координата, перпендикулярна до оптичної осі;

g – коефіцієнт, що враховує фокусуючі властивості селфока.

Усередині селфока траєкторія луча являє собою гармонічну функцію. Вид цієї функції - рішення диференціального рівняння [21]:

$$\frac{d^2y}{dz^2} = -\Phi \cdot y \quad , \tag{2.26}$$

де Φ – оптична сила селфока;

z – координата в напрямку його осі.

В окремому випадку траєкторія луча в селфоці описується рівнянням:

$$y(z) = y_0 \cos(\Phi \cdot z) - \frac{\sigma_0}{\Phi} \cdot \sin(\Phi \cdot z) \tag{2.27}$$

де y_0 і σ_0 – лінійна й кутова координати луча при $z = 0$.

Хід променів у селфоці показаний на рис. 4.6.

Передня і задня фокусні відстані селфока довжиною d, а також вершинні відрізки селфока можуть бути визначені зі співвідношень:

$$-\frac{1}{n \cdot f} = \frac{1}{n' \cdot f'} = \left(\frac{\Phi}{n_0}\right) \cdot \sin(d \cdot \Phi) \quad ; \tag{2.28}$$

$$n \cdot S_H = -n' \cdot S'_H = \left(\frac{n_0}{\Phi}\right) \cdot tg\left(\frac{d \cdot \Phi}{2}\right),$$

де n, n' і n_0 – показники заломлення в площині предметів, площині зображень і в центрі селфока.

Предметний відрізок a для селфока визначається наступним співвідношенням [21]:

$$a = \frac{\cos(d \cdot g) - \frac{1}{\beta}}{g \cdot \sin(d \cdot g)} \quad , \tag{2.29}$$

де d - довжина селфока;

g - коефіцієнт, що визначає фокусуючу властивість селфока.

Збільшення селфока для схеми пов'язаної з джерелом випромінювання і представленої на рис. 4.8, визначається наступним співвідношенням:

$$\beta = \frac{d_\partial}{d_c} \quad , \tag{2.30}$$

де d_∂ – діаметр випромінюючої площини джерела випромінювання ;

d_c – діаметр осердя світловода.

Збільшення селфока для схеми пов’язаної з фотоприймачем випромінювання і представленої на рис.4.8 визначається наступним співвідношенням [21]:

$$\beta = \frac{d_{np}}{d_c} \quad , \tag{2.31}$$

де d_{np} – діаметр чутливої площини фотоприймача.

Зі співвідношення, що визначає залежність показника заломлення від поперечної координати, маємо:

$$\frac{n(y_{\max})}{n_0} = 1 - 0.5 g^2 y^2{}_{\max} \quad . \tag{2.32}$$

При відомих значеннях n_0, $n(y_{\max})$ і $y_{\max}$, коефіцієнт, що визначає фокусуючу властивість селфока, розраховують по формулі:

$$g^2 = \frac{2 \cdot \left(1 - \frac{n(y_{\max})}{n_0}\right)}{y^2{}_{\max}} \quad . \tag{2.33}$$

Скориставшись співвідношенням (4.55), прийнявши $a = 0$, отримаємо:

$$\cos(d \cdot g) - \frac{1}{\beta} = 0 \ ; \tag{2.34}$$

$$\arccos\frac{1}{\beta} = d \cdot g \ \text{(рад)} \quad . \tag{2.35}$$

Довжину селфока з урахуванням співвідношення (4.61) визначають по формулі:

$$\frac{\arccos\frac{1}{\beta}}{g} = d \quad . \tag{2.36}$$

Відстань від вихідного торця селфока до площини випромінювача або фотоприймача визначається співвідношенням:

$$d = \frac{\cos(d \cdot g) - \frac{\beta}{2}}{g \cdot \sin(d \cdot g)}. \tag{2.37}$$

Хід променя у селфоці предсавлено на рисунку 2.15[21]

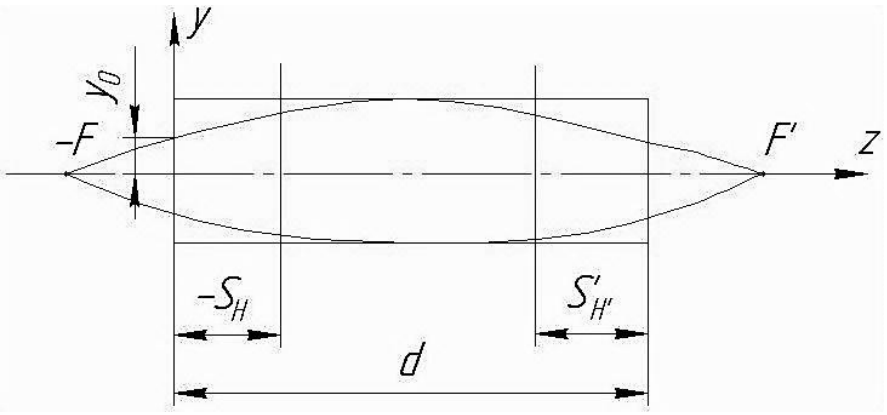


Рисунок 2.15 - Хід променів у селфоці [21]

Обираємо найбільш оптимальний тип з’єднання – схему а (рисунок 2.14).

2.6 Електронна схема джерела живлення напіпровідникового лазера накачування

Приймачі випромінювання можна розділити на дві групи: теплові та фотоелектронні. Чутливий елемент теплових приймачів реагує на кількість енергії, витраченої на його нагрівання випромінюванням. Теплові фотоприймачі є неселективними, тобто вони однаково чутливі в широкому діапазоні довжин хвиль. Відгук фотоелектронних приймачів виникає завдяки взаємодії падаючого випромінювання з електронною підсистемою матеріалу. Їм властива неоднакова чутливість до випромінювання різних довжин хвиль. Найбільш поширеними тепловими фотоприймачами інфрачервоного діапазону є болометри, пневматичні та піроелектричні приймачі, а фотоелектронними – фотодіоди і фоторезистори. В основі роботи фотоелектронних напівпровідникових приймачів, лежить явище внутрішнього фотоефекту [22,23].

На цей час в ближньому ІЧ-діапазоні найбільш поширені фотодіоди на основі германію (Ge), твердого розчину арсенід галію-індію (InGaAs), та кремнію (Si), які здатні приймати випромінювання тільки в діапазоні довжин хвиль від 400 нм до 1100 нм, а оскільки лінії поглинання різних речовин або спектри випромінювання джерел світла знаходяться далі, то для їх виявлення потрібний інший діод. Спектральні характеристики найпоширеніших фотодіодів наведені на рисунку 2.16 [22,23].

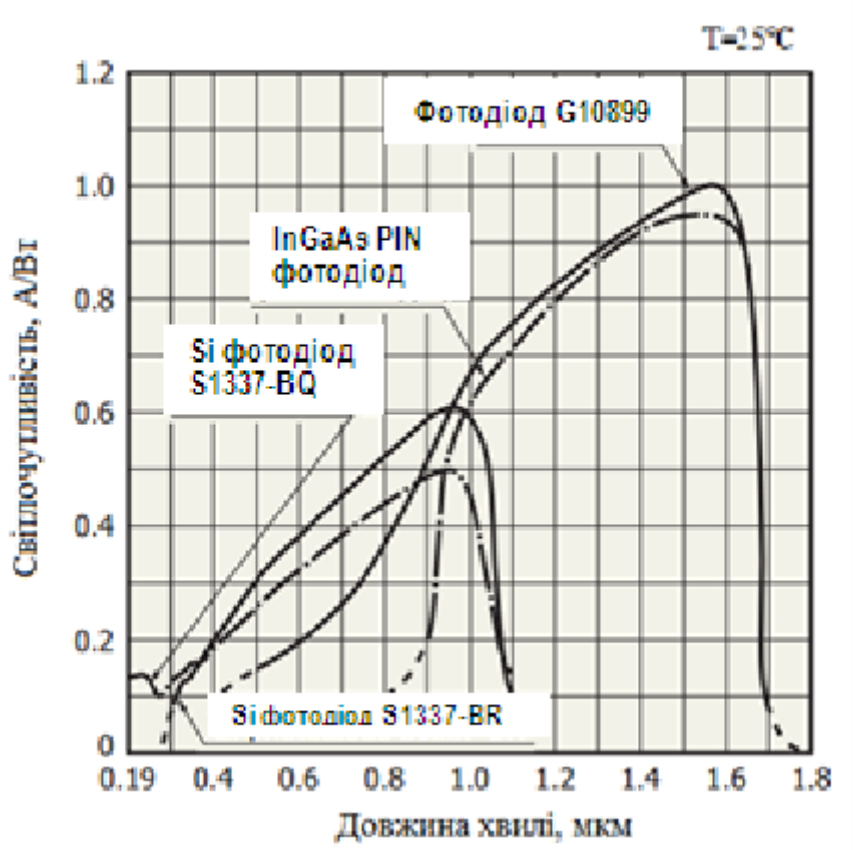


Рисунок 2.16. - Спектральна відповідність діодів різного типу

На цей час розроблено серію G10899 PIN-фотодіодів на основі InGaAs (рис. 2.17). Особливостями його є: широкий спектральний діапазон чутливості (від 0,5 мкм до 1,7 мкм), низький рівень шуму, низький темновий струм, велика активна зона. Технічні характеристики фотодіодів G10899 наведені в таблиці 2.4 [22,23].

Таблиця 2.4 Технічні характеристики фотодіодів G10899 при T=25 °C

Тип			G10899-003 K	G10899-005 K	G10899-01 K	G10899-02 K	G10899-03 K
Спектральний діапазон, λ, мкм			0,5 — 1,7				
Максимальна довжина хвилі чутливості, λ_p, мкм			1,55				
Світлочутливість, S	λ = 0,65 мкм	мін., (А / В)	0,15				
		тип., (А /В)	0,22				
	λ = 0,85 мкм	мін., (А / В)	0,35				
		тип., (А /В)	0,45				
	λ = 1,3 мкм	мін., (А / В)	0,5				
		тип., (А /В)	0,9				
	$\lambda = \lambda_p$	мін., (А / В)	0,85				
		тип., (А /В)	1				
Темновий струм, нА		тип., нА	0,3	0,5	1	5	15
		макс., нА	1,5	2,5	5	25	75

На рисунку 2.17 представлено загальний вигляд фотодіода G10899-03K.



Рисунок 2.17 - Загальний вигляд фотодіода G10899-03K.

Для ефективної роботи фотоприймального пристрою розроблено схему реєстрації сигналів на основі двухкаскадного підсилювача. Схему представлено на рисунку 2.18 [24].

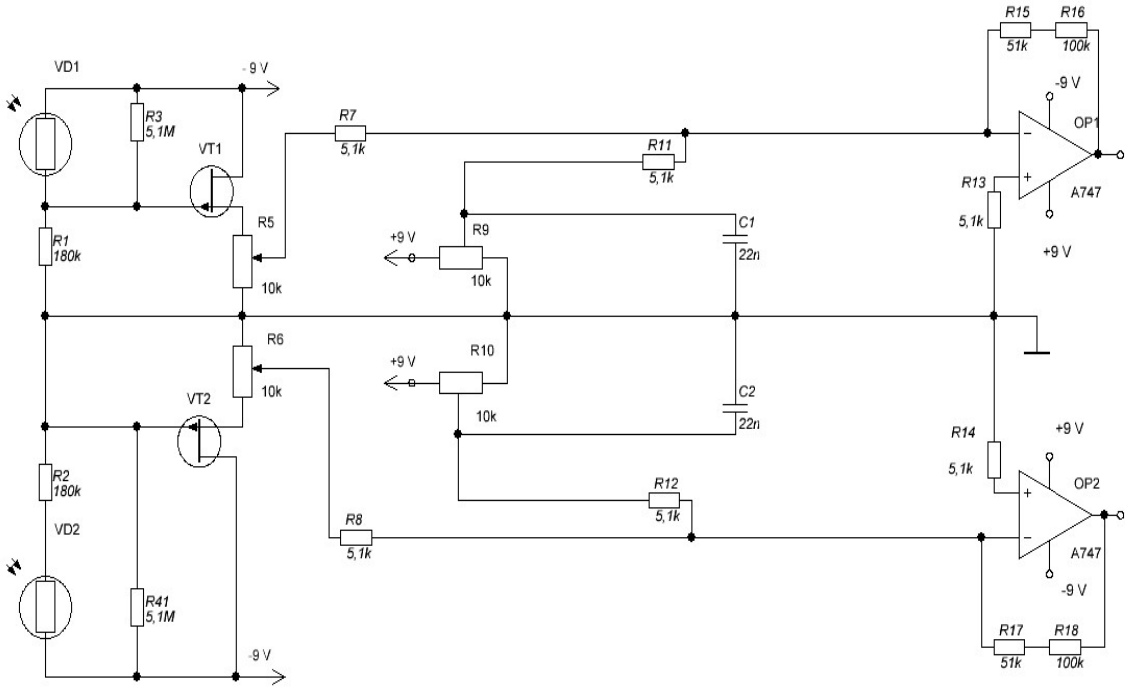


Рисунок 2.18 - Електрична схема фотоприймального пристрою

Після проходження імпульсів світла через оптичну складову підсилення, кванти потрапляють на фоторезистори або фотодіоди, розташовані на вході схеми. Далі, через перший каскад, створений на польових транзисторах типу КП103, сигнал поступає на канал підсилення на операційних підсилювачах типу А747. У схеми значний вхідний опір - до 5 МОм. Коефіцієнт підсилення другого каскаду становить 150 – 200. Із виходу другого каскаду сигнал поступає на АЦП, потім через інтерфейсну систему на персональний комп’ютер (ПК).

У роботі проведено моделювання роботи схеми у програмному середовищі Proteus. Результати представлено на рисунку 2.19.

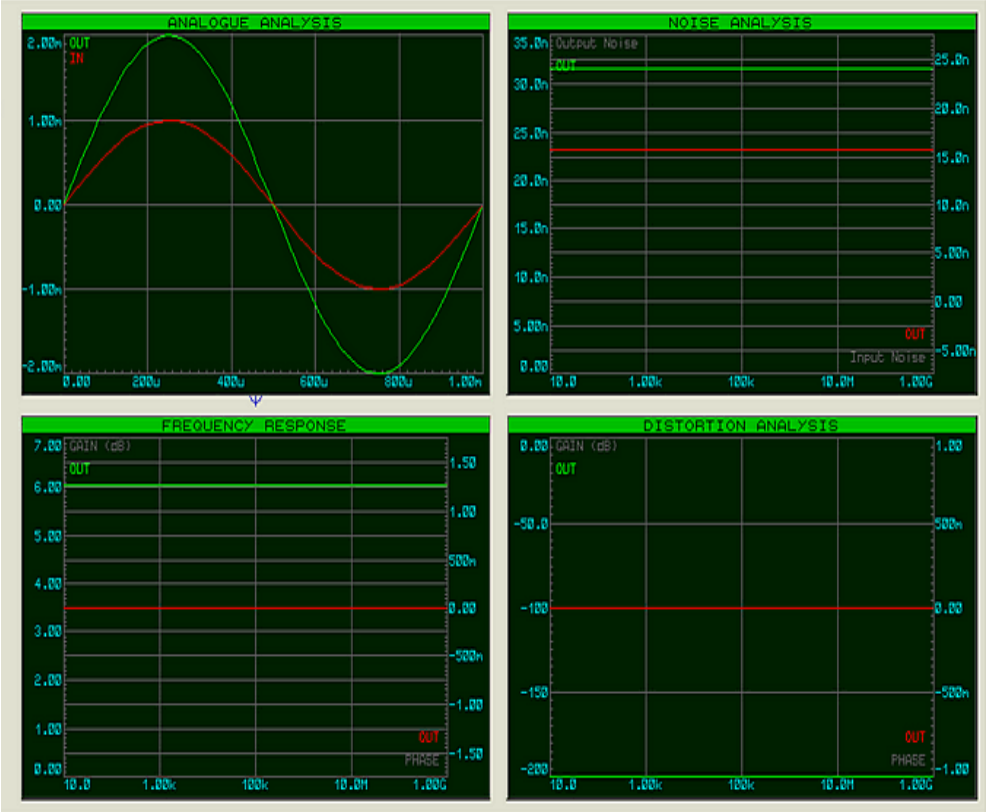


Рисунок 2.19. - Моделювання роботи схеми фотоприймального пристрою в середовищі Proteus.

Як видно із рисунку 2.19 використання розроблюваної схеми забезпечує стабільний сигнал із мінімальними спотвореннями.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) для квантово-оптичних інформаційних систем (КОІС) важливим показиком оцінки якості перенесеного інформаційного сигналу є модовий склад випромінювання, та його ефективність. Тому, розробку структурної схеми пристрою будемо проводити із урахуванням того, що випромінювання (лазерне випромінювання) буде мати стабільні модові показники інформаційного оптичного каналу

2) у якості джерела випромінювання використовуємо АІГ:Nd^{3+} мікро-лазер з діодною накачкою (λ= 1064 нм) Як видно із отриманих результатів, уже

3) на виході випромінювача буде спостерігатись стійкий модовий склад, який передається до оптичного каналу;

4) додаткове використання параметричних ефектів у нелінійно-оптичних кристалах типу BBO (BaB_2O4), KTP ($KTiOPO_4$), PPLN (періодично поляризований ніобат літію) та ін. для множення чи суттєвої зміни частоти випромінювання значно розширює сферу застосування мікрочіпових лазерів;

5) у якості з’єднання оптоволокна і пристрою тестування використовуємо селфок, як найбільш оптимальний за кількістю елементів;

6) у якості реєстратора використовуємо фотодіод G10899, як найбільш оптимальний заспектральними характеристиками;

7) для ефективної роботи фотоприймального пристрою розроблено схему реєстрації сигналів на основі двухкаскадного підсилювача;

8) Proteus було проведено моделювання основних функціональних блоків системи. Результати моделювання добре узгоджуються із розрахунками.

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного модуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонкоплівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [25].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді товстих композітних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з’єднання виконані у вигляді тонкіх плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [25].

У матриці прийняті наступні позначення: *i* – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) *i* = 1, 2, 3, 4, 5, 6; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага і-го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
∑							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію , то і = 1, 2, 3, 4.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}}{\sum_{i=1}^{4}\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}},$$

де $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
$\sum$					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
$\sum$					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
$\sum$					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
∑					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
∑					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
∑					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [25].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схем пристрою для моніторинга

стану оптичних волокон, з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій реалізації схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблицях 3.11, 3.12. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 1799,05 грн.

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості матеріалів на виробництво інтегрально-оптичного підсилювача для оптичних систем передачі інформації

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Мікросхема MAX4251	шт.	4	30,80	123,20
Мікросхема MAX4253	шт.	1	45,90	45,90
Мікросхема 7408PC	шт.	3	44,05	132,15
Мікроструктури 0603	уп.	5	45,00	225,00
Мікросхема MAX4254	шт.	1	56,20	56,20
Мікросхема LA4510	шт.	1	35,20	35,20
Мікросхема LM317me	шт.	1	56,50	56,50
Лазерний діод HL	шт.	4	175,00	700,00
Оптичне волокно	м	10	30	300
Всього				1674,15

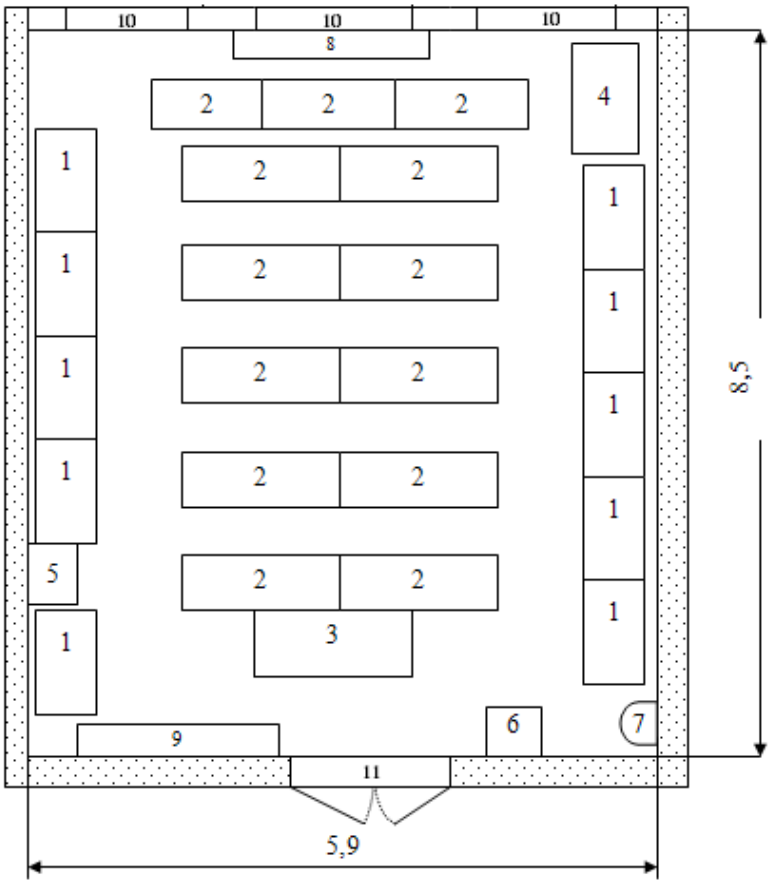
Таблиця 3.12 – Розрахунок вартості напівфабрикатів

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Усього витрат грн.
Фольгований текстоліт 100 × 100	шт.	1	38,00	38,00
Травильник	уп.	1	34,90	34,90
Трафарет	шт.	2	26	52,00
Всього				124,90

4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем пристрою для моніторинга стану оптичних волокон

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В даному розділі як об’єкт дослідження розглянуто приміщення в якому проводяться лабораторні роботи та роботи з відео термінальними пристроями. План приміщення наведено на рисунку 4.1.



1 - стіл комп’ютерний, 2 - стіл аудиторний, 3 - стіл викладача, 4 - установка Холла, 5 - шафа силова, 6 - сейф, 7 - умивальник, 8 - спліт система, 9 - дошка аудиторна, 10 - вікно, 11 - двері

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць

Приміщення, в якому знаходяться відео термінальні пристрої, має такі характеристики:

- довжина приміщення 8,5 м;
- ширина приміщення 5,9 м;
- висота 4 м;
- число вікон 3;
- кількість робочих місць 28;
- забарвлення інтер'єру: біла стеля, блідо-бежеві стіни, підлога бетонна, обтягнута лінолеумом коричневого кольору.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника представлені в таблиці 4.1 [26].

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника телекомунікаційної лабораторії

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки _____ II клас небезпеки _____ III-IV клас небезпеки _____						
2	Пил переважно фіброгенної дії,						

	мг/м^3						
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ						
4	Шум, дБА						
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
7	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон промислової частоти, кВ/м - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м^2						
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, ^{0}С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	21 – 25 не більше 0,2 не більше 75 100	22 0,1 60				100 100 100
9	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці - легка, категорія напруженості праці - мало напружена					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основними заходами запобігання ураження електричним струмом в лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, застосування малих напруг, захисного заземлення і відключення, а також організаційні заходи.

Захист від дотику до струмоведучих частин електричної установки досягається ізоляцією, огорожею, недоступним розташуванням струмоведучих частин, використанням дистанційного управління, блокування і попереджувальної сигналізації.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи [26].

У зв'язку з тим, що природне освітлення лабораторії здійснюється через віконні отвори і є недостатнім в осінній та зимовий період, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

При організації робочих місць лабораторії потрібно також враховувати колірне оформлення. Малонасичені (основні) кольори застосовуються для забарвлення великих полів (стеля, стіни, робочі поверхні і тому подібне), середньо насичені (допоміжні) – для невеликих поверхонь або ділянок, які рідко потрапляють у поле зору працівників, а також для створення контрастів; насичені (акцентні) – для маленьких за площею поверхонь як функціональне забарвлення [27].

Використовують також гармонійні колірні поєднання в колірній композиції інтер'єру приміщення. При цьому кольори для обробних матеріалів і виробів слід обрати з врахуванням їх фактури; поверхні в приміщенні повинні мати матову і напівматову фактуру для виключення попадання відбитих відблисків в очі працівника.

У приміщеннях повинні забезпечуватися наступні величини коефіцієнтів віддзеркалення: для стелі 60-70%; для стін 40-50%; для підлоги – 30%; для інших відзеркалювальних поверхонь робочих меблів 30-40% [28,29].

Працівники лабораторії повинні строго дотримуватися визначеного нормативними документами режиму праці і відпочинку з чітко регламентованими перервами. Основною перервою є перерва на обід. Для працівників, що виконують операторські функції, вводяться додаткові перерви: 2 перерви по 10 хвилин кожен при 8 годинному робочому дні, через 3 години роботи і за 2 години до її закінчення.

Режим праці і відпочинку залежить від характеру виконуваної роботи: при введенні даних, редагуванні програм, читанні інформації з екрану безперервна тривалість роботи не повинна перевищувати 4 годин, а кількість оброблюваних символів 30000 при 8 годинному робочому дні. Також рекомендується через кожну годину роботи за комп'ютером робити 5-10 хвилинних перерв, а через 2 години – 15 хвилинна перерва. Для зниження напруженості праці необхідно рівномірно розподіляти навантаження і раціонально чергувати характер діяльності прийом – видачу результатів з роботою на клавіатурі комп'ютера. Вночі не повинні виконаються роботи або завдання, що вимагають складних рішень або відповідальних дій [26].

Для устаткування робочого місця краще використовувати спеціальні столи і стільці, що дають можливість регулювати положення всіх вузлів, - висоти столу, полички для клавіатури, крісла користувача;

- висоту клавіатури слід відрегулювати так, щоб кисть розташовувалася прямо;

- спина має бути пряма, кут між стегнами і хребтом теж прямий, для чого слід підібрати таке крісло, спинка якого здатна підтримувати спину користувача.

- монітор слід розташувати так, щоб нижній рівень екрану знаходився на 20…25 см нижче за рівень очей, а рівень верхньої кромки розташовувався на висоті лоба, від екрану монітора до очей має бути не менше 75…120 см.

- відстань між столами з комп'ютерами - не менше 1,5 метрів, між моніторами - не менше 2,2 метрів.

- екран комп'ютера краще розташувати під прямим кутом по відношенню до вікон, які необхідно завісити або закрити жалюзі.

4.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [29].

Для нашого приміщення температура підтримується завдяки вентиляції (природної і штучної) в теплу пору року, та за допомогою опалення та герметизації приміщення в холодну пору року. Оптимальні норми температури для холодної пори року 21-23°С, для теплої складає 22-24°С.

Наше приміщення відповідає цим температурним нормам.

В даному приміщенні є два види вентиляції:

– природна (аерація через вікна і двері);

– примусова (приточно-витяжна).

Функціонально близьким, але відмінним від вентиляції за способом повітрообміну є кондиціонування. В даному приміщені є наявність кондиціонера, який підтримує в приміщенні комфортні умови незалежно від зовнішніх умов (визначеної температури, вологості, чистоти повітря і швидкості повітряних потоків).

Вологість повітря в даному приміщенні не 40-60%, що відповідає оптимальним нормам. Це реалізується за допомогою вентиляції і кондиціонування приміщення, а також за рахунок проведення вологих збирань.

У приміщенні є наявність відео термінальних пристроїв та учбових стендів для проведення лабораторних робіт. Всі ці устаткування мають низький рівень шуму, що в свою чергу не перевищує допустиму норму рівня шуму в 65 дБ.

В нашому приміщенні, де знаходяться відео термінальні пристрої, використовується змішане освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення.

В якості природного - бокове освітлення через вікна. В даному приміщенні використовується загальне штучне освітлення.

Розрахунок його здійснюється за методом світлового потоку з урахуванням потоку, відбитого від стін і стелі [29].

Нормами для даних робіт в даному приміщенні встановлена необхідна освітленість робочого місця Ен = 300лк (середня точність роботи по розрізненню деталей розміром від 1 до 10 мм).

4.4 Електробезпека

Приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ і ГОСТу 12.1.013-78 являється приміщенням без підвищеної небезпеки [27].

Приміщення сухе, добре опалюване з струмонепровідною підлогою, з температурою 18-24 °С, з вологістю 40-50%. З електроустаткувань в ньому знаходяться відео термінальні пристрої та учбові стенди, які знаходяться під напругою.

Причини ураження електричним струмом [26-29].

1. Пошкодження устаткування.
2. Пошкодження ізоляції.
3. Коротке замикання на землю або на корпус.
4. Порушення правил техніки безпеки и роботи с електроустаткуванням.

Для забезпечення електробезпеки в даному приміщенні використовуються такі технічні засоби:

- захисне заземлення;
- мала напруга;

- захисне відімкнення;
- ізоляція струмопроводів;
- знаки безпеки.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою.

Учбові стенди, які знаходяться в приміщенні, працюють на мінімально можливих напругах, що забезпечує додаткову безпеку.

Усі електроустаткування можна у разі потреби вимкнути через електронний щит управління, який миттєво знеструмлює усі стенди та відео термінальні пристрої. Скрізь, де встановлені розетки є попереджувальні знаки.

4.5 Пожежна та техногенна безпека об’єкту

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “Б” [5-7].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;

- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх

- монтажу та експлуатації;

- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е” [29]. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщені є два вуглекислих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщені вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустаткування. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі. Ширина шляхів евакуації в світлі

повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. При дверях, що відкриваються з приміщень в загальні коридори, за ширину евакуаційного шляху коридором слід приймати ширину коридору, зменшену:

- на половину ширини дверного полотна - при однобічному розташуванні дверей,

- на ширину дверного полотна - при двосторонньому розташуванні дверей.

Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. У підлозі на шляхах евакуації не допускаються перепади висот менше 45 см і виступи, винятком порогів в дверних отворах. Висота дверей у просвіті на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

4.6 Розрахунок освітлення робочого місця

Загальний світловий потік визначається за формулою [29]:

$$F_{зсп} = \frac{E_н \cdot S \cdot z1 \cdot z2}{V} \qquad (4.1)$$

де $E_н$ - нормована освітленість ($E_н$ = 300лк), S - площа приміщення; z1 - коефіцієнт, що враховує старіння ламп і забруднення світильників (z1=1,5); z2 - коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення приміщення (z2 = 1,1); V - коефіцієнт використання світлового потоку, визначається в залежності від коефіцієнтів відбиття від стін, стелі, робочих поверхонь, типів світильників і геометрії приміщення.

Площа приміщення:

$$S = A \cdot B = 8{,}5 \cdot 5{,}9 = 50{,}12 см^2 \qquad (4.2)$$

Виберемо з таблиці коефіцієнт використання світлового потоку за наступними даними:

- коефіцієнт відбиття білої стелі Rп=70%;

- коефіцієнт відбиття від стін, забарвлених в світлу фарбу Rст=50%;
- коефіцієнт відбиття від підлоги, покритої лінолеумом темного кольору Rр=10%;
- індекс приміщення

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8{,}5 \cdot 5{,}9}{4 \cdot (8{,}5 + 5{,}9)} = 0{,}87 \qquad (4.3)$$

Знайдений коефіцієнт [3]: V = 0,62.

За формулою (1.1) визначаємо загальний світловий потік:

$$F_{зсп} = \frac{300 \cdot 50{,}15 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}5}{0{,}62} = 40039 \text{ лк.}$$

Для організації загального штучного освітлення виберемо лампи типу ЛБ65.

Люмінесцентні лампи мають ряд переваг перед лампами розжарювання: їх спектр ближче до природного; вони мають велику економічність (більше світловіддача) і термін служби у 10-12 раз більше. Поряд з цим є й недоліки: їх робота супроводжується іноді шумом; гірше працюють при низьких температурах; їх не можна застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях; мають малу інерційність. Для нашого приміщення люмінесцентні лампи підходять.

Світловий потік однієї лампи ЛБ65 становить не менш $F_л$ = 4600 лм. Число N ламп, необхідних для організації загального освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{F_{зсп}}{F_л} = \frac{40039}{4600} = 12 \qquad (4.4)$$

В якості світильників вибираємо ПВЛ-1, 2×65 Вт. Електрична потужність однієї лампи ЛБ65 $W_л$ = 65 Вт.

Потужність всієї освітлювальної системи:

$$W_{ос} = W_л \cdot N = 65 \cdot 12 = 780 Вт \qquad (4.5)$$

Розміщення світильників ПВЛ-1, 2×65 Вт представлено на рисунку 4.2.

Таким чином, щоб забезпечити світловий потік $F_{зсп}$ = 40039 лм в даному приміщенні використовується 6 світильників по 2 лампи ЛБ65 в кожному. Згідно розрахунків освітленість приміщення відповідає встановленим нормам.

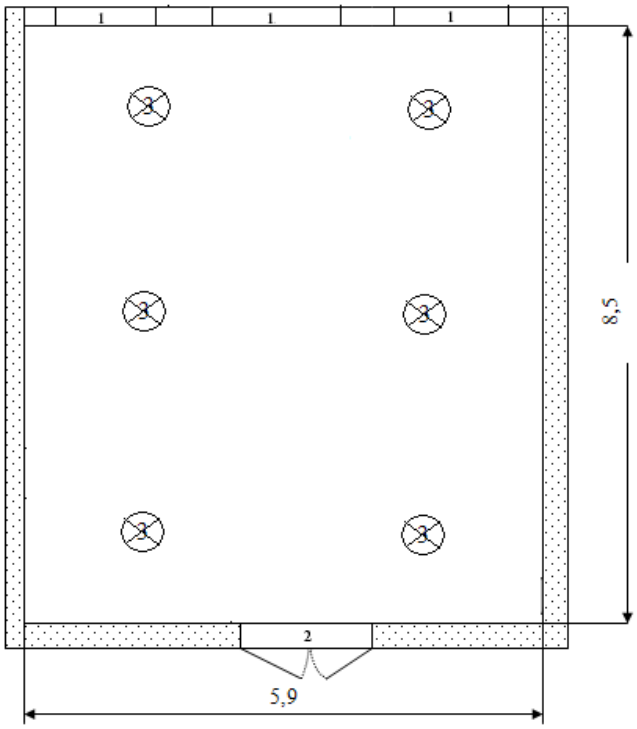


Рисунок 4.2 – План розташування світильників

Отже, за результатами виконання роботи можна зробити наступні висновки:

1) для тестування стану ВОЛЗ в основному використовуються пристрої із випромінювачами на стандартних довжинах хвиль 650 нм,1310 нм і 1550 нм;

2) протоколи тестування розраховані для ліній стандартного загального вжитку і містять обмежені можливості для контролю оптичних каналів, що використовуються у більш складних інформаційних системах (багатомодовість випромінювання, потужні лазерні системи високої добротності та модуляції);

3) для специфічних ліній ВОЛЗ потрібне застосування окремих видів тестового обладнання.

4) у якості джерела випромінювання використовуємо АІГ:Nd^{3+} мікролазер з діодною накачкою (λ= 1064 нм) Як видно із отриманих результатів, уже на виході випромінювача буде спостерігатись стійкий модовий склад, який передається до оптичного каналу;

5) додаткове використання параметричних ефектів у нелінійно-оптичних кристалах типу ВВО (BaB_2O4), КТР ($KTiOPO_4$), PPLN (періодично поляризований ніобат літію) та ін. для множення чи суттєвої зміни частоти випромінювання значно розширює сферу застосування мікрочіпових лазерів;

6) у якості з’єднання оптоволокна і пристрою тестування використовуємо селфок, як найбільш оптимальний за кількістю елементів;

7) у якості реєстратора використовуємо фотодіод G10899, як найбільш оптимальний заспектральними характеристиками;

8) для ефективної роботи фотоприймального пристрою розроблено схему реєстрації сигналів на основі двухкаскадного підсилювача

9) за допомогою САПР електроніки Proteus було проведено моделювання основних функціональних блоків системи. Результати моделювання добре узгоджуються із розрахунками;

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках квантово-оптичних інформаційних систем (КОІС);

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Результати роботи були предсталені на Міжнародній науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету «Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії».

Перелік посилань

1. Мінакова К. О. Квантова електроніка : підручник / К. О. Мінакова, Р. В. Зайцев, М. В. Кіріченко ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Дніпро : Середняк Т. К., 2023. 187.

2. Шмирьова Л. М. Квантова електроніка : Навчальний посібник Частина 1. Для студентів факультету електроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського усіх форм навчання / Л. М. Шмирьова, О. М. Бевза, Н. В. Слободян. Київ :: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 98 с.

3. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. Кн. 1. 376 с

4. Nenchev M., Deneva M., Yasser A., Suat T., Chassagne L., Himbert M., Quantum electronics and optical techniques and devices for applications inbiology, atmosphere monitoring, optical communications and sciences // Journal of the Technical University Sofia Plovdiv branch, Bulgaria “Fundamental Sciences and Applications” Vol. 19, 2013. 7 – 22.

5 Deneva M., M. Nenchev, Development of original, simple quantum electronics device with emission passively frequency locked at atomic absorption line, // Proc. Intern. Confer.“Laser technology and Lasers”, Bulg., 2005, 37-45.

6. Матеріали сайту компанії Eserver URL : https://is.gd/52Av4B (дата звернення 01.08.2024).

7. Матеріали сайту компанії DEPS URL : https://is.gd/Z0nJOq https://is.gd/52Av4B (дата звернення 01.08.2024).

8. Матеріали сайту The Fiber Optic Association, Inc. URL: https://www.thefoa.org (дата звернення 01.08.2024)

9. Колесник Ю. І. Елементи та пристрої квантової електроніки : навч. посіб. / Ю. І. Колесник, А. В. Кіпенський. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. 318 с.

10. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. Кн. 1. 376 с.

11. Черняков Е. І. Оптоелектроніка : навч. посіб / Е. І. Черняков, Ю. П. Мачехін, М. П. Кухтін, С. М. Кухтін Харків : ХНУРЕ, 2016. 292 с. URL: https://openarchive.nure.ua/handle/document/8917

12. Кривець О. С. Квантова електроніка : навч. посіб / О. С. Кривець, О. О. Шматько, О. В. Ющенко. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 340 с.

13. Nenchev M., Deneva M., Yasser A., Suat T., Chassagne L., Himbert M., Quantum electronics and optical techniques and devices for applications inbiology, atmosphere monitoring, optical communications and sciences // Journal of the Technical University Sofia Plovdiv branch, Bulgaria “Fundamental Sciences and Applications” Vol. 19, 2013. 7 – 22.

14. Deneva M., M. Nenchev, Development of original, simple quantum electronics device with emission passively frequency locked at atomic absorption line, // Proc. Intern. Confer.“Laser technology and Lasers”, Bulg., 2005, 37-45.

15. Sizov F. F. Brief history of THz and IR technologies SPQEO, 2019. V. 22, N 1. P. 67-79.

16. Bashchenko S. M., Marchenko L. S., Negriyko A. M., Smirnova T. N., Matsnev I. V. // Spectral control of powerful diode lasers with enhanced output by external cavity based on volume holographic grating, SPQEO, 2018. V. 21, N 4. P. 424-428.

17. Eimerl D., Davis L., Velsko S. Optical, mechanical, and thermal properties of barium borate// J. Appl. Phys. - 1987. - Vol. 62. - P. 1968 - 1983.

18. Wu Y., Sasaki T., Nakai S. CsB_3O_5:A new nonlinear optical crystal.// Appl.Phys.Lett.- 1993. - Vol. 62. - P. 2614 - 2615.

19. Mori Y., Kuroda I., Nakajima S. New nonlinear optical crystal: Cesium lithium borate//Appl. Phys. Lett.- 1995. - V. 67. - P. 1818 - 1820.

20. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A.L., Pisarevsky A.I. et al. Sum friquensy radiation in RTP cristals// In Proc. Laser Optics.- 90.- Leningrad.- 1990.- P.440.

21. Yu.S.Oseledchik Yu.S., Osadchuk V.V., Prosvirnin A.L., Selevich A.F. Growth of BBO from Na_2O-NaF solution//J.Crystal Growth.- V. 131.-1993.- P.199-203.

23. Oseledchik Yu.S, Pisarevsky A.I., Prosvirnin A.L. et al. Nonlinear optical properties of the flux growth RTP cristal//Optical Materials.- V.3.- 1994.- P.237-242.

24. Заявка на винахід № 94012473 від 5.01.94 Спосіб вирощування нелінійно-оптичних кристалів трибората цезію. Просвірнін А.Л., Оселедчик Ю.С., Осадчук В.В. та ін.//Промислова власність. - 1995. - №3.- С.289.

25. Oseledchik Yu.S., Prosvirnin A.L., Pisarevsky A.L. et al. New Nonlinear opticals crystals: strontium and lead tetraborates//Optical Materials.-V.4.- 1995.- P.669-674.

26. Oseledchik Yu.S., Prosvirnin A.L., Svitanko N.V., Kudrjavtcev D.P., Lozova E.A. SrB_4O_7 – nonlinear optical material for deep UV//ICCM'2005.- Kharkov, Ukraine.-2005.-P.91.

27. Kudrjavtcev D.P., Oseledchik Yu.S., Prosvirnin A.L., Svitanko N.V. The luminescence of the Praseodymium-doped Strontium borate $Sr_4B_{14}O_{25}:Pr^{3+}$ //Ukr.J.Phys.Opt.-V3.-№2.-2002.-P.155-160.

21. Волоконна та інтегральна оптика : Навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології» спеціалізації « Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і технології» та спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» спеціалізації «Фотоніка та оптоінформатика» [Текст] /Уклад.: О.К. Кучеренко. –Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017 216с.

22. Мачехін Ю. П., Гнатенко О. С. Л азерні, оптикоелектронні прилади та системи. Ч. 2. Параметри лазерного випромі-нювання. Харків «Факт», 2021. 145 с.

23. Нелін Є. Я. Конспект лекцій з дисципліни "Інтегральна і функціанальна електроніка". Розділ "Наноелектроніка". Київ : КПІ, 1994. 24 с.

24. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawwHill, 1988

25. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / за заг. ред. Т. В. Гончарук. Тернопіль, 2014. 272 с.

26. Бєгун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. 328 с.

28. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В. Г. Рижков Запоріжжя, 2005. 43 с.

29. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2005. 24 с.

Додаток 1

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ
Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ)
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (м. Дніпро)
Університет митної справи та фінансів (м. Дніпро)
Полтавський державний аграрний університет (м. Полтава)
Хмельницький університет управління та права імені Леоніда Юзькова (м.Хмельницький)
Криворізький національний університет (м. Кривий ріг)
ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет» (м. Дніпро)
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (м. Чернівці)
Міністерство внутрішніх справ
Запорізький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
Державна аудиторська служба України
Управління Східного офісу Держаудитслужби в Запорізькій області
Технічний Університет Молдови (республіка Молдова, м. Кишинев).
Маріямпольський університет прикладних наук (Маріямполе, Литва)
Університет Александраса Стульгінскіса (Каунас, Литва)
Університет Вітаутаса Великого (Каунас, Литва)
Університет Ромернса (Литва)
Інститут розвитку міжнародної співпраці (Республіка Польща)
Вища Школа Управління Охороною Праці в Катовіцах (Республіка Польща)
Ченстоховський Технологічний Університет (м. Ченстохова, Республіка Польща)
Гуманітарно-Природничий Університет ім. Яна Длугоша в Ченстохова
(м. Ченстохова, Республіка Польща).



Міжнародна науково-практична конференція

Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні

Запорізького національного університету

«Сучасні перспективи розвитку обліку, фінансів, економіки, управління, права та інженерії»

(Режим роботи дистанційний)

5 – 6 грудня 2024 р.

м. Запоріжжя

Організаційний комітет

Голова оргкомітету

Фролов М.О. – д.і.н., професор, заслужений працівник освіти України, академік Академії наук вищої освіти України, в.о. ректора ЗНУ.

Васильчук Г.М. – д.і.н., професор, проректор з наукової роботи ЗНУ.

Заступник голови:

Метеленко Н.Г. – д.е.н., професор, академік Академії економічних наук України, директор Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Меліхова Т.О. – д.е.н., професор, академік Академії економічних наук України, завідувач кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ

Каркоцький І.О. – директор Запорізького НДЕКЦ МВС.

Члени оргкомітету:

Адамовська В.С. – к.е.н., доцент, завідувач кафедри обліку, оподаткування, публічного управління та адміністрування Криворізького національного університету.

Ажажа М.А. – д.н.з держ. упр., професор, професор кафедри управління та адміністрування ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Арутюнян І.А. – д. т. н., професор, завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Банах А.В. – к. т. н, доцент, завідувач кафедри міського будівництва та господарства ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Бєлоконь К.В. – к.т.н., доцент, заст. директора з наукової роботи ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Бєлоконь Ю. О. – д.т.н., професор, завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Власов А.О. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри металургійного обладнання ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Воронкова В.Г. – д.ф.н., професор, завідувач кафедри управління та адміністрування ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Глущевський В.В. – д.е.н., професор, професор кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Грешко Р.І. – к.е.н., доцент, декан економічного факультету Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича

Івановська А.М. – д.ю.н., професор, проректор зі стратегічного розвитку, наукової роботи та зовнішніх зв'язків Хмельницького університету управління та права імені Леоніда Юзькова.

Клопов І.О., д.е.н., професор, в.о. завідувача кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Коваленко В.Л.– д.т.н., професор, завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Коверга С.В. – д.е.н., професор, академік Академії економічних наук України, професор кафедри управління та адміністрування ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет».

Коломоєць Т.О. – д.ю.н., професор, член - кореспондент НАПрН України, Заслужений юрист України, декан юридичного факультету ЗНУ.

Корнеєва Н.М. – заступник директора Запорізького НДЕКЦ МВС.

Критська Т. В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри електроніки, інформаційних систем і програмного забезпечення ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Мамонова АА. – заступник начальника управління – начальник відділу управління Східного офісу Держаудитслужби в Запорізькій області

Макаренко А.П. – д.е.н., професор, професор кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Макаренко П.М. – д.е.н., професор, завідувач кафедри економіки та міжнародних економічних відносин Полтавського державного аграрного університету.
Макаренко Ю.П. – д.е.н., професор, професор кафедри фінансів, банківської справи та страхування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.
Меліхов Є.В. – асистент кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, аспірант 073 «Менеджмент».
Мержинський Є. К. – к.е.н., доцент, доцент кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, директор Центру Польської культури, освіти, науки та євроінтеграції ім. Яна ІІІ Собеського.
Мусійченко О.Г. - асистент кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, бухгалтер-практик.
Оглобліна В.О. – к.е.н., доцент, доцент кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
Подмешальська Ю.В. – к.е.н., доцент, доцент кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
Птіцина Л.А. – к.е.н., доцент кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
Рафаель Чилочі – д.е.н., проф., декан факультету економіки та бізнес-інжинірингу Технічного Університету Молдови.
Синиця Ю.С. - к.е.н., доцент, доцент кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
Тараненко В.Є. – к.е.н., доцент, завідувач кафедри соціального забезпечення та податкової політики Університету митної справи і фінансів (м. Дніпро).
Феофанов Л.К. – к.е.н., доцент, доцент кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
Храпкіна В.В. – д.е.н., професор, професор кафедри маркетингу та управління бізнесом НУ«Києво-Могилянська академія».
Шапуров О.О. – д.е.н., професор, заступник директора з навчально-виховної роботи ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.
.

УДК 620.3

СвітанькоМ.В., к.ф-м.н., доцент, доцент кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення, Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя

Щербань А.А., магістрант 2 курсу спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка», Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя

Тотьмянин Д.О., магістрант 2 курсу спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка», Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя

Пупирев Д.Є., магістрант 2 курсу спеціальності 176 «Мікро- та наносистемна техніка», Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, м. Запоріжжя

МІКРОЕЛЕКРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ЛЕКТРОСТАТИЧНОГО МІКРОДВИГУНА

На початку 2000-х років, згідно закону Мура [1], стало зрозумілим, що подальший розвиток мікроелектроніки повинен, або вичерпати свої можливості, або вийти на принципово новий етап технологічного розвитку. Таким етапом став розвиток мікроелекромеханічних систем (далі – МЕМС) [2].

Але, зменшення розмірів електронних компонент від мікрометрів до нанометрів неминуче призведе до зменшення розмірів усієї системи. Це в свою чергу призведе до обмеженості використання при розробці таких систем законів класичної фізики та електромеханіки [3,4].

Наразі існує досить мало моделей і систем, які б поєднували в собі пристрої наноелектроніки і механіки на квантово-механічному рівні.

Тому актуальним є питання по розробці наноелектронних мікромеханічних пристроїв.

У роботі пропонується МЕМС електростатичного мікродвигуна.

У якості загальної структурної схеми була обрана схема, представлена на рисунку 1.

Структурна схема включає безпосередньо електростатичний мікродвигун, блок обробки та керування сигналами, блок оптичного налаштування сигналами, блок оптичного налаштування мікродвигуна, персональний комп’ютер для автоматизованого управління роботою мікродвигуна.

За основу роботи електростатичного двигуна використано принцип виникнення обертового моменту у роторі за рахунок кулонівських сил притягання-відштовхування між полюсами ротора і статора.

Виготовлення деталей мікродвигуна пропонується виконати за методами MUMPs-технології [5].

Для фіксації точки відліку початку роботи електростатичного мікродвигуна у роботі пропонується оптична система, яка складається із оптичного джерела світла – лазерного світлодіода, світловодного (оптичного) волокна і фотодіода, сполученого із блоком реєстрації та керування електричними сигналами пристрою.

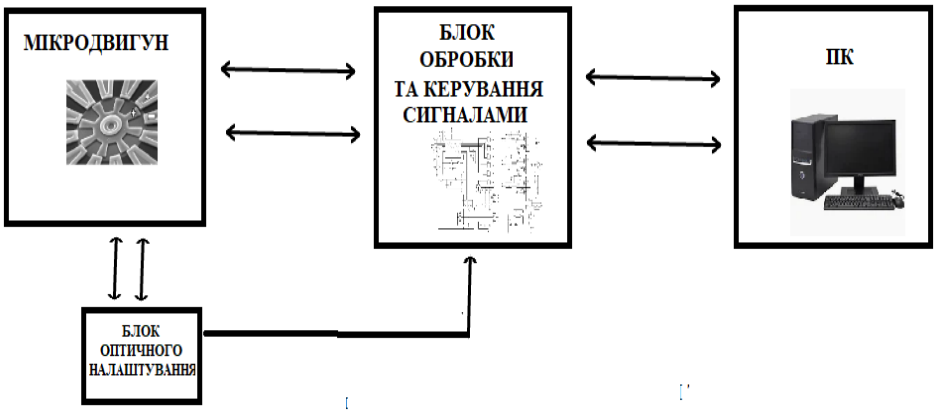


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування параметрами електростатичного мікродвигуна

Блок обробки та керування сигналами складається із мікроконтролерної частини ти силової частини, яка безпосередньо керує роботою електростатичного двигуна.

Представлена розробка може стати перехідною моделлю в процесі трансформації мікромеханізмів до наноелектронних комплексів.

Як удосконалення системи, розглядається можливість використання в електронній складовій електростатичного мікродвигуна елементів одноелектроніки.

Література

1. G. E. Moore Cramming More Components onto Integrated Circuits. Proceedings of the IEEE, V. 86, N. 1, Januare 1998 pp. 82-85.

2. Jeremie Bouchaud, Richard Dixon. MEMS market brief, Isuppli, January 2009. pp. 23-32.

3. Готра З. Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури наноелектроніки. Підручник / З. Ю. Готра, І. І. Григорак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов, Л. Ф. Політанський, Ежи Потенські. Чернівці : Видавництво та друкарня «Технологічний центр», 2014. 839 с.

4. Філяшкін М.К. Мікроелектромеханічні системи : Навчальний посібник Київ : НАУ, 2019. 276 с.

5. Koester D., et. al. PolyMUMPs Design Handbook, rev. 9.0. July 2003.