

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

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка оптикоелектронної  
інформаційної системи для сонячних  
систем зв'язку

Виконав: студент II курсу, групи 8.1530

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)

Михайловський Д.Ю.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.ф.м.н. Світалько М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. нач. цеха ІРАТ "Українське Небесне О.І."

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2021

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

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем  
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 проф. П.В. Кристьяка

“ 01 ” 12 2021 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Михайловському Даниїлу Юрійовичу  
(прізвище, ім'я по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка оптикоелектронної інформаційної системи для саїтотонних систем зв'язку

керівник роботи Світанько Микола Вікторович, к.ф.м.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “30” травня 2021 року № 974-с

2 Строк подання студентом роботи 10 грудня 2021 року

3 Вихідні дані до роботи біологічно-оптична система зв'язку, постійна напруга 16В, змінна напруга 200В, модулятор, узгоджувальний підсилювач, блок автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу, моделювання в Proteus, Mathcad.









4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Саїтотонні інформаційні системи. 2. Розробка оптикоелектронної інформаційної системи для саїтотонних систем зв'язку. 3. Техніко-економічне обґрунтування. 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних систем.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Саїтотонні інформаційні системи. Формування саїтотонів. 2. Саїтотонні

інформаційні системи 3. Структурна схема оптикоелектронної інформаційної системи для саїтотних систем зб'язку. 4. Моделювання нелінійних процесів у резонаторі випромінювача. 5. Оптичній логічній пристрій. 6. Електронна схема оптичного передавача пристрою. 7. Моделювання оптичного передавача пристрою в редакторі Proteus. 8. Результати моделювання оптичного передавача пристрою в редакторі Proteus

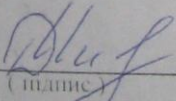
### 6 Консультанти розділів роботи

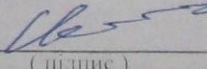
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світанько М.В., доцент	 26.05.21	 26.05.21
III	Світанько М.В., доцент	 26.05.21	 30.10.21
III	Світанько М.В., доцент	 26.05.21	 30.09.21
IV	Світанько М.В., доцент	 26.05.21	 30.09.21

7 Дата видачі завдання 26.05.2021

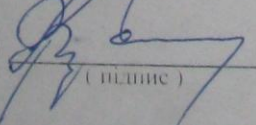
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд	26.06.2021	
2.	Розрахункова частина	30.10.2021	
3.	Техіко-економічне обґрунтування розробки	30.09.2021	
4.	Розробка заходів із охорони праці та технічної безпеки	30.09.2021	
5.	Розробка графічної частини роботи	20.11.2021	
6.	Формування пояснювальної записки	20.11.2021	
7.	Нормоконтроль	29.11.2021	
8.	Попередній захист роботи	10.12.2021	

Студент  Михайловський Д.Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Верьовкін А.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломна робота містить 72 сторінки, 18 рисунків, 13 таблиць, 22 посилання на літературу.

Об'єкт дослідження – мікроелектронна інформаційна система для передачі оптичних інформаційних сигналів солітонного типу.

Мета роботи – дослідження та розробка оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.

Задачі роботи: виконати математичне моделювання нелінійних процесів у парадавальному пристрої системи, провести схмотехнічне моделювання системи; виконати аналіз функціонування окремих блоків.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення PROTEUS, MATHCAD.

Короткий виклад результатів досліджень – спроектовано структурну схему оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку, проведено моделювання нелінійних процесів, що виникають у системі, проведено схмотехнічне моделювання блоку модулятора, узгоджувального підсилювача, блоку автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу.

Результати впровадження – система пройшла апробацію на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження в оптичних інформаційних системах.

СОЛІТОН, ВОЛОКОННО ОПТИЧНА СИСТЕМА, ОПТОЕЛЕКТРОННА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, PROTEUS, MATHCAD.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, з 26.05.2021 р. по 10.12.2021 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ .....	6
1. Солітонні інформаційні системи .....	8
1.1 Поняття оптичного солітону .....	8
1.2 Нелінійно-оптичні ефекти у скловолокні .....	9
1.3 Принципи побудови солітонних волоконно-оптичних систем передачі інформації .....	12
1.3.1 Загальна характеристика принципів роботи солітонних ВОСП .....	12
1.3.2 Основні схеми солітонних волоконно-оптичних систем передачі інформації .....	16
2. Розробка оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.....	20
2.1 Розробка структурної схеми системи.....	20
2.2 Моделювання розповсюдження сигналу у лінії зворотнього зв'язку блоку лазерного випромінювача .....	22
2.3 Мультистабільний логічний пристрій оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку .....	31
2.4 Розробка функціональних вузлів оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.....	34
2.4.1 Розрахунок потужності випромінювання передавача й вибір типу випромінювача .....	36
2.4.2 Вибір транзистора й розрахунок опорів у схемі модулятора.....	37
2.4.3 Розрахунок узгоджувального підсилювача .....	41
2.4.4 Розрахунок пристрою автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу .....	43
2.5 Моделювання роботи функціональних блоків схеми оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку..	46

3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем передавального блоку оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.....	52
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем передавального блоку оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.....	52
3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем передавального блоку оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку .....	57
4 Охорона праці та техногенна безпека дослідженню і розробці елементів оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.....	58
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	58
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	60
4.3 Виробнича санітарія.....	62
4.4 Електробезпека.....	63
4.5 Протижежна безпека.....	63
4.6 Розрахунок штучного освітлення точковим методом .....	65
Висновки та рекомендації.....	68
Перелік посилань.....	70

## Вступ

Оптоелектроніка є одним з науково-технічних напрямів, що найдинамічніше розвивається, у зв'язку з різким розширенням круга сфер застосування і здатністю вирішувати виникаючі завдання нетрадиційними методами. Ключове місце оптоелектроніки в інформаційних системах обумовлене тим, що більше 90% інформації, яку отримує людина, складає відеоінформація [1].

У зв'язку з широким колом використання в системах отримання інформації, її обробки, зберігання, передачі і відображення, а також різноманітністю використовуваних матеріалів правомочною є постановка питання про цілий напрямок оптоелектронних технологій, включаючи індикаторні системи, формувачі сигналів зображення, волоконно-оптичні лінії передачі інформації, перетворювачі сонячної енергії, оптичну обчислювальну техніку [2].

Відмінною рисою оптоелектроніки як науково-технічного напрямку є різноманітність використовуваних матеріалів, при цьому в найближчій перспективі збережеться тенденція подальшого розширення спектру використовуваних напівпровідникових структур. В рамках традиційної оптоелектроніки при створенні високоефективних оптоелектронних структур в основному використовувалися строго впорядковані монокристалічні матеріали. В той же час істотне розширення ринку оптоелектронної продукції і збільшення обсягів виробництва викликали необхідність обліку економічних чинників, особливо собівартості продукції. Це, у свою чергу, змусило по-новому поглянути на неврегульовані напівпровідники з точки зору як специфіки протікання в них фізичних процесів, так і розробки ефективної технології виготовлення приладів. У зв'язку з цим підвищений інтерес викликають аморфні гідрогенізовані матеріали. Одночасно з цим увага розробників разом з неорганічними матеріалами починають залучати і

органічні матеріали, що володіють великим потенціалом з точки зору оптоелектронних вживань [1-3].

Одним із перспективних напрямків практичного використання таких структур є створення силітонних інформаційних систем.



# 1. Солітонні інформаційні системи

## 1.1 Поняття оптичного солітону

Оптичний солітон – це імпульс, що є одиночною хвилею дзвоноподібної форми, який утворюється в оптичному волокні за наявності певної нелінійної залежності коефіцієнта заломлення від інтенсивності випромінювання когерентного джерела. При цьому коефіцієнт заломлення повинен зростати із зростанням інтенсивності. Тоді високочастотні складові імпульсу як би зрушуються до його хвоста, а низькочастотні складові – до його голови, чим пригнічується дія хроматичної і поляризаційної дисперсії. Такий імпульс може зберігати форму і ширину по всій довжині волоконної лінії (рисунок 1.1).

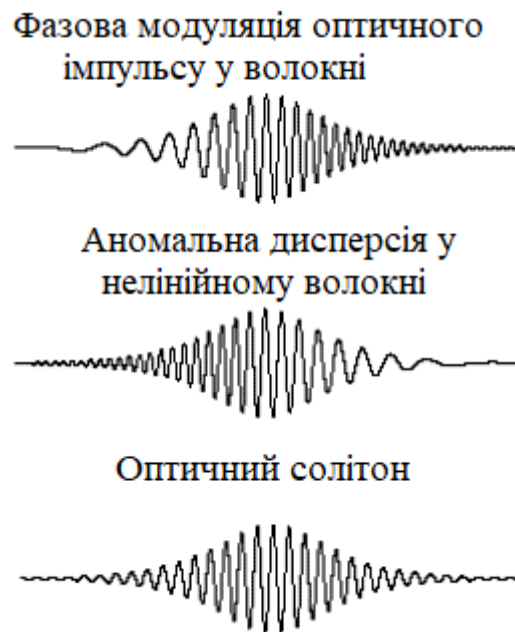


Рисунок 1.1. Формування оптичного солітону

Походження назви оптичного імпульсу: SOLITARI - відокремлена хвиля, SOLITON – частка. Перше поняття про солтон сформулював відомий англійський фізик, математик, гідромеханік Джон Скотт Рассел (1808 – 1882), який вперше в 1834 році звернув увагу на особливі хвилі в каналах, по яких перевозили баржі з вугіллям [4].

Модель оптичного солітона була запропонована в 1971 році радянськими ученими В.І. Захаровим і А.Б. Шабатом [5]. Поширення світла в нелінійному середовищі описується нелінійним рівнянням Шредінгера.

У 1980 році оптичні солітони спостерігали Молленауер Л., Столен Р. і Гордон Дж. [6].

З тих пір були проведені багаточисельні дослідження і технологічні розробки, які дозволили говорити про доцільність використання солітонів для оптичного зв'язку [7,8].

Солітони можуть поширюватися в скловолокні на значні відстані (тисячі кілометрів) практично без спотворення форми імпульсу і зберігатися при зіткненні один з одним. Для підтримки енергії солітон повинен отримати зовнішнє підживлення від джерела накачування. Лише в цьому випадку солітон зберігається.

## 1.2 Нелінійно-оптичні ефекти у скловолокні

У досить довгих волоконних світлопроводах можуть виявлятися нелінійні оптичні ефекти:

- вимушене рамановское (комбінаційне) розсіяння (ВКР);
- вимушене розсіяння Мандельштама – Брюллієна (ВМБР);
- фазова самомодуляція (самофокусування); чотирьохфотонне або чотирьоххвильове змішування.

Вимушене розсіяння світла (ВКР) зумовлене нелінійною взаємодією сильного електромагнітного поля випромінювання з електромагнітним полем атомів фізичного середовища (у даному випадку – в скловолокні). Світло розсіюється на елементарних збудженнях середовища, що індукуються розсіюваним середовищем. При збудженні (індукції) середовища потужним

світловим джерелом відбувається модуляція її параметрів, що наводить до амплітудної модуляції розсіяного світла, а, отже, до появи в нім нових спектральних компонентів. Їх називають стоксовими і антистоксовими компонентами. Взаємодія світлової хвилі з інверсним середовищем в літературі отримала назву фотон - фононна взаємодія. При цьому фононом називають квант енергії, що виникає в процесі розсіяння фотона [9]. Найбільш важливими видами розсіяння є ВКР і ВРМБ.

ВКР пов'язане із збудженням нових коливальних рівнів частот середовища (електронів) і у меншій мірі – обертальних енергетичних рівнів цих часток.

ВРМБ наводить до появи в середовищі гіперзвукових хвиль, інтенсивність яких залежить від частоти дотримання імпульсів накачування і для імпульсів коротше 10 нс може майже зникнути. На відміну від ВКР, випромінювання, розсіяне по механізму Мандельштама – Бріллюена, поширюється лише в напрямі, протилежному що подає. ВКР спостерігається при потужностях накачування більше 1 Вт. ВРМБ спостерігається вже при потужності більше 1 мВт.

Явище фазової самомодуляції (ФСМ) або самофокусування, або фазової кросмодуляції (ФКМ) викликане залежністю показника заломлення серцевини волокна, тобто фази вихідного сигналу, від інтенсивності оптичного сигналу [9]:

$$n_1' = n_1 + \Delta n(E^2), \quad (1.1)$$

где  $n_1$  – показник заломлення серцевини скловолокна при відсутності зовнішнього електро-магнітного поля;  $E^2$  – параметр потужності світлової хвилі;  $\Delta n$  – приріст показника заломлення, який викликаний зовнішнім електричним полем із напруженістю  $E$  ( $\sim 10^{10}$  В/м).

При потужності сигналу більше 10 мВт в стандартному одномодовому волокні виникає ФСМ, яка сприяє стискуванню імпульсів, тобто сигнал впливає сам на себе, скорочуючи різницю фазових швидкостей спектральних складових. Утворення ФКМ може наводити при передачі декількох оптичних каналів до їх взаємних впливів.

Чотирьоххвильове зміщення полягає в тому, що за наявності двох попутних хвиль (2-х каналів) з частотами  $f_1$  і  $f_2$  ( $f_1 \neq f_2$ ), виникають ще дві хвилі з частотами  $2f_1 - f_2$  і  $2f_2 - f_1$ , що поширюються в тому ж напрямі і посилюються за рахунок початкових. Зрозуміло, що при більшому числі хвиль спектр ще більше розшириться. Чотирьоххвильове зміщення виявляється вже при потужностях сигналів більше 10 мВт і має пряме відношення до ФКМ.

Необхідно відзначити, що нелінійні ефекти в скловолокні грають не лише негативну роль, тобто обмежують дальність швидкість передачі, але і дозволяють в режимі ВРМБ виділяти і вводити оптичні канали, а в режимі ВКР – реалізовувати посилення оптичних сигналів. Особливу роль може грати явище ФСМ для формування і передачі оптичних солітонів.

Унікальність солітону полягає в тому, що дисперсія групової швидкості, яка визначається тривалістю оптичного імпульсу, повністю зрівноважується нелінійною зміною показника заломлення  $\Delta n(E^2)$ .

Досить точний опис умов існування оптичних солітонів отриманий при вирішенні рівняння Шредінгера [7-9].

Солітони в процесі поширення змінюють свою форму, розпадаючись на групи імпульсів і потім знову збираючись. Ця складна динаміка визначається багатьма чинниками: фазовою самомодуляцією, дисперсією групових швидкостей, потужністю і тривалістю імпульсів та ін. На рисунку 1.2 наведений приклад динаміки солітона [7-9].

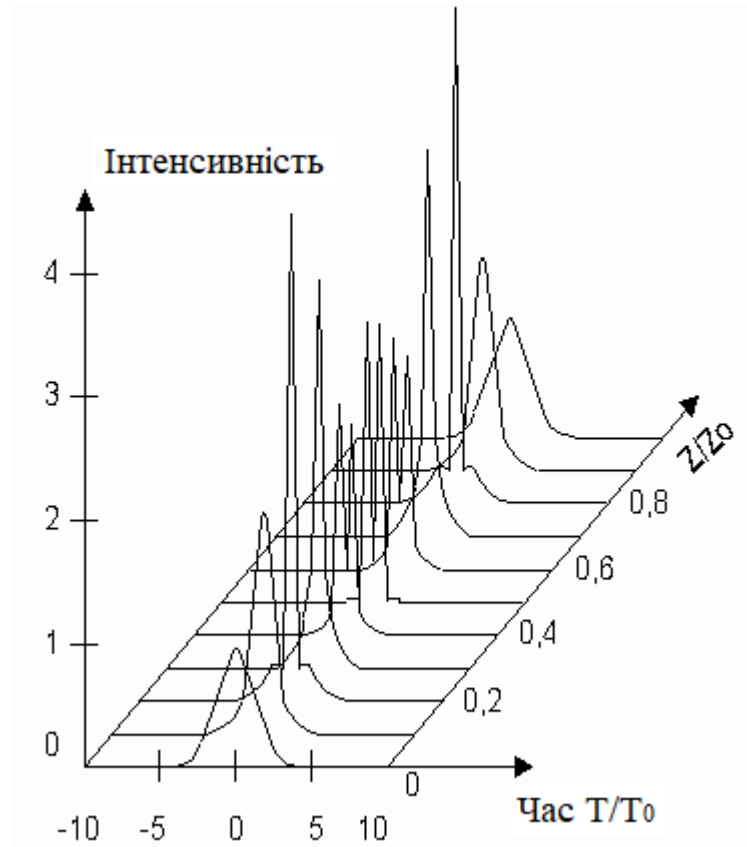


Рисунок 1.2 Динаміка солітону 3-го порядку

### 1.3 Принципи побудови солітонних волоконно-оптичних систем передачі інформації (ВОСП)

#### 1.3.1 Загальна характеристика принципів роботи солітонних ВОСП

Мережі волоконно-оптичних систем передачі інформації складаються з активних та пасивних компонентів і пристроїв (модулів), за допомогою яких здійснюється передача інформації. Остання має вигляд електричного групового (багатоканального) сигналу у цифрових або аналогових системах передачі. Цим електричним сигналом модулюється один з параметрів (амплітуда, частота, фаза, поляризація, інтенсивність) оптичного несучого

коливання, що здатне поширюватися у оптичному волокні з малими згасанням і спотворенням форми [7-9].

Під компонентом волоконно-оптичної системи передачі будемо розуміти виріб оптики або оптоелектроніки, призначений для виконання одної або декількох функцій щодо формування, передавання, розподілу, перетворення та оброблення оптичного сигналу (рис.1.3)



Рисунок 1.3 Класифікація основних компонентів волоконно-оптичних систем та мереж

Насамперед компоненти за принципом дії можна поділити на активні та пасивні. Активні компоненти (модулі) потребують для своєї роботи зовнішнього джерела енергії (живлення), а пасивні - ні. Прикладами активних компонентів є джерела та приймачі випромінювання, передавальні та приймальні пристрої, оптичні підсилювачі тощо. Пасивними є такі компоненти, як оптичні волокна, з'єднувачі, фільтри, хвильові мульти- та демультимплексори і конвертори, розгалужувачі, вентилі, атенюатори, рефлектори та інші.

Формування оптичного сигналу здійснюється за допомогою джерела випромінювання (ДВ), що виконує електрооптичне (ЕО) перетворення. Модулятор – це пристрій, що змінює один з параметрів несучого коливання, створене ДВ. Модулятор може бути зовнішнім (встановлюватися на виході ДВ) або внутрішнім (входити до схеми керування джерелом). В останньому випадку електронний модулятор, ДВ і пристрій введення виконують у вигляді функціонально закінченого пристрою - передавального оптоелектронного модуля (ПОМ). За його допомогою можлива модуляція тільки інтенсивності (потужності) випромінювання, що використовується в сучасних некогерентних системах передачі. Зовнішні (електро- або акусто-оптичні) модулятори можуть модулювати, крім інтенсивності, також амплітуду, частоту, фазу та поляризацію випромінювання. Зовнішні модулятори більш складні і використовуються в когерентних системах передачі, які в майбутньому замінять більшість некогерентних.

Сформований джерелом випромінювання і модулятором оптичний сигнал поширюється по оптичному волокну, що є компонентом оптичного кабелю. Останній може розглядатися як модуль (пристрій), що має крім оптичних волокон захисні оболонки, зміцнювальні торси (стрижні) та інші компоненти. Оптичні волокна з'єднуються одне з одним (у довгій лінії) та з термінальним обладнанням за допомогою роз'ємних та нероз'ємних з'єднань. Основними параметрами оптичного волокна з точки зору передавання інформації є згасання потужності світла і спотворення форми оптичного сигналу.

В деяких випадках, насамперед у системах зі спектральним мультиплексуванням, необхідно перетворити довжину хвилі випромінювання в іншу. Для цих цілей використовують такий компонент, як хвильовий конвертор. Компенсацію згасання у оптичному волокну можна здійснити за допомогою оптичного підсилювача (ОП). Він може входити або до складу передавального (підсилювач потужності), або приймального (попередній

підсилувач) модулів, або встановлюватися в лінійному тракті (лінійний підсилувач). Ці компоненти можна розглядати як пристрої оброблення оптичного сигналу.

В певних випадках, особливо в волоконно-оптичних мережах виникає необхідність розподілу оптичного сигналу по волокнах на декілька напрямків або об'єднання в одне волокно сигналів, що надходять від багатьох терміналів. Цю функцію виконують такі компоненти, як оптичні розгалужувачі. В інших випадках необхідна комутація (переключення) оптичних сигналів з одного напрямку (пристрою) на інший, яка здійснюється за допомогою оптичних перемикачів (комутаторів). В системах зі спектральним мультиплексуванням виникає необхідність у фільтрації, спектральному мульти- та демультіплексуванні оптичних сигналів. Ці операції виконуються у відповідних компонентах оптичного тракту. Для захисту лазера від відбитих оптичних сигналів застосовується оптичний вентиль, а для цілей вимірювань - оптичний рефлектор[7-9].

На приймальному боці за допомогою приймача випромінювання (ПВ) здійснюється оптоелектричне (ОЕ) перетворення. Оскільки при поширенні потужність оптичного сигналу зменшується і спотворюється його форма, то на виході ПВ має місце слабкий і, в додаток, спотворений електричний сигнал. Сигнальний процесор підсилює (з малими шумами), коригує форму, відновлює рівень цього сигналу, перед тим як направити його до абонента. Пристрій виведення світла з волокна, приймач випромінювання та електронний процесор виконують у вигляді функціонально закінченого пристрою приймального оптоелектронного модуля (ПРОМ). До складу когерентного приймального пристрою також входить місцевий (гетеродинний) лазер і оптичний суматор для додавання полів сигналу та місцевого лазера перед О/Е перетворенням.



### 1.3.2 Основні схеми солітонних волоконно-оптичних систем передачі інформації

Принципи побудови солітонних ВОСП відображують на рисунках 10.2 – 10.5. Як передавальне середовище використовуються ОВ з низькими втратами потужності. Завдяки малим втратам солітони можуть поширюватися на великі відстані без використання спеціальних пристроїв компенсації втрат (рисунок 1.4).

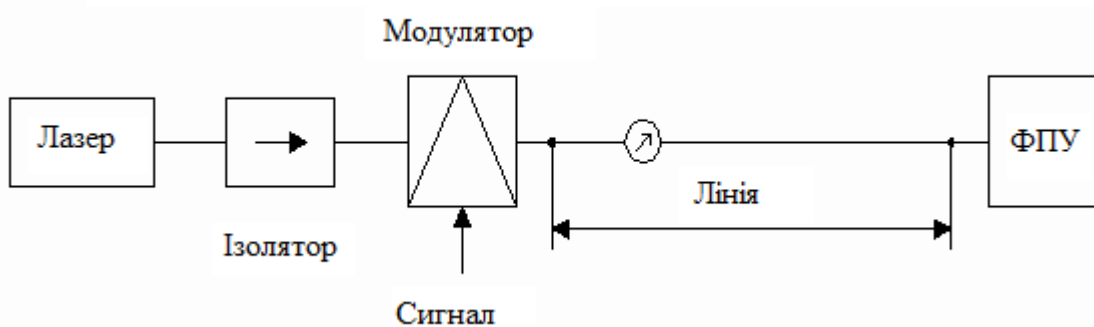


Рисунок 1.4 Побудова простої солітонної ВОСП

На виході солітонного лазера генерується безперервна послідовність солітонов із заданою шпаруватістю (зазвичай  $Q=T_c/\tau \geq 10$ ). Послідовність солітонів проходить через ізолятор і модулятор (наприклад, ЕОМ), в якому імпульсна послідовність модулюється. На виході лінії сигнали реєструються фотоприймальним пристроєм (ФПУ). Використання періодичної компенсації втрат потужності дозволяє збільшити дальність передачі (рисунок 1.5).

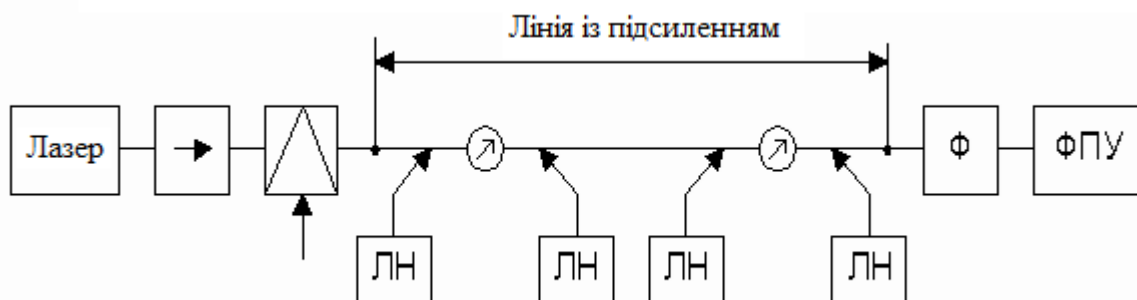


Рисунок 1.5 Солітонна ВОСП із оптичним рamanівським підсиленням

Для підтримки потужності солітонів застосовуються рамановські підсилювачі з накачуванням по довжині хвилі, що відрізняються від довжини хвилі інформаційного сигналу. У схемі використовується оптичний фільтр (Ф), не проникний випромінюванню накачування у ФПУ.

Можливий інший варіант побудови солітонної ВОСП з ербієвими підсилювачами (рисунок 1.6). При цьому посилення відбувається не на всій довжині ділянки передачі, а лише в підсилювачах (довжина волокна до 100 м). Перевагою є те, що застосовується менше джерел накачування з істотно меншою потужністю [10].

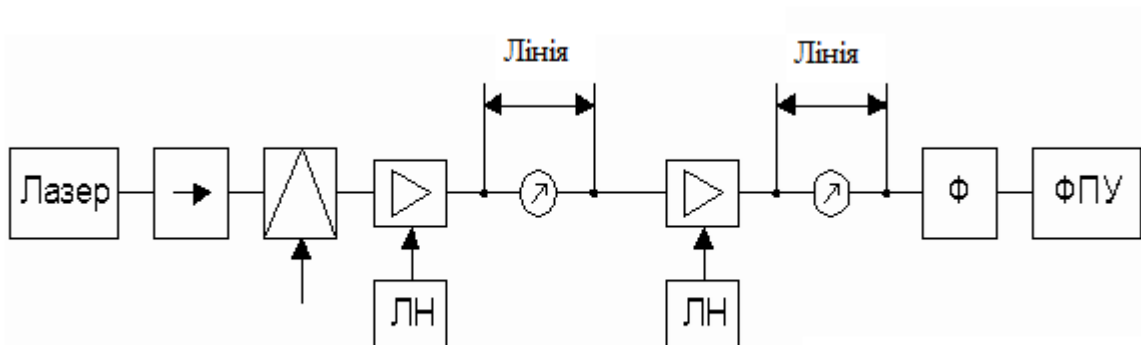


Рисунок 1.6 Солітонна ВОСП із оптичним підсиленням на основі ербія  
Необхідно відзначити, що можливе спільне використання ербієвих і рамановських підсилювачів в солітонних ВОСП.

Структурна схема солітонної ВОСП, приведена на рисунку 1.7, відповідає випадку побудови системи без підсилювачів. Проте протяжна ділянка існування солітонів формується завдяки використанню в лінійному тракті дискретної послідовності одномодових оптичних волокон з постійною дисперсією (Д) в межах кожної  $i$ -го ділянки по тій, що зменшується по заданому закону від ділянки до ділянки.

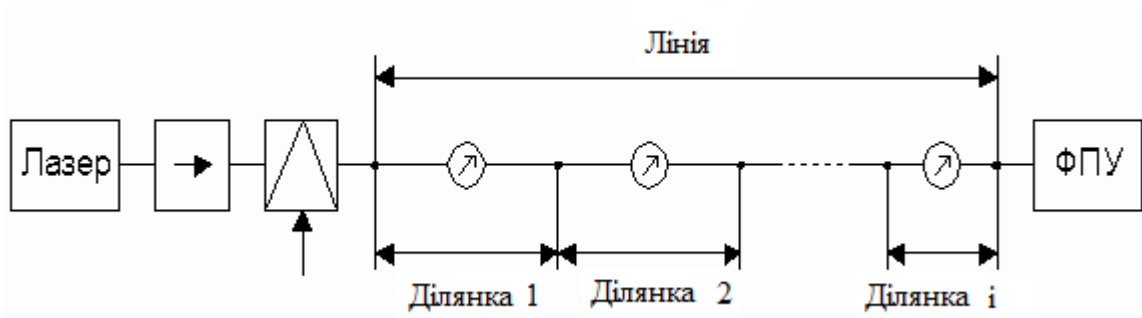


Рисунок 1.7 Солітонна ВОСП із різнини волокнами

Також необхідно відзначити особливість солітонного лазера. Це пристрій, в якому відбувається генерація дуже коротких імпульсів (одиниці пс і фемтосекунди фс), що досягається за рахунок компресії імпульсів з тривалістю нс. Приклади характеристик з деяких експериментальних солітонних ВОСП приведені в таблиці 1.1[10].

Таблиця 1.1. Характеристики експериментальних солітонних ВОСП

$\lambda$ , мкм	L, км	Число підсилювачів	$\tau$ , пс	Передача
1,55	65	4	7,5	Одномодовий лазер+компресор, зовнішній модулятор+оптичний фільтр+підсилювач EDFA
1,52	1020	40	12	Одномодовий лазер+компресор, зовнішній модулятор+оптичний фільтр+підсилювач EDFA
1,556	20 000	Через 26 км	18	Волоконний ербієвий лазер + TiLiNBO <sub>3</sub> -модулятор + акустооптичний комутатор і мультиплексор Маха-Зендера

У 1998 році в журналі EuroPhotonics з'явилося повідомлення про успішне завершення випробувань серійної чотирьохканальної дуплексної системи WDM (T31-BDS Pirelli) спільно з устаткуванням SONET OC-192 на швидкість передачі 10 Гбіт/с по одному каналу в солітонному режимі. У складі устаткування використані: блок генератора солітонних імпульсів;

перетворювач лінійної коди RZ/NRZ; волокна для компенсації дисперсії DCF; регенератори встановлювалися на довжині 450 км через 92км.

Система передачі нового покоління Lambda Xtreme Transport компанії Lucent Technologies забезпечує передачу цифрових даних на швидкості до 2.56 Тбіт/с в режимі DWDM (64 хвилевих каналів по 40 Гбіт/с в кожному) на дальність до 4000 км без електричної регенерації сигналу. Для досягнення цих можливостей застосовуються: солітонні блоки передачі, раманівські підсилювачі, попереджуюча корекція помилок FEC.

Розглянуті системи передачі інформації наразі є розробками на різних стадіях моделювання та етапах експериментальних досліджень. Тому, актуальними є дослідження та розробка як окремих модулів таких систем, так і самі систему у комплексному аспекті [7-10].

Метою роботи є дослідження та розробка оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні завдання:

- 1) провести аналіз існуючих солітонних систем передачі інформації, та обрати для подальшого аналізу найбільш оптимальну;
- 2) провести дослідження структурної схеми обраної системи;
- 3) провести математичне моделювання процесів поширення солітонів у інформаційній системі;
- 4) провести моделювання електричних схем окремих блоків оптоелектронної солітонної інформаційної системи;
- 5) провести техніко-економічні дослідження системи та розробити заходи з охорони праці та техногенної безпеки робіт, що планується виконати.

## 2. Розробка оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

### 2.1 Розробка структурної схеми системи

При проектуванні одноволоконних оптичних систем передачі з оптимальними характеристиками вибір структурної схеми системи і використовуваних технічних засобів визначається критеріями оптимальності. Якщо критерієм є мінімальна вартість, то в оптимальній системі повинні використовуватися оптичні розгалужувачі. Максимальна довжина регенераційної ділянки вимагає застосування оптичних циркуляторів, перемикачів, оптичних підсилювачів, когерентних методів передачі сигналу. Вимоги високої надійності й стійкості до зовнішніх впливів визначають вибір системи з оптичним джерелом на одному кінці лінії, а вимога максимального обсягу переданої інформації - системи зі спектральним ущільненням або з когерентними методами передачі.

Розроблюваний пристрій призначений для використання на сполучних лініях зв'язку, для нього характерні наступні критерії оптимальності:

- 1) мінімальна вартість і простота реалізації;
- 2) довжина регенераційної ділянки не менш 8 км;
- 3) відносно низька швидкість передачі (1Гбіт\с).

Із врахуванням критеріїв, для розробки обрана схема волоконно-оптичної системи зв'язку з модуляцією по інтенсивності, із застосуванням оптичних розгалужувачів. Дана схема відрізняється простотою реалізації оптичного передавача й приймача, невисокою вартістю пристроїв об'єднання і розгалуження оптичних сигналів (оптичних розгалужувачів).

Структурна схема оптичного передавача представлена на рисунку 2.1. Сигнал у кодї HDB від цифрової системи ущільнення каналів надходить на перетворювач коду (ПК), у якому код HDB перетвориться в лінійний код оптичної системи передачі СМІ.

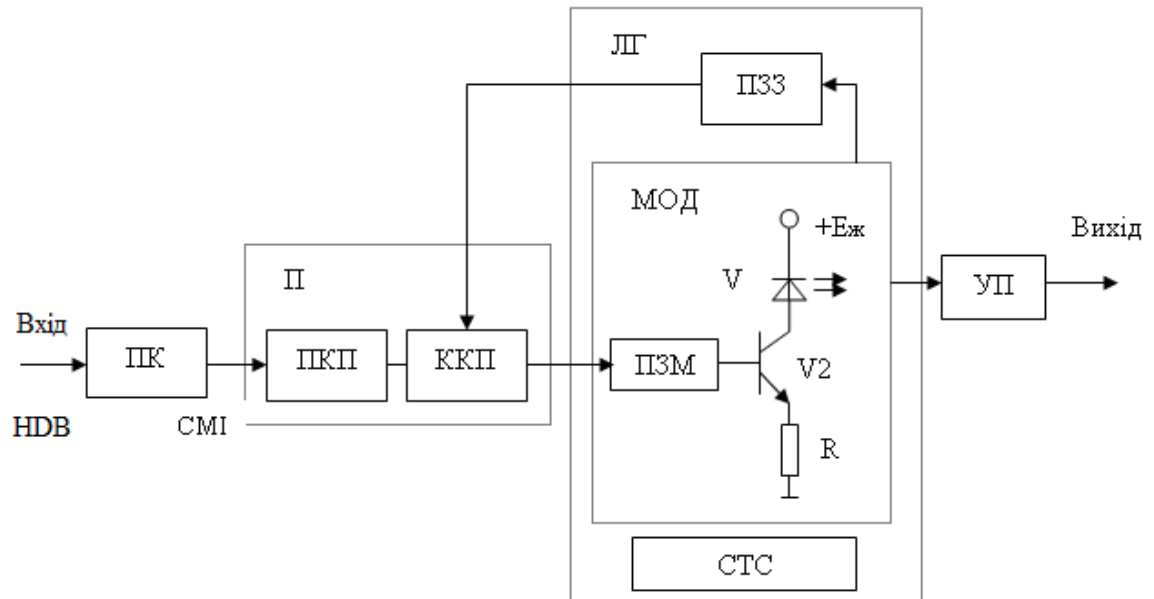


Рисунок 2.1 – Структурна схема оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

Отриманий електричний сигнал надходить на підсилювач (П), що складається із двох каскадів: попереднього каскаду посилення (ПКП) і кінцевого каскаду підсилення (ККП), де підсилюється до рівня, необхідного для модуляції оптичної несучої. Підсилений сигнал надходить на прямий модулятор (МОД), що складає із пристрою зміщення (ПЗМ), що слугує для завдання робочої точки на ват - амперній характеристиці випромінювача і, властиво, самого прямого модулятора, зібраного за класичною схемою з напівпровідникового оптичного випромінювача V1 і транзистора V2. Для забезпечення стабільності роботи випромінювача, в схему лазерного генератора (ЛГ) введено пристрій зворотного зв'язка (ПЗЗ) і система

термостабілізації (СТС). З виходу модулятора оптичний сигнал, промодульований по інтенсивності цифровим електричним сигналом у кодї СМІ, надходить на пристрій узгодження напівпровідникового випромінювача з оптичним волокном (УП).

## 2.2 Моделювання розповсюдження сигналу у лінії зворотнього зв'язку блоку лазерного випромінювача

У представленій роботі розглянуто дослідження біфуркацій у середовищі двухрівневих атомів, що знаходяться у резонаторі, який збуджується випадковим імпульсним полем. Ця модель є більш реалістичною, порівняно із гаусівським випадковим процесом. Показано [11], що у залежності від тривалих випадкових імпульсів на виході резонатора, у ньому встановлюється або статичний розподіл амплітуд і фаз, трансформований проявом поглинання, або в умовах, коли на вході резонатора поле вирождається у дельта-корельований шум, поле резонатора представляє собою марківський стрибкоподібний процес із розподілом амплітуд, який визначається рівнянням Колмлгорова-Феллера. Дослідження біфуркаційних залежностей у випадковому імпульсному полі дозволяє передбачити ряд нових ефектів і збільшення числа стабільних режимів - три- та чотирістабільність, обмеження інтенсивності прохідного випромінювання, підсилення флуктуацій у областях біфуркаційних переходів.

При дослідженні процесу взаємодії з атомами середовища, що знаходиться у резонаторі, основна відмінність, порівняно із ізольованими атомами, проявляється у самоузгодженості поля і поляризації середовища: поляризація середовища являється, у відповідності із рівнянням Максвела,

джерелом поля резонатора, котре у свою чергу поляризує середовище, яке представляється рівнянням для матриці густини.

Дійсно, завважуючи, що поле резонатора (Рисунок 2.2) у плоскохвильовому представленні може бути записане у вигляді:

$$E(z,t) = \left\{ E^+(z,t) \exp(-ik_0z) + E^-(z,t) \exp(ik_0z) \right\} \exp(-i\omega_0t),$$

де  $\omega_0$  - несуча частота поля,  $k_0 = \frac{\omega_0}{c}$ , для компонент поля

$E^\pm(z,t)$ , резонансно взаємодіючих із нелінійним середовищем резонатора, справедливі скорочені рівняння, які випливають із рівнянь Максвела у наближенні повільно змінюючихся амплітуд [11]:

$$\frac{\partial E^\pm}{\partial t} \pm c \frac{\partial E^\pm}{\partial z} = 2i\gamma G_1 \beta_{12}^{(1)}. \quad (2.1)$$

Тут  $\gamma = 2\pi N_0 \omega_0^2 \eta^2 / k_0 c^2$ ,  $N_0$  - число поглинаючих атомів,  $G_1$  - дипольний матричний елемент взаємодії,  $\beta_{12}^{(1)}$  - фур'є-компонента матриці густини атома, представленого у двухурівневому наближенні. Використовуючи наближення середнього поля, для амплітуди стоячої хвилі

$$E(z,t) = E^+(z) + E^-(z) = 2A \sin k_0 z,$$

усередненої по довжині резонатора:

$$E = \frac{1}{L} \int_0^L E(z) dz = \sqrt{2} A = \sqrt{2} \frac{E_T}{\sqrt{T}},$$

де  $E_T$  - амплітуда поля на виході резонатора,  $T$  - коефіцієнт прозорості дзеркал, отримано [10] рівняння

$$\frac{dE}{dt} = -k_e (1 + \Phi) E + \frac{\sqrt{2} K_e E_j}{\sqrt{T}} + 2\sqrt{2} i \gamma G_1 \beta_{12}, \quad (2.2)$$

де  $E_j$  - амплітуда поля на вході резонатора,

$$K_e = \frac{cT}{L(1 + \sqrt{R})},$$



- константа резонатора,  $R$  - коефіцієнт відбивання дзеркал,  $\Phi = \omega_0 - \omega_c$ ,  $\omega_c$  - частота моди резонатора. Рівняння (2.2) отримано за умови  $J_m \chi \ll I, R \approx I(T = I - R \rightarrow 0)$ , що є наслідком наближення середнього поля [12,13] ( $\chi$  - сприйнятливість середовища).

Рівняння для матриці густини атома

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{i}{\eta} [\hat{H} \rho] - T(\rho - \rho_0) \quad (2.3)$$

встановлює зв'язок між поляризацією середовища та полем ( $\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{V}, \hat{V} = -d\hat{E}$ ), і повинно розглядатись сумісно із рівнянням (2.3). Іншими словами, при резонансній взаємодії поля резонатора із атомами середовища наближення заданого поля не має сенсу.

Для середовища, що розглядається у двухрівневому наближенні, рівняння (2.2) і (2.3) можуть бути виражені через безрозмірні змінні  $\tau = k_0 t$ ,

$$Q = 2 \operatorname{Re} \beta_{12} \frac{1}{n_p} \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}, \quad M = 2 J_m \beta_{12} \frac{1}{n_p} \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}, \quad N = \frac{n}{n_p},$$

$$y = \frac{E_j^0}{|E_n| \sqrt{T}}, \quad x = \frac{E_T^0}{|E_n| \sqrt{T}} :$$

$$\frac{dx}{d\tau} = -x + 2C_0 M + y(\tau) \cos \theta, \quad (2.4)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \Phi - y(\tau) \frac{\sin \theta}{x} - \frac{2C_0}{x} Q + \frac{d\alpha}{d\tau}, \quad (2.55)$$

$$a_1 \frac{dN}{d\tau} = Mx - N + 1, \quad (2.6)$$

$$a_2 \frac{dM}{d\tau} = -M + \delta Q - xN, \quad (2.7)$$

$$a_2 \frac{dQ}{d\tau} = -Q - \delta M, \quad (2.8)$$

де здійснено перехід до дійсних амплітуд:

$$E = E_T^0 \exp i\psi, \quad E_J = E_J^0 \exp i\alpha,$$

$$|E_H|^2 = \left[ 4|G_1|^2 T_1 T_2 \right]^{-1}, \quad - \text{інтенсивність насичення,}$$

$$a_1 = k_g T_1, \quad a_2 = k_g T_2, \quad \delta = (\omega_{12} - \omega_0) T_2,$$

$\omega_{12}$  - власна частота атомів,  $n$  - заселеність двухрівневої системи,  $\theta = \alpha - \psi$  - різниця фаз, а

$$C_0 = \frac{n_p |G_1|^2 \gamma T_2}{2k_g}$$

параметр кооперативної взаємодії, введений у роботі [12,13].

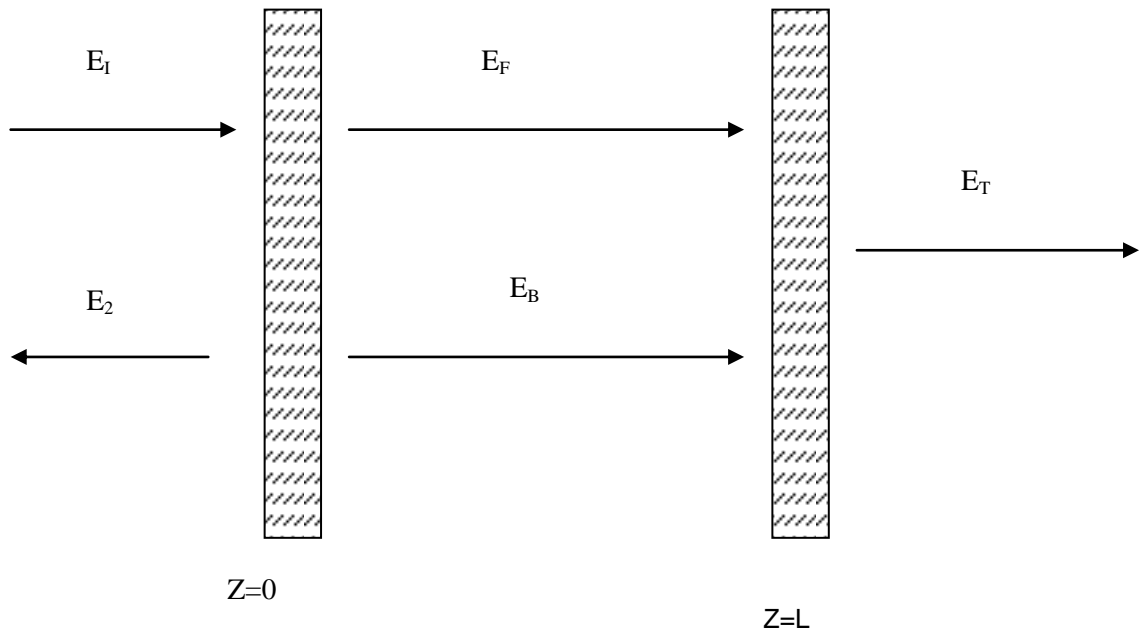


Рисунок 2.2 Схема резонатора Фабрі-Перо у наближенні до резонатора системи

Проведемо дослідження умови виникнення оптичної бістабільності у нелінійному резонаторі, який знаходиться у полі із випадково флюктуюючою амплітудою та фазою. Стійкість рівноважних станів поля резонатора

залежить від розподілу випадкових значень амплітуди і фази, які визначаються стохастичним рівнянням (2.4), (2.5), і, отже, від типу випадкового процесу, що збуджує резонатор.

При статичному випадковому полі на вході резонатора стохастичні рівняння (2.4), (2.5) трансформуються до виду

$$\frac{dx}{d\tau} = -f(x) + y \cos \theta, \quad (2.9)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = F(x) - \frac{y}{x} \sin \theta, \quad (2.10)$$

де

$$f(x) = x \left( 1 + \frac{2C_0}{1 + \sigma^2 + x^2} \right), \quad F(x) = \Phi - \frac{2C_0 \delta}{1 + \sigma^2 + x^2},$$

а статично розподілені амплітуда  $Y$  і фаза  $\alpha$  відображаються двомірним розподілом імовірності

$$d\omega(y, \alpha) = d\omega(y)d\omega(\alpha) = \omega(y)\omega(\alpha)dyd\alpha. \quad (2.11)$$

У цьому випадку вважається, що

$$\omega(y) = \frac{2}{\sigma^2} y \exp\left(-\frac{y^2}{\sigma^2}\right), \quad (2.12)$$

- розподіл Релея, розподіл фаз рівноімовірний:

$$\omega(\alpha) = \frac{1}{2\pi}.$$

Розподіл амплітуд і фаз поля резонатора можна отримати за допомогою (2.11), якщо використати зв'язок між значеннями  $y, \alpha$  на вході і  $x, \theta$  всередині резонатора. Цей зв'язок витікає із рівноважного рішення (2.9), (2.10):

$$y = f(x) \left[ 1 + \xi^2(x) \right]^{1/2}, \quad (2.13)$$

$$\alpha = \theta + \psi = \arctg \xi(x) + \psi, \quad (2.14)$$

де

$$\xi(x) = \frac{x^2 F(x)}{f(x)}.$$

Здійснюючи перехід до нових змінних  $(x, \theta)$  у (2.11), маємо:

$$d\omega(x, \theta) = \omega(x)\omega(\theta)h_1(x, \theta)h_2(x, \theta)dx d\theta, \quad (2.15)$$

де

$$h_1(x, \theta) = \left\{ f_x'^2(x) + \left[ (\arctg \xi(x))'_x \right]^2 \right\}^{1/2},$$

$$h_2(x, \theta) = 1.$$

Тоді стаціонарна густина розподілу амплітуд приймає вигляд  $\left( \omega(\theta) = \frac{1}{2\pi} \right)$ :

$$P_\infty(x) = \frac{2}{\sigma^2} \exp \left[ -\frac{f^2(x)}{\sigma^2} \right] \left| f_x'(x) \right| f(x), \quad (2.16)$$

відображаючи розподіл амплітуд поля резонатора при стабілізованій фазі збуджуючого поля.

Залежність розподілу  $P_\infty(x)$  має складну форму, і для визначення її особливостей представимо (2.16) у вигляді

$$P_\infty(x) = \left| f_x'(x) \right| \omega(f(x)), \quad (2.17)$$

де

$$\omega(f(x)) = \frac{2}{\sigma^2} f(x) \exp \left[ -\frac{f^2(x)}{\sigma^2} \right], \quad (2.18)$$

як функція  $f(x)$ , дублює статичний розподіл амплітуд на вході до резонатора.

Структура густини розподілу  $\omega(f(x))$  визначається екстремумами функції  $f(x)$ , які приходяться на значення амплітуд

$$x_{2,3} = \left[ C_0 - 1 \pm \sqrt{C_0(C_0 - 4)} \right]^{1/2}. \quad (2.19)$$

При цьому максимум функції  $f(x)$  відповідає мінімуму розподілу  $\omega(f(x))$ , і, навпаки, мінімум  $f(x)$  відповідає максимуму  $\omega(f(x))$  (Рис.2.3). Маючи на увазі, що густина розподілу  $P_\infty(x)$  містить співмножник  $|f'_x(x)|$ , нулі котрого визначаються значеннями (2.19), отримуємо, що залежність  $P_\infty(x)$ , має вигляд, представлений на Рис. 2.3в.

Утворення складної структури розподілу  $P_\infty(x)$ , порівняно із релеївським розподілом амплітуд поля на вході, зв'язано із особливостями абсорбції випромінювання середовища резонатора: значення амплітуд  $x_2, x_3$  попадають у область нестійких рішень і ділять області стійких станів резонатора. Значення амплітуди  $x_2$  розділяє два, фізично різних, стійких режимів поглинання - слабого поля у інтервалі  $0 \leq x \leq x_2$ , відповідаючого лінійному поглинанню із коефіцієнтом послаблення поля, який залежить від коефіцієнта поглинання  $\alpha(C_0 \approx \frac{\alpha c}{k_e})$ :

$$\eta = \frac{x}{y} \approx \frac{1}{1 + \frac{2C_0}{1 + \sigma^2}},$$

коли ефект насичення не проявляється. Поглинання у інтервалі  $x_2 \leq x \leq x_3$  проходить, у відмінності від попереднього випадка, в умовах, близьких до насичення. При цьому внаслідок вирівнювання заселеності збуджених атомів, проявляється просвітлення середовища, коли значення коефіцієнта ослаблення поля наближається до одиниці:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2C_0}{1 + \sigma^2 + x^2}} \approx 1.$$

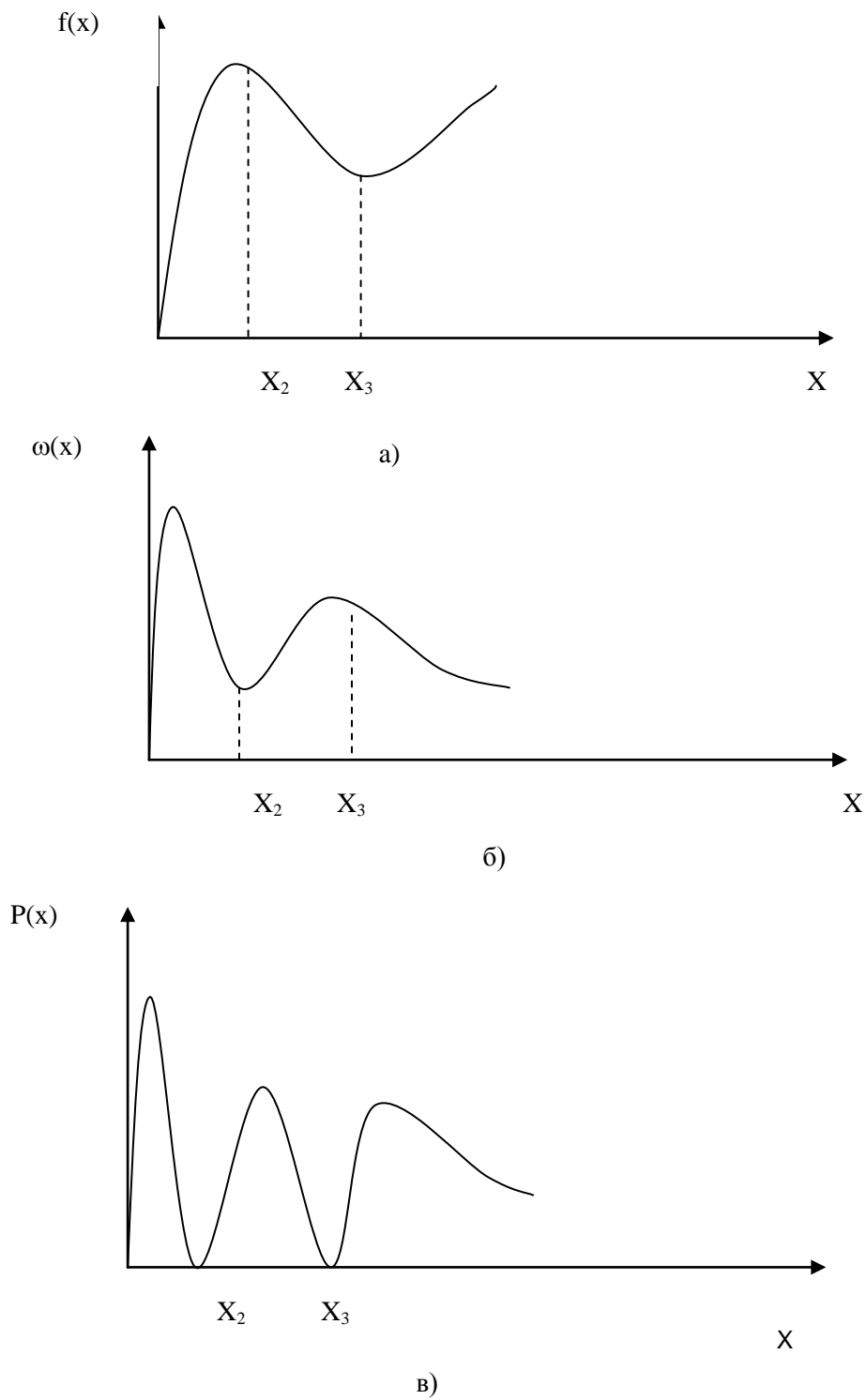


Рисунок 2.3 Формування розподілу амплітуд поля резонатора

Дослідження стійкості стаціонарного поглинання у резонаторі, який збуджується статичним полем, проведемо, усереднюючи рівняння (2.9) із імовірністю (2.16), і вважаючи, що різниця фаз  $\theta$  фіксована:

$$\left\langle \frac{dx}{d\tau} \right\rangle = -\langle f(x) \rangle + \bar{y}_\perp, \quad (2.20)$$

де кутові дужки означають усереднення по випадковому розподілу амплітуд, а  $\bar{y}_\perp = \overline{y \cos \theta}$  - біфуркаційний параметр.

Рівноважне рішення рівняння (2.20) прямує із умови  $\left\langle \frac{dx}{d\tau} \right\rangle = 0$ , звідки отримуємо біфуркаційне рівняння

$$\bar{y}_\perp = \langle f(x) \rangle, \quad (2.21)$$

у якому можна виділити функціональну залежність від середньої амплітуди

$$\bar{x} = \int_0^\infty x P_\infty(x) dx,$$

використавши перетворення:

$$\langle f(x) \rangle = \bar{x}^\eta,$$

де

$$\eta = \frac{\ln \langle f(x) \rangle}{\ln \bar{x}}.$$

Тоді біфуркаційне рівняння (2.21) приймає вигляд

$$\bar{y}_\perp = \bar{x}^{\eta(x)}, \quad (2.22)$$

який дозволяє чисельним розрахунком знайти біфуркаційну залежність  $\bar{x}(\bar{y})$ , представлену на Рис. 3. Біфуркаційна діаграма  $\bar{x}(\bar{y})$  має три вітки, що відповідають стійким станам - OA, CN, OS, у повній відповідності із розподілом імовірності (2.18): вітка OA відповідає лінійному поглинанню, CN - нелінійному поглинанню, і OS - просвітленню середовища. У відмінності від монохроматичного збудження збільшилось число біфуркаційних переходів і змінився їх характер - поряд із регулярною біфуркаційною точкою A з'являються особливі точки із розвітленими біфуркаційними переходами: точка C, що відповідає переходам  $K \leftarrow C \rightarrow D$ , і біфуркаційна точка N, котра обмежує інтенсивність прохідного

випромінювання. Можливість переходів  $N \rightarrow N'$  та  $S \rightarrow S'$  зумовлена тими обставинами, що вітки OS і CN відповідають збудженим станам системи, з'язаним осциляційними переходами, що зумовлюють "віртуальний" перехід одного стану в інший, вітка діаграми SN відповідає нестійкому стану, що відповідає провалу у розподілі імовірностей, вихід із якого може привести або до зриву випромінювання резонатора (ефект обмеження інтенсивності прохідної хвилі) - перехід  $N \rightarrow N''$ , або до переходу  $N \rightarrow N'$  у новий стійкий стан.

### 2.3 Мультистабільний логічний пристрій оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

У попередніх розділах було показано, що формування стійких режимів поглинання та випромінювання у резонаторі залежить від статичних характеристик випадкового поля, поданого на вхід резонатора. На основі цих результатів були запропоновані [12,13] оптичні логічні пристрої, які володіють трьома та чотирьома стійкими станами, у залежності від типу модуляції зовнішнього сигналу.

Загальною для розроблених логічних пристроїв є схема, яка містить джерело монохроматичного випромінювання, скануючий інтерферометр Фабрі-Перо, амплітудний модулятор із статичним випадковим шумом, резонатор, заповнений резонансно поглинаючим середовищем у якості котрого можуть виступати такі відомі нелінійно-оптичні кристали, як  $\beta\text{-BaV}_2\text{O}_4$  (BVO),  $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (LBO),  $\text{KTiOPO}_4$  (КТР),  $\text{RbTiOPO}_4$  (RTP), реєструючий пристрій [14-17].

Скануючий інтерферометр Фабрі-Перо дозволяє безперервно перебудовувати сталу складову амплітуди збуджуючого поля, а амплітудний



модулятор, який представляє собою нелінійний кристал KDP, ADP або KTP, підключений до стандартного генератора шуму  $\Gamma_{ш}$ , модулює сигнал прямокутними імпульсами із заданим розподілом випадкових амплітуд. В умовах, коли тривалість прямокутних імпульсів відповідає нерівності

$$\tau_u \gg \frac{1}{K_\epsilon} = \frac{L}{cT},$$

де  $c$  - швидкість світла у середовищі, а  $L$  - довжина резонатора, поле, що пройшло модулятор, є статичним випадковим процесом.

У статичному полі характеристики сигналу на виході мають вигляд, представлений на рисунку 2.4, і демонструють, що у статичному полі, на відміну від монохроматичного, з'являються три стабільні стани. Бістабільна область з двома стійкими станами вихідного випромінювання дозволяє реалізовувати логічні операції І, АБО, НІ, комірку пам'яті. Збільшення амплітуди вхідного випромінювання вище деякого критичного значення призводить до переходу у третій стійкий стан без бістабільної області.

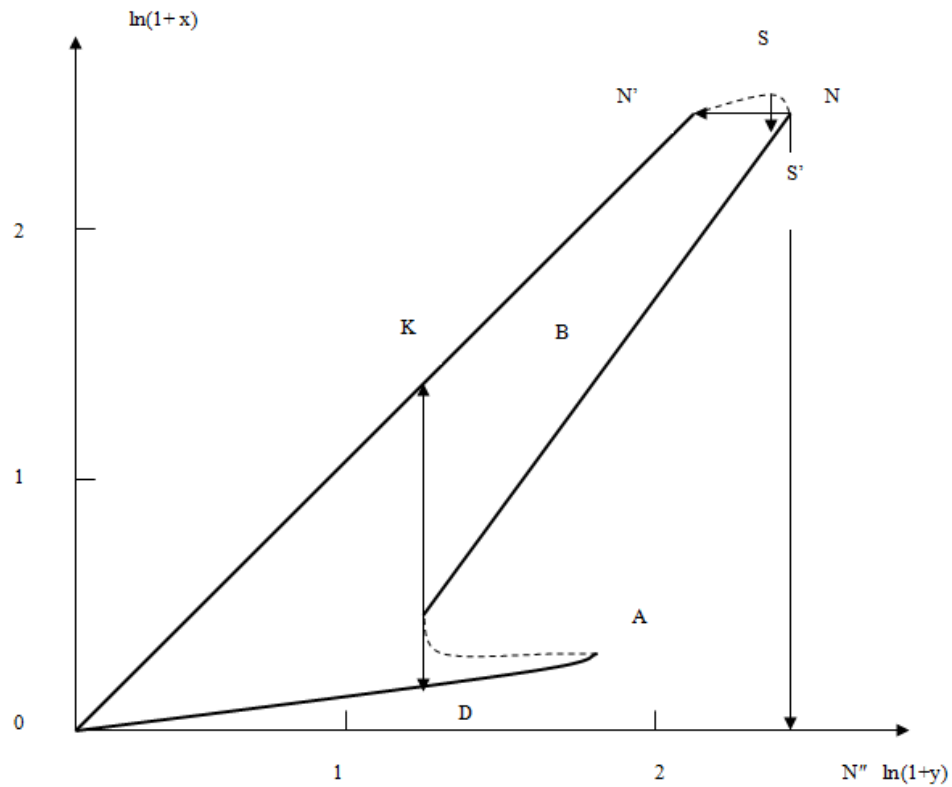


Рисунок 2.4 Біфуркаційна діаграма при однофотонному збудженні статичним полем:  $C_0=20$ ,  $\sigma=0$ ,  $k=1$

Логічний пристрій може бути використаний для кодування оптичної двійкової інформації. Режим роботи приймально-підсилюючої апаратури підбирається в одній із областей бістабільності, а передача інформаційних сигналів "0" та "1" забезпечується включенням-виключенням у передаючій лазерній системі амплітудного модулятора статичним випадковим процесом. Наявність, певним чином налагодженого, оптичного резонатора у приймальній, а амплітудного модулятора у передаючій системі, забезпечує секретність передачі двійкової інформації. Описаний оптичний логічний пристрій має значно більші функціональні можливості, ніж уже відомі прилади.

Необхідно відмітити достатньо високу швидкодію пристроїв - оцінка часу біфуркаційних переходів дає величину порядку  $0,5 \cdot 10^{-9}$  с, та їх високу радіаційну стійкість, порівняно із напівпровідниковими приладами.

Відмітимо також, що оптичні нелінійні пристрої, основані на фізичних процесах, пов'язаних із властивостями оптичних електронів, набагато менше чутливі до електромагнітного імпульсу, який виникає при ядерному вибуху, призводячого до виводу із ладу на довгий час існуючої напівпровідникової апаратури.

Отже, в результаті моделювання встановлено зв'язок розподілу амплітуд поля резонатора із стійкими режимами поглинання слабкого та сильного полів. Виявлено ефекти мультистабільності, пов'язані із стохастичним збудженням резонатора.

Запропоновано пристрої оптичної логіки, основані на ефектах мультистабільності у випадковому полі.

#### 2.4 Розробка функціональних вузлів оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

Для правильного вибору оптичного випромінювача необхідно визначити необхідну оптичну потужність на виході оптичного передавального пристрою.

Далі обираємо транзистор у схемі прямого модулятора (МОД) і розрахунок модулятора (рисунок 2.5). Транзистор вибирають виходячи з характеристик певного оптичного випромінювача, а саме струму накачування й граничного струму. При цьому необхідно враховувати максимально допустиму потужність транзистора і його граничну частоту. Потім задається робоча точка і розробляється розрахунок елементів схеми модулятора.

Після вибору транзистора у схемі модулятора необхідно розрахувати узгоджувальний підсилювач (УП). У якості підсилювача обираємо швидкодіючий операційний підсилювач, включений за схемою перетворювача напруга - струм (рисунок 2.5).

Потрібно правильно вибрати тип операційного підсилювача відповідно до необхідної верхньої частоти й розсіювальної потужності, а також розрахувати елементи схеми перетворювача напруга - струм.

На останньому етапі проводимо розрахунок автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу на виході передавального пристрою (АРП). Для цього буде використовуватися фотодіод V3, підключений до одного з полюсів спрямованого оптичного відгалуджувача і детектор АРП, виконаний на інтегральній схемі К175ДА1 (рисунок 2.5).

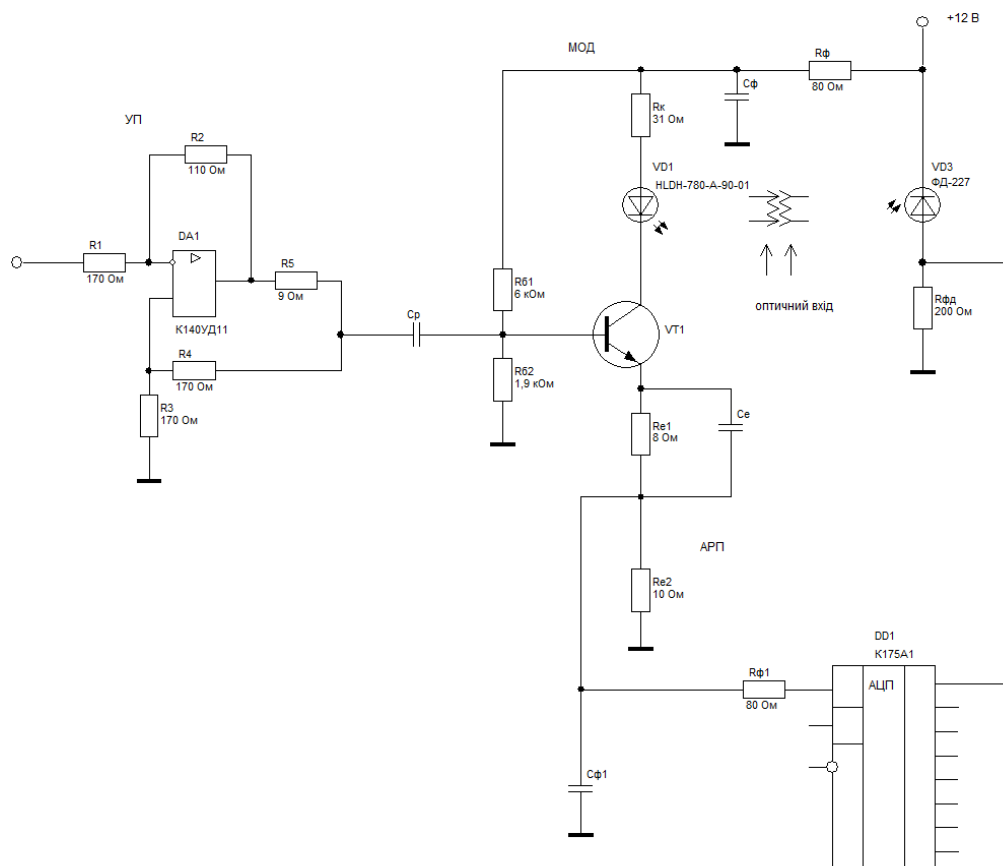


Рисунок 2.5 – Спрощена схема оптичного передавального пристрою

#### 2.4.1 Розрахунок потужності випромінювання передавача й вибір типу випромінювача

Значення різниці потужності на виході оптичного випромінювача на вході оптичного приймача повинне перевищувати максимальне загасання, внесене станційними й лінійними спорудами на ділянці передавач – приймач. Існуючі в цей час приймальні оптичні модулі забезпечують досить низький рівень прийому -  $10^{-2}$ мкВт (-50дБ).

Тоді за формулою Шенона визначимо частоту сигналу з якою буде передаватися сигнал зі швидкістю 1Gbt/c

$$\Delta f = \frac{B}{0.332X}; \quad (2.23)$$

$$\Delta f = \frac{1Gbit/c}{0.332 \cdot 50\text{дБ}} = 60,24(\text{МГц});$$

Для проектованої одноволоконної системи зв'язку загасання ділянки складе

$$\alpha = l \cdot \left( \alpha_{OB} + \frac{\alpha_{H3}}{lc} \right) + 2 \cdot \alpha_{P3} + 2 \cdot \alpha_{ПЗСЛ} + 2 \cdot \alpha_{ПОРС}, \quad (2.24)$$

де  $l=8$  км - довжина ділянки;

$\alpha_{OB}=5$  дБ/км - загасання сигналу на одному кілометрі оптичного волокна;

$\alpha_{ПОРС}=2$  дБ - загасання сигналу у пристрої об'єднання й розділення сигналів;

$\alpha_{ПЗСЛ}=1$  дБ - загасання сигналу у пристрої ПЗСЛ;

$\alpha_{P3}=1$  дБ - загасання сигналу у роз'ємних з'єднувачах;

$\alpha_{H3}=0,5$  дБ - загасання сигналу у нероз'ємних з'єднувачах;

$$\alpha = 1 \cdot \left( 5 + \frac{0.5}{1} \right) + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 = 52 \text{ (дБ)};$$

де  $lc=1$  км - будівельна довжина оптичного кабелю.

Мінімальне значення рівень потужності на виході, дБ

$$P_{\text{мін,дБ}} = P_{\text{пр}} + \alpha, \quad (2.25)$$

де  $P_{пр} = -50$  дБ - рівень оптичного сигналу на прийомі,

$$P_{мін,дБ} = P_{пр} + \alpha = -50 + 52 = 2 \text{ (дБ)}.$$

Тоді мінімальний рівень потужності, мВт

$$P_{мін,мВт} = 10^{0,1 \cdot P_{мін,дБ}} \cdot 1 \text{ мВт} = 10^{0,1 \cdot 2} \cdot 1 = 1,585 \text{ мВт}.$$

Тобто потужність випромінювання на виході передавального модуля повинна бути не менш 1,5 мВт. Крім того, джерело випромінювання повинне працювати на довжині хвилі 0,8 мкм і забезпечувати частоту модуляції не менше 60,24 МГц. Світловипромінюючий діод HLDH-780-A-90-01 відповідає наведеним вимогам і має наступні параметри:

- потужність випромінювання,  $P_{вип} = 90$  мВт;
- мінімальна довжина хвилі випромінювання,  $\lambda_{мін} = 0,785$  мкм;
- максимальна довжина хвилі випромінювання,  $\lambda_{мак} = 0,808$  мкм;
- номінальний прямий струм світлодіода,  $I_{пр. ном} = 115$  мА;
- час наростання імпульсу випромінювання світлодіода,  $t_{нар.}$

$t_{вип} = 20$  нс;

- час спадання імпульсу випромінювання світлодіода,  $t_{сп. вип} = 20$  нс;
- максимально-допустима зворотня напруга світлодіода,  $U_{зв. мак} = 2$  В;
- максимально-допустима температура корпусу світлодіода,

$T_{к. мак} = 70^\circ\text{C}$ .

#### 2.4.2 Вибір транзистора й розрахунок опорів у схемі модулятора

При виборі транзистора будемо керуватися наступними вимогами до його технічних характеристик [18]:

Постійний струм колектора не менше 115 мА;

Частота зрізу не менше 60,24 МГц.

Наведеним вимогам задовольняє кремнієвий n-p-n транзистор КТ604А. Даний транзистор призначений для застосування в перемикаючих і імпульсних пристроях, у ланцюгах обчислювальних машин, в генераторах електричних коливань і має наступні електричні параметри :

Режим роботи транзистора визначається наступними параметрами:

- напруга спокою колектора:  $U_{к0}=8$  В;
- струм спокою колектора:  $I_{к0}=200$  мА;
- струм спокою бази:  $I_{б0}=0,135$  мА;
- напруга спокою бази:  $U_{б0}=0,71$  В;
- Амплітуда струму бази:  $I_{б \text{ max}}=0,47$  мА;
- Амплітуда напруги на колекторі:  $U_{к \text{ max}}=250$  В;
- Амплітуда напруги на базі:  $U_{б \text{ max}}=5$  В.

Задавши режим роботи транзистора, переходимо до розрахунку елементів схеми модулятора (рисунок 2.6). Транзистор включений за схемою із спільним емітером, а світло випромінюючий діод перебуває в ланцюзі колектора.

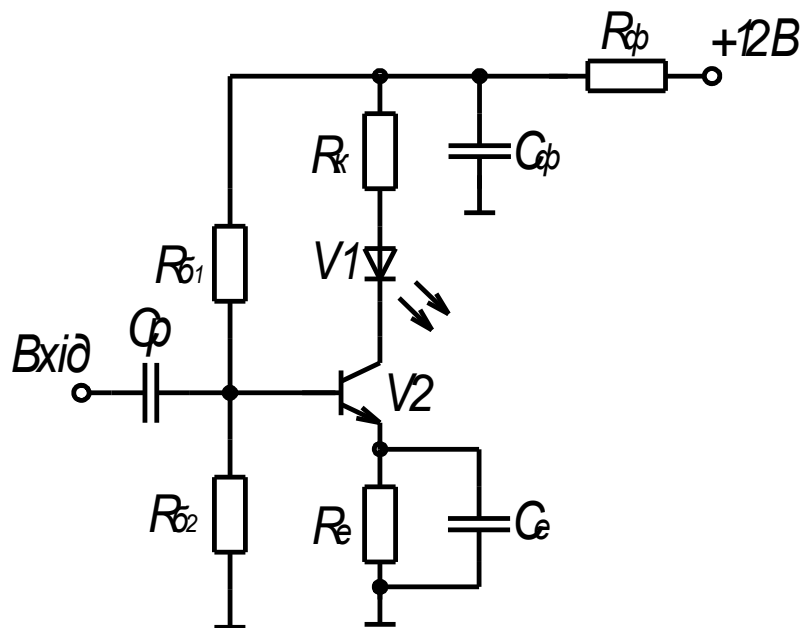


Рисунок 2.6 – Принципова схема оптичного модулятора

Спадання напруги в емітерному колі повинне задовольняти умові:

$$U_{Re} = 0,15 \cdot E_{Ж}, \quad (2.26)$$

де  $E_{Ж}$  - напруга живлення модулятора.

Задамося стандартною напругою живлення  $E_{Ж}=12$  В, тоді

$$U_{Re} = 0,15 \cdot 12 = 1,8 \text{ (В)}.$$

Опір  $R_e$  розраховується по формулі:

$$R_e = \frac{U_{Re}}{I_{КО} + I_{БО}}, \quad (2.27)$$

$$R_e = \frac{1,8}{(200 + 0,135) \cdot 10^{-3}} \approx 8,9 \text{ (Ом)}.$$

Струм подільника  $I_p$  повинен не менше ніж в шість разів перевершувати струм спокою бази  $I_{БО}$ :

$$I_p = 10 \cdot I_{БО}; \quad (2.28)$$

$$I_p = 10 \cdot I_{БО} = 10 \cdot 0,135 = 1,35 \text{ (мА)}.$$

Співвідношення між напругою на емітерному опорі і опорі фільтра можна розподілити по-різному. Для забезпечення більше глибокої стабілізації режиму краще взяти  $U_{Re} \geq U_{\phi}$ .

Нехай  $U_{R\phi} = 1$  В, тоді опір фільтра визначається в такий спосіб:

$$R_{\phi} = \frac{U_{R\phi}}{I_{КО} + I_{БО} + I_p}; \quad (2.29)$$

$$R_{\phi} = \frac{1}{(200 + 0,135 + 1,35) \cdot 10^{-3}} = 4,925 \text{ (Ом)}.$$

Спадання напруги на опорі подільника  $R_b$  дорівнює сумі спадання напруги на опорі в колі емітера і напрузі зсуву на базі транзистора:

$$U_{R_{b2}} = U_{Re} + U_{\phi_0} \quad (2.30)$$

$$U_{R_{b2}} = U_{Re} + U_{\phi_0} = 1,8 + 0,71 = 2,51 \text{ (В)}$$

тоді опір подільника  $R_{b2}$ :



$$R_{62} = \frac{U_{R62}}{I_{\Pi}}, \quad (2.31)$$

$$R_{62} = \frac{2,51}{1,35 \cdot 10^{-3}} = 1,86 \text{ (кОм)}.$$

Опір резистора  $R_{61}$  визначається виразом:

$$R_{61} = \frac{E_{\text{ж}} - U_{R62} - U_{R\phi}}{I_{\Pi} + I_{\text{Б0}}}, \quad (2.32)$$

$$R_{61} = \frac{12 - 2,51 - 1}{(1,35 + 0,135) \cdot 10^{-3}} = 5,72 \text{ (кОм)}.$$

Аналогічно знайдемо опір  $R_{61}$ :

Для схеми з емітерною стабілізацією напруга живлення розподіляється між трьома резисторами вихідного кола ( $R_e$ ,  $R_k$ ,  $R_f$ ), лазерним випромінювачем і транзистором:

$$E_{\text{ж}} = U_{\text{кео}} + U_{R_e} + U_{R_k} + U_{R_f} + U_{\text{д}}, \quad (2.33)$$

де  $U_{\text{д}} = 2 \text{ В}$  - спадання напруги на світловипромінювальному діоді;

$U_{R_f}$  – спадання напруги на опорі в ланцюзі колектора.

Звідки

$$U_{R_k} = E_{\Pi} - U_{\text{кео}} - U_{R_e} - U_{R_f} - U_{\text{д}}, \quad (2.34)$$

$$U_{R_k} = 12 - 8 - 1,8 - 1 - 2 = 1,2 \text{ (В)}.$$

Тоді опір в колі колектора дорівнює:

$$R_k = \frac{U_{R_k}}{I_{\text{к0}}}, \quad (2.35)$$

$$R_k = \frac{1,2}{200 \cdot 10^{-3}} = 6 \text{ (Ом)}.$$

### 2.4.3 Розрахунок узгоджувального підсилювача

В якості узгоджувального підсилювального елемента передбачається використовувати швидкодіючий операційний підсилювач, включений за схемою перетворювача напруга - струм (відомої так само як підсилювач із комплексною крутістю передачі). Схема узгоджувального підсилювача представлена на рисунку 2.6. Резистор R5, що відбирає струм, призначений для забезпечення зворотного зв'язку на позитивний вхідний контакт [18].

Опором навантаження підсилювача є вхідний опір прямого модулятора і дорівнює паралельному з'єднанню опорів подільника  $R_{\Pi}$  (із двох паралельно з'єднаних опорів в ланцюзі бази R<sub>B1</sub> і R<sub>B2</sub>) і вхідного опору транзистора  $R_{вх\epsilon}$ .

Опір входу транзистора визначається наступним співвідношенням:

$$R_{вх\epsilon} = \frac{U_{БМ} - U_{БО}}{I_{БМ} - I_{БО}}, \quad (2.36)$$

$$R_{вх\epsilon} = \frac{0,74 - 0,71}{(0,47 - 0,135) \cdot 10^{-3}} = 89,55 \text{ (Ом)}.$$

Опір подільника:

$$R_{\Pi} = \frac{R_{Б1} \cdot R_{Б2}}{R_{Б1} + R_{Б2}}, \quad (2.37)$$

$$R_{\Pi} = \frac{5,72 \cdot 10^3 \cdot 1,86 \cdot 10^3}{(5,72 + 1,86) \cdot 10^3} = 1,40 \text{ (кОм)}.$$

тоді опір навантаження підсилювача дорівнює:

$$R_{Н} = \frac{89,55 \cdot 1,4 \cdot 10^3}{89,55 + 1,4 \cdot 10^3} = 84,18 \text{ (Ом)},$$

таким чином, опір R5:

$$R5 = \frac{84,18}{10} = 8,42 \text{ Ом},$$

Амплітудне значення спадання напруги на опорі R5:

$$\Delta U_{R5} = (I_{BM} - I_{BO}) \cdot R5, \quad (2.32)$$

$$\Delta U_{R5} = (0,47 - 0,135) \cdot 10^{-3} \cdot 8,42 = 3 \text{ (мВ)}.$$

Необхідний коефіцієнт підсилення дорівнює відношенню амплітуди вихідної напруги (напруга  $\Delta U_{R5}$ ) до амплітуди вхідної напруги. Оскільки на вхід узгоджувального підсилювача надходить із перетворювача коду, зібраного на мікросхемах серії ТТЛ із рівнями логічного нуля й одиниці відповідно 0,7 і 5 В, то амплітуда вхідного сигналу складе  $\Delta U_{вх} = 5 - 0,7 = 4,3 \text{ (В)}$ .

Тоді коефіцієнт підсилення схеми складе

$$K = \frac{\Delta U_{R5}}{\Delta U_{вх}}, \quad (2.38)$$

$$K = \frac{0,003}{4,3} = 6,56 \cdot 10^{-4}.$$

Звичайно номінали резисторів R1, R3 і R4 вибираються однаковими, при цьому кожний з них повинен перевищувати опір R5 не менш ніж в 20 разів.

Прийmemo відповідно до цієї умови наступні значення опорів

$$R1 = R3 = R4 = 2000 \cdot Rн, \quad (2.39)$$

$$R1 = R3 = R4 = 2000 \cdot 84,18 = 168,36 \text{ (КОм)}.$$

Опір R2 задає коефіцієнт підсилення схеми й визначається в такий спосіб:

$$R2 = R1 \cdot K, \quad (2.40)$$

$$R2 = 168,36 \cdot 10^3 \cdot 6,56 \cdot 10^{-4} = 110,41 \text{ (Ом)}.$$

На сьогоднішній час створений ряд швидкодіючих операційних підсилювачів (ОП). Відповідними параметрами володіє операційний підсилювач К140УД11. Даний прилад виконаний по планарно-

епітаксіальній технології з ізольованим р-п переходом, має швидкість наростання вихідної напруги 50 В/мкс і частоту одиничного підсилення 15 МГц. Крім того, за рахунок оригінальної схеми ОП відрізняється високою стабільністю параметрів у всьому діапазоні напруг живлення від  $\pm 5$  до  $\pm 16$  В.

Швидкодіючі підсилювачі менш стійкі в порівнянні з універсальними ОП, тому для запобігання генерації зі схеми необхідно зменшити паразитну ємність між виходом ОП і його входом, що інвертує. Для зменшення зазначеної ємності застосовують зовнішні ланцюги корекції, склад яких залежить від завдання, що вирішує операційний підсилювач. У нашій випадку будемо використовувати стандартну схему частотної корекції, призначену для збільшення швидкості наростання вихідної напруги.

#### 2.4.4 Розрахунок пристрою автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу

Пристрій автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу на виході передавального пристрою повинне забезпечувати стабілізацію середньої потужності лазерного випромінювання. Пристрій АРП містить у собі наступні основні елементи (функціональна група АРП на рисунку 2.6):

Фотодіод призначений для перетворення оптичного випромінювання, що надходить з виходу лазерного випромінювача, в електричний струм.

Детектор автоматичного регулювання рівня й підсилювач постійного струму, виконаний на інтегральній мікросхемі.

Чутливість фотодіода в цьому випадку ролі не грає, по цьому при виборі типу фотодіода будемо керуватися такими параметрами як надійність і низька вартість. Відповідно до наведених вимог у схемі АРП передбачається використання р-і-п фотодіода, оскільки даний тип фотодіодів має найвищу температурну стабільність, невисокою вартістю й

вимагає низької напруги живлення. Для побудови пристрою АРП використовується фотодіод вітчизняного виробництва ФД-227, оскільки він має відносно невисокі якісні показники, отже, має меншу вартість.

Розрахуємо середнє значення напруги, що надходить на вхід детектора АРП. Для цього визначимо середню оптичну потужність, що попадає на фотодіод:

$$P_{\text{ФД}} = 10^{0,1 \cdot (P_{\text{СЕР}} - \alpha_{\text{РГ}})}, \quad (2.36)$$

$$P_{\text{ФД}} = 10^{0,1 \cdot (2,43 - 2)} = 1,1 \text{ (мВт)},$$

де  $P_{\text{СЕР}} = 2,43$  дБ - середня потужність оптичного сигналу на виході випромінювача;

$\alpha_{\text{РГ}} = 2$  дБ - загасання оптичного розгалужувача.

Тоді фотострум, що протікає в колі ФД під дією Рфд:

$$I_{\text{П}} = S \cdot P_{\text{ФД}}, \quad (2.37)$$

$$I_{\text{П}} = 0,3 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 331,22 \text{ (мкА)},$$

де  $S = 0,3$  А/Вт - монохроматична струмова чутливість фотодіода.

Середнє значення напруги на вході мікросхеми дорівнює середньому значенню спадання напруги на опорі  $R_{\text{ФД}}$  у ланцюзі фотодіода:

$$U_{\text{РАРП}} = I_{\text{П}} \cdot R_{\text{ФД}}, \quad (2.38)$$

$$U_{\text{РАРП}} = 331,22 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 66,25 \text{ (мВ)},$$

де  $R_{\text{АРП}} = 200$  Ом.

Як детектор АРП і підсилювач постійного струму передбачається використання інтегральної мікросхеми К175ДА1. Її основні характеристики:

Напруга живлення:  $U_{\text{Ж}} = 6$  В;

Коефіцієнт передачі АРП:  $K_{\text{АРУ}} = 20$ ;

Верхня гранична частота:  $F_{\text{В}} = 65$  МГц.

Значення напруги на виході мікросхеми:

$$U_{\text{ВИХ МК}} = R_{\text{АРП}} \cdot K_{\text{АРП}}, \quad (2.39)$$

$$U_{\text{ВИХ МК}} = 66.25 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 1.33 \text{ (В)}.$$

Далі розрахуємо опір в колі емітера  $R_{e2}$ , що слугує для введення напруги зворотного зв'язку, що надходить із пристрою АРП. Для цього задамося глибиною зворотного зв'язку 10 дБ ( $F_{\text{ос}} = 3$ ), і визначимо наскрізну крутість емітерного струму  $S_e$

$$S_e = \frac{1 + h_{21e \text{ CP}}}{R_{\text{вхе}} + R_{\text{II}}}, \quad (2.40)$$

$$S_e = \frac{1 + 300}{89.55 + 1.4 \cdot 10^3} = 0.202,$$

середнє значення статичного коефіцієнта передачі транзистора.

$$h_{21e \text{ CP}} = \sqrt{h_{21e \text{ min}} \cdot h_{21e \text{ max}}}, \quad (2.41)$$

$$h_{21e \text{ CP}} = \sqrt{200 \cdot 450} = 300$$

Тоді опір в колі емітера:

$$R_{e2} = \frac{F_{\text{ос}} - 1}{S_e}, \quad (2.42)$$

$$R_{e2} = \frac{3 - 1}{0.202} = 10 \text{ (Ом)}.$$

Отже:

$$R_{e1} = R_e - R_{e2}, \quad (2.43)$$

$$R_{e1} = 18 - 10 = 8 \text{ (Ом)}.$$

Нехай спадання напруги на опорі фільтра  $U_{R\phi1} = 1.2 \text{ В}$ , тоді значення напруги АРУ  $U_{\text{АРУ}}$  на опорі  $R_{e2}$ :

$$U_{\text{АРУ}} = U_{\text{ВИХ МК}} - U_{R\phi1}, \quad (2.44)$$

$$U_{\text{АРУ}} = 1.33 - 1.2 = 0.13 \text{ (В)}.$$

Для збереження раніше розрахованого режиму роботи транзистора при введенні АРП необхідно зменшити величину опору  $Re_2$ :

$$Re_2 = Re_2 - \frac{U_{АРП}}{I_{КО} + I_{БО}}, \quad (2.45)$$

$$Re_2 = 10 - \frac{0,13}{(200 + 0,135) \cdot 10^{-3}} = 8,7 \text{ (Ом)}.$$

Тоді:

$$R_k = R_k + \frac{U_{АРП}}{I_{КО} + I_{БО}}, \quad (2.46)$$

$$R_k = 30 + \frac{0,13}{(200 + 0,135) \cdot 10^{-3}} = 31,3 \text{ (Ом)}.$$

Опір фільтра  $R_{\Phi 1}$  дорівнює:

$$R_{\Phi 1} = \frac{Re_2 \cdot U_{R_{\Phi 1}}}{U_{АРП}}, \quad (2.47)$$

$$R_{\Phi 1} = \frac{8,7 \cdot 1,2}{0,13} = 80,3 \text{ (Ом)}.$$

## 2.5 Моделювання роботи функціональних блоків схеми оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

Для встановлення правильності проведених розрахунків в роботі було проведено моделювання основних функціональних блоків системи: блок модулятора (МОД), узгоджувальний підсилювач (УП), блок автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу на виході передавального пристрою (АРП).

Моделювання блоків проводилось за допомогою редактора САПР електронних схем Proteus.

На рисунку 2.7 представлено інтерфейс програмного середовища, у якому виконано моделювання схеми оптичного передавального пристрою.

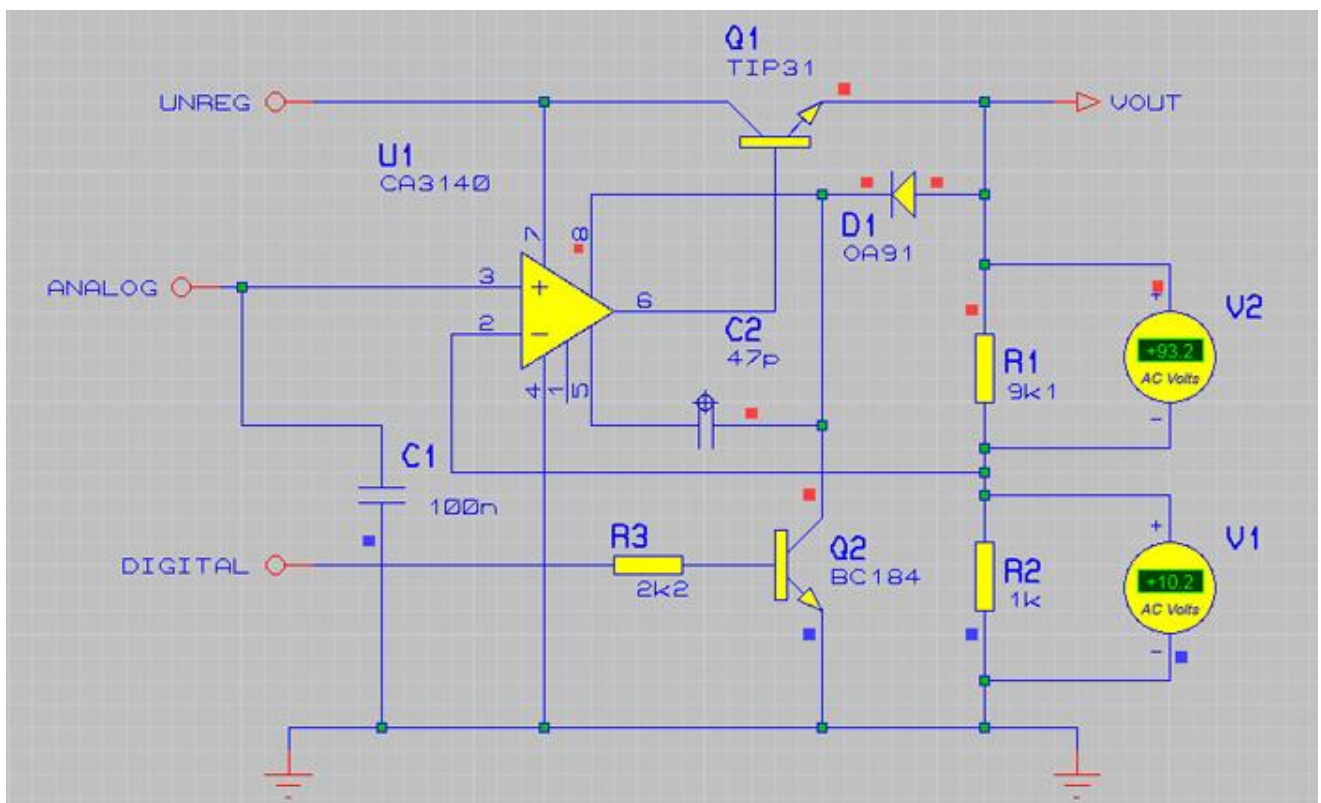
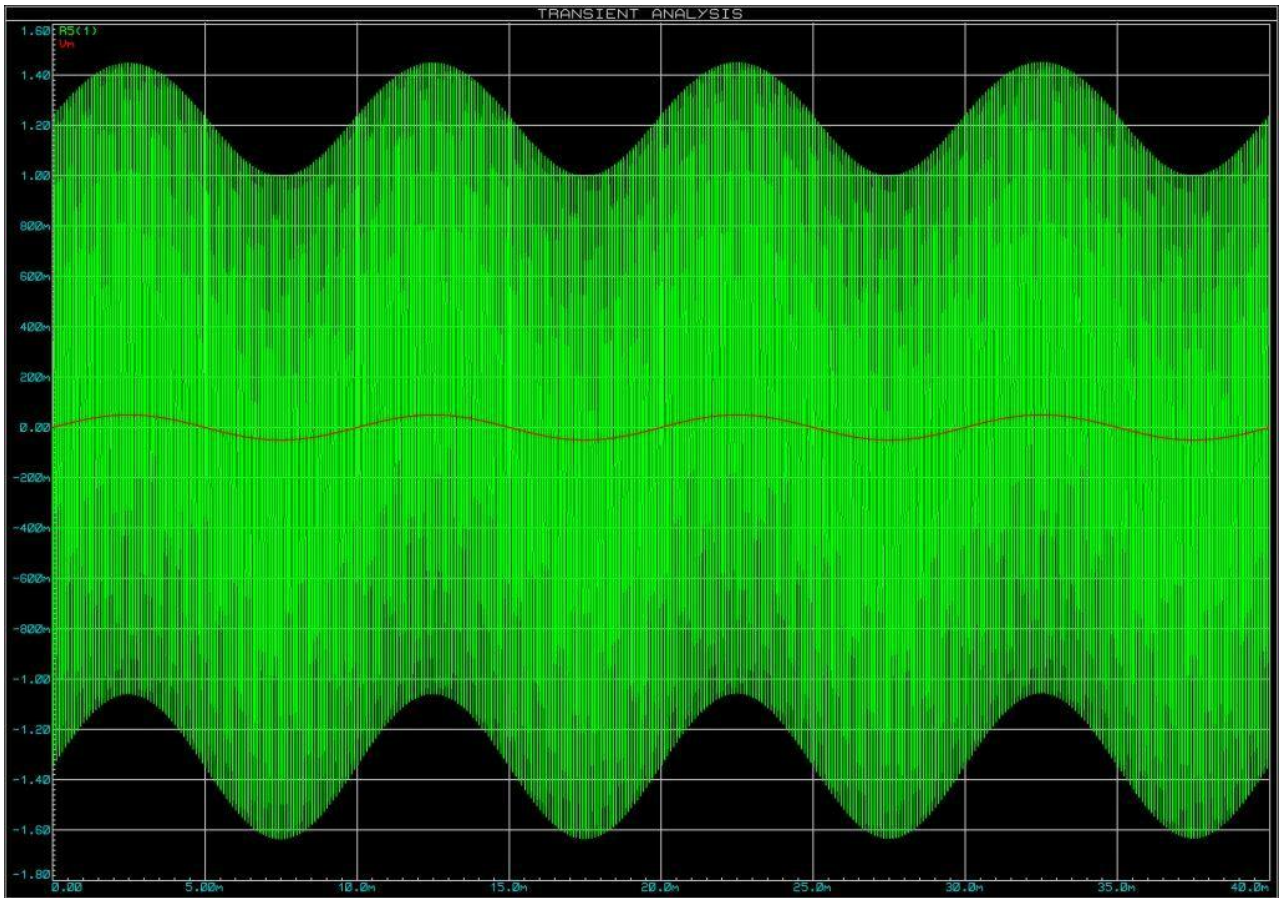


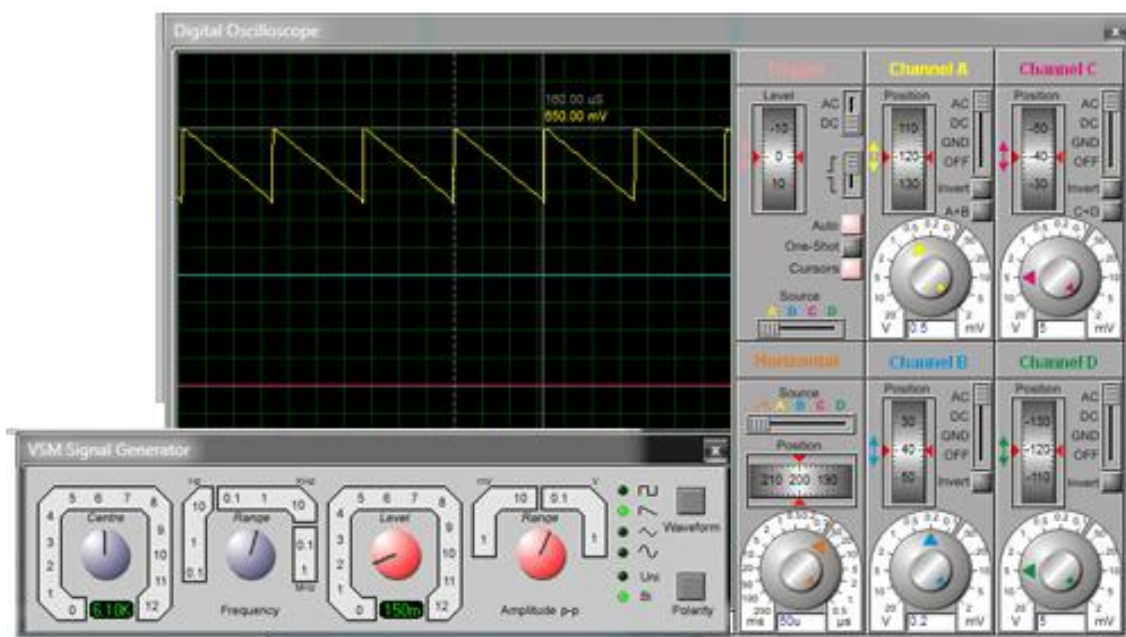
Рисунок 2.7 – Схема оптичного передавального пристрою оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку у програмному середовищі Proteus

На рисунку 2.8. представлено результати вимірювань електричних параметрів функціональних блоків системи

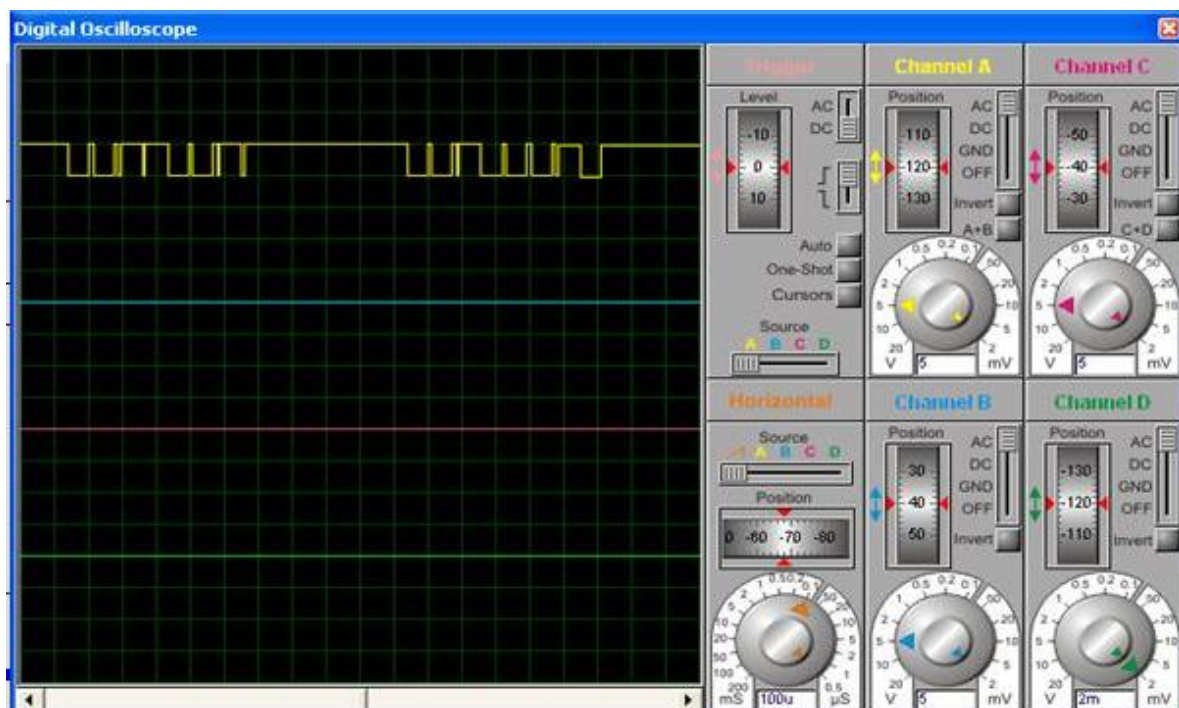




a)



б)



в)

Рисунок 2.8 - Результати вимірювань електричних параметрів функціональних блоків системи: а - блок модулятора (МОД), б -

узгоджувальний підсилювач (УП), в) блок автоматичного регулювання рівня оптичного сигналу на виході передавального пристрою (АРП).

На діграмі чітко видно, що інформаційний сигнал має структуру подвійних логічних станів, що підтверджує теоретичні розрахунки, представлені у п. 2.2.

Як слідує із результатів, представлених на рисунку 2.8, основні параметри системи, які були розраховані аналітично у п. 2.4, добре узгоджуються із результатами моделювання.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) для розробки обрана схема волоконно-оптичної системи зв'язку з модуляцією по інтенсивності, із застосуванням оптичних розгалужувачів. Дана схема відрізняється простотою реалізації оптичного передавача й приймача, невисокою вартістю пристроїв об'єднання і розгалуження оптичних сигналів (оптичних розгалужувачів);

2) в результаті моделювання встановлено зв'язок розподілу амплітуд поля резонатора із стійкими режимами поглинання слабого та сильного полів. Виявлено ефекти мультистабільності, пов'язані із стохастичним збудженням резонатора;

3) запропоновано пристрої оптичної логіки, основані на ефектах мультистабільності у випадковому полі;

4) у якості випромінювача запропоновано використати світловипромінюючий діод HLDH-780-A-90-01, як найбільш оптимальний по розрахованим параметрам;

5) для модулятора сигналів обрано кремнієвий n-p-n транзистор КТ604А (постійний струм колектора не менше 115 мА; частота зрізу не менше 60,24 МГц), який задовольняє вимогам застосування в перемикаючих і імпульсних пристроях та у ланцюгах обчислювальних машин;

6) у якості узгоджувального підсилювального елемента передбачається використовувати швидкодіючий операційний підсилювач К140УД11, як найбільшоптимальний за параметрами (швидкість наростання вихідної напруги 50 В/мкс, частота одиничного підсилення 15 МГц, висока стабільність параметрів у всьому діапазоні напруг живлення від  $\pm 5$  до  $\pm 16$  В);

7) детектор автоматичного регулювання рівня й підсилювач постійного струму, виконаний на інтегральній мікросхемі К175ДА1, як найбільш оптимальною по технічним та економічним показникам;

8) розраховані показники параметрів функціональних блоків пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

### 3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем передавального блоку оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

#### 3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем передавального блоку оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді малогабаритного мікромодуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікроборок. Але у відмінності від стандартної технології у гібридного виконання всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення електронних схем передавального блоку проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [19].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Напівпровідникових інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані на поверхні та в об'ємі загального кристала напівпровідника
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікроборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано

	у вигляді тонких плівок.
--	--------------------------

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) [19].

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

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
	$\Sigma$						9,033	1,00

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  $i$ -го критерію в глобальному критерії:

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  $i = 1, 2, 3, 4$ .

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

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	1	1/5	3	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
$\Sigma$					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
$\Sigma$					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
$\Sigma$					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 <sub>i</sub>
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
Σ					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 <sub>i</sub>
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
Σ					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 <sub>i</sub>
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
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [19].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронної схеми блоку реєст-



рації оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку з використанням технології тонкоплівкових гібридних мікроборок.

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	
Напівпровідникових інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Тонкоплівкових гібридних мікроборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій виготовлення електронних схем передавального блоку 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 напівпровідникових інтегральних схем. Проте найбільший глобальний пріоритет має технологія тонкоплівкових гібридних мікроборок. Саме вона й буде використовуватися для виготовлення електронної схеми блоку реєстрації оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку.

### 3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем передавального блоку оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 1268,00 грн.

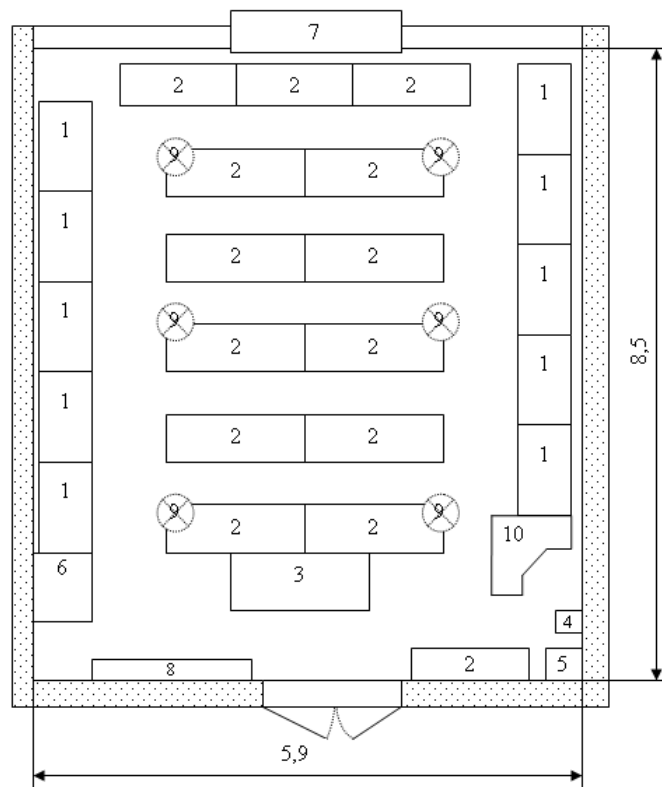
Таблиця 3.11 - Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Фольгований склотекстоліт	м <sup>2</sup>	0,2	50	10
Хлорне залізо	кг	0,5	40	40
Світлодіод HLDH-780-A-90-01	шт.	1	360	360
ІМС К175ДА1	шт.	1	330	330
Транзистор КТ604А	шт.	1	20	20
ІМС К140УД11	шт.	1	60	60
Фотодіод ФД-227	шт.	1	50	50
Конденсатори металоплівкові типу CL20	шт.	17	2,0	34
Резистор	шт.	24	6	144
Папір писальний	уп.	1	120	120
Транспортно-заготівельні витрати				100
Разом				1268

#### 4. Охорона праці та техногенна безпека дослідженню і розробці елементів оптоелектронної інформаційної системи для солітонних систем зв'язку

##### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виконанні дипломної роботи комп'ютерне моделювання та макетування проводилися в аудиторії № 218 кафедри МЕЕІС, план якої представлено на рисунку 4.1.



1 - стіл комп'ютерний; 2 - стіл аудиторний; 3 - стіл викладача; 4 - автомат відключення електричного живлення; 5 - шафа силова; 6 - шафа універсальна; 7 - спліт система; 8 - дошка аудиторна; 9 - світильник 4-х ріжковий; 10 - стіл адміністратора мережі

Рисунок 4.1 – План аудиторії № 218

Площа приміщення складає  $50,15 \text{ м}^2$ ; об'єм  $188,06 \text{ м}^3$ ; довжина приміщення  $8,5 \text{ м}$ ; ширина приміщення  $5,9 \text{ м}$ ; висота приміщення  $3,5 \text{ м}$ ; число вікон 1; число робочих місць 2; освітлення: природне (через бічне вікно) і загальне штучне. Параметри приміщення задовольняють нормативним значенням: площа  $6 \text{ м}^2$ , об'єм  $20 \text{ м}^3$  на одного працюючого [20-22].

Роботи, що проводяться в дослідницькій лабораторії, не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення інженерної академії належать до приміщень без підвищеної небезпеки. Проте використання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі тих, що є небезпечними для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [22].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, дороги струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирко-психічні захворювання. Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

## 4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Забезпечення безпеки пацієнтів і медичного персоналу від поразки електричним струмом при експлуатації - медичних електронних апаратів є одним з найважливіших умов їх проектування.

При проведенні лікувально-діагностичних заходів дотик пацієнта до якої-небудь заземленої металеві поверхні може викликати зміну напрямку робочого струму, що в кращому разі понизить точність виміру. Тому коло пацієнта повинно мати подвійну або посилену ізоляцію, здатну витримати випробувальну напругу не менше 4000 В (при мережевій напрузі 150 ... 200 В).

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища [20].

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирко-психічні захворювання. Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

У таблиці 4.1 [21] приведені гранично допустимі значення параметрів, що характеризують якість посиленої ізоляції, ці значення забезпечують необхідні умови електробезпеки діагностичних пристроїв.

Максимальна електробезпека забезпечується пристроями діагностики з внутрішніми джерелами живлення, споживаючими мало енергії.

Таблиця 4.1 – Допустимі значення параметрів, що характеризують якість посиленої ізоляції

Стан ізоляції		Норма	Одиничні порушення
Мережа-корпус	$I_{max}$ , мкА	100	500
	$R_{min}$ , МОм	7	
	$U_{min}$ , В	4000*	
	‘’min, мм	8**	
	‘min, мм	5**	
Мережа-вмісний вимірник	$I_{max}$ , мкА	100	500
	$R_{min}$ , МОм	7	
	$U_{min}$ , В	4000*	
	‘’min, мм	8**	
	‘min, мм	5**	

\* – для робочої напруги 150 ... 250В;

\*\* – для робочої напруги 125 ... 250В.

$I_{max}$  – максимально допустиме значення струму витоку;

$R_{min}$  – мінімальний допустимий опір ізоляції;

$U_{min}$  – мінімальне значення випробувальної напруги при випробуваннях на електричну міцність;

‘min – мінімальний шлях струму;

‘’min – мінімально допустимий повітряний зазор.

### 4.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат характеризується наступними параметрами: температура, вологість, швидкість повітря, атмосферний тиск, шум [20-22].

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°C, для теплої складає 22-24°C.

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 приміщенні 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 [22].

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

#### 4.4 Електробезпека

Захисне заземлення застосовується для зниження напруга відносно землі до безпечної величини на металевих корпусах електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою, але що виявилися під таким в результаті пошкодження ізоляції.

Оскільки на ділянці проведення роботи в лабораторії застосовується устаткування до 1000 В, опір заземлення має бути не вище 4 Ом [20-22]. Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки. Клас по ПУЕ В – 1а.

Для досліджень вибрано електроустаткування, що не перевищує 1000 В, живлення здійснюється від двофазної мережі струму частотою 50 Гц, напруга 220 В з глухо-заземленою нетральною. Все устаткування є стандартним і відповідає нормам СНіП11-2-80. Електроприлади, згідно ПУЕ, мають бути надійно заземлені. Допустимий опір заземлюючого пристрою 4 Ом. Також передбачається наявність автоматичних пристроїв відключення при коротких замиканнях або перевищенні сили струму в колі.

#### 4.5 Протипожежна безпека

Виробництво схем на мікромодульних елементах, згідно ДБН В.1.1–7–2002 [21], відноситься до категорії Б, оскільки це виробництво зв'язане із застосуванням трихлоретилену і аміаку з температурою спалаху парів від 28 °С до 61°С. Для зниження пожежної небезпеки використовують строго обмеже-



ну кількість (0,5 л) матеріалів, що зберігаються, здатних горіти, створюють перешкоди для виникнення пожеж; попередження можливості руйнування виробничих пристроїв.

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін. Для лабораторії встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться ділянка, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно ДБН В.1.1–7–2002, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість пересування людей при евакуації – 16 м/хв [21].

Згідно правилами влаштування електроустановок ПВЕ, будівля, в якій знаходиться ділянка по заходах захисту від блискавок, відноситься до категорії 3 і захищається від прямих ударів блискавок, і від замету високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації приєднуються при введенні в об'єкт, що захищається, до заземлювачів електроустаткування. Отже, грозозахист заснований на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж на ділянці необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафах, де знаходиться і рукав з протипожежним ство-

лом. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, в кількості двох вогнегасників на приміщення. Існує пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожежної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації. При появі сигналу сповіщення про пожежу співробітники лабораторії № 218 організовано без паніки залишають лабораторію і, залежно від місця спалаху, слідує або вліво через лабораторний корпус для виходу на вулицю Добролюбова, або управо для виходу на вулицю Незалежної України (рисунки 4.1, 4.2).

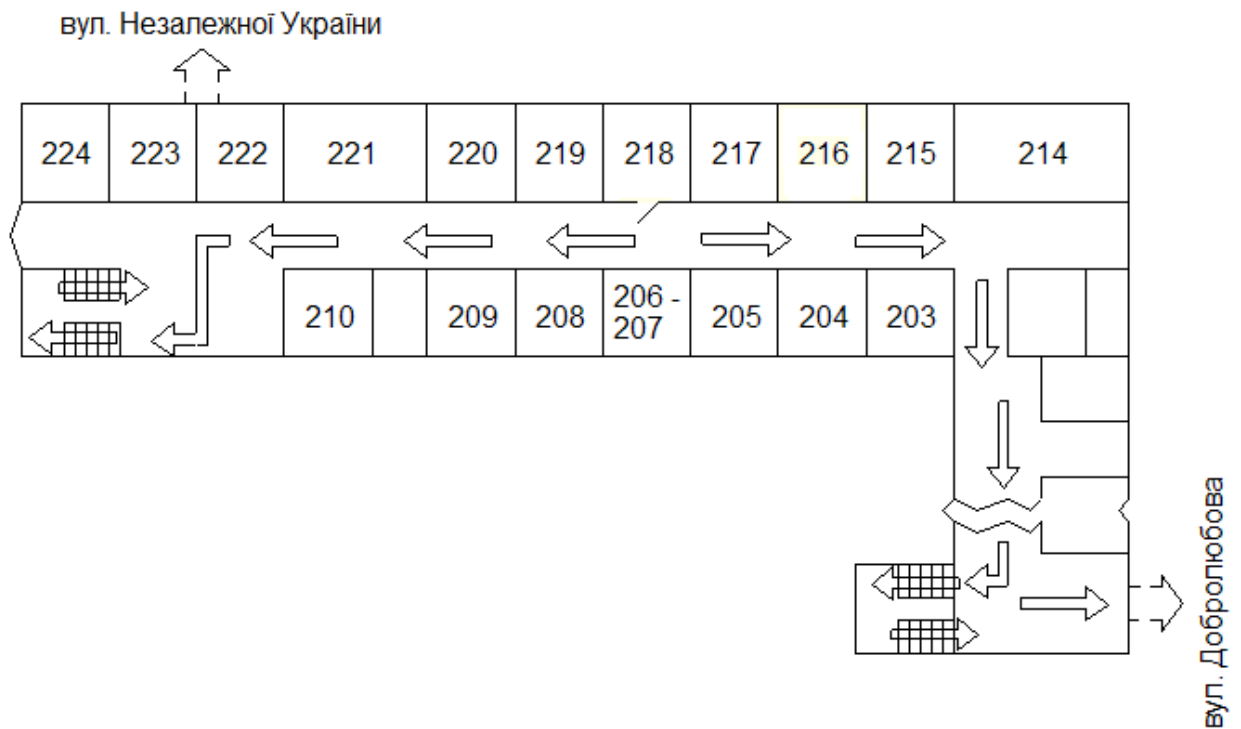


Рисунок 4.2 – План евакуації при пожежі із аудиторії № 218

#### 4.6 Розрахунок штучного освітлення точковим методом

Зорові роботи у приміщенні лабораторії належать до класу найвищої точності (найменший розмір об'єкта менше 0,15мм). Природне освітлення робочих місць здійснюється через віконні прорізи, що відповідає боковому

освітленню. Норма бокового освітлення для даного класу робіт – 3,5%. Фактичні значення бокового освітлення відповідають нормі (4%).

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 норма освітленості робочих місць при комбінованому штучному освітленні для зорових робіт найвищої точності становить 2000 лк. Фактичне значення освітленості робочих місць при штучному освітленні відповідає нормі.

В основу крапкового методу розрахунку розрахунку освітленості покладене рівняння, яке пов'язує освітленість та силу світла:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p^2} \quad (4.1)$$

Площа приміщення – 100м<sup>2</sup>, висота – 5м освітлюється 4 світильниками типу РСП113-400 з лампами ДРЛ потужністю 400Вт. Світильники розміщені по кутам квадрата зі стороною 5м. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею  $h_p=4,5$ м. Нормована освітленість в контрольній точці А рівна 250лк.

1. Знаходимо  $\operatorname{tg} \alpha$ ,  $\alpha$  та  $\cos^3 \alpha$ :  $\alpha = 37^\circ$ ,  $\cos^3 \alpha = 0,49$ .

2. Визначаємо  $I_{\alpha}$  за кривою сили світла світильників РСП13 (ДРЛ) при умовній лампі зі світловим потоком  $\Phi_{\text{л}} = 1000$ лм. Знаходимо силу світла  $I_{\alpha}$  при  $\alpha = 37^\circ$  (інтерполюючи між значеннями сили світла для кута):  $\alpha = 35^\circ$  та  $45^\circ$ ,  $I_{\alpha_{1000}} = 214$ кд.

Світловий потік установленної у світильнику лампи ДРЛ потужністю 400Вт рівний 19000лм. Тому:

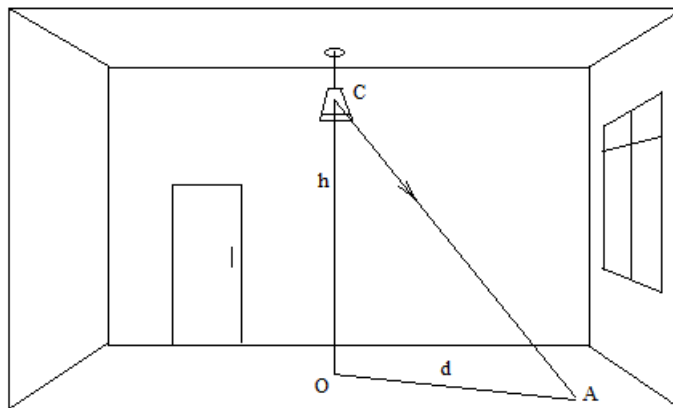
$$I_{\alpha} = 214 \cdot \frac{19000}{1000} = 214 \cdot 19 = 4066 \text{ [кд]} \quad (4.2)$$

3. Розраховуємо освітленість від одного світильника в горизонтальній площині в контрольній точці А (рис.4.3). Приймаючи коефіцієнт запасу  $k = 1,5$  для одного світильника і  $\mu=1,05$  отримаємо:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot r_p^2} = \frac{4066 \cdot 0,49 \cdot 1,05}{1,5 \cdot 4,5^2} = 68,8 \text{ [лк]} \quad (4.3)$$

Оскільки в розрахунковій точці кожен із 4 світильників створює однакову освітленість, то сумарна горизонтальна освітленість в точці А складатиме:

$$\sum E_A = 4 \cdot 68,8 = 275,2 \text{ [лк]} \quad (4.4)$$



С - світильник,

О - проекція світильника на розрахункову площину,

А – контрольна точка

Рисунок 4.3 – Розрахунок освітлення крапковим методом

Фактична освітленість підвищує нормовану приблизно на 10%, що знаходиться в допустимих межах.

## Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) для розробки обрана схема волоконно-оптичної системи зв'язку з модуляцією по інтенсивності, із застосуванням оптичних розгалужувачів. Дана схема відрізняється простотою реалізації оптичного передавача й приймача, невисокою вартістю пристроїв об'єднання і розгалуження оптичних сигналів (оптичних розгалужувачів);

2) в результаті моделювання встановлено зв'язок розподілу амплітуд поля резонатора із стійкими режимами поглинання слабкого та сильного полів. Виявлено ефекти мультистабільності, пов'язані із стохастичним збудженням резонатора;

3) запропоновано пристрої оптичної логіки, основані на ефектах мільтистабільності у випадковому полі;

4) у якості випромінювача запропоновано використати світловипромінюючий діод HLDH-780-A-90-01, як найбільш оптимальний по розрахованим параметрам;

5) для модулятора сигналів обрано кремнієвий n-p-n транзистор КТ604А (постійний струм колектора не менше 115 мА; частота зрізу не менше 60,24 МГц), яки задовольняє вимогам застосування в перемикаючих і імпульсних пристроях та у ланцюгах обчислювальних машин;

6) у якості узгоджувального підсилювального елемента передбачається використовувати швидкодіючий операційний підсилювач К140УД11, як найбільш оптимальний за параметрами (швидкість наростання вихідної напруги 50 В/мкс, частота одиничного підсилення 15 МГц, висока стабільність параметрів у всьому діапазоні напруг живлення від  $\pm 5$  до  $\pm 16$  В);

7) детектор автоматичного регулювання рівня й підсилювач постійного струму, виконаний на інтегральній мікросхемі К175ДА1, як найбільш оптимальною по технічним та економічним показникам;

8) розраховані показники параметрів функціональних блоків пристрою добре узгоджуються із результатами моделювання в середовищі Proteus.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках оптичних інформаційних систем;

2) макетний варіант оптоелектронної солітонної системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

## Перелік посилань

1. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : Учебное пособие для вузов. СПб : Питер, 2003. 512 с.
2. Опадчий Ю. Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника : Учебник для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров; Под. ред. О. П. Глудкина. М. : Горячая Линия Телеком, 2002. 768 с.
3. Акимов Н. Н. и др. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА : Справочник / Н. Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренок. Мн. : Беларусь, 2005. 591 с.
4. Филиппов А. Т. Многоликий солитон. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Наука, Гл. ред. Физ.- мат. лит., 1990. 288 с.
5. Захаров В. Е., Шабат А.Б. ЖЭТФ, 61,118 (1971).
6. Столен Р. Х. Нелинейные эффекты в волоконных световодах //ТИИЭР, т.68, № 10, 1980, с. 75-80.
7. Hermann A. Haus, William S. Wong. Solitons in optical communications// Reviews of Modern Physics, 1996, №2, p. 423-444.
8. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. М. : СОЛОН-Пресс, 2004. 272с.
9. Hiroko M., Sato Y., Matsuoka S., Kataoka T. Very High-speed Fiber Transmission System // NTT Review, vol.8, №5, sept. 1996, p.104-108.
10. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л. Принцип побудови телекомунікаційної системи з використанням оптичного (EDFA) на базі технології LI-FI. Проблеми телекомунікацій : Науковий збірник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 98–100.
11. Hermann G. A., Walls D. F. Theory of Two-Photon Optical Tristability. - Phys.Rev.A, 1982, v.26, No.4, p.2083-2095.

12. Bonifacio R., Lugiato L. A. Optical Bistability and Cooperative Effects in Resonance Fluorescence. *Phys.Rev.A*, 1978, v.18, No.3, p.1129-1144.
13. Михайловський Д. Ю., Тупіков В. А., Москаленко А. Ю., Світанько М. В. Резонатори із нелінійним резонансним середовищем Матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» Запоріжжя : ЗНУ, 19-21 жовтня 2021 р., С. 257
14. Oseledchik Yu. S., Osadchuk V. V., Prosvirnin A. L., Selevich A.F. Growth of BBO from Na<sub>2</sub>O-NaF solution//*J.Crystal Growth*. V. 131. 1993. P.199-203.
15. 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.
16. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Svitanko N. V., Kudrjvtcev D. P., Lozova E. A. SrB<sub>4</sub>O<sub>7</sub> – nonlinear optical material for deep UV//*ICCM'2005*. Kharkov, Ukraine. 2005. P.91.
17. Kudrjvtcev D. P., Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Svitanko N. V. The luminescence of the Praseodymium-doped Strontium borate Sr<sub>4</sub>B<sub>14</sub>O<sub>25</sub>:Pr<sup>3+</sup> // *Ukr.J.Phys.Opt*. V3. №2. 2002. P.155-160.
18. Аналогова схемотехніка. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів ЗДІА спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» денної та заочної форм навчання / Укл. : М. В. Світанько, Л. Л. Верьовкін, С. Л. Хрипко. Запоріжжя : 2018. 48 с.
19. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. Київ : Вища шк., 1997. 271с.
20. Бегун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. – 328 с.



21. 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.

22. 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.