

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра мікроелектроніки та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему *Дослідження та розробка оптоелектронної системи
обробки інформації в інфрачервоній області
спектрального діапазону*

Виконав: студент II курсу, групи 8.1539
спеціальності 153 „Мікро- та наносистемна техніка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні
(назва освітньої програми) системи

Ситенко Т. В.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н. Ніконова А.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. директора з НВР ЗКР НУ „ЗП” Величко О.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

20 20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра мікроелектроніки та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 153 „Мікро- та наноелектронна техніка“
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри проф. І. В. Крицька
« 01 » листопада 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Ситенку Іллі Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка оптоелектронної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

керівник роботи Гікокова Лілія Олександрівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 25 » травня 2020 року № 600

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2020 року

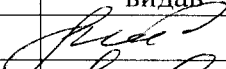
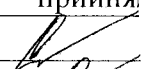
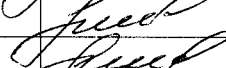
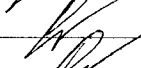
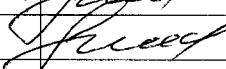
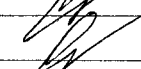

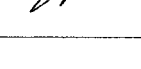
3 Вихідні дані до роботи напівпровідниковий 14 діод, оптичне волокно, оптичний підсилювач, оптоелектронний приймач, постійна напруга 9В, постійна напруга 5В, змінна напруга 200В, моделювання в Proteus

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Оптичні інформаційні системи 14 діапазону. 2. Розробка оптоелектронної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання. 3. Техніко-економічне обґрунтування. 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем системи.

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

1. Структурна схема оптоелектронної системи обробки інформації в 14 області випромінювання. 2. Характеристики випромінювачів. 3. Ламперний оптичний підсилювач. 4. Електрична схема основного підсилювача. 5. Підсилення сигналу із застосуванням диференціатора. 6. Моделювання роботи диференціатора в Proteus. 7. Мікросхемні розробки. 8. Моделювання мікросхемної частини в Proteus.

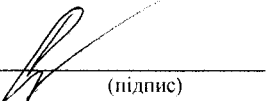
6 Консультанти розділів роботи

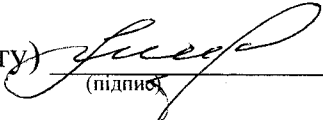
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Ніконова А.О., доцент		
II	Ніконова А.О., доцент		
III	Ніконова А.О., доцент		
IV	Ніконова А.О., доцент		

7 Дата видачі завдання 24.05.2020

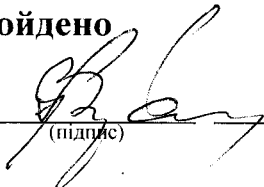
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Літературний огляд	26.06.2020	
2.	Вступна частина	30.10.2020	
3.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	30.09.2020	
4.	Розробка заходів з охорони праці та техніко-економічної безпеки	30.09.2020	
5.	Розробка графічної частини роботи	20.11.2020	
6.	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2020	
7.	Нормоконтроль	24.11.2020	
8.	Попередній захист роботи	26.11.2020	

Студент  (підпис) Ситенко Т.В. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис) Ніконова А.О. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) Вербова Л.Л. (ініціали та прізвище)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра мікроелектронних та електронних інформаційних систем

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка оптосхематичної системи обробки
інформації в інфрачервоній області випромінювання

Виконав: студент II курсу, групи 8.1539
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)

Ситенко І.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н, Ніконова А.О.

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

Рецензент заст. директора з НВР ЗКР НУ «ЗП» Великодна О.В.

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

Запоріжжя
2020

Реферат

Дипломна робота містить 74 сторінки, 24 рисунки, 21 таблицю, 39 посилань на літературу.

Об'єкт дослідження – мікроелектронна оптична інформаційна система для передачі та обробки даних в інфрачервоному діапазоні (ІЧ) випромінювання.

Мета роботи – дослідження та розробка оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання.

Задачі роботи: провести схемотехнічне моделювання оптичної інформаційної системи; виконати аналіз функціонування окремих блоків.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення PROTEUS.

Короткий виклад результатів досліджень – спроектовано оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання, блок попереднього оптичного підсилення сигналу, основний блок підсилення сигналу, лічильник фотонів в ІЧ області випромінювання та проведено моделювання роботи кожного із блоків окремо.

Результаті впроваджень – система пройшла апробацію на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження в оптичних інформаційних системах.

ОПТИЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ОПТИЧНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, МІКРОСХЕМА, PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних та електронних інформаційних систем, з 24.05.2020 р. по 01.12.2020 р.

Зміст

	Стор.
Вступ	6
1. Оптичні інформаційні системи ІЧ діапазону	7
1.1 Волоконно-оптичні лінії зв'язку	7
1.2 Оптичні лінії з поширенням хвиль в необмеженому просторі	11
1.3 Інформаційні світлодіодні системи Li-Fi	15
1.4 Реєстрація інформаційних сигналів у інфрачервоному діапазоні	17
1.5 Збереження оптичної інформації	21
2 Розробка оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання.....	25
2.1 Структурна схема оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання.....	25
2.2 Джерела випромінювання оптосхематичної системи обробки інформації.....	28
2.3 Розробка попереднього оптичного підсилювача оптосхематичної системи обробки інформації	31
2.3.1 Оптичний підсилювач	31
2.3.2 Модуляція оптичного сигналу	33
2.4 Розробка приймального оптоелектронного модуля оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання....	35
2.4.1 Електрична схема основного підсилювача	35
2.4.2 Лічильник фотонів системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання.....	41
3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання.....	53
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем	

оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання	53
3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання	57
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання	59
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	59
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	60
4.3 Виробнича санітарія.....	61
4.4 Електробезпека.....	64
4.5 Пожежна та техногенна безпека.....	65
4.6 Розрахунок місцевого освітлення робочого місця при монтажі елементів на плату.....	66
Висновки та рекомендації.....	69
Перелік посилань.....	71

Вступ

На протязі останніх десятиліть спостерігається бурхливе впровадження в промислові та побутові інформаційні системи волоконно-оптичних пристроїв передачі та приймання інформації. Головним напрямком розвитку цих систем є побудова волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) [1,2].

Мала маса оптичних кабелів, порівняно з коаксіальними, надає їм значні переваги при створенні довгих ліній передачі через відносну легкість транспортування і прокладання. Однією з важливих переваг волокон є їхня спроможність переносити велику кількість інформації. Оптично-волоконний кабель має майже в 256 разів більшу ємність порівняно з металевим кабелем і в 30 разів меншу площу поперечного перетину [3,4].

Основною частиною таких систем є перетворювачі оптичного випромінювання в електричний сигнал. В даний час існує безліч перетворювачів, принцип дії яких заснований на зовнішньому або внутрішньому фотоефекті. Характеристики приймача оптичних сигналів визначаються параметрами самого перетворювача і схемою обробки сигналу з його виходу. На даний час найбільше використання отримали системи, які використовують інфрачервоне випромінювання (ІЧ), як найбільш освоєне в розрізі виготовлення випромінювачів та примачів оптичних сигналів. Однак, існувала, та до сих пір існує проблема отримання стабільного сигналу після процесу перетворення оптичного сигналу в електричний [5,6].

Тому, актуальною є розробка та удосконалення систем перетворення оптичних сигналів в електричні на схемотехнічному рівні.

1. Оптичні інформаційні системи ГЧ діапазону

1.1 Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ)

ВОЛЗ працюють на хвилях оптичного діапазону завдовжки 0,3...30 мкм. Відрізняються малою масою і об'ємом, високою електромагнітною сумісністю, великою пропускнуою спроможністю. Забезпечують передачу сигналів з шириною спектру до декількох гігагерців на відстань до декількох сотень кілометрів без проміжних підсилювальних пунктів. Оптичні волокна з діаметром 0,1...0,2 мм виготовляються з кварцевого скла з додаванням окислу германію і функціонують як діелектричні хвилеводи. Як і в металевих хвилеводах, можливі різні розподіли (моди) електричного і магнітного полів по поперечному перетину. Якщо поширюється лише одна мода, волокна називають одномодовими [2-4,7,8].

Волоконно-оптичний кабель складається з декількох або навіть декількох десятків волокон. Джерелами світла у волоконно-оптичних лініях є напівпровідникові лазери або світлодіоди. Приймачі містять зазвичай рп-фотодіоди або лавинні фотодіоди. Кремнієві фотодіоди використовуються в діапазоні 0,3...0,8 мкм, а германієві — в діапазоні 1,3...1,7 мкм. Швидкість передачі досягає декількох сотів мегабіт в секунду. Вимоги до точності синхронізації при цьому посилюються, що стимулює використання кодів, що самосинхронізуються [8].

По мірі розвитку системи на основі ВОЛЗ стають конкурентоздатними з супутниковими системами зв'язку (ССЗ). У таблиці 1.1 порівнюються можливості ССЗ і систем на основі ВОЛЗ за наступними показниками: достовірність (10 — одна помилка приблизно на 1000 сторінок тексту); доступність, інакше коефіцієнт готовності — КГ; затримка в передачі

сигналів; час передачі; пропускна спроможність супутниковою і на основі ВОЛЗ [4].

Таблиця 1.1 – Порівняння інформаційних систем зв'язку

Параметр, що порівнюється	ССЗ	ВОЛЗ
Достовірність	$10^{-7} - 10^{-11}$	$10^{-7} - 10^{-11}$
Доступність (КГ), %	99,98	99,98
Затримка передачі, мс	250	50
Час передачі, мс	350 - 800	200 - 700
Пропускна здатність, Гбіт/с	1 – 3,2	0,84 – 2,5

Одним із основних структурних модулів ВОЛЗ є цифрові приймачі/передавачі. У якості прикладу наведено цифровий поєднаний 8/4-канальний відео приймач/передавач TRV8131 (MM/SM) (Рисунок 1.1)[9-15].



Рисунок 1.1 - Цифровий 8/4-канальний відео приймач/передавач TRV8131

Характеристики:

- прийом 4 сигналів відео по волокну;
- багатоканальна передача відео (8 сигналів) по волокну;
- вивід 4 відео сигналів на 4 монітори;
- MM волокно 62.5/125 нм;
- SM волокно 9/125 нм;
- лазер;
- NTSC, PAL сумісні;
- відстань до 2 км. по MM волокну;
- монтаж в 19" стійку, зовнішню шафу, на стіну

Цифровий поєднаний 8/4-канальний відео передатчик/приймач TRV8131 (MM/SM) забезпечує одночасну передачу 8 відеосигналів по 1 оптоволокну і прийом 4 відеосигналів по 1 оптоволокну з виводом їх на 4 монітори. Передача і прийом відеосигналів здійснюється по двом

незалежним оптичним волокнам в реальному часі, без якого-небудь ущільнення сигналів. Застосовується сучасна технологія 8/10-бітного кодування і декодування відео. Дані цифрові системи передачі інформації DFS мають захист від агресивних умов довкілля і ідеальні для використання на транспортних магістралях, в аеропортах, залізничних вокзалах і автомагістралях, а також на виробничих площах. Вироби DFS універсально сумісні з будь-якими камерами CCTV систем NTSC, PAL або SECAM. Технологія типу "включив і працюй" забезпечує простоту установки, і не вимагає жодних оптичних або електричних налаштувань. Для постійного контролю за роботою цифрових систем передачі інформації є світлодіодні індикатори. Вироби DFS серії TRV8131 (MM/SM) поставляються в модифікації як для видаленого монтажу в плоскому корпусі, так і для установки в 19" стійку [15].

Передавач має наступні параметри використання:

- прийом 4 кольорових відеосигналів від передавача VT4131 (MM/SM) і виведення зображень на 4 монітори;
- передача 8 кольорових відеосигналів по одному оптоволокну на приймач VR8131 M(MM/SM);
- технологія 8/10-бітного кодування відео;
- гранична висока якість відображення відеосигналу;
- протестовані на відповідність вимог умовам робочих температур, удароміцності, вібрації, відносної вологості, стану високо/середневольтних ліній і захисту від перепадів напруги;
- блискавкозахист по відео входам;
- міцна конструкція для установки в умовах поза приміщеннями;
- індикатори стану (світлодіоди) для швидкої індикації критичних робочих станів;
- обмежувачі струму в лінії живлення.

На рисунку 1.2 представлено структурну схему використання TRV8131 [10].

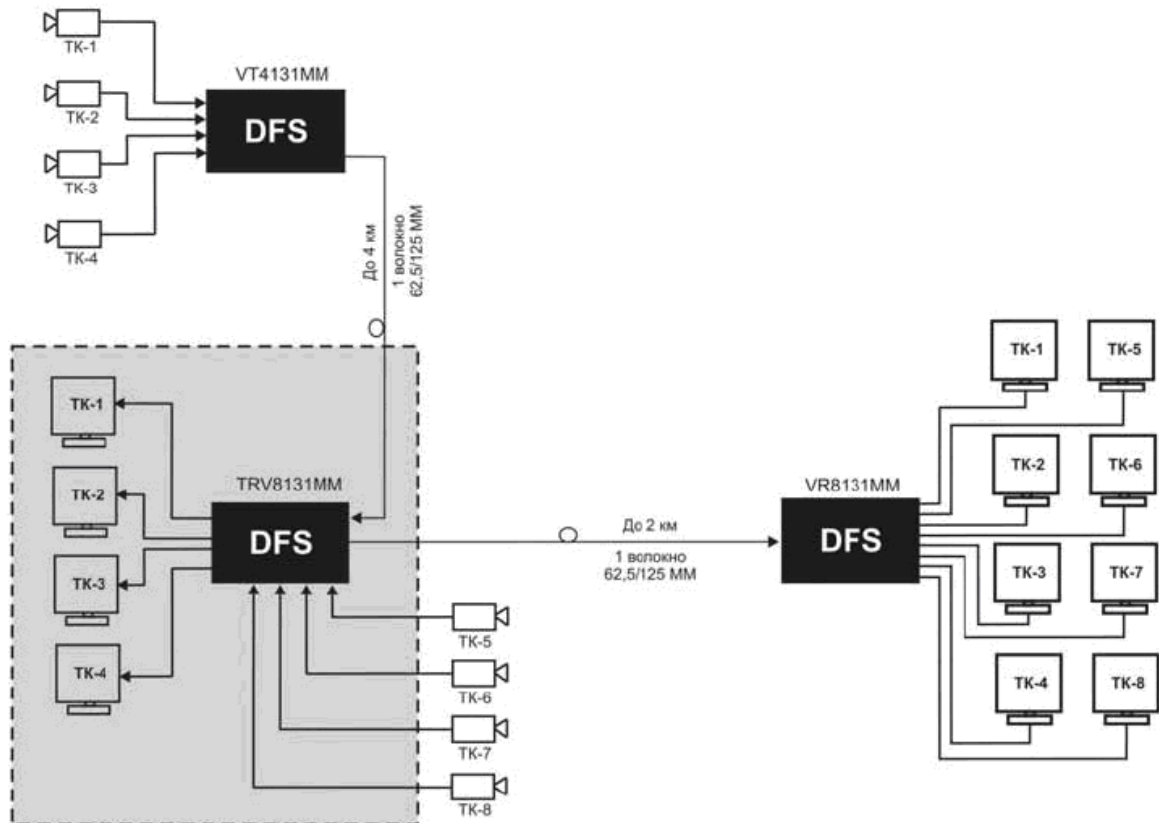


Рисунок 1.2 – Структурна схема використання TRV8131

1.2 Оптичні лінії з поширенням хвиль в необмеженому просторі

Оптичні лінії з поширенням хвиль в необмеженому просторі фактично можуть використовувати направлене лазерне випромінювання. Ці системи мають безперечну перевагу перед радіозв'язком при організації безпроводних мостів ("точка—точка") на відстані до 1,2 км. Ціни на устаткування лазерного зв'язку мають такий же порядок або нижче, що і ціни на радіоустаткування. На користь лазерної технології свідчать наступні характеристики систем лазерного зв'язку [14]:

- швидкість передачі даних до 155 Мбіт/с;

- частота появи помилкових бітів (BER) від 10^{-10} до 10^{-9} ;
- підтримка більшості мережевих інтерфейсів (Ethernet, Token Ring, ATM, FDDI, Fast Ethernet і т. д.);
- наявність електричних і(або) волоконно-оптичних пристроїв сполучення для підведення мережевого трафіку до лазерного приймача;
- наявність комбінованого інтерфейсу для передачі трафіку телефонної мережі і ЛВС без використання додаткового мультиплексора.

Вибір того або іншого типа устаткування залежить від багатьох чинників. Основними є вартість устаткування і час, що витрачається на його установку, що особливо важливе при спостережуваній сьогодні динаміці зростання корпоративних мереж і кількості абонентів телефонних мереж.

Кращий варіант для дротового зв'язку (особливо за наявності вже прокладеного мідного кабелю) — використання устаткування HDSL. При цьому отримується вигреш і в ціні і в часі, а також автоматично позбавляється необхідність прокладки додаткових комунікацій. Апаратура HDSL володіє високими адаптивними властивостями і невибаглива до параметрів мідного дроту, проте якість передачі може залежати від його стану і змінюватися на декілька порядків [14].

Якщо для організації ближнього зв'язку використовується безпроводне устаткування, то перевага тут буде на стороні лазерного зв'язку, причому як для забезпечення потреб телефонії, так і для забезпечення потреб обчислювальних мереж. Устаткування для лазерного зв'язку коштує менше радіоустаткування і, крім того, позбавляє від необхідності отримувати дозвіл на використання частоти. Особливу перевагу лазерний зв'язок має у тому випадку, коли, окрім даних ЛВЗ, потрібна передача телефонного потоку ІКМ30. Використання системи лазерного зв'язку дозволяє уникнути включення в канал мультиплексорів і, отже, зберегти значні технічні засоби.

Повний комплект устаткування для лазерного зв'язку є дві пари: передавач — приймач. Передавач, звичайний напівпровідниковий лазер,

перетворить електричні сигнали в модульоване оптичне випромінювання (потужність не більше 40 мВт) в інфрачервоному діапазоні (0,82 мкм). Поширюючись в атмосфері (максимальна дальність зв'язку 1,2 км.), лазерний промінь досягає приймача, що є фотодіодом (чутливість в середньому близько 1 мкВт). Приймач виробляє зворотне перетворення, і на виході отримується вихідний електричний сигнал [15].

Діапазон використання лазерних систем зв'язку дуже широкий: для організації винесення абонентської ємності і з'єднання "останньої милі"; як сполучна лінія між двома АТС; для з'єднання мультиплексорів, об'єднання сегментів ЛВЗ і підключення ЛВЗ до магістральної мережі. Цей перелік можна продовжити, оскільки лазерні системи, що існують в даний час, мають великий набір пристроїв з'єднання із різноманітним мережевим устаткуванням.

Системи лазерного зв'язку будуються за модульним принципом, тому їх можливості можуть легко розширюватися шляхом установки додаткових модулів.

Лазерні системи не представляють небезпеки для здоров'я людини, оскільки мають низьку потужність випромінювання. Використання ж стандартного багатомодового оптичного волокна для підключення мережевого устаткування до лазерного передавача гарантує передачу даних без радіочастотного і електромагнітного випромінювань.

Лазерні системи розвиваються у напрямі підвищення швидкості обміну і дальності зв'язку. В найближчому майбутньому з'являться приймачі, що підтримують швидкість до 1 Гбіт/с. Їх використання буде особливо привабливим для об'єднання сегментів ЛВЗ, у тому числі побудованих по високошвидкісних технологіях (гігабітна Ethernet і АТМ).

Існує декілька способів монтажу лазерного устаткування. Їх формально можна розділити на зовнішніх (на стіні або на даху) і внутрішніх (за вікном). Тип лазерної системи вибирається залежно від вигляду інтерфейсів або

мережевого устаткування. Інформація ЛВЗ доставляється до лазерного приймача від мережевого устаткування, що має відповідний електричний або оптичний інтерфейс. Аналогічно може доставлятися і трафік телефонної мережі — від АТС, що мають інтерфейси сполучних ліній ІКМ30. В цьому випадку АТС підключається безпосередньо до лазерного устаткування. Якщо АТС не має таких інтерфейсів, то для її підключення використовують різні аналогові лінії, а передаваний по ним сигнал оцифровується за допомогою зовнішнього мультиплексора. Тоді потоки інформації ЛВЗ і АТС можуть бути мультиплексовані в єдиний потік [14,15].

Лазери розташовуються в зоні прямої видимості і оптичний шлях променя проходить над перешкодами. Виконання цієї вимоги обов'язкове, інакше зв'язок неможливий. Окрім цього, є ряд інших вимог, виконання яких необхідне для стійкої роботи устаткування.

Приймач лазерних систем зв'язку виконується в захищеному корпусі, що обігрівається. При розробці лазерних приймачів були прийняті спеціальні заходи для забезпечення їх стійкої роботи у всьому діапазоні погодних умов. Наприклад, для захисту від прямих зустрічних променів сонця об'єктив приймача закритий блендою, а для захисту від гідрометеоритів (снігу і дощу) і птахів діаметр променя зроблений великим (близько 2 м в області приймача). Слід зазначити, що туман робить набагато більший вплив на якість передачі, чим сніг і дощ. Це пов'язано з тим, що на крапельках туману, що є мелкодисперсний пил. Промінь розсіюється сильніше, ніж на крапельках дощу або частках снігу. Подібної перешкоди можливо позбавтись, вибравши устаткування, що забезпечує запас по дальності зв'язку (тобто чутливості приймача).

Час розгортання (згортання) лазерного устаткування складає декілька годин, що зручно при необхідності швидкого підключення якого-небудь устаткування в разі відсутності каналу зв'язку або його аварії.

Як зазначалося раніше, лазерні приймачі можна встановлювати як зовні, так і усередині будівлі. При внутрішньому монтажі необхідно пам'ятати, що лазерне випромінювання, проходячи через скло, втрачає свою потужність (на кожному склі втрачається близько 4%). Аби запобігти розсіюванню променя на краплях дощу, що стікають по зовнішній стороні скла, устаткування рекомендується встановлювати поблизу верхньої частини стекол.

Лазерний зв'язок є альтернативою радіо-, кабельному і волоконно-оптичному зв'язку. Лазерні системи дозволяють створити канал зв'язку між двома будівлями, що знаходяться на відстані до 1,2 км. один від одного, і передавати по ньому телефонний трафік (швидкість від 2 до 34 Мбіт/с), дані (швидкість до 155 Мбіт/с) або їх комбінацію.

На відміну від безпроводних радіосистем лазерні системи зв'язку забезпечують високу завадозахищеність і секретність передачі, оскільки дістати несанкціонований доступ до інформації можна лише безпосередньо від приймача.

Використання лазерного зв'язку не вимагає необхідності отримувати дозвіл на право користування радіочастотою. Крім того, невисокий рівень витрат на організацію високопродуктивного каналу зв'язку, а також невеликий час його введення в експлуатацію забезпечать швидку окупність вкладених засобів.

Але, як зазначалось вище наявність значних атмосферних перешкод сильно впливають на якість передачі інформації [15].

1.3 Інформаційні світлодіодні системи Li-Fi

Починаючи з 2011 року, Харальд Хаас, фахівець з оптичної безпроводної передачі даних, професор Едінбурзького університету (Едінбург, Великобританія), серйозно займався просуванням принципово

нової технології безпроводної передачі даних за допомогою миготливого світлодіодного світла. На той час більшість фахівців доводили, що ідея навряд чи реалізується. І ось, чотири роки опісля, Хаас все ж створив перший роутер, що працює згідно його концепції [16].

Технологія отримала назву Li-Fi (light – "світло", "fidelity" – "точність"). Новий роутер показав досить непогані характеристики: перевершення за швидкістю Wi-Fi в 100 разів, досягнуте в лабораторних умовах рекордної швидкості передачі даних в 224 Гбіт/с. Випробування в лабораторії проводила естонська компанія Velmenni. Хаас навіть забезпечив свій перший роутер сонячною батареєю, аби зробити доступ в мережу автономним, і на даний момент роутер підтримує стійко швидкість в 10Гбіт/с за допомогою ледве помітного мерехтіння світлодіодів.

Для того, щоб почати поставляти на європейський ринок перші серійні системи вже з грудня 2016 року, винахідник Li-Fi, Харальд Хаас, об'єднав свою компанію pureLiFi з компанією Lucibel, аби спільно розвивати і ефективніше просувати новину ближче до рядового споживача, щоб врешті-решт зробити Li-Fi основним способом доступу користувачів в мережу.

Сутність технології полягає в наступному. Три колірні канали мініатюрної світлодіодної лампи, червоний, зелений і синій, передають паралельно по 3,5 Гбіта даних в секунду, у результаті удається отримати 10 Гбіт в секунду. Включення і виключення світла відбувається при цьому із великою швидкістю, породжує величезні масиви бінарних даних [15,16].

У перспективі Li-Fi (VLC) може стати недорогою альтернативою безпроводним мережам Wi-Fi. Теоретично для реєстрації Li-Fi (VLC) - імпульсів зможуть застосовуватися камери смартфонів, планшетів, ноутбуків і інших пристроїв.

Проте в Li-Fi (VLC) є дуже серйозне обмеження: передавач і приймач даних повинні знаходитися в зоні прямої видимості [16]. Швидше за все, повне витіснення Wi-Fi технологією Light Fidelity не станеться. Розробники

Li-Fi передбачають, що на масовий ринок продукт поступить не раніше, ніж через 3-4 роки. Світлодіодні роутери використовуватимуться в комбінації з Wi-Fi. Це обумовлено наявністю в світлової технології передачі даних невирішених проблем.

Зокрема, Li-Fi складно застосовувати на вулиці, тому дана ділянка може обслуговуватися Wi-Fi. Найбільш вірогідний розвиток проектів такого типу – це комплексне використання Li-Fi і Wi-Fi [16].

У роботі [17] була запропонована комбінована система Li-Fi, яка за рахунок підсилення оптичного тракту та підсилення електричних сигналів, які передаються безпосередньо до системи обробки інформації, має можливість позбавитись обмежень, зазначених вище.

1.4 Реєстрація інформаційних сигналів у інфрачервоному діапазоні

ІЧ-техніка з кожним роком стає все більш популярною в найрізноманітніших сферах людської діяльності. Це спонукало розробників створити радіометричну апаратуру переважно для спектрального діапазону від 1 до 20 мкм.

ІЧ-прилади широко застосовуються у приладах нічного бачення, тепловізійних системах, пірометрах, детекторах слабких сигналів в астрофізичних комплексах, океанології, лазерній техніці та ін. Тому ведуться інтенсивні пошуки матеріалів і структур, необхідних для створення гранично чутливих фотодетекторів слабких і надслабких сигналів як у дальній (довжині хвиль більш 30 мкм), так і в наддальній області ІЧ-спектра з довжинами хвиль, що наближаються до міліметрів. Частіше за все в якості фотодетекторів у ближній ІЧ-області спектра використовуються германієві і InGaAs фотодіоди [18-20].

Германієві фотодіоди зазвичай демонструють більш високий, ніж кремнієві, рівень шумів і значний темновий струм, що сильно обмежує їхній динамічний діапазон. Рівень шуму зростає зі збільшенням активної площі детектора. Основною причиною зростання рівня шуму є відносно низький шунтуючий опір приблизно 20 к Ω у германієвого фотодіода із активною площею 20 мм². Вони також мають і переваги: рівномірну зональну характеристику і стабільний $K_{пер}$. Що правда, внутрішній квантовий вихід не дуже високий, у кращому випадку – від 30 до 90 %, а $K_{пер}$ має сильну температурну залежність при $\lambda > 1,55$ мкм [18,19].

InGaAs дозволяє, у принципі, створювати перетворювач із високим внутрішнім квантовим виходом, але за станом на середину 90-их років він досягав значення від 90 до 95% для малоплощинних (до 7мм²) [18], при чому спеціально відібраний.

Був розроблений новий InGaAs фотодіоди із близьким до одиниці внутрішнім квантовим виходом [20]. Він мав відносно високе значення шунтуючого опору, близьке до германієвих фотодіодах, і міг вимірювати набагато нижчі потужності ІЧ-випромінення. Із трьох таких фотодіодів було зібрано трап-детектор з практично плоскою спектральною характеристикою перетворення в діапазоні довжин хвиль від 0,98 до 1,64 мкм.

Зусилля розробників ІЧ оптично-електричних перетворювачів спрямовані, по-перше, на вдосконалення одноелементних приладів, великих матриць із електронним скануванням і підвищення робочих температур, а по-друге, – на здешевлення й полегшення користування цими оптично-електричних перетворювачів.

У таблиці 1.2 наведені дані про типи фотонних ІЧ оптично-електричних перетворювачів, види переходів, вихідні електричні сигнали й матеріали, із яких вони виготовляються [20]. У таблиці 1.3 класифіковані теплові ІЧ оптично-електричні перетворювачі [20].

Таблиця 1.2 – Фотонні ІЧ оптично-електричні перетворювачі

Тип	Перехід	Режим	Матеріал
Власна електропровідність	Міжзонний	Фотопровідності Фотовольтаїчний Ємнісний	PbS, PbSe, InSb, HgCdTe, InSb, InAs, PbTe, HgCdTe, PbSnTe, InSb, HgCdTe
Домішкова електропровідність	Домішкова зона	Фотопровідності	Si:In; Si:Ga; Ge:Cu; Ge:Hg
Вільні носії	Міжзонний	Фотоемісійний Фотопровідності Захоплення фотонів	PtSi, Pt ₂ Si, IrSi с бар'єром Шоткі, GaAs/CsO InSb електронний болометр, Ge
Квантові яма	До і/чи від просторових квантових рівней	Фотопровідності Фотовольтаїчний	HgTe/CdTe, GaAs/GaAlAs, InSb nipi, InAs/InGaSbSLS

Таблиця 1.3 - Теплові ІЧ оптично-електричні перетворювачі

Детектор	Принцип дії
Болометр: металічний; напівпровідниковий; надпровідниковий; фероелектричний; на гарячих електронах;	Зміни електричного опору
Термоелемент/термобатарея	Термо - ЕРС
Піроелектрик	Зміна спонтанного електричної поляризації
Приймач Голея	Теплове розширення газу
Край смуги поглинання	Оптичне пропускання напівпровідника
Піромагнетик	Зміна магнітних властивостей
Рідкий кристал	Зміна оптичних властивостей

Через різні типи шумів (генераційно-рекомбінаційний у фотонних і температурно-флуктуаційний у теплових оптично-електричних перетворювачів) ці два класи перетворювачів мають неоднакові залежності виявної здатності від довжини хвилі і температури. Це дозволяє дійти висновку про те, що здебільшого застосовують ці перетворювачі в якості детекторів фотонних оптично-електричних перетворювачів в довгохвильовому ІЧ-діапазоні й за низьких робочих температурах, крім того, для теплових оптично-електричних перетворювачів їх використовують наддовгохвильовому ІЧ-діапазоні при довжинах хвиль більше 100 мкм [18-20].

Сучасна тенденція побудови ІЧ-детекторів у тепловаченні характеризується розробкою великих, з електронною адресацією двох координатних матриць з високими робочими температурами [19,20].

Завдяки успіхам в розвитку молекулярно-пучкової епітаксії й осадження з парової фази методом хімічного розкладення металоорганічної сполуки стало можливим вирощувати, гнучкі шари InGaAs, що деформуються на різних підкладках, що забезпечує значне розширення спектрального діапазону чутливості таких детекторів. Крім того, ці структури можна використовувати для побудови випромінювачів і модуляторів, які працюють у діапазоні довжин хвиль від правої межі видимого випромінювання до 3,5 мкм. Засвоєння більш довгохвильового ІЧ діапазону приблизно до 15 мкм можливе за умови формування структур із відповідною шириною забороненої зони [20].

Широке використання кремнієвих фотодіодів визначається їх лінійністю в широкому діапазоні вимірювальних величин (10 порядків), а також стабільністю. Первинне калібрування залишається незмінним значно довше, ніж для будь-якого іншого сенсора. у зв'язку з цим, кремнієві фотодіоди використовуються як еталони – носії.

На рисунку 1.3 представлені спектральні чутливості кремнієвих фотодіодів [20].

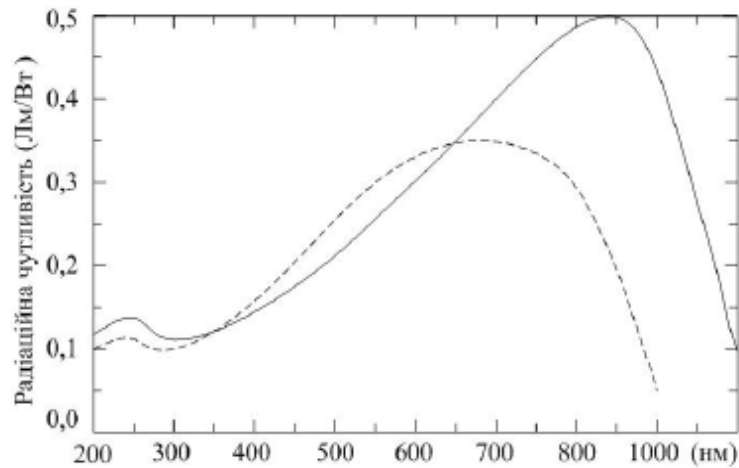


Рисунок 1.3 - Спектральна чутливість двох кремнієвих фотодіодів

Джерелами основної похибки фотометричного вимірювального пристрою є неточності визначення його спектральної характеристики, а також нелінійність характеристики перетворення в діапазоні вимірювань. Джерелами допоміжної систематичної похибки можуть бути температурний і часовий дрейф (деградація) коефіцієнта перетворення. Дуже важливою метрологічною характеристикою корегуючого фільтра служить спектральний коефіцієнт пропускання [20].

1.5 Збереження оптичної інформації

Оптична пам'ять на знімних носіях, яка набрала популярності з розвитком технології цифрових оптичних дисків і застосуванням її для зберігання аудіо- і відеозаписів, а також комп'ютерної інформації, доводиться витримувати жорстку конкуренцію не тільки з іншими формами локального збереження інформації, такими як магнітна і напівпровідникова, але і з

відносно новою концепцією розподіленого зберігання інформації, яка стає все більш привабливою з удосконаленням і широким поширенням високошвидкісних мережевих технологій, в тому числі бездротових. З'являються нові технології зберігання інформації, такі як "наномеханічна", по ідеї близька до застарілого запису інформації на перфокартах, але з використанням сучасної атомно-силової техніки демонструє дуже високу щільність запису ($0.3-0.5$ Гбіт / мм^2), правда, при поки скромній швидкості в 60 Кбіт/с [21].

Зацікавленість щодо архівних голографічних систем помітно збільшилась кілька років тому завдяки сильному прогресу елементної бази - перш за все створення нових світлочутливих матеріалів для об'ємної голографії, таких як безусадочні фотополімери від Aprilis і Inphase, а також лазерів, модуляторів, фотоприймачів. Відомо кілька опрацьованих інженерних концепцій, таких як, наприклад, "колінеарна голографія, що реалізується в" універсальних голографічних дисках "і" картах "(Holographic Versatile Disc, Holographic Versatile Card, Optware), але які з них будуть дійсно поширені - це питання не тільки їх науково-технічних переваг. Прогрес неголографічної дискової пам'яті зв'язується з багатошаровими флуоресцентними дисками, ближнепольовим записом і подальшим зменшенням робочої довжини хвилі, хоча б до границі вакуумного ультрафіолету, а, можливо, коли-небудь і до рентгенівської області. Поряд з готовими до використання голографічними технологіями, існують і підходи далекої перспективи. Так, у зв'язку із ширенням досліджень у напрямку "атомної голографії" (Rewritable 3D Volume Atomic Holographic Optical Storage NanoTechnology, Colossal storage, inc.) пропонується запис УФ лазерами в електрооптичних кристалах 1 Тбіт / мм^2 , або 40 Тбіт/ мм^3 інформації при швидкості передачі 10 Тбіт/с [21].

Можливі застосування голографічних запам'ятовуючих пристроїв представлені на (рисунок 1.4). Роботи зі створення голографічного пам'яті

почалися більше 40 років тому, і сьогодні ряд компаній, наприклад NTT і Optware в Японії, InPhase Technology в США, мають закінчені розробки з голографічними дисками (Holographic Versatile Disc - HVD) і картами (Holographic Versatile Card - HVC), і нарешті приступають до продажу своїх перших комерційних приладів. Розглянемо кілька голографічних пристроїв, які вже вийшли на ринок [21].

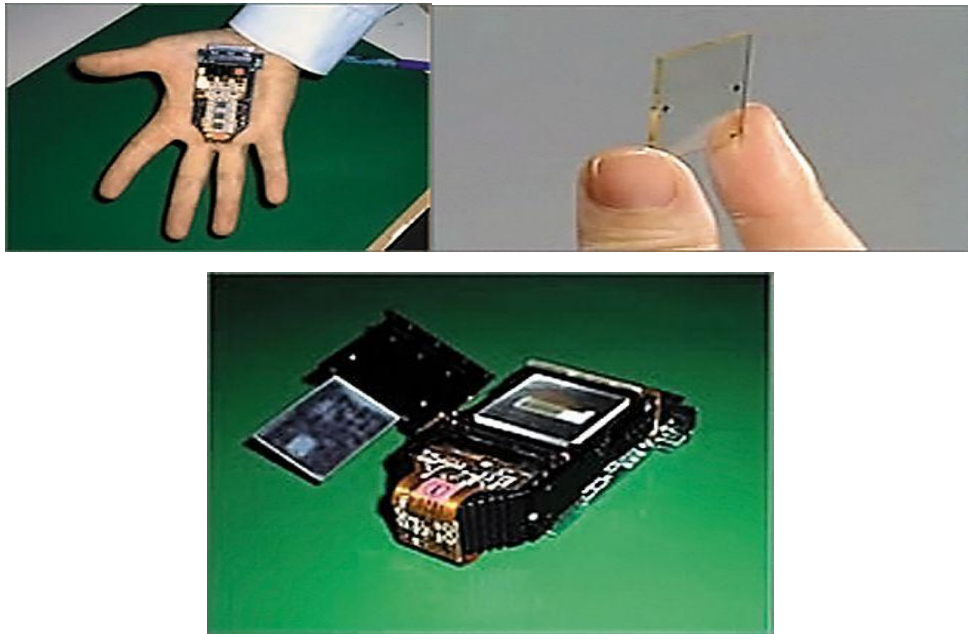


Рисунок 1.4 - Голографічна карта Info-MICA (зверху), пристрій читання (по середині) і відносний розмір (знизу)

Компанія NTT продемонструвала прототип накопичувача високої ємності, в основу якого покладена технологія багат шарової тонкоплівкової голографії, і пристрій для зчитування даних (рис. 7). Ємність носія (сто шарів) розмірами з поштову марку - 1 Gb [21].

Нова карта пам'яті була названа Info-MICA (Information-Multilayered Imprinted CArd), так як її багат шарова структура схожа на структуру породи слюди. Запис інформації виробляється в такий спосіб. Спочатку цифрові дані перекодується в двомірні зображення, які потім перетворюються в голограму за допомогою технології CGH (Computer Generated Hologram), і нарешті ці голограми записуються у вигляді особливих структур на шарах

носія. Шари є хвилеводи. Коли промінь лазера фокусується на торці такого волноводного шару, він починає поширюватися по ньому, розсіюючись на записаних структурах. Розсіяне світло формує двомірні зображення в площині, паралельній волноводному шару. Вони захоплюються CCD-сенсорами і декодуються в вихідні цифрові дані. Переваги нової технології Info-MICA полягають у високій щільності запису, малих розмірах дисководу, низькому енергоспоживанні, можливості дешевого масового виробництва носіїв, труднощі несанкціонованого копіювання даних з них і простоті утилізації. В NTT вважають, що Info-MICA внаслідок їх дешевизни і малих розмірів можуть замінити інші пристрої ROM. Розглядають їх і як заміник паперу в якості носія інформації. Ці карти будуть корисні при масовому розповсюдженні ігор, музики, кінофільмів і електронних видань, оскільки клонування їх піратами утруднено. Передбачаються і багато інших застосувань нової технології [21].

Отже, метою роботи є дослідження та розробка оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

- 1) проаналізувати можливість удосконалення схемотехнічної реалізації інформаційних систем в ІЧ діапазоні;
- 2) розробити структуру оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання;
- 3) розробити оптоелектричні схеми основних функціональних блоків системи;
- 4) провести моделювання роботи оптоелектричних схем системи за допомогою сучасних САПР;
- 5) виконати розрахунки по техніко-економічному обґрунтуванні розробки пристрою та розробити заходи по умовам дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2 Розробка оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

2.1 Структурна схема оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

За основу розроблюваної системи була запропонована схема, роботи над якою були розпочаті в роботі [22] (рисунок 2.1).

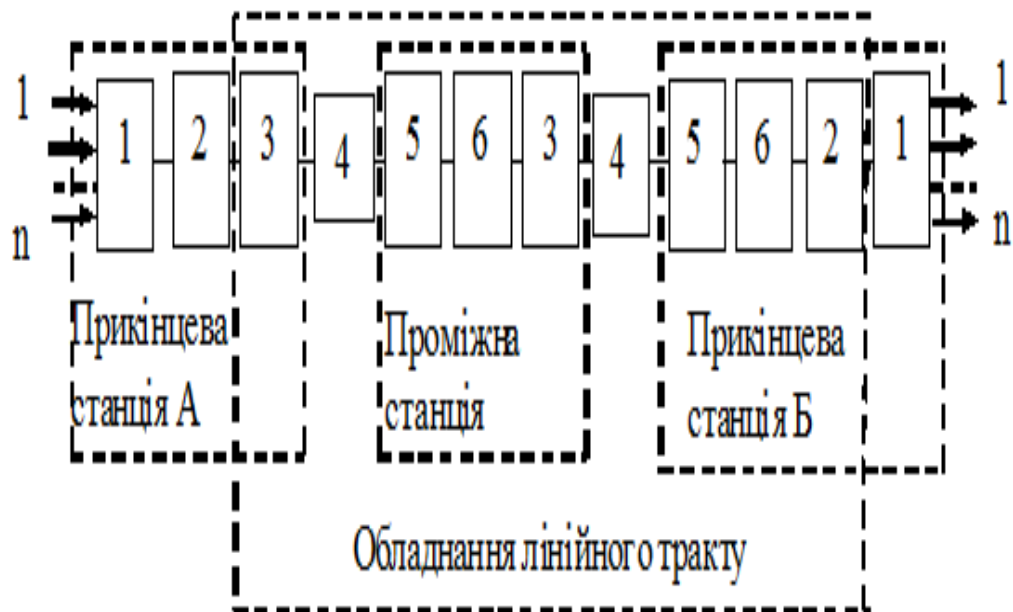


Рисунок 2.1 - Структурна схема прототипу розроблюваної системи

Ця схема вміщує в собі типову прикінцеву апаратуру багатоканальної системи передачі (1), апаратуру сполучення (2), передавальний оптоелектронний модуль (ПОЕМ) (3), оптичний кабель (4), приймальний оптоелектронний модуль (ПрОЕМ) (5), електронний регенератор (6).

На передавальній прикінцевій станції А первинні сигнали тональної частоти (ТЧ) надходять на прикінцеву типову апаратуру, де об'єднуються в груповий сигнал, що подається на апаратуру сполучення.

В ній електричний сигнал перетворюється у форму, необхідну для передачі по волоконно-оптичному лінійному тракту, тобто формується лінійний сигнал. Після цього в ПОЕМ здійснюється модуляція потужності оптичної несучої лінійним електричним сигналом і оптичний сигнал надходить в оптичний канал.

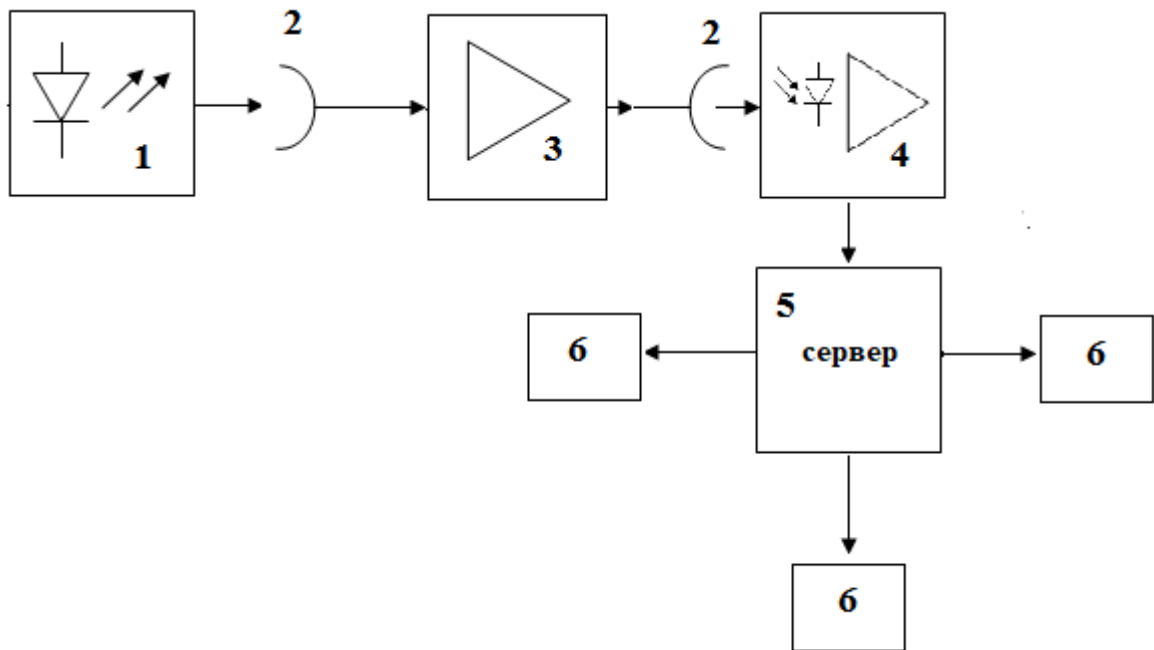
Для збільшення дальності зв'язку через певні відстані вздовж лінії встановлюються проміжні станції (регенератори), що відновлюють форму сигналу і компенсують загасання в лінії.

На проміжній станції оптичний сигнал на вході перетворюється в електричний, зворотне перетворення відбувається на виході. Ці перетворення здійснюються в ПрОЕМ та ПОЕМ відповідно.

На приймальній прикінцевій станції Б здійснюються перетворення оптичного сигналу в електричний, його регенерація, підсилення, відновлення до вигляду первинного сигналу на вході кінцевої станції А.

Як виявилось в процесі дослідження цієї схеми, вона мала ряд недоліків. А саме: а) велике нагромадження блоків обробки інформаційного сигналу; 2) втрати інтенсивності сигналу в оптичних кабелях системи; 3) неадекватно освітлені питання електрооптичної модуляції сигналу на проміжних блоках.

У результаті виявлення та опрацювання недоліків прототипунами було запропоновано наступну структурну схему системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання (рисунок 2.2).



- 1 - генератор оптичної інформації;
- 2 – оптоволоконний концентратор;
- 3- попередній оптичний підсилювач;
- 4 - приймальний оптоелектронний модуль (ПрОЕМ);
- 5 – сервер;
- 6 – місце оператора.

Рисунок 2.2 - Структурна схема оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

Фунціонування структурних блоків схеми відбувається за наступним алгоритмом:

1) згенерована оптична інформація в прямому або закодованому вигляді подається із генератора 1 в оптичний концентратор 2 по стандартним оптоволоконним кабелям;

2) оптичний сигнал надходить до проміжного підсилювача 3, який представляє собою систему підсилення оптичного сигналу за допомогою оптичних волокон, легованих рідкоземельними елементами (Erbium Doped Fiber Amplifiers (EDFA)) [23,24]; на цьому ж етапі відбувається і додаєтова оптична модуляція для збільшення потужності випромінювання;

3) сигнал надходить до приймального оптоелектронного модуля 4, де відбувається перетворення оптичного сигналу в електричний із подальшим його підсиленням;

4) інформація надходить на сервер 5 і передається до користувачів 6.

2.2 Джерела випромінювання оптосхематичної системи обробки інформації

У якості джерела випромінювання в розроблюваній системі запропоновано використати світлодіоди фірми Honeywell SEP8706-003, з довжиною хвилі 880 нм [25]. Спектральні характеристики світлодіодів представлені на рисунку 2.3.

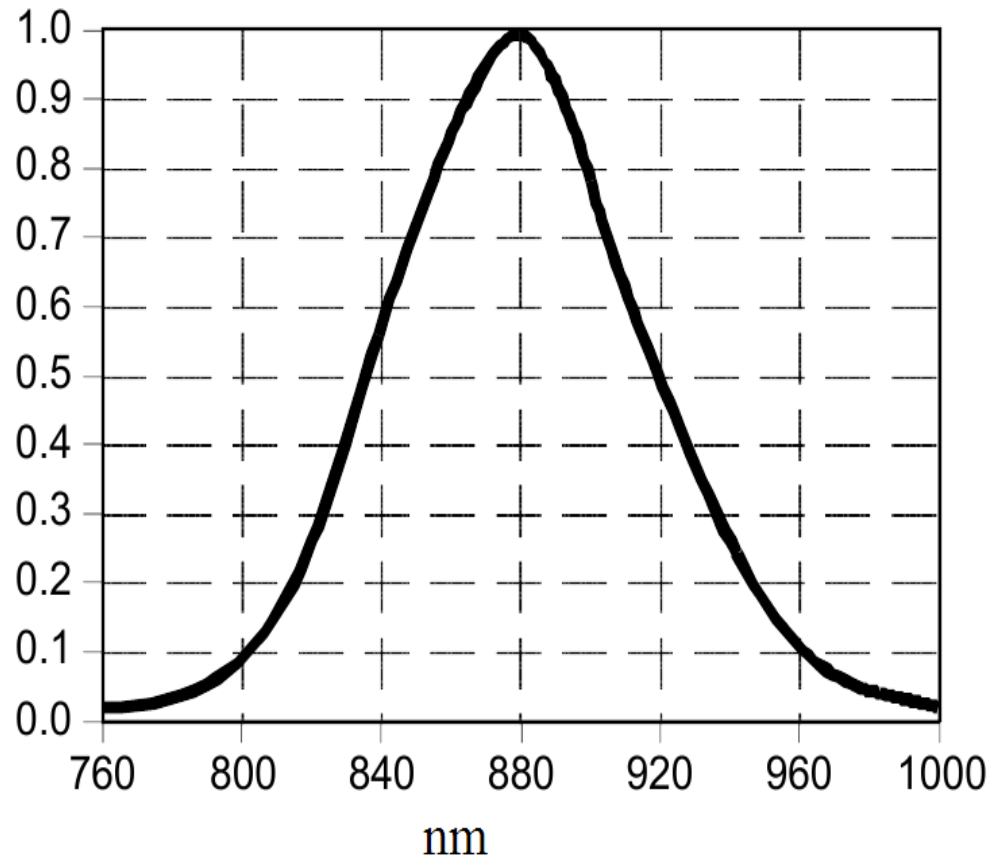


Рисунок 2.3 – Спектральні характеристики SEP8706-003

Технічні характеристики світлодіодів SEP8706-003 надано у таблиці 2.1 [25].

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики світлодіодів SEP8706-003

№ з/п	Параметр	Значення параметру
1	Довжина хвилі випромінювання, нм	880
2	Потужність випромінювання P, мВт	100
3	Пряма напруга, В	1.7
4	Ширина спектру випромінювання, нм	80
5	Видимий тілесний кут, град	50
6	Максимальний час зростання імпульсу, нс	700
7	Максимальний час спадання імпульсу, нс	700
8	Максимальна зворотня напруга, В	3
9	Максимальний прямий струм, мА	20
10	Максимальний імпульсний прямий струм, мА	50
11	Спосіб монтажу	у отвір
12	Робоча температура, °С	-40 ÷ 85

Вибір цих світлодіодів ґрунтується на невеликій кутовій робіжності променю (10 град) та відносно невеликій вартості, порівняно із іншими випромінювачами.

У якості світловода для комутації елементів лінії оптичного зв'язку у роботі використовуються волокна на основі SiO₂ марки 62,5/125 як найбільш універсальне. У цьому волокні найнижчий рівень втрат на вигони та найбільша пристосованість до використання у якості випромінювання світлодіодів SEP8706-003 [24].

2.3 Розробка попереднього оптичного підсилювача оптосхематичної системи обробки інформації

2.3.1 Оптичний підсилювач

Оптичний підсилювач, який використовується в роботі, працює по принципу стимульованого випромінювання, подібного лазерному. Активним середовищем підсилювача є відрізок оптичного матеріалу короткої довжини, осердя якого леговане рідко земельним оптично активним елементом неодимом (Nd^{3+}). До складу підсилювача входить потужний напівпровідниковий лазер, пристрій об'єднання та супутні елементи комутації (рисунок 2.4).

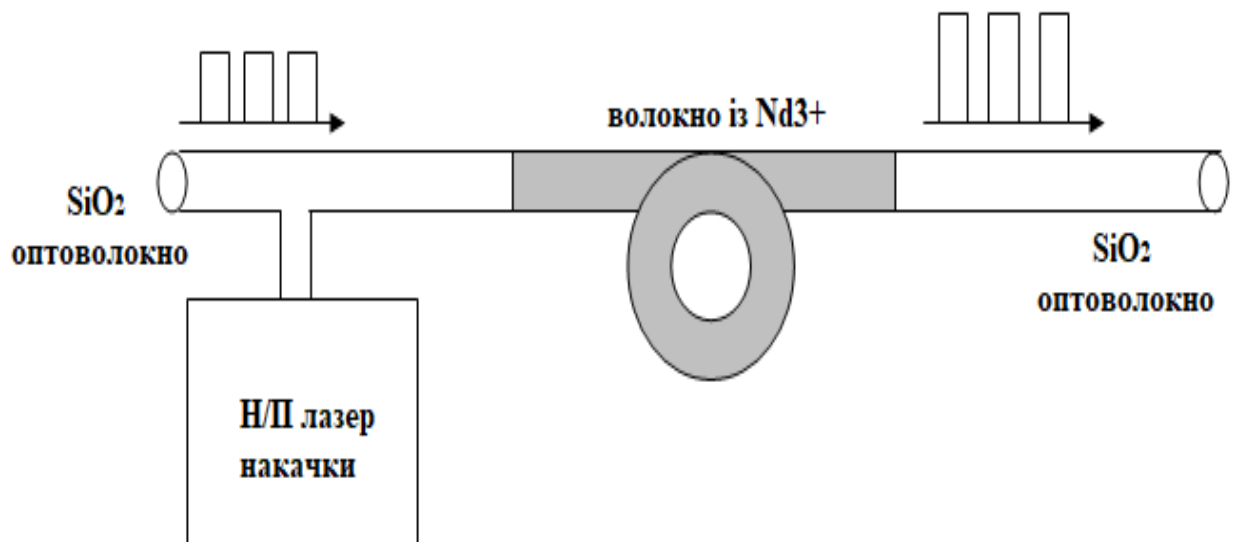


Рисунок 2.4 – Схема оптичного підсилювача, легованого рідкоземельними елементами

У якості напівпровідникового лазера накачки використовується потужний випромінювач із довжиною хвилі $\lambda=465$ нм (виробник – фірма Novalux) [26] із потужністю випромінювання до 4 Вт.

На даний час відсутні вітчизняні системи оптичного підсилення у ВОЛЗ. Тому, в представлені роботі було запропоновано у якості легуючого матеріалу використати Nd^{3+} , який введено у нелінійно-оптичний матеріал $\text{Sr}_4\text{B}_{14}\text{O}_{25}:\text{Nd}^{3+}$ (SBVO). Як було показано раніше у [27], неодимові структури мають найбільшу кількість каналів генерації в порівнянні з іншими матеріалами. Вони дозволяють отримати генерацію у видимому, ближньому та середньому ІЧ – діапазонах при кімнатних температурах, що дає можливість отримання на їх основі низькопорогового лазерного випромінювання з діодною накачкою.

У якості матеріалу світловода використано кристал $\text{Sr}_4\text{B}_{14}\text{O}_{25}:\text{Nd}^{3+}$ (SBVO). Кристал SBVO вперше було отримано у Запорізькій державній інженерній академії (ЗДІА) в лабораторії нелінійно-оптичних перетворювачів частоти (НОПЧ) [28,29].

Спектроскопічні дослідження, проєдені у [27], показали, що $\text{Sr}_4\text{B}_{14}\text{O}_{25}:\text{Nd}^{3+}$ має люмінісценцію на довжинах хвиль $\lambda=880 - 960$ нм, що відповідає параметрам розроблюваної нами системі.

Використовуючи дані результатів експериментів, отриманих в [28,29], проведемо розрахунок поглинання волокон на довжинах хвиль 880 нм та 960 нм [30].

Показники заломлення серцевини n_1 і оболонки n_2 [30]:

$$n_1 = 1,6521, \quad n_2 = 1,0003 \text{ (повітря)}$$

Втрати на поглинання для довжини хвилі 880 нм [30]:

$$\alpha_{880} = \frac{8,69 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot 10^{-10}}{\lambda} = 5,123 \times 10^{-3} \text{ дБ/км}; \quad (2.1)$$

Втрати на поглинання для довжини хвилі 960 нм [30]:

$$\alpha_{960} = \frac{8,69 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot 10^{-10}}{\lambda} = 4,696 \cdot 10^{-3} \text{ дБ/км}; \quad (2.2)$$

Результати розрахунку втрат на поглинання узагальнено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Втрати хвиль випромінювання на поглинання у оптоволоконному каналі підсилювача.

Загальні втрати, дБ/км	Довжина хвилі, нм
$5,123 \times 10^{-3}$	880
$4,696 \times 10^{-3}$	960

Таким чином, розрахунок втрат на поглинання у робочому ІЧ діапазоні розроблюваної системи має задовільну розбіжність $\varepsilon=4 \times 10^{-4}$, що дозволяє застосовувати у якості випромінювачів світлодіоди SEP8706-003 із довжиною хвилі випромінювання $\lambda=880$ нм та подальше посилення цього сигналу в блоці оптичного підсилювача.

2.3.2 Модуляція оптичного сигналу

З метою подальшого підсилення оптичного сигналу в розроблюваній системі запропоновано використати електрооптичну (ЕО) модуляцію випромінювання, отриманого в каналі оптичного підсилення.

Останнім часом для модуляції добротності твердотілих лазерів з високою імпульсною потужністю успішно застосовується кристал $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (ВВО). Але кристал характеризується деякою гігроскопічністю, а також значною напівхвильовою напругою, що призводить до обмежень при його практичному використанні.

Вимірювання напівхвильових та чвертьхвильових наруг виконувалось у лабораторії нелінійно-оптичних перетворювачів частоти лазерного випромінювання ЗДІА на експериментальній установці, представленій на рисунку 2.5.

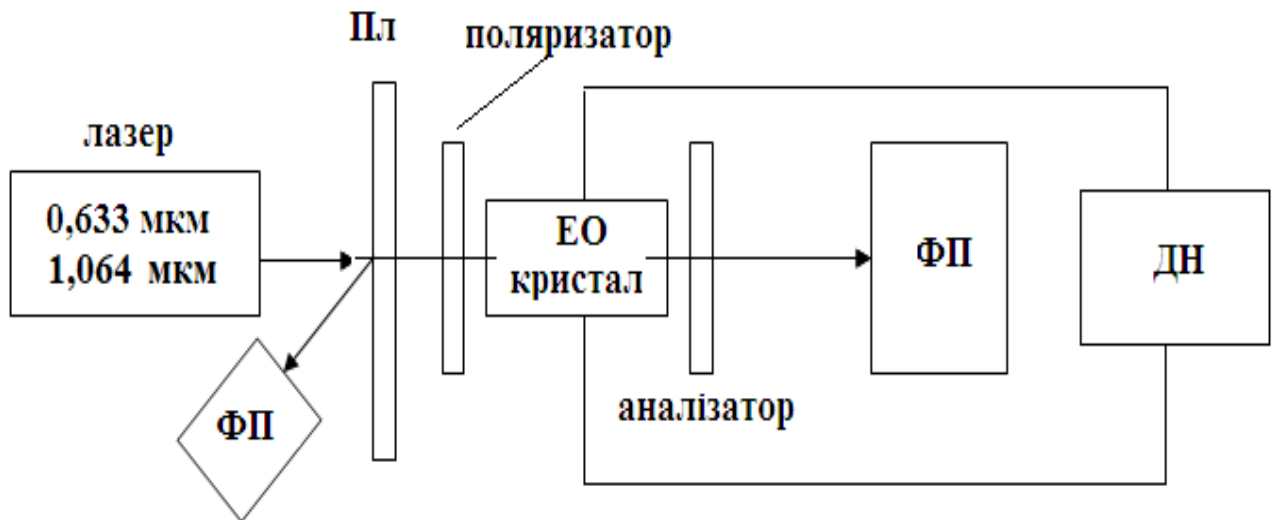


Рисунок 2.5 – Схема експериментальної установки для дослідження електрооптичних властивостей кристалів: ФП – фотоприймач; ЕО кристал – електрооптичний кристал; ДН – джерело напруги; Пл – світловідбиваюча пластина.

Для вимірювань були виготовлені зразки кристалів LiNbO_3 (LN), $\beta\text{-BaV}_2\text{O}_4$ (BBO), RTiOPO_4 (RTP) розмірами $4 \times 4 \times 8$ мм. У якості випромінювачі використовувалось випромінювання He-Ne лазеру ($\lambda=0,633$ мкм) та основна гармоніка АІГ лазеру ($\lambda=1,064$ мкм).

Величина напівхвильової напруги визначалась наступним чином [31]:

$$I_1 = I_0 \sin^2 \left[\frac{\pi V}{2V_{\lambda/2}} \right], \quad (2.3)$$

де, I_1 – інтенсивність випромінювання на виході системи, I_0 – інтенсивність випромінювання на вході системи, V – напруга, прикладена до зразка.

У таблиці 2.3 представлені порівняльні характеристики кристалів для ЕО модуляції.

Таблиця 2.3 - Порівняльні характеристики кристалів для електрооптичної модуляції

Кристал	Область прозорості, мкм	Напівхвильова напруга, кВ ($\lambda=0,633$ мкм)	Гігроскопічність
LiNbO_3	0,3 – 5,5	3,0	-
$\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$	0,19 – 3,2	14,0	+
RTiOPo_4	0,3 – 4,5	0,345	-

Як видно із порівняльної таблиці, найбільш ефективним для електрооптичної модуляції буде кристал LiNbO_3 (LN). Кристал має найбільшу область прозорості у обраному нами діапазоні, а також найменше значення напівхвильової напруги для здійснення модуляції випромінювання. Застосовування ЕО модуляторів на кристалі LiNbO_3 (LN) повинно мати планарне виконання.

2.4 Розробка приймального оптоелектронного модуля оптохематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

2.4.1 Електрична схема основного підсилювача

Для підсилення сигналу реєстрації оптичних імпульсів в роботі запропоновано електричну схему двохкаскадного підсилювача. Схему представлено на рисунку 2.6.

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

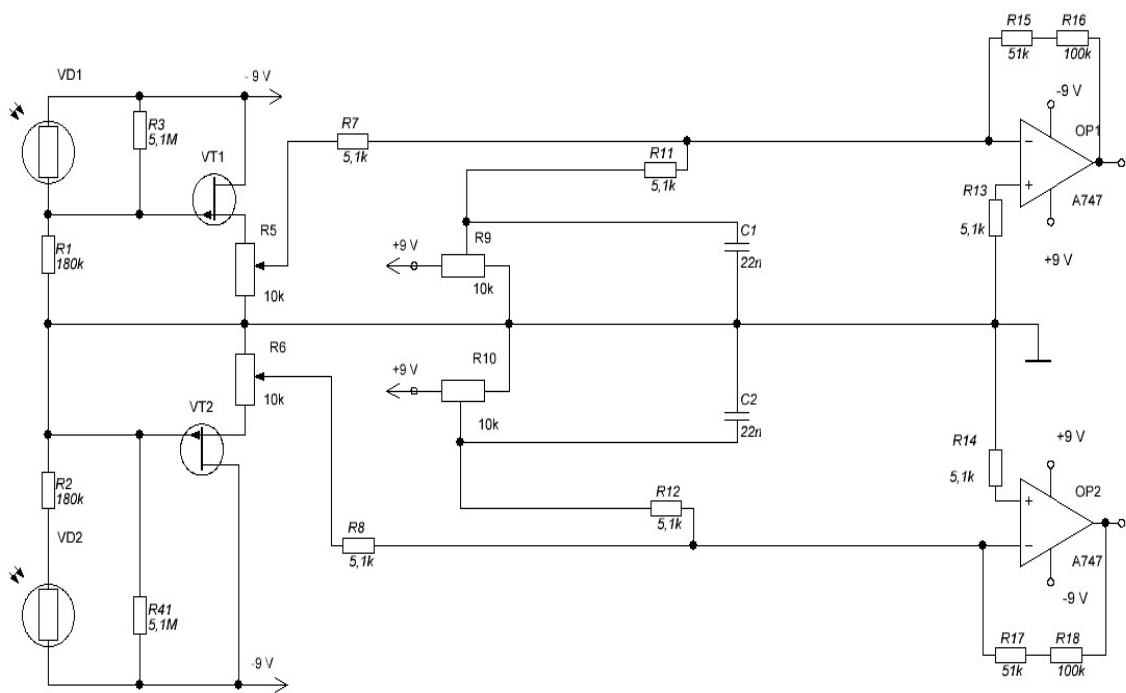


Рисунок 2.6 - Електрична схема основного підсилювача

Для забезпечення стабільного сигналу у роботі запропоновано декілька схем, реалізованих також на операційних підсилювачах.

На рисунку 2.7 представлено схему підсилення сигналу із застосуванням диференціального сигналу [32].

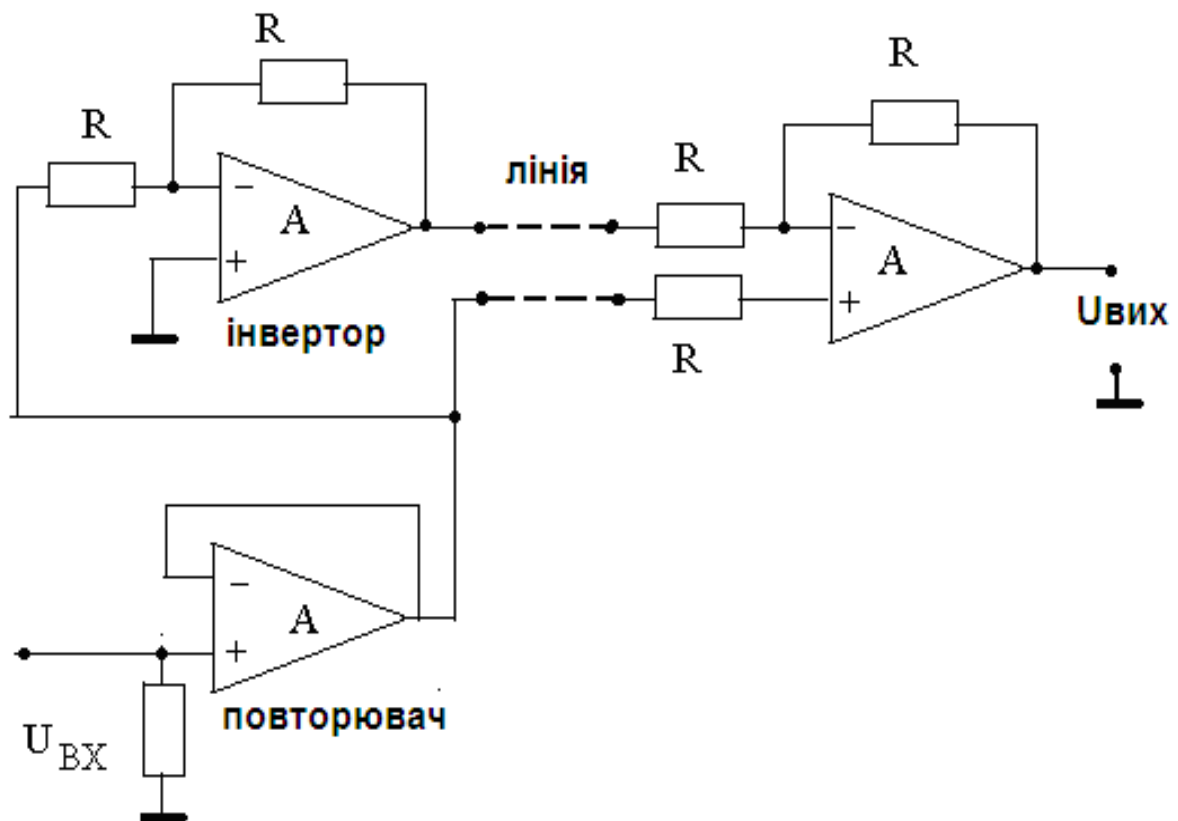


Рисунок 2.7 - Підсилення сигналу із застосуванням диференціатора

У представленій схемі вхідний сигнал подається на вхід неінвертуючого підсилювача з коефіцієнтом підсилення, який дорівнює одиниці. Із виходу повторювача сигнал подається на вхід інвертуючого підсилювача з коефіцієнтом передачі, рівним одиниці. З виходу інвертуючого підсилювача з коефіцієнтом підсилення, сигнал подається на другий вхід. Таким чином, сигнали подаються в протифазі відносно загального потенціалу.

Прийом сигналу на виході здійснюється за допомогою підсилювача диференціального сигналу на ОП. При цьому напруга сигналу на виході приймального підсилювача відносно загальної шини визначається як [32]:

$$U_{ВЫХ} = U_{C2} - U_{C1} = U_{ВХ} - (-U_{ВХ}) = 2U_{ВХ} \quad (2.4)$$

Таким чином, сигнал на виході має подвоєну амплітуду.

У разі використання подібної схеми відбувається придушення зовнішніх завад.

Нами запропоновано схему модифікованого вимірювального диференціального підсилювача. Схему представлено на рисунку 2.8.

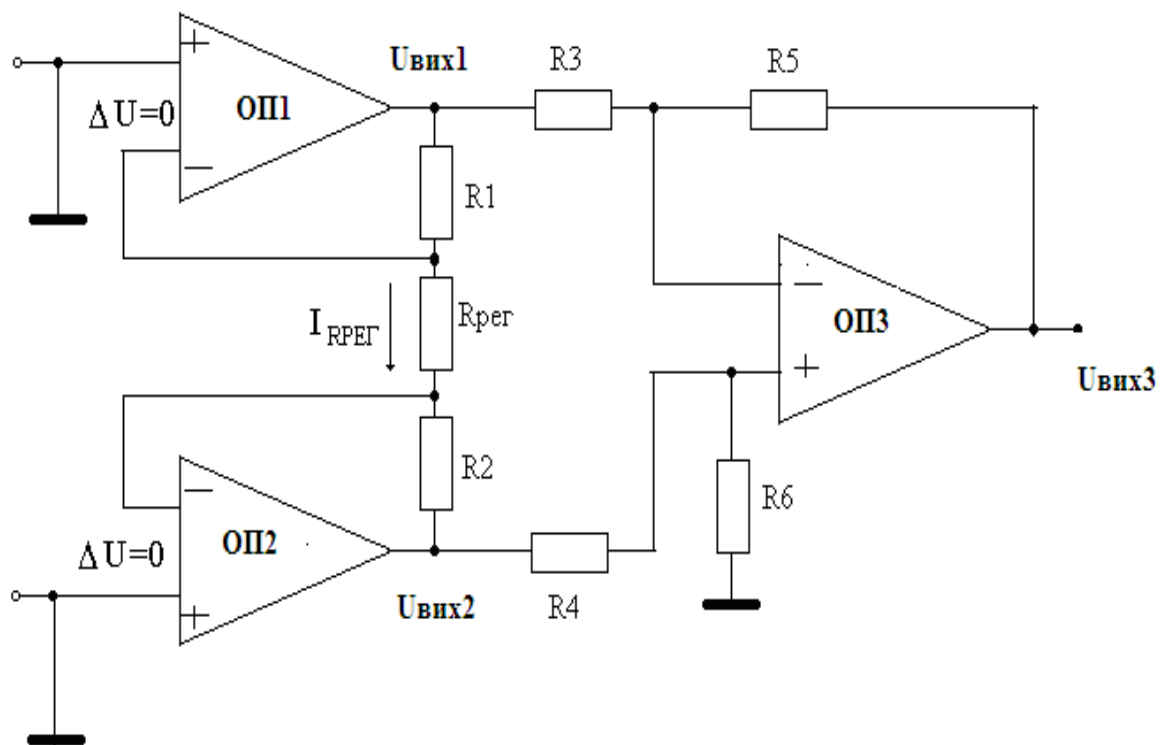


Рисунок 2.8 – Схема модифікованого вимірювального диференціального підсилювача

Схема має ряд переваг в порівнянні із схемою, описаною раніше. Вона має вищий вхідний опір. На відміну від попередньої схеми, коефіцієнт підсилення її можна регулювати шляхом зміни величини лише одного резистора $R_{рег}$.

Необхідно відзначити особливість даної схеми: коефіцієнт підсилення схеми можна змінювати в широких межах при зміні величини лише одного резистора $R_{рег}$. При цьому не порушується балансування схеми. У результаті

достатнього балансування отримуємо низький рівень синфазного сигналу на виході, оскільки має місце сильне придушення синфазного сигналу.

Сучасна технологія дозволяє розмістити усі елементи схеми в одній інтегральній схемі. При цьому всі резистори, окрім резистора R_{PEG} , виконані в інтегральному виконання і знаходяться усередині інтегральної схеми. Резистор R_{PEG} підключається до спеціальних виводів корпусу мікросхеми, позначених як R_G .

У роботі проведено моделювання роботи схеми вимірювального диференціального підсилювача. Моделювання проводилось у програмному середовищі Proteus. Результати представлено на рисунку 2.9.

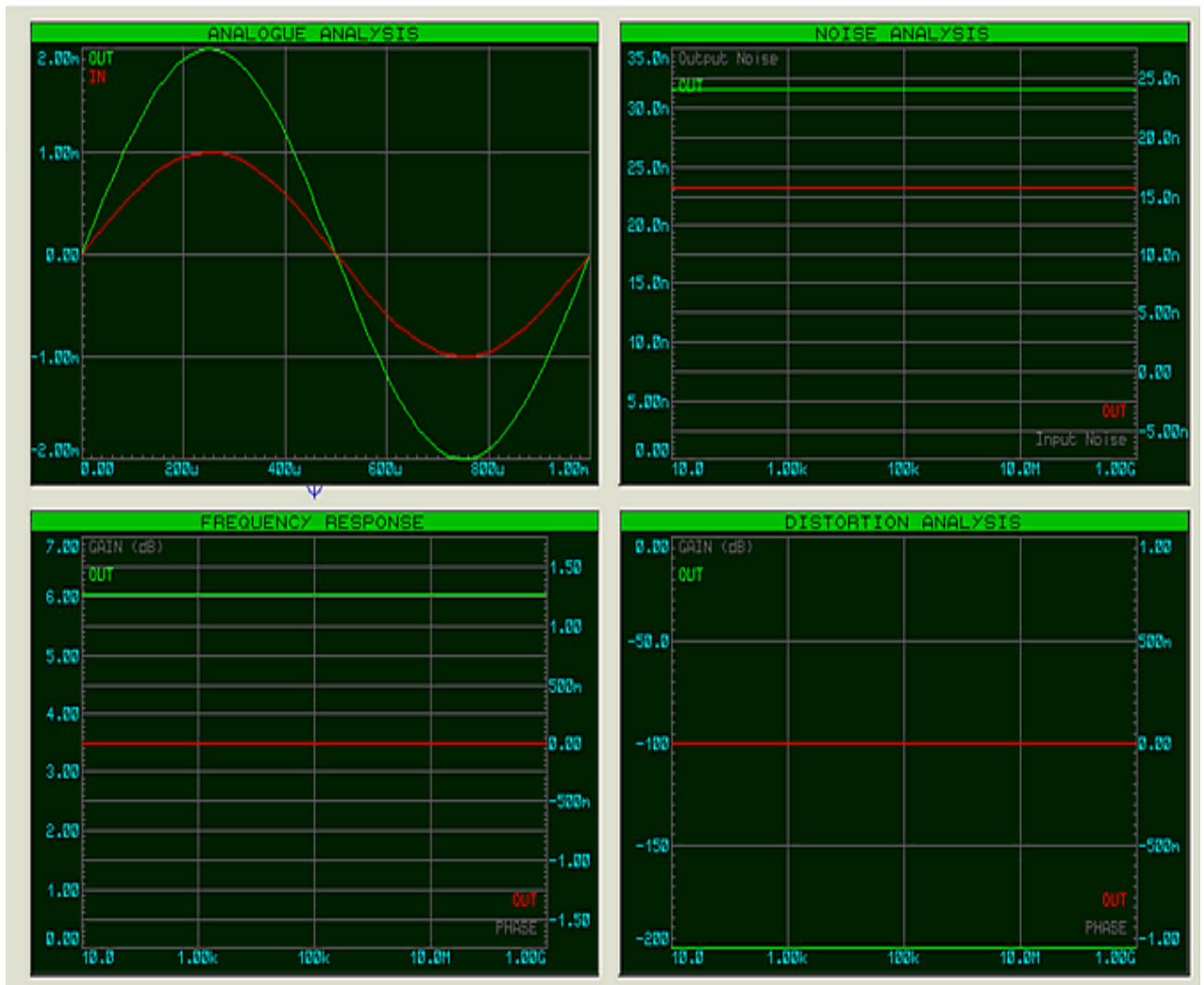


Рисунок 2.9- Моделювання роботи диференціального підсилювача в середовищі Proteus.

Як видно із рисунку 2.9 використання розробленої схеми забезпечує стабільний сигнал на виході підсилювача.

2.4.2 Лічильник фотонів системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

Одним із важливих технічних параметрів системи є інформація про об'єм переданої та обробленої інформації. Вона характеризує потужність та ефективність інформаційної системи. У розроблюваній системі кількісні показники оцінюються за допомогою лічильника фотонів.

В основі конструкції лічильника використовується мікроконтролер PIC16F84. PIC16F84 відноситься до сімейства КМОН мікроконтролерів. Відрізняється тим, що має внутрішнє 1К x 14 біт EEPROM для програм, 8-бітові дані і 64байт EEPROM пам'яті даних. При цьому відрізняється низькою вартістю і високою продуктивністю [33-35].

Усі команди складаються з одного слова (14 біт шириною) і виконуються за один цикл (1 мкс при 4 МГц), окрім команд переходу, які виконуються за два цикли (2 мкс). PIC16F84 має переривання, що спрацьовує від чотирьох джерел, і восьмирівневий апаратний стек. Периферія включає 8-бітовий таймер/лічильник з 8-бітовим програмованим попереднім дільником (фактично 16 - бітовий таймер) і 13 ліній двонаправленого вводу/вивіда. Висока навантажувальна здатність (25 мА макс. вхідний струм, 20 мА макс. вихідний струм) ліній вводу/виводу спрощують зовнішні драйвери і, тим самим, зменшується загальна вартість системи. Структурна схема PIC16F84 представлена на рисунку 2.10 [34].

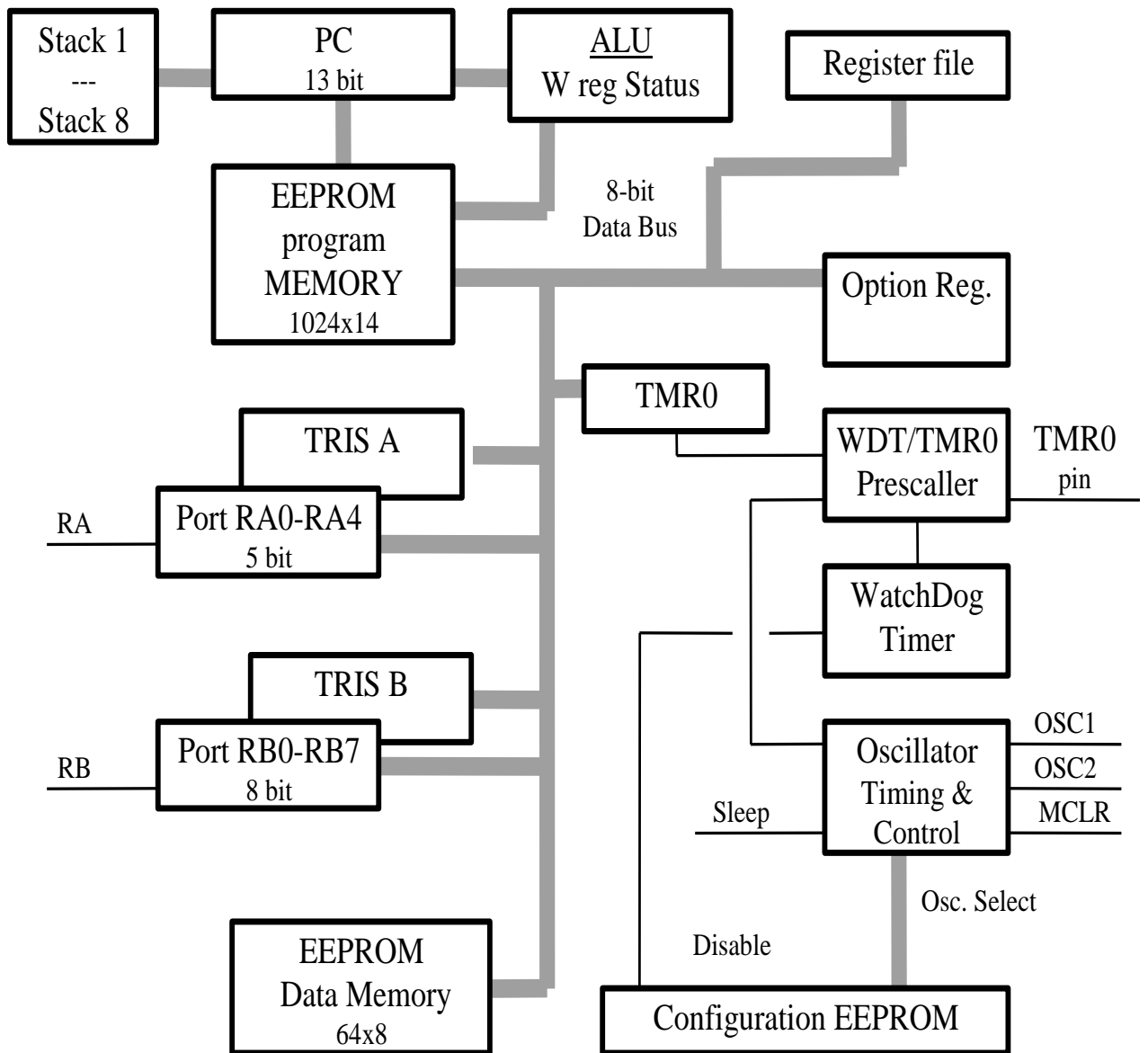


Рисунок 2.10 - Структурна схема PIC16F84

Функціональне призначення виводів мікроконтролера PIC16F84 представлена на рисунку 2.12 [34].

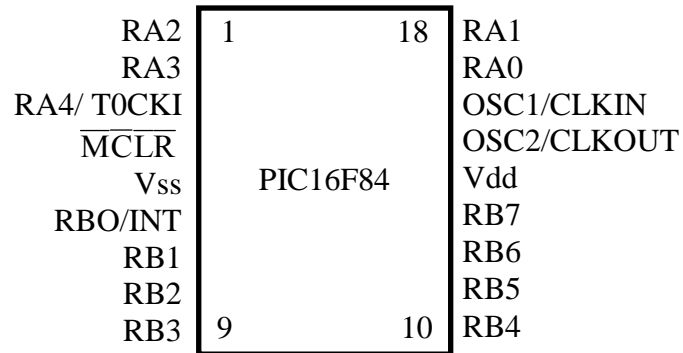


Рисунок 2.12 - Функціональне призначення виводів мікроконтролера PIC16F84

Позначення ніжок і їх функціональне призначення надано в таблиці 2.4 [34,35].

Таблиця 2.4 - Позначення ніжок і їх функціональне призначення

Позначення	Нормальний режим	Режим запису EEPROM
RA0 – RA3	Двонаправлені лінії вводу/вивода. Вхідні рівні TTL	
RA4/T0CKI	Вхід через тригер Шмітта. Ніжка порту вводу/вивода з відкритим стоком або вхід частоти для таймера/счетчика TMR0	
RB0/INT	Двонаправлена лінія порту вводу/вивода або зовнішній вхід переривання Рівні TTL	
RB1 – RB5	Двонаправлені лінії вводу/ виводу. Рівні TTL	
RB6	Двонаправлені лінії вводу/ виводу. Рівні TTL.	Вхід тактової частоти для EEPROM
RB7	Двонаправлені лінії вводу/ виводу. Рівні TTL.	Вход/виход EEPROM даних.
\overline{MCLR}/V_{pp}	Низький рівень на цьому вході генерує сигнал скидання для контролера. Активний низький.	Скидання контролера Для режиму EEPROM- подати V_{pp} .
OSC1/CLKIN	Для підключення кварцу, RC або вхід зовнішньої тактової частоти	
OSC2/CLKOUT	Генератор, вихід тактової частоти в режимі RC генератора, в останніх випадках - для підключення кварцу	
Vdd	Напруга живлення	Напруга живлення
Vss	Загальний	Загальний

Архітектура базується на концепції роздільних шин і областей пам'яті для даних і для команд. Шина даних і пам'ять даних (оперативний запам'ятовуючий пристрій - ОЗП) - мають ширину 8 біт, а програмна шина і

програмна пам'ять (постійний запам'ятовуючий пристрій - ПЗП) мають ширину 14 біт. Така концепція забезпечує просту, але потужну систему команд, розроблену так, що бітові, байтові і регістрові операції працюють з високою швидкістю і з перекриттям за часом вибірок команд і циклів виконання. 14-бітова ширина програмної пам'яті забезпечує вибірку 14-бітової команди в один цикл. Двоступінчатий конвеєр забезпечує одночасну вибірку і виконання команди. Усі команди виконуються за один цикл, виключаючи команди переходів. У PIC16F84 програмна пам'ять об'ємом 1К x 14 розташована усередині кристала. Виконувана програма може знаходитися лише у вбудованому ПЗП [34].

Принципова схема лічильника представлена на рисунку 2.13 [35].

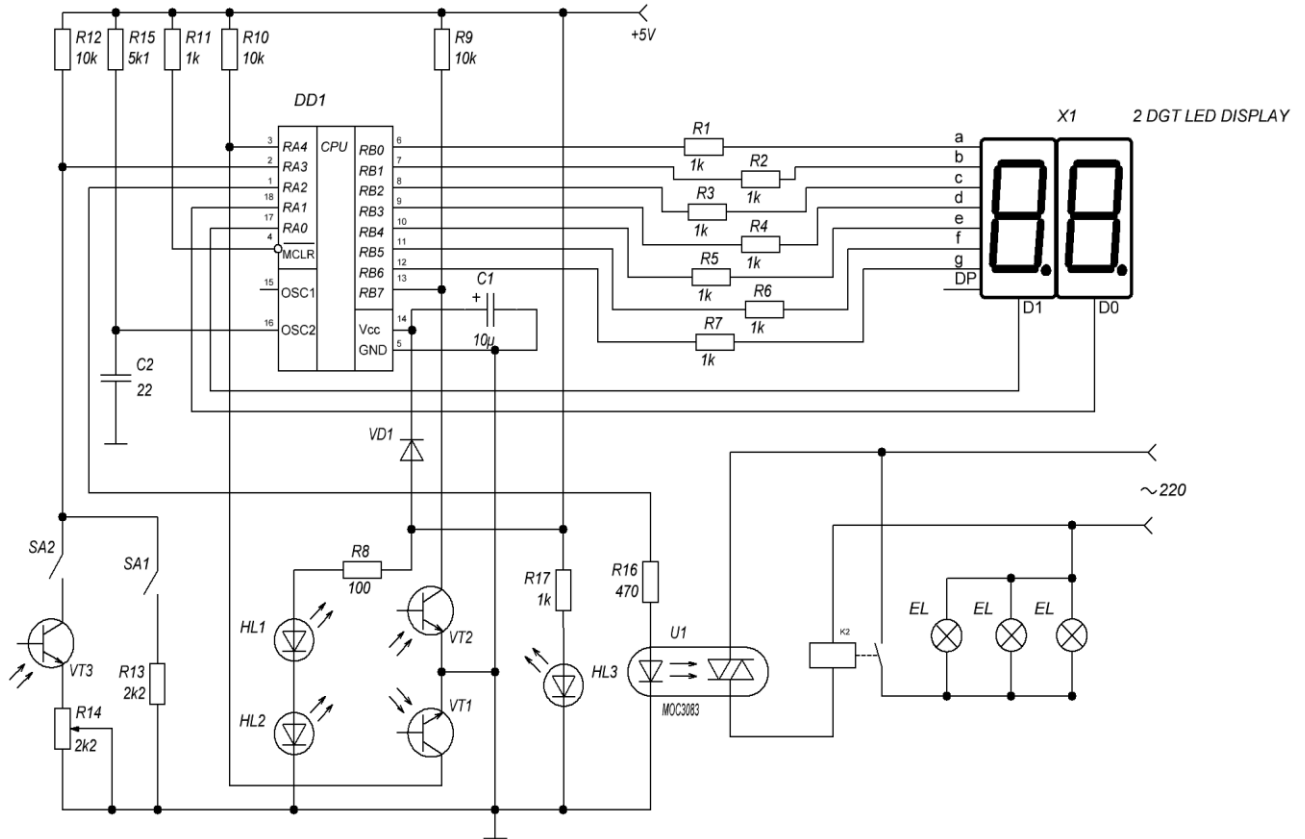


Рисунок 2.13 - Принципова схема лічильника фотонів

До мікроконтролера DD1 через струмообмежувальні резистори R1—R7 підключений дворозрядний світлодіодний індикатор HG1. Дві оптопари — випромінюючий ІЧ діод - фототранзистор (HL1VT2, HL2VT1) – утворюють датчик генерації числа фотонів, формують імпульси низького рівня.

Передбачена кнопка SA1 для обнулення пам'яті, а також допоміжні ланцюги: R15C2, що працюють у складі вбудованого тактуючого генератора мікроконтролера, VD1C1, що зберігає напругу живлення, необхідну для переходу мікроконтролера в режим SLEEP, і R12, що стежить за напругою живлення лічильника.

Схема електронної і силової частини розділена оптично за допомогою оптосимістора MOC3083 [35].

Креслення плати лічильника фотонів представлено на рисунку 2.14. Всі резистори (окрім R3) на ній розміщені з боку друку поверхневим монтажем, а

мікроконтролер, цифровий індикатор, конденсатори, діод, кнопка SB1 і дротяні перемички — з протилежного боку. Мікроконтролер встановлений в панель, упаяну в плату.

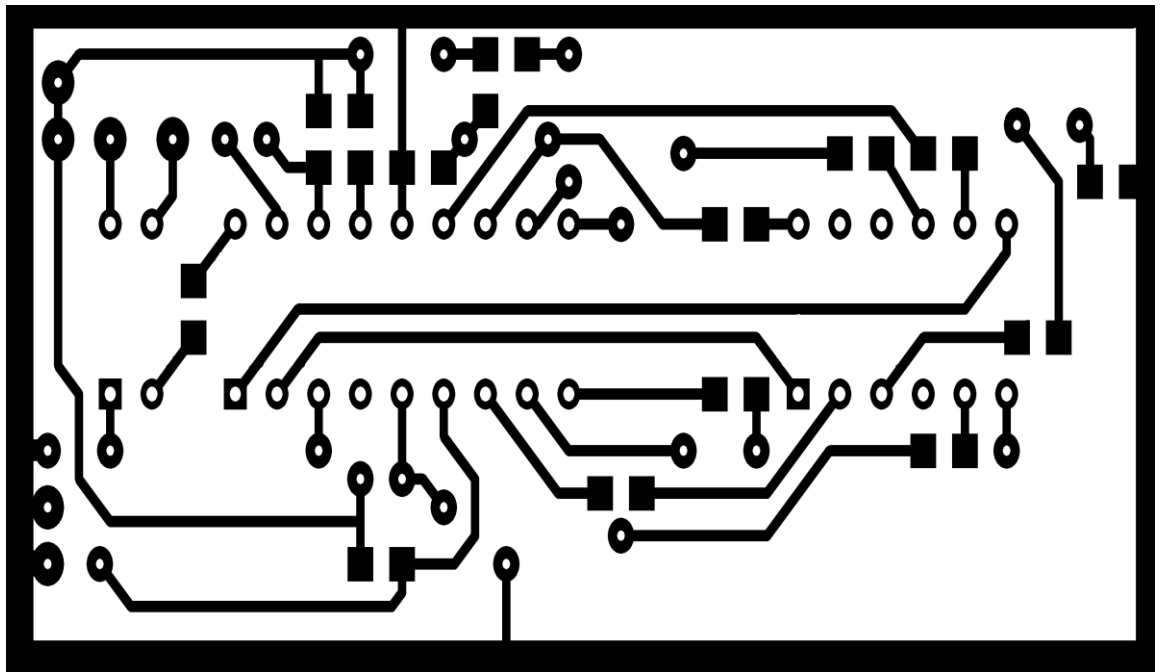


Рисунок 2.14 – Печатна плата лічильника фотонів

Лічильник розрахований на живлення від будь-якого мережевого блоку із стабілізованою вихідною напругою 4.5-5.5 В.

Для розроблюваного пристрою була використана схема блоку живлення із мікросхемою TNY253, яка представляє собою ключ/контролер TinySwitch. На вхід через запобіжник R1 подається змінна мережева напруга 85...265 В. Після випрямлення (VD1) і фільтрації (C1,C2) висока постійна напруга через первинну обмотку трансформатора T1 поступає на виведення D TNY253. Індуктивність L1 спільно з C1 і C2 утворюють П-подібний фільтр електромагнітних перешкод. Резистор R1 виконує роль демпфера. Розділовий конденсатор C8 усуває гальванічний зв'язок «Вхід-вихід». П-подібний фільтр, C8 і низька тактова частота TNY253 (44 кГц) забезпечують виконання вимог по ІМС. Діоди VD1,VD2 утворюють обмежувач, який

зменшує до безпечної величини викиди напруги, що виникають на виведенні D при закриванні MOSFET (рисунок 2.15) [35].

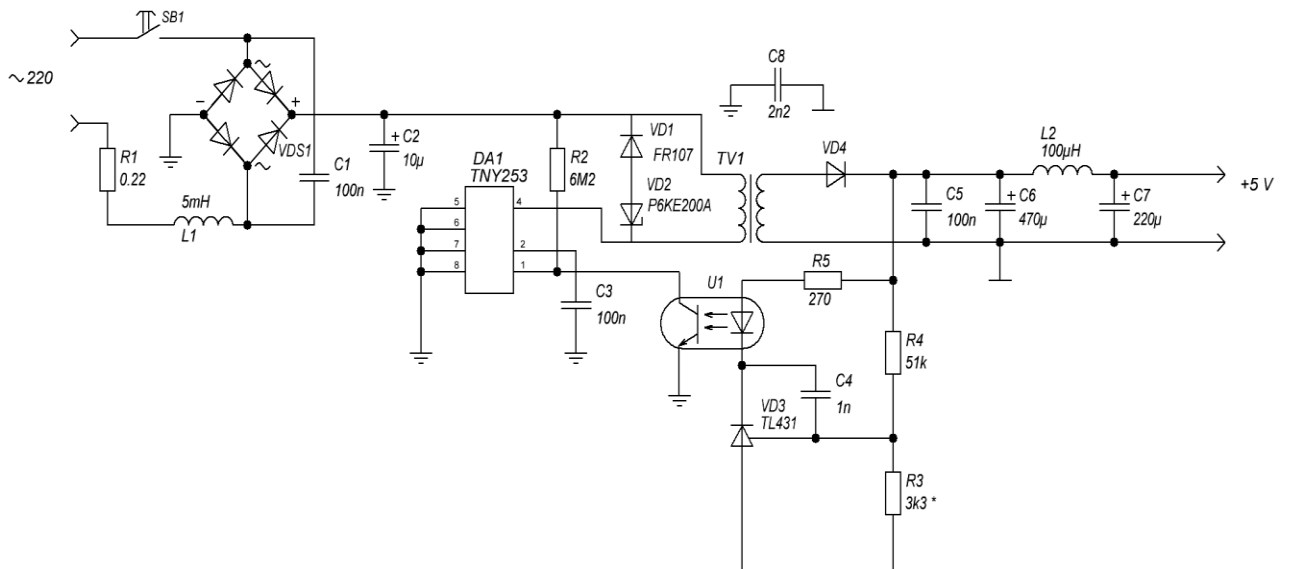


Рисунок 2.15 - Принципова схема блоку живлення лічильника фотонів

Напруга вторинної обмотки TV1 випрямляється діодом VD4, фільтрується ємністю C5, C6 і додатковим фільтром L2, C7. Вихідна напруга стабілізується на рівні 5,2 В. Як еталон використовується падіння напруги на світлодіоді оптопарі U1 (~ 1 В) і напруга стабілітрона VD3, яка налаштовується дільником R4, R3.

Креслення плати блоку живлення приведені на рисунку 2.16 [35].

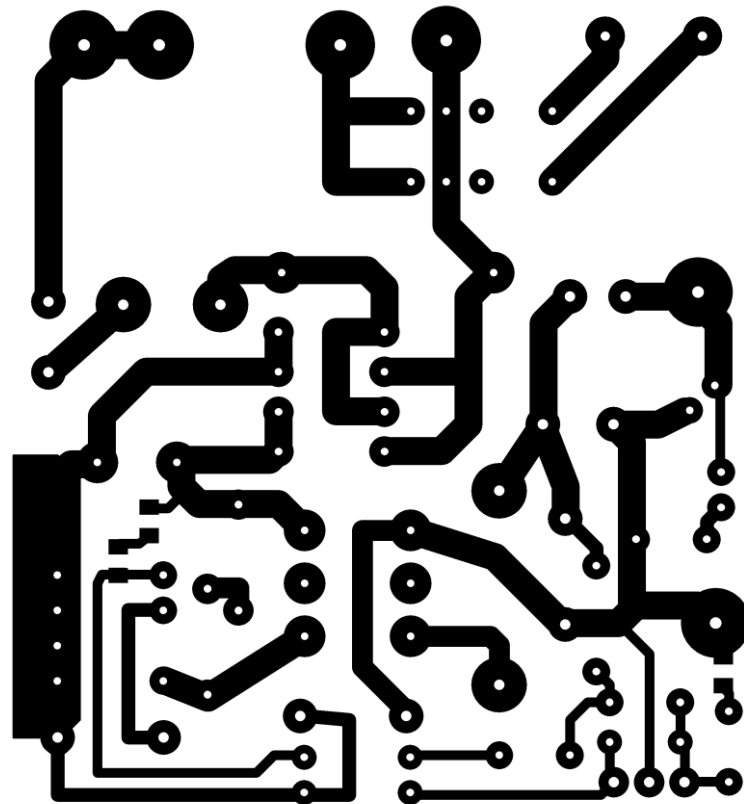


Рисунок 2.16 - Печатна плата блоку живлення лічильника фотонів

Програма мікроконтролера розроблена і налагоджена в середовищі Proteus. Схема моделювання представлена на рисунку 2.17 [34].

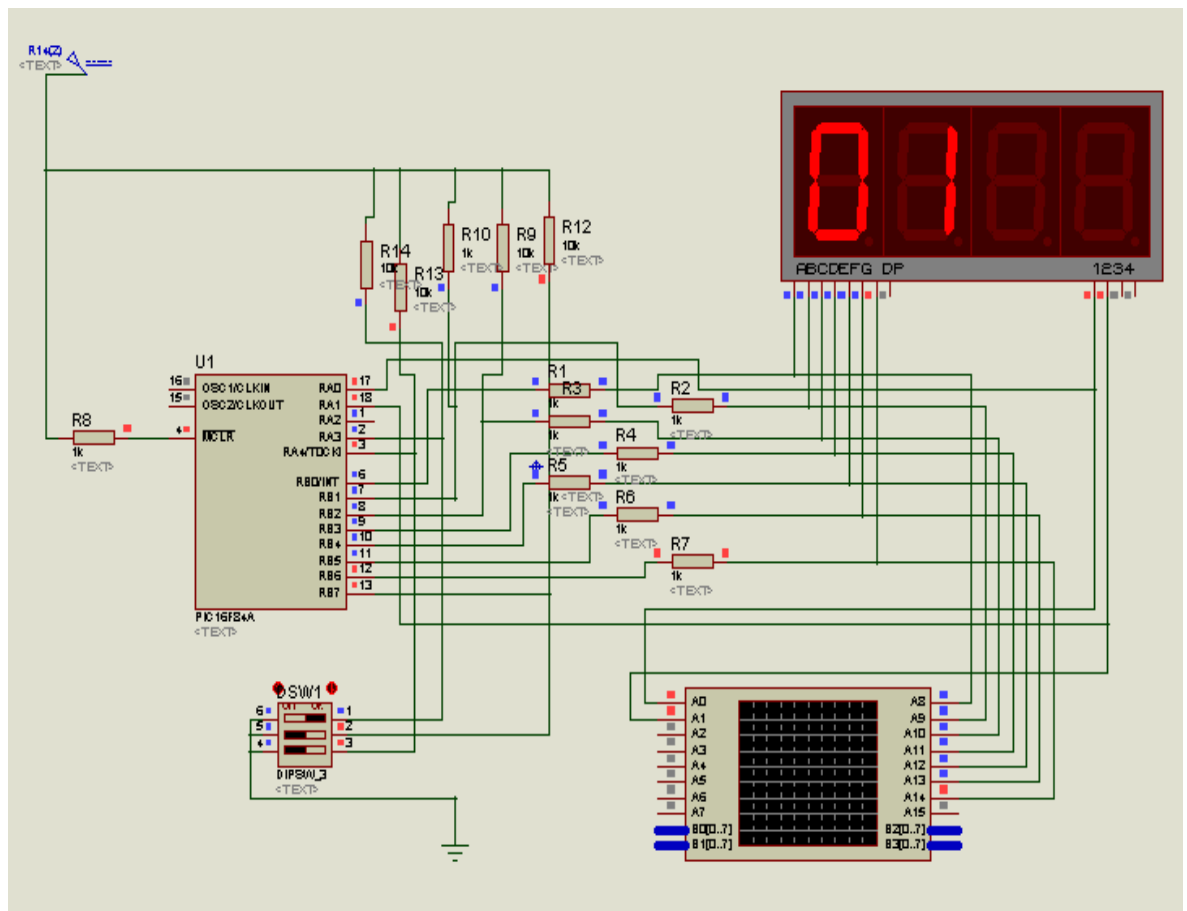


Рисунок 2.17 - Схема моделювання лічильника фотонів

Для імітації роботи фототранзисторів лічильника фотонів був використаний багатоконтактний перемикач SW1.

Для контролю роботи схеми був використаний багатоканальний логічний аналізатор (рисунок 2.18).

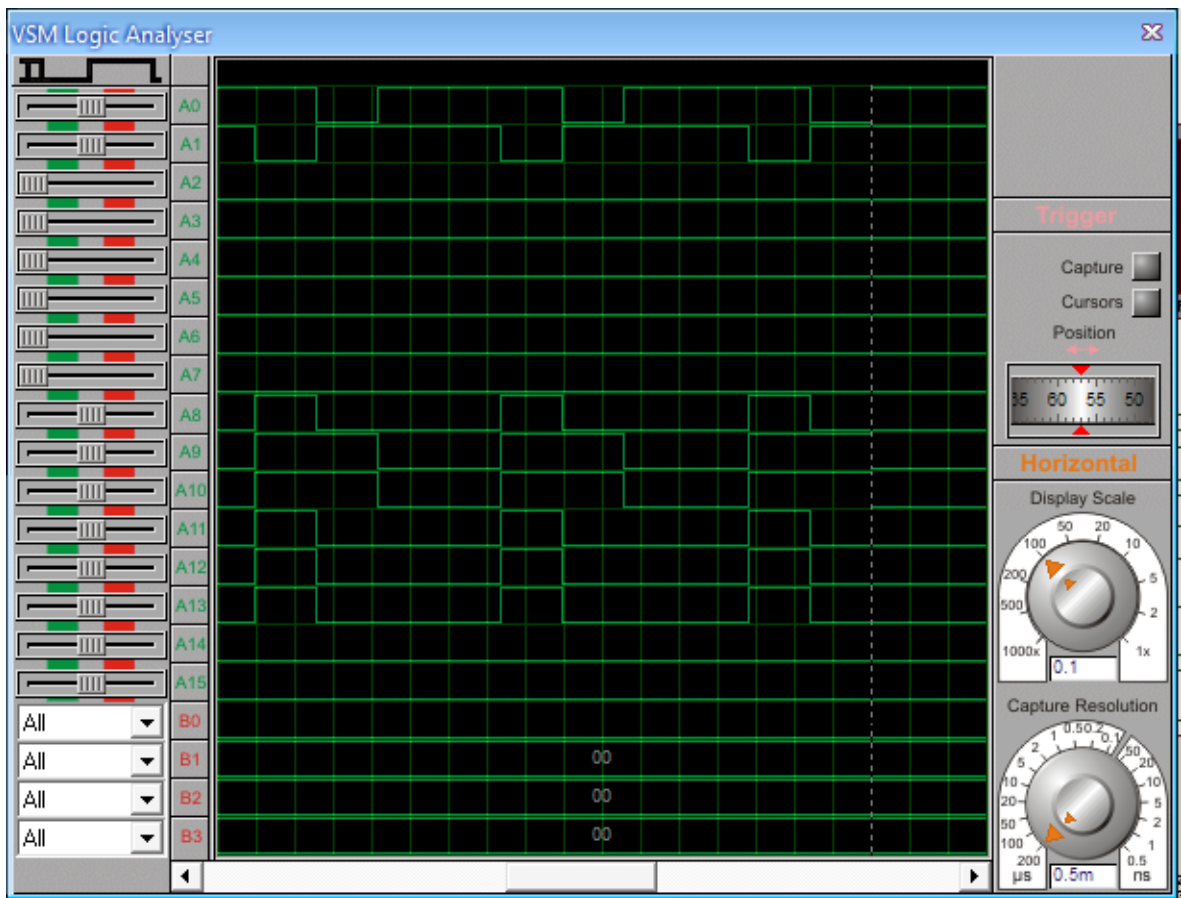


Рисунок 2.18 - Багатоканальний логічний аналізатор

На рисунку 2.18 показані епюри напруги роботи індикатора в режимі динамічної індикації.

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) аналіз раніше застосовуваних оптосхематичних систем обробки інформації показав, що ефективним буде використання системи із проміжними блоками підсилення оптичного сигналу;

2) у якості джерела випромінювання в розроблюваній системі запропоновано використати світлодіоди фірми Honeywell SEP8706-003, з довжиною хвилі 880 нм; вибір цих світлодіодів ґрунтується на невеликій кутовій робіжності променю (10 град) та відносно невеликій вартості, порівняно із іншими випромінювачами;

3) у якості світловода для комутації елементів лінії оптичного зв'язку у роботі використовуються волокна на основі SiO_2 марки 62,5/125 як такі, що мають найнижчий рівень втрат на вигони та найбільшау пристосованість до використанних світлодіодів;

4) використання у якості проміжного підсилювача, волокна на основі SiO_2 марки 62,5/125 легованого рідко земельним оптично активним елементом неодимом (Nd^{3+}), дає змогу підвищити потужність інформаційного каналу;

5) електронні схеми, розроблені для перетворення оптичного сигналу в електричний дають змогу ефективно керувати оптосхематичною системою в ІЧ діапазоні;

6) моделювання роботи основних структурних блоків системи показали добру узгодженість із розрахунками.

3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем опто-схематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

Топологічний аналіз показує, що система може бути реалізована у вигляді малогабаритних мікромодулів і виконана за сучасною маловитратною технологією тонко плівкових гібридних мікрозборок. 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 оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (таблиця 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (таблиця 3.2) [36].

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 мікрозборок	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 (таблиця 3.3) [36].

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
Σ							9,033	1,00

У матриці прийняті наступні позначення: i – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (таблиця 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 (таблиці 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
	Σ				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
	Σ				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
	Σ				6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
	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 _i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
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 _i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутоків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (таблиця 3.10) [36].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронних схем оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання 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 мікроборки	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 системи 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» (таблиця 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 мікроборки. Саме вона й буде використовуватися для виготовлення електронних схем оптоелектронної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем оптоелектронної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 1559,22 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 ²	0,6	10	6,0
Хлорне залізо	кг	1,5	40	60,0
Конденсатор	шт.	21	20	420,0
Мікроконтролер PIC16F84	шт.	1	215,0	215,0
Роз'єми комутації	шт.	7	18	126,0
Резистор	шт.	34	1,1	37,4
Оптосемістор МОС3083	шт	1	10,15	10,15
ОП А747	шт.	2	81,5	163,0
РК індикатор	шт.	1	105,2	105,2
Фотодіод	шт.	4	16,83	67,32
Світлодіод SEP8706-003	шт.	2	35,0	2,2
ПТ КП103	шт.	2	14,4	28,8
БПТ	шт.	3	9,0	27,0
Стабілітрон	шт.	1	2,15	2,15
Папір писальний	уп.	1	89	89,0
Транспортно-заготівельні витрати				200
Разом				1559,22

4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем оптосхематичної системи обробки інформації в інфрачервоній області випромінювання

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Роботи, що проводяться в дослідницькій лабораторії, не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення кафедри 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 небезпечній для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [37].

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.

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 нирково-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

При розробці оптосхематичної системи значна частина робіт повинна бути виконана на комп'ютері – програмування мікроконтролера пристрою. Тривала робота перед екраном монітора наводить до різних функціональних розладів організму, не говорячи вже про неймовірне навантаження на очі. Захворювання, викликані травмою навантажень, що повторюються, не виявляються відразу, це нездужання, що поступово накопичуються. У цьому їх небезпека. В основному страждають кисті, зап'ястя, плечі, шийна область [37].

У виникненні хвороб такого роду найчастіше винні: погана ергономіка робочих місць, дуже високо розташована клавіатура, непідходяще крісло, незнання основних правил роботи за комп'ютером. Правила, що стосуються освітлення в приміщенні і на робочому місці, мікроклімату, розташування клавіатури прості:

- повна тривалість робочого часу, проведеного за екраном монітора із захисним екраном, для дорослого користувача не повинна перевищувати 4 години за 8-годинний робочий день;

- не рекомендується працювати на клавіатурі безперервно більше 30 хвилин, кожен годину необхідно робити п'ятихвилинну перерву, а кожні дві години - 15-хвилинний, причому краще покинути робоче місце, влаштувати розминку для пальців, зробити просту гімнастику для очей;

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

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

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

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

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

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

4.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робітниках метах повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [38]

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабінети і пости управління, зали обчислювальної техніки і ін.) повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відео-терміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
	Легка – 1б	21-23	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0.2

До категорії 1а відносяться роботи, вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, вироблювані сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводяться деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/год

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що обертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального полягання в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

У таблиці 4.2 [38] приведені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, вживаних при монтажі елементів, згідно СН 245-71.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовини	ГДК, мг/м ³
Ацетон	30
Каніфоль	150
Олово	90
Спирт	1000

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливної витяжної вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням (рисунок 4.1).

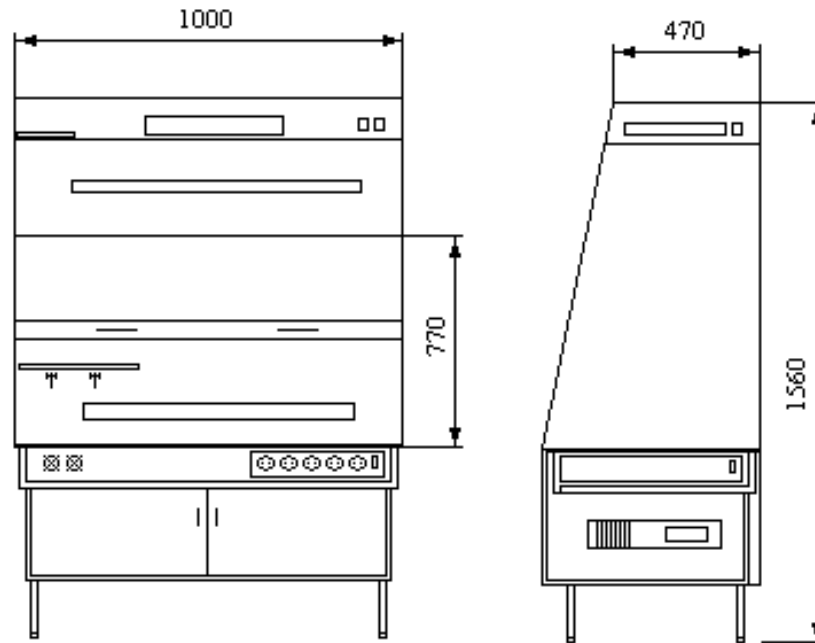


Рисунок 4.1 – Витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням

4.4 Електробезпека

Дія електричного струму на організм людини може бути теплова, хімічна і біологічна. При дії електричного струму на організм людини можуть бути два види поразки: електричні удари і електричні травми. Часто ці види супроводять один одному [38].

Захистом від дотику до струмопровідних частин електроустановок є ізоляція дротів, обгороджування, блокування і захисні засоби. Захистом від напруги, що з'явилася на корпусах електроустановок в результаті порушення ізоляції, є захисне заземлення, занулення і захисне відключення.

Захисне заземлення влаштовується в мережах з ізолюваною нейтраллю. Воно є навмисним з'єднанням із землею неструмопровідних металевих частин електроустановок.

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

При зниженні напруги на корпусах відносно землі струм, що проходить через людину, що стосується корпусу, знижується до безпечної величини (10 мА).

На ділянці проведення експерименту в лабораторії застосовується електроустаткування до 220 В. Електроживлення здійснюється від розподільних щитів за допомогою комутуючих автоматів, що виробляють захист того або іншого об'єкту.

Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної безпеки.

Відповідно до ПЗП приміщення лабораторії відносять до класу по пожежобезпеці П-11 а. Міра захисту електроустаткування 1 Р44.

Прокладка сполучних дротів здійснюється в трубах, що забезпечує надійний захист від механічних пошкоджень дротів [38].

4.5 Пожежна та техногенна безпека об'єкту

Приміщення відноситься за вибухопожежною небезпекою до категорії “Б” [18].

Основними причинами пожеж в даному приміщенні є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв, порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Приміщення за класом пожеж відноситься до категорії “Е” [39]. Це горіння обладнання та установок, які знаходяться під електричною напругою. Серед необхідних засобів гасіння пожежі в даному приміщенні є два вуглеки-

слих вогнегасники типу ОУ-2. Для мінімізації виникнення пожежі в даному приміщенні вчасно проводиться профілактичний огляд та ремонт електроустановки. В приміщенні є план евакуації згідно якого люди повинні залишити приміщення у разі виникнення пожежі. Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. При дверях, що відкриваються з приміщень в загальні коридори, за ширину евакуаційного шляху коридором слід приймати ширину коридору, зменшену:

- на половину ширини дверного полотна - при однобічному розташуванні дверей,
- на ширину дверного полотна - при двосторонньому розташуванні дверей.

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

4.6 Розрахунок місцевого освітлення робочого місця при монтажі елементів на плату

Згідно СНіП 23-05-95 для місцевого освітлення (у складі комбінованого освітлення) слід використовувати світильники з непрозорими відбивачами. Світильники місцевого освітлення слід розташовувати так, щоб їх елементи, що світять, не потрапляли прямо у поле зору працівників як даного так і інших робочих місць [39].

Виразення для освітленості даної точки “а” поверхні спостережуваного об'єкту визначається виразом:

$$E_a = \frac{J_{c6}}{l_{ca}^2} \cos \gamma_{ca}.$$

Тут J_{c6} – сила світла, що випромінюється світильником, кд/м²; l_{ca} – довжина шляху світлового променя від елемента, що світить, до точки “а” спо-

стерезуваного об'єкту, м; $\gamma_{на}$ - кут, що утворюється світловим променем в напрямі від елемента, що світить, до точки "а" і нормалю до спостережуваної поверхні в точці "а", рад. Розташування світильника на робочому місці показано на рисунку 4.2.

У точці "а" світильник місцевого освітлення повинен створювати освітленість, рівну нормативному значенню для місцевого освітлення (в даному випадку 180 лк), з відхиленням в межах $-10\% \dots +20\%$.

Визначимо силу світла, потрібну від світильника місцевого освітлення:

$$x_{св} = 20 \text{ см}; y_{св} = 10 \text{ см}; z_{св} = 20 \text{ см}; x_a = 20 \text{ см}; y_a = 30 \text{ см}$$

$$l_{ca}^* = \sqrt{(x_{св} + x_a)^2 + (y_{св} + y_a)^2} = 56,6 \text{ см}$$

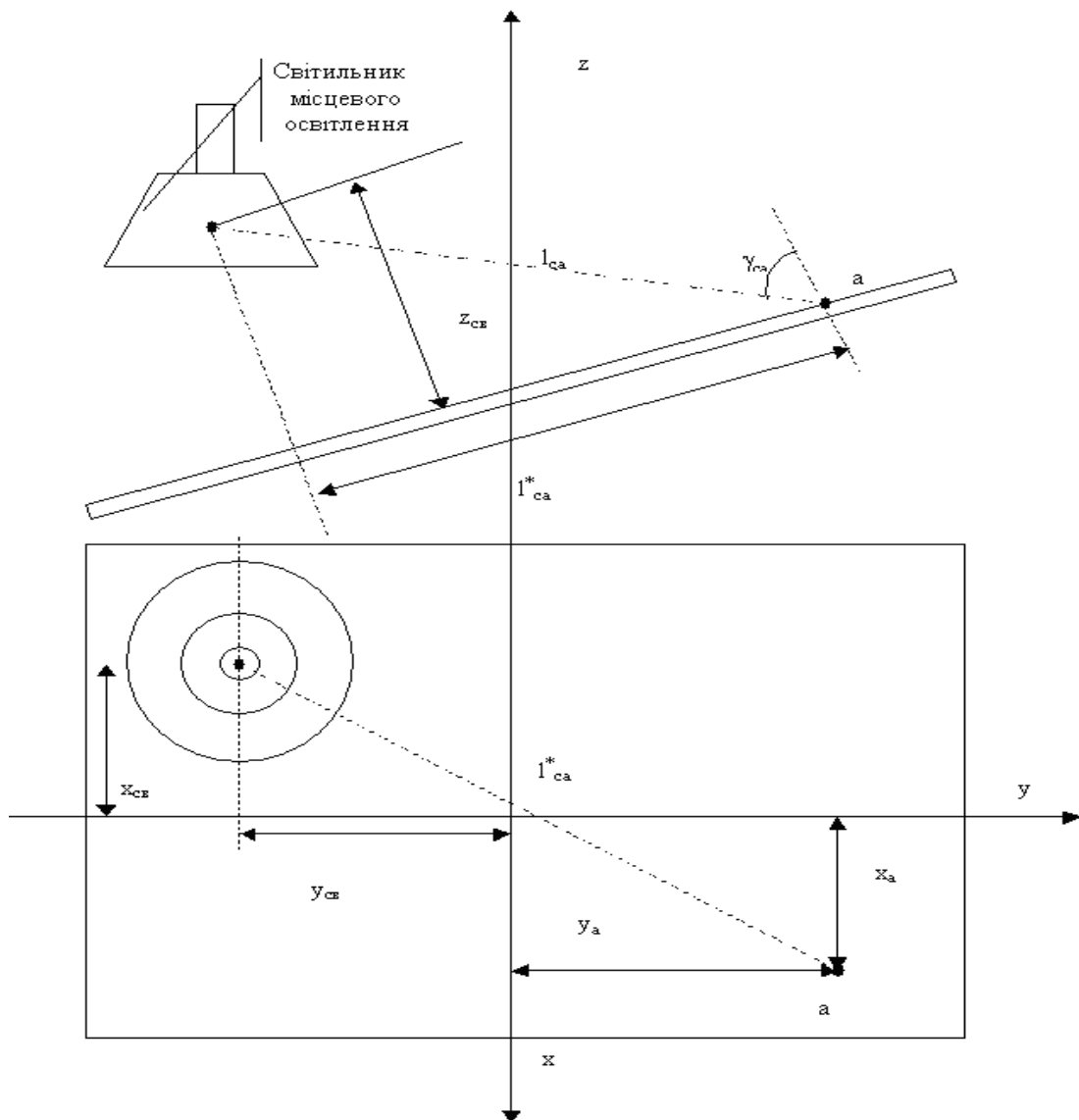


Рисунок 4.2 – Розташування світильника місцевого освітлення

$$l_{ca} = \sqrt{l_{ca}^{*2} + z_{ce}^2} = 60 \text{ см}$$

$$\gamma_{ca} = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{z_{ce}}{l_{ca}}\right) = 1,231 \text{ рад}$$

У світильнику використовується лампа розжарювання, тому для вибору лампи світильника місцевого освітлення по величині створюваного світлового потоку проведемо розрахунок:

$$\Omega_{ce} = 2\pi \left\{ 1 - \cos \left[\arctg \left(\frac{d_{ce}}{2h_l} \right) \right] \right\} = 4,14$$

$$\Phi_L = E_{\text{норм.м}} \cdot l_{\text{св.а.}}^2 \cdot \frac{4\pi}{\cos \gamma_{ca}} \left[1 + \chi_{ce} \rho_{ce} \left(\frac{4\pi}{\Omega_{ce}} - 1 \right) \right]^{-1} = 796$$

З таблиці [32] вибираємо лампу розжарювання типа БК-215-225-60 потужністю 60 Вт.

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) аналіз раніше застосовуваних оптосхематичних систем обробки інформації показав, що ефективним буде використання системи із проміжними блоками підсилення оптичного сигналу;

2) у якості джерела випромінювання в розроблюваній системі запропоновано використати світлодіоди фірми Honeywell SEP8706-003, з довжиною хвилі 880 нм; вибір цих світлодіодів ґрунтується на невеликій кутовій робіжності променю (10 град) та відносно невеликій вартості, порівняно із іншими випромінювачами;

3) у якості світловода для комутації елементів лінії оптичного зв'язку у роботі використовуються волокна на основі SiO_2 марки 62,5/125 як такі, що мають найнижчий рівень втрат на вигони та найбільшау пристосованість до використанних світлодіодів;

4) використання у якості проміжного підсилювача, волокна на основі SiO_2 марки 62,5/125 легованого рідко земельним оптично активним елементом неодимом (Nd^{3+}), дає змогу підвищити потужність інформаційного каналу;

5) електронні схеми, розроблені для перетворення оптичного сигналу в електричний дають змогу ефективно керувати оптосхематичною системою в ІЧ діапазоні;

6) моделювання роботи основних структурних блоків системи показали добру узгодженість із розрахунками.

7) розрахунки за техніко-економічними показниками визначили можливість макетної реалізації системи;

8) розроблено заходи за умовами дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

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

2) робота може бути використана в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем.

Перелік посилань

1. Бондаренко В.Г. Гребенніков В.О. Сучасні і майбутні інфокомунікаційні технології України. К. Радіоматор-2004,160 с.
2. Бондаренко В.Г. Современные технологии транспортных сетей связи. – К.,: Радіоіаматор.-2006.-№12.-С.50-52.
3. Бартків Л.В Основи волоконної та інтегральної оптики: Конспект лекцій для студентів спеціальності 6.0911 «Лазерна та оптоелектронна техніка». - Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2009.
4. Хансперджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология / Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 379 с.
5. Чео П.К. Волоконная оптика: Приборы и системы / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Гауэр Дж. Оптические системы связи / Пер. с англ. М. : Радио и связь, 1989. 504с.
7. Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. // Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. - М.: Радио и связь, 1990. - 224 с.
8. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. – М., «Радио и связь» 1990.
9. А.В.Шмалько «Цифровые сети связи: основы планирования и построения». – М.: Солон-Р, 2001, 282с.
10. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ: „Техніка”. - 2001.
11. Стеклов В.К., Нові інформаційні технології: Транспортні мережі телекомунікацій. Київ: «Техніка» .- 2004.
12. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов//«Мир», М. - 1984.

13. Волоконно-оптическая связь//под ред. М. Хауэса и Д. Моргана. - «Радио и Связь», М., 1982 г.
14. Волноводная оптоэлектроника//под ред. Т. Тамира, «Мир», М. - 1991.
15. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика//изд. Мир», М. - 1996.
16. Sherman, Joshua How LED Light Bulbs could replace Wi-Fi. - Digital Trends. - 30 October 2013.
17. Світанько М.В., Верьовкін Л.Л., Хрипко С.Л. Принцип побудови телекомунікаційної системи з використанням оптичного (EDFA) на базі технології LI-FI. Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій». – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С. 98 – 100.
18. Справочник по приемникам оптического излучения. / В. А. Волков, В. К. Вялов, Л. Г. Гассанов и др. ; под ред. Л. З. Криксунова Л. С. Кременчугского. – К. : Техніка, 1985. – 216 с.
19. Gardner, J. L. A four–element transmission trap detector / J. L. Gardner // Metrologia. - 1995. - V. 32. - № 6. – P. 469 - 472.
20. Fox, N. P. Improved Near–Infrared Detectors / N. P. Fox // Metrologia. – 1993. – V. 30. - № 4. – P. 321 – 325.
21. HVD (Holographic Versatile Disc) [Електронний ресурс]Режим доступа: <https://www.tech-faq.com/hvd.html>,(дата звернення:06.09.2020).
22. Шмалько А. В. «Цифровые сети связи: основы планирования и построения». М. : Солон-Р, 2001, 282 с.
23. Волоконно-оптическая связь//под ред. М. Хауэса и Д. Моргана. - «Радио и Связь», М., 1982 г.
24. Волноводная оптоэлектроника//под ред. Т. Тамира, «Мир», М. - 1991.
25. Honeywell [Електронний ресурс] Режим доступа: <https://www.honeywell.com>(дата звернення:06.09.2020).

26. Журнал AudioVideo[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.salonav.com/arch/2007/09/004.html>(дата звернення:06.09.2020).

27. Kudrjajtcev D. P., Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Svitanko N. V., Petrov V.V. The luminescence of strontium tetraborate doped with praseodymium ($\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Pr}^{3+}$), excited with argon - ion laser. // Proceedings of the XV International School - Seminar "Spectroscopy of molecules and crystals". 23 - 30 June, 2001, Chernihiv, Ukraine, P.104.

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

29. Kudrjajtcev D.P., Oseledchik Yu.S., Prosvirnin A.L., Svitanko N.V., Petrov V.V. The luminescence of the Praseodymium-doped Strontium borate $\text{Sr}_4\text{B}_{14}\text{O}_{25}:\text{Pr}^{3+}$ //Ukr.J.Phys.Opt.-V3.-№2.-2002.-P.155-160.

30. Гречишников В. М. Схемотехника волоконно-оптических устройств: Учеб. пособие / В.М. Гречишников; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. - Самара, 2012.- 113 С.

31. Оселедчик Ю.С., Просвірнін А.Л., Світанько М.В., Жагров А.С., Кудрявцев Д.П., Швець Д.Є. Електрооптичні характеристики монокристалів тетраборатів стронцію та свинцю// Вісник Запорізького державного університету. - 2000. - №1. - С. 189-193.

32. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 7-е изд. М.: Мир, 2009. 704 с.

33. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 528 с.: ил.

34. Calcutt D., Cowan F., Parchizadeh H. 8051 Microcontrollers: An Applications Based Introduction. Oxford: Newnes, 2004.

35. Mazidi M.A., McKinlay R. 8051 Microcontroller and Embedded Systems. NJ: Prentice Hall, 2005. 640 p.

36. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. - К: Вища шк., 1997. - 271с.

37. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной

38. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів та обладнання [навч. посіб.] / В.К. Тарасов. – Запоріжжя: ЗДІА, 2005. – 117 с.

39. Рижков В.Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності «Металургія чорних металів» спеціалізації «Охорона праці та екологія металургійного виробництва» денної та заочної форм навчання / В.Г. Рижков. – Запоріжжя: ЗДІА, 2004. – 60 с.