

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

Ігор ЧИЧУРА

«___» _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему:

**БЛОК ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО
ТЕРМОМЕТРА АМПЛІТУДНОГО ТИПУ**

Виконав:

Марін ВЛАД

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Керівник:

к.ф.-м.н. Михайло РЯБОЦУК

(вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 77 с, 35 рис, 21 табл., додатків 13, джерел 21.

Об'єкт проектування – багатофункціональний мікропроцесорний реєстратор, який призначається для вимірювання інформаційного сигналу, що надходить від оптоелектронних та волоконно-оптичних давачів різного типу.

Діапазон відліків в межах від 0,01 до 4,99 В. Межа допустимої абсолютної похибки при вимірюваннях - не більше 3%. Спосіб відтворення інформації – цифровий, з дискретністю відліків 0,1. Вимірювання та обробка інформації здійснюється за допомогою вбудованої мікро ЕОМ сімейства AVR (ATmega 8).

Реєстратор може бути застосований для використання як із суміщеними оптоволоконними перетворювачами, так і з просторово розділеними оптопарами.

Крім того він може знайти практичне використання при вимірюванні неелектричних величин (Т;Р), які застосовуються в пожежо- і вибухонебезпечних середовищах, а також в місцях з підвищеним рівнем радіаційних та електромагнітних полів.

Габаритні розміри вимірювального блока - 177x148,5x107 мм, маса не більше 1,2 кг. Споживана потужність від мережі електричного струму напругою 220В ± 10%, 50±1 Гц не більше - 25 Вт. Кліматичне виконання УХЛ4.2.

Мікропроцесорний реєстратор температури з волоконно-оптичним давачем може бути рекомендований для подальшого використання в науково-дослідних установах електронної та ядерної фізик, в підрозділах МНС, в контрольних лабораторіях митних та дорожніх контрольних служб.

**РЕЄСТРАТОР, ОПТОЕЛЕКТРОНІКА, ВОЛОКОННООПТИЧНІ
СЕНСОРИ, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК**

ABSTRACT

Explanatory note: 77 page, 35, pic, 21 tab., apps 13, sources 21.

Object design – multifunctional microprocessor-based recorder that is designed for the measurement of the information signal received from the optoelectronic and fiber-optic sensors of various types. The range of samples in the range of from 0,01 to 4,99 U. Maximum permissible absolute error of measurement should not exceed 3%.

The display is digital, with a resolution of samples of 0.1. Measurement and data processing is performed using the built-in microcomputer family AVR (ATmega 8).

The Registrar can be applied for use as a combined fiber-optic converters and spatially separated by optocouplers. Additionally, it may find practical use in the measurement of non-electrical quantities (T;P), which are used in the flammable and explosive environments, as well as in areas with high levels of radiation and electromagnetic fields.

The dimensions of the measuring unit - 177x148,5x107 mm, weighs less than 1.2 kg. Power consumption from the mains electric current 220 V \pm 10%, 50 \pm 1 Hz, less than 25 watts. The climatic version of the NF4.2.

Microprocessor measuring temperature with fiber-optic sensor can be recommended for further use in research institutions electronic and nuclear physicist, in the emergency departments, in the control laboratories of the customs and traffic control services.

**REGISTRAR, OPTOELECTRONICS, FIBER OPTIC SENSORS,
TEMPERATURE, PRESSURE**

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет

Кафедра приладобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень "магістр"

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.ф.-м.н., доцент Ігор ЧИЧУРА

"__" _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Влад Марін Марінович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Блок обробки сигналів волоконно-оптичного термометра амплітудного типу»

та керівник роботи Рябошук Михайло Михайлович, к.ф.-м.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені Розпорядженням № __ по ІТФ від _____ 2024 року.

2. Термін подання студентом роботи на кафедру: "05" грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: об'єктом розробки є пристрій для дистанційного моніторингу температури на основі волоконно-оптичного датчика амплітудного типу.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1 Аналіз технічного завдання

2 Огляд стану розробки волоконно-оптичних давачів

3 Дослідно-конструкторський розділ

4 Технологічний розділ

Висновки

Перелік посилань

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Структурна схема, 2. Електрична принципова схема, 3. Друкована плата, 4. Складальне креслення. 5. Корпус пристрою.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Студент _____ / _____ /
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ / _____ /
(підпис) (ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	9
2 ОГЛЯД СТАНУ РОЗРОБКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ДАВАЧІВ.....	12
2.1 Принципи застосування оптоелектронних та волоконно-оптичних давачів...	12
2.2 Перетворення вхідної фізичної величини в процесі її реєстрації волоконно-оптичними давачами.....	15
3 ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	20
3.1 Експериментальне дослідження спектрів оптичного пропускання кристалів GaP:Zn.....	20
3.1.1 Обґрунтування вибору кристалів для чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача.....	20
3.1.2 Результати оптичних досліджень кристалічного чутливого елемента на основі GaP:Zn.....	21
3.2 Базові розрахунки волоконно-оптичного тракту ПВП.....	26
3.2.1 Визначення спектральної узгодженості оптоелектронної пари...	26
3.2.2 Розрахунок базових характеристик для визначення вихідного сигналу ПВП.....	28
3.2.3 Розрахунок передавальної характеристики давача з урахуванням втрат у волоконно-оптичному тракті.....	31
3.2.4 Вплив механічної обробки кристалічного елемента на спектри пропускання.....	36
3.2.5 Розрахунок вольтового вихідного сигналу для оптимально спроектованого волоконно-оптичного тракту.....	38
3.3 Розробка принципової електричної схеми оптоелектронного реєстратора..	40

КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>		<i>Влад М.М.</i>		
<i>Перевірів</i>		<i>Рябошук М.М.</i>		
<i>Н/Контр.</i>		<i>Чичура І.І.</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Чичура І.І.</i>		
Блок обробки сигналів волоконно-оптичного термометра амплітудного типу Пояснювальна записка				
		<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
		у	6	
УжНУ, ІТФ, АКІТ 2-й маг. курс				

3.3.1 Обґрунтування вибору структурної та принципової електричних схем ..	40
3.3.2 Розрахунок базових вузлів принципової схеми блоку аналогової обробки	47
3.3.3 Обґрунтування вибору принципової електричної схеми блоку мікропроцесорної обробки інформації та включення необхідних елементів ..	49
3.4 Базові розрахунки по проектуванню друкованих вузлів.....	53
4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	63
4.1 Огляд аналогів об'єкта проектування.....	63
4.1.1 Розробка конструкції корпусу оптоелектронного реєстратора.....	67
4.1.2 Оцінка технологічності конструкції.....	68
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	75
Додатки.....	77

ВСТУП

Сучасне суспільство характеризується широким впровадженням інформаційних і телекомунікаційних технологій, технічно реалізованих в системах і мережах різного функціонального призначення. Основою яких все більш успішно стають оптоелектронні елементи і пристрої, що дозволяють повністю задовольнити постійно зростаючим вимогам, що неможливо вирішити традиційними технічними методами.

Широкому розповсюдженню оптоелектронних елементів і пристроїв, які використовують оптичне випромінювання і унікальні властивості оптичних середовищ для реєстрації різних фізичних впливів, сприяли успіхи в технології волоконних світлопроводів, що привело до широкого їх використання для передачі інформаційних сигналів. Розвиток волоконно-оптичних давачів (ВОД) іде по шляху заміни традиційних давачів, у випадках коли споживача не задовольняють їхні параметри, або по шляху одержання нових функцій. Вони виявляються конкурентоспроможними в тих випадках, коли необхідно забезпечити роботу в умовах сильних електромагнітних полів, в агресивних і вибухонебезпечних середовищах. В наш час це вже визнаний напрямок розвитку вимірювальних перетворювачів, в рамках якого створені давачі тиску, зусилля, переміщення, швидкості, акустичних навантажень, напруженості електричного й магнітного полів і т.д.

Оптоволоконний реєстратор на кристалічних чутливих елементах призначений для вимірювання різних фізичних величин. Обробка вимірювальної інформації з аналогового блоку реєстрації здійснюється за допомогою мікропроцесорного блоку обробки, який працює за спеціально розробленими програмами обчислення і виведення отриманих результатів.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

- 1.1 Електронний реєстратор для оптоволоконних давачів температур призначений для вимірювання температури в умовах, які характеризуються підвищеною вибуховою, пожежною або радіаційною небезпекою.
- 1.2 Діапазон вимірювання температури ПВП з кристалічним чутливим елементом, визначається технічним завданням і встановлює температурний інтервал 300-400 К.
- 1.3 Фізичне явище покладене в основу роботи первинного вимірювального перетворювача – амплітудна зміна інтенсивності випромінювання, яке посилюється напівпровідниковим світлодіодом при температурній варіації пропускання чутливого елемента на основі напівпровідникового кристалу, який входить до складу волоконно-оптичного тракту.
- 1.4 Кількість незалежних каналів реєстрації - 1.
- 1.5 Матеріал чутливого елемента – пластинка з кристалічного напівпровідникового матеріала GaP, легovanого Zn (GaP:Zn), товщиною 300 мкм.
- 1.6 Технічне завдання передбачає експериментальне дослідження спектрів оптичного пропускання кристала GaP:Zn при різних температурах в діапазоні від 300 до 400 К.
- 1.7 У відповідності до отриманих даних оптичних досліджень необхідно підібрати спектрально узгоджену оптоелектронну пару (світлодіод - фотоприймач) та розрахувати величини фотострумів, які будуть при різних рівнях пропускання чутливого елемента в установленому діапазоні температур.
- 1.8 Проаналізувати вплив можливих конструкційних та технологічних впливів на величину інформаційного сигналу та надійність вимірювань.
- 1.9 Сформулювати вимоги до макетної розробки ПВП з кристалічним елементом, який враховує результати попереднього аналізу.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1.10 Спосіб відтворення вимірювальної інформації – літерно-цифровий (2-х рядковий рідкокристалічний матричний індикатор), дискретність відліку основної величини - 0,1.
- 1.11 Виконання. Переносний прилад лабораторного призначення в нестандартному електробезпечному конструктиві з пластичних мас.
- 1.12 Живлення від стандартної мережі змінного струму напругою 220 В ± 10% чистотою 50 ± 1 Гц. Споживана потужність не має перевищувати 25 Вт.
- 1.13 Режим роботи - керований мікропроцесором, час неперервної роботи не менше 8 годин на добу.
- 1.14 Габаритні розміри і маса спеціально не регламентуються.
- 1.15 Згідно ТЗ об'єкт проектування має представляти вимірювальну систему, яка складається з двох вимірювальних блоків: виносних опто-електронних або волоконно-оптичних давачів та унітарного блока аналогової обробки вимірювальної інформації; блоку мікропроцесорної обробки інформації та блоку живлення.

При розробці передбачити можливість легкої заміни зовнішніх давачів в залежності від конфігураційної задачі шляхом їх приєднання до вимірювального блока через стандартні оптичні конектори. Для виконання часткових задач у виконанні яких може бути задіяний мікропроцесорний вимірювач температури з волоконно-оптичним давачем розглянуто випадок побудови двоканального волоконно-оптичного термометра з чутливими елементами призначено відповідно до п.1.5. Конструкція вимірювального блоку має складатися з двох частин — аналогової і цифрової обробки. Аналогова частина має забезпечувати ефективну обробку модульованого вимірювального сигналу з мінімальним рівнем шумів, та дрейфом вихідного сигналу.

Цифровий вузол обробки вимірюваної інформації має бути побудований із використанням однокристалльної мікроЕОМ з мінімальним

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

набором управляючих електричних сигналів, що генеруються з передньої панелі приладу. Вихідні сигнали блока цифрової обробки мають бути виведені на цифровий дисплей з не менш чотирьох значущих одиниць.

Програмне забезпечення мікропроцесорної системи для конкретного застосування вимірювання температури та інших величин не є предметом проектування.

Живлення приладу в цілому має забезпечуватись від високоякісного стабілізованого вбудованого джерела живлення, який має захист від короткого замикання та перегріву, при забезпеченні необхідного рівня гальванічної розв'язки між первинною мережею та вторинними електронними колами відповідно до визначеного в п.1.13 класу електробезпеки.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОГЛЯД СТАНУ РОЗРОБКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ДАВАЧІВ

2.1 Принципи застосування оптоелектронних та волоконно-оптичних давачів.

Успіхи в області напівпровідникових (н/п) джерел випромінювання, фотоприймачів, волоконних світлодіодів (ВС) з малим затуханням привели до появи волоконно-оптичних каналів передачі інформації, які ефективно використовуються як для магістрального, так і для внутрішньо об'єктного зв'язку. Використання внутрішньо об'єктних волоконно-оптичних каналів зв'язку з необхідністю зменшення розмірів та маси ліній зв'язку, а також підвищення щільності потоку інформації та її заводо захищеності при передачі від давачів різних фізичних впливів.

Для підвищення рівня заводо захищеності вимірювальних інформаційних систем (ВІС) в цілому крім вживання ВС для багатоканального зв'язку станцій прийому/передачі ВІС необхідне дотримання ще двох умов:

- локалізація електронної частини станції прийому/передачі ВІС в обмеженому об'ємі;
- використання для отримання первинної інформації про стан об'єкта або процесу пасивних давачів, зв'язаних зі станцією прийому/передачі за допомогою ВС.

Якщо виконання першої умови залежить в основному від особливостей компоновки апаратури, то виконання другого зв'язано зі засвоєнням нового напрямку в області вимірювальних систем.

Використання традиційних електричних давачів в зборі заводо захищених ВІС з волоконно-оптичними каналами потребує підводу до них енергії живлення по додатковій електричній провідній лінії, а також наявності перетворювача неоптичного інформаційного сигналу такого давача в оптичний і пристроїв узгодження з волоконно-оптичним каналом (рис. 2.1 а). Все це з урахуванням похибок самих електричних давачів знижує рівень заводо захищеності та точність ВІС, підвищує їх розміри та масу. Тому для ВІС з волоконно-оптичними каналами

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

краще використовувати пасивні давачі, які використовують в своїй роботі сигнали тієї ж фізичної природи, що й ВС.

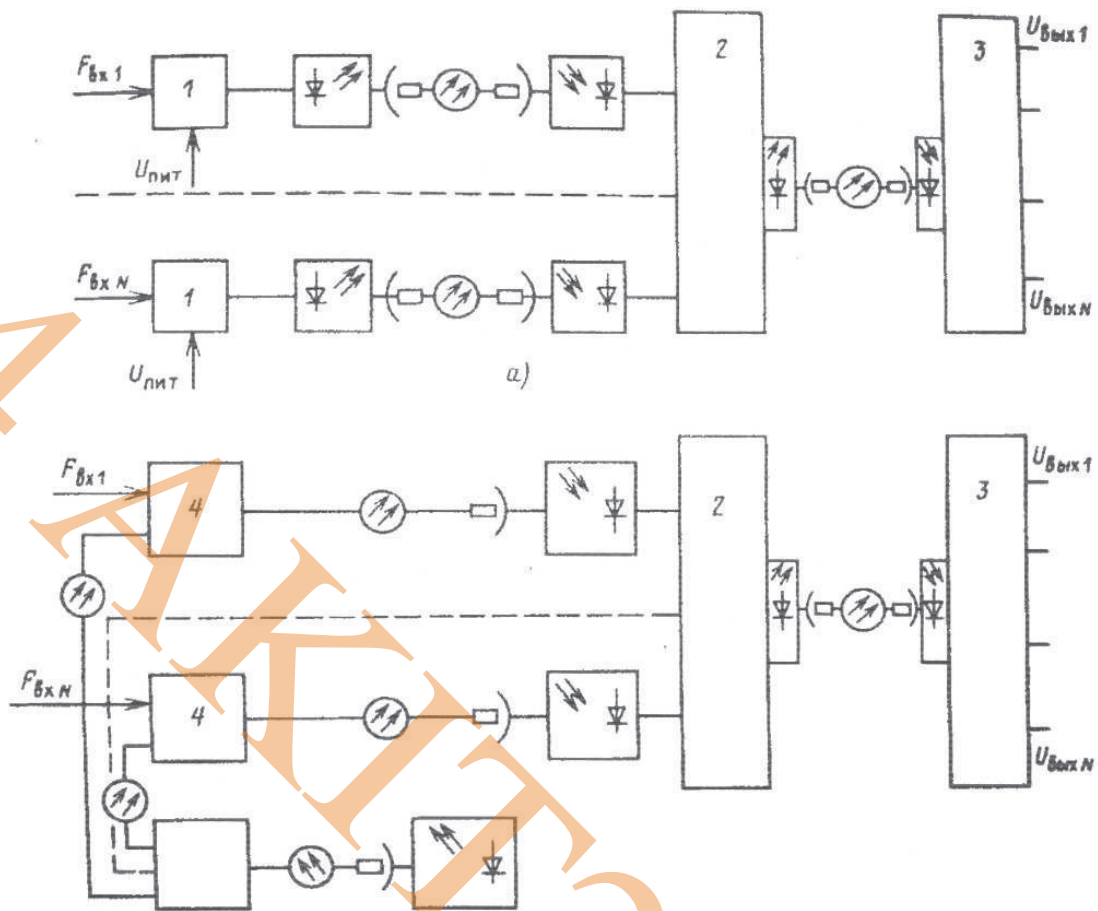


Рис. 2.1 ВІС з електронним (а) та волоконно-оптичним (б) давачами: 1 - електронний датчик; 2 - мультиплексор; 3 - демультимплексор; 4 - волоконно-оптичний датчик.

Крім того, в дуже багатьох промислових застосуваннях використання електричних давачів обмежено допустимими умовами експлуатації. Так, є велика потреба в пасивних давачах тиску, рівня рідини, переміщення, температури і т. д., придатних для праці в умовах вибухонебезпечності, високої радіації, високих і низьких температур, агресивних середовищах і т. п. (табл. 2.1).

Табл. 2.1 Промислова потреба в пасивних оптичних давачах.

Умови експлуатації	Області використання	Реєструємий параметр
Вибухонебезпечність	Газова, нафтяна, хімічна промисловість, заправочні баки	Тиск, рівень рідини, потік, температура
Висока радіація	Атомна енергетика, медицина	Тиск, температура
Сильні електромагнітні завади	Електростанції, електроустановки	Напруга, струм, вібрація, обертання
Невиявленість	Спеціальна техніка	Тиск, температура, переміщення, вібрація

Рішення проблеми давачів для таких умов експлуатації може бути досягнуто на основі використання оптичних і волоконно-оптичних елементів, утворюючих волоконно-оптичний давач (ВОД), в яких відбуваються прямі або многоступеневі перетворення реєструємої фізичної величини $P_{вх}$ в зміну потужності оптичного випромінювання (рис. 2.1 б).

Початок робіт в області створення ВОД відноситься до середини 70-х років; з тих пір дослідження й розробки по цьому напрямленню неперервно розвиваються. Давачі взагалі, і волоконно-оптичні вчасності, стають все більш значимими серед інших виробів електроніки.

Під ВОД розуміється вимірювальний перетворювач (рис. 2.2), який містить відрізок волоконного світловода або оптичний елемент, оптичні властивості якого залежать від зовнішньої дії, а також відрізки ВС, проводящі оптичне випромінювання від міста взаємодії його із зовнішнім полем, з'єднані із джерелом випромінювання та фотоприймачем.

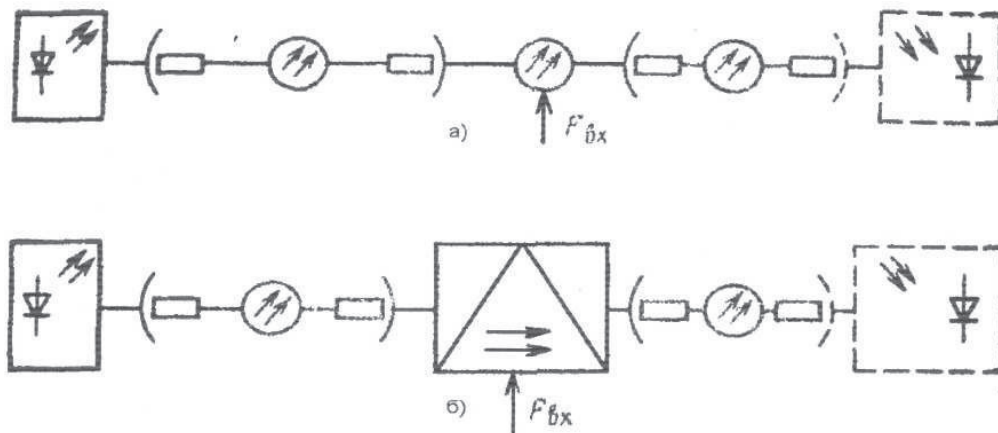


Рис. 2.2 Оптична схема ВОД на основі розподіленого ВС (а) і зосередженого оптичного елемента (б).

2.2 Перетворення вхідної фізичної величини в процесі її реєстрації волоконно-оптичними давачами

Загальна структура перетворень в оптичному (волоконно-оптичному) давачі представлена на рис. 2.3. В процесі вимірювання зовнішнього впливу в ВОД відбувається ряд взаємопов'язаних перетворень: попереднє, фізичного ефекту, модуляційні і фотоприйомні.

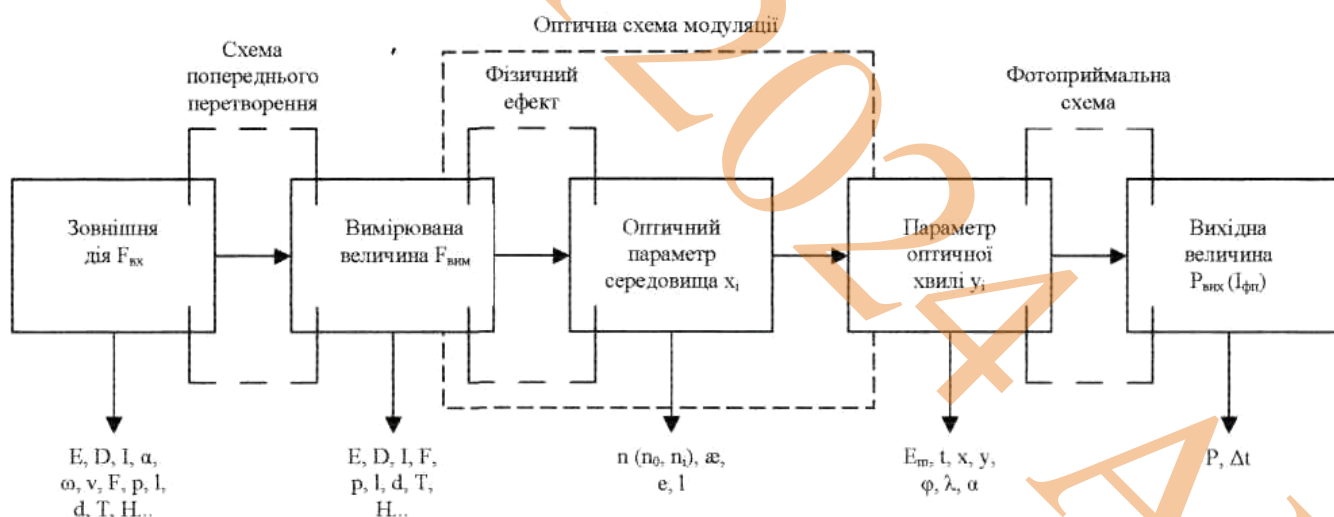


Рис. 2.3 Перетворення в ВОД.

В якості зовнішньої дії P_{vx} можуть виступати напруженість електричного і магнітного полів E та H , струм I , температура T , лінійне прискорення a , кутова і лінійна швидкості (ω та V), сила P , тиск p та інше., тобто зовнішня дія може бути

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ

Арк.

15

електричного, магнітного, теплового, механічного, хімічного, радіаційного та інших типів.

Схема попереднього перетворення необхідна, якщо неможливо безпосередньо виміряти зовнішню дію (наприклад, лінійне прискорення) або якщо в наявності вже є давач для вимірювання другого фізичного параметра.

Для того щоб повніше використовувати ВОД, важливо знати методи, використовуючи які, зовнішня дія P_{ex} можна перетворити у вимірювану величину $P_{вим}$, наприклад температуру - в тиск. Тут одним із методів являється використання яке відбувається при нагріві розширення газу, рідини чи твердого тіла, яке стримується яким-небудь шляхом, завдяки чому виникає тиск.

Деякі фізичні величини, які підлягають вимірюванню, показані на рис. 2.3 із вказівками, як конкретний параметр може бути визначений за допомогою вимірювання інших параметрів.

Одним з найбільш корисних вимірюваних параметрів є переміщення, котре відносно просто викликається різними фізичними ефектами.

Схема попереднього перетворення може використовувати різні фізичні принципи і бути електромеханічною, магнітомеханічною, механічною, електромагнітною і т.д.

Вимірювана величина (E, H, i, T, P, p та ін.) за допомогою якого-небудь фізичного ефекту (електро- чи магнітооптичного, п'єзоелектричного, акусто- чи п'єзооптичного та ін.) приводить до вимірювання оптичних параметрів x , середовища, по якому розповсюджується випромінювання (показники заломлення n , коефіцієнта поглинання світла, лінійних розмірів l) (табл. 2.2).

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.4 Перетворення фізичних параметрів.

Табл. 2.2 Перетворення зовнішніх дій в зміну оптичних параметрів середовища.

Вимірювана величина	Використовуваний фізичний об'єкт
Електрична: напруженість електричного поля E електрична індукція θ електричний струм I	Електричні ефекти Керра і Погкельса
	Електроіндуковане поглинання
	Електролюмінісценція
	П'єзоелектричний ефект
	Електрозмочуваність
Магнітна: напруженість магнітного поля H магнітна індукція B	Магнітооптичний ефект Фарадея
	Магнітострикція
	Магнітопоглинання
Механічна: сила P тиск p переміщення l густина ρ швидкість V кутова швидкість ω	П'єзоелектричний ефект (фотопружність)
	П'єзоабсорція Зміна положення кристалографічних осей
	Зміна довжини взаємодії
	Абсорбція
	Ефект Саньяка

Теплова: температура T	Термооптичне явище
	Термолюмінесценція
Хімічна: хімічний склад	Фізико-хімічне явище
	Люмінесценція
Випромінювальна: рентгенівське випромінювання радіація оптичне випромінювання	Індуковане випромінюванням зміна оптичних властивостей
	Індуковане випромінювання і поглинання
	Оптично індукована зміна показника заломлення

Оптична схема, в якій відбувається амплітудна, фазова, поляризаційна, частотна, спектральна, часова чи просторова модуляція, зв'язує зміну оптичного параметра x , середовища, індуковане вимірюваною фізичною величиною, із параметром проходячої через давач оптичної хвилі y , (амплітудою A , фазою ρ , поворотом площини поляризації α , довжиною хвилі λ , часом затримки імпульсу відгуку i , просторовими координатами реєструемого випромінювання x, y) (табл.2.3)

Табл. 2.3 Перетворення змін параметрів оптичного середовища в зміну характеристик світлової хвилі.

Змінні оптичні параметри середовища	Застосована оптична схема модуляції	Змінний параметр оптичної
n, l, n, ϵ	Амплітудна: зміна відбивальної (пропускної) здатності порушення повного внутрішнього відбивання керуємий зв'язок хвильоводів чи мод багатомодового ВС послаблення в середовищі (закон Бугера) додаткові	Амплітуда A
n, l	Фазова: зміна оптичної довжини взаємодії зміна довжини комірки зміна поперечних розмірів	Фаза ρ
n, l	Поляризаційна: поворот площини поляризації лінійного поляризованого світла порушення повного внутрішнього відбивання перехід від еліптичної поляризації за	Поляризація α

I,п	Частотна: переміщення світлофільтрів зміщення края смуги поглинання (ефект Франца-	Частота А
I,п	Часова: зміна часу відгуку	Часі
п,I	Просторова: зміна просторового положення випромінювання реєструемого	Координати x, y

Серед використовуваних принципів дії оптичних схем модуляції потрібно відмітити зміну відбиваючої чи пропускнуої здатності середовища, порушення повного внутрішнього відбивання, керований зв'язок хвильоводів, зміну поглинання середовища (амплітудна модуляція); зміну довжини комірки чи оптичної довжини середовища, поперечних розмірів хвильоводу (фазова модуляція); поворот площини поляризації та зміну типу поляризації (поляризаційна модуляція); зміщення краю смуги поглинання та переміщення світлофільтрів (спектральна модуляція).

Для детектування і вимірювання змін оптичного параметра середовища можуть використовуватися різні фотоприймальні схеми (табл. 2.3). Вони здійснюють безпосереднє вимірювання потужності сигналу чи містять додаткові пристрої: інтерферометричну схему чи аналізатор кута повороту площини поляризації, світлофільтр чи спектрально-чутливий фотоприймач (для вимірювання довжини хвилі), позиційно-чутливий фотоприймач та світлофільтр (для вимірювання просторових координат випромінювання). Практично у всіх випадках кінцевою реєструємою величиною є амплітуда струму на виході фотоприймача $I_{\text{ФП}}$. Різноманіття фізичних ефектів, схем модуляції і фотоприймальних схем обумовлює достаток можливих варіантів реалізації навіть при реєстрації однієї фізичної величини.

В основу класифікації оптичних давачів доцільно покласти різницю в оптичних схемах модуляції, яке в багато чому визначає суть не тільки перетворення вимірюваної дії у зміну параметрів оптичного випромінювання, але й попереднього й фотоприймального перетворень.

3 ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Експериментальне дослідження спектрів оптичного пропускання кристалів GaP:Zn

3.1.1 Обґрунтування вибору кристалів для чутливого елемента первинного вимірювального перетворювача

У відповідності до технічного завдання в якості матеріала для чутливого елемента ПВП, який підлягає розробці має використовуватись кристалічний чутливий елемент (ЧЕ). Попередній аналіз можливих варіантів вибору кристала вказав на можливість застосування базових матеріалів групи A_3B_5 (GaAs, GaP), які на сьогоднішній день являється основними напівпровідниковими кристалами для сучасної мікроелектроніки.

З прикладної точки зору інтерес до цих матеріалів викликаний широким їх застосуванням в елементах ІЧ оптики, телевізійної техніки та оптоволоконних засобах зв'язку. Ці матеріали є стійкими до опромінення високоенергетичними частинками, що робить можливим їх практичне застосування в умовах дії радіоактивного опромінення, а реалізація відпалу радіоактивних дефектів відкриває можливість їх багатократного застосування в екстремальних радіаційних умовах[2]. Крім того, на оптичні властивості цих кристалів практично не впливають високочастотні електромагнітні поля[3].

Все викладене вище вказує на можливість ефективного застосування кристалів групи A_3B_5 в якості чутливих елементів амплітудного типу для волоконно-оптичних давачів температури, тиску та інших фізичних величин.

Для розрахунків ПВП в даній магістерській роботі в якості матеріала для ЧЕ було обрано кристали GaP, легованого Zn (GaP:Zn) промислового виробництва (Завод напівпровідникових матеріалів «Кристал», м. Світловодськ).

Для проведення експериментальних досліджень краєвого оптичного пропускання вирізались пластинки кристала, які послідовно шліфувались на абразивних порошках, полірувались на алмазних пастах різної консистенції та

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електро-полірували до високого класу шорсткості. В результаті для досліджень використовувались пластинки товщиною 300 мкм з високою якістю поверхні з двох боків.

На рис.3.1 представлено фотографію одного із кристалів GaP:Zn, пластинка якого використовувалась при оптичних дослідженнях.

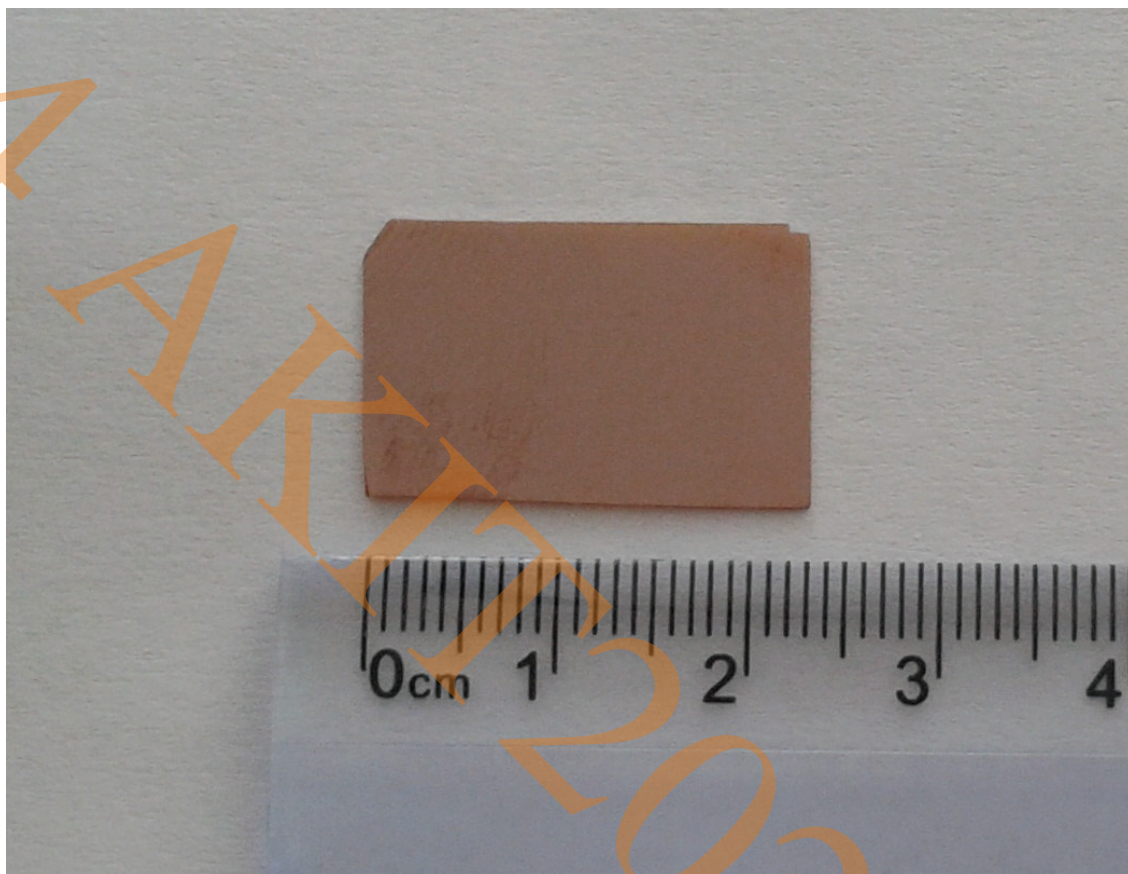


Рис.3.1 Фотографія пластинки ЧЕ з кристалу GaP:Zn, який використовувався при оптичних дослідженнях.

3.1.2 Результати оптичних досліджень кристалічного чутливого елемента на основі GaP:Zn

Оптичні дослідження кристалів GaP:Zn проводились на автоматизованому спектральному комплексі КСВУ-23 у відділі фізики кристалів в Інституті електронної фізики НАНУ.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При температурних дослідженнях спектрів пропускання GaP:Zn було застосовано систему термостабілізації, яка забезпечувала температуру досліджуваного кристалу в межах 300-400 К (використовувався стандартний кріостат типу «Утрекс», в якому розміщувався досліджуваний кристал на кристалотримачі).

Результати досліджень після цифрової обробки на комп'ютері представлені на рис. 3.2.

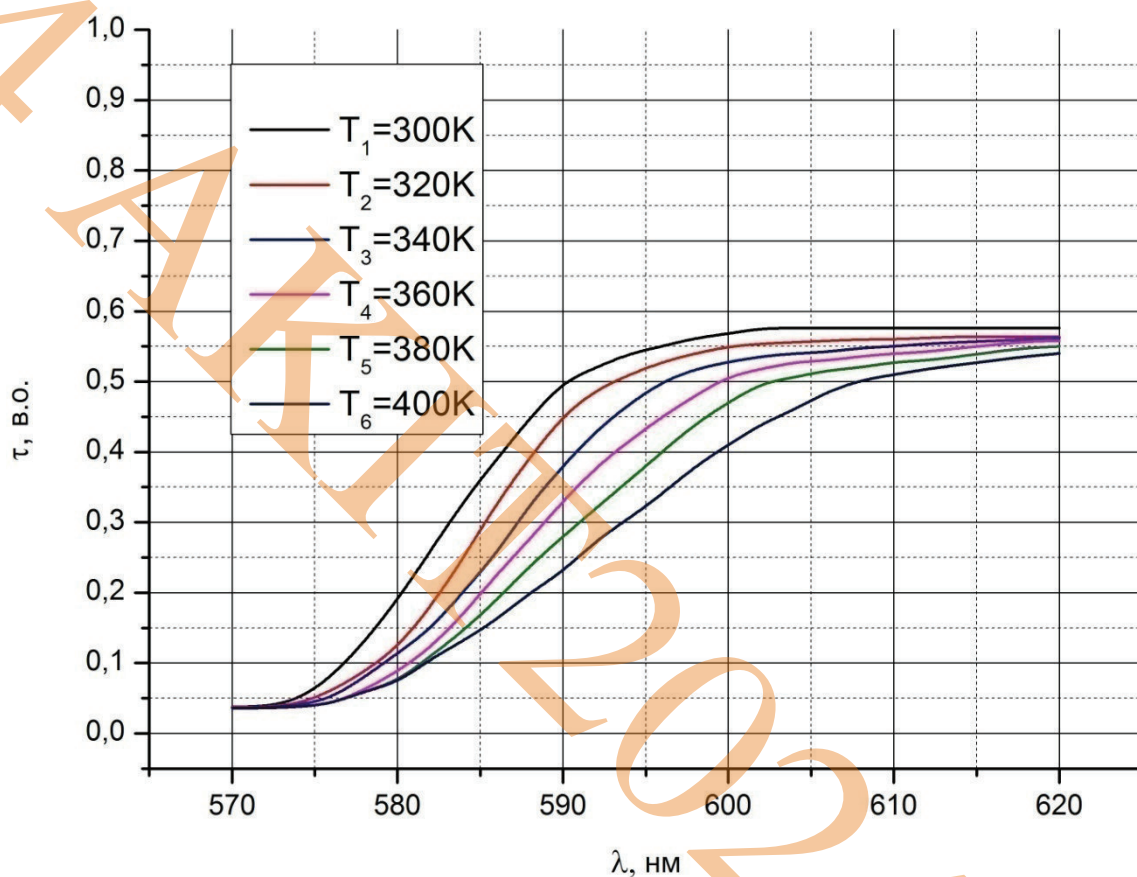


Рис. 3.2 Спектр пропускання кристала GaP:Zn при різних температурах T(K) записаних на установці КСВУ-23.

За даними спектрів пропускання які були наведені на рис. 3.2, були розраховані спектри оптичного поглинання при різних температурах, які наведені на рис. 3.3.

Оптичне поглинання в кристалах GaP:Zn за літературними даними[4] є непрямою залежністю, що визначає крутість залежності поглинання від довжини хвилі.

Для зручності визначення ширини забороненої зони при різних температурах була побудована залежність $\alpha^2=f(h\nu)$ (рис. 3.4).

Послідуюча обробка на ЕОМ отриманих експериментальних результатів у вигляді спектрів пропускання кристала GaP:Zn при різних температурах наведено на рис. 3.5. З рисунка видно, що при підвищенні температури залежності пропускання при різних температурах зміщується в бік більших довжин хвиль, а загальний рівень пропускання спадає. Це дозволило виділити довжину хвилі, положення якої буде визначати контрольований рівень пропускання при заданій температурі. Найбільш зручно було використати довжину хвилі $\lambda=600$ нм відносно якої визначався рівень пропускання при фіксованій температурі. Результати аналізу температурного зсуву рівня пропускання, визначені по спектрам на рис. 3.5. представлений на рис. 3.6.

Залежність коефіцієнта поглинання α в непрямозонних напівпровідниках до яких належить GaP описується залежністю:

$$\alpha = \alpha_0 [h\nu - E_g]^{1/2} \quad (3.1)$$

Це означає що при побудові залежності α^2 можливо отримати вираз:

$$\alpha^2 = \alpha_0^2 [h\nu - E_g] \quad (3.2)$$

З якого можна легко отримати значення ширини непрямой забороненої зони E_g шляхом екстраполяції до нуля лінійної частини залежності $\alpha^2 = f(h\nu)$.

З рисунка видно, що пропускання пластинки GaP:Zn на контрольованій довжині хвилі $\lambda=600$ нм практично лінійно спадає в температурних межах від 300 до 400 К. Це непрямо вказує на те що очікувана і розрахована за повним циклом величина фотосигналу так само буде мінятись при підвищенні температури.

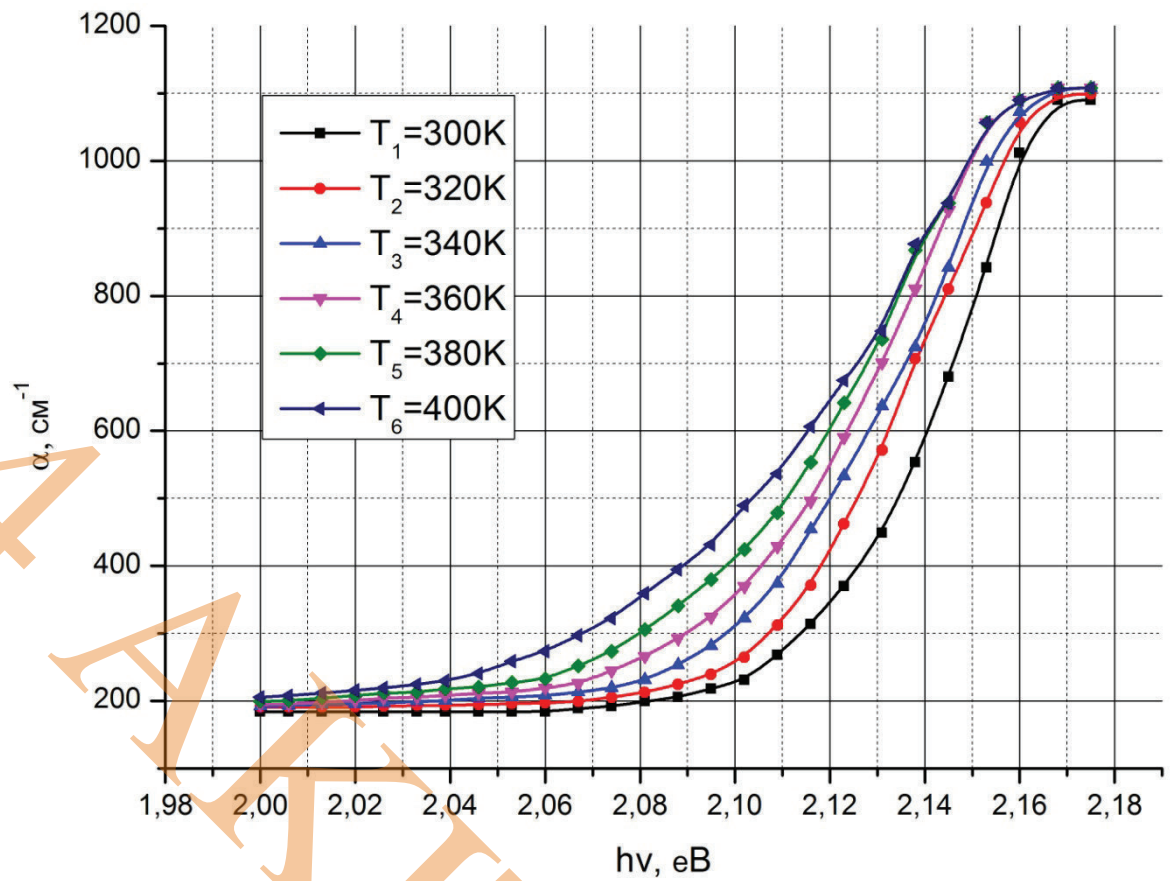


Рис. 3.3 Залежність краєвого поглинання кристалів GaP:Zn при різних температурах $T(K)$.

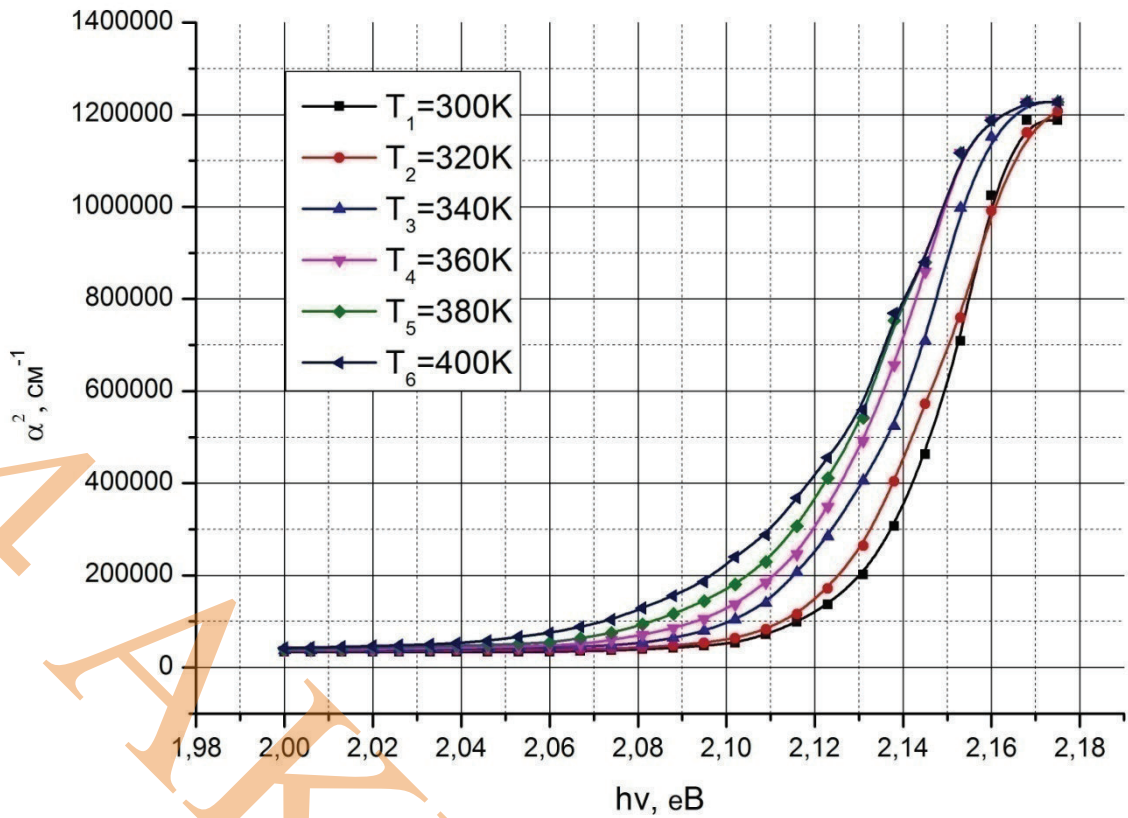


Рис. 3.4 Залежність краевого поглинання кристалів GaP:Zn при різних температурах T (K).

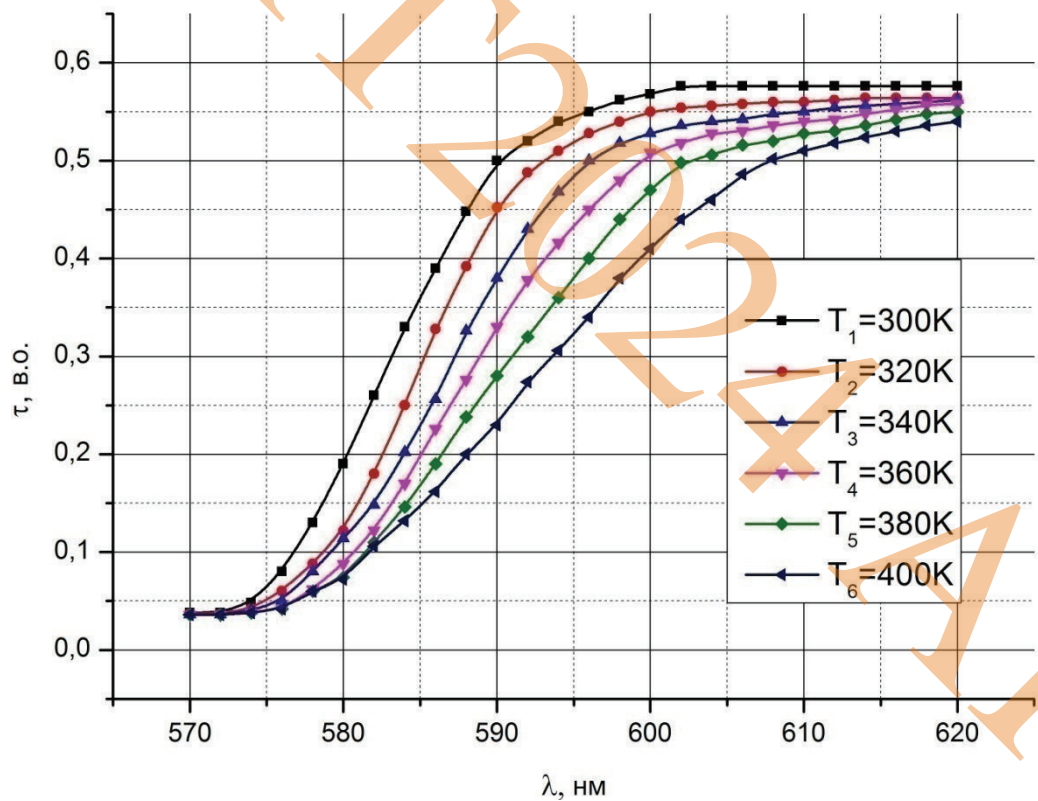


Рис. 3.5 Спектр пропускання кристала GaP:Zn при різних температурах T (K).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

KMP.AKIT.11287258.01.000 ПЗ

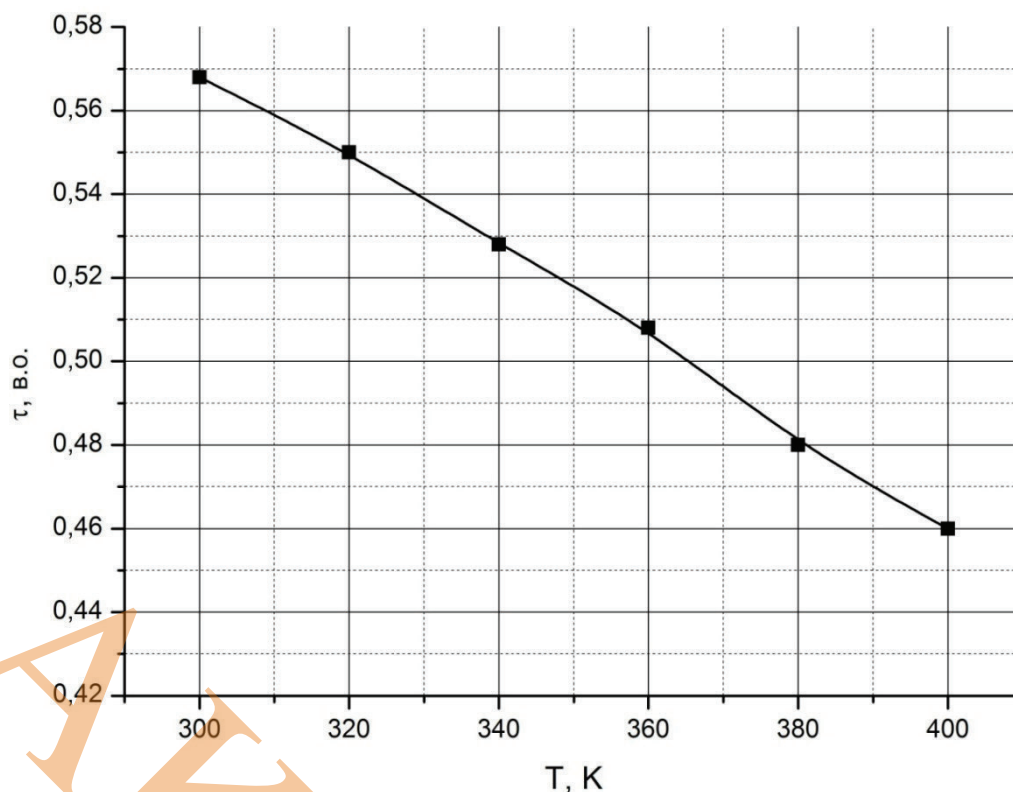


Рис. 3.6 Температурна залежність пропускання τ_λ на довжині хвилі $\lambda=600$ нм для кристала GaP:Zn.

3.2 Базові розрахунки волоконно-оптичного тракту ПВП

3.2.1 Визначення спектральної узгодженості оптоелектронної пари

Для виконання розрахунків волоконно-оптичного ПВП необхідно розглянути вплив всіх складових волоконно-оптичного тракту з урахуванням всіх оптичних характеристик цих складових. В якості модельної системи можна взяти модифіковану волоконно-оптичну систему запропоновану фірмою HP®.

Для розрахунку сигналу який буде на виході фотоприймача при заданих електричних режимах випромінювачів необхідно для кожної конкретної системи «світлодіод - волокно - ЧЕ - волокно - фотоприймач» виконати розрахунок, який буде враховувати індивідуальні оптичні і енергетичні характеристики складових системи, їх спектральних суміщень, поглинання ЧЕ при заданій температурі.

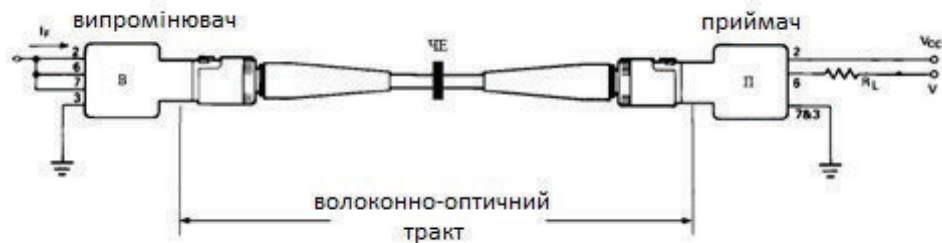


Рис. 3.7 Модельна волоконно-оптична термочутлива система [5].

Для оцінки спектральної сумісності оптоелектронних пар «світлодіод – фотоприймач» на основі їх технічних характеристик ($\Phi_{\text{вп}}$ – випромінювальна здатність світлодіода при фіксованому прямому струмі; S – спектральний розподіл чутливості фотоприймача). В кожному випадку було визначено коефіцієнт спектральної суміщеності, який визначається за наступною формулою:

$$K_c = \frac{\int \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}{\int \Phi(\lambda) d\lambda} \quad (3.3)$$

Для визначення цього коефіцієнта у зведеному масштабі були побудовані залежності $S_{\text{фп}}(\lambda)$ і $\Phi_{\text{вп}}(\lambda)$, які представлено на рис. 3.8. З цього рисунка видно, що площа під кривою $\Phi(\lambda) \cdot S(\lambda)$ добре узгоджена із спектральною залежністю випромінювача, причому найкраще узгодження з $K_c = 0,85$, спостерігається для оптопари: світло діод фірми Kingbright типу L-53SEC(на основі InGaAlP) [6] та фотоприймач фірми Taos типу TSLR257 [5] для визначення спектральної залежності в однаковому масштабі були побудовані залежності $S_{\text{фп}}(\lambda)$ і $\Phi_{\text{вп}}(\lambda)$, з врахуванням яких за формулою (3.3) було визначено коефіцієнт K_c .

Отримані дані по величині K_c говорять про те, що підібрана оптоелектронна пара достатньо добре узгоджена.

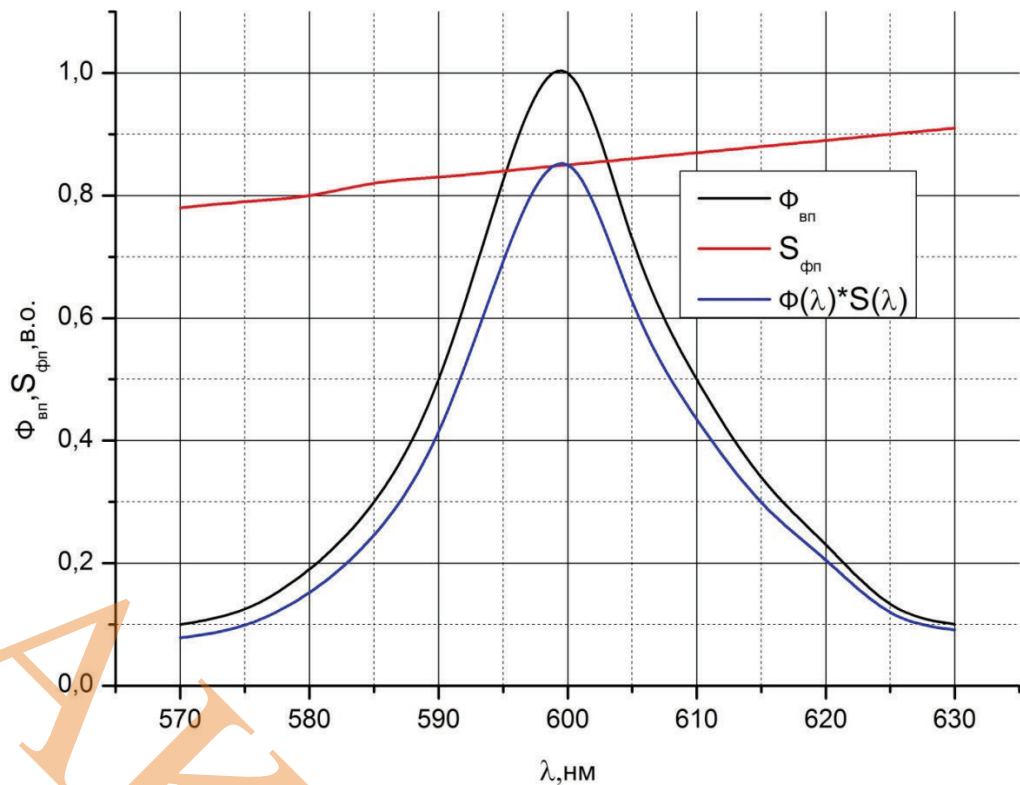


Рис. 3.8 До визначення спектральної сумісності світлодіода $\Phi_{вп}$ та фотоприймача $S_{фп}$.

3.2.2 Розрахунок базових характеристик для визначення вихідного сигналу ПВП

Для визначення корисного інформаційного сигналу, який буде реєструватися на виході волоконно-оптичного тракту з врахуванням того, що в якості фотоприймача використаний інтегрований перетворювач «Light-to-Voltage» необхідно виконати розрахунок вольтового сигналу для оціночних температур ЧЕ в діапазоні від 300 до 400 К.

Корисний вольтовий інформаційний сигнал на виході фотоперетворювача можна визначити врахувавши наступні залежності:

- спектральний розподіл інтенсивності випромінювального світлодіода $\Phi_{вм}$, в.о.;
- спектральний розподіл чутливості фотоприймача, $S_{фп}$, в.о.;
- спектральне пропускання кристала ЧЕ, $\tau_{кр}$, в.о.;
- коефіцієнт затухання оптичного волокна на одиницю довжини, $K_{зат}$ дБ/км;

- пропускання волоконно-оптичного тракту з врахуванням френелівського відбивання;
- максимальне значення інтенсивності випромінювача при заданому прямому струмі в світлових або енергетичних одиницях, $\Phi_{\text{впmax}}[\text{мкД}]/[\text{мкВт}]$;
- значення чутливості фотоприймача на робочій довжині хвилі у $S_{\text{фпmax}}$, $[\text{мВ}]/[\text{мкВт}]$.

В цьому випадку вольтів вихідний сигнал можна обрахувати графічним методом після побудованих вказаних вище залежностей за формулою:

$$U_{\text{вих}} = \Phi_{\text{max}} \cdot S_{\text{max}} \cdot \int \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \tau_{\text{кр}}(\lambda) \cdot \tau_{\text{св}}(\lambda) d\lambda \quad (3.4)$$

Оцінка коефіцієнта пропускання за даними по затуханню більшості скляних і кварцевих оптичних волокон показала, що ці волокна у видимому діапазоні мають $K_{\text{зат}} = 0,1$ дБ/км, що приводить до незначних енергетичних втрат випромінювання та враховуючи невелику довжину запропонованих у моделі волокон (приблизно 2м) коефіцієнт $\tau_{\text{св}}$ можна взяти майже рівним 1 у всьому спектральному діапазоні.

Таким чином для базових розрахунків вольтового інформаційного сигналу ми використали спрощену формулу:

$$U_{\text{вих}} = \Phi_{\text{max}} \cdot S_{\text{max}} \cdot \tau_{\text{фп}} \int \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \tau_{\text{кр}}(\lambda) d\lambda \quad (3.5)$$

На рис. 3.9 в єдиному зведеному масштабі наведені залежності $\Phi_{\text{ен}}(\lambda), S_{\text{фп}}(\lambda), \tau_{\text{кр}}(\lambda)$, за якими по формулі 3.5 методом графічного інтегрування були виконані розрахунки, які визначають оціночну величину характеристичного інтеграла, який входить в формулу (3.5) в кожному конкретному випадку.

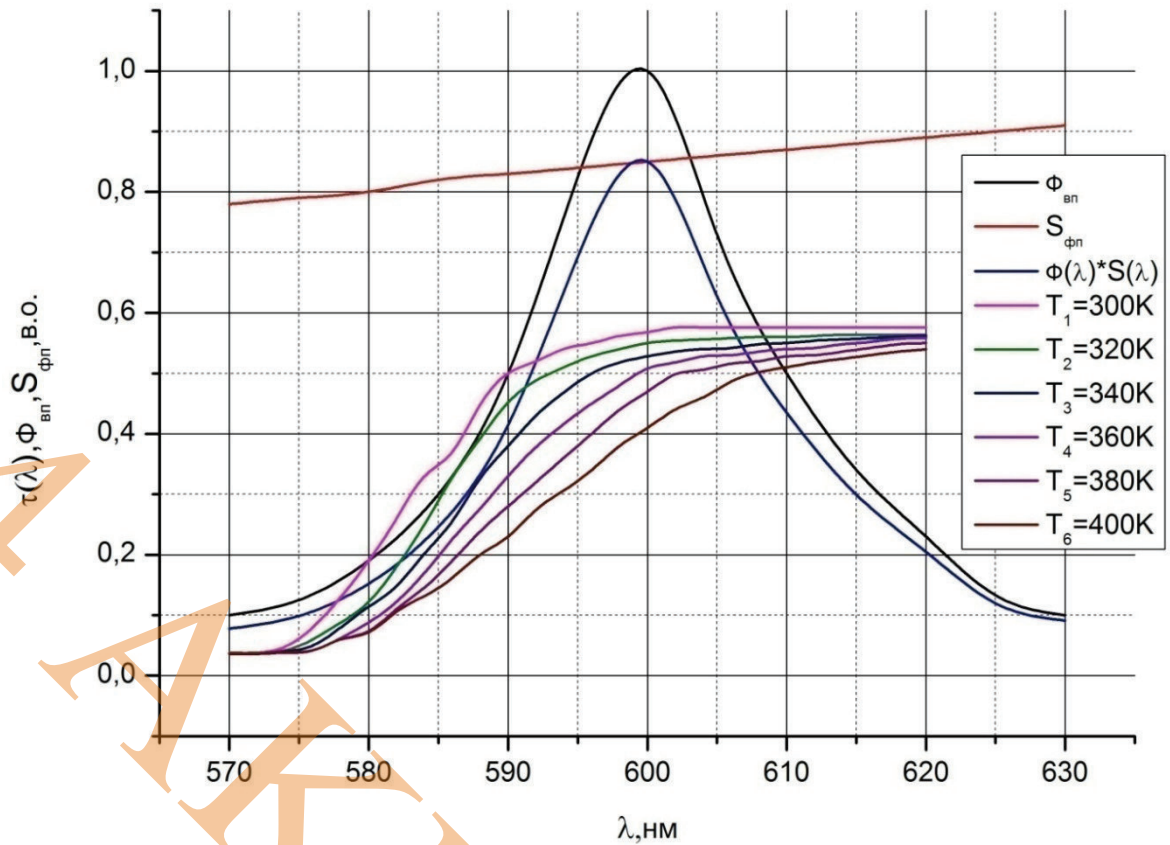


Рис. 3.9 Зведені залежності $\Phi_{вп}(\lambda), S_{фп}(\lambda), \tau_T(\lambda)$ для визначення характеристичних інтегралів при різних температурах[7].

Для кожного конкретного випадку розглядались зведені залежності $\Phi_{вп}(\lambda), S_{фп}(\lambda), \tau_T(\lambda)$, які наведені в додатку.

Розраховані за цими залежностями характеристичні інтеграли зведені в таблиці 3.1.

Табл. 3.1 Значення характеристичних інтегралів при різних температурах T, К.

T, К	характеристичні інтеграли	значення
300	$\int \Phi(\lambda) * S(\lambda) * \dots d\lambda$	11,095
320	$\int \Phi(\lambda) * S(\lambda) * \dots d\lambda$	10,535
340	$\int \Phi(\lambda) * S(\lambda) * \dots d\lambda$	9,98
360	$\int \Phi(\lambda) * S(\lambda) * \dots d\lambda$	9,476
380	$\int \Phi(\lambda) * S(\lambda) * \dots d\lambda$	8,88
400	$\int \Phi(\lambda) * S(\lambda) * \dots d\lambda$	8,088

3.2.3 Розрахунок передавальної характеристики давача з урахуванням втрат у волоконно-оптичному тракті

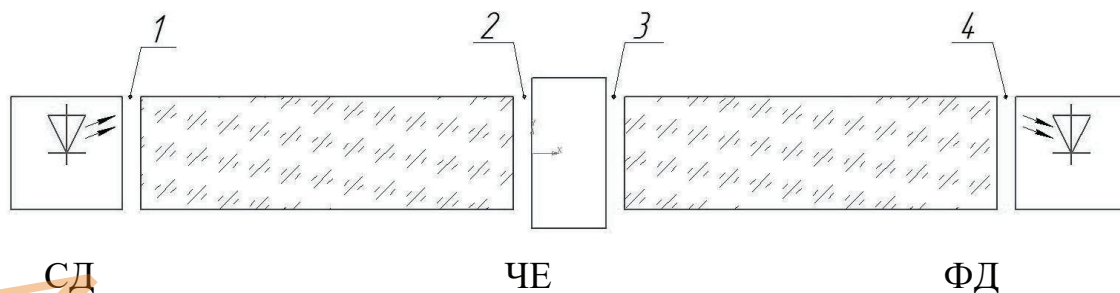


Рис. 3.10 Шлях, який проходить оптичний промінь у волоконно-оптичному тракті.

Для визначення світлової енергії (поток), що попадає на площадку фотодіода ФД необхідно оцінити втрати світлового потоку у волоконно-оптичному тракті, який схематично представлений на рис. 3.10.

При нормальному падінні променя на межу розділення двох ізотропних середовищ її пропускання буде визначатися за формулою Френеля:

$$\tau = 1 - \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (3.6)$$

де τ - коефіцієнт пропускання, n_1, n_2 - показники заломлення суміжних середовищ.

В наведеному на рис. 3.10 волоконно-оптичному тракті між собою контактують наступні суміжні середовища: повітря, пластинка кристалічного GaP:Zn і кварцева серцевина оптоволоконна.

Наведемо значення показників заломлення для цих матеріалів:

- повітря $n_{\text{п}}=1$
- кварц $n_{\text{к}}=1,553$
- GaP $n_{\text{Г}}=3,565$ [8]

Враховуючи ці значення показників заломлення за формулою (3.6) оцінемо можливі втрати на відбивання при русі променя від СД до ФД.

Даний розрахунок було проведено двома варіантами, а саме:

Варіант 1: між кристалом GaP:Zn і кварцевою серцевиною оптоволокна немає повітря.

Від світлодіода (СД) оптичний промінь попадає на вхід оптичного волокна, тобто суміжними середовищами будуть «повітря-кварц» (ділянка 1):

$$\tau_1 = 1 - \left(\frac{1-1,553}{1+1,553} \right)^2 = 0,953 \quad (3.7)$$

Наступний оптичний перехід «кварц-GaP:Zn» (ділянка 2):

$$\tau_2 = 1 - \left(\frac{1,553-3,565}{1,553+3,565} \right)^2 = 0,845 \quad (3.8)$$

Наступний оптичний перехід має місце на ділянці 3, при виході променя із ЧЕ у кварц:

$$\tau_3 = 1 - \left(\frac{3,565-1,553}{3,565+1,553} \right)^2 = 0,845 \quad (3.9)$$

На останній ділянці 4 має місце оптичний перехід «кварц-повітря»:

$$\tau_4 = 1 - \left(\frac{1,553-1}{1,553+1} \right)^2 = 0,953 \quad (3.10)$$

Загальний коефіцієнт пропускання $\tau_{\text{фпр}}$ для розглянутого першого варіанту волоконно-оптичного тракту буде визначений, як добуток всіх τ_i , обчислених вище для всіх варіантів комбінацій контактуючих середовищ:

$$\tau_{\text{фпр}} = \prod \tau_i = 0,648 \quad (3.11)$$

Варіант 2: між кристалом GaP:Zn і кварцевою серцевиною оптоволокна є повітря.

Від світлодіода (СД) оптичний промінь попадає на вхід оптичного волокна, тобто суміжними середовищами будуть «повітря-кварц» (ділянка 1):

$$\tau_1 = 1 - \left(\frac{1-1,553}{1+1,553} \right)^2 = 0,953 \quad (3.12)$$

На виході променя із волокна знову маємо суміжні середовища «кварц-повітря» (ділянка 2):

$$\tau_2 = 1 - \left(\frac{1,553-1}{1,553+1} \right)^2 = 0,953 \quad (3.13)$$

Наступний оптичний перехід «повітря-GaP:Zn» (ділянка 2 при переході до чутливого елемента - ЧЕ):

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_3 = 1 - \left(\frac{1-3,565}{1+3,565} \right)^2 = 0,684 \quad (3.14)$$

Наступний оптичний перехід має місце на ділянці 3, при виході променя із ЧЕ у повітря:

$$\tau_4 = 1 - \left(\frac{3,565-1}{3,565+1} \right)^2 = 0,684 \quad (3.15)$$

Далі промінь попадаючи у волокно, долає суміжне середовище «повітря-кварц»:

$$\tau_5 = 1 - \left(\frac{1-1,553}{1+1,553} \right)^2 = 0,953 \quad (3.16)$$

На останній ділянці 4 має місце оптичний перехід «кварц-повітря»:

$$\tau_6 = 1 - \left(\frac{1,553-1}{1,553+1} \right)^2 = 0,953 \quad (3.17)$$

Загальний коефіцієнт пропускання $\tau_{\text{фпр}}$ для розглянутого другого варіанту волоконно-оптичного тракту буде визначений, як добуток всіх τ_i , обчислених вище для всіх варіантів комбінацій контактуючих середовищ:

$$\tau_{\text{фпр}} = \prod \tau_i = 0,386 \quad (3.18)$$

Температурна залежність величини характеристичних інтегралів при різних варіантах визначення втрат на Френелівське відбивання визначається за формулою (4.17):

$$I = K_c \times I_1 \times \tau_{\text{фпр}} \quad (3.19)$$

де K_c - коефіцієнт спектральної сумісності, I_1 - характеристичний інтеграл, $\tau_{\text{фпр}}$ – загальний коефіцієнт пропускання.

Розрахунки для різних варіантів приведені в таблиці 3.2.

Табл. 3.2 Розрахунки для двох варіантів при різних значеннях температури Т, К.

Т, К	варіант №1	варіант №2
300	6,1206	3,6403
320	5,8116	3,4565
340	5,5055	3,2744
360	5,2274	3,1091
380	4,8986	2,9135
400	4,4617	2,6537

За даними отриманими в результаті розрахунків і наведених в таблиці 3.2 були побудовані відповідні залежності розраховані за формулою (3.19).

З рисунків видно, що ці залежності характеристичних інтегралів практично повторюють температурні залежності пропускання на контрольованій довжині хвилі (рис. 3.6), крім того видно, що у випадку поганого оптичного контакту хвильоводів з чутливим елементом (варіант №2), за рахунок меншого френелівського пропускання залежність буде мати менші числові значення, що в цілому може обумовити менший вольтовий інформаційний сигнал на виході ПВП, практично це означає, що для оптимального волоконно-оптичного тракту необхідно забезпечити надійний оптичний контакт між серцевиною оптичного волокна та поверхнею кристалічного чутливого елемента. Це висуває особливі умови до підготовки поверхні кристалічного елемента, що обумовлює необхідність якісної підготовки контактуючих оптичних поверхонь.

Торцевий зріз оптичного волокна в таких випадках підлягає спеціальній механічній поліровці на стаціонарних установках, які готують різні частини волоконних кабелів до стиковки. Що стосується підготовки кристалла, це питання буде розглянуто в наступному пункті 3.2.4.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

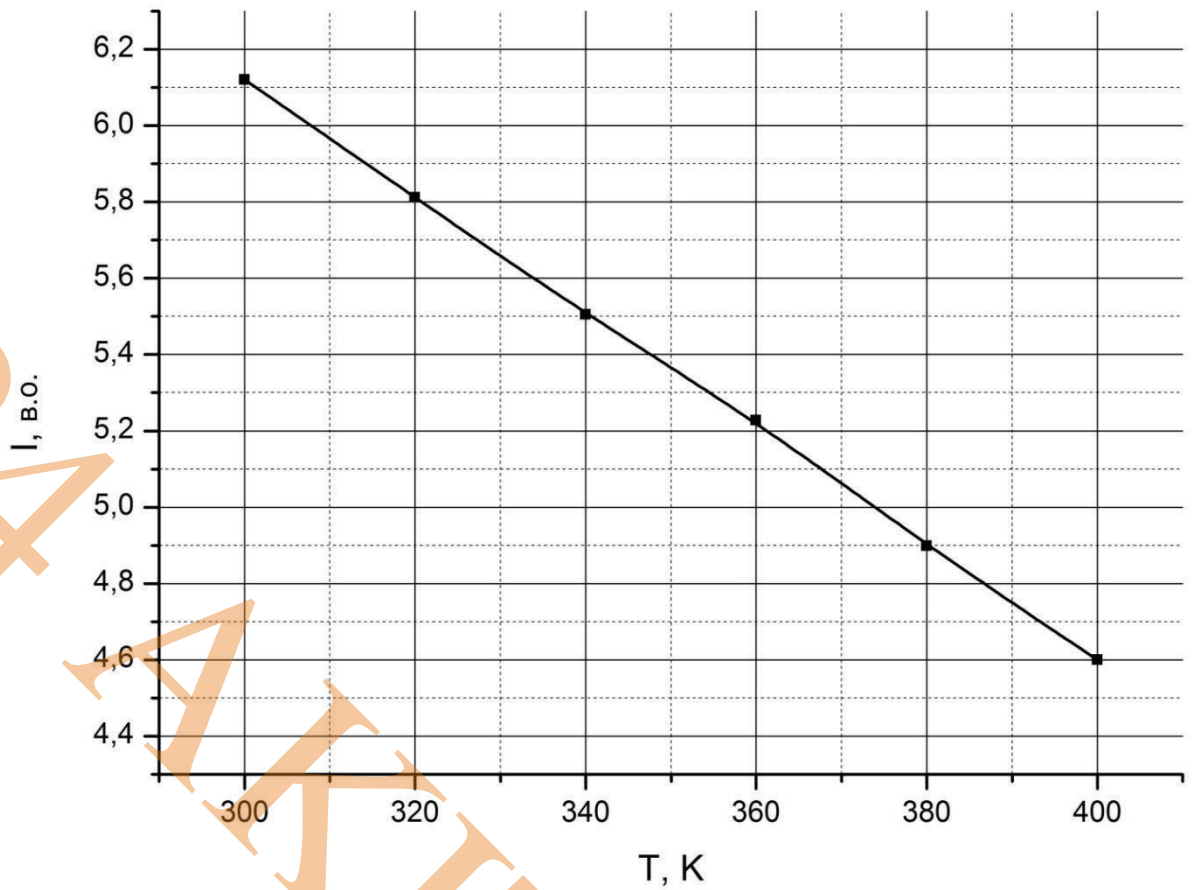


Рис. 3.11 Температурна залежність величини характеристичних інтегралів при різних варіантах визначення втрат на Френелівське відбивання (варіант 1).

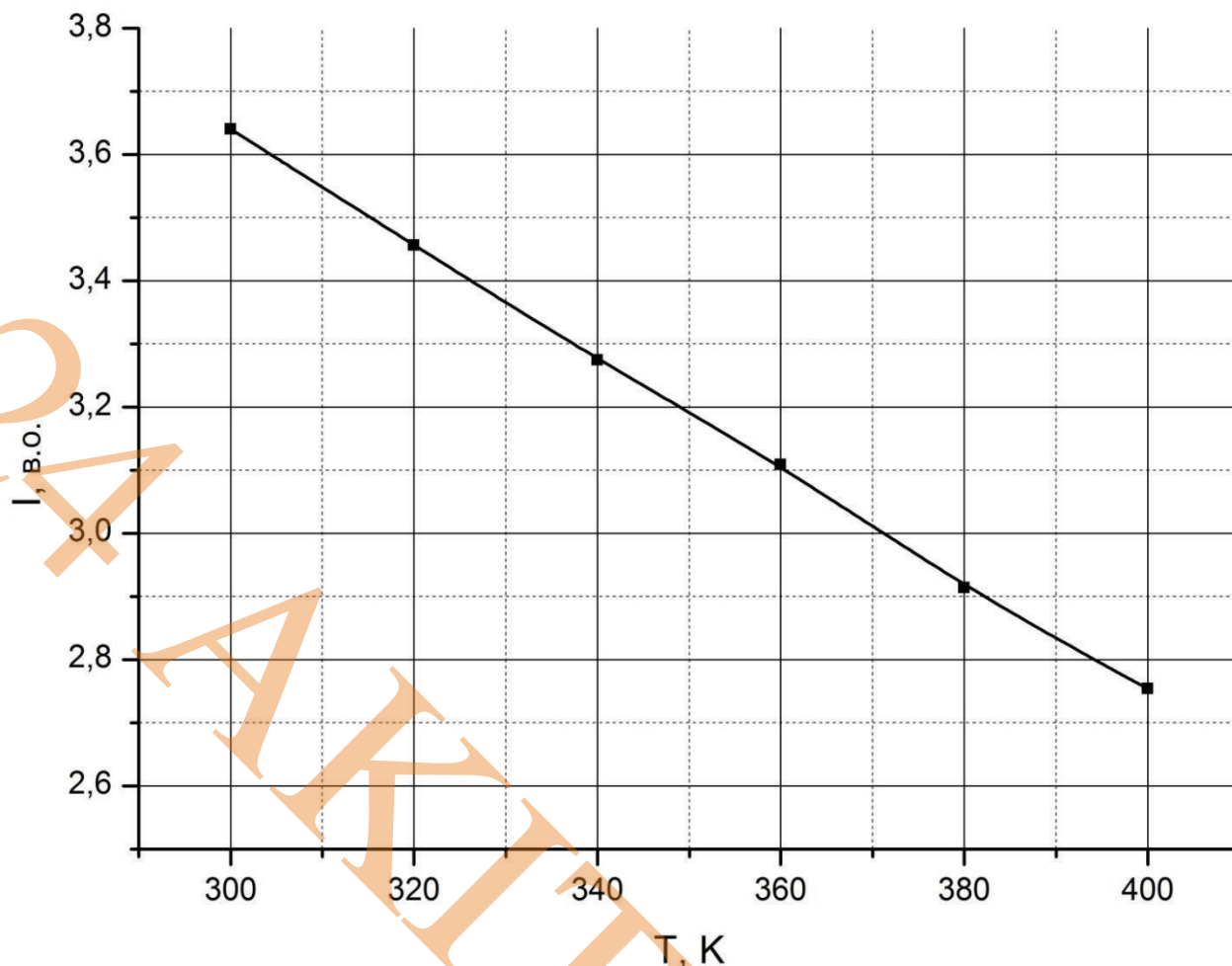


Рис. 3.12 Температурна залежність величини характеристичних інтегралів при різних варіантах визначення втрат на Френелівське відбивання (варіант 2).

3.2.4 Вплив механічної обробки кристалічного елемента на спектри пропускання

Від стану поверхні кристалу GaP:Zn, оптичні властивості якого досліджувались в даній роботі суттєво залежить величина вихідного сигналу, який ототожнюється з вихідним інформаційним сигналом.

Процес підготовки поверхні кристала GaP:Zn має включати послідовні етапи механічної обробки та обов'язків етап електрополірування в спеціальних розчинах. Ці етапи можна зобразити у вигляді наступних технологічних процесів:

1. Нарізання пластинок необхідної товщини за допомогою ультразвукової пилки з алмазним диском;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KMP.AKIT.11287258.01.000 ПЗ

Арк.

36

2. Шліфівка поверхонь на абразивних порошках з розміром зерна 5-10 мкм;
3. Шліфівка поверхонь абразивним порошком з мінімальним розміром зерна;
4. Поліровка на грубих алмазних пастах М5, М8, М10;
5. Поліровка на тонких алмазних пастах М1,0, М0,5;
6. Електрополіровка в спеціальних розчинах.

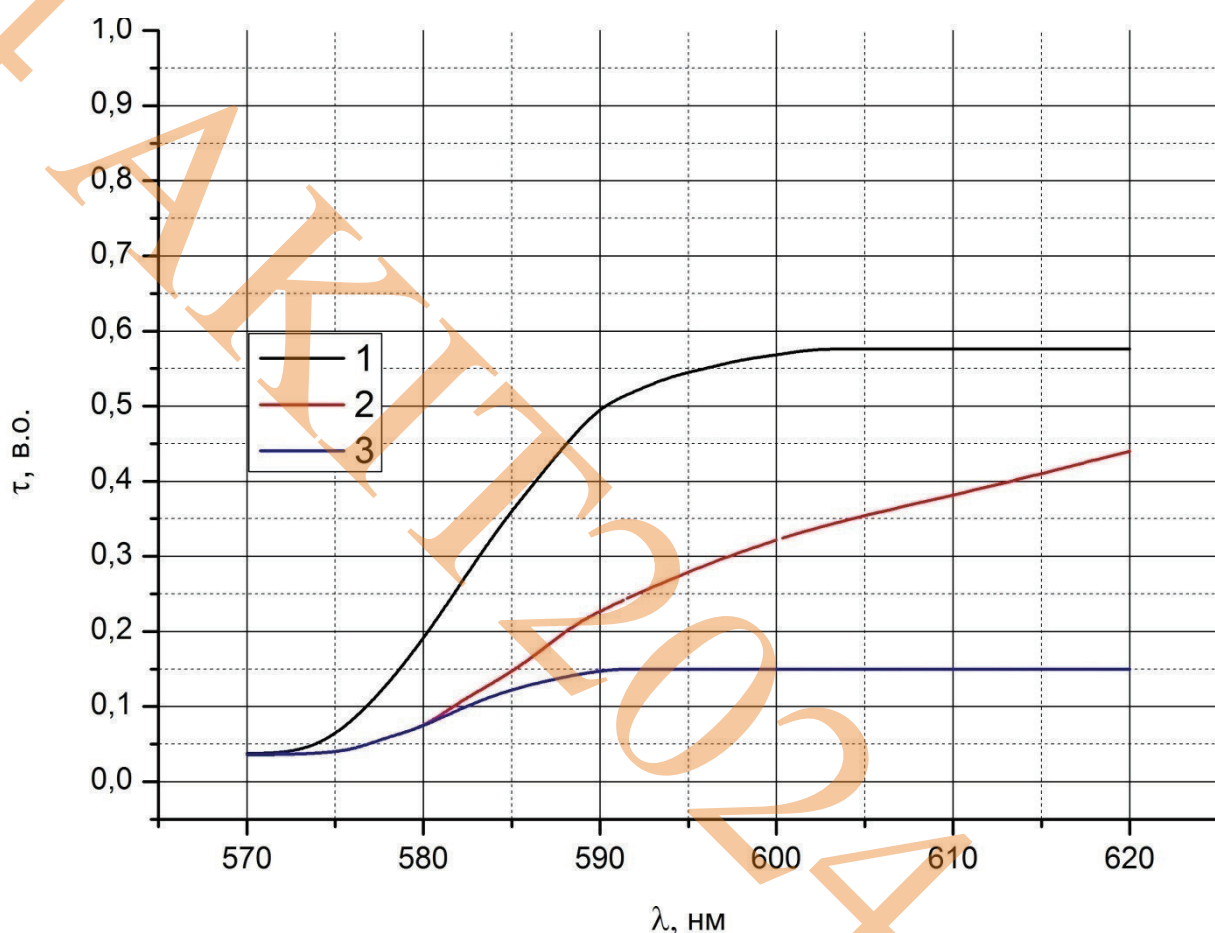


Рис. 3.13 Залежність пропускання кристала GaP:Zn від якості

обробки поверхні: 1 – поліровка алмазною пастою М0,5 та електрополіровка; 2 – поліровка алмазною пастою М1,0; 3 – поліровка алмазною пастою М5,0.

Вплив якості поверхні після базових операцій наглядно видно на рис. 3.13. Зокрема, можна зробити висновок про те, що без обов'язкової операції

електрополіровки поверхні не можна отримати достовірні надійні результати дослідження спектрів пропускання.

3.2.5 Розрахунок вольтового вихідного сигналу для оптимально спроектованого волоконно-оптичного тракту

Для оптимально спроектованого волоконно-оптичного тракту з кристалічним чутливим елементом можливо виконати оціночний розрахунок вихідного вольтового інформаційного сигналу.

Для визначення величини вихідного сигналу необхідно використати базову формулу (3.4):

$$U_{\text{вих}} = \Phi_{\text{max}} \cdot S_{\text{max}} \cdot \tau_{\text{фпр}} \int \Phi(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \tau_{\text{кр}}(\lambda) d\lambda = \Phi_{\text{max}} \cdot S_{\text{max}} \cdot \tau_{\text{фпр}} \cdot \text{хар.інтеграл} \quad (3.20)$$

В цій формулі характеристичний інтеграл береться в межах від 570 до 630 нм і розраховані значення для різних температур наведені на рисунках (рис. 1-Д – 6 -Д) в додатку.

Величина максимального значення потоку випромінювання обраного світлодіода Φ_{max} за даними довідника [8] складає 2 мкВт.

Величина максимальної чутливості обраного фотоприймача S_{max} за даними довідника складає 7,21 мВ/мкВт, для розрахунків підставляємо формулу (3.20) найкраще значення $\tau_{\text{фпр}} = 0,648$.

Після підстановки вказаних величин отримаємо робочу формулу для визначення вольтового вихідного сигналу:

$$U_{\text{вих}} = 2,0 \times 7,21 \times 0,648 \times [\text{характ.інтеграл}] = 9,34 [\text{характ.інтеграл}] \quad (3.21)$$

Виконавши повний розрахунок за формулою (3.21) отримаємо значення вихідного вольтового інформаційного сигналу, які наведені в таблиці 3.3.

Табл. 3.3 Значення вихідного вольтового інформаційного сигналу при різних температурах T , К.

$U_{\text{вих}}, \text{ мВ}$	$T, \text{ К}$
103,6	300
98,4	320
93,2	340
88,5	360
82,9	380
75,5	400

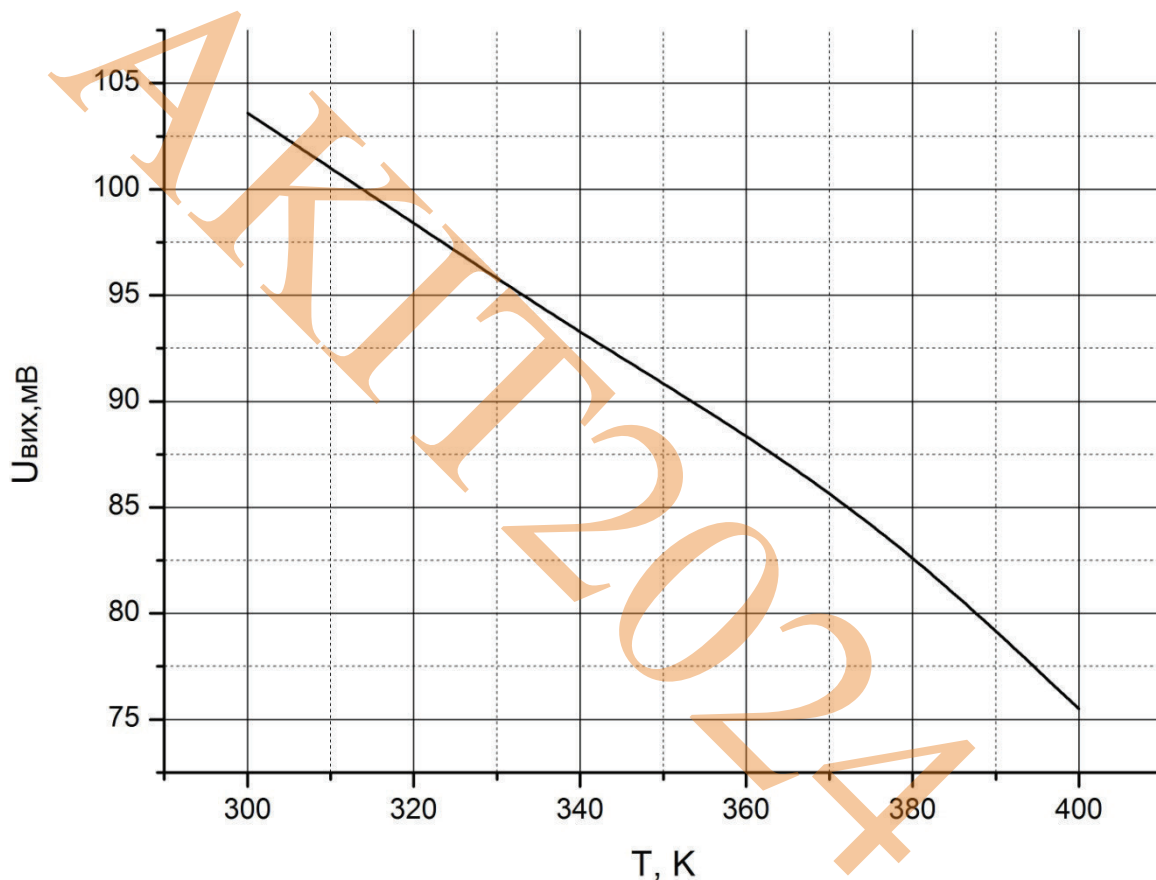


Рис. 3.14 Залежність зміни вихідного вольтового інформаційного сигналу ПВП при різних температурах T , К [7].

3.3 Розробка принципової електричної схеми оптоелектронного реєстратора

3.3.1 Обґрунтування вибору структурної та принципової електричних схем

Температурна варіація технічних характеристик і параметрів випромінювача та приймача, що працюють в близькій ІЧ-області (850 - 1000 нм), може привести до суттєвих похибок, при визначенні передавальних характеристик вимірювальних ВОД трактів. Вплив температурного фактора на результати вимірювання різних фізичних величин із застосування амплітудного методу ВОД (в тому числі температури об'єкта) можливо розділити на дві складові: по-перше, при зміні температури випромінювача (твердотільний світлодіод) може мати місце варіація випромінювальної потужності, обумовлено зміною величини прямого струму з температурою; по-друге - варіація випромінювального потоку, який проходить через ВОД за рахунок температури, може приводити до нагрівання або охолодження фото чутливого р-п переходу фотоприймача, що визначає температурне положення ширини забороненої зони та відповідно, величини фотоструму як інформаційного параметра.

Всі ці відмічені вище температурні фактори можуть привести до зміни вимірювальної величини (фотострум) та спотворювати результати вимірювань. Виключити такі негативні впливи можливо шляхом застосування спеціальних схемотехнічних та конструктивних методик, які можливо розділити наступним чином:

- стабілізація струму випромінювача (відповідно і випромінювальної здатності) можливо досягти двома шляхами:
1 - активна і пасивна термостабілізація випромінювального діода шляхом його розміщення в термостаті при фіксованій температурі; 2 - схемотехнічна стабілізація струму випромінювача.
- стабілізація температури приймача можливо лише при його розміщенні в активного термостаті.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільший вклад у мультиплікативні похибку, яка виникає за рахунок впливу температури на ВОД амплітудного типу за даними [9], належать температурній зміні струму випромінювача.

Розглянемо деякі можливі варіанти побудови термостабілізованих імпульсних модуляторів напівпровідникових випромінювачів малої та середньої потужності.

Варіант 1 - Модулятор, керований безпосередньо з виходу інтегральних мікросхем[10]

На рис. 3.15 за даними [10] представлена схема модулятора, що керується імпульсами безпосередньо з виходу ТТЛ або ТТЛШ мікросхем. Очікуючий мультівібратор, побудований на МС Д2 використовується для формування вихідних імпульсів необхідної тривалості, яка регулюється резистором R1. Діод VD1 забезпечує зменшення часу встановлення цієї схеми. Інвертори Д1 використовуються для загострення фронтів запускаючих і вихідних імпульсів. Імпульси сформовані мультівібратором, подаються на узгоджуючи каскади емітерний повторювач на VT1, каскад із СБ VT2 та емітерний повторювач VT3. Останній служить для зменшення постійної часу перезарядки вхідної ємності потужного МДМ транзистора VT4, на якому побудований кінцевий каскад модулятора.

Дана схема забезпечує амплітуду імпульсів струму на виході до 0,05...0,35А та плавне регулювання тривалості цих імпульсів. Температурна стабілізація струму випромінювального діода VD3 забезпечується за рахунок термостабільної точки польового транзистора VT4.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

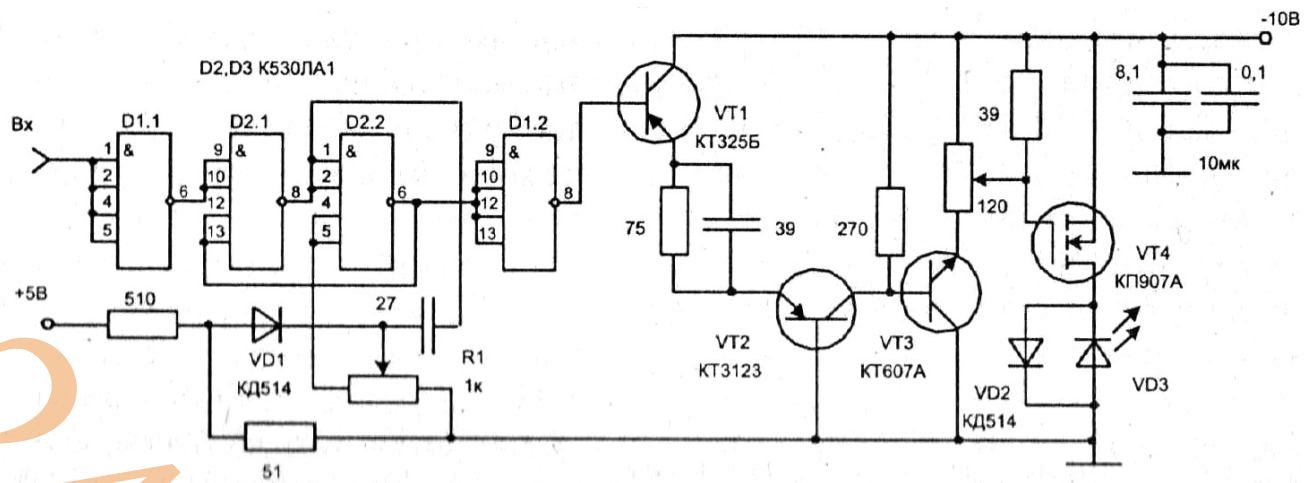


Рис. 3.15 Принципова схема модулятора, керованого з виходу інтегральних мікросхем [10]

Варіант 2 - модулятор на базі перетворювача "напруга-струм" з вихідним каскадом на потужному МДН - транзисторі [11]

В ряді випадків для управління роботою світлодіодів необхідно використовувати перетворювач "напруга-струм" з потужним вихідним каскадом, що дозволяє отримувати у вихідному колі стабільний струм, який лінійно залежить від вхідної управляючої напруги [11]. На рис. 3.16 представлена схема високо економічного модулятора, який включає мікропотужний програмуємий ОП Д1, струм споживання якого задається резисторами R1, R2, чотирьохканальний аналоговий ключ Д2 та підсилювач потужності на транзисторах VT1-VT2, навантаженням якого є світлодіод VD1. Використання потужного МДН транзистора VT1 (2П901А) дозволяє отримати високу швидкодію, а завдяки його високому вхідному опору можливо використовувати мікропотужний підсилювач без узгоджуючи каскадів.

Спрощена схема управління ОП Д1 дозволяє мінімізувати енергоспоживання пристроїв за рахунок відключення навантаження і зменшення струму навантаження в паузах між формуєними імпульсами. За допомогою елементів С1-С2 здійснюється частотна корекція схеми. Дана схема модулятора формує стабільний струм до 1А при зміні вхідного управляючої напруги $U_{вх}$ в межах 0,1...1,0 В.

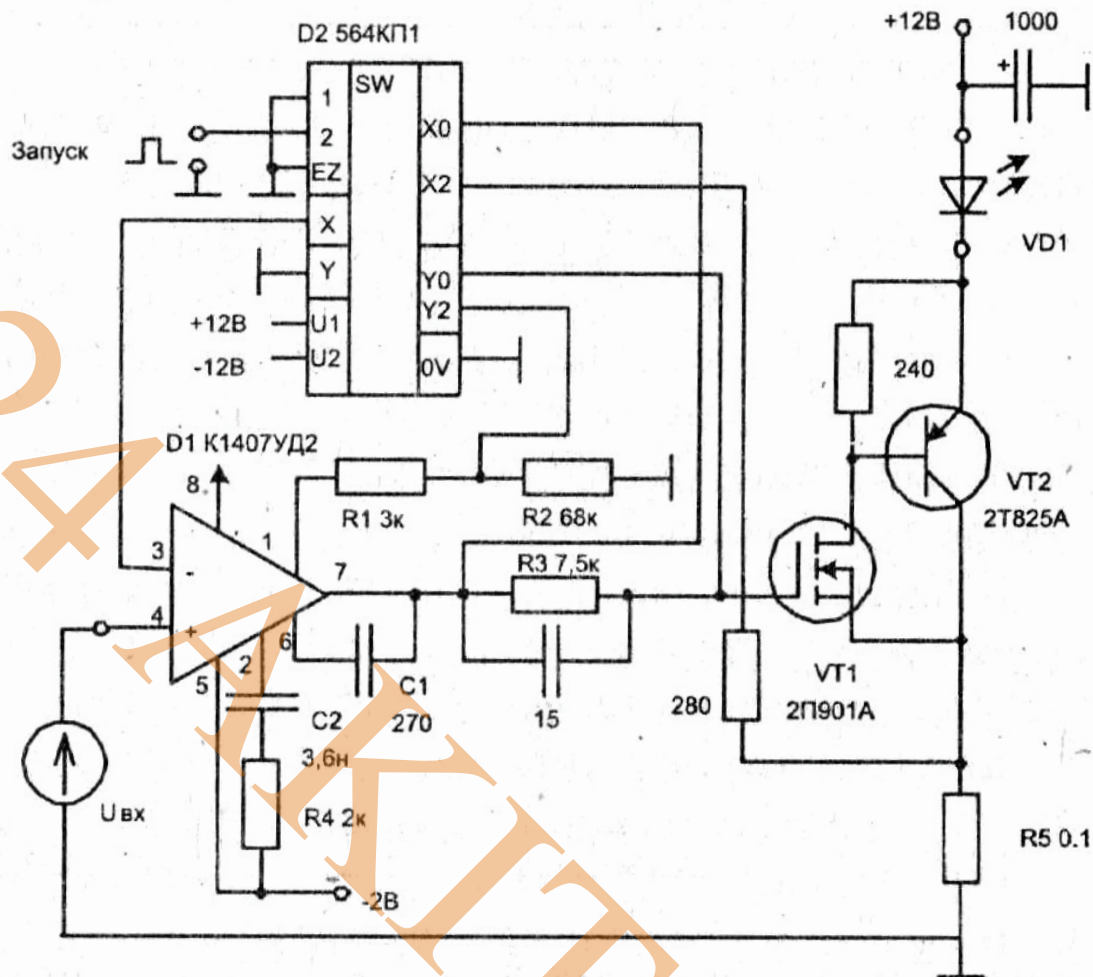


Рис. 3.16 Принципова схема модуляторів світлодіодів на базі перетворювача "напруга-струм" [11]

Варіант 3 - Прецизійне джерело оптичного сигналу[12]

Одним з кращих схемо технічних рішень модуляторів для світлодіодних випромінювачів ВОД, є варіант, що був запропонований в [12]. Схема прецизійного джерела оптичного сигналу для випромінювачів представлена на рис. 3.17. Наведена схема дозволяє подавати вплив зміни напруги живлення, провідності індукованого каналу МДН транзистора, струм випромінювання світлодіода при варіації температури та інших дестабілізуючих факторів, що забезпечує стабільний за амплітудою оптичний імпульсний вихідний сигнал.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

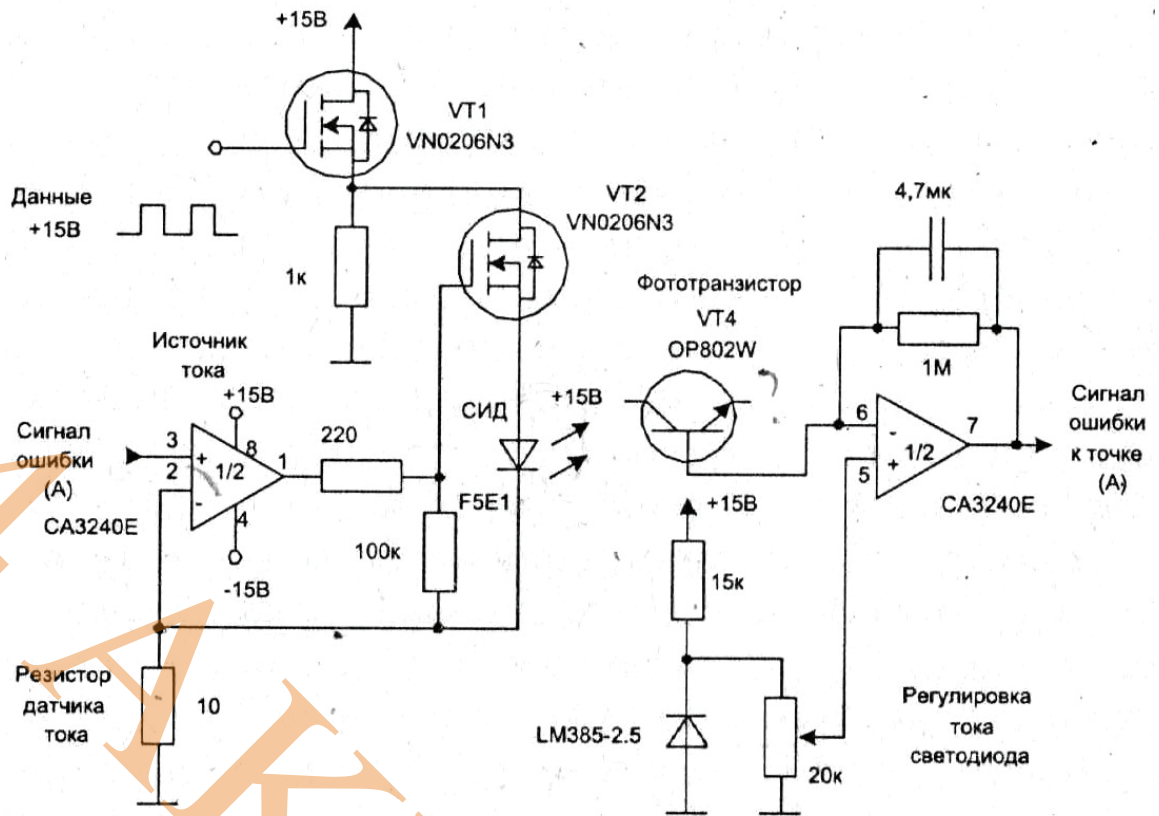


Рис. 3.17 Прецизійне джерело оптичного сигналу [12]

В розглянутій схемі два польові транзистора VT1, VT2 служать одночасно модулятором і стабілізатором струму випромінювання СИД. Фототранзистор VT4 сприймає оптичний сигнал СИД і генерує напругу розузгодження для керування джерелом струму. Емітер фототранзистора VT4 при підключенні до підсилювача створює дуплексну систему, що може бути застосована в елементах ВОД. Більш компактний варіант цього схемотехнічного пристрою із стабілізацією струму випромінювання був реалізований в лазерних друкованих головках QuadVN02 [9].

Аналіз наведених варіантів стабільних модуляторів струму випромінювання світлодіодів дозволив сформулювати наступні рекомендації, які потрібно врахувати при розробці термостабільних схем подібних модуляторів:

- в базовій схемі термостабільного модулятора струму випромінювання світлодіода має бути використана схема перетворювача "напруга-струм" із застосуванням тандему

"ОП - МДН ПТ" [11];

- для контролю за температурними змінами струму випромінювача має бути задіяно зворотній зв'язок через схему аналізу похибки за типом [12];
- температурна стабільність амплітуди імпульсів управляючого генератора схеми модулятора не відіграє суттєвої ролі і тому може бути реалізована як в цифровому, так і в аналоговому варіанті.

Виходячи з ТЗ на розробку опто-електронного реєстратора було запропоновано структурну схему вузла імпульсного стабілізованого модулятора струму випромінювача, що входить до складу ВОД (рис. 3.18).

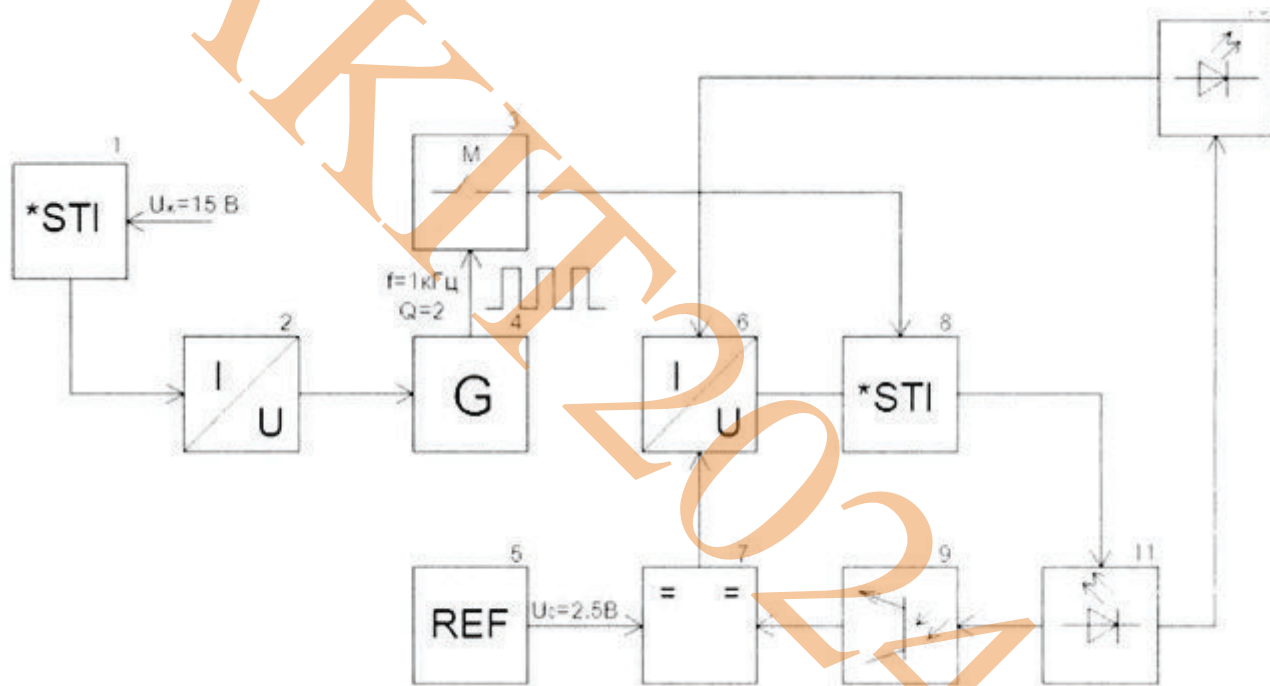


Рис. 3.18 Структурна електрична схема імпульсного модулятора випромінювача оптичного сигналу 1 - стабілізатор струму інтегральний; 2 - перетворювач "напруга-струм"; 3 - ключ модулятора струму; 4 - генератор управляючий; 5 - джерело опорної напруги; 6 - перетворювач напруга-струм; 7 - компаратор сигналу похибки; 8 - стабілізатор струму випромінювача; 9 - фототранзистор; 10 -

випромінювач оптичного сигналу ВОД; 11 - випромінювач каналу похибки.

З метою покращення технічних параметрів вузла модуляції струму випромінювача було використане не типове включення схеми [12], яка враховує похибки викликані не стабільністю напруги живлення та температурними змінами провідності р-n переходу випромінюючих діодів, що в цілому забезпечує стабільний оптичний вихідний канал.

В схемі на рис. 3.18 використовуються два ідентичні випромінювачі (10,11), один з яких (10) обслуговує волоконно-оптичний тракт, а другий (11) використовується для формування сигналу похибки. Оскільки ці випромінювачі з'єднані послідовно, то через них протікає однаковий струм, який легко контролювати знявши сигнал похибки через фототранзистор (9) подавши його на компаратор (7) разом з опорною напругою U_0 від джерела опорної напруги (5). Вихідний сигнал з компаратора здійснює управління схемою стабілізатора струму (8) через перетворювач напруга-струм (6) до якого надходять аналогові сигнали від датчика струму випромінювача ВОД та сигнал похибки з компаратора.

Всі інші елементи модулятора виконують такі ж самі функції, як було описано в огляді стосовно базової схеми регістра.

На основі розглянутої комбінованої структурної схеми була розроблена принципова електрична схема блока аналогової обробки вимірювальної інформації ВОД. Вузол модулятора і генератора в цій схемі реалізовано в традиційному виконанні на основі частини мікросхеми DA1 (K140УД13) в якій для підвищення стабільності управляючих імпульсів застосовано джерело стабільного струму на основі інтегрального стабілізатора DA2. Частота управління генератора визначається ємністю конденсатора С1 яка може бути в межах від 680 пФ до 1 нФ. В подальшій частині схеми використовують рекомендації побудови прецизійного модулятора [12]. Для цього використовують польовий транзистор VT1 який здійснює модуляцію підсилювача струму фотодіода на польовому транзисторі VT2 та мікросхемі DA3.1. Фототранзистор

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

VT3 сприймає оптичний сигнал від випромінюючого фотодіода VD2 і генерує напругу відхилення для управління джерелом струму DA3.1 і VT2. Емітер фототранзистора VT3 при цьому підключається до інвертуючого входу компаратора похибки на мікросхемі DA3.2. до прямого входу цієї мікросхеми підключено подільник напруги на стабілізаторі VD3 і подільнику напруги R9, R10.

Встановлення рівня опорної напруги у цьому вузлі може здійснюватися шляхом регулювання тримером R10. Випромінювач контролю сигналу похибки VD2 і VD1 з'єднані послідовно тобто, всі зміни струму VD1 який працює в оптоволоконному каналі будуть ідентичні змінам струму в контрольованому оптронам VD2 - VT3 каналі похибки і всі варіації зміни струму початого рівня I_0 встановлені резисторами R4, R5 будуть автоматично враховуватися управляючою частиною джерела стабільного струму на основі мікросхеми DA3.1. Неперервний контроль і прецизійна стабілізація струму випромінювання через контрольований VD2 і робочий VD1 світлодіоди в цілому буде виконуватися в автоматичному режимі неперервно весь час роботи приладу.

Такий варіант схеми міг вирішити проблеми пов'язані з температурною нестабільністю струму випромінювача, але в цій схемі використовувались досить дефіцитні компоненти, що не дало можливості побудувати модельний варіант вузла стабілізованої амплітудної модуляції випромінювання світлодіодів, тому ми залишили попередній варіант стабілізації струму, який наведено на відповідному кресленні.

3.3.2 Розрахунок базових вузлів принципової схеми блоку аналогової обробки

Джерело стабільного струму у даній схемі реалізована на мікросхемі DA2 і тример R2 за рекомендаціями виробника LM317 (NationalSemiconductor) [13] у відповідності із схемою рис. 3.19.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

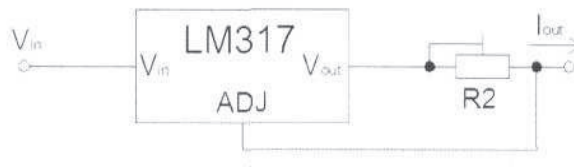


Рис. 3.19 Прецизійний обмежувач струму

Дана схема дозволяє отримувати потрібний струм з коефіцієнтом стабілізації 10^4 величина якого може змінюватися в межах які визначені за формулою:

$$I_0 = \frac{1.2B}{R_2}, \quad (3.22)$$

де R_2 можна змінювати в межах 0,8 Ом до 100 Ом.

Визначимо $I_{0\max}$ та $I_{0\min}$ за визначеними параметрами схеми:

$$I_{0\max} = \frac{1.2B}{0.8\text{Ом}} = 1,5A \quad (3.23)$$

$$I_0 = \frac{1.2B}{100\text{Ом}} = 12\text{мА} \quad (3.24)$$

Враховуючи, що падіння напруги на резисторі R_1 не має перевищувати 2,5 В то це означає, що стабілізований струм I_0 має встановлюватися резистором R_2 в межах від 12 до 25 мА.

$$R_2 = 100 \text{ Ом}, I_{0\min} = 12 \text{ мА} \quad (3.25)$$

$$R_2 = 50 \text{ Ом}, I_{0\max} = 24 \text{ мА} \quad (3.26)$$

При стабільному струмі 24 мА падіння напруги на резисторі R_1 буде складати:

$$U_{R1} = I_{0\max} \times R_1 = 24 \times 120 = 2.8 \text{ В}. \quad (3.27)$$

Підсилювач фотоструму від приймача ВОД (фотодіод VD4 BIR - BN 0331 PBF) реалізований на мікросхемі DA4 (KP544УД1Б) включений за схемою неінвертуючого підсилювача змінного струму. Коефіцієнт підсилення такого підсилювача за постійною складовою визначається за формулою:

$$K_u = 1 + \frac{R_{33}}{R_{вх}} = 1 + \frac{R_{14}}{R_{15} + R_{16}};$$

$$R_2 = 10 \text{ кОм, тоді } K_u^{min} = 1 + \frac{10^5}{10^3 + 10^4} \approx 10;$$

$$R_2 = 0, \text{ тоді } K_u = 1 + \frac{10^5}{10^3} \approx 100.$$

Таким чином шляхом регулювання номіналу резистора R_2 в межах від 0 до 10 кОм можливо досягти варіацію K_u каскаду в межах від 10 до 100, що є достатнім запасом для підсилення фотоструму цього каскаду.

3.3.3 Обґрунтування вибору принципової електричної схеми блоку мікропроцесорної обробки інформації та включення необхідних елементів

Цокольовка та опис виводів мікроконтролера [14]

Мікроконтролер ATmega8 – 16Aw (рис.3.20) виконаний в корпусі TQFP 332-ма виводами. Кількість контактів введення/виводу становить 23 контакти, кожен з яких може використовуватися в двох, а деякі навіть в трьох, варіантах. Описи можливих та використаних функцій виводів мікроконтролера наведені в таблиці 3.4.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

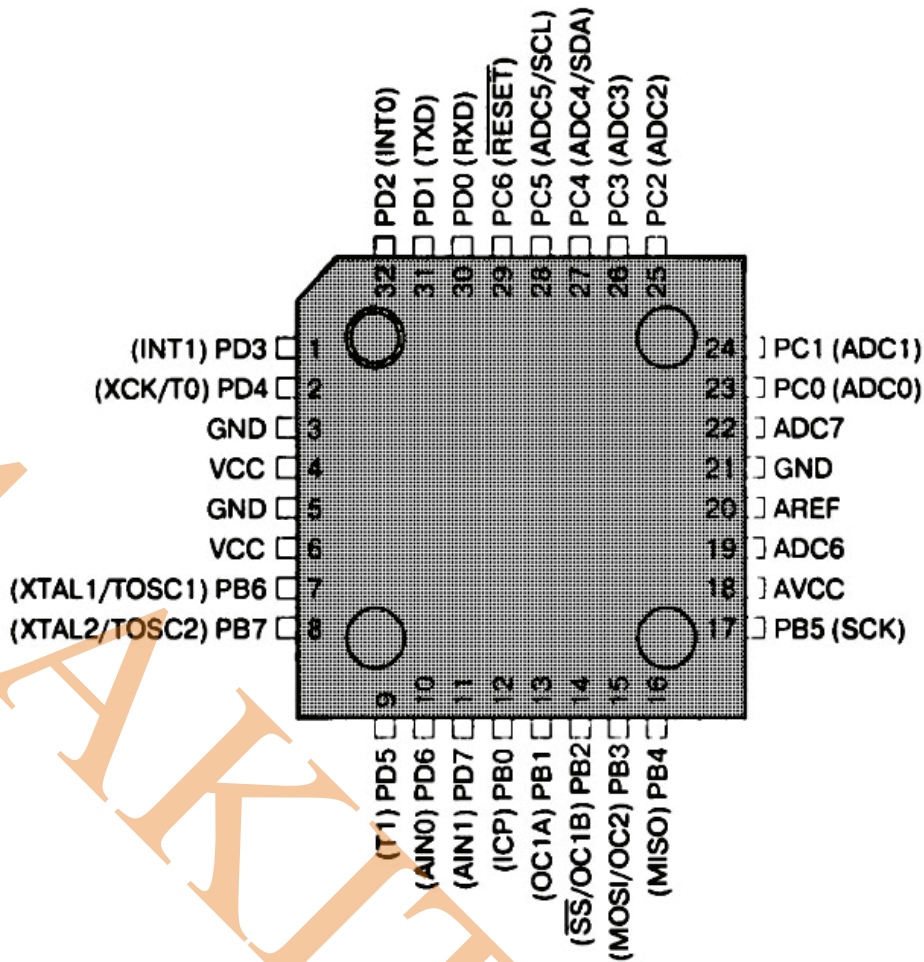


Рис.3.20 Розташування виводів МК АТмега8 – 16Aw

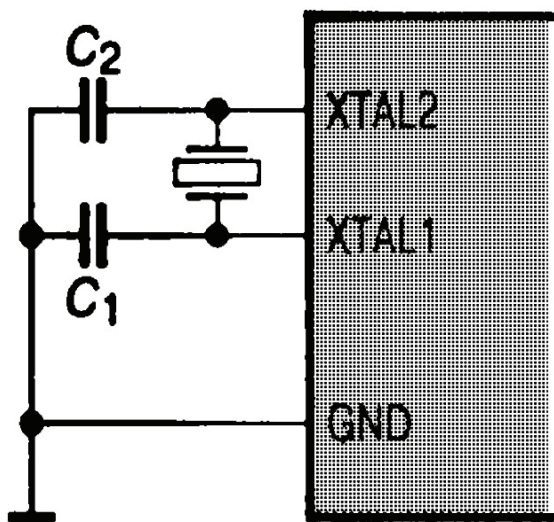


Рис.3.21 Підключення кварцових або керамічних резонаторів

Генератор із зовнішнім резонатором [14]

Резонатор підключається до виводів XTAL1 і XTAL2 мікроконтролерів, як показано на рис. 3.21. Ці виводи є відповідно входом і виходом інвертуючого підсилювача тактового генератора.

Ємності конденсаторів C1 і C2, що підключаються між виводами резонатора і землею,

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

залежать від типу резонатора. Для кварцових резонаторів ємності цих конденсаторів звичайно знаходяться в межах 12...22 пФ, а для керамічних повинні вибиратися згідно рекомендацій виробників резонаторів.

Апаратне скидання[14]

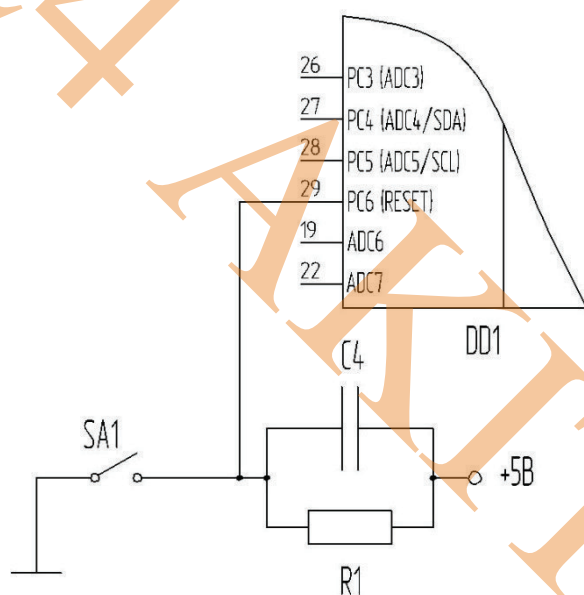


Рис. 3.22 Організація апаратного скидання

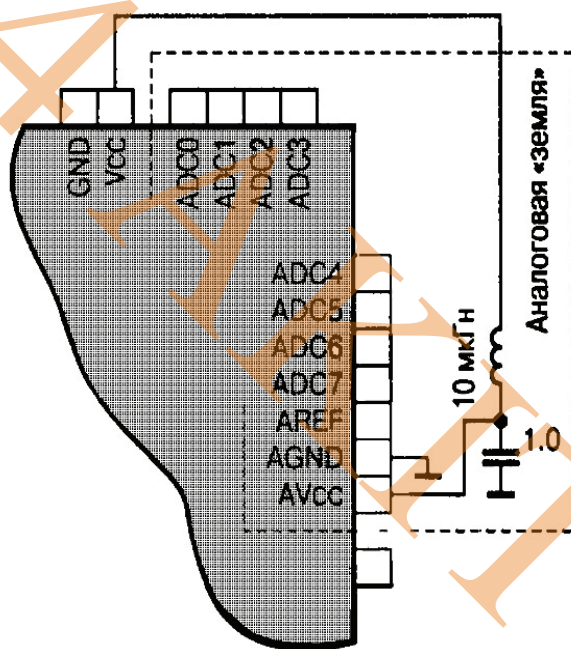
Апаратне (або зовнішнє) скидання мікроконтролера здійснюється подачею на вивід RESET сигналу НИЗЬКОГО рівня. Мікроконтролер залишається в стані скидання доти, поки на виводі RESET буде присутній сигнал НИЗЬКОГО рівня. Мінімальна тривалість імпульсу, при якій гарантується скидання мікроконтролера, для різних моделей різна, але не перевищує 3,0 мкс. При досягненні на виводі RESET порогового значення V_{RST} запускається таймер затримки скидання. Після формування затримки t_{TOUT} внутрішній сигнал скидання знімається і здійснюється запуск мікроконтролера. Реалізація апаратного скидання показана на рис. 3.22.

Підключення кола живлення АЦП[14]

У цьому розділі приведені деякі рекомендації, що дозволяють найбільшою мірою використовувати можливості АЦП. Перш за все, для мінімізації погрішності самого АЦП необхідно правильно вибрати тактову частоту перетворення. З цією ж метою на вході АЦП рекомендується встановлювати фільтр нижніх частот. Крім того, при розробці конструкції і розводці друкованої

плати слід дотримуватися загальних правил проектування цифро-аналогових пристроїв:

1. На друкованій платі необхідно передбачити область суцільної металізації під аналогову «землю» Аналогова частина мікроконтролера і аналогова частина всього пристрою повинні розташовуватися над цією областю. Аналогова і цифрова «землі» повинні з'єднуватися один з одним тільки в одній точці друкованої плати.



2. Провідники, по яких розповсюджуються аналогові сигнали, мають бути якомога коротше і розташовуватися над аналоговою «землею». Крім того, вони мають бути розміщені як найдалі від швидкодіючих цифрових ланцюгів.

Рис. 3.23 Підключення кола живлення АЦП

3. Виведення AVCC мікроконтролера повинне підключатися до джерела живлення V_{cc} через LC-фільтр, як показано на рис. 3.23 (розташування виводів показане умовно).

4. Якщо які-небудь виводи АЦП використовуються як цифрові виходи, вони не повинні перемикатися під час перетворення.

Програмування по послідовному каналу [14]

У режимі програмування по послідовному каналу програмування пам'яті програм і даних здійснюється по послідовному інтерфейсу SPI. Як правило, цей режим використовується для програмування (перепрограмування) мікроконтролера безпосередньо в пристрої.

Схема включення мікросхем в режимі програмування по послідовному каналу приведена на рис. 3.24.

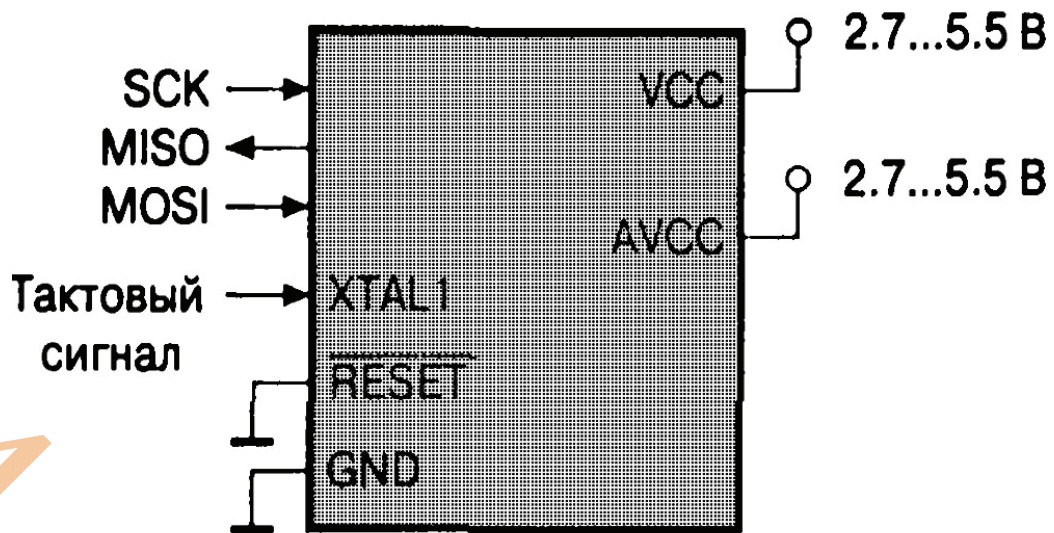


Рис. 3.24 Включення мікроконтролерів в режимі програмування по послідовному каналу

3.4 Базові розрахунки по проектуванню друкованих вузлів

Вихідними документами для проектування друкованої плати є ТЗ, принципова електрична схема вузла та перелік елементів до неї.

Згідно із завданням, аналоговий і мікропроцесорний блок обробки вимірювальної інформації повинен бути виконаний з використанням технології діркового та поверхневого монтажу. Однією з відмінностей технології поверхневого монтажу є необхідність застосування різних матеріалів для виготовлення основи плати. Це пов'язано з необхідністю забезпечення інтенсивного тепловідводу при зменшенні масогабаритних показників електронних компонентів і друкованих вузлів.

Матеріали, які використовуються для цієї мети, можна умовно розділити на три групи:

1. Неорганічні матеріали.
2. Органічні матеріали.
3. Комбіновані матеріали.

Матеріали для друкованих плат повинні забезпечити імовірність механічної обробки свердлінням, штампуванням, розпилюванням без утворення тріщин, відшаровувань і розщеплювання, інших дефектів, які впливають на електричні і експлуатаційні параметри плат. Вони вибираються з врахуванням забезпечення оптимальності термічних, механічних і електричних характеристик. Тому у даному випадку доцільно використати фольгований матеріал на основі склотекстоліту товщиною 1,5мм.

Розрахунок площі монтажної зони S_M для низької густини монтажу виконаємо на основі формули:

$$S_M = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} \quad (3.31)$$

де S_{MG} , S_{CG} , S_{KG} відповідно сумарні установи площі малогабаритних (всі мініатюрні елементи), середньо габаритні (МС у прямокутних корпусах, постійні опори вище 0,5 Вт, конденсатори у круглих корпусах і т. д.) та крупно габаритні (трансформатор, напівпровідникові прилади на радіаторах і т.д.).

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника (квадрата), у яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої.

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ приведені у табл.3.5.

Площа монтажної зони (аналоговий блок):

$$S_M = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} = 6\,556 \text{ мм}^2 \quad (3.32)$$

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ для першої сторони приведені у табл. 3.6 (мікропроцесорний блок).

$$S_{M1} = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} = 4 \cdot 192 + 1.5 \cdot 3696 = 6\,312 \text{ мм}^2 \quad (3.33)$$

У випадку квадратної зони розміри монтажної зони ДП складала би $80 \times 80 \text{ мм}^2$. Враховуючи установку дисплея на платі у вертикальному положенні, розроблена плата друкована має вид прямокутника.

Результати розрахунків установчих площ ЕРЕ для другої сторони приведені у табл. 3.7 (мікропроцесорний блок).

Площа монтажної зони:

$$S_{M2} = 4S_{MG} + 3S_{CG} + 1,5S_{KG} = 4 \cdot 335,29 + 3 \cdot 109,71 = 16,70 \text{ мм}^2 \quad (3.34)$$

Враховуючи те, що для цієї сторони площа монтажної зони є меншою ніж для першої сторони розміри ДП для подальших розрахунків користуємося S_{M1} .

Розмір крайового поля, яке додається до площі монтажної зони S_M , визначається наступними факторами:

- розмір крайового поля з боку з'єднувача складає 15... 30 мм в залежності від типу і числа контактів роз'єднувача;
- в інших місцях ширина крайового поля визначається конструкцією ДП і повинна бути не менша товщини плати;
- для плат товщиною менше 1 мм крайове поле повинно бути не менше 1 мм.

В цілому загальна площа ДП визначається сумою:

$$S_{з.п.} = S_M + S_{к.п.} \quad (3.35)$$

де S_M – площа монтажної зони, визначена за формулою;

$S_{к.п.}$ – площа крайового поля ДП, визначена з врахуванням зроблених вище зауважень.

$$S_{з.п.} = S_M + S_{к.п.} = 6556 + 3600 = 10156 \text{ мм}^2 \quad (3.36)$$

$$S_{з.п.} = S_M + S_{к.п.} = 6312 + 3600 = 9912 \text{ мм}^2 \quad (3.37)$$

Табл.3.5 Розрахункова таблиця установчих площ під РЕА (аналоговий блок)

Ія	УС	та	НО	ВЧ	Елементи та їх тип	а	ОД	НО	КЛ	СТ	ОД	НО	ТИ
----	----	----	----	----	--------------------	---	----	----	----	----	----	----	----

S_{MG}	Резистори 82P ВІTechnologies	78.5	3	235.5
	РезисторС2-23-0,25 ВІTechnologies	12	7	84
	Транзистори VN0206N3 Supertex	5.88	2	11,76
	Конденсатори LS 2,54/5,08 BC Components	5.12	7	35,98
	Мікросхеми К140УД13, LM317, СА3240Е, КР544УД1Б	77	4	308
	Діод VN0206N3	15	1	15
	Роз'ємиА-6373-08А222-2	42	4	168
Всього				858,24

Табл.3.6 Розрахункова таблиця установчих площ під РЕА (сторона 1)
(мікропроцесорний блок)

Категорія установчих площ	Елементи та їх тип	Установча площа одного елемента, мм ²	Кількість, шт.	Установча площа однотипних елементів, мм ²
S_{MG}	Перимикачі ALPS SKHHAJA010	48	4	192
Всього				192
S_{KT}	Дисплей WH 1602A – NGG – CP	3696	1	3696
Всього				3696

Табл.3.7. Розрахункова таблиця установчих площ під РЕА (сторона 2)
(мікропроцесорний блок)

Категорія установчих площ	Елементи та їх тип	Установча площа одного елемента, мм ²	Кількість, шт.	Установча площа однотипних елементів, мм ²
---------------------------	--------------------	--	----------------	---

S _{МГ}	Резистори size 1206	4,805	2	9,61
	Резистор Type 23B BI Technologies	32,5	1	32,5
	Транзистори BCV27 NPN Philips	7,5	2	15
	Конденсатори size 1210	8	3	24
	Мікроконтроллер AVRmega8	81	1	81
	Індуктивність Type BCL 453232 BI Technologies	14,4	1	14,4
	Оптопара діодна HCPL - 4502/3 ELFA	93,12	1	93,12
	Резонатор кварцевий HC49/4H C-MAC	65,66	1	65,66
Всього				335,29
S _{сг}	Конектор KST2-S	109,71	1	109,71
Всього				109,71

При остаточному призначенні габаритних розмірів ДП рекомендується користуватися регламентованим ГОСТ10317-79 переліком стандартних лінійних розмірів. Отже вибираємо розміри ДП 80x110 та відповідно 90x110 мм.

Розміщення елементів конструкції ДП регламентується умовною координатною сіткою з двох взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розміщених на однаковій відстані одна від другої. Ця відстань називається кроком координатної сітки. Основний крок координатної сітки – 2,5 мм. При використанні кроку менше за основний рекомендується призначати крок, який може дорівнювати 1,25 або 0,625 мм. При використанні імпоротної компонентної бази слід користуватись дюймовою координатною сіткою, для якої основним кроком є 2,54 мм, а додатковими 1,27 мм і 0,635 мм.

Використання сучасної компонентної бази зумовлює вибір кроку координатної сітки рівним 1,27 мм.

В порівнянні з традиційними, плати для поверхневого монтажу мають підвищену щільність розміщення електронних елементів, менші відстані між

										Арк.
										57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>					

провідниковими елементами і контактними площинками. При проектуванні прагнуть не лише мінімізувати топологію, розміри посадочних місць і їх розміщення, але і зменшити кількість рівнів металізації друкованої плати і числа перехідних отворів, які виконують роль міжрівневих переходів. Крок між контактними площинками повинен бути мінімальним, але достатнім для запобігання їх замикання при дозованому паянні. Надмірне ж зменшення контактних площинок може привести до зниження надійності, не забезпечення формування якісних, "скелетних" форм гателей таких з'єднань. Важливо забезпечити однакові форми і розміри контактних площинок для монтажу кожного з елементів. Невиконання цієї умови може привести до зміщення або навіть підйому компонентів.

Контактні площинки під чіп-компоненти, сполучені між собою, слід проектувати окремо, з'єднуючи їх вузькою комутаційною доріжкою. Це дозволяє запобігти появі ефекту стягання елементів при оплавленні паяльної пасти.

Розміри контактних площинок для монтажу пасивних компонентів з прямокутною формою корпусу (рис. 3.25) визначають за формулами:

$$\begin{aligned} \text{Ширина площадки} & \quad x = W_{\max} - k \\ \text{Довжина майданчика} & \quad y = H_{\max} + T_{\max} + k \\ \text{Відстань між площинками} & \quad A = L_{\max} - 2T_{\max} - k \end{aligned}$$

W - ширина компоненту;

H - висота компоненту;

L - довжина компоненту;

T - ширина зони паяння (контактної області);

k - константа (0,25 мм).

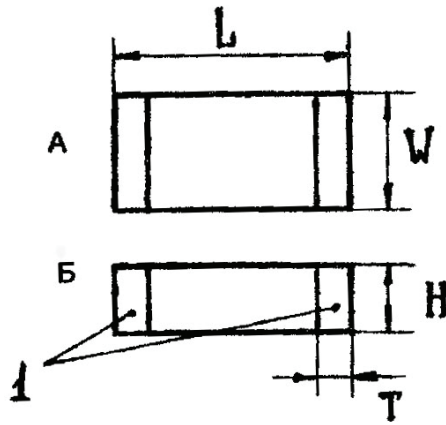


Рис. 3.25 Корпус прямокутної форми (Chip-корпус) (А. Вид зверху. Б. Вид збоку. 1. Виводи)

Для товстоплівкових Chip-Резисторів з типорозміром 1206 знаходимо:

$$x = 1,55 - 0,25 = 1,30 \text{ (мм);}$$

$$y = 0,55 + 0,35 + 0,25 = 1,15 \text{ (мм);}$$

$$A = 3,1 - 2 \cdot 0,35 - 0,25 = 2,15 \text{ (мм).}$$

Для конденсаторів типорозміру 1210 розміри контактних площинок вибираємо з таблиці 2.1.6 [14]. Для інших компонентів розміри контактних площинок наводяться виробниками в описі компонентів. На рис. 3.26 показані розміри контактних площинок для всіх компонентів для поверхневого монтажу.

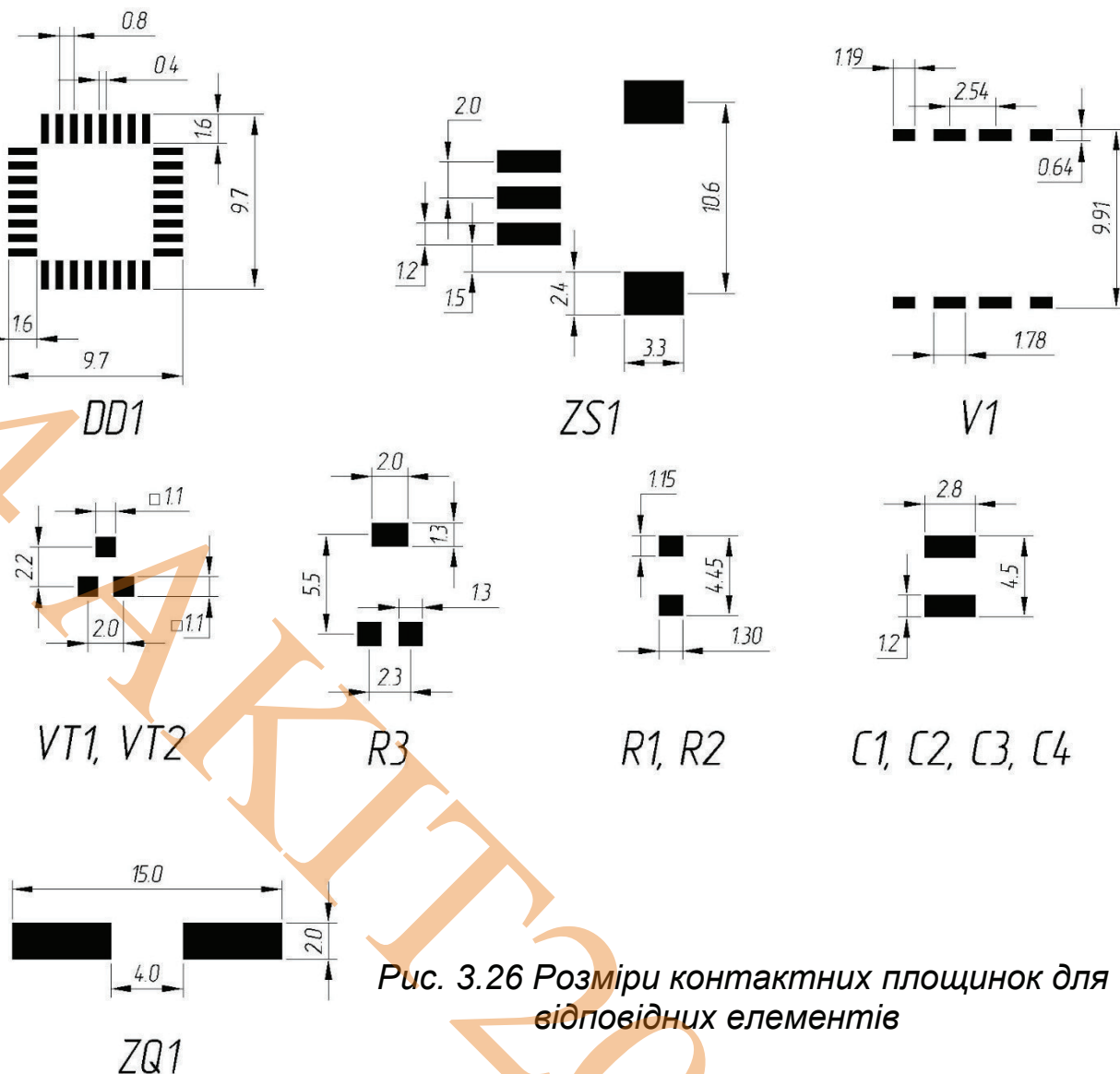


Рис. 3.26 Розміри контактних площинок для відповідних елементів

Розрахунок отворів, ширини провідного рисунка виконаємо для плати друкованої третього класу точності згідно ГОСТ 23751-75.

Для визначення розмірів отворів плати друкованої під виводи елементів необхідно знайти еквівалентні діаметри $d_{\text{екв}}$ виводів з прямокутним перерізом

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (3.38)$$

де a і b – сторони прямокутника.

Для перемикачів ALPS SKHHAJA010:

$$d_{\text{екв1}} = \sqrt{0.7^2 + 0.3^2} \approx 0.76 \text{ мм}$$

Враховуючи допуски на розміри ЕРЕ, необхідність вільного проходження виводів у монтажних отворах, діаметри отворів повинні бути на $0,2 \div 0,3$ мм більшими від розрахованих. Тому для перемикачів використаємо отвори $\varnothing 1$ мм. Такі ж отвори використаємо для виводів дисплея. Для кріплення дисплея необхідні отвори $\varnothing 2.5$ мм.

Кріплення плати друкованої передбачається під гвинт 1М3, а діаметр отвору до них – $d = 3,2 h 14$.

Для покращення паяємості передбачається поверхню провідного рисунку, контактних площинок покрити сплавом Розе ТУ6-0.9406Г–88.

Матеріали плати друкованої – Сф-2-35Г-1,5 ГОСТ 1016–78.

Розрахунок мінімального діаметра контактної площинки D навколо монтажного отвору проведемо за формулою (ГОСТ 23751–75):

$$D = (d + \Delta d_{bb}) + 2b_m + \Delta t_{bb} + (\delta d^2 + \delta p^2 + \Delta t_{mb}^2)^{0,5} \quad (3.39)$$

де d – номінальне значення діаметрів монтажного отвору;

Δd_{bb} – верхнє граничне відхилення діаметру контактної площини;

b_m – гарантійний поясок на зовнішньому шарі;

Δt_{bb} – верхнє граничне відхилення ширини провідника;

δd – допуск на розташування отворів;

δp – допуск на розташування контактних площин;

Δt_{mb} – нижнє граничне відхилення ширини провідника.

Для плати друкованої 3 класу точності з покриттям:

$$\Delta d_{bb} = 0,05 \text{ мм}; \quad \Delta t_{mb} = 0,08 \text{ мм};$$

$$b_m = 0,20 \text{ мм}; \quad \delta p = 0,25 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{bb} = 0,10 \text{ мм}; \quad \delta d = 0,08 \text{ мм}.$$

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Для отвору $d = 1$ мм мінімальний діаметр контактної площини D_1 рівний:

$$\begin{aligned} D_1 &= (1 + 0,05) + 2 \cdot 0,2 + 0,10 + (0,08^2 + 0,25^2 + 0,08^2)^{0,5} = \\ &= 1,05 + 0,40 + 0,10 + 0,27 = 1,82 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (3.40)$$

Мінімальне значення номінальної ширини провідників для плати друкованої 3 класу точності $t = 0,25$ мм, а допуск на ширину провідників Δt з покриттям $\Delta t = \begin{matrix} +0,10 \\ -0,10 \end{matrix}$ мм.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Огляд аналогів об'єкта проектування

BOX-FB01 Корпус пластмасовий 66x60x23 мм. [16]

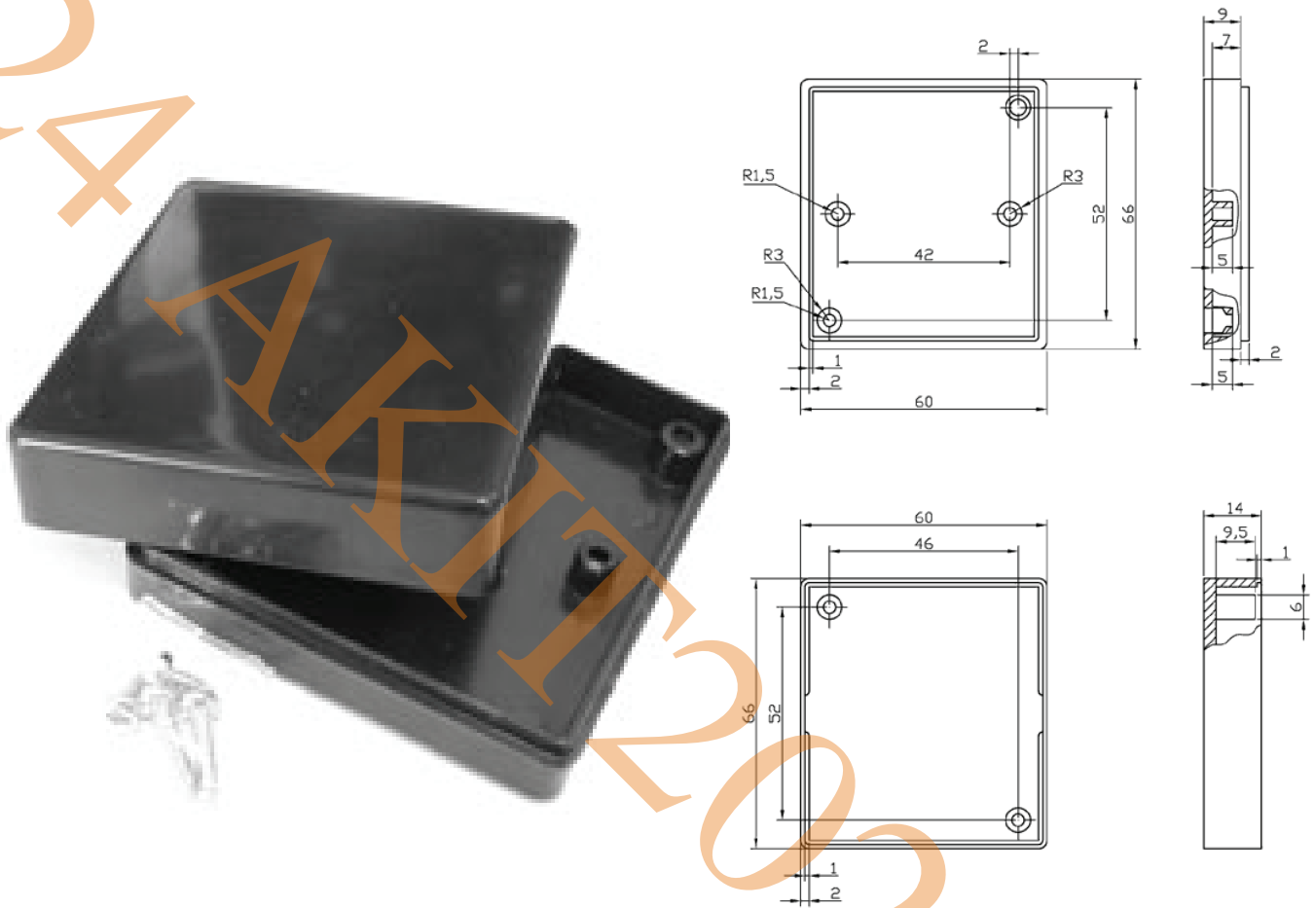


Рис.4.1 Корпус BOX-FB01

Корпус виготовлений з чорного пластика, товщина стінок 2,5 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 2-ма саморізами 2,5x13 мм.

Розмір встановлюваної друкованої плати 45x53 мм. Максимальна висота плати 10 мм. Спосіб кріплення плати до корпусу: 2-ма саморізами 2,5x7 мм. Відстань між отворами 42 мм. (рис. 4.1).

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

BOX-FB02 Корпус пластмасовий 37x120x21 мм. [16]

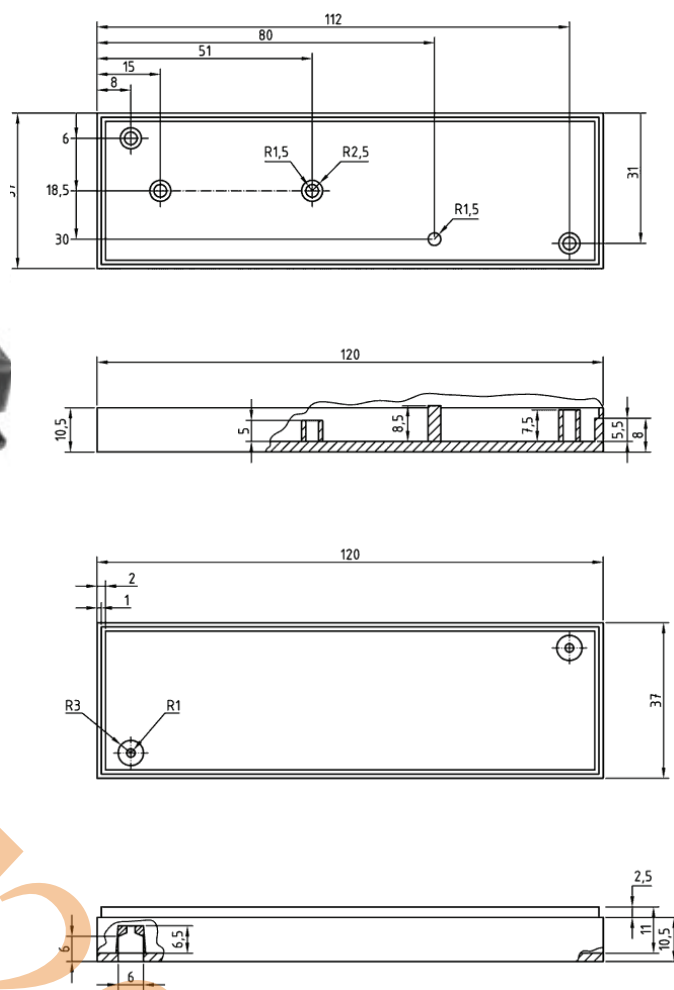
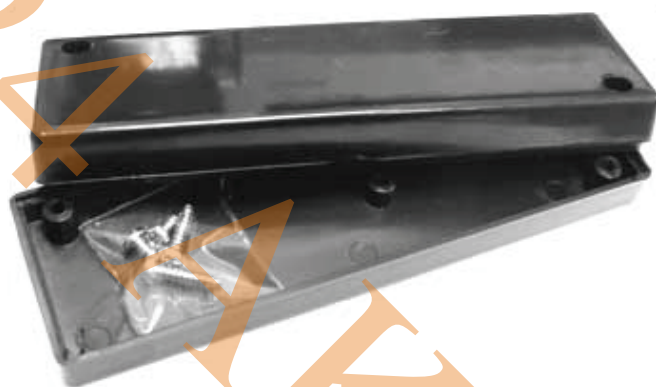


Рис. 4.2 Корпус BOX-FB02

Корпус виготовлений з чорного пластика, товщина стінок 2 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 2-ма саморізами 2,5x13 мм. Розмір встановлюваної друкованої плати 112x30 мм. Максимальна висота плати – 10 мм. (рис. 4.2).

BOX-FB03 Корпус пластмасовий 90x134x45 мм. [16]

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, товщина стінок 3,5 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 4-ма саморізами 2,5x13 мм.

					<i>KMP.AKIT.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розмір

встановлюваної друкованої плати 74x62 мм. Максимальна висота плати 25 мм. Спосіб кріплення плати до корпусу: 4-ма саморізами 2,5x7 мм. Відстань між отворами 51x51 мм. (рис. 4.3).

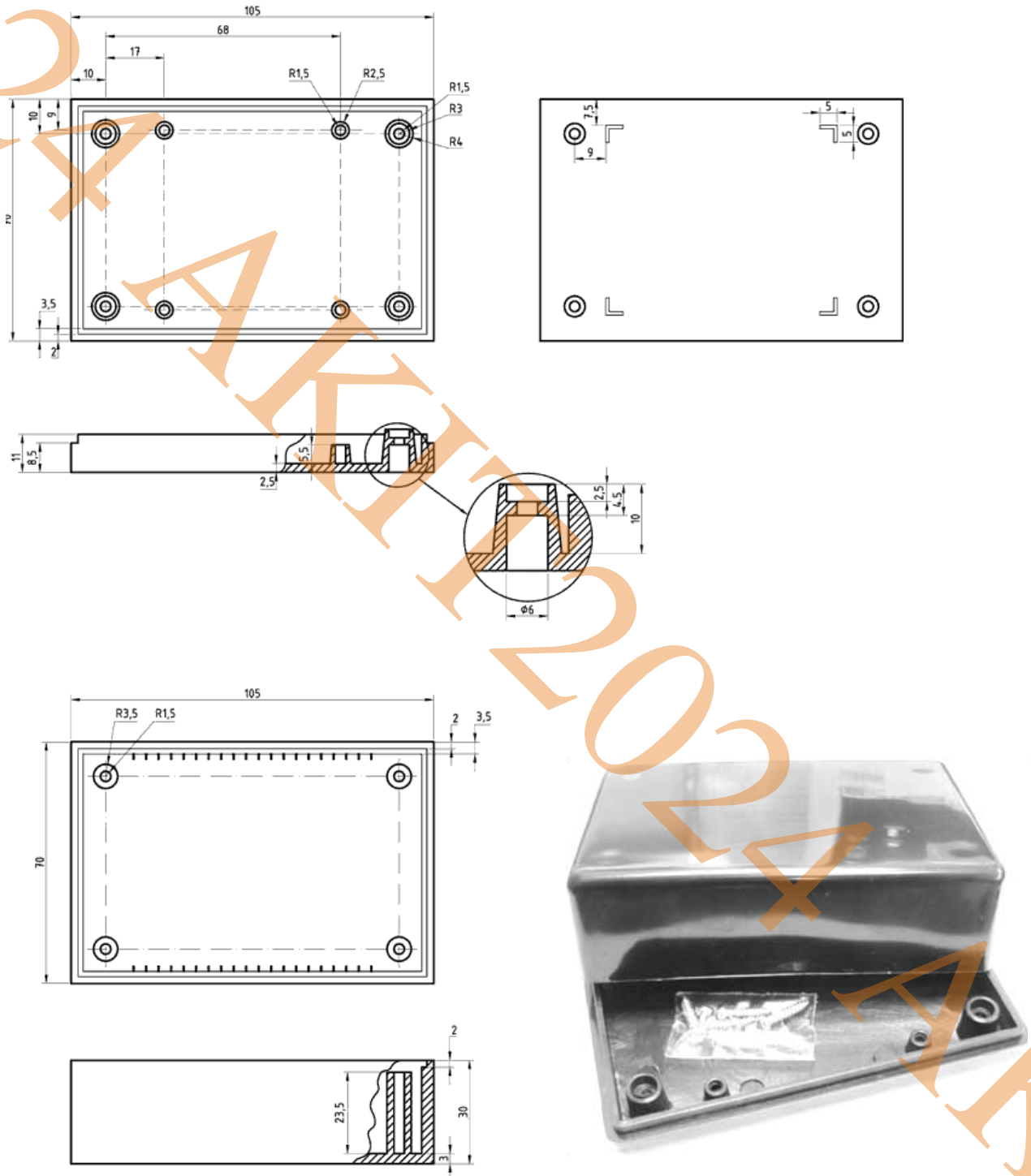


Рис. 4.3 Корпус BOX-FB03

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Конструкція спроектованого корпусу оптоелектронного реєстратора є подібною до конструкцій вище оглянутих корпусів.

Така конструкція корпусу є простою у виготовленні, дешевою і одночасно задовольняє всім вимогам для корпусу оптоелектронного реєстратора.

4.1.1 Розробка конструкції корпусу оптоелектронного реєстратора

Конструкція корпусу складається з таких деталей:

- основи;
- кришки;
- панелі передньої;
- панелі задньої;
- ніжок;
- кільця прохідного.

Корпус в цілому має достатньо невеликі розміри $177 \times 148,5 \times 107$ мм.

Матеріалом для конструкції корпусу вибраний полістирол УПМ-ОЗЛ сірий, ОСТ6-05-406-80.

На основі розроблені чотири виступи, висотою 10 мм. На цих виступах кріпиться плата блока живлення, і блока аналогової обробки.

Товщина стінок основи складає 2,5 мм.

Ребра основи спроектовані під кутом 4° від вертикалі. Також, розроблені чотири виступи, в кожному з яких міститься наскрізний отвір, діаметр якого рівний 4 мм. Висота цих виступів складає 39 мм. Вони призначені для з'єднання з кришкою.

На основі з передньої та задньої частини виступають два пази, відстань між якими 3 мм. Між цими пазами ставляться відповідно передня і задня панелі.

Кришка корпусу в цілому ідентична основі, але має деякі відмінності.

На верхній кришці та на основі зроблені десять отворів, для вентиляції повітря від нагрітих елементів. Розміри одного з прорізів 46×3 мм. Відстань від одного прорізу до іншого становить 4 мм.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знизу до основи кріпляться шурупами ніжки, також ці шурупи з'єднують основу з верхньою кришкою. Ці ніжки зроблені таким чином, що вони ховають головки гвинтів. Вона зроблена з технічної гуми ОСТ4 ГО. 010. 035. Це забезпечує жорстке зачеплення ніжок приладу, з поверхнею де він ставиться.

Передня панель містить:

- отвори для кнопок, які управляють режимами роботи, діаметром \varnothing 10 мм ;
- проріз для дисплея;
- чотири отвори для кріплення МК блока \varnothing 2,5 мм.

Габаритні розміри передньої панелі 144×94 мм, задньої панелі 144×63 мм, товщина складає 2 мм.

На ній передбачені отвори:

- для спеціальних конектора, до яких під'єднуються опто-волоконні зонди, діаметр цих отворів складає \varnothing 7 мм та відстань між ними 30 мм;
- для запобіжника з фіксацією від прокручування радіусом $R=6,5$ мм;
- для кабелю живлення діаметром \varnothing 8 мм.

В отвір для кабелю живлення вставляється прохідне кільце, яке фіксує його і не дозволяє ковзати в отворі.

Всі деталі нескладні у виготовленні і їх легко виймати з форми.

4.1.2 Оцінка технологічності конструкції [17]

При розробці виробу необхідно паралельно проводити аналіз на технологічність конструкції. Під технологічністю конструкції розуміють сукупність властивостей конструкції виробу, які проявляються у можливості оптимальних затрат праці, засобів, матеріалів та часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті у порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення, при забезпеченні встановлених показників якості і прийнятих умовах виготовлення,

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

експлуатації та ремонту. Таким чином, конструкція технологічна, якщо при прийнятому типові та організації виробництва, заданій програмі, повторюваності випуску та використовуваних технологічних процесів вона буде мати найменшу трудомісткість, матеріаломісткість та собівартість в процесі виготовлення, зручна та надійна в експлуатації та простою у ремонті.

Необхідно враховувати, що не завжди вироби, які технологічні для крупносерійного та масового типу виробництва технологічні для одиничного та дрібносерійного. Так, деталі та заготовки, які виготовляються з пластмаси на пресах та ливникових машинах, будуть технологічні для велико-серійного та масового типу виробництва в той час, як для одиничного та дрібносерійного - нетехнологічними. Це пов'язано з вартістю прес-форм та терміном її відшкодування.

Технологічність конструкції оцінюється кількісними характеристиками, так званими показниками технологічності. Розрахункові показники технологічності порівнюють з прийнятими за вихідні - базовими показниками технологічності, які задаються технічними вимогами на прилад. Конструкція вважається значенням технологічною, якщо значення показників технологічності відповідають базових показників.

Розрізняють виробничу та експлуатаційну технологічність конструкції. Виробнича технологічність визначається стосовно виготовлення виробу, а експлуатаційна - стосовно виконання технічного обслуговування виробу та його ремонту. Технологічна конструкція сприяє одержанню високої якості виробу, підвищенню продуктивності праці, зниженню витрат на підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію та ремонт. Технологічну конструкцію виробу збирають з технологічних складальних одиниць та деталей, тобто таких частин конструкції виробу, сукупність властивостей яких проявляються у можливості оптимальних витрат праці, засобів, матеріалів та часу при підготовці їх до виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту виробу у цілому.

Технологічні конструкції виробів повинні володіти високими якісними та кількісними показниками. До якісних відносять: взаємозамінність - властивість

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції складової частини виробу, яка забезпечує можливість її використання замість іншої без додаткової обробки із збереженням заданої якості виробу, у склад якої вона входить; регульованість - властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість та зручність її регулювання при складанні, технічному обслуговуванні та ремонті для досягнення або підтримки працездатності; контролепридатність - властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість, зручність та надійність її контролю при виготовленні, випробуванні, технічному обслуговуванні

та ремонті; інструментальна доступність - властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість вільного доступу до поверхонь при виготовленні, випробуванні, технічному обслуговуванні та ремонті.

Велике значення мають технічні показники технологічності конструкції, які необхідно визначити в процесі аналізу технологічності та співставити з нормативами, розробленими у Єдиній системі технологічної підготовки виробництва - ЄСТПВ.

Проведемо розрахунок деяких з них:

1) коефіцієнт складальності

$$K_{ск} = E/(E+D), \quad (4.1)$$

де E - кількість специфікованих складальних одиниць; E+D - загальна кількість частин виробу.

Чим більший коефіцієнт $K_{ск}$, тим більш технологічна конструкція.

Оптоелектронний реєстратор з волоконно-оптичним давачем містить п'ять складальних одиниць, тому $E = 5$; $E + D = 9$; $K_{ск} = 5/9 = 0,6$.

2) коефіцієнт перспективного використання в інших виробках

$$K_{п.в} = 1/(n_i + Q), \quad (4.2)$$

де n_i - кількість даних виробів (складальних одиниць та деталей), які використовуються у якості складової частини і - го виробу; Q - кількість найменувань типорозмірів, у яких планується використання даного виробу.

Чим більший коефіцієнт $K_{п.в}$, тим більш технологічна конструкція.

$n_i = 9$; $Q = 1$; $K_{п.в} = 1/10 = 0,1$.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) коефіцієнт використання матеріалу оцінимо для розробленого корпусу оптоелектронного реєстратора з волоконно-оптичним давачем:

$$K_{в.м} = M_{\min} / M, \quad (4.3)$$

де M_{\min} - сумарна маса даного матеріалу, кг; M - маса конструкції виробу, кг.

Чим більший коефіцієнт $K_{в.м}$, тим більш технологічна конструкція.

$$M_{\min} = 233; M = 245; K_{в.м} = 233/245 = 0,95.$$

Окрім, так би мовити, стандартних коефіцієнтів визначимо також коефіцієнти використання корпусу по площі та по об'єму. Згідно із заданими у технічному завданні даними, спроектовано 1 корпус для приладу - для електричного і приймального блоків.

Оцінимо використання корпусу по площі. Для цього вводимо коефіцієнт k_s , який рівний відношенню розміщених всередині корпусу складальних одиниць $S_{с.о.}$ до загальної площі корпусу S_k :

$$k_s = \frac{S_{с.о.}}{S_k} \quad (4.4)$$

Визначаємо загальну внутрішню площу корпусу. Його довжина становить $a = 161$ мм, а ширина $b = 136$ мм. Площу визначаємо як добуток довжини a на ширину b :

$$S = a \cdot b \quad (4.5)$$

$$\text{Площа корпусу: } S_k = 161 \cdot 136 = 21896 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо площу складових частин, які знаходяться всередині корпусу. Їхню площу визначаємо із запасом 10 мм на кожную сторону з умови зменшення впливу магнітних, температурних та інших полів складових. Визначаємо площі:

а) визначаємо площу плати друкованої. Розмір плати становить 130×130 мм. Враховуючи прийнятий запас – 10 мм, ці розміри модифікуються на 140×140 мм.

Таким чином площа плати становить:

$$S_{п.д.} = 140 \cdot 140 = 19600 \text{ мм}^2.$$

б) визначаємо величину площі, яка виділена для боковини (каркасу) корпусу. Довжина даної ділянки обумовлена площами, зайнятими двома

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

боковинами, тобто становить 177 мм. Сумарна ширина даних ділянок вибрана з конструктивних міркувань, і рівна 60 мм.

Таким чином площа цієї ділянки становить:

$$S_{\text{ел.}} = 177 \cdot 60 = 10620 \text{ мм}^2.$$

Просумуємо вище обчислені площі:

$$S_{\Sigma} = S_{\text{п.д.}} + S_{\text{ел.}} \quad (4.6)$$

Знаходимо числове значення: $S_{\Sigma} = 19600 + 10620 = 30220 \text{ мм}^2$.

Знаючи значення сумарної площі елементів, які знаходяться всередині корпусу, визначаємо коефіцієнт використання його по площі:

$$k_s = \frac{S_{\text{с.о.}}}{S_k} = \frac{S_{\Sigma}}{S_k} \quad (4.7)$$

$$k_s = \frac{29040}{30220} = 0.96 \%$$

Далі визначаємо об'єми складових частин :

а) обчислюємо об'єм, який необхідний для плати друкованої. Плата з розміщеними на ній ЕРЕ потребує використання висоти внутрішнього простору корпусу із врахуванням своїх розмірів, тобто $H=43$ мм. Таким чином об'єм необхідний для плати:

$$V_{\text{п.д.}} = S_{\text{п.д.}} \cdot H; \quad (4.8)$$

$$V_{\text{п.д.}} = 19600 \cdot 43 = 842800 \text{ мм}^3$$

в) визначаємо об'єм виділений для боковини. Даний простір потребує також використання корпусу із врахуванням габаритних розмірів елементів, тобто $H=50$ мм. Об'єм:

$$V_{\text{пр}} = S_{\text{ел.}} \cdot H; \quad (4.9)$$

$$V_{\text{ел.}} = 10620 \cdot 43 = 456660 \text{ мм}^3.$$

Аналіз на технологічність конструкції проводять для визначення можливості одержання заготовок прогресивними методами та застосувати ці методи для обробки і складання, контролю та випробування, використанню типових технологічних процесів та їх механізацію і автоматизацію, виявити зручність (пристосованість) виробу в експлуатації та обслуговуванні, підвищити

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довговічність та забезпечити надійність у роботі, скоротити трудомісткість ремонтів, забезпечити транспортабельність та вимоги техніки безпеки.

Крім цього, при аналізі однієї деталі, необхідно визначити:

- чи можуть бути використані конструкторські бази як вимірювальні так і технологічні для підвищення точності виготовлення за рахунок зменшення похибок базування;
- чи є поверхні деталі однотипними, що дозволяє зменшити кількість операцій, переходів, оснастки та обладнання для їх виготовлення;
- чи дозволяє метод проставлення розмірів забезпечити точність функціональних параметрів і методів їх досягнення;
- чи дозволяє метод одержання заготовки забезпечити точність та шорсткість ряду поверхонь без додаткової обробки, або ряду поверхонь, які вимагають для обробки малі припуски, що дозволяє скоротити обсяг та трудомісткість механічної обробки;
- чи можливо використання високопродуктивних процесів, які дозволяють понизити трудомісткість і вартість обробки;
- чи можливо використання типових технологічних процесів або групової обробки деталей.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі на рівні ескізного проектування та виконання експериментальних оптичних досліджень краєвого поглинання і температурних змін для кристалів групи A_3B_5 (GaAs, GaP), які можуть бути використані в якості термочутливих елементів волоконно-оптичних трактів наводиться проектне рішення мікропроцесорного оптоелектронного реєстратора для багатофункціонального застосування при виконанні вимірювань неелектричних фізичних величин. В якості конкретного прикладу розглянуто варіант використання реєстратора в якості вимірювача температури з різним типом кристалічних елементів у вимірювальних каналах волоконно-оптичних датчиків.

У відповідності до технічного завдання виконано наступні заплановані етапи експериментальних досліджень, проектування і конструювання:

- зроблено огляд стану розробки волоконно-оптичних давачів для заводозахисчених ВІС;
- обґрунтовано вибір структурних та принципівих схем;
- виконано експериментальні дослідження крайового поглинання кристалів та оцінена температурна поведінка країв поглинання в різних температурних інтервалах;
- виконана концепція побудови електронних блоків;
- виконана загальна компоновка реєстратора в спеціалізованому конструктиві;
- проведено розрахунки показників технологічності конструкції спроектованого приладу, основні з яких відповідають вимогам ЄСТПВ;

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. Перспективы развития // Электронная промышленность. – 1983. – Вып.7. – С.7 – 11.
2. Вавилов В.С., Кекелидзе Н.П., Смирнов Л.С. Действие излучений на полупроводники: Учеб. руководство.-М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988.-192 с.
3. Арсенид галлия в микроэлектронике: Пер. с англ. с сокращ. и доп./Под ред. Н. Айнспрука, У. Уиссмана.-М.: Мир, 1988.-555 с.
4. Оптические свойства полупроводников/ В.И. Гавриленко, А.М. Грехов, Д.В. Корбутяк и др./ под. ред. М.П. Лисиццы.-К.:Наукова думка, 1987.-607 с.
5. <http://www.hp.com/go/fiber/>
6. Kigbright/Optoelectronic Components-Catalog 2001-2002, page 135.
7. Збірник наукових праць 4-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми технічного регулювання та якості», Одеса. – 2014. С. 85 – 87.
8. <http://www.elfa.se>
9. Дяконов В.П., Максимчук А.А., Ремнев А.М. и др. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах / Под ред. Дяконова В.П. – м.: СОЛОН-Р. – 2002, с.283-290.
10. Дяконов В.П., Калинин А.Г., Ватутын В.М., и др. Модуляторы полупроводниковых излучающих диодов с запуском от логических микросхем / ПТЭ, 1983, №6, с.113-115.
11. Вареник А.П., Журин А.А. Стабильный экономичный модулятор тока светодиодов / ПТЭ, 1988, №3, с. 153-154.
12. Каталог по использованию полевых транзисторов / Под. ред. Н.М. Тугова, С.Д. Федорова – Донецк, Синапс, 1992. – 150с.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Козусенок О.В., Туряниця І.І., Кутчак С.В., Пшенична О.О. Розрахунок передавальної характеристики та мінімальної граничної температури термосенсора на основі стекол системи As-Se//ГҮ. Міжн. Конф. «научно пространство на Європа».- Софія 15 – 30 апрель, 2008. – Т.28. Фізика. Математика. – с. 24-27.
14. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с.
15. Бутурлакін О.П., Овчаренко В.В., Федак В.В. Методичні вказівки до виконання розрахунків з курсового проекту «Проектування радіоелектронної апаратури». Ужгород. 2003.
16. <http://masterkit.ru/shop/cases>
17. Бутурлакін О.П., Овчаренко В.В., Федак В.В. Методичні рекомендації до виконання розрахунків по оцінці показників надійності радіоелектронної апаратури. Ужгород 2001.
18. Федак В.В., Кузьміна Е.А., Бутурлакін О.П. Методичні рекомендації до виконання технологічного розділу дипломного проекту. Методична розробка для студентів інженерних спеціальностей. – УжНУ, 2006 – 28 с.
19. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічного розділу дипломного проекту. Методична розробка для студентів інженерних спеціальностей. УжНУ, 2000, -26 с.
20. <http://www.online-electronics.com.ua/>
21. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. - Практикум з охорони праці – 2000.

					<i>КМР.АКІТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Додатки

					<i>КМР.АКТ.11287258.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77