

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

на тему: «Фазовий далекомір»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПК-01

Озадовський Владислав Миколайович

Керівник:

доцент кафедри, к.т.н.

Гришанова Ірина Аркадіївна

Рецензент:

старший викладач, Ph.D.

Дорожинська Ганна Василівна

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2024 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ПК 0112.00.00.0000 ПЗ	Пояснювальна записка	63	
3	A2	ПК 0112.01.00.0000 Е1	Схема структурна	1	
4	A2	ПК 0112.02.00.0000 ЛЗ	Схема оптична	1	
5	A1	ПК 0112.03.00.0000 СК	Складальний кресленик	1	
6	A1	ПК 0112.04.00.0000 ЕП	Схема електрична принципова	1	
7	A1	ПК 0112.05.00.0000	Плакат	1	
8	A1	ПК 0112.06.00.0000	Плакат	1	

				ПК 0112.00.00.0000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Озадовський В.М.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Гришанова І.А.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Н/контр.					Каф. АСНК	
Зав.каф.	Киричук Ю.В.				Гр. ПК-01	

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Фазовий далекомір»

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Озадовському Владиславу Миколайовичу

1. Тема проєкту «Фазовий далекомір», керівник проєкту Гришанова Ірина Аркадіївна, кандидат наук, доцент кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від «28» травня 2024 р. №2121-с
2. Термін подання студентом проєкту «04» червня 2024 р.
3. Вихідні дані до проєкту: робоча довжина хвилі оптичної системи $\lambda = 635$ нм; кут поля зору об'єктива $2\omega = 2^\circ$; коефіцієнт пропускання випромінювання τ оптичною системою не менше 90%; діаметр вхідної зіниці об'єктива $D_{\text{вх.зін.}} = 15$ мм.
4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Літературний огляд за темою роботи; Розділ 2. Проєктування фазового далекоміра; Розділ 3. Підбір електронних комплектуючих для конструкції фазового далекоміра.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): схема оптична, структурна схема, складальний кресленик, схема електрична принципова, презентація доповіді.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання «01» квітня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	01.05.2024	
2	Систематизація теоретичного матеріалу	06.05.2024	
3	Розробка структурної схеми	08.05.2024	
4	Моделювання коліматорного каналу	09.05.2024	
5	Моделювання каналу об'єктиву	13.05.2024	
7	Підбір електронних компонентів	20.05.2024	
8	Формування загальних висновків	21.05.2024	
9	Розробка електричної принципової схеми	27.05.2024	
10	Розробка складального кресленика	29.05.2024	

Студент

Владислав ОЗАДОВСЬКИЙ

Керівник

Ірина ГРИШАНОВА

АНОТАЦІЯ

Фазовий далекомір є високоточним приладом для дистанційного вимірювання, що знайшов застосування в будівництві, геодезії, робототехніці та інших галузях. Метою бакалаврського дипломного проєкту є розробка лазерного фазового далекоміра, який забезпечую високу точність та швидкість вимірювання.

У межах даного проєкту було розглянуто теоретичні основи далекометрії, принципи роботи далекомірів різних видів та їх класифікацію, огляд існуючих аналогів приладу, виконано проєктування структурну схему фазового далекоміра, синтезовано коліimatorний канал та канал об'єктиву оптичної системи, здійснено підбір доступних та малогабаритних електронних компонентів.

Робота викладена на 63 сторінках (без додатків), містить 3 розділи, 38 рисунків, 18 формул, 1 таблицю та 39 літературних джерел.

Ключові слова: далекометрія, дистанційне вимірювання відстані, далекомір, фазовий далекомір, вимірювання відстаней, фазовий зсув, оптико-електронний прилад.

ABSTRACT

The phase rangefinder is a high-precision device for remote measurement, which has found application in construction, geodesy, robotics and other fields. The goal of the bachelor diploma project is the development of a laser phase rangefinder, which ensures high measurement accuracy and speed.

Within this project, the theoretical foundations of rangefinders, principles of operation of rangefinder various types and their classification, review of existing analogues, structural diagram of a phase rangefinder were designed, the collimator channel and the lens channel of the optical system were synthesized, and the selection of available and small-sized electronic components was carried out.

The work is laid out on 63 pages (without appendices), contains 3 sections, 38 illustrations, 18 formulas, 1 table and 39 literary sources.

Key words: telemetry, remote distance measurement, rangefinder, phase rangefinder, distance measurement, phase shift, optical-electronic device.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОК – об'єкт контролю;

ФП – фотоприймач;

ОС – опорний сигнал;

ОПС – оптична система;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтролер;

АПП – апаратно-програмна платформа;

LCD – liquid crystal display;

OLED – organic light-emitting diode;

USB – universal serial bus.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	13
1.1. Класифікація методів та засобів для визначення відстані до об'єкта.....	13
1.2. Фізичні основи оптичної далекометрії	13
1.3. Сучасні сфери використання далекомірів	16
1.4. Класифікація далекомірів.....	18
1.5. Принцип роботи приладів для вимірювання відстані.....	20
1.5.1. Імпульсні далекоміри	21
1.5.2. Фазові далекоміри.....	24
1.6. Обґрунтування вибору фазового далекоміра	27
1.7. Огляд аналогів розроблюваного приладу.....	27
Висновки до першого розділу.....	32
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ФАЗОВОГО ДАЛЕКОМІРА	34
2.1. Розробка структурної схеми приладу	34
2.2. Розробка оптичної системи приладу	36
2.2.1. Синтез та моделювання каналу коліматора	37
2.2.2. Синтез та моделювання каналу об'єктива	41
2.3. Енергетичний розрахунок випромінювання	46
Висновки до другого розділу	47

					ПК 0112.00.00.0000					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Фазовий далекомір Пояснювальна записка					
Розроб.		Озадовський В.М.						Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.								9	63	
Н. Контр.								КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, АСНК. ПК-01		
Затверд.		Гришанова І.А.								

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ КОНСТРУКЦІІ ФАЗОВОГО ДАЛЕКОМІРА.....	48
3.1 Вибір апаратно-програмної платформи.....	48
3.2 Вибір генератора сигналу.....	50
3.3 Вибір драйвера лазера	51
3.4 Вибір фазового детектора	51
3.5 Вибір дисплею	53
3.6 Вибір плати зарядки та акумулятора	54
3.7 Вибір кнопок управління.....	55
Висновки до третього розділу	56
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	64

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

У наші часи, коли активно розвиваються технології, людство намагається всюди полегшити своє життя. Тому було питанням часу, коли буде створений пристрій, який дозволить дистанційно вимірювати відстань.

Отже далекомір – це пристрій, який дозволяє визначати відстані від вибраного об'єкта до спостерігача, який проводить вимірювання. Притому він дозволяє визначати відстань до самих складнодоступних місць. І, звісно, однією з найбільших переваг далекоміра, є швидкість, з якою він дозволяє проводити вимірювання, та їх точність.

З розвитком мікропроцесорної техніки, далекомір став не лише пристроєм для визначення відстані, а й дозволяє робити більш складніші розрахунки, включаючи розрахунок площі поверхонь різної складності, а також кути нахилу поверхонь.

Далекомір має широке застосування у багатьох сферах нашого життя. Наприклад, в будівництві, де його використовують для вимірювання відстаней між різними будівельними об'єктами, чи при визначенні розмірів приміщення, або для перевірки якості будівельних робіт. Також важко уявити геодезію без далекоміра: його використовують для геодезичних вимірювань, визначення висот та картографування. У промисловості ці прилади використовують для контролю розмірів виробу, а також у позиціюванні. Для систем наведення снарядів чи безпілотних літальних засобів та у навігації далекомір використовують у військовій справі. Далекомір знайшов використання у будівництві доріг, електромереж, гідротехнічних споруд, також в мореплавстві, медицині, господарстві, астрономії, навігації та спорті. Мабуть найпростішим прикладом його використання, яким ми користуємося майже кожного дня, є механізм фокусування камери на смартфоні.

На сьогоднішній день є багато видів далекоміра, вони відрізняються методом роботи, складністю виготовлення, розмірами. Тому в залежності від

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поставленого завдання можна підібрати найбільш ефективний та оптимальний варіант.

Дипломний проєкт включає в себе аналіз різних методів визначення відстані, розгляд фізичних основ далекометрії, класифікацію далекомірів та їх принципу роботи. За результатами цього аналізу буде обраний найбільш оптимальний та ефективний метод побудування далекоміра.

Метою даної роботи є розробка компактного приладу для вимірювання відстані до об'єкта. Очікується, що розроблений прилад стане корисним інструментом у господарстві, будівництві та інших сферах. Пристрій має дозволяти його користувачу проводити швидкі та головне точні вимірювання.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1. Класифікація методів та засобів для визначення відстані до об'єкта

Визначення відстані до об'єкта можна класифікувати за принципом взаємодії з ним, тобто можна виділити такі методи як:

- контактний;
- безконтактний.

Контактний метод – це найпростіший метод, який вимагає прямого контакту з об'єктом для визначення відстані. Для вимірювання може застосовуватися лінійка, мікрометр, штангенциркуль, чи інший подібний інструмент. Цей метод є дуже дешевим та точним, але при цьому є обмеженим у застосуванні до об'єктів, до яких складно дістатися. Похибки у вимірюваннях можуть виникати через неналежне використання цих інструментів.

Коли неможливо встановити прямий фізичний контакт для вимірювання контактним методом, у нагоді стає безконтактний метод. Він використовує різні види випромінювання для визначення відстані. Головною перевагою цього методу є його швидкість. Точність залежить від відстані, на якій знаходиться об'єкт, проте на малих відстанях похибка буде незначною. Пристроями, які використовують цей метод вимірювання, є далекоміри. На підприємствах і виробництвах частіше використовують саме безконтактний метод, тому що він є більш універсальним.

1.2. Фізичні основи оптичної далекометрії

Оскільки електромагнітне випромінювання, яке випромінюється лазером, має сталу швидкість поширення хвиль, це дає змогу визначати відстань до ОК. Для цього потрібно визначити час, за який проходить лазерний імпульс до ОК,

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбивається від нього та повернеться назад. Тоді, застосувавши формулу (1.1), можна обчислити відстань:

$$L = \frac{ct}{2n} \quad (1.1)$$

де L – це відстань до ОК, c – швидкість поширення світла у вакуумі, t – час між зондуєчим сигналом та потраплянням відбитого сигналу на приймач випромінювання та n – показник заломлення в середовищі.

Можна помітити, що точність вимірювання відстані прямо залежить від точності вимірювання часу, зондування сигналу та його реєстрації на приймачі випромінювання [1].

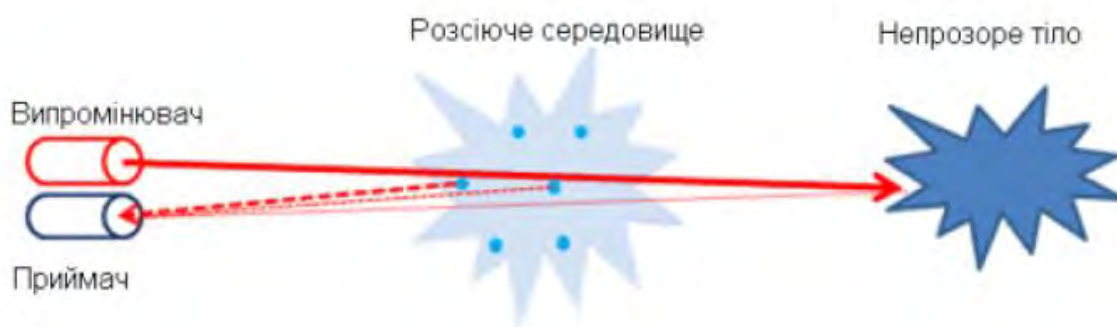


Рис. 1.1. Схема принципу вимірювання відстані за допомогою лазера

Лазери можна розділити на [2]:

- газові лазери;
- твердотільні лазери;
- напівпровідникові лазери.

Газові лазери використовують газ в якості робочого тіла. Це може бути гелій-неон, аргон, криптон, азот, ксенон. Перевагами такого лазера є:

- тривалість роботи;
- висока ступінь монохромності;
- низька чутливість до зміни температури у зовнішньому середовищі.

До його недоліків можна віднести:

- великі габарити та масу;
- відносно низький ККД відповідно до інших типів лазерів.

Твердотільні лазери – це лазери, в яких в якості активного середовища використовують тверду матрицю, насичену іонами. У якості активного середовища використовують кристали рубіну, сапфіру чи неодимове скло. Перевагами такого лазера є:

- можливість отримання коротких та потужних імпульсів;
- широкий спектр застосування.

Серед недоліків:

- великі габарити та маса;
- висока вартість;
- потреба в постійному охолодженні;
- порівняно низька частота імпульсів.

І останнім типом лазера є напівпровідниковий лазер, або ж лазерний діод. Має великий спектр довжин хвиль, що залежить від вибору матеріалу активної області. Дозволяє отримати випромінювання у видимому, інфрачервоному та ультрафіолетовому спектрі. Перевагами є:

- мала вага та габарити;
- низька вартість;
- широкий спектр випромінювання;
- висока частота імпульсів;
- високе ККД;
- необов'язкове охолодження.

Недоліками цього типу лазерів є:

- вплив температури зовнішнього середовища;
- висока розбіжність пучка.

Для далекометрії найбільш підходять саме напівпровідникові лазери, що дозволяють створити дешевий та компактний пристрій.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лазерні діоди часто можна побачити в готових лазерних модулях, які можуть складатися з лазерного діода, електронних компонентів для керування лазером, а для потужних лазерів присутня система охолодження та інші компоненти.

Також при вимірюванні потрібно враховувати, що світло у середовищі розповсюджується не ідеально, а має властивості відбиватися, розсіюватися, заломлюватися та поглинатися. Тому у ясний сонячний день дальність вимірювання може сильно зменшитися, оскільки це призведе до розсіювання лазерного випромінювання.

Також потрібно враховувати дифузне відбиття світла від поверхні. Тобто відбиття, яке виникає при потраплянні лазерного проміння на поверхню, буде відбиватися у різні сторони. Частина цього сигналу може розсіятися під час відбиття і не повернутися чітко назад на приймач випромінювання.

1.3. Сучасні сфери використання далекомірів

Далекомір застосовується у дуже багатьох сучасних сферах. Найпростішим прикладом його використання є система автофокусування на камерах мобільних телефонів або фотоапаратів. Особливо це корисно при макрозйомці: далекоміри можуть дуже точно виміряти відстань до потрібного об'єкта, і потім вже за допомогою програмного забезпечення встановлюється потрібна фокусна відстань. Також використання приладів для вимірювання відстані корисно в медицині, наприклад, при операціях на серці, чи інших органах, де потрібна акуратність та точність, або при діагностиках патологій [3].

Однією з сфер, де постійно використовуються далекоміри, є будівництво. Використовують їх на всіх стадіях, починаючи від планування, коли починають вимірювати потрібну територію під забудівлю, і закінчуючи визначенням довжини будинку, для встановлення водостічних жолобів. Використовують їх

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

також для перевірки якості проведених робіт. Ще однією такою сферою є геодезія, далекоміри активно використовують при створенні топографічних карт, вимірюванні площі, висот та іншого.

Далекометрія важлива у астрономії для визначення відстані до різних космічних тіл, таких як: планети, астероїди, метеори, комети та інше. Астрономи також використовують цю технологію у різних космічних місіях. Наприклад, при стикуванні космічних кораблів до міжнародної космічної станції, чи у місіях на Марсі та Місяці, де використовують марсоходи чи місяцеходи. Адже це дуже відповідальна та точна робота, тому дані з далекоміра на цих пристроях дуже допомагають операторам керувати ними.

Також важливу роль відіграє далекомір у військовій справі, особливо в наш час, коли створюються нові технології для знищення ворога. Його роль помітна у роботі снайпера, адже йому потрібно як найточніше визначати відстань до цілі, щоб робити влучні постріли. Далекіміри дуже корисні у розвідці: для визначення відстані до ворога та його укріплень. Знайшов застосування цей прилад також в системах навігації ракет, адже їм дуже важливо підтримувати низьку висоту для обходу ППО противника. Оскільки ми перейшли у часи, коли більшість військових дій відбувається за допомогою БПЛА, тому ці апарати почали оснащувати різними датчиками, включаючи далекомір [4].

Ще однією сферою в якій використовують далекомір є автомобільна галузь, а саме автопілотування. Спочатку автобудівні компанії почали використовувати парктроніки у своїх автомобілях, що значно спростило паркування автомобіля. Згодом з'явилися камери, які дають змогу бачити, що відбувається навколо автомобіля, зменшивши ймовірність аварії при паркуванні майже до нуля. Зараз же з'являються автомобілі з автопілотом, який працює за допомогою штучного інтелекту, що бере дані з камер та датчиків відстані. Особливого успіху в цьому досягла компанія Tesla з їх автомобілями. Проте ця технологія ще далеко не ідеальна і потребує вдосконалення. Адже

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стаються випадки, коли штучний інтелект неправильно розпізнає перешкоду, що призводить до аварій.

Також поєднання пристроїв для вимірювання відстані та штучного інтелекту має важливу роль у робототехніці. Адже дуже важливо знати точну відстань до перешкод або до об'єктів, якими маніпулює робот. Мабуть однією з провідних компаній у робототехніці, яка досягла не малих досягнень, є Boston Dynamics. Вони досягли того, що їх роботи мають чіткі рухи, вміють визначати відстань до перешкод, розміри та долати їх.

Варто згадати про використання технологій вимірювання відстані у створенні 3D моделей. Застосовується для цього технологія LIDAR, яка дозволяє сканувати глибину зображення і таким чином формуються ці тривимірні моделі. Прикріпивши такий пристрій до дрона, можна формувати 3D зображення місцевості. Цю технологію компанія Apple почала встановлювати в свої смартфони, тобто тепер кожен власник їх продукції може цим скористатися. Окрім створення комп'ютерних 3D моделей, далекоміри застосовуються при їх друці [5].

1.4. Класифікація далекомірів

Класифікують далекоміри за принципом їх дії, тобто існують:

- далекоміри активної дії;
- далекоміри пасивної дії.

До активних далекомірів відносять:

- лазерний далекомір;
- ультразвуковий далекомір;
- світловий далекомір.

Далекоміри пасивної дії можна розділити на:

- оптичні далекоміри;
- нитяні далекоміри.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому загальна класифікація далекомірів за принципом дії, буде виглядати так (рис. 1.2).

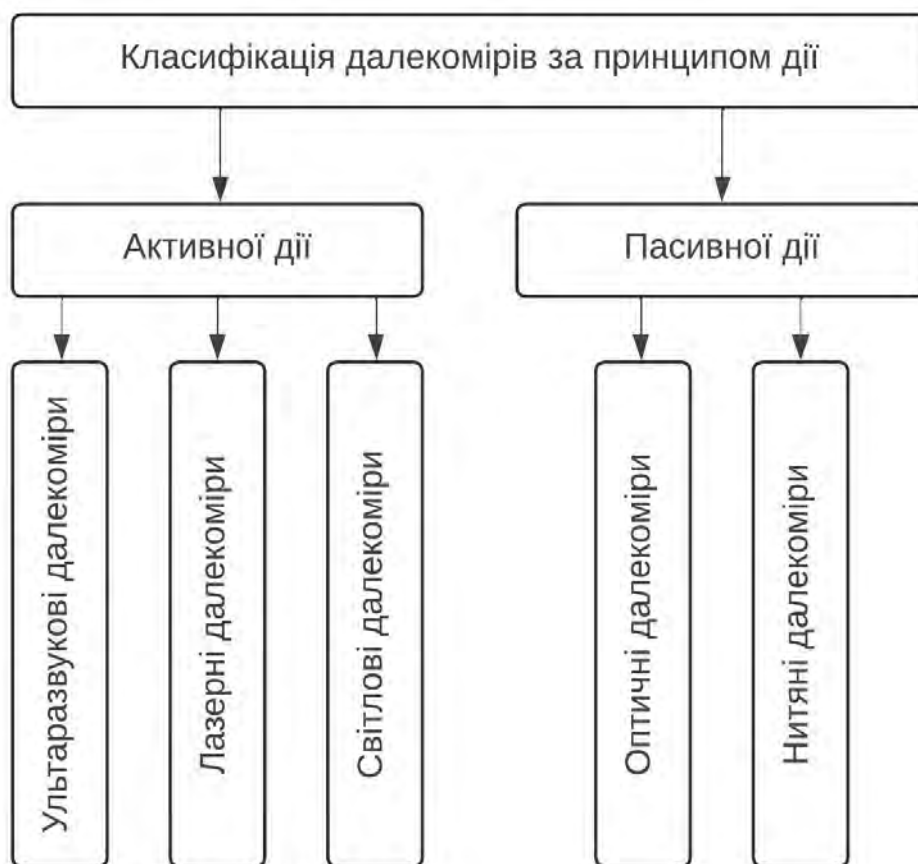


Рис 1.2 Класифікація далекомірів за принципом дії

Ще одним способом класифікації далекомірів є класифікація за типом вимірювання. Отже можна виділити такі типи:

- вимірювання відстані;
- вимірювання швидкості;
- вимірювання площі та об'єму.

Також їх можна класифікувати за областю застосування:

- геодезичні;
- будівельні;
- медичні;
- промислові.

За технічними характеристиками:

- точність вимірювання;
- максимальна відстань вимірювання;
- швидкість вимірювання.

За конструкцією та форм-фактором:

- ручні;
- станційні;
- вбудовані.

1.5. Принцип роботи приладів для вимірювання відстані

Принцип дії далекомірів активної дії ґрунтується на вимірювання часу, протягом якого сигнал, що випускає далекомір, досягне потрібного об'єкту, відіб'ється та повернеться назад до чутливого елемента. Використовують для цього світлові або звукові сигнали, оскільки швидкість світла та звуку є сталими величинами, це дозволяє легко визначити відстань до об'єкту [6].

На відміну від активного типу далекоміри пасивної дії не посилають ніякого сигналу. Їх робота ґрунтується на геометричних законах. Для цього використовують рівнобедрений трикутник ABC (рис. 1.3) [7].

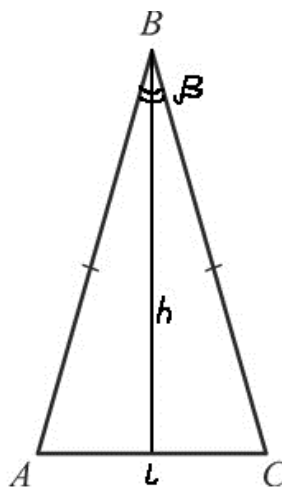


Рис. 1.3. Рівнобедрений трикутник який використовують у далекомірах пасивної дії

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точка В на рівнобедреному трикутнику є об'єктом, відстань до якого необхідно визначити. Отже, для знаходження відстані до об'єкту потрібно розрахувати висоту рівнобедреного трикутника:

$$h = \frac{l}{\beta} \quad (1.2)$$

де величина l є базою рівнобедреного трикутника,

$$l = AC \quad (1.3)$$

а величина β є паралактичним кутом і виражається в радіанах .

Одна з цих величин буде сталою, а інша – змінною, яку потрібно визначити. Тому такі далекоміри розрізняють за ознакою на:

- далекоміри з постійним кутом;
- далекоміри з постійною базою.

Саме лазерні далекоміри, набули найширшого спектру застосування [8]. Використовують їх в робототехніці, виробництві, архітектурі, у військових цілях та інших галузях. Вони здобули таку популярність завдяки їх точності та швидкості роботи. Розділяють лазерні далекоміри за методом їх роботи:

- імпульсні;
- фазові.

Різниця між цими методами полягає в тому, що в основі імпульсного методу лежить вимірювання часу між проходженням лазерного імпульсу від пристрою до об'єкту і назад, коли фазовий метод визначає відстань за різницею фази сигналу на випромінювачі та відбитого сигналу на приймачі.

1.5.1. Імпульсні далекоміри

Як вже було сказано вище, суть роботи імпульсних далекомірів полягає у визначенні часу між випромінюванням зондуючого моноімпульсу і моменту потрапляння відбитого від об'єкта моноімпульсу на приймач.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерелом цього випромінювання слугує імпульсний лазер, частіше напівпровідниковий, інколи у дорогих далекомірах зустрічається твердотільний лазер.

Розглянемо детальніше принцип роботи такого далекоміра. У системі далекоміра присутні два ФП. При формуванні лазерного імпульсу частина його випромінювання потрапляє на перший ФП. Далі лазерний імпульс прямує до ОК, відбивається назад і потрапляє в приймальний канал. Цей приймальний канал складається з приймального об'єктива, другого ФП, та підсилювача сигналу. Паралельно з цим в момент потрапляння сигналу на перший ФП, починає свою роботу вимірювач часових інтервалів, працює він до моменту, поки відбитий сигнал не потрапить на другий ФП.

Визначений за допомогою вимірювача часових інтервалів час, можна застосувати у формулі (1.1) і розрахувати відстань до об'єкта.

Основними похибками, які мають місце при цьому методі, є похибки, що виникають у наслідок вимірювання часових інтервалів. Можна виділити такі похибки:

- систематична похибка. Виникає в наслідок різних затримок сигналу в каналах фіксації випромінюваного і прийнятого імпульсу;
- похибка кінцевої дискретності вимірювача часових інтервалів;
- похибка тимчасової фіксації імпульсів випромінювання.

Систематична похибка, яка виникає в наслідок різних затримок сигналу в каналах фіксації випромінюваного і прийнятого імпульсу, можливо мінімізувати, якщо подавати початковий та кінцевий імпульси до одного ФП. У системах без такого поєднання цю похибку можна усереднити за допомогою кількох вимірювань одного того самого об'єкта.

Також на похибку вимірювань буде впливати вимірювач часових інтервалів. Оскільки присутня несинхронність між внутрішньою тактовою частотою приладу та моментами, в яких відбувається випромінювання

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зонduючого імпульсу. Похибка, яка була викликана дискретністю, може викликати похибку $\pm 1-2$ м до вимірююю відстані.

Оскільки сигнал, який випромінюється, та сигнал, який приходить на другий ФП, неідеально схожі, оскільки на сигнал впливає середовище, коефіцієнт відбиття та дальність до об'єкта, виникає похибка тимчасової фіксації імпульсів випромінювання. Також на це може впливати накладання шумів.

Тому для фіксації часу потрапляння відбитого імпульсу використовують поріг спрацювання. Тобто, як тільки напруга відбитого лазерного імпульсу перетинає цей поріг, вимірювач часових інтервалів припиняє вимірювати час.

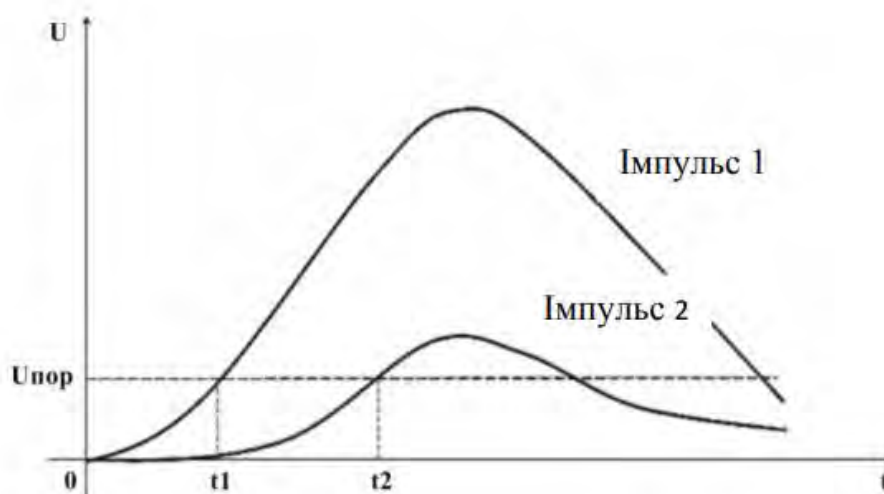


Рис. 1.4. Фіксація імпульсу за часом

На рис. 1.4 можна це прослідкувати, де $U_{пор}$ – це поріг спрацювання ФП, а t_1 і t_2 – момент фіксування відбитих імпульсів.

Далекоміри такого типу здатні вимірювати відстань, починаючи з десятих частин метра до десятків кілометрів. Але при цьому зі збільшенням відстані, яку потрібно виміряти, буде збільшувати і його похибка [7, 9].

1.5.2. Фазові далекоміри

На відміну від імпульсних далекомірів фазові далекоміри мають істотно меншу дальність вимірювання, приблизно 50-80 метрів, але це компенсується більшою точністю. Для цього типу далекомірів використовують напівпровідниковий лазер.

Відстань визначається за допомогою порівняння фаз модульованого сигналу, який потрапляє на ФП, з фазою ОС, тобто сигналу джерела випромінювання [10, 11].

Щоб знайти відстань, яку проходить хвиля за певний час, потрібно застосувати формулу:

$$l = ct \quad (1.4)$$

де c – швидкість поширення світла.

У той час фаза модульованого лазерного випромінювання, що пройшло від джерела до об'єкту і назад, зміниться на [12, 13]:

$$\varphi = 2\pi f_m t \quad (1.5)$$

де f_m – частота модуляції випромінювання.

З цих виразів можна отримати формулу для визначення дальності до об'єкта:

$$l = c \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_m} \quad (1.6)$$

Також слід пам'ятати, що при вимірюванні присутня похибка $\Delta\varphi$, тому цю погрішність у вимірюванні відстані можна визначити так [14]:

$$\Delta l = c \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_m} \quad (1.7)$$

Дивлячись на вираз (1.7), можна зробити висновок, що мінімізувати похибку можна збільшивши частоту модуляції. Але є і обмеження у виборі

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоти модуляції, оскільки для визначення відстані зміна фази не має перевищувати 2π . Це означає, що подвійна відстань не може бути більшою за довжину хвилі модуляції.

Тому фазові далекоміри використовують декілька частот модуляції. Для визначення максимальної дальності використовують низькі частоти. Якщо похибка буде перевищувати задану, береться більша частота модуляції.

Для визначення різниці фаз у фазових далекомірах використовують інтегральні фазові детектори. Роблять це порівнюючи відбитий та ОС, і вимірюють різницю фаз від 0° до 180° , при цьому похибка таких приладів становить від $0,5^\circ$ до 1° [15].

Оскільки зміна фази нашого сигналу, що йде до об'єкта і назад, не може перевищувати π , то максимальна подвійна дистанція, яку може виміряти далекомір, визначається половиною довжини хвилі частоти модуляції:

$$2l_{max} \leq \frac{1}{2} T_1 c \quad (1.8)$$

де T_1 – період модуляції першої частоти.

Тоді частота першої модуляції:

$$f_{1m} \leq \frac{c}{4l_{max}} \quad (1.9)$$

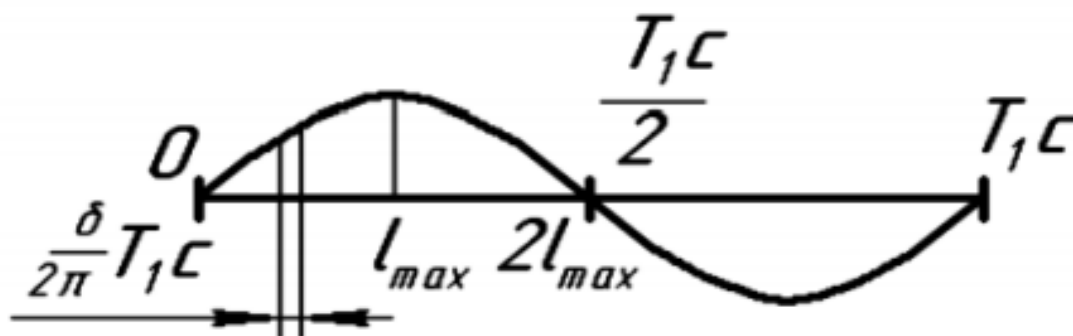


Рис. 1.5. Зображення одного періоду модуляції

У випадку, коли похибка більша за задану, використовується вища частота модуляції. При тому потрібно, щоб похибка на першій частоті модуляції не перевищувала половину довжину хвилі другої.

$$\Delta l_1 \leq \frac{1}{2} T_2 c \quad (1.10)$$

де T_2 – період модуляції другої частоти.

$$f_{2m} \leq \frac{c}{4\Delta l_1} \quad (1.11)$$

Похибка другої частоти модуляції визначається так:

$$\Delta l_2 = c \frac{\delta\varphi_2}{4\pi f_{2m}} \quad (1.12)$$

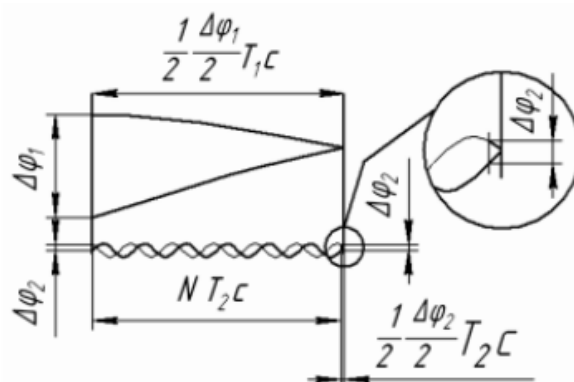


Рис. 1.6. Процес поширення модульованого сигналу

Отже, зробивши підсумки, остаточна формула для знаходження відстані до об'єкта виглядає так:

$$l = N \frac{c}{f_{2m}} + \frac{1}{2} \frac{c\varphi_2}{2\pi f_{2m}} \quad (1.13)$$

де N відповідає цілим довжинам хвилі високочастотної модуляції [7].

$$N = \frac{f_{2m}}{4\pi} \left(\frac{2\varphi_1}{f_{1m}} - \frac{\varphi_1}{f_{2m}} \right) \quad (1.14)$$

1.6. Обґрунтування вибору фазового далекоміра

Якщо подивитися на вже існуючі варіанти, можна помітити, що виробники частіше акцентують увагу саме на точності вимірювання. І справді, саме фазовий метод визначення відстані допомагає здобути найточніші результати. Існує великий простір для покращення даного методу, адже все залежить від кількості вибраних частот модуляції. Проте збільшення частот модуляції призводить до збільшення електричної схеми пристрою.

Але це не означає, що імпульсний метод вимірювання поганий і про нього потрібно забути заради підвищення точності вимірювань. Імпульсні далекоміри є дуже легкими і дешевими у виробництві. Їх точності для вирішення ряду завдань є цілком достатньою.

Отже дивлячись на все, що було написано вище, вибір пав на фазовий далекомір саме через його високу точність, меншу схильність до похибок та швидкість роботи.

1.7. Огляд аналогів розроблюваного приладу

На ринку зараз можна зустріти багато різних виробників далекомірів. Вони відрізняються ціною, методами, точністю та дальністю вимірювання. Для порівняння візьмемо далекоміри марок INTERTOOL, Flus, DeWALT та BOSCH.

Почнемо з найдешевшого далекоміра марки INTERTOOL моделі MT-3055.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.7. Далекомір INTERTOOL MT-3055

Характеристики далекоміра INTERTOOL MT-3055:

- ціна – 1699 грн;
- максимальна дальність вимірювання – 60 м;
- точність вимірювання – ± 2 мм;
- мінімальна дальність вимірювання – 2 мм;
- номінальний час вимірювання – 0,3 сек;
- робочий температурний діапазон – від 0 до 40°C;
- габарити – 120x50x29мм;
- вага – 400 г.

Наступний більш дорожчий далекомір від компанії Flus моделі FL-60.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рис. 1.8. Далекомір Flus FL-60

Характеристики далекоміра Flus FL-60:

- ціна – 2850 грн;
- максимальна дальність вимірювання – 60 м;
- точність вимірювання – $\pm 1,5$ мм;
- мінімальна дальність вимірювання – 4 мм;
- номінальний час вимірювання – 0,3 сек;
- робочий температурний діапазон – від 0 до 40°C;
- тип лазера – 630~670 нм, <1 мВт;
- габарити – 118x53x26мм;
- вага – 225 г.

Перейдемо до ще дорожчого далекоміра від компанії DeWALT моделі DWHT77100.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рис. 1.9. Далекомір DeWALT DWHT77100

Характеристики далекоміра DeWALT DWHT77100:

- ціна – 3299 грн;
- максимальна дальність вимірювання – 30 м;
- точність вимірювання – $\pm 0,3$ мм;
- мінімальна дальність вимірювання – 20 см;
- робочий температурний діапазон – від 0 до 40°C;
- тип лазера – 620~690 нм, <1 мВт;
- габарити – 120x48,5x26мм;
- вага – 100 г.

Останній далекомір від компанії BOSCH моделі GLM 40 PROFESSIONAL.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



Рис. 1.10. Далекомір BOSCH GLM 40 PROFESSIONAL

Характеристики далекоміра BOSCH GLM 40 PROFESSIONAL:

- ціна – 3469 грн;
- максимальна дальність вимірювання – 30 м;
- мінімальна дальність вимірювання – 15 см;
- точність вимірювання – $\pm 0,15$ мм;
- номінальний час вимірювання – $< 0,5$ сек;
- робочий температурний діапазон – від 0 до 40°C;
- тип лазера – 635нм, < 1 мВт;
- габарити – 105x41x24мм;
- вага – 90 г.

Проаналізувавши характеристиками різних далекомірів можна зробити висновок, що зі збільшенням ціни зростає точність вимірювань та зменшуються габарити приладу. Але збільшення ціни в цьому ціновому діапазоні не означає збільшення дальності вимірювання. У найбільш дорогих моделях виробники роблять ставку саме на точність визначення відстані.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 1.1. Порівняння характеристик далекоміра

Характеристика \ Далекомір	INTERTOOL MT-3055	Flus FL-60	DeWALT DWHT77100	BOSCH GLM 40
Ціна	1699 грн	2850 грн	3299 грн	3469 грн
Максимальна дальність вимірювання	60 м	60 м	30 м	30 м
Мінімальна дальність вимірювання	2 мм	4 мм	20 см	15 см
Точність вимірювання	±2 мм	±1,5 мм	±0,3 мм	±0,15 мм
Номінальний час вимірювання	0,3 сек	0,3 сек	–	<0,5 сек
Робочий температурний діапазон	від 0 до 40°C	від 0 до 40°C	від 0 до 40°C	від 0 до 40°C
Тип лазера	–	630~670 нм, <1 мВт	620~690 нм, <1 мВт	635нм, <1 мВт
Габарити	120x50x29мм	118x53x26мм	120x48,5x26мм	105x41x24мм
Вага	400 г	225 г	100 г	90 г

Висновки до першого розділу

Отже далекоміри – це пристрої, які створені для визначення відстані до об'єкту. Сучасні далекоміри мають більше функцій, у них з'явилась пам'ять, що може зберігати результати вимірювань для різних геометричних обчислень.

Часто можна побачити класифікацію далекомірів саме за принципом їх роботи. Отже існують два таких типи: активні та пасивні. Відрізняються вони тим, що активні далекоміри використовують випромінювання, швидкість якого заздалегідь відома. Пасивні ж ґрунтуються на законах геометрії.

Серед активного типу частіше використовують лазерні далекоміри через їх швидкість та точність. Існує два методи визначення відстані за допомогою

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лазера: імпульсний та фазовий. Імпульсний ґрунтується на вимірюванні часу, протягом якого лазерне випромінювання відіб'ється від об'єкту та повернеться. Фазовий метод ґрунтується на зміні фази сигналу.

Провівши розбір та аналіз цих двох методів, для подальшого проектування приладу обрано саме фазовий метод завдяки його високій точності вимірювання.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ФАЗОВОГО ДАЛЕКОМІРА

2.1. Розробка структурної схеми приладу

Розглядаючи розділ, де було описано принцип роботи фазового методу визначення відстані, розроблено структурну схему фазового далекоміра, який зображений на рис. 2.1 [16].

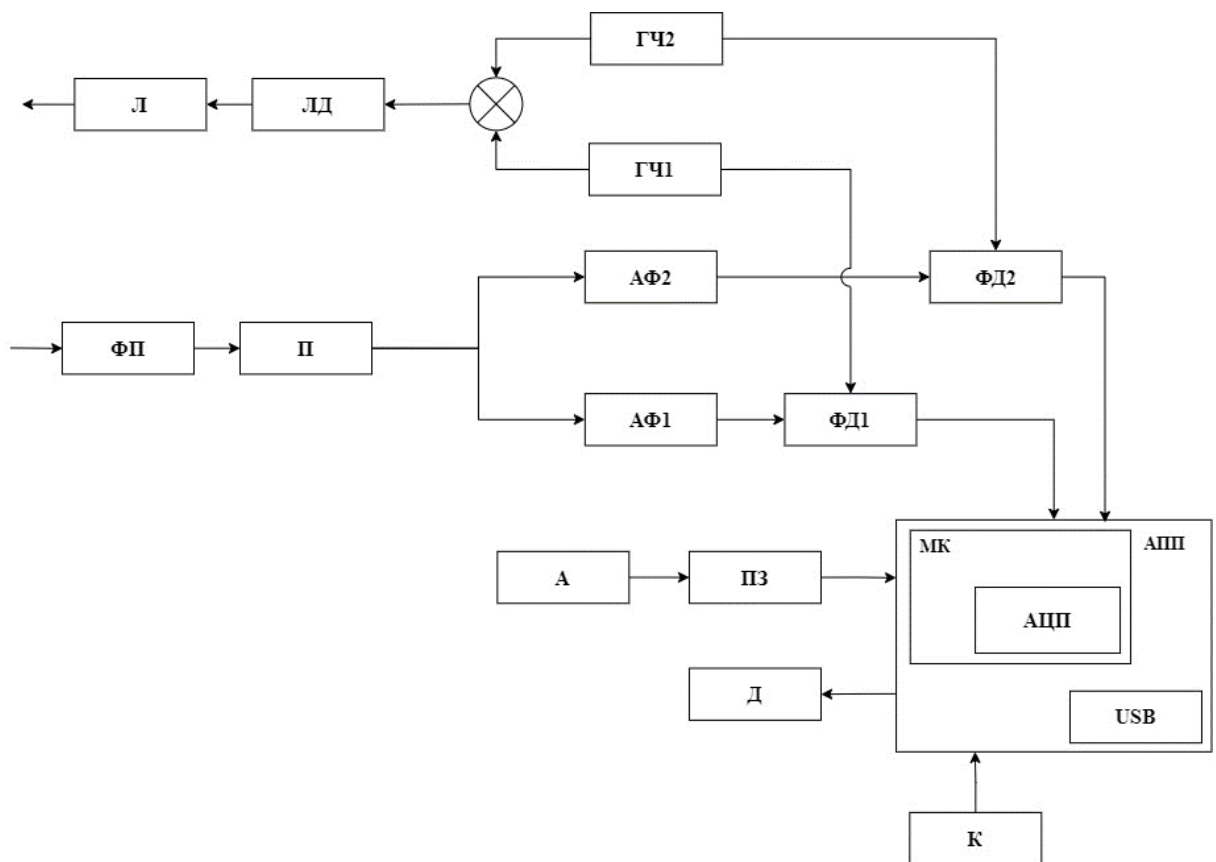


Рис. 2.1. Структурна схема фазового далекоміра

Умовні позначення на схемі:

- Л – лазер;
- ЛД – лазерний драйвер;
- ФП – фотоприймач;
- П – підсилювач;
- ГЧ – генератор частот;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК 0112.00.00.0000

Арк.

34

- АФ – активний фільтр;
- ФД – фазовий детектор;
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- АПП – апаратно-програмна платформа;
- МК – мікроконтролер;
- USB – порти для передачі даних;
- К – кнопки управління;
- Д – дисплей;
- ПЗ – плата зарядки;
- А – акумулятор.

Тепер детальніше розглянемо принцип роботи цієї схеми. Як було вже згадано в розділі про фазові далекоміри, для коректної роботи далекоміра потрібні дві частоти, тому в схемі використовуються два генератора частот. Перший генератор ГЧ1 генерує низькочастотний сигнал f_1 , який відповідає максимальній дальності. А інший генератор ГЧ2 генерує сигнал вищої частоти f_2 , який визначає задану допустиму похибку далекоміра. Далі сигнали з генераторів попадають до фазового детектора в якості ОС. У той же час ці сигнали логічно підсумовуються та потрапляють до драйвера лазера ЛД, який модулює струм збудження напівпровідникового лазера Л. Після відбиття від ОК лазерне випромінювання зі зміненою фазою, модульоване одночасно двома частотами, потрапляє до ФП та підсилюється в підсилювачі П. Потім цей сигнал прямує до двох активних фільтрів АФ1 та АФ2, налаштованих на частоти f_1 та f_2 . Зі складного сигналу утворюється два сигнали, що потрапляють на фазові детектори. Перший фазовий детектор ФД1 порівнює опорний низькочастотний сигнал f_1 з сигналом, який прийшов з першого активного фільтра АФ1. Коли другий фазовий детектор ФД2 порівнює сигнал більшої частоти f_2 з сигналом, який отримується з активного фільтра АФ2. На виходах ФД1 та ФД2 отримуються дві напруги, що пропорційні фазовому зсуву. Ці напруги

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передаються в АПП, а саме до АЦП, що перетворює їх у цифровий сигнал для подальшої обробки у МК. До АПП під'єднують акумулятор А разом з платою зарядки ПЗ. Також використовується дисплей Д для візуалізації інформації та вимірювань, кнопки управління К та USB порт для перепрошивки та обміну даними з МК.

2.2. Розробка оптичної системи приладу

При побудові далекомірів використовують ОПС, які складаються з двох каналів. Перший – канал коліматора, потрібен для перетворення лазерного випромінювання, яке випромінюється з лазерного діоду з певною розбіжністю пучка, на паралельний пучок променів. Другий – канал об'єктиву, потрібен для фокусування відбитого сигналу на ФП [17-23]. Перш ніж приступати до синтезу та моделювання ОПС, потрібно обрати лазерний діод та приймач випромінювання, далі, орієнтуючись на характеристики обраних пристроїв, можна переходити до синтезу.

Для розробки ОПС використовується програмне забезпечення Zemax [24-26].

ОПС буде мати такий вигляд (рис. 2.2), де 1 – це лінза коліматора, а 2 – лінза об'єктива.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

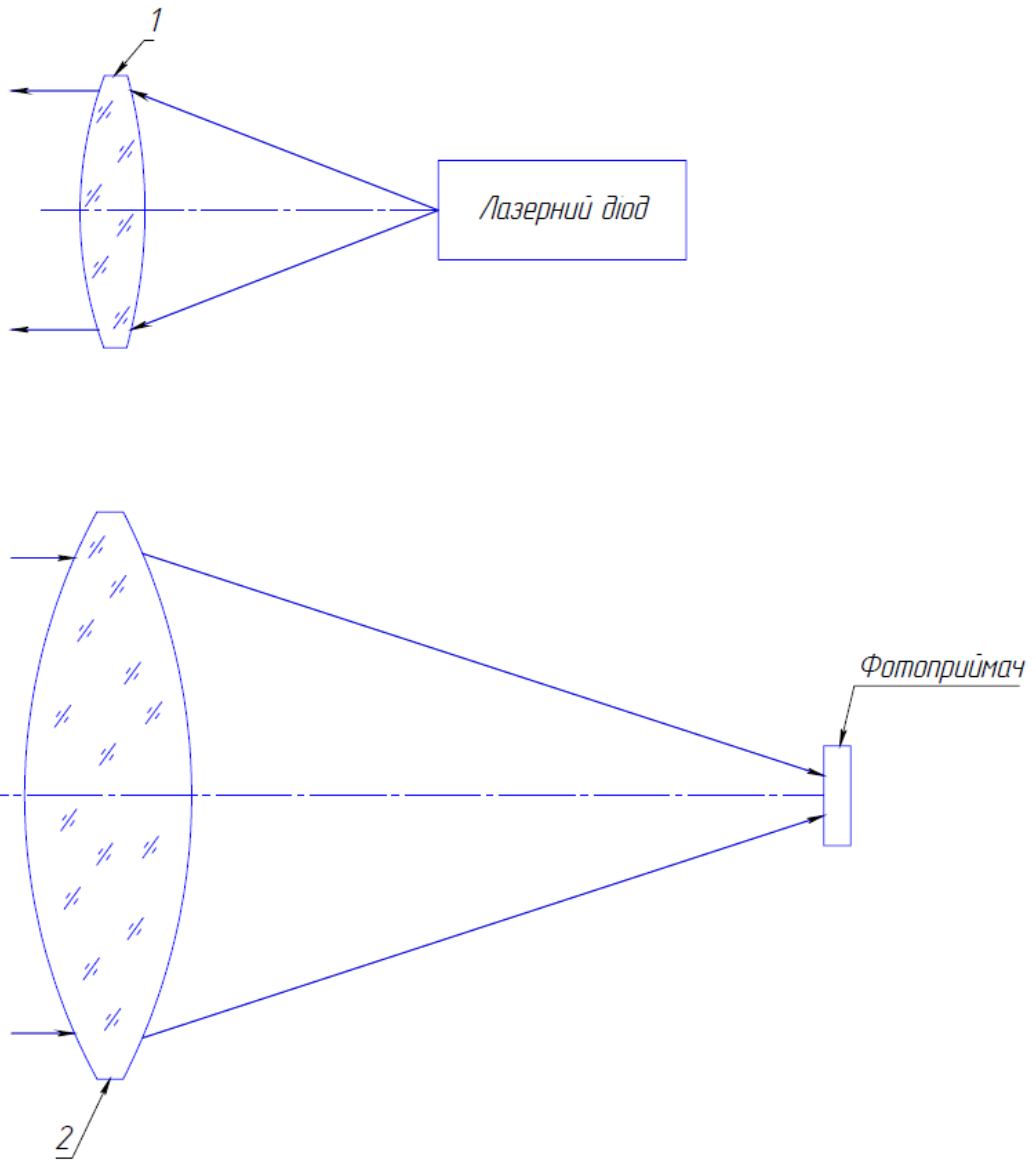


Рис. 2.2. Загальна схема ОПС фазового далекоміра

2.2.1. Синтез та моделювання каналу коліматора

Для лазерних далекомірів, оптимальним вибором лазерного діода є випромінювач червоного світла, а саме – з довжиною хвилі 635 нм. Червоне світло використовується через його високу проникність в середовищі та видимість для людського ока. Тому вибір пав на лазерний діод ADL-63054SL [27].



Рис. 2.3. Лазерний діод ADL-63054SL

Характеристики лазерного діода ADL-63054SL:

- потужність – 5 мВт;
- довжина хвилі – 630...640 нм;
- розбіжність пучка – 33°;
- робоча температура – -10...+50 °С;
- напруга живлення – 2,2..2,5 В;
- робочий струм – 33 мА.

Як було сказано вище, коліimatorний канал має перетворювати лазерне випромінювання з розбіжністю 33° на паралельний пучок променів. Тому конструктивні параметри коліimatorного каналу будуть виглядати так (рис. 2.4).

Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	7.440		0.000	0.000
*	Standard		10.530	2.200	LZ_N8	4.000 U	0.000
2*	Standard		-9.410	25.000		4.000 U	0.000
IMA	Standard		Infinity	-		4.000 U	0.000

Рис. 2.4. Конструктивні параметри коліimatorного каналу

Спроектований канал буде мати такий вигляд: пустотіле тривимірне зображення представлено на рис. 2.5, а тіньова модель – на рис. 2.6.

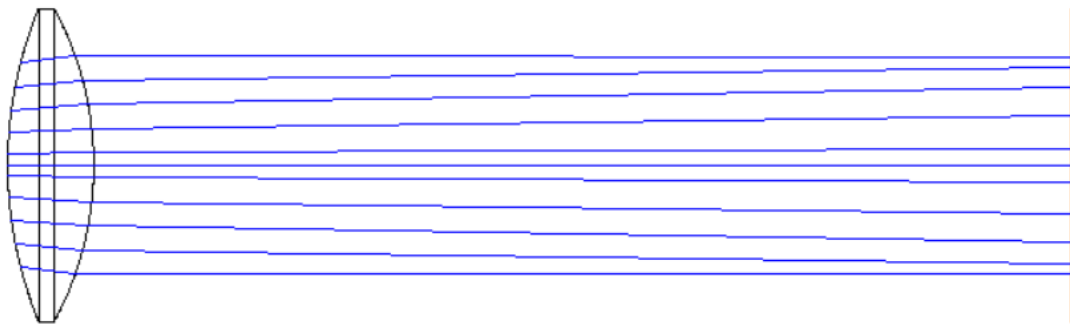


Рис. 2.5. Пустотіле тривимірне зображення коліаторного каналу

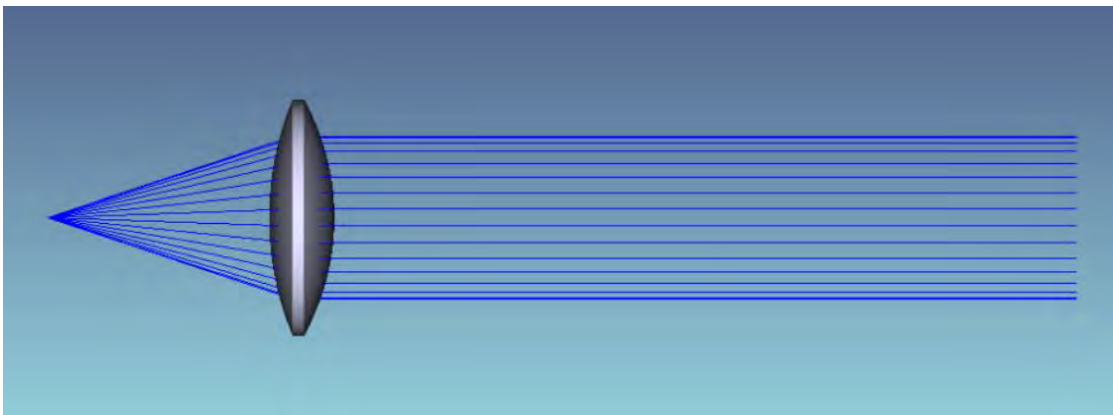


Рис. 2.6. Тіньове зображення коліаторного каналу

Також можемо оцінити форму та геометричні розміри плями розсіювання. Для цього застосуємо функцію «SPT» та отримаємо такий результат (рис. 2.7). З даного рисунку можна сказати, що діаметр плями розсіювання коліаторного каналу складає приблизно 5,5 мм.

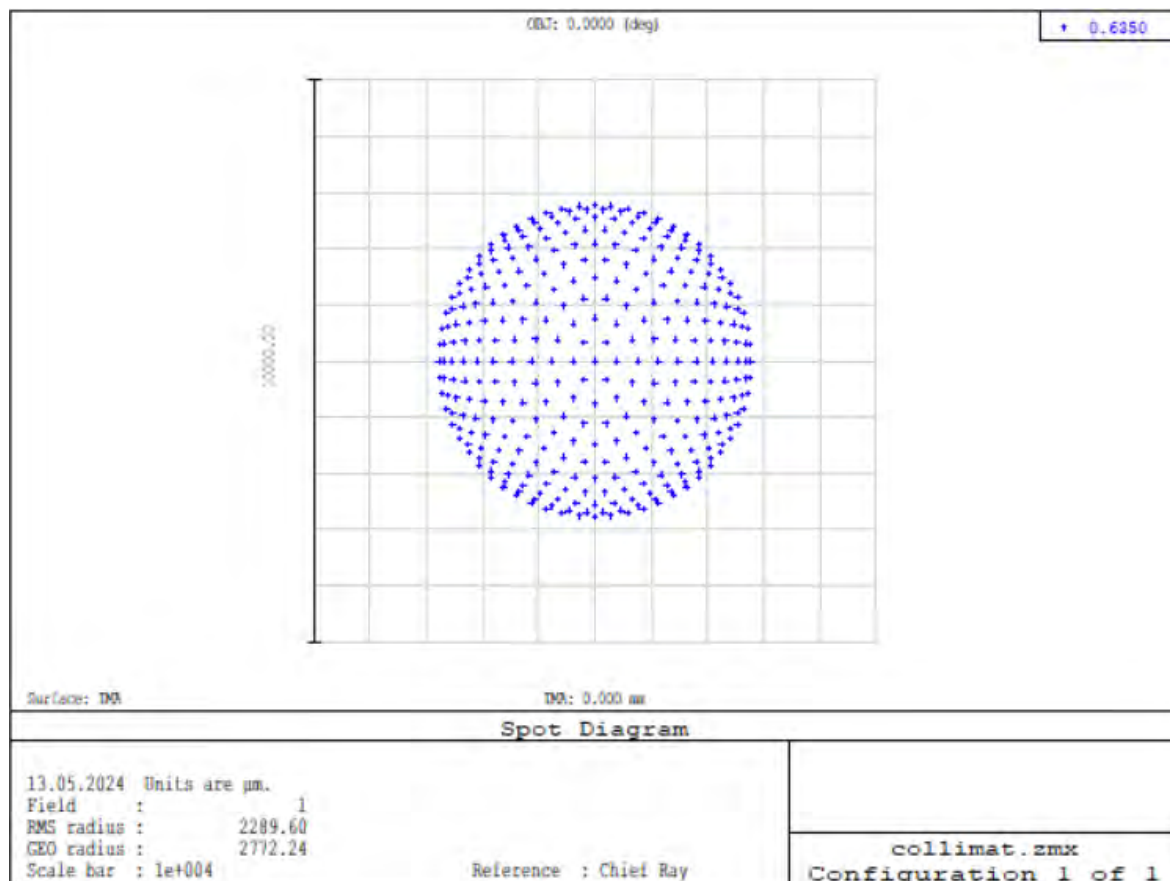


Рис. 2.7. Діаграма плям розсіювання коліаторного каналу

Також застосуємо функцію «SYS» для отримання детальної інформації про ОПС (рис. 2.8). З таблиці можна отримати таку інформацію:

- задній фокальний відрізок ОПС дорівнює 8,78 мм;
- задня фокусна відстань 9,45 мм;
- відстань від першої оптичної поверхні до площини зображення становить 27,2 мм.


```

GENERAL LENS DATA:

Surfaces          :          3
Stop              :          1
System Aperture  : Entrance Pupil Diameter = 5
Glass Catalogs   : SCHOTT INFRARED LZOS
Ray Aiming       : Off
Apodization      : Uniform, factor = 0.00000E+000
Temperature (C)  : 2.00000E+001
Pressure (ATM)   : 1.00000E+000
Adjust Index Data To Environment : Off
Effective Focal Length : 9.459826 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 9.459826 (in image space)
Back Focal Length  : 8.788343
Total Track       : 27.2
Image Space F/#   : 1.891965
Paraxial Working F/# : 11.93835
Working F/#       : 5794.032
Image Space NA    : 0.04184514
Object Space NA   : 0.3185202
Stop Radius       : 2.5
Paraxial Image Height : 0
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 5
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 5.487726
Exit Pupil Position : -26.59424
Field Type        : Angle in degrees
Maximum Radial Field : 0
Primary Wavelength : 0.635  $\mu$ m
Lens Units        : Millimeters
Angular Magnification : 0

```

Рис. 2.8. Загальна характеристика ОПС коліimatorного каналу

2.2.2. Синтез та моделювання каналу об'єктива

Основним чинником при виборі ФП для каналу об'єктива є фільтр, який працюватиме на довжині хвиль 635 нм. Під ці вимоги підходить ФП С30737ЛН-500-81 [28].

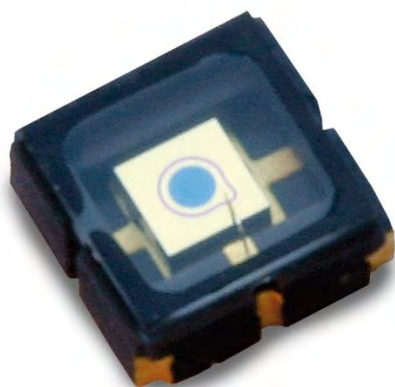


Рис. 2.9. Фотоприймач С30737ЛН-500-81

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики фотоприймача С30737ЛН-500-81:

- діаметри активної ділянки – 0.5 мм;
- довжина хвилі пікової чутливості – 635 нм;
- робоча температура – -40...+85 °С.

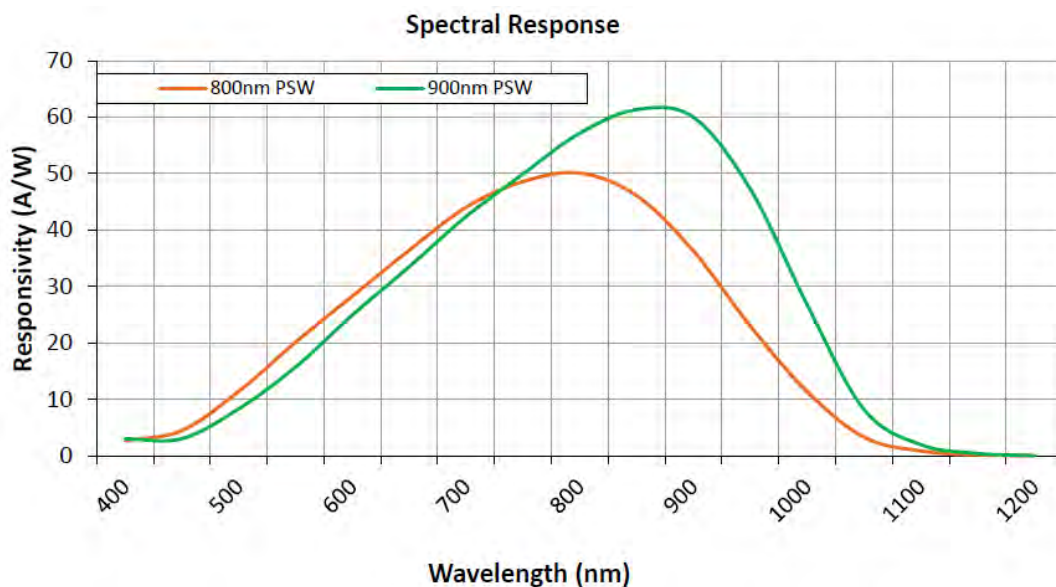


Рис. 2.10. Спектральна чутливість типового фотоприймача серії С30737

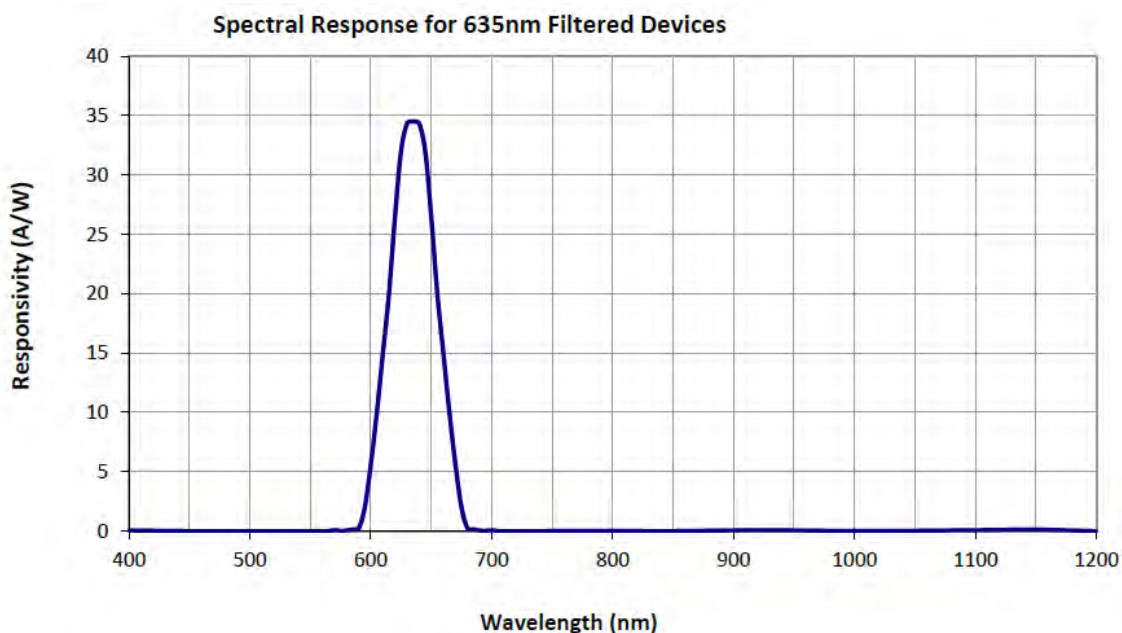


Рис. 2.11. Пропускання фільтра фотоприймача С30737ЛН-500-81

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК 0112.00.00.0000

Арк.

42

Як і у випадку коліimatorного каналу, оптична схема каналу об'єктива буде складатися з однієї лінзи. Завдання цієї системи фокусувати випромінювання на ФП, діаметр активної світлочутливості ділянки якого становить 0,5 мм [29-31]. Оптична система буде мати наступні конструктивні параметри в програмному забезпеченні Zemax (рис. 2.12):

Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity	0.000
STO	Standard		Infinity	5.000		7.500	0.000
2	Standard		26.800	2.200	LZ_K9	7.607	0.000
3	Standard		-43.400	30.090		7.568	0.000
IMA	Standard		Infinity	-		0.768	0.000

Рис. 2.12. Конструктивні параметри каналу об'єктива

ОПС буде мати наступний вигляд: пустотіле тривимірне зображення представлено на рис. 2.13, а тіньова модель – на рис. 2.14.

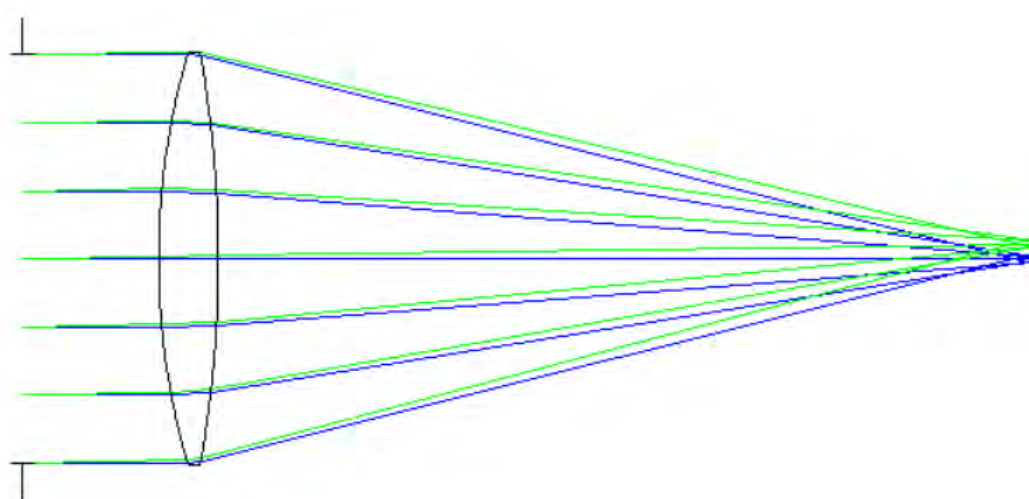


Рис. 2.13. Пустотіле тривимірне зображення каналу об'єктива

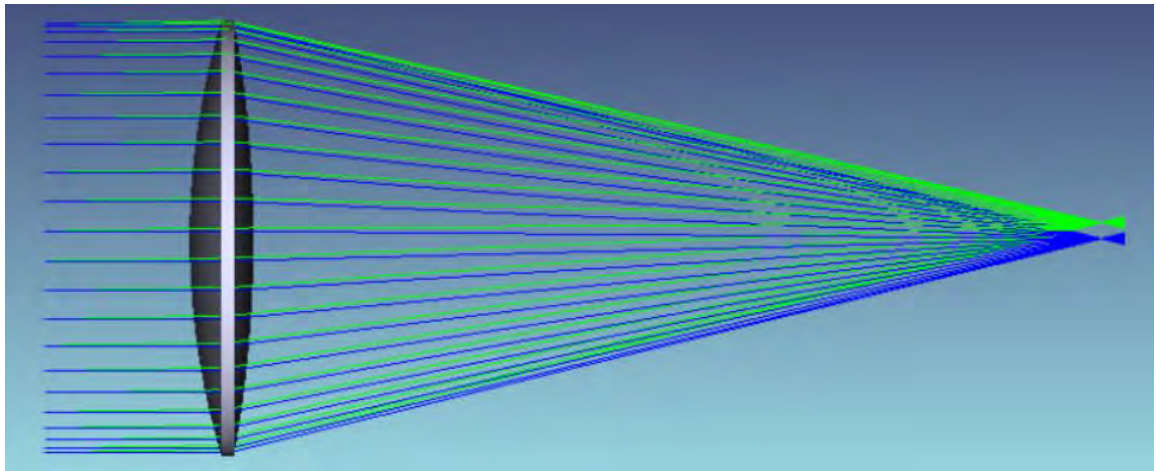


Рис. 2.14. Тіньова модель каналу об'єктива

За допомогою функції «Illumination XY Scan» отримаємо графік залежності концентрації випромінювання від розміру чутливої площадки ФП, на яку потрапляє випромінювання (рис. 2.15).

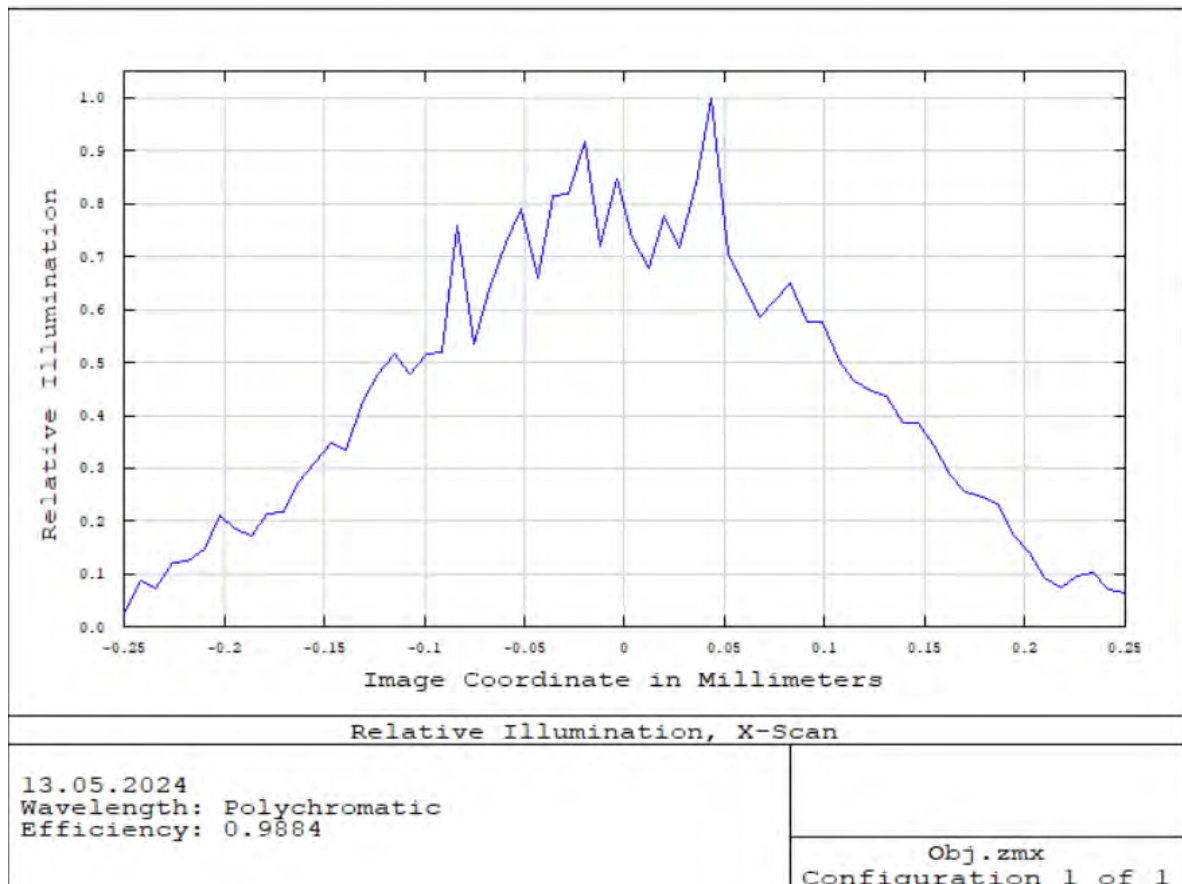


Рис. 2.15. Графік розподілу випромінювання на фотоприймачі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК 0112.00.00.0000

Арк.

44

Також за допомогою функції «Illumination XY Surface» побудуємо кольорову діаграму, яка зображує розподіл інтенсивності випромінювання на активній площадці ФП (рис. 2.16). З діаграми можна дізнатися, що ефективність оптичної системи об'єктива складає $\approx 99\%$.

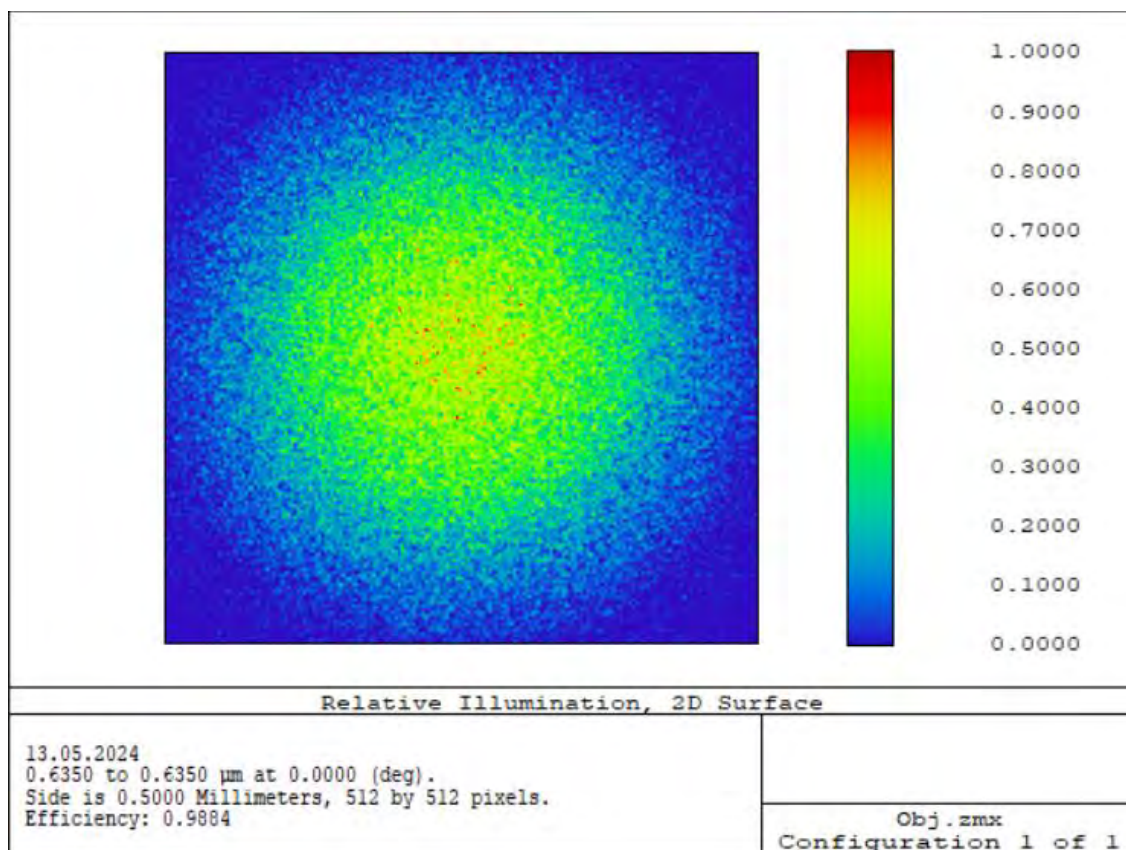


Рис. 2.16. Діаграма розподілу інтенсивності випромінювання

Застосуємо функцію «SYS» для отримання детальної інформації про ОПС (рис. 2.17). Отримаємо наступну інформацію:

- задній фокальний відрізок ОПС дорівнює 31,64 мм;
- задня фокусна довжина 32,54 мм;
- відстань від першої оптичної поверхні до площини зображення становить 37,29 мм.

GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 4
 Stop : 1
 System Aperture : Entrance Pupil Diameter = 15
 Glass Catalogs : SCHOTT LZOS
 Ray Aiming : Off
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000
 Temperature (C) : 2.00000E+001
 Pressure (ATM) : 1.00000E+000
 Adjust Index Data To Environment : Off
 Effective Focal Length : 32.54533 (in air at system temperature and pressure)
 Effective Focal Length : 32.54533 (in image space)
 Back Focal Length : 31.63765
 Total Track : 37.28996
 Image Space F/# : 2.169689
 Paraxial Working F/# : 2.169689
 Working F/# : 2.070591
 Image Space NA : 0.2245621
 Object Space NA : 7.5e-010
 Stop Radius : 7.5
 Paraxial Image Height : 0.5680809
 Paraxial Magnification : 0
 Entrance Pupil Diameter : 15
 Entrance Pupil Position : 0
 Exit Pupil Diameter : 18.09091
 Exit Pupil Position : -37.70395
 Field Type : Angle in degrees
 Maximum Radial Field : 1
 Primary Wavelength : 0.635 μm
 Lens Units : Millimeters
 Angular Magnification : 0.8291459

Рис. 2.17. Загальна характеристика каналу об'єктива

2.3. Енергетичний розрахунок випромінювання

Спочатку проведемо розрахунки параметрів ОПС коліматорного каналу та лазерного діода ADL-63054SL.

Розрахуємо опроміненість у предметній області, що формується лазером:

$$E_{op} = \frac{P}{\pi l^2 \omega^2} = \frac{0,005}{\pi \times 25^2 \times 0,1^2} = 2,546 \times 10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (2.1)$$

де P – потужність лазерного діода;

l – відстань до предметної області;

ω – кут розсіювання.

Потім перейдемо до розрахунку параметрів для ОПС каналу об'єктиву та ФП С30737LN-500-81.

Розрахуємо яскравість лазерної плями на об'єкті, відстань до якого вимірюється:

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{op} = \frac{P\rho}{\pi^2 l^2 \omega^2} = \frac{0,005 \times 0,5}{\pi^2 \times 25^2 \times 0,1^2} = 4,053 \times 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ср}^2} \quad (2.2)$$

де ρ – дифузний коефіцієнт відбиття.

Далі розрахуємо силу світла випромінювання, відбитого від об'єкту, відстань до якого вимірюється:

$$I_o = \frac{1}{\pi} P\rho = \frac{1}{\pi} \times 0,005 \times 0,5 = 7,958 \times 10^{-4} \text{кД} \quad (2.3)$$

Також розрахуємо сигнальний потік на приймачі випромінювання:

$$\Phi_c = \frac{P\rho D^2 \tau}{4l^2} = \frac{0,005 \times 0,5 \times 0,015^2 \times 0,815}{4 \times 25^2} = 1,833 \times 10^{-10} \text{Вт} \quad (2.4)$$

де D – діаметр вхідної зіниці об'єктива;

τ – сумарний коефіцієнт пропускання (оптики та атмосфери).

Висновки до другого розділу

Другий розділ дипломного проекту був присвячений проектуванню вузлів фазового далекоміра. Було розроблено структурну схему приладу та описано принцип її роботи.

Спочатку було підібрано оптимально довжину хвилі, підібрано лазерний діод та ФП для ОПС. В програмному середовищі Zemax було синтезовано ОПС для каналу коліматора та каналу об'єктива. Далі були проаналізовані характеристики цих систем.

Також при роботі над другим розділом було проведено енергетичний розрахунок випромінювання, було визначено такі параметри: опроміненість у предметній області, що формується лазером, яскравість лазерної плями на об'єкті, відстань до якого вимірюється, силу світла випромінювання, відбитого від об'єкту, та сигнальний потік на приймачі випромінювання.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ПІДБІР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ КОНСТРУКЦІІ ФАЗОВОГО ДАЛЕКОМІРА

Даний розділ присвячений підбору електричних компонентів для реалізації фазового далекоміра. При підборі компонентів основними критеріями будуть ефективність, доступність та габарити [32, 33].

3.1 Вибір апаратно-програмної платформи

В якості АПП для фазового далекоміра обрано Arduino Nano V3.0 [34]. АПП включає в себе мікроконтролер ATmega328P та 8-канальний 10-бітний АЦП, який перетворює напругу від 0 до 5 В в цілочисельні значення від 0 до 1023 [35]. Зовнішній вигляд Arduino Nano V3.0 зображено на рис. 3.1.

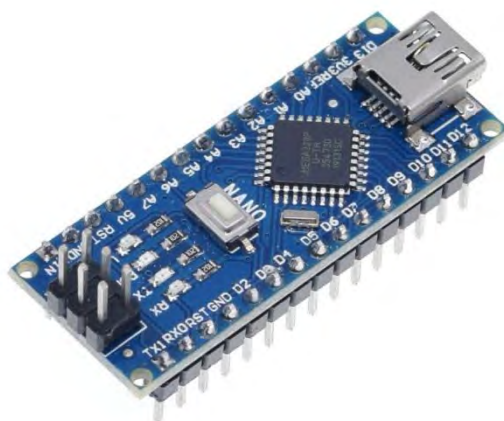


Рис. 3.1. Апаратно-програмна платформа Arduino Nano V3.0

Технічні характеристики Arduino Nano V3.0:

- робоча напруга – 5В;
- вхідна напруга – 7...12В;
- кількість входів виходів – 14 цифрових, 8 аналогових;

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

- сила струму – 40мА;
- пам'ять – 32кБ;
- SRAM – 2кБ;
- EEPROM – 1кБ;
- робоча частота – 16МГц;
- габарити – 45x18мм;
- вага – 7г.

Зовнішній вигляд мікроконтролера високої продуктивності АТmega328Р в корпусі TQFP-32 наведено на рис. 3.2 [36].

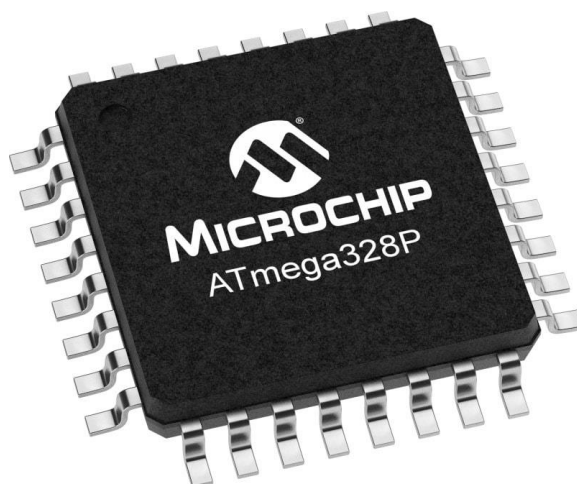


Рис. 3.2. Мікроконтролер АТmega328Р

Технічні характеристики АТmega328Р:

- ядро – AVR;
- робоча напруга – 1,8...5,5В;
- сила струму – 40мА;
- тип пам'яті – Flash;
- пам'ять – 32кБ;
- SRAM – 2кБ;
- EEPROM – 1кБ;
- максимальна робоча частота – 20МГц;

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- кількість сенсорних каналів – 16;
- кількість контактів введення/виведення – 23;
- АЦП – 8 каналів 10 біт;
- канали ШІМ – 6 ;
- тип інтерфейсу – SPI, I2C, USART.

3.2 Вибір генератора сигналу

Для створення сигналу для лазерного діода застосовується генератор сигналу DDS AD9833, який використовується для АПП Arduino [37]. Сам генератор має такий зовнішній вигляд (рис. 3.3).

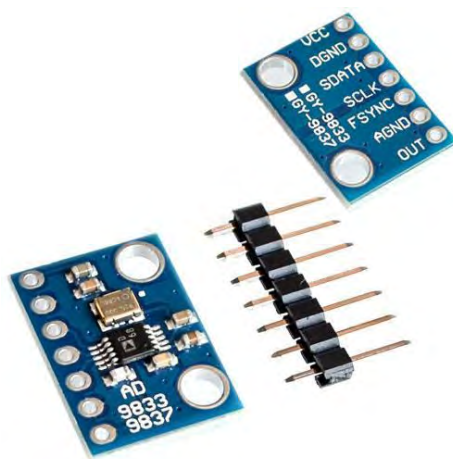


Рис. 3.3. Генератор сигналу DDS AD9833

Технічні характеристики Arduino Nano V3.0:

- типи сигналів – синусоїдальні, трикутні і прямокутні;
- діапазон частот, що генеруються – 0...25МГц;
- інтерфейс – SPI;
- напруга живлення – 2,3...5,5В;
- споживча потужність – 13мВт при 3В;
- габарити – 18,5x13мм.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

3.3 Вибір драйвера лазера

В якості пристрою для контролю випромінювання лазерного діода необхідно обрати драйвер. Також до його функцій належить стабілізація струму та модуляція сигналу. В якості драйвера лазера для далекоміра буде використаний лазерний драйвер IRS9100C [38]. Зовнішній вигляд лазерного драйвера IRS9100C показано на рис.3.4.

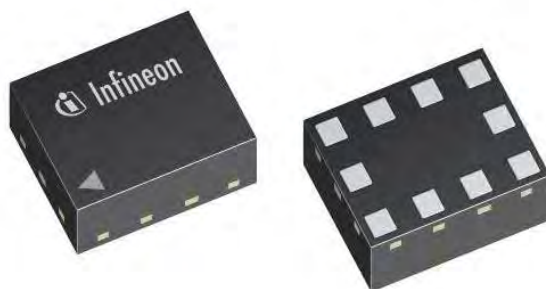


Рис. 3.4. Зовнішній вигляд лазерного драйвера IRS9100C

Технічні характеристики лазерного драйвера IRS9100C:

- напруга живлення – 2,52...3,7 В;
- частота модуляції – 10...150МГц;
- габарити – 1,1x1,5мм.

3.4 Вибір фазового детектора

Для визначення різниці фази ОС та відбитого, було обрано фазовий детектор SYPD-1+ [39]. Зовнішній вигляд фазового детектора SYPD-1+ зображено на рис. 3.5.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 3.5. Зовнішній вигляд фазового детектора SYPD-1+

Технічні характеристики фазового детектора SYPD-1+:

- вхідна напруга – 50мВ;
- пікова сила струму – 20мА;
- допустимі частоти – 1...100МГц;
- габарити – 9,65x12,7мм.

Frequency (MHz)	DC Output mV	
	\bar{X}	σ
1.00	-769.98	14.85
5.00	-830.34	8.90
8.07	-840.24	14.44
10.00	-843.71	14.61
15.14	-851.12	17.01
20.00	-859.20	18.91
22.21	-861.26	20.52
29.29	-872.02	22.55
36.36	-881.57	24.77
40.00	-886.86	25.39
43.43	-889.93	26.41
50.50	-917.82	25.99
57.57	-927.50	28.69
60.00	-917.14	33.08
64.64	-920.62	38.60
71.71	-925.22	45.18
78.79	-928.03	51.83
85.86	-932.34	57.31
92.93	-932.98	60.65
100.00	-909.17	74.27

Рис. 3.6. Залежність частоти від напруги на виході фазового детектора SYPD-1+

3.5 Вибір дисплею

Для візуалізації результатів вимірювань обрано 0,96 дюймовий OLED-дисплей з роздільною здатністю 128×64 пікселів. Також дисплей буде використовуватися для індикації рівня заряду акумулятора. Вибір даного OLED-дисплея дозволяє отримувати зображення з високою контрастністю на відміну від LCD-дисплеїв [40]. Зовнішній вигляд обраного OLED-дисплея показано на рис. 3.7.

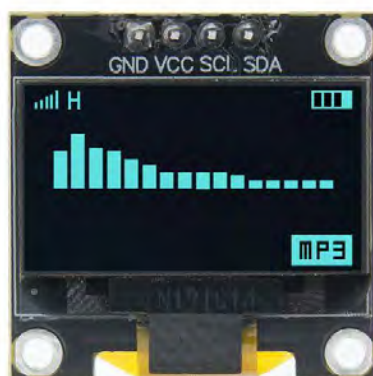


Рис. 3.7. Зовнішній вигляд OLED-дисплея

Технічні характеристики дисплея:

- роздільна здатність – 0,96 дюйма (21,7x11,2мм);
- тип матриці – OLED;
- драйвер – SSD1315;
- колір дисплея – блакитний;
- кут огляду – 160 °;
- роз’єм підключення – 4-pin (SDA/SCL/VIN/GND);
- напруга живлення – 3,3...6В;
- габарити – 27x27x8мм.

3.6 Вибір плати зарядки та акумулятора

В якості плати для зарядки акумулятора було обрано плату зарядки TP4056, розроблену спеціально для заряду літій-іонних акумуляторів. Її перевагами є компактність, простота та відносно низька вартість. Зарядна плата має зовнішній вигляд, що показаний на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Зовнішній вигляд плати зарядки TP4056

Технічні характеристики плати зарядки TP4056:

- вхідна напруга – 4,5...5,5В;
- вхідна напруга зарядки – 4,2В ± 1%;
- струм зарядки – 1А;
- роз'єм підключення – Type-C;
- габарити – 27,75×17,25мм.

Для зберігання заряду використовується літій-іонний акумулятор Westinghouse Li-ion INR18650. Він має зовнішній вигляд, схожий на звичайну пальчикову батарейку (рис. 3.9). Використовуючи декілька таких акумуляторів, можна досягти досить довгого терміну роботи приладу на одній зарядці.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



Рис. 3.9. Зовнішній вигляд літій-іонного акумулятора Westinghouse Li-ion INR18650

Технічні характеристики літій-іонного акумулятора Westinghouse Li-ion INR18650:

- типорозмір – 18650;
- номінальна напруга – 3,7В;
- ємність – 2000 мА·год.

3.7 Вибір кнопок управління

Для управління далекоміром буде використовуватися кнопка DIP 4-pin з габаритами 6×6×4 мм, що має зовнішній вигляд, показаний на рис. 3.10.



Рис. 3.10. Зовнішній вигляд кнопки DIP 4-pin

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Висновки до третього розділу

У даному розділі було розглянуто різні електричні компоненти для побудовання лазерного далекоміра. Були обрані доступні та популярні компоненти, для облегшення створення далекоміра. Для кожного компонента було вказано характеристики та його зовнішній вигляд.

В якості мозку далекоміра було обрано АПП Arduino Nano V3.0, перевагою у виборі саме цього АПП були його габарити. Також слід відзначити АЦП та мікропроцесор, які дозволяють обробляти інформацію, виводити її на дисплей та керувати далекоміром за допомогою кнопок. Для передачі даних та перепрошивки було додано USB-порт.

Також важливими компонентами, які було обрані у даному розділі є: генератор частот, лазерний драйвер та фазовий детектор. Ці елементи є основними у визначенні відстані далекоміром.

Для покращення мобільності приладу, було прийнято рішення використовувати зарядну плату та акумуляторні батарейки.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

При виконанні бакалаврського дипломного проєкту було розглянуто питання розробки сучасного пристрою для дистанційного вимірювання відстані – далекоміра.

У першому розділі були розглянуті різні методи визначення відстані та їх класифікація. Було проаналізовано фізичних основ оптичної далекометрії. Також проведено дослідження сучасного використання далекомірів у різних галузях. Класифіковано далекоміри за принципом дії, типом вимірювань, галуззю застосування та технічними характеристиками. Досліджено різні принципи роботи далекомірів, особлива увага була приділена далекомірам, які працюють за допомогою лазера. Серед лазерних далекомірів можна виділити імпульсні та фазові. Далекіметри, що працюють за імпульсним методом, використовують відлік часу для визначення відстані, коли фазові використовують різницю фаз між опорними та відбитими сигналами. На основі цього дослідження обґрунтовано вибір фазового далекоміра для подальшого проєктування. Також розглянуто аналоги розроблюваного приладу, що представлені на сучасному ринку, проаналізовано їх основні характеристики та функціонал, побудовано порівняльну таблицю.

Другий розділ матеріалу присвячено проєктуванню фазового лазерного далекоміра. Спочатку досліджено компоненти, що використовують далекоміри для своєї роботи, на основі чого спроєктовано структурну схему приладу. Другим етапом розробки було створення оптичної системи далекоміра. Для цього спочатку розглянуті різні лазерні діоди й фотоприймачі відповідного спектрального діапазону роботи та обрані найбільш підходящі за характеристиками. Далі на основі цих характеристик синтезовано та змодельовано двоканальну оптичну систему фазового далекоміра. Перший коліматорний канал відповідає за перетворення випромінювання лазерного діода в паралельний пучок променів. Другий канал, що являє собою об'єктив,

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

відповідає за фокусування лазерних променів, відбитих від об'єкту, до якого вимірюється відстань, на чутливій площадці фотоприймача. Для синтезу цих ОПС використовувалося програмне забезпечення Zemax, в ньому ж були досліджені характеристики розробленої оптичної системи.

Головною метою третього розділу дипломного проєкту є підбір електричних компонентів для побудови лазерного фазового далекоміра. Досліджено основні технічні характеристики та зображено їх зовнішній вигляд. Головними критеріями при виборі електричних компонентів були ефективність, габаритні розміри, доступність та вартість. Це робилося з метою створення портативного приладу з конкурентоспроможними для сучасного ринку характеристиками.

У результаті виконання бакалаврського дипломного проєкту було розроблено все необхідне для побудови лазерного далекоміра, що працює на основі фазового принципу роботи, який нічим не поступається існуючим аналогам.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи вимірювання відстані / Ю. В. Киричук, Р. В. БИЧУК : Вісник інженерної академії України, 2012. – 73с.
2. Використання лазерного випромінювання у медицині / Ю. О. Смолен: 2017. – 11с.
3. Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечна // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – №1. – С. 47-53.
4. Муравйов О. В. Перспективи розвитку технологій та підвищення рівня автономності БПЛА / О.В. Муравйов, І.О. Довбиш, Р.М. Галаган, Г.А. Богдан, А.С. Момот // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2023. – Том. 34 (73). – № 2. – С. 199-205.
5. Муравйов О. В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій / О. В. Муравйов, Ю. М. Нижник, В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, К. М. Серий // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – Том 32 (71), №5. – С. 114-119.
6. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю : Підручник / Р. М. Галаган ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 264 с
7. Лазерні, оптико-електронні прилади та системи Частина 1 Лазерна інформаційно-вимірювальна техніка для задач військового призначення: Монографія / Ю.П. Мачехін, О.С. Гнатенко, Ю.С. Курський, В.В. Семенець, М.В. Неофітний ; Харків, 2019. – 155с.
8. Морозов М. А. Современная лазерная дальнометрия / М. А. Морозов, А. В. Муравьёв // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научнотехнической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля. – Минск, Беларусь, 2016. – С. 38.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

9. Лазерний далекомір / Ю. Д. Зайченко, В. С. Купко, Ю. П. Мачехін: 2011. – 3с.

10. Фазовий метод ультразвукової лунаїмпульсної товщинометрії виробів з конструкційних матеріалів : Монографія / Куц Ю. В., Монченко О. В., Бистра І. М., Олійник Ю. А. ; – Київ: Інтерсервіс, 2019. – 192 с.

11. Баженов В. Г. Цифровая система измерения фазовых сдвигов радиоимпульсных сигналов» / В. Г. Баженов, Г. А. Богдан, М. В. Кравченко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №4 (46), часть 2. – С. 36-38.

12. Богдан Г. А. Застосування дискретного ортогонального методу вимірювання фази для визначення характеристик матеріалів ультразвуковим методом / Г. А. Богдан, А. Г. Протасов // Наукові вісті НТУУ «КПІ». Серія Технічні науки. – 2016. – вип. 2. – pp. 87-93.

13. Bogdan G. Development of discrete orthogonal method for determining the phase shift between high-frequency radio impulse signals / G. Bogdan, V. Bazhenov, A. Protasov // IEEE Xplore 19.10.2017 (Microwaveaves, radar and remote sensing Symposium (MRRS) 29-31 Aug.2017.IEEE). – 2017. – pp.191-194.

14. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю : Навчальний посібник / С. М. Маєвський ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 288 с.

15. Development of a laser range finder using a phase difference method. In: Optomechatronic Sensors and Instrumentation. / YOON, Heesun; PARK, Kyihwan ; SPIE, 2005. p. 230-237.

16. High Precision Hybrid Pulse and Phase-Shift Laser Ranging System / Yan, PEIJA ; - Montreal : Concordia University, 2018. – 103с.

17. Кучеренко О.К. Методы пассивной атермализации и ахроматизации двухкомпонентных оптических систем / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2012. – вип. № 43. – С. 46–53.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Кучеренко О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – вип. №5. – С. 114-117.

19. Назарчук О. О. Компенсація терморозфокусування оптичної системи термографа / О. О. Назарчук, О. В. Муравйов. // Біомедична інженерія. – 2017. – №5. – С. 66–67.

20. Муравйов О. В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О. В. Муравйов, О. О. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.

21. Муравьёв А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научнотехнической конференции, 2017. – С. 385-387.

22. Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, А. В. Муравьёв, О. К. Кучеренко // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – вип. №4. – С. 42-47.

23. Tyagur V. M. Passive optical athermalization of an IR three-lens achromat / V. M. Tyagur, O. K. Kucherenko and A. V. Murav'ev // Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2014. – pp. 199-203.

24. Автоматизація проектування елементів оптичних приладів. Практикум : Навчальний посібник / О. В. Муравйов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 68 с.

25. Сучасні оптичні технології та системи. Практикум : Навчальний посібник / О. В. Муравйов ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 56 с.

26. Bohdan H. The automated smoke detection system / Bohdan H., Hlushchenko M., Bohdan I. // International Journal «NDT Days». – BSNDT : Bulgaria. – 2022. – Vol. V, Issue 5. – P. 264-268.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. ADL-63054SL Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tme.eu/Document/467f9d8eae80dbbc1742cce499e16426/ADL-63054SL.pdf>

28. C30737 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.farnell.com/datasheets/1803402.pdf>

29. Муравьёв А. В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А. В. Муравьёв, О. К. Кучеренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 32–37.

30. Муравьёв А.В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьёв, Е.А. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2016. – вип. №4. – С. 195-199.

31. Кучеренко О.К. Вплив температури на абераційні властивості ІЧ об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – № 1. – С. 99-105.

32. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум : Навчальний / Р. М. Галаган ;– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.

33. Електроніка. Лабораторний практикум : Навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ;– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.

34. Arduino Nano V3.0 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>

35. Куц, Ю. В. Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с

36. ATmega328P Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

37. AD9833 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48600/AD/AD9833.html>

38. IRS9100C Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRS9100C-DataSheet-v01_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c88ae21230188f84a74a34be7

39. SYPD-1+ Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.minicircuits.com/pdfs/SYPD-1+.pdf>

40. Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: 71 матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

41. В. Малько, Ю. . Куц, Ю. . Лисенко, і Л. Щербак, «МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ФАЗОВОЇ ДВОКООРДИНАТНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ», Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak., вип. 65(1), с. 88–95

42. Куц Ю.В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.

43. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.

44. Куц Ю.В. Застосування фазових характеристик сигналу в автоматизованій вихрострумівій дефектокопії / М.О. Редька, Ю.В. Куц, Є.В. Шаповалов, В.М. Учанін, Ю.Ю. Лисенко, О.Д. Близнюк // Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2022, №1, стор. 45-53.

					ПК 0112.00.00.0000	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Технічне завдання

1. Найменування приладу.

„Фазовий далекомір”.

2. Мета виконання дипломного проекту та призначення приладу.

Розробка приладу для безконтактного вимірювання відстані, що може використовуватись в промисловості

3. Передумови для розробки приладу.

Розробка даного приладу виконується згідно тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою автоматизації та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

4. Вимоги до технічних характеристик.

Основні параметри:

- кут поля зору $2\omega = 2^\circ$;
- робочий спектральний діапазон $\lambda = 635$ нм;
- коефіцієнт пропускання випромінювання τ оптичною системою не менше 90%;
- діаметр входної зіниці об'єктива $D_{\text{вх.зіни.}} = 15$ мм.

5. Робочі умови експлуатації приладу.

Номінальне значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища $-10...50^\circ\text{C}$;
- відносна вологість 65% при температурі навколишнього середовища $20\pm 5^\circ\text{C}$;
- атмосферний тиск 750 ± 30 мм.рт.ст.

6. Вимоги до конструкції приладу.

Прилад повинен зберігати працездатність та свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

- 6.1. Конструкція приладу повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.
- 6.2. Прилад повинен мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування:
- 6.2.1. органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування приладом;
- 6.2.2. органи, які використовуються для одноразового налагодження приладу або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу приладу або на задній малодоступній панелі.
- 6.3. Використані покупні вироби та матеріали, під час випробування приладу повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби приладу.

7. Техніко-економічні вимоги.

- 7.1. Передбачається виготовлення одного дослідного зразка приладу.
- 7.2. Орієнтовна ціна дослідного зразка приладу повинна бути розрахована до початку проведення робіт.

8. Вимоги до упаковки.

- 8.1. Транспортна упаковка повинна забезпечувати збереження приладу при транспортуванні та збереженні.
- 8.2. Коробку з приладом розміщують в транспортному ящику: простір між стінками ящика і коробки заповнюють пакувальним амортизаційним матеріалом.

9. Стандартизація та уніфікація.

До приладу повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно ДСТУ 25565-94.

10. Вимоги до техніки безпеки.

- 10.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування приладу повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.
- 10.2. Середній час без відмовлень роботи приладу повинен бути не менше 500 год.

11. Строк зберігання, служби та технічний ресурс.

11.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.

11.2. Строк служби 5 років.

11.3. Технічний ресурс 1000 год.

Модель приладу у середовищі SolidWorks

