

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Комп'ютерна система автоматизованого сканування

інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики

Виконала: студентка IV курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Зельманович Д.-А.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

« 25 » 04 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Студентці Зельманович Дарія-Анна Михайлівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система автоматизованого сканування
інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики

Керівник роботи Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » 04 2026 року № 4/9 - 188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06. 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Теорія Фур'є-спектроскопії.

2. Проектна частина.

3. Практична частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Схема автоматизованої системи сканування

2. Схема з'єднань елементів

3. Прототип схеми на макетній платі

4. Обробка результатів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>			

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Підбір джерел про сканування на основі Фур'є-спектроскопії</i>	<i>03.02 – 06.04</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Опрацювання літературних джерел</i>	<i>07.04 – 10.05</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Виконання дослідження щодо побудови системи автоматизованого сканування для Фур'є-спектроскопії</i>	<i>11.05 – 13.05</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Написання програмного коду</i>	<i>14.05 – 18.05</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Оформлення розділу «Теорія Фур'є-спектроскопії»</i>	<i>19.05 – 22.05</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Проектна частина»</i>	<i>23.05 – 26.05</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Практична частина»</i>	<i>27.05 – 28.05</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>26.05 – 30.05</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>01.06 – 03.06</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>04.06 – 09.06</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>11.06 – 17.06</i>	<i>Виконано</i>
13.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>23.06</i>	

Студентка

(підпис)*Зельманович Д.-А.М.*_____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Баран І.О.*_____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Зельманович Д.-А. М. Комп'ютерна система автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026

Ключові слова: інтерфейс, інтерферометр, конфігурація, мікроконтролер, фотодіод, Фур'є-спектрометрія

Робота присвячена реалізації системи сканування інтерференційної картини за допомогою мікроконтролера ATmega328P.

У першому розділі роботи проаналізовано досліджувану область, розглянуто принципи Фур'є-спектроскопії, поняття інтерферограми та дискретного сканування інтерферограми.

У другому розділі викладено принципи роботи скануючого пристрою, вибраного його основні елементи. Побудовано схему з'єднань цих елементів. Описано принцип її роботи. Наведено зовнішні вигляди створених частин системи на основі раніше вибраного апаратного забезпечення.

У третьому розділі представлена програмна конфігурація мікроконтролера для виконання поставлених задач. Описано під'єднання фотодіода та налаштування його чутливості. Проведено практичний експеримент із реєстрації інтерференційної картини з подальшою його обробкою та обчисленням спектра випромінювання на основі експериментальних даних.

У четвертому розділі роботи розглянуто важливі питання безпеки життєдіяльності та основ охорони праці.

ANNOTATION

Zelmanovych Dariia-Anna. Computer System for Automated Scanning of Interference Patterns for a Quantum Optics Laboratory Setup: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026

Keywords interface, interferometer, configuration, microcontroller, photodiode, Fourier spectrometry

The bachelor thesis deals with the implementation of an interference pattern scanning system using the ATmega328P microcontroller.

In the first section of the work, the research area is analyzed, the principles of Fourier spectroscopy, the concepts of interferogram and discrete interferogram scanning are considered.

In the second section, the principles of operation of the scanning device are outlined, its main elements are selected. A diagram of the connections of these elements is built. The principle of its operation is described. The external views of the created parts of the system are given based on the previously selected hardware.

In the third section, the software configuration of the microcontroller is presented to perform the tasks set. The connection of the photodiode and adjustment of its sensitivity are described. A practical experiment on the registration of the interference pattern with its subsequent processing and calculation of the radiation spectrum based on experimental data is carried out.

In the fourth section of the work, important issues of life safety and the basics of labor protection are considered.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ТЕОРІЯ ФУР'Є-СПЕКТРОСКОПІЇ.....	11
1.1 Принцип Фур'є-спектроскопії.....	11
1.2 Фур'є-спектрометр.....	12
1.3 Інтерферограма.....	15
1.4 Дискретне сканування інтерферограми	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	20
2.1 Схема, принцип роботи	20
2.1.1 Інтерферометр Майкельсона.....	21
2.1.2 Механізм введення різниці ходу та кроковий двигун.....	23
2.1.3 МК ATmega328P	25
2.1.4 Драйвер ТМС2208.....	27
2.2 Схема з'єднань, принцип роботи	28
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	33
3.1 Програмна конфігурація МК.....	33
3.1.1 Конфігурація портів МК.....	33
3.1.2 Програмна реалізація керування кроковим двигуном	34
3.1.3 Принцип роботи та конфігурація АЦП.....	35
3.1.4 Конфігурація інтерфейсу USART.....	37
3.2 Під'єднання фотодіода та налаштування чутливості.....	38
3.2.1 Під'єднання фотодіода	38
3.2.2 Проблеми з чутливістю фотодіода, шляхи їх вирішення.....	41
3.3 Сканування інтерферограми	44

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Зельманович Д.-А				Літ.	Арк.	Аркушів		
Керівник.	Баран І.О.								
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Н. Контр.	Луцик Н.С.								
Затверд.	Осухівська Г.М								

3.4 Обробка результатів.....	45
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Стихійні лиха та їх класифікація	48
4.2 Соціальне значення охорони праці	50
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б. Код програми для обробки даних та обчислення спектру	

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач.

ДПФ – дискретне перетворення Фур'є.

Інтерферограма – інтерференційна картина (зображення), що утворюється в результаті накладання двох або більше когерентних хвиль (найчастіше світлових, радіохвиль або звукових).

Інтерферометр — високоточний вимірювальний прилад, що використовує явище інтерференції хвиль (світлових, радіо- або акустичних) для аналізу оптичних поверхонь, вимірювання відстаней, кутів, показників заломлення або виявлення малих змін у фізичних величинах.

МК – мікроконтролер.

Спектроскопія – розділ фізики, присвячений дослідженню розподілу інтенсивності за довжинами хвиль чи частот.

Фур'є-спектроскопія (інфрачервона спектроскопія з перетворенням Фур'є) – високочутливий метод аналізу, що використовує перетворення Фур'є для обробки інтерферограми (сигналу з інтерферометра Майкельсона) та отримання спектра поглинання.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

З часів першого експериментального спектрального аналізу, проведеного Кірхгофом і Бунзенем, спектроскопія, як метод аналізу випромінювання та речовини, набула широкого застосування в різних галузях науки і техніки: від ядерного магнітного резонансу до спектрального аналізу в астрономії.

На сьогоднішній день спектроскопія знаходить застосування і у створенні квантових технологій. Квантовий комп'ютер - принципово новий обчислювальний пристрій, який базується на понятті квантового біта (кубіта). Кубіти, на відміну від класичних бітів, мають третій стан - суперпозицію з нуля і одиниці, а також кубіти можуть мати властивість заплутаності, аналогів якої немає в класичній фізиці. Завдяки таким властивостям, квантові комп'ютери дозволяють виконувати паралельні обчислення і вирішувати ті завдання, які не під силу звичайним комп'ютерам.

Існує кілька фізичних реалізацій квантового комп'ютера, однією з таких є квантовий комп'ютер на оптичних фотонах, де в ролі кубітів виступають фотони, а інформація кодується в його поляризації. Джерелом заплутаності фотонів служить ефект спонтанного параметричного розсіювання, в якому промінь накачування, проходячи через нелінійне середовище, розпадається на пару заплутаних фотонів, що задовольняють умовам фазового синхронізму. Для отримання даного ефекту, як правило, використовують діодні лазери. До самих лазерів пред'являється ряд вимог, одна з яких відповідає за спектр лазера накачування. Тому виникає потреба у знанні точних спектральних характеристик діодних лазерів. Фур'є-спектроскопія може задовольнити потребу у знанні спектрів пропускання лазера і заплутаних пар фотонів, відповідно. Перевагами Фур'є-спектрометрів є відносна простота конструкції, компактність та модульність.

Актуальність роботи полягає в тому, що в лабораторіях, які займаються дослідженнями в галузі квантової оптики, існує потреба у знанні точних спектральних характеристик джерел випромінювання. Ця робота демонструє, що

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

для таких потреб може використовуватися модуль сканування замість дорогого обладнання.

Мета роботи – розробка системи сканування, яка передбачає управління інтерферометром та детектування оптичного сигналу, на основі МК ATmega328P.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- складання та юстування інтерферометра Майкельсона;
- створення модулю керування інтерферометром;
- створення системи реєстрації оптичного сигналу;
- розробка схеми з'єднань електричну;
- програмне конфігурування МК;
- проведення обробки отриманих результатів.

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

РОЗДІЛ 1 ТЕОРІЯ ФУР'Є-СПЕКТРОСКОПІЇ

1.1 Принцип Фур'є-спектроскопії

За відправну точку теорії Фур'є-спектроскопії приймається ідея, що полягає в тому, що досліджуване випромінювання не ідеально монохроматичне, а володіє деяким набором довжин хвиль λ_i , відповідно у кожній довжині хвилі буде своя інтерференційна періодична функція, з певною амплітудою C_i та періодом T_i , який обернено пропорційний до цієї довжині $T_i, \sim 1/\lambda_i$ [1]. Тому для досліджуваного випромінювання інтерференційна картина буде сумою вкладів кожної з періодичних функцій довжини хвилі.

За теоремою Фур'є будь-яку періодичну функцію $F(t)$ можна розкласти у вигляді суперпозиції косінусоїд з власними частотами ω_i та амплітудами C_i , у нашому випадку ними є монохроматичні хвилі:

$$F(t) = \sum_{i=1}^N C_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1.1)$$

Знаючи амплітуди кожної монохроматичної хвилі, можна знайти середнє значення досліджуваного випромінювання:

$$\langle F(t) \rangle = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N C_i^2 \quad (1.2)$$

У випадку, коли функція $F(t)$ не є періодичною, її можна переписати як інтеграл Фур'є:

$$E(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (1.3)$$

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Зельманович Д.-А				Лім.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Баран І.О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Луцик Н.С.						
Затверд.		Осухівська Г.М						
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		

Вираз (1.3) є зворотним Фур'є-перетворення. Тоді для прямого Фур'є-перетворення ми отримуємо:

$$E(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(t)e^{-i\omega t} dt \quad (1.4)$$

1.2 Фур'є-спектрометр

Це прилад, який дозволяє провести аналіз випромінювання, в результаті якого ми отримуємо спектральний розподіл по довжинах (частотах) хвиль. Основою Фур'є-спектрометра є двопроменевий інтерферометр, який модулює вхідний сигнал в інтерференційну криву [2]. Найбільш поширеними є інтерферометр Маха – Цендера (рис. 1.1) і Майкельсона (рис. 1.2), через те, що вони досить прості в плані конструкції і в них легко можна керувати різницею ходу між пучками, що розділилися, змінюючи модульований на виході сигнал.

Промодульований оптичний сигнал реєструється за допомогою фотоприймача, найчастіше для цього завдання використовується фотодіод у режимі давача освітленості. Величина електричного сигналу залежить від інтенсивності на фотодіоді. Далі отриманий з фотоприймача аналоговий сигнал перетворюється на цифровий за допомогою аналого -цифрового перетворювача (АЦП), з подальшою обробкою та обчисленням спектра.

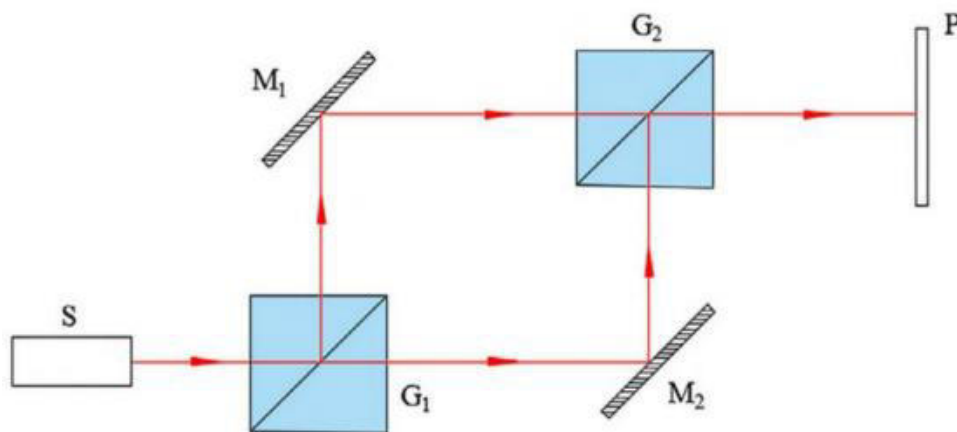


Рисунок 1.1 – Схема інтерферометра Маха-Цендера

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

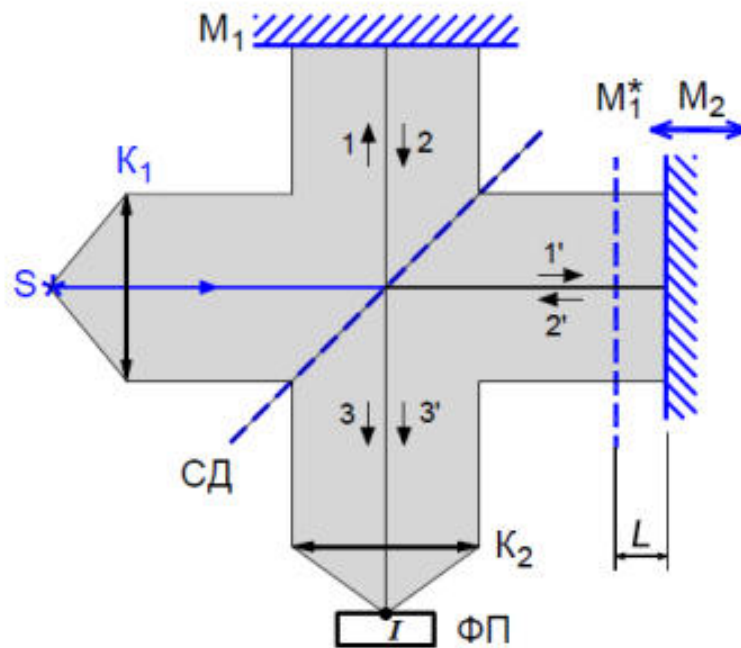


Рисунок 1.2 – Схема інтерферометра Майкельсона

Розглянемо поведінку випромінювання всередині інтерферометра на прикладі Майкельсона. Припустимо, джерелом випромінювання є лазер. На вході інтерферометра пучок колімується, далі він попадає на неполяризаційний світлоділник (СД), який поділяє промінь у співвідношенні інтенсивностей 50:50. Далі пучки, що розділилися, летять по шляхах 1 і 1', і потрапляють на дзеркала M1 і M2, відстань від світлоділника до дзеркал. Плечі інтерферометра повинні бути заздалегідь відкалібровані, в такому випадку різниця ходу між пучками, що розділилися, дорівнює нулю. Після попадання на дзеркала пучки відбиваються назад на світлоділник, проходячи шляхом 2 і 2'. У світлоділнику промені знову збираються в один рідний пучок і летять на фотоприймач. Зважаючи на те, що випромінювання когерентне, на виході з інтерферометра з постійною інтенсивністю променя лазера слід враховувати інтерференційний коефіцієнт, який відповідає за форму синусоїдальної кривої інтерферограми.

Переміщуючи дзеркало M2 на відстань $2\Delta x$, оптичний шлях у другому плечі збільшиться на $2\Delta x$, між пучками з'явиться різниця ходу $\Delta S = 2 \Delta x \cos \theta$, де θ - кут падіння. При $\theta = 0$ різниця ходу становить $\Delta S = 2 \Delta x$, тоді різниця фаз між пучками складатиме $\Delta \phi = (2\pi/\lambda) \Delta S$. На рис. 1.3 представлена залежність вихідної

інтенсивності I_B від різниці фаз $\Delta\varphi$, для зручності демонстрації залежності інтенсивність нормована на I_0 .

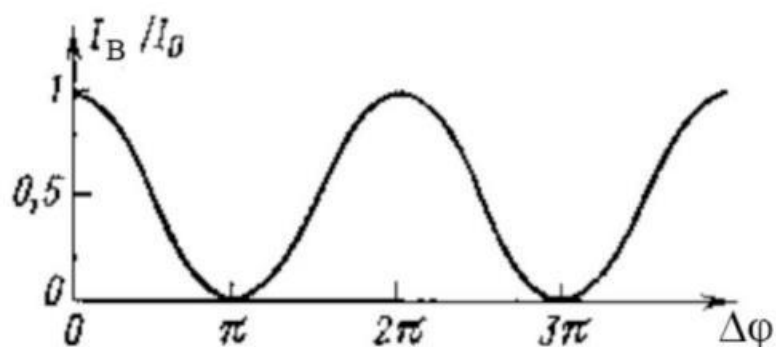


Рисунок 1.3 – Залежність інтенсивності від зсуву фаз між плечима інтерферометра

При значеннях різниці фаз $\Delta\varphi = 2\pi n$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) інтенсивність після інтерферометра має максимальну величину, тобто умову максимуму. Якщо ж підібрати різницю ходу, то можна отримати різницю фаз $\Delta\varphi = \pi n$ ($n = 0, 1, 2, \dots$), котра тоді виходить з інтерферометра дорівнюватиме нулю - умова мінімуму.

Таким чином, переміщуючи лінійно одне з дзеркал, ми можемо керувати різницею фаз між пучками, що розділилися, в інтерферометрі. Якщо різниця фаз буде змінюватися з постійною швидкістю, то на виході ми отримаємо чергування максимумів і мінімумів інтенсивності, що у свою чергу є оптичною модуляцією сигналу в часі.

У випадку, коли замість лазера використовується випромінювання з великою розбіжністю, інтерферограма буде набором максимумів і мінімумів, що чергуються, у формі кілець, зміна різниці фаз призведе до збільшення/зменшення діаметрів кілець, в залежності від напрямку. Для лазерів кути орієнтації дзеркал відіграють важливу роль, оскільки від цього залежить форма інтерференційної кривої. При строгому орієнтуванні дзеркал перпендикулярно один до одному, форма інтерференції буде як кільця, у разі ж якщо дзеркала орієнтовані з невеликою похибкою, то інтерферограма буде набором смуг, котрі чергуються. На рис. 1.4 наведено приклад залежності форми

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерферограми від орієнтування дзеркал, де як джерело випромінювання використовується лазер.

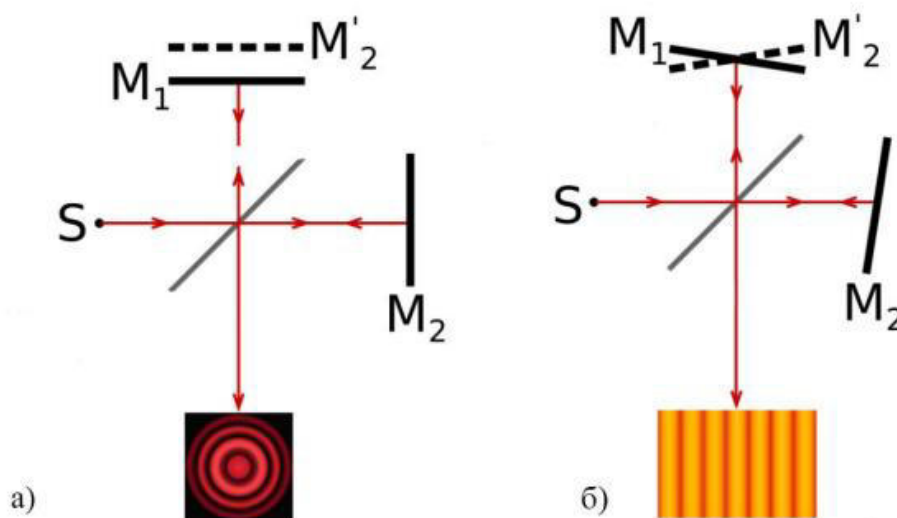


Рисунок 1.4 – Залежність форми інтерферограми від орієнтування дзеркал
 а) інтерферограма, отримана при перпендикулярному орієнтуванні дзеркал;
 б) інтерферограма при дзеркалах, орієнтованих не строго перпендикулярно

1.3 Інтерферограма

Для вимірювання та обробки інтерферограми слід враховувати лише зміну інтенсивності, а не форму сигналу. Тому перед фотоприймачем, як правило, ставиться апертура або екран з отвором, котра виділяє лише невелику ділянку інтерферограми, де інтенсивність майже або повністю однакова.

Промодульований сигнал після інтерферометра описується виразом [4]:

$$I_{\text{сигн}}(x) = A[1 + \cos(2\pi\nu_0x)] , \quad (1.5)$$

де A - постійна інтенсивність, а другий член відповідає за інтерференційну взаємодію між плечами інтерферометра.

Щоб явно знайти постійну інтенсивність, потрібно проінтегрувати функцію частот:

$$I_{\text{сигн}}(x) = \int_0^{\infty} I(v)dv + \int_0^{\infty} I(v) \cos(2\pi vx) dv \quad (1.6)$$

У початковій точці $x = 0$ різниця фаз дорівнює нулю, тоді отримуємо:

$$I_{\text{сигн}}(x) = 2 \int_0^{\infty} I(v)dv \quad (1.7)$$

З урахуванням виразів (1.2) та (1.3) отримуємо:

$$I_{\text{сигн}}(x) = \frac{1}{2} I_{\text{сигн}}(0) + \int_0^{\infty} I(v) \cos(2\pi vx) dv \quad (1.8)$$

З отриманого виразу можна виразити функцію, що відповідає за форму інтерферограми $I_{\text{сигн}}(x) - \frac{1}{2} I_{\text{сигн}}(0) = F(x)$, з урахуванням виразу (1.2):

$$F(x) = \int_0^{\infty} I(v) \cos(2\pi vx) dv \quad (1.9)$$

Нарешті, шляхом зворотного Фур'є-перетворення отримаємо функцію розподілу інтенсивності за частотами, іншими словами, спектр випромінювання:

$$I(v) = C \int_0^{\infty} F(x) \cos(2\pi vx) dx \quad (1.10)$$

Для ідеальної монохроматичної хвилі частотний спектр буде складатися з одного значення, приклад представлений нижче на рис. 1.5.

Після Фур'є-перетворення частотний спектр буде симетричний у від'ємному діапазоні, але насправді хвилі містять лише позитивні частоти, негативні рівні нулю.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

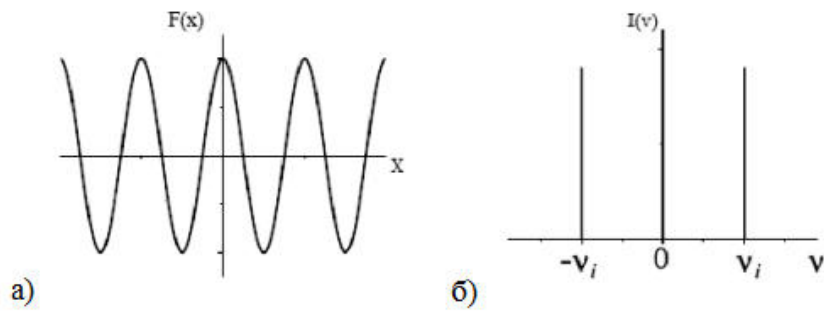


Рисунок 1.5 – Приклад ідеальної монохроматичної хвилі
 а) крива інтерферограми, одержана детектором; б) обчислений спектр після зворотного Фур'є-перетворення.

У реальному випадку сигнал не обмежується однією частотою, а складається з комбінації декількох або має деякий розподіл за частотами, як це показано на рис. 1.6.

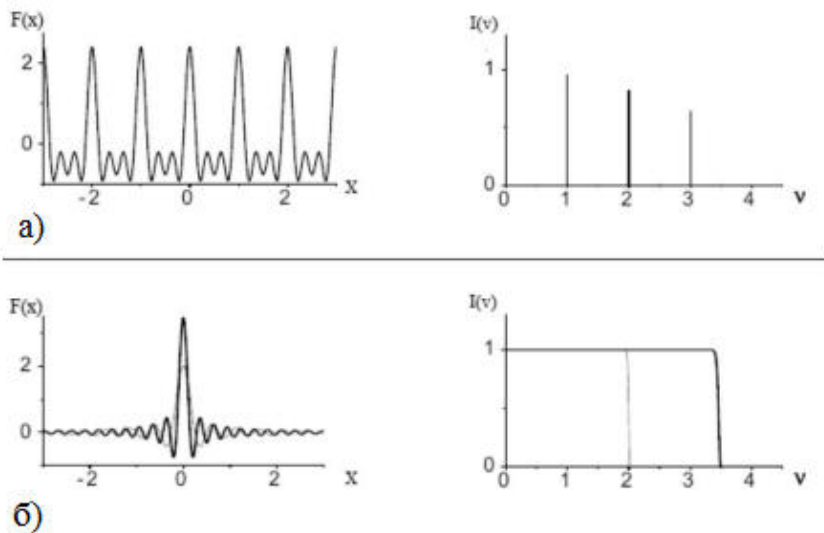


Рисунок 1.6 – Приклади залежності інтерферограми
 а) форма якої залежить від кількох частот; б) форма якої має розподіл за частотами.

1.4 Дискретне сканування інтерферограми

При проведенні сканування оптична різниця ходу може бути негативною,

зважаючи на те, що дзеркало може переміщатися у зворотний бік. Але так як інтерферограма симетрична, для її сканування досить вибрати один напрямок сканування, такі інтерферограми називають односторонніми. Скануючи односторонню інтерферограму, ми вдвічі скорочуємо час сканування і обсяг інформації, що отримується відповідно, це має перевагу перед двосторонніми інтерферограмами. При односторонньому скануванні, важливим завданням стає знаходження точки нульової різниці ходу, так як початок одностороннього сканування проводиться з невеликим зміщенням у від'ємну сторону від точки з нульовою різницею ходу.

Отже, в результаті сканування ми отримуємо двовимірний масив $F(x)$, тому що отримана функція складається з N рівновіддалених точок, то для розрахунку спектру випромінювання нам слід виконувати ДПФ. Розрахунок спектра із застосуванням ДПФ описується наступним виразом [6]:

$$I(k\Delta v) = \sum_{n=0}^{N-1} F(n\Delta x) \cos\left(\frac{2\pi k n}{N}\right) \quad (1.11)$$

у дискретному випадку безперервні змінні замінюються на Δx та Δv . ДПФ відображає функцію $F(n\Delta x)$ як суперпозицію синусів і косинусів, тоді одержувана в результаті функція $I(k\Delta v)$ є сумою вкладів кожного з коефіцієнтів розкладання [7].

Роздільна здатність сканування може бути оцінена за наступною формулою [8]:

$$\Delta v = 1/L \quad (1.12)$$

За умови, що $L = N\Delta x$, отримуємо:

$$\Delta v = 1/N\Delta x \quad (1.13)$$

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фур'є-спектроскопія має ряд переваг перед іншими методами :

- перевага Фелджета, що полягає в одночасній реєстрації всього спектра досліджуваного випромінювання. [9];
- перевага Жакіно, геометричний фактор, який дозволяє пропускати велику кількість енергії з високою роздільною здатністю;
- перевага Кінна. Висока точність визначення хвильових чисел;
- широкий спектр дослідження спектра [10].

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Схема, принцип роботи

Загальна схема містить:

- інтерферометр Майкельсона;
- МК ATmega328P;
- драйвер TMC2208;
- кроковий двигун NEMA11;
- фотодіод BPW21;
- персональний комп'ютер.

На рис. 2.1 представлена схема системи автоматизованого сканування.

Головним керуючим пристроєм є МК ATmega328P, який відправляє команди про початок роботи, кроку та керування драйвером TMC2208. Драйвер отримує команди від МК, з урахуванням отриманих даних драйвер регулює величину струму на обмотках крокового двигуна, змушуючи його обертатися. Кроковий двигун вбудований у механізм, який керує різницею ходу, принцип дії якого буде розібрано пізніше. Під обертанням крокового двигуна, залежно від напрямку обертання, одне з дзеркал приводиться у поступальний рух, збільшуючи або зменшуючи різницю ходу між променями в інтерферометрі. З інтерферометра виходить модульований сигнал, який потрапляє на фотодіод.

Перед детектором ставиться діафрагма, розмір якої приблизно дорівнює ширині лінії інтерференційної картини. Змінюючи різницю ходу, інтерференційна картина почне зміщуватися і завдання детектора вловити зміну інтенсивності. Далі значення фотодіода оцифровуються за допомогою вбудованого 10-бітного АЦП в МК.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Зельманович Д.-А			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.					
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.					
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М					

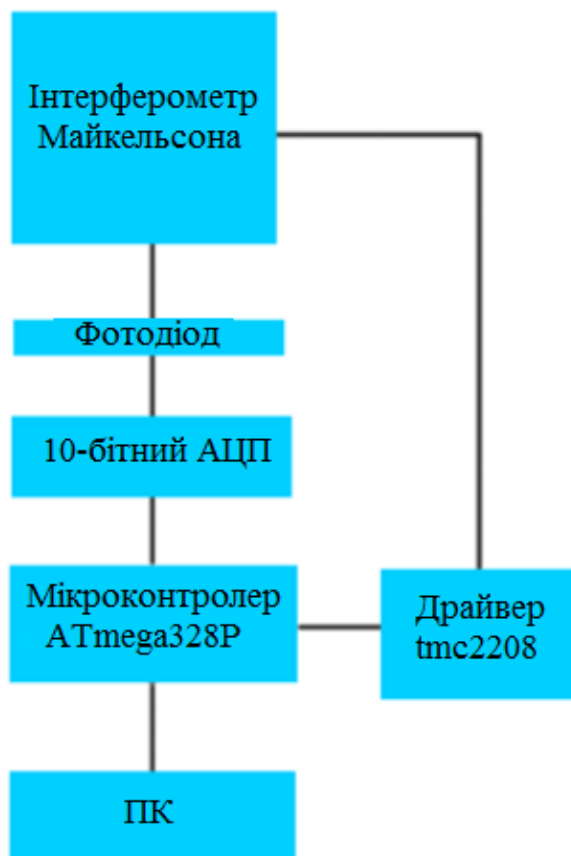


Рисунок 2.1 – Схема автоматизованої системи сканування

Оцифровані дані посилаються на комп'ютер, з подальшою обробкою та обчисленням спектрів із застосуванням Фур'є-перетворення.

Проектна частина включає кілька етапів розробки автоматизованої системи сканування:

- складання та юстування інтерферометра Майкельсона;
- розробка пристрою для введення різниці ходу;
- проектування функціональної електричної схеми;
- складання та паяння електричної схеми;
- написання коду програми для прошивки МК.

2.1.1 Інтерферометр Майкельсона

Як уже говорилося раніше, інтерферометр Майкельсона складається з не поляризаційного світлоділяника і двох дзеркал, одне з яких оснащено пристроєм для введення різниці ходу. У початковому положенні, відстань від

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлодільника до кожного з дзеркал строго визначена і становить 65 мм. На рис. 2.2 представлено зібраний інтерферометр.

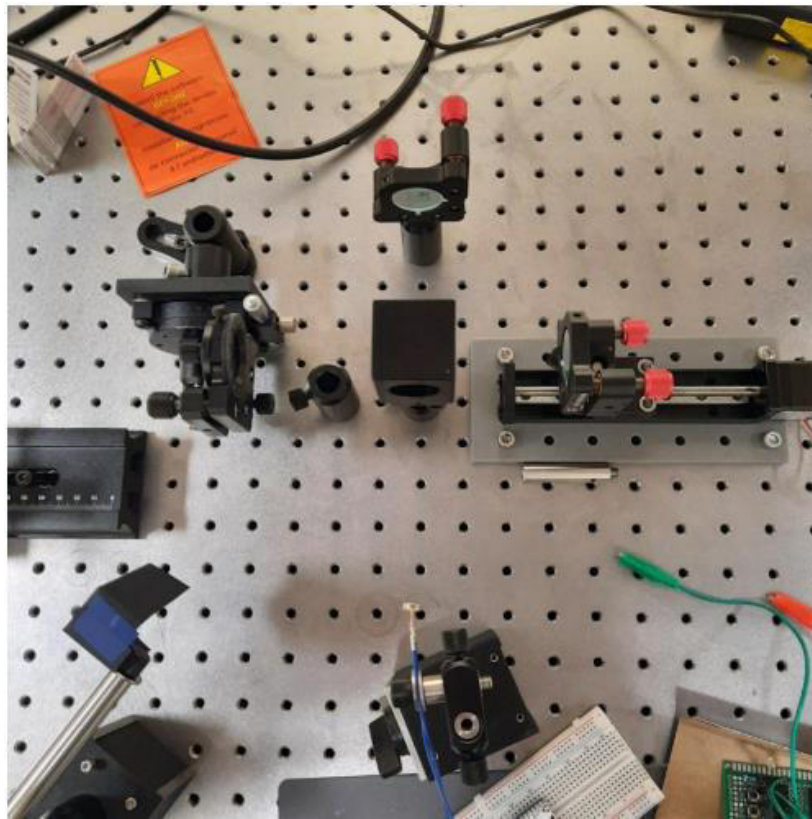


Рисунок 2.2 – Зібраний інтерферометр Майкельсона

На рис.2.1 не видно джерело випромінювання, зважаючи на те, що інтерферометр вбудований у велику оптичну схему.

Як досліджуване джерело випромінювання використовувався фіолетовий діодний лазер «OBIS LS/LX» фірми «Coherent», зовнішній вигляд якого показано на рис. 2.3. Пік спектральної характеристики припадає на 405 нм. Лазер працює у діапазоні від 0 до 50 мВт [11].

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 – Діодний лазер Coherent OBIS LX SF

2.1.2 Механізм введення різниці ходу та кроковий двигун

Як пристрій введення різниці ходу використовувався механізм, продемонстрований на рис. 2.4.

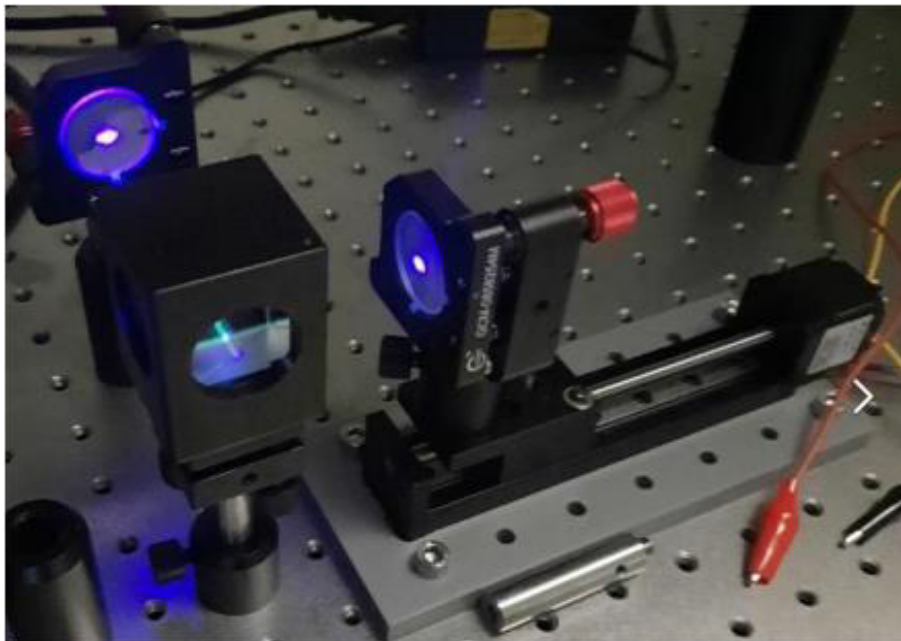


Рисунок 2.4 – Механізм керування дзеркалом

Він є кроковим двигуном, який з'єднаний із закріпленою шпилькою. На шпильці знаходиться платформа, котра приходить у рух, переміщаючись уздовж шпильки при обертанні крокового двигуна. На платформі встановлено одне із дзеркал інтерферометра. Механізм закріплений на оптичному столі за

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

допомогою перехідника, проєктованого у програмі AutoCad і надрукованого на 3D-принтері.

Характеристики платформи:

- ефективна довжина ходу платформи: 100 мм;
- крок різьби: 1 мм;
- діаметр різьби: 6 мм;
- загальна довжина платформи 175 мм;
- ширина: 30 мм.

Шпильку обертає двофазний кроковий двигун лінійки "Nema 11", модель "28НВ30-401А". При подачі струму на дві обмотки, ротор починає обертатися під дією магнітного поля. Схематичне зображення обмоток і відповідних виводів зображено на рис. 2.5.

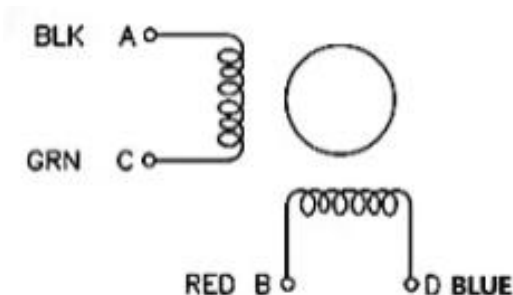


Рисунок 2.5 – Схема обмоток та ротора всередині крокового двигуна

З рис. 2.5 видно, що двигун має чотири проводи, чорний і зелений відповідають за першу обмотку, а синій і червоний за другу. Особливої уваги вимагає правильне під'єднання проводів крокового двигуна до керуючих виводів драйвера, в іншому випадку кроковий двигун не буде обертатися, що може призвести до його перегріву та поломки.

Характеристики крокового двигуна наведено у таблиці 2.1.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Характеристики крокового двигуна 28НВ30-401А

Характеристика	Значення
Розмір ел. струму в обмотках, А	0,6
Утримуючий момент, н.м	0,07
Кут повороту, °	1,8
Діаметр валу, мм	5

Спираючись на технічні характеристики платформи та крокового двигуна, можна розрахувати величину різниці ходу за мінімальний кут повороту (один крок). За один повний оборот крокового двигуна платформа переміститься на 1мм, тоді за 1 крок двигуна платформа повернеться на 1,8 градуса, переводячи в поворот у міліметри, отримаємо:

$$d = \left(\frac{1.8^\circ}{360^\circ} \right) * 1 \text{ мм} = 0,005 \text{ мм} = 5 \text{ мкм} \quad (2.1)$$

При врахуванні, що промінь проходить подвійний шлях, кінцевий результат буде - 1 мкм.

При розробці Фур'є-спектрометрів важливим завданням є досягнення мінімального кроку для якісного сканування інтерференції. Надалі будуть викладені методи зменшення дозволу кроку та способи обробки інтерферограми.

2.1.3 МК АТmega328Р

Як керуючий пристрій використовувалася налагоджувальна плата "Arduino Nano", з чіпом 8-бітного МК "АТmega328Р" компанії "Atmel".

Технічні характеристики АТmega328Р [12] наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика АТmega328P

Характеристика	Значення (величина)
Тактова частота	8-20 МГц
Реєстри загального призначення	32
Напруга живлення	1,8-5,5 В
Діапазон температур	від -40 до 85 °С
Об'єм Flash -пам'яті	32 кб
Об'єм SRAM -пам'яті	2 кб
Об'єм EEPROM -пам'яті:	1 кб
Таймер 16-бітний / 8 бітний	1 шт / 2 шт
Виводів 10-бітного АЦП	6 шт
Інтерфейси	SPI, USART/UART

На рис. 2.6 зображено конфігурацію виводів МК.

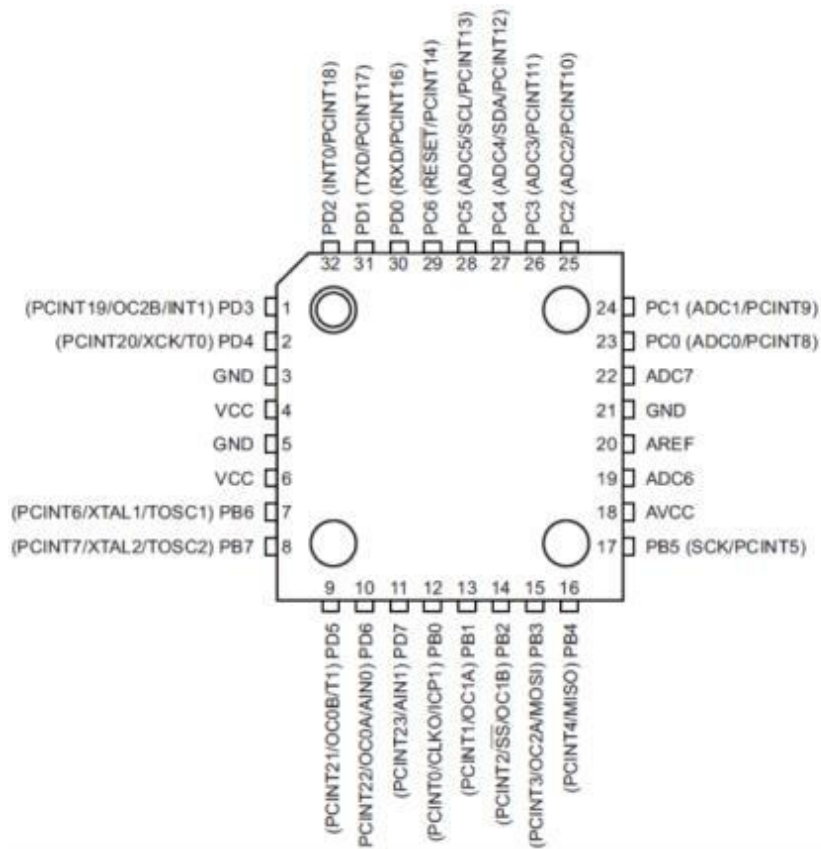


Рисунок 2.6 – Конфігурацію виводів МК АТmega328P

2.1.4 Драйвер TMC2208

Основним завданням драйвера є ефективно керування струмом в обмотках крокового двигуна. Для цього завдання використовувався драйвер TMC2208.

Технічні характеристики драйвера [13] наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика драйвера TMC2208

Характеристика	Значення
Інтерфейс	STEP/DIR
Дроблення кроку (microstepping)	2, 4, 8, 16
Напруга живлення для двигуна	4.75 - 36 В
Напруга живлення логіки	3 - 5 В
Режими	Smooth Running, StealthChop, SpreadCycle

На рис. 2.7 представлено схему драйвера.

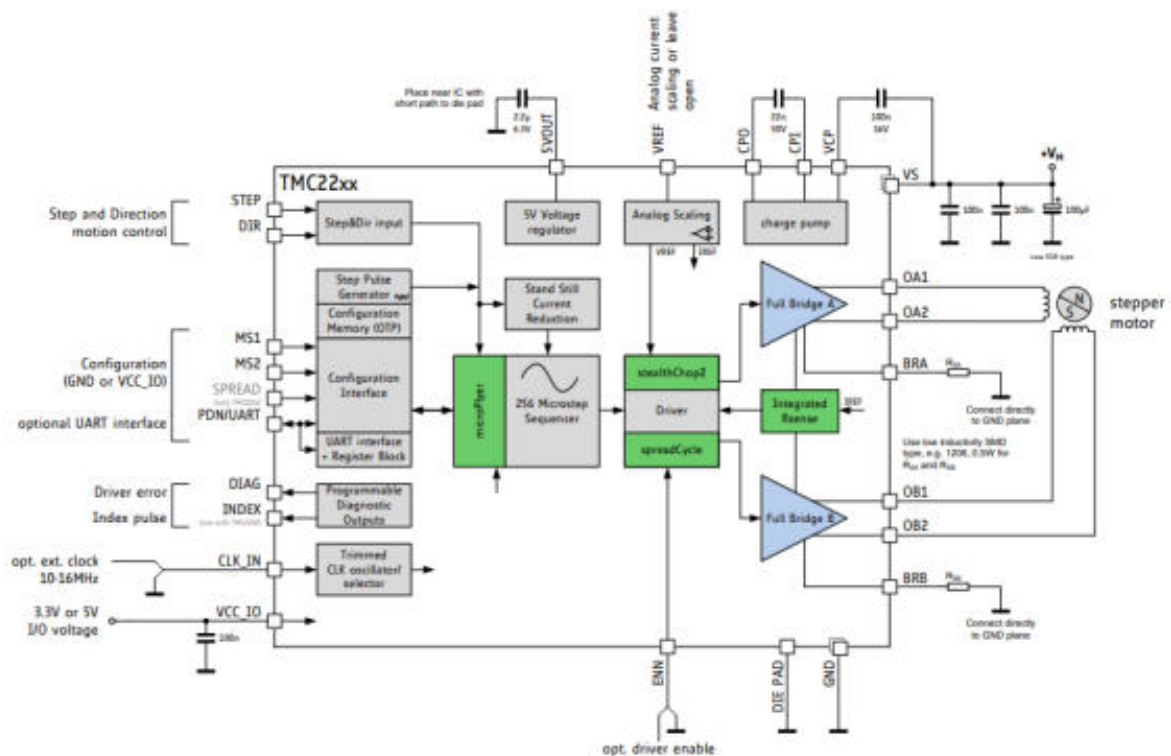


Рисунок 2.7 – Схема драйвера TMC2208

Драйвер підтримує декілька режимів роботи.

Спрощений. У цьому режимі використовуються виводи STEP/DIR, під'єднані до відповідних пінів МК або іншого керуючого пристрою. Сигнали на виведення DIR визначають напрямок обертання крокового двигуна, високі логічні сигнали на виводі STEP дають драйверу команду здійснити один крок. Також є вивід ENN, який відповідає за ввімкнення та вимкнення драйвера. За допомогою виводів MS 1, MS2 можна виставити дроблення кроку, залежно від конфігурації сигналів на цих пінах можна виставити дроблення кроку на 2,4,8,16 мікрокроків. Робочий струм на обмотках крокового двигуна задається за допомогою опорної напруги, шляхом регулювання зовнішнього потенціометра.

Попереднє налаштування. У цьому режимі можна встановити необхідні параметри роботи в ОТР -пам'ять драйвера.

Повна діагностика та контроль. Режим роботи, при якому використання виводів ENN, MS1, MS2 не потрібно, натомість параметри роботи та керування драйвером здійснюється за допомогою інтерфейсу UART, внутрішнім підналаштуванням тактової частоти роботи на потрібну швидкість обміну даними.

Для реалізації системи сканування використовувався перший режим роботи. За допомогою дроблення кроку на 16 мікрокроків можна домогтися зміни різниці ходу в 625 нм.

2.2 Схема з'єднань, принцип роботи

У цій схем до функцій МК входить:

- управління кроковим двигуном, шляхом відправки сигналів на виводи драйвера;
- обробка натискання кнопок, за допомогою яких відбувається керування скануванням;
- обробка даних з фотодіода шляхом АЦП вхідного сигналу;
- передача оброблених даних на ПК за інтерфейсом USART.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 2.8 представлено схему зв'язку елементів. До МК та драйвера підведені лінії живлення на 5 В, для живлення крокового двигуна до драйвера підведена додаткова лінія на 12 В, в якій встановлений конденсатор на 100 мкФ для згладжування пульсацій. Цифрові виводи МК з'єднані з виводами драйвера для передачі сигналів про ввімкнення/вимкнення драйвера, напрям, крок, дроблення кроку. Для зручності вибору дроблення кроку до схеми доданий перемикач. До аналогових пінів під'єднані кнопки, фотодіод, для зручності під'єднаний світлодіод з резистором на 10 кОм, що сигналізує проведення сканування. Так само в схемі використовуються два потенціометри на 50 кОм, перший відповідає за величину напруги, що подається на фотодіод, а другий для піднаштування величини опорної напруги для АЦП.

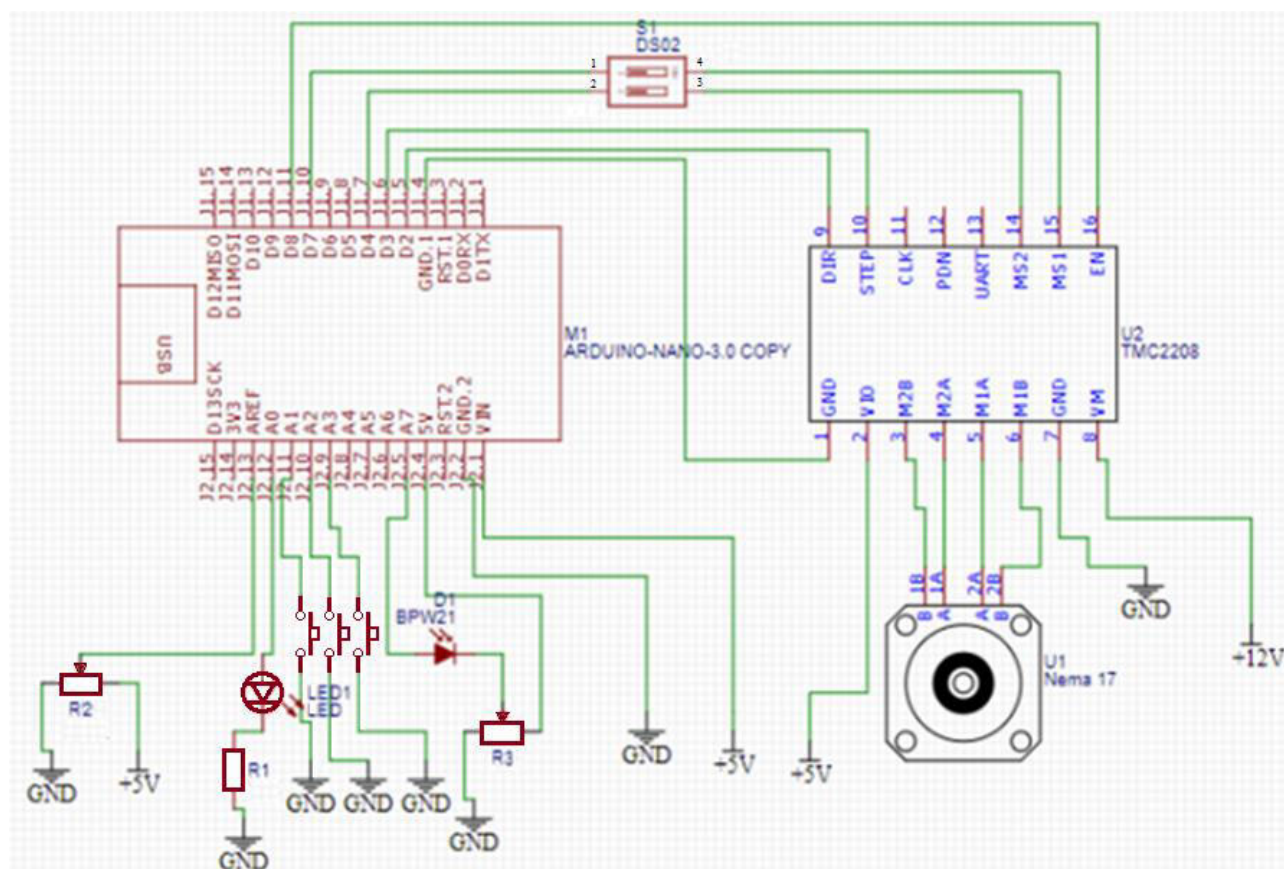


Рисунок 2.8 – Схема з'єднань елементів

Більш докладно пояснення про з'єднання та функції виводів наведено в таблиці 2.4.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 2.4 – Функції виводів

Вивід МК	Вивід драйвера	Функція
D2	DIR	Вибір напрямку обертання крокового двигуна
D3	STEP	Лінія передачі сигналів про здійснення кроку
D4	MS2	Конфігурація мікрокроку
D7	MS1	Конфігурація мікрокроку
D8	ENN	Увімкнення/вимкнення драйвера
A0	-	Світлодіод
A1	-	Кнопка 1. 1 крок
A2	-	Кнопка 2. Стоп
A3	-	Кнопка 3. Старт
A7	-	АЦП з підключеним фотодіодом
AREF	-	Опорна напруга для АЦП
	M1A/M1B	Виводи драйвера для 1-ї обмотки крокового двигуна
	M2A/M2B	Виводи драйвера для 2-ї обмотки крокового двигуна

Залежно від рівня логічного сигналу на піні DIR, драйвер вибере напрямок обертання крокового двигуна, при 0 (низький рівень сигналу) кроковий двигун обертатиметься за годинниковою стрілкою, при 1 – проти годинникової стрілки. Як команди кроку драйвер приймає один такт логічного сигналу. Конфігурація виводів MS1/MS2 задає режим мікрокроку MS2, MS1: 00: 8 дроблень кроку, 01: 2 дроблення, 10: 4 дроблення, 11: 16 дроблень. Драйвер вмикається, подаючи на висновок ENN низький рівень сигналу, а вимикається при високому рівні відповідно.

Прототип схеми збирався на навчальній макетній платі (рис. 2.9), всі з'єднання були виконані за допомогою проводів, після налагодження коду та перевірки на працездатність, схема була перенесена та спаяна на макетній платі,

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

яка представлена на рис. 2.10.

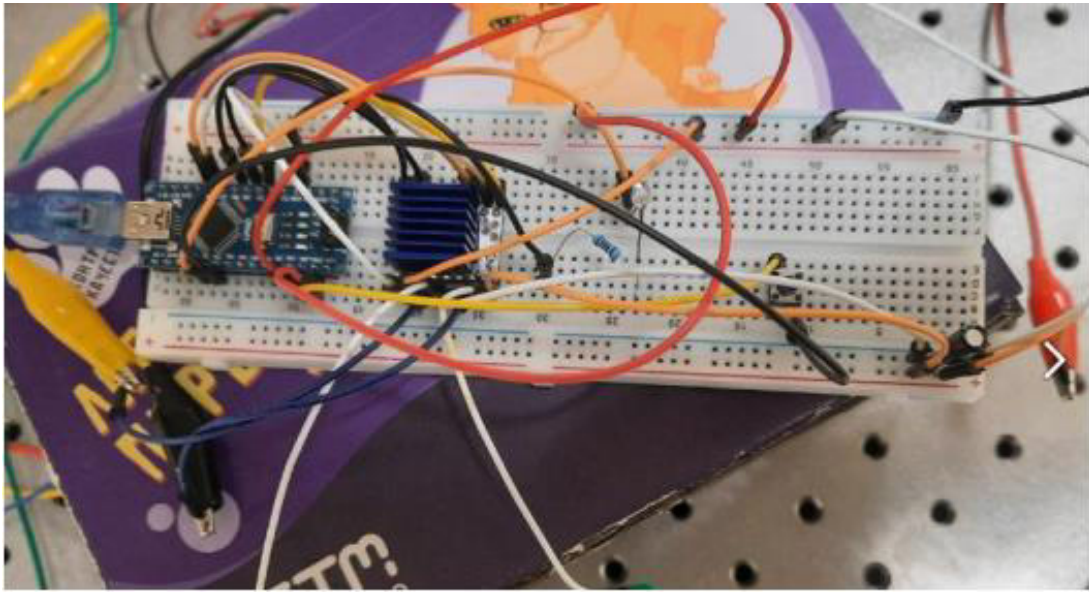


Рисунок 2.9 – Схема, зібрана на навчальній макетній платі

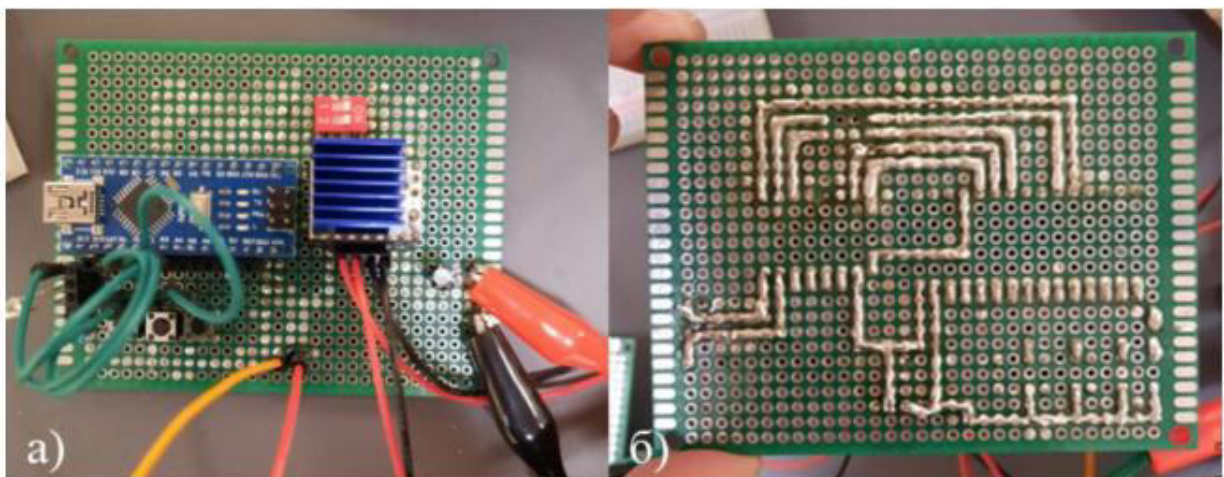


Рисунок 2.10 – Схема, спаяна на макетній платі

а) вид зверху б) вид знизу

У основи ліній живлення стояли клєми для зручного закріплення проводів, але при використанні плати з'ясувалося, що вони ненадійно тримають дроти, тому довелося поміняти їх на металеві стрижні до яких прикріплюються клєми блоку живлення на 12 вольт. Більшість з'єднань вдалося реалізувати за допомогою пропаяних доріжок. Для більшої функціональності, з'єднання кнопок з МК реалізовані через проводи. Усі кнопки з'єднані загальною землею.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

На драйвері є потенціометр, який відповідає за опорну напругу. Опорна напруга потрібна для оптимальної роботи крокового двигуна та обмеження максимального струму на його обмотках. Низька опорна напруга може призвести до некоректної роботи крокового двигуна, пропускання кроків або нерівномірного руху. З іншого боку, надто висока напруга може призвести до перегріву та вивести з ладу кроковий двигун. Опорна напруга розраховується виходячи з характеристик крокового двигуна за такою формулою:

$$V_{ref} = \frac{(I \cdot 2,5)}{1,77} \quad (2.2)$$

Значення струму знаємо з таблиці 2.1, воно дорівнює 0,6 А, тоді обчислимо опорну напругу:

$$V_{ref} = \frac{0,6 \cdot 2,5}{1,77} = 0,84 \text{ В} \quad (2.3)$$

Обчислену опорну напругу виставлено на драйвері, вимірювання проводилося за допомогою мультиметра.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Програмна конфігурація МК

У цьому підрозділі частині будуть розглянуті основні функції та конфігурація МК з програмної точки зору.

3.1.1 Конфігурація портів МК

У наявній схемі на рис. 2.8, порти МК умовно можна розділити на 3 групи:

- цифрові порти відповідають за передачу сигналів на драйвер;
- обробка та керування периферією (кнопки, світлодіод);
- порт з АЦП, обробка сигналу з фотодіода.

Порти МК, в загальному випадку, конфігуруються за допомогою двох регістрів: DDR, PORT. Перший відповідає за те, куди буде налаштовано порт, на вхід або на вихід. При записаному нулі в реєстр DDR порт працює на вхід, тобто приймає зовнішній сигнал, при записаній одиниці порт працює на вихід - посилає сигнали. Коли порт налаштований як вхід (при нулі на регістрі PORT), він працює у високоімпедансному режимі (Hi-Z), при одиниці порт працює в режимі Pull-Up з підтяжкою резистора на 100 кОм.

МК має три групи: В, С, D; до кожної групи відноситься по 8 портів, крім групи С - в ній 7 портів. Кожну групу портів можна описати байтом, де конкретний біт відноситься до відповідного порту. На рис. 3.1 наведено елемент коду програми, який конфігурує порти МК під задані завдання.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Зельманович Д.-А			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.					
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.					
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М					

```

DDRDR = 0xFF;
DDRC = 0x01;
DDRBR = 0x01;
PORTD = 0b10010000;
PORTC = 0b00001110;
PORTB = 0b00000001;

```

Рисунок 3.1 – Лістинг програми з конфігуруванням портів МК

Порти групи D налаштовані на вихід, більшість із них під'єднана до виводів драйвера. Порти групи C налаштовані на вхід, крім першого порту - він відповідає за світлодіод. З групи B використовується лише 1 порт, який налаштований на вихід. У початковій конфігурації порти 7 і 4 групи D мають високий логічний рівень - це потрібно для того, щоб виставити мікрокрок на драйвері. Порти 1-3 групи C працюють у режимі Pull-Up та відповідають за обробку натискання кнопок. Нульовий порт групи B з'єднаний з виведенням ENN драйвера, на ньому теж високий логічний рівень, який тримає драйвер у вимкненому стані.

3.1.2 Програмна реалізація керування кроковим двигуном

Щоб зробити один крок за допомогою крокового двигуна МК посилає на драйвер команди: ввімкнення, напрямки, мікрокроку, а потім 1 такт крокового сигналу, який є зміною логічного сигналу з нуля на одиницю, потім з одиниці до нуля, потім, якщо необхідно, посилається команда вимкнення драйвера. Щоб виконати кілька кроків у програмі прописується цикл, в якому інвертується стан на виведенні, що відповідає за крок, за допомогою реєстру логічного стану PORT. Кількість кроків, у такому разі, буде вдвічі меншою, ніж задана кількість ітерацій у циклі.

На рис. 3.2 представлений елемент програмного коду. Видно, що цикл виконує 512 тис. ітерацій або 256 тис кроків, у перерахунку на відстань каретка з дзеркалом переміститься на 80 міліметрів. Так само цикл додано затримка, так як час обробки сигналу кроку драйвером обмежено, але більший сенс тимчасова затримка має в регулюванні швидкості сканування. Чим менше затримка між кроками, тим швидше сканування.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

PORTB = (0 << PB0_EN);
PORTD |= (0 << PD2_DIR);
for(int i=0;i<512000;i++)
{
    PORTD ^= (1 << PD3_STEP);
    _delay_ms(18);
}
PORTB |= (1 << PB0_EN);

```

Рисунок 3.2 – Лістинг програми, що реалізує покрокове зміщення

3.1.3 Принцип роботи та конфігурація АЦП

АЦП перетворює аналогове значення напруги на цифрову інформацію. Для АЦП виділяють 2 основні характеристики:

- роздільна здатність (розрядність), що характеризується в бітах;
- частота дискретизації, характеризується у відліках за секунду.

Бітність АЦП визначає точність перетворення, чим вища бітність, тим точніше можна визначити значення напруги. Якщо бітність відповідає за точність оцифрування за величиною напруги, то друга характеристика відповідає за точність оцифрування сигналу за часом. Чим вища частота АЦП, тим менший проміжок часу можна оцифрувати.

Опорна напруга АЦП задає загальний діапазон вимірюваних напруг, вона має бути завжди більше від сигналу, що обробляється. Відносно опорної напруги порівнюється вхідний сигнал, а результат порівняння видається в частках від опорної напруги. Точність перетворення АЦП можна оцінити за допомогою виразу [14]:

$$\Delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^N} \quad (3.1)$$

де N – бітність АЦП. Візьмемо для прикладу опорну напругу 5 вольт, а бітність АЦП буде 10, тоді можна виміряти вхідний сигнал в діапазоні від 0 до 5 В з точністю:

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\Delta U = \frac{5-0}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 0,0048 \text{ В} \quad (3.2)$$

Отримана точність виміру оцінюється в 4 мВ.

У МК АТmega328Р є 6 виводів із 10-бітними АЦП, максимальна частота дискретизації - 15 кГц. Повна блок-схема пристрою АЦП у МК продемонстрована на рис. 3.3.

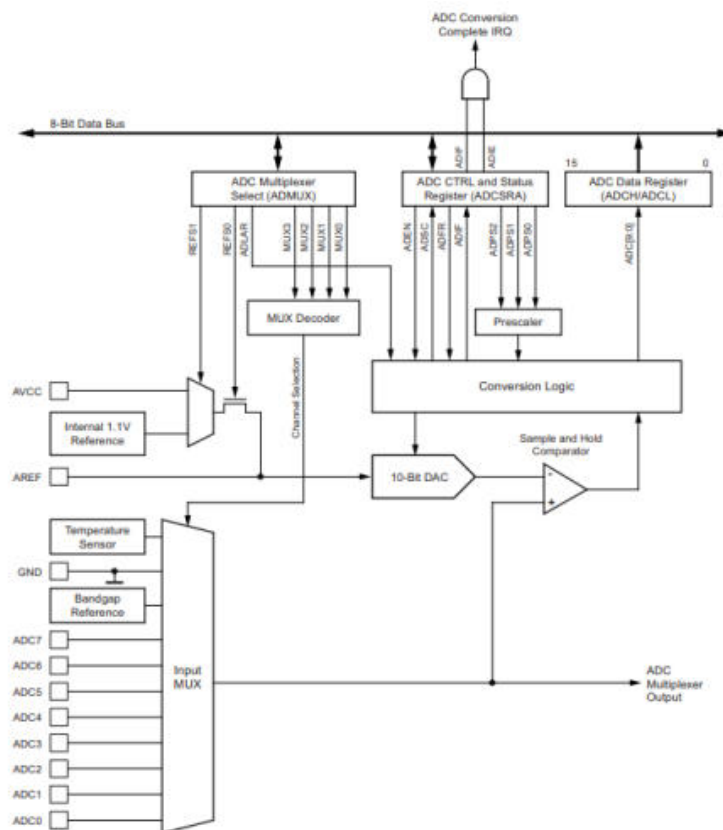


Рисунок 3.3 – Блок-схема пристрою АЦП у МК АТmega328Р

Конфігурація АЦП визначається чотирма однобайтовими регістрами: ADMUX, ADCSRA, ADCSRB і DIDR0. Останній регістр не використовується через необов'язкові налаштування.

Після того, як АЦП сконфігуровано і почало роботу, можна приступати до обробки даних. Дані, як уже говорилося раніше, представлені у вигляді 10-бітного регістра, діапазон значень коливається від 0 до 1023, залежно від величини вхідної напруги. Так як дані видаються цілими значеннями, їх можна помістити в змінну

типу int. На рис. 3.4 представлений елемент коду програми, який обробляє значення з АЦП.

```
int a;  
float voltage;  
a = ADC;  
voltage = a * (5 / 1023.0) * 1000;
```

Рисунок 3.4 – Елемент коду програми, що обробляє значення з АЦП

Дані після перетворення зберігаються в регістрі ADC, додатково створюється змінна типу float, значення регістру перераховується на напругу за формулою:

$$U = U_{ref} \cdot \frac{ADC}{1023}, \quad (3.3)$$

де U_{ref} - задана опорна напруга.

3.1.4 Конфігурація інтерфейсу USART

USART- універсальний синхронний/асинхронний приймач передавач, який дозволяє обмінюватися даними між пристроями .

Налаштування інтерфейсу зображено на рис. 3.5.

Передача даних здійснюється за допомогою присвоєння регістру UDR0 інформації, поданої як один байт.

```
void uart_init(uint32_t baudrate)  
{  
    UBRR0 = (uint16_t)((F_CPU / (8L * baudrate)) - 1);  
    UCSR0A = 1 << U2X0;  
    UCSR0B = 1 << TXEN0;  
    UCSR0C = ((1 << UCSZ01) | (1 << UCSZ00));  
}
```

Рисунок 3.5 – Налаштування інтерфейсу USART

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки регістр АЦП на виході видає 10-бітне значення, ми можемо передати значення у одній посилці. Після перерахунку регістру АЦП в напругу, ми отримуємо число типу float, тоді щоб розрізняти дані, що прилітають на ПК, ми розділяємо число на розряди і відсилаємо їх як символи згідно з ASCII протоколом. Щоб відокремити цілу частину, додатково відправляється крапка. Також, щоб розділити посилки між собою, наприкінці числа відправляється команда перекладу рядка, рис. 3.6.

```
int a, v;
float voltage;
uint8_t b, c, d, e;
a = ADC;
voltage = a * (5 / 1023.0) * 1000;
v = voltage;
b = '0' + (v/1000)%10;
c = '0' + (v/100)%10;
d = '0' + (v/10)%10;
e = '0' + (v%10);
uart_transmit(b);
uart_transmit('.');
uart_transmit(c);
uart_transmit(d);
uart_transmit(e);
uart_transmit('\n');
```

Рисунок 3.6 – Поділ числа на розряди та поетапна передача

Врешті-решт, виходить, що для передачі одного значення напруги потрібно 6 байт даних, що дуже неефективно. Задану швидкість передачі слід ділити на 6, тоді можна оцінити, скільки значень напруги можна отримати за секунду.

3.2 Під'єднання фотодіода та налаштування чутливості

3.2.1 Під'єднання фотодіода

Як детектор використовувався фотодіод ВРW21, під'єднаний у зворотному зміщенні, що використовується як давач освітленості.

Характеристики фотодіода [15] наведені в табл. 3.1.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Характеристики фотодіода BPW21

Характеристика	Значення (величина)
Інерційність фотодіода, мкс	1.5
Темновий струм (при напрузі 5 В), нА	200
Квантова ефективність (при 550 нм), ел./фот	0.77
Максимальна зворотна напруга	10
Пік спектральної чутливості, нм	550

Налаштування фотодіода проводилося за допомогою двох потенціометрів. Перший відповідав за величину напруги, що подається на фотодіод, другий за величину опорної напруги АЦП. На рис. 3.7 наведено фотографію схеми.

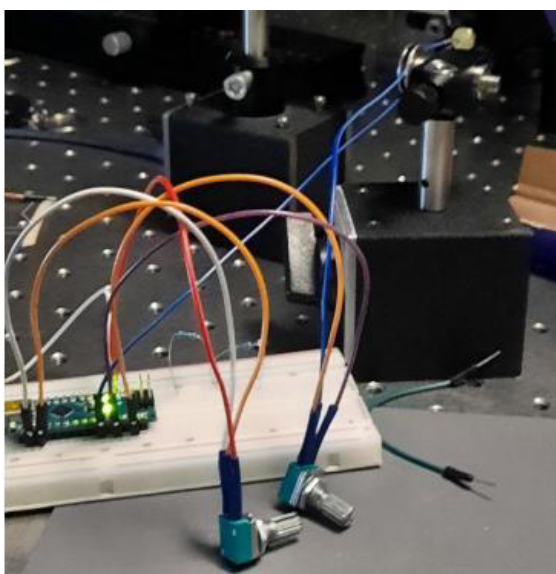


Рисунок 3.7 – Юстувальна схема фотодіода

Код програми написаний у застосунку ««Arduino IDE», який також має функції прошивки МК, монітора портів і будову графіків у реальному часі.

В першу чергу налаштовувався діапазон напруги, на рис. 3.8 наведений графік в реальному часі, по осі абсцис відкладалося кількість точок, а по осі ординат напруга.

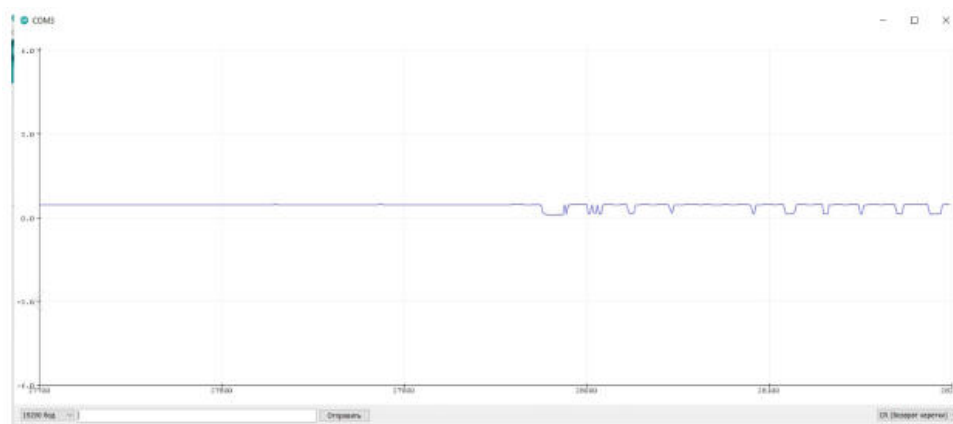


Рисунок 3.8 – Графік напруги у програмі Arduino IDE

При початкових налаштуваннях перевірялася чутливість фотодіода від повної темряви, до повного засвічення, зміна напруги становила 0,5 В.

Завданням налаштування чутливості фотодіода було підібрати необхідний діапазон напруги, при якому зміна напруги, залежно від освітленості, була б максимальною. З загальних міркувань, чутливість фотодіода повинна підвищитися, завдяки наступним правилам:

- опорна напруга на АЦП має бути мінімальною, але більшою, ніж на фотодіоді;
- напруга на фотодіоді має бути якомога вище.

Завдяки цьому вдалося підвищити чутливість фотодіода, зміна напруги, від темряви до повного засвічення лазером, становило приблизно 1,5 В. Графік зміни напруги від засвічення представлений на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Графік зміни напруги за різного освітлення

При досягнутому максимумі чутливості, на рис. 3.9 можна помітити, що у схемі з'явилися шуми. Імпульси проходили з певною періодичністю. Далі було встановлено і усунуто причину шумів, вона полягала в неякісному заземленні потенціометрів. Тим не менш, наявної чутливості не вистачало для того, щоб виміряти інтерференційну криву. Чергування смуг інтерференційної картини відображалось на графіку лише невеликими флуктуаціями напруги.

3.2.2 Проблеми з чутливістю фотодіода, шляхи їх вирішення

Проблема нездатності якісно детектувати інтерференційні смуги полягала у кількох причинах:

- погана видимість інтерференції, яка виникала через проблеми з оптичним обладнанням - наявний світлоділник розділяв пучки у співвідношенні 10:90, а не 50:50;
- прийнятної спектральної чутливості фотодіода не вистачало для детектування інтерференційних кривих;
- обмеженість у діапазоні напруг, які можна подавати на фотодіод.

Першорядним завданням стало досягнення максимальної видимості інтерференції. Для цього потрібно було вирівняти частки інтенсивностей розділених пучків після світлоділника. Це завдання було вирішено за допомогою установки поляризатора в плече інтерферометра з більшою інтенсивністю. При підбраному куті поляризатора, після подвійного проходження інтенсивність пучка зменшилася приблизно в 4 рази, співвідношення інтенсивностей пучків в обох плечах стала приблизно 1:1. Також була встановлена лінза (рис. 3.10) для селекції однієї смуги інтерференційної картини на отворі діафрагми, рис. 3.11.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

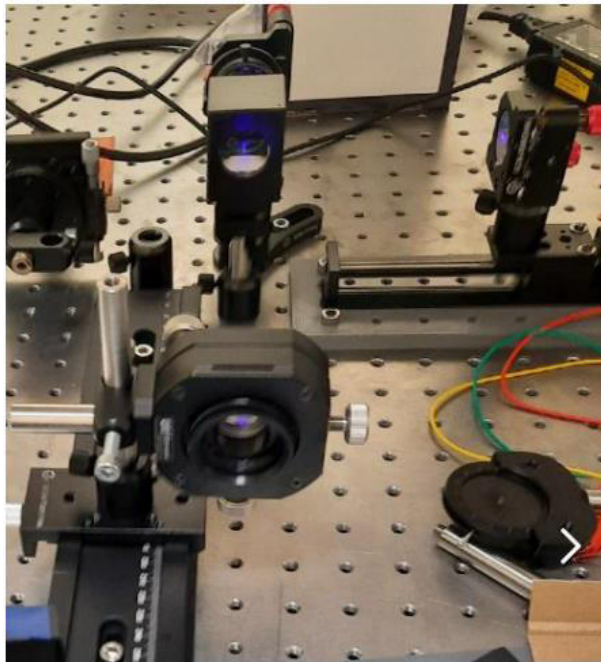


Рисунок 3.10 – Інтерферометр Майкельсона із встановленим поляризатором та лінзою

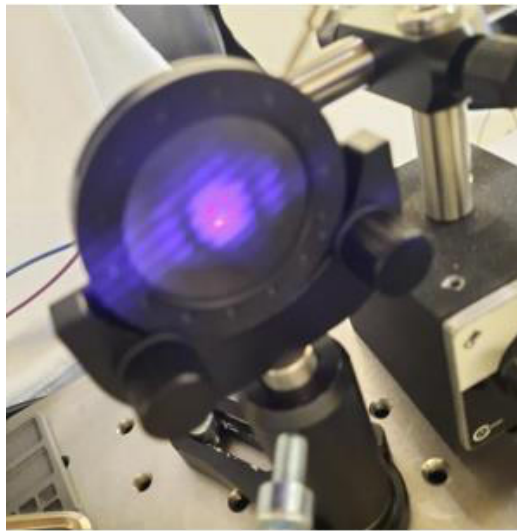


Рисунок 3.11 – Інтерференційна картина на діафрагмі

Другим завданням було забезпечення посилення сигналу з фотодіода. В силу певних обставин, для цього завдання використовувалася плата КУ-026, звичне призначення якої – давач вогню. Схема плати наведена на рис. 3.12 [16]. Давач мав операційний підсилювач LM393 і зовнішній потенціометр на 100 кОм, а як детектор використовувався інфрачервоний фотодіод. ІЧ фотодіод був замінений на наявний ВРW21, дотримуючись напряму під'єднання.

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

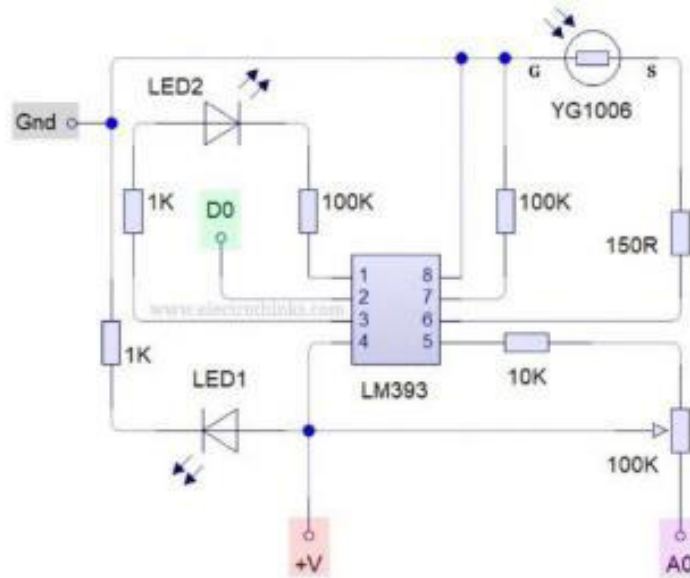


Рисунок 3.12 – Схема плати KY-026

Далі були проведені вимірювання посиленого сигналу, зміна напруги від темряви до повного засвічення лазером становила приблизно 4 вольт, графік наведено на рис. 3.13.

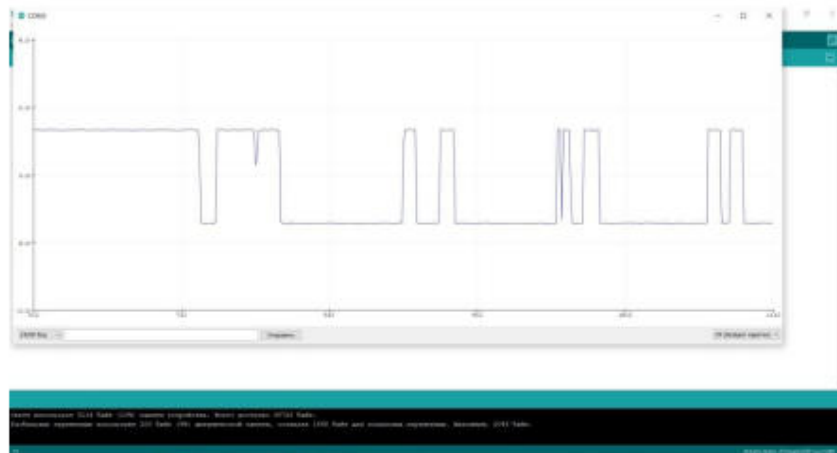


Рисунок 3.13 – Графік залежності напруги від освітленості, після підсилювача

Вирішивши ці завдання, вдалося підвищити чутливість фотодіода в 2,5 рази.

Далі було додаткове налаштування кута поляризатора, спираючись на сигнал напруги з фотодіода. На рис. 3.14 відображена залежність амплітуди зміни напруги від кута повороту поляризатора.

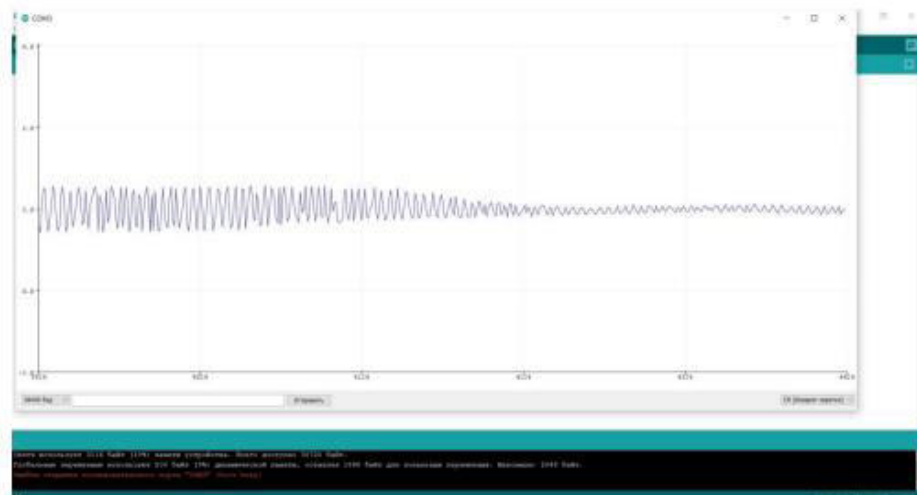


Рисунок 3.14 – Залежність амплітуди зміни напруги від кута повороту поляризатора

3.3 Сканування інтерферограми

Для того щоб провести сканування, в кодї програми МК потрібно виставити певне число кроків, що є еквівалентом довжини сканування, час затримки між кроками, що зі свого боку відповідатиме за швидкість сканування, а також швидкість передачі даних по USART.

Довжину сканування можна розрахувати так:

$$L = \frac{N}{(200 * M)} \quad (3.4)$$

де N -кількість кроків, а M - режим мікрокроку.

Швидкість сканування, залежно від часу затримки між кроками, можна розрахувати за такою формулою:

$$v = 1/2\tau(M * 200) \quad (3.5)$$

Формула (3.2) враховує, що на здійснення одного кроку потрібно дві тимчасові затримки, розрахована швидкість буде в [мм/с].

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проводилося декілька сканувань з різними характеристиками, емпіричним шляхом знайшли найоптимальніші:

- швидкість сканування, мкм/с: 10,5
- швидкість передачі даних USART, бод: 38400
- кількість кроків: 192000
- довжина сканування, мм: 60

Для відловлювання даних використовувалася програма монітора порту, показана на рис. 3.15.

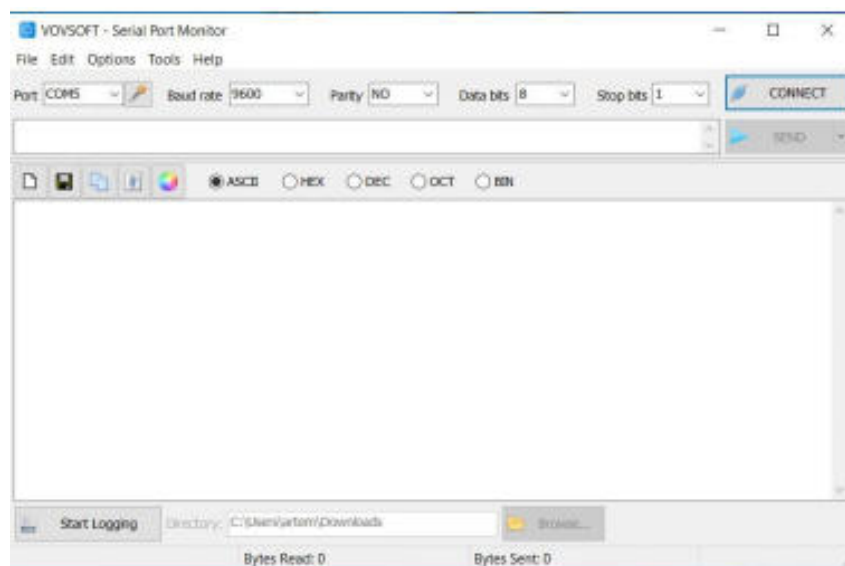


Рисунок 3.15 – Програма монітора порту

Особливістю даної програми є функція запису даних у txt файл, який надалі зручно обробляти.

3.4 Обробка результатів

Після завершення сканування отримуємо масив даних, який потрібно обробити. Обробка даних, побудова графіків та спектрів реалізовувалася у програмі Matlab. На рис. 3.16 відображено графік зміни напруги, залежно від освітленості фотодіода.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

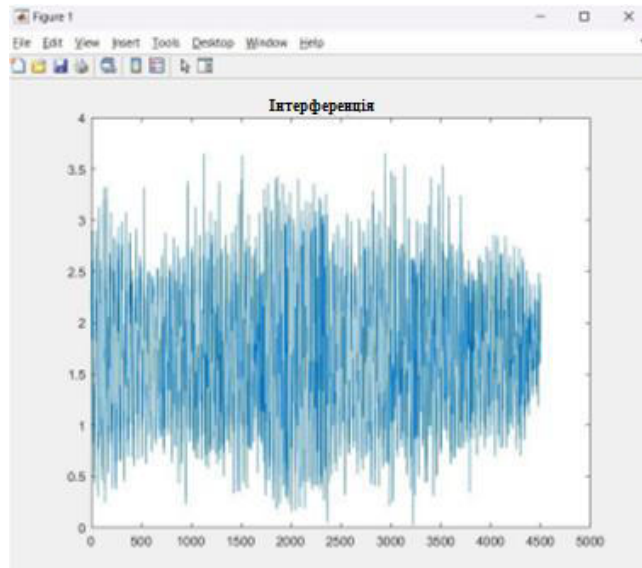


Рисунок 3.16 – Сигнал, що відображає форму інтерферограми

По осі абсцис відкладається номер значення, а по осі ординат значення напруги. Далі розраховується масив за часом, враховуючи тривалість сканування та кількість відліків за секунду (частота дискретизації сигналу). Після чого явно отримуємо функцію сигналу за часом. Далі за допомогою функції ДПФ обчислюється частотний спектр сигналу. Після додаткового нормування та перерахунку спектра частот у довжини хвиль, можна побудувати графік розподілу сигналу, рис. 3.17.

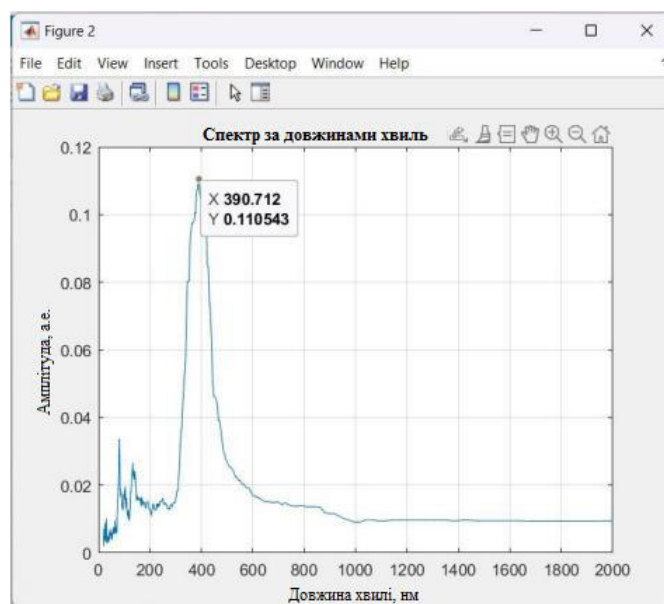


Рисунок 3.17 – Розподіл сигналу за довжинами хвиль

Як видно з графіка, обчислена довжина хвилі лазера практично збігається із довжиною лазера за паспортом.

Неточності розрахованого спектра виникають через цілу низку причин, основний внесок у похибку вносять: налаштування інтерферометра, точність кроків крокового двигуна і наявність брязкоту при русі.

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Стихійні лиха та їх класифікація

Стихійні дії сил природи, поки що не повною мірою підвладні людині та щорічно завдають державі і населенню величезних збитків. Стихійні лиха - це такі явища природи, що викликають екстремальні ситуації, порушують нормальну життєдіяльність населення, роботу безлічі об'єктів. Стихійні лиха є трагедією для будь-якої держави. Через стихійні лиха страждає економіка країни, бо при цьому руйнуються виробничі підприємства, знищуються матеріальні цінності, гинуть люди.

Стихійні лиха – небезпечні природні явища, як правило раптового походження, хоча іноді і прогнозовані за допомогою метеорології, але на інтенсивність яких люди впливати не можуть. Їх можна класифікувати: за швидкістю переміщення - землетруси, зсуви, цунамі, снігопади, ожеледі - швидкі; підвищення рівня води в ріках через інтенсивні опади або танення снігу, льоду (повіні), звільнення внутрішньої енергії Землі, виверження вулканів - повільні. Часто виникають потужні, високошвидкісні потоки повітря через швидкий перепад значень атмосферного тиску (урагани, смерчі і т.п.). Стихійні лиха речовинного характеру можуть ініціювати виникнення різноманітних полів, які негативно впливають на здоров'я, самопочуття людини [24].

Стихійні явища часто виникають в комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища визначаються трьома основними групами процесів - ендогенні, екзогенні та гідрометеорологічні.

Стихійні лиха, які характерні для України, за структурою можна поділити на прості, що включають один елемент - наприклад, сильний вітер, зсув або землетрус та складні. Вони складаються з декількох процесів однієї групи.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Зельманович Д.-А				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.					
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М					

Деякі стихійні лиха (пожежі, обвали, зсуви і навіть землетруси) можуть виникати в результаті дій самих людей, тобто мають антропогенне походження, але наслідки їх завжди є діями сил природи. Для кожного стихійного лиха характерна наявність властивих йому вражаючих чинників, що несприятливо впливають на стан здоров'я, життя людини [24].

Причинами стихійних лих можуть бути:

- швидке переміщення речовини (землетрусу, зсуви);
- вивільнення внутріземної енергії (вулканічна діяльність, землетруси);
- підвищення рівня вод річок, ставків і морів (повені, цунамі);
- вплив надзвичайно сильного вітру (урагани, торнадо, циклони).

Важливо своєчасно провести роботи, спрямовані на локалізацію природного лиха, щоб зменшити зони руйнувань, звести до мінімуму кількість загиблих та постраждалих.

В Україні найчастіше спостерігаються такі надзвичайні ситуації природного характеру:

- небезпечні геологічні явища (зсуви, обвали, осипки, просадки земної поверхні);
- небезпечні метеорологічні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь);
- небезпечні гідрологічні явища (повені, паводки);
- природні пожежі лісових та торф'яних масивів;
- масові інфекції та хвороби людей, тварин, рослин.

В останні роки кількість стихійних лих в Україні та в світі в цілому значно збільшилася. Найчастіше в Україні виникають такі природні катастрофи як землетруси, повені, посухи (на Півдні України), лісові пожежі в літню пору року, снігові замети, зсуви поверхні.

Є серйозні підстави вважати, що масштабність впливу лиха й катастроф на соціальні, економічні, політичні та інших процесів сучасного нашого суспільства та їх драматизм вже перевищили такий рівень, який дозволяв ставитися до них

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як до локальних збоїв у розміреному функціонуванні державних та громадських структур [24].

Отже, перед людиною та громадськістю в XXI в. вимальовується нова мета - глобальна безпека. Досягти цього можна, в першу чергу, за допомогою зміни світогляду людини, а також покращення системи профілактичних заходів у боротьбі зі стихійними лихами, а саме: вдосконалення рятувальних служб та рятувальної техніки, проведення попереджувальних заходів та пропагандистської роботи з громадянами щодо правил поведінки та дій під час стихійних лих. Це допоможе в майбутньому зменшити кількість загиблих та постраждалих від природних катастроф, а також зменшить матеріальні збитки, що були завдані стихійним лихом.

Природні лиха з часом нікуди не зникнуть. Будуть виникати землетруси в геологічно активних районах, будуть виникати повені, а штормові припливи стануть, раз у раз затопляти морські узбережжя, не обійдеться і пожеж. Людина безсила запобігти природним процесам, але тільки в наших силах зменшити кількість жертв і матеріальних втрат.

4.2 Соціальне значення охорони праці

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань [25]. Соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів і збільшенні сукупного національного продукту.

Охорона праці полягає в сприянні росту ефективності виробництва, яке досягається шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань.

Зростання продуктивності праці відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньо-змінних простоїв шляхом

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу.

Важливим питанням є зростання продуктивності праці, яка відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньозмінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу [25].

Особливої уваги заслуговує те, що збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності. Відповідно і збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів. Збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності. Збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів. Крім того, соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів.

Комплекс заходів з поліпшення умов праці може забезпечити приріст продуктивності праці на 15-20%. Так, нормалізація освітлення робочих місць

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшує продуктивність на 6-13% та скорочує брак на 25%. Раціональна організація робочого місця підвищує продуктивність праці на 21%, раціональне фарбування робочих приміщень – на 25% [25]. Збільшення ефективного фонду робочого часу може бути досягнуто за рахунок скорочення тимчасової непрацездатності працівників внаслідок хвороб та виробничого травматизму.

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

ВИСНОВКИ

У цій роботі було розглянуто принципи та методи Фур'є-спектроскопії, на основі яких проводиться обчислення та аналіз спектрів випромінювання.

Також було виконано низку поставлених завдань:

- складено та юстовано інтерферометр Майкельсона;
- створено модуль управління інтерферометром;
- розроблено систему реєстрації оптичного сигналу;
- побудована електрична схема з'єднань;
- забезпечена програмне конфігурування МК;
- здійснено обробку одержаних результатів.

Крім поставлених завдань також було проведено низку додаткових рішень, які покращували якість експерименту. Було виявлено фактори, що забезпечують якість та точність експерименту. На основі отриманих експериментальних даних було побудовано спектр випромінювання випробуваного лазера.

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зеленський С.Є., Охріменко Б.А. Лазерна спектроскопія: навчальний посібник для фізичних спеціальностей класичних університетів, 2019. 454 с.
2. Parson W.W. Modern Optical Spectroscopy. With Examples from Biophysics and Biochemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. 512 p.
3. Конончук Г.Л., Прокопець В. М., Стукаленко В.В.. Вступ до фур'є-оптики: навчальний посібник. К.: Видавничополіграфічний центр «Київський університет», 2009. 320 с.
4. M. Quack. Handbook of High-Resolution Spectroscopy, /M. Quack, and F. Merkt/ Eds. Wiley Chichester, - 2011, - V. 2, - с. 26, - p. 965– 1019
5. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методика: навчальний посібник для підготовки студентів вищих навчальних закладів / Д.О. Мельничук, С.Д. Мельничук, В.М. Войціцький та ін. К.: ЦП «Компринт», 2016. 289 с.
6. Holmes G., Lindon J. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry. Vol. 1–3. Third Edition. Tranter: Elsevier, 2000. 258 p.
7. Herres W. Understanding FT-IR Data Processing/Herres W., Gronholz J./ Bruker Analytische Messtechnik, GmbH, - 2007 - p.23
8. Abidi N. Introduction to FTIR Microspectroscopy. FTIR microspectroscopy. // Cham, 2021. P. 1–12.
9. Perkins W. D. Fourier transform infrared spectroscopy. Part II. Advantages of FT-IR./Perkins W. D./ Journal of Chemical Education, - 1987 – V.64
10. Галян В.В., Третяк А.П., Кевшин А.Г. Оптична спектроскопія та фотометричні вимірювання : методичні рекомендації до лабораторних робіт. Луцьк : Вежа-Друк, 2023. 48 с
11. OBIS LX SF - SINGLE FREQUENCY. URL: <https://www.coherent.com/resources/datasheet/lasers/obis-lx-sf-ds.pdf> (дата звертання: 29.04.2026).

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Datasheet ATmega328P. URL: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf (дата звертання: 29.04.2026).

13. TMC2208. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/dravyver-shagovogo-dvigatelya-tmc2208.pdf> (дата звертання: 29.04.2026).

14. Introduction to Fourier Transform Infrared Spectroscopy. URL: <https://documents.thermofisher.com/TFS-Assets/MSD/brochures/introduction-fourier-transform-infrared-spectroscopy-br50555.pdf> (дата звертання: 29.04.2026).

15. BPW 21 DATASHEET OSRAM. URL: <https://look.ams-osram.com/m/2ce36b84bdf847e/original/BPW-21.pdf> (дата звертання: 29.04.2026).

16. ARDUINO FLAME SENSOR KY-026. URL: https://arduinomodules.info/ky-026-flame-sensor-module/#google_vignette (дата звертання: 29.04.2026).

17. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

18. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

19. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

20. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

21. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer

					КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

22. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

23. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

24. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

25. Основи охорони праці: Підручник.; 3-те видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

					<i>КС КРБ 123.164.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

Додаток А.
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2026 р

**КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО СКАНУВАННЯ
ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОЇ КАРТИНИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ З
КВАНТОВОЇ ОПТИКИ**

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на _8_ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Баран І.О.

« ____ » _____ 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студентка групи СІ-41

_____ Зельманович Д.-А.М.

« ____ » _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.164.00.00

1.2 Виконавець

Студентка групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Зельманович Дарія-Анна Михайлівна.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/9-188 від 24.04.2026 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 16.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ГОСТ, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики призначена для сканування інтерференційної картини за допомогою мікроконтролера (МК) АТmega328Р.

До складу системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення системи зумовлена тим, що в лабораторіях, які займаються дослідження в галузі квантової оптики, існує потреба у знанні точних спектральних характеристик джерел випромінювання. Ця розробка демонструє, що для таких потреб може використовуватися модуль сканування замість дорогого обладнання.

2.2 Мета створення системи

Основна мета розробки комп'ютерної системи автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики полягає у створенні системи сканування, яка передбачає управління інтерферометром та детектування оптичного сигналу, на основі МК АТmega328Р.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- складання та юстування інтерферометра Майкельсона;
- створення модулю керування інтерферометром;

- створення системи реєстрації оптичного сигналу;
- розробка схеми з'єднань електричну;
- програмне конфігурування МК;
- проведення обробки отриманих результатів.

2.3 Характеристика об'єкту

2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Передбачається розробити прототип системи автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики. Основні функції, що вимагають реалізації в системі автоматизованого сканування інтерференційної картини, що розробляється:

- якісно детектувати інтерференційні смуги;
- регулювання величини струму на обмотках крокового двигуна;
- керування різницею ходу;
- досягнення мінімального кроку для якісного сканування інтерференції;
- реєстрація оптичного сигналу;
- запис даних сканування у txt файл;
- передача оброблених даних на ПК.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути спроектована так, щоб до її складу без особливих зусиль можна інтегрувати різні елементи управління, а також нові пристрої, не порушуючи при цьому структуру системи.

У проєктованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- інтеграція з іншими виробниками пристроїв;
- продуктивність роботи програмного забезпечення;
- повністю реконфігурований інтерфейс;

- часова ефективність.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Система управління розбивається на два рівні: верхній рівень, що складається зі стандартного ПК на системі Windows не нижче 7 версії з встановленим спеціалізованим ПЗ, і пов'язаний за інтерфейсом USART з мікроконтролером інтегрований до складу системи і нижній рівень, реалізований на програмованому контролері, котрий забезпечує функції керування кроковими двигунами.

До структури та функціонування комп'ютерної системи автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики входять кнопки та світлодіод, пов'язані з портами контролера; драйвер, пов'язаний з вихідними портами контролера та шинами керування кроковими двигунами.

В цілому, концептуальна модель комп'ютерної система автоматизованого сканування інтерференційної картини повинна описувати предметну область.

Для прийому та обробки даних використовується мікроконтролер.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Пропоноване рішення застосовує USART для зв'язку між ПК та контролером.

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп'ютерної системи автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку та модернізації комп'ютерної системи автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики є можливість подальшого розширення функціоналу контролера за допомогою під'єднання додаткових пристроїв системи керування та втілення повноекранного інтерфейсу користувача.

Існуюча апаратна складова системи при цьому не повинна зазнавати значних змін, а програмне забезпечення системи повинно передбачати гнучкість та здатність до масштабування.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп'ютерна система автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики повинна бути захищена на як на фізичному, так і на програмному рівнях. Фізичний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до апаратного забезпечення, зокрема мікроконтролера та під'єднаних до нього компонентів.

Програмний рівень захисту повинен передбачати захист від сторонніх втручань і впливів.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати комп'ютерна система автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики полягають в наступному:

- можливість якісного визначення інтерференційної смуги;
- передача даних від МК;
- припинення роботи у разі виявлення несправностей;
- надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення зручності використання програмної частини.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

- інтерферометр Майкельсона;
- налагоджувальна плата "Arduino Nano", з чіпом 8-бітного МК "ATmega328P" компанії "Atmel";
- драйвер ТМС2208;
- кроковий двигун NEMA11;
- фотодіод ВРW21;
- плата КУ-026.

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

- ОС Windows не нижче версії 7 (для ПК);
- пакет Matlab (для обробки даних);
- Arduino C/C++ (Arduino IDE) (для МК)

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - 1 Схема автоматизованої системи сканування.
 - 2 Схема з'єднань елементів.
 - 3 Прототип схеми на макетній платі.
 - 4 Обробка результатів

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість комп'ютерної системи автоматизованого сканування інтерференційної картини для лабораторного стенду з квантової оптики повинна становити не більше 2 000 грн.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02

2.	Підбір джерел про сканування на основі Фур'є-спектроскопії	03.02 – 06.04
3.	Опрацювання літературних джерел	07.04 – 10.05
4.	Виконання дослідження щодо побудови системи автоматизованого сканування для Фур'є-спектроскопії	11.05 – 13.05
		14.05 – 18.05
5.	Написання програмного коду	19.05 – 22.05
6.	Оформлення розділу «Теорія Фур'є-спектроскопії»	23.05 – 26.05
7.	Оформлення розділу «Проектна частина»	27.05 – 28.05
8.	Оформлення розділу «Практична частина»	
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	26.05 – 30.05
		01.06 – 03.06
10.	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	04.06 – 09.06
11.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	11.06 – 17.06
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06
13.	Захист кваліфікаційної роботи	24.04 – 30.04

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Код програми для обробки даних та обчислення спектру

```
%uiimport()
%%
tmp = input_data(27000: 31500);
%%
L = length (tmp);
inter = zeros (size (tmp));

for i = 1 : L
    if strlength(tmp(i) ) == 5
        inter(i) = double(tmp(i));
    else
        inter(i) = 0.5* (inter(i-1) + double(inter(i+1) )) ;
    end
end

figure(1), plot(inter), title( 'Інтерференція' )
fft_inter_all_freq = fftshift(fft(inter) )/L*2;
fft_inter_positive = fft_inter_all_freq ( round ( L/2): end);
%fft_inter_positive(1:10) = 0;
fft_inter_median = medfilt1(abs(fft_inter_positive), round(L/125));

writing_freq = 2048;
V = 2*10.4 * 1e3;

FREQ_ writing_freq *(0:round(L/2-0.5))/L;
figure(2), plot(V./FREQ_, abs(fft_inter_median) ) ,
title( 'Спектр за довжинами хвиль'), grid on xlabel( 'Довжина хвилі,
    нм'); ylabel( 'Амплітуда, а.е.') xlim( [0 2000])

clear i tmp
```