

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Система керування лазерним 3D сканером для отримання
тривимірної моделі людини»

Здобувача(ки) групи СУ-91

Овдієнко Владислав Юрійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

(підпис)

Владислав ОВДІЄНКО

Керівник: доцент кафедри КСУ, к.ф-м. н., доцент, Сергій СОКОЛОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Ном.поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1	A4		Завдання кафедри	2		
			<u>Новорозроблена</u>			
2	A4	T3	Технічне завдання	5		
3			Анотація	1		
4	A4	СУ-91 6.151.01 ПЗ	Пояснювальна записка	70		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A4	СУ-91 6.151.01 A2	Функціональна схема автоматизації	1		
6	A3	СУ-91 6.151.01 E3	Електрична принципова схема	6		

					СУ-91.6.151.01.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
		Овдієнко В.Ю.			Літ.	Арк.	Аркушів
		Соколов С.В.					
Реценз.					СумДУ, СУ-91		
Н. Контр.							
Затверд.		Леонтьев П.В.					
					Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини Відомість проекту		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра здобувачу вищої освіти
Овдієнку Владиславу Юрійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 01 " червня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): аналіз існуючих подібних систем керування, загальний опис системи, розробка структурної схеми системи, постановка задач, які потребують вирішення, опис контурів керування, розробка функціональної схеми автоматизації, підбір технічних засобів автоматизації, розробка програмного забезпечення, створення електричної принципової схеми, створення системи керування.
5. Перелік графічних матеріалів: 30 рисунків, 12 таблиць, 2 додатки.
6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	24.02.2023– 03.03.2023

2	Аналітичний огляд аналогів. Розробка структурної схеми.	04.03.2023– 25.03.2023
3	Опис системи та її складових. Розробка функціональної схеми.	26.03.2023– 14.04.2023
4	Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації.	05.04.2023– 25.04.2023
5	Розробка алгоритмів керування та програмного забезпечення.	26.04.2023– 15.05.2023
6	Розробка електричної принципової схеми. Перевірка створеної системи керування.	16.05.2023– 28.05.2023
7	Оформлення дипломного проекту та технічної документації.	01.06.2023

7. Дата видачі завдання " 24 " лютого 2023 р.

Керівник проекту:

доцент кафедри КСУ,
к.ф-м. н., доцент

Сергій СОКОЛОВ

Здобувач:

студент гр. СУ-91

Владислав ОВДІЄНКО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування системи керування лазерним 3D сканером для
отримання тривимірної моделі людини

Розробник:
студент групи СУ-91

Владислав ОВДІЄНКО

Погоджено:
к.ф.-м.н., доцент

Сергій СОКОЛОВ

1. Назва і галузь застосування: Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини. Галузь комп'ютерного зору та комп'ютерної графіки

2. Підстави для проектування: Наказ ректора Сумського державного університету № 0263 VI від “14” березня 2023р.

3. Загальний опис об'єкта автоматизації:

Це система, що дозволяє автоматично сканувати об'єкти з використанням лазерної технології для отримання точної 3D-інформації. Система складається з лазерного сканера, рухомої платформи та комп'ютерної системи для обробки та аналізу отриманих даних. Лазерний сканер випромінює структуроване світло на об'єкт, а камера фіксує його відбиття, створюючи точний 3D-зображення. Рухома платформа контролює рух сканера навколо об'єкта, забезпечуючи повний огляд з різних кутів. Отримані дані передаються на комп'ютер для подальшої обробки та використання.

4. Основні частини системи та структурна схема: система має декілька основних контурів керування: контур керування обертовою платформою, що відповідає за обертання платформи навколо об'єкта, що сканується; контур керування нахилом модуля з камерою та лазером, що забезпечує точне та контрольоване нахилення модуля для отримання оптимальних зображень та проекції лазерної лінії на об'єкт; контур керування освітленням

5. Опис блоків системи керування : У лазерному 3D сканері присутні два основних блоки керування: блок керування сканером і блок керування даними. Блок керування сканером: Цей блок відповідає за керування рухом сканера та лазерним променем під час сканування об'єкта. Блок керування даними: Цей блок відповідає за збір, передачу та обробку даних, отриманих під час сканування.

6. Опис алгоритмів та режимів роботи системи.

Режими роботи:

- *Ручний режим.* У цьому режимі оператор самостійно керує рухом сканера та активує процес сканування. Він може визначати кут обертання, швидкість руху та інші параметри сканування вручну.
- *Автоматичний режим.* У цьому режимі система працює самостійно без прямого участі оператора. Вона сканує об'єкт автоматично, керуючи рухом сканера та активуючи лазерний промінь за певними програмними налаштуваннями.

Алгоритми:

- Алгоритми реконструкції поверхні: Ці алгоритми використовують отримані дані з камери та енкодера для створення точної 3D-моделі поверхні об'єкта. Вони можуть включати методи об'єднання точок, інтерполяцію даних та розрахунок нормалей поверхні.
- Алгоритми фільтрації шуму: Ці алгоритми використовуються для видалення шуму або артефактів, що можуть з'явитися на сканованій поверхні. Вони можуть застосовувати фільтри, які враховують густину точок, розміри об'єкта та інші характеристики для покращення якості даних.
- Алгоритми відстеження руху: Ці алгоритми використовуються для точного визначення положення сканера під час руху. Вони можуть використовувати дані з енкодера та індуктивних датчиків для визначення місцеположення та поворотів сканера і модуля та коригування отриманих даних.
- Алгоритми обробки даних: Ці алгоритми використовуються для подальшої обробки отриманих даних, наприклад, для видалення артефактів, розрізнення об'єктів.

7. Умови експлуатації системи керування:

- Температурний діапазон: робоча температура може бути від 10°C до 40°C. Не допускається експлуатація поза цим діапазоном, оскільки екстремальні температури можуть впливати на якість сканування та функціонування пристрою.
- Вологість: рекомендований діапазон вологості повітря зазвичай становить від 20% до 80%. Висока вологість може призвести до конденсації на оптичних елементах сканера, що негативно вплине на якість зображень.
- Освітлення: рекомендовано використовувати сканер в середовищах з природним або штучним рівномірним освітленням, або в темному приміщенні. Уникайте прямого сонячного світла та яскравих джерел світла, які можуть створювати відблиски та тіні на зображеннях.

- Електромагнітна сумісність: забезпечте відстань між сканером та іншими електронними пристроями або джерелами електромагнітних полів, щоб уникнути впливу перешкод на роботу сканера.
- Безпека лазера: Якщо сканер використовує лазерний промінь, дотримуйтеся вимог безпеки. Так як лазер має клас безпеки 1м це означає, що випромінювання лазера може бути безпечно для використання, за винятком випадків, коли використовуються збільшувальні лінзи або окуляри, що можуть змінювати характеристики променя.
- Обслуговування та чистка: Регулярно очищуйте оптичні елементи сканера, виконуйте калібрування та перевіряйте стан кабелів та з'єднань.

8. Технічні вимоги:

- Роздільна здатність: сканер повинен мати достатню роздільну здатність для захоплення дрібних деталей тіла людини, таких як текстура шкіри, волосся та вирази обличчя. Рекомендована роздільна здатність сканера повинна бути не менше 0,1 мм.
- Швидкість сканування: сканер повинен мати достатню швидкість сканування для отримання зображень з різних кутів тіла людини без помітних затримок. Швидкість сканування повинна бути не менше 40 000 точок за секунду.
- Робоча відстань: Сканер повинен мати достатню робочу відстань, щоб забезпечити повне покриття тіла людини. Робоча відстань сканера повинна бути не менше 1 метра.
- Маневреність та комфорт: Сканер повинен бути зручним у використанні та забезпечувати легку маневреність навколо людини під час сканування.
- Рівень пиле-волого захисту IP20.

9. Стадії та етапи проектування:

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Ознайомлення із завданням. Аналіз існуючих подібних систем.	21.02.2023– 01.03.2023
2	Розробка технічного завдання. Визначення основних елементів системи та побудова структурної схеми.	02.03.2023– 16.04.2023
3	Розробка функціональної схеми.	16.04.2023– 19.04.2023
4	Вибір засобів автоматизації.	20.04.2023– 25.04.2023
5	Розробка та принципової електричної схеми та програмного забезпечення.	25.04.2023– 05.05.2023
6	Технічне оформлення проекту.	06.05.2023– 28.05.2023

10. Додатки:

Конструкторська документація:

Додаток А. Функціональна схема автоматизації

Додаток Б. Електрична принципова схема

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини

Автор: Овдієнко Владислав Юрійович; Сумський державний університет; 4 курс; Суми.

Науковий керівник: Соколов Сергій Вікторович; доцент кафедри КСУ кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Робота містить вступ, чотири розділи, загальним обсягом 70 сторінок, 30 рисунків, 12 таблиць, 21 джерело.

В першому розділі проводиться аналіз областей застосування 3D сканерів, їх класифікація. В цьому розділі формуються критерії до системи, та проводиться аналіз факторів, які будуть впливати на систему керування. В другому розділі виконується розробка структурної схеми, на основі якої розробляється ФСА і ділиться по контурам керування. В третьому розділі виконується підбір засобів автоматизації згідно сформованим критеріям. В четвертому проводиться вибір ПЗ для програмування контролера та ПЗ для розробки принципової електричної схеми. Наведений алгоритм сканування, лістинг коду для керування обертанням обертовою платформи і лазером та опис принципової електричної схеми.

Розроблено технічне завдання. основні технічні креслення такі як: структурна, функціональна, електрична-принципова схеми. Створений алгоритм сканування.

Ключові слова: система керування, 3D сканер, тривимірна модель, лазерна тріангуляція.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини»

Керівник проекту:

к.ф.-м.н., доцент

Сергій Соколов

Здобувач:

Студент групи СУ-91

Владислав Овдiєнко

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ 3D-СКАНЕРІВ	8
1.1 Класифікація 3D-сканерів	8
1.1.1 Контактні 3D сканери.....	9
1.1.2 Принцип роботи КВМ	10
1.1.3 Безконтактні 3D сканери.....	13
1.1.4 Приклади безконтактних 3D сканерів	13
1.1.5 Тріангуляційні сканери	16
1.1.6 Коноскопичні сканери.....	17
1.1.7 Стереоскопічні сканери.....	18
1.2 Застосування сканерів	19
ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ	21
РОЗДІЛ 2 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЛАЗЕРНИМ 3D СКАНЕРОМ.....	22
2.1 Розробка структурної схеми.....	22
2.2 Розробка функціональної схеми	23
2.3 Принцип роботи системи	25
2.4 Опис контурів керування	26
2.4.1 Контур керування обертовою платформою	26
2.4.2 Контур керування нахилом модуля з камерою та лазером	28

					СУ-91.6.151.01.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини Відомість проекту	Лім.	Арк.	Аркушів
		Овдiєнко В.Ю.						
		Соколов С.В.						
Реценз.						СумДУ, СУ-91		
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьев П.В.						

2.4.3	Контур керування освітленням	30
2.5	Таблиця вхідних і вихідних сигналів контролера	32
	ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ	33
	РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	34
3.1	Підбір мікропроцесорного пристрою	34
3.3	Фоторезистор	38
3.4	Драйвер на транзисторі	39
3.5	Світлодіодна лампа	40
3.6	Лазерний модуль	41
3.7	Вебкамера	43
3.8	Електропривод для керування обертовою платформою	44
	ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ	53
	РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА	54
4.1	Вибір середовища програмування	54
4.2	Алгоритм сканування об'єкта	56
4.3	Лістинг програми	58
4.3	Вибір середовища для розробки принципової електричної схеми ..	59
4.4	Опис принципової електричної схеми	59
4.4.1	Живлення системи	59
4.4.2	Підключення персонального комп'ютера	60
4.4.3	Керування обертовою платформою	61
4.4.4	Керування нахилом модуля з камерою та лазером	62

					СУ-91.6.151.01.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Овдієнко В.Ю.			<i>Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини Відомість проекту</i>	Лім.	Арк.	Аркушів
		Соколов С.В.						
Реценз.					СумДУ, СУ-91			
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьев П.В.						

4.4.5 Керування лазером та освітленням.....	63
4.4.5 Керування камерою та зв'язок МК з ПК	63
ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ	65
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68
Додаток А. Функціональна схема автоматизації.....	71
Додаток Б. Принципова електрична схема	72

					СУ-91.6.151.01.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Овдієнко В.Ю.			<i>Система керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини Відомість проекту</i>	Лім.	Арк.	Аркушів
		Соколов С.В.						
Реценз.					СумДУ, СУ-91			
Н. Контр.								
Затверд.		Леонтьев П.В.						

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВМ – виконуючий механізм;

КВМ – контактнo-вимірювальна машина;

ІЧ – інфрачервоне світло;

ФСА – функціональна схема автоматизації;

МК – мікроконтролер;

ПК – персональний комп'ютер;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ІД – індуктивний давач;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

КД – кроковий двигун;

USB – універсальна послідовна шина.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У сучасному світі, де розвиток технологій неспинно наближається до висот неба, важливо знати, як використовувати ці нові можливості для покращення нашого повсякденного життя. Однією з таких технологій, яка набуває все більшої популярності, є 3D сканування. Воно дозволяє створювати тривимірні моделі різних об'єктів, що забезпечує широкий спектр застосувань у різних сферах, включаючи медицину, промисловість та розваги.

Одним з найцікавіших напрямків розвитку 3D сканування є отримання тривимірної моделі людини. Це відкриває безліч можливостей у багатьох галузях, починаючи від моделювання одягу та фітнес-індустрії, і закінчуючи медичною діагностикою та віртуальною реальністю. Але для досягнення високої якості тривимірної моделі людини потрібна ефективна система керування лазерним 3D сканером.

Актуальність системи керування лазерним 3D сканером для отримання тривимірної моделі людини полягає в тому, що існуючі методи та технології мають свої обмеження та недоліки. Наприклад, деякі системи сканування можуть бути недостатньо точними або дуже громіздкими у використанні. Інші можуть потребувати тривалого часу для сканування або обробки даних.

Таким чином, розробка ефективної системи керування лазерним 3D сканером, яка забезпечує високу якість та швидкість сканування, стає актуальною задачею.

Об'єктом дослідження є система керування лазерним 3D сканером та отримання тривимірної інформації про об'єкт, що сканується.

Основним предметом дослідження є процес сканування людини за допомогою 3D сканера з метою отримання точної тривимірної моделі тіла. Дослідження спрямоване на розробку системи лазерного 3D сканера, що дозволить здійснити точне та швидке сканування людини, забезпечуючи високу якість отриманої тривимірної моделі.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета роботи: основною метою була розробка необхідної документації для створення пристрою, який здатний захоплювати тривимірні дані об'єктів, зокрема людей.

Для досягнення мети необхідно виконати такі **завдання:**

- 1) Проаналізувати типи та види сканерів, щоб застосувати цю інформацію у розробці документації для власного 3D сканера.
- 2) Розробити структурну та функціональні схеми, щоб описати взаємозв'язки та взаємодію між різними компонентами сканера.
- 3) Розробити ФСА, на якій система керування поділена по контурам.
- 4) Розробити принципово електричну схему, яка відображає електричні компоненти, їх з'єднання та функціональні залежності між ними.
- 5) Підібрати необхідну периферію для створення системи керування лазерним 3D сканером.

					<i>СУ-91 6.151.01.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБЛАСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ 3D-СКАНЕРІВ

1.1 Класифікація 3D-сканерів

3D-сканер — це спеціальний пристрій, який аналізує певний фізичний об'єкт або простір, отримуючи дані про форму відсканованого об'єкта та, у деяких випадках, його зовнішній вигляд (наприклад, колір). Зібрані дані далі використовуються для створення цифрової 3D-моделі об'єкта.

Існує безліч технологій, які можна використовувати для реалізації 3D-сканера, і всі вони відрізняються певними перевагами та недоліками, а також вартістю. Крім того, існують деякі обмеження щодо об'єктів, які можна оцифрувати. Зокрема, для деяких технік виникають труднощі при роботі з предметами, які блискучі, прозорі або мають дзеркальну поверхню. Збір 3D-даних також важливий для інших програм.

Завдання 3D-сканера - створити хмару точок на поверхні об'єкта. Потім ці точки можна екстраполювати для відтворення форми об'єкта (цей процес називається реконструкцією). Якщо під час сканування також отримані дані про колір, можна також визначити колір реконструйованої поверхні.

3D-сканери схожі на звичайні камери. Зокрема, вони мають конусоподібне поле зору і можуть отримувати інформацію лише з тих затемнених поверхонь. Різниця між цими двома пристроями полягає в тому, що камери передають лише інформацію про колір поверхонь у полі зору, тоді як 3D-сканери збирають інформацію про відстані до поверхонь, які також знаходяться в полі зору. Таким чином, «картинка», отримана за допомогою 3D-сканера, описує відстань кожної точки зображення від поверхні. Це дозволяє визначити положення кожної точки на картинці відразу в 3 площинах. У більшості випадків для отримання інформації про форму об'єкта, створення повноцінної моделі необхідно виконати кілька етапів сканування.

Часто потрібне багаторазове сканування з різних напрямків, щоб отримати інформацію про всі сторони об'єкта.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Традиційна конструкція представляє собою три спільно ортогональні рейки X, Y і Z. Конструкція забезпечує переміщення по осі вимірювальній головці з сенсорним управлінням, яке працює за принципом дотику (контактний спосіб) або оптичним принципом (безконтактний метод). Шкали на шкірній осі дають цифрові високоточні вимірювання (наприклад, 0,1 мкм) відповідних позицій.

Крім цих контактних вимірювальних машин, які використовують інші принципи переміщення робочої частини для вимірювання (вертикальний, горизонтальний, порталний). Кожен із цих КВМ призначений для вимірювання та контролю деталей різних розмірів і зовнішніх профілів, і кожен має переваги та недоліки.

1.1.2 Принцип роботи КВМ

Принцип роботи контактних-вимірювальних машин полягає у скануванні об'єкта за допомогою щупа, який має сферичний наконечник. Під час кожного контакту з об'єктом вимірюються зміщення по осях X, Y та Z, які зчитуються за шкалою. Отримані координати точок, виміряних щупом, передаються на комп'ютер для подальшого аналізу.

Перед початком роботи необхідно перевірити якість щупа, визначивши його діаметр та відстань по осях X, Y та Z від базової точки. Для цього проводяться вимірювання щупом у не менше ніж п'яти точках за допомогою високоточної схеми. Отримані вимірювання обробляються комп'ютерною програмою для перевірки розміру компенсації.

Під час виконання високоточних вимірювань важливо враховувати, що перевірка проводиться зі зусиллям від 0,01 Н до 0,2 Н, щоб уникнути вигину консольної частини та щупа. Перед виміром виробу, розташованого на столі контактних-вимірювальної машини, необхідно встановити систему координат виробу, в межах якої будуть проводитися всі обчислення.

У технічних кресленнях зазвичай визначається система координат, яка базується на різних геометричних формах, таких як площини, циліндри, конуси

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або контрольні точки на поверхні об'єкта. Ця система має шість ступенів свободи, що включають три нульові точки на осі та три кути. При визначенні системи координат обчислюються параметри для кожного з цих шести ступенів свободи і зберігаються в комп'ютерній програмі для подальших перетворень координат. Цей процес відомий як "математичне вирівнювання" і дозволяє уникнути механічного вирівнювання. У координатній метрології існує спеціальний термін, що використовується для позначення датчика, який зв'язує поверхню вимірюваного об'єкта з системою вимірювання довжини на контактнo-вимірювальній машині. Цей термін називається "щуп".



Рисунок 1.2 – Система координат сканованого об'єкта та КВМ

Контактні щупи подібні між собою за специфікаціями. Вони мають спільну особливість - опорну поверхню з трьох точок, на якій розташований вимірювальний наконечник. У простіших механізмах ця опорна поверхня може бути реалізована через електричні контакти.

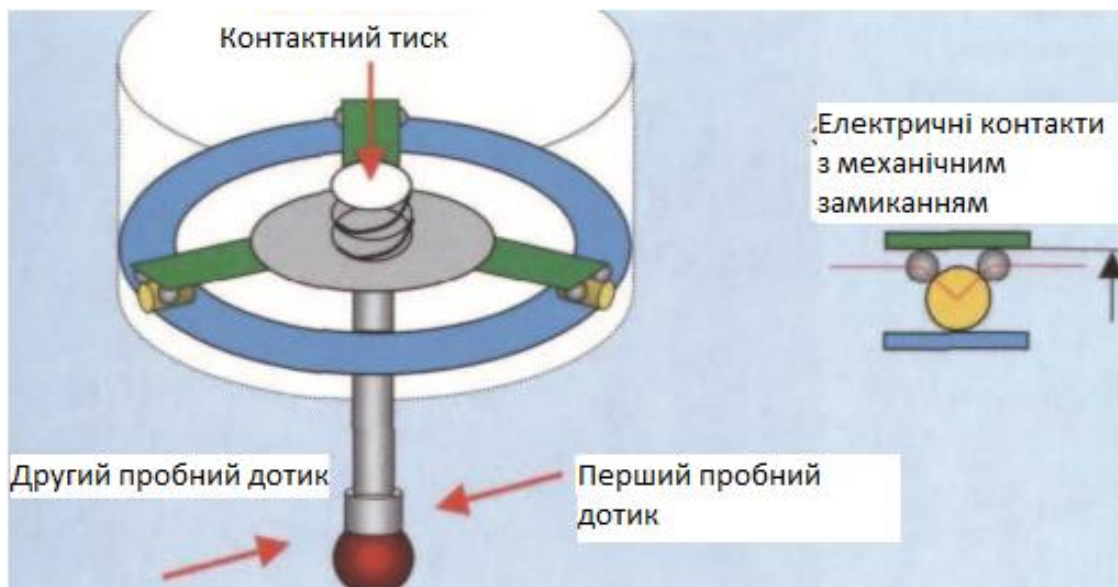


Рисунок 1.3 - Принцип роботи дотичного щупа з електричними контактами, що утворюють механічне замикання

Коли наконечник знаходиться у контакті з поверхнею, електричний контакт спрацьовує негайно. Проте, проблемою цього механізму є нерівномірність сили торкання щупа. Наприклад, якщо щуп нахилиється вліво під час вимірювання кола, виміряне коло може мати трохи трикутну форму. Для усунення цих недоліків до механічно-електричних контактів додають п'єзоелектричні датчики. Вони забезпечують постійну точність у всіх напрямках вимірювання завдяки низьким силам тиску, що суттєво зменшує похибку.

Важливою складовою двоступеневих дотичних вимірів є система заміни наконечників за допомогою пластини-тримача. Цей пристрій дозволяє використовувати навіть довгі (до 200 мм) і відносно важкі (до 200 г) наконечники. Використання п'єзоелектричних датчиків дозволяє проводити вимірювання з вищим рівнем точності. Одержані дані враховують не лише зіткнення з поверхнею, а й силу взаємодії. Під час контакту з поверхнею враховується сила тиску. Криві залежності сили від відхилення щупа будуються на основі вимірів. За допомогою цих кривих обчислюється залежність сили від відстані. Цим способом усуваються всі похибки, які виникають внаслідок відхилень щупа при різних силах торкання та на різних типах поверхонь.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.1.3 Безконтактні 3D сканери

Для безконтактного зчитування поверхні об'єкта, 3D-сканери використовують різні методи випромінювання, включаючи лазерне, рентгенівське або ультразвукове. Особливість часопролітних лазерних 3D-сканерів полягає у їх здатності зчитувати рельєф віддалених об'єктів. Ці сканери використовують лазерний далекомір, який вимірює відстань до точки об'єкта, визначаючи час, необхідний для прольоту лазерного імпульсу до об'єкта і повернення назад. Оскільки лазерний далекомір може виміряти відстань лише до однієї точки за один вимір, для зчитування поверхні об'єкта необхідно виконати дискретний поворот вимірювальної осі сканера. Це досягається шляхом використання обертового дзеркала. Сканери такого типу мають високу швидкість зчитування, здатну виміряти велику кількість точок у секунду, в діапазоні від 10 000 до 100 000[5].

1.1.4 Приклади безконтактних 3D сканерів

Один з типових представників цих сканерів - X300 від компанії STONEX[6], який можна побачити на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 - Сканер STONEX X300[6]

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Цей сканер має лазер класу 1М, що випромінює лазерні імпульси з довжиною хвилі 905 нм. Його дальність сканування охоплює простір від 1.6 до 300 метрів в горизонтальній площині 360 градусів і від -25 до +65 градусів в вертикальній площині 90 градусів. Ця модель сканера має Wi-Fi модуль, USB та Ethernet порти для обміну даними і вбудовану карту пам'яті об'ємом 32 ГБ. Завдяки цим технічним можливостям сканер можна керувати через Wi-Fi за допомогою спеціального веб-інтерфейсу на смартфонах або планшетах. З швидкістю вимірювань до 40 000 точок за секунду, STONEX X300 створює цифрову модель з похибкою 6 мм на відстані до 50 метрів і 40 мм на відстані до 300 метрів.

Для сканування малих об'єктів, таких як людське тіло, були розроблені пристрої, що поєднують в собі використання лазерного променя для сканування та цифрової камери для фотозйомки. Один з таких пристроїв - 3D Body scanner Vitus pro 8C, розроблений компанією Vitronic (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 - 3D Body scanner Vitus pro 8C

Для сканування поверхні об'єктів, безконтактні 3D-сканери використовують різні сканувальні системи, які включають в себе відеокамери і фотокамери. Вони дозволяють зчитувати форму та кольорову інформацію

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єкта відповідно. Час сканування залежить від встановленої користувачем роздільної здатності: при роздільній здатності 2 мм сканування займає 21 секунду, а при роздільній здатності 4 мм - лише 11 секунд.

Для сканування повного обсягу людського тіла, компанія Cyberware розробила сканери, які складаються з однотипних сканувальних модулів. Це дозволяє створювати різні моделі сканерів для об'єктів різних розмірів. Від невеликих настільних сканерів до великих комплексів, які можуть сканувати фігуру людини з усіх боків одночасно. Крім того, за допомогою окремих модулів можна створювати сканери за замовленням. Всі сканери Cyberware використовують SCSI-інтерфейс для передачі інформації про точки сканування.

Серійні сканери, такі як Head & Face 3D Color Scanner, Model Shop Color 3D Scanner і Mini Model Shop Color 3D Scanner використовують модулі типу 3030. Вони дозволяють створювати моделі з текстурою. Кожен з цих сканерів має власні особливості, що стосуються поворотних платформ і кріплення модулів, але всі вони передають зображення у 8-бітному форматі на канал RGB. Допустима похибка фіксації точок поверхні складає 0,1 мм.

Також існують інші дві моделі сканерів, які також використовують модулі типу 3030. Вони є майже ідентичними одна одній і відрізняються лише максимальними розмірами об'єктів, які можуть бути скановані. Mini Model Shop Color 3D Scanner призначений для невеликих об'єктів діаметром до 1 м з високою роздільною здатністю, тоді як Model Shop Color 3D Scanner розрахований на більші об'єкти. Найкращий сканувальний модуль, що використовується в сканерах Cyberware, є WB4. Він дозволяє створювати моделі фігур людей з урахуванням текстури. Під час роботи сканер здійснює вертикальний рух модулів, а програмне забезпечення об'єднує дані пікселів для створення поверхневої моделі.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6 - Сканер людського тіла моделі Cyberware WBX

У Vitronic 3D Body scanner та Cyberware WBX виявлено такі особливості, як здатність до сканування великих об'єктів, зокрема людських тіл, і швидкість сканування, яка не перевищує 30 секунд. Однак, виникають певні недоліки цих сканерів, такі як потреба у подальшій обробці отриманих моделей після сканування, а також значна вартість самого обладнання та необхідних програмних пакетів для обробки результатів.

1.1.5 Тріангуляційні сканери

Існує ще один тип безконтактних оптичних сканерів, який називається тріангуляційними сканерами. Вони подібні до сканерів з часопротіною технологією і також використовують лазерний промінь для вимірювань. Однак, для визначення відстані до об'єкта тріангуляційні сканери застосовують метод тріангуляції: лазерний промінь відбивається від поверхні і потрапляє на об'єктив цифрової камери. Залежно від віддаленості між сканером та поверхнею, світловий плям'я попадає на різні частини матриці камери. Для калібрування тріангуляційного сканера використовується контрольна пластина, яка розташована між об'єктом і об'єктивом на відомій відстані.[9]

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей тип сканерів працює за принципом створення прямокутного трикутника між сканером та об'єктом, з відомою довжиною одного з катетів і вимірним гострим кутом. З відомими даними можна обчислити відстань до об'єкта. Ці безконтактні сканери здатні створювати цифрові моделі об'єктів з високою роздільною здатністю, але це вимагає певного часу. Помилки вимірювання можуть впливати на рух об'єкта або самого сканера. Точність цього типу вимірювань обмежується спекл-структурою лазерного променя, обумовленою когерентністю світлових пучків, які його формують. Світлова пляма такого типу на цифровій фотокамері виглядає як сукупність світлих та темних пікселів.

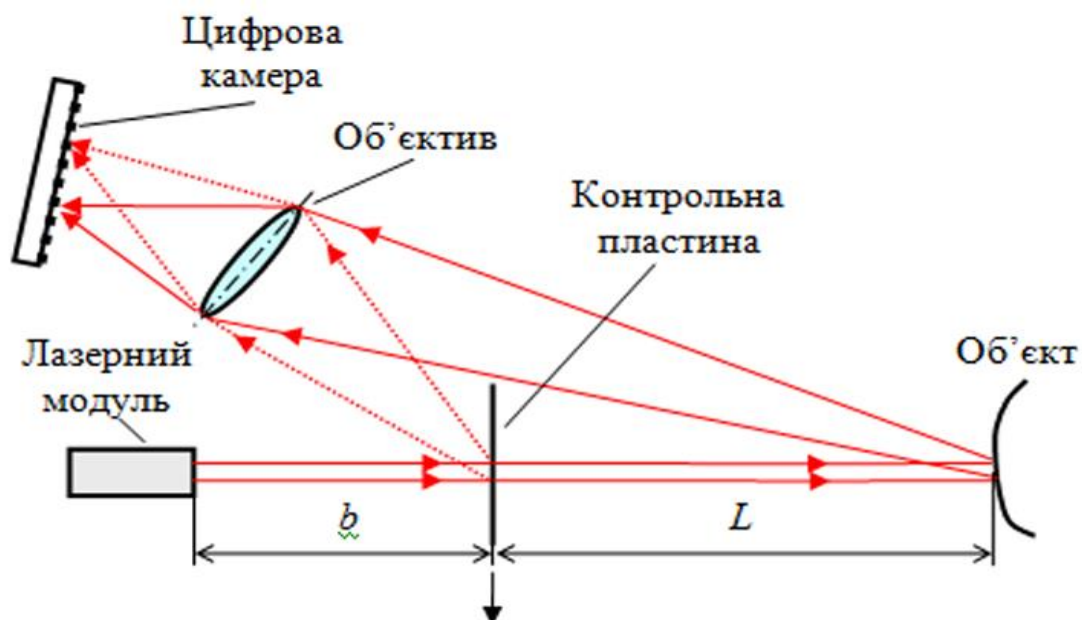


Рисунок 1.7 - Схема триангуляційного вимірювача відстані

1.1.6 Коноскопичні сканери

Існує новий тип сканерів, які використовують коноскопичну голографію. Коноскопія - це спостереження інтерференційної картини, що формується за допомогою конусних світлових пучків. Сам сканер складається з кристала з подвійним променезаломленням, розташованого між двома фільтрами з круговою поляризацією. Ці фільтри забезпечують інтерференцію між звичайною

та незвичайною поляризованими хвилями, перетворюючи лінійну поляризацію на кругову. Коноскопична голографія, як і звичайна голографія, використовує інтерференційний метод для запису зображення об'єкта.

У коноскопичній голографії вимоги до когерентності джерела випромінювання та роздільної здатності фоточутливого шару датчика зображення є меншими, оскільки об'єктна і опорна хвилі утворюються за допомогою незвичайних і звичайних хвиль кристала з подвійним променезаломленням, а різниця ходу цих хвиль є невеликою.

Форма хвильового фронту у коноскопичній голографії нагадує голографію Габора, де кожна точка об'єкта відображається в інтерференційній картині у вигляді концентричних смуг (зон Френеля). Посування точки на поверхні викликає радіальне зміщення смуг, за яким визначається глибина рельєфу поверхні.

1.1.7 Стереоскопічні сканери

Сканери, які використовують стереоскопічну технологію, оснащені двома цифровими камерами, розташованими на певній базовій відстані одна від одної. За допомогою цифрового аналізу стереознімків можна визначити відстань до кожної точки. Проте точність таких сканерів не є дуже високою. Серія VIVID від компанії Minolta та ZScanner, яка представила тривимірний сканер ZScanner 700 у 2006 році (див. рис.1.8), входять до числа сканерів цього типу[10].

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18



Рисунок 1.8 - Сканер ZScanner 700[10]

Цей пристрій здатний виконувати реально-часове сканування об'єктів. Цифрова модель, яка формується під час сканування, негайно відображається на екрані, що дозволяє користувачеві контролювати процес сканування і, при необхідності, виправити положення об'єкта або наблизити сканер до потрібного місця, не зупиняючи процес сканування. Це робить моделі, отримані за допомогою цього сканера, менш затратними часом на обробку отриманих результатів.

Серед переваг цього сканера є його портативність, висока точність (до 40 мкм) і швидкість сканування - 25 000 точок на секунду. Проте, до недоліків можна віднести значну вагу самого сканера, високу вартість та обмежену здатність сканувати великі об'єкти[10].

1.2 Застосування сканерів

Застосування 3D сканерів у наукових дослідженнях є широким та різноманітним. Ці сканери забезпечують можливість здійснювати безконтактне та високоточне вимірювання геометричних характеристик об'єктів у

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривимірному просторі.[11]

- У галузі археології, 3D сканери використовуються для документування та реконструкції археологічних знахідок та пам'яток. Вони дозволяють створити точні цифрові моделі артефактів, що сприяє збереженню та дослідженню культурної спадщини.
- У медицині, 3D сканери дозволяють створювати детальні моделі людського тіла для медичної діагностики, планування хірургічних втручань та виготовлення індивідуальних медичних протезів. Вони також застосовуються для аналізу руху та біомеханічних характеристик організму.
- У промисловому секторі, 3D сканери використовуються для контролю якості продукції, реверсного інжинірингу, виготовлення прототипів та моделювання процесів виробництва. Вони допомагають покращити точність та ефективність виробничих процесів, зменшити час та витрати на розробку нових виробів.
- У галузі візуалізації та дизайну, 3D сканери дозволяють створювати реалістичні 3D моделі об'єктів для використання у відеоіграх, анімації, виробництві візуальних ефектів та дизайну. Вони також використовуються для створення цифрових копій об'єктів мистецтва та культурної спадщини.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

У відповідному розділі було проведено дослідження поточних методів сканування тривимірних об'єктів. За результатами дослідження було виявлено, що існує широкий асортимент сучасних пристроїв, які можна класифікувати на контактні та безконтактні сканери в залежності від способу взаємодії з об'єктом під час сканування.

Контактні сканери використовують спеціальні сенсори, які знаходяться у фізичному контакті з поверхнею об'єкта під час сканування. Цей тип сканерів характеризується високою точністю та здатністю вивчати внутрішню поверхню об'єкта через отвір. Однак, контактні сканери мають недоліки, такі як низька швидкість сканування та ризик пошкодження крихких або недостатньо міцних об'єктів.

Значно більш поширеними є безконтактні сканери, які мають декілька переваг, таких як незалежність від матеріалу об'єкта, збереження цілісності об'єкта та універсальність застосування. За результатами дослідження було встановлено, що безконтактні 3D сканери вже широко використовуються у різних галузях, а їх популярність постійно зростає.

З метою даної роботи було прийнято рішення розробити лазерний 3D сканер з використанням тріангуляційного методу сканування. Цей вибір зумовлений такими перевагами, як здатність забезпечити необхідну точність, низька вартість та простота конструкції у порівнянні з контактними сканерами.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЛАЗЕРНИМ 3D СКАНЕРОМ

2.1 Розробка структурної схеми

Метою роботи є розробка стенду для отримання тривимірної моделі людини. Пристрій для безконтактного визначення тривимірних координат об'єкта (3D-сканер), містить поворотну платформу з приводом, модуль з камерою та лазером, що може змінювати кут нахилу за допомогою привода, мікроконтролер (МК), лампа та блок обробки інформації та управління (ПК).

Таким чином, була сформована структурна схема сканера, що відображає взаємозв'язок усіх елементів 3D-сканера.

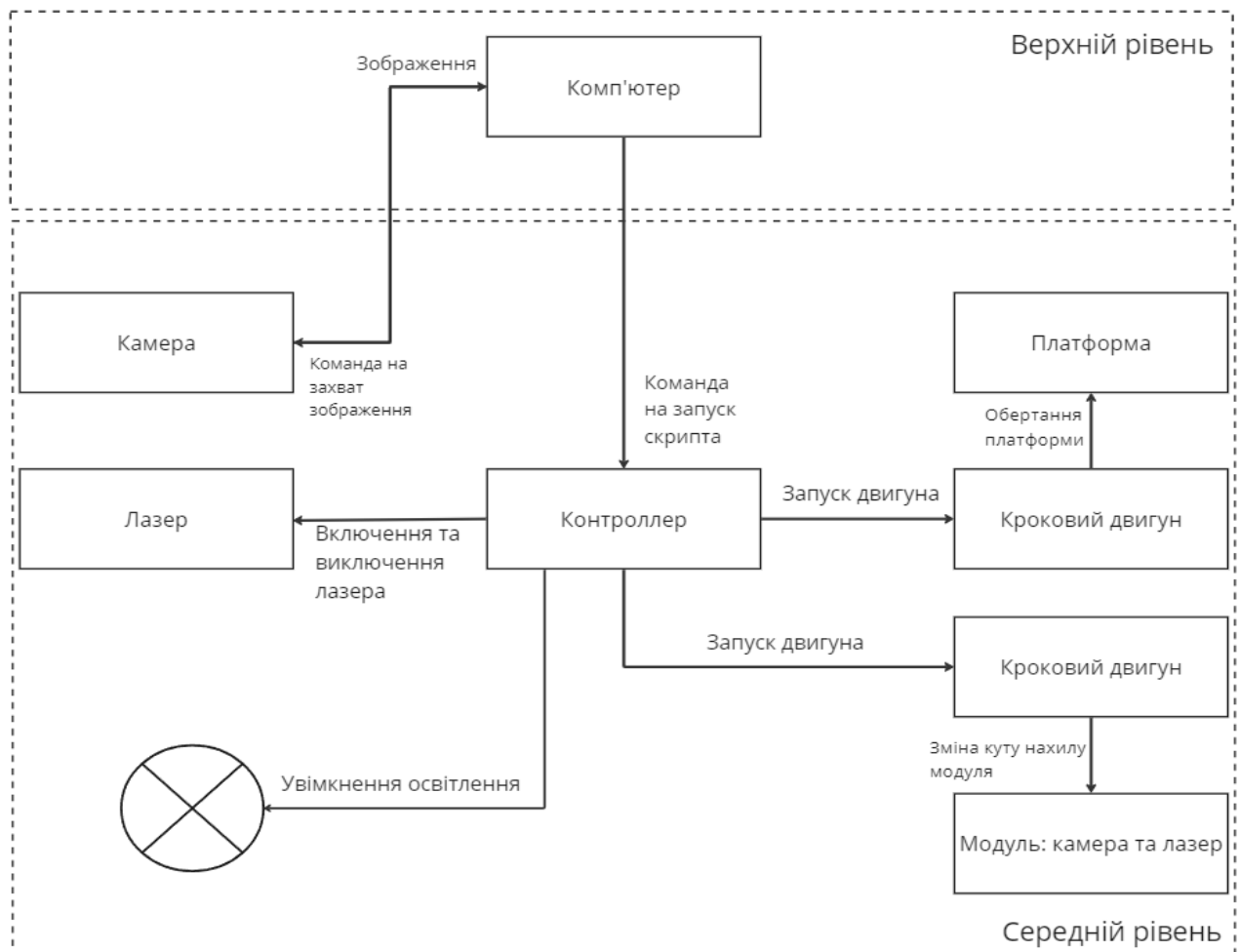


Рисунок 2.1 – Структурна схема лазерного 3D сканера

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.01.ПЗ

Лист

22

2.2 Розробка функціональної схеми

Для детального опису процесів, що відбуваються в системі сканування, було розроблено функціональну схему на основі структурної схеми. Виконання 3D-сканування починається з поміщення об'єкта на скануючу платформу, після чого оператор запускає процес сканування на комп'ютері.

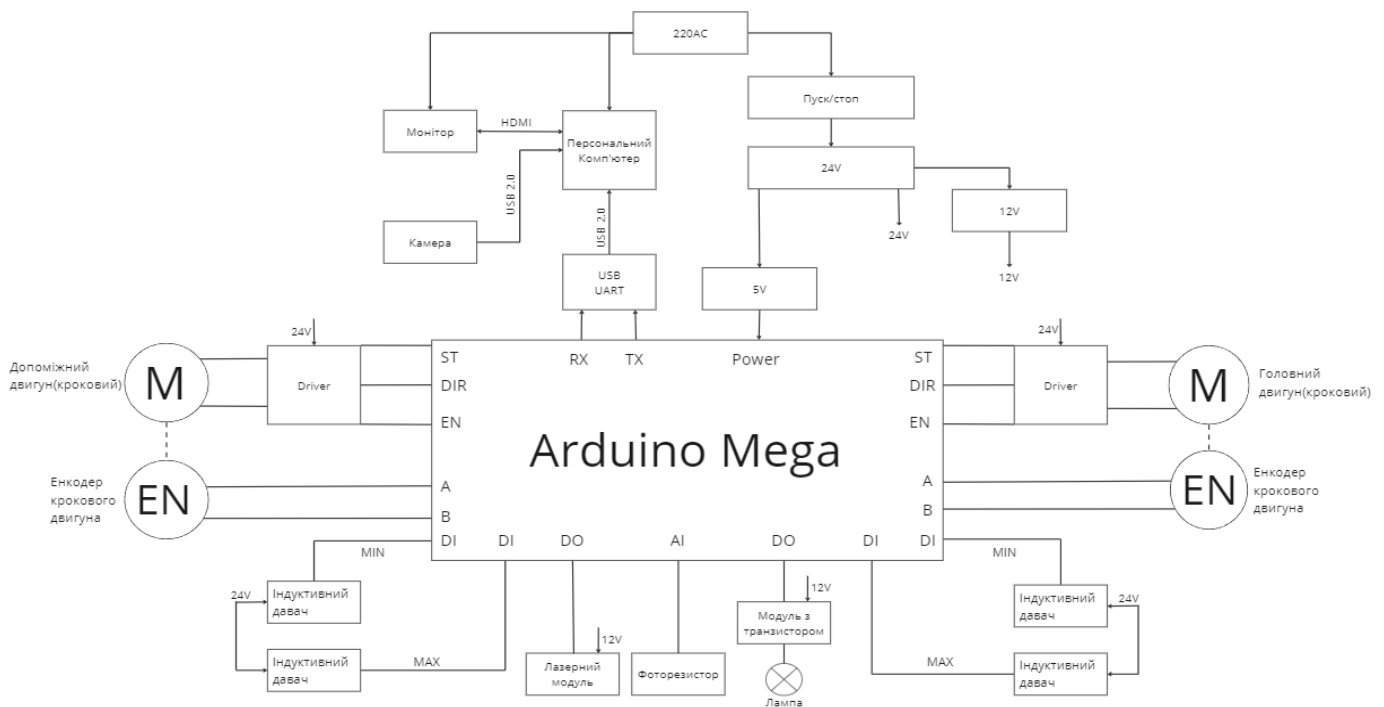


Рисунок 2.2 – Функціональна схема лазерного 3D сканера

Комп'ютер передає сигнал на камеру, який забезпечує захоплення зображення. Це здійснюється за допомогою інтерфейсу USB 2.0, який забезпечує передачу даних між комп'ютером і камерою. Крім того, комп'ютер також передає керуючі сигнали для запуску скрипту контролера, що керує всією системою сканування. Ці сигнали також передаються через інтерфейс USB 2.0.

Комп'ютер отримує зображення від камери за допомогою інтерфейсу USB 2.0. Це дозволяє комп'ютеру отримати візуальні дані про об'єкт, які будуть використовуватися для подальшої обробки.

Контролер відповідає за керування лазерами, які проектують лазерну лінію на сканований об'єкт. Крім того, контролер передає сигнали для керування кроковими двигунами через драйвери. Ці крокові двигуни відповідають за рух платформи та модуля сканування.

Крутний момент, необхідний для руху, передається через кроковий двигун на платформу та модуль сканування. Це забезпечує точне позиціонування та рух об'єкта під час сканування.

В системі керування лазерним 3D сканером також використовуються індуктивні датчики(ІД), які використовуються для відступлення поворотної платформи та модуля від заданого положення і обмеження. Розташовані ІД на рухомих частинах системи – платформі та модулі.

Зворотний зв'язок в системі реалізований за допомогою енкодерів, які використовуються для визначення поточного положення платформи та вимірювання кута нахилу модуля. Це дозволяє системі точно визначити положення об'єкта та забезпечує високу точність сканування.

Тиристорний модуль використовується для регулювання яскравості лампи в лазерному 3D сканері шляхом використання ШІМ сигналу. ШІМ сигнал є методом модуляції, при якому ширина імпульсу в сигналі змінюється залежно від потрібного рівня яскравості. Тиристорний модуль отримує цей ШІМ сигнал від керуючого контролера сканера і використовує його для керування вмиканням та вимиканням живлення ЛЕД лампи.

Процес регулювання полягає в тому, що керуючий контролер формує ШІМ сигнал, в якому ширина імпульсу залежить від потрібного рівня яскравості. Цей ШІМ сигнал передається до тиристорного модуля, який розпізнає зміни ширини імпульсу та контролює живлення лампи відповідно. Чим ширший імпульс, тим більша частина часу лампа буде включена, що призводить до більшої яскравості. За аналогічним принципом, зменшення ширини імпульсу знижує час увімкнення лампи, що призводить до меншої яскравості.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Принцип роботи системи

Сканер здійснює повний оберт навколо об'єкта шляхом використання поворотної платформи, яка управляється кроковим двигуном. Кроковий двигун, в свою чергу, керується драйвером, що підключений до контролера. Цей механізм руху платформи забезпечує плавне та точне обертання сканера навколо об'єкта.

У процесі сканування, камера зафіксує зображення об'єкта, на яке проецирується структуроване світло. Це структуроване світло генерується лазером, яке також керується контролером. Шляхом використання проекції структурованого світла на об'єкт, отримується точне відображення його поверхні.

Отримані фотографії з камери передаються на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу. У процесі сканування, комп'ютер видає команду контролеру на запуск скрипта певну кількість разів. Цей скрипт керує послідовними операціями сканера, такими як активація лазера, рух платформи та отримання зображень з камери.

Цей процес є ітеративним, що означає, що він повторюється декілька разів, поки скануюча частина не здійснить повний оберт навколо об'єкта. Кожна ітерація включає невеликий крок оберту та отримання нового набору зображень об'єкта з різних кутів.

Загалом, цей процес сканування забезпечує отримання повної 3D-інформації про об'єкт шляхом систематичного збору та обробки даних з камери та контролю руху сканера.

2.4 Опис контурів керування

2.4.1 Контур керування обертовою платформою

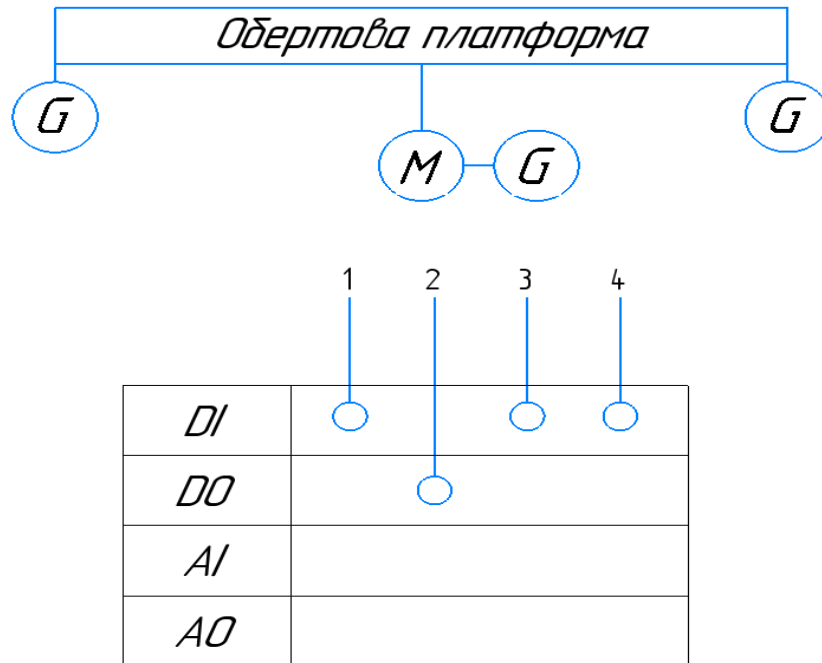


Рисунок 2.3 - Контур керування обертовою платформою

Блок керування обертовою платформою в лазерному 3D сканері відповідає за управління рухом та поворотом платформи під час сканування. Цей блок забезпечує точне та контрольоване переміщення платформи навколо об'єкта.

Блок керування отримує команди від комп'ютера, який керує процесом сканування. Комп'ютер передає керуючі сигнали блоку керування через певний інтерфейс, за допомогою USB 2.0. Ці сигнали містять інформацію про швидкість, напрямок руху та точку повороту платформи.

Блок керування використовує кроковий двигун та відповідний драйвер для забезпечення руху платформи. Він генерує керуючі сигнали, які відправляються до драйверу, що управляє кроковим двигуном. Ці сигнали вказують, коли та як швидко кроковий двигун повинен переміщувати платформу. Таким чином, блок керування контролює кількість кроків, напрямок руху та швидкість обертання платформи.

Крім того, блок керування відповідальний за зворотний зв'язок з енкодером. Енкодер вимірює поточне положення платформи та передає цю інформацію до блоку керування. Це дозволяє системі точно відстежувати положення платформи під час сканування.

Контур керування обертовою платформою включає в себе:

- Кроковий двигун
- Індуктивні давачі(X2)
- Енкодер

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.2 Контур керування нахилом модуля з камерою та лазером

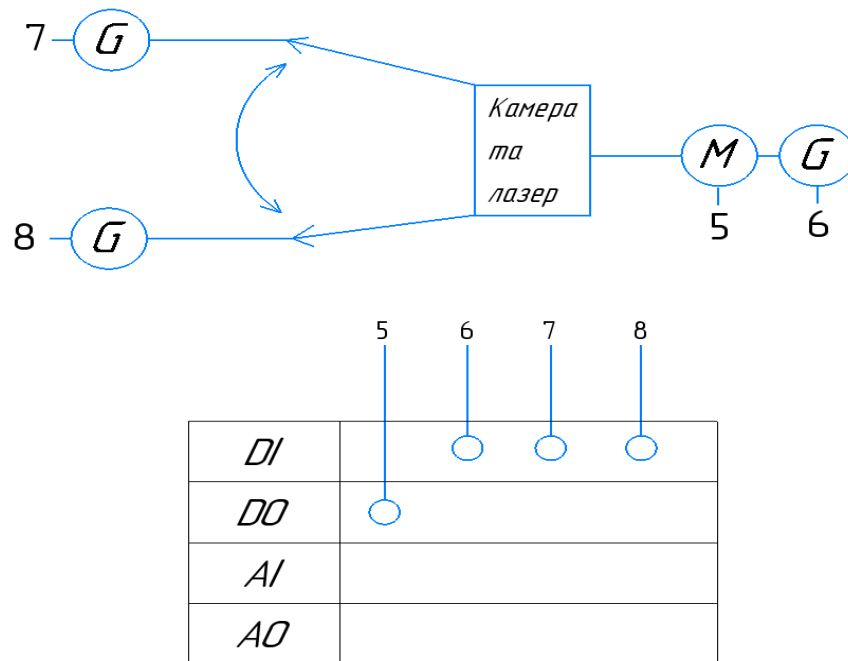


Рисунок 2.4 - Контур керування нахилом модуля з камерою та лазером

Блок керування нахилом модуля з камерою та лазером в лазерному 3D сканері відповідає за контроль та управління нахилом модуля, що містить камеру та лазер, під час процесу сканування. Цей блок забезпечує точне та контрольоване нахилення модуля для отримання оптимальних зображень та проекції лазерної лінії на об'єкт.

Блок керування отримує команди від комп'ютера, який керує процесом сканування. Комп'ютер передає керуючі сигнали блоку керування через відповідний інтерфейс, такий як USB 2.0. Ці сигнали містять інформацію про бажаний кут нахилу модуля та потрібну проекцію лазерної лінії.

Блок керування використовує механізм, який передає керуючі сигнали на руховий пристрій модуля, щоб змінити його нахил. Цей руховий пристрій може бути здійснений за допомогою крокового двигуна та відповідного драйвера, який контролює його рух. Блок керування генерує сигнали для керування цим драйвером, щоб встановити бажаний кут нахилу модуля.

Зворотний зв'язок реалізований за допомогою енкодера, який дозволяє встановлювати поточне положення модуля та визначати його нахил. Ця інформація передається блоку керування, щоб забезпечити точність та контроль нахилу модуля.

Блок керування нахилом модуля з камерою та лазером включає в себе:

- Кроковий двигун
- Енкодер
- Індуктивні давачі(X2)

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2.4.3 Контур керування освітленням

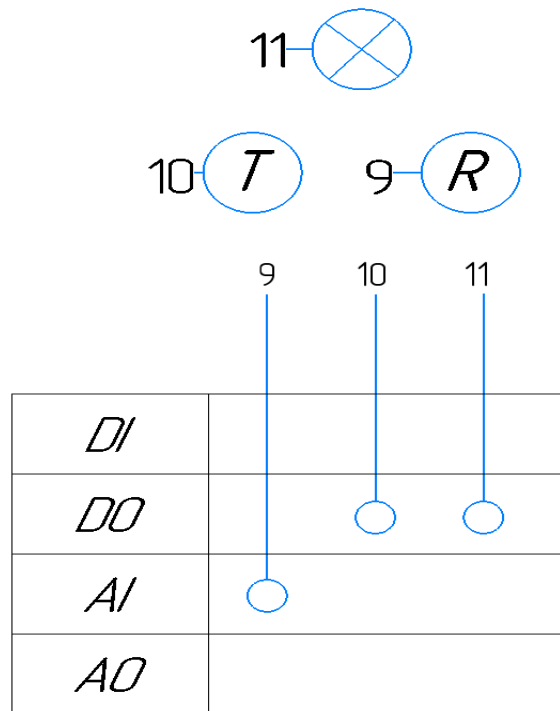


Рисунок 2.5 - Контур керування освітленням

Блок керування освітленням в лазерному 3D сканері відповідає за регулювання і керування освітленням в процесі сканування об'єктів. Основна функція цього блоку полягає в контролі яскравості та часу роботи світлового джерела, яке використовується в сканері.

Блок керування освітленням в лазерному 3D сканері включає в себе:

- тиристорний модуль,
- фоторезистор
- лампу.

Ці компоненти співпрацюють разом для регулювання яскравості світлового джерела.

Тиристорний модуль використовується для керування живленням лампи шляхом регулювання ширини імпульсу модуляції (ШІМ). Він дозволяє вмикати

та вимикати лампу з високою частотою, створюючи пульсуючий сигнал. Зміна ширини імпульсу дозволяє регулювати яскравість світла, забезпечуючи потрібний рівень освітлення об'єкта під час сканування.

Фоторезистор використовується для вимірювання рівня освітленості. Він реагує на зміну світлового потоку та генерує відповідний електричний сигнал. Цей сигнал зчитується мікроконтролером блоку керування, який аналізує його значення і приймає рішення щодо регулювання яскравості світлового джерела.

Лампа є світловим джерелом в сканері і забезпечує освітлення об'єкта під час сканування. Вона може бути LED-лампю або іншим типом лампи, яка випромінює структуроване світло, необхідне для формування зображення об'єкта.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

2.5 Таблиця вхідних і вихідних сигналів контролера

Таблиця 2.1 - Таблиця вхідних і вихідних сигналів.

Тип сигналу	Пін	Опис сигналу	Номінал
DI	A	Пін енкодера положення обертової платформи	0В,5В
DI	B	Пін енкодера положення обертової платформи	0В,5В
DI	MIN	Індуктивний давач положення MIN	0В,24В
DI	MAX	Індуктивний давач положення MAX	0В,24В
DO	EN	Дозвіл на рух головного крокового двигуна	0В,5В
DO	STEP	Керування швидкістю головного двигуна	0В,5В
DO	DIR	Керування напрямом головного двигуна	0В,5В
DI	A	Пін енкодера положення модуля з камерою та лазером	0В,5В
DI	B	Пін енкодера положення модуля з камерою та лазером	0В,5В
DI	MIN	Індуктивний давач положення MIN	0В,24В
DI	MAX	Індуктивний давач положення MAX	0В,24В
DO	EN	Дозвіл на рух допоміжного крокового двигуна	0В,5В
DO	STEP	Керування швидкістю допоміжного двигуна	0В,5В
DO	DIR	Керування напрямом допоміжного двигуна	0В,5В
DO	S	Увімкнення та вимкнення лазера	0В,5В
AI	S1/S2	Рівень освітлення	0В,5В
DO	S	Керування освітленням	0В,5В
UART	RX	Прийом даних з ПК	0В,5В
UART	TX	Відправка даних в ПК	0В,5В

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ

У розділі було розроблено структурну схему 3D сканера, функціональну схему та ФСА. Описані контури, такі як контур обертання платформи, нахил модуля з камерою та лазером, а також освітлення. Також був наданий опис принципу роботи системи і створена таблиця входів та виходів мікроконтролера.

Структурна схема 3D сканера включає поворотну платформу, кроковий двигун, драйвер, контролер, камеру, лазер, комп'ютер та програмне забезпечення для обробки даних. Поворотна платформа забезпечує повний оберт навколо об'єкта за допомогою крокового двигуна, який керується драйвером підключеним до контролера. Камера фіксує зображення об'єкта, на яке проецирується структуроване світло, генероване лазером. Освітлення допомагає підсвітити об'єкт для отримання чіткого зображення. Отримані зображення передаються на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу.

Функціональна схема 3D сканера показує взаємодію компонентів системи. Контролер керує роботою сканера та взаємодіє з кроковим двигуном і драйвером. Лазер керується контролером для фіксації зображення та проекції структурованого світла на об'єкт. Отримані дані передаються на комп'ютер для подальшої обробки.

Принцип роботи системи полягає в тому, що сканер здійснює повний оберт навколо об'єкта за допомогою поворотної платформи, керованої кроковим двигуном. Камера фіксує зображення об'єкта, на яке проецирується структуроване світло, генероване лазером. Отримані зображення передаються на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу. Процес сканування є ітеративним, з декількома ітераціями, кожна з яких включає невеликий крок оберту та отримання нового набору зображень об'єкта з різних кутів. Отримані дані використовуються для створення тривимірної моделі об'єкта, яка може бути подальше оброблена та використана у відповідних застосуваннях.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Вибір засобів автоматизації є важливим етапом проектування системи керування лазерним 3D сканером. Для досягнення поставлених вимог і критеріїв необхідно вибрати ефективні засоби автоматизації, що дозволять реалізувати необхідну функціональність системи.

3.1 Підбір мікропроцесорного пристрою

Мікроконтролер (МК) – це єдина інтегральна схема, яка призначена для виконання певного завдання і виконання конкретної програми. МК містить у собі:

- оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП);
- постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП);
- порти вводу-виводу для підключення зовнішніх пристроїв;
- аналого-цифровий пристрій (АЦП);
- контролери різних інтерфейсів;
- контролери переривання та таймери.

Основними перевагами використання МК є:

- низька вартість;
- зниження часу розробки та модифікації;
- підвищення надійності системи за рахунок скорочення з'єднань і кількості корпусів;
- підвищення гнучкості.

Вибір конкретного мікроконтролера залежить від багатьох чинників, таких як кількість давачів, що використовуються, потрібна швидкодія та точність позиціонування, а також можливість розширення функціональності в майбутньому. Також слід враховувати те, що кожен мікроконтролер має свої плюси та мінуси, а також різні інтерфейси та режими роботи, які можуть вплинути на продуктивність системи.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

В якості модулю управління ідеально підійде МК Arduino Mega (рис.3.1). Він є добре відомим і перевіреним мікроконтролером з високою стабільністю та надійністю роботи. Цей МК може працювати протягом тривалого часу без збоїв і відповідає вимогам для безперебійної роботи системи сканування.

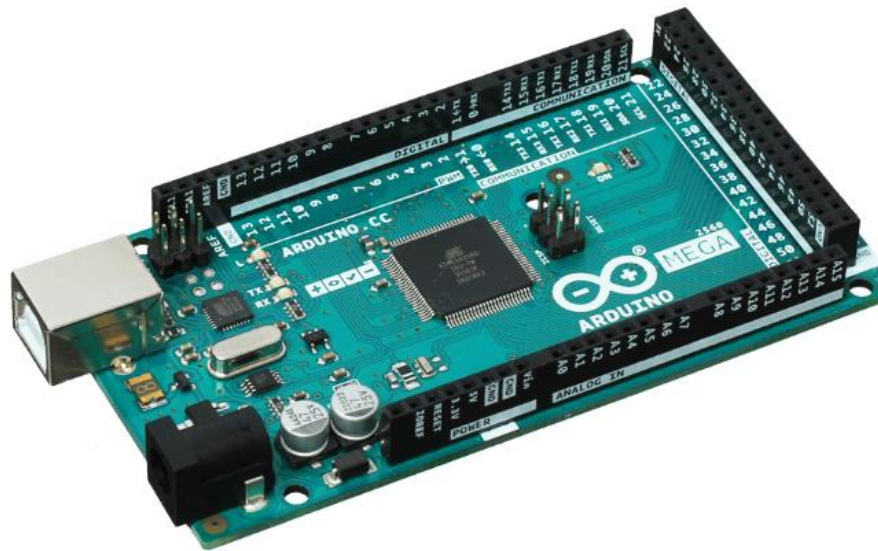


Рисунок 3.1 - Arduino Mega[12]

Arduino Mega має велику кількість цифрових і аналогових пінів, що дозволяє підключати різноманітні пристрої, такі як лазери та сенсори. Висока швидкість процесора та наявність достатньої пам'яті сприяють ефективній обробці даних і виконанню різноманітних завдань.

Контролер має простий і зрозумілий інтерфейс програмування та наявність широкої спільноти користувачів, що забезпечує підтримку та наявність різноманітної документації та прикладів. Це спрощує розробку програмного забезпечення та використання мікроконтролера в системі керування.

Характеристики мікроконтролера наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Характеристики Arduino Mega 2560

Характеристика	Значення
Мікроконтролер: ATmega2560	ATmega2560
Ядро	8-бітний AVR
Тактова частота	16 МГц
Об'єм Flash-пам'яті	256 КБ (8 КБ займає завантажувач)
Об'єм SRAM-пам'яті	8 КБ
Об'єм EEPROM-пам'яті	4 КБ
Портів введення-виведення всього	54
Портів з АЦП	16
Розрядність АЦП	10 біт
Портів із ШІМ	15
Розрядність ШІМ	8 біт
Апаратних інтерфейсів UART/Serial	4
Номінальна робоча напруга	5 В
Допустима вхідна напруга від зовнішнього джерела	7–12 В
Габарити	101×53 мм

3.2 Індуктивні давачі

Індуктивні давачі є електронними пристроями, які використовують принцип індуктивності для виявлення наявності металевих об'єктів у своєму наближенні. Вони працюють на основі зміни індуктивності внутрішнього котушкового обмотування, коли металевий предмет наближається до давача.

Індуктивні давачі можуть також мати різні робочі відстані, чутливість та функціональні можливості. Робоча відстань визначає максимальну відстань між давачем та металевим об'єктом, при якій виявлення залишається ефективним.

Чутливість визначає ступінь зміни індуктивності, необхідний для активації вихідного сигналу. Додаткові функціональні можливості можуть включати

					<i>СУ-91 6.151.01.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

фільтрацію шумів, захист від електромагнітних перешкод та інші функції.

Використання індуктивних датчиків у лазерному 3D сканері може дозволити точно визначати положення обертової платформи та модуля з камерою та лазером і встановити його кінцеві положення. За допомогою вихідного сигналу індуктивних датчиків можна забезпечити контроль, синхронізацію та стабілізацію руху компонентів сканера, що є важливим для отримання точних результатів сканування.

Для даної системи було обрано індуктивний датчик наближення LJ12A3-2-Z-VY (рис 3.2) в кількості 4 штук. Детальні характеристики LJ12A3-2-Z-VY наведені в таблиці 3.2



Рисунок 3.2 - Індуктивний датчик LJ12A3-2-Z-VY[13]

Таблиця 3.2 – Характеристики індуктивного давача LJ12A3-2-Z-BY

Характеристика	Значення
Модель	LJ12AA3-2-Z-BY
Діаметр	12 мм
Відстань виявлення	2 мм
Тип виходу	PNP, 3-х провідний, нормально розімкнений
Напруга живлення	від 6В до 36В постійного струму
Максимальний вихідний струм	300 мА
Частота спрацьовування	0,5 Гц
Розмір об'єкта впливу (залізо)	12 x 12 x 1мм
Матеріал	метал

3.3 Фоторезистор

Фоторезистор використовується для керування освітленням в лазерному 3D сканері. Фоторезистор - це електронний компонент, який змінює свою опірність залежно від інтенсивності світла, що падає на нього. Мій вибір пав на фоторезистор NSL4960 (рис 3.3). Зазначений фоторезистор має високу чутливість до світла, що дозволяє ефективно регулювати яскравість освітлення.



Рисунок 3.3 – Фоторезистор NSL4960[14]

За документацією, фоторезистор NSL4960 має наступні характеристики:

Таблиця 3.3 – Характеристики фоторезистора NSL4960.

Характеристики	Значення
Тип корпусу пристрою	Радіальний
Довжина хвилі	515 нм
Робоча температура	-60°C ~ 75°C
Максимальна напруга	320 В
Опір при освітленості 10	0.5 ~ 17 кОм
Опір у темряві	1 мОм

Ці характеристики дозволяють фоторезистору NSL4960 ефективно реагувати на зміни освітленості в середовищі. Він використовується у поєднанні з тиристорним модулем для точного регулювання яскравості освітлення в лазерному 3D сканері, що сприяє отриманню якісних зображень та точних результатів сканування.

3.4 Драйвер на транзисторі

Драйвер - це електронний пристрій, який контролює роботу транзистора, дозволяючи йому перемикає електричні сигнали на виході згідно зі входним сигналом. За допомогою драйвера на транзисторі, можна забезпечити контрольований струм для освітлення, що дозволяє регулювати його яскравість або вимикати його повністю за потребою.

MOSFET IRF520 (рис 3.4) є гарним вибором для вирішення цієї задачі. Цей MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) є потужним транзистором, який може керувати великими струмами і напругами. Характеристики драйвера наведені в таблиці 3.4

З використанням MOSFET IRF520 можна керувати яскравістю освітлення в лазерному 3D сканері за допомогою ШІМ сигналів, регулюючи напругу, яка живить освітлювальну лампу.



Рисунок 3.4 – Драйвер на транзисторі MOSFET IRF520[15]

Таблиця 3.4 – Характеристики MOSFET IRF520

Тип транзистора	MOSFET
Розміри	33 x 24 мм
Маса	10 г
Керуюча напруга	від 3.5В
Управління	цифрове
Вихідна напруга	0-24В
Струм	до 5А

3.5 Світлодіодна лампа

Освітлення може бути важливим для забезпечення однорідності освітлення об'єкта, усунення тіней, покращення контрастності та деталізації зображення. Крім того, використання підходящого освітлення може допомогти уникнути спотворень або інших артефактів під час сканування.

Світлодіодна лампа Brille G53 LED 15W CW AR111 AC/DC 12V(рис. 3.5) є підходящим варіантом для освітлення в лазерному 3D сканері.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 3.5 - Світлодіодна лампа Brille G53[16]

Ця лампа має наступні характеристики:

Таблиця 3.5 – Характеристики світлодіодної лампи Brille G53

Потужність	15 Вт
Напруга живлення	AC/DC 12V
Тип освітлення	холодне біле (CW)
Колірна температура, К	5500 К
Світловий потік	1250 Лм

Лампа Brille G53 LED 15W CW AR111 забезпечує яскраве і рівномірне освітлення для лазерного 3D сканеру. Вона працює в широкому діапазоні напруги, що дозволяє використовувати як змінний, так і постійний струм для живлення.

Це зручно, оскільки можна використовувати існуючу систему живлення в сканері. Крім того, світлодіодна технологія забезпечує високу ефективність, довгий термін служби та енергозбереження. У лазерному 3D сканері ця лампа може забезпечити потрібне освітлення для точного та якісного сканування об'єктів.

3.6 Лазерний модуль

Лазер є необхідною складовою 3D сканера з метою забезпечення точного і

прецизійного сканування об'єктів. Використання лазера дозволяє створювати структуроване світло, яке проецирується на поверхню об'єкта. Це структуроване світло утворює відомий образ або мережу на поверхні об'єкта, яка буде зафіксована камерою сканера. За допомогою аналізу цього структурованого зображення, сканер може виміряти глибину та розташування різних точок поверхні об'єкта.

Для даного проекту був обраний інфра-червоний лінійний лазерний модуль Q-VAINE (рис 3.6). Для безпечного та ефективного сканування людей потрібно найбільшу увагу треба приділити таким характеристикам як довжина хвилі, потужність та клас безпеки.



Рисунок 3.6 – Лазерний модуль Q-VAINE[17]

Таблиця 3.6 - Характеристики лазерного модуля Q-VAINE

Характеристика	Значення
Робоча напруга	3,5-5 В
Довжина хвилі	850 нм
Потужність	25мВт
Робоча сила струму	60мА
Клас безпеки	1м

Лазер, що використовується у 3D сканері, повинен відповідати вимогам

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

міжнародного стандарту ІЕС 60825-1 щодо безпеки від інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, які забезпечують захист шкіри та очей від можливих шкідливих ефектів. Зазначений стандарт встановлює максимальні допустимі рівні випромінювання та встановлює вимоги щодо захисту від потенційно небезпечних ситуацій.

Лазери класу безпеки 1М мають низький ризик випромінювання. Клас безпеки передбачає, що випромінювання лазера може бути безпечно для використання, за винятком випадків, коли використовуються збільшувальні лінзи або окуляри, що можуть змінювати характеристики променя.

Враховуючи клас безпеки 1М, використання лазерного 3D сканера у відповідних умовах, з дотриманням безпечних принципів та вимог стандарту, забезпечує безпечну роботу і не створює прямої загрози для здоров'я людей. Проте, як завжди, рекомендується дотримуватись інструкцій виробника та вживати всі необхідні заходи безпеки під час роботи з лазерним обладнанням.

3.7 Вебкамера

Камера є необхідною складовою для функціонування 3D сканера, оскільки вона відіграє ключову роль у процесі отримання зображень об'єктів. Камера дозволяє зафіксувати і реєструвати візуальну інформацію про об'єкти з високою роздільною здатністю та точністю.

WEB-камера Logitech HD Webcam C922(рис. 3.7) стала підходящим варіантом для використання в лазерному 3D сканері так як вона має:

- досить високу роздільну здатність
- швидкість кадрів достатню для плавного отримання зображень під час сканування
- інтерфейс підключення, що робить її зручною в інтеграції з системою лазерного 3D сканера.



Рисунок 3.7 - WEB-камера Logitech HD Webcam C922[18]

Таблиця 3.7 – Характеристики Logitech HD Webcam C922

Характеристики	Значення
Кількість мегапікселів	2
Зйомка HD (720p)	1280x720 пікс 60 к/с
Зйомка Full HD (1080p)	1920x1080 пікс 30 к/с
Підключення	USB
Габарити	95x44x71 мм

3.8 Електропривод для керування обертовою платформою

Електропривід для обертової платформи є необхідною складовою 3D сканера і відіграє важливу роль у забезпеченні плавного та точного обертання об'єктів під час процесу сканування. Електропривід, використовуючи електричний струм, перетворює електричну енергію в механічний рух, що дозволяє керувати обертанням платформи з необхідною швидкістю та точністю.

Електропривід дозволяє забезпечити точне та повне обертання об'єктів під час процесу сканування. Це особливо важливо для отримання високоякісних

тривимірних зображень об'єктів і вимірювання їх геометричних параметрів. Крім того, електропривід може бути програмованим для здійснення різних рухів та позицій платформи, що розширює можливості сканування та аналізу об'єктів.

Для вирішення цієї задачі можна використовувати кроковий двигун з енкодером, замкнутого типу NEMA34 86HSE4N-B38 (див. рис. 3.8) у поєднанні з гібридним серводрайвером HSS86. Цей двигун є 2-фазним і має вбудований енкодер, що дозволяє йому працювати плавно з дуже низьким рівнем шуму і нагрівання. Він також не втрачає кроків під час роботи, що відрізняє його від звичайних крокових двигунів не замкнутого типу. Ефективна робота цього крокового двигуна з енкодером досягається завдяки його взаємодії з гібридним серводрайвером HSS86.

					<i>СУ-91 6.151.01.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45



Рисунок 3.8 - Кроковий двигун з енкодером, замкнутого типу NEMA34
86HSE4N-B38[19]

Таблиця 3.8 Характеристики NEMA34 86HSE4N-B38[19]

Характеристика	Значення
Струм фази	6А
Кількість фаз	2
Діаметр вала	14 мм
Макс. швидкість	3000 об./хв.
Номінальна швидкість	1500 об./хв.
Максимально обертальний момент	4,5 N.m
Кут кроку	1,8°
Похибка опору	± 10%
Максимальна температура	80 °С
Робочий діапазон температур	від -20 °С до +50 °С
Роздільна здатність енкодера	1000 PRR
Довжина мотора	82 мм
Вага	2,65 кг

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.01.ПЗ

Лист

46

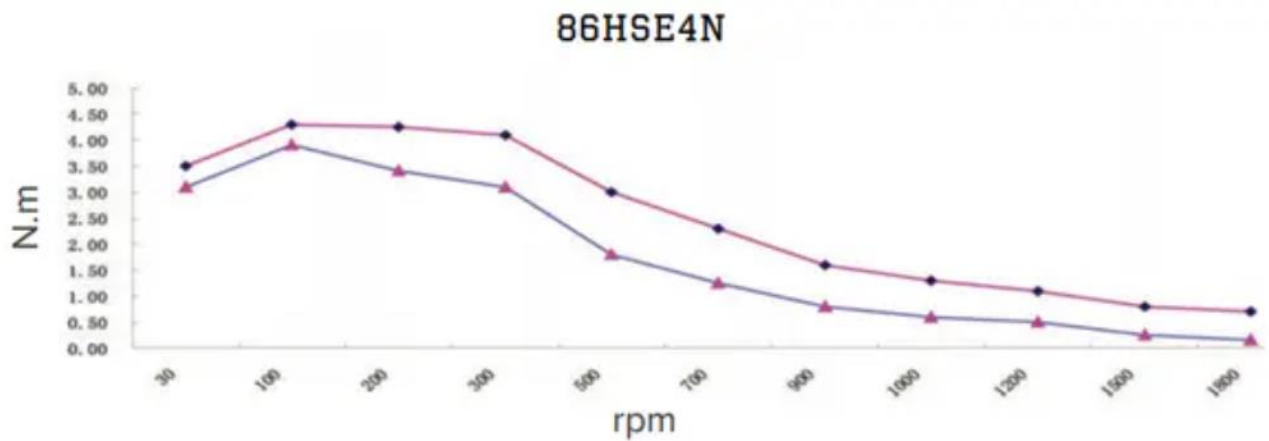


Рисунок 3.9 - Залежність обертового моменту від швидкості обертання[19]

Драйвер крокового двигуна HSS86(рис. 3.10) з енкодером —необхідний для керування кроковим двигуном з енкодером. Драйвер забезпечує стабільну та точну роботу двигуна без втрати кроків. Драйвер розроблений на 32-бітній технології DSP, підтримує керування сигналами PUL/DIR (CP/CW). Закрита система позиціонування вдосконалена та є доброю заміною відкритої системи.



Рисунок 3.10 - Драйвер крокового двигуна HSS86[19]

Особливості HSS86:

- Усунена можливість втрати кроків;
- Забезпечує плавну роботу двигуна, низьку вібрацію, гарантує високі динамічні характеристики під час пришвидшення та гальмування двигуна;
- Немає вібрації під час зміни від нульової до максимальної швидкості;
- Наявність автоматичного регулювання струму залежно від навантаження;

Таблиця 3.9 Характеристики HSS86[19]

Характеристика	Значення
Частота	до 200 кГц
Мікрокрок	16, максимум 51200 імпульсів/об (1/256)
Напруга	АС 20V~80V або DC 30V~110V
Максимальний струм	8А
Вхідний струм	7 ~ 20mA
Опір ізоляції	500MΩ
Робоча температура	0 ~ 50 °С
Робоча вологість	40 ~ 90% RH
Спосіб охолодження	природний або радіатор
Вага	560 г

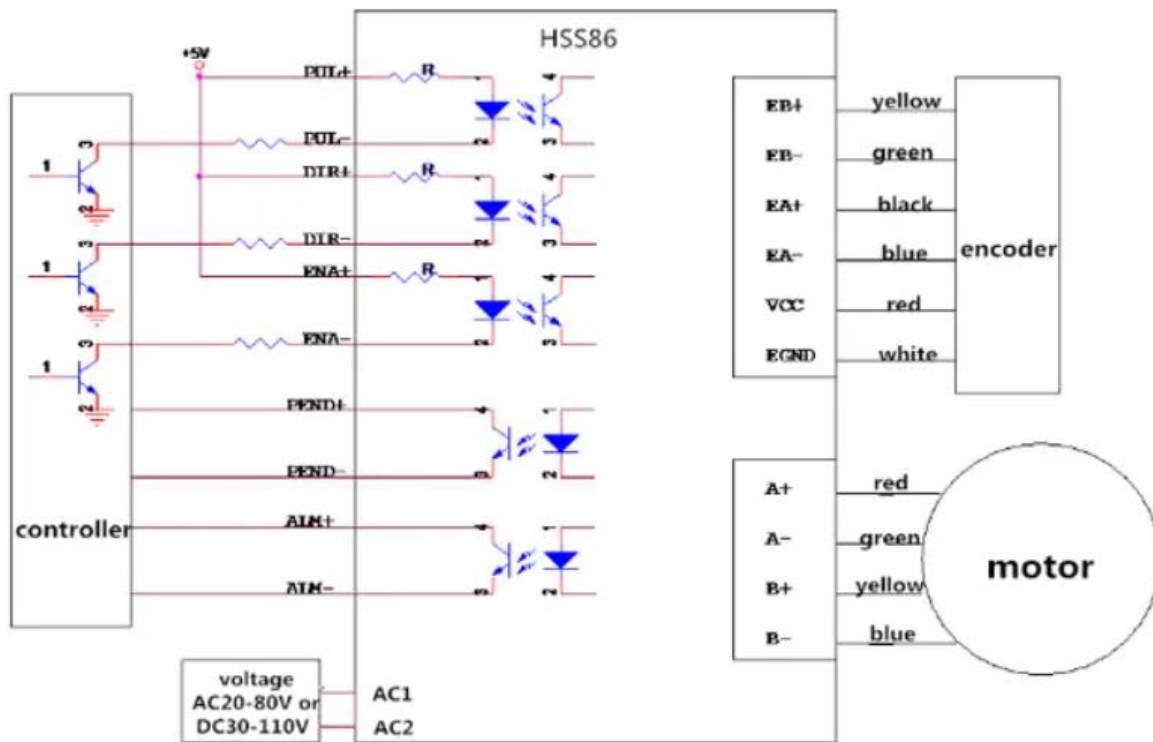


Рисунок 3.11 – Схема під'єднання крокового двигуна NEMA34 86HSE4N-B38 з драйвером HSS86[19]

3.9 Електропривод для керування нахилом модуля

Електропривід використовується для керування нахилом модуля з камерою та лазером в 3D сканері. Цей привід забезпечує рух модуля в певних напрямках, що дозволяє налаштувати кут нахилу камери та лазера для отримання оптимального кадру та покриття об'єкта сканування.

За допомогою електроприводу можна керувати нахилом модуля з камерою та лазером в діапазоні встановлених обмежень. В цьому процесі контролер передає сигнали до системи керування, яка в свою чергу керує електроприводом. Електропривід змінює положення модуля з камерою та лазером відповідно до отриманих сигналів, забезпечуючи необхідний нахил.

57HSE2N-D25(рис. 3.12) - 2-фазний двигун з енкодером, який забезпечує високу точність і плавність роботи з дуже низьким рівнем шуму та нагрівання є гарним вибором. Головними перевагами мотора є: швидка реакція на команди та робота без втрати кроків (порівнюючи зі звичайними кроковими двигунами).

Максимально ефективну роботу двигуна забезпечує гібридний серводрайвер з підтримкою енкодера HSS57.



Рисунок 3.12 Nema23 57HSE2N-D25[20]

Таблиця 3.10 – Характеристики Nema23 57HSE2N-D25[20]

Характеристика	Значення
Кількість фаз	2
Напруга живлення	24-50В(постійний струм)
Споживаний струм	4.2А
Обертальний момент	2Нм
Номінальна швидкість	1000 об/хв
Максимальна швидкість	2000 об/хв
Кутовий крок	1.8°
Опір обмоток	0.5 Ω \pm 10%
Максимальна частота входних імпульсів	200 KHz
Робочий діапазон температур	-20°C...+65°C
Вага	1.2 kg

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91 6.151.01.ПЗ

Лист

50



Рисунок 3.13 - Графік залежності обертового моменту від швидкості обертання[20]

HSS57(рис 3.14) - двофазний гібридний серводрайвер для керування серво-кроковими двигунами, ґрунтується на 32-бітній технології векторного керування, яка забезпечує стабільну, плавну та точну роботу двигуна без пропуску кроків. Технологія керування струмом залежно від навантаження, якого обладнання драйвер, знижує температуру двигуна та продовжує термін його експлуатації. Швидка реакція на команди та рівномірна робота роблять модель HSS57 ідеальним варіантом для обладнання, в якому потрібні швидкі пересування на короткі відстані з високою точністю. Гібридний серводрайвер HSS57 прекрасно працює з кроковими двигунами з обертовим моментом 2.0 Нм – 3.0 Нм



Рисунок 3.14 - HSS57[21]

Таблиця 3.11 - Характеристики HSS57[21]

Характеристика	Значення
Частота	до 200 кГц
Мікрокрок	16, максимум 51200 імпульсів/об (1/256)
Напруга	DC 24V~50V
Максимальний струм	6А
Вхідний струм	7 ~ 20mA
Опір ізоляції	500MΩ
Робоча температура	0 ~ 50 °С
Робоча вологість	40 ~ 90%
Спосіб охолодження	природний або радіатор
Вага	250 г

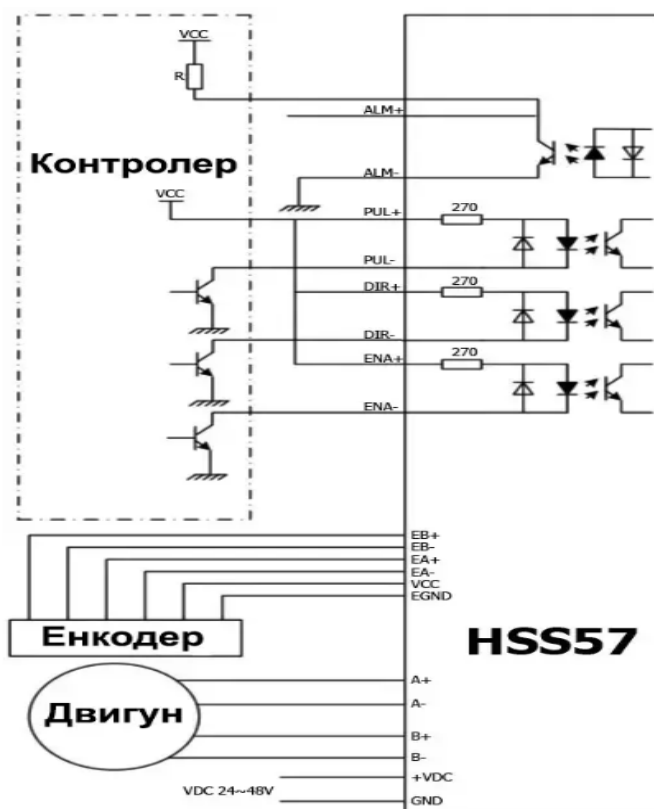


Рисунок 3.15 - Схема під'єднання крокового двигуна NEMA 23 до драйвера HSS57[21]

ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

У даному розділі було проведено вибір електроприводу для обертальної платформи, нахилу камери та лазеру, а також було обрано камеру, лазер, лампу, фоторезистор і мікроконтролер для використання в системі 3D сканування.

1. Для обертальної платформи було обрано електропривід, що базується на кроковому двигуні. Цей електропривід забезпечує точне та плавне обертання платформи, що є необхідним для здійснення сканування об'єктів з різних кутів.
2. Для нахилу камери та лазеру було обрано відповідний електропривід, також на основі крокового двигуна. Цей привід дозволяє точно контролювати нахил модуля з камерою та лазером, що необхідно для відображення об'єктів з різних позицій та забезпечення точності сканування.
3. Для отримання високоякісних зображень об'єктів була обрана відповідна камера, яка має високу роздільну здатність та чутливість. Ця камера дозволяє захоплювати деталі об'єктів з високою якістю, що важливо для точного відтворення їх поверхні.
4. Для проєкції структурованого світла на об'єкт був обраний лазер, який відповідає вимогам щодо потужності та точності. Цей лазер дозволяє створювати чіткі проєкції, що сприяють точному скануванню поверхні об'єктів.
5. Для керування освітленням була використана лампа, яка забезпечує необхідну яскравість та рівномірний розподіл світла під час сканування.
6. Для автоматичного контролю освітлення був використаний фоторезистор, який реагує на рівень світла і забезпечує автоматичне регулювання освітлення відповідно до умов сканування.
7. Для керування всіма компонентами системи був обраний мікроконтролер, який виконує необхідні обчислення та керування сигналами, забезпечуючи синхронізацію роботи всіх елементів сканера.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПРИНЦИПОВО ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА

4.1 Вибір середовища програмування

Arduino мікроконтролери можна програмувати в різних середовищах, залежно від ваших вподобань та потреб. Ось кілька середовищ, які підтримують програмування мікроконтролерів Arduino:

1. **Arduino IDE:** Це офіційне середовище розробки Arduino. Воно є безкоштовним, простим у використанні та має всі необхідні інструменти для програмування мікроконтролерів Arduino. Arduino IDE базується на мові програмування C/C++ і має вбудовану бібліотеку функцій для спрощення розробки проектів.
2. **PlatformIO:** Це розширене середовище розробки, яке підтримує не тільки Arduino, але й інші платформи мікроконтролерів. Воно надає більше функціональності та можливостей, таких як керування бібліотеками, відладка та інтеграція з іншими інструментами розробки.
3. **Visual Studio Code з розширенням Arduino:** Якщо ви використовуєте редактор коду Visual Studio Code, ви можете встановити розширення Arduino, яке дозволить вам програмувати мікроконтролери Arduino безпосередньо в цьому середовищі. Воно має розширені можливості редагування коду та підтримку багатьох інших розширень.

Arduino IDE є гарним вибором для програмування контролера Arduino Mega з кількох причин:

- **Простота використання:** Arduino IDE має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його доступним для початківців. Він має прості налаштування та легкість у завантаженні програм до контролера.
- **Велика спільнота користувачів:** Arduino IDE є дуже популярним середовищем розробки, тому в ньому існує велика та активна спільнота користувачів.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- Вбудовані бібліотеки: Arduino IDE поставляється з великою кількістю вбудованих бібліотек, які спрощують програмування контролера Arduino Mega. Ці бібліотеки містять функції та методи, які можна використовувати для швидкого розроблення різних функціональностей, таких як керування GPIO, зчитування даних з сенсорів та багато іншого.
- Підтримка багатьох платформ: Arduino IDE підтримує широкий спектр Arduino-сумісних мікроконтролерів, включаючи Arduino Mega.
- Розширення та інтеграція: Arduino IDE підтримує розширення, що дозволяє розширити його функціональність та інтегрувати з іншими інструментами розробки, такими як редактори коду, налагоджувачі та інші.

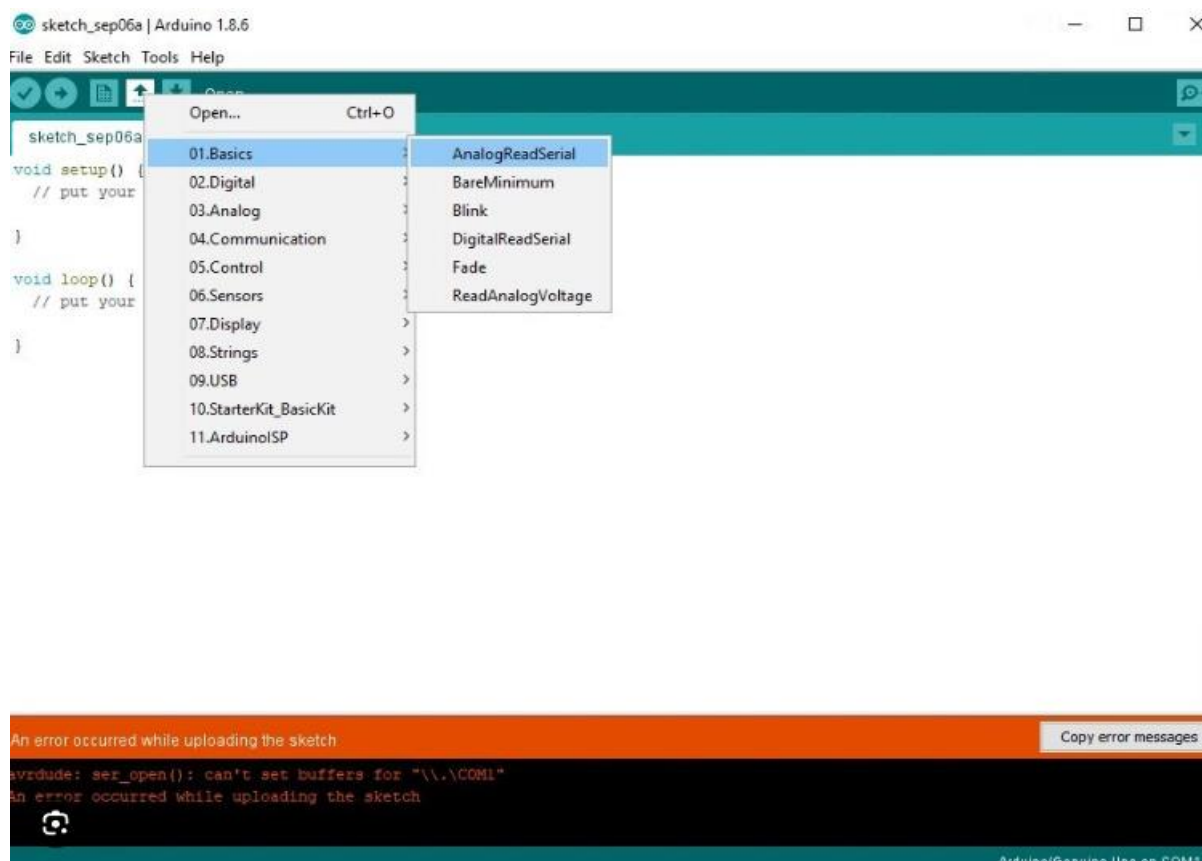


Рисунок 4.1 – Інтерфейс середовища Arduino IDE

4.2 Алгоритм сканування об'єкта

Враховуючи вимоги до сканера та його структурно і функціональну схеми, було розроблено алгоритм програми для його роботи.

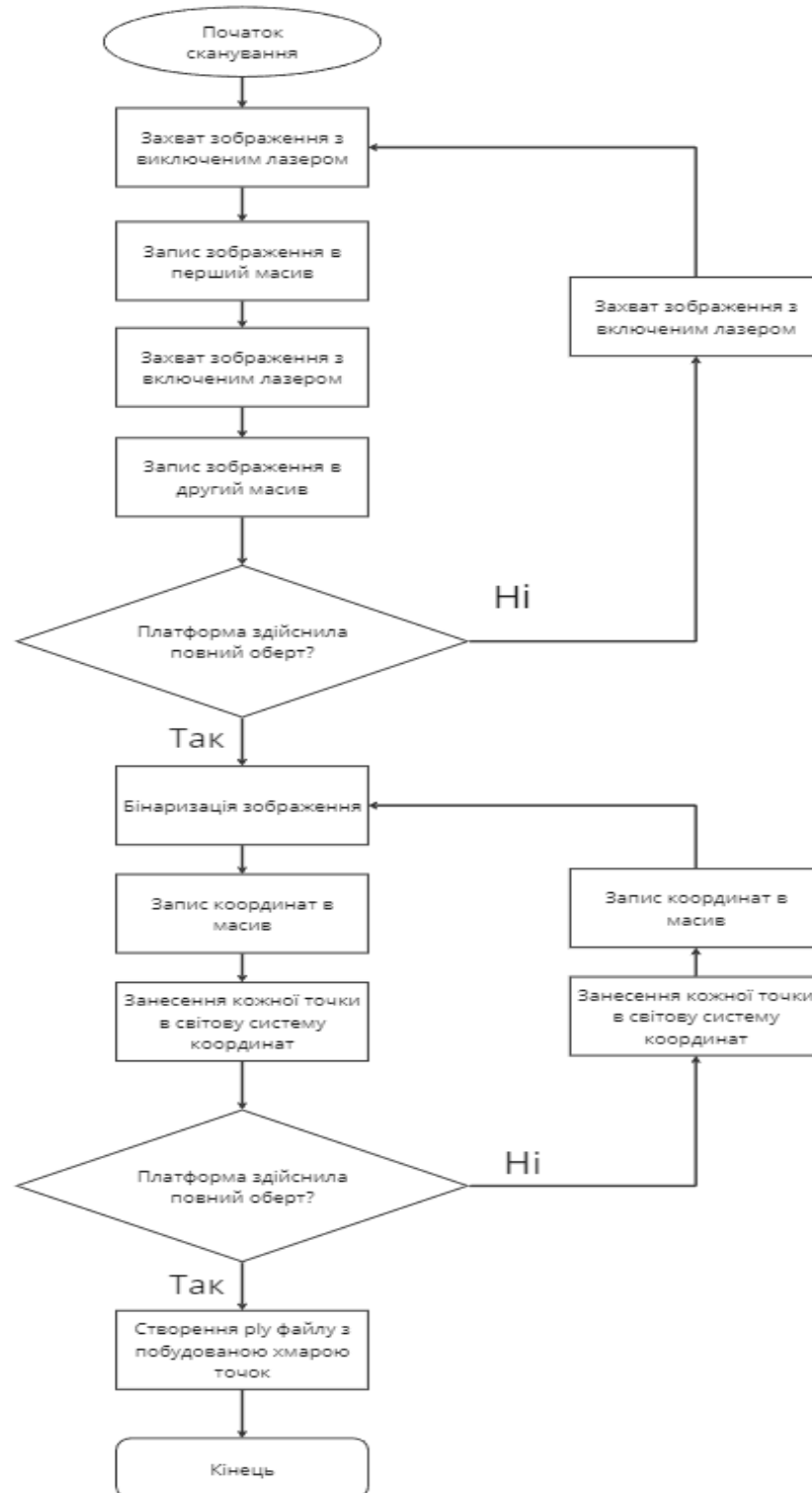


Рисунок 4.2 - Алгоритм сканування.

Одним з важливих кроків в алгоритмі є бінаризація зображення, яка виконується з метою виділення лазерної лінії, проєктованої на об'єкті. Цей процес здійснюється шляхом перетворення зображення в чорно-білий формат, де лазерна лінія буде мати високу інтенсивність (білий колір), а решта зображення - низьку інтенсивність (чорний колір).

Сканер починає обертатись навколо об'єкта, і з кожним обертом збирається зображення. Кожне зображення проходить процес бінаризації, що дозволяє виділити лазерну лінію та зберегти тільки необхідну інформацію для подальшого аналізу.

Після отримання зображень, пари зображень аналізуються з метою виявлення лазерної лінії та визначення координат кожної точки в 3D-просторі. Цей процес може включати в себе використання алгоритмів комп'ютерного зору та обробки зображень для точного визначення положення лазерної лінії.

По завершенню визначення координат точок у 3D-просторі виконується їх трансформація в світову систему координат. Це важливий крок, оскільки він дозволяє відобразити точки у відповідній просторовій конфігурації, що відповідає реальному об'єкту.

Далі, після занесення точок у світову систему координат, відбувається поворот цієї системи на певний кут. Це зроблено для отримання більш повної інформації про об'єкт і його структуру з різних кутів.

Процес сканування повторюється доти, поки всі зображення не пройдуть етап бінаризації та аналізу. Кінцевим результатом є формування файлу у форматі .ply, який містить повну хмару точок, що представляє копію сканованого об'єкта. Цей файл може бути використаний для подальшого моделювання, візуалізації або аналізу об'єкта

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

4.3 Лістинг програми

Код програми для керування кроковим двигун та лазером.

```
void setup() {
2 Serial.begin(9600);
3 pinMode(4, OUTPUT); //Установка режиму роботи цифрового піна
4 pinMode(5, OUTPUT);
5 pinMode(6, OUTPUT);
6 digitalWrite(2, HIGH);
7 pinMode(2, OUTPUT);
8 int i = 0;
9 }
10 void motor(float i) {
11 while (i<71.28) //Поворот платформи на 2 градуси за одну ітерацію
12 {
13 digitalWrite(5, LOW);
14 digitalWrite(4, HIGH);
15 delay(1);
16 digitalWrite(4, LOW);
17 delay(1);
18 i++;
19 }
20 }
21 void loop() {
22 if (Serial.available()) //Перевірка поступання сигналу на запуск алгоритму
23 { float i = 0;
24 // digitalWrite(4, HIGH); //Увімкнення та вимкнення лазера
25 // delay(500);
26 // digitalWrite(4, LOW);
27 //delay(500);
28 digitalWrite(6, HIGH);
29 delay(1000);
30 digitalWrite(6, LOW);
31 motor(i); // Запуск функції повороту крокового двигуна.
32 digitalWrite(2, LOW);
33 }
34 }
```

										Лист
										58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

4.3 Вибір середовища для розробки принципової електричної схеми

При виборі програмного забезпечення для розробки принципової електричної схеми були розглянуті такі середовища:

- EPLAN Electric
- COMPAS Electric
- AutoCAD.

Вибір EPLAN Electric став хорошим вибором для розробки принципової електричної схеми завдяки його функціональності, зручному інтерфейсу та можливостям інтеграції з іншими інструментами. Переваги EPLAN Electric:

- має зручний і зрозумілий інтерфейс, що дозволяє швидко освоїти програму та працювати ефективно. Його користувацька зручність робить процес розробки принципових схем більш продуктивним і зменшує час, потрібний для виконання завдань;
- дозволяє моделювати різні аспекти електричних систем, включаючи електричні схеми, розподіл електроенергії, проводку та інші важливі деталі. Це дозволяє розробникам отримати повну та детальну картину електричної системи ще до її фізичної реалізації;
- надає можливості стандартизації та автоматизації процесу розробки. Це дозволяє швидше і ефективніше створювати принципові схеми, зменшує ймовірність помилок і сприяє виконанню вимог нормативних документів.

4.4 Опис принципової електричної схеми

Принципова електрична схема була розроблена для забезпечення правильного живлення та керування компонентами лазерного 3D сканера, а також для забезпечення передачі даних та зв'язку з комп'ютером. Ця схема описує взаємозв'язок різних компонентів системи, їх підключення та функціонування.

Схема СУ-91 6.151.000.00 ЕЗ знаходиться в додатку Б.

4.4.1 Живлення системи

Частина принципової електричної схеми, що відповідає за живлення, включає наступні компоненти:

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

- Розетка та вилка: на вхідній стороні схеми присутня розетка, яка приймає змінний струм 220В. Розетка з'єднана із вхідноювилкою, яка служить для підключення схеми до джерела живлення.
- Автоматичний вимикач: після вхідноївилки розміщений автоматичний вимикач, який забезпечує захист від перевантаження або короткого замикання. Він перериває живлення, якщо струм перевищує встановлені межі безпеки.
- Аварійний грибок безпеки: в схемі присутній аварійний грибок безпеки, який є механічним переключальним пристроєм для негайного відключення живлення в разі надзвичайної ситуації або аварії. Натискання грибка безпеки активує вимкнення живлення.
- Індикатори: у схемі присутні індикатори, які відображають стан живлення. Використані світлодіодні індикатори, які показують, чи присутня живлення на блоках або компонентах.
- Блоки живлення: для подачі стабільних напруг 24В, 12В та 5В в схемі використовуються відповідні блоки живлення. Вони перетворюють вхідну напругу на потрібні рівні та забезпечують живлення для відповідних компонентів схеми.

Ця частина схеми живлення відповідає за безперебійне живлення всіх необхідних компонентів схеми з різними рівнями напруги, починаючи зі вхідного змінного струму 220В із розетки. Автоматичні вимикачі, аварійний грибок безпеки, індикатори та блоки живлення забезпечують безпеку та стабільність живлення системи.

4.4.2 Підключення персонального комп'ютера

Частина принципової електричної схеми, що відповідає за підключення та живлення персонального комп'ютера та його пристроїв, включає наступні компоненти:

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Живлення комп'ютера: вхідний струм 220В подається з розетки через вилку в блок живлення комп'ютера, який перетворює його на стабільну напругу для живлення всіх компонентів комп'ютера.
- Підключення мишки та клавіатури: мишка та клавіатура підключаються до комп'ютера за допомогою USB-кабелів. Вони передають сигнали від пристроїв до комп'ютера, дозволяючи користувачеві взаємодіяти з системою.
- Підключення монітора: монітор підключений до комп'ютера за допомогою HDMI-кабелю. Це забезпечує передачу відеосигналу з комп'ютера на монітор для відображення зображення.
- Підключення RJ45 Ethernet: для підключення до локальної мережі або Інтернету використовується роз'єм RJ45 Ethernet. Це забезпечує передачу даних між комп'ютером та мережею.
- Резервні розетки: у схемі також присутні дві резервні розетки, які можуть використовуватись для підключення додаткових пристроїв або забезпечення резервного живлення.

4.4.3 Керування обертовою платформою

Частина принципової електричної схеми, що відповідає за керування обертовою платформою, включає наступні компоненти:

- Контролер Arduino Mega: контролер Arduino Mega використовується для управління обертовою платформою
- Живлення контролера: живлення для контролера Arduino Mega подається з відповідного джерела живлення 5В. Це забезпечує стабільне живлення для правильної роботи контролера.
- Підключення індуктивних датчиків: два індуктивних датчика підключаються до контролера Arduino Mega. Ці датчики використовуються для вимірювання певних параметрів на обертовій платформі та передають дані контролеру для подальшого аналізу.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

- Підключення до драйвера HSS86: контролер Arduino Mega підключається до драйвера HSS86, який відповідає за керування кроковим двигуном NEMA 34 замкнутого типу з енкодером. Цей драйвер приймає сигнали від контролера та керує рухом крокового двигуна з точністю, що забезпечується енкодером.
- Підключення крокового двигуна NEMA 34 з енкодером: кроковий двигун замкнутого типу з енкодером підключений до драйвера HSS86. Цей двигун отримує сигнали від драйвера та виконує відповідні рухи обертання обертової платформи з точністю, яка забезпечується енкодером.

4.4.4 Керування нахилом модуля з камерою та лазером

Частина принципової електричної схеми, що відповідає за керування нахилом модуля з камерою та лазером, включає наступні компоненти:

- Контролер Arduino Mega: контролер Arduino Mega використовується для управління нахилом модуля. Він отримує живлення для своєї роботи.
- Живлення контролера: живлення для контролера Arduino Mega подається 5В з відповідного джерела живлення. Це забезпечує стабільне живлення для правильної роботи контролера.
- Підключення індуктивних датчиків: Два індуктивних датчика підключаються до контролера Arduino Mega. Ці датчики використовуються для визначення кінцевих положень модуля, що нахиляється, та передають дані контролеру для подальшого аналізу.
- Підключення до драйвера HSS57: контролер Arduino Mega підключається до драйвера HSS57, який відповідає за керування кроковим двигуном NEMA23 замкнутого типу з енкодером. Цей драйвер отримує сигнали від контролера та керує рухом крокового двигуна з точністю, що забезпечується енкодером.
- Підключення крокового двигуна з енкодером: кроковий двигун NEMA23 замкнутого типу з енкодером підключений до драйвера HSS57. Цей двигун

отримує сигнали від драйвера та виконує відповідні рухи нахилу модуля з камерою та лазером з точністю, що забезпечується енкодером.

4.4.5 Керування лазером та освітленням

Ця частина принципової електричної схеми включає наступні компоненти

для керування лазером та освітленням:

- Контролер Arduino Mega: контролер Arduino Mega використовується для управління лазером та освітленням. Він забезпечує контроль над різними компонентами і приймає вхідні сигнали від датчиків.
- Драйвер на транзисторі Mosfet irf520: Драйвер на транзисторі Mosfet irf520 підключений до контролера Arduino Mega. Він служить для керування світлодіодною лампою, яка забезпечує освітлення. Контролер відправляє сигнали до драйвера для управління ввімкненням/вимкненням та регулюванням яскравості світлодіодної лампи.
- Світлодіодна лампа: світлодіодна лампа підключена до драйвера Mosfet irf520. Коли контролер Arduino Mega відправляє сигнал до драйвера, він вмикає та регулює яскравість світлодіодної лампи, забезпечуючи необхідний для сканування рівень освітлення.
- Фоторезистор: фоторезистор підключений до контролера Arduino Mega. Він служить для вимірювання рівня освітленості в навколишній області. Контролер отримує сигнали від фоторезистора і може виконувати відповідні дії на основі цих вимірів.
- Лазерний модуль: лазерний модуль також підключений до контролера Arduino Mega. Він вмикається або вимикається за допомогою реле електромагнітного, яке підключене до контролера. Контролер керує реле, що в свою чергу керує лазерним модулем.

4.4.5 Керування камерою та зв'язок МК з ПК

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця частина принципової електричної схеми включає наступні компоненти для керування камерою та зв'язку між мікроконтролером та комп'ютером:

- Контролер Arduino Mega: контролер Arduino Mega використовується для керування камерою та передачі даних до комп'ютера. Він відповідає за управління камерою та обробку даних, що отримуються з неї.
- Камера: камера підключена до комп'ютера за допомогою USB 2.0. Вона передає зображення та відео до комп'ютера для подальшої обробки або відображення.
- Конвертер UART TO USB: контролер Arduino Mega зв'язується з комп'ютером через конвертер UART TO USB. Цей конвертер перетворює UART-сигнали, що використовуються контролером, на USB-інтерфейс, зрозумілий для комп'ютера.
- Індикатори: до контролера Arduino Mega підключені 2 індикатори. Перший індикатор відображає процес сканування і може вказувати, чи активна камера в даний момент. Другий індикатор сигналізує про успіх сканування або інші важливі події.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ

У даному розділі було прийнято рішення вибрати середовище програмування Arduino IDE для програмування мікроконтролера Arduino Mega, який використовується у лазерному 3D сканері. Arduino IDE є популярним і зручним інтегрованим середовищем розробки, яке надає засоби для написання програмного коду та завантаження його на мікроконтролер.

Також описаний алгоритм сканування, який визначає послідовність дій, необхідних для здійснення процесу сканування об'єктів. Цей алгоритм включає в себе керування кроковим двигуном та лазером, щоб забезпечити рух платформи та проектування лазерного променя на об'єкт.

Для реалізації цього алгоритму був написаний програмний код, який виконується на мікроконтролері Arduino Mega. Цей код містить необхідні команди та інструкції для керування кроковим двигуном та лазером. Використання Arduino IDE спрощує процес програмування та забезпечує зручність в розробці та налагодженні програми для електронної системи керування лазерним 3D сканером.

Також у цьому розділі була описана принципова електрична схема, яка включає різні компоненти та їх взаємозв'язок для керування різними аспектами системи. За допомогою цієї схеми забезпечується правильне живлення та керування пристроями, а також передача даних та зв'язок з комп'ютером.

У схемі було описано підключення живлення, включаючи блоки живлення на різних рівнях напруги. Крім того, було описано підключення пристроїв, які керуються системою, таких як мишка, клавіатура, монітор та ін. Ще в цьому розділі було описано керування обертовою платформою, нахилом модуля з камерою та лазером, а також підключення контролера лазера та освітлення і зв'язок контролера з ПК.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

- ❖ В першому розділі проведено дослідження сучасних методів сканування тривимірних об'єктів, що поділяються на контактні та безконтактні сканери. Було встановлено, що безконтактні 3D сканери мають переваги у вигляді незалежності від матеріалу об'єкта, збереження його цілісності та широкого спектру застосувань. У зв'язку з цим, було прийнято рішення розробити лазерний 3D сканер з використанням тріангуляційного методу сканування, оскільки він забезпечує необхідну точність, має низьку вартість та простоту конструкції у порівнянні з контактними сканерами.
- ❖ В другому розділі було розглянуто структурну та функціональну схеми 3D сканера, а також принцип його роботи. Було встановлено, що сканер складається з поворотної платформи, крокового двигуна, драйвера, контролера, камери, лазера, освітлення та комп'ютера. Контролер керує роботою сканера, кроковий двигун забезпечує поворот платформи, а камера та лазер зафіксують зображення об'єкта. Отримані дані передаються на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу. Процес сканування є ітеративним, з послідовними ітераціями та отриманням зображень об'єкта з різних кутів. Отримані дані використовуються для створення тривимірної моделі об'єкта.
- ❖ В третьому розділі було проведено вибір електроприводу для обертальної платформи, нахилу камери та лазера, вибрано відповідні компоненти, такі як камера, лазер, лампа, фоторезистор і мікроконтролер, для використання в системі 3D сканування. В результаті проведених виборів було забезпечено точне та плавне обертання платформи, нахил модуля з камерою та лазером, високу якість зображень об'єктів, чітку проекцію структурованого світла, а також автоматичне регулювання освітлення. Управління всіма компонентами здійснюється за допомогою мікроконтролера, що забезпечує синхронізацію роботи всіх елементів

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сканера.

- ❖ В четвертому розділі було прийнято рішення вибрати Arduino IDE як середовище програмування для мікроконтролера Arduino Mega у лазерному 3D сканері. Arduino IDE є зручним інструментом для розробки програмного коду та завантаження його на мікроконтролер. Описаний алгоритм сканування визначає послідовність дій для здійснення процесу сканування об'єктів, включаючи керування кроковим двигуном та лазером. Написаний програмний код для мікроконтролера Arduino Mega містить необхідні команди та інструкції для керування кроковим двигуном та лазером. Використання Arduino IDE спрощує процес програмування та розробки програми для системи керування лазерним 3D сканером. Також описана принципова електрична схема включає різні компоненти та забезпечує правильне живлення, керування та зв'язок з комп'ютером. У схемі описано підключення живлення, пристроїв управління, а також керування обертовою платформою, нахилом модуля з камерою та лазером, контролером лазера та освітленням, а також зв'язок з ПК.

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. How Does a 3D Scanner Work? [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://www.capture3d.com/knowledge-center/blog/how-does-a-3d-scanner-work> (дата звернення: 12.05.2023)
2. 3D scanning technologies and the 3D scanning process ? [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> (дата звернення: 12.05.2023)
3. Types & Benefits of 3D Scanners and 3D Scanning Technologies ? [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://www.pre-scient.com/knowledge-center/product-development-by-reverse-engineering/scanners-scanning.html> (дата звернення: 12.05.2023)
4. Координатно-вимірювальна машина [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/10581-koordinatno-vimryuvalna-mashina-opis-tehnchn-harakteristiki-zastosuvannya.html> (дата звернення: 12.05.2023)
5. Які типи сканерів існують? [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://3d-daily.ru/equipment/3dscan-type.html> (дата звернення: 12.05.2023)
6. Stonex X300 3D Laser Scanner [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://www.bim-365.com/en/products/stonex-x300-laser-3d-scanner/> (дата звернення: 12.05.2023)
7. Галуєв С.В. Складові сканатори/С.В. Галуєв, Б.С. Розов // Вимірювання, контроль, автоматизація. – № 3, 2003. – С.33-36.
8. Schaeffer R. Galvo based laser scanning systems / R. Schaeffer // CircuiTree. - Vol. 16. - N 9, 2003. - PP. 32-38
9. Повний посібник із 3D-сканерів із використанням лазерної тріангуляції

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

[Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу:
<https://www.3dnatives.com/en/3d-scanner-laser-triangulation080920174-99/#>(дата звернення: 12.05.2023)

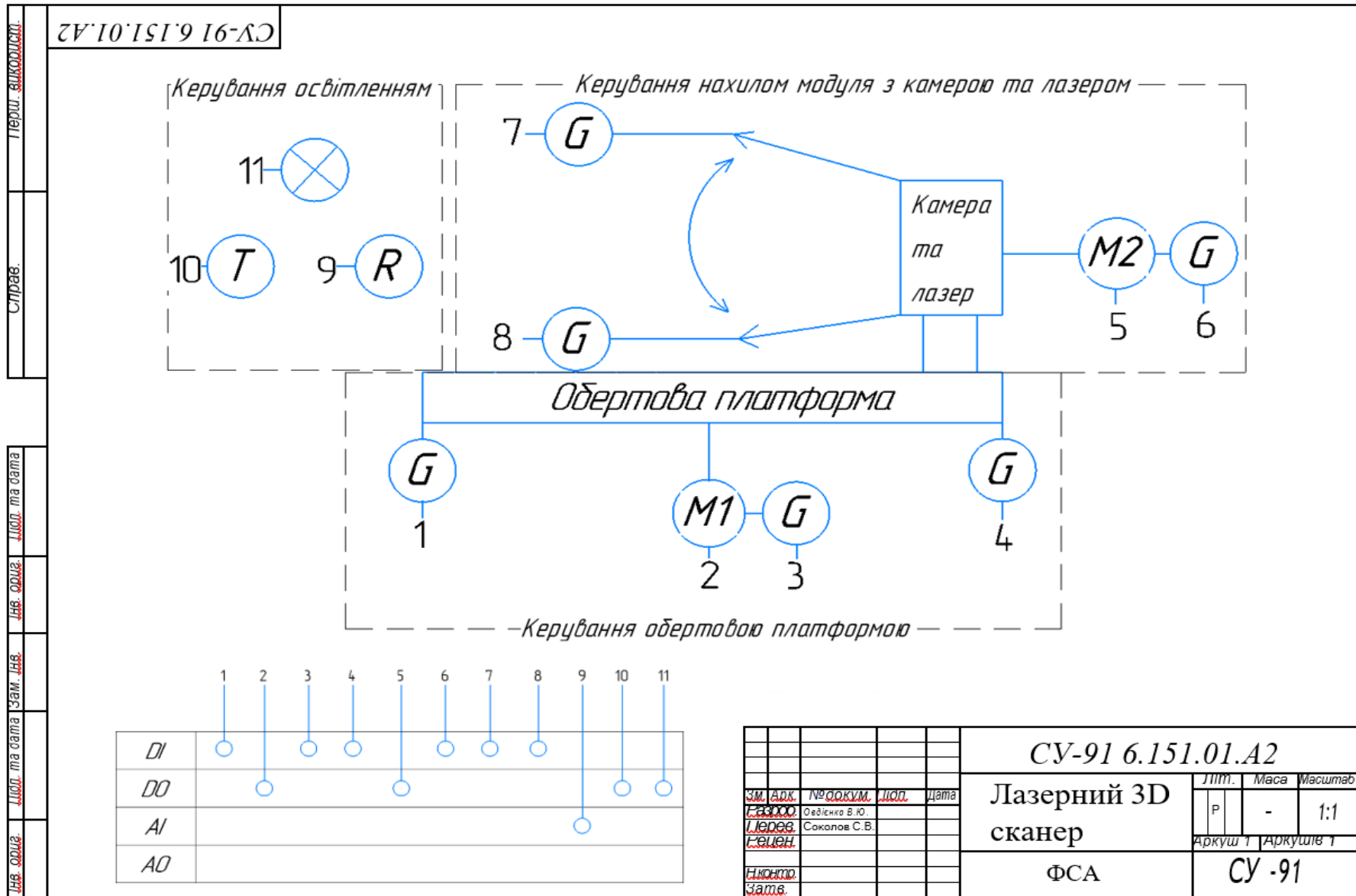
10. Портативний 3D лазерний сканер від Z Corporation [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://www.makepartsfast.com/portable-3d-laser-scanner-from-z-corporation/>(дата звернення: 12.05.2023)
11. Застосування 3D-сканера [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://koloro.ua/ua/3d-skaner-3d-skanirovanie-obektov-i-trehmernoje-modelirovanie.html>(дата звернення: 12.05.2023)
12. Arduino Mega 2560 [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod176-arduino-mega-2560-rev3-a000067>(дата звернення: 12.05.2023)
13. Індуктивний давач LJ12A3-2-Z-BY [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod3436-indyktivnii-datchik-priblijeniya-lj12a3-2-z-by>(дата звернення: 12.05.2023)
14. NSL-4960 (фоторезистор) [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/nsl-4960-fotorezistor_43392.html(дата звернення: 12.05.2023)
15. Драйвер на транзисторі MOSFET IRF520 [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/moduli-137/drajver-mosfet-tranzistor-irf520-0-24v-modul-arduino-pic-arm.html>(дата звернення: 12.05.2023)
16. Світлодіодна лампа Brille G53 LED [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://epicentrk.ua/shop/mplc-lampa-svitlodiodna-brille-led-g53-15w-32-pcs-cw-ar111-a-dc12v-smd3020-1104-006-1eb7dcb0-6c89-6236-b3b3-47260b0b0cc4.html>(дата звернення: 12.05.2023)
17. Лазерний модуль Q-BAIHE [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: https://aliexpress.ru/item/32279652881.html?sku_id=58773337501&spm=a2g2w.productlist.search_results.10.1f203906ZzlzXB(дата звернення: 12.05.2023)

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

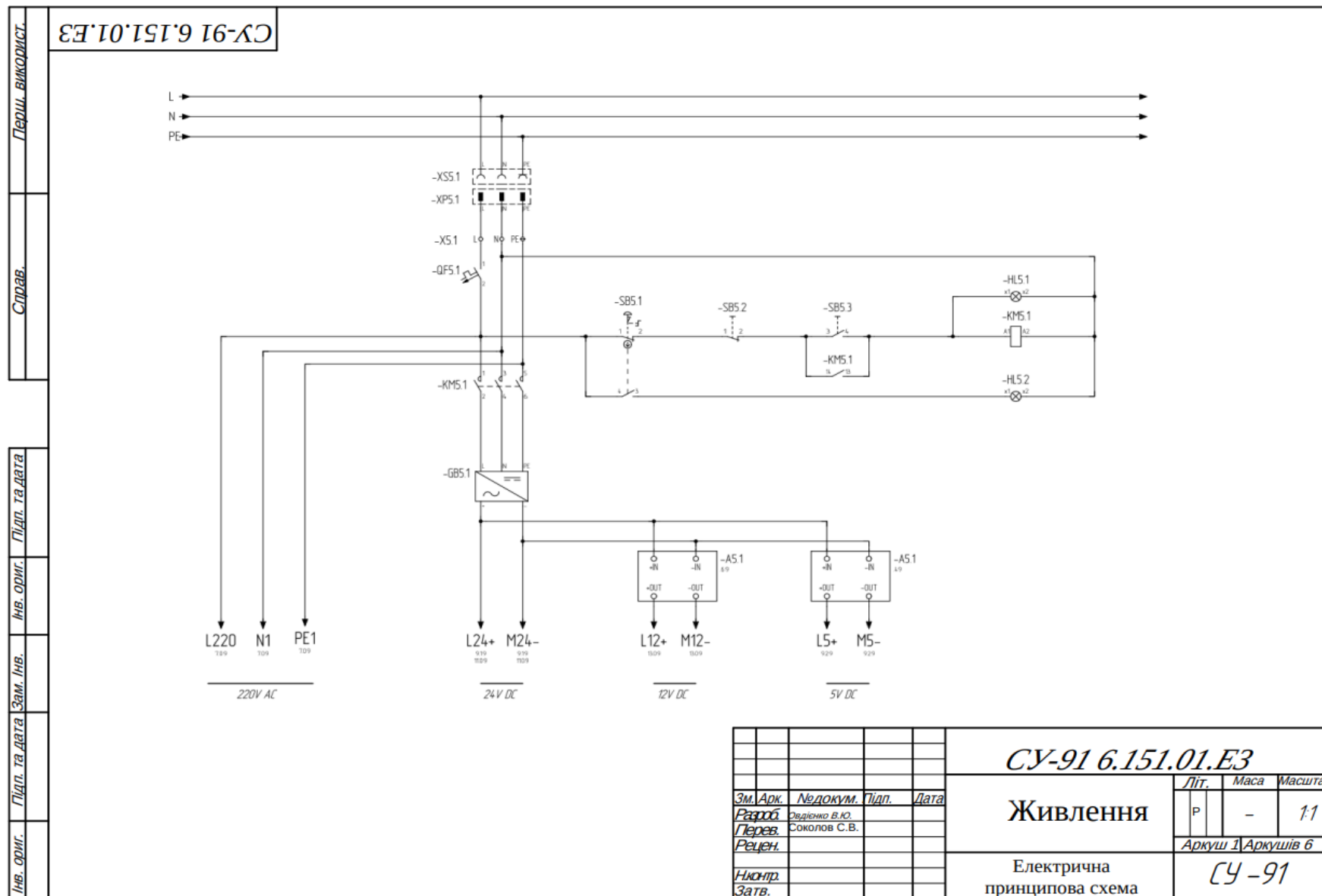
18. Logitech HD C922 Pro Stream EMEA (960-001088) [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: https://rozetka.com.ua/logitech_960_001088/p21664994/(дата звернення: 12.05.2023)
19. Кроковий двигун з енкодером, замкнутого типу NEMA34 86HSE4N-B38 з гібридним серводрайвером HSS86 [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p454372436-shagovyj-dvigatel-enkoderom.html>(дата звернення: 12.05.2023)
20. Кроковий двигун з енкодером замкнутого типу 57HSE2N-D25, NEMA23 [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p990334089-shagovyj-dvigatel-enkoderom.html>(дата звернення: 12.05.2023)
21. Гібридний серводрайвер HSS57 [Інтернет джерело] Режим доступу до ресурсу: <https://cnc.prom.ua/ua/p990009570-gibridnyj-servodrajver-hss57.html>(дата звернення: 12.05.2023)

					СУ-91 6.151.01.ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Додаток А. Функціональна схема автоматизації



Додаток Б. Принципова електрична схема



СУ-91 6.151.01.ЕЗ

Перш. використ.

Справ.

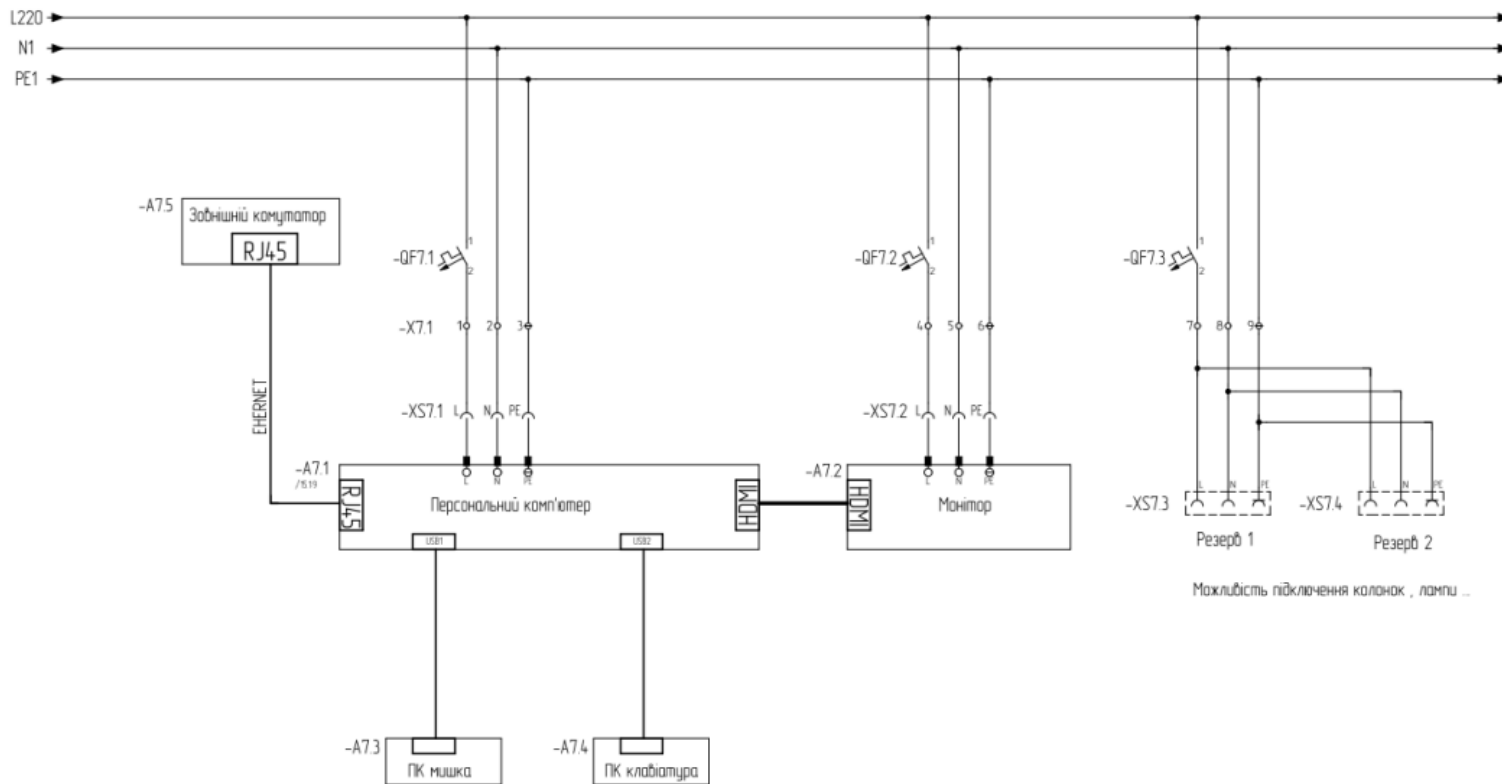
Підп. та дата

Інв. ориг.

Зам. Інв.

Підп. та дата

Інв. ориг.



				СУ-91 6.151.01.ЕЗ		
				Підключення ПК		
				Електрична принципова схема		
Зм. Арк.	Недокум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Овдієнко В.Ю.			Р	-	1:1
Перев.	Соколов С.В.			Аркуш 2 Аркушів 6		
Рецен.				СУ-91		
Нюанс.						
Затв.						

Перш. використ.

Справ.

Підп. та дата

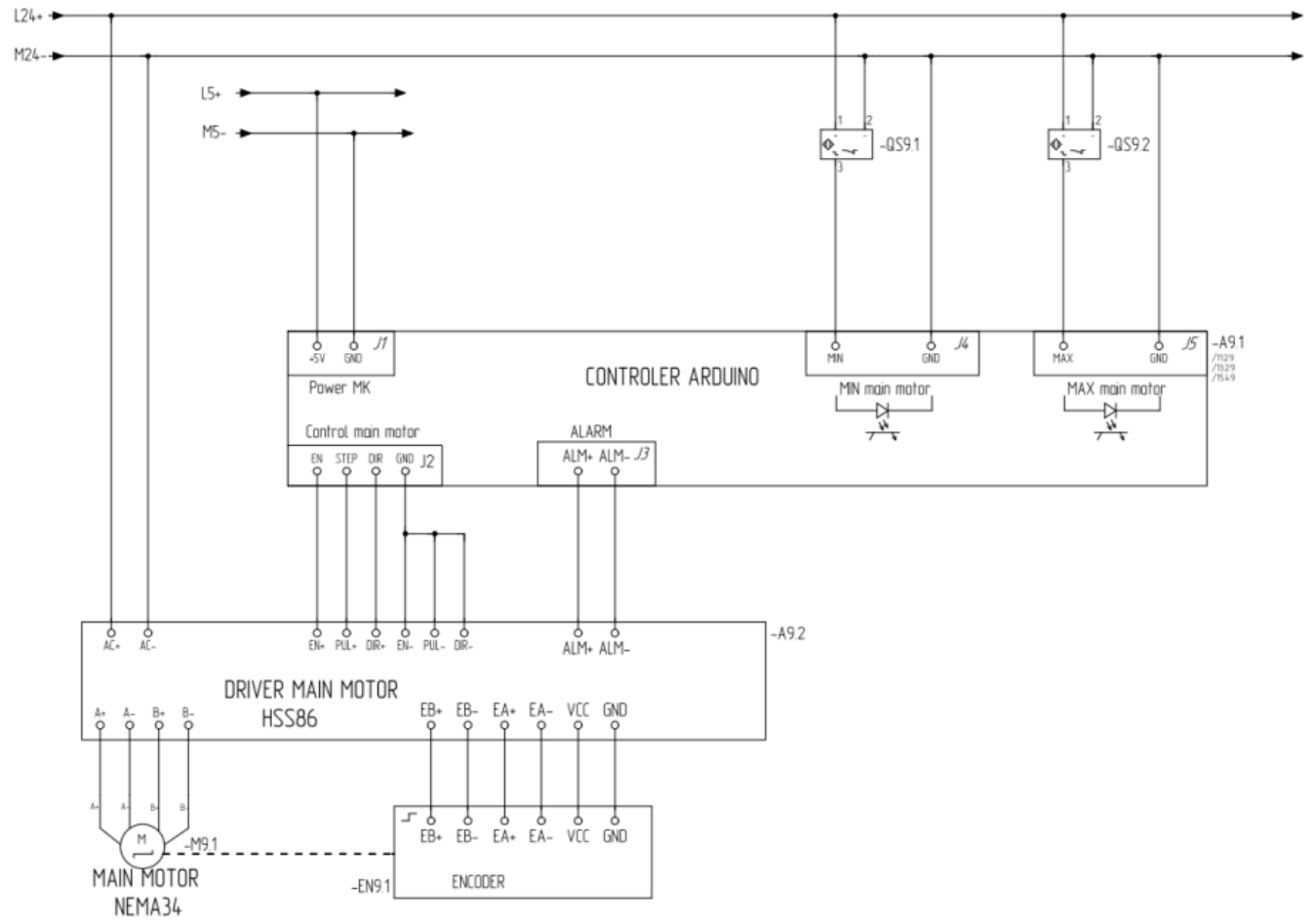
Інв. ориг.

Зам. Інв.

Підп. та дата

Інв. ориг.

СУ-91 6.151.01.Е3



Зм. Арк.	Недокум.	Підп.	Дата
<i>Розроб.</i>	Овдієнко В.Ю.		
<i>Перев.</i>	Соколов С.В.		
<i>Рецен.</i>			
<i>Нюнпр.</i>			
<i>Затв.</i>			

СУ-91 6.151.01.Е3

**Керування
обертвою
платформою**

Електрична
принципова схема

Літ.	Маса	Масштаб
Р	-	1:1
Аркун 3 Аркунів 6		
СУ-91		

Перш. використ.

Справ.

Підп. та дата

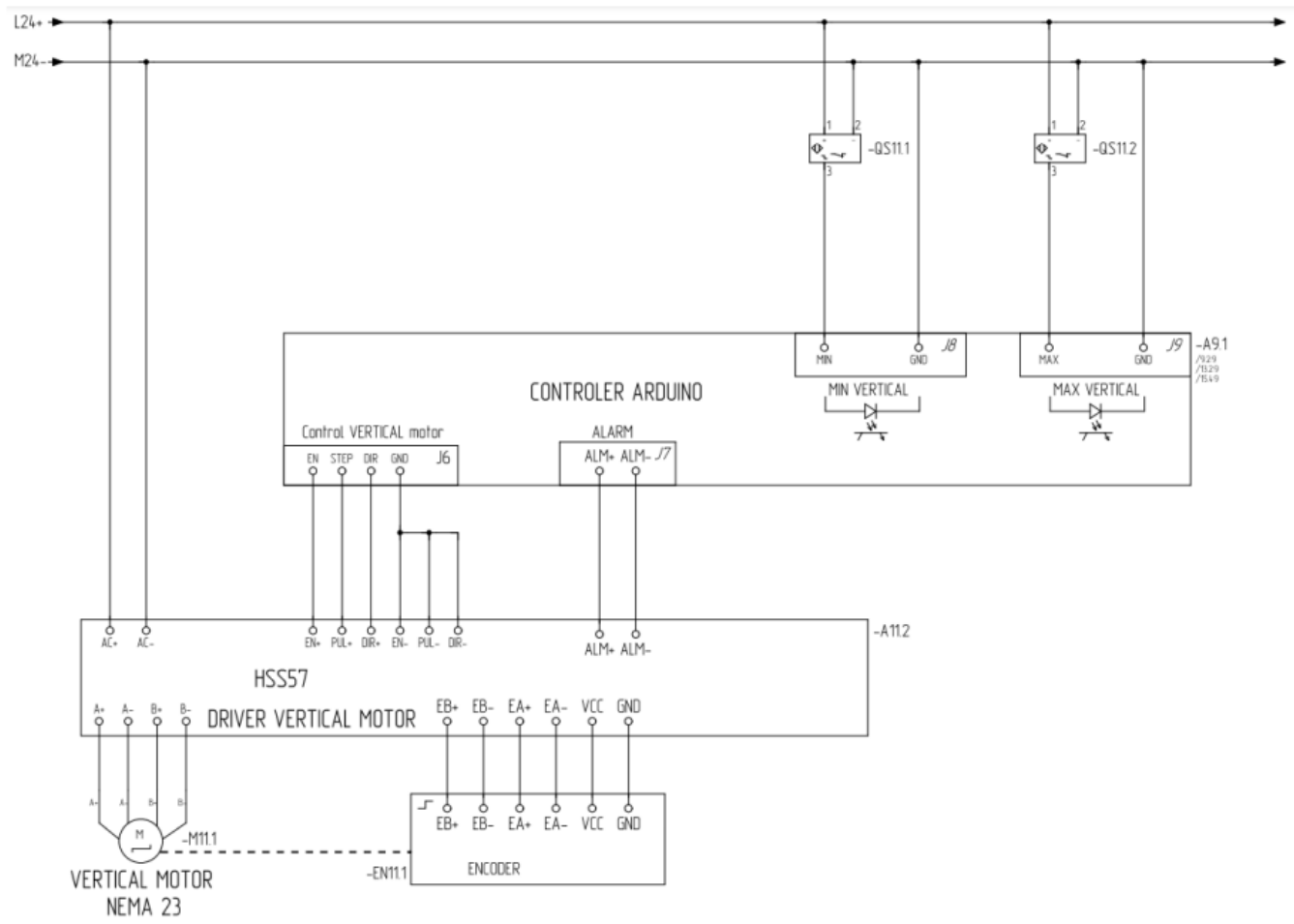
Інв. ориг.

Зам. Інв.

Підп. та дата

Інв. ориг.

СУ-91 6.151.01.Е3



Зм. Арк.	Недокум.	Підп.	Дата
Розроб.	Овдієнко В.Ю.		
Перев.	Соколов С.В.		
Рецен.			
Нюнпр.			
Затв.			

СУ-91 6.151.01.Е3		
Керування нахилом модуля		
Літ.	Маса	Масштаб
Р	-	1:1
Аркуш 4 Аркушів 6		
СУ-91		
Електрична принципова схема		

Перш. використ.

Справ.

Підп. та дата

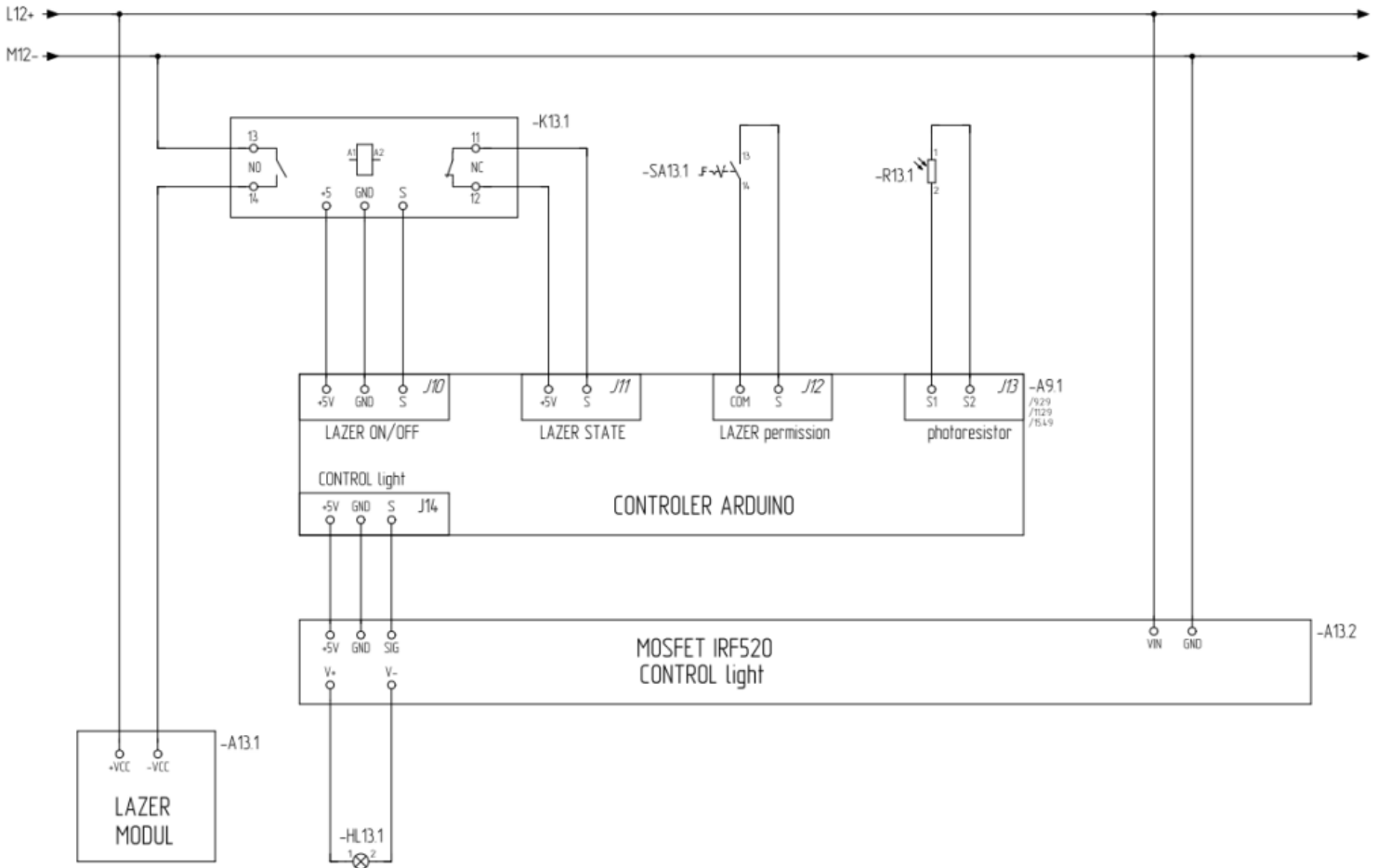
Інв. ориг.

Зам. Інв.

Підп. та дата

Інв. ориг.

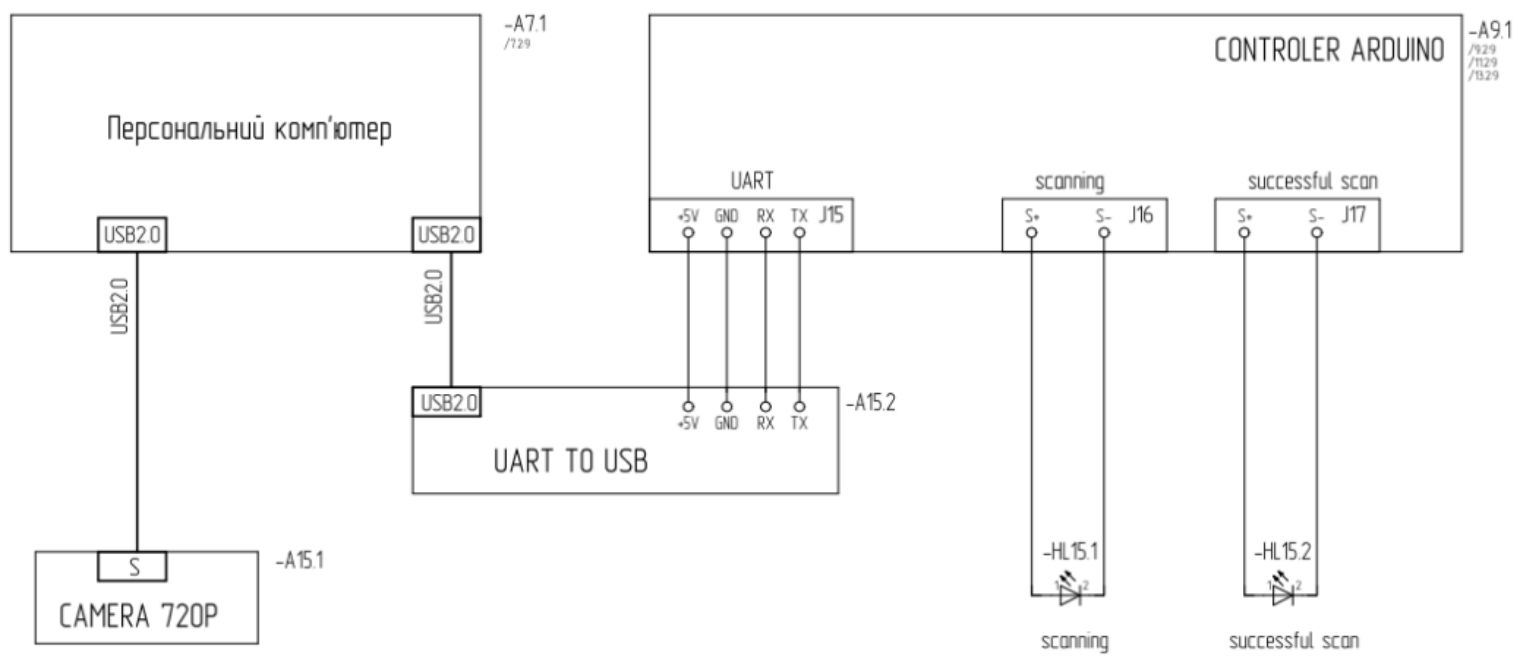
СУ-91 6.151.01.Е3



					СУ-91 6.151.01.Е3		
					Керування лазерним модулем та освітленням		
Зм. Арк.	<i>Недокум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Літ.	Маса	Масштаб	
<i>Розроб.</i>	Овдієнко В.Ю.			P	-	1:1	
<i>Перев.</i>	Соколов С.В.			Аркуш 5 Аркушів 6			
<i>Рецен.</i>				СУ-91			
<i>Нхонтр. Затв.</i>				Електрична принципова схема			

СУ-91 6.151.01.Е3

Перш. використ.
Справ.
Підп. та дата
Інв. ориг.
Зам. Інв.
Підп. та дата
Інв. ориг.



				СУ-91 6.151.01.Е3					
Зм. Арк.	<i>Недокум.</i>	Підп.	Дата	Керування камерою/ зв'язок МК з ПК			Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Овдієнко В.Ю.						P	-	1:1
Перев.	Соколов С.В.						Аркуш 6 Аркушів 6		
Рецен.							СУ-91		
Нюанс.				Електрична принципова схема					
Затв.									