

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

на тему:

«Виготовлення на платі Arduino сонячного трекера з цифровим вольтметром на LCD дисплеї із сервоприводом SG90 та фоторезистором GL5506.»

Виконав студент групи ІП-42

Вікторія ПІДЛИПНА

Керівник проєкту:

Остап ЮНАК

Курсовий проєкт перевірений

і допущений до захисту

“ ____ ” _____ 2025 р.

Курсовий проєкт при захисті оцінений

Львів 2025

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні циклової комісії

«Фундаментальної підготовки»

Протокол № ____ від _____ 2025 р.

Голова комісії

_____ **Богдан ПЕЛЕЩАК**

ЗАВДАННЯ

на курсовий проєкт

Підписний Вікторії Вікторівни

(прізвище, ім'я та по батькові)

**з навчальної дисципліни: ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ
INTERNET-РЕЧЕЙ**

Студент групи: ІІІ-42

1. Тема проєкту: Виготовлення на платі Arduino сонячного трекера з цифровим вольтметром на LCD дисплеї із сервоприводом SG90 та фоторезистором GL5506

2. Дата видачі завдання: "22" вересня 2025 р.

3. Термін здачі курсового проєкту: "15" грудня 2025 р.

4. Вихідні дані до проєкту:

- 4.1. Провести аналіз предметної галузі і вимог (огляд аналогів, функціональні й нефункціональні вимоги).
- 4.2. Скласти технічне завдання (ТЗ) з переліком функцій, інтерфейсів і обмежень(див. ДОДАТОК А).
- 4.3 Підібрати BOM (Bill of Materials) для виконання проєкту (див. ДОДАТОК Б).
- 4.4 Розробити таблицю з'єднань пінів (Pin Connection Table) використаних компонентів для реалізації пристрою (див. ДОДАТОК В).
- 4.5 Реалізувати прошивку на Arduino (коментарі в коді, структура проєкту, використані бібліотеки).
- 4.6. Зробити на монтажній платі безпечного монтажу прототип розробленого пристрою на базі Arduino.
- 4.7. Провести налаштування, калібрування і тестування.
- 4.8. Підготувати користувацьку інструкцію та технічний звіт (див. ДОДАТОК Г).

5 Перелік обов'язкових демонстраційних креслень:

5.1 Принципова електрична схема підключення

6. Склад розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань до розробки):

ВСТУП

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ
ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Календарний план

Назва етапів	Термін виконання	Примітка
Вступ		
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ		
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ		
3 АПАРАТНА ЧАСТИНА		
4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА		
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ		
Висновки		
Перелік посилань		

Студент		Вікторія ПІДЛИПНА
	(підпис)	(імя та прізвище)
Керівник проекту		Остап ЮНАК
	(підпис)	(імя та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ.....	5
1.1 Мова програмування C++ та середовище Arduino IDE.....	5
1.2 Апаратно-програмна платформа Arduino.....	6
1.3 Принципи роботи використаних сенсорів.....	6
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
2.1 Назва роботи.....	9
2.2 Мета роботи.....	9
2.3 Завдання.....	9
2.4 Технічні вимоги.....	10
2.5 Очікуваний результат	11
3 АПАРАТНА ЧАСТИНА.....	12

3.1 Підбір ВОР.....	12
4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА.....	14
4.1 Опис алгоритму роботи.....	14
4.2 Код програми.....	15
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ.....	17
5.1 Підготовка до тестування.....	17
5.2 Процес тестування.....	18
5.3 Результати.....	18
5.4 Висновки.....	19
ВИСНОВКИ.....	20
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	22
ДОДАТОК 1.....	23

ВСТУП

Мета роботи:

Метою курсової роботи є розробка та виготовлення сонячного трекера на базі мікроконтролерної платформи Arduino, який забезпечує автоматичне орієнтування сонячної панелі на джерело світла з метою підвищення ефективності її роботи.

У процесі виконання роботи передбачається використання сервоприводу SG90 для механічного повороту конструкції, фоторезистора GL5506 для визначення рівня освітленості, а також LCD-дисплея для відображення виміряної напруги у вигляді цифрового вольтметра.

Актуальність:

Актуальність даного курсового проєкту зумовлена зростаючим інтересом до відновлюваних джерел енергії та необхідністю підвищення ефективності використання сонячних панелей. У сучасних умовах енергозбереження та екологічної безпеки сонячна енергетика відіграє важливу роль, однак стаціонарне розташування панелей не дозволяє повністю використати їх потенціал.

Застосування сонячних трекерів дає змогу автоматично відстежувати положення Сонця, що значно підвищує рівень генерації електроенергії. Використання платформи Arduino робить таку систему доступною, недорогою та легкою у реалізації, а інтеграція цифрового вольтметра на LCD-дисплеї дозволяє візуально контролювати параметри роботи системи.

Технологічна та Інженерна Актуальність:

— **Поширеність IoT (Internet of Things):** Сучасні системи автоматизації, моніторингу та управління критично залежать від компактних, економічних та енергоефективних пристроїв. Платформа Arduino є де-факто стандартом для швидкого прототипування та створення пристроїв, що взаємодіють з фізичним світом, що відповідає глобальному тренду розвитку Інтернету речей;

— **Демократизація розробки:** Arduino, як відкрита (Open-Source) апаратно-програмна платформа, значно знижує поріг входу для інженерів-початківців та сприяє створенню інновацій. Це дозволяє зосередитися на логіці проєкту та функціональності, а не на низькорівневому програмуванні та складному апаратному дизайні;

— **Міждисциплінарний характер:** Розробка апаратно-програмного пристрою вимагає інтеграції знань з електроніки, програмування мікроконтролерів (C/C++), теорії керування та проєктування інтерфейсів. Це забезпечує набуття комплексних інженерних навичок, які є критично важливими для працевлаштування у сферах робототехніки, автоматизації та вбудованих систем;

Прикладна та Практична Актуальність

— **Вирішення конкретної прикладної задачі:** Робота не обмежується теоретичним аналізом, а передбачає створення працюючого фізичного прототипу (моніторинг параметрів, автоматизоване управління, збір даних). Це безпосередньо демонструє здатність автора перетворювати теоретичні знання на практичне інженерне рішення;

— **Економічна ефективність:** Використання Arduino дозволяє створити функціональний пристрій з мінімальними витратами на компоненти та часом розробки. Це важливий аспект для інноваційних стартапів та освітніх проєктів;

— **Можливість подальшого розвитку:** Розроблений прототип слугує надійною базою для подальшого масштабування, модернізації та переходу на промислові мікроконтролери, що забезпечує наукову перспективу для дипломної роботи чи комерціалізації.

Таким чином, розробка апаратно-програмного пристрою на базі Arduino є своєчасним, економічно обґрунтованим і високопрактичним дослідженням, що поєднує вивчення сучасних апаратних засобів та формування ключових інженерних компетенцій.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ

1.1 Апаратно-програмна платформа Arduino

Arduino — це відкрита (open-source) платформа для створення прототипів електронних пристроїв, яка базується на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні. Платформа складається з фізичної друкованої плати (мікроконтролера) та середовища розробки (IDE) для написання коду.

Рис. 1.1 Вигляд плати Arduino з мікроконтролером ATmega328P2

Проект Arduino був започаткований у 2005 році в Інституті проєктування взаємодії (Interaction Design Institute Ivrea) в місті Івреа, Італія. Його засновниками стали Массімо Банці (Massimo Banzi), Девід Куартільєс, Том Іго, Джанлука Мартіно та Девід Мелліс. Основною метою створення платформи було забезпечення студентів дешевим та простим інструментом для створення інтерактивних проєктів, який би не вимагав глибоких знань у схемотехніці.

Для даної курсової роботи обрано плату Arduino Uno R3, яка побудована на базі мікроконтролера ATmega328P2. Її популярність зумовлена наступними факторами:

- **Доступність:** Низька вартість компонентів;
- **Кросплатформеність:** Середовище розробки працює на Windows, macOS та Linux;
- **Простота:** Зручний інтерфейс програмування через USB без необхідності використання зовнішніх програматорів
- **Відкрита архітектура:** Схеми плат знаходяться у вільному доступі, що дозволяє легко інтегрувати різноманітні датчики та модулі;

1.2 Мова програмування C++ та середовище Arduino IDE

Програмування мікроконтролера здійснюється мовою C++. Середовище розробки Arduino IDE використовує спеціальний спрощений діалект (фреймворк) під назвою **Wiring**.

Фреймворк — це набір готових інструментів, бібліотек, шаблонів та правил, який надає структуру для створення програмного забезпечення, спрощуючи та прискорюючи процес розробки. Він допомагає розробникам уникнути написання стандартного коду з нуля, дозволяючи зосередитися на унікальній бізнес-логіці продукту. Фреймворки використовуються для різних типів проєктів, включаючи веб, мобільні та десктопні додатки.

C++ — це універсальна мова програмування високого рівня, яка підтримує об'єктно-орієнтовану парадигму. В контексті розробки під Arduino, C++ дозволяє ефективно керувати пам'яттю мікроконтролера та працювати з апаратними регістрами, зберігаючи при цьому зрозумілий синтаксис.

Програма для Arduino називається «скетчем» (sketch) і має дві обов'язкові функції:

- `setup()` — виконується один раз при запуску для налаштування конфігурації пінів;
- `loop()` — виконується циклічно, реалізуючи основний алгоритм роботи пристрою.

1.3 Принципи роботи використаних сенсорів

Фоторезистор GL5506 є світлочутливим напівпровідниковим елементом, опір якого змінюється залежно від рівня освітленості. Принцип його дії ґрунтується на фотопровідності: під впливом світла кількість вільних носіїв заряду в матеріалі зростає, унаслідок чого електричний опір фоторезистора зменшується. При зниженні освітленості опір, навпаки, збільшується.

У сонячному трекері фоторезистор GL5506 використовується для визначення напрямку на джерело світла. Порівнюючи значення освітленості з різних сторін, мікроконтролер Arduino визначає оптимальний напрямок повороту сонячної панелі, що дозволяє забезпечити її максимальне освітлення.

Рис. 1.2 – Вигляд фоторезистора GL5506

Сервопривід SG90 є малогабаритним електромеханічним пристроєм, призначеним для точного керування кутом повороту в межах приблизно 0–180°. Принцип його роботи базується на використанні широтно-імпульсної модуляції (PWM): мікроконтролер подає на керуючий вхід сервоприводу імпульси певної тривалості, відповідно до яких сервопривід встановлює вал у задане положення.

У конструкції сонячного трекера сервопривід SG90 використовується для механічного повороту платформи з сонячною панеллю. Завдяки компактним розмірам, низькому енергоспоживанню та достатній точності позиціонування він є оптимальним рішенням для навчальних і малопотужних автоматизованих систем.

Рис. 1.3 – Вигляд сервоприводу SG90

Рідкокристалічний дисплей (LCD 1602) з I2C. Рідкокристалічний дисплей **LCD 1602** призначений для відображення текстової та числової інформації. Він має дві строки по 16 символів і підключається до плати Arduino через **I2C-інтерфейс**, що дозволяє використовувати лише дві лінії зв'язку — SDA та SCL.

Принцип роботи дисплея базується на властивостях **рідких кристалів змінювати поляризацію світла під дією електричного поля**. У середині дисплея розташована матриця сегментів, кожен із яких керується електричним сигналом. При подачі напруги сегмент змінює прозорість і формує символ на екрані.

У парктроніку LCD 1602 використовується для відображення поточної відстані до перешкоди, повідомлень попередження та режимів роботи пристрою.

Рис 1.4. Вигляд рідкокристалічного дисплею (LCD 1602) з I2C

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

2.1 Назва роботи

Виготовлення на платі Arduino сонячного трекера з цифровим вольтметром на LCD дисплеї із сервоприводом SG90 та фоторезистором GL5506.

2.2 Мета роботи

Розробка та виготовлення сонячного трекера на базі мікроконтролерної платформи Arduino, який забезпечує автоматичне орієнтування сонячної панелі на джерело світла з метою підвищення ефективності її роботи.

2.3 Завдання

1. Ознайомитися з принципами роботи та основними технічними характеристиками компонентів, що використовуються у проєкті сонячного трекера, а саме:

- плати Arduino Uno R3;
- фоторезистора GL5506;
- сервоприводу SG90;
- рідкокристалічного дисплея LCD 1602 з I2C-інтерфейсом;
- сонячної панелі (або джерела напруги для імітації її роботи).

2. Розробити електричну схему підключення всіх компонентів до плати Arduino, забезпечивши правильний розподіл пінів, стабільне живлення елементів та надійну роботу системи в цілому.

3. Реалізувати програмне забезпечення для Arduino, яке забезпечує:

- зчитування рівня освітленості за допомогою фоторезистора GL5506;
- аналіз отриманих даних та визначення оптимального напрямку на джерело світла;
- керування сервоприводом SG90 для автоматичного повороту сонячної панелі;
- вимірювання напруги та її відображення у вигляді цифрового вольтметра на LCD-дисплеї.

4. Провести перевірку працездатності розробленого сонячного трекера в лабораторних або тестових умовах, оцінивши точність орієнтації на джерело світла та коректність відображення напруги на дисплеї.

5. Оцінити ефективність роботи розробленої системи та запропонувати можливі напрями її вдосконалення з метою підвищення точності відстеження Сонця, стабільності роботи та розширення функціональних можливостей пристрою.

2.4 Технічні вимоги

- напруга живлення системи — 5 В постійного струму;
- мікроконтролерна плата Arduino Uno R3 — як центральний елемент керування системою;
- безпайкова макетна плата (Breadboard) — для збирання, налагодження та тестування електричної схеми;
- фоторезистор GL5506 — для вимірювання рівня освітленості та визначення напрямку на джерело світла;
- сервопривід SG90 — для механічного повороту платформи сонячного трекера;
- рідкокристалічний дисплей LCD 1602 з I2C-інтерфейсом — для відображення значення напруги у вигляді цифрового вольтметра та службової інформації;
- резистори (номіналом 10 кОм або іншим, відповідно до схеми) — для формування подільника напруги з фоторезистором та узгодження сигналів;
- сонячна панель або джерело постійної напруги — для імітації або отримання електричної енергії;
- з'єднувальні провідники типу «тато–тато» та «тато–мама» — для монтажу та підключення компонентів;
- джерело живлення 5 В із струмом не менше 1 А — для забезпечення стабільної роботи Arduino, сервоприводу та периферійних модулів.

2.5 Очікуваний результат

Очікуваним результатом виконання курсового проекту є створення працездатного сонячного трекара на базі плати Arduino Uno R3, який забезпечує автоматичне відстеження напрямку на джерело світла з метою підвищення ефективності роботи сонячної панелі.

У штатному режимі система здійснює безперервний аналіз рівня освітленості за допомогою фоторезистора GL5506 та перебуває в режимі очікування оптимального положення. Отримані дані обробляються мікроконтролером, після чого формується керуючий сигнал для сервоприводу SG90, який повертає платформу з сонячною панеллю у напрямку максимальної освітленості.

Паралельно з процесом відстеження сонця система виконує вимірювання напруги, що генерується сонячною панеллю. Поточне значення напруги у реальному часі відображається на рідкокристалічному дисплеї LCD 1602 у вигляді цифрового вольтметра, що дозволяє користувачеві контролювати ефективність роботи трекара.

При зміні умов освітлення система автоматично коригує положення сонячної панелі, забезпечуючи стабільну роботу без втручання користувача. Очікується, що розроблений сонячний трекар буде працювати надійно та безперервно, а також може бути використаний як навчальний зразок або основа для подальшого вдосконалення систем автономного енергозабезпечення.

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА

3.1 Підбір BOM

BOM (скорочення від Bill of Materials)- це список матеріалів і компонентів, потрібних для складання пристрою або виготовлення виробу, який може представлений як таблиця всіх деталей, які потрібно для проєкту.

Таблиця 3.1. Перелік необхідних компонентів

№	Назва компонента	Кількість	Позначення на схемі	Характеристики	Примітка
1.	Arduino Uno	1	U1	Мікроконтролер ATmega328P	Основна плата керування
2.	Плата breadboard	1	-	830 точок, безпайкова	Безпайна плата для створення конструкції
3.	Фоторезистор GL5506	1	LDR1	Діапазон освітленості, 5 В	Визначення рівня освітленості
4.	Сервопривід SG90	1	M1	Кут повороту 0–180°, 5 В, PWM	Поворот сонячної панелі
5.	LCD 1602 (I2C)	1	U2	16x2 символів, I2C інтерфейс	Відображення статусу системи
6.	Сонячна панель	1	SPN1	5–6 В, до 1 Вт (орієнтовно)	Джерело напруги
7.	Резистори	2	R1, R2	220 Ом, 0.25 Вт	Обмеження струму LED
8.	Провідники	20	-	Dupont (Male-Male, Male-Female)	Електричні з'єднання
9.	Джерело живлення 5 В	1	PWR1	5 В, ≥ 1 А	Живлення всієї системи

Таблиця 3.2 Таблиця з'єднань пінів

№	Компонент	Вивід компонента	З'єднано з піном Arduino	Примітка / Функція
1.	Фоторезистор GL5506	Один вивід	5V	Живлення фоторезистора
		Другий вивід	Analog Pin A0	Зчитування рівня освітленості (через подільник напруги)
2.	Резистор (10 кОм)	Один вивід	Analog Pin A0	Подільник напруги з фоторезистором
		Другий вивід	GND	Земля
3.	Сервопривід SG90	Червоний провід	5V	Живлення сервоприводу
		Коричневий провід	GND	Земля
		Жовтий (сигнальний)	Digital Pin 9	Керування положенням (PWM)
4.	LCD 1602 (I2C)	GND	GND	Земля
		VCC	5V	Живлення
		SDA	Pin A4 (або SDA)	Шина даних I2C
		SCL	Pin A5 (або SCL)	Шина тактування I2C
5.	Сонячна панель	Плюс (+)	Analog Pin A1	Вимірювання напруги
		Мінус (-)	GND	Земля
6.	Arduino Uno R3	5V	Джерело живлення	Живлення системи
		GND	GND	Спільна земля

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера здійснювалася в інтегрованому середовищі розробки Arduino IDE. Мова програмування — C++ з використанням стандартних бібліотек Wiring та спеціалізованих бібліотек для роботи з периферією (Wire.h, LiquidCrystal_I2C.h).

Алгоритм роботи сонячного трекара полягає у безперервному аналізі рівня освітленості та автоматичному орієнтуванні сонячної панелі на джерело світла. Основна логіка роботи передбачає зчитування даних з фоторезистора GL5506, обробку отриманих значень мікроконтролером Arduino Uno R3 та формування керуючих сигналів для сервоприводу SG90.

4.1 Опис алгоритму роботи

1. Підключення бібліотек та оголошення констант і змінних

- Підключаються бібліотеки для роботи з I2C-інтерфейсом (для LCD 1602), керування сервоприводом та зчитування аналогових сигналів з фоторезистора.

- Оголошуються константи для пінів Arduino (фоторезистор, сервопривід, LCD), а також порогові значення освітленості.

- Створюються змінні для зберігання поточних значень освітленості, положення сервоприводу та виміряної напруги сонячної панелі.

2. Налаштування портів та ініціалізація пристроїв (setup)

- Встановлюються режими пінів Arduino відповідно до призначення компонентів (аналогові входи, цифрові виходи, PWM).

- Ініціалізується рідкокристалічний дисплей LCD 1602 та виводиться початкове повідомлення про запуск системи.

- Виконується ініціалізація сервоприводу SG90 та встановлення його у початкове (нульове або середнє) положення.

- Система переходить у режим готовності до безперервного моніторингу освітленості.

3. Основний цикл виконання (loop)

- Виконується безперервне зчитування рівня освітленості з фоторезистора GL5506.
- Отримані значення аналізуються та порівнюються з пороговими значеннями для визначення напрямку максимального освітлення.
- У разі зміни освітлення формується керуючий сигнал для сервоприводу, який повертає сонячну панель у необхідному напрямку.
- Паралельно здійснюється вимірювання напруги сонячної панелі, значення якої оновлюється на LCD-дисплеї у режимі реального часу.
- Алгоритм циклічно повторюється, забезпечуючи автоматичну, безперервну та стабільну роботу сонячного трекера без втручання користувача.

.4.2 Код програми

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
Servo servoMotor;
const int servoPin = 9;
int servoPos = 90;

const int LDR_Left = A0;
const int LDR_Right = A1;
int LDR_LeftValue = 0;
int LDR_RightValue = 0;

const int SolarPin = A2;
float solarVoltage = 0.0;

const int servoStep = 1;
const int LDRThreshold = 10;

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
```

```

lcd.print("Solar Tracker");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Initializing...");
delay(2000);
lcd.clear();

servoMotor.attach(servoPin);
servoMotor.write(servoPos);

pinMode(LDR_Left, INPUT);
pinMode(LDR_Right, INPUT);
pinMode(SolarPin, INPUT);
}

void loop() {
  LDR_LeftValue = analogRead(LDR_Left);
  LDR_RightValue = analogRead(LDR_Right);

  int diff = LDR_LeftValue - LDR_RightValue;
  if(abs(diff) > LDRThreshold){
    if(diff > 0 && servoPos < 180){ // Світло сильніше зліва
      servoPos += servoStep;
    }
    else if(diff < 0 && servoPos > 0){ // Світло сильніше справа
      servoPos -= servoStep;
    }
    servoMotor.write(servoPos);
  }
  int rawValue = analogRead(SolarPin);
  solarVoltage = rawValue * (5.0 / 1023.0) * 2; // Якщо використовується подільник
напруги 1:1
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Voltage: ");
  lcd.print(solarVoltage);
  lcd.print(" V");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Servo Pos: ");
  lcd.print(servoPos);
  delay(200);
}

```

5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Перевірка працездатності розробленого сонячного трекера проводилася у два етапи.

1. Оцінка апаратної частини:

- Перевірялося правильне підключення всіх компонентів до плати Arduino (сервопривід, фоторезистори, LCD-дисплей, джерело живлення).

- Оцінювалася надійність монтажу на безпайковій макетній платі та відсутність «хитких» контактів.

- Перевірялася стабільність живлення сенсорів та виконавчих елементів при роботі системи.

2. Функціональне тестування програмного забезпечення:

- Виконувалося зчитування рівня освітленості з фоторезисторів у різних умовах освітлення та перевірка коректності руху сервоприводу у напрямку більш освітленої сторони.

- Перевірялося відображення поточної напруги сонячної панелі на LCD 1602 у реальному часі.

- Імітувалися різні сценарії зміни освітленості (затінення та різке освітлення) для перевірки реакції системи: плавне переміщення сервоприводу, швидкість відгуку на зміну умов та стабільність роботи циклів вимірювання і відображення даних.

- Перевірялася безперервність роботи системи, відсутність збоїв при тривалій експлуатації та автоматичне повернення сервоприводу у нейтральне положення при відновленні рівномірного освітлення.

5.1 Підготовка до тестування

Перед подачею живлення сонячного трекара проводився візуальний огляд макетної плати для виявлення можливих помилок монтажу.

Перевірялися правильність підключення фоторезисторів GL5506 та їх резисторів-подільників до аналогових входів Arduino (A0 та A1) та GND/VCC, коректність підключення сервоприводу SG90 (сигнал на Digital Pin 9, живлення на 5 V, земля на GND), а також правильність підключення LCD 1602 з I2C-модулем (SDA та SCL до A4 та A5, VCC до 5 V, GND до GND).

Оцінювалася полярність живлення та стабільність джерела 5 V для забезпечення безперебійної роботи системи, а також надійність з'єднань провідників на breadboard для запобігання обривам або контактним помилкам. Після цього макетна плата була готова до подачі живлення та проведення функціонального тестування, що дозволило мінімізувати ризик коротких замикань та неправильного підключення компонентів.

5.2 Процес тестування

Після підключення плати Arduino Uno до ПК через USB було здійснено компіляцію та завантаження скетчу в пам'ять мікроконтролера. Тестування системи проводилося у двох основних режимах, що імітують реальні умови роботи сонячного трекара.

У режимі «Безпечно» (SAFE) при рівномірному освітленні і відсутності різких змін інтенсивності світла фоторезистори GL5506 демонстрували однакові значення, сервопривод залишався в початковому положенні або повільно коригував позицію, а на LCD 1602 відображалася напруга сонячної панелі та повідомлення «Безпечно». Система стабільно функціонувала без хибних спрацьовувань, забезпечуючи готовність до швидкої реакції на зміну освітлення.

У режимі «Корекція положення» (Tracking) імітувалися різкі зміни освітлення, наприклад, затінення однієї сторони панелі. Arduino аналізувала різницю сигналів з фоторезисторів, сервопривод плавно повертав панель у напрямку більш освітленої сторони, а LCD 1602 відображав актуальну напругу. Тест підтвердив коректну роботу алгоритму відстеження Сонця, своєчасне

переміщення сервоприводу та стабільне оновлення даних на дисплеї, що забезпечує ефективне функціонування сонячного трекера в реальних умовах.

5.3 Результати

Під час випробувань встановлено, що фоторезистори GL5506 коректно реагують на зміну рівня освітленості, а сервопривод SG90 плавно та точно повертає сонячну панель у напрямку більш освітленої сторони. Вимірювання напруги сонячної панелі відображається на LCD 1602 чітко та контрастно, дані оновлюються у реальному часі.

Логіка керування сервоприводом відповідала очікуваному алгоритму: при незначних відмінностях освітленості панель залишалася у поточному положенні, а при помітній різниці сервопривод коригував її кут. Збоїв у роботі мікроконтролера під час одночасної роботи фоторезисторів, сервоприводу та дисплея не зафіксовано. Система коректно обробляє зміни освітленості та забезпечує безперервне відстеження положення Сонця.

5.4. Висновки

Результати випробувань підтверджують, що розроблений сонячний трекер на базі Arduino Uno працює стабільно та відповідає поставленим технічним вимогам. Забезпечено коректну взаємодію фоторезисторів з сервоприводом і LCD-дисплеєм, а також надійну роботу алгоритму автоматичного орієнтування сонячної панелі.

Система демонструє ефективне відстеження напрямку на джерело світла, точне визначення оптимального положення панелі та стабільне відображення параметрів роботи на дисплеї. Розроблений пристрій готовий до використання як автономний сонячний трекер для підвищення ефективності генерації електроенергії.

ВИСНОВКИ

У ході виконання курсового проєкту було успішно розроблено та реалізовано макет сонячного трекера на базі плати Arduino Uno для автоматичного орієнтування сонячної панелі на джерело світла.

Апаратна реалізація: Опрацьовано принципи побудови систем автоматичного відстеження з використанням сенсорів освітленості та виконавчих механізмів. Реалізовано спільну роботу фоторезисторів GL5506 для визначення напрямку на джерело світла, сервоприводу SG90 для механічного повороту панелі та LCD 1602 для відображення напруги панелі і стану системи. Підключення дисплея через I2C дозволило спростити схему та заощадити цифрові порти мікроконтролера.

Програмна реалізація: Розроблено програмний алгоритм мовою C++, який забезпечує безперервний моніторинг рівня освітленості, коректне управління сервоприводом і своєчасне оновлення інформації на дисплеї. Використання бібліотек Wire та LiquidCrystal_I2C спростило роботу з дисплеєм та реалізацію логіки системи.

Працездатність системи: Тестування підтвердило повну відповідність технічним вимогам. Пристрій стабільно визначає напрямок на джерело світла, коректно рухає панель у бік максимального освітлення та відображає напругу на LCD у реальному часі. Система забезпечує безперервну роботу без збоїв і автоматичне повернення у початкове положення при зміні умов освітлення.

Навчальна цінність: Виконання роботи дозволило закріпити знання з основ електроніки та схемотехніки, особливостей підключення сенсорів і виконавчих елементів, роботи з протоколом I2C, а також поглибити навички програмування Arduino і налагодження апаратно-програмних систем. Проєкт сприяв практичному засвоєнню принципів автоматизації та енергозбереження за допомогою мікроконтролерних платформ.

Перспективи розвитку:

Розроблений сонячний трекер є базовим прототипом, який має значний потенціал для модернізації та інтеграції у більш складні системи

енергозабезпечення або автоматизації. До основних напрямів подальшого вдосконалення можна віднести:

- Дистанційний моніторинг та сповіщення через GSM- або Wi-Fi-модулі для надсилання повідомлень про стан системи та ефективність генерації енергії;

- Використання датчиків освітленості з більшою точністю або додаткових фоторезисторів для покращення точності відстеження Сонця;

- Підвищення енергонезалежності за рахунок підключення літій-іонних акумуляторів та оптимізації алгоритму керування сервоприводом для зменшення енергоспоживання;

- Логування параметрів роботи системи, включаючи напругу, положення панелі та час роботи, з використанням модуля RTC та SD-карти;

- Конструктивне вдосконалення шляхом перенесення схеми на друковану плату та розробки корпусу методом 3D-друку для надійного захисту електроніки від зовнішніх впливів.

Реалізація цих напрямів дозволить підвищити автономність, надійність та функціональність системи, а також розширити сферу її практичного застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Блум Д.** Вивчаємо **Arduino**: інструменти та методи технічного чарівництва / Джеремі Блум. — К.: БХВ, 2016. — 336 с.
2. **Шилдт Г.** C++: базовий курс / Герберт Шилдт. — 3-тє вид. — М.: Вільямс, 2019. — 624 с.
3. **Петренко А. І.** Основи мікропроцесорної техніки та програмування мікроконтролерів: навчальний посібник / А. І. Петренко. — К.: Каравела, 2020. — 288 с.
4. **Рюмик С. М.** Мікроконтролери AVR: практикум для початківців / С. М. Рюмик. — Х.: Ранок, 2018. — 112 с.
5. **Галкін В. І.** Промислова електроніка та мікросхемотехніка: підручник / В. І. Галкін. — К.: Вища школа, 2017. — 320 с.
6. **Alvins, B.** Mastering Arduino Programming (2021). *Призначення: Програмування мікроконтролерів, синтаксис C/C++.*
7. **Schwartz, M.** Arduino Electronics Blueprints (2019). *Призначення: Інтеграція компонентів, використання бібліотек, створення скетчів.*
8. **Axelson, D.** Embedded Systems Design (2020). *Призначення: Фундаментальні основи проєктування вбудованих систем, архітектура.*
9. **Marr, B.** Internet of Things (IoT) in Business (2022). *Призначення: Концепції IoT, мережеві протоколи та стандарти для пристроїв.*

Принципова електрична схема підключення