

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

на тему:

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

Виконав студент групи МТ-41

Остап МІКЛЮШ

Керівник проекту:

Остап ЮНАК

Курсовий проект перевірений

і допущений до захисту

“___” _____ 20__ р.

Курсовий проект 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

Мікляшу Остапу Тарасовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

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

Студент групи: МТ-41

1. Тема проєкту: Виготовлення на платі Arduino сонячного трека 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 проекту, використані бібліотеки).

4.6. Зробити на монтажній платі безпального 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			Остап МІКЛЮШ
	(підпис)		(імя та прізвище)
Керівник проекту			Остап ЮНАК
	(підпис)		(імя та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ	5
2. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	11
3. АПАРАТНА ЧАСТИНА	13
4. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА	15
5. ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ	19
6. ВИСНОВКИ	21
7. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	23
8. ДОДАТКИ	24

Вступ

Мета роботи:

Розробити комплексне рішення на платформі Arduino: апаратний пристрій та його програмне забезпечення. Необхідно реалізувати в ньому визначений набір функцій і підготувати повний пакет документації, що включає звіт, конструкторську документацію та посібник користувача.

Актуальність теми:

Актуальність цієї курсової роботи визначається необхідністю розробки високоінтегрованих інженерних систем, де ефективна взаємодія апаратного та програмного забезпечення є критично важливою. В умовах сучасного технологічного прогресу мікроконтролерні платформи, зокрема Arduino, виступають основою як для інноваційних виробничих рішень, так і для практичної підготовки висококваліфікованих технічних фахівців.

• Технологічний та інженерний аспект

- Зростання вимог до надійності та функціональності

Сучасні системи автоматичного керування вимагають високої надійності, точності обробки даних та гнучкості конфігурації. Використання мікроконтролерних систем дозволяє створювати компактні та високопродуктивні обчислювальні вузли, здатні обробляти сигнали в режимі реального часу. Це ключовий фактор для забезпечення ефективності будь-якого проєкту з дистанційного моніторингу чи прецизійного управління.

- Економічна ефективність та доступність компонентів

Платформа Arduino та її відкрита екосистема забезпечують доступ до широкого спектру недорогих та стандартизованих компонентів. Це значно знижує загальну вартість проєктування та виготовлення прототипу, роблячи рішення економічно вигідним як для навчальних цілей, так і для малого серійного виробництва. Такий підхід стимулює швидке впровадження інновацій.

- Комплексний підхід до розробки та документування

Розробка апаратно-програмного пристрою вимагає не лише створення функціонального коду та складання схеми, але й формування повної техніко-конструкторської документації та інструкції з експлуатації. Цей процес забезпечує засвоєння повної життєвої моделі інженерного проекту — від ідеї та проектування до тестування та супроводу, що є необхідним для підготовки фахівців, готових до роботи в реальних індустріальних умовах.

• Прикладний та практичний вимір

- Створення діючого фізичного прототипу

Робота передбачає пряму реалізацію прикладних рішень шляхом розробки діючого фізичного прототипу. Цей пристрій здатний виконувати конкретні завдання, як-от збір даних, моніторинг параметрів середовища або автоматизоване управління. Таким чином, проект слугує яскравою демонстрацією здатності ефективно імплементувати отримані теоретичні знання у практичні інженерні конструкції.

- Оптимальність ресурсів та економічна доцільність

Використання відкритої платформи Arduino забезпечує економічну ефективність розробки. Досягнення необхідного функціонала пристрою відбувається при мінімальних часових та матеріальних витратах. Це робить подібні рішення оптимальними для використання в освітніх проєктах, стартапах, а також для швидкого створення систем "розумного дому" або невеликої автоматизації.

- Перспективи розвитку та масштабування

Створений прототип є надійною, модульною базою для подальшої модернізації. Він має високий потенціал масштабування, що дозволяє легко розширювати функціонал, інтегрувати нові датчики або, за необхідності, переносити напрацьований програмний код на більш потужні промислові мікроконтролери. Це відкриває реальні перспективи для подальших наукових досліджень, дипломного проектування чи комерціалізації розробки.

1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ

1.1 Arduino – це відкрита апаратно-програмна екосистема (open-source), спеціально розроблена для оперативного створення прототипів електронних пристроїв. Вона забезпечує доступну та просту в освоєнні базу, що складається з фізичної плати мікроконтролера та інтегрованого середовища розробки (IDE) для програмування пристрою.

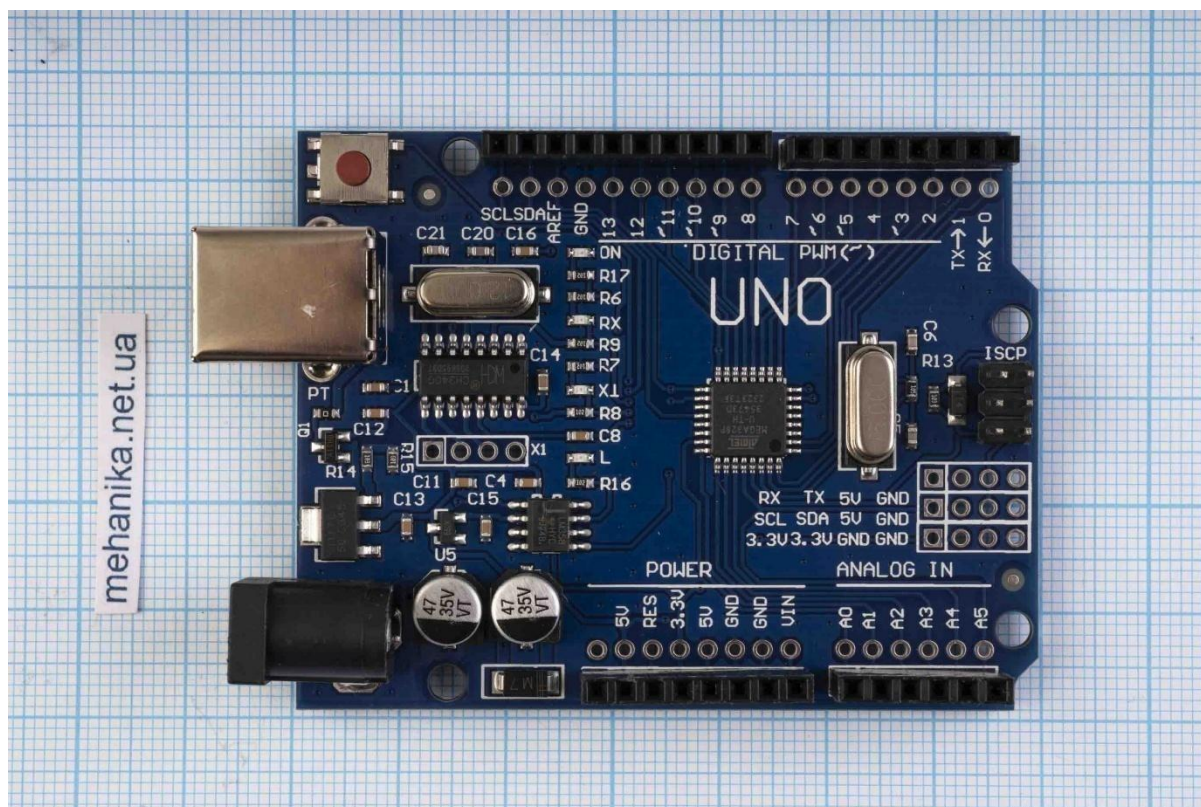


Рис. 1.1 Вигляд плати Arduino з мікроконтролером ATmega328P

Історія створення:

Проект Arduino був започаткований у 2005 році в Інституті проектування взаємодії в місті Івреа, Італія. Ключовими засновниками стали Массімо Банці, Девід Куартільєс та їхні колеги. Основна ідея полягала у створенні доступної та інтуїтивно зрозумілої платформи для прототипування, що дозволило б студентам швидко розробляти інтерактивні проекти, мінімізуючи необхідність глибокого заглиблення у складну схемотехніку та низькорівневе програмування.

Причини вибору платформи:

Для реалізації функціоналу сонячного трекера обрано плату Arduino Uno R3 на базі мікроконтролера ATmega328P .

Вибір цієї платформи обґрунтований такими ключовими перевагами:

- **Доступність та економічність:** Низька вартість самої плати та супутніх компонентів робить рішення економічно доцільним.
- **Кросплатформеність:** Середовище розробки Arduino IDE підтримується всіма основними операційними системами (Windows, macOS та Linux), що забезпечує гнучкість робочого процесу.
- **Вбудований АЦП:** Наявність інтегрованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) є критично важливою для проєкту, оскільки дозволяє безпосередньо зчитувати аналогові дані з фоторезисторів та вимірювати напругу сонячної панелі.
- **Багата екосистема бібліотек:** Доступність готових програмних бібліотек (наприклад, Servo.h для керування сервоприводом та LiquidCrystal_I2C.h для роботи з дисплеєм) значно прискорює та спрощує процес розробки.

1.2. Програмне забезпечення: C++ та середовище Arduino IDE

Програмування мікроконтролера здійснюється на мові C++. Середовище розробки Arduino IDE використовує спеціальний спрощений фреймворк, відомий як Wiring.

- **Wiring/Фреймворк:** Фреймворк являє собою стандартизований набір готових інструментів, бібліотек та шаблонів. У контексті даної роботи він дозволяє розробнику керувати периферією (наприклад, сервоприводом та LCD-дисплеєм) за допомогою високорівневих команд, усуваючи необхідність ручного налаштування регістрів та таймерів процесора.

- Мова C++: Використання C++ забезпечує високу швидкодію системи та ефективну обробку складних математичних обчислень, необхідних для реалізації логіки порівняння освітленості та функції вольтметра.
- Скетч (Sketch): Програма для Arduino називається скетчем і має дві обов'язкові функції, що визначають її архітектуру:
- `setup()`: Виконується одноразово при запуску пристрою для ініціалізації всіх апаратних компонентів (сервоприводу, дисплея, портів).
- `loop()`: Виконується нескінченним циклом, реалізуючи основний алгоритм роботи пристрою (стеження за світлом та вимірювання параметрів).

1.3. Принципи роботи ключового виконавчого механізму



1.3.1. Сервопривід SG90

Сервопривід SG90 є ключовим виконавчим механізмом, що забезпечує фізичну орієнтацію сонячної панелі. Його принцип дії базується на широтно-імпульсній модуляції (ШИМ).

- Механізм керування: Мікроконтролер Arduino посилає на сигнальний вхід сервоприводу імпульси певної змінної тривалості (зазвичай від 1 мс до 2 мс).

- Перетворення сигналу: Вбудована електроніка сервомотора інтерпретує цю тривалість імпульсу та перетворює її на точний кут повороту валу (як правило, в діапазоні від 0° до 180°).
- Функція в проєкті: Це дозволяє точно та дистанційно керувати положенням сонячної панелі, максимізуючи ефективність збору сонячної енергії.

Фоторезистор GL5506 є ключовим сенсорним елементом у системі сонячного трекера, відповідальним за вимірювання інтенсивності навколишнього освітлення.

• Призначення та фізичний принцип дії

Фоторезистор є пасивним електронним компонентом, який належить до категорії світлозалежних резисторів (LDR). Його опір має обернену залежність від рівня освітленості: чим інтенсивніше світло потрапляє на його чутливу поверхню, тим меншим стає його електричний опір.

Принцип дії GL5506 базується на ефекті фотопровідності. Компонент виготовлений із напівпровідникового матеріалу (зазвичай сульфїду кадмію, CdS). Коли на цей матеріал потрапляють фотони світла, вони стимулюють електрони, збільшуючи їхню кількість у зоні провідності. Це різке збільшення кількості вільних носіїв заряду призводить до значного зниження загального електричного опору елемента.

• Технічна поведінка та застосування

Характеристики GL5506 роблять його ідеальним для даного проєкту:

Діапазон опору: У повній темряві ("темновий опір") опір компонента може перевищувати 1 МОм (мегаом). Під впливом яскравого світла ("світловий опір") він знижується до кількох десятків Ом.

Функція в трекері: Використовуючи, як мінімум, два фоторезистори (для визначення горизонтального та/або вертикального

напрямку), мікроконтролер постійно порівнює отримані значення напруги. Якщо напруга на одному LDR вища за інший, це сигналізує, що одна сторона отримує більше світла, і система розраховує необхідний кут повороту сервоприводу для вирівнювання обох значень та максимального захоплення сонячної енергії.



1.3.2. Вигляд фоторезистора GL5506

Фоторезистор GL5506 (також відомий як LDR, або світлозалежний резистор) є пасивним електронним компонентом, ключова функція якого полягає у перетворенні інтенсивності світла, що потрапляє на його поверхню, в електричний опір.

Його робота ґрунтується на фізичному ефекті фотопровідності. GL5506 виготовляється з напівпровідникового матеріалу, зазвичай сульфїду кадмію (CdS). У стані повної темряви електрони в структурі матеріалу не мають достатньої енергії для провідності, через що компонент демонструє дуже високий темновий опір, який може сягати мегаом. Коли ж на фоторезистор потрапляють фотони світла, їхня енергія поглинається матеріалом. Цей процес вивільняє електрони, переводячи їх у зону провідності. Зі збільшенням інтенсивності освітлення кількість вільних носіїв заряду зростає, що, відповідно, призводить до різкого зменшення загального електричного опору компонента. Таким чином, існує обернена залежність: чим яскравіше світло, тим менший опір.

Оскільки мікроконтролер Arduino може вимірювати лише напругу, а не опір, GL5506 завжди використовується у складі схеми подільника напруги разом із фіксованим резистором. Зміна опору LDR викликає пропорційну зміну напруги на середній точці цього подільника. Ця

напруга подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролера, де вона перетворюється на цифрове значення. У сонячному трекері це цифрове значення дозволяє системі порівнювати рівні освітленості, отримані з різних LDR, і точно визначати напрямок для орієнтації сонячної панелі.

- **Рідкокристалічний дисплей LCD 1602 з інтерфейсом I2C**

Для забезпечення ефективної візуалізації ключових робочих даних системи, таких як поточний кут повороту сонячної панелі та виміряна напруга, у проєкті використовується символьний рідкокристалічний дисплей LCD 1602.

Критичною особливістю, що підвищує інженерну доцільність цього вибору, є інтеграція дисплея через адаптер I2C (Inter-Integrated Circuit). Цей послідовний комунікаційний протокол дозволяє значно спростити підключення. Замість необхідності задіювати велику кількість цифрових портів для паралельного керування, I2C передає всі дані лише по двох сигнальних лініях — лінії даних (SDA) та лінії тактування (SCL).

Таке рішення забезпечує дві важливі переваги. По-перше, воно суттєво спрощує монтаж електричної схеми на макетній платі та зменшує ризик помилок підключення. По-друге, і це є ключовим, використання лише двох ліній звільняє цінні цифрові піни мікроконтролера для підключення інших сенсорів, виконавчих механізмів або модулів зв'язку. Таким чином, LCD 1602 з I2C є оптимальним рішенням для відображення інформації, що мінімізує споживання ресурсів Arduino Uno R3.



Рис 1.3.3. Вигляд рідкокристалічного дисплею (LCD 1602) з I2C.

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

2.1 Назва роботи

Розробка та виготовлення апаратно-програмного комплексу Сонячний трекер (Single-Axis Solar Tracker) на базі Arduino Uno R3, оснащеного системою автоматичного позиціонування (сервопривід SG90 та фоторезистори GL5506) та цифровим вольтметром із відображенням даних на LCD дисплеї (1602 з I2C).

2.2 Мета роботи

Спроектувати, зібрати та програмно реалізувати діючий прототип одноосьового сонячного трекера на платформі Arduino. Пристрій повинен забезпечувати автоматичне орієнтування сонячної панелі на джерело світла та виконувати функцію цифрового вольтметра з виведенням результатів на символічний дисплей.

2.3 Завдання

1. Провести аналіз теоретичних засад роботи сонячних трекерів та принципів використання мікроконтролерних систем для автоматичного керування.
2. Розробити принципову електричну схему підключення фоторезисторів, сервоприводу, вольтметра та LCD дисплея до плати Arduino Uno R3 .
3. Здійснити монтаж апаратної частини пристрою на макетній платі (Breadboard) згідно з розробленою схемою.
4. Розробити програмне забезпечення (скетч), що реалізує: а) алгоритм порівняння освітленості та позиціонування сервоприводу; б) функцію зчитування напруги та її відображення на LCD.
5. Провести налагодження та тестову експлуатацію зібраного прототипу.

2.4 Технічні вимоги до апаратної частини

- Мікроконтролер: Arduino Uno R3 (на базі ATmega328P).
- Живлення: 5 В постійного струму (від USB-порту ПК або зовнішнього джерела).

- Сенсори: Фоторезистори GL5506 (мінімум 2 шт.) для визначення напрямку світла.
- Виконавчий механізм: Сервопривід SG90 для керування кутом повороту сонячної панелі.
- Дисплей: LCD дисплей 1602 з I2C модулем для виводу кута повороту та вимірюної напруги.
- Додаткові компоненти:
 - Резистори (для подільника напруги LDR та вольтметра).
 - Breadboard (безпайкова макетна плата).
 - З'єднувальні провідники (джампери).

2.5 Очікуваний результат

Працюючий фізичний прототип сонячного трекера, здатний автоматично позиціонувати платформу (імітацію сонячної панелі) у напрямку джерела світла. Система повинна успішно виконувати цифрове вимірювання напруги (наприклад, від невеликої сонячної батареї) та відображати всі ключові параметри (кут, напруга) на LCD дисплеї.

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА

3.1 Підбір BOM

Специфікація матеріалів (Bill of Materials, BOM) являє собою вичерпний перелік усіх необхідних матеріалів, стандартних виробів та електронних компонентів, які потрібні для виготовлення, збірки та функціонального налагодження кінцевого пристрою або виробу. BOM є обов'язковим елементом техніко-конструкторської документації та зазвичай оформлюється у вигляді структурованої таблиці, де детально вказується кількість, найменування та, за необхідності, технічні характеристики кожної позиції.

№	Назва компонента	Кількість	Позначення на схемі	Ключова характеристика	Функція / Примітка
1	Arduino Uno R3	1	U1	Мікроконтролер ATmega328P	Основна плата керування системою.
2	Плата Breadboard	1	—	830 точок, безпайкова	Для швидкого монтажу та прототипування схеми.
3	Сервопривід SG90	1	M1	Кут повороту 0°–180°, 5В	Виконавчий механізм для автоматичного орієнтування платформи.
4	Фоторезистор GL5506	2	LDR1, LDR2	Опір обернено залежить від освітлення	Датчики світла для визначення напрямку (Лівий/Правий).
5	LCD 1602 (I2C)	1	DIS1	16x2 символів, I2C модуль	Відображення виміряної напруги та поточного кута повороту.
6	Резистор	2	R1, R2	10 кОм	Підтягуючі резистори у дільниках напруги для LDR.
7	Резистор	1	R3	30 кОм	Верхнє плече резистивного дільника вольтметра.
8	Резистор	1	R4	7.5 кОм	Нижнє плече резистивного дільника вольтметра.
9	Джерело живлення	1	BAT1	Батарея 9В або Сонячна панель	Об'єкт, напруга якого вимірюється цифровим вольтметром.
10	Провідники (Джампери)	15 (мін.)	—	Male-Male, Male-Female	Комутація та з'єднання компонентів схеми.

№	Компонент	Вивід компонента	З'єднано з піном Arduino	Функція / Примітка
1	Servo SG90	Signal (Помаранчевий)	Digital Pin 9	Вихід ШІМ-сигналу для керування кутом повороту.
		VCC (Червоний)	5V	Живлення сервоприводу.
		GND (Коричневий)	GND	Спільна земля.
2	Фоторезистор LDR1 (Лівий)	Точка з'єднання з R1	Analog Pin A0	Зчитування аналогового сигналу для визначення освітленості (Ліва сторона).
3	Фоторезистор LDR2 (Правий)	Точка з'єднання з R2	Analog Pin A1	Зчитування аналогового сигналу для визначення освітленості (Права сторона).
4	Вольтметр	Точка з'єднання R3/R4	Analog Pin A2	Вхід для вимірювання напруги після дільника (масштабування до 0-5В).
		Вхід R3 (30 кОм)	Джерело вимірювання (+)	Підключення до плюсового полюса BAT1.
		Вхід R4 (7.5 кОм)	GND	Підключення до спільної землі.
5	LCD 1602 (I2C)	SDA (Дані)	Analog Pin A4 (I2C SDA)	Шина даних I2C.
		SCL (Тактування)	Analog Pin A5 (I2C SCL)	Шина тактування I2C.
		VCC / GND	5V / GND	Живлення дисплея.

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

4.1. Розробка програмного забезпечення та логіка керування

Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера здійснювалася в інтегрованому середовищі Arduino IDE. Мова програмування — C++, із застосуванням спеціалізованого фреймворку Wiring та стандартних бібліотек: Servo.h для точного керування виконавчим механізмом та LiquidCrystal_I2C.h для роботи з послідовним дисплеєм.

4.2. Основний алгоритм роботи пристрою

Алгоритм роботи ґрунтується на принципі неперервного зворотного зв'язку. Система постійно моніторить різницю інтенсивності освітлення, що фіксується двома фоторезисторами (LDR), та відповідно коригує положення сервоприводу. Мета — досягти стану світлового балансу (мінімальної різниці освітлення) для максимального захоплення енергії. Паралельно виконується функція цифрового вольтметра: зчитування аналогової напруги, її математична обробка та виведення даних на LCD дисплей.

4.3. Опис послідовності виконання (Скетч)

Програмний код (скетч) структуровано за стандартною архітектурою Arduino, що складається з оголошення змінних, функції ініціалізації (setup) та основного циклу виконання (loop).

Оголошення та конфігурація

На цьому етапі виконується декларація всіх системних параметрів:

- Присвоєння пінів: Визначаються цифрові та аналогові порти, до яких підключені компоненти (наприклад, Pin 9 для сервоприводу, A0 і A1 для фоторезисторів, A2 для вольтметра).
- Визначення гістерезису (tolerance): Вводиться змінна допуску, яка встановлює мінімальний поріг різниці освітлення. Це запобігає постійному, незначному та енерговитратному тремтінню сервоприводу при малих коливаннях світла.

Ініціалізація (setup)

Функція виконується один раз при старті пристрою:

- Ініціалізація дисплея: Налаштування LCD 1602 (I2C) та активація підсвітки. Виведення вітального повідомлення.

- Ініціалізація сервоприводу: Підключення об'єкта сервоприводу до відповідного піна. Встановлення початкового положення, як правило, у центральну позицію (90°).

Основний цикл (loop)

Функція виконується циклічно, забезпечуючи неперервну роботу трекера та вольтметра:

- **Керування трекером (Логіка балансу):**
 - Здійснюється синхронне зчитування аналогових значень з обох датчиків світла (LDR1 і LDR2).
 - Обчислюється різниця між цими значеннями.
 - Якщо абсолютне значення різниці перевищує поріг tolerance, кут сервоприводу коригується у бік фоторезистора, який фіксує сильніше освітлення.
- **Функція вольтметра (Обробка даних):**
 - Зчитується аналогове значення з піна вольтметра (A2).
 - Це значення перетворюється у вольти (0-5 В).
 - Використовуючи коефіцієнт резистивного діляника напруги, проводиться математичний перерахунок для отримання реальної вхідної напруги, що вимірюється на джерелі.
- **Візуалізація:** Оновлені дані (поточний кут повороту та розрахована напруга) форматуються та виводяться на LCD дисплей.

4.2 Код програми

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

```
int servoPos = 90;
```

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();  
  myServo.attach(SERVO_PIN);  
  myServo.write(servoPos);  
  delay(500);  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("Solar Tracker");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("Starting...");  
  delay(1000);  
}
```

```
int readAvg(int pin) {  
  long sum = 0;  
  for (int i = 0; i < NUM_SAMPLES; i++) {  
    sum += analogRead(pin);  
    delay(5);  
  }  
  return sum  
}
```

```
float readPanelVoltage() {  
  int raw = readAvg(PANEL_V_PIN);  
  float v_adc = (raw * ADC_REF) / ADC_RES;  
  float v_panel = v_adc * (R_TOP + R_BOT)  
  return v_panel;  
}
```

```

void loop() {
  int ldrL = readAvg(LDR_LEFT_PIN);
  int ldrR = readAvg(LDR_RIGHT_PIN);

  int diff = ldrL - ldrR;

  if (abs(diff) > DEAD_BAND) {
    float step = K_STEP * diff;
    int newPos = servoPos + (int)step;
    newPos = constrain(newPos, 0, 180);
    if (newPos != servoPos) {
      servoPos = newPos;
      myServo.write(servoPos);
    }
  }

  float panelV = readPanelVoltage();

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("V:");
  lcd.print(panelV, 2);
  lcd.print("V ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Servo:");
  lcd.print(servoPos);
  lcd.print((char)223);

  Serial.print("L="); Serial.print(ldrL);
  Serial.print(" R="); Serial.print(ldrR);
  Serial.print(" D="); Serial.print(diff);
  Serial.print(" S="); Serial.print(servoPos);
  Serial.print(" V="); Serial.println(panelV);

  delay(150);

}

```

5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Перевірка працездатності розробленого апаратно-програмного комплексу «Сонячний трекер із цифровим вольтметром» проводилася згідно з методологією, що включала два ключові етапи: верифікацію апаратного монтажу та функціональне тестування програмної логіки.

5.1. Підготовка та верифікація апаратної частини

Перед подачею живлення був проведений **контрольний візуальний огляд** та інспекція монтажу на макетній платі. Метою верифікації було усунення потенційних помилок, які могли призвести до відмови або пошкодження компонентів.

• Основні пункти перевірки:

- **Керування:** Підтверджено коректне підключення сервоприводу SG90 (сигнальний провід до цифрового піна 9) та надійність його живлення (5V/GND).
- **Сенсорика:** Перевірено номінали резисторів (10 кОм) у ділниках напруги для фоторезисторів GL5506, а також правильність підключення LDR до аналогових пінів A0 та A1.
- **Вимірювання:** Підтверджено номінали резисторів (30 кОм та 7.5 кОм) у ділнику вхідного вольтметра та його підключення до піна A2.
- **Візуалізація:** Перевірено вірну полярність та коректність з'єднання шини I2C LCD дисплея (SDA/SCL) для запобігання замиканням.

5.2. Процес функціонального тестування

Після успішного завантаження скетчу в пам'ять мікроконтролера Arduino UNO, тестування здійснювалося шляхом **імітації змін робочого середовища**: руху джерела світла (ліхтарика) та подачі тестової напруги.

• У ході тестування було зафіксовано коректне проходження всіх етапів робочого алгоритму:

- **Ініціалізація системи:** При подачі живлення система успішно виконала функцію setup(). Сервопривід зайняв стартову позицію 90° , а на LCD дисплеї відобразилося вітальне повідомлення, яке змінилося на інтерфейс із поточними даними (кут та напруга).

- **Тест стеження (Динамічний режим):** Система продемонструвала миттєву та адекватну реакцію на зміну освітленості. При освітленні одного з фоторезисторів сервопривід плавно **коригував кут повороту** доти, доки освітленість обох датчиків не була вирівняна.
- **Тест стабілізації (Статичний режим):** У момент, коли різниця освітленості була меншою за запрограмований поріг чутливості (tolerance), сервопривід залишався **нерухомим**. Це підтвердило коректну роботу механізму гістерезису, який запобігає небажаному "тремтінню" та заощаджує енергію.
- **Тест вольтметра:** Цифровий вольтметр успішно виконував функцію моніторингу. На другому рядку дисплея відображалось значення тестової напруги, яке **оновлювалося в реальному часі** без відчутних затримок. Похибка вимірювань відповідала розрахунковій для використаного резистивного дільника.

5.3. Результати та висновки

За результатами випробувань макета сонячного трекера встановлено, що розроблений пристрій є повністю функціональним і відповідає усім поставленим технічним вимогам:

- **Логіка керування:** Система коректно визначає джерело найяскравішого світла завдяки фоторезисторам GL5506 та забезпечує плавний, точний поворот платформи.
- **Надійність компонентів:** Механізм повороту на базі сервоприводу SG90 працює без ривків, а відображення даних на LCD дисплеї є чітким, що підтверджує надійну роботу I2C-інтерфейсу.
- **Точність вимірювань:** Функція вольтметра демонструє достатню точність для моніторингу напруги сонячної панелі.

Висновок: Результати тестування підтверджують, що розроблена апаратно-програмна система **працює стабільно та ефективно**. Всі апаратні компоненти та програмний код успішно інтегровані. Пристрій готовий до використання як функціональний макет геліосистеми з інтегрованою функцією моніторингу напруги.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання курсової роботи було успішно завершено проєктування, розробку та налагодження функціонального макета одноосьового сонячного трекера, інтегрованого з цифровою системою моніторингу напруги на базі мікроконтролера Arduino Uno.

• Висновки щодо реалізації проєкту

- **Апаратна інтеграція:** Було успішно опрацьовано принципи побудови вбудованих систем. Забезпечено коректну взаємодію ключових компонентів: аналогових датчиків (фоторезисторів GL5506), виконавчого механізму (сервопривід SG90) та периферійного пристрою виводу (LCD 1602 з I2C). Використання макетної плати дозволило ефективно комутувати схему, включаючи прецизійний дільник напруги для вольтметра, без використання паяння.
- **Програмна розробка:** Створено оптимізований скетч у середовищі Arduino IDE. Код реалізує складний алгоритм позиціонування, який порівнює значення з датчиків освітленості та точно керує кутом повороту сервоприводу. Додатково впроваджено математичний перерахунок аналогового сигналу в реальні показники напруги та використано спеціалізовані бібліотеки для керування сервоприводом та I2C-дисплеєм.
- **Підтвердження працездатності:** Фінальне тестування підтвердило повну відповідність системи технічному завданню. Пристрій автоматично та плавно орієнтується на джерело світла, максимізуючи потенційну ефективність захоплення енергії. Цифровий вольтметр коректно відображає поточні показники напруги в реальному часі.

• Навчальна та інженерна цінність

Виконана робота забезпечила формування ключових міждисциплінарних інженерних компетенцій, які включають:

- **Основи електроніки:** Практичне розуміння роботи аналого-цифрового перетворювача (АЦП), широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) та послідовних протоколів передачі даних (I2C).
- **Схемотехніка та конструювання:** Набуття досвіду проєктування та монтажу складних електричних схем на макетній платі.
- **Програмування вбудованих систем:** Практичне застосування мови C++ для розробки автоматизованих систем керування.

5.5 Перспективи подальшого розвитку

Розроблений прототип є надійною базою для подальшого вдосконалення та масштабування. Основні напрями модернізації включають:

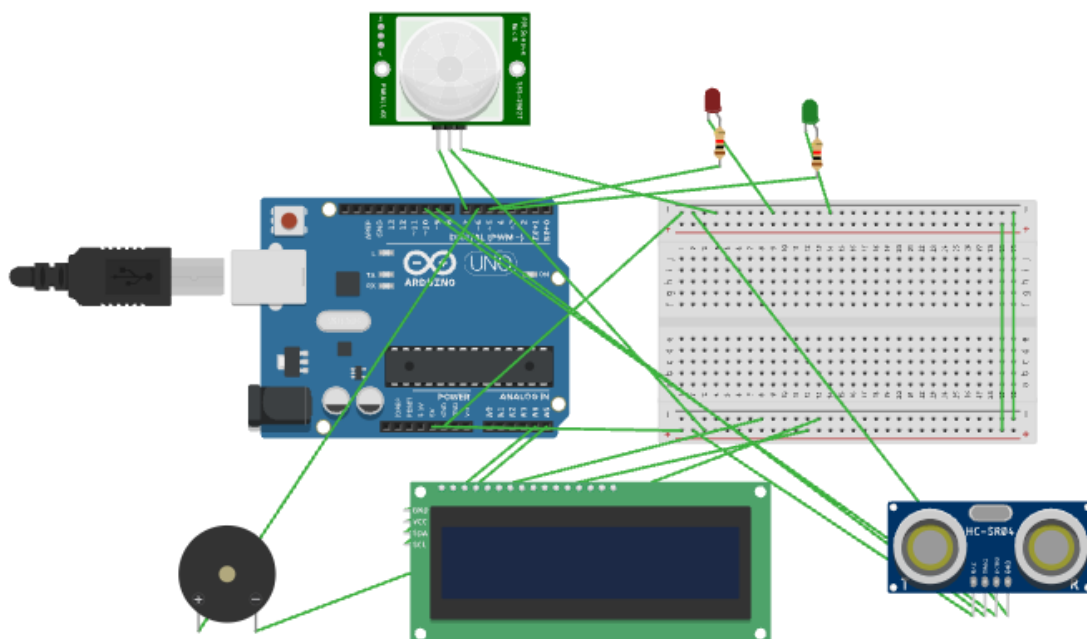
- **Перехід до двовісної орієнтації:** Додавання другого сервоприводу та сенсорів для відстеження кута місця. Це дозволить здійснювати стеження за сонцем як по азимуту (горизонталь), так і по вертикалі, що значно підвищить загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) системи.
- **Розширення моніторингу енергії:** Інтеграція спеціалізованого датчика струму (наприклад, на базі модулів INA219 або ACS712) для вимірювання не лише напруги, а й струму та розрахунку потужності (у Ватах), що дозволить оцінювати ефективність системи в динаміці.
- **Автономність та енергозбереження:** Реалізація програмного режиму глибокого сну на час відсутності світла (ніч) з автоматичною логікою "пробудження" та орієнтуванням на схід сонця вранці.
- **Захист та надійність:** Розробка захисного корпусу для електроніки та додавання датчика погодних умов (наприклад, датчика дощу) для забезпечення автоматичного паркування панелі в горизонтальне (безпечне) положення під час несприятливих погодних явищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Блум Д. Вивчаємо Arduino: інструменти та методи технічного чарівництва / Джеремі Блум. — К.: БХВ, 2016. — 336 с.

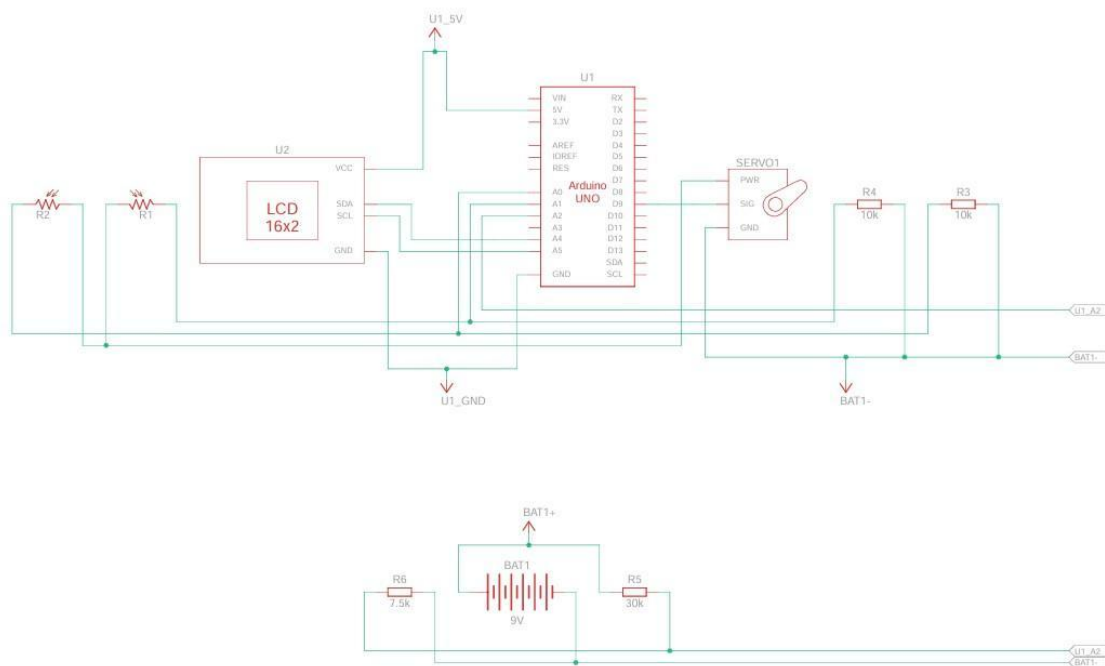
- **Шилдт Г. С++:** базовий курс / Герберт Шилдт. — 3-тє вид. — М.: Вільямс, 2019. — 624 с.
- **Петренко А. І.** Основи мікропроцесорної техніки та програмування мікроконтролерів: навчальний посібник / А. І. Петренко. — К.: Каравела, 2020. — 288 с.
- **Рюмик С. М.** Мікроконтролери AVR: практикум для початківців / С. М. Рюмик. — Х.: Ранок, 2018. — 112 с.
- **Галкін В. І.** Промислова електроніка та мікросхемотехніка: підручник / В. І. Галкін. — К.: Вища школа, 2017. — 320 с.

Додаток 1



Структурна схема реалізації моделі

Додаток 2



Принципова електрична схема підключення

