

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Галина БОГДАН

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

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

на тему: «Система автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПМ-11

Григорчук Олександр Андрійович _____

Керівник:

ст. викладач, к.т.н.

Назаренко Наталія Миколаївна _____

Рецензент:

доц., к.т.н.

Маркін Максим Олександрович _____

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Пояснювальна записка	60	
3	A3	ДП.ПМ-11.04.21.000.СхС	Схема структурна	1	
4	A1	ДП.ПМ-11.04.21.000.СхЕ	Схема електрична	1	
5	A1	ДП.ПМ-11.04.21.000.СК	Складальне креслення	1	
6	A1	ДП.ПМ-11.04.21.000.СхА	Схема алгоритму	1	
7	A4	ДП.ПМ-11.04.21.000.СП	Специфікація	1	
8	A3	ДП.ПМ-11.04.21.001	Основа	1	
9	A3	ДП.ПМ-11.04.21.002	Тримач сонячної панелі	1	

				ДП.ПМ-11.04.21.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Григорчук			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Назаренко				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-11	
Н/контр.						
В.о.зав.каф.	Богдан					

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система автоматичного керування орієнтацією
сонячних панелей»

Київ – 2025 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Галина БОГДАН

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Григорчуку Олександрю Андрійовичу

1. Тема проєкту «Система автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей», керівник проєкту ст. викладач, к.т.н. Назаренко Наталія Миколаївна, затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. №1765-с
2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2025
3. Вихідні дані до проєкту: напруга живлення – не більше 5 В, Arduino UNO не більше 50 мА; струм серводвигунів SG90 не більше 1250мА; точність позиціонування – $\pm 3-5^\circ$.
4. Зміст пояснювальної записки: огляд літературних джерел на тему диплому; розробка системи; розробка алгоритмічно-програмного забезпечення системи; техніко-економічне обґрунтування; загальний висновок; список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): структурна схема, принципова схема, складальне креслення, блок-схема алгоритму

6. Дата видачі завдання 24.02.2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Вибір напрямку роботи і затвердження завдання ДП	10.03.2025	
2	Огляд літератури за темою роботи	11.03.2025	
3	Розробка структурної схеми	25.03.2025	
4	Вибір електронних компонентів	31.03.2025	
5	Розробка функціональної схеми	04.04.2025	
6	Розробка принципової схеми	11.04.2025	
7	Розробка складального кресленика	21.04.2025	
8	Розробка блок схеми алгоритму	28.04.2025	
9	Розробка програмного забезпечення	05.05.2025	
10	Оформлення текстової частини ДП	19.05.2025	
11	Оформлення графічної частини ДП	22.05.2025	
12	Представлення ДП на перевірку науковому Керівнику	26.05.2025	
13	Подання ДП до Екзаменаційної комісії	09.06.2025	
14	Захисти кваліфікаційних робіт.	16.06.2025	

Студент

Олександр Григорчук

Керівник

Наталія Назаренко

АНОТАЦІЯ

У рамках дипломної роботи бакалавра була розроблена система автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей. Дипломний проєкт складається з трьох розділів, що становлять ключові елементи дослідження.

Основним результатом роботи є створення автономної системи, яка забезпечує початкове налаштування орієнтації сонячних панелей за допомогою GPS-модуля, що дозволяє визначати географічне положення та час для точного позиціонування. Подальше регулювання здійснюється за допомогою світлочутливих сенсорів, що реагують на інтенсивність сонячного світла, забезпечуючи оптимальне положення панелей протягом дня. Крім того, інтегровано датчик вітру, який активує захист системи при перевищенні безпечних значень швидкості вітру, запобігаючи механічним пошкодженням і підвищуючи надійність системи відстеження положення сонячних панелей.

Запропонована система є ефективною з технічної та екологічної точки зору, оскільки автоматизує процес орієнтації сонячних панелей, що підвищує виробництво електроенергії без збільшення людського втручання. Впровадження захисту від вітру забезпечує довговічність обладнання. Загалом, ця розробка сприяє розвитку відновлюваних джерел енергії, зменшенню викидів парникових газів та підвищенню автономності енергопостачання.

Ключові слова: система автоматичного керування, сонячні панелі, сонячний трекер, сонячна енергія, алгоритм відстеження.

THE ANNOTATION

As part of his bachelor's thesis, he developed a system for automatically controlling the orientation of solar panels. The thesis project consists of three chapters, which are the key elements of the research.

The main outcome of the work is the creation of an autonomous system that provides initial adjustment of the orientation of solar panels using a GPS module, which allows determining the geographical location and time for accurate positioning. Further adjustment is carried out using light-sensitive sensors that respond to the intensity of sunlight, ensuring that the panels are optimally positioned throughout the day. In addition, a wind sensor is integrated to activate system protection when safe wind speeds are exceeded, preventing mechanical damage and increasing reliability of the solar tracking system.

The proposed system is effective from a technical and environmental point of view, as it automates the process of orienting solar panels, which increases electricity production without increasing human intervention. The introduction of wind protection ensures the durability of the equipment. In general, this development contributes to the development of renewable energy sources, reduction of greenhouse gas emissions and increase of energy supply autonomy.

Keywords: automatic control system, solar panels, solar tracker, solar energy, tracking algorithm.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНІЧЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ	12
1.1. Визначення та принцип роботи системи орієнтації сонячних панелей	12
1.2. Класифікація сонячних трекерів	15
1.2.1. Одновісні трекери	15
1.2.2. Двовісні трекери.....	18
1.3. Актуальність, переваги та проблеми систем орієнтації.....	19
1.4. Мета та завдання дипломного проєкту	22
1.5. Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ..	25
2.1. Розробка структурної схеми.	25
2.2. Розробка схеми електричної принципової.	26
2.3. Вибір елементної бази.	30
2.3.1. Вибір мікроконтролера.....	30
2.3.2. Вибір електричних двигунів.	36
2.3.3. Вибір датчиків світла.....	38
2.3.4. Вибір дисплею.	39
2.3.5. Вибір резисторів, потенціометрів та кнопочового вимикача.....	41
2.4. Висновки до розділу 2.	43

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Григорчук.								
Перев.		Назаренко							8	60
								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-11		
Н. Контр.										
Затв.		.								

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ.....	45
3.1. Розробка алгоритму керування мікроконтролером.....	45
3.2. Розробка алгоритму керування серводвигунами.....	48
3.3. Розробка інтерфейсу користувача.....	48
3.4. Розробка програмного забезпечення системою автоматичного керування сонячними панелями.....	49
3.5. Апробація працездатності алгоритмічно-програмного забезпечення.....	51
3.6. Висновки по розділу 3.....	52
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОНАНИХ РОЗРОБОК ..	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Система автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Григорчук.								
Перев.		Назаренко							9	60
								КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.								Каф. АСНК		
Затв.		.						Гр. ПМ-11		

ВСТУП

Основною метою дипломного проекту є розробка автоматизованої системи орієнтації сонячних панелей для максимально ефективного перетворення сонячної енергії в електричну. Така система повинна забезпечувати високу точність позиціонування сонячних панелей, енергоефективність та стійкість до зовнішніх впливів.

Міжнародний досвід використання та розробки свідчить про стрімкий розвиток технологій трекінгу сонячного випромінювання. У США, Німеччині, Кореї, широко впроваджуються одно- та двовісні трекири, що дозволяють збільшити річну генерацію електроенергії на 20–40% порівняно з фіксованими системами.

В умовах зростаючого енергетичного навантаження, обмеженості викопних ресурсів та необхідності зменшення шкідливих викидів у атмосферу, використання сонячної енергії як відновлюваного джерела стає ключовим чинником у досягненні екологічної безпеки та енергетичної незалежності. Проте результативність фотоелектричних установок істотно залежить від точного орієнтування панелей відносно Сонця.

Існує кілька підходів до автоматизації орієнтації сонячних панелей. Фіксовані системи найпростіші, але не дозволяють динамічно реагувати на зміну положення Сонця. Одновісні трекири забезпечують відстеження денного руху світла, тоді як двовісні дозволяють повне просторове позиціонування з урахуванням сезонних змін. Використовуються як фоторезистивні сенсори, так і цифрові методи визначення координат Сонця на основі GPS і часових даних.

Для України, яка перебуває в умовах енергетичної кризи та трансформації, розвиток децентралізованої генерації є критично важливим. Масове впровадження сонячних панелей, зокрема в малих комерційних та побутових системах, потребує недорогих, ефективних і адаптованих до місцевих умов рішень. Саме створення вітчизняних систем автоматичної орієнтації сонячних панелей з використанням сучасних мікроконтролерів і сенсорів дає змогу збільшити ефективність генерації, підвищити автономність енергопостачання та зменшити залежність від централізованих джерел.

					<i>ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, тема дослідження є надзвичайно актуальною. Вона відповідає глобальним екологічним трендам, відповідає потребам енергетичної безпеки держави та відкриває перспективи для практичного впровадження інноваційних рішень у сфері відновлюваної енергетики. Створення автоматизованої системи орієнтації дозволить не лише підвищити енергоефективність установок, а й забезпечити технологічний прорив у проектуванні автономних енергосистем.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНІЧЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ

1. Визначення та принцип роботи системи орієнтації сонячних панелей

Система орієнтації сонячних панелей – це сукупність технічних засобів, що дозволяють керувати положенням сонячної панелі під оптимальним кутом відносно положення Сонця[1].

Такий підхід дозволяє забезпечити максимальну ефективність вироблення енергії сонячними панелями протягом усього світлового дня. Перпендикулярне розташування сонячної панелі до напрямку сонячного випромінювання забезпечує максимальне надходження світла, зменшує втрати на відбиття та сприяє ефективнішому поглинанню енергії.

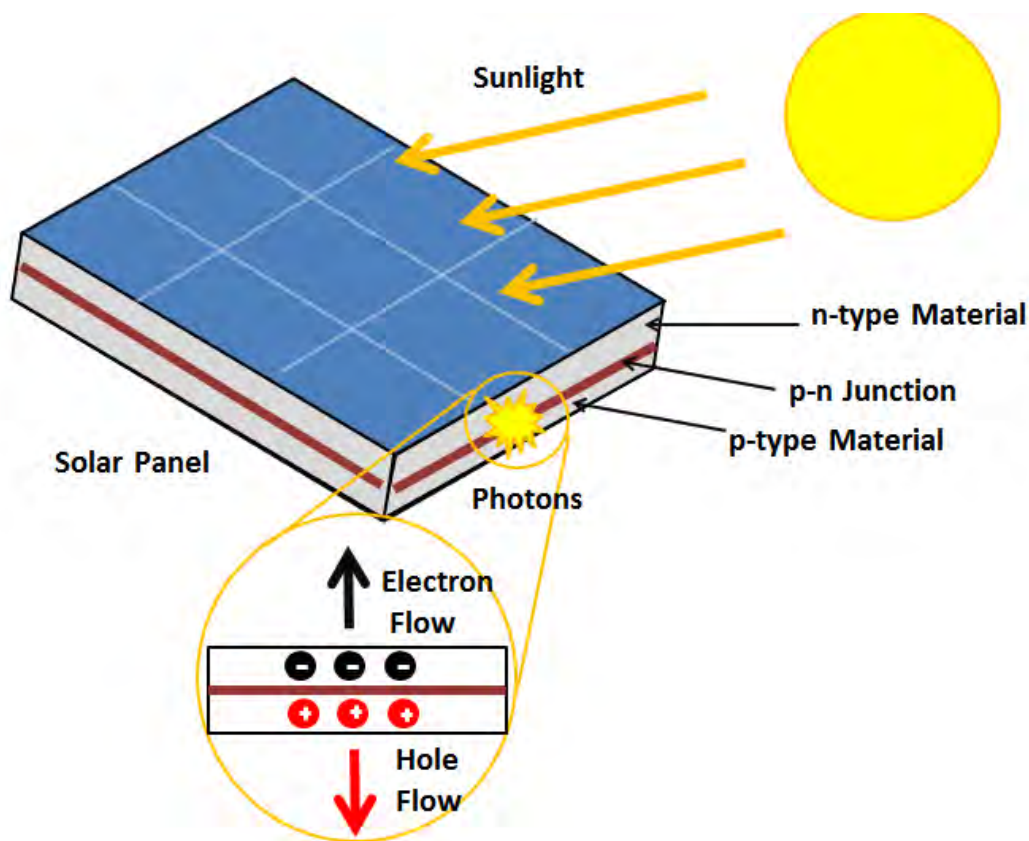


Рис. 1.1. Принцип роботи сонячних панелей

Сонячне світло складається з двох основних компонентів: прямого променю, який переносить близько 90% енергії Сонця, та розсіяного випромінювання, яке забезпечує решту. Розсіяне світло – це те, що ми бачимо як блакитне небо у ясну

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

погоду, і воно становить більшу частку загального освітлення у похмурі дні[2]. Оскільки основна частина енергії надходить саме з прямого променю, для максимального збору енергії важливо, щоб сонячні панелі мали прямий доступ до Сонця якомога довше протягом дня. У хмарну погоду співвідношення між прямим і розсіяним світлом може знижуватися до 60:40 або навіть менше.

Кількість енергії, яку надає пряме випромінювання, зменшується пропорційно косинусу кута між напрямком сонячного світла та площиною панелі. Крім того, коефіцієнт відбиття світла (усереднений для всіх поляризацій) залишається приблизно сталим для кутів падіння до 50°, після чого коефіцієнт відбиття світла різко зростає, що підтверджується даними в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Прямі втрати енергії (%) через кут падіння світла

Кут падіння, °	Орієнтовна тривалість, год	Втрата енергії, %
0	-	0
1	-	0.015
3		0.14
8		1
15	1	3.4
23.4		8.3
30	2	13.4
45	3	30
60	4	>50
75	5	>75

Наприклад, трекири з точністю орієнтації $\pm 5^\circ$ здатні вловлювати понад 99,6% енергії прямого променю та 100% розсіяного світла. У зв'язку з цим, високоточне стеження зазвичай не застосовується у фотоелектричних системах без концентрації світла.

Призначення системи орієнтації полягає в тому, щоб відстежувати рух Сонця по небосхилу.

Кількість сонячної енергії, доступної для збору від прямого випромінювання, залежить від об'єму світла, що перехоплюється панеллю[14]. Ця величина визначається як площа панелі, помножена на косинус кута падіння прямого променя:

$$W = A\lambda\cos\theta, \quad (1.1)$$

де W – кількість виробленої електроенергії;

A – площа сонячної панелі;

λ – густина потоку випромінювання;

θ – кут падіння сонячних променів.

Тому для максимізації потужності, вироблену фотоелементами, система має підтримувати кут, близький до нуля.

В свою чергу Кут падіння сонячного проміння (θ) обчислюється за формулою:

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(h), \quad (1.2)$$

де δ – відхилення магнітної стрілки від меридіана;

ϕ – географічна широта місцевості;

h – кут повороту Землі з моменту проходження через меридіан.

Отже, будь-яка система автоматизованого керування сонячними панелями буде ефективніше генерувати енергію за будь-яку фіксовану систему за той же період часу та на тій же площі. Це відбувається рахунок можливості підтримувати оптимальний кут протягом всього часу роботи панелі.

Для відстежування Сонця системами автоматичного керування сонячними панелями існує дві різновидності методів – активні та пасивні.

Для активного визначення положення Сонця використовуються аналогові методи. До них входять фоторезистори, які встановлюються хрестом та розділяються стінками. Така система дозволяє отримувати значення з сенсорів та програмно визначати наскільки ефективним є положення відносно Сонця на даний момент. В складніших системах можуть використовуватись піранометри для вимірювання сонячної радіації[16].

До пасивних методів належить алгоритмічне стеження. Тобто система отримує поточне місцезнаходження та час з GPS модулю і далі за допомогою астрономічних алгоритмів визначає де саме в цей момент знаходиться Сонце на небосхилі.

Крім того, в деяких системах використовують гібридні методи. Це означає, що початкове позиціонування задають алгоритми на основі GPS модуля, а система з фоторезисторів вирівнює панель в реальному часі. Такий метод дозволяє досягти найбільшої ефективності, але є найважчим у реалізації.

1.2. Класифікація сонячних трекерів

Системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей класифікують за ступенями свободи, тобто кількістю осей навколо яких обертається сонячна панель. Це впливає на їх ціну, конструкцію та ефективність.

Загальноприйнятою класифікацією є розділення на одновісні та двовісні системи з подальшим розділенням на інші типи[15].

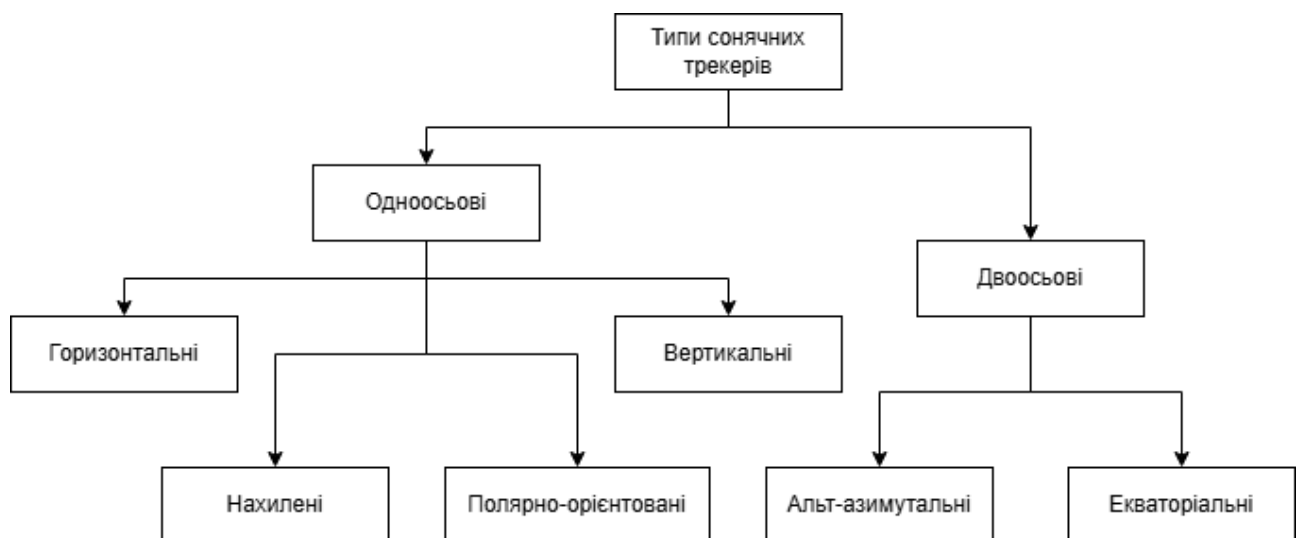


Рис. 1.2. Класифікація сонячних трекерів

1.2.1. Одновісні трекери

Одновісні трекери мають лише один ступінь свободи, тобто рухаються відносно однієї вісі. Зазвичай вісь обертання одновісних трекерів спрямована вздовж

північного меридіану. Сучасні алгоритми дозволяють вирівнювати панелі у будь-якому напрямку.

Одновісні трекери поділяються на декілька загальних типів:

1. Горизонтальні одновісні трекери – це системи, горизонтальні до землі. Їх вісь може проходити як по лінії північ-південь так і по лінії схід-захід. Найкраще одновісні трекери підходять для низьких широт, тому що Сонце рухається вище і за ним ефективніше слідкувати ніж на вищих широтах, де Сонце низько і потребує додаткової корекції.

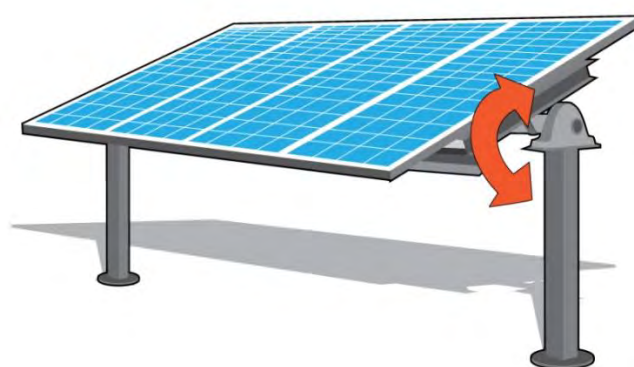


Рис. 1.3. Горизонтальний сонячний трекер

Цей тип трекерів є одним із найпоширеніших через простоту його геометрії та зручності розташування панелей поряд. Лицьова сторона системи обертається двигуном паралельно до осі на трубі, на якій встановлена панель. Така система дозволяє відстежувати кількість сонячного світла, що попадає на панель та вирівнювати її відповідно.

2. Вертикальний одновісний трекер – це система, вертикальна до землі. Вони обертаються зі сходу на захід. На противагу попереднім, ці системи навпаки ефективніші у високих широтах. Тут Сонце навпаки робить довшу дугу в горизонтальній площині через що трекер має рухати панель горизонтально до землі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ

Арк.

16

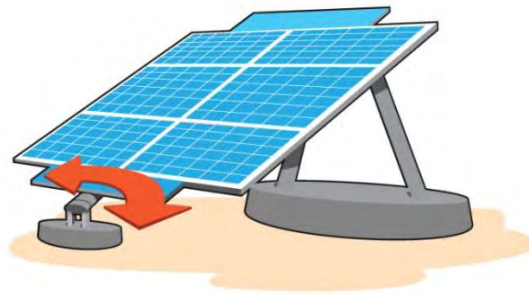


Рис. 1.4. Вертикальний сонячний трекер

Лицьова сторона тут повернута під кутом до осі, через що характер переміщення панелі має конусовий характер.

Важливо враховувати розміщення трекера та запобігати затіненню як протягом дня, так і протягом всього року.

3. Нахилений одновісний трекер – система, де похилена вісь знаходиться між горизонтальною та вертикальною осями. Їх використовують у середніх широтах, де Сонце рухається як по горизонталі, так і по вертикалі. Під час відстеження Сонця система переміщується по циліндру, симетричному навколо осі обертання. Ці системи ефективніші за ефективніші за горизонтальні у середніх широтах, але дорожчі за горизонтальні, тому їх застосовують лише там, де витрати та ефективність збалансовані.

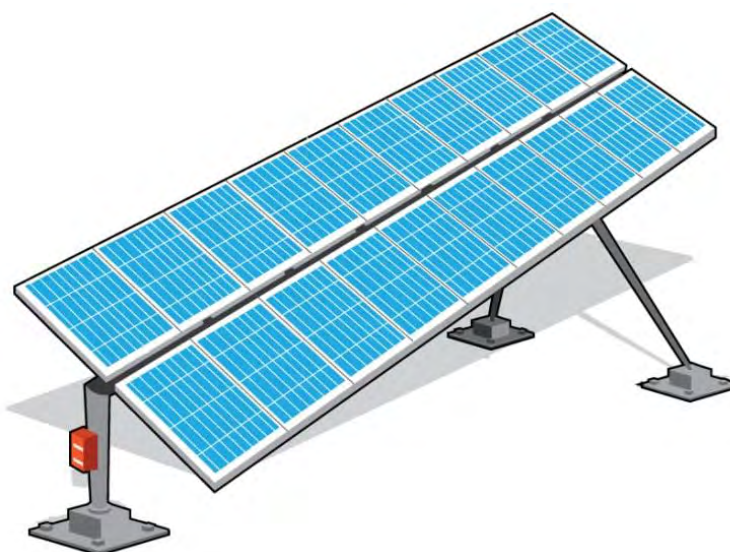


Рис. 1.5. Нахилений одновісний трекер

1.2.2. Двовісні трекери

На відміну від одновісних трекерів двовісні системи мають два ступені свободи. Така конструкція означає, що трекер має дві осі обертання, які незалежні одна від одної. Це дозволяє набагато точніше відслідковувати положення Сонця, хоча й має важчу конструкцію та вимагає більших витрат.

Вісь, яка фіксується відносно землі прийнято вважати первинною, пов'язану з нею вісь – вторинною. Саме за орієнтацією первинних осей ці системи і класифікуються:

1. Двовісний трекер з можливістю нахилу і повороту (екваторіальний) двовісний трекер – система, яка встановлена на високій опорі, що дозволяє обертати панель відносно двох осей.



Рис. 1.6. Двовісний трекер з можливістю нахилу і повороту

На верхній частині опори знаходиться механізм, що повертає систему зі сходу на захід. Нахил відбувається у напрямку північ-південь за допомогою приводу, який знаходиться на верхній частині механізму та кріпиться до панелей. Така система дозволяє кабелям не закручуватись навколо опори, але все ще вимагає правильного розташування, що трекери не кидали тінь один на одного, коли Сонце низько на горизонті.

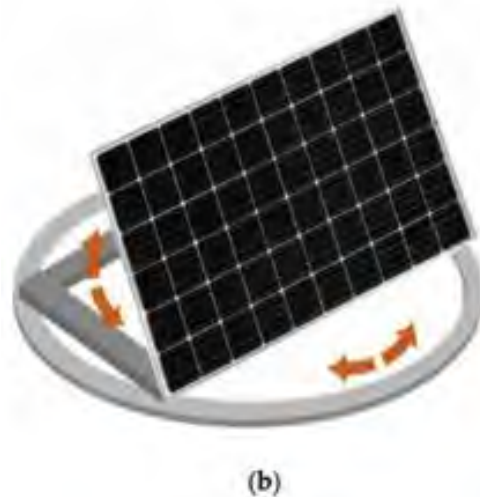


Рис. 1.7. Азимутально-висотний двовісний трекер

2. Азимутально-висотний (або висотно-азимутальний) двовісний трекер – система, яка дуже схожа на попередню, де також є дві осі обертання. Відрізняються способом обертання, при якому змасть стовпа у цієї системи велике кільце, встановлене на землі чи спеціальній платформі.

З одної сторони ця система має значну перевагу в тому, що маса панелей рівномірно розподіляється між кільцем. З іншої сторони це також є недоліком, тому що систему необхідно розміщувати подалі одна від одної, щоб уникнути небажаного зіткнення панелей.

1.3. Актуальність, переваги та проблеми систем орієнтації

Використання систем автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей дозволяє збільшити ККД сонячних панелей, тому що вони дозволяють утримувати оптимальний кут падіння сонячних променів протягом всього дня на відміну від фіксованих панелей, які ефективно виробляють енергію лише кілька годин на день[13].

Динамічні системи можуть підвищити щорічний видобуток енергії в середньому на ~25% в порівнянні з фіксованими системами.

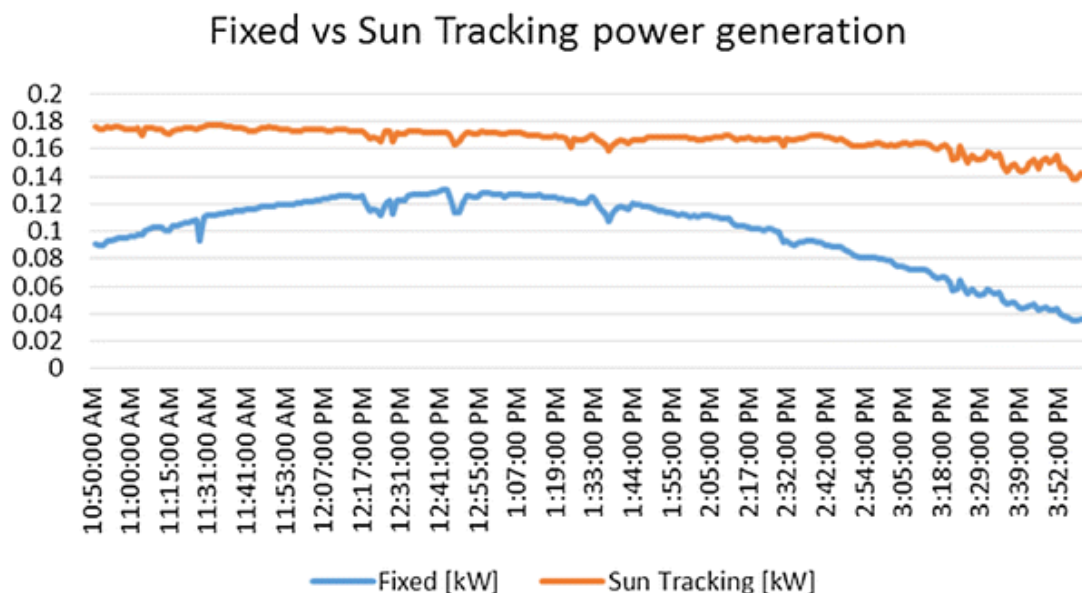


Рис. 1.8. Різниця в генерації енергії між фіксованою та динамічною системами протягом дня

На діаграмі можна чітко побачити наскільки більше енергії виробляє система, яка повертається за Сонцем протягом всього дня. Особливо помітно, що ближче до ночі, статичні системи значно втрачають ефективність, в той час як динамічні залишаються майже такими ж ефективним як і в пікові години.

Окрім добового руху, Сонце також здійснює щосезонний рух з півдня на північ в діапазоні 45%. Цей рух так само впливає на ефективність систем та видобуток енергії, але вже протягом року.

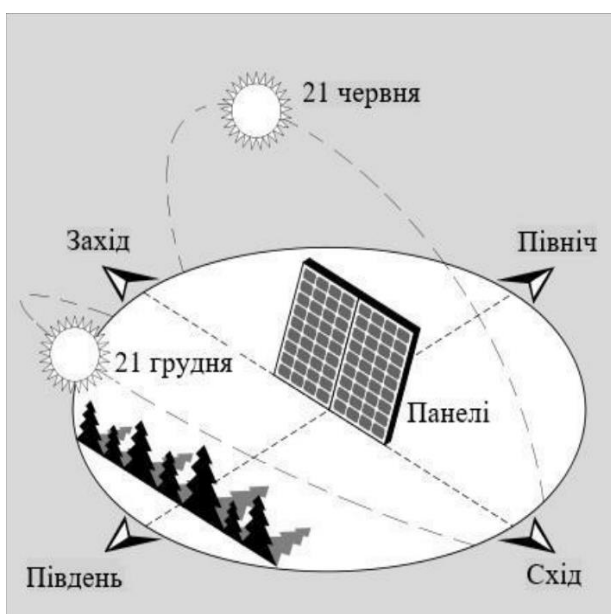


Рис. 1.9. Зміна положення Сонця протягом року

Це значить, що саме двовісні системи можуть бути найефективнішими для видобутку енергії. Панель, встановлена в середньому річному положенні Сонця, буде втрачати на 6-10% енергії в порівнянні з динамічною системою.

Також на генерацію енергії впливає сонячне схилення. Сонячне схилення – це кут між сонячними променями та екваторіальною площиною. Для розрахунку кута схилення можна використати формулу:

$$\delta = 23.45^{\circ} \cdot \sin\left(\frac{360^{\circ}}{265} \cdot (284 + n)\right), \quad (1.3)$$

де n – номер дня у році, тобто для кожного нового дня буде своє значення.

Отже, системи відстежування Сонця можна використати для підвищення ефективності видобутку енергії сонячних панелей. В таблиці 1.2. можна наочно побачити наскільки одновісні та двовісні дозволяють покращити роботу сонячних панелей у порівнянні з фіксованими системами.

Таблиця 1.2.

Порівняння ефективності різних трекерів

Характеристика	Статична панель	Одноосьовий трекер	Двоосьовий трекер
Принцип роботи	Фіксована позиція	Поворот по одній осі	Поворот по двох осях
Збільшення енерговиробництва	Базовий рівень	+10-25%	+25-35%
Вартість обладнання	Найнижча	Середня	Найвища
Вартість монтажу та обслуговування	Найнижча	Вища	Найвища
Складність системи	Дуже проста	Помірна	Висока
Енергоспоживання системи трекінгу	Відсутнє	Низьке	Вищий

Вплив погодних умов	Мінімальний	Помірний	Краща адаптація
---------------------	-------------	----------	-----------------

Однак, незважаючи на підвищення ефективності в динамічних системах є й свої недоліки.

Одним із головних недоліків динамічних систем є збільшена вартість. Динамічні системи прямо пропорційно збільшують ефективність відносно вартості. Наприклад, якщо система збільшує ефективність видобутку енергії на 25%, то і вартість встановлення та обслуговування такої системи буде на 25% більша. Тобто можна отримати той самий результат якщо просто збільшити фіксовану систему на 25%. Проте, в умовах малої площі, або використання акумуляторів системи залишаються ефективними, тому що самі батареї є доволі дорогими.

Окрім того, системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей не підходять для сонячних панелей, встановлених на дахах будинків. Оскільки для трекінгу Сонця панель необхідно нахиляти, необхідно встановити панель високо над будинком. Така система дуже сильно піддається впливу вітру, а також є доволі дорогою. Саме тому, можливо, такі системи не будуть ніколи використовуватись на будинках.

Наостанок, через те що динамічні системи вимагають руху панелей, то можуть виникнути проблеми з затіненням. Через що сусідні панелі можуть затінювати одна одну. Вирішити це можна збільшенням відстані між панелями, але через це також збільшується площа їх встановлення, що в деяких випадках може бути критичним.

1.4. Мета та завдання дипломного проєкту

Метою дипломного проєкту є розробка автоматизованої системи орієнтації сонячних панелей для ефективного перетворення сонячної енергії в електричну.

Для досягнення поставленої мети сформовані наступні завдання:

- Проаналізувати існуючі системи орієнтації сонячних панелей та визначити їх принцип роботи, переваги й недоліки.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- Визначити технічні вимоги до розроблюваної системи з урахуванням умов експлуатації.
- Обґрунтувати вибір мікроконтролера, сенсорів освітленості та виконавчих механізмів.
- Розробити структурну та принципову електричну схеми системи.
- Провести розрахунок елементної бази та скласти специфікацію.
- Розробити алгоритми керування системою орієнтації та реалізувати їх у вигляді програмного коду.
- Створити інтерфейс користувача.
- Провести апробацію працездатності системи.
- Виконати техніко-економічне обґрунтування розробленої системи.

1.5. Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломного проєкту було детально проаналізовано сучасний стан проблеми автоматичного керування сонячними панелями.

Для початку було визначено принцип роботи систем автоматичного керування сонячними панелями. Існує два типи визначення положення Сонця. Перший – активний за допомогою фоторезисторів. Другий спосіб – це алгоритмічне вираховування положення на основі даних з GPS модуля.

Далі було визначено, що існують два основних типи сонячних трекерів – одно- та двовісні. Одновісні також поділяються ще на три види: горизонтальні, вертикальні та нахилені. Двовісні в свою чергу поділяються на екваторіальні та азимутно-висотні.

Наступними було розглянуто актуальність, переваги та проблеми систем автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей. Визначено, що такі системи є актуальним в наш час через можливість підвищення ККД сонячних панелей. Крім того системи є ефективнішими за статичні і дозволять значно збільшити виробіток електроенергії сонячними панелями. Однак, системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей можуть бути досить

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дорогими, не підходять для використання на дахах будинків та вимагають великої площі для запобігання затінення сусідніх систем.

Наостанок було сформульовано мету дипломного проєкту – розробка автоматизованої системи орієнтації сонячних панелей для максимально ефективного перетворення сонячної енергії в електричну та визначено основні завдання.

					<i>ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ

2.1. Розробка структурної схеми.

Структурна схема – це схема, на якій зображено основні блоки системи, їх взаємозв'язки між собою та призначення.

Вона не деталізує роботу системи, а лише дає загальне уявлення про неї та організацію елементів, зв'язків між ними та їх призначення. Саме структурна схема візуально пояснює як працює прилад та як його частини взаємодіють між собою.



Рис. 2.1. Структурна схема системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей

На структурній схемі, створеній для системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей, ми можемо побачити що після запуску системи мікроконтролер отримує дані з датчиків світла про рівень освітлення. Далі він визначає, чи має система змінювати положення.

У випадку якщо панель знаходиться не в оптимальному положенні мікроконтролер визначає наскільки та в якому напрямку має змінити своє положення панель. На основі розрахованого положення мікроконтролер надсилає сигнал двигунам на змінення положення.

Двигуни, отримавши сигнал від мікроконтролера починають рух поки не досягнуть необхідного положення.

Наприкінці, після того як система вставала у необхідне положення, мікроконтролер продовжує чекати сигналів від датчиків і перевіряє чи не варто змінити положення.

Також паралельно до основного процесу мікроконтролер зв'язується з графічним інтерфейсом, виводить на нього проміжні та основні дані. У випадку втручання людини зі сторони графічного інтерфейсу, мікроконтролер реагує на дії користувача.

2.2. Розробка схеми електричної принципової.

Електрична принципова схема – це спрощене умовне графічне зображення електричного кола. На ній елементи кола зображені у вигляді спрощених фігур.

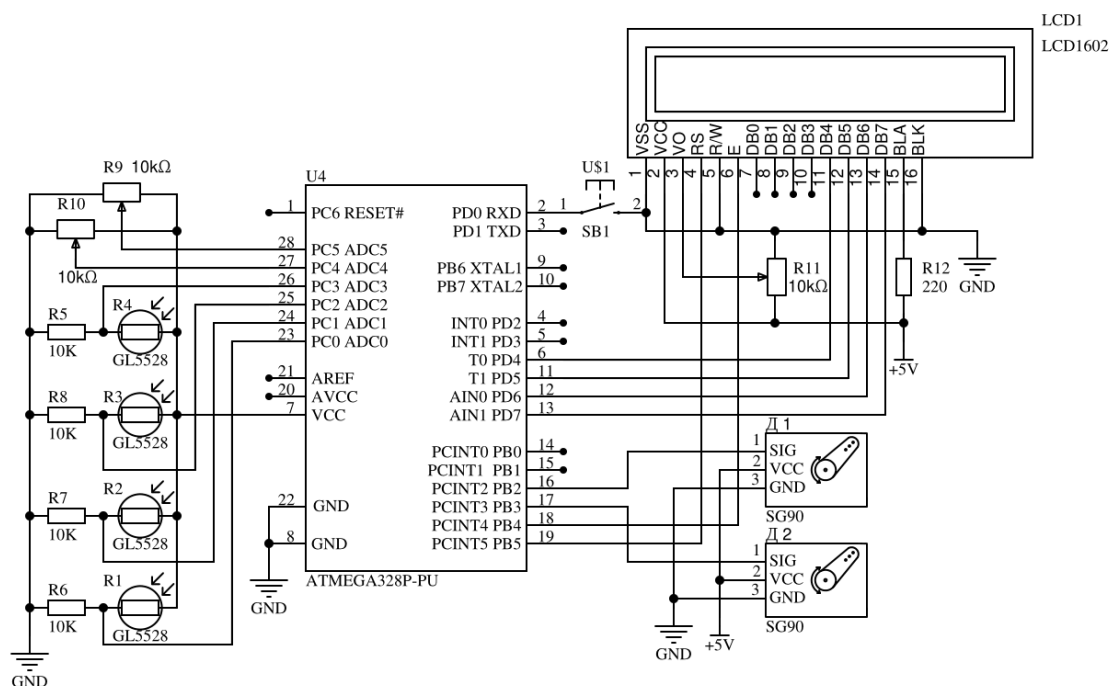


Рис. 2.2. Електрична принципова схема системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей

Дуже важливою частиною такої схеми є саме з'єднання елементів для подальшого правильного перетворення цієї схеми у реальний прототип. Проте розташування елементів та з'єднань на схемі зазвичай відрізняються від фізичного розташування у готовому пристрої.

На даній схемі зображено всі необхідні компоненти системи. Чотири фоторезистори, де кожен з'єднаний одним контактом через резистор на землю до аналогового входу мікроконтролера, а другим контактом до джерела живлення (в нашому випадку це основна лінія живлення).

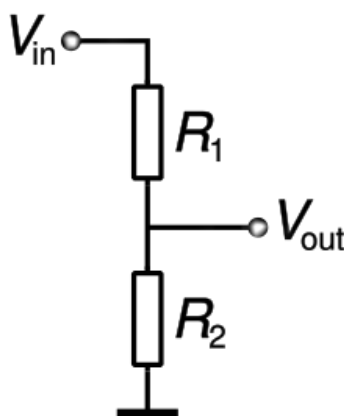


Рис. 2.3. Схема найпростішого дільника напруги на резисторах

В цьому випадку резистор потрібен для формування дільника напруги, тобто сам по собі фоторезистор змінює лише опір, а аналоговий вхід мікроконтролера зчитує лише напругу. Саме тому нам необхідно створити дільник, який буде змінювати напругу залежно від опору. Щоб така схема працювала аналоговий вхід мікроконтролера має бути під'єднано між контактом фоторезистору та резистором.

Далі не менш головною частиною системи є під'єднання двигунів. В нашому випадку використовуються серводвигуни. Вони одразу мають в собі модуль драйвера, тому їм не потрібні жодні зовнішні драйвери. Кожен з серводвигунів має по три виходи:

- GND – це земля і завжди йде на спільну землю мікроконтролера.
- +5V – це живлення і воно йде на основну лінію живлення.
- PWM – це ШІМ сигнал. Широтно-імпульсна модуляція – це будь-який метод представлення сигналу у вигляді прямокутної хвилі. Тобто

серводвигун сприймає лише коли є сигнал і коли немає. Приклад різниці між звичайним сигналом та ШІМ продемонстровано на рис. 2.4.

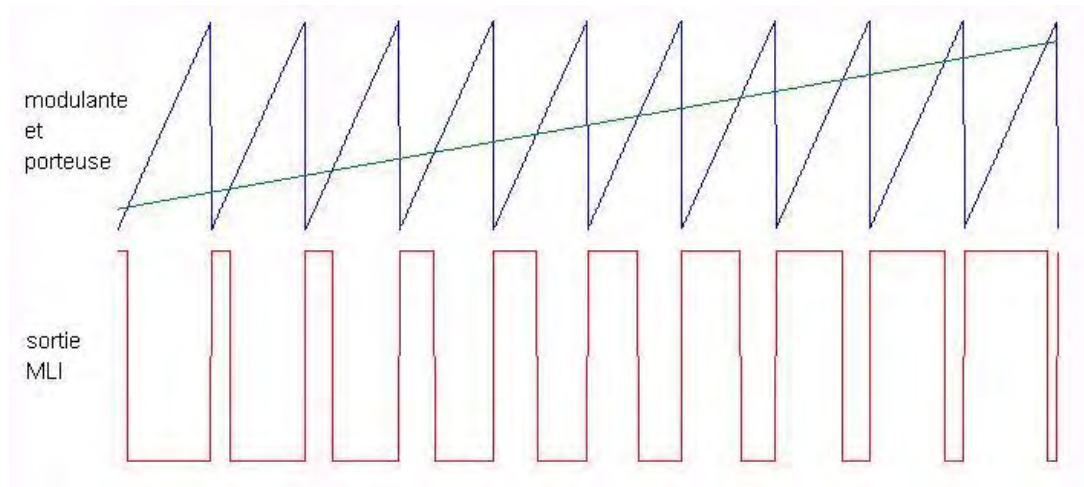


Рис. 2.4. Різниця між аналоговим (зверху) та імпульсним (знизу) сигналами

Саме тому цей вихід обох серводвигунів треба під'єднати до цифрових виходів мікроконтролера.

У випадку аварійних ситуацій необхідно передбачити систему керування двигунами вручну. Саме для цього і необхідно встановити два потенціометри. За допомогою них користувач зможе самостійно перевести панель у бажане положення. Під'єднати їх можна тільки у аналогові входи мікроконтролера. Так як перші чотири вже зайняті фоторезисторами залишається використати два останні (так як наш мікроконтролер має лише 6 аналогових входів). Зазвичай вони вважаються зарезервованими для I2C – синхронна однобічна послідовна шина зв'язку, яка широко використовується для підключення низько швидкісних периферійних інтегральних схем (IC) до процесорів і мікроконтролерів для обміну даними на коротких відстанях усередині плати. Проте в нашому випадку ми можемо нехтувати цим заради підключення потенціометрів.

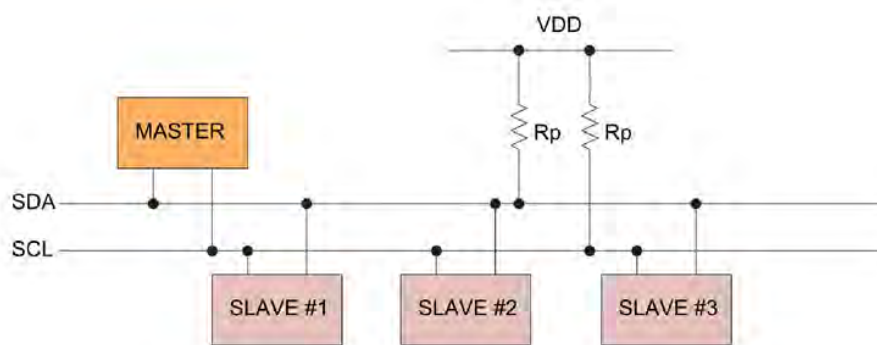


Рис. 2.5. Узагальнена схема підключення I2C

Кажучи про I2C не можна не згадати про рідкокристалічний дисплей. Він необхідний для виведення даних користувачу і є невід'ємною частиною системи користувацького інтерфейсу. Досить часто його поєднують разом з цією шиною для спрощення підключень контактів. Однак так як в нашій ситуації всі аналогові входи під I2C зайняті ми змушені під'єднати дисплей через стандартні контакти

- Вивід вибору регістра – він контролює куди в пам'ять пристрою записуються дані. Є два варіанти або в регістр даних, де зберігаються дані, які будуть відображатись або в регістр інструкцій, з якого контролер РК-дисплея отримує інструкції про подальші дії. Традиційно під'єднують до 12 піну, хоча буде доречним будь-який цифровий контакт.
- Читання/запис – визначає чи буде інформація зчитуватися чи записуватись. Під'єднують до загальної лінії живлення.
- Enable – дозволяє запис у регістри. Так само як і з виводом вибору регістру конвенційно обрано використовувати 11 пін, хоча використовувати можна будь-який цифровий.
- Дані (D0-D7) – це біти, які записуються в регістр або зчитуються. Під'єднуються до будь-якого цифрового піна, але зазвичай розташовуються поруч для полегшення користування.
- V0 – визначає контраст самого екрану. Сюди під'єднується потенціометр, значення якого і встановлює рівень контрасту символів.
- +5V та GND – живлення та земля відповідно. Під'єднуються до загальної землі та загального живлення, проте між лінією загально живлення та

контактом +5V ще встановлюється резистор на 220 Ом. Він забезпечує безпечний рівень струму для захисту світлодіодів підсвітки.

Варто також згадати про використання кнопки. В цій системі вона виконує роль аварійного зупинення системи у екстреній ситуації. Підключається вона досить просто. Кнопка має чотири попарні ніжки, тому треба обрати ніжки з протилежних пар та під'єднати одну до будь-якого цифрового піну мікроконтролера та другу до загальної землі.

2.3. Вибір елементної бази

Вибір елементної бази є надважливою частиною проєкту. Саме від нього залежить успіх всіх наступних етапів. Тому варто підійти до нього з особливою прискіпливістю.

2.3.1. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер – це тип невеличких комп'ютерів, які використовують прості мікропроцесори для керування електричними та механічними функціями. Як правило, вони не повинні виконувати складні обчислення або бути надзвичайно швидкими, а також не повинні мати великі можливості вводу/виводу, і тому вони можуть бути недорогими.

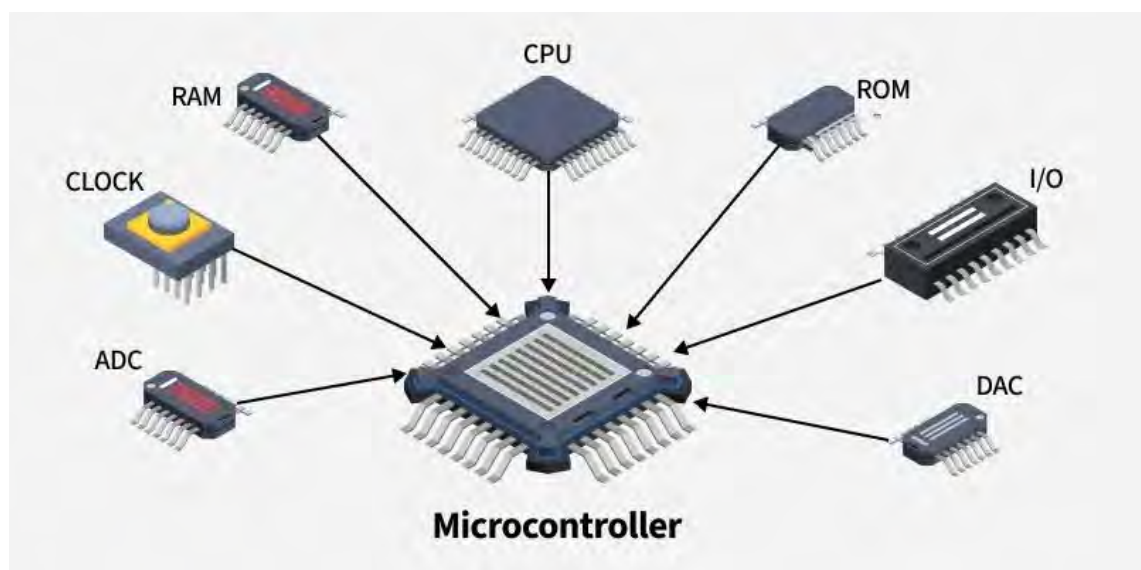


Рис. 2.6. Мікроконтролер як центральний елемент системи

Узагальнюючи можна сказати, що він є «серцем» нашої системи. Саме в ньому буде знаходитись програмний і код і саме він буде керувати усіма частинами системи. Якраз тому необхідно обрати найефективніший, найзручніший та недорогий варіант.

Для реалізації системи автоматичного керування положенням Сонця було вирішено провести огляд найпопулярніших моделей.

1. Arduino UNO

Arduino – це платформа з відкритим вихідним кодом, який легко програмується і може оновлюватися в будь-який час[3]. Вперше Arduino був представлений у 2005 році.

Мікроконтролер Arduino був спочатку розроблений для професіоналів і студентів для розробки пристроїв, які можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем за допомогою датчиків.

Arduino мають входи і виходи, які можна використовувати для отримання інформації і на основі отриманих даних Arduino може відправляти вихідні дані.

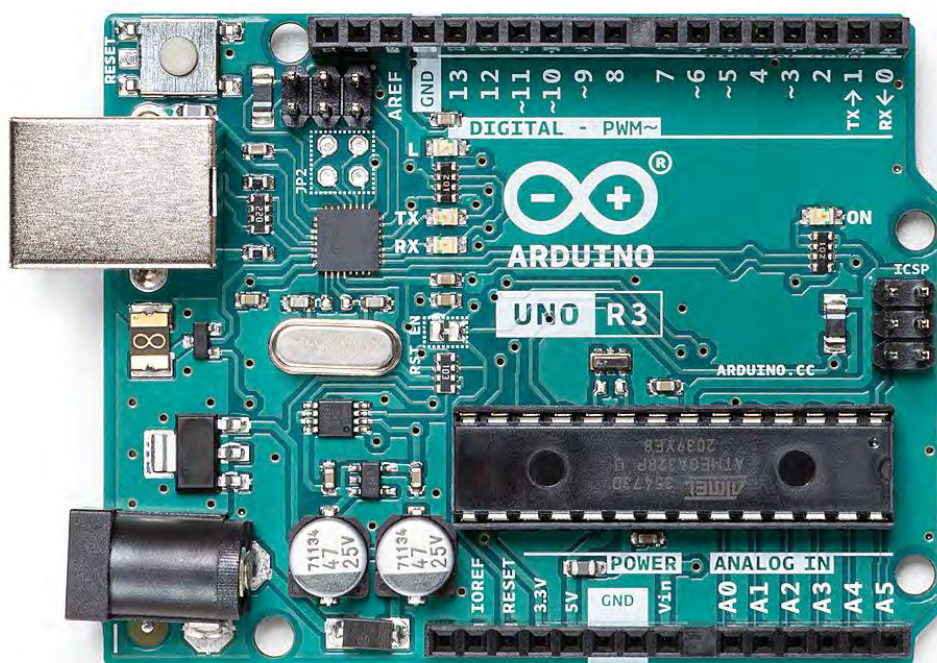


Рис. 2.7. Мікроконтролер Arduino UNO R3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ

Арк.

31

Arduino UNO – це плата мікроконтролера на базі ATmega328P. Вона має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можна використовувати як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, керамічний резонатор 16 МГц, USB-роз'єм, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку скидання (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Основні характеристики мікроконтролера Arduino UNO

№	Параметр	Характеристика
1	Мікропроцесор	ATmega328P
2	SRAM	2 кБ
3	FLASH	32 кБ
4	EEPROM	1 кБ
5	Цифрових входів / виходів	14
6	ШІМ	6
7	Аналогових входів / виходів	6
8	Сила струму	20 мА
9	Вхідна напруга (номінальна)	7-12В
10	Робоча напруга	5В
11	Тактова частота	16 МГц

Крім того, фактично платформа Arduino поділяється на дві частини: апаратну та програмну. Якщо апаратну частину представляє плата для розробки, то програмну – середовище розробки – Arduino IDE. Воно надає спрощену інтегровану платформу, яка може працювати майже на всіх персональних комп'ютерах, і користувачі можуть писати програми для Arduino, використовуючи мову програмування С або С++.

Також, Arduino має дуже велику та активну спільноту користувачів та купу прикладів проєктів.

2. ESP 32

ESP – це потужна та економічно ефективна платформа, яка в основному використовується для розробки застосунків інтернету речей.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільшою особливістю системи є вбудовані Bluetooth та WIFI. Наявність саме цих технологій дуже часто стає вирішальним при виборі мікроконтролера. Так само як і Arduino ця платформа має безліч різноманітних інтерфейсів.

ESP32-DevKitC – це невелика за розміром плата для розробки на базі ESP32, вироблена компанією Espressif[4]. Більшість контактів вводу/виводу виведені на заголовки контактів з обох боків для зручності підключення. Розробники можуть підключати периферійні пристрої за допомогою перемичок або встановлювати ESP32-DevKitC на макетну плату.

ESP32 має багато виводів GPIO, які полегшують підключення та керування зовнішніми пристроями та датчиками. Ці виводи підтримують різноманітні інтерфейси, включаючи SPI, I2C, UART і ШІМ. ESP32 розроблений з урахуванням енергоефективності, що дозволяє розробляти енергоефективні IoT додатки (табл. 2.2).

Таблиця 2.2.

Характеристики ESP32-DevKitC

№	Параметр	Характеристика
1	Мікропроцесор	Xtensa LX6
2	SRAM	520 кБ
3	FLASH	4 мБ
4	Цифрових входів / виходів	34
5	ШІМ	16
6	Аналогових входів / виходів	18
7	Сила струму	40 мА
8	Вхідна напруга (номінальна)	5В
9	Робоча напруга	3.3В
10	Тактова частота	240 мГц

Вона пропонує сплячі режими та функції керування живленням, які допомагають зменшити енергоспоживання, що робить її придатною для проектів з живленням від батареї або з обмеженим енергоспоживанням. ESP32 можна

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

підключати до дисплеїв, сенсорних екранів або світлодіодних індикаторів, щоб надати операторам або персоналу зручний інтерфейс.

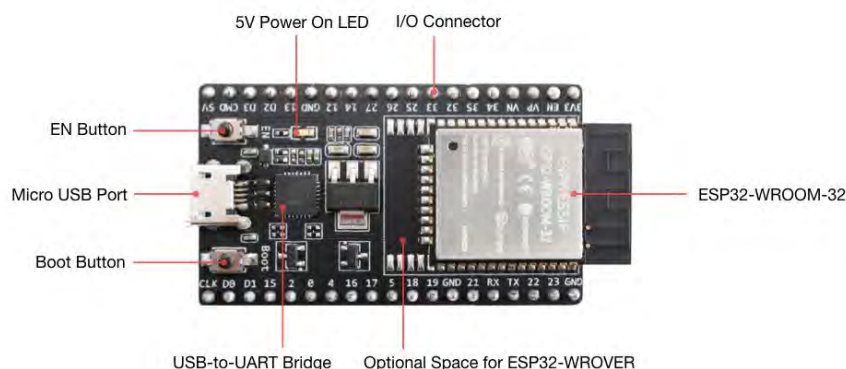


Рис. 2.8. Плата ESP32-DevKitC

ESP32 можна програмувати за допомогою різних середовищ розробки та мов. Найпоширенішою мовою програмування є C++, і її можна запрограмувати за допомогою Arduino IDE або PlatformIO. Крім того, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) надає повний набір бібліотек та інструментів спеціально для розробки ESP32.

3. STM32F103x4

STM32 – це сімейство 32-розрядних мікроконтролерів, розроблених і вироблених компанією STMicroelectronics. Сімейство STM32 включає широкий спектр мікроконтролерів, таких як серії STM32L і STM32F, з різними обсягами пам'яті, інтерфейсами і периферійними пристроями. Мікроконтролери STM32 відомі своїм низьким енергоспоживанням, високою продуктивністю і простотою використання, що робить їх популярним вибором для розробки автоматичних систем.

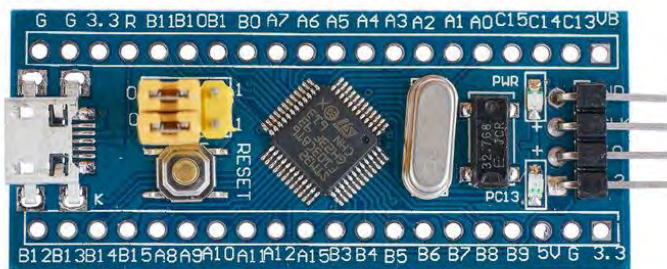


Рис. 2.9. Мікроконтролер STM32F103x4

STM32F103x4 має широкий спектр периферійних пристроїв, включаючи декілька вдосконалених таймерів і лічильників з різними режимами і функціями, такими як захоплення входу, порівняння виходу і генерація ШІМ[5]. Він підтримує різноманітні комунікаційні інтерфейси, включаючи UART, SPI, I2C, USB, CAN та Ethernet.

STM32F103x4 широко використовується в різних сферах, включаючи промислову автоматизацію, побутову електроніку, розумні будинки, охорону здоров'я та автомобільні системи. Завдяки низькому енергоспоживанню, високій швидкості обробки даних і різноманітним периферійним пристроям він підходить для широкого спектру застосувань: керування двигунами, датчиками, людино-машинним інтерфейсом (HMI), USB та іншими комунікаційними інтерфейсами, аудіо- та графічними програмами тощо.

Таблиця 2.3.

Характеристики STM32F103x4

№	Параметр	Характеристика
1	Мікропроцесор	ARM Cortex-M3
2	SRAM	20 кБ
3	FLASH	64 кБ
4	Цифрових входів / виходів	37
5	ШІМ	12
6	Аналогових входів / виходів	10
7	Сила струму	25 мА
8	Вхідна напруга (номінальна)	5В
9	Робоча напруга	3.3В
10	Тактова частота	72 мГц

В цьому проєкті буде використано Arduino UNO через:

- простоту використання;
- дешеву апаратну частину;
- широку підтримку спільноти;

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- гнучкість;
- енергонезалежність.

2.3.2. Вибір електричних двигунів

Двигун є головним елементом для перетворення енергії у механічну. З огляду на це до вибору двигуна для системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей висуваються наступні вимоги:

- низьке енергоспоживання;
- достатній крутний момент;
- компактність і легкість;
- надійність;
- суміжність з мікроконтролером.

Враховуючи визначені вимоги до двигуна для системи було обрано два серводвигуни SG90.

Серводвигуни – це пристрої, які можуть повертатися на певний кут або в певне положення[6]. Вони будуть використовуватися для переміщення сонячних панелей. Серводвигуни мають три дроти: силовий, заземлення та сигнальний. Провід живлення зазвичай червоного кольору і повинен бути підключений до контакту 5V на платі Arduino. Дріт заземлення зазвичай чорного або коричневого кольору і повинен бути підключений до контакту заземлення на платі. Сигнальний провід зазвичай жовтого або оранжевого кольору і повинен бути підключений до виводу ШІМ на платі.



Рис. 2.10. Серводвигун SG90

Мікроконтролер надсилає ШІМ-сигнали до серводвигуну, а потім вбудована плата в сервоприводі отримує сигнали через сигнальний вивід і керує двигуном, що знаходиться всередині, для повороту. В результаті двигун приводить в дію систему передач, а потім приводить в рух вал після уповільнення. Вал і потенціометр серводвигуну з'єднані разом. Коли вал обертається, він приводить в рух потенціометр, тому потенціометр виводить сигнал напруги на вбудовану плату. Потім плата визначає напрямок і швидкість обертання на основі поточного положення, тому вона може зупинитися точно в потрібному положенні, як визначено, і утримуватися там.

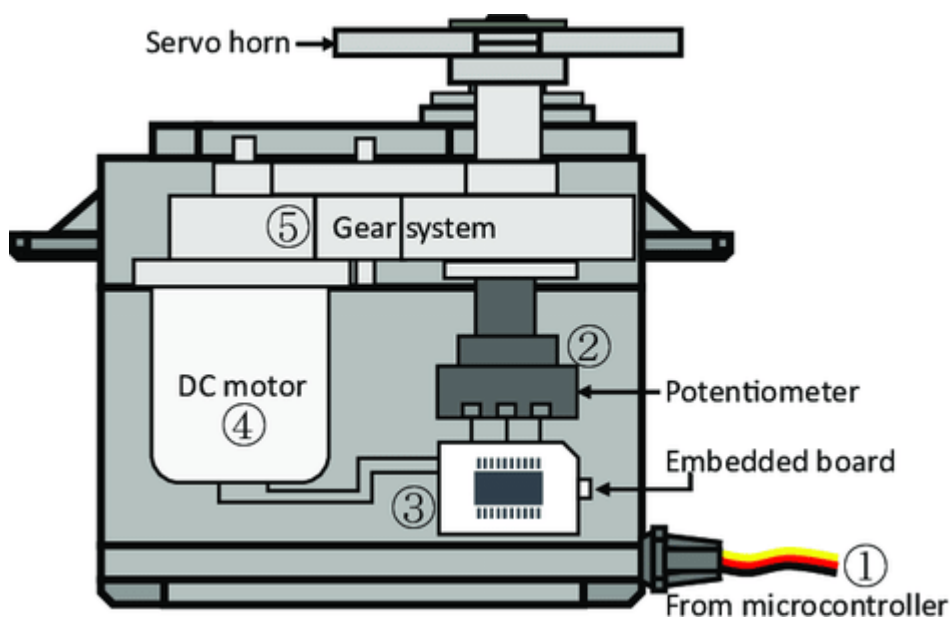


Рис. 2.11. Внутрішній вигляд серводвигуна

Кут визначається тривалістю імпульсу, який подається на дріт керування, тобто широтно-імпульсною модуляцією. Серводвигун очікує отримати імпульс кожні 20 мс. Тривалість імпульсу визначає, наскільки серводвигун повернеться.

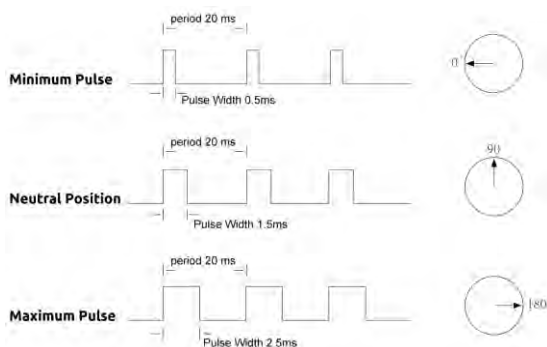


Рис. 2.12. Залежність повороту двигуна від тривалості імпульсу

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Наприклад, імпульс тривалістю 1,5 мс змусить серводвигун повернутися на 90 градусів (нейтральне положення). Коли на серводвигун надсилається імпульс тривалістю менше 1,5 мс, серводвигун повертається в положення і утримує вихідний вал на кілька градусів проти годинникової стрілки від нейтральної точки. Коли імпульс довший за 1,5 мс, відбувається протилежне. Мінімальна та максимальна тривалість імпульсу, який командує серводвигуну повернутися в потрібне положення, залежить від конкретного серводвигуну. Зазвичай імпульс буде приблизно 0,5 мс ~ 2,5 мс завширшки.

2.3.3. Вибір датчиків світла.

Для будь-якої системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей треба визначити спосіб відстеження Сонця. Раніше вже було розглянуто, що відстежування положення Сонця поділяється на активний та пасивний методи. В нашому проєкті доцільно використати саме активні методи, тобто фоторезистори.

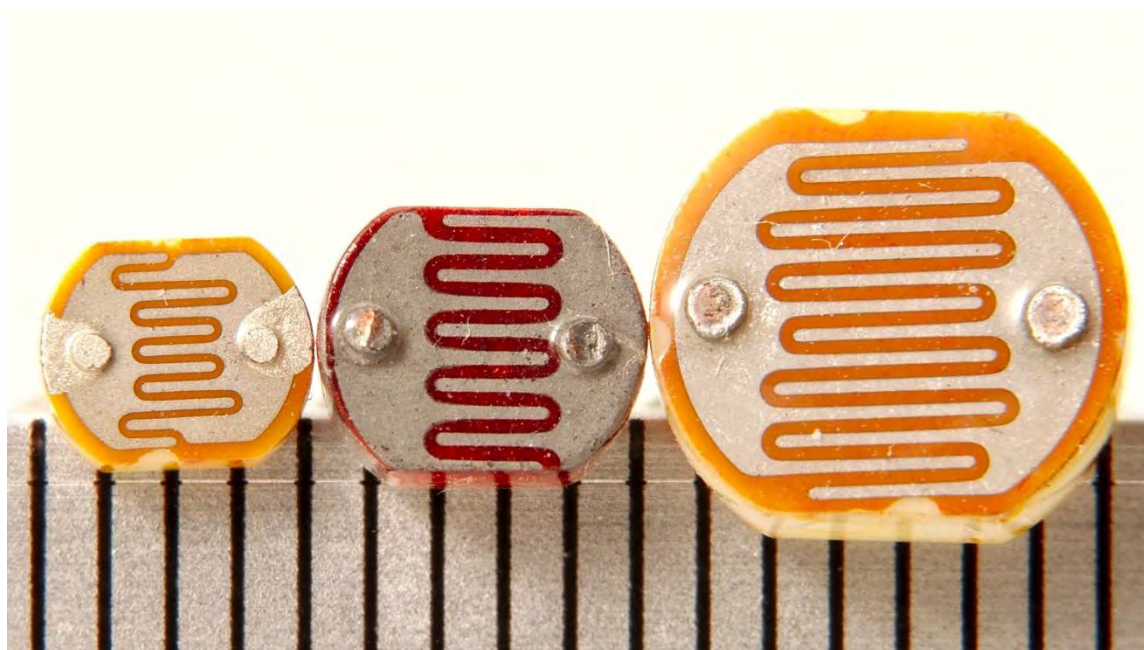


Рис. 2.13. Три фоторезистора різних розмірів

Фоторезистор – це датчик, який змінює свій опір, коли на нього падає світло. Створюваний опір змінюється в залежності від інтенсивності світла, що падає на його поверхню. Висока інтенсивність світла, що падає на поверхню, спричиняє менший опір, тоді як менша інтенсивність світла спричиняє більший опір.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Коли світло падає на фоторезистор, фотони поглинаються напівпровідниковим матеріалом. Енергія фотона поглинається електронами. Коли ці електрони набувають достатньої енергії, щоб розірвати зв'язок, вони переходять у зону провідності. Завдяки цьому опір фоторезистора зменшується. Зі зменшенням опору провідність збільшується[8].

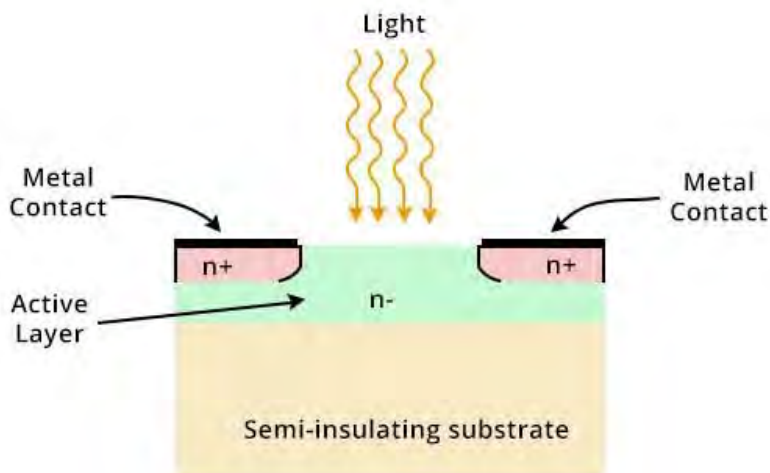


Рис. 2.14. Принцип роботи фоторезистора

Щоб визначати положення Сонця треба розташувати сенсори хрестом та розділити непрозорими стінками. Вони мають бути розташовані на півночі, півдні, заході та сході. Через це нам знадобиться чотири фоторезистори.

2.3.4. Вибір дисплею.

Для реалізації модуля користувацького інтерфейсу нам необхідний пристрій виведення, на якому користувач зможе бачити всю необхідну інформацію. Одним з найпоширеніших рішень в цьому напрямку є рідкокристалічні дисплеї.

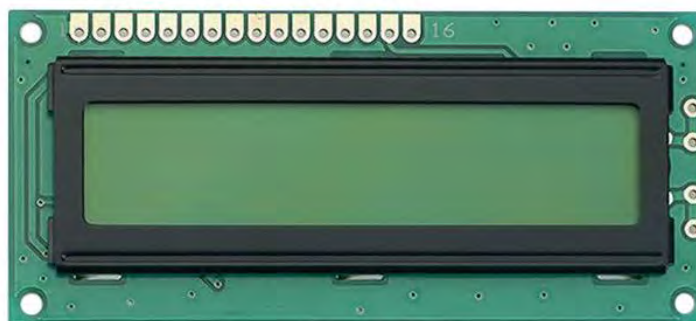


Рис. 2.15. Рідкокристалічний дисплей

Рідкокристалічний дисплей (РК-дисплей) – це плоский дисплей або інший електронно-модульований оптичний пристрій, який використовує світломодулюючі властивості рідких кристалів у поєднанні з поляризаторами для відображення інформації[7].

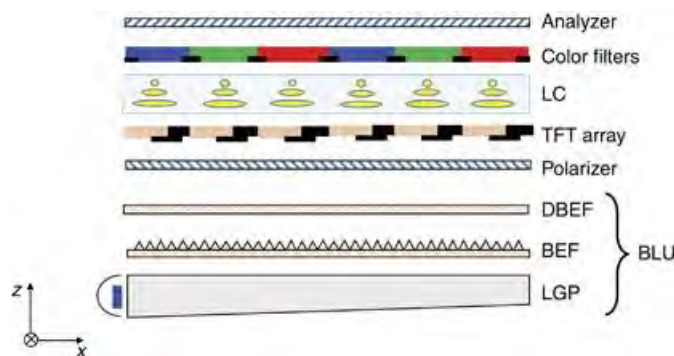


Рис. 2.16. Схема РК-дисплею

Рідкокристалічні (РК) матеріали не випромінюють світло, тому для підсвічування панелі дисплея зазвичай потрібен блок підсвічування (за винятком відбивних дисплеїв). На рисунку 2.16 зображено TFT-дисплей з бічним підсвічуванням. Світло, що падає на екран, проходить через світло провідну пластину і кілька плівок, а потім модулюється шаром РК, затиснутим між двома перехрещеними поляризаторами.

Таблица 2.4.

Характеристика РК-дисплею LCD 1602

№	Параметр	Характеристика
1	Кількість символів	16 символів×2 рядки
2	Розміри модуля	80×36×13.2 мм
3	Видима область	66×16 мм
4	Активна область	56.2×11.5 мм
5	Розмір точки	0.55×0.65 мм
6	Крок точки	0.6×0.7 мм
7	Розмір символу	2.95×5.55 мм
8	Крок символу	3.55×5.95 мм
9	Підсвітка	світлодіодна, триколірна

2.3.5. Вибір резисторів, потенціометрів та кнопкового вимикача.

Резистор – це пасивний двоконтактний електронний компонент, який реалізує електричний опір як елемент схеми. В електронних схемах резистори використовуються для зменшення сили струму, регулювання рівня сигналу, поділу напруги, зміщення активних елементів і термінації ліній електропередач, а також для інших цілей[9].

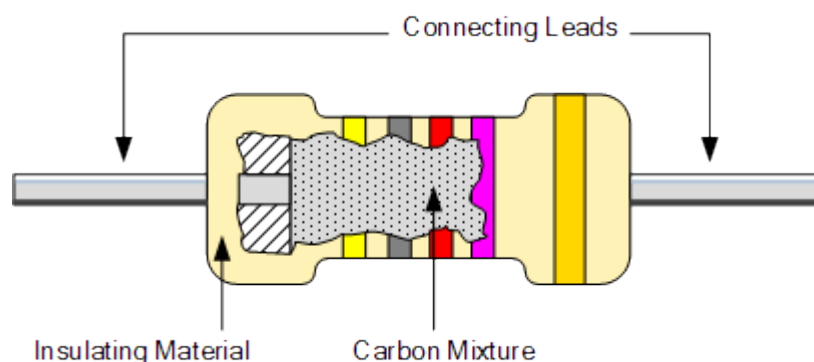


Рис. 2.17. Внутрішня будова резистора

В нашій системі чотири резистори виступають в якості дільників напруги для фоторезисторів. Розрахувати потрібний нам номінал можна за формулою:

$$R = \sqrt{R_{\min} \cdot R_{\max}}, \quad (2.1)$$

де $R_{\min}$ – опір фоторезистора при максимальному світлі, $R_{\max}$ – при темряві.

Підставимо значення опорів:

$$R = \sqrt{4000\Omega \cdot 9\text{к}\Omega} \approx \sqrt{3.6 \cdot 10^6} \approx 1.9\text{к}\Omega, \quad (2.2)$$

Проте, надмірна чутливість до слабкого світла може викликати помилкові корекції орієнтації у сутінках або в умовах часткового затемнення. Через що було вирішено використати чотири фоторезистори номіналом 10 кОм. Додатково також для системи знадобиться один резистор 220 Ом для рідкокристалічного дисплею.

Потенціометр – це триконтактний змінний резистор, який дозволяє регулювати поділ напруги в електричному ланцюзі. Він функціонує, змінюючи опір по своїй довжині, забезпечуючи спосіб керування вихідною напругою. Історично потенціометри еволюціонували від простих реостатів, що використовувалися в ранніх радіо- і телекомунікаційних пристроях, до складних компонентів сучасної

електроніки. Спочатку вони були великими і громіздкими, але розвиток матеріалів і технологій виробництва зробив їх більш компактними і точними[10].

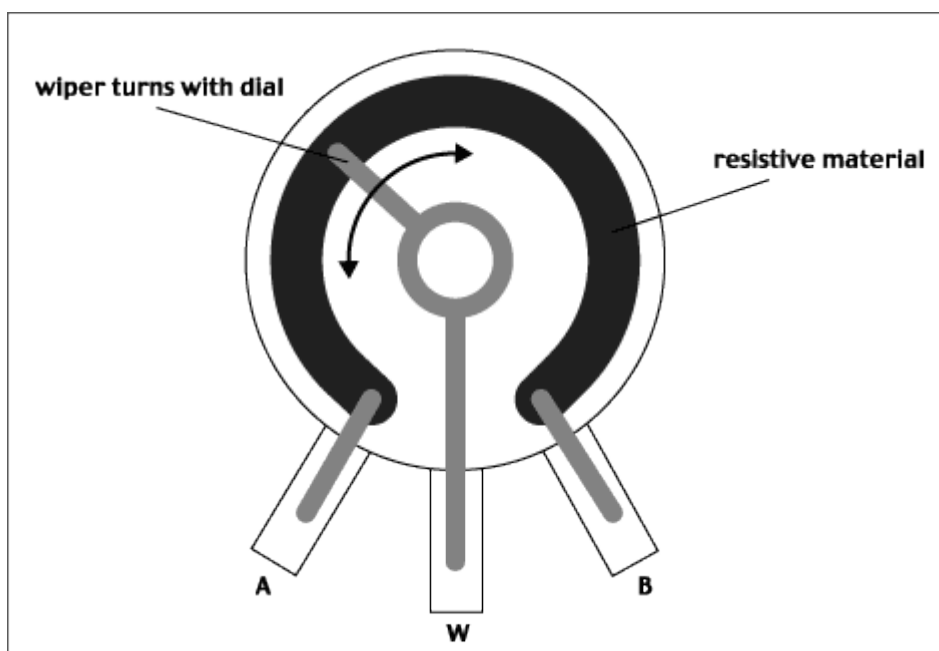


Рис. 2.18. Внутрішня будова потенціометру

В нашій системі автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей потенціометри будуть частиною користувацького інтерфейсу. Два будуть використовуватись для ручного регулювання положення панелей, а третій буде регулювати яскравість дисплею. Типові потенціометри номіналом 10кОм, нам такий номінал підходить без додаткових розрахунків.

Невід'ємною частиною як модуля користувацького інтерфейсу так і всієї системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей є кнопка. Кнопка дає нам можливість реалізувати аварійне зупинення роботи системи.

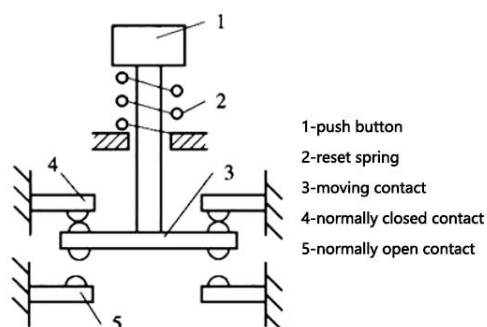


Рис. 2.19. Принцип роботи кнопкового вимикача

Кнопковий вимикач – це простий, але універсальний електричний вимикач, який використовується для замикання або розмикання електричного кола натисканням кнопки. Ці вимикачі бувають різних форм і розмірів, але всі вони мають один і той самий фундаментальний принцип: натискання на кнопку змінює стан вимикача з розімкнутого на замкнутий або навпаки. Ця дія, що часто супроводжується клацанням, завершує або розриває електричний ланцюг, увімкнувши або вимкнувши функцію пристрою[11].

В нашій системі буде лише одна кнопка, окрім вимкнення системи вона також буде задіяна у реалізації користувацького інтерфейсу.

2.4. Висновки до розділу 2.

Було визначено технічні вимоги до системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей з урахуванням умов експлуатації. Зокрема система повинна забезпечувати:

- енергоефективність та автономність за рахунок низького споживання електроенергії елементами системи;
- точне визначення положення Сонця за допомогою світлочутливих сенсорів;
- зміну положення панелі за допомогою виконавчих механізмів;
- зручний користувацький інтерфейс.

Далі було розроблено структурну схему для розуміння особливостей взаємодії різних частин системи. Крім того було створено також принципову електричну схему, де графічно позначено електричні з'єднання між компонентами пристрою. Це дозволило нам проаналізувати які саме компоненти нам потрібні.

Наостанок було обґрунтовано вибір мікроконтролера Arduino UNO через його енергоефективність, зручність роботи та низьку вартість як самої платформи так і її периферії. Також було вибрано фоторезистори через їх ефективність, точність та сумісність з мікроконтролером. Наступними було обрано серводвигуни SG90 через їх надійність, доступність та просте керування. Для забезпечення потреб користувацького інтерфейсу було обрано рідкокристалічний екран LCD1602 через

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

його низьке енергоспоживання, вартість та надійність. В кінці було обрано резистори та розраховано їх номінали, крім того також було обрано елементи ручного керування користувача такі як потенціометри та кнопку.

					<i>ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ

3.1. Розробка алгоритму керування мікроконтролером.

Алгоритм – це набір інструкцій, призначений для виконання певного завдання. Алгоритми зазвичай приймають один або кілька вхідних даних, систематично виконують їх через низку кроків і видають один або кілька результатів. Алгоритми зазвичай пов'язані з обчисленнями і є важливим елементом комп'ютерного програмування[12]. В нашій системі буде декілька алгоритмів, пов'язаних між собою. Перший – алгоритм керування мікроконтролером (рис.3.1).

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.1. Алгоритм роботи мікроконтролера

Призначення алгоритму мікроконтролера у централізованому керуванні роботою всієї системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей.

Його завдання:

- ініціалізовувати та опитувати всі модулі;
- на основі даних з сенсорів приймати рішення;
- формувати керуючі сигнали для двигунів;
- перемикання між автоматичним та ручним режимами роботи;
- забезпечення енергетичної ефективності, розташовуючи панель оптимально до Сонця.

Вхідні дані до алгоритму – це рівні напруги з фоторезисторів, або значення з потенціометрів.

Вихідні дані – це сигнали на двигуни, що змінюють положення панелі.

Принцип роботи алгоритму полягає у тому, що мікроконтролер спочатку визначає чи працює система в автоматичному режимі. Якщо так, то далі він зчитує значення з чотирьох фоторезисторів (рис. 3.2).

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.2. Модуль алгоритму з порівнянням значень фоторезисторів

Далі мікроконтролер порівнює між собою значення східного та західного резисторів. Якщо значення східного більше, то далі мікроконтролер генерує сигнал для двигуна на поворот панелей на захід. Якщо ж навпаки більше значення західного, то мікроконтролер подає сигнал для повороту на захід.

Далі система перевіряє між собою значення північного та південного сенсорів (рис.3.3). Якщо значення північного сенсору більше, то мікроконтролер надсилає сигнал на поворот панелі південніше, якщо навпаки значення південного більше, то сигнал надсилається для повороту на північ.

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.3. Модуль алгоритму з порівнянням значень фоторезисторів

У випадку якщо всі значення виявляються рівними, то панель залишається на місці.

У випадку коли мікроконтролер визначає, що система працює у ручному режимі він не зчитує значення датчиків. Замість цього він отримує значення двох потенціометрів (рис.3.4). Один потенціометр відповідає за поворот по осі схід-захід, а інший за північ-південь. Це дозволяє одночасно вирівнювати панелі по обом осям.



Рис. 3.4. Модуль алгоритму з отриманням значень від потенціометрів

Цей алгоритм є циклічним, тому він постійно перевіряє всі умови та змінює положення панелей відповідно до потреби.

3.2. Розробка алгоритму керування серводвигунами.

Призначення алгоритму роботи серводвигунами – це забезпечення точного позиціонування панелі на основі команди, отриманої від мікроконтролера (рис.3.5).

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.5. Алгоритм роботи серводвигунів

Завдання алгоритму:

- Отримати бажане положення;
- Зчитати поточне положення;
- Прийняти потрібне положення.

Вхідні дані до алгоритму – це бажаний кут повороту, отриманий від мікроконтролера, поточний кут, отриманий з внутрішнього потенціометру.

Вихідні дані – прийняте задане положення.

Принцип його роботи полягає у тому, що двигун отримає команду від мікроконтролера про прийняття нового положення. Далі він зчитує поточне своє положення за допомогою внутрішнього потенціометру. Далі він обчислює різницю між бажаним та поточним кутом і вирішує чи треба змінювати положення. Якщо треба, то двигун змінює положення. Це відбувається циклічно, поки двигун не досягне бажаного положення.

3.3. Розробка інтерфейсу користувача.

Головна ціль користувацького інтерфейсу – це забезпечити ефективну зручну та інтуїтивну взаємодію користувача з системою (рис.3.6). Для роботи інтерфейсів також складають алгоритми як і для будь-якої апаратної частини системи. Хоча користувацький інтерфейс системи не виконує обчислень, планування його є важливим для коректної роботи системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначення алгоритму роботи інтерфейсу користувача – забезпечення взаємодії оператора з системою для зміни режиму роботи, зміни положення панелі і відображення стану системи.

Завдання алгоритму:

- Отримувати вхідні команди від користувача;
- Передавати вибрані режими та параметри на мікроконтролер;
- Відображати поточний стан системи.

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.6. Алгоритм роботи інтерфейсу

Вхідні дані до алгоритму роботи інтерфейсу користувача – це сигнали від кнопки про зміну режиму роботи, значення потенціометрів, дані з мікроконтролера про поточний стан системи.

Вихідні дані – команда мікроконтролеру про вибраний режим роботи, вивід інформації на дисплей.

Принцип роботи користувацького інтерфейсу для системи автоматичного керування сонячними панелями полягає у зчитуванні поточного стану системи: ручний чи автоматичний. Якщо режим автоматичний, то система зчитує показники датчиків світла. Інакше коли система перебуває в ручному режимі, то система зчитує показники потенціометрів. Далі, не залежно від режиму системи, вона виводить ці показники на дисплей щоб проінформувати користувача. Алгоритм працює циклічно.

3.4. Розробка програмного забезпечення системою автоматичного керування сонячними панелями.

Програмне забезпечення реалізовано на мові C++ з використанням середовища Arduino IDE. Основна мета – забезпечення керування серводвигунами для повороту панелі у потрібному напрямку.

```

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(BTN_PIN, INPUT_PULLUP);

  servoX.attach(SERVO_X_PIN);
  servoY.attach(SERVO_Y_PIN);
  servoX.write(posX);
  servoY.write(posY);

  Serial.begin(9600);
}

```

Рис. 3.7. Програмний модуль ініціалізації

Спочатку розглянемо ініціалізацію. У функції setup() здійснюється конфігурація РК-дисплею, ініціалізація серводвигунів, встановлення початкового положення та підключення кнопки через внутрішнє підтягування.

```

void handleModeToggle() {
  bool reading = digitalRead(BTN_PIN);
  if (reading != lastBtn) lastDebounce = millis();

  if ((millis() - lastDebounce) > DEBOUNCE) {
    if (reading == LOW && !btnLatch) {
      autoMode = !autoMode;
      btnLatch = true;
      Serial.println("Mode toggled");
    } else if (reading == HIGH) {
      btnLatch = false;
    }
  }
  lastBtn = reading;
}

```

Рис. 3.8. Програмний модуль алгоритму перемикання режимів

Далі розглянемо перемикання режимів з автоматичного у ручний та навпаки. Кнопка, підключена до BTN_PIN, тобто контакту кнопки, дозволяє перемикати режим керування. У функції handleModeToggle() реалізовано алгоритм який захищає кнопку від брязкотіння контактів. Брязкіт контактів – небажане замикання і розмикання контактів під час натискання кнопки. В нашій системі ця проблема

вирішена за допомогою використання таймера. Після натискання кнопки режим змінюється на протилежний.

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.9. Програмний модуль автоматичного режиму

У автоматичному режимі активується функція `autoControl()`. Зчитуються аналогові значення з фоторезисторів, що встановлені на півночі, сході, півдні та заході. Отримані значення виводяться на користувацький інтерфейс. Функція `adjustToLight()` обчислює різницю освітленості між схід-захід та північ-південь. Наступним кроком ці значення передаються до функції `adjustAxis()`, яка на основі константи `THRESHOLD` коригує положення серводвигунів. `THRESHOLD` можна змінювати відповідно до потреб системи.

надається за зверненням до розробників

Рис. 3.10. Програмний модуль ручного режиму

У ручному режимі активується функція `manualControl()`. В цьому режимі зчитуються значення з двох потенціометрів. Далі значення масштабується функцією `map()` до діапазону зміщення положення. Це зроблено для того, щоб при переключенні системи вона приймала значення потенціометрів не як бажане положення панелей, а як швидкість і напрямок повороту. Це може захистити панель від різкого повороту при випадковому, а бо просто переключенні режимів.

В обох режимах на дисплей виводиться поточна інформація про систему. Тобто або дані з фоторезисторів, або з потенціометрів.

3.5. Апробація працездатності алгоритмічно-програмного забезпечення.

Апробація працездатності алгоритмічно-програмного забезпечення здійснювалася у середовищі Tinkercad.

Tinkercad – це платформа що дозволяє досить реалістично симулювати поведінку мікроконтролера та його периферії для перевірки працездатності програмного забезпечення без потреби у фізичному збирані пристрою.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Tinkercad має у собі всі необхідні нам компоненти, тому це середовище підійде для апробації алгоритмічно-програмного забезпечення.

Під час апробації були змодельовані основні режими роботи. Автоматичне керування рухом двигунів за допомогою зміни значень фотодіодів та ручне керування. Також було перевірено переключення між режимами.

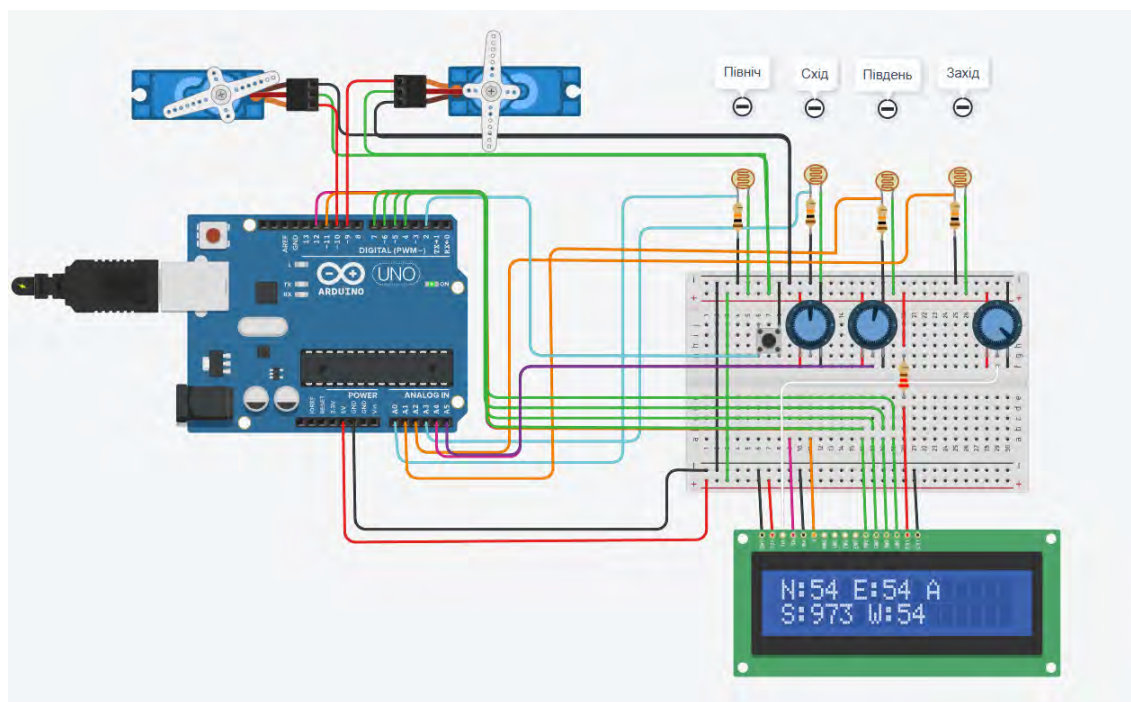


Рис. 3.11. Макет змодельованої системи у Tinkercad

Симуляція дозволила перевірити стабільність логіки. При переключенні режиму з автоматичного на ручний панель зупиняється і перестає рухатись. При переключенні з ручного на автоматичний навпаки починає знову рух. Також була перевірена працездатність виведення інформації на дисплей.

Отже, Tinkercad забезпечив якісне моделювання системи в умовах, максимально наближених до реальних, що підтвердило коректність роботи алгоритмічно-програмного забезпечення.

3.6. Висновки по розділу 3.

У цьому розділі було розроблено алгоритм програмного забезпечення. В результаті алгоритм складається з трьох окремих частин системи. Алгоритм роботи

мікроконтролера забезпечує керування всією системою. Має два режими роботи. В ручному режимі зчитує напругу з фоторезисторів та основі їх даних надсилає команди серводвигунам. Алгоритм серводвигунів реалізує точно позиціонування. Він отримує команду від мікроконтролера і на його основі зміню положення панелі. Алгоритм інтерфейсу користувача реалізує взаємодію користувача з системою. Головне його завдання відображати дані на дисплеї. Також він обробляє натискання кнопки, змінює режим та зчитує значення потенціометрів і надсилає всі дані на мікроконтролер.

Далі було реалізовано програмне забезпечення у середовищі Arduino IDE. Для програмування використовувалась мова C++. Реалізовано було всі заплановані функції.

В кінці було проведено апробацію програмного забезпечення у середовищі Tinkercad. В результаті експерименту було підтверджено працездатність системи та адекватну роботу всього функціоналу.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОНАНИХ РОЗРОБОК

Метою економічного обґрунтування – є підтвердження економічної ефективності запропонованої системи.

Загальна вартість системи – 520 грн. Вартість кожного окремого компонента виведено у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1.

Вартість кожного компоненту системи

№	Назва	Кількість	Ціна, грн
1	Arduino UNO	1	250
2	Фоторезистор	4	5
3	Резистор 10 кОм	4	1
4	Резистор 220 Ом	1	1
5	Серводвигун SG90	2	60
6	LCD1602 дисплей	1	90
7	Потенціометр 10 кОм	3	10
8	Кнопковий вимикач	1	5

Система забезпечує значне зменшення витрат на електроенергію та має потенціал для генерування прибутку.

Розрахунок окупності:

Потужність панелі – 20 Вт

Час генерації на повну потужність – ≈ 12 годин

Добове виробництво:

$$20 \text{ Вт} \cdot 12 \text{ год} = 240 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 0.24 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (4.1)$$

За «зеленим» тарифом або ринковою ціною:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 4.32 \Rightarrow 0.24 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 4.32 \approx 1.04 \text{ грн/день} \quad (4.2)$$

Період для заробітку 520 грн:

$$520 \div 1.04 = 500 \text{ днів}$$

Тобто окупність півтора роки.

Отже, розроблена система є економічно доцільною, що підтверджується загальною вартістю 520 грн та розрахунком окупності. Терміни окупності становлять приблизно півтора року. Впровадження системи забезпечує значне зменшення витрат на електроенергію та потенційно генерує прибуток, що підвищує загальну ефективність енергоспоживання.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У першому розділі дипломного проєкту було детально проаналізовано сучасний стан проблеми автоматичного керування сонячними панелями. Також визначено принцип роботи систем автоматичного керування сонячними панелями. Існує два типи визначення положення Сонця. Перший спосіб: активний, за допомогою фоторезисторів. Другий спосіб: алгоритмічне вираховування положення на основі даних з GPS модуля.

Далі було визначено, що існують два основних типи сонячних трекерів – одно- та двовісні. Одновісні також поділяються ще на три види: горизонтальні, вертикальні та нахилені. Двовісні в свою чергу поділяються на екваторіальні та азимутно-висотні.

Наступними було розглянуто актуальність, переваги та проблеми систем автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей. Визначено, що такі системи є актуальним в наш час через можливість підвищення ККД сонячних панелей. Крім того системи є ефективнішими за статичні і дозволять значно збільшити виробіток електроенергії сонячними панелями. Однак, системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей можуть бути досить дорогими, не підходять для використання на дахах будинків та вимагають великої площі для запобігання затінення сусідніх систем.

Було сформульовано мету дипломного проєкту: розробка автоматизованої системи орієнтації сонячних панелей для максимально ефективного перетворення сонячної енергії в електричну та визначено основні завдання

Також було визначено технічні вимоги до системи автоматичного керування орієнтацією сонячних панелей з урахуванням умов експлуатації. Зокрема система повинна забезпечувати:

- енергоефективність та автономність за рахунок низького споживання електроенергії елементами системи;
- точне визначення положення Сонця за допомогою світлочутливих сенсорів;
- зміну положення панелі за допомогою виконавчих механізмів;
- зручний користувацький інтерфейс.

					ДІП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після визначення технічних вимог розроблено структурну схему для розуміння особливостей взаємодії різних частин системи. Крім того було створено також принципову електричну схему, де графічно позначено електричні з'єднання між компонентами пристрою. Це дозволило нам проаналізувати які саме компоненти нам потрібні.

Після чого було обґрунтовано вибір мікроконтролера Arduino UNO через його енергоефективність, зручність роботи та низьку вартість як самої платформи так і її периферії. Також було вибрано фоторезистори через їх ефективність, точність та сумісність з мікроконтролером. Наступними було обрано серводвигуни SG90 через їх надійність, доступність та просте керування. Для забезпечення потреб користувацького інтерфейсу було обрано рідкокристалічний екран LCD1602 через його низьке енергоспоживання, вартість та надійність. В кінці було обрано резистори та розраховано їх номінали, крім того також було обрано елементи ручного керування користувача такі як потенціометри та кнопку.

В наступному розділі розроблено алгоритм програмного забезпечення. В результаті алгоритм складається з трьох окремих частин системи. Алгоритм роботи мікроконтролера забезпечує керування всією системою. Має два режими роботи. В ручному режимі зчитує напругу з фоторезисторів та основі їх даних надсилає команди серводвигунам. Алгоритм серводвигунів реалізує точне позиціонування. Двигун отримує команду від мікроконтролера і на його основі змінює положення панелі. Алгоритм інтерфейсу користувача реалізує взаємодію користувача з системою. Головне його завдання відображати дані на дисплеї. Також цей модуль обробляє натискання кнопки, змінює режим та зчитує значення потенціометрів і надсилає всі дані на мікроконтролер.

Далі було реалізовано програмне забезпечення у середовищі Arduino IDE. Для програмування використовувалась мова C++. Реалізовано було всі заплановані функції.

Проведено апробацію програмного забезпечення у середовищі Tinkercad. В результаті експерименту було підтверджено працездатність системи та адекватну роботу всього функціоналу.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завершальним етапом стала економічна оцінка доцільності впровадження розробленої системи. Отримані результати підтверджують економічну доцільність реалізації системи в умовах обмеженого бюджету. Її використання дозволяє підвищити ефективність генерації енергії без значних фінансових витрат, що робить проєкт перспективним для застосування в побутових або малих комерційних установках.

Таким чином, усі поставлені завдання дипломного проєкту були виконані в повному обсязі, а розроблена система довела свою ефективність, економічну доцільність і готовність до практичного застосування.

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Britannica. Solar tracker. URL: <https://www.britannica.com/technology/solar-tracker> (дата звернення: 28.06.2025).
2. Wikipedia. Solar tracker. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker (дата звернення: 28.06.2025).
3. Arduino Documentation. UNO R3. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/> (дата звернення: 30.06.2025).
4. Espressif. ESP32-DevKitC. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32/esp32-devkitc/index.html#esp32-devkitc> (дата звернення: 30.06.2025).
5. ALLDATASHEET. STM32F103X4. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/303541/STMICROELECTRONICS/STM32F103X4.html> (дата звернення: 30.06.2025).
6. SunFounder. Servo Motor (SG90). URL: https://docs.sunfounder.com/projects/ultimate-sensor-kit/en/latest/components_basic/27-component_servo.html (дата звернення: 30.06.2025).
7. Arduino Documentation. Liquid Crystal Displays (LCD). URL: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays/> (дата звернення: 30.06.2025).
8. Components101. Light dependent resistors. URL: http://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/LDR%20Datasheet.pdf (дата звернення: 30.06.2025).
9. Britannica. Resistor. URL: <https://www.britannica.com/technology/resistor> (дата звернення: 30.06.2025).
10. Keysight. The (Complete) Engineers Guide to Potentiometers. URL: <https://www.keysight.com/used/us/en/knowledge/guides/potentiometer-guide> (дата звернення: 30.06.2025).
11. ATO. Introduction of Push Button Switch. URL: <https://www.ato.com/introduction-of-push-button-switch> (дата звернення: 30.06.2025).

					ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

12. Introduction to Algorithms / T. Cormen та ін. MIT Press, 2001. 1180 с. ISBN 97802620329330262032937.

13. Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels / A. Hammoumi та ін. Energy Reports. 2022. Т. 8. С. 11992–12010. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.054>.

14. Racharla S., Rajan K. Solar tracking system – a review. International Journal of Sustainable Engineering. 2017. URL: <https://doi.org/10.1080/19397038.2016.1267816>.

15. A Review and Comparative Analysis of Solar Tracking Systems / R. Sadeghi та ін. Energies. 2025. Т. 18. URL: <https://doi.org/10.3390/en18102553>.

16. Sharma S., Jain K., Sharma A. Solar Cells: In Research and Applications—A Review. Materials Sciences and Applications. 2015. Т. 6. С. 1145–1155. URL: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/msa.2015.612113>.

					<i>ДП.ПМ-11.04.21.000.ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		