

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

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»

на тему: «Система автоматичного позиціонування сонячної панелі»

Здобувача групи СУдн-01п

Груші Максима Олександровича

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

_____ Максим Груша

Керівник: доцент, к.ф.-м.н. Павлов А.В.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. листів	№ екз.	Примітка
1			<u>Документація загальна</u>			
2						
3	A4		Завдання кафедри	2		
4						
5	A4		Анотація	1		
6	A4		Технічне завдання	2		
7	A4	СУдн-01п .151. 01 ПЗ	Пояснювальна записка	53		
8						
9						
10						
11			<u>Документація конструкторська</u>			
12						
13	A3	СУдн-01п .151. 01 С1	Система автоматичного позиціонування сонячної панелі. Схема структурна	1		
14	A3	СУдн-01п .151. 01 С2	Система автоматичного позиціонування сонячної панелі. Схема функціональна автоматизації	1		
15						
16						
17						

					СУдн-01п. 151. 01 ВП			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Система автоматичного позиціонування сонячної панелі. Відомість проекту</i>	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Груша М.О.					1	1
Перевір.		Павлов А.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Павлов А.В.						
Затверд.		Леонтьєв П.В.				СумДУ, СУдн-01п		

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри КСУ
П.В. Леонтєв
« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра здобувачу вищої освіти

Груші Максиму Олександровичу

- 1 Тема кваліфікаційної роботи: Система автоматичного позиціонування сонячної панелі
затверджено наказом ректора СумДУ № 0451-VI від «29»04. 2024 р.
- 2 Термін здачі студентом закінченого проекту «12» 06. 2024 р.
- 3 Вихідні дані до кваліфікаційної роботи : Завдання кафедри, технічний опис сонячних трекерів, вимоги системи автоматизації
- 4 Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):
 - 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ
 - 2 ОПИС СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ
 - 3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ
 - 4 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ
 - 5 ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 1. Система автоматичного позиціонування сонячної панелі. Схема структурна.
 2. Система автоматичного позиціонування сонячної панелі. Схема функціональна автоматизації.

6 Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу проектування (виконання роботи)	Строк виконання (початок - кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Складання ТЗ. Підбір та аналіз літератури. Огляд аналогів та прототипів.	23.04-01.05.24
2	Огляд літературних джерел	02.05-07.05.24
3	Опис систем позиціонування	08.05-12.05.24
4	Розробка схем автоматизації	13.05-20.05.24
5	Вибір засобів автоматизації	21.05-23.05.24
6	Розробка пристрою керування положенням сонячних панелей	24.05-28.05.24
7	Технічне оформлення проектної документації. Здача проекту керівнику	01.06-12.06.24

7 Дата видачі завдання „22” 04. 2024 р.

Керівник проекту:
доцент, к.ф.-м.н.

Павлов А.В.

Здобувач:
студент групи СУдн-01п

Груша М. О.

АНОТАЦІЯ

Груша Максим Олександрович. Система автоматичного позиціонування сонячної панелі.

Кваліфікаційна робота бакалавра. Сумський державний університет, Суми, 2024.

Кваліфікаційна робота містить 53 аркуші пояснювальної записки, включаючи 34 рисунки, 9 таблиць, 5 додатків, конструкторську документацію, що складається з 2 креслень.

Робота присвячена створенню системи керування положенням сонячних панелей відносно світила.

Обрано оптимальну структуру системи керування з урахуванням відповідних засобів автоматизації, які повинні бути використані. Складено перелік всіх вхідних та вихідних аналогових та дискретних сигналів і, як результат, розроблено функціональну схему автоматизації та таблицю режимів роботи портів введення-виведення головного мікроконтролера для опрацювання всіх необхідних сигналів.

Розроблено пристрій для забезпечення задач керування в системі, за місцем розташування виконуючих пристроїв та давачів сигналів.

Пристрій керування положенням сонячної панелі було спроектовано на рівні двох підсистем: підсистеми керування двигунами за результатами опитування давачів та кінцевих вимикачів (підсистема CSM) та підсистеми збору та передавання діагностичної інформації (підсистема SICT).

Спроектовано та реалізовано веб-інтерфейс пристрою (підсистема SICT), який дозволяє реалізувати підключення пристрою до Wi-Fi - мережі з метою відповідної інтеграції трекінгової системи у спільну інформаційно-керуючу мережу та, за необхідності, розгортання серверної частини з подальшим долученням конкретної трекінгової системи до екосистеми Інтернету речей.

Ключові слова: сигнал, автоматизація, мікроконтролер, модуль, система керування, ESP8266, STM32, Інтернет речей, веб-інтерфейс.

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

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування системи автоматичного позиціонування сонячної панелі

Розробник:
студент групи СУдн-01п

Груша М. О.

Погоджено
керівник проекту

Павлов А.В.

1. Назва та галузь застосування об'єкта проектування.

Система автоматичного позиціонування сонячної панелі.

Призначено для керування трекінговими системами сонячних панелей.

2 Підстава для розробки

Наказ ректора Сумського державного університету. № 0451-VI від 29.04. 2024 р.

3 Мета і призначення розробки

Необхідно вибрати і провести аналіз сучасних апаратних засобів автоматизації, на підставі яких створити систему автоматичного позиціонування сонячної панелі, що забезпечує виконання всіх технологічних вимог.

4 Джерела розробки

Проектна документація, нормативні документи.

5 Режими роботи об'єкта

Система управління передбачає роботу обладнання в автоматичному, дистанційному і ручному режимах.

6 Умови експлуатації агрегату

Об'єкт автоматизації експлуатується в таких кліматичних умовах:

- гранична мінімальна температура зовнішнього повітря - мінус 40 °С;
- гранична максимальна температура зовнішнього повітря - плюс 50 °С;
- відносна вологість зовнішнього повітря - 95 % при температурі + 35 °С;
- атмосферний тиск - від 84 до 107 кПа.

7 Технічні вимоги

Засоби апаратного забезпечення системи автоматизації повинні бути надійними, зручними і безпечними при експлуатації і монтажі.

8 Економічні показники

Економічна ефективність повинна забезпечуватися за рахунок застосування сучасної техніки, що має підвищити якість роботи.

9 Стадії та етапи розробки

Опис систем позиціонування. Розробка схем автоматизації. Вибір засобів автоматизації. Розробка пристрою керування положенням сонячних панелей. Технічне оформлення проектної документації. Здача проекту керівнику.

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр
на тему: «Система автоматичного позиціонування сонячної панелі»

Здобувач групи СУдн-01п

Груша М. О.

Керівник: доцент, к.ф.-м.н.

Павлов А.В.

Суми – 2024

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	8
2 ОПИС СИСТЕМ ПОЗІЦІОНУВАННЯ.....	10
2.1 Опис трекерів.....	10
2.2 Огляд механізмів орієнтування сонячних панелей.....	14
2.3 Склад компонентів трекера.....	15
3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	18
3.1 Структурна схема.....	18
3.2 Функціональна схема.....	18
4 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	21
4.1 Давач освітленості.....	21
4.2 Акселерометр GY-291 ADXL345.....	23
4.3 Магнетометр HMC5883L.....	24
4.4 Кінцеві вимикачі.....	26
4.5 Реле ввімкнення двигунів.....	27
4.6 Привід виконавчого механізму JGY-370-12V-0.6.....	30
4.7 Контролер STM32 Cortex M3 Maple Mini.....	32
4.8 Контролер ESP8266 NODEMCU V3.....	33
4.9 Давач температури DS18B20.....	35
5 ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	36
5.1 Сенсорний модуль для позиціонування сонячних панелей	36
5.2 Пристрій керування положенням сонячної панелі.....	37
5.3 Підсистема керування двигунами.....	38
5.4 Підсистема збору інформації та передача її через мережу.....	41

					<i>СУдн-01п. 151. 01. ПЗ</i>					
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система автоматичного позиціонування сонячної панелі. Пояснювальна записка					
Розроб.	Груша М.О.							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Павлов А.В.								2	53
Реценз.								СумДУ СУдн-01п		
Н. Контр.	Павлов А.В.									
Затвердив	Леонтьєв П.В.									

5.5 Веб-інтерфейс підсистеми SICT.....	42
5.6 Структура коду прошивки модуля підсистеми SICT.....	46
5.7 Структура програми підсистеми CSM.....	46
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТОК А. ОСНОВНА ЧАСТИНА КОДУ прошивки модуля підсистеми SICT.....	54
ДОДАТОК Б. ФУНКЦІОНАЛЬНА ЧАСТИНА КОДУ прошивки модуля підсистеми SICT.....	57
ДОДАТОК В. ЧАСТИНА «loginPage_h» прошивки модуля підсистеми SICT.....	60
ДОДАТОК Г. ЧАСТИНА «serverPage_h» прошивки модуля підсистеми SICT.....	62
ДОДАТОК Д. ЧАСТИНА CSS прошивки модуля підсистеми SICT.....	68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АКБ– акумуляторна батарея;

ДБЖ– джерело безперервного живлення;

ККД– коефіцієнт корисної дії;

САУ– система автоматичного управління;

СЕС– сонячна електростанція;

НМІ– людино-машинний інтерфейс;

SCADA– Система диспетчерського керування та збору даних.

CSM - control subsystem for Motor (модуль підсистеми керування двигунами);

SICT - subsystem information collection module (модуль підсистеми збору інформації)

					<i>СУдн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						4
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

На теперішній час, мабуть, немає такої людини, яка б не стикалася або хоча б не чула про альтернативні джерела енергії. Як часто зараз можна спостерігати батареї сонячних панелей, розташованих на дахах будинків, металевих фермах, міні – панелей на стовпах вуличного освітлення. Дехто встановлює на ділянках присадибних територій вітряки, отримуючи при цьому електроенергію з енергії вітра, батареї спеціальних скляних колб для перетворення сонячної енергії в теплову для підігріву проточної води. Люди все більше намагаються використовувати наявні природні ресурси в якості альтернативних джерел енергії. Цьому, зокрема, сприяє і розвиток науково-технічного прогресу, наявність великої кількості джерел інформації.

Дехто з альтернативним джерелом енергії стикався ще в минулому столітті, із подивом користуючись звичайним калькулятором, оснащеним сонячним елементом живлення.

Зараз використання альтернативних джерел енергії – тема, що достатньо часто обговорюється в засобах масової інформації і в наукових дослідженнях і є достатньо актуальною.

Одна з причин до все більшого застосування альтернативних джерел енергії є екологічна проблема.

Ні для кого не секрет, що при спалюванні газу, нафтопродуктів, вугілля та деревини в атмосферу виділяється велика кількість шкідливих речовин, що забруднюють повітря і воду, руйнують озоновий шар і можуть призвести до більш глобальних екологічних катастроф, спричинених неконтрольованим потраплянням ультрафіолетових променів на поверхню Землі, глобальним потеплінням.

Але основна проблема використання ресурсів, що добуваються з надр Землі полягає в тому, що запаси їх не безмежні і може настати час, коли природні енергетичні ресурси просто вичерпаються. Такі джерела енергії відносяться до не відновлюваних. На відтворення цих ресурсів природним способом потрібний час, який сягає сотень мільйонів років.

					<i>СУдн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						5
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вже зара з кожним роком спостерігається зростання ціни на ці природні енергоресурси, що вочевидь пов'язано із зменшенням їх кількості та збільшення попиту.

Отже, сьогодення вимагає застосування людством більш нетрадиційних, незвичних для суспільства способів існування та розвитку. Одним з яких є саме отримання енергії, використовуючи альтернативні, природні джерела.

Так, за останні десятиріччя людство значно більше стало використовувати природні (відновлювальні) джерела енергії. До таких відносяться енергія сонця, вітру, води, теплова енергія, що виділяється з надр Землі. Окремим напрямком використання природних джерел є біоенергетика.

За даними української енергетичної стратегії, до 2030 року частка енергії, отриманої від альтернативних джерел, має сягати четвертої частини від усього обсягу.

Мабуть одним з найперспективніших та доцільних способів отримання енергії є використання енергії сонця. Це дійсно дуже потужне джерело, що забезпечує планету і світловою і тепловою енергією. Величина енергії сонця, що потрапляє на поверхню планети, в багато разів перевищує ту кількість енергії, яка потрібна людству.

Для вироблення електричної енергії все частіше використовуються сонячні електростанції. Встановлюються великі батареї сонячних панелей для отримання електроенергії промислового масштабу.

Але деякі встановлюють невеликі сонячні електростанції на своїх приватних ділянках, забезпечуючи при цьому своє господарство необхідною електричною енергією. При досить невеликих первинних витратах, пов'язаних з закупівлею обладнання сонячних станцій, термін окупності останніх становить трохи більше двох років. Рентабельність такої електростанції забезпечується використанням так званого «зеленого тарифу», згідно з яким електроенергія, отримана з використанням відновлюваного джерела енергії, купується державою дорожче, ніж енергія від традиційних джерел енергій. Таким чином, держава заохочує виробників такої енергії та сприяє розвитку сонячних електростанцій.

					<i>Судн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						6
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Як при встановленні сонячних панелей на дахах будинків, так і при наземному встановленні необхідно дотримуватись деяких загальних правил.

Перше з яких – встановлення сонячних панелей на найбільш освітлених ділянках, звільнених від перешкод потрапляння сонячних променів.

Друге – спрямування панелей на південь, оскільки сонце в північній півкулі знаходиться з відхиленням на південь.

Третє – необхідність планування кута нахилу панелей, щоб сонячні промені потрапляли на них під кутом, близьким до 90 градусів. Рекомендовано раз в 5-6 місяців змінювати кут нахилу панелей. З наближенням зими піднімати на 10-15 градусів, а з наближенням літа опускати.

Чим гостріший кут між напрямом сонячних променів і панеллю, тим більше втрати ККД. Вони сягають від 1.2% при куті падіння променів 81° до 29% при куті падіння променів 45° [1]. Тобто втрати від зміни кута падіння сонячних променів на панель можуть сягати майже третини.

Виходячи з наведеного вище, необхідно створити систему, яка б в автоматичному режимі змінювала положення сонячних панелей, спрямовуючи їх таким чином, щоб потрапляння сонячних променів на поверхню панелей було б максимальним.

Отже об'єктом автоматизації даної бакалаврської роботи є установка позиціонування сонячної панелі.

					<i>Судн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Основною особливістю ефективного вироблення електричної енергії сонячними панелями є інтенсивність потрапляння сонячного випромінювання на дані панелі. Для кожного регіону розраховується кут оптимального нахилу сонячних панелей при їх встановленні з тим, щоб ККД роботи сонячних панелей був максимальним.

Тобто вираховується таке положення сонячних батарей при стаціонарному встановленні, при якому кут потрапляння сонячних променів на їх поверхні є близьким до 90° протягом максимального періоду часу.

Проте при русі сонця від сходу до заходу кут падіння променів та інтенсивність випромінювання будуть змінюватись, що, звичайно, негативно відобразиться на кількості виробленої електроенергії.

Звичайно, постає задача в забезпеченні такого положення сонячних панелей, при якому інтенсивність потрапляння сонячних променів на їхні поверхні, а отже і кількість генерованої електроенергії буде максимальною. Тобто постає задача в зміні положення сонячних панелей протягом світлового дня.

В роботі [2] проведено розрахунковий аналіз втрат генерованої електроенергії при стаціонарному способі монтажу сонячних панелей. Влітку вони становлять 37-48%, а взимку - 20-80%.

Експериментальні дослідження, проведені авторами статей [3,4] для різних способів монтажу сонячних панелей (нерухомі, з обертанням за однією віссю, з обертанням за двома осями) дають змогу констатувати, що втрати генерованої енергії при стаціонарному розташуванні сонячних панелей порівняно з панелями, оснащеними системами позиціонування, становлять від 15% до 43% залежно від пори року.

В роботі [5] представлені результати досліджень за допомогою моделювання роботи сонячних панелей в різних умовах без адаптивного позиціонування та з

						Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Судн-01п. 151. 01 ПЗ	

одно- та двохосьовим позиціонуванням. Враховувалась кількість генерованої електроенергії та втрати електроенергії на роботу системи позиціонування.

Дослідження проводились для кожного місяця року. Показано, що в літні місяці генерування енергії сонячними панелями дещо зменшується, причиною цього є підвищена температура роботи панелей.

В результаті досліджень зроблено висновок про те, що генерування енергії сонячними панелями з одноосьовим позиціонуванням збільшується на 22,1%, а з двохосьовим позиціонуванням – на 24,2% протягом року в порівнянні зі стаціонарно встановленими сонячними панелями.

Таким чином, актуальність розробки системи позиціонування сонячної панелі є очевидною.

					<i>СУдн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОПИС СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

2.1 Опис трекерів

Шлях руху Сонця для середніх географічних широт для Північної півкулі протягом року представлений на рисунку 2.1.

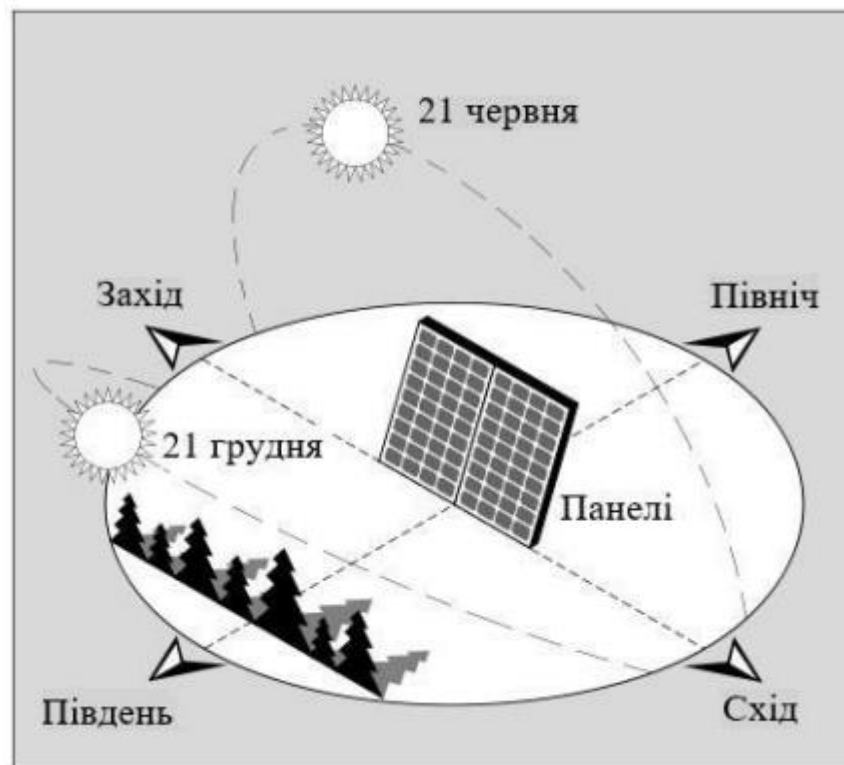


Рисунок 2.1 – Траекторія руху Сонця відносно положення сонячної панелі

Отже Сонце проходить шлях в 360° зі сходу на захід. З позиції фіксованого положення у видимій частині це складає 180° протягом середнього полуденного періода. Проте внаслідок ефекта горизонту ще відбувається зменшення даного шляху, що робить ефективним кут повороту сонячної панелі на кут приблизно 150° .

З метою забезпечення максимальної продуктивності сонячних панелей, як зазначалось раніше, потрібна їх точна орієнтація на Сонце. З цією метою використовується система позиціонування сонячних панелей (трекер), основною

									Лист
									10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

задачею якого є підтримання кута падіння сонячних променів на їх поверхні близьким до 90° .

Класифікація трекерів за конструкцією представлена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Класифікація трекерів

Трекер, що обертається лише в напрямку зі сходу на захід має назву одноосьовий.

Проте одноосьові трекери, що мають одну ступінь свободи (обертаються навколо своєї осі), поділяються на вертикальні (VSAT), горизонтальні (HSAT) та похилі (TSAT).

Вертикальні трекери з віссю обертання, орієнтованою вертикально по відношенню до поверхні Землі (рисунок 1.3). Ця група трекерів використовується переважно у високих широтах і забезпечують обертання панелей зі сходу на захід.



Рисунок 2.3 – Вертикальний одноосьовий трекер

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Горизонтальні трекери з віссю обертання, орієнтованою горизонтально по відношенню до поверхні Землі (рисунок 2.4). Ця група трекерів використовується переважно у низьких широтах і забезпечують обертання панелей з півночі на південь.

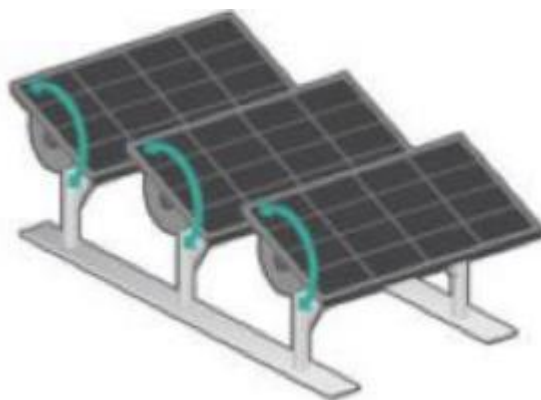


Рисунок 2.4 – Горизонтальний одноосьовий трекер

Трекери з похилою віссю обертання, орієнтованою між горизонтальною та вертикальною (рисунок 2.5).

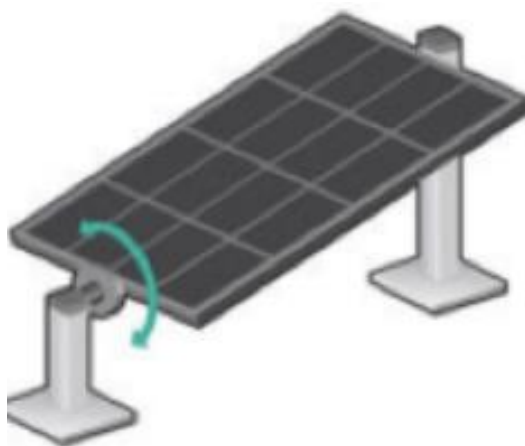


Рисунок 2.5 – Трекер з похилою віссю обертання

Іншим різновидом трекерів є трекери з двома осями обертання (двохосеві трекери DAT). Такі трекери мають два незалежні ступеня свободи, осі не пов'язані між собою, але працюють разом.

Розрізняють дані трекери за направленням їхньої основної осі відносно поверхні землі.

Трекери на несучому стовпі (TTDAT) (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 –Трекер двохосевий TTDAT

Дані трекери відрізняються тим, що панелі монтуються на довгому стовпі, а рух трекера зі сходу на захід здійснюється за рахунок обертання панелей навколо верхнього полюса, де закріплений підшипник. В верхній частині кріпиться механізм, що забезпечує вертикальне обертання панелі.

Трекери з двома осями обертання та опорною площиною (AADAT) (рисунок 2.7). Дані трекери відрізняються тим, що в них головною віссю є вертикальна. Замість обертання панелей навколо стовпа ці трекери зазвичай використовують кільце великого діаметра, встановленого на платформі.



Рисунок 2.7 –Трекер двохосевий AADAT

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

До переваг даного трекера слід віднести розподіл ваги вздовж кільця, що дозволяє даній конструкції розмістити більше сонячних панелей. До недоліків – необхідність більшої площі поверхні під встановлення.

Переваги двоосьового трекера порівняно з одноосьовим очевидні і полягають в більш точному розташуванні сонячних панелей відносно Сонця. Проте до недоліків таких трекерів слід віднести більш високу вартість, а також складну конструкцію, що, безумовно зменшує надійність останніх.

2.2 Огляд механізмів орієнтування сонячних панелей

Керування рухомими елементами трекерів можливе в ручному або автоматичному режимі з використанням актуаторів, які є виконавчими механізмами трекера.

2.2.1 Ручне управління

Управління проводиться актуаторами за допомогою тумблерів. Така корекція проводиться зазвичай від 2 до 4 разів на рік.

2.2.2 Підтримування необхідного спрямування на Сонце здійснюється згідно алгоритма сонячної позиції (рисунок 2.8) і виконується наступними способом.

На блок управління подається інформація про значення азимута і зенітного кута за внутрішнім годинником пристрою, враховуючи місце розташування трекера (висота над рівнем моря, широта, довгота. Згідно алгоритму визначається нове необхідне положення трекера і відбувається його корекція.

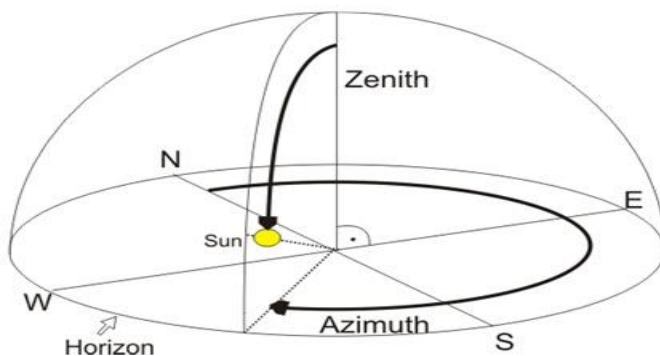


Рисунок 2.8 – Алгоритм сонячної позиції

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

2.2.3 Використання фотодавачів

При цьому способі в різних місцях сонячної панелі розташовують декілька фотодавачів. При куті падіння сонячних променів, близькому до 90° освітленість всіх давачів є однаковою, кількість світлового потоку, що потрапляє на давачі, є ідентична.

При відхиленні кута падіння променів від 90° рівень освітленості фотодавачів буде неоднаковим і система контролю видаватиме керуючі сигнали на виконавчі механізми до моменту встановлення потрібного положення панелі.

Загальна схема такого управління наведена на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Схема управління на основі фотоприймачів

2.3 Склад компонентів трекера

Склад компонентів трекера сонячних панелей наведений на рисунку 2.10. Основною при побудові сонячного трекера є забезпечення його надійності. Трекер повинен працювати в жорстких метеоумовах, одною з основних є пориви вітру, адже парусність сонячних панелей є досить значною.

						Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	СУдн-01п. 151. 01 ПЗ	

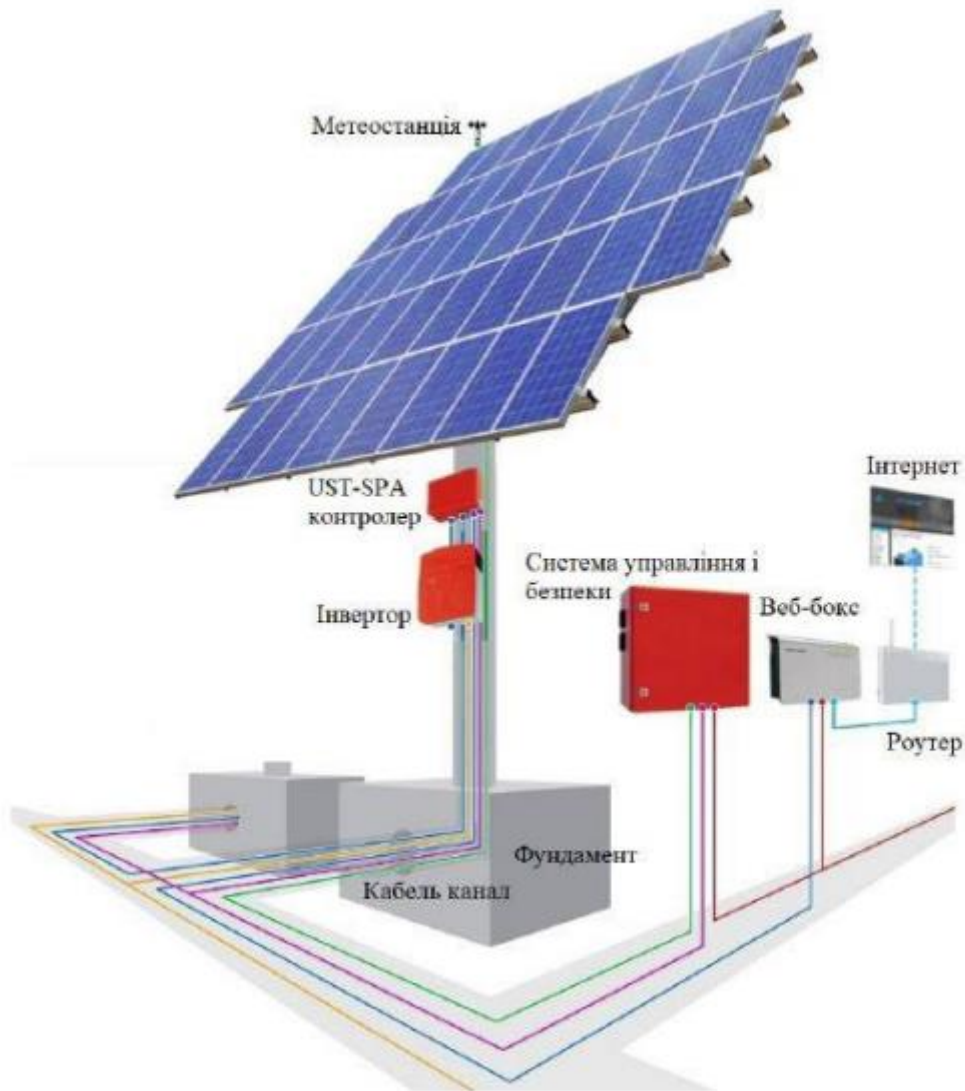


Рисунок 2.10 – Склад компонентів трекера

Типовий склад компонентів трекера наступний:

- Фундамент;
- Пристрій управління рухомими частинами (актуатор);
- Система управління та безпеки;
- Роутер, підключений до інтернету;
- Контролер системи керування;
- Інвертор для перетворення постійної напруги в змінну.

В якості пристрою управління рухомими частинами трекера застосовуються різні типи двигунів: серводвигуни, лінійні, крокові.

Порівняльний аналіз крокового та серводвигуна наведений в таблиці 2.1.

					<i>СУдн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

	Кроковий двигун	Серводвигун
Надійність	Висока	Висока
Динамічна точність	До 20 мкм	До 1-2 мкм
Ефект втрати кроків	Є, при високих навантаженнях	Відсутній
Швидкість переміщення	150-300 мм\с	0,5-1 м\с

В якості об'єкта автоматизації обрано трекер на несучому стовпі (TTDAT) (рисунок 2.6).

3 РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Структурна схема

Призначення структурної схеми – визначити функціональну структуру та технічні засоби системи автоматизації. Ця схема встановлює взаємозв'язки між робочими місцями та іншими пунктами управління.

Структурна схема системи позиціонування сонячної панелі представлена на кресленні СУдн-01п.151.01 С1.

На схемі використані наступні позначення:

- МК – мікроконтролер;
- СП – сонячна панель;
- ДО 1-4 – давачі освітлення, що розташовуються на сонячній панелі;
- ДП – давач положення, що визначає положення сонячної панелі;
- А – акселерометр;
- ДПС 1, ДПС 2 – двигуни постійного струму, які регулюють положення осей сонячного трекера;
- Д1, Д2 – драйвери двигунів постійного струму;
- ПО – панель оператора, куда виводиться інформація про стан положення сонячної панелі;
- КЗ – контролер заряду акумуляторної батареї;
- АКБ – акумуляторна батарея, що отримує заряд від сонячної панелі.

3.2 Функціональна схема

Функціональна схема автоматизації пояснює певні процеси, що проходять в окремих функціональних колах виробу або у виробі вцілому. Ці схеми

						Лист
						18
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	СУдн-01п. 151. 01 ПЗ	

розробляються для пояснення принципів роботи виробів, а також для налаштування, регулювання, контролю і ремонту.

Дана схема визначає структуру вузлів контролю та керування технологічним об'єктом, а також оснащення об'єкта засобами та приладами автоматизації та місця їх встановлення та розташування.

Функціональна схема автоматизації системи позиціонування сонячної панелі представлена на кресленні СУдн-01п.151.01 С2.

Елементи даної схеми приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Елементи схеми функціональної автоматизації

Позначення елемента	Найменування
TE	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання температури, встановлений на місці
LE 1 - LE 4	Первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання рівня освітленості, встановлений на місці
GS1 – GS4	Пристрій для вимірювання положення з функцією блокування, встановлений на місці
M1, M2	Двигун постійного струму
GC	Пристрій для вимірювання положення, перетворюючий
SC	Пристрій для вимірювання швидкості, перетворюючий

Первинний перетворювач TE призначений для вимірювання температури зовнішнього повітря.

Первинні вимірювальні перетворювачі LE 1 - LE 4 призначені для вимірювання рівня сонячної освітленості, встановлюються на сонячній панелі.

Пристрої блокування GS1 – GS4 призначені для обмеження кутів обертання осей трека сонячної панелі.

Двигуни постійного струму M1, M2 призначені для обертання осей трека сонячної панелі.

Пристрій GC призначений для вимірювання положення панелі відносно магнітного поля Землі.

Пристрій GS призначений для отримання даних, що дозволяють коригувати миттєву динаміку руху панелі.

					<i>СУдн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						20
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗІЇ

4.1 Давач освітленості

Функцією давача освітленості (геліотрекера) є постійно спрямовувати сонячну панель на прямі сонячні промені.

Конструктивно давач освітленості представляє собою плату, на якій розміщені 4 фоторезистори. Фоторезистори відокремлені один від одного хрестоподібною перегородкою з світлонепроникного матеріалу, розміщеною перпендикулярно до поверхні встановлення фоторезисторів (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Конструкція давача освітленості

Така конструкція дозволяє орієнтувати сонячну панель таким чином, що кут потрапляння сонячних променів на панель буде близьким до 90° , тобто інтенсивність освітлення сонячної панелі буде максимальною. При цьому сигнали, що надходить з усіх чотирьох фоторезисторів, мають бути однаковими.

Проте можливі різні ситуації неоднакового освітлення фоторезисторів даної конструкції давача, коли присутній розбаланс сигналів, і як наслідок – необхідності

зміни положення сонячної панелі. Дані ситуації, а також напрямок руху осей сонячного трекера наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Можливі випадки інтенсивності потрапляння сонячних променів на фоторезистори давача освітленості та напрямки поворотів трекера

Положення Сонця	Сонце вище, з заходу	Сонце вище, зі сходу	Сонце вище	Сонце з заходу	Сонце нижче, зі сходу
Освітленість давача 1	О	Н	О	О	Н
Освітленість давача 2	Н	О	О	Н	Н
Освітленість давача 3	Н	Н	Н	Н	О
Освітленість давача 4	Н	Н	Н	О	Н
Рух вертикальний	↑	↑	↑	х	↓
Рух горизонтальний	←	→	х	←	→

Продовження таблиці 4.1

Положення Сонця	Сонце зі сходу	Сонце нижче	Сонце нижче, з заходу	Точно на Сонце
Освітленість давача 1	О	Н	О	Н
Освітленість давача 2	Н	О	О	Н
Освітленість давача 3	Н	Н	Н	О
Освітленість давача 4	Н	Н	Н	Н
Рух вертикальний	х	↓	↓	х
Рух горизонтальний	→	х	←	х

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

В таблицях прийняті наступні позначення: О – давач освітлений; Н – давач не освітлений; стрілками вказаний напрям руху за осями; х – відсутність руху.

В якості чутливих елементів давача освітленості обрано фоторезистор VT83N1 (рисунок 4.2). Опір резистора складає 6-18 кОм, темновий опір – 100 кОм, потужність 175 мВт.



Рисунок 4.2 – Фоторезистор VT83N1

4.2 Акселерометр GY-291 ADXL345

Для отримання даних, що дозволяють коригувати миттєву динаміку руху сонячної панелі, використано 3-х вісьовий акселерометр GY-291 ADXL345 (рисунок 4.3).

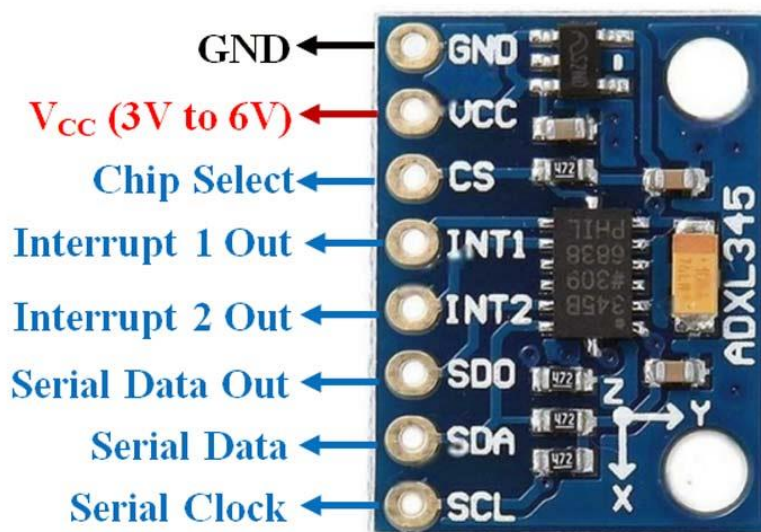


Рисунок 4.3 - Акселерометр GY-291 ADXL345

Акселерометри здатні забезпечувати точне визначення руху, а також вимірювання параметрів прискорення, відхилення, ударного навантаження і вібрації.

Акселерометр ADXL345 – це крихітний мікропотужний трьохосьовий акселерометр високої роздільної здатності. Результат вимірювання подається у вигляді 16-розрядних чисел у додатковому коді та через цифрові інтерфейси SPI або I2C.

Характеристики модуля наступні: живлення акселерометра: 3.3 - 5 В; підтримувані інтерфейси: I2C / SPI; роздільна здатність: 10/13-bit (min. 4 mg/LSB); діапазон вимірювань: +/-2g/+/-4g/+/-8g/+/-16g; розміри модуля: 20x15 мм.

Пристрій призначений для вимірювання статичного прискорення, що спричинене гравітацією, та динамічного прискорення, спричиненого рухом або ударами.

Функціональні блоки, що входять в склад пристрою, здатні виконувати визначення наявності\відсутності руху, перевищення прискорення вздовж осей (блок визначення активності), одноразові або подвійні торкання у визначеному напрямку (детектор торкань), вільне падіння (детектор вільного падіння).

4.3 Магнетометр HMC5883L

Для вимірювання положення панелі відносно магнітного поля Землі використано трьохосьовий магнетометр компас HMC5883L (рисунок 4.4).

Магнетометр являє собою пристрій, який може визначати магнітні полюси Землі та вказувати напрямок до них. Земля являє собою величезний сферичний магніт з північним і південним полюсами. Звичайно, цей великий магніт створює магнітне поле. Магнітометр уловлює (відчуває) це магнітне поле і на підставі напрямку цього магнітного поля він може визначати положення відносно даного поля.

						Лист
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.4 - Трьохосьовий магнетометр компас HMC5883L

Мікросхема HMC5883L від компанії Honeywell містить у собі 3 магніторезистивних матеріали, які упорядковані (орієнтовані) за осями x, y і z. Компас вимірює напруженість магнітного поля вздовж усіх трьох осей. Кількість струму, що протікає через ці матеріали, чутлива до магнітного поля Землі. Тобто, вимірюючи зміни в струмі, що протікає через ці матеріали, є змога виявляти зміни в магнітному полі Землі. Надалі ці зміни можна передати будь-якому мікроконтролеру (наприклад, плати Arduino) за протоколом I2C.

Необхідна напруга живлення для модуля повинна відповідати діапазону від 3,3 до 5В.

Цей невеликий модуль компасу відмінно підходить для роботи з Arduino та інших проектів із мікроконтролерами, виконаний у вигляді багат шарової плати, готової до встановлення. Це дозволяє встановлювати модуль зовнішнього компаса таким чином, щоб уникнути перешкод від близько розташованих електродвигунів.

Технічні характеристики модуля: напруга живлення - 3.3 - 5 Вольт; тип сенсора – магніторезистивний; струм режим вимірювання - 2.5 мА, режим сну - 0.1 мА; діапазон вимірів - ± 8 Гаус; точність - ± 2 мілі Гауса; розрядність перетворення - 12 біт.

4.4 Кінцеві вимикачі

Кінцеві вимикачі зазвичай застосовуються для виявлення кінцевого положення об'єкта та дозволяють активувати або деактивувати інші компоненти.

Отже, це механічні або електронні пристрої складаються з приводу, контактної механізми та системи електричного з'єднання.

В якості приводу може виступати ролик, важіль або вкладка і призначений для активації, коли механізм досягає повного положення (фізичної контрольної точки, відомої як удар).

Контактний механізм нормально замкнутий або нормально розімкнутий і активується в момент включення приводу.

Існує декілька типів кінцевих вимикачів:

- Важельні, що використовують важіль для активації або деактивації вимикача;
- Роликові, в яких замість важеля використовується ролик;
- Герконові, в яких в якості чутливого елемента використано магніточутливий елемент;
- Вимикач блокування, що має два або більше контактів, що активуються в різних положеннях об'єкта;
- Оптичні, що використовують світловий промінь для визначення руху або положення об'єкта.

В якості кінцевих вимикачів використовуємо роликові вимикачі ME-8108 , що зазвичай застосовуються для контролю руху циліндричних об'єктів (рисунок 4.5).

Характеристики ME-8108:

- Матеріал корпусу – ударостійкий ПВХ;
- Напруга комутації – змінна 230В, постійна 115В;
- Струм комутації – 5А змінний струм, 0,4 А постійний струм;
- Тип контакту – 1 нормально замкнений, 1 нормально розімкнений;
- Напруга ізоляції – 0,4 кВ;
- Імпульсна напруга – 4кВ;
- Максимальна частота комутації – 1800 циклів\год;

						Лист
						26
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Судн-01п. 151. 01 ПЗ	

- Ступінь захисту - IP65;
- Робоча температура – від -25°C до 70°C;
- Зносостійкість (механ.\електр.) - 10 млн\0,5 млн.;
- Відповідність стандартам - ДСТУ EN 60947-1, ДСТУ EN 60947-5-1;
- Робочий хід – 1,5 мм;
- Мінімальний хід після спрацювання – 4 мм.



Рисунок 4.5 - Роликовий вимикач ME-8108

Кінцеві вимикачі для системи позиціонування сонячних панелей слугують для обмеження кутів обертання осей сонячного трекера і запобігання перекручування осей.

4.5 Реле ввімкнення двигунів

В якості реле для драйверів двигунів постійного струму використовуємо реле КУ-019 (рисунок 4.6). Це реле достатньо універсальне і має змогу працювати з різними контролерами.

Підключення даного реле відбувається згідно таблиці 4.2.

					Судн-01п. 151. 01 ПЗ	Лист
						27
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.6 – Реле KY-019

Таблиця 4.2

Контакт реле KY-019	Контакт мікроконтролера
-	GND
+	+5V
S	Цифровий контакт

Навантаження підключається до загального контакту реле COMMON і нормально розімкнутого контакту NO.

Чотиріканальний релейний модуль (рисунок 4.7) можна використати у якості драйверу для керування двигунами при позиціонуванні сонячної панелі. Відповідна схема підключень релейного модуля до мікроконтролера та до необхідних джерел живлення наведена на рисунку 4.8.

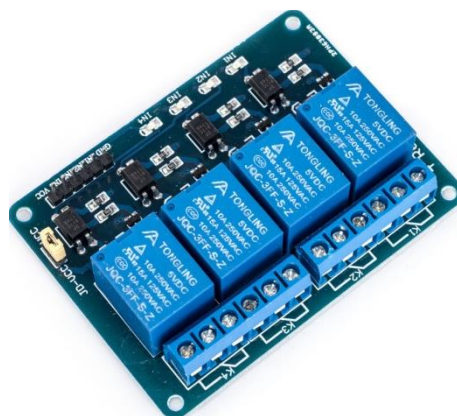


Рисунок 4.7 - Чотиріканальний релейний модуль

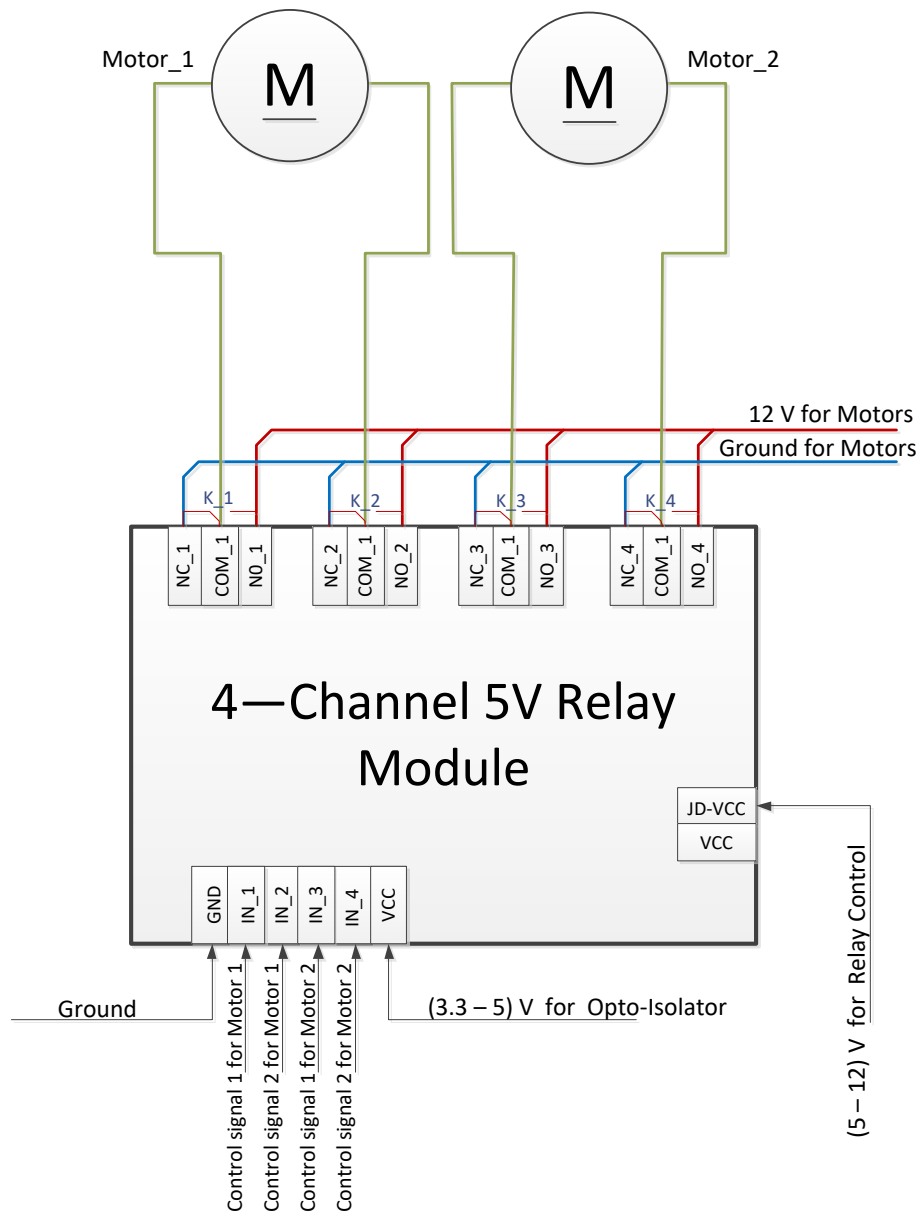


Рисунок 4.8 - Схема підключень релейного модуля до мікроконтролера та джерел живлення

Для того щоб кожен з двигунів міг працювати у реверсному та аверсному режимах на мікроконтролері необхідно задіяти 4 порти введення-виведення у режимі discrete output під керуючі сигнали та вивести їх на входи IN_1...IN_4 релейного модуля.

У таблиці 4.3 наведені відповідні значення керуючих сигналів для забезпечення повної динаміки відповідної сукупності двигунів.

Таблиця 4.3 - Відповідність значень керуючих сигналів з мікроконтролера режимам руху двигунів.

Motor_1			
	LOW	HIGH	Signal_1 level (to IN_1)
LOW	Motor stopped	Averse motion	
HIGH	Reverse motion	Motor stopped	
Signal_2 level (to IN_2)			
Motor_2			
	LOW	HIGH	Signal_1 level (to IN_3)
LOW	Motor stopped	Averse motion	
HIGH	Reverse motion	Motor stopped	
Signal_2 level (to IN_4)			

4.6 Привід виконавчого механізму JGY-370-12V-0.6

В якості приводів виконавчих механізмів для обертання осей сонячного трекера обрано електродвигун з редуктором JGY-370-12V-0.6R (рисунок 4.9).

Даний мотор–редуктор складається з колекторного електродвигуна постійної напруги рта редуктора з черв'ячною передачею. Такий мотор–редуктор знаходить широке застосування в системах, де необхідне точне регулювання частоти

обертання, висока плавність ходу з функцією блокування у разі вимкнення живлення. Швидкість обертання регулюється за допомогою зміни напруги.



Рисунок 4.9 – Електродвигун з редуктором JGY-370-12V-0.6R

Технічні характеристики JGY-370-12V-0.6R наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики JGY-370-12V-0.6R

Номінальна напруга, В		12
Без навантаження	Швидкість обертання, об\хв	0.6
	Струм,мА	45
При навантаженні	Швидкість обертання, об\хв	0.45
	Струм, мА	200
	Момент, кгс*см	50
	Потужність, Вт	1.7
Передаточне число редуктора		10000

Мотор-редуктор даної моделі здатен обертатися у двох напрямках. Зміна обертання забезпечується зміною полярності напруги на контактах.

До особливостей даного мотор-редуктора слід віднести високу точність і надійність, низький рівень шуму, компактні розміри.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

4.7 Контролер STM32 Cortex M3 Maple Mini

В якості контролера для побудови системи управління позиціонуванням положення сонячної панелі обраний контролер STM32 Cortex M3 Maple Mini (рисунок 4.10).

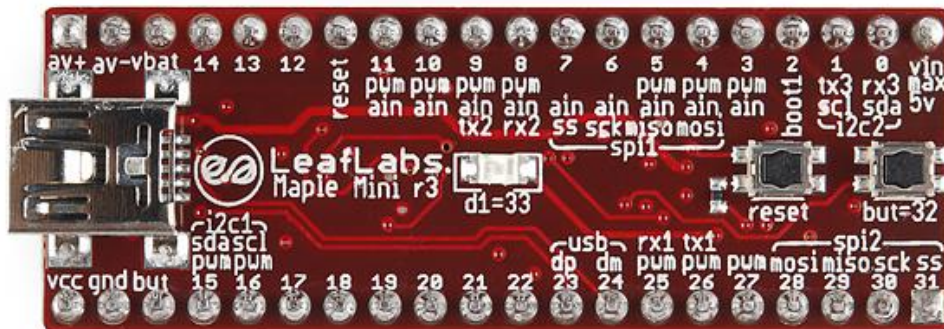


Рисунок 4.10 - Контролер STM32 Cortex M3 Maple Mini

Технічні характеристики мікроконтролера Maple Mini наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Технічні характеристики STM32 Cortex M3 Maple Mini

Процесор	Мікропроцесор ARM Cortex M3, 32-бітний
Частота тактова	72 МГц
Напруга живлення	3-12В
Цифрові входи / виходи	34 (з них 12 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів з 16-бітною дискретністю)
Аналогові входи	9 з 12-бітною дискретністю
Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
Постійний струм для виводу 3.3 В	500 мА
Flash-пам'ять	128 КБ
ОЗП	20 КБ

STM32 Cortex M3 Maple Mini також оснащений периферійними інтерфейсами і пристроями:

- 2x SPI;
- 2x I2C;
- 3x UART.

4.8 Контролер ESP8266 NODEMCU V3

Для побудови підсистеми збору інформації та передачі її через мережу обрано мікроконтролер ESP8266 з Wi-Fi модулем ESP-12E китайської фірми Espressif Systems (рисунок 4.11) .



Рисунок 4.11 - Контролер ESP8266 NODEMCU V3

NodeMCU (Lolin) являє собою плату розробника на базі мікроконтролера ESP8266 (версія ESP12E), який являти собою UART-WiFi модуль з ультранизьким споживанням. Сам чіп проектувався для пристроїв зі світу Інтернету речей, а дана плата дозволяє спростити розробку, тому що на ній вже реалізовано підключення по USB, регулятор живлення і всі виводи чіпу розведені на гребінки зі стандартним

кроком 2.54 мм, що дозволяє вставити його в макетну плату і створити прототип навіть не включаючи паяльник.

Характеристики:

- WiFi 802.11 b / g / n;
- підтримка STA / AP / STA + AP режимів;
- вбудований стек протоколів TCP / IP з підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5);
- D0 ~ D8, SD1 ~ SD3: можуть бути використані як GPIO, PWM, ІС, тощо;
- струм на виведення: 15 мА;
- AD0: 1 виведення АЦП;
- живлення: 4.5 - 9В (10В максимум), живлення від USB з наданням відладочного інтерфейсу;
- споживання: обмін даними: ~ 70 мА (200 мА максимум), очікування: <200 мкА;
- швидкість передачі: 110-460800 бод;
- підтримка UART / GPIO інтерфейсів передачі даних;
- перепрошивання з хмари або через USB;
- відстань між контактними пінами: 28 мм;
- діапазон робочих температур: -40 ~ +125 ° С.

4.9 Давач температури DS18B20

Призначення давача температури – вимірювання температури зовнішнього повітря.

В якості температурних давачів використовуємо давачі DS18B20 (рисунок 4.12).

					<i>Судн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.12 - Давач DS18B20

Діапазон вимірювання температури давачем від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Дані з давача отримуються в цифровому вигляді с 12 бітним дозволом за протоколом 1-Wire.

Протокол 1-Wire дозволяє підключення значної кількості цих давачів на один цифровий порт контролера за допомогою дводротового кабелю. При цьому кожен давач має унікальний 64 бітовий код, що використовується контролером для опитування та розпізнавання низки таких давачів.

Аналогова-цифровий перетворювач, яким оснащений даний давач, дозволяє передавати сигнали від давачів на достатньо великі відстані.

Основні параметри давача DS18B20 наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Протокол передачі даних	one-wire
Напруга	3-5 В
Струм	1 мА
Діапазон вимірювання температури	-55°C до $+125^{\circ}\text{C}$
Температура робоча	Від 0°C до $+60^{\circ}\text{C}$
Похибка вимірювання	0.5°C
Крок дискретизації	0.0625°C

5 ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

5.1 Сенсорний модуль для позиціонування сонячних панелей

Принципова схема сенсорного модуля для позиціонування сонячних панелей включає в себе чотири фоторезистори, які і є основними елементами-вимірювачами для отримання інформації щодо положення нормалі площини сонячних панелей відносно світила. Значення напруг на цих фоторезисторах, як складових дільників напруги, вимірюються аналоговими входами мікроконтролера. Відповідні результати вимірювань необхідні мікроконтролеру, на рівні програми, для формування керуючих сигналів для приводів трекера, в також для оцінки узагальненого значення рівня освітленості панелей.

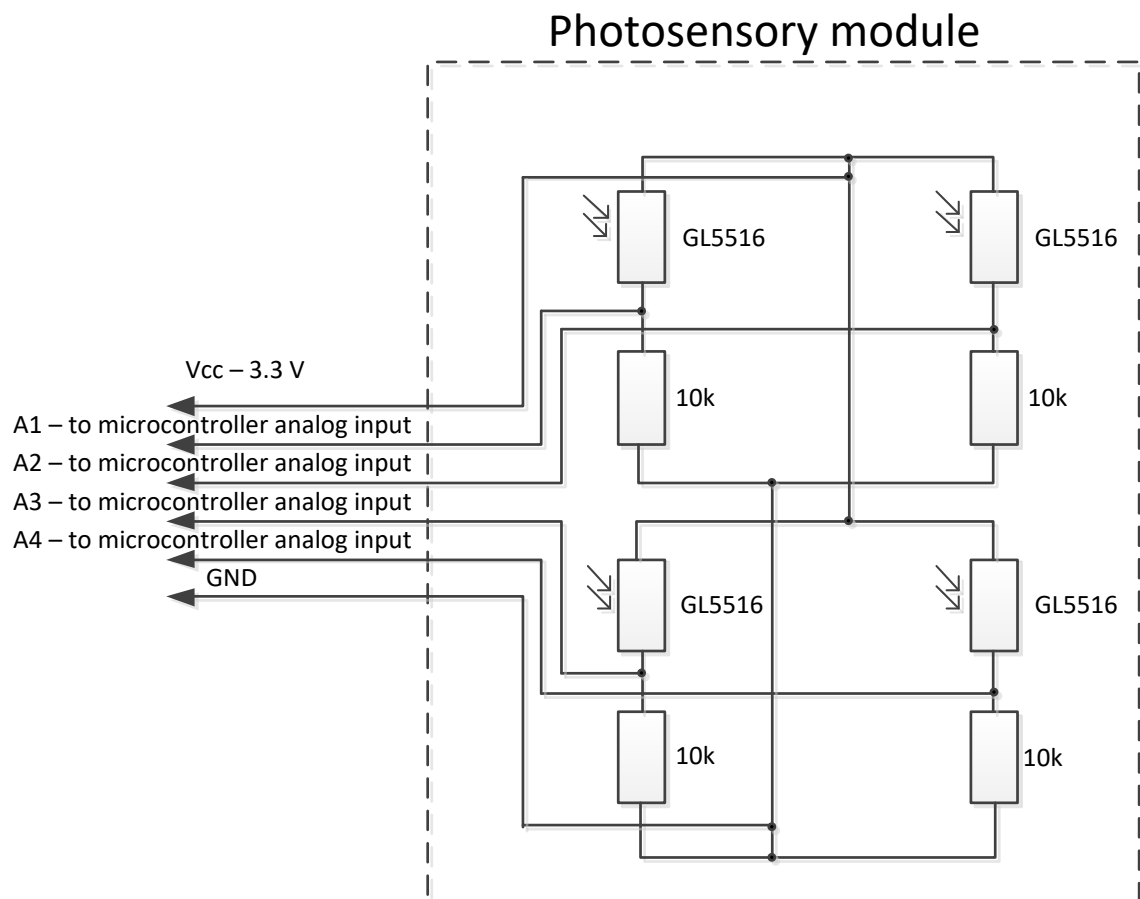


Рисунок 5.1 - Принципова схема сенсорного модуля для позиціонування сонячних панелей

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

5.2 Пристрій керування положенням сонячної панелі

Безпосередньо пристрій керування положенням сонячної панелі складається з двох функціональних складових, а саме:

- підсистеми керування двигунами по результатам опитування сенсорного модуля, акселерометра-магнетометра, температури та кінцевих вимикачів;
- підсистеми збору інформації про основні керуючі сигнали попередньої підсистеми та подальшої передачі її у діагностичному вигляді через Wi-Fi мережу за протоколом TCP/IP.

Загалом принципи структурної взаємодії та відповідна ієрархічність одна відносно іншої для перелічених вище підсистем проілюстровані на рисунку 5.2.

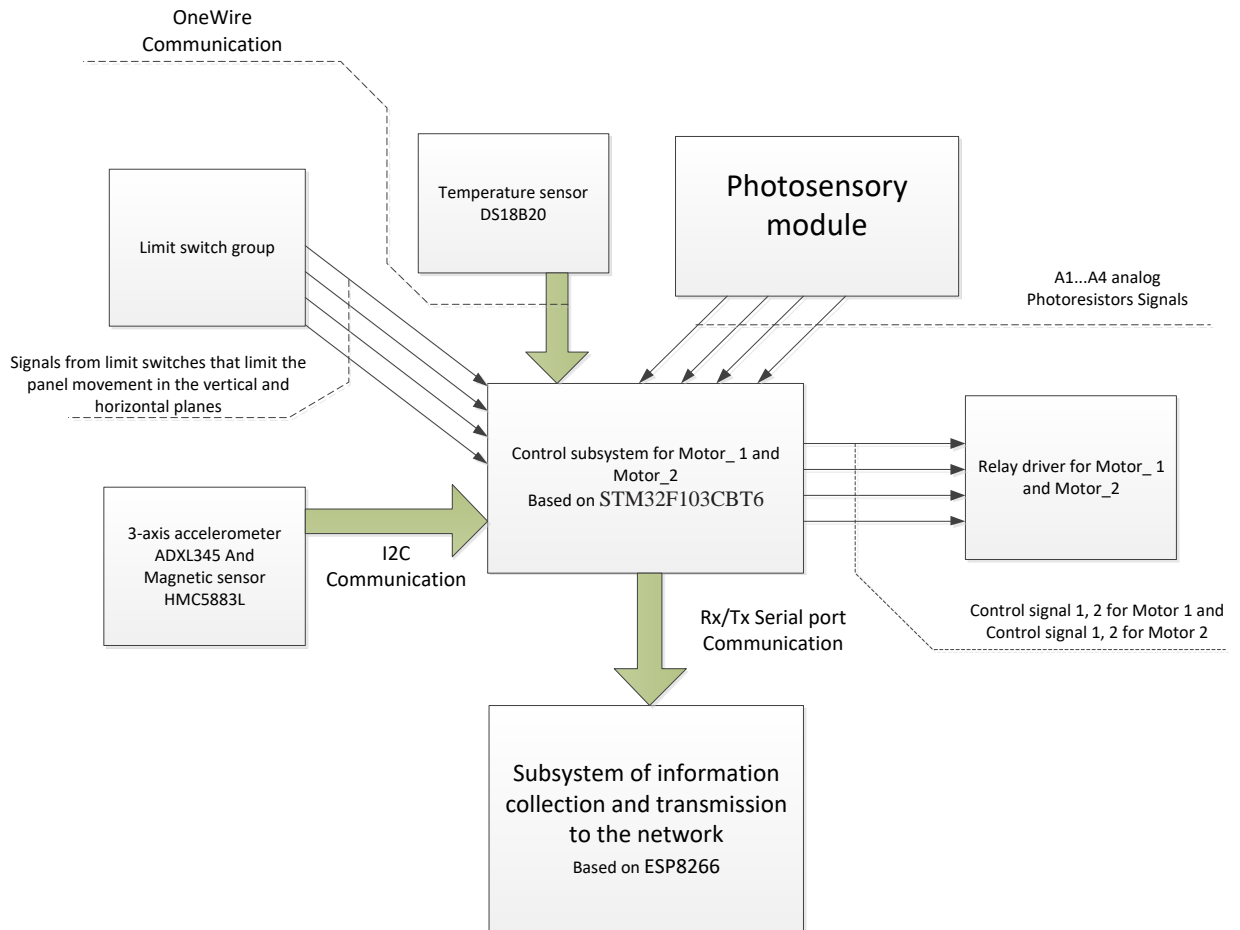


Рисунок 5.2 – Структурна схема пристрою керування положенням сонячної панелі

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

5.3 Підсистема керування двигунами

Підсистема керування двигунами, опитування сенсорного модуля, акселерометра-магнетометра, температури та кінцевих вимикачів побудована з використанням відладочної плати STM32 Cortex M3 Maple Mini на основі 32-бітного мікропроцесора STM32F103CBT6 фірми STMicroelectronics. Для забезпечення всього керуючого функціоналу підсистеми необхідно задіяти порти відладочної плати у відповідності до таблиці підключень наведеної нижче. Структура розташувань портів введення-виведення та відповідна розпіновка модуля STM32 Cortex M3 Maple Mini наведено на рисунку 5.3.

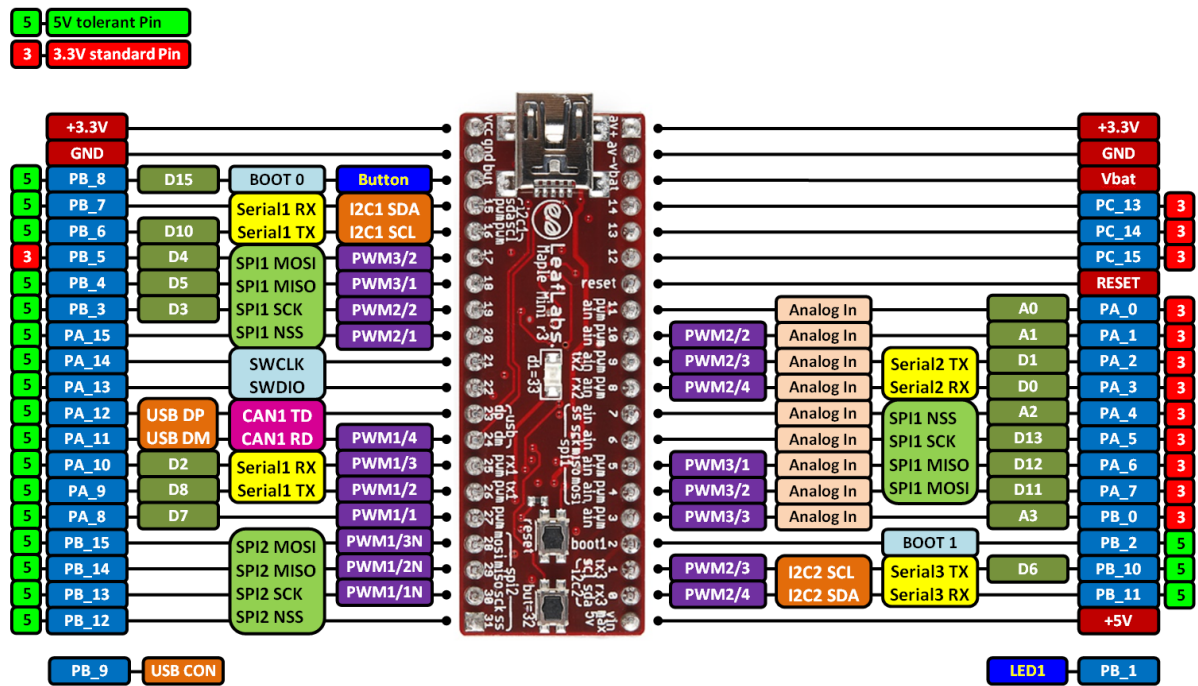


Рисунок 5.3 - Розпіновка модуля STM32 Cortex M3 Maple Mini

Підключення відладочної плати STM32 Cortex M3 Maple Mini до елементів підсистеми керування двигунами, опитування сенсорного модуля, акселерометра-магнетометра, температури та кінцевих вимикачів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Підключення відладочної плати STM32 Cortex M3 Maple Mini

Режим налаштування порту введення-виведення на платі STM32 Cortex M3 Maple Mini	Номер піна на платі STM32 Cortex M3 Maple Mini	Контакт модуля, до якого відбувається підключення	Назва модуля
Analog input	11	A1	Photosensory module
Analog input	10	A2	
Analog input	9	A3	
Analog input	8	A4	
SDA	15	SDA	3-axis accelerometer ADXL345 and Magnetic sensor HMC5883L
SCL	16	SCL	
Discrete output	7	IN_1	Relay driver for Motor_1 and Motor_2
Discrete output	6	IN_2	
Discrete output	5	IN_3	
Discrete output	4	IN_4	
Discrete input	22	DATA	Temperature sensor DS18B20
Discrete input	18	Switch Out 1	Limit switch group
Discrete input	19	Switch Out 2	
Discrete input	20	Switch Out 3	
Discrete input	21	Switch Out 4	
Rx	23	Tx	Subsystem of information collection and transmission to the network Based on ESP8266
Tx	24	Rx	

Слід враховувати, що живлення акселерометра на ADXL345, магнетометра на HMC5883L та фотосенсорного модулю відбувається напругою 3.3В, яку можна взяти (у випадку крайньої необхідності) безпосередньо з відладочної плати але бажано використовувати зовнішнє стабілізоване на рівні (2.8-3.6) В живлення.

Графічне представлення підключень відладочної плати STM32 Cortex M3 Maple Mini до модулів та сенсорів наведено на рисунку 5.4.

Відповідний код програми мікроконтролера STM32F103CBT6, написаний у фреймворці Wiring, який по суті є спрощеним діалектом мов програмування C/C++ та має можливість використовувати повний функціонал відповідних мов програмування, а також, за необхідності, для оптимізації низькорівневого коду, асемблерні вкладення, наведено у додатку А.

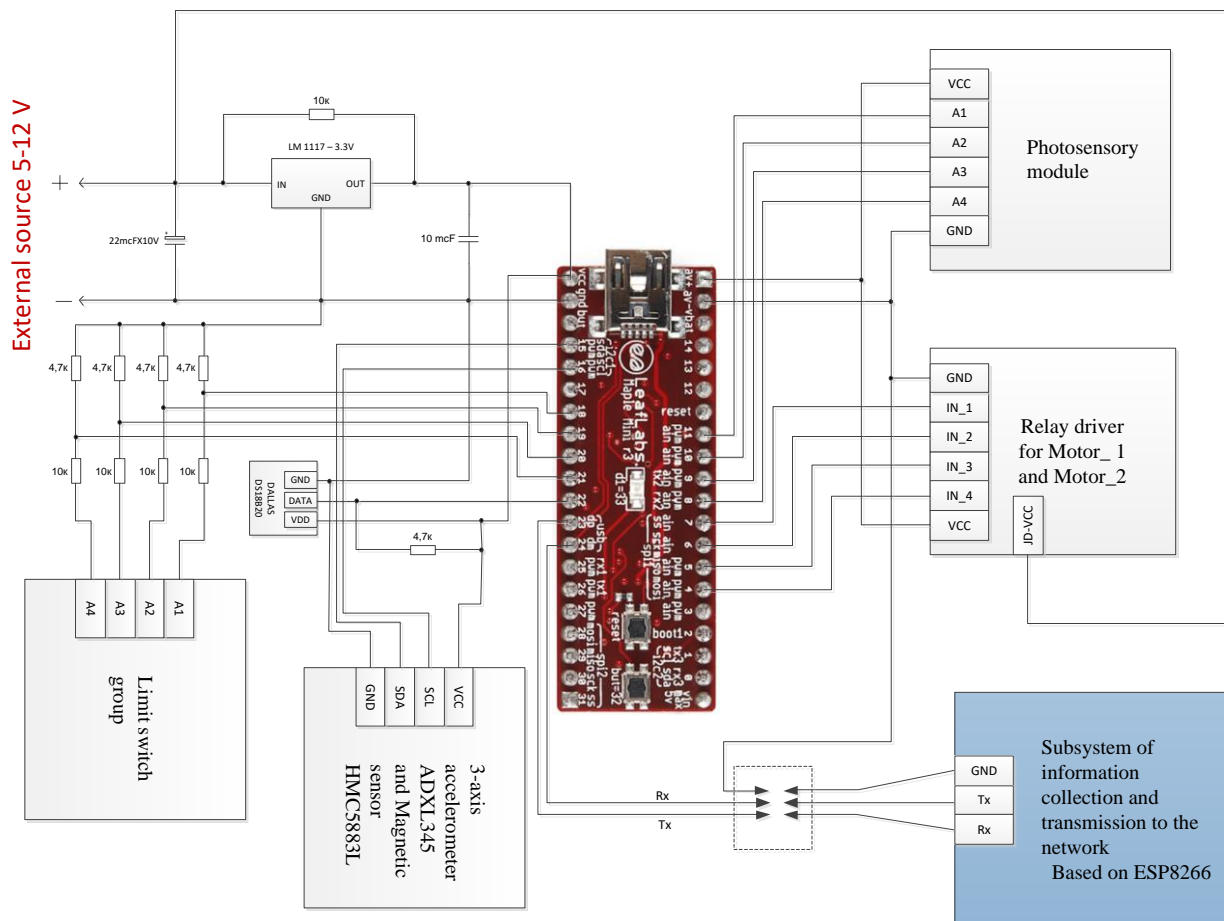


Рисунок 5.4 – Схема підключень відладочної плати STM32 Cortex M3 Maple Mini до модулів та сенсорів.

5.4 Підсистема збору інформації та передача її через мережу

Основним призначенням даної підсистеми є отримання у строковому форматі діагностичної інформації про стан основної підсистеми трекінгової системи та подальша трансляція її через Wi-Fi мережу за протоколом TCP/IP. Передавання відповідного повідомлення відбувається через порт 65444 та може бути прийняте шляхом прослуховування відповідного порту на пристрої підключеному до спільної мережі. Мережевим програмним засобом отримання діагностичної інформації може бути любий термінал (наприклад, PUTTY) або любе програмне середовище (шлюз), яке може бути налаштоване на прослуховування відповідного інформаційного каналу (наприклад, Node-Red).

Розглянемо більш детально формат діагностичного повідомлення, його таймінг та веб-інтерфейс модуля підсистеми збору інформації (SICT) про основні керуючі сигнали попередньої підсистеми (підсистеми керування двигунами по результатам опитування сенсорного модуля, акселерометра-магнетометра, температури та кінцевих вимикачів – скорочено “підсистема CSM”) та подальшої передачі її у діагностичному вигляді через Wi-Fi мережу за протоколом TCP/IP. Відразу слід відмітити наступні ключові особливості підсистеми SICT:

- 1) Підсистема SICT є підлеглою до підсистеми CSM в загальній структурі пристрою керування положенням сонячної панелі.
- 2) Діагностична інформація з підсистеми CSM в підсистему SICT надходить за інтерфейсом UART через основний послідовний порт налаштований на швидкість передавання 9600 бод.
- 3) Передавання відповідної інформації від CSM до SICT йде в односторонньому порядку (без попереднього запиту) у потоковому режимі з інтервалом 1 повідомлення в секунду.
- 4) Підсистема SICT побудована на базі відладочної плати ESP8266 NODEMCU V3 у основі якої закладено мікроконтролер ESP8266 з Wi-Fi модулем ESP-12E китайської фірми Espressif Systems.

									Лист
									41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Формат діагностичного повідомлення, після ретрансляції підсистемою SICT, близький до формату JSON та, відповідно, на приймаючій стороні не повинно виникати складнощів щодо його парсінгу. Загальна структура повідомлення має наступний вигляд:

$$D_i = \{ 'a1':'', 'a2':'', 'a3':'', 'a4':'', \\ 'in1':'', 'in2':'', 'in3':'', 'in4':'', \\ 't':'', 'm':'', \\ 'x':'', 'y':'', 'z':'', \\ 'ls1':'', 'ls2':'', 'ls3':'', 'ls4':'' \},$$

де $a_1 \dots a_4$ – значення сигналів на фоторезисторах сенсорного модуля для позиціонування сонячних панелей;

$in_1 \dots in_4$ – значення керуючих сигналів для релейного драйверу керування двигунами;

t – температура;

m – показник магнетометра;

x, y, z – показники акселерометра;

$ls_1 \dots ls_4$ – сигнали на кінцевих вимикачах.

5.5 Веб-інтерфейс підсистеми SICT

Веб – інтерфейс пристрою реалізовано на рівні підсистеми SICT та складається з кількох важливих елементів, а саме:

- 1) Заготовочної сторінки для забезпечення захисту пристрою від несанкціонованого доступу до ключових параметрів адміністрування та підключення пристрою до інформаційно-керуючої мережі. На цей сторінці реалізовано доступ до налаштувань, можливість зміни облікових даних для доступу до налаштувань на більш актуальні облікові дані (рисунки 5.5).

									Лист
									42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

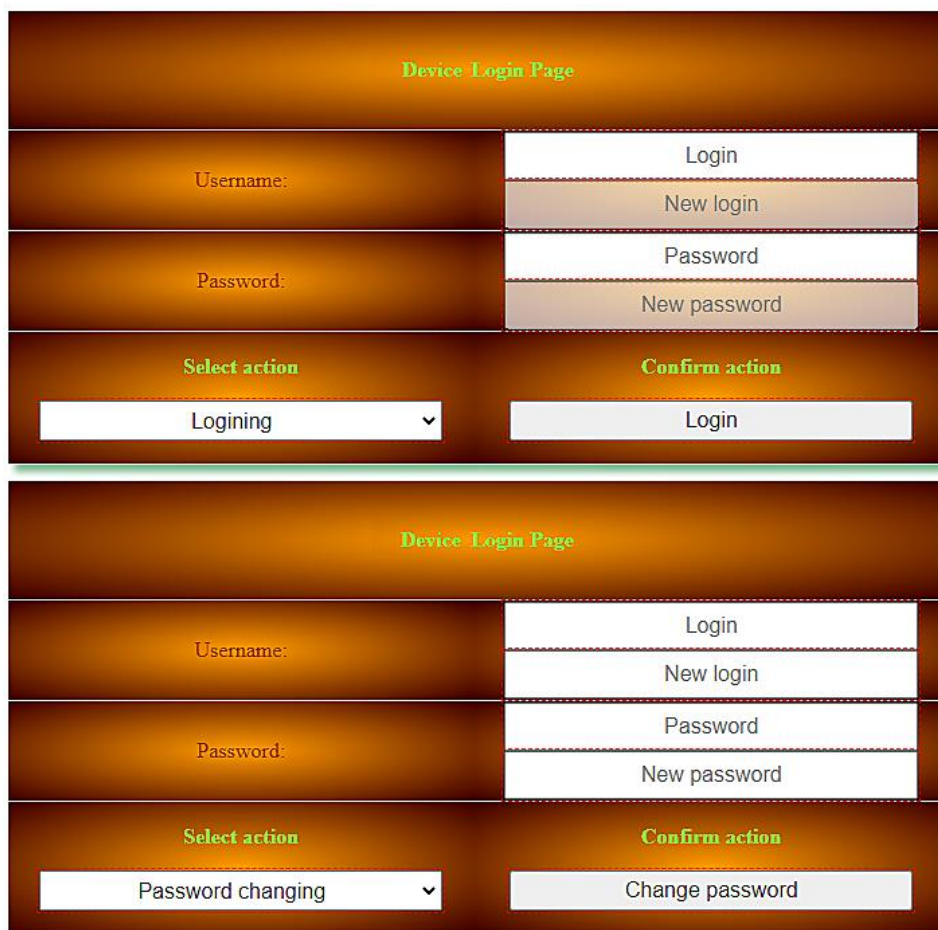


Рисунок 5.5 - Заголовочна сторінка пристрою

2) Вкладка оновлення прошивки, на якій, за необхідності, можна виконати зміну прошивки підсистеми SICT на більш актуальну. Файл прошивки має формат *****.bin**. (рисунок 5.6).

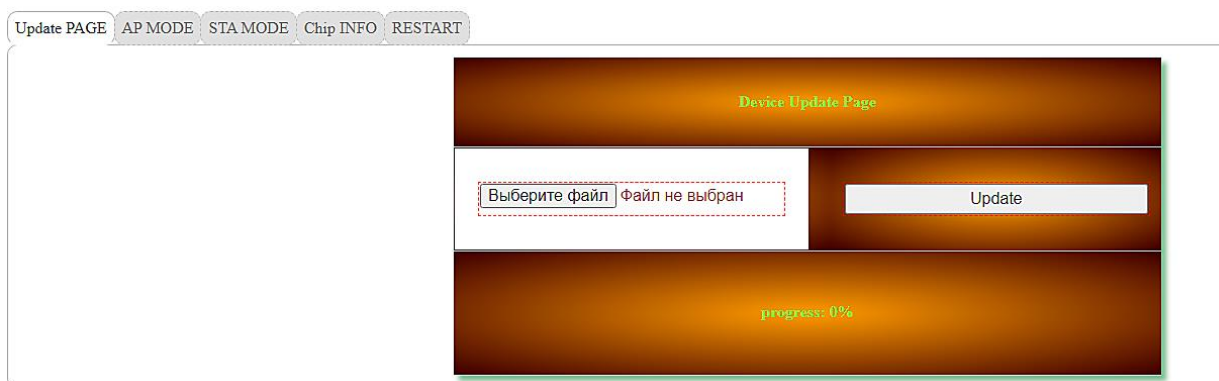


Рисунок 5.6 - Вкладка оновлення прошивки підсистеми SICT

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3) Вкладка для налаштування імені пристрою та паролю доступу до нього, якщо підсистема SICT запущена в режимі точки доступа (AP - mode) (рисунок 5.7).

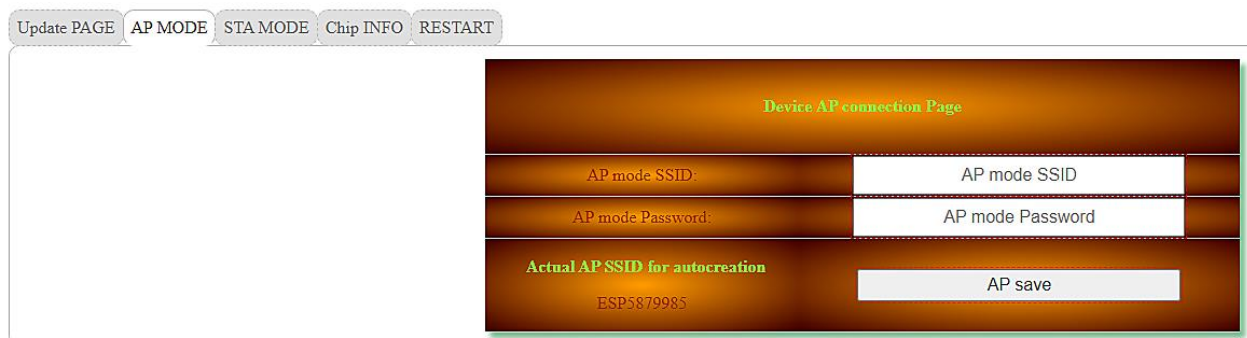


Рисунок 5.7 - Вкладка налаштування імені пристрою та паролю доступу до підсистеми SICT в режимі точки доступа

4) Вкладка для налаштування автоматичного підключення пристрою до однієї з доступних поблизу бездротових мереж, якщо підсистема SICT запущена в режимі станції (STA - mode).

Також у цій вкладниці можна побачити перелік доступних поблизу модуля бездротових мереж з значенням рівня сигналу та доступним способом аутентифікації (рисунок 5.8).

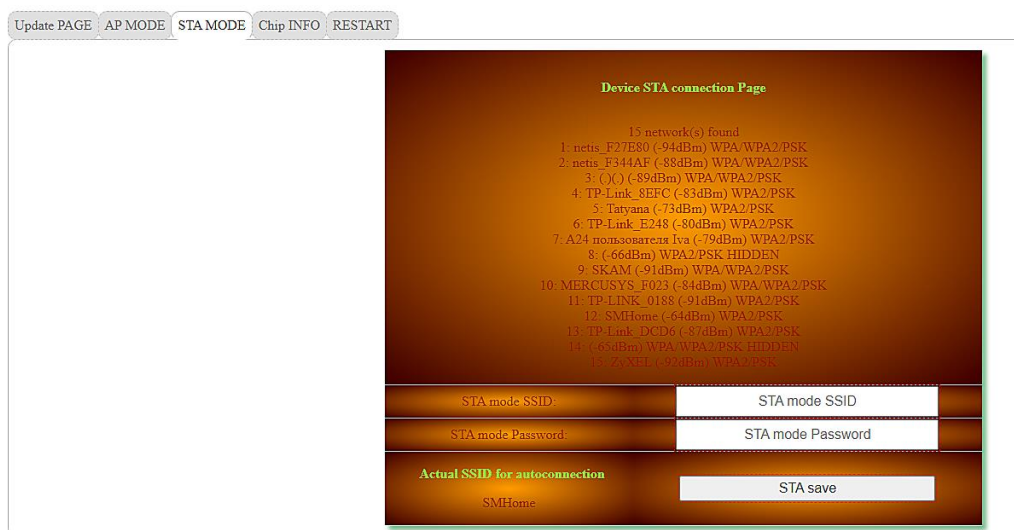


Рисунок 5.8 - Вкладка налаштування підключення підсистеми SICT в режимі станції

5) Вкладка з інформацією про стан підключення пристрою, його індивідуальними мережевими параметрами та ін. (рисунок 5.9).



Рисунок 5.9 - Вкладка з індивідуальними мережевими параметрами пристрою

б) Вкладка для налаштування автоматичного повторного підключення пристрою до мережі або його апаратного дистанційного перезавантаження (рисунок 5.10).



Рисунок 5.10 - Вкладка для налаштування автоматичного підключення пристрою або дистанційного перезавантаження підсистеми SICT

Резюмуючи перелічене вище, можна констатувати наявність можливості достатньо гнучкого налаштування відповідного пристрою для його стабільного знаходження у інформаційно-керуючій Wi-Fi мережі для потреб автоматичного діагностування.

5.6 Структура коду прошивки модуля підсистеми SICT

Створення програми роботи підсистеми SICT було реалізовано у фреймворці Wiring. Це середовище дозволяє, окрім реалізації безпосереднього програмування модуля, створювати бінарні файли прошивки для OTA-оновлення. Код прошивки модуля реалізовано у відповідності до наступної функціональної структури:

- 1) Частина «Back-End» веб-інтерфейсу пристрою, бібліотечна реалізація підключення модуля до інформаційно-керуючої мережі та переключення між AP/STA режимами, бібліотечна реалізація mDNS протоколу, стрімінгова трансляція діагностичного повідомлення в мережу, ручна реалізація OTA-методу оновлення прошивки модуля.
- 2) Функції для роботи з файловою системою модуля (бібліотечна реалізація), ручна реалізація функцій для трансляції діагностичного повідомлення в мережу за протоколом TCP/IP, частина сервісних повідомлень веб-інтерфейсу пристрою.
- 3) HTML, JavaScript, Ajax - складова заготовочної сторінки веб-оболонки пристрою (додатково використано фреймворк JQUERY).
- 4) HTML, JavaScript, Ajax - складова внутрішніх сервісних вкладинок веб-оболонки пристрою (додатково використано фреймворк JQUERY).
- 5) CSS – складова веб-оболонки пристрою.

5.7 Структура програми підсистеми CSM

Як вже вказувалось раніше основна програма керування трекінгом реалізована в підсистемі CSM побудованій на основі відладочної плати STM32 Cortex M3 Maple Mini. Створення коду програми було реалізовано у фреймворку Wiring. Для того щоб розуміти як працює програма необхідно спочатку розібратись в загальній алгоритмізації та послідовності виконання структурних елементів коду на Wiring. Загалом можна сказати що послідовний код на Wiring має три функціонально-

						Лист
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Судн-01п. 151. 01 ПЗ	

кодові елементи, а саме: деклараційна частина, void setup() та void loop(). В деклараційній частині об'являються глобальні змінні, константи, підключаються додаткові бібліотеки та інше, ще до початку виконання основної програми. Після цього починає виконуватись одноразово частина void setup() де запускається більшість базових програмних процесів, наприклад може бути запущено планувальник. Потім програма переходить в частину void loop() де продовжує виконуватись нескінченно (циклічно) аж до часу вимкнення мікроконтролера (рисунок 5.11).

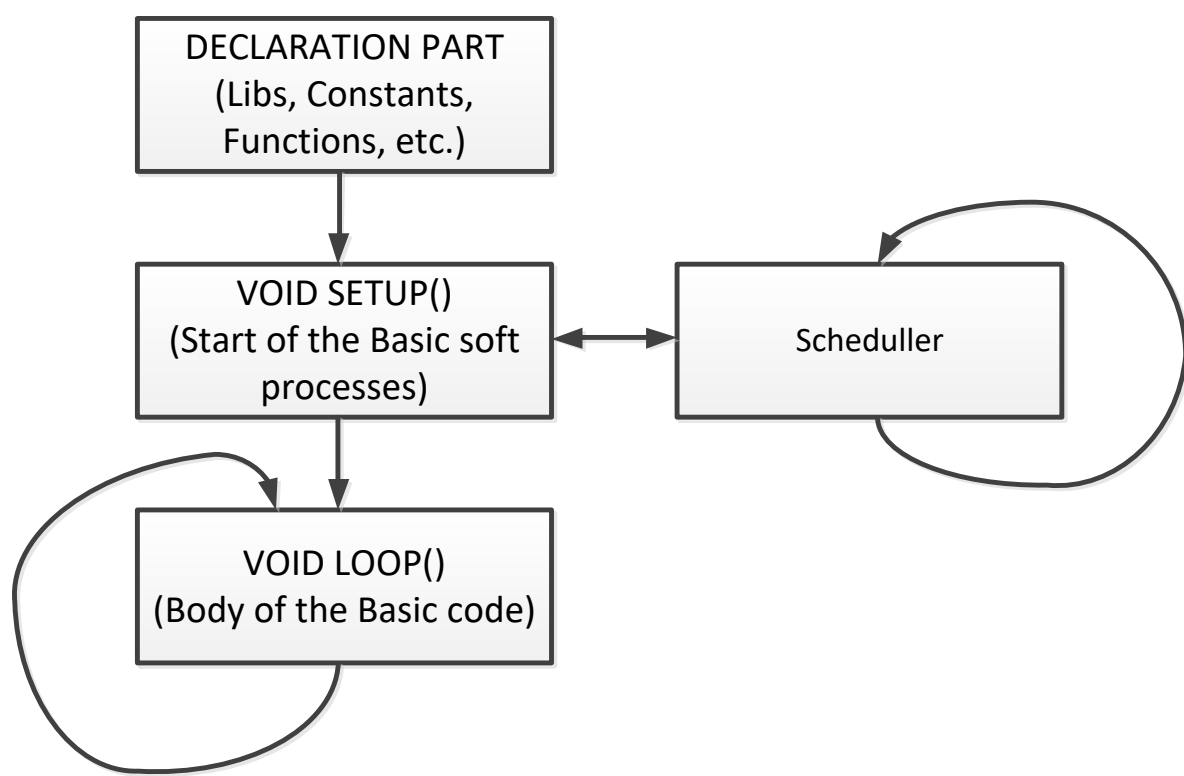


Рисунок 5.11 – Послідовність виконання коду на Wiring

Відносно основного алгоритму керування трекінгом слід зауважити що його програмна реалізація працює за схемою наведеною на рисунку 5.12, а сам код у даному проєкті у додатки не виноситься враховуючи широку варіативність його с точки зору ручної та бібліотечної кодової реалізації.

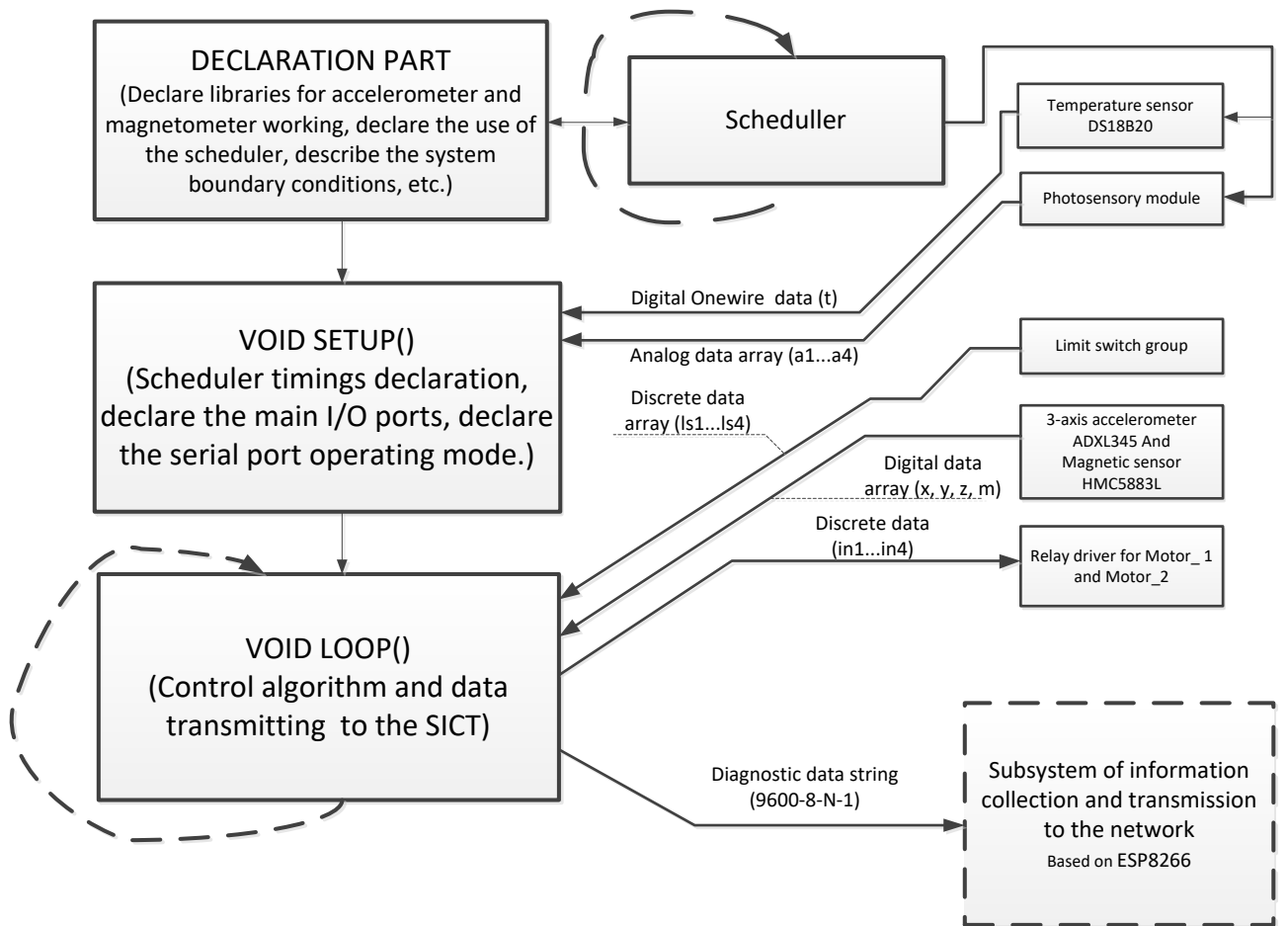


Рисунок 5.12 – Структурна схема програми керування трекінгом

ВИСНОВКИ

Резюмуючи матеріали, наведені в проекті, можна зробити наступні висновки:

1) Основним призначенням системи керування положенням сонячних панелей відносно світила є підвищення коефіцієнту корисної їх дії, як джерела енергії та, відповідно, отримання максимуму ефекту на етапі перетворення світлової енергії на електричну.

2) Додавання трекінгової системи до системи генерування електричної енергії на основі сонячних панелей, може бути бюджетним рішенням за умови використання бюджетних складових відповідної композиції. Значно здешевити систему керування положенням сонячних панелей відносно світила, можна використанням мікроконтролерних відладочних плат бюджетного сегменту, наприклад, STM32 Cortex M3 Maple Mini або ESP8266 NODEMCU.

3) Розробка та модернізація системи керування трекінгом сонячних панелей може бути значно спрощена, якщо результуючу систему розглядати у вигляді двох підсистем: підсистеми керування двигунами по результатам опитування сенсорного модуля, акселерометра-магнетометра, температури, кінцевих вимикачів та/або інших (CSM-підсистема); підсистеми збору діагностичної, керуючої та іншої інформації і передавання її (SICT-підсистема).

4) Декомпозиція системи приладу керування положенням сонячних панелей на підсистеми CSM та SICT дозволяє, ще на етапі проектування, зручно формувати необхідний функціонал результуючого пристрою, навіть такий специфічний як Wi-Fi комунікація за будь-яким необхідним протоколом.

5) Використання приладу керування положенням сонячних панелей, у функціоналі описаному в роботі, дозволяє швидко і зручно переводити всю систему в цілому до елементів екосистеми Інтернету речей (ІоТ). Відповідний функціонал дозволяє, за потреби, масштабувати систему шляхом підключення приладів до спільної інформаційно-керуючої Wi-Fi мережі, організувати дистанційну діагностику приладів та своєчасну програмну модернізацію.

						Лист
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Судн-01п. 151. 01 ПЗ	

б) До побажань щодо вдосконалення, наведеного у проекті приладу, можна віднести наступні:

- Реалізацію можливості зміни базової прошивки OTA-методом, не лише для SICT-підсистеми, але й для CSM-підсистеми також;
- Реалізацію гарячої заміни вбудованих датчиків, а також екстреного додавання нових додаткових;
- Реалізацію самодіагностики всіх підсистем приладу.

					<i>СУдн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Як встановити сонячні батареї своїми руками: 2 ефективні способи. URL: https://www.moyo.ua/ua/news/kak_ustanovit_solnechnye_batarei_svoimi_rukami_2_effektivnykh_sposoba_.html (дата звернення: 18.04.2024).
2. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 3. - С. 2-10. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2015_3_2
3. Головань М. М. Система автоматичного позиціонування сонячних панелей / М. М. Головань, Н. В. Здолбіцька // Інформаційні технології і автоматизація– 2020 : зб. доп. XIII Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 22–23 жовт. 2020 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій, Інститут комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П. М. Платонова ; орг. ком.: Б. В. Єгоров (голова) та ін. – Одеса, 2020. – С. 284–286 Режим доступу <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/15740>
4. Аналіз продуктивності системи автоматичного позиціонування сонячних панелей / М.М. Головань, Н.В. Здолбіцька, В.О. Ліщина, С.В. Гринюк // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта : науковий журнал. - 2020. - Вип. 41. – С. 23-29 . <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-41-04>
5. Т.Е. Андрушко, Є.А. Дроздова, В.М. Козел, О.В. Іванчук ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБЛЕННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНИМИ ФОТОЕЛЕМЕНТАМИ В УМОВАХ АДАПТИВНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ // Вестник Херсонского национального технического университета. 2022. №1 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/doslidzhennya-modeley-efektivnosti-viroblennya-energiyi-sonyachnimi-fotoelementami-v-umovah-adaptivnogo-pozitsiyuvannya> (дата звернення: 11.04.2024).
6. Реука Є. Розробка структурної схеми PID контролера для керування позиціонування сонячної панелі для автономних мобільних роботів / Є. Реука

									Лист
									51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

// «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023: Collection of Students' Scientific Paper. – Kharkiv : Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2023. – Part 1. –336p. P. 100-104

URI <https://openarchive.nure.ua/handle/document/22782>

7. Луцко Б. О. Розроблення функціональної схеми керованого електропривода сонячної панелі / Б. О. Луцко, Т. Я. Біла // Електромеханічні, інформаційні системи та нанотехнології : матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції молодих учених та студентів, м. Київ, 18 листопада 2022 року. – Київ : КНУТД, 2022. – С. 18.
<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/23220>
8. Моркун, Н., Хома, Д. МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЧНОЇ ПАНЕЛІ. *MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES*. 4 (Груд 2022), 105–107.
<https://vottp.khmnmu.edu.ua/index.php/vottp/article/view/79/79>
9. Іванський І. І. Синтез та дослідження системи оптимального керування положенням сонячної фотоелектричної установки / Іванський І. І., Бубликов А. В. // Молодь: наука та інновації : матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року. – Дніпро : НТУ ДП, 2023. – Т. 1. – С. 434-436.
<http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/165648>
10. Kurbatova T., Spivakovskyy S., Sotnyk M. and Hyrchenko Y. «Solar Energy Advancement in Ukraine’s Households: is the Feed-In Tariff Economically Justified?», 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021. Pp. 1–4.
11. Aziz Bhuiyan M. A., Bhuiyan M. H., Rahman M. A., Abir M. A., Mehfuz N. and Salehin S. «Economic Assessment of Concrete and Floating Based Solar Chimney Power Plants in Bangladesh», 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp), 2020. Pp. 638–641.
12. Slabinoga, M. O., Kuchirka, Y. M., Krynytskyi O. S., & Yurkiv, N. M. (2018). THE SOLAR PANELS POWER CHANGE DEPENDING ON FROM THE

									Лист
									52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

MUTUAL BURNER CUT MODELING. *METHODS AND DEVICES OF QUALITY CONTROL*, (2(41), 18–24. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2018-2\(41\)-18-24](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2018-2(41)-18-24)

13. Y Tomashevskiy, O Burykin, V Kulyk, J Malogulko... Distribution electrical network information system based on the smart metering concept using standard load schedules - *Technical Sciences and Technologies*, 2020.

14. Криворіг Т. А. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ. Перспективні напрямки інформаційних і комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: Матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції.-Кропивницький: ЦНТУ, 2019.–162 с. 68.

15. Бунько, В., Харкевич, В., Ануліч, О. Аналіз способів керування трекерною установкою для сонячних електричних станцій систем електрозабезпечення. In: *The IV International Science Conference «Prospects and achievements in applied and basic sciences*. 2021. p. 654-656.

					<i>Судн-01п. 151. 01 ПЗ</i>	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

