

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**«РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА З КОНТРОЛЮ
ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ ТА КЕРУВАННЯ
ТРЕКЕРОМ»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕС-23м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні станції»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Горбань В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., проф., професор каф. ЕСС
(науковий ступінь, учене звання, посада)

Рубаненко О.Є.
(прізвище та ініціали)

« 06 » 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., проф. каф. ЕССЕМ
(науковий ступінь, учене звання, посада)

Терещкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)

« 09 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., проф. Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

« 06 » 12 2024 р.

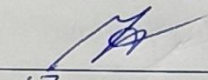
Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.


17.09 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

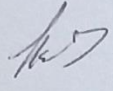
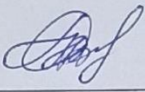
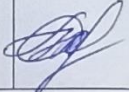
Горбаня Вадима Сергійовича.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Розробка лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером
керівник роботи к.т.н., проф., професор каф. ЕСС Рубаненко О.Є.
затверджена наказом ВНТУ від «17» вересня 2024 року № 310
2. Строк подання студентом роботи 28 листопада 2024 року
3. Вихідні дані до роботи:
 1. Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання: 1. Shahid, Adnan. Single axis solar tracker project tutorial. Techatronic. Retrieved December 6, 2024, from <https://techatronic.com/single-axis-solar-tracker-project-tutorial>; 2. Moreno, J., Campagnolo, L., Boitier, B. et al. (2024). The impacts of decarbonization pathways on Sustainable Development Goals in the European Union. Commun Earth Environ 5, 136. doi.org/10.1038/s43247-024-01309-7.; Вихідні дані для розробки стенду: плата Arduino Uno (на базі ATmega328P), серводвигун, датчики світла, програмне серовище Arduino IDE.
4. Зміст текстової частини:
Вступ. 1 Дослідження особливостей експлуатації обладнання фотоелектричних станцій; 2 Особливості трекерних систем фотоелектричних станцій; 3 Розробка конструкції та програмного забезпечення лабораторного стенда; 4 Заходи забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок; 5 Економічна частина; Висновки Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
2.Актуальність; 3.Мета і завдання; 4.Об'єкт, предмет дослідження та новизна; 5. Розташування ФЕМ; 6. Приклад технічних характеристик двохосового сонячного трекера AS SUN FLOWER 46; 7. Сонячний трекер; 8. Складові двоосової моделі; 9-10. Параметри інверторів; 11. Особливості трекерних систем; 12. Типи трекерів; 13.

Лабораторний стенд; 14. Конструкція переносного (мобільного) лабораторного стенду; 15. Загальні відомості про Arduino; 16. Сервер обробки даних; 17. Опис фрагменту програми керування трекером; 18. Зовнішній вигляд лабораторного стенда; 19. Висновок

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Рубаненко О.Є., к.т.н., доц., проф. кафедри ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 року

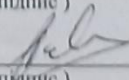
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Пр міт
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	18.09.24	20.09.24	
2	Дослідження особливостей експлуатації обладнання фотоелектричних станцій	21.09.24	25.09.24	
3	Особливості трекерних систем фотоелектричних станцій	26.09.24	26.10.24	
4	Розробка конструкції та програмного забезпечення лабораторного стенда	27.10.24	10.11.24	
5	Заходи забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок	11.11.24	15.11.24	
6	Економічна частина	16.11.24	20.11.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	21.11.24	24.12.24	
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	25.12.24	28.12.24	
	Захист МКР	І декада грудня (за графіком)		

Студент

Керівник роботи


(підпис)


(підпис)

В.С. Горбань

О.Є. Рубаненко

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Горбань Вадим Сергійович «Розробка лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця : ВНТУ. 2024. 88 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 18 назв; рис.: 44.

В магістерській кваліфікаційній роботі було виконано дослідження актуальності використання трекерних систем відстеження положення сонця та розроблено схему, конфігурацію та написано програму для лабораторного стенду контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером.

В першому розділі розглядаються фотоелектричні станції в цілому. Особлива увага приділяється обладнанню ФЕС, а саме фотоелектричним модулям, інверторам, трансформаторам та системам захисту.

В другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи виконано аналіз доцільності використання трекерних систем відслідковування положення сонця, їх різновиди, переваги та недоліки, особливості застосування. Також розглянуто прототип стенду з фото панеллю та трекером.

В третьому розділі показано розроблену структурну схему системи контролю фотоелектричного модуля, функціональну схему систем контролю параметрів та керування фотомодулем та приведені відповідні коди програм.

В економічній частині визначено витрати на виготовлення лабораторного стенду та термін його окупності.

Ключові слова: фотоелектричний модуль, трекерна система, лабораторний стенд

ABSTRACT

Vadym Horban' “ Design of a laboratory stand for monitoring the parameters of a photovoltaic panel and tracker control”. Master's qualification work in speciality 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU. 2024. 88 c.

In Ukrainian. Bibliography: 18 titles; Figures: 44.

In the master's qualification thesis, the author studied the relevance of using tracker systems for tracking the position of the sun and developed a scheme, configuration and wrote a program for a laboratory stand for monitoring the parameters of a photovoltaic panel and controlling the tracker.

The first chapter discusses photovoltaic power plants in general. Particular attention is paid to PV equipment, namely photovoltaic modules, inverters, transformers and protection systems.

The second chapter of the master's thesis analyses the feasibility of using tracker systems for tracking the position of the sun, their types, advantages and disadvantages, and application features. A prototype of a stand with a photo panel and a tracker is also described.

The third section shows the developed block diagram of the PV module control system, the functional diagram of the PV module parameter monitoring and control systems, and the corresponding program codes.

The economic part determines the cost of manufacturing the laboratory testbed and its payback period.

Keywords: photovoltaic module, tracking system, laboratory testbed

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИМ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	
ОБЛАДНАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ.....	11
1.1 Фотоелектричні модулі ФЕС	11
1.2 Інвертори фотоелектричних станцій.....	15
1.3 Особливості вибору трансформаторів ФЕС	21
1.4 Обладнання захисних систем ФЕС	22
Висновки до розділу 1	25
2 ОСОБЛИВОСТІ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ	
СТАНЦІЙ	27
2.1 Загальна інформація про трекери ФЕС.....	27
2.1.1 Одноосьові трекери.....	31
2.1.2 Двохосьові трекери	34
2.2 Активні та пасивні сонячні трекери.....	38
2.3 Приклад стенду з трекерним механізмом	40
Висновок до розділу 2	43
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	44
3.1 Розробка конструкції переносного (мобільного) лабораторного	
стенду з контролю параметрів фотоелектричних модулів	44
3.2 Опис коду програми для вимірювань параметрів	
фотоелектричного модуля.....	50
3.3 Опис коду програми для ручного керування положенням	
фотоелектричного модуля.....	54
3.4 Структурна схема системи контролю параметрів ФЕМ.....	57
3.5 Функціональна схема системи контролю параметрів та	

керування охолодженням ФЕМ.....	60
3.6 Опис коду програми керування трекером лабораторної роботи	63
Висновки до розділу 3	72
4 ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ	
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	74
4.1 Задача розділу.....	74
4.2 Загальні відомості	74
4.3 Розрахунок заземлення лабораторного стенду 220 В	75
Висновки до розділу 4	80
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	81
Висновки до розділу 5	83
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85
ДОДАТКИ.....	87
Додаток А. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	88
Додаток Б. Технічне завдання МКР	89
Додаток В. Ілюстративна частина	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ФЕС – Фотоелектрична станція;

ККД – Коефіцієнт корисної дії;

ФЕМ – Фотоелектричний модуль;

СБ – Сонячні батареї;

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок.

ВСТУП

Актуальність роботи. В світі, в тому числі і Україні запроваджується ряд заходів спрямованих на декарбонізацію, діджиталізацію та децентралізацію енергетичного сектору України [1-3]. Політика декарбонізації, основним чином, передбачає зменшення залежності від викопних палив та переході на низьковуглецеві джерела енергії, такі як вітер, сонце та вода. Процес переходу є поступовим та регламентується рядом міжнародних документів, серед яких Європейський зелений курс, що також імплементований і в Україні [4-6].

Питання децентралізації генерування на сьогоднішній день актуально, з точки зору забезпечення надійності електропостачання. Як результат систематичних пошкоджень обладнання енергетичної інфраструктури, численні підприємства та й звичайні споживачі мають довгі перерви в електропостачанні. Це в свою чергу спонукало підприємців та населення до купівлі та встановлення джерел розосередженого генерування. Як свідчать результати аналізу літературних джерел, то серед інших типів обладнання, широкого поширення отримали фотоелектричні станції (ФЕС) [7].

Сьогодні галузь сонячної енергетики переживає стрімке зростання, по всьому світу активно досліджують можливості збільшення генерованої потужності фотоелектричних панелей, потужності фотоелектростанцій зростають, розвиваються суміжні галузі (наприклад, системи зберігання енергії). Важливим питанням у рамках будь-якої енергетичної галузі є питання ефективності роботи таких станцій. Коефіцієнт корисної дії фотоелектричних панелей безпосередньо залежить від технології та матеріалу, з якого вони виробляються. Протягом світлового дня кут нахилу сонця до сонячної панелі постійно змінюється. Відповідно змінюється і потужність генерування. Підвищити вироблення можна за допомогою використання трекерів.

Предмет дослідження – фотоелектричні системи з трекерною системою відстеження положення сонця.

Об'єкт дослідження – розробка лабораторного стенду по контролю параметрів фотоелектричних панелей з трекерною системою.

Мета та завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка лабораторного стенду по контролю параметрів та керуванню трекером.

Відповідно до мети в роботі поставлені такі **задачі**:

- дослідити особливості експлуатації обладнання фотоелектричних станцій;
- виконати аналіз особливостей функціонування трекерних систем фотоелектричних станцій;
- розробити конструкцію та програмне забезпечення лабораторного стенду;
- виконати економічний розрахунок вартості виготовлення стенду;
- розрахувати заземлення лабораторного стенду.

Новизна отриманих результатів. Удосконалено комп'ютерну програму керування положенням трекеру фотоелектричної панелі лабораторного стенду.

Практичне значення полягає у результатах розрахунків, що можуть лабораторний стенд може бути використаний для навчального процесу та виконання науково-дослідних робіт по дослідженню ефективності трекерних систем ФЕС.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи, отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні результати були розглянуті на Міжнародній науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2025)»..

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Фотоелектричні модулі ФЕС

Фотоелектричні модулі (ФЕМ), більш відомі як сонячні панелі, перетворюють сонячне випромінювання в електричний струм за допомогою фотоелектричного ефекту [8]. На сьогоднішній день на ринку є велика різноманітність фотоелектричних модулів, що різняться між собою типом, потужністю, ефективністю та іншими параметрами [9].

Узагальнено конструкцію фотоелектричного модуля показано на рис. 1.1. Основними конструктивними елементами ФЕМ є: 1 – рама з алюмінію, 2- загартоване скло з антибликовим покриттям, 3 - передня ламінуюча плівка (EVA), 4 - елементи (комірки) з'єднані послідовно плоскими провідниками, 5 - задня ламінуюча плівка (EVA), 6 - задня захисна плівка, 7- з'єднувальна коробка з захисним діодом і з'єднувальними кабелями



Рисунок 1.1 – Конструкція ФЕМ

Фотоелектричні модулі складаються з декількох фотоелектричних селів (комірок), з'єднаних послідовно або паралельно. Ці комірки переважно виготовляються з напівпровідникових матеріалів, переважно кремнію, який

відомий своєю ефективністю в перетворенні сонячного світла в електрику. Основними технічними характеристиками є: розмір, колір, кількість, перш за все, ефективність перетворення. Саме ефективність перетворення є основним параметром, що впливає на вихідну потужність панелі. Найпоширенішими елементами є полікристалічні з ефективністю близько 17,6 %, для ФЕМ потужністю 250 Вт необхідно близько 60 елементів.

Захисні діоди необхідні для запобігання перегріву і виходу з ладу частково затінених елементів сонячної панелі. Без них вся панель може вийти з ладу через вигорання одного з елементів. Передня частина модуля зазвичай покрита загартованим склом, щоб захистити комірки від впливу навколишнім середовищем, тоді як задню панель можна використовувати пластик або інший шар скла.

В залежності від технології виготовлення фотоелектричні модулі можна класифікувати наступним чином:

1. Монокристалічний кремній: виготовлені з монокристалічного кремнію, ці модулі мають високу ефективність (до 22%) і відомі своєю довговічністю та продуктивністю в обмеженому просторі. Вони, як правило, дорожчі через складний процес виробництва.

2. Полікристалічний кремній: складаються з кількох кристалів кремнію, ці модулі, як правило, менш ефективні (до 20%), але дешевші у виробництві. Вони підходять для різних застосувань, але можуть займати більше місця порівняно з монокристалічними панелями.

3. Тонкоплівкові сонячні батареї: вони виготовляються шляхом нанесення одного або кількох тонких шарів фотоелектричного матеріалу на підкладку. Вони легкі та гнучкі, але зазвичай мають нижчу ефективність порівняно з варіантами кристалічного кремнію.

4. Перовскітні сонячні батареї: новітня технологія, перовскітні фотомодулі продемонстрували швидкий прогрес у ефективності та виробничих технологіях. Вони складаються зі спеціальної структури, яка забезпечує високу

швидкість перетворення енергії.

Як зазначалося вище робота фотоелектричних модулів ґрунтується на фотоелектричному ефекті, коли фотони світла збуджують електрони в напівпровідниковому матеріалі, генеруючи електричний струм (рис. 1.2). Ефективність фотоелектричного модуля визначається тим, скільки сонячного світла він може перетворити на корисну електроенергію. Фактори, що впливають на ефективність, включають: орієнтацію модуля (правильне вирівнювання по відношенню до сонця збільшує генеровану потужність), умови навколишнього середовища (температура, затінення та бруд можуть суттєво впливати на продуктивність), якість матеріалів (більш якісні матеріали, як правило, забезпечують кращу продуктивність з часом).

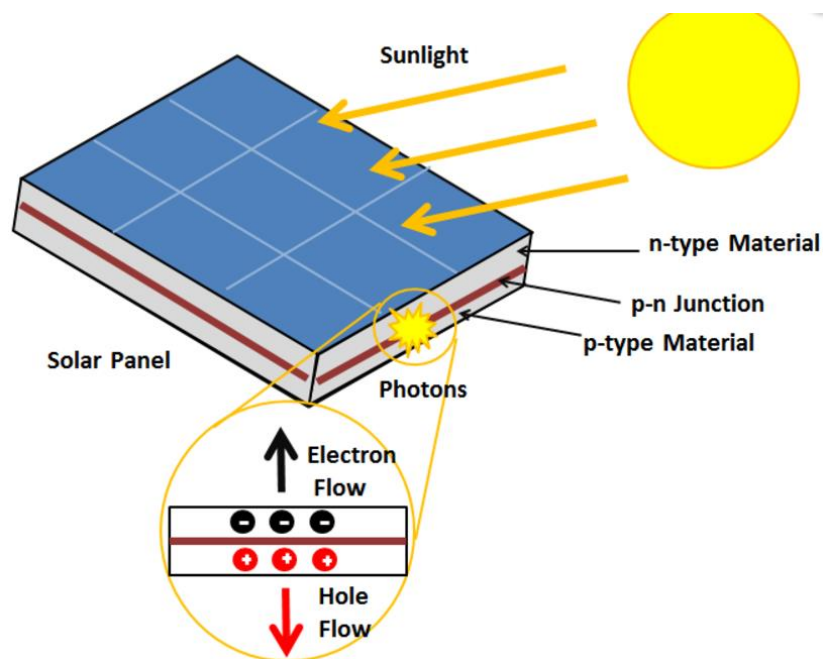


Рисунок 1.2 – Фотоелектричний ефект у ФЕМ

Щодо застосування ФЕМ, то їх можна використовувати в різних умовах, зокрема, встановлювати на дахах або інтегрувати в конструкції будівель для забезпечення електроенергією будинків. Більш потужніші та масивніші фотоелектричні станції можуть бути встановлені на комерційних будівлях (наприклад, дахах супермаркетів та великих торгових площадок, заводів та

підприємств) або будуються наземні фотоелектричні станції, що можуть займати від 1 до десятків гектар площі [10].



Рисунок 1.3 – ФЕМ встановлені на даху приватного будинку



Рисунок 1.4 – ФЕМ встановлені на даху супермаркету

Варто відзначити також і те, що фотоелектричні модулі можуть забезпечувати електроенергією віддалені місця, де немає доступу до мереж централізованого електропостачання.

Таким чином, фотоелектричні модулі, як елементи фотоелектричних станцій відіграють вирішальну роль у генеруванні електроенергії з відновлюваних джерел енергії, перетворюючи сонячне випромінювання в електрику за допомогою передових напівпровідникових технологій. Їх конструкція та ефективність продовжують розвиватися завдяки постійним дослідженням і розробкам у галузі сонячної енергетики.

1.2 Інвертори фотоелектричних станцій

Інвертори на фотоелектричних станціях використовуються для перетворення постійного струму (DC), що генерується фотоелектричними панелями, у змінний струм (AC), необхідний для роботи з мережею. Інвертори відіграють важливу роль в оптимізації виробництва енергії, забезпеченні ефективної роботи за різних умов і підтримці стабільності системи. Інвертори оснащені також функцією зберігання даних про генерування енергії на ФЕС, що важливо для аналізу ефективності роботи станції. Багато сучасних інверторів мають вбудовані функції моніторингу, які дозволяють виявляти проблеми (пошкодження) та оцінювати ефективність системи. Власне функція моніторингу відіграє ключову роль у максимізації виробництва енергії та мінімізації витрат на ремонт і обслуговування ФЕС [8-10].

У паспортних даних до інверторів зазначають наступні параметри:

- Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$ (Вт);
- Вхідна напруга $U_{\text{вх}}$ (В): діапазон напруги, яку інвертор може приймати від ФЕМ;
- Вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ (В): напруга, що подається в мережу або на побутову техніку;
- Коефіцієнт потужності (PF): показує наскільки ефективно інвертор перетворює електроенергію:

$$PF = \cos[\tan^{-1}(Q / P)] \quad (1.1)$$

де P – активна потужність, а Q – реактивна потужність.

У фотоелектричній сонячній системі реактивна потужність - це частина потужності, яка проходить між джерелом і навантаженням, не перетворюючись на корисну роботу. Реактивна потужність необхідна для підтримки рівня напруги в допустимих межах і забезпечення належного функціонування електричної системи. Реактивна потужність виражається наступним чином:

$$Q = P \cdot \tan \left[\cos^{-1}(\text{PF}) \right] \quad (1.2)$$

- Коефіцієнт корисної дії (η , %): показує, яка частина вхідної енергії перетворюється на корисну вихідну;
- Тип інвертора;
- Функції захисту: Механізми безпеки для запобігання пошкодженням;
- Габарити;
- Вимоги до середовища де буде встановлений інвертор: умови, такі як температура, вологість і висота над рівнем моря, які може витримати інвертор;
- Способи підключення: як інвертор взаємодіє з ФЕМ та мережею.

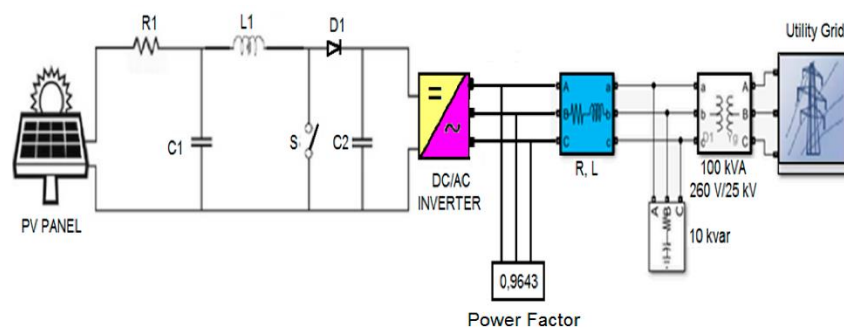


Рисунок 1.5 – Вимірювання коефіцієнта потужності в підключеній до мережі ФЕС

Щодо типів інверторів, що можуть бути встановлені на ФЕС, то згідно [...], можна класифікувати наступним чином.

1. Мережеві інвертори. Такі інвертори мають відносно великі розміри і низьку вартість. Вони підходять для потужних наземних фотоелектричних електростанцій з рівномірним освітленням. Серед відомих виробників : ABB, TBEA, Sineng Electric, Sungrow.

Переваги таких інверторів полягають у наступному: потужні, прості в керуванні, малокомпонентні, прості в обслуговуванні; низький вміст гармонік,

висока якість електроенергії; повні функції захисту, висока безпека; завдяки функції регулювання коефіцієнта потужності добре синхронізується з мережею.

Недоліки полягають у наступному:

- Діапазон напруги МРРТ мережевого інвертора вузький, і роботу кожного компонента неможливо контролювати, тому неможливо зробити кожен компонент в найкращій робочій точці, а конфігурація компонентів не є гнучкою
- Для таких інверторів потрібне спеціальне комп'ютерне приміщення
- Енергоспоживання, вентиляція та тепловіддача комп'ютерного приміщення є великими.



Рисунок 1.6 – Мережевий інвертор ФЕС

2. Стрінговий інвертор. Такий інвертор працює на основі принципу модульності, і кожний стрінг (1 ~ 5 кВт) підключається до інвертора. Цей тип став найпоширенішим на міжнародному ринку. Стрінгові інвертори в основному використовуються дахових ФЕС малої на середньої потужності, а також на наземних ФЕС. Серед відомих виробників: SRNE, Growatt, GoodWe, Deye, SMA. Переваги полягають у наступному:

- Нижча ціна: У порівнянні з мікроінверторами, стрінгові інвертори

зазвичай дешевші і є економічним вибором.

- **Простота:** Один інвертор може працювати з декількома сонячними панелями. У порівнянні з мікроінверторами, стрінгові інвертори простіше встановлювати і обслуговувати.
- **Довговічність:** Стрінгові інвертори розраховані на тривалий термін служби і, як правило, більш довговічні, ніж мікроінвертори.
- **Ефективність:** MPPT має широкий діапазон напруги, а конфігурація модуля є більш гнучкою; у дощові дні та в районах з великою кількістю туману час генерування електроенергії є тривалим.
- **Габарити:** Невеликий розмір, невелика вага, відносно просте транспортування та встановлення, невелика площа, відсутність потреби у спеціальному приміщенні для розподілу електроенергії та швидке встановлення.

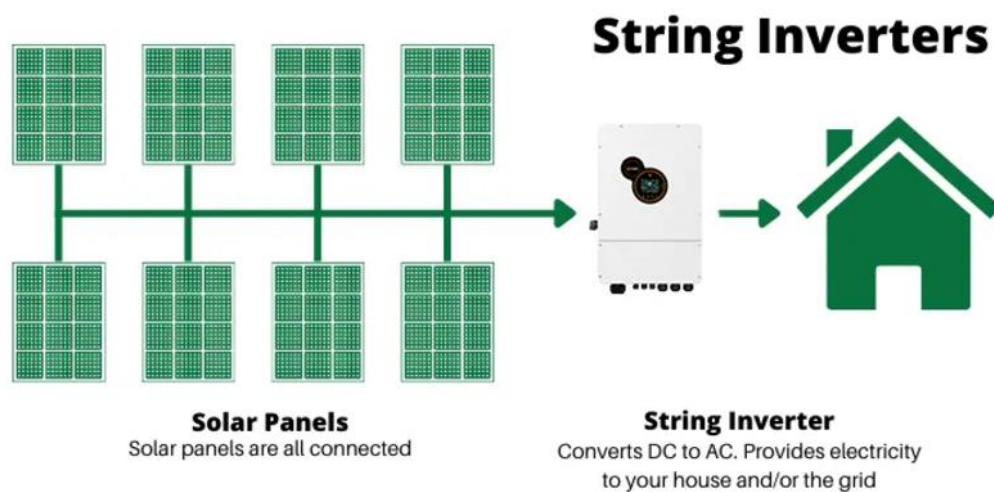


Рисунок 1.7 – Стрінговий інвертор ФЕС

З недоліків стрінгових інверторів можна відзначити наступне:

- **Затінення:** Якщо одна сонячна панель затінена, то загальна потужність стрінгу зменшується. У випадку з мікроінверторами, вони оптимізують потужність кожної окремої панелі.
- **Обслуговування:** Оскільки до одного інвертора підключено кілька

сонячних панелей, якщо інвертор потрібно відремонтувати або замінити, всю систему може знадобитися відключити, що призведе до втрат.

- **Безпека:** Стрінговий інвертор не оснащений трансформатором, тому його електробезпека трохи нижча.
- **Надійність:** Електричний проміжок між силовими пристроїв невеликий, що не підходить для високогірних районів; є багато компонентів, інтегрованих разом, і надійність дещо нижча
- **Деградація:** Якщо інвертор встановлений на відкритому повітрі, вітер і сонце можуть призвести до пошкоджень корпусу та потрапляння вологи в середину.

3. **Мікроінвертор.** Працює з однією-двома або чотирма панелями. У той же час виходи змінного струму мікроінверторів можуть бути поєднані між собою для формування необхідної вихідної потужності та підключення до мережі загального користування. Основні виробники: Hema Electric, Enphase, SolarEdge, Yuneng Electric.



Рисунок 1.8 – Стрінговий інвертор та мікроінвертор

Переваги мікроінвертора полягають у наступному:

- Підвищена ефективність: мікроінвертори можуть оптимізувати продуктивність кожної сонячної панелі, що дозволяє всій сонячній батареї генерувати більше енергії та краще працювати в затінених або частково затінених місцях.
- Підвищення безпеки: мікроінвертори працюють при низькій напрузі, що знижує ризик ураження електричним струмом.
- Простота встановлення: Мікроінвертори можна легко встановити на окремі сонячні панелі, уникаючи складний процес підключення та встановлення, пов'язаний з традиційними інверторами.
- Моніторинг системи: Мікроінвертори часто оснащені системою моніторингу, яка дозволяє власнику відстежувати продуктивність кожної панелі в режимі реального часу, що полегшує виявлення і вирішення будь-яких проблем, які можуть виникнути.



Рисунок 1.9 – Мікроінвертор на ФЕМ

Недоліки мікроінверторів полягають у наступному:

- Вища вартість: мікроінвертори, як правило, дорожчі, ніж стрінгові, і підходять для клієнтів у розвинених країнах Європи та США.
- Обслуговування: Оскільки кожна панель має власний інвертор, обслуговування та заміна окремих блоків може бути більш складним і трудомістким процесом.
- Сумісність: Не всі сонячні панелі сумісні з мікроінверторами, і може

знадобитися придбання спеціальних панелей для роботи з цим типом інвертора.

- Складність: Системи з великою кількістю мікроінверторів можуть бути складними і вимагати більше обслуговування, ніж традиційні мережеві інвертори, що може бути недоліком для потужних ФЕС.

1.3 Особливості вибору трансформаторів ФЕС

Вихідна змінна напруга інвертора 50 Гц або 60 Гц визначається рівнем постійної напруги фотоелектричного модуля. Далі інвертор підключається до інверторного трансформатора. Інверторний трансформатор - це підвищувальний трансформатор, який змінює вхідну напругу на змінну і компенсує кут зсуву фаз і коливання напруги, що мають місце в процесі перетворення електроенергії в інверторі [11].

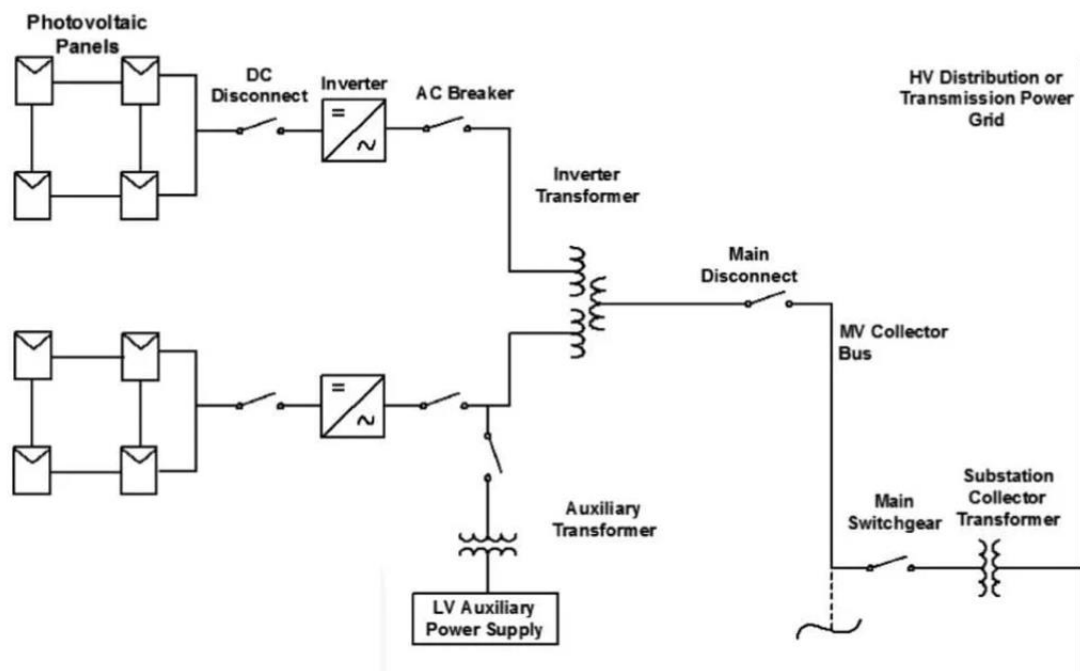


Рисунок 1.10 – Схема фотоелектричної станції

Типи трансформаторів, що використовують на ФЕС:

1. Інверторний трансформатор - для підвищення вихідної напруги змінного струму інвертора;

2. Трансформатор власних потреб - для забезпечення навантаження станції та живлення інвертора;
3. Заземлюючий трансформатор - для забезпечення віртуальної нейтралі до мережі середнього напруги;
4. Силовий трансформатор - збирає потужність декількох інверторних трансформаторів і підвищує її для передачі в зовнішню мережу [....].



Рисунок 1.10 – Трансформатори на ФЕС

1.4 Обладнання захисних систем ФЕС

Вторинна система живлення включають релейний захист, системи автоматики, систем зв'язку, диспетчерського керування і т.д. Вторинна система є незамінною і важливою частиною ФЕС. Вона забезпечує моніторинг та контроль впливу експлуатуючого персоналу на ФЕС в цілому. Пристрої релейного захисту та автоматики, пристрої обліку та контролю параметрів режиму використовують бездротовий зв'язок, а сигнали керування, вимірювання та диспетчеризації надсилаються до комплексної будівлі через оптичне волокно. Електрична централізована диспетчерська фотоелектричної електростанції та

кімната вторинного обладнання. Моніторинг інверторів, ізолюваних підвищувальних трансформаторів, системи живлення станції, автоматичної пожежної сигналізації та системи моніторингу безпеки кожної електронної системи генерації електроенергії централізовано встановлюється в диспетчерській.

Релейний захист сонячних електростанцій - це система пристроїв, що забезпечують безпечну та надійну роботу ФЕС. Релейний захист є основним елементом роботи енергосистеми і використовується для виявлення ненормальних режимів, таких як коротке замикання або перевантаження, і швидкої ізоляції пошкодженої ділянки. У сонячних електростанціях релейний захист має важливе значення для захисту обладнання, запобігання пошкодженням і підтримки надійності роботи електромережі.

Одним із особливих напрямків релейного захисту сонячних електростанцій є виявлення та ізоляція несправностей на стороні постійного струму (DC) в ФЕМ. На відміну від звичайних систем змінного струму, сонячні панелі генерують постійний струм, який повинен бути перетворений в змінний за допомогою інверторів. Сторона постійного струму сонячної електростанції створює особливі проблеми для релейного захисту через вищі рівні робочої напруги та інші характеристики несправностей. Для оцінки релейного захисту сонячних електростанцій важливо знати, який внесок у струм короткого замикання вносять сонячні батареї.

ФЕМ мають відносно низький струм короткого замикання порівняно з іншими джерелами живлення, такими як генератори або трансформатори. Рівень струму короткого замикання визначається такими факторами, як розмір ФЕМ, конфігурація і наявність пристроїв відстеження точки максимальної потужності (MPPT). Пристрої MPPT, які оптимізують виробництво електроенергії за різних умов сонячного випромінювання, можуть впливати на величину та часові характеристики струму короткого замикання. У системах релейного захисту ФЕС використовуються різні схеми і пристрої захисту. Це можуть бути реле

максимального струму і замикання на землю, реле напруги і схеми диференціального захисту. Для забезпечення комплексного захисту в відповідних вузлах ФЕС зазвичай використовується комбінація різних типів реле.

На конкретному прикладі розглянемо розрахунок струму КЗ, що може виникнути в ФЕМ.

Розглянемо ФЕС, що складається з 100 ФЕМ, з'єднаних послідовно. Кожна панель має номінальну напругу 50 В і максимальну вихідну потужність 300 Вт. Загалом станція має 10 паралельних стрінгів, кожен з яких складається з 10 панелей. Номінальна робоча напруга ФЕМ становить 500 В. Також обладнана пристроями відслідковування точки максимальної потужності (MPPT).

Щоб розрахувати значення струму короткого замикання, нам потрібно проаналізувати можливі сценарії пошкодження. Одним з найпоширеніших сценаріїв несправності в ФЕМ є коротке замикання однієї панелі. У цьому випадку струм короткого замикання обмежується всіма іншими панелями в одній лінії. Струм короткого замикання можна оцінити, використовуючи струм максимальної потужності панелі наступним чином:

$$I_{\text{КЗ}} = I_{\text{МРР}} \cdot (N - 1) \quad (1.3)$$

де $I_{\text{МРР}}$ – струм максимальної потужності однієї панелі, N – загальна кількість панелей.

Припустимо $I_{\text{МРР}}$ становить 6 А (що відповідає напрузі панелі 50 В), струм короткого замикання можна розрахувати як:

$$I_{\text{КЗ}} = 6 \cdot (100 - 1) \quad (1.4)$$

Після визначення струму короткого замикання можна виставити відповідні уставки налаштування реле. Узгодження з пристроями захисту, інверторів та

трансформаторів, має важливе значення для забезпечення селективної роботи та надійності систем захисту.

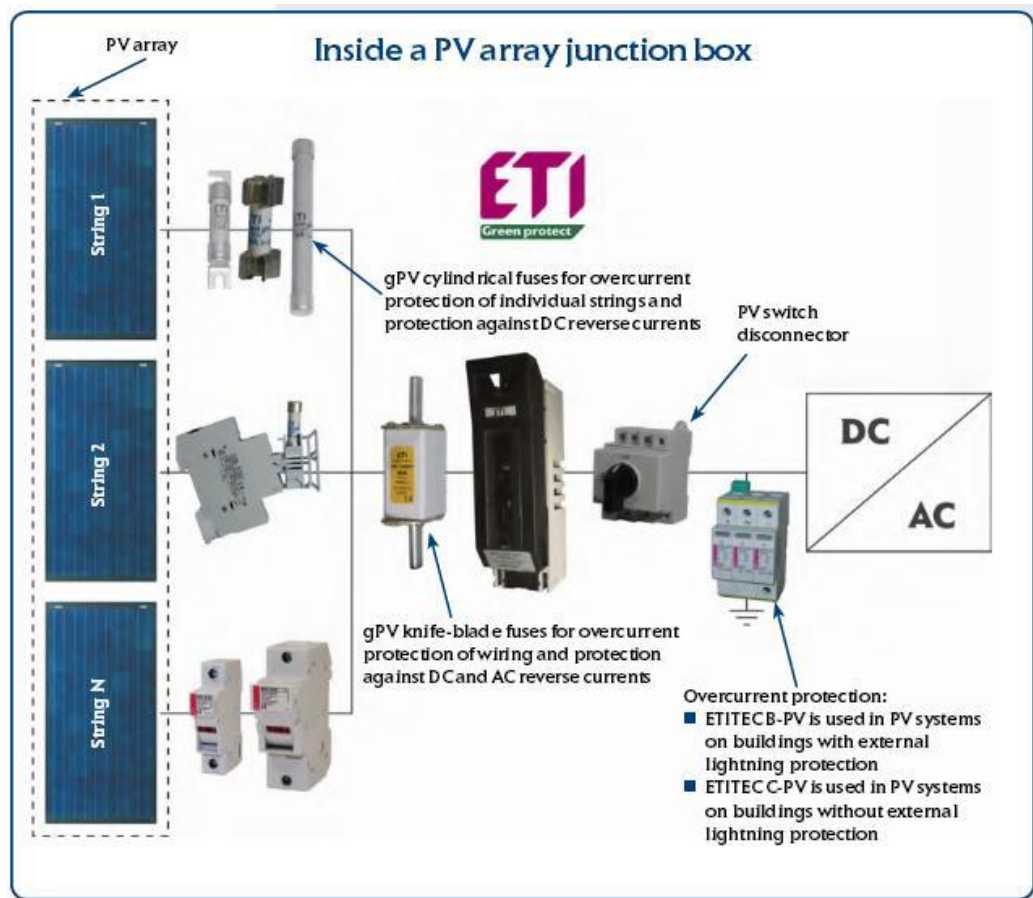


Рисунок 1.11 – З'єднувальна коробка (junction box) ФЕМ

На рис.1.11 показані циліндричні запобіжники для захисту від високих струмів окремих стрінгів, плавкі запобіжники для захисту від високих струмів та зворотніх струмів від мережі, вимикач та захист від надструмів: ETITEC B-PV використовують на ФЕС з зовнішнім блискавкозахистом, ETITEC C-PV використовують на ФЕС без зовнішнього блискавкозахисту.

Висновки до розділу 1

Аналіз вітчизняних та іноземних джерел свідчить про те, що практично у всьому світі значно зростає встановлена потужність сонячних електростанцій, що пояснюється політикою декарбонізації та захисту навколишнього

середовища від викидів парникових газів. Доступність комплектуючих сприяє широкому поширенню від дахових до потужних наземних ФЕС. Основними обладнанням таких станцій є фотоелектричні модулі, інвертори, трансформатори, пристрої релейного захисту та автоматики та ін. Конструктивні особливості самої ФЕС та типу обладнання, що буде експлуатуватись, залежить від призначення, місця встановлення, природніх умов, потужності станції.

2 ОСОБЛИВОСТІ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

2.1 Загальна інформація про трекери ФЕС

Враховуючи той факт, що в Україні серед ВДЕ, переважають фотоелектричні станції, варто звернути увагу і на те, що на ефективність їх роботи суттєвий вплив має рівень інсоляції. Щодо нашої країни, то для неї характерні такі рівні інсоляції як показано на рис. 2.1.

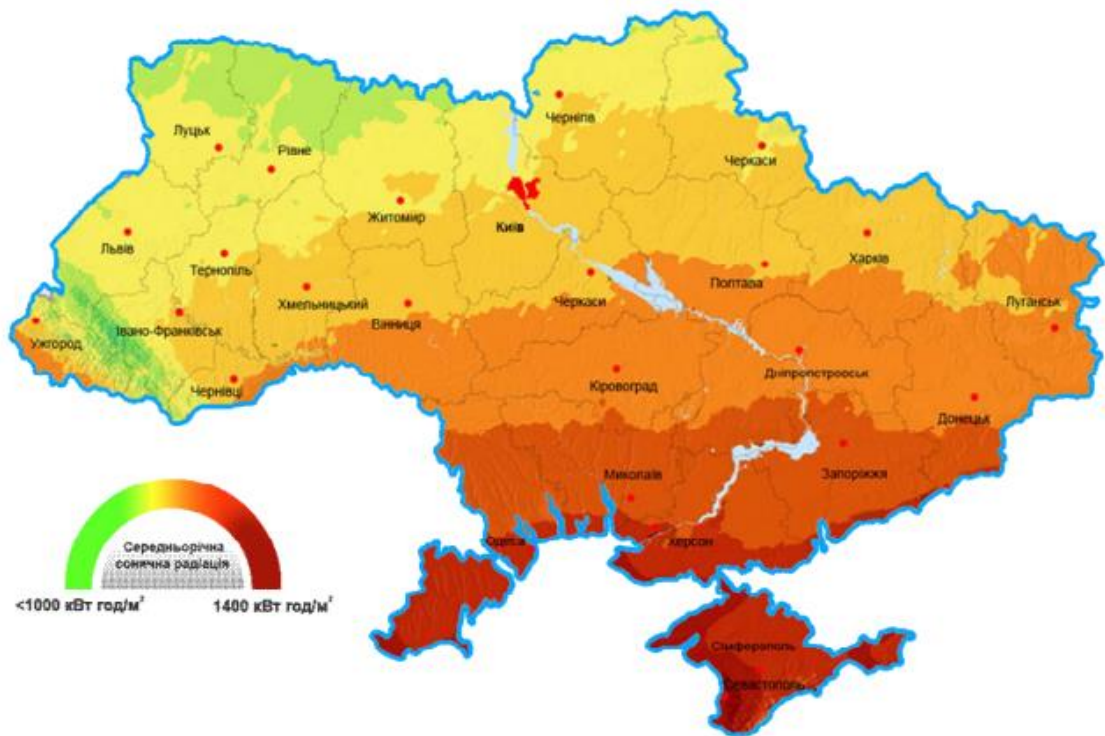


Рисунок 2.1 – Карта сонячної інсоляції в Україні

Як зазначається в [12, 13], що вихідна потужність ФЕМ залежить, не тільки від технічних характеристик та освітленості, а досить суттєво залежить від кута падіння сонячних променів. Проведено багато досліджень та виявлено закономірності цього явища. Літом кут падіння сонячних променів до поверхні землі становить близько 69° , весною та восени – близько 40° , а зимою – 14° . Можна зробити висновок, що ФЕС, які не оснащені трекерними системами

втрачають близько 40-60% можливої генерації.

Система відстеження регулює напрямки фотоелектричних панелей таким чином, щоб сонячна панель завжди була розташована в напрямку сонця. Виявлено, що якщо регулювати панелі таким чином, щоб панелі були перпендикулярні сонцю, на них потрапляє більше сонячного світла (рис. 2.1).

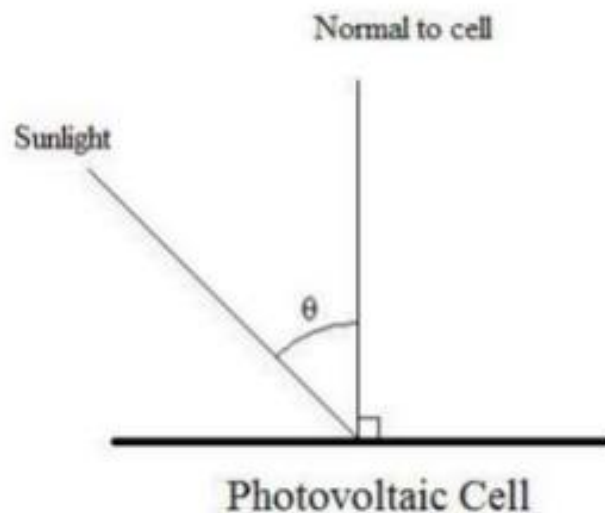


Рисунок 2.2 – Кут падіння сонячних променів на ФЕМ

Компоненти сонячного трекера (рис. 2.3 – 2.6) [13]:

а) Трекерне кріплення – це конструкція, яка утримує панель у належному нахиленому положенні.

б) Привід – використовується для керування обертанням вала двигуна.

в) Датчики – використовуються для виявлення відповідних параметрів, викликаних сонцем, і вихідної продукції.

г) Двигун – керує положенням трекера.

д) Програмне забезпечення – використовується для обчислення положення сонця за допомогою алгоритмів, які використовують час, дату та географічне розташування.



Рисунок 2.3 – Трекерне кріплення



Рисунок 2.4 – Поворотний двигун



Рисунок 2.5 – Актуатор на базі двигуна постійного струму



Рисунок 2.6 – Контролер

На початку 2000-х років ідея встановлення трекерних систем вважалася досить дорогою, вимагала спеціального технічного обслуговування, а тому перевага надавалася стаціонарним системам кріплення фотоелектричних модулів. Проте технологія відстеження положення ФЕМ продовжувала розвиватися, з огляду на те замовники ФЕС все частіше звертали увагу на ефективність системи, та обмеженням в займаній площі.

У системі є різні компоненти трекера, включаючи двигуни, контролери та датчики, які з часом стають усе меншими. Ці системи відстеження також були оптимізовані для зменшення кількості необхідних компонентів. Деталі передач стали меншими та ефективнішими, а датчики стали компактнішими завдяки використанню SCADA та технології моніторингу. Вся установка стала компактнішою та простішою для встановлення.

Технології трекерних систем ФЕС постійно вдосконалювалися ставали більш надійними та ефективнішими. Від одноосьових до двоосьових трекерів і від пасивних до активних трекерів, сьогодні трекери оснащені інтелектуальними функціями, що має значний вплив на вихідну потужність ФЕМ. Так, наприкладі Індії, на ФЕС встановлюють сонячні трекери оснащені механізмами стійкими до погодних умов, з'єднувальними трубами з шарнірними з'єднаннями, захистом від пилу та дощу. Деякі останні інновації включають спрощену конструкцію з

меншою кількістю двигунних частин і самокалібруванням. Також трекери можуть самостійно очищати модулі, тому не потребують регулярного обслуговування.

Залежно від функціоналу трекери можна класифікувати наступним чином:

- Пасивні пристрої стеження
- Активні пристрої стеження
- Трекери відкритого циклу

Трекери відкритого циклу поділяються на два типи:

- Часові трекери
- Трекери висоти / азимута

Відносно конструктивних особливостей, то поділ наступний:

- Одноосьові сонячні трекери
- Двоосьові сонячні трекери

Узагальнюючи, класифікацію трекерних систем можна зобразити наступним чином, як це показано на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Класифікація трекерів ФЕС

2.1.1 Одноосьові трекери

Роль одноосьового трекера полягає в тому, щоб переміщувати або регулювати сонячні панелі шляхом обертання навколо однієї осі [13]. Його рух

зазвичай узгоджується в північному і південному напрямках. Тобто відбувається відслідковування руху Сонця зі сходу на захід.

Одноосьовий трекер підвищує ефективність ФЕС. Такі трекири є економічно вигідними, стабільними та ефективними системами. Вони повністю підходять для усіх типів ФЕМ і адаптуються до різних місцевостей. Наприклад, виробники KSENG у технічній документації до трекерів серії KST-2P One Axis Solar Tracker Single Axis Automatic Sun Tracker Solar Slew Drives Solar Tracking System Kit заявляють використання алгоритму штучного інтелекту для максимального збільшення виробництва електроенергії.

Одноосьові сонячні системи відстеження підходять для різних застосувань, включаючи житлові, комерційні та комунальні ФЕС. Їх можна використовувати як для наземного монтажу, так і для встановлення на даху, залежно від наявного простору та вимог проекту. Відповідальні виробники трекерних систем підтверджують надійність конструкції численними випробуваннями. Зокрема проводять аеродинамічні випробування.

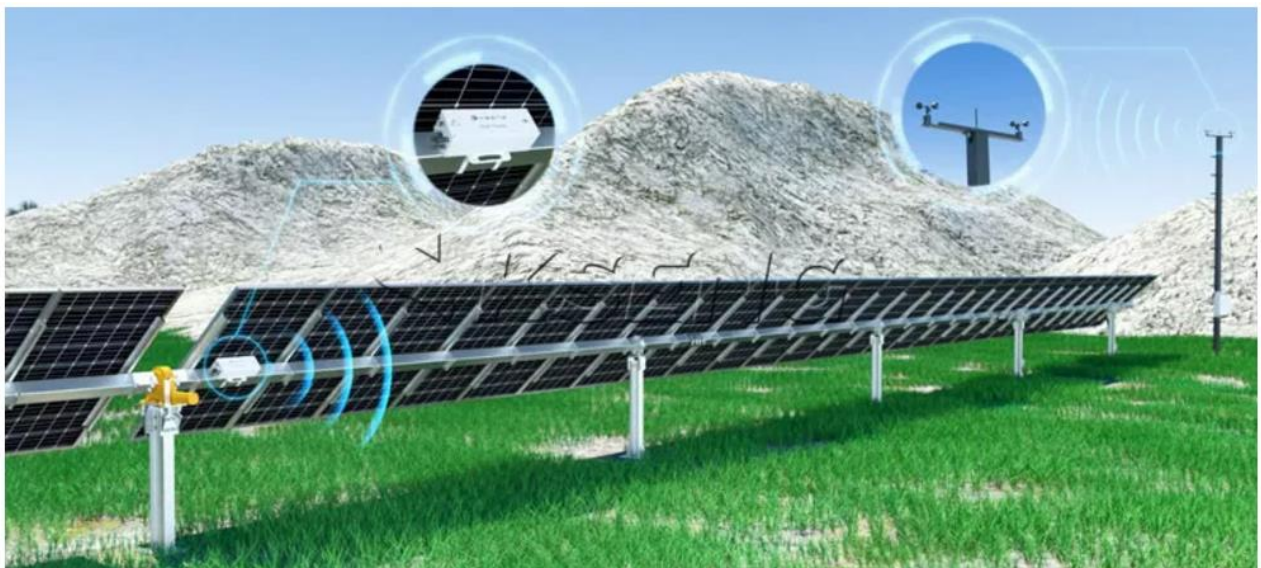


Рисунок 2.8 – Трекер серії KST-2P One Axis Solar Tracker Single Axis Automatic Sun Tracker

STRUCTURE	
System type	Double Portrait Horizontal Single-axis Tracker
PV-Module quantity per row	2Px45、 2Px30
Tracking range	$\pm 60^\circ$ (Customized according to project)
Tracking accuracy	$\pm 1^\circ$
Motor quantity	1 unit

Рисунок 2.9 – Технічні характеристики трекеру серії KST-2P One Axis Solar Tracker Single Axis Automatic Sun Tracker

З технічних характеристик можна зробити висновок, що для трекерів серії KST-2P характерний діапазон відстеження в 60° . Повернення до горизонтального положення займає 5-6 хв. Захист від сильних вітрів та перевантажень.

Власне одноосьові трекери набули широкого поширення в порівнянні з іншими типами, перш за все із-за економічної доцільності та простоти конструкції, ефективності відносно стаціонарних систем кріплення ФЕМ.

Трекер для сонячних панелей у своїй повній комплектації включає: несучу опорну конструкцію; вертикально-рухомий механізм; горизонтально-рухомий механізм; електродвигуни; пасову або зубчасту передачу та підшипники; блок керування автоматикою та актуатори для орієнтації по координатах; захист від перевантажень, блискавкозахист, стабілізатори; метеостанцію для переорієнтації системи з метою мінімізації пошкоджень від несприятливих погодних умов; систему віддаленого доступу; інвертор для перетворення постійного струму на змінний і живлення трекера та споживачів.



Рисунок 2.10 – Трекер серії KST-2P One Axis Solar Tracker Single Axis Automatic Sun Tracker

2.1.2 Двохосьові трекари

Сонце відстежується за двома окремими осями з використанням двох опорних точок, тож у цьому методі панель можна повертати на 360° . У системі сонячного відстеження такого типу зазвичай присутні як горизонтальна, так і вертикальна осі [12-15]. Хоча він потребує складної системи керування, він кращий, ніж одноосьові. Двохосьові фотоелектричні системи характеризуються азимутом їх головних осей по відношенню до землі на дві різні категорії. Система відстеження подвійної осі за азимутом і висотою (AADAT) і система відстеження подвійної осі нахилу (TTDAT) є двома типовими типами. Основна вісь системи TTDAT розташована горизонтально до землі, тоді як допоміжна вісь перпендикулярна до основної осі. Первинна вісь AADAT перпендикулярна до

землі, тоді як вторинна вісь перпендикулярна до первинної осі. На рис. 2.7 показано двовісні системи відстеження PV: (A) TTDAT і (B) AADAT.

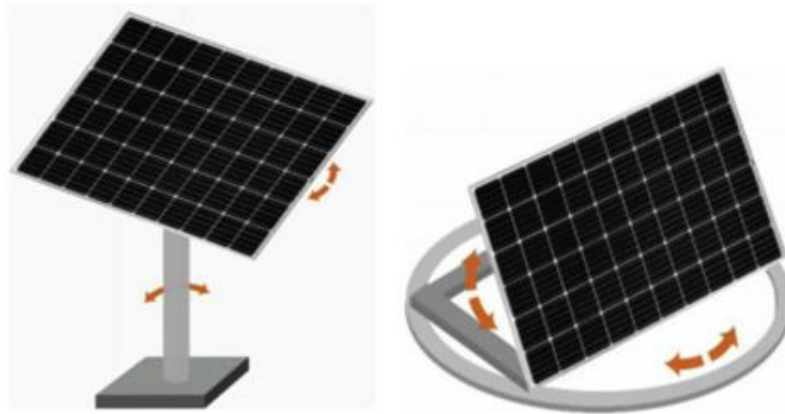


Рисунок 2.11 – Двохосьові системи відстеження

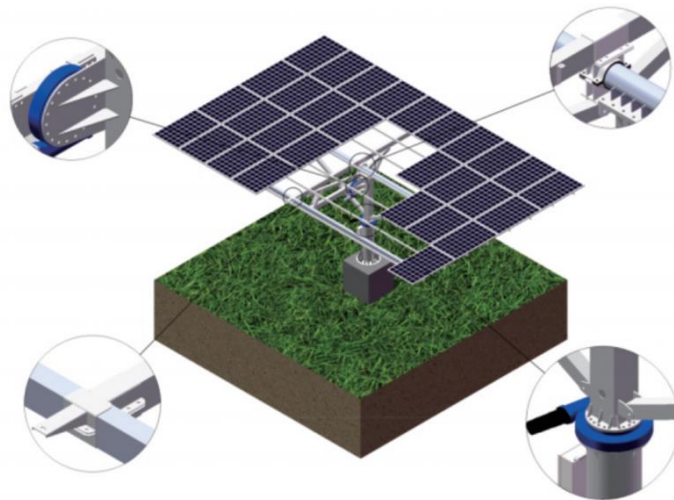
На нашому ринку можна зустріти двохосьові трекери SolarFirst. На рис. 2.8-2.10 показано конструктивні особливості та технічні характеристики таких систем. На добу такий трекер споживає 0,5 кВт/год. Має захист від сильних та поривчастих вітрів. Перебачена передача даних, як бездротовим зв'язком (ZigBee, LoRa) так і кабельним (RS485).

Двохосьові системи стеження за сонцем мають значні переваги, серед яких варто відзначити наступні:

1. Максимальна потужність генерування: Двохосьові трекери можуть генерувати на 40-50% більше енергії на рік, ніж ФЕМ на стаціонарних кріпленнях .
2. Оптимальне відстеження сонця: Вони можуть розташовувати сонячні панелі практично в будь-якому напрямку, що дозволяє точно відстежувати рух сонця протягом дня і сезонів.
3. Ефективність використання землі: Двохосьові трекери потребують менше земельної площі для генерування більше енергії порівняно з фіксованими системами.
1. Незважаючи на вищі початкові витрати, збільшення виробництва енергії

може призвести до швидшої окупності інвестицій¹.

4. Двовісні трекери мають більше рухомих частин, що робить їх більш схильними до технічних збоїв та пошкоджень.



а)



б)

Рисунок 2.12 – Двохосьові системи відстеження SolarFirst Duo

Технологія відстеження	Двоосьовий трекер
Напруга системи	1000В / 1500В
Діапазон відстеження	Азимут $\pm 120^\circ$, кут місця $0-60^\circ$
Робоча швидкість вітру	18 м/с (настроюється)
Макс.Швидкість вітру	35 м/с (ASCE 7-10)
Модулів на трекер	≤ 40 модулів (настроюється)
Основні матеріали	Гаряче оцинкована сталь Q235B/Q355B / Zn-Al-Mg покриттям
Система приводу	Поворотний привід
Тип фундаменту	PHC / Монтажна паля / Сталева паля

Рисунок 2.13 – Технічні параметри

Проте двохосьові трекерні системи мають і ряд недоліків, серед яких:

1. Їх дорожче купувати, встановлювати та обслуговувати порівняно з фіксованими або одновісними системами
2. Складні (багатокомпонентні) механізми часто призводять до коротшого терміну служби та нижчої надійності порівняно з простішими системами
3. Необхідне регулярне технічне обслуговування, що призводить до вищих довгострокових витрат
4. Ці системи можуть бути неефективними у похмурі дні та можуть бути більш вразливими до пошкоджень внаслідок екстремальних погодних умов.
5. Встановлення двовісних трекерів вимагає спеціальних знань і не підходить для проектів «зроби сам» .

Розглядаючи двовісні системи відстеження, важливо зважити ці фактори з урахуванням конкретних вимог проекту, місця розташування та бюджетних обмежень.

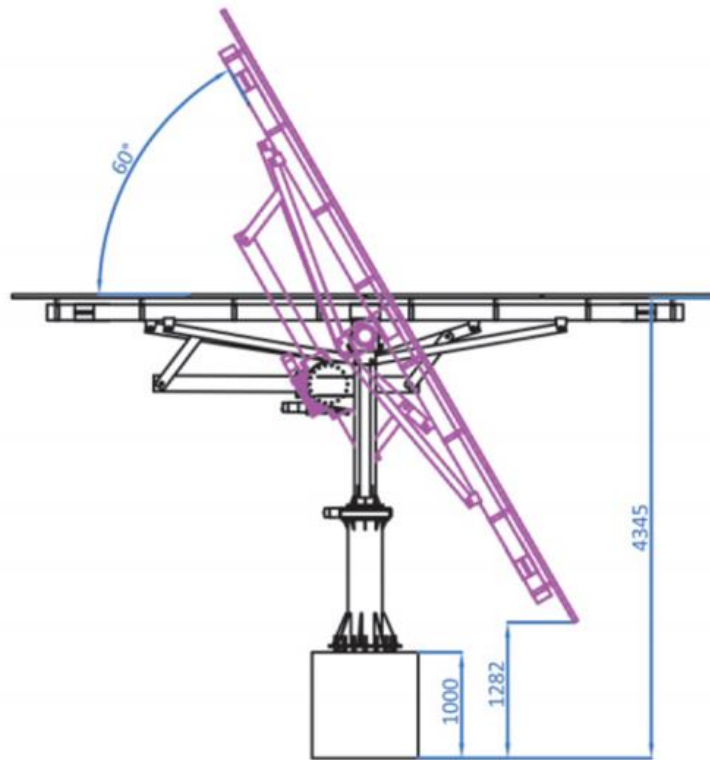


Рисунок 2.14 – Габарити трекерної системи

2.2 Активні та пасивні сонячні трекери

Активний сонячний трекер. Серед переліку різноманітних установок систем стеження активні системи стеження за сонцем займають перше місце. Ці системи відстеження мають вбудоване джерело енергії, яке допомагає двигунам або іншим механічним пристроям працювати (рис. 2.11). Це допомагає безпосередньо нахилити прикріплені фотоелектричні модулі [15].

- Активний сонячний трекер визначає інтенсивність сонячного випромінювання, за допомогою використання спеціальних датчиків світла.
- Система оцінює, куди повинні бути орієнтовані сонячні модулі.
- Активні сонячні трекери ідеально підходять для великих і потужних ФЕМ.

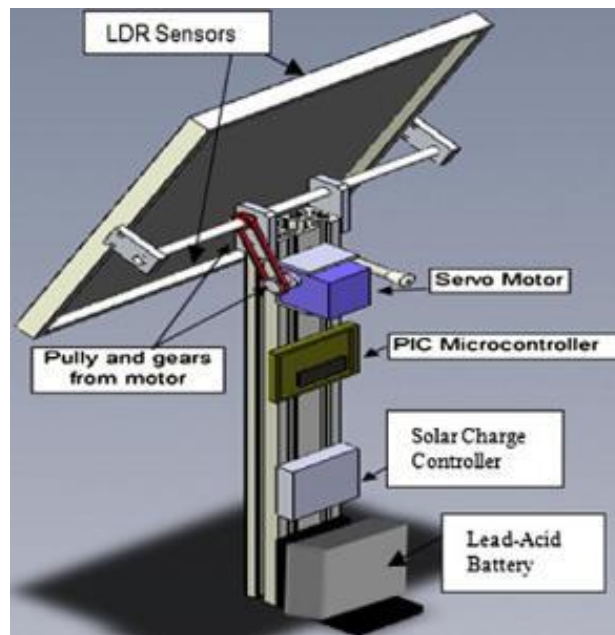


Рисунок 2.15 – Активні сонячні трекери

Пасивний сонячний трекер. Пасивний сонячний трекер відстежує сонце без залучення додаткового джерела енергії. Пасивний сонячний трекер, змінює положення, використовуючи тепло від сонця для нагрівання газу, який є всередині (рис. 2.12). Коли газ розширюється, він створює механічний рух фотоелектричних панелей.

Коли одна сторона панелей нагрівається, поршень іншої сторони піднімається, що призводить до нахилу панелі на сонячну сторону. Коли сонце заходить, холодний газ опускається і знову стискається. Таким чином, панелі повертаються назад.

Пасивні сонячні трекери мають кілька ключових переваг, серед яких енергоефективність, так як не потребують додаткового живлення, використовуючи натомість теплову енергію сонця для відстеження); простота конструкції (пасивні трекери працюють на основі теплового розширення газів, що робить їх механічно простішими порівняно з активними системами); низькі витрати на обслуговування (відсутність складних електронних компонентів та рухомих частин, вони потребують менше технічного обслуговування)

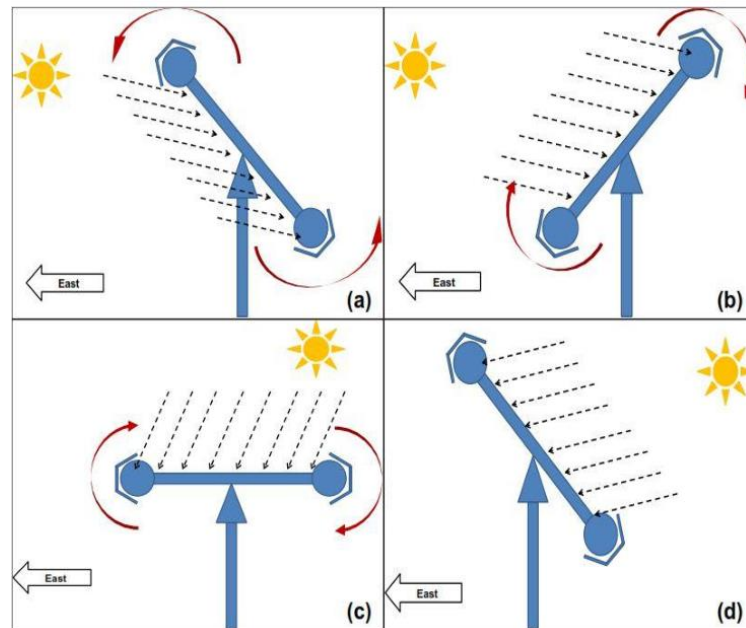


Рисунок 2.16 – Принцип роботи пасивних трекерів

2.3 Приклад стенду з трекерним механізмом

Розглянемо проект одноосьового трекера для навчальних цілей.

Одноосьова система трекера включає серводвигуни, що забезпечують обертання в двох напрямках по одній осі. Наприклад, для осі x , тоді він буде рухатися по осі $+x$ і осі $-x$, в залежності від заданого кута повороту. Зазвичай встановлюють кут в 60 градусів по кожній ості обертання [16].

Також використовується датчик LDR (світлозалежний резистор), який зменшує опір в колі, коли на нього падає сонячне випромінювання. В колі використано два датчики LDR з обох боків. Отже, залежно від того який датчик датчик LDR показує менший опір, тим швидше двигун почне рухатися в цьому напрямку. Датчик LDR щоразу передає дані на Arduino, а Arduino обробляє дані, які надходять від LDR, і надсилає інструкції серводвигуном.

Отже, основні елементи для створення прототипу сонячного трекера: Arduino Uno; 2 датчика LDR; 2 резистора 10 кОм; серводвигун; фотоелектрична панель; з'єднувальний кабель.

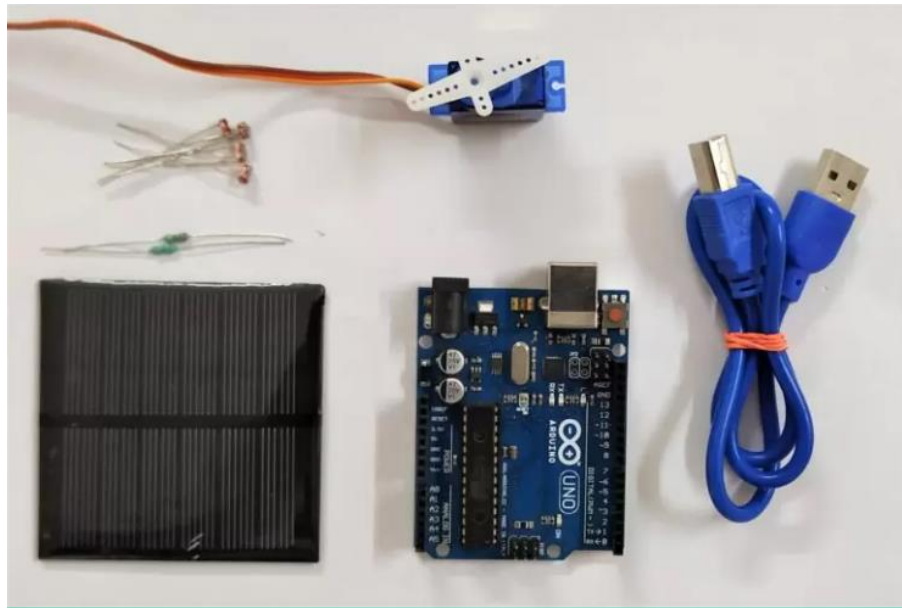


Рисунок 2.17 – Основні елементи для створення стенду

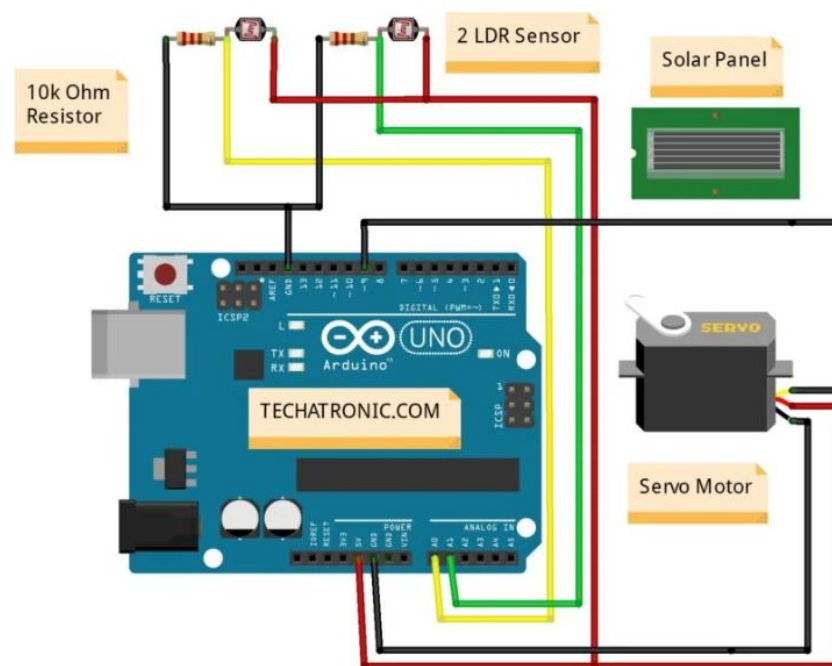


Рисунок 2.18 – Схема підключення елементів

```

// Single axis solar tracker
// Techatronic.com
#include <Servo.h> //including the library of servo motor
Servo sg90;
int initial_position = 90;
int LDR1 = A0; //connect The LDR1 on Pin A0
int LDR2 = A1; //Connect The LDR2 on pin A1
int error = 5;
int servopin=9; //You can change servo just makesure its on arduino's PWM pin
void setup()
{

sg90.attach(servopin);
pinMode(LDR1, INPUT);
pinMode(LDR2, INPUT);
sg90.write(initial_position); //Move servo at 90 degree
delay(2000);
}

void loop()
{
int R1 = analogRead(LDR1); // read LDR 1
int R2 = analogRead(LDR2); // read LDR 2
int diff1= abs(R1 - R2);
int diff2= abs(R2 - R1);

if((diff1 <= error) || (diff2 <= error)) {

} else {
if(R1 > R2)
{
initial_position = -initial_position;
}
if(R1 < R2)
{
initial_position = ++initial_position;
}
}
sg90.write(initial_position);
delay(100);
}

```

Рисунок 2.19 – Програмний код для Arduino

Створення таких переносних макетів трекерних систем не вимагає багато часу, не є дорівартісними, а комплектуючі є у відбному доступі в достатній кількості. Проте макет наглядно демонструє роботу системи відстеження сонця для фотоелетричних станцій.

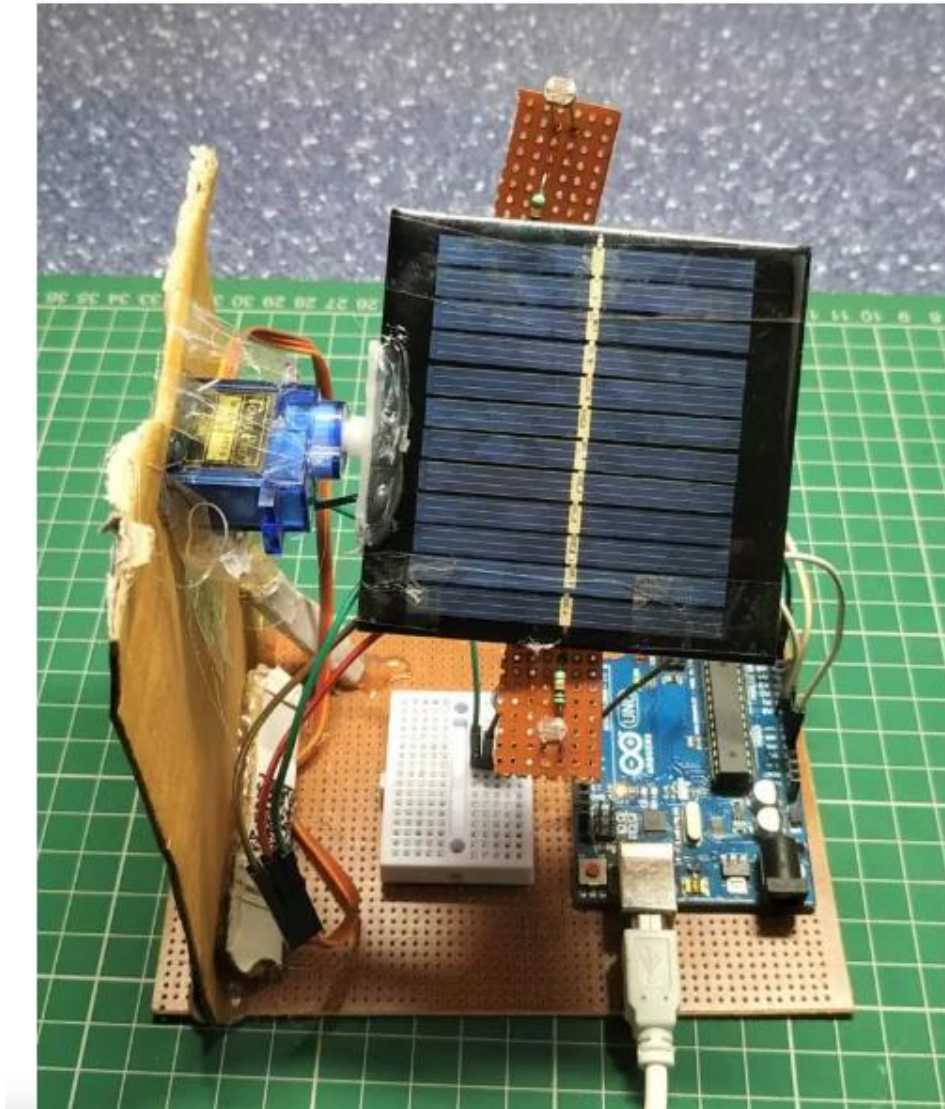


Рисунок 2.19 – Стенд з системою відстеження положення сонця

Висновок до розділу 2

Узагальнюючи, можна зробити висновки, що трекерні системи відстеження положення сонця значно підвищують ефективність ФЕС. В залежності від типу такі системи поділяються на одноосьові та двохосьові. Разом з тим різняться і їх вартість, надійність та ефективність. Щодо двохосьових систем, то їх застосування підвищує обсяг згенерованої електроенергії приблизно на 40%, проте мають високу вартість.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1 Розробка конструкції переносного (мобільного) лабораторного стенду з контролю параметрів фотоелектричних модулів

Отож, схема складається з контролера Arduino UNO, плати на базі мікросхеми TM1638, яка відповідає за індикацію, цифрового датчику струму і напруги, виконаного на базі мікросхеми INA219 з шиною I2C для передачі даних, сонячної панелі 6 В потужністю 2 Вт та мембранної клавіатури, яка відповідає за ручне керування.

Натискаючи кнопки на клавіатурі (1-5), ми передаємо інформацію на контролер, який в свою чергу отримує інформацію з сонячної батареї, з якої зчитує данні цифровий датчик струму та напруги. Далі, контролер виводить інформацію (струм, напругу потужність) на індикатор.

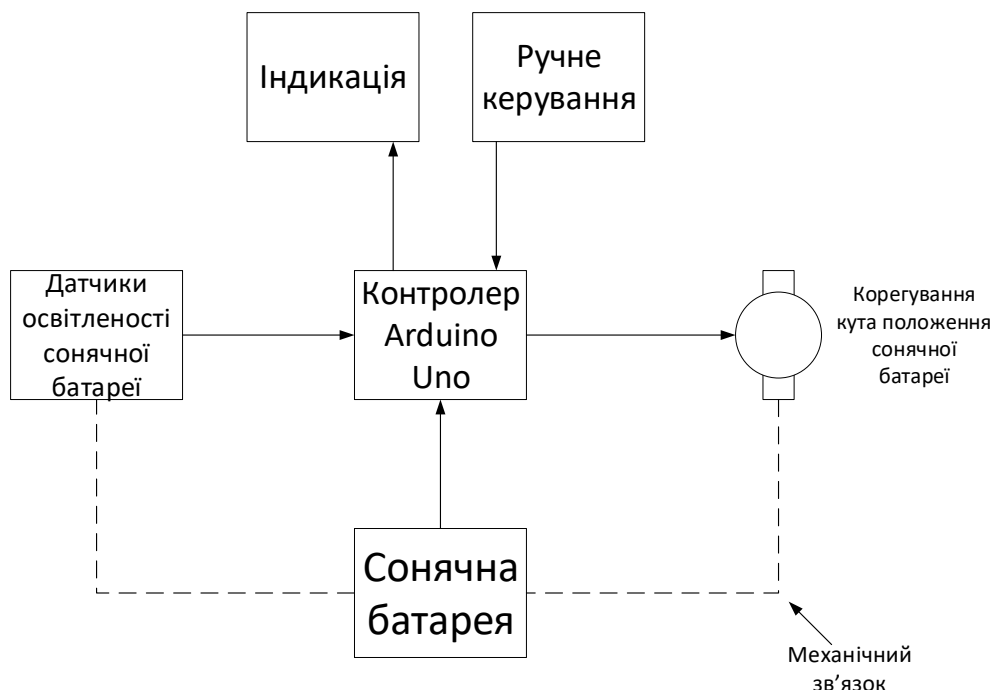


Рисунок 3.1 – Функціональна схема блоку стенду для контролю параметрів фотоелектричного модуля

Ця схема складається з контролера Arduino Uno, моторшилда підсиленого 5 В L298P, плати на базі мікросхеми TM1638, яка відповідає за індикацію, реверсні електричні двигуни з вбудованим редуктором, зовнішньої мембранної клавіатури, яка відповідає за керування та блоку живлення, який відповідає за живлення блоку стенду.

За допомогою клавіатури ми передаємо команди на контролер Arduino UNO, який в свою чергу отримує інформацію з фотодатчиків елевації та азимуту сонячної панелі за допомогою драйвера двигуна L298P ми приводимо в дію електричні двигуни. Натискаючи кнопки на клавіатурі (1-5), ми можемо приводити в рух двигуни, змінювати напрямок обертання, вимикати один з двигунів або вимикати обидва (рис. 3.2).

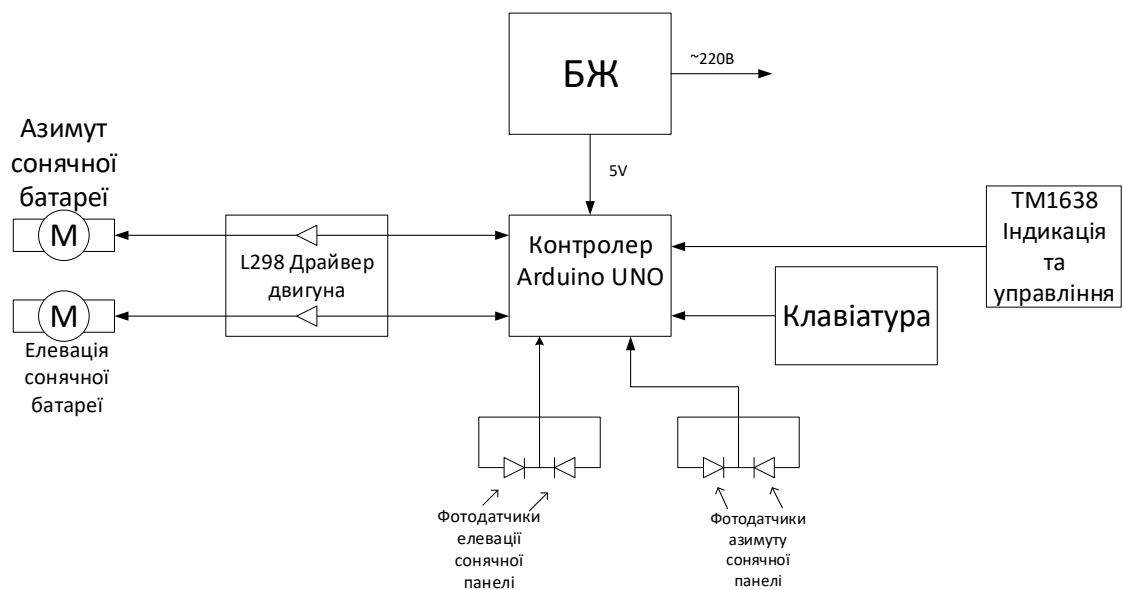


Рисунок 3.2 – Функціональна схема блоку стенду для ручного керування двигунами зміни положення фотоелектричного модуля

Arduino – це відкрита платформа, яка дозволяє збирати різноманітні електронні пристрої. 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 на

16 МГц (CSTCE16M0V53-R0), USB-роз'єм, роз'єм живлення, заголовок ICSP і кнопку скидання. Він містить все необхідне для підтримки мікроконтролера; просто підключіть його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або увімкніть живлення за допомогою адаптера змінного струму або батареї, щоб почати роботу.

Для програмування використовується мова програмування C++. Розробку ПЗ можна вести як з використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Для автономної роботи можна використати блок живлення, батарейки чи акумулятор на 7–12 В роз'єм 5.5*2.1мм.

Характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328P;
- Частота: 16 МГц;
- Флеш пам'ять: 32 Кб;
- EEPROM пам'ять: 1 Кб;
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з них можуть працювати в режимі ШІМ);
- Аналогові входи: 6;
- Напруга живлення: 7 – 12 В;
- Розмір: 68*53*15 мм;
- Вага: 25 г.



Рисунок 3.3 – Плата контролера Arduino UNO

Індикаторний клавіатурний модуль на мікросхемі TM1638 призначений для введення–виведення інформації з мікроконтроллера. Плата відображає інформацію на 8–ми семисегментних індикаторах, 8–ми світлодіодах і дозволяє вводити інформацію з 8 кнопок. Для керування використовується послідовний інтерфейс.

Керування індикаторами і визначення натискання кнопок виконує мікросхема TM1638 китайської фірми Titan Micro Electronics. TM1638 приймає від МК і передає дані по унікальному послідовному інтерфейсу з трьох сигналів, близькому до інтерфейсу SPI. Відмінність від SPI полягає в об'єднанні в одну лінію двох ліній прийому і передачі. Назви сигналів відмінні від прийнятих в SPI, але вони добре впізнаються.

Сигнали інтерфейсу TM1638:

- STB – дозвіл роботи мікросхеми при низькому рівні сигналу. Після перемикання в активний рівень перший прийнятий байт сприймається як команда. Часто для позначення цього сигналу використовують слова строб, стробуючий.
- CLK – тактовий сигнал при передачі даних в мікросхему. Дані фіксуються по фронту сигналу. Джерелом сигналу CLK служить зовнішній пристрій.
- DIO – двонаправлена лінія даних. Передача синхронізується фронтом сигналу CLK.

Мікросхема містить внутрішні регістри зберігання стану світлодіодів і кнопок. Запис і читання регістрів відбувається по командам що приходять по інтерфейсу. Після запису регістрів мікросхема автоматично формує сигнали керування індикаторами і опитування кнопок.

Характеристики:

- Напруга живлення: 5 В;
- Робочий струм: 125 мА;
- Максимальна частота синхронізуючого сигналу: 405 КГц;
- Кількість каналів керування: 3;

- Кількість розрядів: 8;
- 8 тактових кнопок;
- 8 світлодіодних індикаторів;
- Діапазон робочих температур: від -10 до + 60 ° C;
- Розміри: 76*50*9 мм;
- Вага: 27 г.

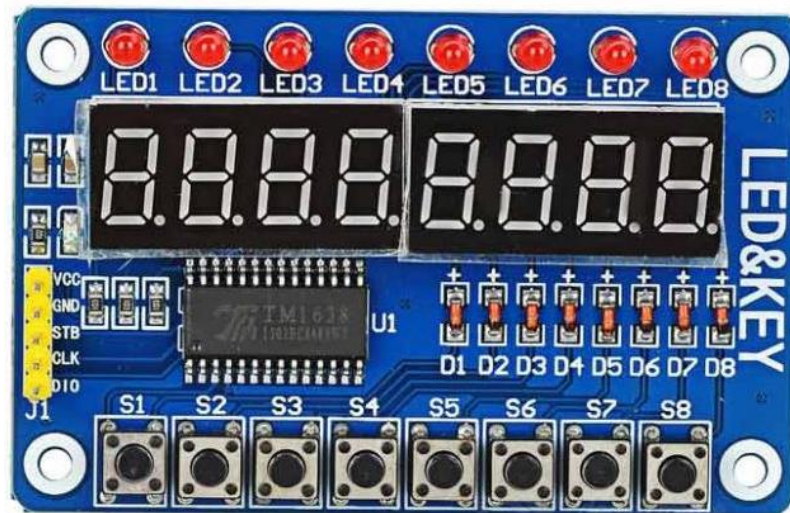


Рисунок 3.4 – Блок керування та індикації Arduino на базі мікросхеми
TM1638

Зручна недорога клавіатура для введення буквено-циферних даних. Чудово підходить для підключення до Arduino-подібних плат, мала вага, зручний форм-фактор.

Характеристики:

- Розмір клавіатури: 77*70*0.8 мм;
- Довжина шлейфу: 86 мм;
- Маса: 10 г;
- Роз'єм: 8 пінів, крок 2.54 мм;
- Максимальна напруга: 35 В, 100 мА;
- Опір ізоляції: 100 МОм, 100 В;
- Діелектрична стійкість: 250 VRms (50–60 Гц, 1 хв);

- Брязкіт контактів: ≤ 5 мсек;
- Ресурс: 1 мільйон натискань;
- Робоча температура: від 0 до +70 градусів Цельсія;
- Допустима вологість: 90% –95%, 240 годин;



Рисунок 3.5 – Зовнішня плівкова клавіатура Arduino

Невеликі двигуни постійного струму з редуктором. Живляться напругою від 3 до 8 В, крутний момент 800 г / см (при напрузі 6 В), передатне число редукторів 1:48. Вісь виходить в одну сторону.

Характеристики:

- номінальний струм: 250 мА макс. при напрузі 3,6 В;
- напруга живлення: 6 – 8 В;
- швидкість обертання без навантаження: 170 об / хв (при напрузі 3,6 В);
- передатне число редукторів: 1: 48;
- вісь виходить на одну сторону;
- діаметр осей: 5 мм;
- розміри: 64*20*20 мм;

– вага: 26 г;

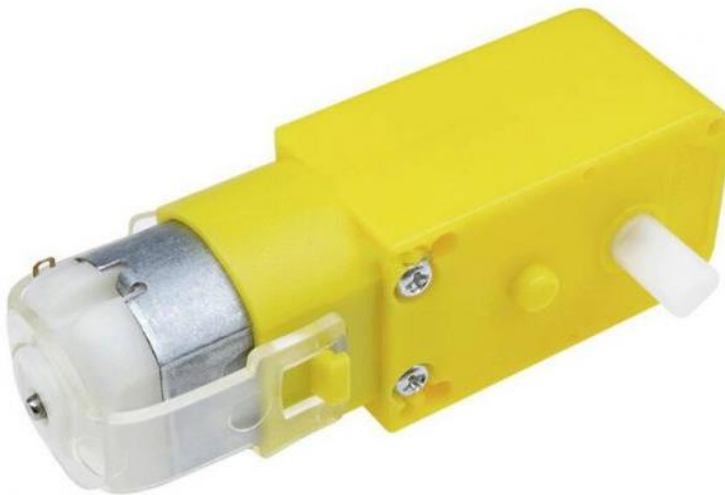


Рисунок 3.6 — Реверсний електричний двигун з вбудованим редуктором

3.2 Опис коду програми для вимірювань параметрів фотоелектричного модуля

```
#include <TM1638lite.h>//бібліотека індикатора
#include <Wire.h>//бібліотека I2C
#include <Adafruit_INA219.h>//бібліотека модуля вимірювання INA219
#include <Keypad.h>//бібліотека клавіатури

// I/O pins on the Arduino connected to strobe, clock, data
// (живлення повинно надходити на 3.3v і GND)
TM1638lite tm(10, 9, 8);//ініціалізація модуля індикації
Adafruit_INA219 ina219;//ініціалізація модуля вимірювання

const byte ROWS = 4; //визначаємо, що у клавіатури 4 ряди
const byte COLS = 4; //визначаємо, що у клавіатури 4 стовпці

//визначаємо призначення кнопок на клавіатурі
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};

byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; //ряди клавіатури підключені на виводи
2, 3, 4, 5
byte colPins[COLS] = {6, 7, 11, 12}; //стовпці клавіатури під'єднані на
```

```

Виводи 6, 7, 11, 12
//ініціалізуємо клавіатуру
Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS,
COLS);

//визначаємо змінні
char customKey;
float energy;
float energy_mWs; //енергія мВт*с
float energy_mWh; //енергія мВт*год
float shuntvoltage = 0;
float busvoltage = 0;
float current_mA = 0;
float loadvoltage = 0;
float power_mW = 0;
int butt,butt2;

const uint8_t digits[11]={//визначаємо таблицю символів для індикатора
    0x3F, /* 0 */
    0x06, /* 1 */
    0x5B, /* 2 */
    0x4F, /* 3 */
    0x66, /* 4 */
    0x6D, /* 5 */
    0x7D, /* 6 */
    0x07, /* 7 */
    0x7F, /* 8 */
    0x6F, /* 9 */
    0x80, /* . */};

void setup() {

    tm.reset();//скидання плати індикації

    ina219.begin();//ініціалізація плати вимірювання
    ina219.setCalibration_16V_400mA();//налаштування плати вимірювання

}

void FloatToTm1638(float dataIn){//функція коректного виведення точки на
індикаторі

```

```

String dataOut;
uint8_t data[5];
dataOut= String(dataIn);
int dpn=dataOut.indexOf('.');
if(dpn== -1){ }
else{
    for (int i =0; i< dataOut.length();i++){
        if(i < dpn){
            data[i]=digits[dataOut[i]-0x30];
        }
        if(i == 1){
            data[i-1]=data[i-1] + 0x80;//додати до цифр коду крапку
        }
        if(i > dpn){
            data[i-1]=digits[dataOut[i]-0x30];
        }
    }
}

for (int i =0;i<3; i++){
tm.displaySS(i, data[i]);
}

}

void loop() {
    //зчитуємо значення з плати вимірювання
    shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
    busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
    current_mA = ina219.getCurrent_mA();
    power_mW = ina219.getPower_mW();
    loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);
    energy=energy+power_mW;
    energy_mWs=energy/5;
    energy_mWh=energy_mWs/3600;

    butt=tm.readButtons();//зчитуємо стан кнопок плати індикації
    customKey = customKeypad.getKey();//зчитуємо стан кнопок клавіатури

    if (butt != 0){
        butt2=butt;
    }
    if (customKey != NO_KEY){

```

```

    if(customKey == '1'){
        butt2=0b1;  }
    if(customKey == '2'){
        butt2=0b10;  }
    if(customKey == '3'){
        butt2=0b100;  }
    if(customKey == '4'){
        butt2=0b1000;  }
    if(customKey == '5'){
        butt2=0b10000;  }
    }

    if(butt2 == 0b1 ){//якщо натиснута кнопка 1
        tm.reset();
        FloatToTm1638(loadvoltage);
        tm.displayASCII(7,'U');
    }

    if(butt2 == 0b10){//якщо натиснута кнопка 2
        tm.reset();
        if(current_mA <0){
            current_mA=0;
        }
        FloatToTm1638(current_mA);
        tm.displayASCII(7,'A');
    }

    if(butt2 == 0b100){//якщо натиснута кнопка 3
        tm.reset();
        FloatToTm1638(power_mW);
        tm.displayASCII(7,'P');
    }

    if(butt2 == 0b1000){//якщо натиснута кнопка 4
        tm.reset();
        FloatToTm1638(energy_mWs);
        tm.displayASCII(6,'P');
        tm.displayASCII(7,'S');
    }

```

```

    if(butt2 == 0b10000){//якщо натиснута кнопка 5
    tm.reset();
    FloatToTm1638(energy_mWh);
    tm.displayASCII(6,'P');
    tm.displayASCII(7,'h');
    }
    delay(200);

}

```

3.3 Опис коду програми для ручного керування положенням фотоелектричного модуля

```

#include <TM1638lite.h>
#include <Keypad.h>
//для безпомилкової компіляції цієї програми необхідно встановити
бібліотеку TM1638lite через менеджер бібліотек

/*
Ця програма керує двома двигунами після натискання кнопок:
Кнопка 1 - вмикає двигун 1 у прямому напрямку обертання
Кнопка 2 - вмикає двигун 1 у зворотному напрямку обертання
Кнопка 3 - вмикає двигун 2 у прямому напрямку обертання
Кнопка 4 - вмикає двигун 2 у зворотному напрямку обертання
Кнопка 5 - вимикає двигун 1
Кнопка 6 - вимикає двигун 2

Схема:
сигнал          вивід Arduino

***Підключення TM1638 індикатор клавіатура***
strobe          5
clock           3
data            2

***Плата моторів***
Мотор1+        10
Мотор1-        12
Мотор2+        11
Мотор2-        13

***Клавіатура***
Клавіатура      Arduino
(1) ROW0        A0
(2) ROW1        A1
(3) ROW2        A2
(4) ROW3        A3
(5) COL0        A4
(6) COL1        A5
(7) COL2        0
(8) COL3        1

*/

//функція створює пристрій типу TM1638 з параметрами керуючих виводів

```



```

TM1638lite tm(5, 3, 2); //strobe, clock, data

#define MOTOR11 10 //визначаємо назву виводу 10 як перший керуючий вивід
першого мотора
#define MOTOR12 12 //визначаємо назву виводу 12 як другий керуючий вивід
першого мотора
#define MOTOR21 11 //визначаємо назву виводу 11 як перший керуючий вивід
другого мотора
#define MOTOR22 13 //визначаємо назву виводу 13 як перший керуючий вивід
другого мотора
//uint8_t key[8]; // Визначаємо масив зберігання даних
//uint8_t buttonsOLD;

const byte ROWS = 4; //чотири ряди
const byte COLS = 4; //чотири стовбці
//визначаємо символи на кнопках клавіатур
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
    {'1', '2', '3', 'A'},
    {'4', '5', '6', 'B'},
    {'7', '8', '9', 'C'},
    {'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {7, 6, 19, 18}; //під'єднання до рядків розводки
клавіатури
byte colPins[COLS] = {17, 16, 15, 14}; //під'єднання до стовбців виводів
клавіатури

//ініціалізувати приклад класу NewKeypad
Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins,
ROWS, COLS);

void Sound(void){
    digitalWrite(4,1);
    delay(300);
    digitalWrite(4,0);
    delay(100);}

//функція налаштування периферії контролера
void setup() {
    //Serial.begin(9600);
    tm.reset(); //виконуємо скидання плати індикації та керування
    //kpd.attachFunction(userFunction);
    //налаштовуємо виводи порту керування двигунами на вихід
    pinMode(MOTOR11, OUTPUT);
    pinMode(MOTOR12, OUTPUT);
    pinMode(MOTOR21, OUTPUT);
    pinMode(MOTOR22, OUTPUT);

    pinMode(4, OUTPUT); //налаштування на вихід порту звукового
випромінювача

    /*
    do {
        key = kpd.getKey();
    } while ( key.beforeLastCode != NO_KEY || key.lastCode != KEY_ASTERISK
|| key.code != NO_KEY );
    */
}

//нескінченний цикл

```

```

void loop() {

    char customKey = customKeypad.getKey();

    uint8_t buttons = tm.readButtons();//зчитуємо стан кнопок у змінну
buttons

    if (buttons== 0b00000001 || customKey =='1'){//якщо натиснута кнопка 1
        //вмикаємо двигун 1 у прямому напрямку
        digitalWrite(MOTOR11, HIGH);
        digitalWrite(MOTOR12, HIGH);

        //виводимо на світлодіоди
        tm.setLED(0,1);
        tm.setLED(1,1);
        tm.setLED(2,0);
        tm.setLED(3,0);
        tm.displayHex(0, 1);
        Sound();
    }

    if (buttons== 0b00000010 || customKey =='2'){//якщо натиснута кнопка 2
        //вмикаємо двигун 1 у зворотному напрямку
        digitalWrite(MOTOR11, HIGH);
        digitalWrite(MOTOR12, LOW);

        //виводимо на світлодіоди
        tm.setLED(0,0);
        tm.setLED(1,0);
        tm.setLED(2,1);
        tm.setLED(3,1);
        tm.displayHex(1, 2);
        Sound();
    }

    if (buttons== 0b00000100 || customKey =='3'){//якщо натиснута кнопка 3
        //вмикаємо двигун 2 у прямому напрямку
        digitalWrite(MOTOR21, HIGH);
        digitalWrite(MOTOR22, HIGH);

        //виводимо на світлодіоди
        tm.setLED(4,0);
        tm.setLED(5,0);
        tm.setLED(6,1);
        tm.setLED(7,1);
        tm.displayHex(2, 3);
        Sound();
    }

    if (buttons== 0b00001000 || customKey =='4'){//якщо натиснута кнопка 4
        //вмикаємо двигун 2 у зворотному напрямку
        digitalWrite(MOTOR21, HIGH);
        digitalWrite(MOTOR22, LOW);

        //виводимо на світлодіоди
        tm.setLED(4,1);
        tm.setLED(5,1);
        tm.setLED(6,0);
        tm.setLED(7,0);
        tm.displayHex(3, 4);
        Sound();
    }
}

```

```

if (buttons== 0b00010000 || customKey =='5'){//якщо натиснута кнопка 5
//вимикаємо двигун 1
digitalWrite(MOTOR11, LOW);
digitalWrite(MOTOR12, LOW);

//виводимо на світлодіоди
tm.setLED(0,0);
tm.setLED(1,0);
tm.setLED(2,0);
tm.setLED(3,0);
tm.displayHex(4, 5);
Sound();
}

if (buttons== 0b00100000 || customKey =='6'){//якщо натиснута кнопка 6
//вимикаємо двигун 2
digitalWrite(MOTOR21, LOW);
digitalWrite(MOTOR22, LOW);

//виводимо на світлодіоди
tm.setLED(4,0);
tm.setLED(5,0);
tm.setLED(6,0);
tm.setLED(7,0);
tm.displayHex(5, 6);
Sound();
}
tm.displayASCII(0, '0');
tm.displayASCII(1, '0');
tm.displayASCII(2, '0');
tm.displayASCII(3, '0');
tm.displayASCII(4, '0');
tm.displayASCII(5, '0');
}

```

3.4 Структурна схема системи контролю параметрів ФЕМ

Графічне зображення частин системи моніторингу параметрів фотоелектричних модулів, які взаємопов'язані між собою за певною ознакою і шляхами передачі дій, називають структурною схемою системи.

Система моніторингу параметрів фотоелектричних модулів складається з двох основних блоків (рис. 3.7), таких як пристрій на базі мікроконтролера ATmega328P (Рис. 2) та серверу обробки даних (рис. 3.8).

Пристрій моніторингу параметрів ФЕМ (рис. 3.8) складається з мікроконтролера ATmega328P, який працює на тактовій частоті 20 МГц, живиться напругою в діапазоні 1.8...5.5В, та має такі інтерфейси як: debugWIRE, I2C, SPI x2, UART.



Рисунок 3.7 – Загальна структурна схема системи контролю даних

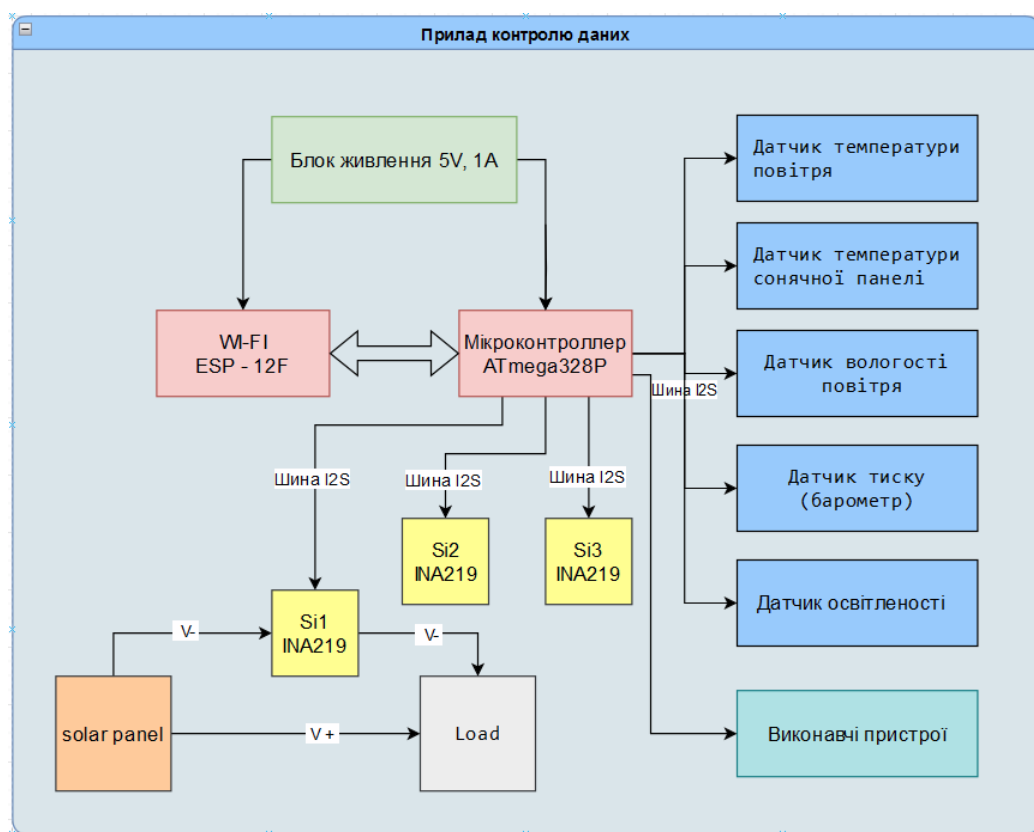


Рисунок 3.8 – Сервер обробки даних

За допомогою шини передачі даних I2C до мікроконтролера під'єднані цифрові датчики INA219 (рис. 3.9), що вимірюють такі параметри як: напруга, струм та потужність.

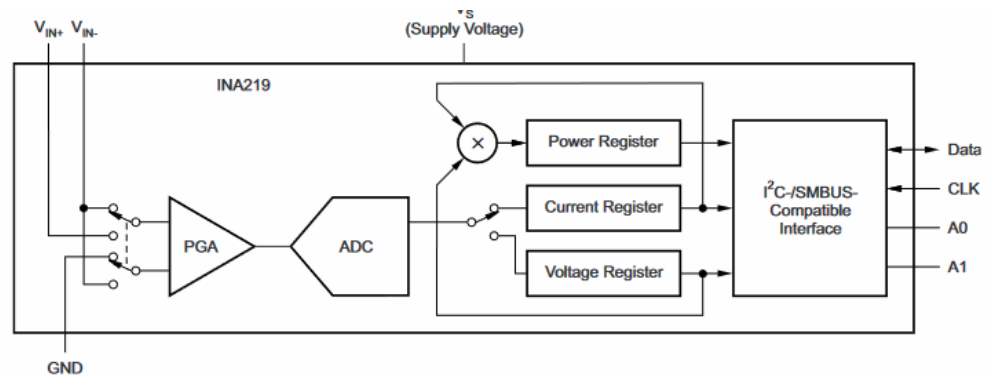


Рисунок 3.9 – Схема під'єднання цифрових датчиків

Дані датчики фіксують напругу, струм та потужність з навантаження, яке підключене до ФЕМ та передають отримані параметри в мікроконтролер із заданою періодичністю.

Крім того за допомогою відповідних датчиків, мікроконтролер отримує такі дані як температура зовнішнього повітря навколо ФЕМ, температуру самої ФЕМ, вологість повітря, також тиск повітря а також інтенсивність освітлення фото панелі.

Також до контролеру є можливість підключення різних виконавчих пристроїв, таких як: двигуни, крокові двигуни, помпи, реле тощо. Крім того виріб обладнаний необхідною світлодіодною індикацією.

Даний пристрій обладнаний модулем WI-FI, за допомогою якого мікроконтролер взаємодіє із сервером обробки даних через протокол TCP/IP.

Мікроконтролер працює за допомогою запрограмованого в нього програмного забезпечення, що написано на мові C.

Сервер обробки даних - Cisco UCS C240 M5 є сервером стійкового типу, що відноситься до високопродуктивного серверного обладнання. Система працює на базі операційної системи Debian 12. Для роботи програмного забезпечення на сервері необхідно встановити PHP версії не нижче 7.2, базу даних MySQL, а також веб сервер Apach.

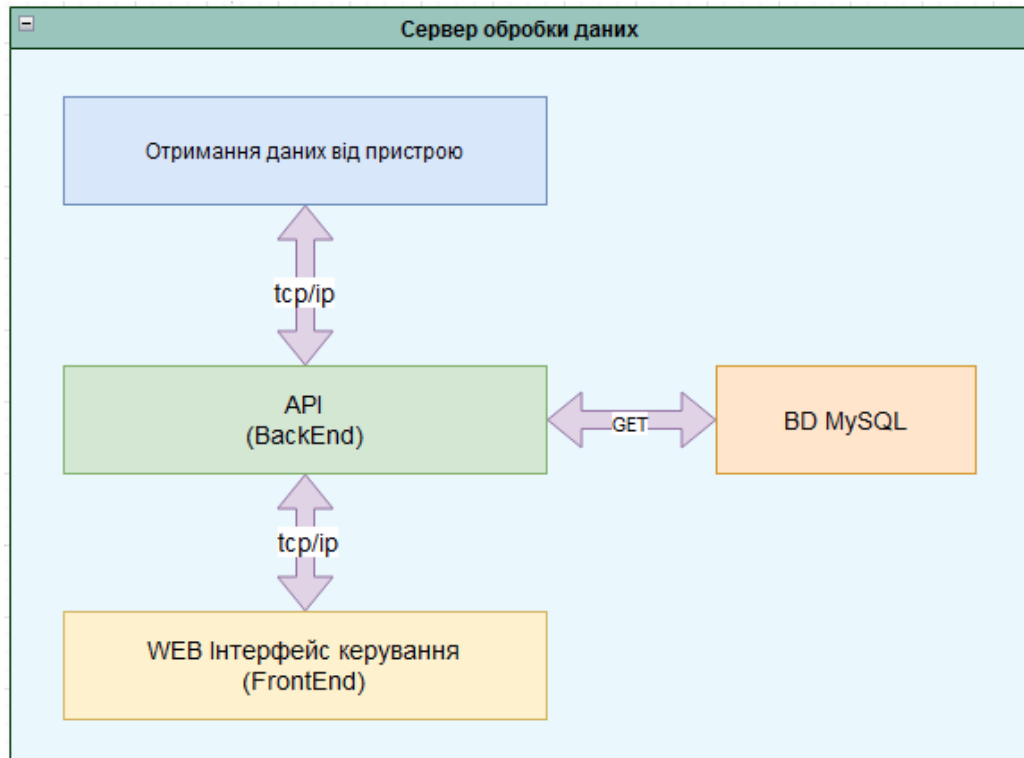


Рис. 3.10 – Сервер обробки даних

Програмне забезпечення системи контролю параметрів ФЕМ складається з візуальної частини у вигляді HTML сторінки, що працює у будь-якому браузері (*frontend*), написана на JavaScript та API (механізми, які дозволяють двом програмним компонентам взаємодіяти один з одним, використовуючи набір визначень та протоколів), що написана на PHP (*backtend*). Також до програмного забезпечення системи контролю ФЕМ відноситься база даних (MySQL), яка накопичує та зберігає дані що надходять з контролера, а також всі параметри та режими необхідні для роботи системи.

3.5 Функціональна схема системи контролю параметрів та керування охолодженням ФЕМ

СПФЕМ є пересувним пристроєм який може працювати в складі комбінації приладів і може виконувати задачі збирання параметрів ФЕМ (рис.3.11), передавання зібраних даних на ноутбук, або на віддалено розташований сервер, автоматично формує базу даних та зберігає цю базу на

google disk.



Рисунок 3.11 –Сканер параметрів фотоелектричних модулів типу СПФЕМ.

Він дозволяє з допомогою notebook запрограмувати мікроконтролер ATmega328p на платі *Arduino uno* та використовувати цей контролер для отримання інформації про генеровану фотоелектричною панеллю електричну енергію, про напругу та струм фотоелектричного модуля. Використовуючи контролер зв'язку ATmega 16U2 забезпечено зв'язок дослідницького стенда з ноутбуком. Розроблені програми дозволяють накопичувати результати спостережень та зберігати ці результати у вигляді баз даних на спеціально створеному сервері та на google disk. Результати спостережень можна отримувати, переглядати, обробляти. Ці результати можна конвертувати і представити у вигляді файлів MS Excel.

Функціональна схема - це документ, що призначений для пояснення процесів, пов'язаних з процесом перетворення сигналу від його отримання до виходу. Функціональна схема (рис. 3.12) відображає процес отримання мікроконтролером команд налаштування та керування пристроєм, а також процес збору даних з датчиків, з подальшою їх обробкою та зберіганням.

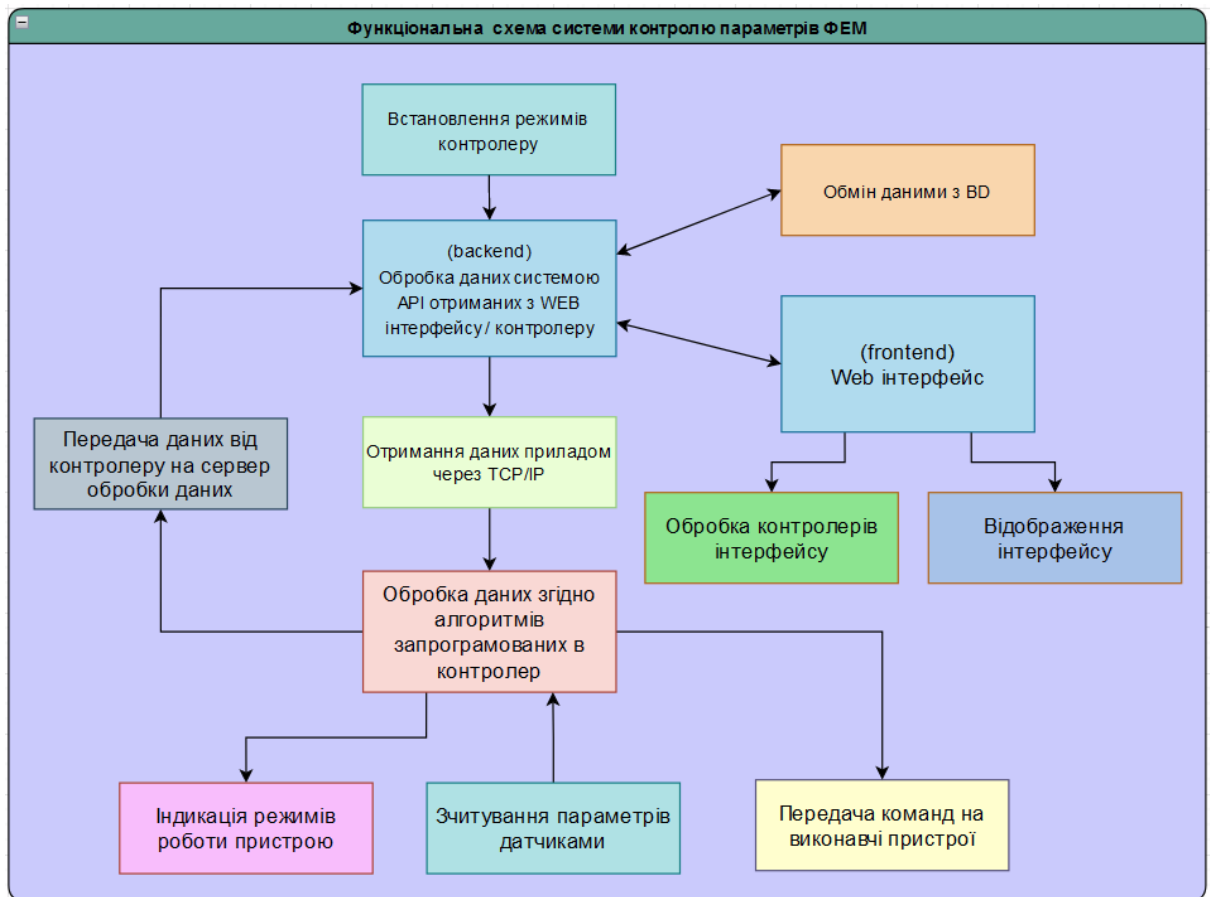


Рисунок 3.12 – Функціональна схема системи контролю параметрів ФЕМ

Робота системи починається з налаштування бездротової мережі WI-FI на пристрої системи контролю параметрів ФЕМ та підключення його до серверу обробки даних. Після чого виконується встановлення режимів контролера, таких як автоматичний / ручний, час інтервалу отримання даних з датчиків в автоматичному режимі та інші. Далі пристрій переходить в робочий режим та починає збір даних з ФЕМ та зовнішнього середовища, з передачею таких даних на сервер обробки та зберігання даних. При досягненні певних даних, таких як температура ФЕМ, до порогових значень, мікроконтролер згідно запрограмованого алгоритму починає виконувати ті чи інші дії, наприклад активацію певних виконавчих пристроїв для охолодження ФЕМ. При зменшенні температури ФЕМ мікроконтролер деактивує виконавчі пристрої та припиняє охолодження ФЕМ.

3.6 Опис коду програми керування трекером лабораторної роботи

```
//Трекер
```

```
//Servo motor library
```

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

// додаємо в код програми бібліотеку «Servo.h», щоб мати змогу керувати серводвигунами. Якщо подивитись в персональному комп'ютері у вкладці «Мої документи», то там буде папка «Arduino», а в ній вкладка «Library» а в ній перелік всіх бібліотек. Їх можна також бачити в «Arduino.ide» в налаштуваннях вибираємо «Менеджер бібліотек». Заходимо в «Менеджер бібліотек» і в рядку пошуку пишемо «Servo». Програма запропонує бібліотеки різних авторів. Вибираємо потрібну бібліотеку, наприклад «Servo.h», виділяйте її і натискаймо «інсталиувати». В цій бібліотеці є потрібні нам додаткові команди «read», «write», яких за замовчуванням немає.

```
#include <DS18B20.h>
```

```
// бібліотека для роботи з датчиком температури DS18B20
```

```
DS18B20 ds(7);
```

// ми створюємо драйвер для цього сенсора, він буде називатись «DS18B20» і наш датчик буде підключений до виводу номер сім плати Arduino

```
// DS18B20 on pin 7
```

// далі описуємо змінні які ми оголошуємо і також ми їх прирівнюємо до нуля

```
int mode = 0, ...
```

```
//Initialize variables
```

```
int mode = 0;
```

```
int axe = 0;
```

```
int buttonState1 = 0;
```

```
int buttonState2 = 0;
```

```
int prevButtonState1 = 0;
```

```
int prevButtonState2 = 0;
```

```

int ldrtop= 0;           // верхній
int ldrright = 1;        // правий
int ldrleft = 2;         // лівий
int ldrbot = 3;          // нижній

int top = 0;
int bot = 0;
int left = 0;
int right = 0;

//Declare two servos
Servo servo_updown;
Servo servo_rightleft;

```

// У нас є два серводвигуни. Ми створюємо два драйвери. Один з них буде називатись servo_updown, а другий буде називатись servo_rightleft . Один з них має керувати двигуном, який змінює положення робочого столу і панелі «вгору-вниз» і називається «servo_updown», а інший «servo_rightleft» – «влів, вправо» буде керувати положенням «влів-вправо»

```

int threshold_value=10;      //measurement sensitivity

//записуємо значення нечутливості. Ми будемо його використовувати для
того щоб коли значення чутливості буде менше 10 то тоді це буде впливати на
змінну int

```

```

void setup(){
    // це наша функція один раз запускається при першому запуску Arduino
    для того, щоб зараз налаштувати та ініціалізувати різні змінні

```

```

    Serial.begin(9600);           //serial connection setup //opens serial
    port, sets data rate to 9600 bps

```

//це означає, що ми ініціалізуємо COM-порт для підключення так званого термінала по RS232 інтерфейсу зі швидкістю передачі сигналу 9600. Будемо використовувати цей порт і будемо вводити-виводити дані. Можемо включити

монітор терміналу і там будуть відображатися значення, які ми будемо туди відправляти.

```
Serial.println("CLEARDATA");
//clear all data that's been place in already
//це одна із функцій, яку ми зможемо надсилати. По виконанню цієї стрічки
у нас надійде в термінал слово «CLEARDATA», воно з'явиться на екрані
терміналу Arduino.ide
```

```
Serial.println("LABEL,t,voltage,temperature,Mode"); //define the column
headings (PLX-DAQ command)
```

```
//виведеться текст в термінал з текстом, який вказано в дужках та в лапках;
pinMode(12, INPUT); //Mode switch Button
//це означає, що ми налаштовуємо 12 вивід Arduino на вхід, так само далі
ми 11 вивід налаштовуємо на вхід INPUT
```

```
pinMode(11, INPUT);
//ініціалізуємо перемикач з автоматичного на ручний режим Axis switch
//ініціалізуємо перемикач осей обертання Axis switch
pinMode(A4, INPUT);
// A4 _ це аналоговий вхід. Ми туди підключаємо потенціометр для ручного
повертання робочого стола трекара вправо - вліво та для
```

```
pinMode(8, INPUT); //Input for wind speed limit
// вивід 8 підключаємо на вхід, Вивід 8 будемо використовувати для
обмеження швидкості вітру, тобто, якщо тули приходить сигнал, то тоді ми
будемо, щось роботи робочим столом трекара,
```

```
servo_updown.attach(5); //Servo motor up-down movement
//драйвер, який буде керувати серводвигуном, який змінює положення
робочого столу вверх-вниз ми його підключаємо до п'ятого вивиду Arduino,
servo_rightleft.attach(6); //Servo motor right-left movement
}
```

```
// драйвер, який керує серводвигуном, який має керувати положенням
```

робочого столу «вліво-вправо» ми підключили до шостого виводу Arduino. На цьому функція налаштування типу «void setup» закінчується. Переходимо до функції void loop(), яка багато разів повторюється і лалі виконується основний код програми

```
void loop()
{
// pv_power();
//ds.doConversion();
//далі оголошується «char Mode» тобто оголошується змінна «Mode»
char Mode ;
```

```
float volt = analogRead(A5)*5.0/1023;
```

// цим рядком ми зчитуємо напругу з аналогового входу A5 множимо на 5, а потім ми розділимо на 1023 щоб отримати значення в вольтах. Якщо ми цього не зробимо, то ми отримаємо значення напруги на виході аналого-цифрового перетворювача АЦП. Для того, щоб мати значення в вольтах то тоді потрібно знати розрядність АЦП, наприклад, десяти розрядний АЦП. Десяти розрядний АЦП – означає від нуля до 1023. Тому ми отримуємо значення в вольтах перетворе через 1024-1.

```
float voltage =volt; //2*volt;
```

// Тут просто переприсвоюється значення напруги з одного імені змінної на інше ім'я іншої змінної з врахуванням використання резистивного дільника напруги а саме з врахуванням схеми послідовно-паралельного з'єднання опорів. Напруга джерела на платі мала, тому вона «напрямую» заведена на порт

```
Volt=(R1/R1+R2)*Voltage / R1=R2=10Ohms => voltage=2*volt)
```

```
float current = voltage/20; // I=voltage/(R1+R2)
```

// тут ми вираховуємо струм (енергетичне навантаження на сонячній панелі, бо на платі припаяний шунт і число 20 передбачає значення опору цього шунта. Отже перетворюється числове значення напруги в числове значення струму)

```
float power = voltage*current;
// визначили електричну потужність шляхом множення напруги на струм
float t = 0;//ds.getTempC();
//оголошуємо змінну t яка дорівнює нулю. Ця змінна t, яка зберігає
значення температури
```

```
Serial.print("DATA,TIME,"); // PLX-DAQ command
```

//З цим проєктом коду програми є макрос для Excel. Цей проєкт коду програми, буде передавати на комп'ютер , наприклад на ноутбук данні, про напругу, про струм, про потужність і т.п., якщо буде працювати програма PLX, то отримаємо таблицю з символами та значеннями кома, напруга, кома, струм, кома, потужність, кома, температура, кома. Для цього потрібно, щоб Arduino було підключено до комп'ютера через USB port. Цей рядок Serial.print("DATA,TIME,") – (перший рядок) відправляє дату і час і запише їх в першу комірку Excel.

```
Serial.print(voltage); //send the voltage to serial port
```

// передається значення напруги так само в термінал, або в комірку с. Для цього використовуємо роздільник Serial.print(","), того пр комі маркер буде переходити в наступну комірку Excel

```
Serial.print(",");
```

```
//відсилаємо символ «,» - «кома»
```

```
//Serial.print(current); //send the current to serial port
```

```
//Serial.print(",");
```

```
//Serial.print(power); //send the power to serial port
```

```
//Serial.print(",");
```

```
Serial.print(t); //send the power to serial port
```

```
Serial.print(",");. Значення струму, кома, енергії, кома, температури.
```

```
// Serial.println(Mode);
```

// це режим в кому зараз знаходиться плата Arduino «ручне» або «автоматичне» керування.

//закоментована частина коду, яка забезпечує надходження інформації з сенсора температури типу ds18d20. Значення температури буде у вигляді числа з плаваючою комою

```
buttonState1 = digitalRead(12);
```

// в змінну з іменем «» записуємо значення лваналцятого вивода (PINa) і записуємо в змінну buttonState1

```
if (buttonState1 == prevButtonState1) {
```

// перевіряєм, якщо змінна (buttonState1 – кнопка щойно була натиснута, то тоді проходимо далі і перевіряємо виконання наступної умови « if (buttonState1 == LOW)». Якщо (buttonState1 == LOW тобто дорівнює нулю, то це означає те, що кнпа, або клавішо на клавіатур – натиснута. Якщо режим був (1 то поміняємо його на нуль. Якщо режим не дорівнював «1», тобто інверсуємо (замінюємо на протилежне значення змінної (Mode) тобто міняємо на «0». Це значає те, що натискаючи на кнопку «12» ми змінюємо режим а саме з ручного режиму на автоматичний режим.

```
if (buttonState1 == LOW) {
```

//Change mode and ligh up the correct indicator - далі змінюємо поточне значення змінної buttonState1 на значення «LOW»

```
if (mode == 1) {
```

```
mode = 0;
```

```
} else {
```

```
mode = 1;
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
prevButtonState1 = buttonState1;
```

```
delay(50); // Wait for 50 millisecond(s)
```

// Чекаємо 50 мСек, що не було дребезгу контактів

```
if (mode == 0) {
```



```

//Перевіряємо в якому режимі знаходиться програма або Arduino, Якщо
mode=0, то
    Mode='M';
    // Якщо М в лапках то, це означає те, що М це символічна змінна
    // В Mode записуємо значення функції М
    Serial.println(Mode);
    // Виводимо це значення на термінал, або в Excel в залежності від того, що
зараз активне
    // "Manual" означає що програма працює в ручному режимі
    // Далі виконується функція manualsolartracker (), яка описана далі в тексті
коду програми
        manualsolartracker ();
    // Далі переходимо в режим ручного управління трекером
    } else { // mode automatic
    // Якщо mode не дорівнює нулю, то це означає, що в нас автоматичних
режим
    // а інакше переходимо в режим автоматичного управління трекером
        Mode = 'A';
    // Змінній Mode присвоюємо значення символу 'A'
        Serial.println(Mode);
        automaticsolartracker(); //send Mode "Automatic" to serial port
    }
    // мало б бути щось записано, але тут замість щось записано закрита
фігурна дужка
    }
    // все це було фрагментом коду програми, який забезпечує автоматичне
керування трекером
    // перша команда автоматичного управління трекером void
automaticsolartracker()

```

```
void automaticsolartracker(){
```

```
    //capturing analog values of each LDR
```

В цій підпрограмі з назвою automaticsolartracker() змінній top присвоюється значення analogRead(ldrtop)

```
void automaticsolartracker()
```

```
    top= analogRead(ldrtop);    //capturing analog value of top right LDR
```

```
    bot= analogRead(ldrbot);    //capturing analog value of top left LDR
```

```
    left= analogRead(ldrleft);    //capturing analog value of bot right LDR
```

```
    right= analogRead(ldrright);    //capturing analog value of bot left LDR
```

// опис чотирьох фото датчиків, а саме «верхній правий, верхній лівий, нижній правий, нижній лівий»

// calculating average. Встановлені фоторезистори, отже отримується значення дільника напруги. Напруга змінюється на АЦП. Далі команди int

```
    //int avgtb = (top + bot) / 2;    //average of top LDRs
```

```
    //int avgbot = (botr + botl) / 2;    //average of bottom LDRs
```

```
    //int avglr = (left + right) / 2;    //average of left LDRs
```

//int avgright = (topr + botr) / 2; //average of right LDRs тобто знаходимо середнє значення правих світлодіодів .

```
    // if diffelev = top - bot
```

це означає те, що у нас є два фото датчики top і bot і ми знаходимо різницю між ними у вигляді top - bot

```
    //Get the different
```

```
    int diffelev = top - bot;
```

```
    //Get the different average between LDRs top and LDRs bot
```

// у нас є два фото датчики top і bot які розташовані по вертикалі, ми визначаємо різницю між top і bot тобто між верхнім та нижнім фото датчиками

```
    int diffazi = right - left;
```

```
    //Get the different average between LDRs right and LDRs left
```

```
    // у нас є ще два фото датчики right і left, які розташовані по горизонталі,
```

ми визначаємо різницю між правим і лівим датчиками

```

    if(digitalRead(8) == 0){ //if wind low
    //left-right movement of solar tracker
    (abs(diffazi) >= threshold_value){    //Change position only if light difference
is bigger then the threshold_value
    if (right > left) {
    if (servo_rightleft.read() < 180) {
        servo_rightleft.write((servo_rightleft.read() + 1));
    }
    }
    if (right < left) {
    if (servo_rightleft.read() > 0) {
        servo_rightleft.write((servo_rightleft.read() - 1));
    }
    }
    }

    //up-down movement of solar tracker
    if (abs(diffelev) >= threshold_value){    //Change position only if light
difference is bigger then thethreshold_value
    if (top > bot) {
    if (servo_updown.read() < 180) {
        servo_updown.write((servo_updown.read() - 1));
    }
    }
    if (top < bot) {
    if (servo_updown.read() > 0) {
        servo_updown.write((servo_updown.read() + 1));
    }
    }
    }

```

```

    }
    }else{// set solar panel horizontal
        servo_updown.write(80);
        servo_rightleft.write(90);
    }
}

void manualsolartracker(){
    buttonState2 = digitalRead(11);
    if (buttonState2 != prevButtonState2) {
        if (buttonState2 == LOW) {
            //Change mode and ligh up the correct indicator
            if (axe == 1) {
                axe = 0;
            } else {
                axe = 1;
            }
        }
    }
    prevButtonState2 = buttonState2;
    delay(50); // Wait for 50 millisecond(s)
    if (axe == 0) { //control right-left movement
        servo_rightleft.write(map(analogRead(A4), 0, 1023, 0, 180));
    } else { //control up-down movement
        servo_updown.write(map(analogRead(A4), 0, 1023, 0, 180));
    }
}

```

Висновки до розділу 3

За результатами аналізу параметрів і характеристик окремих модулів набору Arduino, запропоновані схеми блоків лабораторного стенду для контролю

параметрів ФЕМ та дистанційного ручного керування його положенням.

Приведені в розділі програми дозволяють здійснити ручне керування положенням ФЕМ та контролювати його параметри.

4 ЗАХОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

4.1 Задача розділу

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), для захисту людини від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції може бути застосований один з таких захисних засобів: мала напруга, вирівнювання потенціалів, подвійна ізоляція, роздільне живлення, захисне вимикання, захисне заземлення (занулення). Із захисних засобів, перелік яких дається, кожний може бути використаний окремо (бути самостійним захисним засобом) або поєднуватись з іншими в деяку комбінацію. Найбільш поширеними технічними засобами захисту є захисне заземлення та занулення, які мають чітку сферу застосування, тоді як сфера застосування інших захисних засобів або обмежена, або має рекомендаційний характер, або ж дуже вузьку сферу обов'язкового застосування. Захисному заземленню або зануленню підлягають металеві частини електроустановок, які доступні дотику людини і не мають інших засобів захисту, які забезпечують електробезпеку [17].

4.2 Загальні відомості

Заземлення — виконання електричного з'єднання певних частин електроустановки або обладнання з заземлювальним пристроєм.

Захисне заземлення — заземлення, яке виконується з метою забезпечення електробезпеки.

Мета розрахунку захисного заземлення — визначення кількості електродів заземлювача і заземлювальних провідників, їхніх розмірів і схеми розміщення в землі, при яких опір заземлювального пристрою розтіканню струму або напруга дотику при замиканні фази на заземлені частини електроустановок не перевищують допустимих значень.

Розрахунок, як правило, виконується за умов однорідності ґрунту.

Заземлювальний пристрій складається із заземлювача і з'єднувальної смуги. Розрізняють заземлювачі штучні, які призначені тільки для цілей заземлення, і природні (металеві конструкції і комунікації іншого призначення, які знаходяться у землі).

Як штучні заземлювачі використовують сталеві труби діаметром 35–50 мм і кутову сталь (40*40...60*60 мм з товщиною стінок не менше 3,5 мм і довжиною 2,5–3 м); пруткову сталь діаметром не менше 10 мм; сталеві шини перерізом 100 мм². Вертикальні заземлювачі з'єднують у контур смугою зі сталі перерізу не менше 6 мм за допомогою зварювання.

Розрахунок заземлення робиться з урахуванням заданих допустимих значень опору R_d заземлювального пристрою, допустимої напруги дотику та кроку. Загальні вимоги щодо значень R_d захисного заземлення електроустановок викладені у міждержавному стандарті ГОСТ 12.1.030–81 «Захисне заземлення. Занулення» та ПУЕ.

4.3 Розрахунок заземлення лабораторного стенду 220 В

Початкові дані

1. Захисту підлягає лабораторний стенд.
2. Мережа з глухозаземленою нейтраллю. Напруга мережі $U = 220$ В.
3. Вимірний опір розтікання струму в природному заземлювачі $R_{п.з} = 19$ Ом. Тип додаткового штучного заземлення – кутова сталь 50*50° мм довжиною $l_B = 2$ м. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,6$ м. З'єднувальна смуга шириною $B_C = 0,07$ м.

Ґрунт – чорнозем; склад однорідний; вологість нормальна. Кліматична зона – III.

Розв'язання

1. Визначаємо допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої. Згідно з ПУЕ $R_d \leq 4$ Ом.
2. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для III кліматичної

зони, вологість нормальна

$$\rho_{розр} = \rho_{табл} \cdot K_C; \quad (4.1)$$

де $\rho_{табл} = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

$$K_C = 1,3$$

$$\rho_{розр} = 200 \cdot 1,3 = 260 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

3. Визначаємо H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис 4.1):

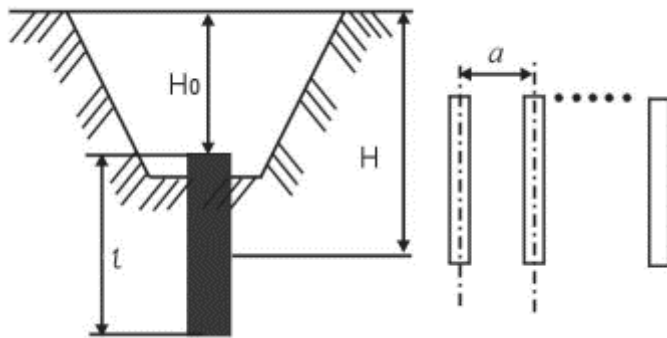


Рисунок 4.1 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

$$H = H_0 + l_B / 2; \quad (4.2)$$

$$H = 0,6 + 2 / 2 = 1,3 \text{ м}.$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l_B} \left(\ln \frac{2l_B}{d_{EKB}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l_B}{4H - l_B} \right); \quad (4.3)$$

$$d_{EKB} = 0,95 \cdot B_K; \quad (4.4)$$

$$d_{EKB} = 0,95 \cdot 0,04 = 0,038 \text{ м.}$$

За формулою (4.3):

$$R_B = \frac{260}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,038} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,3 + 2}{4 \cdot 1,3 - 2} \right) = 104,8 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо опір розтікання струму штучного заземлення, якщо врахувати, що штучні і природні заземлювачі з'єднані паралельно та їх загальний опір не перевищує $R_D = 4 \text{ Ом}$

$$R_D = \frac{R_{П.З} \cdot R_{III}}{R_{П.З} + R_{III}}; \quad (4.5)$$

Тоді
$$R_D = \frac{R_{П.З} \cdot R_{III}}{R_{П.З} - R_{III}} = \frac{4 \cdot 19}{19 - 4} = 5,07 \text{ Ом.}$$

6. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $\eta_B = 1$

$$n_{OP} = \frac{R_B}{R_{ш} \cdot \eta_B}; \quad (4.6)$$

$$n_{OP} = \frac{104,8}{5,07 \cdot 1} = 20,671 \text{ шт.}$$

7. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B з табл. 3.12 [17]. Заземлювачі розташовані по контуру; $a / L = 1$. $n = 22$. (для більш рівномірного струму розтікання пропонуємо використати)

Тоді $\eta_B = 0,44$.

8. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням η_B

$$n_B = n_{OP} / \eta_B; \quad (4.7)$$

$$n_B = 22 / 0,44 = 45 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 45$ шт.

9. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n = 45$ шт.

$$R_{PO3P.B.} = \frac{R_B}{n \cdot \eta_B}; \quad (4.8)$$

$$R_{PO3P.B.} = \frac{122}{45 \cdot 0,44} = 5,7 \text{ Ом.}$$

10. Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_C = 1,05 \cdot a \cdot n; \quad (4.9)$$

$$L_C = 1,05 \cdot 3 \cdot 45 = 142 \text{ м.}$$

11. Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l_C} \ln \frac{2\pi l^2 c}{H_0 \cdot B_C}; \quad (4.10)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{260}{2 \cdot 3,14 \cdot 142} \ln \frac{2 \cdot (142)^2}{0,8 \cdot 0,04} = 6 \text{ Ом.}$$

12. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача. За табл. в додатку А при $a/l=1$, $n_B=45$ отримуємо $\eta_{\Gamma}=0,22$.

13. Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням η_{Γ} :

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}; \quad (4.11)$$

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = \frac{6}{0,22} = 27,3 \text{ Ом.}$$

14. Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальних та вертикальних заземлювачах

$$R_{\text{розр}} = \frac{R_{\text{розр.В}} \cdot R_{\text{розр.}\Gamma}}{R_{\text{розр.В}} + R_{\text{розр.}\Gamma}}; \quad (4.12)$$

$$R_{\text{розр}} = \frac{5,7 \cdot 27,3}{5,7 + 27,3} = 4,4 \text{ Ом.}$$

15. Визначаємо загальний опір розтікання струму в штучному та природному заземлювачах

$$R_{\text{розр}} = \frac{14 \cdot 4,4}{14 + 4,4} = 2,6 \text{ Ом;}$$

$$R_{\text{заг}} < R_{\text{дод}} \cdot$$

Отримане загальнорозрахункове значення опору розтікання струму в природному та штучному заземлювачах відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

Схема заземлення наведена на рис. 4.2.

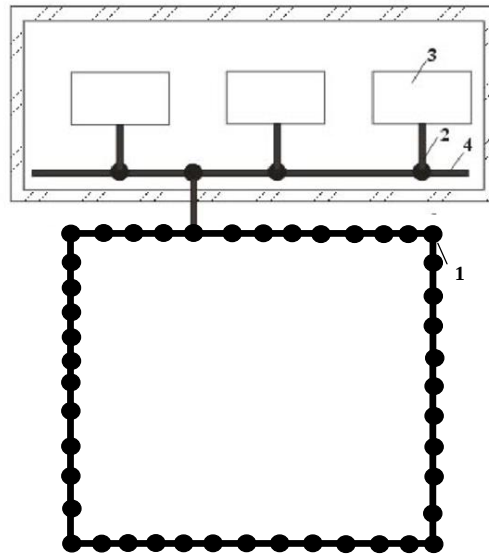


Рисунок 4.2 – Схема захисного заземлення:

- 1 – заземлювальний пристрій; 2 – заземлювальні провідники;
3 – заземлюване обладнання; 4 – внутрішня магістраль

заземлення

Висновок до розділу 4

На основі аналізу літературних джерел з охорони праці, запропоновані захисні засоби для безпечної експлуатації електроустановок. Найбільш поширеними захисними засобами є занулення та заземлення.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічний розрахунок полягає у визначенні витрат на розробку, програмування та збору переносного стенду. Проте, варто врахувати й те, що такий стенд може використовуватись як в навчальних цілях, а також для науково-дослідної діяльності. Такий стенд дозволяє отримати практичні навички та розуміння процесу генерування електроенергії на фотоелектричних станціях. Як в багатьох інших країнах, так і в Україні зокрема, ведеться політика децентралізації генерування та декарбонізації. Тому, стрімко розвивається напрям використання ФЕС для живлення приватних домогосподарств, а також потужних підприємств. Залежно від призначення потужність таких ФЕС коливається від кВ до МВт. Але спільною є задача отримати максимальний ефект при мінімальних витратах. Власне, такий портативні стенди, дозволяють дослідити як змінюється потужність генерування фотопанелі залежно від кута падіння сонячних променів, і на скільки ефективними можуть бути трекерні системи.

Враховуючи ці фактори, економічний розрахунок має не лише оцінити прямі витрати та вигоди від розробки та використання портативних дослідницьких стендів, але й врахувати їх стратегічне значення для відновлення та розвитку галузі відновлюваної енергетики України в умовах поточних викликів.

Варто відзначити, що Arduino продають власні вже готові комплекти подібних дослідницьких прототипів. Вартість такого комплекту від 3500 до 6000 грн. Проте, функціональна можливість таких прототипів обмежена, вносити зміни в програмний код або перепрограмувати стенд не можливо. Для кожної нової задачі чи перевірки ідеї потрібно купувати новий комплект.

Перевагою описаного в роботі стенду є те, що він перепрограмований, деталі та конфігурація можуть змінюватися.

Щодо вартості компонентів, з розрахунку на 2024 рік:

- 1) Плата Arduino Uno R3: 250 грн
- 2) Фотоелектрична панель: 500 грн
- 3) Датчик освітленості (бюджетний варіант): 600 грн
- 4) Матрична клавіатура: 28 грн
- 5) Двигун постійного струму з редуктором: 404 грн

Загальна вартість основних компонентів: 1782 грн

Додаткові витрати

- 1) Інші електронні компоненти (орієнтовно): 500 грн
- 2) Корпус для стенду (орієнтовно): 1000 грн
- 3) Витрати на розробку та складання (орієнтовно 40 годин роботи при ставці 200 грн/год): 8000 грн.
- 4) Загальна вартість стенду
- 5) $1782 + 500 + 1000 + 8000 = 11282$ грн.

Потенційні переваги:

- Зменшення витрат на створення стаціонарних лабораторій приблизно на 50%
- Можливість проведення дослідження в різних локаціях
- Скорочення часу на підготовку експериментів на 30%
- Можливість швидкого збору та аналізу даних
- Використання стендів для навчання студентів та дослідників
- Підвищення якості освіти в галузі відновлюваної енергетики
- Надання послуг з тестування фотоелектричних модулів

Щодо окупності, то введемо певні припущення, що стенд дозволяє заощадити 20% часу на проведення досліджень, а середня вартість дослідницького проекту становить 50000 грн. Тоді річна економія може скласти: $50000 \text{ грн} \times 20\% = 10000 \text{ грн}$ на один проект. При проведенні 2 проектів на рік, загальна економія складу 20000 грн, що перевищує початкові інвестиції. Таким чином, стенд може окупитися приблизно за 1 рік активного використання.

Висновки до розділу 5

Розробка та впровадження переносних дослідницьких стендів може бути економічно вигідно, особливо в умовах України, де існує потреба в мобільних та безпечних дослідницьких рішеннях. різні прямої економічної вигоди, такі стенди мають значну освітню цінність та потенціал для подальшої комерціалізації.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером.

Необхідність переходу на відновлювані джерела енергії, в т.ч. на фотоелектричні станції, пов'язано з необхідністю зменшення викидів парникових газів в атмосферу у всіх сферах діяльності людини.

Фотоелектричні станції широко поширені та території України, тому актуальною задачею, є підвищення їх ефективності функціонування. Аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел свідчить про те, що фотоелектричні станції оснащені трекерними системами відстеження положення сонця, набагато ефективніше за стаціонарні. Так, зокрема, використання одноосьових трекерних систем покращує ефективність ФЕС приблизно на 15-25%, а двохосьових на 30-40% в порівнянні зі стаціонарними.

Для розробки стенду було виконано також аналіз конструктивних особливостей ФЕС та подібних зарубіжних прототипів.

Використовуючи досліджувану інформацію, запропоновано стенд для контролю параметрів ФЕМ та ручного керування двигунами зміни положення. Розроблено на базі плати контролера Arduino Uno, та Мотошилда підсиленого 5В L298Р. Функцію індикації та керування в лабораторному стенді виконує плата на базі мікросхеми ТМ1638. Коди програм для роботи зі стендом було написано на мові програмування C++.

Оригінальність коду програми управління трекером полягає в наявності модуля, який на основі сигналу, що надходить від анемометра, керує горизонтальним положенням робочого столу. Розроблені стенди дозволяють змінювати місце проведення досліджень у випадках загрози життю дослідників під час військових дій або під час стихійних лих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vormedal I., Bjander J., Lie Larsen M., Byskov Lindberg M. (2023). Technological Change and the Politics of Decarbonization. A Re-making of Vested Interests, Environmental Innovation and Societal Transitions, Volume 47, 100725, ISSN 2210-4224. doi.10.1016/j.eist.2023.100725.
2. Moreno, J., Campagnolo, L., Boitier, B. et al. (2024). The impacts of decarbonization pathways on Sustainable Development Goals in the European Union. Commun Earth Environ 5, 136. doi.org/10.1038/s43247-024-01309-7.
3. Brecha, R.J., Ganti, G., Lamboll, R.D. et al. (2022). Institutional decarbonization scenarios evaluated against the Paris Agreement 1.5 °C goal. Nat Commun 13, 4304. doi.org/10.1038/s41467-022-31734-1/
4. Stanbery B. J., Van de Lagemaat J. (2023). Disruptive Photovoltaic Technologies Can Accelerate Global Decarbonization. IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), Denver, CO, USA, pp. 31-34. doi:10.1109/GreenTech56823.2023.10173795.
5. European Commission. "The European Green Deal." December 11, 2019.
6. International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector
7. Сонячна енергія URL: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html> (дата звернення: 25.10.24).
8. Прилади фотоелектричні. Частина 10 Методи вимірювання лінійності характеристик: ДСТУ EN 60904–10:2018. – [Чинний від 2018–12–19]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – X, 14 с. – (Національний стандарт України).
9. Енергія сонячна. Словник термінів: ДСТУ ISO 9488:2010. – [Чинний від 2010–07–01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – IV, 46 с. – (Національний стандарт України).
10. Sheela A., Logeswaran T., Revathi S., Rajalakshmi K. Distributed MPPT configuration for improving solar energy production. 2022 3rd International Conference for Emerging Technology (INCET). 2022. DOI: 10.1109/INCET54531.2022.9824131.

11. Electricalsphere. Types of transformer use in solar power plant. Retrieved <https://electricalsphere.com/types-of-transformer-use-in-solar-power-plant> (дата звернення 10.10.2024)
12. Dual–Axis Tracking generates more power. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/pvw/volume–2/issue–6/solar–energy/dual–axis–tracking–generates–more–power.html> (дата звернення: 12.10.24).
13. Система стеження за сонцем для сонячних батарей. URL: <https://www.azovpromstal.com/article/one/=uk> (дата звернення: 10.10.24).
14. Жолубак, І. М., and В. Ю. Матвієць. "Трекер для сонячних електростанцій." Computer systems and networks 4.1 (2022), 44с.
15. Підвищення вироблення електроенергії за допомогою двовісного сонячного трекера. URL: <https://www.allearthrenewables.com/blog/maximizing–power–production–with–dual–axis–solar–trackers> (дата звернення: 27.10.24).
16. Відстеження сонця по двох осях збільшує потужність сонячної станції. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/pvw/volume–2/issue–6/solar–energy/dual–axis–tracking–generates–more–power.html> (дата звернення: 15.10.24).
17. Shahid, & Adnan. Single axis solar tracker project tutorial. Techatronic. Retrieved December 6, 2024, from <https://techatronic.com/single-axis-solar-tracker-project-tutorial/> (дата звернення: 25.11.24)
18. Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д., Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка : навч. посібник Вінниця : ВНТУ, 2018. 120 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Розробка лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ Кафедра електричних станцій та систем
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник Рубаненко Олександр Євгенійович
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	83%
Загальна схожість	17%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Особа, відповідальна за перевірку _____ Вишневський С.Я _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Експерт _____
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б
Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

(підпис)

" _____ " _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
Розробка лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної
панелі та керування трекером
08-13.МКР.001.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., проф.,
професор кафедри ЕСС
_____ Рубаненко О.Є.
Магістр групи ІЕС-23м
_____ Горбань В.С.

Вінниця 2024 р.

Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) В наш час вартість викопного палива швидко зростає. Тому вартість електроенергії, виробленої електростанціями, також зростає. Тому актуальним є удосконалення методів і засобів надійного виробництва електроенергії з використанням сонячної, гідро-, вітрової тощо енергії та способів передачі цієї електроенергії від її джерела (електростанції) до споживачів. У звіті DIXI group зазначається, що, незважаючи на значну втрату генеруючих потужностей, енергетика продовжує тримати курс на відновлення та модернізацію. Відповідно до цільових показників, затверджених на міжнародному рівні Міністерською радою Енергетичного співтовариства, до 2030 року частка відновлюваних джерел енергії в кінцевому споживанні енергії має досягти 27%. Задля покращення ефективності роботи таких станцій потрібні сучасні наукові лабораторії, обладнання, лабораторні стенди, де вчені (магістри, аспіранти, докторанти, наукові співробітники) можуть проводити дослідження, перевіряти гіпотези, розробляти нові рішення, отримувати нові зразки. Розроблення демонстративного стенду з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером є **актуальною**.

б) наказ ректора ВНТУ №310 від 17 вересня 2024 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) мета – розробка лабораторного стенду по контролю параметрів та керуванню трекером.

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Shahid, Adnan. Single axis solar tracker project tutorial. Techatronic. Retrieved December 6, 2024, from <https://techatronic.com/single-axis-solar-tracker->

project-tutorial;

2. Moreno, J., Campagnolo, L., Boitier, B. et al. (2024). The impacts of decarbonization pathways on Sustainable Development Goals in the European Union. *Commun Earth Environ* 5, 136. doi.org/10.1038/s43247-024-01309-7.

3. Sheela A., Logeswaran T., Revathi S., Rajalakshmi K. Distributed MPPT configuration for improving solar energy production. 2022 3rd International Conference for Emerging Technology (INCET). 2022. DOI: 10.1109/INCET54531.2022.9824131.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Схема складається з контролера Arduino UNO, плати на базі мікросхеми ATmega328P, яка відповідає за індикацію, цифрового датчику струму і напруги, виконаного на базі мікросхеми INA219 з шиною I2C для передачі даних, сонячної панелі 6 В потужністю 2 Вт та мембранної клавіатури, яка відповідає за ручне керування. Програмне середовище Arduino IDE.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники доцільності розробки та виготовлення переносного станду.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	2	3	4	5
1	Розроблення технічного завдання	18.09.24	20.09.24	формування технічного завдання
2	Дослідження особливостей експлуатації обладнання фотоелектричних станцій	21.09.24	25.09.24	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Особливості трекерних систем фотоелектричних станцій	26.09.24	26.10.24	розділ 2

1	2	3	4	5
4	Розробка конструкції та програмного забезпечення лабораторного стенда	27.10.24	10.11.24	розділ 3
5	Заходи забезпечення надійної та безпечної експлуатації електроустановок	11.11.24	15.11.24	розділ 4
6	Економічна частина	16.11.24	20.11.24	розділ 5
7	Оформлення пояснювальної записки	21.11.24	24.12.24	пояснювальна записка
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	25.12.24	28.12.24	презентація

7. Очікувані результати В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи очікується одержання обґрунтованих рекомендацій та пропозицій, які можуть бути використані з метою підвищення ефективності застосування досліджуваного об'єкта та покращення енергоефективності.

8. Матеріали, що подаються до захисту МКР Пояснювальна записка МКР (паперовий екземпляр), ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, протокол перевірки МКР на наявність текстових запозичень.

9. Порядок контролю виконання та захисту МКР Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником та завідувачем кафедри ЕСС згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

10. Вимоги до оформлення МКР Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

11. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом Відсутні

ДОДАТОК В
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА З КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ ТА КЕРУВАННЯ ТРЕКЕРОМ**

Студент _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис) (ініціали та прізвище)



Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики, електротехніки та
електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА З КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ ТА КЕРУВАННЯ ТРЕКЕРОМ

Горбань Вадим
Сергійович,
студент гр. 1ЕС-23м

Керівник: к.т.н, проф
Рубаненко Олександр
Євгенійович

Актуальність

2

Питання децентралізації генерування на сьогоднішній день актуально, з точки зору забезпечення надійності електропостачання. Як результат систематичних пошкоджень обладнання енергетичної інфраструктури, численні підприємства та й звичайні споживачі мають довгі перерви в електропостачанні. Це в свою чергу спонукало підприємців та населення до купівлі та встановлення джерел розосередженого генерування. Як свідчать результати аналізу літературних джерел, то серед інших типів обладнання, широкого поширення отримали фотоелектричні станції (ФЕС).

Сьогодні галузь сонячної енергетики переживає стрімке зростання, по всьому світу активно досліджують можливості збільшення генерованої потужності фотоелектричних панелей, потужності фотоелектростанцій зростають, розвиваються суміжні галузі (наприклад, системи зберігання енергії). Важливим питанням у рамках будь-якої енергетичної галузі є питання ефективності роботи таких станцій. Коефіцієнт корисної дії фотоелектричних панелей безпосередньо залежить від технології та матеріалу, з якого вони виробляються. Протягом світлового дня кут нахилу сонця до сонячної панелі постійно змінюється. Відповідно змінюється і потужність генерування. Підвищити вироблення можна за допомогою використання трекерів.

Отже, тема магістерської кваліфікаційної роботи «Розробка лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером» **є актуальною.**

Мета і завдання роботи

3

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка лабораторного стенду по контролю параметрів та керуванню трекером.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **завдання**:

- дослідити особливості експлуатації обладнання фотоелектричних станцій;
- виконати аналіз особливостей функціонування трекерних систем фотоелектричних станцій;
- розробити конструкцію та програмне забезпечення лабораторного стенду;
- виконати економічний розрахунок вартості виготовлення стенду;
- розрахувати заземлення лабораторного стенду.

**Об'єкт, предмет дослідження,
новизна**

4

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є розробка лабораторного стенду по контролю параметрів фотоелектричних панелей з трекерною системою.

Предметом фотоелектричні системи з трекерною системою відстеження положення сонця.

Новизна. Удосконалено програму керування положенням трекара фотоелектричним модулем лабораторного стенду.

Практична цінність полягає у виготовленні лабораторного стенда трекара, що можуть лабораторний стенд може бути використаний для навчального процесу та виконання науково-дослідних робіт по дослідженню ефективності трекерних систем ФЕС.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні результати були розглянуті на конференціях ВНТУ «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ (МН-2025)»..

Розташування ФЕМ

5



На дахах житлових будинків



На дахах супермаркетів та складів

Системи стеження за сонцем



ДВОХОСЬОВИЙ СОНЯЧНИЙ ТРЕКЕР
ПРИВАТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ



ДВОХОСЬОВИЙ СОНЯЧНИЙ ТРЕКЕР
ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Приклад технічних характеристик двохосьового
сонячного трекара AS SUN FLOWER 46**

6

Основні характеристики системи «AS Sunflower-46»	
Місце встановлення	Ґрунт
Тип закріплення системи	Бетонний фундамент
Метод встановлення опор	Закріплення до фундаменту за допомогою закладного анкерного кошика
Тип опори	Колона
Довжина колони, м	2
Площа розміщення ФЕМ, м2	74,9
Номинальна застаріла потужність, кВт	13,8
Кількість ФЕМ	46
Робоча напруга	100-260 В, 50-60 Гц
Габарити системи ВхШхГ, м	5,982 x 13,208
Маса системи, кг	1570
Орієнтовне власне споживання, кВт/год рік	30

Сонячний трекер

7

Сонячний трекер — динамічна система кріплень, що є опорною конструкцією **наземної сонячної електростанції**. Пристрій розрахований на сорок шість фотоелектричних модулів із загальною номінальною потужністю 13,8 кВт. Від статичних систем пристрій вирізняється тим, що закріплені на ньому сонячні панелі можуть автоматично змінювати кут нахилу, орієнтуючись на траєкторію Сонця. Наприклад, трекер «Санфлауер» належить до **двосмугового** типу динамічних конструкцій, тобто здатний змінювати положення у двох площинах. Всі ці особливості дають змогу **системі стеження за Сонцем** виробляти на **30-40%** більше електроенергії.

Розрахунок середньомісячного вироблення електроенергії (кВт·год) динамічними системами (20 модулів по 240 Вт кожен) та аналогічною статичною системою з кутом встановлення 30° для населеного пункту . Київ



Складові двоосьової моделі

8

- двоветрова одиночна колона, що слугує опорною конструкцією;
- рухома частина, на яку рядами кріпляться фотоелектричні модулі;
- блок електромеханічних приводів; система керування, що дає змогу контролювати
- роботу трекера, зокрема й дистанційно.

Додатковий елемент системи — комплексний датчик. З його допомогою пристрій сканує небосхил, вибирає оптимальне розташування сонячних панелей щодо сонця. Крім того, датчик визначає напрямок і швидкість вітру, силу снігового навантаження.

Розрахунок середньомісячного вироблення електроенергії (кВт·год) динамічними системами (20 модулів по 240 Вт кожен) й аналогічною статичною системою з кутом встановлення 25° для Криму – Херсону з географічними координатами, наприклад, 44°56 с. ш. 34°06

(за даними отриманими за посиланням [NASA96@//power.larc.nasa.gov/cgi-bin/cgiwrap/solar/grid.cgi?email=grid@larc.nasa.gov](mailto:grid@larc.nasa.gov))

Параметри інверторів

9

Інвертори фотоелектричних станцій відіграють важливу роль в оптимізації виробництва енергії, в забезпеченні ефективної роботи за різних умов і в підтримці стабільності системи. Інвертори оснащені також функцією зберігання даних про генерування енергії на ФЕС, що важливо для аналізу ефективності роботи станції. Багато сучасних інверторів мають вбудовані функції моніторингу, які дозволяють виявляти проблеми (пошкодження) та оцінювати ефективність системи. Власне функція моніторингу відіграє ключову роль у максимізації виробництва енергії та мінімізації витрат на ремонт і обслуговування ФЕС

Параметри: Номінальна потужність $P_{ном}$ (Вт); Вхідна напруга $U_{вх}$ (В); діапазон напруги, яку інвертор може приймати від ФЕМ; Вихідна напруга $U_{вих}$ (В); напруга, що подається в мережу або на побутову техніку; Коефіцієнт потужності (PF): показує наскільки ефективно інвертор перетворює електроенергію:

$$PF = \cos[\tan^{-1}(Q / P)]$$

де P —активна потужність, а Q —реактивна потужність

Параметри

10

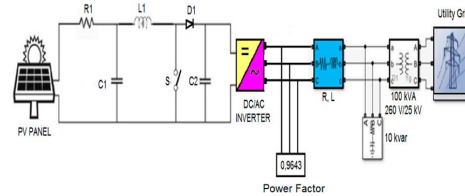
Реактивна потужність

$$Q = P \cdot \tan \left[\cos^{-1} (PF) \right]$$

Коефіцієнт корисної дії (η , %): показує, яка частина вхідної енергії перетворюється на корисну вихідну;

- Тип інвертора;
- Функції захисту: Механізми безпеки для запобігання пошкодженням;

Вимірювання коефіцієнта потужності ФЕС



Особливості трекерних систем

11

Вихідна потужність ФЕМ залежить, не тільки від технічних характеристик та освітленості, а досить суттєво залежить від кута падіння сонячних променів.

Літом кут падіння сонячних променів до поверхні землі становить близько 69° , весною та восени – близько 40° , а зимою – 14°

Класифікація трекерів

Залежно від функціоналу трекери можна класифікувати наступним чином:

- Пасивні пристрої стеження
- Активні пристрої стеження
- Трекери відкритого циклу

Трекери відкритого циклу поділяються на два типи:

- Часові трекери
- Трекери висоти / азимута

Відносно конструктивних особливостей, то поділ наступний:

- Одноосьові сонячні трекери
- Двоосьові сонячні трекери

Типи трекерів

12



Лабораторний стенд

13



Комплектуючі елементи
стенда

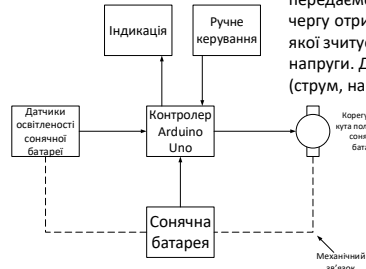
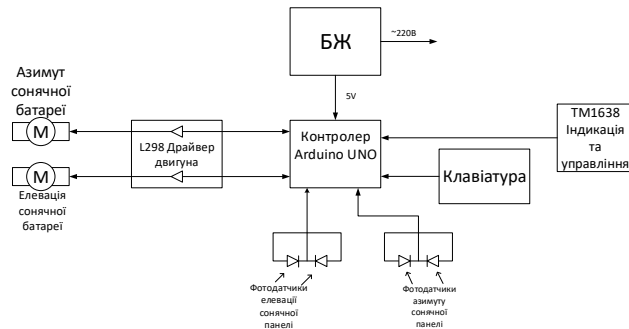


Схема складається з контролера Arduino UNO, плати на базі мікросхеми TM1638, яка відповідає за індикацію, цифрового датчика струму і напруги, виконаного на базі мікросхеми INA219 з шиною I2C для передачі даних, сонячної панелі 6 В потужністю 2 Вт та мембранної клавіатури, яка відповідає за ручне керування.

Натискаючи кнопки на клавіатурі (1-5), ми передаємо інформацію на контролер, який в свою чергу отримує інформацію з сонячної батареї, з якої зчитує данні цифровий датчик струму та напруги. Далі, контролер виводить інформацію (струм, напругу потужність) на індикатор.

Конструкція переносного (мобільного) лабораторного стенду

14



Функціональна схема блоку стенду для ручного керування двигунами зміни положення фотоелектричного модуля

Загальні відомості про Arduino

15

Arduino – це відкрита платформа, яка дозволяє збирати різноманітні електронні пристрої. 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 на 16 МГц (CSTCE16M0V53-R0), USB-роз'єм, роз'єм живлення, заголовок ICSP і кнопку скидання. Він містить все необхідне для підтримки мікроконтролера; просто підключіть його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або увімкніть живлення за допомогою адаптера змінного струму або батареї, щоб почати роботу.



Для програмування використовується мова програмування C++. Розробку ПЗ можна вести як з використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Для автономної роботи можна використати блок живлення, батарейки чи акумулятор на 7–12 В роз'єм 5.5*2.1мм.

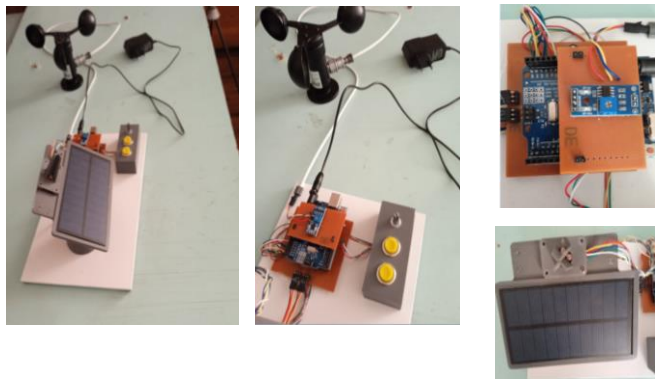
Опис фрагменту коду програми керування трекером

16

```
//Трекер
//Servo motor library
#include <Servo.h>
// додаємо в код програми бібліотеку «Servo.h», щоб мати
// змогу керувати серводвигунами.
...
//Declare two servos
Servo servo_updown;
Servo servo_rightleft;
...
Serial.println(Mode);
// Виводимо це значення на термінал, або в Excel в залежності від
// того, що зараз активне
// у нас є два фото датчики top і bot які розташовані по вертикалі,
// ми визначаємо різницю між top і bot тобто між верхнім та нижнім фото
// датчиками
int diffazi = right - left;
//Get the different average between LDRs right and LDRs left
// у нас є ще два фото датчики right і left, які розташовані по
// горизонталі, ми визначаємо різницю між правим і лівим датчиками
...
```

Зовнішній вигляд лабораторного стенда

17



Висновки

14

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці лабораторного стенда з контролю параметрів фотоелектричної панелі та керування трекером. Необхідність переходу на відновлювані джерела енергії, в т.ч. на фотоелектричні станції, пов'язано з необхідністю зменшення викидів парникових газів в атмосферу у всіх сферах діяльності людини.

Фотоелектричні станції широко поширені та території України, тому актуальною задачею, є підвищення їх ефективності функціонування. Аналіз вітчизняних та іноземних літературних джерел свідчить про те, що фотоелектричні станції оснащені трекерними системами відстеження положення сонця, набагато ефективніше за стаціонарні. Так, зокрема, використання одноосьових трекерних систем покращує ефективність ФЕС приблизно на 15-25%, а двохосьових на 30-40% в порівнянні зі стаціонарними. Для розробки стенду було виконано також аналіз конструктивних особливостей ФЕС та подібних зарубіжних прототипів.

Використовуючи досліджувану інформацію, запропоновано стенд для контролю параметрів ФЕМ та ручного керування двигунами зміни положення. Розроблено на базі плати контролера Arduino Uno, та Мотошилда підсиленого 5В L298Р. Функцію індикації та керування в лабораторному стенді виконує плата на базі мікросхеми ТМ1638. Коди програм для роботи зі стендом було написано на мові програмування C++.

Оригінальність коду програми управління трекером полягає в наявності модуля, який на основі сигналу, що надходить від анемометра, керує горизонтальним положенням робочого столу. Розроблені стенди дозволяють змінювати місце проведення досліджень у випадках загрози життю дослідників під час військових дій або під час стихійних лих.