

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської Фотогальванічної електро станції»

Виконав: студент 2-го курсу, гр. ЕПА-22м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дмитро ЛУБКО
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., доц. кафедри КЕМСК

Сергій БАБІЙ
(прізвище та ініціали)

«21» 11 2023 р.

Опонент: к.т.н. проф. кафедри ЕСЕМ

Олександр В.А.
(прізвище та ініціали)

«11» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри

«11» 11 2023 р.

Київський національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Назва спеціальності 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації та електродвигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

“24” 10 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лубко Дмитро Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської Фотогальванічної електро станції
- керівник роботи Сергій Миколайович Бабій, к.т.н., доц. каф. КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від “18” 02 2023 року №247
- Строк подання студентом роботи 28.11.2023р.
- Вихідні дані до роботи: режим роботи – короткочасний, моторедуктор на базі двигуна NIP112M4 та редуктора NMRV150, частотний перетворювач, сонячні модулі.
- Зміст текстової частини: Вступ. 1 Опис системи сонячного трекінгу. 2 Огляд існуючої конструкції. Розрахунок основних компонентів проектованої системи трекера. 3 Розробка системи керування. 4 Охорона праці. 5 Економічна частина. Висновки.
- Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Характеристики сонячних модулів. Характеристики моторедуктора. Схематичний вигляд конструкції. Структурна схема та алгоритм роботи. Схема підключення.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Спеціальна частина | к. т. н., доц. каф. КЕМСК Бабій С.М. | 24.10.2023 | 21.11.2023 |
| Економічна частина | Шулле Ю.А. к.т.н., доц. каф. ЕСЕЕМ | 24.10.2023 | 24.11.2023 |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В. | 24.10.2023 | 28.11.2023 |

7. Дата видачі завдання 24.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітки |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) | 03.10.2023 | |
| 2 | Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР | 21.11.2023 | |
| 3 | Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР | 28.11.2023 | |
| 4 | Виконання розділу «Економічна частина» | 21.11.2023 | |
| 5 | Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» | 28.11.2023 | |
| 6 | Попередній захист МКР | 28.11.2023 | |
| 7 | Нормоконтроль МКР | 28.11.2023 | |
| 8 | Рецензування МКР | 11.12.2023 | |
| 9 | Захист МКР | 13.12.2023 | |

Студент

(підпис)

Мудиса Д.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бабій С.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК: 621.313.322

Лубко Д.Р. Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської Фотогальванічної електро станції
Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма - електрична інженерія.
Вінниця: ВНТУ, 2023. 62 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв; рис.: 48; табл. 13.

В магістерській кваліфікаційній роботі були запропоновані рішення щодо підвищення ефективності фотогальванічної електричної станції завдяки проектуванню сонячного трекера. Впровадження сонячного трекера дозволить збільшити генерацію, особливо на проблемних ділянках, на 30%.

В даній роботі показано система електроприводу, конструкцію трекера та систему керування.

Графічна частина складається з 5 плакатів із результатами роботи.

В розділі охорони праці визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

Ключові слова: електропривод, асинхронний двигун, перетворювач частоти, система керування, сонячний модуль, моторедуктор.

ABSTRACT

Lubko D.R. Increasing the efficiency of the solar tracker control system in the conditions of the Kamianets-Podilskia Photovoltaic Power Plant. Master's thesis on the specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics, educational program - electrical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 62 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 23 titles; Fig.: 48; table 13.

In the master's thesis, solutions were proposed to increase the efficiency of the photovoltaic power station thanks to the design of the solar tracker. The introduction of a solar tracker will increase generation, especially in problem areas, by 30%.

This work shows the electric drive system, tracker design and control system. The graphic part consists of 5 posters with the results of the work.

In the section on labor protection, the main provisions regarding the safe operation of the studied electrotechnical complex under the influence of harmful factors of the surrounding environment are defined.

Key words: electric drive, asynchronous motor, frequency converter, control system, solar module, gear motor.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП..... | 9 |
| 1 ОПИС СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ТРЕКІНГУ..... | 15 |
| 1.1 Вплив різних факторів на ефективність роботи..... | 15 |
| 1.2 Розвиток сонячних станцій в Україні..... | 16 |
| 1.3 Характеристика ФЕС «Кам'янець-Подільська»..... | 19 |
| 1.4 Сонячні модулі в складі трекінгу..... | 20 |
| 1.5 Методи відслідковування положення сонця..... | 23 |
| 1.6 Елементи приводу електромеханічної системи..... | 24 |
| 1.7 Способи керування сонячним трекером..... | 25 |
| 1.8 Існуючі установки сонячних трекерів..... | 27 |
| 1.9 Формування вимог до системи..... | 27 |
| Висновок..... | 27 |
| 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТРЕКЕРА..... | 31 |
| 2.1 Огляд існуючої конструкції..... | 31 |
| 2.2 Опис конструкції трекера..... | 32 |
| 2.2 Розрахунок приводного двигуна..... | 35 |
| 2.3 Вибір двигуна електропривода поворотного механізму..... | 39 |
| 2.4 Вибір частотного перетворювача..... | 44 |
| 2.5 Висновок..... | 45 |
| 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ..... | 46 |
| 3.1 Система слідкування за сонцем..... | 46 |
| 3.2 Розробка структурної схеми позиціонування..... | 48 |
| 3.3 Розробка алгоритму трекера..... | 50 |
| 3.4 Вибір апаратної частини..... | 52 |
| 3.5 Схеми підключення трекера..... | 54 |
| 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА..... | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..... | 59 |
| ВИСНОВКИ..... | 60 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 61 |
| Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання..... | 64 |
| Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина..... | 68 |

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. З розвитком цивілізації жителі землі потребували додаткової енергії.

Альтернативна енергетика, це те, що виробляється без шкідливих наслідків, які є причиною глобального потепління. Одним з напрямків альтернативної енергетики є геліоенергетика.

Енергія сонця – це найбільш популярний, найбільш доступний та екологічно чистий вид енергії. Протягом світлового дня Сонце виробляє стільки енергії що якщо її акумулювати то її вистачить на опалення та забезпечення електроенергією кількох великих міст. Воно вважається майже невичерпним джерелом енергії.

Геліоенергетика – відносно новий вид енергетики (як порівняти з гідро- і вітроенергетикою). Ідеться про пряме перетворення сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію. У геліоенергетики є істотне обмеження: немає сонця – немає енергії. Але обладнання вдосконалюється, і сьгоднішні геліопанелі здатні вловлювати навіть розсіяне сонячне випромінювання, перетворюючи його в потрібний вид енергії.

Плюси геліоенергетики очевидні:

- Сонячне випромінювання безкоштовне і доступне кожному, для організації енергопостачання не потрібні дорогі лінії електропередач, сховища палива і багато іншого. Достатньо лише розмістити обладнання на своїй ділянці – і доступ до сонячної енергії забезпечений.

- Геліоенергетика екологічна: немає ні отруйних викидів, ні шкідливих побічних ефектів, навіть шуму – на відміну від вітрогенераторів. А обладнання, пропонуване сучасними виробниками, цілком надійно і довговічне. Незважаючи на відносно велику вартість (порівнянну, втім, з вартістю інших варіантів організації автономного енергопостачання), обладнання досить швидко окупається і починає постачати абсолютно безкоштовну електрику високої якості.

- Ще один плюс: обладнання вимагає мінімального догляду і може розміщуватися так, що майже не буде займати місця (наприклад, на даху будинку).

Фотовольтаїка - розділ науки на стику фізики, фотохімії та електрохімії, який вивчає процес поява електроструму в різних матеріалах під впливом падаючого на нього світла.

Найчастіше під словосполученням «сонячна батарея» мається на увазі панель, що створює електрострум під впливом сонячного світла. Сонячну батарею також називають фотоелектричним перетворювачем, панеллю, модулем, фотомодулем і так далі.

Принцип дії СБ полягає в фотоелектричні ефекті або ефекті напівпровідників. Це здатність перетворювати сонячне проміння в електрострум.

Сонячні панелі варто купувати, як мінімум через наступних переваг:

- Безпека і екологічність. Пристрій не виділяє речовини, які можуть нашкодити, не формує вібрацій, безшумно працює.
- Безкоштовний і доступний енергетичний джерело. Світло сонця - природний ресурс, кожен може ним скористатися.
- Різноманітність видів станцій. Можна монтувати, як на даху котеджу, так і у вигляді незалежної електричної станції, а також іншими способами.
- Наука постійно розвивається, а моделі сонячних батарей удосконалюються.
- Довговічність. Фотомодулі зношуються повільніше: термін служби орієнтовно 25 років і залежить від рівня сервісу.

Для того, щоб збільшити потужність сонячних батарей, які працюють завдяки явищу фотоефекту, окремі елементи кремнію з'єднують в модулі.

Сонячні панелі перетворюють енергію сонячну енергію в електричний струм. Вироблена кількість електроенергії використовується для живлення будь яких елементів.

Раніше технологія видобутку електричної енергії з використанням сонячних батарей використовувалась лише на космічних апаратах, на даний час використання даної технології дуже широко використовується для побутових та промислових цілей.

Відстеження положення сонця є ключовим елементом для оптимального використання сонячної енергії в сонячних енергетичних системах. Існує кілька способів визначення та відстеження положення сонця:

1. Геодезичні методи:

- Геодезичні сонячні триангулятори: Вони використовують оптичні прилади для визначення положення сонця на основі геодезичних вимірювань.

2. Астрономічні методи:

- Астрономічне програмне забезпечення: Сучасне програмне забезпечення враховує географічні координати та дату для точного розрахунку положення сонця в будь-який момент часу.

- Спектрорадіометри: Вимірює інтенсивність сонячного випромінювання в різних діапазонах для визначення положення сонця.

3. Сенсори і контроль за трекінгом:

- Інфрачервоні сенсори: Використовують інфрачервоний діапазон для виявлення теплового випромінювання сонця.

- GPS та компаси: Використовуються для визначення географічного положення та орієнтації системи.

4. Алгоритмічні методи:

- Використання математичних алгоритмів: Спеціальні алгоритми можуть бути використані для прогнозування положення сонця на основі географічних координат та часу доби.

Відстеження положення сонця дозволяє системам сонячних панелей або концентраторів ефективно налаштовуватися так, щоб збирати максимальну кількість сонячної енергії протягом дня. Це може бути особливо важливо для максимізації ефективності сонячних електростанцій та інших систем відновлюваної енергії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності видобутку електроенергії на ФЕС з використанням одновісного сонячного трекера на базі двигуна змінного струму.

До задач магістерської кваліфікаційної роботи можна віднести:

- аналіз існуючої конструкції та режимів роботи ФЕС;
- техніко-економічний розрахунок впровадження сонячного трекера;
- розрахунок та вибір основних елементів системи;
- розробка електричної схеми підключення.

Об'єктом дослідження є процеси та системи слідкування за положенням сонця та його інтенсивністю.

Предметом дослідження є системи сонячних трекерів які дозволяють збільшити ефективність роботи ФЕС.

Методи дослідження засновані на використанні методів теорії теорії автоматичного управління, електричних машин, методів синтезу систем управління, теорії та методів математичного та імітаційного комп'ютерного моделювання та інших системних методів.

Наукова новизна одержаних результатів:

- розроблена система одновісного сонячного трекера, під керуванням модуля реального часу та фоторезисторів.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в наступному:

- результати отриманих досліджень можуть бути використані в задачах проектування та оптимізації режимів роботи сонячних трекерів;

- розрахункові результати досліджень можуть бути використанні під час вивчення фахових дисциплін таких освітніх програм як «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод».

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН- 2023).

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

- Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець Подільської фотогальванічної електростанції/ С.М. Бабій, Д.Р. Лубко – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024 – 3с.

1 ОПИС СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ТРЕКІНГУ

1.1 Вплив різних факторів на ефективність роботи

Фактори, що впливають на віддачу сонячних станцій :

- 1) тип панелі (найпоширенішими сьогодні є панелі на моно- та полікристалічних елементах);
- 2) залежність регіону від рівня інсоляції (найпопулярніші в Україні – Одеська область, Дніпропетровська область, Херсонська область, Миколаївська область);
- 3) орієнтація панелі на сонце. Можливість обертання в поєднанні з системою відстеження сонця, яка дозволяє виробляти на 28% – 35% більше енергії порівняно зі стаціонарними установками з однаковою потужністю. Також важливим фактором є попадання сонячних променів на панелі під прямими кутами;
- 4) підвищення температури сонячної панелі з 10°C, що є оптимальною температурою роботи, до 50°C зменшує ККД на 7% від номінального;
- 4) знецінення обладнання (за 25 років монокристалічні клітини втрачають 20% своєї ємності, а полікристалічні клітини – 30%);
- 5) власне споживання електроенергії та інші витрати;
- 6) вартість продажу електроенергії.

Встановивши панелі в певному положенні та регіоні можна отримати сонячні панелі з високим ККД. Також потрібно звернути увагу на тип панелей та де краще їх застосовувати.

Використання полікристалічних панелей є доцільним в умовах використання статичних систем орієнтування на сонце. Даний тип панелей є менш продуктивним в порівнянні з монокристалічним типом але і вартість їх також менша, тому при однаковій вартості їх можна встановити більше. Отже для статичних сонячних електростанцій характерним є: використання великих площ, малі капіталовкладення. Розглядаючи варіант із статичними системами,

використання монокристалічних панелей є не доцільним навіть при тому, що вони більш продуктивніші від полікристалічних на 30%. Даний тип панелей досить добре себе показує при використанні динамічних систем, так як динамічні системи дозволяють орієнтувати панелі так, щоб попадання світла на них було найбільш інтенсивним впродовж всього світлового дня. Отже, використовуючи даний метод можна зменшити використання площі забудови, але використання динамічних систем потребує значних капіталовкладень [2].

1.2 Розвиток сонячних станцій в Україні

Сонячні електростанції – інженерні споруди, які, за допомогою сонячних панелей, перетворюють енергію випромінювання Сонця на електричну енергію і переважно розміщені на землі на достатньо великій площі.

Розташування України сприяє сонячним проектам. У її кліматі часто буває велика кількість сонячних днів. Інсоляція (притік сонячної радіації на одиницю площі горизонтальної поверхні за одиницю часу) України набагато краща ніж у Німеччини – лідера Європи у виробництві сонячної енергії. Такі основні фактори дозволяють говорити про український сонячний потенціал (рисунок 1.8). Держава також заявляє про всебічну підтримку всіх проектів відновлюваної енергетики.

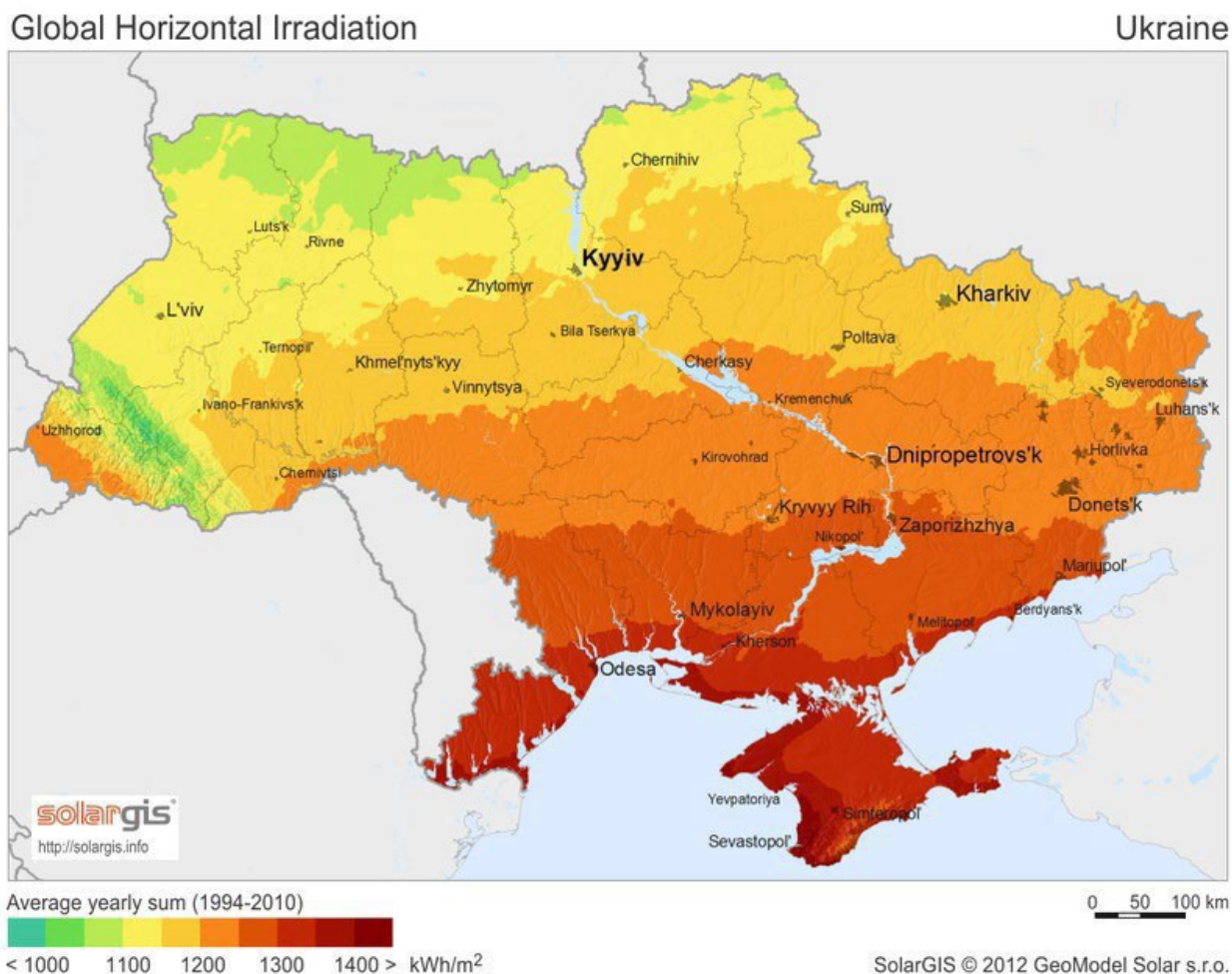


Рисунок 1.1 – Карта інсоляції України

За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, на 1 жовтня 2017 року в країні функціонувало 359 об'єктів, що працюють на відновлюваних джерелах, загальною потужністю 1320 МВт [5]. Найбільші сонячні електростанції розташовані в таких регіонах: Кіровоград (125 МВт); Нова Каховка, Херсонська область (120 МВт); Каменка Черкаської області (100 МВт); Яворів Львівської області (57 МВт), село Приозерне Одеської області (55 МВт) [2].

На даний момент переважна більшість промислових сонячних електростанцій під час експлуатації використовують статичні системи. Кут нахилу панелей і поворот конструкції по азимуту обчислюється залежно від регіону. Таким чином кут нахилу встановлюється в межах 30-45° [6]. За таких умов отримаємо результат ефективної генерації лише в літню пору року та в

кінці весни. Беручи до уваги сонячний потенціал України використання сонячного трекера, для покращення генерації продовж всього року, є досить перспективним рішенням.

1.3 Характеристика ФЕС «Кам'янець-Подільська»

ФЕС «Кам'янець – Подільська» (рис1.2) на сьогоднішній день є однією з найбільших ФЕС в Україні. Була введена в експлуатацію 2018 року з метою генерації «зеленої» енергії та її подальшого продажу за зеленим тарифом.

На станції присутнє таке обладнання:

- Сонячні модулі Longi Solar LR6 60 290m
- Трансформаторні підстанції PVIS 1000
- Інвертори K-Star GSL0500.

Загальна потужність станції 50 МВт.



Рисунок 1.2 – ФЕС «Кам'янець-Подільська»

1.4 Сонячні модулі в складі трекінгу

Сонячний трекер – це система яка дозволяє підлаштовувати панелі під кут падіння сонячних променів. Це дозволить збільшити кількість згенерованої електричної енергії з однієї секції сонячних модулів.

Сонячний трекер – це система яка дозволяє підлаштовувати панелі під кут падіння сонячних променів. Це дозволить збільшити кількість згенерованої електричної енергії з однієї секції сонячних модулів.

Сонячний модуль, також відомий як фотоелектричний модуль або

фотоелектричний панель, є основним елементом сонячної енергетичної системи. Його основна функція - перетворювати сонячне випромінювання в електричну енергію за допомогою фотоелектричного ефекту.

Основні компоненти сонячного модуля включають:

1. Фотоелектричні елементи (сонячні клітини): Робочим елементом сонячного модуля є фотоелектричні елементи, які зазвичай виготовляються з кристалічного кремнію чи тонкоплівкових матеріалів, таких як кадмій-теллурид. Фотоелектричні елементи абсорбують фотони сонячного світла і генерують електричний струм.

2. Підкладка (бекінг): Це структурний елемент, який підтримує фотоелектричні елементи та захищає їх від зовнішніх впливів.

3. З'єднання та захист: Сонячний модуль містить провідники, які з'єднують фотоелектричні елементи і передають згенерований електричний струм. Також включають системи захисту від перенапруги та інших електричних аномалій.

4. Захисне покриття: Зазвичай сонячні модулі покривають захисним склом чи іншим матеріалом, що захищає фотоелектричні елементи від зовнішніх впливів, таких як дощ, сніг, пил, і ультрафіолетове випромінювання.

5. Рама: Декілька сонячних модулів може бути об'єднано в сонячний панельний масив, який встановлюється на підставку або іншу підтримку. Рама забезпечує структурну міцність та утримує модулі в потрібному положенні.

Сонячні модулі використовуються як основний будівельний блок для створення сонячних електростанцій та інших сонячних енергетичних систем. Вони грають ключову роль у виробництві електроенергії з використанням сонячної енергії. Загальний вигляд побудови сонячної панелі можна переглянути на рисунку 1.3.

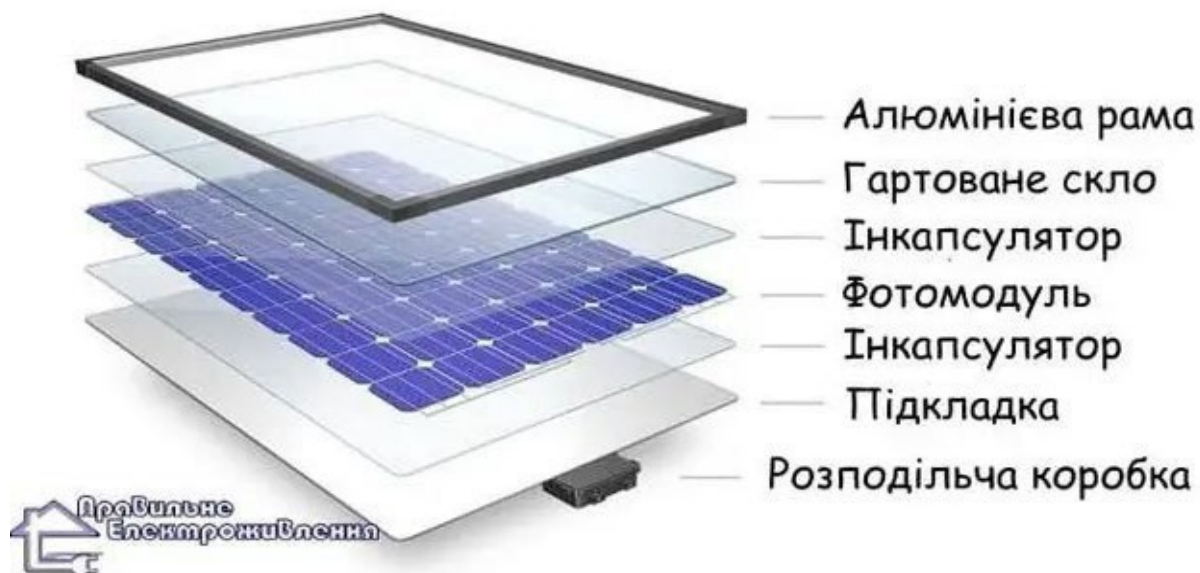


Рисунок 1.3 – Будова сонячного модуля

Принцип роботи сонячного модуля ґрунтується на фотоелектричному ефекті, що виникає в напівпровідникових матеріалах, зазвичай, кремнії. Основний процес можна розкрити у декілька кроків:

1. Поглиблення фотонів: Коли сонячне світло (фотони) падає на поверхню сонячного модуля, відбувається поглиблення фотонами до внутрішніх шарів напівпровідника.

2. Генерація електрон-діркових пар: Взаємодія фотонів із атомами напівпровідника призводить до відшаровування електронів від атомів. Це створює електрон-діркові пари - електрони, які звільнилися, і "дірки" (позитивно заряджені місця, де раніше були електрони).

3. Рух носіїв заряду: Електрони та дірки, створені у фотоелектричному ефекті, рухаються в напрямку, залежно від зовнішнього електричного поля, створеного внутрішньою структурою напівпровідника.

4. Виходження електричного струму: Рух носіїв заряду призводить до виникнення електричного струму в контурі, який включений до сонячного модуля. Цей струм може бути використаний для живлення електричних пристроїв або подаватися у електричну мережу.

Узагальнено, сонячний модуль перетворює світло на електричну енергію завдяки здатності напівпровідника генерувати носії заряду при поглибленні фотонів. Використання фотоелектричного ефекту дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію для виробництва електроенергії в сонячних енергетичних системах.

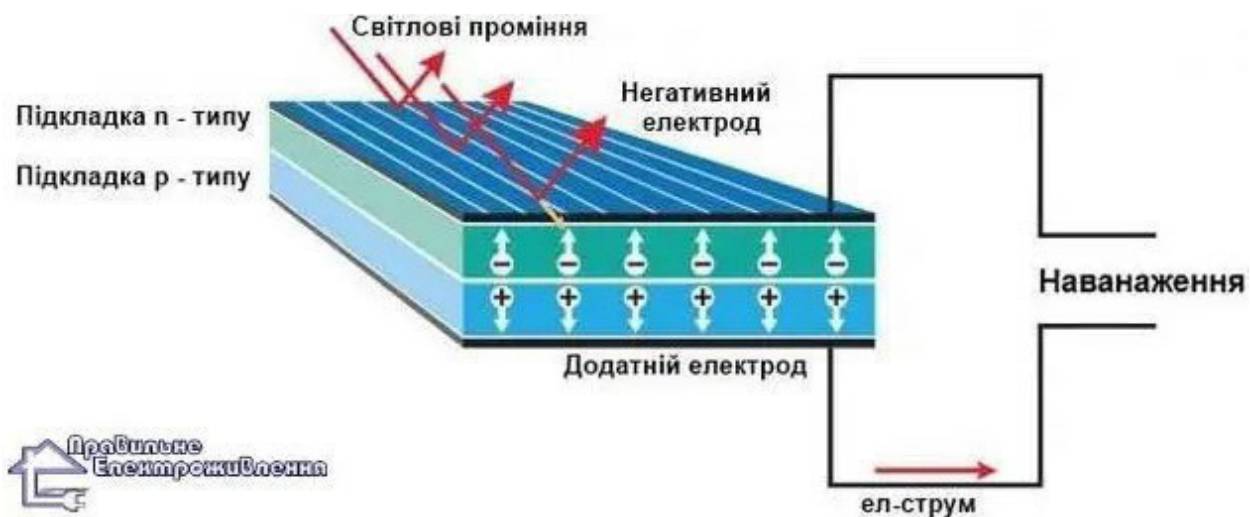


Рисунок 1.4. – Принцип дії сонячного модуля

На ФЕС сонячні модулі з'єднані в секції по 8 модулів та розміщені на металоконструкціях так званих «столах» (рис. 1.5). Металоконструкція з'єднана за допомогою болтів для збереження гнучкості. «Столи» з'єднані в ряди (рис. 1.6) які аналогічно з'єднані болтами оскільки рельєф місцевості не рівний. Довжина рядів може досягати до 150м.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд кріплення панелей



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд ряду сонячних модулів

1.5 Методи відслідковування положення сонця

Системи сонячного трекінгу використовують різноманітні датчики для відслідковування положення.

Системи слідування поділяються на два типи:

- Одноосьові. Регулюють положення панелей в одній осі
- Двохосьові. Регулюють положення панелей двох осях

Сама система трекінгу використовує активні та пасивні види датчиків для відслідковування сонця. Їх використання обґрунтовується на бюджеті проекту, а також на необхідності.

Активні датчики використовують електроніку, оптичні компоненти, лазери для точного націлювання панелей на сонце. Вони коштують дорого але мають високу точність та використовуються в основному на компактних комплексах системи трекінгу.

Пасивні датчики в свою чергу не використовують ніяких рухомих елементів, дорогої електроніки. Є кілька типів пасивних датчиків:

- Термоелектричні датчики. Вони використовують зміни температури, викликані нагрівом від сонячних променів. Можуть встановлюватись на поверхні сонячних модулів.
- Гравітаційні датчики. Включають в собі пристрої для вимірювання сили тяжіння викликані рухом сонця на небі.
- Оптичні датчики. Використовують лінзи, дзеркала або інші оптичні елементи щоб фокусувати сонячні промені на датчику і визначити його напрям.

Дані датчики дешевші порівняно з активними датчиками і можуть бути менш точними під час поганих погодніх умов.

1.6 Елементи приводу електромеханічної системи

Кожна електромеханічна система поділяється на керуючу частину та силову частину. Керуючу частину складають датчики та блок управління, силову – двигун та редуктор.

Системи трекінгу можуть працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Системи на постійному струмі мають перевагу в тому що система може отримувати живлення від самих сонячних модулів, тобто заживлювати саму себе. Для живлення від зовнішнього джерела живлення потрібно встановлювати спеціальний перетворювач з змінного струму на постійний.

Для приведення в рух системи використовуються моторредуктори. Моторредуктори – це система яка складається з приводного двигуна та механічного редуктора (рис 1.7.). Моторредуктори використовуються для приведення в дію механізмів з пониженням швидкості на валу та збільшення крутного моменту.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд мотор-редуктора

Зазвичай електричні двигуни мають високу швидкість та низький крутний момент що потрібно не в всіх ситуаціях. Редуктор дозволяє знизити швидкість та збільшити момент на вихідному валу без змін у самому двигуні. Також ці системи компактніші ніж окремо встановлені двигун з редуктором та встановлюються в одному місці.

Мотор-редуктори поділяються на кілька типів:

- Циліндричні
- Плоскі
- Червячні
- Планетарні

Перевагою мотор-редукторів є їх надійність при правильному монтажі.

1.7 Способи керування сонячним трекером

Керування трекером відбувається за різними методами, головні з них:

1. Ручний спосіб позиціонування сонячних панелей, що є досить неефективним та застарілим. Враховуючи економічні показники даного типу керування та людський фактор цей спосіб керування давно перестав використовуватись.

2. Астрономічний трекінг. Використання астрономічних даних, таких як час, дата та географічні координати, для розрахунку положення сонця. Програмне забезпечення використовує ці дані для точного прогнозування руху сонця, і трекери налаштовують панелі відповідно.



Рисунок 1.8 – Система керування на фотоприймачах

3. Програмоване керування актуаторами, що базується на визначенні місцерозташування сонця для відповідного часу. Рух сонця по небу відбувається по траєкторії від сходу до заходу, під час руху положення Сонця описується двома координатами: Азимутом і Зенітним (рис. 1.9). Азимут – це кут між розташуванням Сонцем та півдня. Зенітний кут – кут між лінією, що сполучає Сонце та предмет, на який воно світить та горизонтальною площиною.

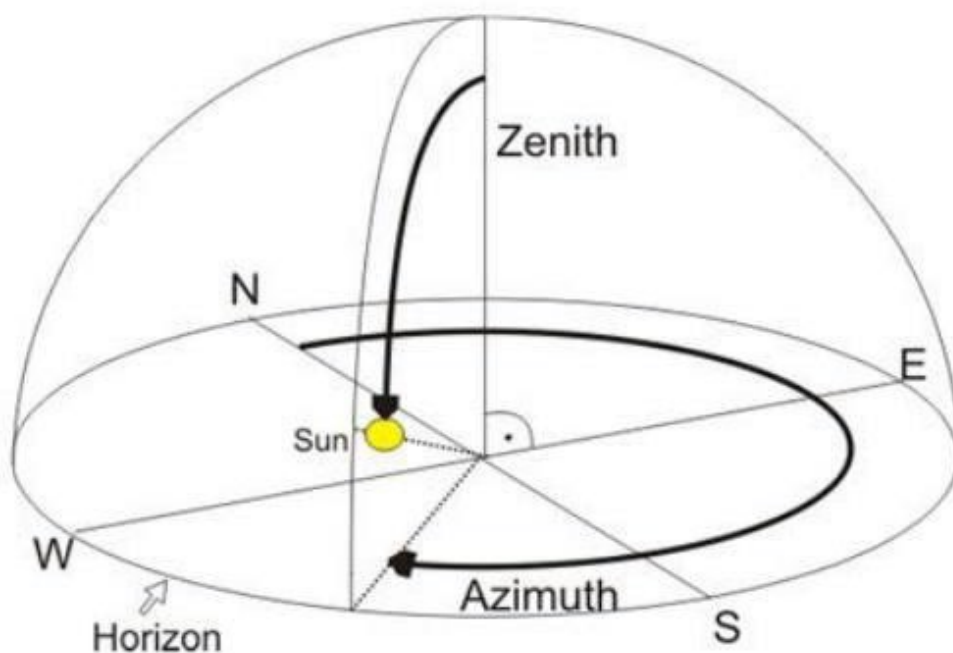


Рисунок 1.9 – Розташування Сонця за Азимутом та Зенітним кутом

4. GPS трекінг:

Використання супутникової системи GPS для визначення географічного положення сонячного трекера. Комбінується з астрономічними алгоритмами для точного визначення положення сонця.

5. Інфрачервоні сенсори:

Використання сенсорів інфрачервоного випромінювання для визначення теплового випромінювання сонця. Ці сенсори виявляють теплове випромінювання і дозволяють трекеру точно визначати положення сонця, навіть у хмарний чи холодний день.

6. Пошук максимум потужності

Використання алгоритмів МРРТ для пошуку оптимального положення панелей для максимізації ефективності збору сонячної енергії. Це може включати коригування положення панелей під час дня в залежності від змін у виробництві енергії.

7. Засоби штучного інтелекту та машинного навчання:

Використання алгоритмів штучного інтелекту для аналізу великої кількості даних і автоматичного вирішення, як налаштувати сонячний трекер для оптимального збору енергії.

8. Метеодані та сенсори вітру:

Врахування інформації про погоду та сенсорів вітру для корекції положення сонячних панелей в разі несприятливих умов.

Ці методи можуть використовуватися окремо чи комбінуватися для досягнення оптимального трекінгу сонця та збору сонячної енергії.

1.8 Існуючі установки сонячних трекерів

Сонячний трекер – це рухома установка, яка контролює положення сонця, щоб забезпечити максимальну ефективність сонячних модулів.

Принцип дії досить простий і базується на основних властивостях сонячних батарей, максимальну ефективність яких можна спостерігати, коли сонячні промені нахилені на 90 градусів до площини панелі. Практичні експерименти вже давно дають чудові результати при застосуванні трекерів, при цьому максимальне збільшення щорічного виробництва електроенергії збільшується на 30–35%. Це досить хороший результат, враховуючи відсутність необхідності збільшувати кількість панелей та іншого дорогого обладнання.

Сонячні трекери, що використовуються при будівництві сонячних електростанцій, значно розширюють географію можливого використання сонячних елементів. Наприклад, сонячні електростанції з використанням трекерів в північних регіонах України здатні виробляти кількість електроенергії, пропорційну виробництву електроенергії подібних сонячних електростанцій у південних регіонах.

На ринку України існує досить широкий вибір установок сонячних трекерів як для побутових, так і для промислових цілей. Наприклад компанія GreenChip випускає великий спектр трекерів, однією з найцікавіших та бюджетних моделей є установка ST1500 (рис. 1.10), яка має лише одну вісь обертання, що дозволяє використовувати лише один привідний двигун, але вона розташована під кутом 45 градусів до землі. В результаті, така конструкція нічим не поступається двопривідним трекерам.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд трекера моделі ST1500

1.9 Формування вимог до системи

Орієнтуючись на дані описані вище можна сформуванати основні характеристики системи трекінгу.

Система керування буде одновісною оскільки через довжину рядів немає можливості регулювання горизонтального положення. Також дана система буде стійкою до вітру оскільки буде мати кілька точок опор.

Основними характеристиками будуть:

1. Забезпечення плавного руху установки.
2. Кут регулювання 180° .
3. Розміри конструкції:
 - висота опорних стійок 1.5метра.
 - габарити рамки кріплення панелей 3х3.6 метра.

Висновок

1. Розглянуто основні складові систем сонячного трекінгу. Представлено основні частини та способи керування. Розглянуто існуючу систему трекінгу.

2. На основі описаних даних були сформовані вимоги для побудови системи сонячного трекера.

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ ТРЕКЕРА

В даному розділі буде розглянута існуюча конструкція кріплення сонячних модулів. Буде показана проектована конструкція сонячного трекера та розраховано силову частину даного трекера.

2.1 Огляд існуючої конструкції

На ФЕС «Кам'янець-Подільська» сонячні модулі закріплені по схемі горизонтально розташованих панелей з кутом нахилу 45° . Металоконструкція складається з двох основних частин (рис. 2.1) опорна стійка та рама кріплення панелей. Опорна стійка виготовлена з металевого швелера шириною 400мм. Рама кріплення складається з аналогічного швелера. З'єднуються частини між собою за допомогою болтових з'єднань.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд існуючої конструкції

Використовуються сонячні модулі Longi Solar lr6 60 290. Характеристики модулів наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сонячного модуля Longi Solar lr6-60
290

| Назва | Величина |
|--|--------------|
| Максимальна потужність, Вт | 290 |
| Напруга при максимальній потужності, В | 31,7 |
| Струм при максимальній потужності, А | 9,15 |
| ККД, % | не менш 17,7 |
| Межі робочої температури, С° | -40 – 85 |
| Маса, кг | 18,2 |
| Розміри, мм | 1650x991x40 |
| Тип модулів | монокристал |

2.2 Опис конструкції трекера

Для проектування доцільно використати одновісний горизонтальний трекер. Тип монтажу панелей вибраний аналогічний побудованому на станції – дворядна конструкція з урахуванням відстані між панелями для зменшення впливу затінення одним рядом іншого. Рама з сонячними модулями (рис. 2.2.) буде закріплена на валу з додатковими амортизаторами для компенсації вітрових навантажень та зменшення навантаження на поворотний механізм.

Для початкового положення панелей потрібно розрахувати стандартний кут нахилу панелей. Найдоцільніше розрахувати кут нахилу для літнього сезону, оскільки в цей сезон більше безхмарних днів. Для Кам'янець-Подільського району широта дорівнює 48.4°.

Кут нахилу для регіону:

$$\alpha = (\text{Ш} + (\text{Ш} - 22,5)) / 2, \quad (2.1)$$

де Ш – широта регіону для якого розраховується кут нахилу,

$$\alpha = (48,4 + (48,4 - 22,5)) / 2 = 37,15^\circ.$$

Конструкція системи трекера буде побудована на базі побудованої конструкції. Для приводу буде використовуватись дві стійки – основна та опорна. На основній опорі буде змонтований моторедуктор черв'ячного типу, кріплення приводного вала, блок керування приводним моторедуктором. Опорна стійка буде використовуватись для утримання валу, а також зміни кута приводного вала під місцевість. Два приводних вала будуть з'єднуватись між собою за допомогою карданної передачі. Зовнішній вигляд конструкції зображений на рисунку 2.2

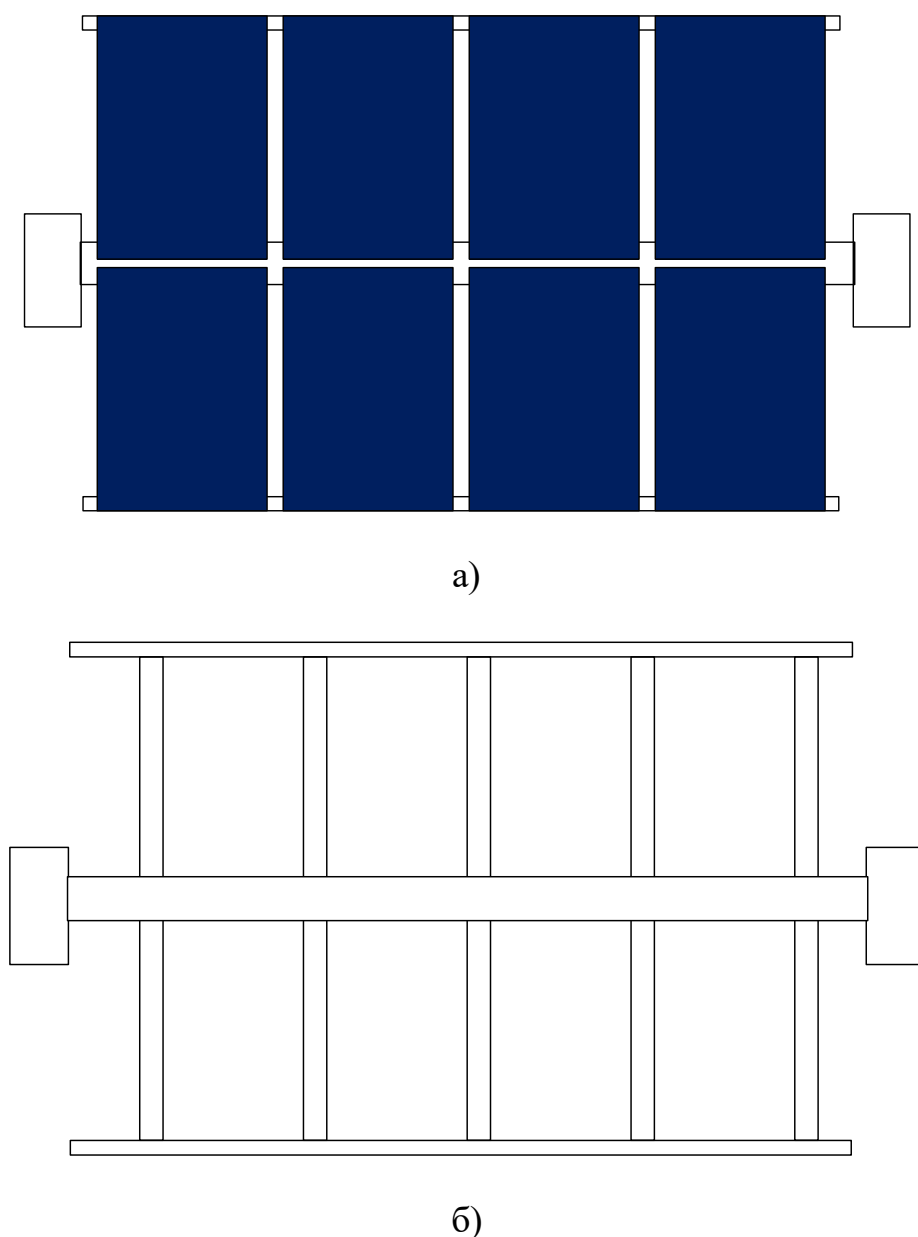


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд конструкції зверху а) з змонтованими модулями; б) без модулів

Основна (керуюча) стійка буде виглядати таким чином (рис. 2.3) знизу в спеціальному напрямку буде розміщений двигун з редуктором який за допомогою ланцюгової передачі буде передавати рух на вал який закріплений зверху стійки. Вал закріплений в спеціальному опорному підшипнику. Сам вал складається з двох частин – гнучкої та основної частини, для компенсації нерівностей рельєфу. Опорна стійка містить в собі лише опорний підшипник. Кінематична схема даного приводу показана на рисунку 2.4

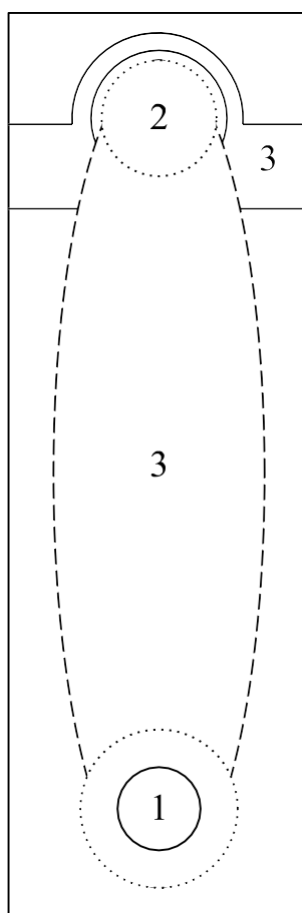


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення керуючої стійки.

На схемі зображено: 1 – вихідний вал двигуна, 2 – приводний вал, 3 – опорний підшипник.

Опорна стійка має аналогічну конструкцію але використовує лише опорний підшипник та розділяє секції.

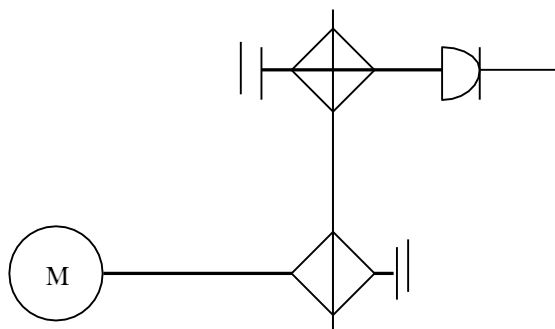


Рисунок 2.4 – Кінематична схема

2.3 Розрахунок приводного двигуна

Для вибору приводного двигуна потрібно розрахувати масо-габаритні характеристики двигуна. Проведемо розрахунок приблизної ваги всієї конструкції та привести її до валу двигуна.

Для розрахунку ваги використаємо такі данні: вага 1 панелі – 18.2, вага валу довжиною 4 м. за даними [] становить 146 кг, вага рамки кріплення панелей – 95.1 кг. Сумарна вага однієї секції ряду дорівнює:

$$m = (m_{п} \cdot 8) + m_{к} + m_{в} \quad (2.2)$$

де m – вага всієї конструкції;

$m_{п}$ – вага панелі;

$m_{в}$ – вага валу;

$m_{к}$ – вага рамки кріплення.

$$m = (18.2 \cdot 8) + 95.1 + 146 = 387(\text{кг})$$

Наведену сумарну вагу можна використати для визначення приведенного моменту до валу двигуна та розрахункову потужність двигуна. Для цього потрібно розрахувати силу тертя та силу вітрового навантаження.

Сила тертя:

$$F_T = m \cdot 9,8 \cdot k_T, \quad (2.2)$$

де m – маса всієї конструкції;

k_T – коефіцієнт тертя ($k_T=0,015$):

$$F_T = 387 \cdot 9,8 \cdot 0,015 = 57(\text{Н}).$$

Вітрове навантаження:

$$F_v = S \cdot p, \quad (2.3)$$

де S – площа конструкції;

p – вітровий тиск ($p=60$ Па):

$$F_v = 10.7 \cdot 60 = 639.6(H).$$

Приведений момент до валу двигуна:

$$M_c = \frac{(F_t + F_v) \cdot d}{\eta \cdot i}, \quad (2.4)$$

де d – діаметр валу;

η – ККД редуктора ($\eta=0,7$):

i – передаточне число редуктора ($i=80$):

$$M_c = \frac{(57+640) \cdot 0,2}{0,7 \cdot 80} = 2,49(H \cdot m).$$

Потужність приводного двигуна:

$$P_c = \frac{k \cdot M_c \cdot n \cdot 0.1047}{1000}, \quad (2.5)$$

де k – коефіцієнт запасу ($k=1,1 \dots 1,3$);

n – номінальна швидкість двигуна ($n=1420$ об/хв):

$$P_c = \frac{1.2 \cdot 2.49 \cdot 1400 \cdot 0.1047}{1000} = 0.44(kBm).$$

Згідно розрахунків, для приведення в дію однієї секції сонячних модулів необхідний мотор-редуктор з крутним моментом не менше 2.5Нм та потужністю не менш 0.5 кВт.

Розрахунок вище був проведений для однієї секції модулів. Оскільки ряди можуть мати від 2 до 25 секцій (в залежності від довжини ряду) було прийнято рішення встановлювати приводний двигун на кожну 10-ту секцію для здешевлення конструкції та для зменшення навантаження на вал. Для цього потрібно всі значення помножити на 10, тому остаточний результат буде виглядати так:

- Приведений крутний момент – 25 Нм
- Потужність двигуна – 5 кВт

2.4 Вибір двигуна електропривода поворотного механізму

Приводний двигун вибирається за потужністю та швидкістю

$$\text{обертання:} \quad \begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}, \end{cases} \quad (2.23)$$

де $P_{\text{дв.н}}$ - номінальна потужність приводного двигуна, кВт;

$P_{\text{роз}}$ - розрахункова потужність приводного двигуна, кВт;

$\omega_{\text{дв.н}}$ - номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ;

$\omega_{\text{роз}}$ - розрахункова кутова швидкість, с^{-1} .

Відповідно до результатів проведених розрахунків електропривода та техніко-економічного обґрунтування в якості двигуна візьмемо двигун з КЗ ротором. АД з КЗ ротором має такі властивості як простота конструкції і використання, а також відносно невисоку ціну серед інших двигунів. Недоліком електродвигунів з КЗ ротором є великий пусковий струм. З розвитком силової схемотехніки для керування роботи почали використовувати перетворювачі частоти, які значно покращили його характеристики роботи і зробили найбільш популярним в електроприводі серед всіх існуючих двигунів.

Повертаючись до особливості роботи трекера, час за який Сонце проходить свою траєкторію впродовж дня є досить тривалим, тому необхідність у великих швидкостях повороту панелей відпадає. Натомість необхідно забезпечити деякий момент для повороту конструкції. Взнявши до уваги цю особливість роботи трекера з'являється необхідність у використанні та виборі редуктора. Тому рекомендується взяти і замінити двигун з КЗ ротором на мотор-редуктор. Простота його конструкції і монтажу дозволяє витратити мінімум коштів і часу на вибір і встановлення редуктора окремо від двигуна.

Мотор-редуктор – механізм який поєднує в собі особливості мотора і редуктора, перетворюючи електричну енергію в механічну (рисунок 2.3). Даний пристрій використовується там де потрібна значна механічна потужність при невеликих розмірах.



Рисунок 2.5 – Мотор-редуктор

Виділяють три основні типи використовуваної передачі: планетарні, циліндричні, черв'ячні.

1. Планетарні. Відрізняються надійністю і довгим терміном служби. Мають найвищий показник ККД.
2. Циліндричні. Мають високий ККД і можливість змінювати передаточне число. Можливість передачі великої потужності.
3. Черв'ячні. Низький показник ККД відносно інших передач. Безшумні на великих швидкостях. Мають властивість самогальмування.

Коротко описавши дані передачі можемо вибрати якого типу буде редуктор. Великою перевагою черв'ячної передачі є неможливість передачі обертового руху від черв'ячного колеса до черв'яка. Дана властивість дозволяє вирішити проблему прокручування конструкції під впливом вітрового навантаження.

Виберемо NMRV 150 з черв'ячним типом редуктора та двигуном з КЗ ротором. Двигун типу АІР112М4 з потужністю 5,5 кВт та номінальною швидкістю 1300 об/хв виконує умову (2.23). Характеристики обраного мотор-редуктора наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики мотор-редуктора NMRV 150

| Назва | Величина |
|--|------------|
| Тип двигуна | АИР112 |
| Номінальна потужність $P_{дв.н}$, кВт | 5,5 |
| Номінальна кутова швидкість $n_{дв.н}$, об/хв | 1300 |
| Співвідношення моментів Мп/Мн | 1.8 |
| Співвідношення моментів M_{max} /Мн | 2 |
| Тип редуктора | Черв'ячний |
| Номінальна кутова швидкість на виході валу $n_{р.н}$, об/хв | 24 |
| Номінальний момент на виході валу М, Н·м | 221 |
| Маса мотор-редуктора m, кг | 22 |

2.5 Вибір перетворювача частоти

Частотний перетворювач – пристрій, що перетворює вхідну синусоїдальну напругу фіксованої амплітуди та частоти у вихідну напругу змінної амплітуди та частоти. Пристрій призначений для живлення трифазних асинхронних двигунів і керування їх режимами роботи. Його основна функція в системі ПЧ-АД – регулювання швидкості. Окрім цього, частотний перетворювач забезпечує плавний пуск і гальмування приводного двигуна, його реверсування, а також реалізує різноманітні захисти.

У сучасних перетворювачах частоти формування вихідної напруги здійснюється шляхом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) випрямленої напруги в інверторі. При цьому інвертор не тільки змінює частоту вихідної напруги, але і регулює її середнє значення, що дозволяє відмовитись від керованого випрямляча і використовувати більш простий некерований діодний випрямляч (рисунок 2.5) [12].

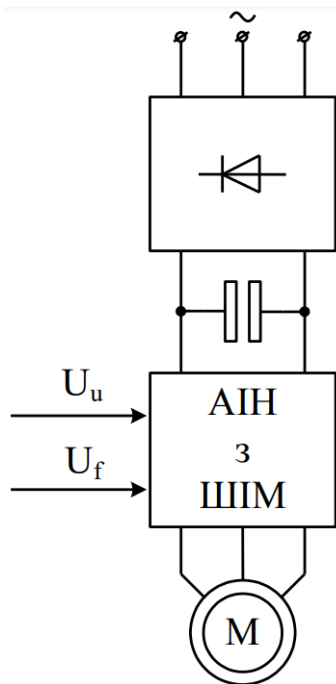


Рисунок 2.6 – Блок-схема перетворювача частоти

Принцип роботи інвертора з ШІМ зображено на рисунку 2.6. Період синусоїдального сигналу розбивається на інтервали часу тривалістю Δt (не менше як на 24 інтервали). На кожному інтервалі створюються два різнополярних імпульси тривалістю Δt_1 та Δt_2 . Якщо тривалість позитивного і негативного імпульсів однакова, то середнє значення напруги на інтервалі Δt дорівнює нулю. В іншому випадку отримують позитивну або негативну вихідну напругу, пропорційну модулю різниці тривалостей цих імпульсів. Якщо один з імпульсів має нульову тривалість, отримують максимальну середню напругу, яка дорівнює U_d [12].

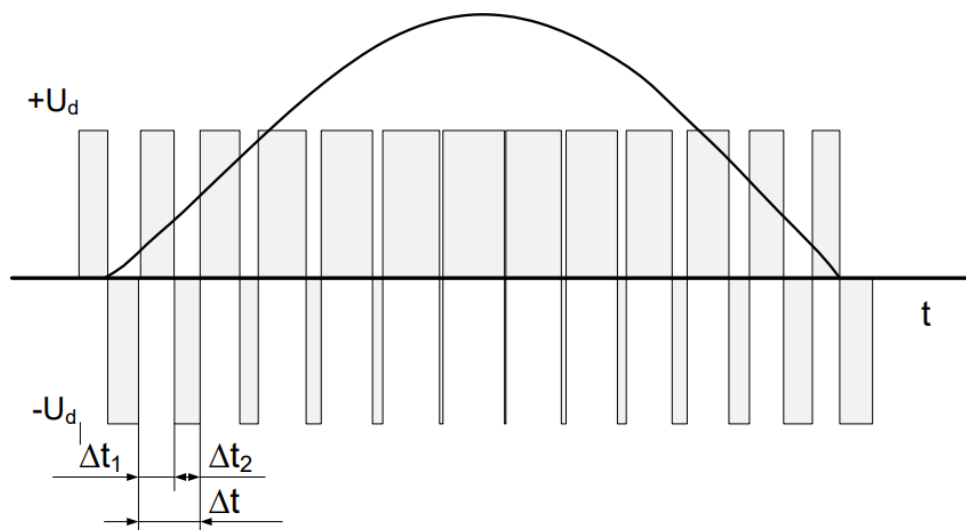


Рисунок 2.7 – Вихідна напруга з інвертора з ШІМ

Для вибору перетворювача частоти потрібно щоб виконувалася наступна умова:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (2.30)$$

де $P_{\text{дв.сп}}$ – споживана приводним двигуном потужність в номінальному режимі, кВт;

$I_{\text{дв.н}}$ – номінальний струм приводного двигуна, А.

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (2.31)$$

де k - коефіцієнт спотворення струму на вході перетворювача ($k=0,95$).

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{0,95 \cdot 750}{0,7} = 1018 \text{ (Вт)}.$$

Струм ПЧ повинен бути більшим за номінальний струм приводного двигуна. Струм нашого двигуна становить 2.43 А тому беремо довільний перетворювач, струм якого більший за дане значення.

Виходячи з умови (2.30), обираємо перетворювач частоти VLT 2800 1.1кВт 3-ф/380 [13]. Паспортні дані перетворювача частоти наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Паспортні дані перетворювача частоти

| | |
|---|--------------------------|
| Тип перетворювача частоти | VLT 2800 1.1кВт 3-ф/380 |
| Номинальна потужність $P_{Пч}$, кВт | 1,1 |
| Пусковий струм $I_{Пч.пуск}$, А | 4,8 |
| Вихідний струм $I_{Пч}$, А | 3 |
| Номинальний коефіцієнт потужності $\cos\phi$ | 0,98 |
| Номинальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$, % | 90 |
| Напруга мережі, В | 3 АС 380÷480 ± 10% |
| Частота мережі, Гц | 47÷63 |
| Максимальна частота на виході, Гц | 1000 |
| Кількість/Тип аналогових входів | 2(1:1-10V; 1:0(4)-20mA) |
| Кількість дискретних входів | 6 |
| Кількість релейних виходів | 1 |
| Перевантажувальна здатність $\lambda_{Пч}$ | 1,5 |

Обраний нами перетворювач зображений на рисунку 2.5. Окрім параметрів наведених в таблиці (3.6) має ще ряд деяких особливостей: скалярний та векторний (без енкодера) режим управління, лінійний закон керування U/f , квадратній закон керування U/f^2 , базова панель програмування LCP 2, наявність ЕМС фільтра та гальмівного модуля,



Рисунок 2.8 – Частотний перетворювач VLT 2800

Висновок

В цьому розділі було виконано розрахунок та вибір приводного двигуна та редуктора для електромеханічної системи. Здійснено опис проектованої конструкції. Вибрано частотний перетворювач.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

В даному розділі буде розроблена система керування сонячним трекером. Буде виконано розрахунок та підбір керуючих елементів системи та їх обґрунтування.

3.1 Система слідкування за сонцем

Беручи до уваги природні умови місцевості та особливості раніше наведених трекерних систем можна вибрати той, який буде найкраще себе показувати в даній місцевості.

Для того щоб трекер працював з максимальною ефективністю необхідне точне позиціонування на Сонце. Механізми, які дозволяють змінювати положення трекера, бувають ручні та програмовані.

Ручний привод добре підходять для домашнього використання для сезонної зміни (на зимовий та літній режими) кута при невеликому використанні панелей. Оскільки в роботі йдеться про сонячний трекер для промислового виробництва енергії, то в подальшому розглядатися ручний варіант не буде.

Щодо програмованих систем орієнтування за сонцем, в свою чергу вони діляться на системи, які використовують датчики або таймер.

Перший спосіб реалізації системи це – використання системи в основі якої використовуються датчики (активна система) для відстеженні положення Сонця. При використанні датчиків алгоритм керування порівнює їх освітленість. При переміщення Сонця в небі на датчиках впродовж дня буде виникати різниця освітленості. В результаті чого буде поданий сигнал на привод поворотного механізму для усунення цієї різниці освітленості тим самими наводячи панелі точно на Сонце. Даний спосіб є простим і точним в реалізації але має вагомий недолік: в разі захмареності неба сильно знижується точність наведення.

Другий спосіб це – встановлення системи в основі якої закладено відраховування часу повороту за допомогою таймера (пасивна система),

продовж всього дня за раніше записаним алгоритмом, який може бути записаний для кожного сезону окремо і впродовж всього року система самостійно його змінює (зима, літо і т.д.). Під час використання даної системи можуть виникати деякі неточності наведення через те, що Сонце може змінювати своє положення впродовж всього року.

Існує ще один вид пасивної системи який в своїй основі використовує годинник реального часу (RTC). Його принцип роботи дещо схожий з роботою таймера але з деякими особливостями – система працює в режимі реального часу. Програма за показами годинника розраховує координати (азимутальний та зенітний кути) Сонця в небі. Дана система є досить точною в поганих погодних умовах. Превага роботи пасивних систем в непогоду є також і їх недоліком, тому що витрачається електроенергія на роботу системи, водночас ми отримуємо мінімум генерації.

В деяких випадках можуть встановлювати комбіновану систему, яка поєднує в собі датчики та RTC. Дана комбінація використовуються для підвищення точності орієнтування. Разом із датчиками до порту мікроконтролера підключається годинник реального часу. Алгоритм роботи цієї системи працює одночасно як з даними від RTC і фоторезисторів, так і окремо, використовуючи по чергово або алгоритм в якому застосовуються тільки датчики, або тільки годинник. При малій сонячній активності працює тільки алгоритм контролю часу. Алгоритм розроблений так, що дана система стає досить надійною. Використання такої комбінованої системи забезпечувало хорошу точність наведення в погодних умовах таких як захмареність неба. Єдиним недоліком цієї системи є використання складних алгоритмів роботи та дещо більші витрати на апаратну частину порівняно з іншими системами.

3.2 Розробка структурної схеми системи позиціонування

В основі роботи нашого трекера візьмемо систему яка працює за допомогою годинника реального часу. Продовж дня програма буде отримувати покази з годинника, встановлювати азимутальні та зенітні кути для окремих проміжків часу. Для подальшої розробки складемо структурну схему системи керування та блок-схему алгоритму роботи. На рисунку 3.1 зображену структурна схема пристрою.

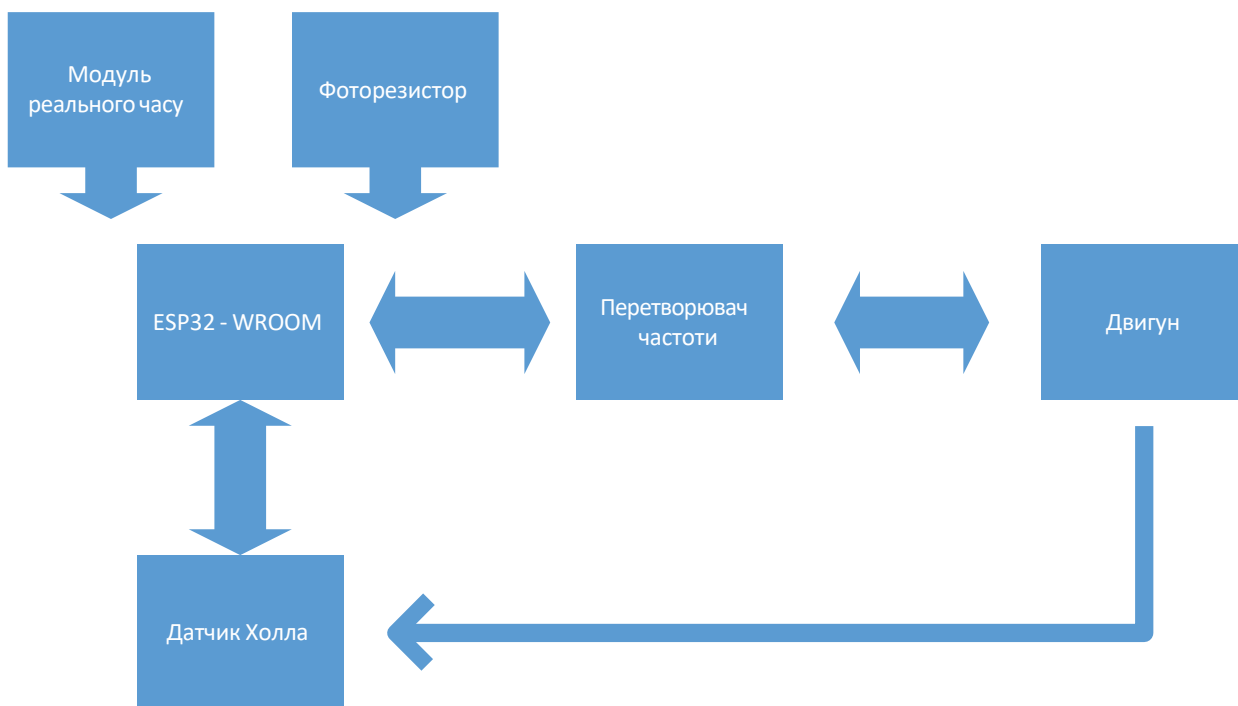


Рисунок 3.1 – Структурна схема

Годинник RTC забезпечує контроль та відлік часу та подає відповідні дані на мікроконтролер

Пристрій обробки даних є головним вузлом в роботі системи який відповідає за обробку даних та створення відповідних керуючих сигналів.

Система керування двигун представляє собою перетворювач частоти для керування двигуном

Двигун забезпечує поворот конструкції відповідно до керуючого сигналу мікроконтролера

Пристрій введення інформації потрібен для введення початкових та кінцевих координат положення Сонця та трекера.

Панель керування потрібна на випадок ручного керування трекером на випадок технічного обслуговування або аварійної ситуації.

3.3 Розробка алгоритму роботи трекера

Початок роботи розпочинається з опитування підключеного до мікроконтролера годинника реального часу. В пам'ять мікроконтролера записують базу даних які показують положення Сонця в небі залежно від часу та сезону. Отримані з годинника дані записуються та порівнюється з даними в пам'яті, після чого подається відповідний керуючий сингал на двигун для зміни кута панелей.

Великим плюсом даного алгоритму є використання мікроконтролера, де програмно можна встановити кількість включень електропривода, яку треба виконати за день для повного повороту трекера. А за допомогою годинника реального часу можна відстежувати сезонний рух Сонця. Залежно від того який сезон буде показувати RTC, буде різний час світлових днів, час сходу и заходу Сонця. Для точності роботи треба записати для кожного місяця свою кількість необхідних включень. Тим самим зі зміною місяця можна частково змінювати кількість включень двигуна. Після того як буде обраний відповідний режим роботи трекера, мікроконтролер через певні проміжки часу почне включати двигун для наведення на Сонце. Після проходження повного циклу включень протягом дня, система через деякий час після чого поверне трекер у вихідне положення. Із настанням ного дня починається нове опитування та зняття даних з годинника реального часу та встановлення необхідної кількості включень.



Рисунок 3.2 – Блок схема алгоритму роботи

За даними [18] можна подивитися сонячний календар на 2023 рік. В таблиці 3.1 наведені середні значення даних тривалості сонячного дня, час сходу та заходу для кожного місяця

Таблиця 3.1 – Сонячний календар

| | січень | лютий | березень | квітень | травень | червень | липень | серпень | вересень | жовтень | листопад |
|------------|--------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|
| початок | 8:51 | 8:07 | 7:09 | 6:04 | 5:08 | 4:45 | 5:04 | 5:47 | 6:34 | 7:21 | 8:13 |
| кінець | 17:32 | 18:18 | 19:03 | 19:51 | 20:39 | 21:11 | 21:03 | 20:16 | 19:11 | 18:05 | 17:11 |
| тривалість | 8:41 | 10:11 | 11:53 | 13:47 | 15:30 | 16:25 | 15:59 | 14:29 | 12:36 | 10:43 | 08:58 |

З таблиці 3.1 можна виділити 2 групи місяців з найменшою різницею в тривалості сонячного дня. Місяці з найбільш довгими сонячними днями: травень, червень, липень. З найбільш короткими сонячними днями: листопад, грудень, січень. Всі інші місяці мають велику різницю тривалості і використання алгоритму для кожного сезону окремо може призвести до неточності наведення і лишніх витрат енергії. Досить доцільним рішенням є розрахунок кількості включень електропривода для кожного місяця.

Для цього необхідно розділити тривалість світлового дня на інтервал часу з яким буде включатися електропривід. Знаючи що продовж світлового дня за 1 час Сонце змінює своє положення на 15° [14] можна задатися точністю наведення та інтервалом з яким буде працювати електропривід. Розрахуємо кількість включень для точності позиціонування 5° та інтервалу роботи 20 хв для січня місяця:

$$n_{\text{вкл}} = \frac{8 \cdot 60 + 41}{20} = 26,5 \quad (3.1)$$

Розрахуємо кількість включень для всіх інших місяців та занесемо данні до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Кількість включень електропривода для кожного місяця

| | січень | лютий | березень | квітень | травень | червень | липень | серпень | вересень | жовтень | листопад | грудень |
|----------------|--------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|---------|
| 20хв 5° | 26 | 30 | 35 | 41 | 46 | 49 | 48 | 43 | 37 | 32 | 27 | 24 |

Беручи до уваги конструктивне виконання нашого трекера, обмеження його кута повороту становлять 10° і 170° , де 10° – мінімальне вихідне положення, а 170° – максимальне кінцеве відносно горизонту. Повний кут

ходу трекера продовж дня становитиме 160° . Знаючи це можна розрахувати максимально можливу кількість включень:

$$n_{\text{вкл.макс}} = \frac{160}{5} = 32, \quad (3.2)$$

Із результатів розрахунку бачимо що наш трекер не зможе забезпечити розраховану раніше кількість включень на весняний та літній період. Отже для місяців кількість включень яких перевищує 32 потрібно встановити часові обмеження для початку та кінця роботи системи (таблиця 3.3). Часові обмеження відповідно до даних таблиці 3.1 не повинні бути меншими ніж час сходу та більшими ніж час заходу Сонця.

Таблиця 3.3 – Часові обмеження трекера

| | січень | лютий | березень | квітень | травень | червень | липень | серпень | вересень | жовтень | листопад | грудень |
|--------------|--------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|---------|
| початок | 8:51 | 8:07 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 7:21 | 8:13 | 8:53 |
| кінець | 17:32 | 18:18 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 18:05 | 17:11 | 16:54 |
| тривалість | 8:41 | 10:11 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:44 | 8:58 | 8:01 |
| режим роботи | | | | | | | | | | | | |
| 20хв 5° | 26 | 30 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 27 | 24 |

Для місяців листопад, грудень січень лютий можна встановити свої значення вихідного та кінцевого положення трекера. Це потрібно для того щоб забезпечити точне наведення панелей на Сонце, інакше, при виході із вихідного положення 10° трекер почне відставати від Сонця. Дана особливість є недоліком роботи систем з використанням таймера – необхідно продумувати наперед і включаючи різні ситуації, записуючи для них відповідний алгоритм роботи. Знаючи необхідну кількість включень та кут який проходить трекер за одне включення можна визначити повний кут ходу протягом дня для:

- Листопаду – 135°
- Грудня – 120°
- Січня – 130°
- Лютого – 150°

Відповідно до цих значень можна записати вихідні та кінцеві кути для цих місяці записавши для цього почато і кінець роботи. Додавши дані з таблиця 3.3 можна скорегувати режим роботи трекера продовж всього року для режиму роботи – поворот на 5° кожні 20 хв. (таблиця 3.4)

Таблиця 3.4 – Режим роботи трекера протягом року

| | січень | лютий | березень | квітень | травень | червень | липень | серпень | вересень | жовтень | листопад | грудень |
|---------------------|--------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|---------|----------|---------|
| початок | 9:10 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 8:20 | 7:20 | 8:20 | 9:10 |
| кінець | 17:30 | 18:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 19:00 | 18:00 | 17:00 | 17:00 |
| тривалість | 8:20 | 9:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 10:40 | 8:40 | 7:50 |
| кількість включень | 26 | 30 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 27 | 24 |
| кут повного ходу, ° | 130 | 150 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 135 | 120 |
| видіхний кут, ° | 25 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 | 30 |
| кінцевий кут, ° | 155 | 165 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 | 165 | 150 |

Маючи алгоритм роботи та схемотехнічну задумку системи можемо приступати до вибору апаратної частини.

3.4 Вибір апаратної частини

На даний час технічний розвиток дав можливість для створення безліч різноманітних видів мікроконтролерів для їх використання в галузях промисловості, енергетики, метрології, транспорту. Така широка сфера застосування пов'язана із простотою реалізації багатьох пристроїв. Використання мікроконтролера для керування сонячним трекером не є виключенням.

В якості пристрою обробки даних пропонується вибрати ESP32 WROOM. Дана плата включає в себе: мікроконтролер ATmega328, кварцовий генератор, порт Mini-USB, кнопка «Reset», чотири індикаторних світлодіода і ще ряд додаткових компонентів, для забезпечення оптимальної роботи. Дана плата зображена на рисунку 3.7 а її характеристики наведені в таблиці 3.5 [19]

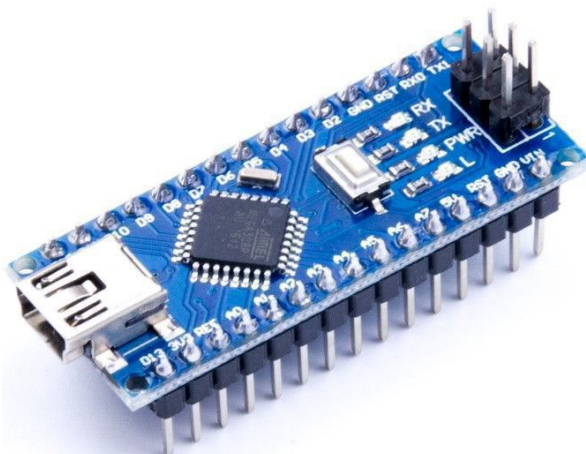


Рисунок 3.7 – Плата ESP32

Основними перевагами даного контролера є дешевизна, можливість програмування під різні задачі та можливість її підключення до Інтернету.

Таблиця 3.5 – Характеристики плати ESP32

| | |
|-------------------------|--|
| Мікроконтролер | АТmega328 |
| Робоча напруга | 5 В |
| Вхідна напруга | 7-12 В |
| Вихідна напруга | 6-20 В |
| Цифрові входи та виходи | 14 (6 із яких можуть використовуватися як ШІМ) |
| Постійний струм через | 40 мА |
| Флеш-пам'ять | 32 Кб |
| ОЗУ | 2 Кб |
| Ядро | 8-бітний AVR |
| Всього входів/виходів | 20 |
| Аналогові входи | 8 |
| Розрядність АЦП | 10 біт |
| Порти с ШІМ | 6 |

Продовження таблиці 3.5

| | |
|--|------------------|
| Розрядність ШІМ | 8 біт |
| Інтерфейс SPI | 1 |
| Інтерфейс I ² C / TWI | 1 |
| Інтерфейс UART / Serial | 1 |
| Максимальний вихідний струм порта 5V | 800 мА |
| Максимальний вихідний струм порта 3V3 | 50 мА |
| Максимальний вихідний струм на виході/вході | 40 мА |
| EEPROM | 1 Кб |
| Тактова частота | 16 МГц |
| Розміри | 1.85 см x 4.2 см |

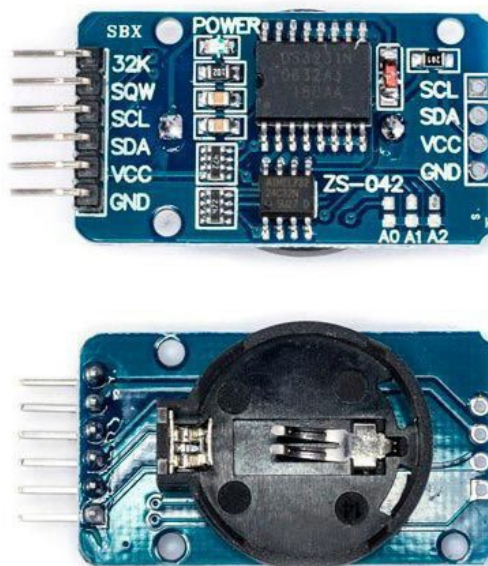
Найбільш поширеними моделями годинників RTC основані на мікросхемах DS1302, DS1307, DS3231. За допомогою спеціальних плати, які підключається до arduino по інтерфейсу I²C, та програмного кода, годинники можуть ввести відлік часу в годинах, хвилинах, секундах в той час як переважна їх більшість веде відлік часу в «тіках»

Модуль DS3231 (рисунок 3.8) розрахований на відлік часу з короткими інтервалами які не перевищують більше 2-х годин. Включає в себе кварцовий генератор, датчика температури і схему термокомпенсації. Дане технічне рішення дозволяє уникнути зміни часу залежно від температури, тому час відраховується точніше, при цьому похибка схеми становить ± 2 хв за рік. Резервного живлення від батарейки може хватати до 2-х років [20]

Особливості мікросхеми DS3231

- похибка ± 2 хв за рік;
- висока точність з наявністю термокомпенсації;
- діапазон частоти : 1-32768 Гц;
- напруга живлення : 2,7 - 5,3 В;

- напруга батарейки : 2,3 - 5,3 В;
- номінальний струм споживання : 250 мкА;
- струм споживання від батарейки: 3 мкА;
- порогова напруга переключення на живлення від батарейки : 2,6 В;
- інтерфейс : I2C;
- розміри : 40x22 мм;
- відлік часу до 2100 року;
- присутня можливість резервного живлення як від батарейки так і від літієвого акумулятора LIR2032-3.



Риснуок 3.8 – Годинник реального часу DS3231

Для того щоб уникнути ефекту затінення одного ряду іншим, а також коректувати положення панелей використовується модуль фоторезистора KY – 018 (рис.3.9). Його характеристики наведені в таблиці 3.6. Вони будуть розташовані зверху та знизу сонячних модулів. Програмно вони подаватимуть інформацію про освітлення в даний момент часу та вносити корективи в положення сонячних модулів.



Рисунок 3.9 Датчик з фоторезистором KY - 018

Таблиця 3.6 Характеристики датчика KY - 018

| | |
|------------------|---------|
| Напруга живлення | 5В |
| Опір | 10 кОм |
| Опір в тіні | 500 кОм |

Положення ряду буде відслідковуватись за допомогою модуля з датчиком Холла А3144 (рис.3.10). Він буде розташований в корпусі приводної шестерні поворотного валу.

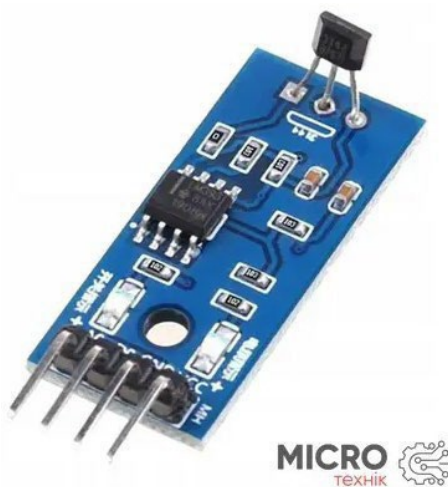


Рисунок 3.10 Модуль з датчиком Холла Ф3144

3.5 Схеми підключення трекера

На рисунку 3.9 зображену принципову схему живлення приводним двигуном.

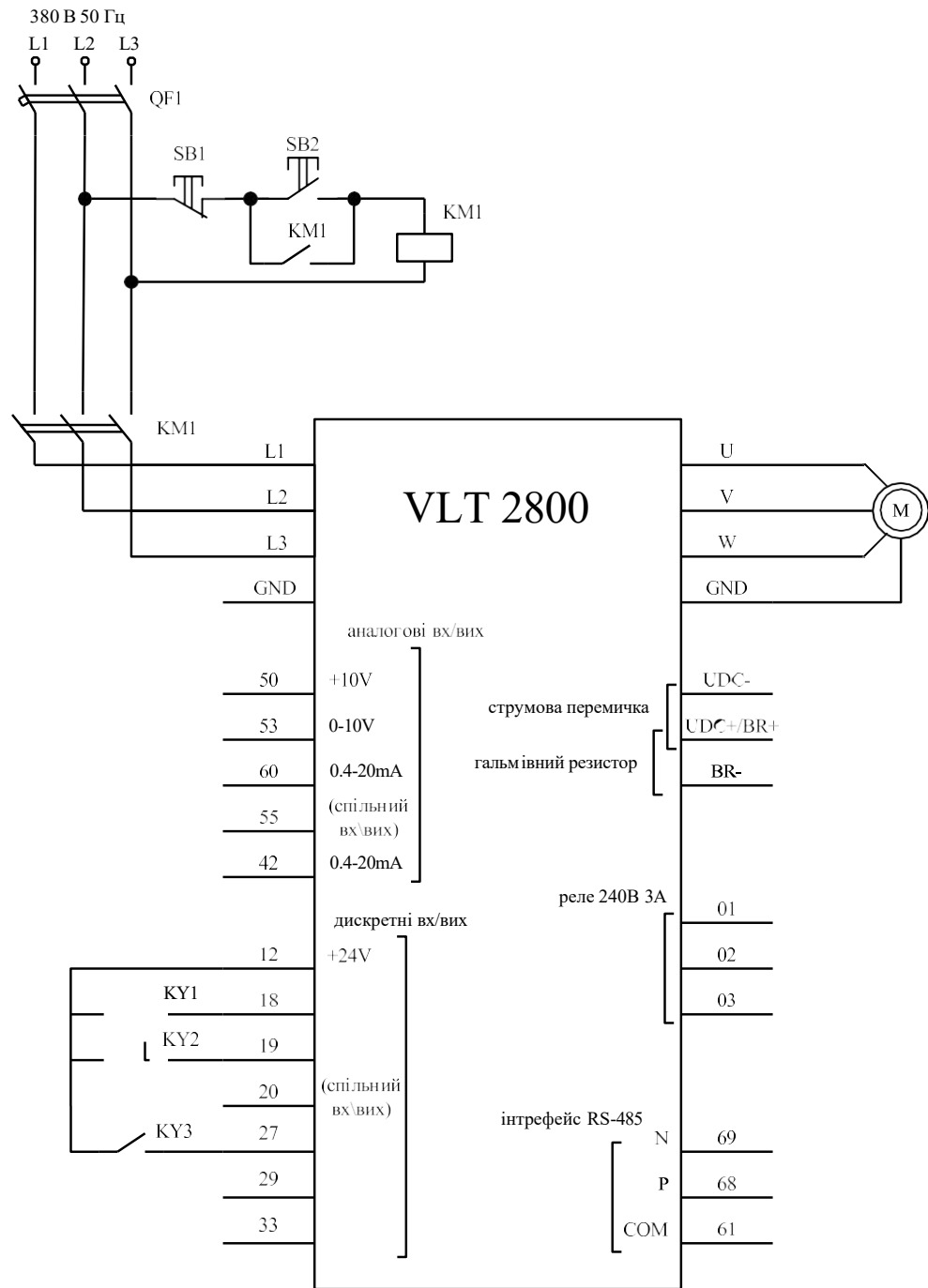


Рисунок – 3.9 Принципова схема живлення двигуна

Основний елемент схеми, який забезпечує безпосереднє керування приводного двигуна це частотний перетворювач. Він живиться від трифазної

мережі змінного струму промислової частоти через автоматичний вимикач QF1, який забезпечує захист привода від коротких замикань та перевантажень. Контакти реле KY1-KY3 забезпечують такі режими роботи як пуск, стоп та реверс.

На рисунку 3.10 зображено принципову схему керування роботою трекера.

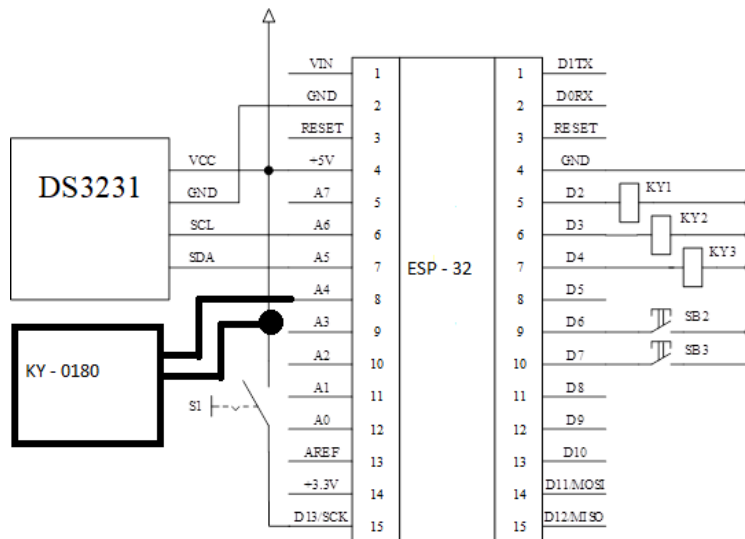


Рисунок 3.10 – Схема керування трекером

В основну роль виконує плата ESP - 32 яка, залежно від отриманої інформації з годинника реального часу DS3221, програмно керує роботою двигуна через реле KY1-KY3. Реле KY1 та KY2 відповідають за пуск та стоп відповідно. Реле KY3 забезпечує реверс двигуна. Кіневік S1 вимикає двигун коли той під час реверсу повернувся у вихідне положення. Кнопки SB2, SB3 дозволяють в ручному режимі змінювати положення трекера. Для живлення використовується дві мережі – 220В для живлення двигуна та 5в для живлення пристрою керування та датчиків.

Висновок.

В даному розділі було вибрано та розглянуто елементи керування системою. Було розроблено та описано структурну схему та алгоритм роботи. Розроблено та описано схему підключення трекера.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Технічне обґрунтування вибору системи керування двигуна

При виборі системи керування електроприводом, для керування сонячним трекером, потрібно розуміти, як відбувається процес керування.

Так, для повороту сонячних панелей, за допомогою електроприводу, потрібно застосувати як мінімум 2-4 фоторезистора, декілька потенціометрів, та інше апаратне забезпечення.

Блоком керування при цьому, буде мікроконтролер, який буде обробляти сигнали від датчиків, та по ним вже керувати напрямком руху сонячних панелей.

Тому, при виборі системи керування електроприводом, по перше, потрібно розуміти що мова йде саме про асинхронний двигун, адже він більш дієвий в таких ситуаціях ніж двигун постійного струму (ДПС). По друге, керування двигуном за допомогою інших засобів, наприклад, перетворювачем частоти (ПЧ), або релейно-контакторною системою керування (РКС-АД), є неможливим. Адже, головна ідея проекту, полягає, в безперервному слідкуванні за сонцем, та керуванні по інтенсивності сонячних промінів, а не по деякому заданому рухові.

При врахуванні всіх цих факторів, та не можливості підрахунку додаткових прибутків, через експериментальні дані, пропонується підрахувати загальні затрати на систему електропривода в цілому.

4.2 Обрахування затрат на систему керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної станції

Розрахуємо техніко-економічні показники для системи керування сонячним трекером

Загальні витрати визначаються за формулою:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (4.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається $E_n = 0,17$ 1/рік для усіх галузей промисловості);

K – капітальні затрати, грн;

C – загальні відрахування, грн/рік.

Капітальні затрати, визначаються, як сума двигуна та системи керування:

$$K = D + CK, \quad (4.2)$$

де D – ціна на двигун ($D = 10500$ грн);

CK – ціна на систему керування, яка складається в свою чергу з датчиків та програмно логічного контролера (ПЛК):

$$CK = ДВ + ПЛК, \quad (4.3)$$

$$CK = 500 + 2000 = 2500$$

$$K = 10500 + 2500 = 13000 \text{ (грн)}.$$

Загальні відрахування – це сума усіх відрахувань, які складаються з наступних частин:

$$C = C_A + C_p + C_D + C_o, \quad (4.4)$$

де C_A - відрахування на амортизацію, грн/рік;

C_p - відрахування на ремонт, грн/рік;

C_D - додаткові відрахування, грн/рік;

C_o - відрахування на обслуговування, грн/рік.

Відрахування на амортизацію, визначаються, як частка від капітальних затрат. Береться в середньому 10%, від капітальних витрат:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (4.5)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 13000 = 1300 \text{ (грн/рік)}.$$

Ремонт, та відрахування на цю справу, приймають, також, як частку від капітальних затрат. Беруть 2% від капітальних затрат для відрахувань на ремонт:

$$C_p = 0,02 \cdot K, \quad (4.6)$$

$$C_p = 0,02 \cdot 13000 = 260 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, включають в себе витрати на електроенергію, та перехідні режими роботи двигуна:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (4.7)$$

де C_{D1} - витрати електроенергії на двигун за рік:

$$C_{D1} = \Delta W_D \cdot c, \quad (4.8)$$

ΔW_D - кількість втраченої електроенергії в двигуні за рік;

c – вартість електроенергії для промисловості, одного кіловату потужності за годину (для зеленої енергетики: $c = 2,09$ грн/кВт·год).

$$\Delta W_D = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{пер}}) \cdot k_z \cdot \Phi, \quad (4.9)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ - втрати потужності двигуна, при номінальному режимі роботи двигуна, кВт;

$\Delta P_{\text{пер}}$ - втрати потужності двигуна, при перехідних режимах роботи двигуна, кВт;

k_z - коефіцієнт завантаження по потужності (приймається рівним 0.8);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електропривода за рік.

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (4.10)$$

де $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність вибраного двигуна ($P_{\text{ном}} = 5,5$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії ($\eta_{\text{ном}} = 0,857$)

$$\Delta P_{\text{ном}} = 5,5 \cdot \frac{1 - 0,857}{0,857} = 0,917 \text{ (кВт)}.$$

Витрати двигуна на перехідні процеси, приймають за стандартами, як 10% від витрат при номінальному режимі роботи двигуна:

$$\Delta P_{\text{пер}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (4.11)$$

$$\Delta P_{\text{пер}} = 0,1 \cdot 0,917 = 0,0917 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи системи електропривода, визначається за наступною формулою:

$$\Phi = \frac{TB\%}{100\%} \cdot Z_{рд} \cdot Z_{рз} \cdot t_{рз}, \quad (4.12)$$

де $TB\%$ - тривалість ввімкнення електродвигуна (береться за стандартним рядом 40%);

$Z_{рд}$ - кількість робочих днів за рік ($Z_{рд} = 355$);

$Z_{рз}$ - кількість робочих змін ($Z_{рз} = 1$);

$t_{рз}$ - тривалість робочої зміни ($t_{рз} = 9$ год).

$$\Phi = \frac{40}{100\%} \cdot 355 \cdot 1 \cdot 9 = 1278 \text{ (год)}.$$

$$\Delta W_{д} = (0,917 + 0,0917) \cdot 0,8 \cdot 1278 = 1032,123 \text{ (кВт)}.$$

$$C_{д1} = 1032,123 \cdot 2,09 = 2157,137 \text{ (грн/рік)}.$$

$C_{д2}$ - втрати в системі керування:

$$C_{д2} = \Delta W_{СК} \cdot c, \quad (4.13)$$

де $\Delta W_{СК}$ - кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{СК} = \Delta P_{СК} \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (4.14)$$

де $\Delta P_{СК}$ - втрати потужності в перетворювачі, кВт:

$$\Delta P_{СК} = P_{СК} \cdot \frac{1 - \eta_{СК}}{\eta_{СК}}, \quad (4.15)$$

де $P_{СК}$ - потужність перетворювача (згідно з розрахунками $P_{СК} = 5,5$ кВт);

$\eta_{СК}$ - номінальний ККД, системи керування, відповідно для двох послідовних систем ($\eta_{СК} = 0,95 \cdot 0,95 = 0,9$).

$$\Delta P_{СК} = 5,5 \cdot \frac{1 - 0,9}{0,9} = 0,61 \text{ (кВт)}.$$

$$\Delta W_{СК} = 0,61 \cdot 0,8 \cdot 1278 = 624,8 \text{ (кВт)}.$$

$$C_{Д2} = 624,8 \cdot 2,09 = 1305,832 \text{ (грн/рік)}.$$

$$C_{Д} = 2157,137 + 1305,832 = 3462,969 \text{ (грн/рік)}.$$

Обслуговування є важливою частиною в циклі роботи кожного електричного апарату. Відрахування на обслуговування, зазвичай виділяють, з суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових відрахувань, в вигляді 5% від суми:

$$C_o = 0,05 \cdot (C_A + C_{Д} + C_p), \quad (4.16)$$

$$C_o = 0,05 \cdot (1300 + 3462,969 + 260) = 251,15 \text{ (грн/рік)}.$$

З усього цього, можна підрахувати загальні відрахування за формулою (3.3):

$$C = 1300 + 3462,969 + 260 + 251,15 = 5274,117 \text{ (грн/рік)}.$$

Та відповідно, загальні витрати будуть становити, по (6.1):

$$З = 0,17 \cdot 10500 + 5274,117 = 7484,117 \text{ (грн/рік)}.$$

Результати обрахунків для усіх систем електроприводів, приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати техніко-економічного розрахунку, для усіх параметрів

| Показник | Система електропривода |
|---|------------------------|
| Вартість двигуна, Д, грн | 10500 |
| Вартість системи керування, СК, грн | 2500 |
| Капітальні затрати, К, грн | 13000 |
| Річні капітальні затрати, $K_{річн}$, грн/рік | 2210 |
| Амортизаційні відрахування, C_A , грн/рік | 1300 |
| Відрахування на ремонт, C_p , грн/рік | 260 |
| Додаткові відрахування, C_d , грн/рік | 3462,969 |
| Відрахування на обслуговування, C_o , грн/рік | 251,15 |
| Загальні відрахування, С, грн/рік | 5274,117 |
| Приведені затрати, З, грн/рік | 7484,117 |

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Магістерська робота присвячена підвищенню ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної електростанції. При розробці інженерами-проектувальниками системи керування сонячним трекером потрібно використовувати нормативно-технічну документацію. На проєктувальників, що розробляють технічну документацію за допомогою персональних комп'ютерів, впливають такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори [1, 2]. Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо). Хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (нетоксичний пил). Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

5.1.1 Вимоги електробезпеки до приміщень, оснащених комп'ютерами

Площа, виділена для одного робочого місця повинна складати не менше 6 кв. м, а об'єм – не менше 20 куб м.

Під час проєктування системи керування, монтажу силового електрообладнання та електричного освітлення будівель та приміщень з

комп'ютерами необхідно дотримуватись вимог ПВЕ, ПТЕ, ПБЕ ЕЕС, Правил пожежної безпеки в Україні, а також розділів ДБН [4, 5], що стосуються штучного освітлення та електротехнічних пристроїв, та вимог нормативно-технічної і експлуатаційної документації заводів виробників комп'ютерів. Комп'ютери та устаткування для обслуговування, ремонту та їх налагодження, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники, тощо) електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПВЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію. Під час ремонту ліній електромережі шляхом зварювання, паяння та з використанням відкритого вогню необхідно дотримуватися Правил пожежної безпеки в Україні. Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється.

Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам

мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам ПВЕ. У приміщені, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерів та устаткування для їх обслуговування, ремонту та налагодження слід виконувати за магістральною схемою, по 3 - 6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127В та 220В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки

необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог ПВЕ та Правил пожежної безпеки в Україні. Електромережу штепсельних розеток для живлення комп'ютерів та їх устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 комп'ютерів, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів". Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції. Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими: експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками; застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам до переносних електропроводок; застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання; користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання; підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах,

обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами); використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

X.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання електростанції та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – особливо небезпечні, так як роботи виконуються назовні приміщень. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [4, 5]: для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги; електрозахисні засоби захисту (до 1000В) поділяються на основні (ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізолюваними ручками) та допоміжні (діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки).

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Робота проєктувальників відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо вони практично весь свій робочий день проводить сидячи [6]. Параметри мікроклімату в приміщенні наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Нормування параметрів мікроклімату

| Період року | Категорія роботи | Температура °С | Відносн вологість | Швидкіс руху |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|--------------|
| Тепли | I | 22-2 | 55 при 28° | 0,1-0, |
| Холодни | I | 21-2 | 75 при 25° | Не більше |

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається [7]:

- в холодну пору року – використання калорифера;
- в літню пору – застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання приміщень.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК [6] наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

| Назва речовини | ГДК, мг/м ³ | | Клас небезпечності |
|--------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| | Максимально разова | Середньо добова | |
| Вуглецю оксид (СО) | 3 | 1 | 4 |
| Пил нетоксичний | 0,5 | 0,15 | 4 |

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено [7]: провітрювання приміщень; цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення кабіни під час роботи установки; встановлення пиловловлюючих засобів.

5.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [8] розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Норми при

штучному, природньому та суміщеному освітленні наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

| Харак-ка зорової роботи | Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Під-розряд зорової роботи | Контраст об'єкта з фоном | Характеристика фону | Штучне при системі комбінованого освітлення | | Природнє Ен пр | Сумісне Е сум |
|-------------------------|--|-----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|---|------------------------|----------------|---------------|
| | | | | | | всього | у т. ч. від загального | | |
| Середньої точності | Від 0,5 до 1,0 включно | IV | в | малий середній великий | світлий середній темний | 400 | 200 | 4 | 2,4 |

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [9].

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно: безпосередньо біля

джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі; для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

Норми звукового тиску на постійних робочих місцях в промислових приміщеннях наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Рівень звукового тиску

| Характер робіт | Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц | | | | | | | | |
|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 32 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Постійні робочі місця в промислових приміщеннях | 107 | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 |

5.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 4

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом.

Сенсорні навантаження: Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25. Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75. Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5.

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2. Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%. Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16.

Емоційне навантаження: Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника.

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень: Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10. Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100. Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75.

Режим праці. Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7. Змінність роботи Однозмінна робота (без нічної зміни). Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни.

Х.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи системи керування сонячним трекером електростанції в надзвичайних ситуаціях.

До мікропроцесорних систем вимагається особлива стійкість в роботі, навіть при впливах різних видів випромінювань, серед яких іонізуючі та електромагнітні. Необхідно при цьому враховувати як можливі апаратні збої, так і програмні, що можуть мати різний кінцевий вигляд. В радіоелектронній апаратурі використовуються елементи, до складу яких входять матеріали: метали, неорганічні матеріали, напівпровідники та різні органічні сполуки (діелектрики, смоли та ін.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до радіації, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв [11]. Дія радіації на матеріали і деталі апаратури залежить від виду випромінювання, дози радіації, природи випромінюваної речовини та умов навколишнього середовища. В апаратних засобах радіація викликає оборотні і необоротні процеси, внаслідок яких можуть бути порушення роботи елементів схеми, що приведе до пошкодження апаратури.

Найбільш чутливі до дії радіації напівпровідники, оптичні прилади і фотоматеріали. Але практика експлуатації РЕА в умовах дії радіоактивних випромінювань дає можливість зробити висновки, що РЕА може раптово втратити працездатність при критичних рівнях радіації та в елементах схем РЕА можуть початись оборотні і необоротні процеси через деякий час після випадання радіоактивних опадів при рівнях радіації значно нижчих критичних.

Одним із вражаючих факторів також є електромагнітний імпульс (ЕМІ) – потужний короткий імпульс, що вражає головним чином електронну апаратуру. Виникає ЕМІ в основному в результаті взаємодії гамма-випромінювання, що утворюються під час вибуху, з атомами навколишнього середовища. Основні параметри ЕМІ, що визначають вражаючу дію, є характер зміни напруженості електричного та магнітного полів в часі – форма імпульсу і максимальна напруженість поля – амплітуда імпульсу.

Діапазон частот електромагнітних імпульсів (ЕМІ) в основному розподілений в межах 10 – 15 кГц. Електромагнітний імпульс випромінювання пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях, іонізацію діелектриків, спотворює або повністю стирає магнітний запис.

Х.3.1 Дослідження безпеки роботи інтелектуальної системи керування електроприводом в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Максимально допустимі значення потужності дози γ -випромінювань для вище перерахованих елементів наведені в таблиці 5.5.

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 5.5) межа стійкості $p_{гр}$ роботи системи складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи інтелектуальної системи керування електроприводом визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_{пос} , \quad (5.1)$$

де: K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{пос} = 7$),

$$P_{гр} = 0,9 \times 10^4 \times 7 = 6,3 \times 10^4 \text{ (Р/год)}.$$

Таблиця 5.5 – Максимально допустимі потужності дози γ – випромінювання

| № | Блок | Елементи приладу | $P_{гр,i}$ (Р/год) | $P_{гр}$ (Р/год) |
|---|------|----------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | БЖ | Транзистори КТЗ102В | 10^5 | 10^4 |
| | | Діоди загального призначення S1M | 10^5 | |
| 2 | БВ | Конденсатори SMD1206 Inf, 16V | 10^6 | |
| | | Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм | 10^6 | |
| 3 | МПК | Мікросхеми PIC16F877 | 10^4 | |
| | | Діелектрики GTP15 | 10^4 | |

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що стійкість

роботи інтелектуальної системи керування електроприводом в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 6,3 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування інтелектуальної системи керування електроприводом в умовах дії іонізуючих випромінювань:

$$D_m = \frac{2P_{сп}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (5.2)$$

де: $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

$$t_{доп} = 12,6 \times 10^3 \text{ (год)}.$$

Х.3.2 Дослідження безпеки роботи інтелектуальної системи керування електроприводом в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Початкові дані: $U_{ж} = 3В$ - напруга живлення;

$l_{г} = 0,68$ м – довжина горизонтальних струмоведучих провідників (найбільша).

Плата інтелектуальної системи керування електроприводом розташована горизонтально. Так як вертикальна складова напруженості електричного поля приблизно на три порядки більша за горизонтальну, подальші розрахунки здійснюємо з врахуванням вертикальної складової.

В якості показника безпеки виступає коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою:

$$K_{\sigma} = \frac{20 \lg U_D}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (5.3)$$

де: $U_{B(\Gamma)}$ – напруга наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

$$U_D = \frac{U_{ж} + U_{ж}^n}{100}, \quad (5.4)$$

де: n – відхилення напруги живлення від її номінального значення, $n = (5...10)\%$;

$$U_D = \frac{3 + 3 \times 5}{100} = 3,15(B),$$

Допустима напруга наведення U_B :

$$U_B = \frac{U_D}{10^{\frac{40}{20}}} = \frac{3,15}{100} = 0,0315(B),$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$E_G = \frac{U_B}{l_B}, \quad (5.5)$$

$$E_G = \frac{0,0515}{1,2} = 0,026(B/m)$$

Оціночно:

$$E_B = E_G \times 10^3 = 0,026 \times 10^3 (B/m),$$

Отже, оцінюючи безпеку роботи системи потрібно відмітити, що вертикальна складова напруженості електричного поля повинна не перевищувати $0,026 \times 10^3$ В/м, граничне значення потужності дози гамма-випромінювання $P_{гр} = 6,3 \times 10^5$ (Р/год), а також допустимо максимальний час перебування обладнання інтелектуальної системи на території в умовах дії іонізуючих випромінювань $12,6 \times 10^3$ (год), що визначено розрахунками.

Також визначено, що основними засобами для забезпечення стійкості роботи інтелектуальної системи керування електроприводом в умовах дії іонізуючих випромінювань є:

- використання спеціальних екранів;
- використання активного захисту від дії потоку заряджених частинок.

При імпульсній дії іонізуючих випромінювань, крім перерахованих способів використовуються пристрої, що вимикають радіотехнічну апаратуру на період впливу радіації, а також збільшення відстані між елементами, що знаходяться під напругою.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної електричної станції» були запропоновані рішення щодо підвищення ефективності ФЕС методом проектування та підключення системи сонячного трекера. Було отримано такі результати:

1. Розглянуто основні види сонячних трекерів, їх принцип роботи та установки.
2. Обґрунтовано установку сонячного трекера на дану станцію, її переваги та терміни окупності.
3. Здійснено розрахунок та вибір мотор-редуктора та частотного перетворювача для його управління.
4. Здійснено розрахунок та вибір елементів керування.
5. Складено електричну схему підключення та принципову схему, створено алгоритм роботи та структурну схему пристрою.
6. Виконано техніко-економічний розрахунок системи електроприводу.
7. Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації електромеханічної системи в умовах дії шкідливих чинників оточуючого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Marti A. Next Generation Photovoltaics / A. Marti, A. Luque eds. – Bristol: Institute of Physics Publ., 2004 – 344 с.
2. Абрамова О. Види та типи: схеми сонячних електростанцій / О. Абрамова // Матеріали сайта. – 2016. – Режим доступу: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipishemi-sonyachnih-elektrostantsij/>
3. Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power // Journal of Applied Physics. – 1954. – Т. 25, №. 5. – P. 676–677
4. Ginley D. S. Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability / D. S. Ginley, D. Cahen (ed.). – Cambridge university press, 2011. – 754 p.
5. Wei C. Y. Efficiency improvement of HIT solar cells on p-type Si wafers / C.Y. Wei et al. // Materials. – 2013. – Vol. 6, №. 11. – P. 5440–5446.
6. Green M. A. Third generation photovoltaics: advanced solar electricity generation / M. A. Green. – Springer-Verlag, Berlin. – 2003. – 160 p.
7. Бабак В.П., Білецький А.Я., Гуржій А.М. Сигнали і спектри. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2005. – 492 с
8. Електроніка і мікросхемотехніка : Підручник для вищ. навч. закл. освіти : У 4-х т./ В.І. Сенько, М.В. Панасенко , Є.В. Сенько та ін.; Під ред. В.І. Сенька. – К.: ТВО "Видавництво Обереги", 2000. – Т.1. Елементна база електронних пристроїв. – 309 с.
9. Михальський В.М., Соболев В.М., Чехет Е.М. Векторна широтноімпульсна модуляція в матричних перетворювачах. Навчальний посібник. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2003. – 74с.
10. Сосков А. Г. Промислова електроніка : підручник / А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський ; за ред. А. Г. Соскова. – Київ : Каравела, 2015. – 536 с.

11. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник для студентів вузів / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков ; за ред. д-ра техн. наук, проф. А. Г. Соскова. – [2-ге вид.]. – Київ : Каравела, 2009. – 416 с.

12. Солнечная энергетика : учебн. пособие / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.

13. Тугай Д. В. Моделювання режимів роботи сонячної електростанції в SMART GRID системі електропостачання / Д. В. Тугай, Ю. П. Колонтаєвський, С. В. Котелевець, Е. С. Савчук // : Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI міжнар. наук.-техн. конф. – Харків, 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 132–133.

14. Сонячна батарея JA Solar JAP6-270 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecoenerhiia.ua/sonjachni-batarei/sonjachna-batareja-ja-solar-jap6-270-poly.html>.

15. Roberts, P. Performance of Rotors in a Brushless Doubly-Fed Induction Machine (BDFM) [Электронный ресурс] / P. C. Roberts, R. A. McMahon, P.J. Tavner, J. M. Maciejowski, T. J. Flack, X. Wang // International Conference of Electrical Machines, 2004, Cracow, Poland. URL : <http://www.ime.pw.edu.pl/zme/pryw/bienpdf/dfim2.pdf>

16. Лежнюк П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЕС. / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько - УДК 621.316.

17. Лежнюк П. Д. Вплив інверторів сес на показники якості електричної енергії в лес / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2015. - № 2. - С. 134-145. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2015_2_28.

18. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами

електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 35–36.

19. Будівництво промислових СЕС [Електронний ресурс] / Інжинірингова компанія – Нові енергетичні технології. – Режим доступу : <http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/ses>

20. Solar PV industry. Market and industry trends. Global status report. Renewables. Steering committee. Ren. 21. 2014. P. 48–50. URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

21. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

22. Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)», Вінниця, 2022. [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 3 с.

23. Демов О. Д., Бірюков О. О., Мельничук Л. М., Демов А. Д., Бірюков А. А., Мельничук Л. М., Demov O. D., Biryukov A. A., Melnychuk L. M.. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві. Демов О. Д. Розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві [Текст] : навчальний посібник / О. Д. Демов, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 92 с.

24. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.

25. НПАОП 40.1-1.32-01.(ДНАОП 0.00-1.32-01).Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.[Чинний від 2002-01-01].URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01>.

26. ДСТУБ В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01].Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

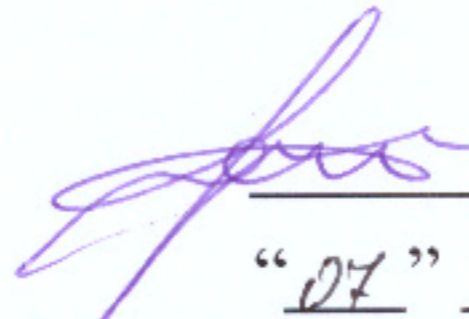
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

«07» 11 2023р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ


на магістерську кваліфікаційну роботу

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА В УМОВАХ КАМ'ЯНЕЦЬ-ПОДІЛЬСЬКОЇ
ФОТОГАЛЬВАНІЧНОЇ ЕЛЕКТРО СТАНЦІЇ**

08-24.МКР.018.00.000 ТЗ

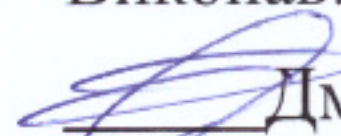
Керівник роботи

к.т.н., доц.

 Сергій БАБІЙ

«07» 11 2023 р.

Виконав: ст. гр. ЕПА-22м

 Дмитро ЛУБКО

«07» 11 2023 р.

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної електро станції».

Скорочене найменування розробки – «Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної електро станції».

Замовник – Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Одновісний сонячний трекер для підвищення генерації електроенергії на Кам'янець-Подільській ФЕС .

4 Вимоги до розробки

Система керування сонячним трекером призначена для збільшення генерації на проблемних ділянках сонячної станції.

5 Комплектація розробки

Система керування включає в себе: Пристрій керування на базі ESP32, модуля реального часу та оптичних датчиків; Мотор-редуктор NMRV150; Металоконструкція.

6 Джерела розробки

1. Marti A. Next Generation Photovoltaics / A. Marti, A. Luque eds. – Bristol: Institute of Physics Publ., 2004 – 344 с.
2. Абрамова О. Види та типи: схеми сонячних електростанцій / О. Абрамова // Матеріали сайта. – 2016. – Режим доступу: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipishemi-sonyachnih-elektrostantsij/>
3. Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power // Journal of Applied Physics. – 1954. – Т. 25, №. 5. – P. 676–677
4. Ginley D. S. Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability / D. S. Ginley, D. Cahen (ed.). – Cambridge university press, 2011. – 754 p.

7 Технічні характеристики

Технічні характеристики ФЕС «Кам'янець-Подільська»

| № п/п | Найменування технічної складової | Кількість |
|-------|---|-----------|
| 1 | Загальна кількість фотогальванічних панелей потужністю 290 Вт (шт.) | 220000 |
| 2 | Кількість інверторів GSL 500 | 100 |
| 3 | Кількість трансформаторних підстанцій PVIS 1000 | 50 |
| 4 | Номінальна потужність електростанції (МВт) | 50 |

8 Етапи виконання

| | |
|------------------|--|
| Основна частина | |
| Графічна частина | |

9 Елементна база

Мотор-редуктор NMRV150, плата керування ESP32, автоматичні вимикачі країн близького зарубіжжя та світу.

10 Конструктивне виконання

Система сонячного трекера виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пиловологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Мотор-редуктор, перетворювач постійного струму, фотоелектрична станція, баластні навантаження, акумуляторна батарея, контролер, АКБ та інвертор, сенсори, модуль передачі даних та мікроконтролер виконуються на сучасній елементній базі, їх монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

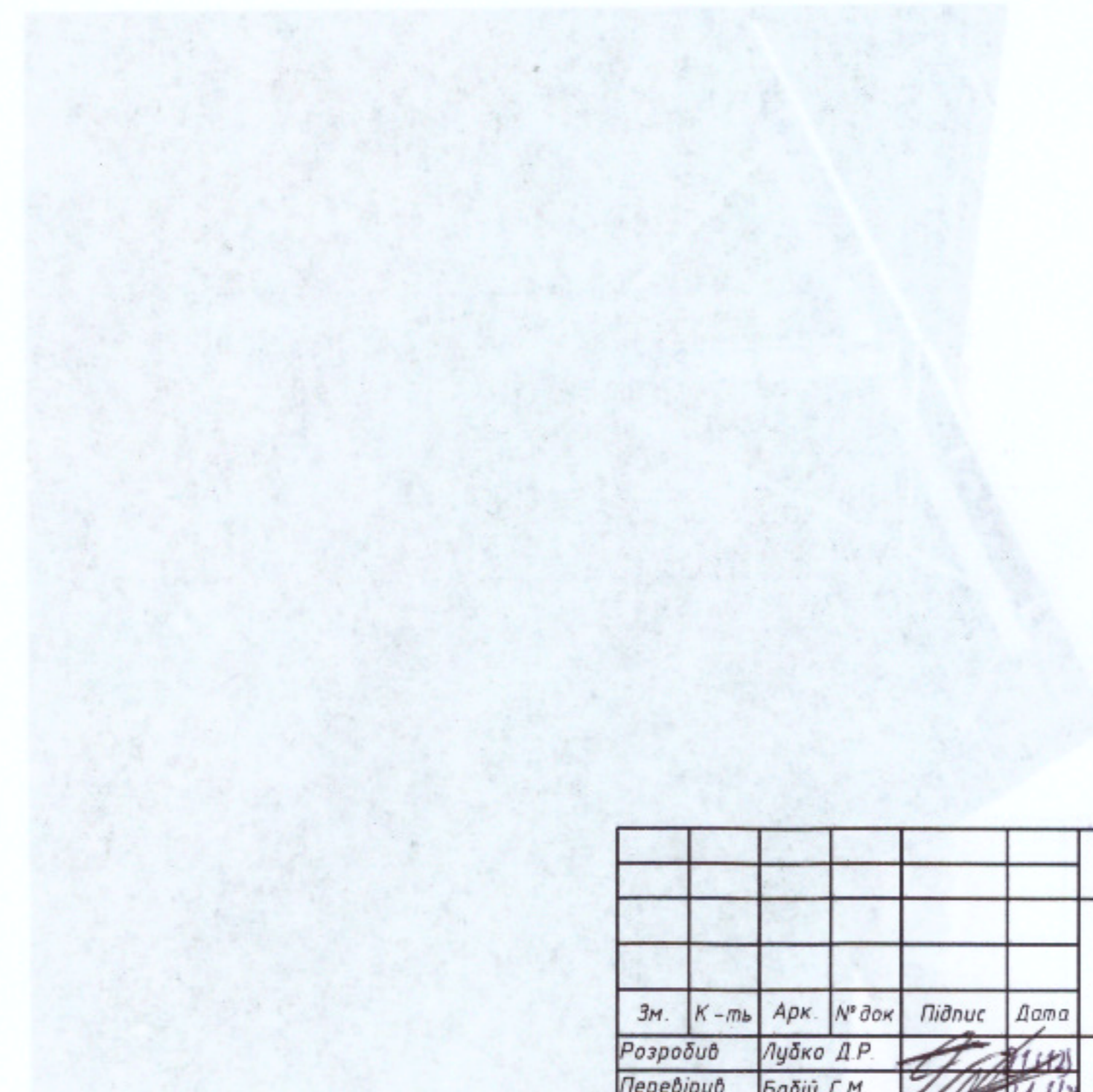
До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

13. Живлення системи

Живлення електротехнічного комплексу повинно бути виконано: величина напруги постійного струму – це, як правило, 12, 24 або 48, а змінного струму 220 В - в однофазному і 380 В - в трифазному виконанні.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.



КІЇВСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ЦЕНТР

08-24.МКР.018.00.000.ЕЗ

| Зм. | К-ть | Арк. | № док | Підпис | Дата | Стаття | Арм. |
|--------------|------|---------------|-------|--------|----------|--|------------|
| Розробив | | Лубко Д.Р. | | | 11.11.12 | Підвищення ефективності системи керування сонячного трекера в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної електростанції | |
| Перевірив | | Бабій С.М. | | | 11.11.12 | | |
| Т.конт. | | | | | | | |
| Резирав | | | | | 11.12.12 | | |
| Норм. контр. | | Жуков О.А. | | | 12.11.12 | | |
| Затв. | | Машноріз М.М. | | | 08.11.12 | | зр. ЕПА-20 |

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення ефективності системи керування сонячним трекером в умовах Кам'янець-Подільської фотогальванічної електро станції

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-22м

Науковий керівник: к.т.н., доц. Бабій С.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

| | |
|----------------|-------|
| Оригінальність | 85,4% |
| Схожість | 14,6% |

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.

Особа, відповідальна за перевірку



(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Лубко Д.Р.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Бабій С.М.

(прізвище, ініціали)