

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: **Комп'ютеризована система вимірювання та контролю просторового положення панелей сонячної електростанції**

Виконав: студент 2 курсу, групи МТ-1м

Спеціальності: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Забродський Сергій Андрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник: професор кафедри М та ІВТ доктор економічних наук, кандидат технічних наук,
професор Єфіменко Н.А.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент, доцент кафедри
РЕА ім. проф. Б.Б. Самотокіна
Добржанський О.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ **Забродський Сергій Андрійович**

1. Тема роботи: Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система
положення панелей сонячної електростанції

Керівник роботи: професор кафедри М та ІВТ, доктор економічних наук,
професор Єфіменко Н.А.

затверджена наказом по університету від «___» _____ 2024 р. № _____

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «___» _____ 2024р.

3. Вихідні дані до роботи

Об'єкт вимірювань: процес стеження сонячних панелей за напрямком Сонця, отримання фізичних величин: напруга, сила струму, потужність, положення панелі відносно осей обертання, час роботи.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)

Огляд та аналіз методів та засобів вимірювання положення сонячної панелі, розробка методів вимірювання та структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи, вибір технічних засобів вимірювального каналу, розробка алгоритму та програми обробки вимірювальної інформації, розрахунок метрологічних характеристик системи.

5. Перелік графічного матеріалу

Структурна схема об'єкту вимірювань систем, функціональна схема вимірювального каналу, блок-схема алгоритму обробки вимірювальної інформації, електрична принципова схема.

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-3	Чепюк Л. О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз джерел інформації про використання сонячної енергії		Виконано
2	Формулювання завдань кваліфікаційної роботи		Виконано
3	Розробка методу вимірювань положення сонячної панелі		Виконано
4	Розробка структурної схеми		Виконано
5	Вибір технічних засобів вим каналу системи та розробка функціональної схеми		Виконано
6	Розробка алгоритму роботи трекерної системи та обробки вимірювальної інформації		Виконано
7	Розрахунок метрологічних характеристик		Виконано
8.	Проведення експериментів для прийняття рішень		Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу		Виконано

Студент

(підпис)

Забродський С.А

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Єфіменко Н.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У даному проекті, було розроблено систему вимірювання та контролю просторового положення панелей сонячної електростанції. Система складається з сонячної панелі та механічної системи, які сліднують напряму Сонця за допомогою програмного забезпечення. Цей проект буде зосереджений на практичних та інженерних аспектах, таких як структура фотоелектричної системи, її підсистеми та компоненти, механічне налаштування та інші фактори, які впливають на продуктивність та ефективність фотоелектричних систем. Зокрема, буде розглянуто структуру системи відстеження сонячних променів з деякими знаннями фізики, на яких базується робота самого трекера.

ANNOTATION

In this project, a solar tracker was developed. The system consists of a solar panel and a mechanical system that follows the direction of the Sun using software. This project will focus on practical and engineering aspects, such as the structure of the photovoltaic system, its subsystems and components, mechanical adjustment and other factors that affect the performance and efficiency of photovoltaic systems. In particular, the structure of the sun tracking system with some knowledge of physics, on which the work of the tracker itself is based, will be considered.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ.....	11
1.1. Огляд існуючих рішень з вимірювання положення сонячної панелі	17
1.2. Опис сонячної електростанції як об'єкта вимірювання.....	20
1.3. Формулювання завдань, що втішуються в кваліф. роботі.....	27
1.4. Висновки до 1 розділу	27
2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ. ..	29
2.1. Фізичні принципи вимірювання і метод вимірювання положення сонячної панелі	32
2.2. Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи	41
2.3. Математична модель вимірювального каналу	43
2.4. Висновки до 2 розділу	60
3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ. ..	61
3.1. Елементна база системи	61
3.2. Вимірювальні засоби	69
3.3. Датчик положення.....	71
3.4. Програмований контролер	73
3.5. Засоби введення-виведення.....	87
3.6. Функціональна схема.....	93
3.7. Електрична принципова схема	94
3.8. Розрахунок метрологічних характеристик	96
Висновки до 3 розділу	98
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

KIBC ПСП – комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система положення сонячних панелей

AADAT – Azimuth Altitude Dual-Axis Trackers

DAT – Dual Axis Trackers

HSAT – Horizontal Single-Axis Trackers

I2C – Inter- Integrated Circuit

PSAT – Polar Single-Axis Trackers

SAT – Single-Axis Trackers

TTDAT – Tip-Tilt Dual Axis Trackers

TSAT – Tilted Single-Axis Trackers

VSAT – Vertical Single-Axis Trackers

WHSAT – Wall Horizontal single axis tracker

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ПЛК – програмований логічний контролер

ПЗ – програмне забезпечення

АСУ – автоматизована система управління

ОУ – об'єкт управління

АФЧХ – амплітудно-фазо частотні характеристики

ЕОТ – різниця між середнім сонячним часом та справжнім сонячним часом

ЕС – сонячна електростанція

ВСТУП

Переважна більшість сонячних панелей встановлюються під визначеним кутом до горизонту на нерухомому опорі і орієнтуються на південь. Подібний спосіб установки має безперечні переваги - простоту, дешевизну і надійність. Однак не варто забувати, що Сонце не висить нерухомо цілодобово в одній і тій же точці небосхилу, а переміщується за дугою зі сходу на захід. При цьому відбувається зміна рівня освітленості сонячної панелі. Чим більший кут між напрямом на Сонце і перпендикуляром до площини панелі, тим менша енергія світла потрапляє на фотоелементи. Відповідно, кількість електроенергії, що виробляється протягом світлового дня зростає від нуля у передсвітанковий час до максимуму опівдні, а потім знову знижується до нуля на заході сонця. Крім того, слід враховувати, що протягом року також відбувається зміна висоти Сонця над обрієм опівдні, досягаючи максимуму в день літнього сонцестояння і мінімуму в день зимового.

В цілому, в результаті відхилення падіння сонячних променів від перпендикуляра до площини фотоелектричного перетворювача, загальна кількість світлової енергії, що потрапляє на панель за добу становить від 40 до 70% від можливої. Суттєво збільшити кількість енергії, що потрапляє на сонячну батарею, можна за допомогою нескладного пристрою, який називається сонячним трекером. Сонячним трекером називають електромеханічний пристрій, який відстежує положення Сонця на небосхилі і повертає фотоелектричну панель слідом за його переміщенням. Живлення трекера забезпечується електроенергією, що виробляє сонячна батарея.

Сонячні трекери поділяють на одно- і двокоординатні. Перші виконують поворот фотопанелі тільки для відстеження переміщення Сонця зі Сходу на Захід або ж враховують тільки сезонну девіацію висоти сонячної траєкторії над горизонтом. Двокоординатні стежать за Сонцем в обох площинах.

Очевидно, що двокоординатні трекери гарантують найкращий рівень уловлювання сонячної енергії круглий рік (99,5% і вище від можливого), тоді як управління панеллю в одній площині дасть максимум енергії тільки в певний

сезон, в результаті річна сумарна ефективність сонячної батареї становить близько 75-80% від можливого. В ідеалі, для отримання максимального ККД фотоперетворювачів, трекер повинен встановлюватися на всі без винятку панелі.

Однак, це не відбувається з кількох причин: трекер нехай незначно, але підвищує вартість системи; він ускладнює конструкцію, отже знижує її надійність. Це не так критично для малих електростанцій, де власник цілком може раз на місяць- 5 другий усувати несерйозні несправності, але на великих сонячних електростанціях знадобиться утримувати штат співробітників для постійного обслуговування і ремонту пристрою; наявність рухомих деталей вимагає періодичного обслуговування навіть за відсутності поломок; рухоме кріплення панелі істотно знижує її вітрову стійкість. Виходячи з цих особливостей, можна підкреслити, що сонячні трекери дуже вигідні в загальному випадку для малих домашніх сонячних електростанцій, що не розташовуються в вітряних районах. Це нескладний пристрій здатний підвищити вироблення електроенергії на 30- 40%.

Актуальність теми.

Результати проведених досліджень з оцінки використання сонячного випромінювання для цілей енергетики свідчать про економічну неефективність та комерційну непривабливість фотоелектричних модулів в сучасних цінових умовах. Зниження вартості виробництва електроенергії можливо зниженням вартості ФМ та підвищенням ефективності вироблення енергії.

Реалізація першого способу можлива такими шляхами:

- здешевленням виробництва фотоелектричних модулів;
- здешевленням матеріалу геліоприймача.

Що стосується другого способу, то підвищити ефективність можна застосовуючи такі методи:

- використовувати багатоперехідні фотоелектричні модулі на гетеропереходах, проте їх вартість набагато вища за звичайні, тому співвідношення ціна та ефективність фактично не змінюється;

- застосовувати двосторонні фотоелектричні перетворювачі, що незначно збільшує ефективність при значне збільшення ціни;
- додавати різні концентратори, які збільшують фотовідповідь, але фотоелементи при цьому гріються, що негативно позначається з їхньої ККД і термін служби;
- обладнати фотоелементи системою стеження за Сонцем, що дає найкраще співвідношення вартість, ефективність.

На даному етапі розвитку сонячної енергетики найбільше пильну увагу слід приділити останньому варіанту. Величиною, що впливає на вироблену потужність фотоелектричних модулів, є кут падіння сонячних променів на її поверхню, навіть

при найефективнішій стаціонарній установці фотоелектричних модулів програш у вироблюваної потужності становить до 50%, ніж при безперервному орієнтуванні Сонця.

Застосування систем стеження за Сонцем дозволить змінювати кут нахилу фотоелектричних модулів на протязі дня таким чином, щоб зберегти прямий кут падіння сонячних променів на його поверхні. Це дозволить збільшити величину вихідної потужності. Цей спосіб підходить як для вже працюючих СЕС, так і для тих, хто має бажання власноруч сконструювати свою невелику сонячну станцію.

Метою даної роботи є розробка системи вимірювання положення сонячних панелей на основі двигунів з двома осями обертання та керуванням за допомогою операційного підсилювача та датчиків опромінювання.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити ефективність виробленої електричної енергії в залежності від конфігурації систем;
- провести аналіз продуктивності сонячної панелі;
- вибрати найбільш підходящу конфігурацію активних сонячних систем для нашої області;
- розробити алгоритм та програму для забезпечення максимальної продуктивності;

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання та перетворення сонячної енергії в електричну.

Предмет дослідження – комп'ютеризована система вимірювання та контролю просторового положення панелей сонячної електростанції

Методи дослідження базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні методів ЦОС з ВІ, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп'ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- 1) сформульовано перелік фізичних величин, вимірювання яких дозволяє покращити точність наведення сонячної панелі під кутом 90° ;
- 2) удосконалено структурну схему
- 3) удосконалено програмно алгоритмічні методи
- 4) удосконалено методи вимірювань
- 5) отримано математичну модель об'єкту вимірювання вимірювального каналу.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- 1) вибрано вимірювальний засіб та елементну базу системи вимірювання положення сонячних панелей;
- 2) розраховано метрологічні характеристики системи вимірювання положення сонячних панелей;
- 3) пропонується впровадити нову систему комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи положення сонячних панелей (КІВС ПСП) для Житомирської області.

Структура та обсяг роботи.

Дана робота складається з анотації, вступу, 3 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел. Робота викладена на 100 сторінках основного тексту і містить 47 рисунків та 16 таблиць.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

Орбіта Землі навколо Сонця майже кругова на середній відстані 149600000 км. Вісь обертання Землі нахилена на кут $\varepsilon = 23,441^\circ$ щодо нормалі до площини земної орбіти. Площина земної орбіти називається площиною екліптики. Площина, що проходить через земний екватор, нахилена перпендикулярно площині екліптики під кутом ε (кут нахилу). Грунтуючись на законі збереження кутового моменту, вісь обертання Землі вказує на фіксований напрямок у просторі, що означає, що для того самого місця на Землі у фіксоване час (полудень, як визначено за сонячним часом), висота Сонця (кутова висота над горизонтом) змінюватиметься протягом року.

Щоб отримати сонячні кути, необхідно визначити відповідні системи відліку. Використовуватимуться три основні системи відліку: еліптична, екваторіальна та горизонтальна системи відліку. Ці системи відліку центровані або прив'язані до центру Землі, і для розрахунків враховується видиме рух Сонця. Передбачається, що Сонце та інші небесні тіла лежать на небесній сфері, як показано на рисунку.1 великим радіусом.

Добове обертання Землі описується обертанням небесної сфери навколо полярної осі, а миттєве положення Сонця визначається годинним кутом ω , кут між меридіаном, що проходить через Сонце, та меридіаном місцевості. Передбачається, що небесна сфера обертається довкола нерухомої Землі, зображуючи щоденний видимий рух Сонця та інших небесних тіл (рис.1) .

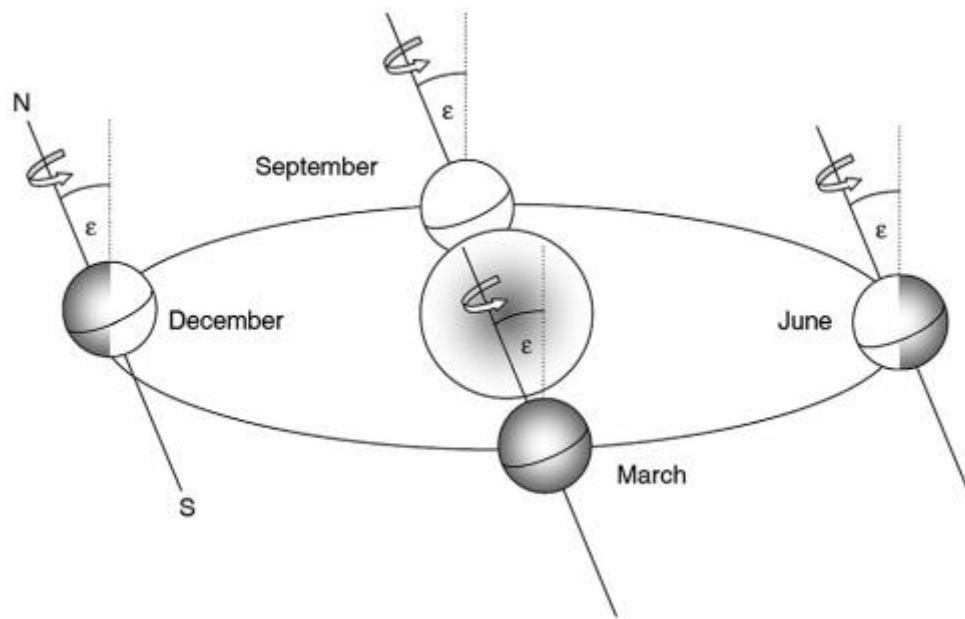


Рис 1 .Схематична діаграма земної орбіти навколо Сонця

δ -- це кутова відстань положення Сонця на північ чи південь від земного екватора (рис.3). Вісь Землі нахилена на $23,34^\circ$ від площини земної орбіти навколо Сонця, а Земля здійснює свій річний шлях навколо Сонця, тому кут відмінювання змінюється від $23,45^\circ$ північної широти 21 грудня (зимове сонцестояння) до $23,45^\circ$ південної широти в 21 червня (Літнє сонцестояння).

α – це кут, який показує наскільки високо у небі знаходиться Сонце. Кут вимірюється між уявною лінією між спостерігачем та об'єктом.

Порівняно з іншими типами кріплення, DAT забезпечують найширший діапазон переміщення сонячних модулів. Таким чином, фотоелектричний генератор зможе працювати з більш високою ефективністю протягом більш тривалого часу під час видимості сонячного світла.

γ_s -- це кутова відстань між півднем та проекцією променя зору на Сонце на землі. Позитивний кут азимуту Сонця вказує на становище на схід від півдня, а негативний кут азимуту вказує на захід від півдня.

W -- це кут, освічений радіальною лінією, що з'єднує це місце з центром Землі з проекцією лінії на екваторіальну площину Вісь обертання Землі перетинає земну поверхню на 90° широти полюс) та -90° широти (Південний полюс). Будь-яке

місце на поверхні Землі може бути визначено перетином кута довготи та кута широти.

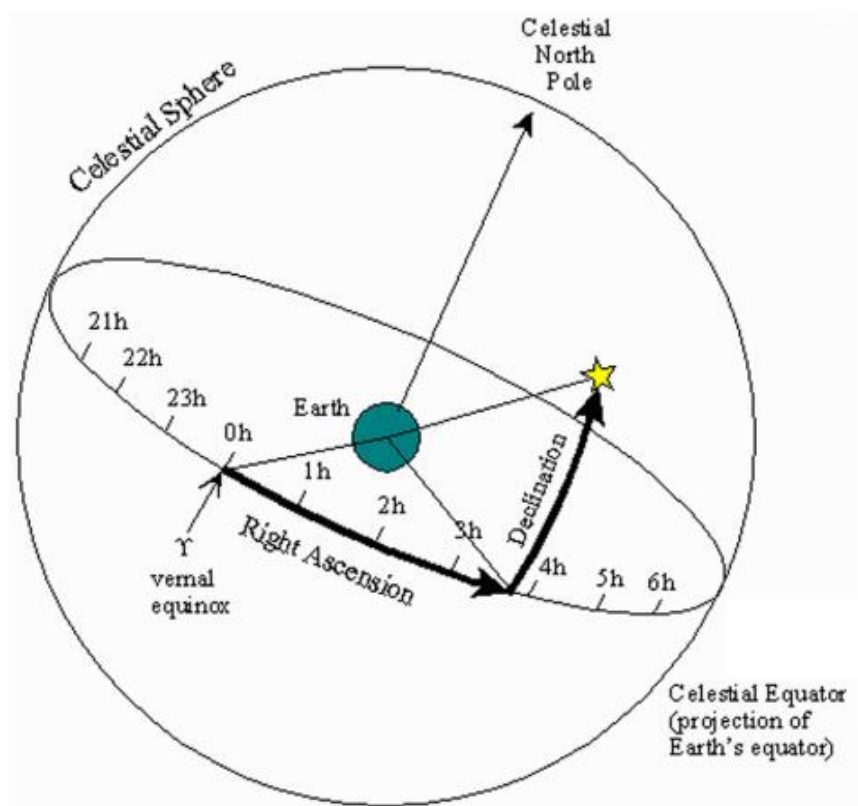


Рис. 1.1. Сонячні кути.

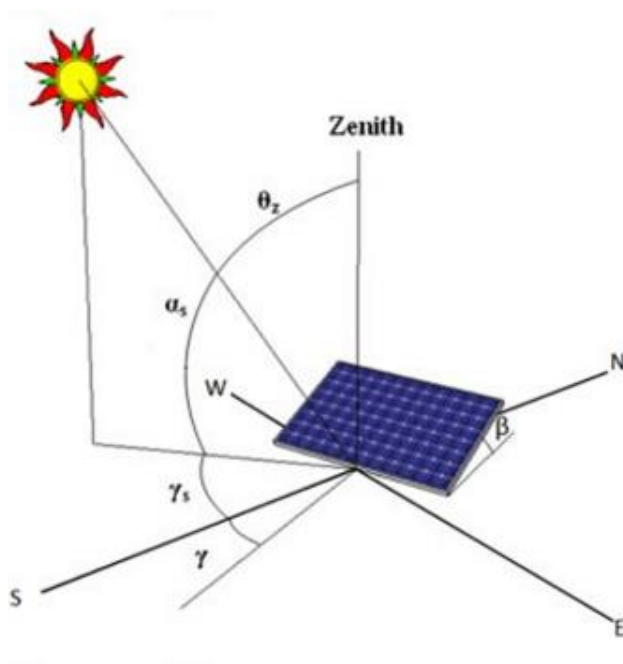


Рис. 1.2. Сонячні кути.

Основний механізм системи стеження за сонячною енергією складається із пристрою стеження, алгоритму стеження, блоку управління, системи позиціонування, приводного механізму та сенсорних пристроїв. Алгоритм відстеження визначає кути, які використовуються визначення положення сонячного трекера. Існує два типу алгоритмів: астрономічні алгоритми та алгоритми вимірювання інтенсивності світла у реальному часі. Астрономічний алгоритм – це суто математичний алгоритм, що ґрунтується на астрономічних джерелах. Алгоритм виміру інтенсивності світла в реальному часі заснований на показаннях інтенсивності світла в реальний час.

Блок управління виконує алгоритм стеження та керує системою позиціонування та приводним механізмом. Система позиціонування керує пристроєм стеження так, щоб воно було звернене до сонця під розрахованими кутами.

Система позиціонування може бути електричною або гідравлічною. Привідний механізм відповідає за переміщення пристрою стеження у положення, визначене системою позиціонування. Чутливі пристрої є групою датчиків та засобів вимірювання, які вимірюють умови навколишнього середовища, інтенсивність світла як реального часу.

Величина вихідного сигналу в основному залежить від косинусного кута падіння, який відомий як кут між сонячним променем та горизонтальною поверхнею. Мінімальний кут падіння забезпечує максимальну вихідну потужність. У разі фіксованої панелі, за винятком полуденного часу, кут є максимальним для руху сонця. Ефективний сонячний Трекер може вирішити цю проблему. Перший сонячний трекер представлений Фінстер у 1962 році був повністю механічним.

Необхідно чітко розуміти термін «ективність» в контексті вдосконалення системи відстеження. У цьому випадку це означає, як трекер може найкращим чином використовувати фотоелектричні модулі, враховуючи те, що

використовується певний тип фотоелектричних модулів. Звичайно, DAT не можуть підвищити ефективність «випромінювання-потужність» сонячних фотоелектричних матеріалів, але такі системи кріплення допомагають використовувати сучасні технології матеріалів якнайкраще. Робота цього проекту буде зосереджена на впровадженні дрібномасштабного TTDAT на основі того, що було досліджено щодо його структури та функціонування. Проект буде здійснюватися з використанням переважно електронних компонентів та лабораторного обладнання.

Наявність сонячного трекера є важливою необхідністю для роботи сонячних батарей, з його допомогою можна збільшити продуктивність установки. Враховуючи те, що сонячні трекери можуть збільшити енергетичний приріст ФЕМ, при їх установці необхідно враховувати деякі проблеми, такі як вартість, надійність, споживання енергії, технічне обслуговування і продуктивність.

Системи відстежування мають усі або деякі з наступних характеристик :

- один або два рушійні двигуни;
- світлочутливий пристрій;
- автономне або допоміжне енергопостачання;
- дотримання і переміщення відповідно до календаря;
- безперервний або ступінчастий рух;
- відстежування круглий рік або сезонне відстежування.

Було розглянуто декілька методів спостереження за Сонцем, які дозволяють утримувати сонячні батареї перпендикулярно сонячним променям. Ідеальний трекер дозволив би фотоелементам точно вказувати на Сонце, компенсуючи обидві зміни: азимутне зміщення Сонця (впродовж дня), широтне зміщення Сонця (під час сезонних змін). Системи стеження за Сонцем зазвичай класифікуються по двох категоріях: пасивні (механічні) і активні (електричні) трекери.

Сонячні панель працюють найбільш ефективно, коли вони направлені на Сонце і їх поверхня перпендикулярна сонячним промінням. Сонячні панель зазвичай розміщують на даху або підтримуючій конструкції в зафіксованому положенні і не мають можливості стежити за положення сонця протягом дня. Тому, зазвичай

сонячні панель не знаходяться під оптимальним кутом (90 градусів) протягом усього дня. Кут між горизонтальною площиною і сонячною панелью зазвичай називають кутом нахилу.

Внаслідок обертання Землі навколо Сонця, мають місце також сезонні зміни. Взимку сонце не досягає того ж кута, як влітку. В ідеалі, сонячні панель повинні бути розміщені влітку більш горизонтально, ніж взимку. Тому кут нахилу для роботи влітку вибирається менше, ніж для роботи взимку. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік, то панелі повинні розміщуватися на оптимальному куті, значення якого лежить десь посередині між оптимальними кутами для літа і зими. Для кожної широти є свій оптимальний кут нахилу панелі. Тільки для місцевостей близьких до екватора сонячні панелі повинні розполюгатися горизонтально.

Зазвичай, для весни та осені, оптимальним кутом нахилу приймається рівним значенню широти місцевості. Для зими до цього значення додається 10-15 градусів, а влітку від цього значення віднімається 10-15 градусів. Тому, зазвичай, рекомендується міняти двічі на рік кут нахилу з "літнього" на "зимовий". Якщо такої можливості немає, то кут нахилу вибирається приблизно рівним широті місцевості.

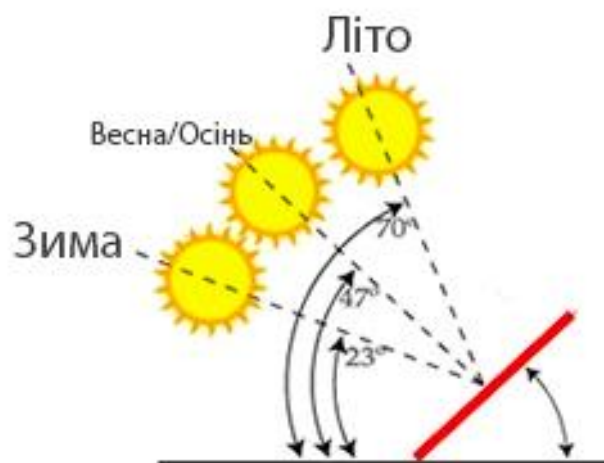


Рис. 1.3. - Оптимальний кут нахилу взимку і літом

Невеликі відхилення (до 5 градусів) від цього оптимума призводять до незначного ефекту на продуктивність модулів. Різність погодних умов більш впливає на виробництво електроенергії. Для автономних систем оптимальний кут нахилу залежить від місячного графіка навантаження, тобто якщо в даному місяці споживається більше енергії, то кут нахилу потрібно обирати оптимальним саме для цього місяця. Також, потрібно враховувати, яким є поточне значення протягом дня. Наприклад, якщо зі східного боку у вас розташоване дерево, а з західної частини все чисто, то, швидше за все, має сенс змістити орієнтацію з точного півдня на південний Захід.

1.1. Огляд існуючих рішень з вимірювання положення сонячної панелі

В даний час існує проблема дефіциту енергії, з якими стикається світ, особливо країни третього світу, спонукають дослідників знайти альтернативне джерело енергії, яке доповнило б звичайне викопне паливо. Альтернативні джерела енергії включають сонячну, атомну та вітрову енергію. Сонячна енергія – це енергія, що виробляється за рахунок використання сили сонячного випромінювання. Це найчистіше джерело енергії, яке найменше забруднює клімат. Потужність Сонця, що перехоплюється Землею, становить приблизно $1,8 \times 10^{11}$ МВт, що у багато тисяч разів перевищує нинішній рівень споживання Земля всіх інших використовуваних комерційних джерел енергії.

Основна проблема сонячної енергії – її нестачина природа. Навіть у найспекотніших регіонах Землі доступний потік сонячної радіації рідко перевищує 1 кВт/м, що замало технологічного використання. Цю проблему може вирішити пристрій сонячного трекера, що забезпечує максимальну інтенсивність потрапляння сонячних променів на поверхню панелі від сходу до заходу Сонця.

Серед запроваджених систем відстеження сонячних променів активний сонячний трекер є обраною темою для даного проекту, оскільки він широко використовує електричні та електронні знання. Це також найбільш впроваджене рішення для уловлювання сонячного світла фотоелектричних систем. Разом з кращими технологіями виробництва фотоелектричних матеріалів, покращення роботи активних сонячних трекерів є найефективнішим способом кращого

використання величезної кількості енергії Сонця.

Залежно від обертання сонячних модулів, активні сонячні трекери можна розділити на два основних типи: одноосьові та двоосьові. В одноосьових трекерах (SAT) сонячні фотоелектричні панелі обертаються навколо однієї осі, яка зазвичай вирівнюється з північним меридіаном. SAT можна налаштувати кількома або способами відповідно до положення осі відносно Землі:

- Нахилений одноосьовий трекер (TSAT)
- Горизонтальний одноосьовий трекер (HSAT)
- Вертикальний одноосьовий трекер (VSAT).

SAT дозволяють сонячним модулям обертатися між напрямками схід-захід відповідно до положення Сонця. SAT забезпечують досить хороший баланс між гнучкістю, простотою та продуктивністю. Різні конфігурації SAT показані на рисунку 1.4.

Двоосьовий трекер (DAT) можна вважати модернізацією SAT, де свобода пересування розширена на два окремих напрямки. На рисунку 1.4 також показано три типові конфігурації DAT:

- Двовісний трекер з нахилом (TTDAT)
- Горизонтальний двоосьовий трекер (HDAT)
- Двовісний трекер азимутальної висоти (AADAT)

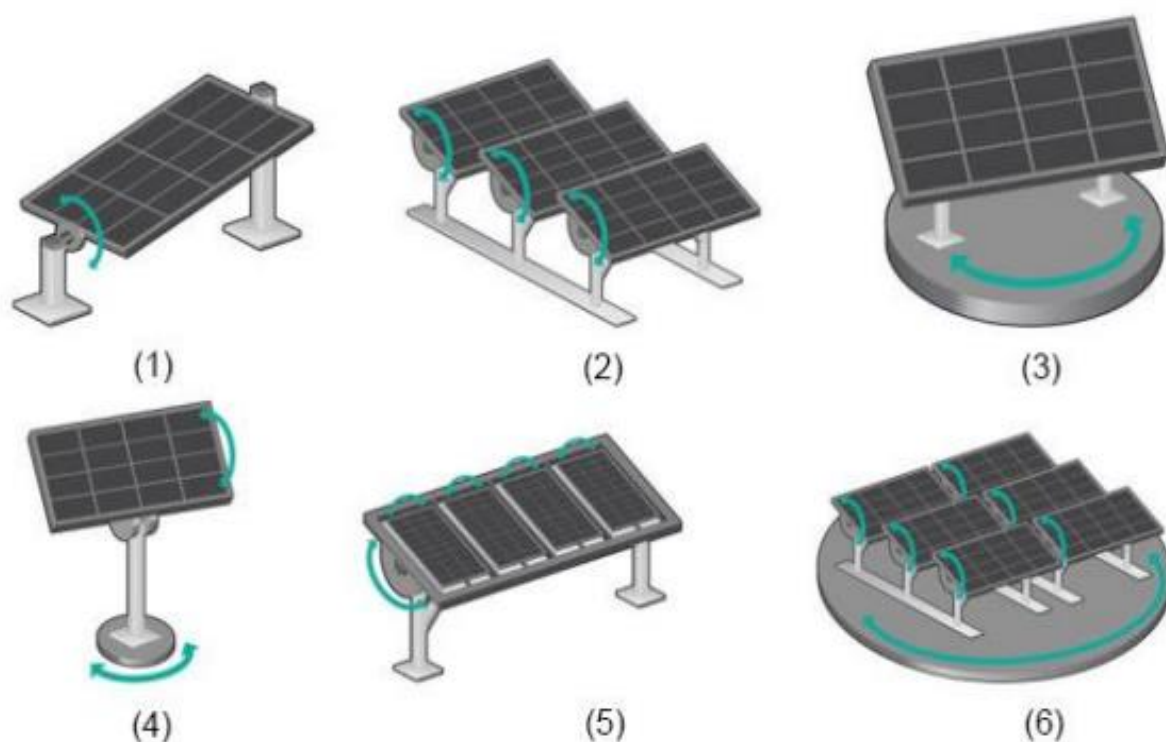


Рис. 1.4. Типові конфігурації для активних сонячних систем стеження: (1) TSAT (2) HSAT (3) VSAT (4) TTDAT (5) HDAT (6) AADAT.

Переваги	Недоліки
• Вища загальна ефективність • Вища точність • Довший час активного функціонування • Кращий термін служби сонячних батарей • Придатність для різних застосувань	• Вища вартість • Гірша стійкість до погодних умов • Споживання енергії (активні трекери)

Сонячні трекери можуть використовувати різні рушійні механізми для регулювання кута нахилу сонячних панелей як пасивним, так і активним методом.

Пасивні трекери працюють з використанням двофазної рідини, яка випаровується і розширюється при нагріванні сонцем. Рідина міститься з двох сторін пасивного сонячного трекера в каністрах, з'єднаних трубою. Різне розширення через положення Сонця змушує рідину переміщувати свою вагу між двома сторонами трекера, змушуючи його повертатися до Сонця. Пасивні трекери менш вигідні та застосовні через їх складну конструкцію та низьку точність.

Активні трекери, з іншого боку, використовують моторну систему для управління рухом панелей по одній або подвійній осі, спостерігаючи за положенням Сонця за допомогою фотодатчиків. Роботою цього типу трекерів керує контролер або комп'ютер. Активні трекери зазвичай коштують дорожче для системи, але забезпечують найкращу точність та ефективність порівняно з іншими рішеннями. Двоосьовий трекер (DAT) може забезпечити додаткові 40% сонячної енергії протягом року в порівнянні зі звичайною системою фіксованого кріплення.

1.2. Опис сонячної електростанції як об'єкта вимірювання

Сонячний трекер - це пристрій, який орієнтує корисний вантаж до Сонця. Трекери використовуються для мінімізації кута падіння між вхідним сонячним світлом і фотоелектричною панеллю. Трекери спрямовують сонячні панелі або модулі до сонця. Ці пристрої змінюють свою орієнтацію протягом дня слідувати по шляху сонця, щоб максимально отримати енергію. в фотоелектричні системи, трекери допомагають мінімізувати кут падіння (кут, який створює промінь світла з лінією, перпендикулярною до поверхні) між вхідним світлом і панеллю, що збільшує кількість енергії, яку виробляє установка. Концентровані сонячні фотоелектричні та концентровані сонячні теплові системи мають оптику, яка безпосередньо сприймає сонячне світло, тому трекери повинні бути правильно нахилені для збору енергії.

Сонячний трекер має кілька основних компонентів:

А. Алгоритм відстеження Сонця

Сонячне відстеження може мати алгоритм керування із відкритим циклом або алгоритм керування із замкненим контуром. Алгоритм управління Openloop передбачає розрахунок азимута та кута висоти сонця на чисто математичній платформі на основі астрономічних довідників. Компонент із розімкненим контуром потрібен, оскільки сонце може бути закрите хмарами, що усуває або спотворює сигнали зворотного зв'язку. Алгоритм керування замкненим циклом включає визначення положення сонця за допомогою методу світлового датчика в режимі реального часу і необхідний для усунення помилок через мінливість в установці, збірці, калібруванні та монтажі кодера. Ці два методи можна комбінувати разом, щоб зберегти баланс між економічним дизайном та підвищеною ефективністю.

В. Блок керування трекером

Блок управління виконує алгоритм відстеження сонця та необхідні розрахунки. Він також може координувати рух системи позиціонування. Як центр блоку управління може використовуватися мікропроцесор або комп'ютер. Зазвичай він має механізм введення команд і виведення даних для інтерфейсу. Для трекерів, розміщених у віддаленому регіоні, найкраще підходить механізм автоматичного контролю стеження.

С. Система позиціонування та приводний механізм

Система позиціонування переміщує сонячний трекер відповідно до переваг блоку керування. Він може бути як електронним, так і гідравлічним. Електричні системи використовують кодери та частотні приводи або лінійні приводи для контролю поточного положення панелі та переміщення в потрібне положення. Механізм приводу включає механічні пристрої - поворотні двигуни, лінійні приводи, лінійні приводи, гідроциліндри, поворотні приводи, черв'ячні передачі, планетарні передачі, різьбові шпиндели. Ці приводи можуть бути різних типів за методом конструкції.

Д. Датчики

Для точного визначення положення сонця використовуються датчики. Для розімкнутої системи реалізовані датчики світла для виправлення розрахункових і механічних помилок. Замкнута система залежить виключно від кількох світлочутливих пристроїв. Пристрій для визначення інтенсивності світла включає фоторезистор, фототранзистор, сонячну батарею тощо. На сонячних електростанціях також використовуються системи моніторингу температури, тиску, вологості, швидкості вітру, сонячного опромінення та інших необхідних параметрів із трекерами.

Одноосьові трекери обертаються на одній осі, рухаючись вперед і назад в одному напрямку. Різні типи одновісних трекерів включають горизонтальні, вертикальні, нахилені та полярні, які обертаються, як випливає з назви. Двоосні трекери постійно спрямовані до сонця, оскільки вони можуть рухатися в двох різних напрямках.

Двоосне відстеження зазвичай використовується для орієнтації дзеркала та перенаправлення сонячного світла вздовж нерухомої осі на стаціонарний приймач.

Оскільки ці трекери сліднують за сонцем по вертикалі та горизонталі, вони допомагають отримати максимальне вироблення сонячної енергії.

Сонячний трекер повинен працювати навіть коли сонце сходить при низькій температурі. Він повинен охоплювати максимальну кількість люменів в електричну енергію. Кут падіння повинен бути якомога нижчим.

Неможливо було з'єднати крокові двигуни з іншими агрегатами без допомоги кількох муфт валів двигуна. У той час як основний двигун потрібно було міцно прикріпити до стовпа, фотоелектрична панель і вторинний двигун збирали свій обертальний рух через вертикальну муфту вала. Обертання фотоелектричної панелі по іншій осі передавалося від вторинного крокового двигуна через два його горизонтальні з'єднувальні муфти.

Такий спосіб конфігурації створення Т-подібного механізму, дозволив обертати фотоелектричну панель майже на 180 градусів у напрямках схід-захід та північ-південь (враховувалися перешкоди дротів крокових двигунів). На рисунку

1.6 показана детальна конфігурація обертового механізму для TTDAT цього проекту. Чотири фотодатчика були встановлені на одній монтажній основі з фотоелектричними модулями, щоб світлові промені від сонця потрапляли на датчики та фотоелектричні модулі з однаковим кутом і інтенсивністю. В результаті фотоелектричні модулі могли виробляти максимальну кількість енергії.

Фотодатчики були пронумеровані від 1 до 4 і розділені на дві пари. Датчик 1 і датчик 3 були на протилежних кінцях, а також датчик 2 і датчик 4. Таке розташування дозволило пристрою визначати точний кут між фотоелектричними модулями та вхідними сонячними променями. Для повної працездатності фотодатчики та фотоелектричні модулі необхідно було з'єднати з іншими електричними компонентами (резисторами, захисними діодами...). Ці схеми були зібрані під базою кріплення для підключення до мікроконтролера.

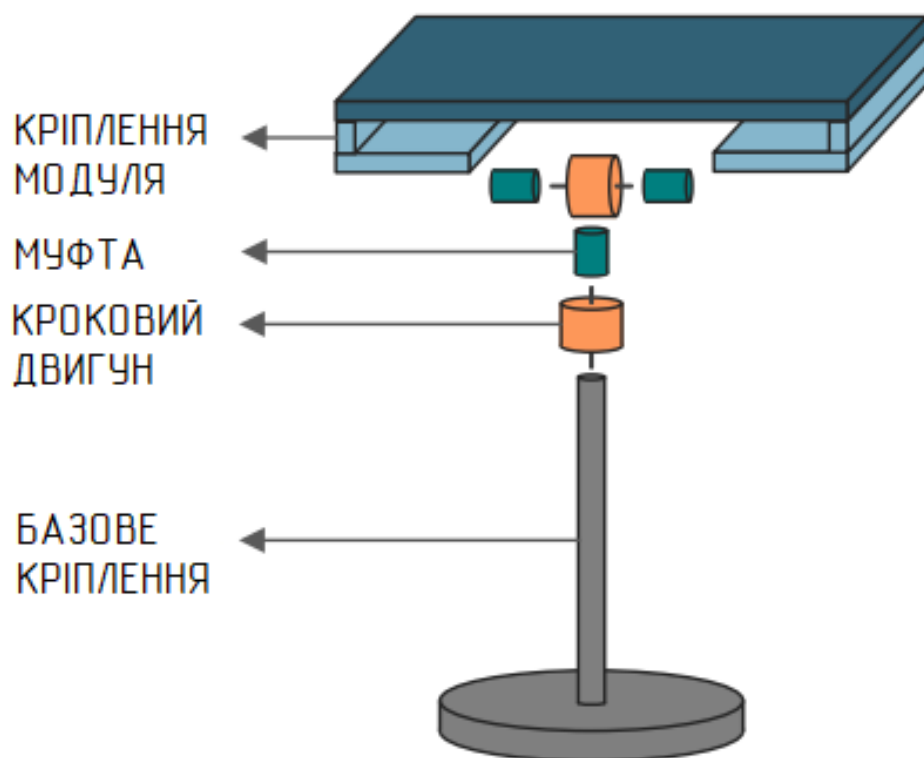


Рис. 1.5. Конфігурація для монтажу крокових двигунів і фотоелектричних модулів на підставу опори

Плата розробки мікроконтролера, плата блоку живлення та інші пов'язані компоненти були встановлені на загальну прототипну плату. Ця дошка була спеціально модифікована, щоб відповідати основі кріплення на стовпі. Для

розташування цієї плати керування було зважено кілька конструкцій, але з огляду на розмір пристрою та потужність крокових двигунів, її було встановлено на нижній основі для належної роботи всієї системи. Перед фактичною збіркою блоку двигуна, сенсорного блоку та плати керування їх функції були ретельно перевірені, щоб переконатися, що всі блоки працювали нормально, коли вони були встановлені та підключені в остаточному проекті. Кожен окремий компонент також можна було замінити або оновити, коли в цьому була потреба.

Побудова апаратного забезпечення для системи TTDAT, яке включало виготовлення опорної підстави, Т-подібного механізму крокових двигунів та монтажної пластини для фотодатчиків і фотоелектричних модулів. Також був підготовлений щит для блоку управління, готовий до остаточного складання.



*Рис.1.6. Остаточна конструкція механічних частин системи TTDAT
(кріплення для сонячної, двигун с муфтами , основа для полярного
кріплення з приєднаним основним двигуном)*

На малюнку 1.6. показані основні механічні частини системи TTDAT, які були побудовані на основі конфігурації, описаної на рисунку 1.6. Основу для монтажу на стовпі було легко зробити, знявши верхню частину старої настільної лампи. На

верхній частині стовпа основний кроковий двигун був прикріплений за допомогою пластикового джгута і зміцнений клейкою стрічкою. Щоб сформувати Т-подібний механізм трансмісії, муфту валу було відшліфовано, щоб відповідати стороні вторинного крокового двигуна, перш ніж їх з'єднання міцно трималося стрічкою.

Щоб встановити ці частини на вал крокових двигунів, який мав діаметр 1 мм, були використані додаткові проміжні пластикові трубки, щоб вирішити цю несумісність. На практиці Т-подібна конфігурація крокового двигуна забезпечувала максимальний діапазон обертання 360 градусів для основної осі та 150 градусів для вторинної осі вісь. Завдяки алгоритму відстеження програми мікроконтролера ця можливість обертання може відстежувати Сонце в більшості можливих позицій під час активної роботи системи TTDAT.



Рис 1.7. Збірка апаратного забезпечення TTDAT з його положеннями максимального вторинного обертання.

До складання блоку управління мікроконтролер та інші електричні компоненти підключалися, програмувалися та тестувалися на безпайній макетній платі. Пізніше вони були влаштовані та встановлені на стрипборді за допомогою роз'ємів з подвійним вбудованим пакетом (DIP). DIP були обрані для легкого встановлення та налаштування компонентів, а також для майбутніх оновлень або

налаштувань. Розташування та розміщення компонентів на платі керування показано на рисунку 1.8.

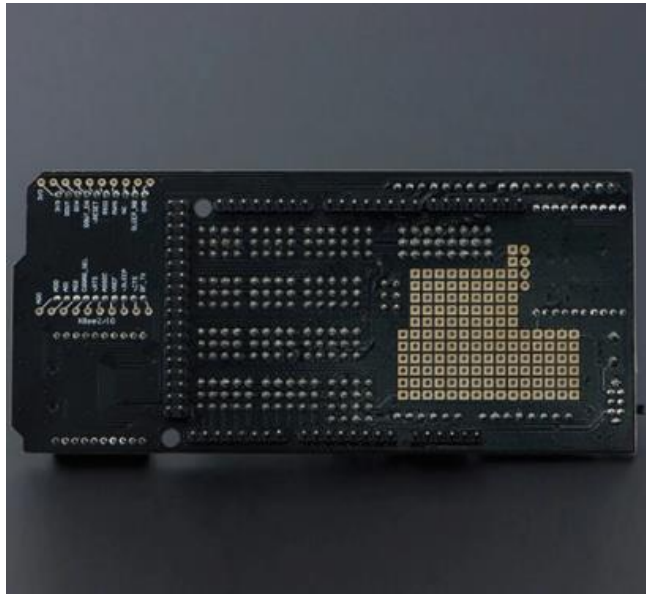


Рис. 1.8. Розміщення електричних компонентів на платі керування.

Плату керування встановили в основу пристрою, прорізавши отвір у центрі, з ізоляційним шаром під ним. У цьому проекті використовувалися кабелі-перемички для з'єднання компонентів на платі для легкої розробки. Для з'єднання блоку управління з кроковими двигунами та ланцюгом датчиків також знадобилися подовжені кабелі через їх віддалене розміщення.

Перед розробкою алгоритму відстеження пристрою необхідно було правильно налаштувати схему мікроконтролера та інших компонентів. Мікроконтролер надсилав вихідні дані драйверам двигуна через цифрові вихідні контакти. Для підключення крокових двигунів до драйверів використовувалися подовжуючі кабелі, оскільки вони вже були закріплені на основі пристрою. Схема датчика була підключена до мікроконтролера шляхом простого подання його виходів дільника напруги на чотири аналогові входи.

Усі компоненти працювали від живлення від блоку живлення, включаючи мікроконтролер. Крім того, коли плату було підключено до комп'ютера, живлення USB можна було зручно використовувати для тестування функціональності системи.

1.3. Формулювання завдань, що втішуються в кваліфікаційній роботі

Мета цього проекту -- провести аналітичний розрахунок положення сонячних панелей в залежності від положення Сонця. КІВС вимірювання положення сонячної панелі була створена для виконання наступних задач:

- проведення аналізу роботи поворотних систем фотоперетворювальних панелей;
- дослідити характеристики двоосної системи обертання;
- розробити механічний привід з двома осями обертання за напрямком руху Сонця;
- провести порівняння між звичайною сонячною панеллю та сонячною панеллю з сонячним трекером.

1.4. Висновки до 1 розділу

В першому розділі було розглянуто класифікацію трекерів за їх типами перевагами та недоліками. Також було обрано датчик для проекту - геліотрекер на фото резистора, який буде використаний в якості приймача світла та позиціонування сонячної панелі. Був проведений аналіз ефективності роботи сонячної панелі, а також розглянуто принцип його роботи.

Розглянуто графік втрат енергії від помилки стеження, для найкращого отримання енергії потрібно позиціонувати правильно сонячну панель на Сонце щоб кут падіння сонячних променів був 90 градусів.

Інноваційні розробки систем стеження за сонцем дозволили останніми роками розробити безліч сонячних теплових та фотоелектричних систем для самих різних застосувань, порівняно з традиційними фіксованими панелями. Сонячні системи, які відстежують зміни траєкторії Сонця протягом дня, збирають набагато більше сонячної енергії і, отже, генерують значно вищий рівень сонячної енергії.

Було показано, що ці системи стеження за сонцем можна розділити на одновісні та двовісні, залежно від режиму їхнього обертання. Далі його можна класифікувати як активний та пасивний трекер залежно від виконавчого

механізму.

Розглянуто підрозділи та їх основні засади кожного методу. В цілому, результати, подані у цьому огляді, підтверджують, що двовісна система стеження по азимуту та висоті більш ефективна порівняно з іншими системами стеження.

Однак з точки зору вартості та гнучкості одновісна система стеження більш здійсненна, ніж двовісна.

У майбутньому дані цієї статті будуть корисні при виборі точного та конкретного трекера з обліком регіону, доступного простору та орієнтовної вартості.

Справжня робота може бути корисна для покращення конструктивних характеристик різних типів систем стеження за Сонцем з метою підвищення їхньої продуктивності. Основний внесок відстеження сонячної енергії полягає у забезпеченні ефективного, прибуткового та екологічно чистого виробництва електроенергії у майбутньому.

2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Випромінювання з поверхні Сонця характеризується широким енергетичним спектром, що приблизно відповідає енергетичному спектру випромінювання “чорного тіла” при температурі 5800K. Максимум інтенсивності лежить у видимій області спектра (0.35-0.75 мкм), в якій зосереджена майже половина всієї енергії. Решта сонячного випромінювання розподіляється між ультрафіолетовою частиною спектра з довжиною хвиль меншою за 0.3 мкм (менша частина) і інфрачервоною з довжиною хвиль більшою 0.75 мкм (більша частина).

Інтенсивність сонячного випромінювання біля атмосфери Землі дорівнює 1360 Вт/м²- величина відома як сонячна стала AM_0 . При проходженні крізь атмосферу Землі інтенсивність сонячного випромінювання зменшується за рахунок його поглинання, розсіювання та відбивання при взаємодії з частинками пилу, з киснем, озоном, вуглекислим газом, парами води. При взаємодії з озоном та киснем поглинання сонячного випромінювання відбувається переважно в ультрафіолетовій частині спектру, водяна пара та вуглекислий газ поглинають переважно в інфрачервоній частині. Тому сонячне випромінювання, яке досягає земної поверхні, має меншу енергію, а його спектр змінюється.

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електрику є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Завдяки фотоелектриці існують способи перетворення сонячної енергії в електричну енергію постійного струму з впровадженням напівпровідникових матеріалів, які проявляють фотоелектричний результат, явище традиційно досліджуються в галузі фізики, фотохімії та електрохімії. Цей результат пояснюється дією фотонів (часток світла), які володіють довжиною хвилі, на електрони напівпровідникової речовини (традиційно, сіліцію), в результаті

відбувається їх «виривання», що призводить до виникнення електричного струму). Зокрема, це називається зовнішнім фотоефектом.

Для того щоб наростити ємність установки, що використовує явище зовнішнього фотоефекту, пластинки кремнію (сонячні складових), як правило, поєднують у модулі, іменовані сонячними батареями.

Сонячні батареї виробляють гальванічний струм під дією сонячного світла. Ця електроенергія, в свою чергу, може бути орієнтованою на живлення обладнання та/або для підзарядки акумулятора.

За принципом роботи сонячна батарея являє собою фотоелектричний генератор постійного струму, який використовує ефект перетворення променевої енергії в електричну. Точніше, у сонячних батареях використана властивість напівпровідників на основі кристалів кремнію. Кванти світла, потрапляючи на пластину напівпровідника, вибивають електрон із зовнішньої орбіти атома даного хімічного елементу, що створює достатню кількість вільних електронів для виникнення електричного струму. Однак для того, щоб напруги й потужності такого джерела було достатньо для застосування в побутових цілях, одного або двох кремнієвих елементів недостатньо. Тому їх збирають у цілі панелі, де з'єднують паралельно або послідовно. При цьому площа таких панелей може становити від декількох квадратних сантиметрів до декількох квадратних метрів. Збільшуючи кількість панелей можна добитися більшої генерованої потужності сонячною батареєю. Однак продуктивність сонячної батареї залежить не тільки від площі, але також від інтенсивності сонячного світла й кута падіння променів. Отже, продуктивність сонячної батареї залежить від місцевості й географічної широти, де розташований будинок, від погоди й пори року, від часу доби.

Головним практичним використанням сонячних батарей було живлення орбітальних супутників та інших космічних апаратів, а на нинішній день більша частина фотоелектричних модулів використовується для вироблення електроенергії в побуті і для індустріальних компаній.

Існує деякі прийоми, які можуть допомогти збільшити продуктивність сонячних батарей і дістати більш сонячної енергії. Перший прийом

- це простежувати точку максимальної потужності, а другий - простежувати розташування Сонця.

Відстеження точки максимальної потужності (ОТММ, англ. Maximum power point tracking, MPPT) виконуються з підтримкою особливих контролерів ОТММ, які вбудовуються в більшість сучасних сонячних інверторів. Сутність цього методу полягає в тому, що контролер досліджує вольт-амперну характеристику (ВАХ) сонячної батареї для знаходження оптимального режиму роботи, при якому даної кількості освітленості стане достатньо для вироблення максимальної кількості енергії.

Стежети за положенням сонця дозволяють сонячні трекери, про яких і буде йти мова в запропонованій роботі

Вироблення енергії завдяки застосуванню сонячного трекера зростає, так як він допомагає збільшити кількість сонячної енергії, що потрапляє на модуль.

Для перетворення сонячної енергії в електричну використовується сонячна панель. Сонячна панель забезпечує живлення контролер заряду, який в свою чергу накопичує енергію в акумуляторних батареях. Так як найбільшої ефективності використання сонячної енергії досягається завдяки направленню променів перпендикулярно до сонячної панелі. Необхідно обертати її в різні напрямки в залежності від часу доби. Для цього використовується сонячний трекер. Сонячний трекер складається з механічної системи пересувань, крокової двигуна і електронної системи контролю кроковим двигуном.

Результатами проведених досліджень з оцінки використання сонячної електростанції для цілей енергетики свідчать про низьку економічну ефективність та комерційну непривабливість фотоелектричних модулів (далі ФМ) в сучасних умовах.

Зниження вартості виробництва електроенергії можливо тільки двома способами:

- зниження ціни на ФМ
- підвищення ефективності вироблення електричної енергії.

Здешевлення виробництва ФМ, а саме цеху автоматизованого виробництва можливо наступними шляхами: здешевлення виробництва фотоелектричних модулів; здешевленням матеріалу геліоприймача.

Що стосується другого способу, підвищити ефективність можна застосовуючи такі методи:

- використовувати багат шарові фотоприймачі з гетеропереходами, проте їх вартість набагато вище звичайних, тому співвідношення ціна та ефективність практично не змінюється;
- застосовувати двосторонні фотоелектричні перетворювачі, що незначно збільшує ефективність при значному збільшенні ціни;
- додавати різні концентратори, які збільшують фотовідповідь, але фотоелементи при цьому гріються, що негативно позначається на їх ККД і терміні служби;
- обладнати фотоелементи системою стеження за Сонцем, що дає найкраще співвідношення вартість та ефективність.

На даному етапі розвитку сонячної енергетики найбільш пильну увагу слід приділити останньому варіанту. Великою, що впливає на вироблену потужність фотоелектричними модулями, є кут падіння сонячних променів на їх поверхню. Навіть в разі найефективнішої стаціонарної установки фотоелектричних модулів програш в виробленій потужності становить до 50%, ніж при безперервному орієнтуванні на Сонце. Застосування систем стеження дозволить змінювати кут нахилу фотоелектричних модулів протягом дня таким чином, щоб зберігати прямий і найефективніший кут падіння сонячних променів на його поверхню. Це дозволить збільшити кількість отриманої потужності, а, отже, і кількість вироблюваної потужності батареями. Даний спосіб підходить для вже працюючих сонячних електростанцій, для цього потрібно тільки змінити опорну конструкцію.

2.1. Фізичні принципи вимірювання і методи вимірювання положення сонячної панелі

Випромінювання з поверхні Сонця характеризується широким енергетичним спектром, що приблизно відповідає енергетичному спектру випромінювання “чорного тіла” при температурі 5800K. Максимум інтенсивності лежить у видимій області спектра (0.35-0.75 мкм), в якій зосереджена майже половина всієї енергії. Решта сонячного випромінювання розподіляється між ультрафіолетовою частиною спектра з довжиною хвиль меншою за 0.3 мкм

(менша частина) і інфрачервоною з довжиною хвиль більшою 0.75 мкм (більша частина).

Інтенсивність сонячного випромінювання біля атмосфери Землі дорівнює 1360 Вт/м²- величина відома як сонячна стала AM_0 . При проходженні крізь атмосферу Землі інтенсивність сонячного випромінювання зменшується за рахунок його поглинання, розсіювання та відбивання при взаємодії з частинками пилу, з киснем, озоном, вуглекислим газом, парами води. При взаємодії з озоном та киснем поглинання сонячного випромінювання відбувається переважно в ультрафіолетовій частині спектру, водяна пара та вуглекислий газ поглинають переважно в інфрачервоній частині. Тому сонячне випромінювання, яке досягає земної поверхні, має меншу енергію, а його спектр змінюється.

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електрику є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Основою напівпровідникового сонячного елементу є пластина напівпровідника з р-п переходом. Його робота їх заснована на явищі фотоефекту, відкритому ще в позаминулому столітті Г.Герцем та дослідженому О.Г.Столетовим. Теорію фотоефекту створив А.Ейнштейн у 1905 році, за що був відзначений Нобелівською премією. Суть ефекту полягає в тому, що кванти сонячного світла з енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються напівпровіднику і створюють пари носіїв струму: електрони в зоні провідності та дірки у валентній зоні.

Для просторового розведення зарядів, а значить і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує в електронно – дірковому р-п переході, в контакті метал - напівпровідник, в контакті двох різних напівпровідників (гетеропереході).

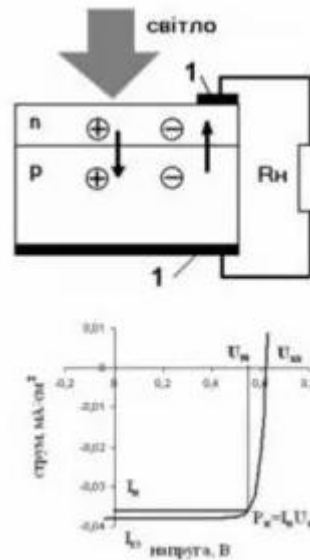


Рис.2. Схема сонячного елементу з р-п переходом та його вольт-амперна характеристика.

Цифрою 1 показано омичні контакти до n- та р- областей. На рис.2 схематично показано сонячний елемент з р-п переходом та напрям руху фотогенерованих носіїв заряду. Фотогенеровані в р-області електрони витягуються електричним полем в n-область, і, навпаки, фотогенеровані в n-області дірки витягуються електричним полем в р-область. На омичних контактах виникає різниця потенціалів, яка називається напругою холостого ходу U_{xx} . Якщо замкрити контакти, то через сонячний елемент потече струм короткого замикання I_{k3} . Для того, щоб елемент віддавав енергію в зовнішнє коло, до його контактів під'єднують навантаження, яке має електричний опір R_n . Тобто сонячний елемент виконує роль помпи, яка перекачує електрони в напрямку n-область – зовнішнє навантаження – р-область.

Оскільки вольт-амперна характеристика такого приладу проходить через четвертий квадрант (рис.1), то це значить, що прилад є джерелом струму. Слід відзначити, що на відміну від хімічних джерел світла напівпровідникові сонячні елементи не псуються при електричному замиканні контактів. При відповідному виборі опору навантаження енергія, що виробляється сонячним елементом, може досягати 80% від добутку $U_{xx} I_{k3}$.

На рис. 10 показані також значення U_m та I_m – значення струму та напруги, для яких реалізується максимальна вихідна потужність:

$$P_M = U_M I_M.$$

Коефіцієнт корисної дії ККД сонячного елемента визначається як відношення максимальної вихідної потужності P_M до потужності падаючого сонячного світла P_0 :

$$\text{ККД} = \frac{P_M}{P_0}$$

Чим більше фотонів сонячного світла поглинається сонячним елементом, тим більшим буде у нього струм $I_{\text{кз}}$. Це може бути досягнуто за рахунок використання напівпровідників з меншою шириною забороненої зони (тоді підвищується доля фотонів в сонячному випромінюванні, які мають енергію вищу ширини забороненої зони напівпровідника).

З іншого боку, напруга $U_{\text{хх}}$ визначаються висотою потенціального бар'єру в p-n переході і буде тим більша, чим більша ширина забороненої зони напівпровідника. Оскільки для отримання максимальної вихідної потужності сонячного елемента треба створити такий елемент, у якого будуть найбільшими не величини $U_{\text{хх}}$ чи $I_{\text{кз}}$ окремо, а добуток $P_M = U_M I_M$, та, враховуючи розподіл енергії в спектрі сонячного випромінювання, можна підібрати найкращий напівпровідниковий матеріал для створення ефективних сонячних елементів. Такий матеріал повинен мати ширину забороненої зони 1.3-1.5 еВ. Це, насамперед, арсенід галію, теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії сонячних елементів на ньому більше 31%.

Проте найбільш широкого застосування набули сонячні елементи на основі більш дешевого ніж арсенід галію кремнію, хоча в нього ширина забороненої зони менша оптимальної (1.1 еВ), і тому теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії менша (до 29%)

Домінуюча позиція кремнієвої технології у промисловій сонячній енергетиці (90% світового виробництва сонячних елементів) визначає сучасні тенденції науково-технічного розвитку цієї галузі.

Перевагами кремнієвої технології є достатня наявність кремнію у природі,

його хімічна стабільність і відсутність будь-якого токсичного впливу на людей і навколишнє середовище, сумісність технології кремнієвих сонячних елементів і базових процесів мікроелектроніки. Ефективність промислових сонячних елементів на мульти- і монокристалічному кремнії вже досягла 14-18%, лабораторних зразків- 22-24%.



Рис.2.1. Фотографія лицевої поверхні кремнієвого сонячного елемента.

На рис.2.1 подано фотографію типового промислового сонячного елемента на монокристалічному кремнії розміром 100х100 мм та товщиною 280 мкм.

При коефіцієнті корисної дії 14.5% в умовах стандартизованого освітлення потужністю 100 мВт/см², сонячний спектр якого відповідає атмосферній масі 1.5 (положення Сонця під кутом 45о), такий елемент може подати на зовнішнє навантаження напругу 0.49В ($U_{xx}=0.6V$) та струм 3А ($I_{k3}=3.3A$), тобто виділити 1.45 Вт потужності.

Для фотоелектричних модулів, на які потрапляє сонячна енергія на поверхні Землі, надходжене сонячне випромінювання складається з трьох видів:

- Прямий промінь, який досягає прямо до поверхні Землі без розсіювання
- Дифузне випромінювання, яке розсіюється через атмосферу Землі
- Випромінювання альбедо, що відбивається від поверхні Землі



Рис. 2.2. Сонячна енергія

У перших двох видів прямий промінь утримує від 80% до 90% сонячної енергії в ідеальному стані (чисте небо). Це основне джерело енергії для роботи фотоелектричного генератора. Для максимального збору сонячної енергії сонячні панелі повинні якомога довше підтримувати вирівнювання з прямими променями Сонця. Ця концепція кількісно пояснюється вимірюванням кута падіння між прямими променями та панелями. Для такої ж кількості вхідних прямих променів ефективна площа сонячної панелі, яка збирає це випромінювання, пропорційна косинусу.

В результаті потужність сонячних панелей можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$P = P_{\max} * \cos(i)$$

Де $P_{\max}$ – це максимальна зібрана потужність, коли сонячна панель правильно вирівняна. З рівняння (1) можна розрахувати втрату потужності:

$$a = \frac{P_{\max} - P_{\max} * \cos(i)}{P_{\max}} = 1 - \cos(i)$$

Рівняння вище говорить про те, що чим більше кут падіння сонячного променя був зміщений тим більше сонячної енергії втрачається. Це з'єднання показано на рисунку 2.3.

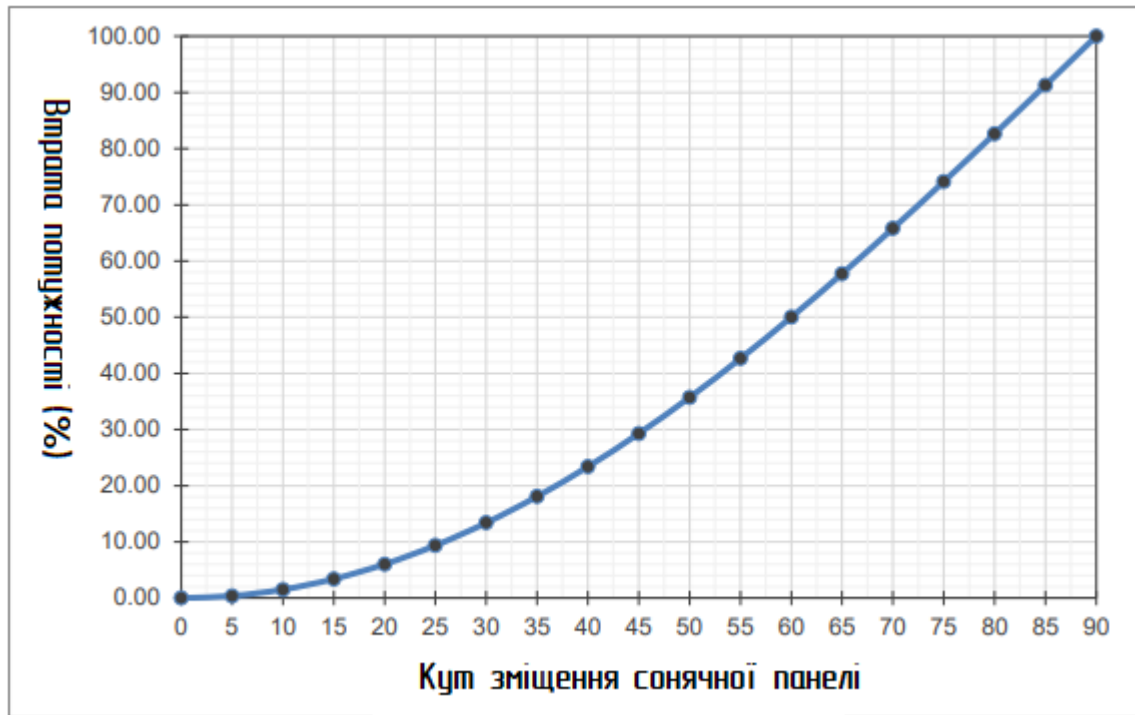


Рис.2.3. Зв'язок між зміщенням сонячної панелі та втратами потужності.

Графік, показаний на рисунку 2.3, надає ілюстративну оцінку того, як зміщення кута впливає на вихідну потужність фотоелектричних модулів. Легко помітити, що вихідна потужність падає майже на 15%, коли сонячний модуль відхиляється на 30 градусів від Сонця. Потужність падає ще швидше, коли кут зміщення ще більше збільшується. Використовуючи дані про сонячну радіацію з онлайн-бази даних, ми можемо оцінити вихідну потужність фіксованої сонячної системи в деякому місці на поверхні Землі. Наприклад, дані сонячної радіації для Житомира на дату 10 червня 2022 передбачає схід сонця о 05:20, захід о 21:20 і сонячний полудень о 13:20. Використовуючи ці значення, ми можемо оцінити вихідну потужність сонячних модулів для даного часу та місця, припускаючи, що небо чисте протягом дня. Апроксимуючи кут прямих сонячних променів у різний час доби та обчислюючи вихідну потужність за рівнянням 1, ми можемо побудувати графік, який порівнює розраховані значення потужності з максимальною потужністю протягом дня, як показано на рисунку 2.4 нижче.

Помітно, що вихідна потужність перевищує 85% лише з 11:00 до 16:00, а це означає, що фіксовані панелі працюють лише за 5 годин. Для типового літнього дня в Житомирі, де в середньому більше 10 годин сонячного світла, фотоелектрична система, що працює з такою ефективністю, безумовно, не є хорошим рішенням для збору сонячної енергії.

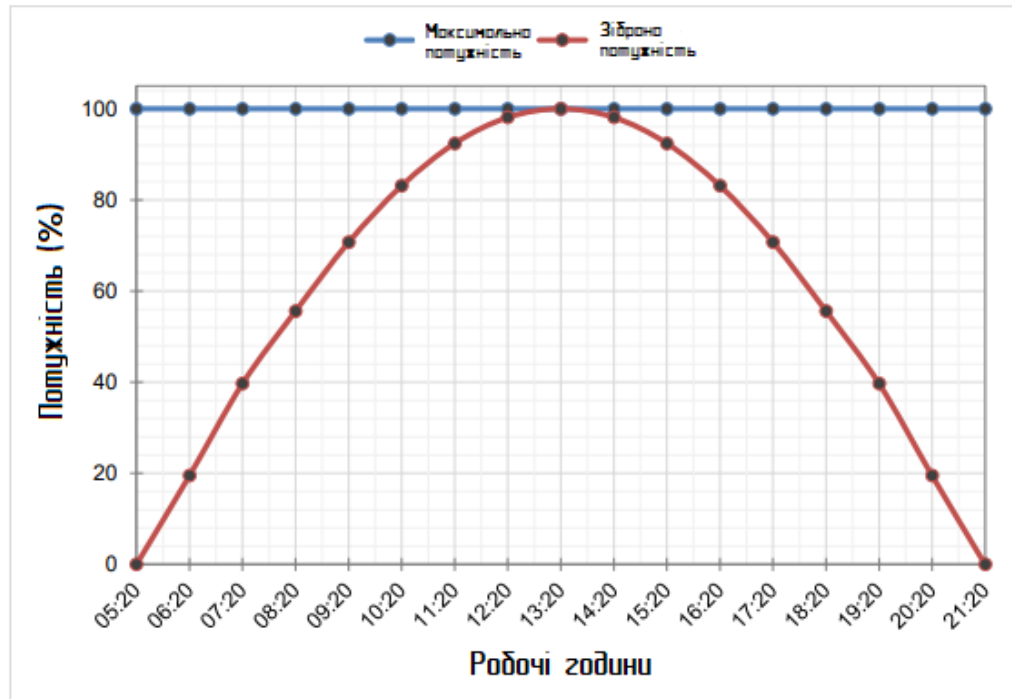


Рис. 2.4. Апроксимація зібраної потужності (червона лінія) порівняно з максимальною потужністю (синя лінія)

Розрахунок, наведений на рисунку 2.4, заснований лише на припущенні і не відображає всю картину. Проте, очевидно, вказується, що фіксована сонячна панель не є рішенням для максимальної ефективності навіть за ідеальних погодних умов. Насправді існує набагато більше факторів, які зменшують виробництво фотоелектричної системи (тінь від хмар, сезонна зміна кута і обмежена тривалість світлового дня...). Незважаючи на свою механічну простоту та стабільність, стаціонарне кріплення не може використовувати більшість можливостей сонячних панелей, тому не підходить для більшої потужності та більш важливих проєктів. Для монтажу системи потрібні кращі рішення. Далі ми обговоримо поточні рішення сонячного трекера для кращого збору сонячної енергії.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження геліосистем практично на всій території. Сонячне випромінювання в Україні становить 3500–5200 МДж/м² на рік. Сезонний період для активного використання сонячної енергії в північних регіонах триває з квітня по вересень, а в південних з березня по жовтень, що становить 1900–2400 год/рік. Загальне середньорічне сонячне випромінювання варіюється від 1070 кВт·год/м² в північних районах України до 1400 кВт·год/м² на півдні країни. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання (радіації) на території України необхідно виділити сім зон, які показані на рис. 2.5.

Global Horizontal Irradiation

Ukraine

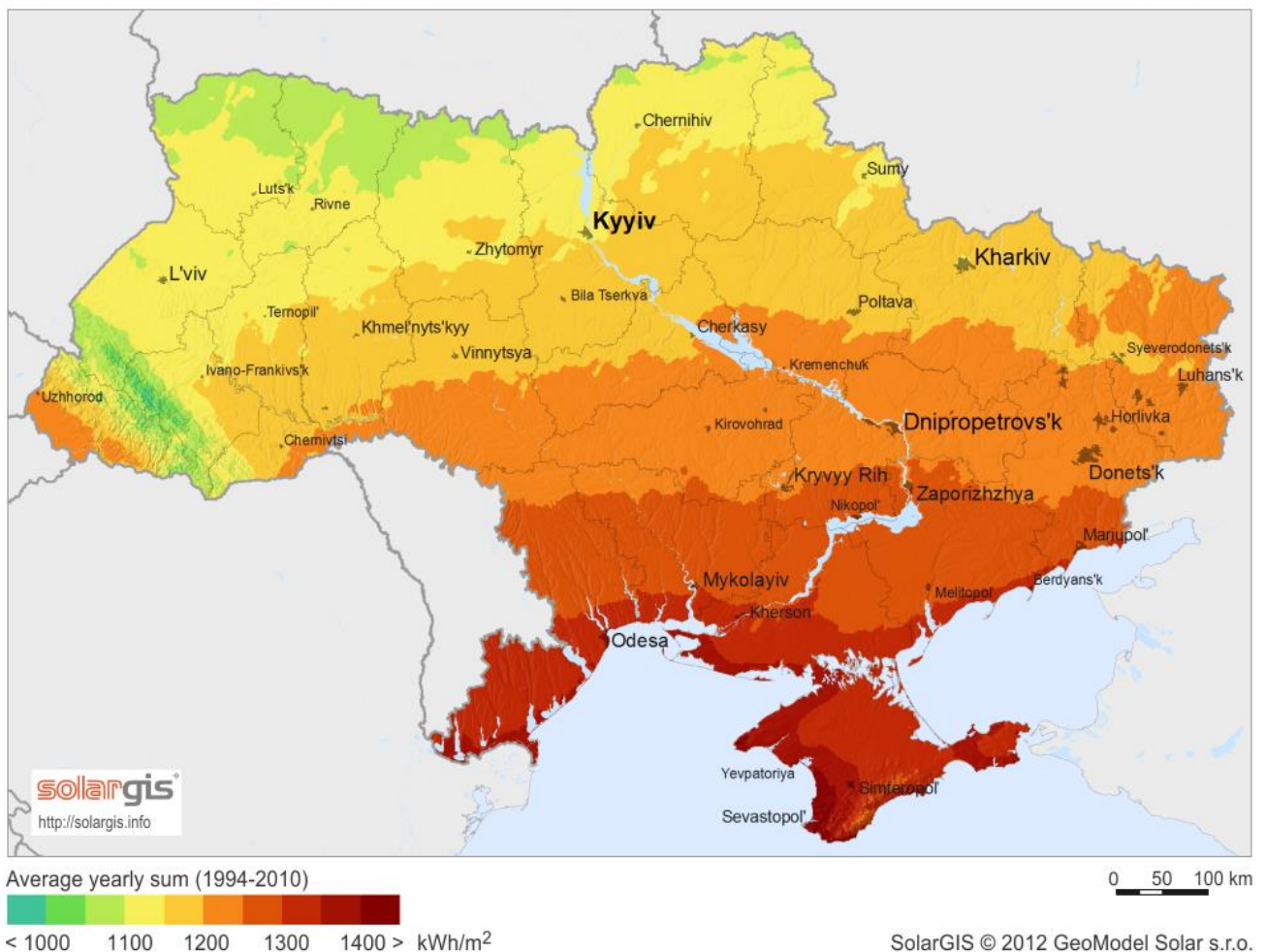


Рис. 2.5. – Зони інтенсивності сонячного випромінювання в Україні

2.2. Структурна схема комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи

Для створення простого та ефективного алгоритму для програми було використано модульність для визначення логіки програми. Перед написанням фактичного коду програми необхідно визначити її структуру підрозділів модулів. Кожен модуль обробляє певні входи та виходи для забезпечення певної функції. Основний цикл програми використовує ці модулі відповідним чином для забезпечення бажаної функції сонячного трекера. На рисунку 2.6 нижче показана модульна структура алгоритму системи TTDAT в цьому проєкті.

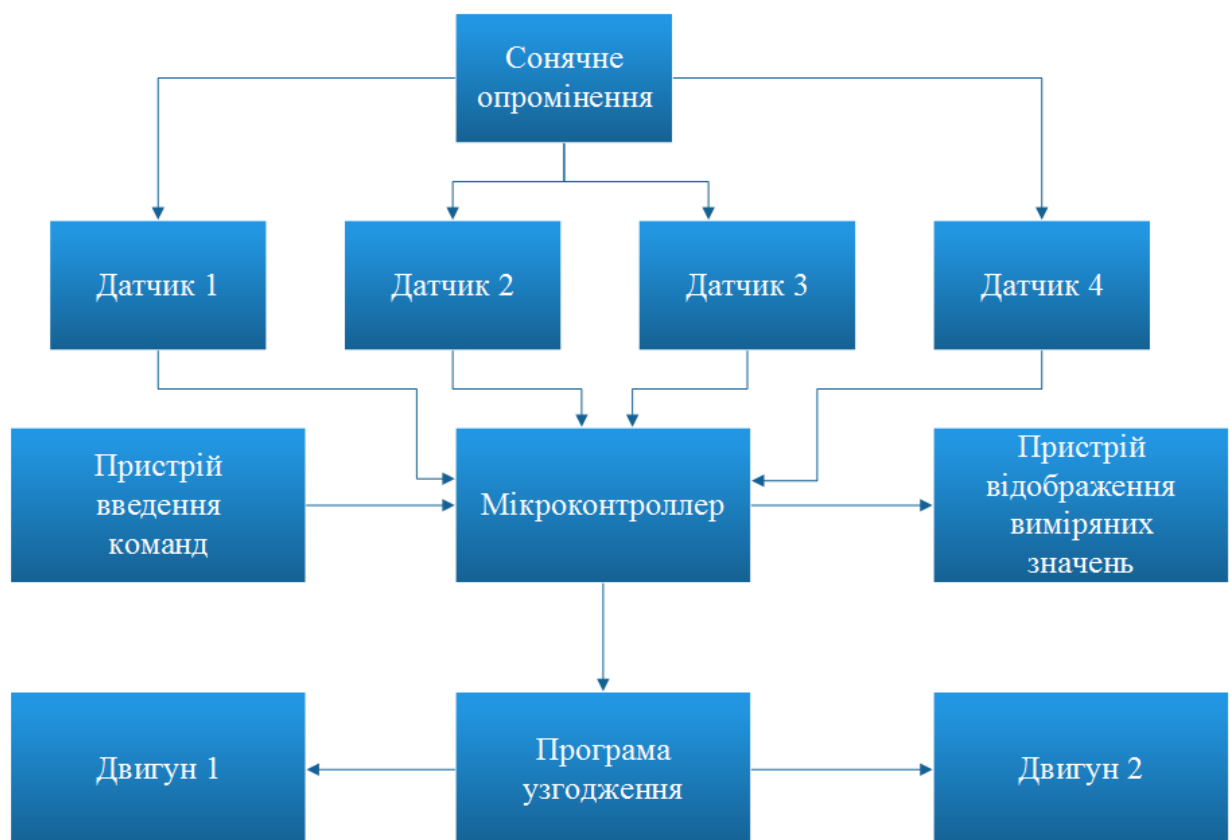


Рис. 2.5 Структурна схема

З діаграми структури видно, що програма роботи системи TTDAT складається з двох основних модулів управління: модуля двигуна та модуля датчика. Сенсорний модуль отримує чотири входи від фотодатчиків через аналогові входи `mbed`. Його функція повертає два різних виходи: порівняння датчика 1 – 3 і порівняння датчика 2 – 4. Функція модуля двигуна використовує ці виходи як параметр для визначення виходів для драйверів двигуна: обертання двигуна 1

або 2, обертання вліво або вправо та кут повороту.

Оскільки робота сонячного трекера безперервна з моменту його увімкнення, всі процеси алгоритму повинні бути поміщені в нескінченний цикл, основний петля. Головний цикл містить послідовність подій, які відбуваються всередині програми від моменту її запуску до стану нормальної роботи. Ефективність програми залежить від того, наскільки добре вона використовує модулі, введені раніше. Використовуючи функціональні модулі і розміщення датчиків, послідовність для основної програми алгоритму відстеження системи TTDAT для цього проекту проілюстрована на блок-схемі нижче.

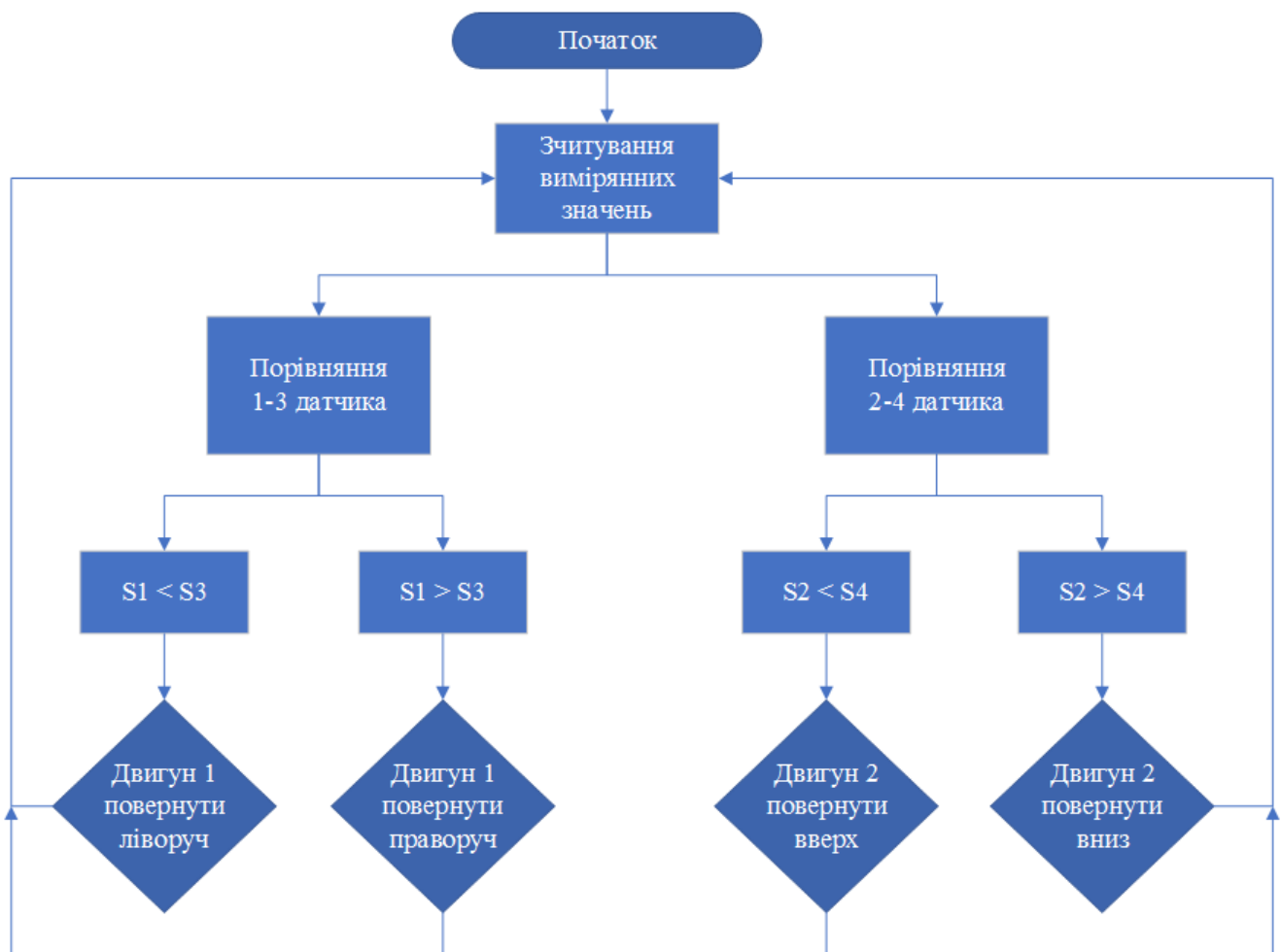


Рис.2.7 Блок-схема алгоритму системи TTDAT

2.3. Математична модель вимірювального каналу

Зробимо розрахунок потужності, яка буде вироблена сонячними панелями. Тому, спочатку визначимо величину сонячної радіації, яка надходить на батареї протягом дня. За формулою прямої сонячної радіації S_{rpr} на поверхню, що розташовано під кутом β до цього потоку дорівнює:

$$S_{rpr} = S_{rmax} * K_{ат} * \cos\beta$$

S_{rmax} - кількість радіації, що надходить від Сонця на Землю.

Це значення є сонячною постійною, що рівне 1325 Вт / м². При розрахунках потрібно враховувати, що 30-35% цієї енергії відбивається назад до космосу, тому приймемо $S_{rmax} = 925$ Вт / м².

β - приведений кут падіння сонячних променів на поверхню інсоляції,

$K_{ат}$ - коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти променю.

$$K_{ат} = 1.254 - \frac{0.1366}{\sin h_c}$$

$$\cos\beta = \sin h_c * \cos\alpha + \cosh c * \cos\alpha$$

α - кут нахилу площини ФМ до горизонту,

$K_{ат} h_c$ - кут, який визначає висоту Сонця над горизонтом в даний момент часу.

Вісь Землі відхиляється від перпендикуляра до площини екліптики на кут 23° 27 ', тому половину року кожне географічне розташування нахилене в бік Сонця, а іншу половину - від Сонця.

Опівдні весняного рівнодення висота сонцестояння дорівнює $h = 90^\circ - \theta$, де θ - географічна широта. Опівдні дня літнього сонцестояння висота відповідає найбільшому значенню $h_{max} = 90^\circ - \theta + 23^\circ 27'$ і тривалість світлового дня максимальна. Коли Сонце знаходиться в точці осіннього рівнодення,

тривалості дня і ночі рівні, а висота сонцестояння опівдні дорівнює $h = 90^\circ - \theta$, як і в день весняного рівнодення.

Опівдні зимового сонцестояння висота сонцестояння відповідає найменшим значенням $h_{\min} = 90^\circ - \theta - 23^\circ 27'$ і тривалість світлового дня мінімальна.

Тепер можемо знайти значення для висоти сонцестояння h_c . Сонячний Zenітний кут - кут між напрямком вектора сонячних променів S і Zenітної віссю відносно спостерігача. Zenітний кут v_z характеризує висоту сонцестояння h_c .

$$V_z = 90^\circ - h_c$$

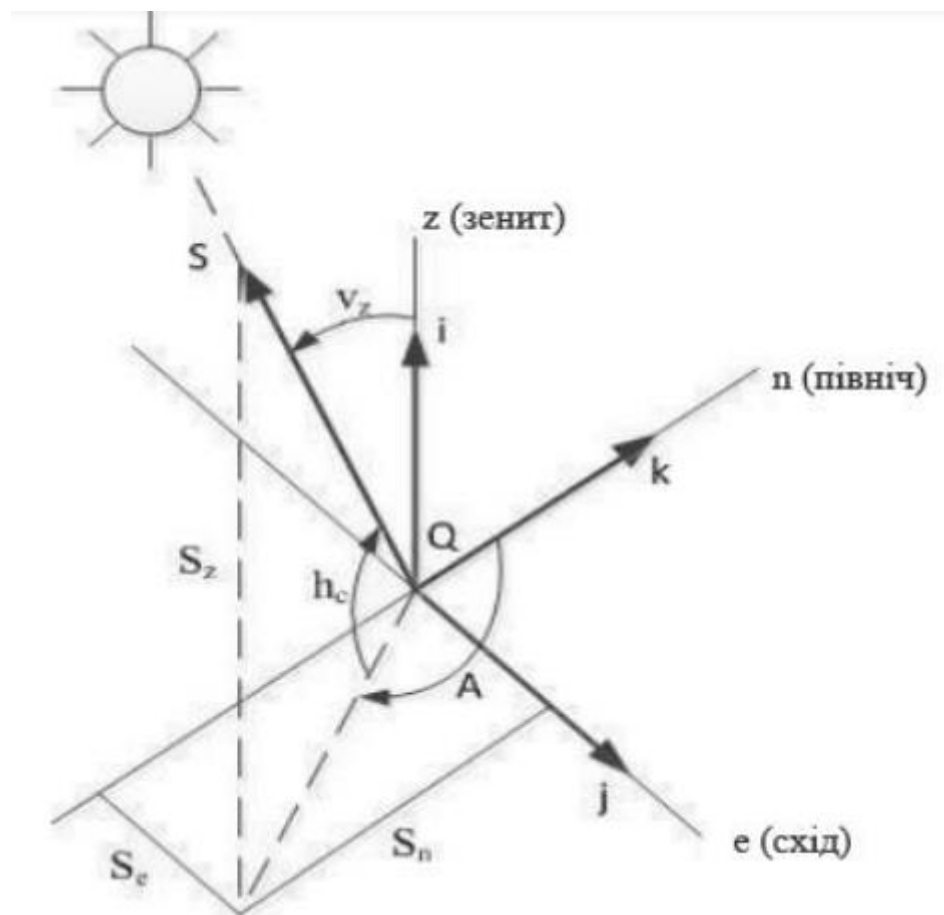


Рис. 2.8 Сонячний кут для спостерігача

У векторних позначеннях S можна записати у вигляді:

$$S = S_z + S_e j + S_n k$$

де i, j і k - одиничні вектори вздовж осей Zenіт (z), Схід (e) і Північної (n).

сонячний вектор S' може бути описаний за допомогою кута сонячного відмінювання і годинного кута.

$$S'' = S_m'i + S_e' j S_n'k$$

$$S_e = \cos(\delta) \cos(\tau)$$

$$S_e = \cos(\delta) \sin(\tau)$$

$$S_n' = \sin(\delta)$$

Топоцентричні і геоцентричні координати пов'язані між собою обертанням навколо осі e через кут широти (φ).

$$S_z \quad \cos(\theta) \quad 0 \quad \sin(\theta) \quad S_m$$

$$S_e \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad * S_e$$

$$S_n \quad -\sin(\theta) \quad 0 \quad \cos(\theta) \quad S_y$$

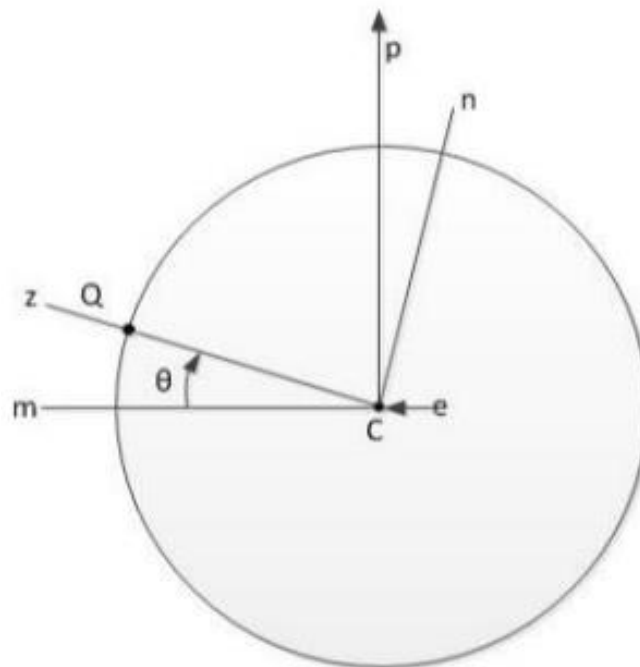


Рис. 2.10. Перетворення геоцентричних координат в топологічні

Вирішивши останнє рівняння і підставивши в попередні вирази, то отримаємо:

$$\begin{cases} \sin(h_c) = \sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\sigma) \cos(\omega) \cos(\theta) \\ \cos(h_c) \sin(A) = -\cos(\sigma) \sin(\tau) \\ \cos(h_c) \cos(A) = \sin(\sigma) \cos(\theta) - \cos(\theta) \cos(\tau) \sin(\theta) \end{cases}$$

Із системи рівнянь виводимо h_c :

$$h_c = \arcsin(\sin(\delta) \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\tau) \cos(\theta))$$

Таким чином, висота сонцестояння h_c залежить від величини нахилу Сонця δ , часового кута τ і широти місцевості θ . Широта місцевості відповідає географічному розташуванню сонячних панелей. Залишилися розрахувати дві останні величини.

Вимірюємо часовий кут:

Місцевий кут знаходиться в лінійній залежності від місцевого сонячного часу

$$\tau = 15(T_s - 12)$$

де τ - годинний кут $^\circ$, T_s - місцевий час, Різниця між середнім і істинним сонячним часом називається рівнянням часу. Різниця виникає з двох причин:

- через еліптичну орбіту Землі і нерівномірний рух по ній, з максимальною швидкістю в перигелії і з мінімальною в афелії;
- через нахил екліптики до екватора поблизу рівнодення проекція швидкості Сонця на екватор менше, ніж в період сонцестояння, коли воно рухається паралельно екватору.

Обидва відхилення мають вигляд синусоїд (рисунок 2.11.). Сума цих двох графіків є графіком рівняння часу:

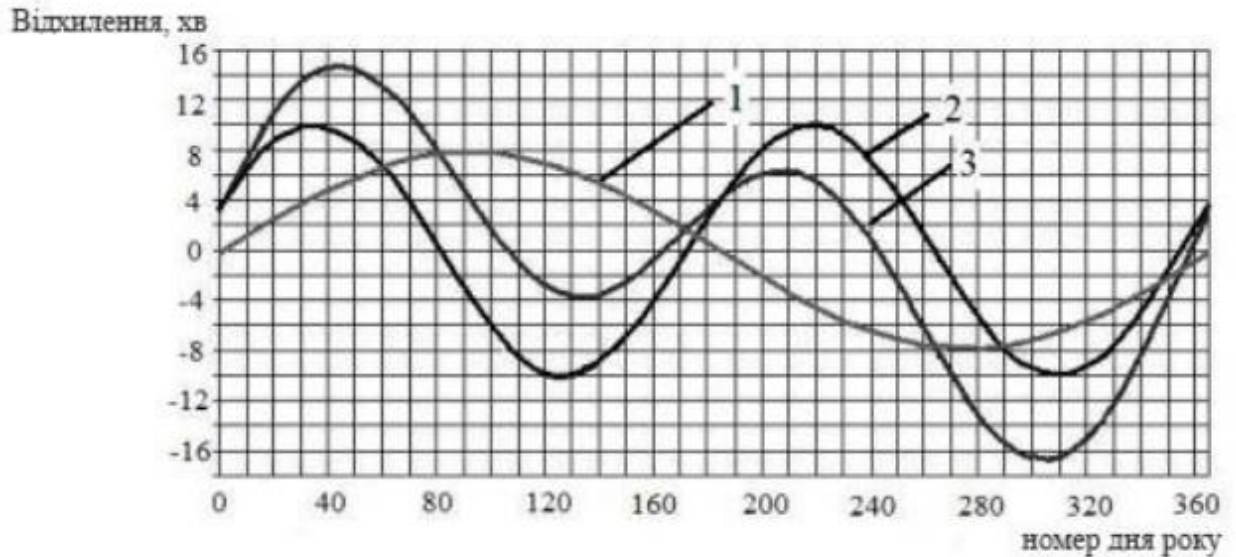


Рис. 2.11. Графіки поправок часу і рівняння часу: 1 - поправка, викликана еліптичністю земної орбіти; 2 - поправка, викликана нахилом екліптики; 3 - графік рівняння часу.

Як видно з рисунка 2.11, справжній сонячний час може зміщуватися на 17 хвилин від середнього сонячного часу.

Вираз для визначення рівняння часу EOT буде мати вигляд:

$$EOT = 60 \sum_{k=1}^6 \left[Ak * \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + Bk * \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right]$$

де n - порядковий номер в циклі високосного року (від 1 до 1461), k , A і B - константи, значення яких наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1. Значення коефіцієнтів k , A_k і B_k

k	A	B
1	$2,0870 \cdot 10^{-4}$	0
2	$9,2869 \cdot 10^{-3}$	$-1,2229 \cdot 10^{-1}$
3	$-5,2258 \cdot 10^{-2}$	$-1,5698 \cdot 10^{-1}$
4	$-1,3077 \cdot 10^{-3}$	$-5,1602 \cdot 10^{-3}$
5	$-2,1867 \cdot 10^{-3}$	$-2,9823 \cdot 10^{-3}$
6	$-1,5100 \cdot 10^{-4}$	$-2,363 \cdot 10^{-4}$

Залежність істинного значення сонячного часу і місцевого часу має вигляд:

$$T_s = T_l - \frac{EOT}{60} - P - L_c$$

де T_l - місцевий час, P - поправка на перехід на літній час ($P = 1$ після переходу на літній час, $P = 0$ після переходу на зимовий).

Таким чином, Україна, починаючи з листопада по березень має зимовий час, а з квітня по жовтень - літній.

L_c можна визначити за формулою:

$$L_c = (M. д - Д. ст.м)/15$$

де $M.Д.$ - місцева довгота, $Д.ст.м.$ - довгота стандартного меридіана

Таким чином, визначені вирази для всіх величин, що впливають на потік прямої сонячної радіації, що приходить на поверхню, розташовану під деяким кутом до цього потоку.

Визначимо формули для потоку прямої сонячної радіації, що надходить на поверхню ФМ із застосуванням одно і двохвісних систем контролю. δ , часового кута τ і широти місцевості θ .

При використанні двухосної системи контролю, поверхня сонячних панелей направлена на Сонце, отже, кут β між нормаллю поверхні і сонячними променями дорівнює 0, тоді:

$$S_r = S_{rmax} * K_{am}$$

Вираз приходить потужності сонячного випромінювання для ФМ з одноосної системою контролю матиме вигляд:

$$S_r = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c)$$

В даному випадку враховано кут нахилу поверхні до горизонту по другій осі (зазвичай кут дорівнює широті місця розташування сонячних панелей).

Розрахувати потужність сонячного випромінювання що надходить на нерухому поверхню, встановлену під кутом до горизонту, можна за формулою:

$$S_r = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) * \cos(90 - \tau)$$

Описані формули відображають залежність потужності сонячного випромінювання, що приходить на поверхню ФМ із застосуванням двухосної і одноосної системи контролю, а також на поверхню стаціонарно встановленого ФМ під кутом до горизонту.

Для оцінки ефективності систем контролю необхідно порівняти потужності сонячних панелей, вироблених із застосуванням систем контролю, з потужністю стаціонарно встановлених сонячних панелей. Для цього необхідно визначити залежність вихідної потужності сонячних панелей від потужності сонячного випромінювання, що приходить на поверхню.

Для розрахунку потужності сонячних панелей існує спосіб, при якому вироблена потужність отримується шляхом множення ККД сонячних панелей на сонячне випромінювання, яке прийшло на поверхню сонячних панелей.

$$P_{FM} = S_{rnp} * K_{KD} * S_{cn}$$

де S_{rnp} - вироблена потужність сонячних панелей;

ККД - коефіцієнт корисної дії ФМ;

$S_{сп}$ - площа сонячних панелей.

В результаті, після описання всіх формул, можна скласти математичну модель роботи сонячних панелей, працюючих напротязі дня. Ця модель може бути використана при моделюванні роботи СЕС з метою попередньої оцінки вироблюваної потужності і розрахунку необхідної кількості СП.

Для початку, обчислимо справжній сонячний час для Житомира. Для спрощення розрахунку можна скористатися таблицями, які знаходяться у вільному доступі, так як розрахунки ЕОТ не залежить від місця застосування.

Для початку, обчислимо справжній сонячний час для Житомира. Розглянемо ЕОТ для кожного місяця з січня по грудень, для розрахунків візьмемо перше число кожного місяця. Для спрощення розрахунку можна скористатися таблицями, які знаходяться у вільному доступі, так як розрахунки ЕОТ не залежить від місця застосування.

Місцевий сонячний час визначається положенням Сонця. Внаслідок того, що орбіта, якою Земля рухається навколо Сонця, не є колом, а вісь добового обертання Землі має нахил до площини орбіти (через що на Землі відбувається зміна пори року), справжній сонячний час нерівномірний. Максимальна різниця в тривалості справжньої сонячної доби протягом року становить приблизно 60 с, а відхилення часу початку доби від його середнього значення може досягати 16 хв. Це відхилення може бути одержано для будь-якого дня року з так званого рівняння часу.

Табл. 2.2 Значення ЕОТ в залежності від місяця

Місяць	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
ЕОТ	1,9	13,4	14,4	6,1	-2,4	-3,5	1,9	5,7	0,8	-9,6	-16,3	-11,7

Тоді залежність істинного значення сонячного часу і місцевого часу матиме вигляд:

$$T_s = Tl - \frac{EOT}{60} - P - Lc$$

де Tl - місцевий час,

$P = 0$ для місяців з листопада по березень, і $P = 1$ з квітня по жовтень (оскільки ми прийняли значення на перше число).

$$Lc = M.d / 15$$

Де $M.d$ - місцева довгота. Для міста Житомир місцева довгота рівна 28,39 східної довготи.

$$Lc = \frac{28.39}{15} = 1,89$$

Після проведення попередніх обрахунків, можемо розрахувати T_s для кожного місяця. Отримані значення заносимо в таблицю 2.3.

Табл. 2.3. - Значення дійсного сонячного часу в залежності від місяця

місяць	Січ.	Лют	Бер.	Квіт	Трав.	Черв	Лип.	Серп	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд
T_s	10,08	9,89	9,87	9,01	9,07	9,05	9,08	9,02	9,1	8,95	9,84	9,92

$$T_s = 12 - \frac{1.9}{60} - 1.89 = 10,08$$

$$T_s = 12 - \frac{13.4}{60} - 1.89 = 9,89$$

$$T_s = 12 - \frac{14.4}{60} - 1.89 = 9,87$$

$$T_s = 12 - \frac{6.1}{60} - 1 - 1.89 = 9,01$$

$$T_s = 12 - \frac{2.4}{60} - 1 - 1.89 = 9,07$$

$$T_s = 12 - \frac{3.5}{60} - 1 - 1.89 = 9,05$$

$$T_s = 12 - \frac{1.9}{60} - 1 - 1.89 = 9,08$$

$$T_s = 12 - \frac{5.7}{60} - 1 - 1.89 = 9,02$$

$$T_s = 12 - \frac{0.8}{60} - 1 - 1.89 = 9,1$$

$$T_s = 12 - \frac{9.6}{60} - 1 - 1.89 = 8,95$$

$$T_s = 12 - \frac{16.3}{60} - 1.89 = 9,84$$

$$T_s = 12 - \frac{11.7}{60} - 1.89 = 9,92$$

Тепер нам необхідно розрахувати місцевий годинний кут. Що знаходиться в лінійній залежності від місцевого T_s - місцевий час.

$$\tau = 15(12 - T_s)^\circ$$

Табл. 2.4 Залежність значення місцевого годинного кута від місяця

$\tau_1 = 15 * (12 - T_s) = 28.8$	$\tau_7 = 15 * (12 - T_s) = 43.8$
$\tau_2 = 15 * (12 - T_s) = 31.65$	$\tau_8 = 15 * (12 - T_s) = 44.7$
$\tau_3 = 15 * (12 - T_s) = 31.95$	$\tau_9 = 15 * (12 - T_s) = 43.5$
$\tau_4 = 15 * (12 - T_s) = 44.85$	$\tau_{10} = 15 * (12 - T_s) = 45.95$
$\tau_5 = 15 * (12 - T_s) = 43.95$	$\tau_{11} = 15 * (12 - T_s) = 32.4$
$\tau_6 = 15 * (12 - T_s) = 44.25$	$\tau_{12} = 15 * (12 - T_s) = 31.2$

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
τ°	28.8	31.65	31.95	44.85	43.95	44.25	43.8	44.7	43.5	45.95	32.4	31.2

Визначимо кут нахилу Сонця:

$$\delta = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)\right)$$

де d - порядковий номер дня в році.

Табл. 2.5 Значення кута нахилу Сонця в залежності від місяця року

$\sigma_1 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -23.217$	$\sigma_7 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = 22.953$
$\sigma_2 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -17.917$	$\sigma_8 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = 16.953$
$\sigma_3 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -8.534$	$\sigma_9 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = 5.977$
$\sigma_4 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = 4.138$	$\sigma_{10} = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -6.352$
$\sigma_5 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -15.278$	$\sigma_{11} = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -17.217$
$\sigma_6 = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = 23.347$	$\sigma_{12} = 23,5 * \sin\left(\left(\frac{365}{360}\right) * (81 - d)^\circ\right) = -22.944$

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
τ°	23,22	-17.92	-8.53	4.14	-15.28	23.35	22.95	16.95	5.98	-6.35	-17.22	-22.94

Тоді, знайдемо висоту сонцестояння hc , що залежить від величини нахилу Сонця δ , часового кута τ і широти місцевості θ . Широта місцевості відповідає географічному розташуванню ФМ.

$$hc = \arcsin(\sin(\delta) * \sin(\theta) + \cos(\delta) \cos(\tau) \cos(\theta))$$

Табл. 2.6. Значення висоти сонцестояння в залежності від місяця

$x_1 = 0.207$ $hc_1 = x_1 * \frac{180}{\pi} = 11,866$	$x_7 = 0.692$ $hc_7 = x_7 * \frac{180}{\pi} = 39,669$
$x_2 = 0.272$ $hc_2 = x_2 * \frac{180}{\pi} = 15,592$	$x_8 = 0,622$ $hc_8 = x_8 * \frac{180}{\pi} = 35,656$
$x_3 = 0,412$ $hc_3 = x_3 * \frac{180}{\pi} = 23,618$	$x_9 = 0.506$ $hc_9 = x_9 * \frac{180}{\pi} = 29,006$
$x_4 = 0,595$ $hc_4 = x_4 * \frac{180}{\pi} = 34,108$	$x_{10} = 0.367$ $hc_{10} = x_{10} * \frac{180}{\pi} = 21,038$
$x_5 = 0.605$ $hc_5 = x_5 * \frac{180}{\pi} = 34,682$	$x_{11} = 0.328$ $hc_{11} = x_{11} * \frac{180}{\pi} = 18,803$
$x_6 = 0,688$ $hc_6 = x_6 * \frac{180}{\pi} = 39,439$	$x_{12} = 0.233$ $hc_{12} = x_{12} * \frac{180}{\pi} = 13,357$

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
hc	11,866	15,592	23,618	34,108	34,682	39,439	39,669	35,656	29,006	21,038	18,803	13,357

Тепер розрахуємо $K_{ат}$ - коефіцієнт поправки на повітряну масу, яку необхідно пройти променю, щоб дістатися поверхні батареї:

$$K_{ат} = 1,1254 - (0,1366/\sin(hc))$$

Табл. 2.7. Залежність коефіцієнта поправки на повітряну масу від місяця

$K_{ат1} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.463$	$K_{ат7} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.927$
$K_{ат2} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.622$	$K_{ат8} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.904$
$K_{ат3} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.792$	$K_{ат9} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.854$
$K_{ат4} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.894$	$K_{ат10} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.753$
$K_{ат5} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.898$	$K_{ат11} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.712$
$K_{ат6} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.925$	$K_{ат12} = 1,1254 - \left(\frac{0,1366}{x} \right) = 0.536$

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
$K_{ат}$	0.463	0.622	0.792	0.894	0.898	0.925	0.927	0.904	0.854	0.753	0.712	0.536

При використанні двухосной системи контролю поверхню сонячної панелі спрямована на Сонце, отже, кут β між нормаллю поверхні і сонячними променями дорівнює 0, тоді, формула набуває вигляд:

$$S_r = S_{\text{max}} * K_{ат}$$

Табл. 2.8. Потужність для двухосной системи, залежно від місяця

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
S_r	426	574	733	828	831	857	858	837	790	697	657	496

$S_{rd1} = S_{rmax} * K_{at1} = 426,988$	$S_{rd7} = S_{rmax} * K_{at7} = 858,185$
$S_{rd2} = S_{rmax} * K_{at2} = 574,187$	$S_{rd8} = S_{rmax} * K_{at8} = 837,454$
$S_{rd3} = S_{rmax} * K_{at3} = 733,294$	$S_{rd9} = S_{rmax} * K_{at9} = 790,868$
$S_{rd4} = S_{rmax} * K_{at4} = 828,173$	$S_{rd10} = S_{rmax} * K_{at10} = 697,373$
$S_{rd5} = S_{rmax} * K_{at5} = 831,727$	$S_{rd11} = S_{rmax} * K_{at11} = 656,634$
$S_{rd6} = S_{rmax} * K_{at6} = 857,006$	$S_{rd12} = S_{rmax} * K_{at12} = 496,319$

Згідно формули для одноосной системи орієнтування:

$$S_r = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c)$$

Табл. 2.9. Залежність коефіцієнта поправки на повітряну масу від місяця

$S_{rO1} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 345.522$	$S_{rO7} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 847.981$
$S_{rO2} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 485.312$	$S_{rO8} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 816.815$
$S_{rO3} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 668.418$	$S_{rO9} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 746.525$
$S_{rO4} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 804.632$	$S_{rO10} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 622.741$
$S_{rO5} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 808.068$	$S_{rO11} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 572.385$
$S_{rO6} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 846.252$	$S_{rO12} = S_{rmax} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) = 407.023$

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
S_{rO}	346	485	668	805	808	846	848	817	747	623	572	407

Для постійно встановленої панелі:

$$S_r = S_{r_{\max}} * K_{am} * \cos(\theta - h_c) * \cos(90 - \tau)$$

Табл. 2.10. Значення потужності без системи орієнтування в залежності від місяця

$S_{rB1} = S_{r_{O1}} * \cos(90 - t_1) = 202.529$	$S_{rB8} = S_{r_{O7}} * \cos(90 - t_1) = 645,102$
$S_{rB2} = S_{r_{O2}} * \cos(90 - t_1) = 300.485$	$S_{rB9} = S_{r_{O8}} * \cos(90 - t_1) = 635,202$
$S_{rB3} = S_{r_{O3}} * \cos(90 - t_1) = 412.583$	$S_{rB10} = S_{r_{O9}} * \cos(90 - t_1) = 573,637$
$S_{rB4} = S_{r_{O4}} * \cos(90 - t_1) = 473.162$	$S_{rB11} = S_{r_{O10}} * \cos(90 - t_1) = 458,851$
$S_{rB5} = S_{r_{O5}} * \cos(90 - t_1) = 627.952$	$S_{rB12} = S_{r_{O11}} * \cos(90 - t_1) = 295,183$
$S_{rB6} = S_{r_{O6}} * \cos(90 - t_1) = 642.587$	$S_{rB13} = S_{r_{O12}} * \cos(90 - t_1) = 218,101$

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру
S_{rB}	202	300	412	473	628	642	645	635	573	459	295	218

В таблиці, наведені нижче розглянемо дані середнього місячного показника сонячної радіації в Житомирі (кВт*г / m² / день).

Табл. 2.11. Дані середнього місячного показника сонячної радіації в Житомирі

М	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру	Всього
N	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04

Порівняти розрахункові показники з безпосередніми показниками неможливо, так як розрахункові дані для конкретного часу в конкретний день, в той час як інформація в середньому за місяць, але ми можемо побачити

чітку відповідність і там, і там, рівень радіації постійно зростає, досягає максимального в липні і далі падає до кінця року.

Для того, щоб нам порівняти ефективність всіх видів систем орієнтування побудуємо таблицю розрахунків

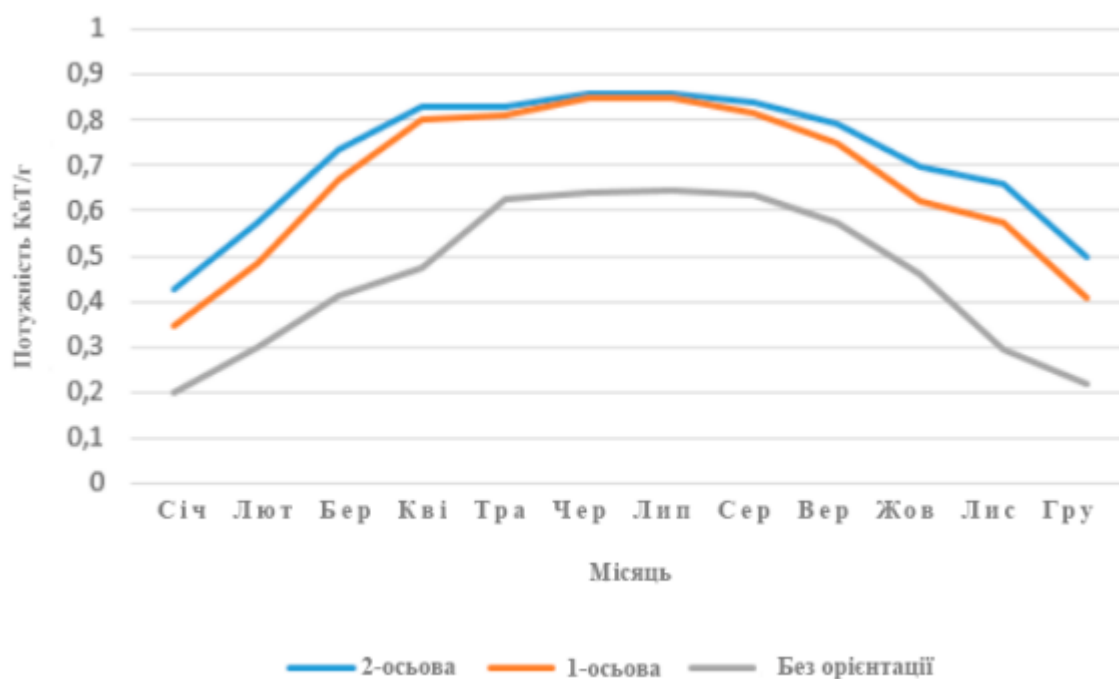


Рис. 2.12. Графік максимальної потужності на 1 м^2 в залежності від дати

2.4. Висновки до 2 розділу

Для міста Житомир було проведено розрахунок ефективності різних систем орієнтування сонячних панелей. Для цього була розрахована максимальна потужність, яку може отримати панель площею 1м, для розрахунку були обчислені висота сонцестояння, сонячний кут, часовий кут, справжній сонячний час і інші величини для даної місцевості. За рік одноосьова система орієнтування дає приріст приблизно 50 відсотків у порівнянні з панелями без орієнтування, двовісна - приблизно 60 відсотків.

3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Елементна база системи

Інвертор представляє собою пристрій, що дозволяє перетворювати постійний струм, отриманий від сонячних батарей в змінний струм.

Постійний струм, вироблений фотоелектричної установкою, може використовуватися і без перетворення, однак на практиці більшість електроприладів і централізована електрична мережа використовують змінний струм. Саме тому інвертор для сонячних батарей практично незамінний.

Мережевий (on-grid) сонячний інвертор з резервної функцією (back-up) потужністю 5 кВт InfiniSolar 5k Plus одночасно поєднує в собі такі можливості:

- Працює як звичайний мережевий сонячний інвертор. При цьому в даній моделі інвертора є 2 незалежних, МРР трекера, що дозволяє підключати до інвертору дві групи сонячних батарей з різними умовами освітленості. Наприклад, сонячні батареї з південного схилу даху на один вхід, а з північного схилу даху на інший вхід. Таким чином можна максимізувати вироблення сонячної енергії;
- Працює як джерело безперебійного живлення (ДБЖ);
- Працює як автономний інвертор;
- Працює як зарядний пристрій для акумуляторів. Зарядка може проводитися як від сонячних батарей так і від мережі;
- Дозволяє управляти джерелами електроенергії (мережа, сонячні батареї, акумулятори), які ви використовуєте в кожен момент часу;



Рис. 3. Гібридний інвертор InfiniSolar 5k Plus

Інвертор може працювати без використання акумуляторних батарей для безперервної роботи при похмурій погоді. Також InfiniSolar 5K Plus має режим мережевого інвертора при якому підключення акумуляторних батарей не обов'язково і режим в якому встановлений заборону продажу надлишків енергії в мережу. Що дозволяє побудувати гнучку систему відповідну для всіх можливих варіантів експлуатації.

Виробник трифазного мережевого (on-grid) сонячного інвертора з резервною функцією InfiniSolar 5K Plus – компанія Voltronic Power (Тайвань) - один з великих світових виробників електротехнічних товарів, в т.ч. і мережевих інверторів.

Табл. 3. Технічні характеристики інвертора

Модель	InfiniSolar Plus 5KW
Фазність 1-фаза вхід / 1-фаза вихід	1-фаза вхід / 1-фаза вихід
Макс.потужність фото-модулів 10000 W	10000 W
Ном.потужність мережевого інвертора	5000 W
Макс.потужність зарядного пристрою	4800 W
Мережеві параметри	
MPPT контролер	
Номінальний DC Вольтаж / Максимальний DC Вольтаж	720 VDC / 900 VDC
Старт / Мінімальна напруга ініціалізації	225 VDC / 250 VDC
MPP діапазон напруг	250 VDC ~ 850 VDC
Кількість входів / стрінгів	2/1 x 10 A
Вихід (AC)	
Номінальна напруга виходу	208/220/230/240 VAC
Діапазон напруги виходу	184 - 265 VAC *
Номінальний струм	21 A
Коефіцієнт потужності	> 0,99

Ефективність	
Максимальна ефективність перетворення (DC / AC)	96%
Ефективність по європейській класифікації	95%
Параметри в режимі інвертора	
Вхід (AC)	
Напр.ініціалізації / старту	120 - 140 VAC / 180 VAC
Діапазон напруги мережі	170 - 280 VAC
Максимальний вхідний струм	40 A
PV-вхід (DC)	
Максимальна напруга PV	900 VDC
Діапазон MPPT	250 VDC ~ 850 VDC
Структура трекерів MPP / струм трекера	2/1 x 10A
Режим роботи від акумулятора	
Номінальна напруга виходу	202/208/220/230/240 VAC
Форма вихідного сигналу	синусоїда
ККД (DC to AC)	93%
Батарея і зарядний пристрій	
Номінальна напруга	48 VDC

Максимальний струм заряду	Default 60A, 5A - 100A (регулюється)
Комутаційний порт	RS-232 / USB
Температура	1 to 40 ° C
Габарити ВхШхД, мм	204.2 x 460 x 600
Вага, кг	29

Акумулятор

Важливою частиною будь-якого джерела безперебійного живлення є акумуляторні батареї, саме вони запасують енергію і забезпечують роботу системи в автономному режимі, AGM акумуляторні батареї мають великий термін служби, не виділяють вибухонебезпечних газів і, як наслідок, добре підходять для систем безперебійного електропостачання. В даний час технологія AGM дозволяє виробляти акумулятори, що добре витримують глибокий розряд, що дуже важливо для автономних систем електропостачання. Гелевий акумулятор ALVA AS12-200 добре працює в буферному режимі (до 10 і навіть 15 років).

Гелеві акумуляторні батареї ALVA призначені для частого і глибокого циклу зарядки-розрядки без нанесення значної шкоди характеристикам батареї. Хоча й гелеві акумулятори на сьогоднішній день є найдорожчими з усіх можливих, але вони забезпечують найвищу якість накопичування енергії та мають велику стійкість до нагрівання, цим самим роблять процес енергозберігання ефективнішим при таких умовах.



Рис. 3.1. Гелевий акумулятор ALVA AS12-200

Табл. 3.1. Технічні характеристики акумулятора

Ємність, (А * год)	200
Напруга, (В)	12
Тип клем	болт М8
Габарити, (мм)	522x240x225
Вага. (Кг)	60

Переваги акумуляторних батарей ALVA GEL:

- тривалий термін служби - 10-15 років;
- розрахована на постійне навантаження протягом всього розряду; – моноблочне виконання;
- герметична, не потрібен постійний долив електроліта;
- швидке відновлення після глибокого розряду;
- низький саморозряд;
- можна використовувати при мінусових температурах;

Контролер заряду акумуляторів

Функції контролера:

- подача струму: більшого, ніж струм саморозряду, але меншого, ніж максимальний струм заряду (для запобігання руйнування акумулятора);
- реалізація алгоритму розряду / заряду, ефективного для даного типу акумулятора
- компенсація різниць потоків енергії при постачанні споживача енергією одночасно з зарядкою акумулятора;
- вимір температури (за допомогою термодатчика) для аварійного відключення зарядки на холоді або при перегріванні (для запобігання псуванню акумулятора);

Складність алгоритму розряду / заряду залежить від вартості зарядного пристрою. Відповідно до алгоритму виконуються:

- вимір часу з початку зарядки;
- вимір напруги і струму на вході акумулятора;
- зміна величин струму і напруги заряду в залежності від вимірних значень;
- повторення циклів розряд / заряд (для відновлення ємності акумулятора);
- заряд до 90% ємності акумулятора (для збільшення терміну служби);



Рис.3.2. Контролер заряду EPSOLAR VS3048BN

Табл. 3.2. Технічні характеристики контролера

Бренд	EPsolar
Тип	ШИМ
Напруга АКБ	12/24/36 / 48В автовибір
Модель	VS3048BN
Номінальний зарядний струм АКБ	30А
Максимальна напруга АКБ	64В
Власне споживання	15mA (12V); 10mA (24V); 9mA (36V); 8mA (48V)
Розміри	201x109x59
Вага	0,9 кг
Робочі температури	25С + 55С
Ступінь захисту	IP30
Перетин кабелю, що підключається 35 мм ²	35 мм ²

3.2. Вимірювальні засоби



Рис. 3.3. Датчик опромінювання

Датчиком для визначення позиції Сонця використовуються чотири сонячні фотоелементи.

Загальний алгоритм роботи полягає у обробці даних з фотоелементів датчика за допомогою АЦП.

Маємо 4 фотоелементи, тобто 4 свідчення, за ними знаходимо середнє свідчення по горизонталі – вісь X , аналогічно по вертикалі – вісь Y .

Важливо, щоб закріплені фотоелементи мали поділ світла для кожного з чотирьох елементів.

Якщо різниця по осі X між лівим і правим фотоелементом «не врівноважені», здійснюємо поворот у бік з великим значенням. Аналогічно для вертикалі, по осі Y .

Індивідуальними налаштуваннями в меню користувача можна встановити потрібну чутливість спрацьовування та період руху панелі.

Основний режим відстеження.

Поворот та нахил панелей виконується за допомогою приводів M1 – M2.

Принцип такий за допомогою електромотора M1 підтримується баланс освітленості сонячними променями фотоелементів x_0, x_1 . Обмеження повороту (руху) осі X, датчики d_{X0}, d_{X1} .

За допомогою електромотора M2 підтримується баланс освітленості сонячними променями фотоелементів y_2, y_3 . Обмеження повороту (руху) по осі, датчики d_{Y2}, d_{Y3} .

Черговість та розташування датчиків має бути як на рис.3.4.

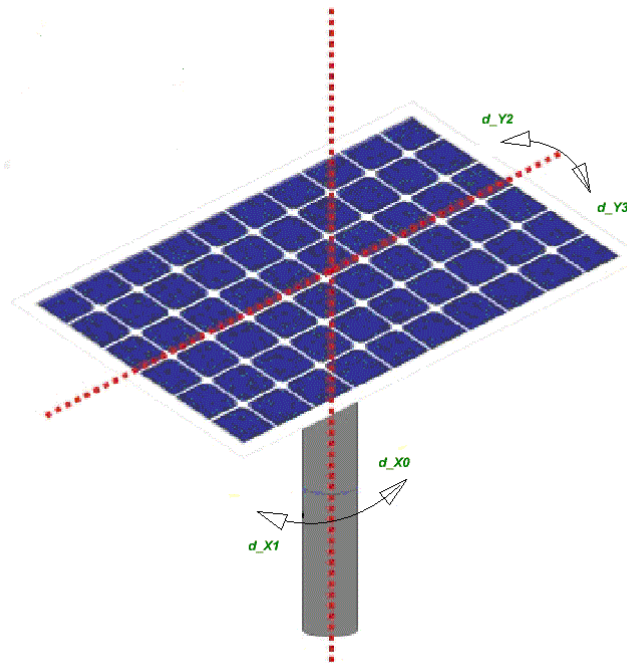


Рис. 3.4. Принцип роботи панелі

Включення двигунів M1 - M2 управляється програмно і окремо один від одного, два приводи ніколи не включаються одночасно.

Цим досягається зменшення струмового навантаження на блок живлення двома двигунами одночасно, це виключення одночасного включення двигунів по осі X і Y передбачено програмно. Контроль перевищення споживаної

потужності за вбудованим амперметром. Програмне налаштування PWM макс. потужності для приводу кожної осі.

Також у програмі передбачено, що один привід по осі X або Y не може працювати більш ніж 10 хвилин без вимкнення, якщо при роботі приводу буде перевищено 10 хвилин безперервної роботи, програмний таймер відключить цей двигун на 10 хвилин паузи.

У програмі передбачена можливість роботи трекера тільки по одній осі X або Y, ці варіанти можливі на вибір користувача.

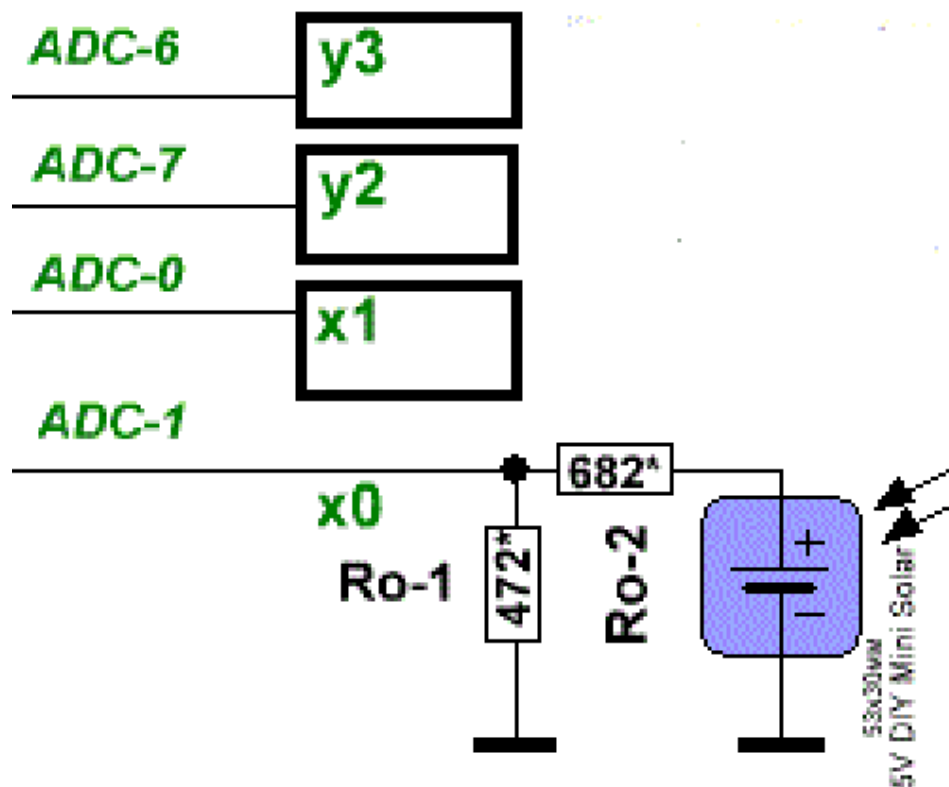


Рис. 3.5. Підключення фотоелементів

3.3. Датчик положення

Це цифровий однополярний датчик, що працює на ефекті Холла, суть якого полягає в тому, що при розміщенні в магнітне поле деякого провідника з постійним струмом, в цьому провіднику виникає поперечна різниця потенціалів. Також називає холлівською напругою. Живлення 4,5 – 24В.



Рис. 3.6. Датчик Холла

Перемикачі на ефекті Холла є монолітними інтегральними схемами з більш суворі магнітні специфікації, призначені для безперервної роботи розширені температури до $+150^{\circ}\text{C}$ і більш стабільні з обома зміни температури та напруги живлення.

Характеристики:

- Висока температурна стабільність може використовуватися в автомобільній індустрії.
- Тип датчика: уніполярний (низький стан виходу відповідає прикладеному південному полюсу магніту, високий - видалення магніту; на північний полюс датчики не реагують)
- Робоча напруга 4,5 – 24 В
- Цифровий вихід 25 мА, сумісний із цифровою логікою
- Захист від переплюсування живлення
- Працює з малими магнітами
- Висока надійність
- Мінімальний розмір
- Розпінування: перший вхід: (+) живлення, другий: (-) живлення, третій: сигнальний (відкритий колектор)

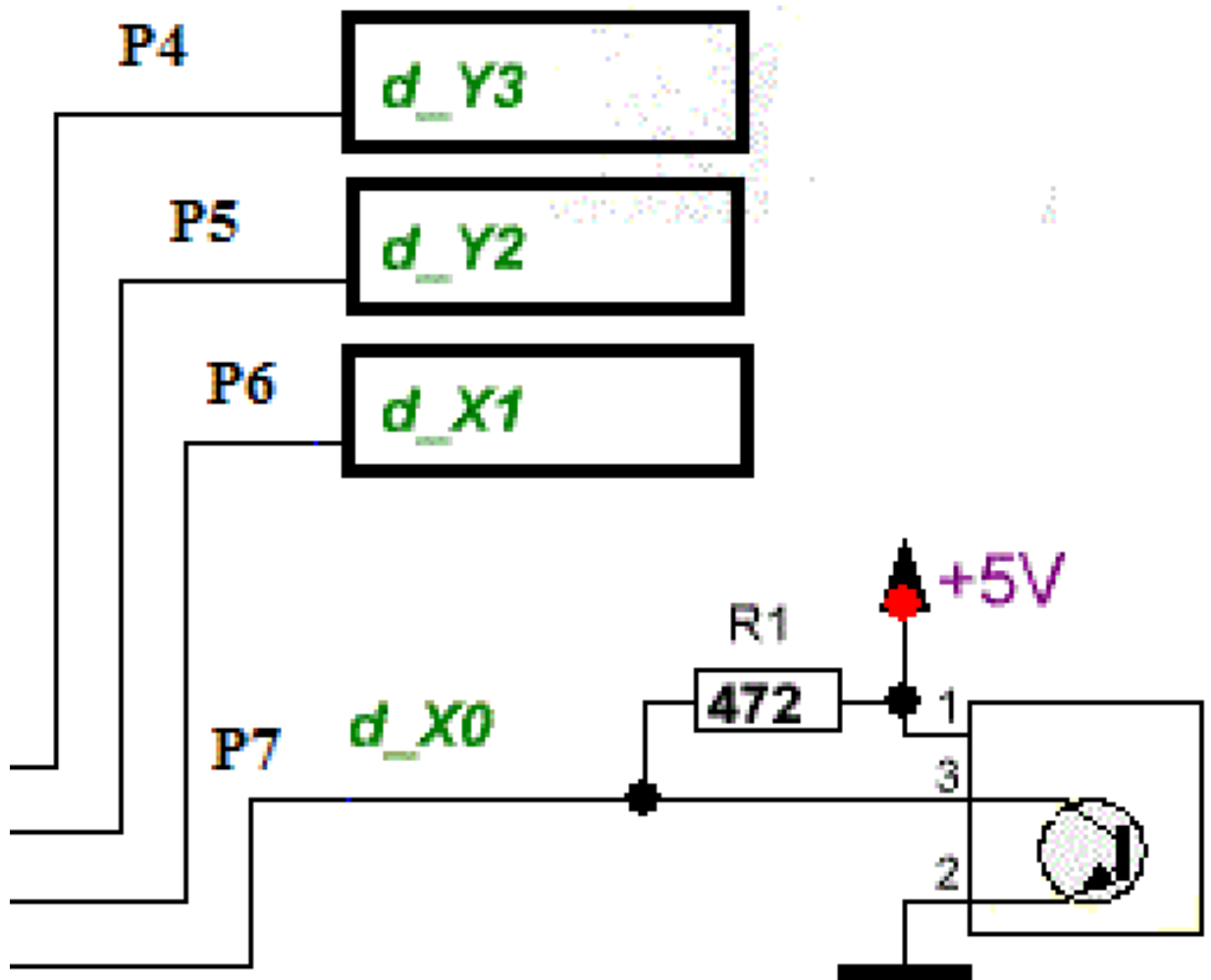


Рис. 3.7. Підключення датчиків Холла

3.4. Програмований контроллер

Мікроконтролер ATМega328P є 8-ми розрядним CMOS мікро контролером з низьким енергоспоживанням, заснованим на вдосконаленій AVR RISC архітектурі.

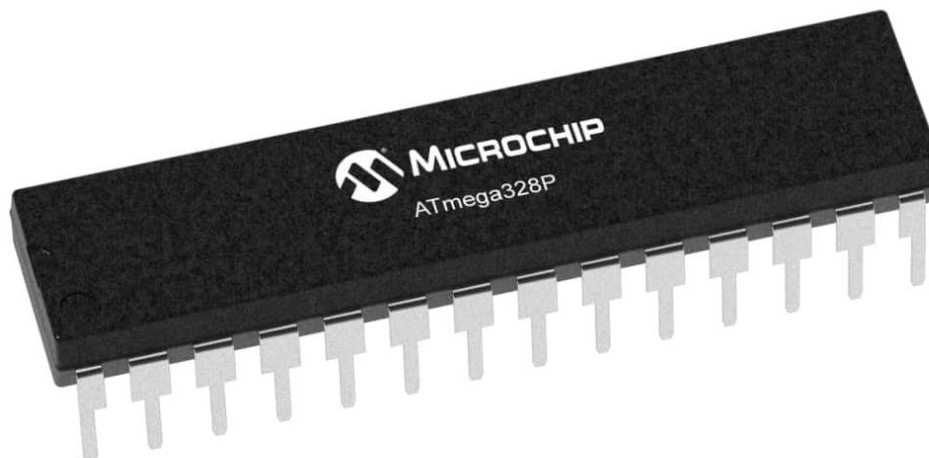


Рис. 3.8. Мікроконтролер

ATmega328 / P - мікроконтролер сімейства AVR, як і всі інші має 8-бітний процесор і дозволяє виконувати більшість команд за один такт.

Пам'ять:

- 32 kB Flash (пам'ять програм, яка має можливість самопрограмування)
- 2 kB ОЗУ
- 1 kB EEPROM (постійна пам'ять даних)

Периферійні пристрої:

- Два 8-бітні таймери/лічильники з модулями порівняння та дільниками частоти
- 16-бітний таймер/лічильник з модулем порівняння та дільником частоти, а також з режимом запису
- Лічильник реального часу з окремим генератором
- Шість каналів PWM (аналог ЦАП)
- 6-канальний ЦАП із вбудованим датчиком температури
- Програмований послідовний порт USART
- Послідовний інтерфейс SPI
- Інтерфейс I2C

- Програмований сторожовий таймер з окремим внутрішнім генератором
- Внутрішня схема порівняння напруг

Спеціальні функції мікроконтролера:

- Скидання при включенні живлення та програмне розпізнавання зниження напруги живлення
- Внутрішній генератор тактових імпульсів, що калібрується.
- Обробка внутрішніх та зовнішніх переривань
- 6 режимів сну (знижене енергоспоживання та зниження шумів для більш точного перетворення АЦП)

Напруги живлення та швидкість процесора:

- 1.8 - 5.5 при частоті до 4 МГц
- 2.7 - 5.5 при частоті до 10 МГц
- 4.5 - 5.5 при частоті до 20 МГц

Блок обробки переривань та пробудження при зміні напруги на висновках мікроконтролера. Типова схема включення будь-якого мікроконтролера містить низку компонентів та ланцюгів, що забезпечують його нормальне функціонування. Сукупність цих компонентів називається обов'язкою мікроконтролера. Дана публікація присвячена функціям обов'язування та її особливостям у разі використання AVR мікроконтролера ATmega328P.

Ядро AVR поєднує багатий набір інструкцій із 32 робочими регістрами загального призначення. Всі 32 регістри безпосередньо підключені до арифметично-логічного пристрою (ALU), що дозволяє використовувати два незалежних регістри, доступ до яких здійснюється за допомогою однієї інструкції, що виконується за один такт. Отримана архітектура є більш ефективною для коду та забезпечує пропускну здатність до десяти разів швидшу, ніж звичайні мікроконтролери CISC.

ATmega48PA/88PA/168PA/328P забезпечує наступні функції: 4K/8K байт внутрішньосистемного програмована флеш-пам'ять з можливостями читання під час запису, 256/512/512/1 Кбайт EEPROM, 512/1K/1K/2K байт SRAM, 23 лінії введення/виведення загального призначення, 32 робочих регістра загального

призначення, три гнучких таймера/лічильника з режимами порівняння, внутрішні та зовнішні переривання, послідовний програмований USART, байт-орієнтований 2-провідний послідовний інтерфейс, послідовний порт SPI, 6-канальний 10-бітний ADC (8 каналів у корпусах TQFP і QFN/MLF), програмований сторожовий таймер з внутрішній генератор і п'ять програмних режимів енергозбереження. Режим очікування зупиняє ЦП, дозволяючи SRAM, таймер/лічильники, USART, 2-провідний послідовний інтерфейс, порт SPI та перервати систему для продовження роботи. Режим вимкнення зберігає вміст реєстру, але зависає осцилятор, вимикаючи всі інші функції мікросхеми до наступного переривання або апаратного скидання.

У режимі енергозбереження асинхронний таймер продовжує працювати, дозволяючи користувачеві підтримувати а базу таймера, поки інша частина пристрою перебуває в режимі сну. Режим шумозаглушення ADC зупиняє Центральний процесор і всі модулі вводу/виводу, крім асинхронного таймера та АЦП, для мінімізації шуму перемикавання під час перетворення АЦП. У режимі очікування кварцевий/резонаторний осцилятор працює, поки відпочиває пристрою перебуває в режимі сну. Це забезпечує дуже швидкий запуск у поєднанні з низьким енергоспоживанням.

Пристрій виготовлено за технологією високої щільності енергонезалежної пам'яті Atmel. The Вбудований ISP Flash дозволяє перепрограмувати програмну пам'ять у системі через SPI послідовний інтерфейс, за допомогою звичайного програматора енергонезалежної пам'яті або за допомогою вбудованої програми завантаження, що працює на ядрі AVR.

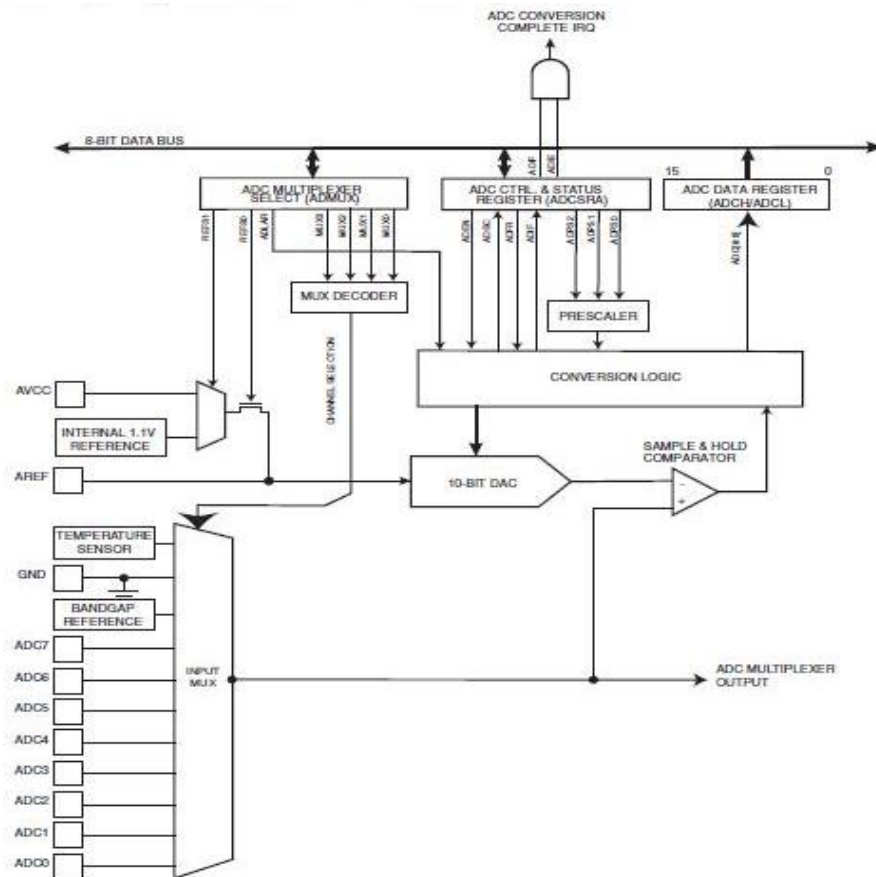


Рис.3.9. Функціональна схема вбудованого аналого-цифрового перетворювача

Програма завантаження може використовувати будь-який інтерфейс для завантаження прикладну програму у флеш-пам'яті програми. Програмне забезпечення в розділі Boot Flash буде продовжувати працювати, доки оновлено розділ Application Flash, забезпечуючи справжнє читання під час запису операція. Завдяки поєднанню 8-розрядного процесора RISC із внутрішньосистемною самопрограмованою флеш-пам'яттю на монолітний чіп, Atmel ATmega48PA/88PA/168PA/328P є потужним мікроконтролером, який надає дуже гнучке та економічно ефективне рішення для багатьох вбудованих програм керування.

Перш ніж розпочати розгляд обов'язки ATmega328P потрібно навести опис його висновків. Коли ми працюємо з платами Ардуїно, то не замислюємося про відповідність фізичних висновків мікроконтролера використуванним у IDE Arduino позначенням. Коли ж йдеться про окремий мікроконтролер, то потрібно мати його розпінування.

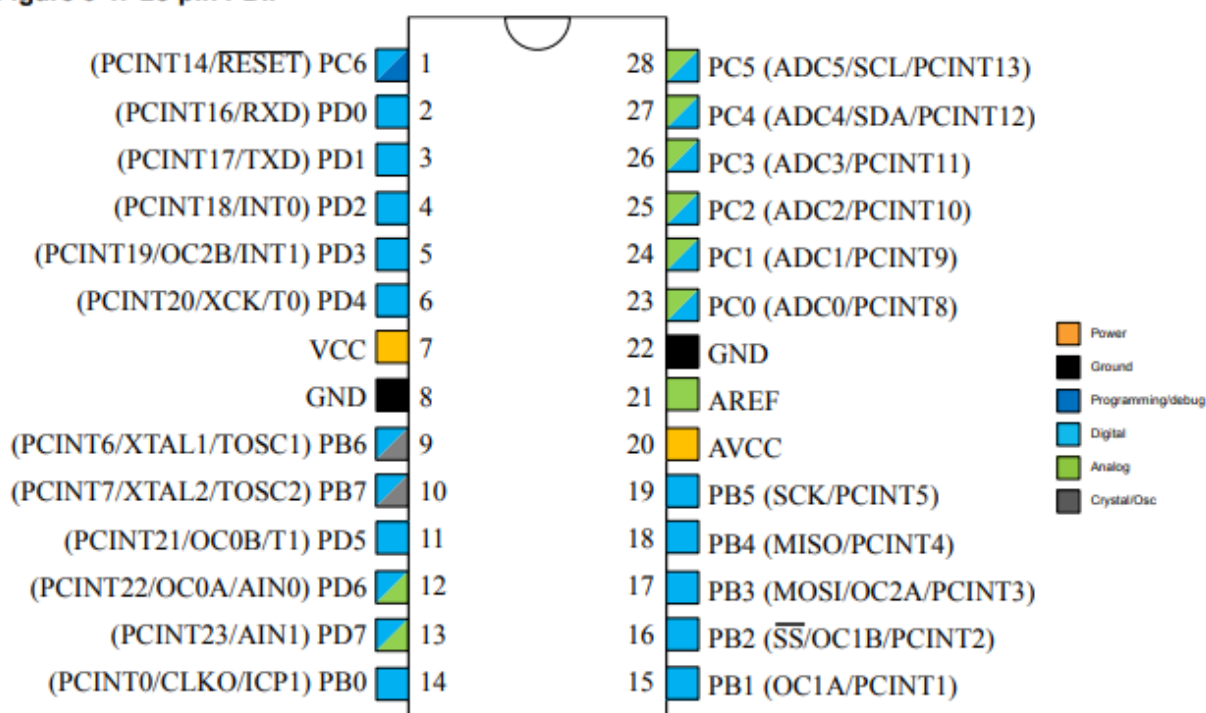


Рис. 3.10. Розпінування мікроконтролера

Напруга живлення подається на висновки мікроконтролера VCC та GND і не повинна перевищувати значення, вказаного у технічній документації. Для ATmega328P верхня межа напруги живлення становить 5,5В, абсолютний максимум - 6В, тривала робота при такій напрузі може вивести мікроконтролер з ладу.

Для придушення високочастотних перешкод у ланцюгах живлення рекомендується встановлювати керамічний конденсатор ємністю 0.1мкФ між VCC та GND. Причому розташовуватися він повинен якомога ближче до живильних висновків мікроконтролера для мінімізації паразитної індуктивності та опору провідників, що підводять.

ATmega328P має подвійне живлення: висновки VCC та GND (висновки 7 та 8) використовуються для живлення цифрових схем мікроконтролера; AVCC та GND - для живлення аналого-цифрового перетворювача. Навіть якщо ви не збираєтеся використовувати АЦП, до нього має бути підведене живлення: з'єднайте висновки VCC з AVCC, а цифрову землю з аналоговою. Якщо ж ви плануєте використовувати АЦП, то ланцюг живлення слід додати фільтр для зменшення перешкод. Так в датасіті рекомендується з'єднати AVCC з VCC

через індуктивність 10мкГн і з GND через ємність 0.1мкФ . Однак ця рекомендація не виконується навіть у платах Ардуїно і виведення AVCC на них просто з'єднане з VCC.

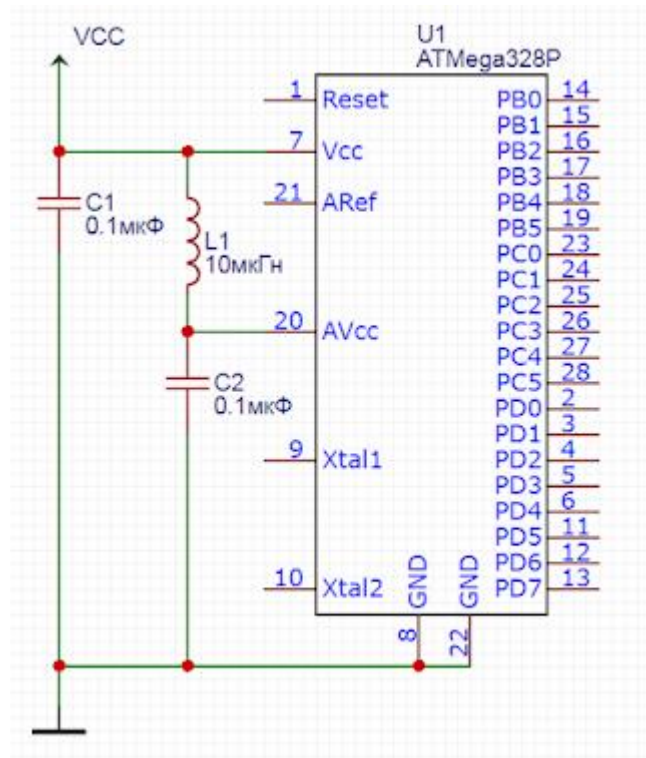


Рис.3.11.Схема підключення живлення ATmega328P при використанні вбудованого АЦП

Висновок Reset використовується для створення сигналу скидання мікроконтролера. Під час скидання всі регістри введення-виведення приймають свої початкові значення та виконується команда, розташована у векторі скидання (за нульовою адресою). Як правило, це перехід на адресу початку програми. Але, якщо програма користувача не використовує переривання, то вона може розташовуватися відразу з нульової адреси.

Обв'язка для попередніх моделей мікроконтролерів обов'язково включала схему початкового скидання, що складається з резистора і конденсатора, яка забезпечувала поступове наростання сигналу на вході Reset при включенні живлення. Таким чином здійснювалося початкове скидання мікроконтролера. Зараз схема початкового скидання (Power-on-Reset) присутня, мабуть, у кожному сучасному мікроконтролері. Зовнішній ланцюг може бути потрібним

за наявності особливих вимог до тривалості імпульсу скидання (у разі повільного наростання напруги живлення).

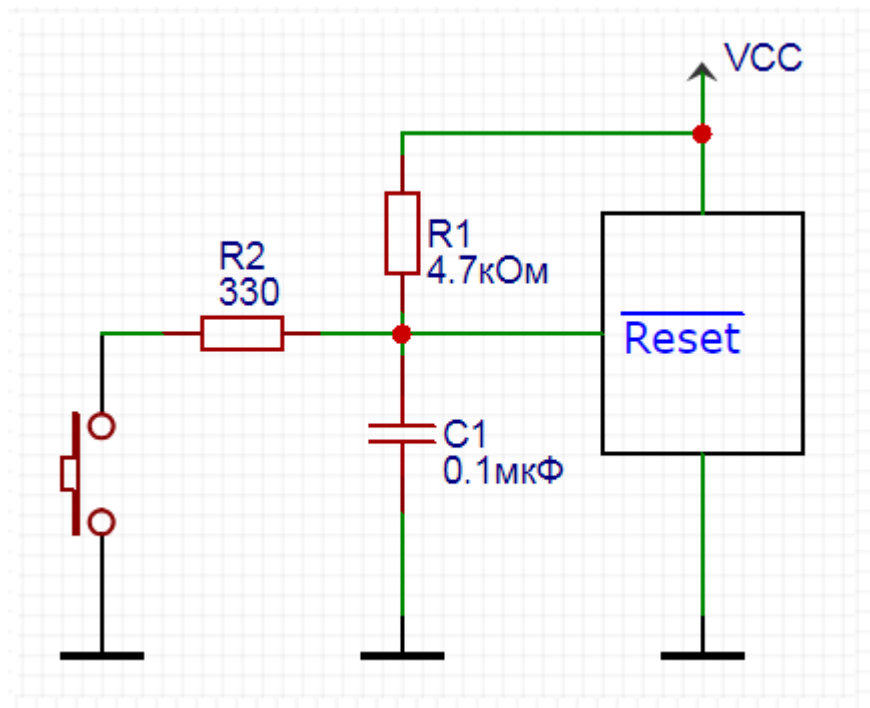


Рис. 3.12. Схема скидання мікроконтролера

Якщо для захисту від випадкового скидання мікроконтролера вхід Reset підтягується до живлення (вбудованим резистором або зовнішнім для сильнішої підтяжки), для скидання при натисканні на кнопку він повинен замикатися на землю. Додається кнопка між входом Reset та Землею. Якщо обов'язка виведення Reset містить конденсатор як у наведеній вище схемі, то для запобігання його закорочування через кнопку (що може призвести до виникнення перешкод) розробники з Microchip рекомендують додавати в схему резистор порядку 330 Ом.

Пристрій виведення інформації

Графічний РК-дисплей, прообразом якого є екран від телефону Nokia5110. Керується по послідовному інтерфейсу SPI і дозволяє відображати найпростішу графіку та до 70 буквено-цифрових символів. Дисплей виготовлений на основі РКІ-контролера фірми Philips PCD8544.



Рис.3.13. Зовнішній вигляд пристрою



Рис.3.14. Вид зі зворотного боку

Основні характеристики:

- Роздільна здатність дисплея 84 x 48 пікселів
- Розмір робочого поля 31 x 19 мм
- крок пікселів 0,38 мм
- підсвічування світло-блакитне
- РКІ контролер PCD8544
- напруга живлення "Vcc" 2,7V ... 3,3V
- Струм споживання дисплея менше 5mA
- Струм споживання підсвічування до 10mA
- Розмір модуля 43 x 45мм
- Робоча температура від 0 до +50

Для зовнішніх підключень модуль має 8 виводів:

RST RESET - Скидання контролера

CE Chip Enable - Роздільна здатність запису

DC Data/Command -- Вибір даних/команда

DIN Data Input - Вхідні бітові дані для запису

CLK Clock - Побітне тактування

VCC -- Плюс живлення 2,7v ... 3,3v

BL Black Light -- підсвічування

GND -- Загальний мінус живлення та підсвічування

Для живлення необхідно використовувати лінію 3,3V, яка є у більшості Arduinoконтролерів. Висновок BL – підсвічування підключається до плюсу живлення безпосередньо або для зменшення яскравості через резистор номіналом десятки-сотні Ом. Інші цифрові лінії можуть бути підключені до будь-яких портів мікроконтролера, причому живлення самого контролера може бути як 3,3V, так і 5V - входи дисплея толерантні до напруги 5V.

8-бітний розширювач введення-виводу

Мікросхема PCF8574T в SMD корпусі - розширювач портів введення-виводу на 8 каналів з керуванням I2C інтерфейсом. Застосовується для збільшення кількості входів/виходів мікроконтролерів, підключення I2C периферії на кшталт дисплеїв та індикаторів.

Завдяки можливості вибору однієї з восьми можливих адрес на шині I2C кілька чіпів PCF8574T можуть підключатися паралельно, що дозволить отримати 16, 24, 32 або більше висновків, використовуючи тільки два дроти для керування.



Рис. 3.15. PCF8574T

Характеристики:

Модель: PCF8574T

Напруга живлення: 2.5...6V

Вихідний струм максимальний (низький рівень – лог "0"): 50 мА

Вихідний струм максимальний (високий рівень – лог "1"): -4 мА

Тип корпусу: SMD (SOIC-16)

Діапазон робочих температур; -40°C +85°C

Розпінування зсувного регістру PCF8574T:

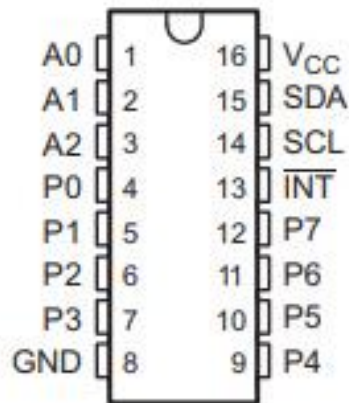


Рис. 3.16. Розпінування

Операційний підсилювач

The Microchip Technology Inc. MCP601/1R/2/3/4 сімейство операційних підсилювачів малої потужності (ОП) пропонуються одинарні (MCP601), одинарні з Chip Select(CS) (MCP603), подвійний (MCP602) і квадроцикл (MCP604) конфігурації. У цих операційних підсилювачах використовується передовий технологія CMOS, яка забезпечує низький струм зміщення, високу швидкість роботи, високий коефіцієнт підсилення при розімкнутому контурі та шина-рейка вихідний розмах. Ця пропозиція продукту працює з а одиночна напруга живлення, яка може становити лише 2,7 В споживання 230 мкА (типове) струму спокою на підсилювач. Крім того, синфазний вхідна напруга діапазон опускається на 0,3 В нижче землі, роблячи ці підсилювачі, ідеальні для роботи з одним джерелом живлення.



Рис. 3.17. Операційний підсилювач

Ці пристрої підходять для малої потужності, батареї керованих ланцюгів завдяки малому струму спокою, для підсилювачі драйверів аналого-цифрового перетворення через їхню ширину смуги пропускання або для фільтрів згладжування через їх низький рівень вхідний струм зміщення.

MCP601, MCP602 і MCP603 доступні в стандартні 8-вивідні пакети PDIP, SOIC і TSSOP. MCP601 і MCP601R також доступні в а стандартний 5-вивідний корпус SOT-23, тоді як MCP603 є доступний у стандартному 6-вивідному корпусі SOT-23. The MCP604 пропонується у стандартному 14-вивідному PDIP, SOIC, і пакети ЦСОП.

Модуль часу

Модуль годинника реального часу DS1307 RTC зібраний на підставі двох мікросхем: DS1307 (годинник реального часу) і AT24C32 (EEPROM на 32K bit пам'ять). На цьому модулі передбачено підключення датчика температури DALLAS 18B20 (датчик у комплекті не йде).

Чіп енергонезалежної пам'яті EEPROM дозволяє зберігати дані, отримані від сенсора локально на модулі, без необхідності постійно смикати мікроконтролер. Інтерфейс до датчика DS18B20 з резистором, що підтягує, дозволяє додати до вашого проекту моніторинг температури.

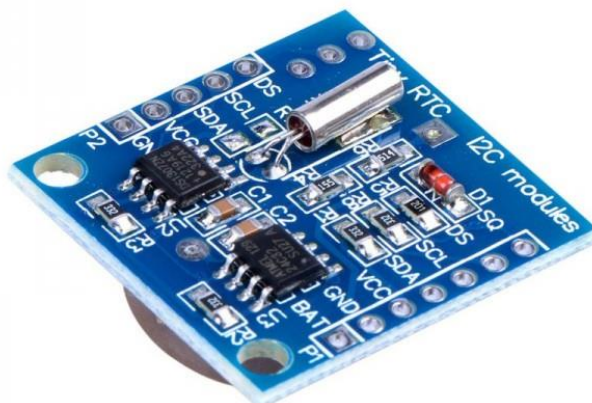


Рис. 3.18. Модуль часу

ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Підключення: I2C інтерфейс
- Облік високосних років: так
- Календар: до 2100 року
- Є 1Гц вивід
- Енергонезалежна пам'ять: 32K bit
- Розміри: 28 x 25 x 8 мм

Радіочастотний модуль

Модуль RF приймача 433МГц. Має досить низьке енергоспоживання (5V @ 433.92М, ~ 3,8 mA 6mA), високою чутливістю модуля радіоприймача. Немає взаємних перешкод від самого передавача на приймачі. Поставляється зі схемою декодування.

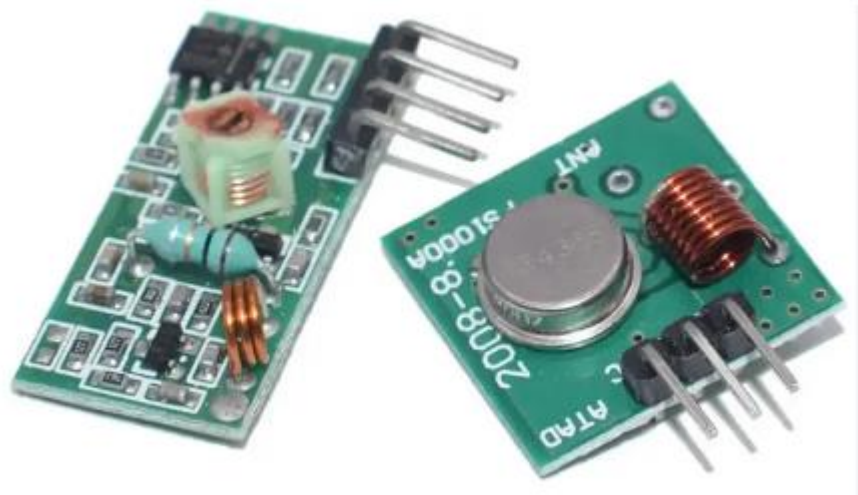


Рис. 3.19. Радіочастотний модуль

Модулювання ASK. Діапазон вхідної напруги складає 3.3V ~ 5.0V. Розробники можуть легко розробити функцію бездротового зв'язку через цей модуль.

Характеристики:

- Робоча частота: 433 МГц

- Тип харчування: постійний
- Кількість входів: 1
- Кількість виходів: 1
- Рекомендована температура експлуатації: -15...+60 °C
- Напруга живлення приймача: 5 ст.
- Напруга живлення передавача: 12 ст.
- Дальність дії: до 100 м-коду.

3.5. Засоби введення-виведення

У режимі основного відстеження чотири команди управління, кнопки А В, С і D відповідно.

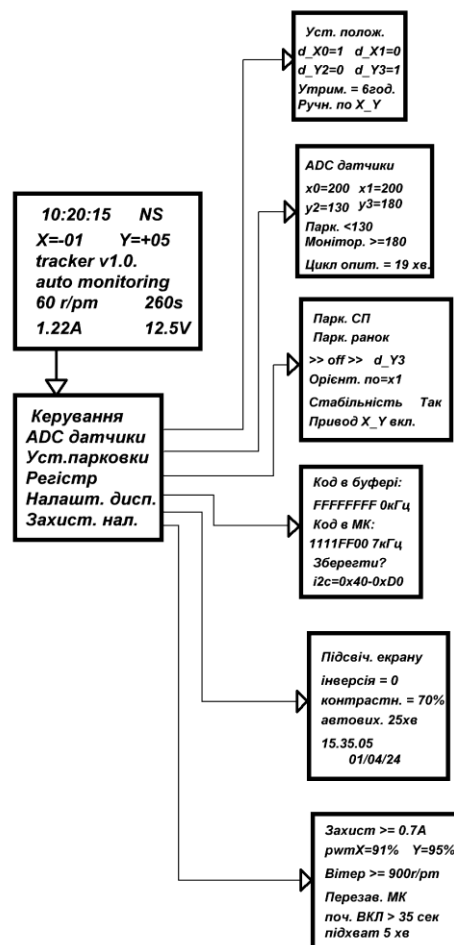


Рис. 3.20. Меню введення та виведення значень

2.1.1) Кнопка "В", умовно це положення можна називати як "О" або положення схід**.

Незалежно від даних датчиків освітленості Х-У, трекер повертає панель в крайню точку осі Х , де відбувається спрацювання кінцевого датчика d_X0 (зміни положення осі У, при цій команді не відбувається).

Цей напрямок панелі відповідає ранковому сходу сонця.

2.1.2) Кнопка «D».

Ця команда встановлює панель у крайні положення, вибраним користувачем меню.

(У меню вибору слід зазначити, у яке положення по датчикам d_X0, d_X1, або d_Y2, d_Y3 відбутися установка панелі, значення датчикам присвоюється 0 чи 1 (0= не повертати до датчика, 1= повертати панель до спрацювання датчика).

Наприклад: при команді №2.1.2 установки значень d_X0=0, d_X1=1 і d_Y2=0, d_Y3=1 панель прийме крайні положення щодо датчиків d_X1 і d_Y3 по осі Х-У.

Або, ще варіант, при встановлених значеннях d_X0=0, d_X1=1 і d_Y2=0, d_Y3=0 , панель прийме крайні положення щодо датчика d_X1 по осі Х. По осі панель зміщена не буде так як ми задали значення датчикам d_Y2= 0, d_Y3 = 0.

2.1.3) Кнопка "А". Автоматичне стеження.

При цій команді скасовуються дії команд 2.1.1, 2.1.2 та 2.1.4, робота програми переводиться в основний режим відстеження за п.1.1.

2.1.4) Кнопка "С", "Стоп" (зупинка приводів).

Команда зупиняє рух приводів осями Х-У. Параметр зберігається в .еер МК, скидання цієї команди можливе лише командою див.п. 2.1.3

Також за допомогою пульта можна робити ручний поворот і нахил панелі по осі X-Y, за допомогою електроприводів M1 – M2.

Для цього, коли трекер перебуває в режимі основного відстеження, на пульті Д/У затиснути одночасно кнопки В та С, програма перейде в режим ручного керування M1 – M2, див. п.3.1.3.

У цьому режимі при одноразовому натисканні на кнопки А, В, С або D, електроприводи панелі будуть повертати панель у потрібне положення (рух буде здійснюватися не далі, ніж це допускають датчики d_X0, d_X1, або d_Y2, d_Y3).

Вихід з режиму ручного управління Д/У здійснюється одночасним затисканням двох кнопок А і D.

2.3.1) У режимі основного відстеження (див. 1.1).

При утриманні Кн2 (більше 3х сек.) відбувається вхід у меню налаштувань користувача (див.п.3).

Короткочасним натисканням, Кн1 викликає перегляд статистика ранкових чи вечірніх парковок (працює, якщо дотримання умови п.3.4.4).

Короткочасне натискання Кн3 , робить ручне скидання програмних захистів, що спрацювали, таких як див.п.1.1.3 і 3.6.1.

Тривале утримання Кн3 разово активує (див.п.1.1) підстроювання СП найбільш освітлений напрямок (скидаються умови п.3.2.4).

2.3.2) Кнопки Кн1, Кн2, Кн3, в меню налаштувань користувача.

Кнопка Кн2 , коротке натискання – рух за пунктами та параметрами меню налаштувань, довге натискання – повернення до попереднього пункту меню, до основного режиму п.1.1

Кн1 та Кн3 зміна параметрів налаштувань у меню користувача.

Основні властивості програми переважно відображені в пунктах меню, саме налаштування деяких пунктів меню, дозволить кожному користувачеві пристосувати цю програму до своїх умов.

3.1.1) За допомогою налаштування значень 3.1.1, користувач може вручну встановити СП (сонячну панель) відповідно до розташування датчиків у найбільш захищене положення за несприятливих погодних умов.

Також це налаштування буде використано автоматично, за перевищенням показань тахометра (див.п.3.6.3).

3.1.2) Налаштування часу ручного утримання СП у заданому положенні при керуванні пультом (див. опис команд Д/У 2.1.1 та 2.1.2).

3.1.3) Пункт переходу в меню ручного дистанційного керування, в даному меню керування, нагадує керування джойстика в чотири напрямки. У режим ручного керування можна увійти і дистанційно див. стеження.

3.2.1) Відображення показань по кожному елементу датчиків (елементи x_0 , x_1 , y_2 , y_3), показання використовуються тільки для вивчення властивостей балансу освітленості датчика спрямованого на сонце, іншого призначення ця інформація не має (показометр).

3.2.2) Програмне встановлення порога мінімального освітлення, параметр має значення тільки для функції «вечірня» або «ранкова» паркування (взаємозв'язок з пунктами 3.3.1 та 3.3.2).

3.2.3) Програмне встановлення загального порогу освітленості для фотоелементів x_0 , x_1 , y_2 , y_3 , коли якийсь із фотоелементів x_0 , x_1 , y_2 , y_3 , буде освітлений вище встановленого порогу, програма отримує дозвіл приступити до автоматичного режиму основного відстеження п.1.1. .

3.2.4) Рух панелі можна «розбити» на тимчасові цикли, після того як панель встановлюється в баланс наведення на сонці, починається відлік паузи

встановленої в цьому пункті від 1 до 99 хвилин, таким чином виходить як би «кроковий» режим руху стеження за Сонцем.

3.3.1) Варіанти вечірнього та ранкового паркування.

Варіант "0" паркування немає.

Варіант №1 паркування може бути поетапним, ввечері до одного з датчиків d_X0, d_X1, d_Y2, d_Y3, вранці до будь-якого іншого, off – паркування немає.

Варіант №2, коли паркування буде зроблено до двох із датчиків d_X0, d_X1, d_Y2, d_Y3, вранці або ввечері за одну дію, off – паркування до датчика немає.

3.3.2) Вибір датчиків куди припаркується СП, за варіантами п.3.3.1 або якщо вибрано off, автоматичного паркування не буде.

3.3.3) Користувач сам вибирає найбільш вигідний фотоелемент, що бере участь у автоматичному визначенні часу паркування, наприклад, у моєму використанні це у2 (тут важливіше вибрати правильний поріг освітленості в пункті 3.2.2).

3.3.4) Стабілізація стеження установки СП на сонці.

"ТАК" програмна стабілізація включена. Якщо вибір «НІ», то вимкнено.

3.3.5) Можливість програмно відключити один із приводів M1 - M2 по осі X або Y, даний варіант може бути використаний тим, хто використовує стеження трекером наприклад тільки по осі X, це може бути в тому випадку коли хтось вважає недоцільним налаштування положення по осі Y.

3.4.1) Реєстрація пульта управління, для роботи з даною програмою трекера, в даних рядках відображається код код, що надходить від брелків.

3.4.2) У даних рядках, відображається код, що надходить від брелків записаний в пам'ять .eep МК.

3.4.3) За натисканням Кн1, код з буфера обміну п.3.4.1 запишеться в .eep МК п.3.4.2.

3.4.4) Відображення адрес на шині i2c для rcf8574 це має бути строго 0x40, для ds3231 або ds1307 буде 0xD0. Установка годинника реального часу, в даному проекті зовсім необов'язкова, це все використовувалося в суто експериментальних цілях, для фіксації часу паркування, кому це цікаво, можете переглядати цю статистику, при встановленій мікросхемі ds3231 або ds1307, в основному екрані натиснути Кн1 на екран буде виведена інформація про час останніх 24 паркувань. Встановлення чи відсутність ds3231 чи ds1307 на роботу основної програми стеження ніяк не впливає.

3.5.1) Залежно від типу індикатора може знадобитися змінити інверсію підсвічування.

3.5.2) Підстроювання контрастності дисплея.

3.5.3) Встановлення часу для автоматичного виходу з меню налаштувань, в головний екран, такий вихід з меню відбудеться коли протягом вибраного часу не буде натиснуто жодної з кнопок Кн1, Кн2, Кн3.

3.5.4) Встановлення часу для ds3231 чи ds1307 (див. п.3.4.4).

3.6.1) Встановлення порога амперметра, у разі непередбаченого, підвищення споживання потужності приводами підлогу. осі X-Y Вбудований амперметр, буде робити відключення команд включення приводів, з подальшою спробою, через 1 хвилину відновити роботу (кожні 5 секунд на 1 секунду включатиметься звуковий сигнал bz_1 (порт PB0).)

3.6.2) Налаштування PWM макс. потужності для приводу кожної з осей X та Y.

3.6.3) Установка кількості оборотів для тахометра, у разі перевищення оборотів від встановленого, панель стане в положення відповідно до установок

пункту меню №3.1.1, на час 10 хвилин, далі піде авто повернення, автоматичне відстеження (відлік авто повернення можна контролювати на на головному екрані, з'явиться рядок «Вітро ЗАХИСТ» зі звітом часу).

3.6.4) Перезавантаження МК, даний параметр не має великої цінності в цьому меню, просто при налагодженні сторожового таймера це використовувалося, загалом, нехай поки буде (і якщо активні умови п.3.4.4, за цією командою відбувається обнулення статистики ранкових або вечірніх) паркувань див.п.2.3.1).

3.6.5) При першій подачі харчування на МК невелике утримання роботи електроприводів, кому це може виявитися корисною річчю кому то марною, і ті й інші можуть налаштувати цей параметр на свій вибір ...

3.6.6) Практично аналогічно сказаному, у пункті 3.6.5, час роботи реле «самопідживлення», індивідуальне налаштування для цього реле.

3.6. Функціональна схема

Функціональна схема на рисунку 3.21. описує апаратну структуру системи TTDAT. Найпомітніша особливість, яку можна побачити з схеми, -- це налаштування крокових двигунів. Кроковий двигун 1 був встановлений безпосередньо на полюсі основи так, щоб його вісь була суміщена з полюсом, а саме з основною віссю. Щоб забезпечити обертання по вторинній осі, кроковий двигун 2 був встановлений на верхній частині першого двигуна, так що два двигуни були перпендикулярними один до одного. Таке вертикальне розміщення двигуна допомогло зберегти баланс системи та зменшити небажану вібрацію, викликану роботою двигунів.

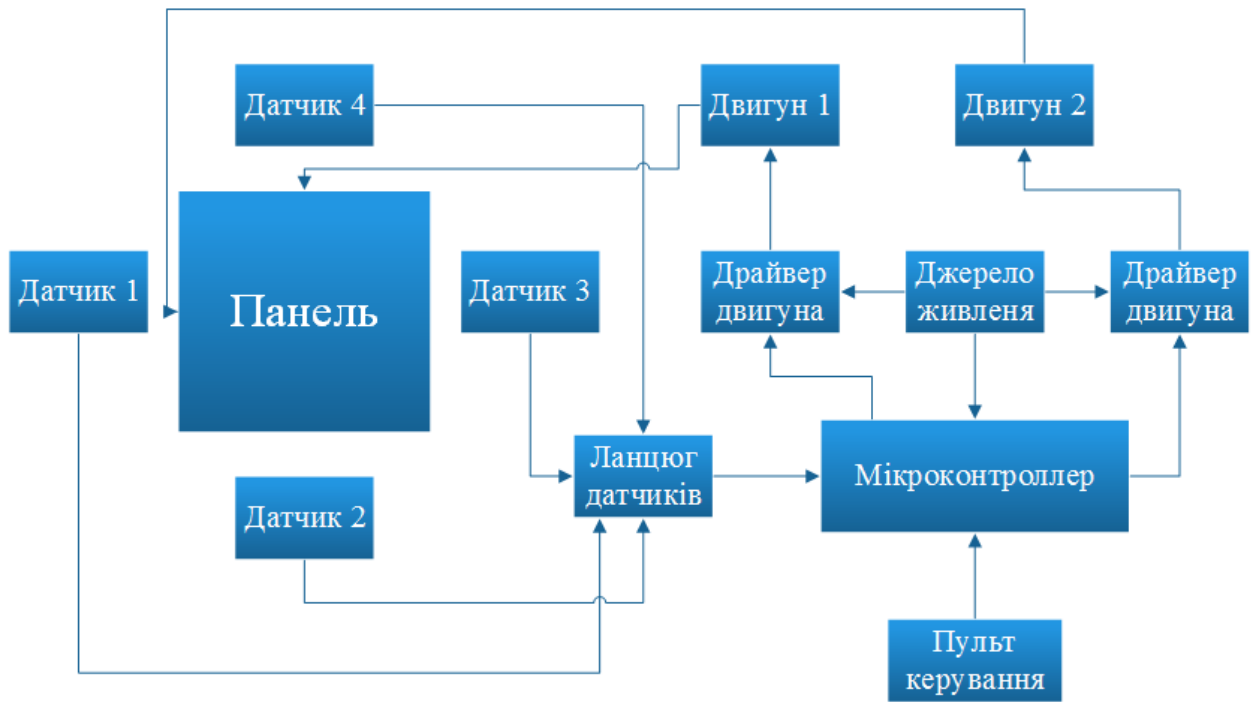


Рис. 3.21. Функціональна схема системи керування

3.7. Електрична принципова схема

В даному пункті побудована схема з'єднання компонентів. Під час побудови електричної принципової схеми використовувалась програма Splan. За допомогою її ми можемо креслити електричні схеми та електронні обладнання.

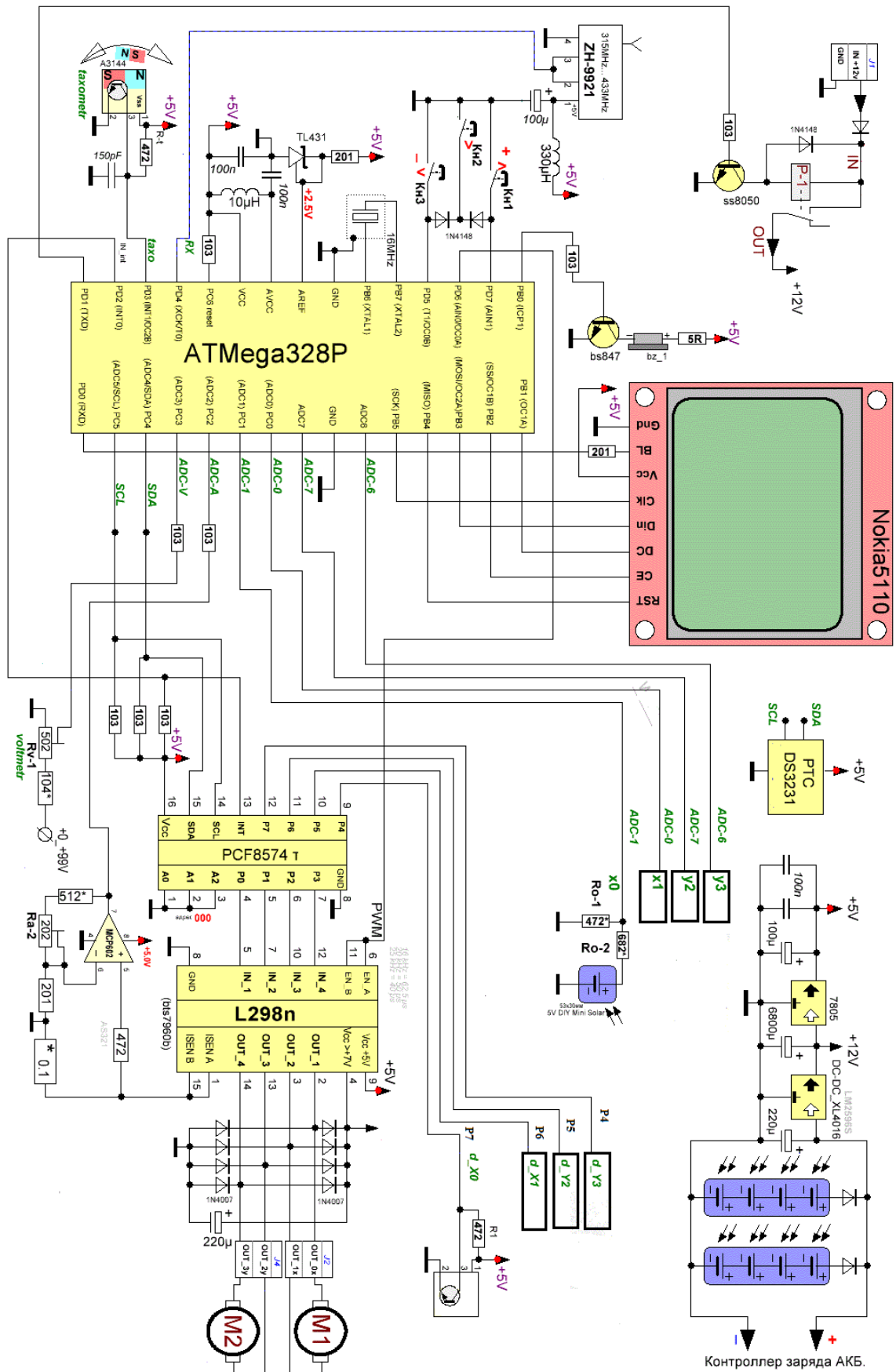


Рис.3.22. Электрична принципова схема

3.8. Розрахунок метрологічних характеристик

Нормування похибки каналу вимірювання виконується відповідно до ДСТУ-Н РМГ 62:2006 "Забезпечення ефективності вимірювань під час керування технологічними процесами. Оцінювання похибки вимірювань при обмеженій вихідної інформації".

Розглянемо приклад розрахунку похибки каналу вимірювання положення сонячної панелі. Як канал вимірювання виберемо канал вимірювання витрати. Вимога до похибки каналу вимірювання не більше 0,2%. Розрядність АЦП становить 16 розрядів.

Розрахунок допустимої похибки вимірювань витратоміра здійснюється за формулою:

$$\delta_1 \leq \sqrt{\delta^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2 + \delta_7^2)},$$

де $\delta = 0,2\%$ - необхідна сумарна похибка вимірювання каналу вимірювань при довірчій ймовірності 0,95;

δ_2 – похибка передачі по каналу вимірювань;

δ_3 – похибка, яку вносить АЦП;

$\delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7$ – додаткові похибки, що вносяться температурою навколишнього повітря, перешкодами різного виду, тиском вимірюваного середовища та іншими факторами відповідно.

Похибка передачі по каналу вимірювань встановлюється рекомендаціями:

$$\delta_2 = \frac{0,2 \cdot 4}{100} = 0,008 \text{ \%}.$$

Похибка, що вноситься 16-ти розрядним АЦП, розраховується наступним чином:

$$\delta_3 = \frac{0,2 \cdot 100}{2^{16}} = 0,0003 \text{ \%}.$$

При розрахунку також враховуються додаткові похибки, викликані впливом:

- температури навколишнього повітря;
- перешкод різного виду;

- тиску вимірюваного середовища;
- інших факторів.

Додаткова похибка, яку вносить вплив температури навколишнього повітря, встановлюється рекомендаціями:

$$\delta_5 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносить перешкоди різного виду, встановлюється рекомендаціями:

$$\delta_5 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносить тиск вимірюваного середовища, встановлюється рекомендаціями:

$$\delta_6 = \frac{0,2 \cdot 1}{100} = 0,002 \text{ \%}.$$

Додаткова похибка, яку вносять інші фактори, встановлюється рекомендаціями:

$$\delta_7 = \frac{0,2 \cdot 36}{100} = 0,072 \text{ \%}.$$

Таким чином, підставивши в формулу отримані значення, розрахуємо допустиму основну похибку вимірювача щільності:

$$\delta_1 = \sqrt{0,2^2 - (0,008^2 + 0,0003^2 + 0,066^2 + 0,002^2 + 0,002^2 + 0,072^2)} = 0,17 \text{ \%}.$$

В результаті розрахунку видно, що основна похибка обраного вимірювача витрат не перевищує допустимої розрахункової похибки. Отже, система придатна для використання.

Висновки до 3 розділу

1. Обгрунтована конструкція двухосної системи орієнтування, всіх її складових частин і параметрів
2. Наведено та обгрунтовано вибір компонентів.
3. Розроблені засоби введення та виведення значень за допомогою меню управління системою.
4. Розроблена функціональна схема роботи пристрою стеження для максимально енергоефективної роботи.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблена комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система положення сонячних панелей. У результаті виконання кваліфікаційної роботи було:

- досліджено процес стеження панелей за напрямком руху Сонця;
- проведено вибір контрольованих параметрів та розробка на їх основі структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи положення сонячних панелей;
- розроблено структурну схему, функціональну схему та алгоритм роботи КІВС ПСП;
- вибрано вимірювальні засоби та елементну базу комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи положення сонячних панелей
- розроблено метрологічне забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи положення сонячних панелей;

Застосування КІВС ПСП дозволить виконувати:

- циклічний збір та обробку інформації з пристроїв та датчиків;
- керування процесом в автоматизованому режимі;
- змінювати положення панелі для забезпечення максимальної продуктивності, що можливо при прямому куті опромінення датчиків;
- моніторинг інформації з можливістю її аналізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Лавренюк, О. С., І. В. Євглевський, та Д. А. Босій. "СТУДІ ВІД ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРЕДСТАВЛЕННЯ НАПРЯМКІВ ПАРАМЕТЕРІВ В ЛАБОРАТОРІЇ БАНКУ". *Lighting Engineering & Power Engineering* 1, no. 51 (2018): 3–9. <http://dx.doi.org/10.33042/2079-424x-2018-1-51-3-9>.
- 2) Казіміров, Олександр, Констиантин Васильєв, Павло Оніпченко та Ігор Костенко. "ОРІЄНТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СТАЦІОНАРНОГО ПУНКТУ УПРАВЛІННЯ". *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць* №1, № 63 (26 лютого 2021 року): 45–48. <http://dx.doi.org/10.26906/sunz.2021.1.045>.
- 3) Головань, М., Н. Здолбицька, В. Ліщина та С. Гринюк. "Аналіз продуктивності системи автоматичного позиціонування сонячних панелей." *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION* , № 41 (14 грудня 2020 р.): 23–29. <http://dx.doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-41-04>.
- 4) Тишина, Євгенія та Олег Гончаренко. "АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА". *Грааль науки*, 28 листопада 2021, 268-71. <http://dx.doi.org/10.36074/grail-of-science.19.11.2021.050>.
- 5) Калін, Ю. В. "Електронні системи управління перетворювачами сонячної енергії". *Master's thesis*, Сумський державний університет, 2019. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76639>.
- 6) Терещенко, В. С. "Модернізація двовісного автономного сонячного трекера з інтелектуальною системою на базі контролерів Steca та Arduino". *Master's thesis*, Сумський державний університет, 2019. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76114>.
- 7) В. Коваль. Енергетисна ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / Р. Івасечко, К. Козак // *Енергосбереження*. – 2015. – випуск 134.

- 8) H.Mousazadeh. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output / A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia// Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – pp.1800– 1806.
- 9) S. Mansour. Optimum Design Of On Grid Pv System Using Tracking System / D.W.R.Anis, D.I.M. Hafez // Sci. Technol. Res. – 2015. – №05. – pp. 50–57.
- 10) International Energy Agency, “Technology Roadmap - Solar Photovoltaic Energy - 2014 Edition,” IEA Publications, 2014.
- 11) Wikimedia Foundation, Inc., "Depletion region," Wikimedia Foundation, Inc., 5 May 2016. [Online]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Depletion_region. Accessed 27 May 2016.
- 12) B. Marion, C. Riordan and D. Renné, “Shining On,” Solar Radiation Resource Assessment Project, May 1992. [Online]. URL: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/4856.pdf>. Accessed 26 April 2016.
- 13) Earth System Research Laboratory, "NOAA Solar Calculator," [Online]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>. Accessed 20 May 2016.
- 14) N. J. Parmar, A. N. Parmar and V. S. Gautam, “Passive Solar Tracking System,” International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, vol. 5, no. 1, January 2015.
- 15) R. Messenger and A. Abtahi, Photovoltaic Systems Engineering, 3rd ed., CRC Press, 2010.
- 16) Apec Virtual Center, Japan, "Principle of Electricity Generation by Photovoltaic Cells," 2007. [Online]. URL: <http://www.apec-vc.or.jp/e/modules/tinyd00/index.php?id=74>. Accessed 10 May 2016.
- 17) Нормування похибки каналу вимірювання виконується відповідно до ДСТУ-Н РМГ 62:2006 "Забезпечення ефективності вимірювань під час керування технологічними процесами. Оцінювання похибки вимірювань при обмеженій вихідної інформації".