

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОЇ СОНЯЧНОЇ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТ-41  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Невідомський М.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис) Коваль В.П.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_  
(підпис) Мовчан Л.Т.  
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Тарасенко М.Г.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ–41. - Т. : ТНТУ, 2023.

Стор. 62; рис. 36; табл. 5; креслень (презентацій) —; джерел 16.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Розробка портативної сонячної зарядної станції».

Метою роботи є розробка портативної сонячної електростанції із підвищеною ефективністю використання сонячної енергії/

У роботі проведено аналіз існуючих конструкцій портативних сонячних зарядних станцій, розроблено надійну систему стеження за сонцем для сонячної зарядної станції, вибрано обладнання та розраховано параметри портативної сонячної зарядної станції, проведено дослідження роботи одновісного сонячного трекера для портативної сонячної зарядної станції та встановлено ефективність одновісного сонячного трекера в порівнянні із жорстко закріпленою фотоелектричною панеллю.

*Ключові слова: СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ПАНЕЛЬ, МОДУЛЬ, ТРЕКЕР, СЕРВОПРИВІД*

## ЗМІСТ

### ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Сонячна енергія .....	8
1.2 Кути, утворені сонячним випромінюванням на приймальній поверхні .....	10
1.3 Базові компоненти портативної сонячної зарядної станції .....	11
1.4 Існуючі портативні сонячні зарядні станції .....	14
1.5 Фотоелектричний модуль.....	15
1.6 Висновки до розділу .....	16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	17
2.1 Методологія розробки портативної сонячної зарядної станції .....	17
2.2 Аналіз роботи давачів у одновісній системі стеження за сонцем.....	18
2.3 Опис запропонованої системи стеження за сонцем .....	23
2.4 Блок-схема алгоритму роботи програми системи .....	30
2.5 Визначення параметрів сонячної фотоелектричної системи.....	31
2.6 Обґрунтування конструкції.....	34
2.7 Необхідні технічні характеристики обладнання перетворення та накопичення електроенергії .....	34
2.8 Висновки до розділу .....	37
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ .....	
3.1 Вихідні дані.....	38
3.2 Блок двигуна постійного струму .....	39
3.3 Ефективна кількість випромінювання, що попадає на сонячну панель .....	40
3.4 Фотоелектрична панель в MATLAB-SIMULINK та її характеристики .....	41

3.5 Керування серводвигуном для позиціонування панелі.....	44
3.6 Ефективність «вловлювання» сонячного випромінювання з використанням одновісного трекера .....	46
3.7 Висновки до розділу .....	51
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	52
4.1 Заходи безпеки при монтажі енергоустановок .....	52
4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В .....	53
4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання .....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	60

## ВСТУП

### **Актуальність теми.**

З кожним роком змінюється клімат України. Він стає усе теплішим із більшою кількістю сонячних днів. Було б марнотратством не використовувати безкоштовну сонячну енергію для виробництва електроенергії. Для повного використання отриманої сонячної енергії як в стаціонарних об'єктах електропостачання так і в мобільних необхідна портативна сонячна зарядна станція (ПСЗС). Тому актуальними є дослідження та розробка нових ПСЗС, щоб отримати більш чітке уявлення про параметри та умови, необхідні для побудови найкращої ПСЗС.

Україна купляє половину нафти та природного газу, які використовує. Це призводить до того, що ми залежимо від цих ресурсів як первинних джерел енергії. Ці ресурси є обмеженими і в майбутньому будуть вичерпані. Щоб уникнути залежності від цих ресурсів, постійно проводяться дослідження їх заміщення на відновлювані джерела енергії. Відновлювану енергію можна отримати з гідроенергетики, біомаси, біогазу, вітру, тепла, геотермальної та сонячної енергії.

Зараз використання сонячної енергії зростає, що підтверджує актуальність кваліфікаційних робіт, спрямованих на розробку портативної сонячної зарядної станції (ПСЗС). Для повного використання сонячної енергії необхідний енергоефективна і продумана конструкція. Хороша сонячна електростанція повинна враховувати положення сонця і час доби, щоб належним чином збирати сонячну енергію. Поширеними проблемами сонячної енергії є те, що фотоелектричні (ФЕ) елементи мають дуже низьку енергію перетворення, що коливається від 10 % до 17 %, і є дорогими. Це свідчить про те, що для забезпечення сталого виробництва електроенергії необхідна оптимальна система ПСЗС.

Ця робота є актуальною бо присвячена дослідженню альтернативних відновлюваних джерел енергії. Дослідження відновлюваних джерел енергії є

дуже важливим для забезпечення сталого розвитку енергетики. Сонячна енергія є хорошим альтернативним джерелом енергії і доступна в Україні протягом усього року.

### **Мета кваліфікаційної роботи:**

Метою проекту є розробка портативної сонячної електростанції із підвищеною ефективністю використання сонячної енергії.

Відповідно до даної мети ставляться такі **завдання**:

- Провести аналіз існуючих конструкцій портативних сонячних зарядних станцій.
- Розробити надійну систему стеження за сонцем для сонячної зарядної станції.
- Вибрати обладнання та розрахувати параметри портативної сонячної зарядної станції.
- Провести моделювання падіння сонячного випромінювання та його перетворення на електроенергію фотоелектричною панеллю.
- Провести дослідження роботи одновісного сонячного трекера для портативної сонячної зарядної станції.
- Встановити ефективність одновісного сонячного трекера в порівнянні із жорстко закріпленою фотоелектричною панеллю.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 62 арк. формату А4, графічна частина – аркушів презентації.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Сонячна енергія

Сонце є джерелом сонячної енергії. Воно генерує випромінювання з середньою потужністю  $1000 \text{ Вт/м}^2$  при  $25^\circ\text{C}$  при стандартних умов випробування [1]. Земна поверхня отримує близько 47 % всієї сонячної енергії, яка потрапляє на землю. Тільки ця кількість придатна для використання (рис.1.1).



Рисунок 1.1 - Отримане сонячне світло на поверхні землі

Земля обертається навколо Сонця по еліптичній орбіті. Вісь обертання Землі нахилена на  $23,5^\circ$  по відношенню до її еліптичної осі відносно Сонця. Завдяки обертанню Землі та річному обертанню навколо Сонця, енергія, яка досягає поверхні, змінюється погодинно та сезонно в залежності від місця розташування.

Сонячне випромінювання, яке також називають сонячною інсоляцією, є продуктом взаємодії сонця з будь-яким місцем на Землі. Виробництво сонячної енергії сильно залежить від якості сонячної інсоляції. Сонячна інсоляція може надходити у вигляді 2 різних типів випромінювання. Це пряме випромінювання і розсіяне випромінювання (рис.1.2). Пряме випромінювання - це сонячне випромінювання, яке безпосередньо потрапляє на землю. Воно також відоме як

променева радіація. У той час як при дифузному випромінюванні сонячне випромінювання розсіюється з частинками повітря (повітря, пил і вода). Дифузне випромінювання може знизити якість сонячного випромінювання.

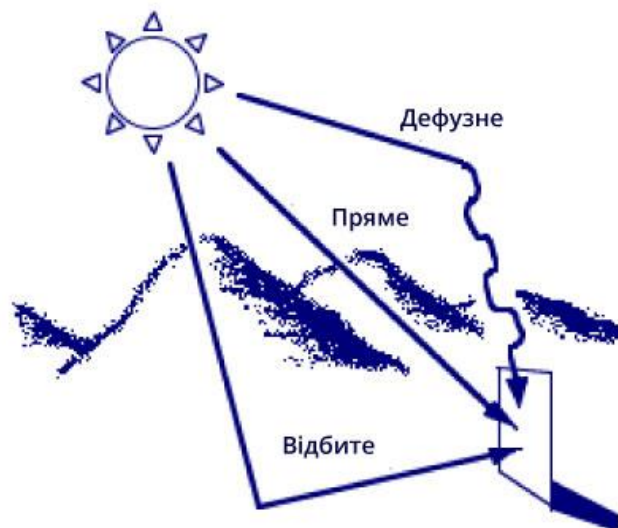


Рисунок 1.2 – Типи випромінювання, що падають на поверхню сонячної панелі

Через це сонячна радіація не має постійного випромінювання і може сильно змінюватися. Крім того, сонячна інсоляція також змінюється залежно від часу доби. Пік сонячної інсоляції припадає на полудень, а вночі сонячна радіація відсутня.

Середня інтенсивність сонячної інсоляції, що досягає земної атмосфери, становить близько  $1353 \text{ Вт/м}^2$ . Сонячна інсоляція, яка проходить через атмосферу, називається глобальною сонячною інсоляцією,  $I_G$ . поділяється на пряму сонячну радіацію,  $I_D$ , відбиту радіацію  $I_R$  і розсіяну сонячну радіацію,  $I_D$ . Їх взаємозв'язок можна виразити наступним рівнянням.

$$I_G = I_B + I_D + I_R \quad (1.1)$$

На сонячну інсоляцію може впливати ефект затінення. Ефект затінення спричиняється хмарами, пилом і забруднювачами. Цього ефекту неможливо уникнути, і все це в поєднанні з швидкоплинним характером глобального



опромінення може сильно вплинути на якість сонячної інсоляції.

## 1.2 Кути, утворені сонячним випромінюванням на приймальній поверхні

Для того, щоб отримати хороші результати стеження за сонцем ПСЗС, необхідно виконати певні розрахунки. Основним кутом, на якому слід зосередитися, є кут нахилу, але для того, щоб отримати кут нахилу, потрібно знайти інші кути, пов'язані з кутом нахилу. Ці кути необхідні для визначення правильного нахилу та орієнтації фотоелектричних модулів [2]. Видиме положення Сонця обчислюється на основі кутів піднесення і азимута,  $A$ . Азимутальний кут можна обчислити за формулою (1.2).

$$A = \cos^{-1} \left[ \frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos HRA}{\cos \alpha} \right] \quad (1.2)$$

Висота,

$$\alpha = \sin^{-1} \left[ \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos HRA \right] \quad (1.3)$$

Широта позиції,  $\phi$ , отримана з глобальної системи позиціонування (GPS). Кут схилення  $\delta$  - це кутове зміщення Сонця до центру Землі і розраховується за допомогою рівняння 4, а годинний кут ( $HRA$ ) розраховується за допомогою рівняння (1.5),  $d$  представляє день у році.

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360 d + 284}{365} \right] \quad (1.4)$$

$$HRA = 15^\circ LST - 12 \quad (1.5)$$

Місцевий сонячний час ( $LST$ ) можна обчислити за допомогою рівняння (1.6). Коефіцієнт часової поправки ( $TC$ ) (у хвилинах) - це зміна  $LST$  в межах певного часового поясу через зміну довготи та місцевого часу ( $LT$ ).  $TC$  обчислюється за допомогою рівняння (1.7).

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (1.6)$$

$$TC = 4 \text{ довгота} - LSTM + EoT \quad (1.7)$$

Місцевий стандартний меридіан (LSTM) - це еталонний меридіан, який використовується для певного часового поясу і обчислюється за допомогою рівняння 8.  $\Delta T_{GMT}$  - це різниця місцевого часу (LT) від середнього часу за Гринвічем (GMT) в годинах, а рівняння часу (EoT) обчислюється за формулою (1.9) з  $B$  (в градусах), що обчислюється за формулою (1.10).

$$LSTM = 15^\circ \Delta T_{GMT} \quad (1.8)$$

$$EoT = \sin 2B - 7,53 \cos B - 1,5 \sin B \quad (1.9)$$

$$B = \frac{360}{365} d - 81 \quad (1.10)$$

Виходячи з рівнянь (1.2) і (1.3), бачимо, що інформація про час доби, а також дані про місцезнаходження є вхідними даними. Це показує, що різний час або місцезнаходження призводить до різних кутів підйому та азимуту.

### 1.3 Базові компоненти портативної сонячної зарядної станції

Сонячна енергетична система в основному використовує фотоелектричні модулі для перетворення сонячного світла в електроенергію. Вироблена електроенергія може зберігатися в акумуляторі або використовуватися безпосередньо, залежно від її призначення [3]. Система сонячної генерації складається з компонентів. Ці компоненти підбираються відповідно до типу системи, місця розташування та застосування. Компоненти для сонячних електростанцій включають в себе

- 1) фотоелектричний модуль.

- 2) Контролер сонячного зарядного пристрою.
- 3) Інвертор живлення.
- 4) Акумуляторна батарея.
- 5) Навантаження.



Рисунок 1.3 - Компоненти системи генерації електроенергії від сонячної енергії

Сонячні електростанції також можна розділити відповідно до їх застосування. Вони бувають автономними та підключеними до електромережі. Автономні системи сонячної генерації відокремлені від електромережі. Вони використовують лише сонячні панелі для живлення додатків. Автономні сонячні електростанції також можна розділити на менші категорії: системи з прямим підключенням і автономні системи з акумуляторами. Основна відмінність між системою з прямим підключенням і автономною системою з акумуляторами полягає в наявності акумулятора. Система з прямим підключенням забезпечує живлення безпосередньо від сонячної панелі, в той час як автономна система з акумуляторами забезпечує живлення через акумулятори. Система з прямим підключенням може використовуватися тільки вдень, в той час як автономна система з акумуляторами може використовуватися в будь-який час завдяки енергії, що зберігається в акумуляторі (рис.1.4). Функції акумуляторної батареї в автономній системі з акумуляторами наступні:

а) Зберігання енергії та автономність - зберігати енергію, коли її надлишок є доступним, і надавати її, коли це необхідно.

б) Стабілізація напруги та струму - забезпечення стабільного струму та напруги

в) Захист від перенапруги - для забезпечення навантаження струмами перенапруги.

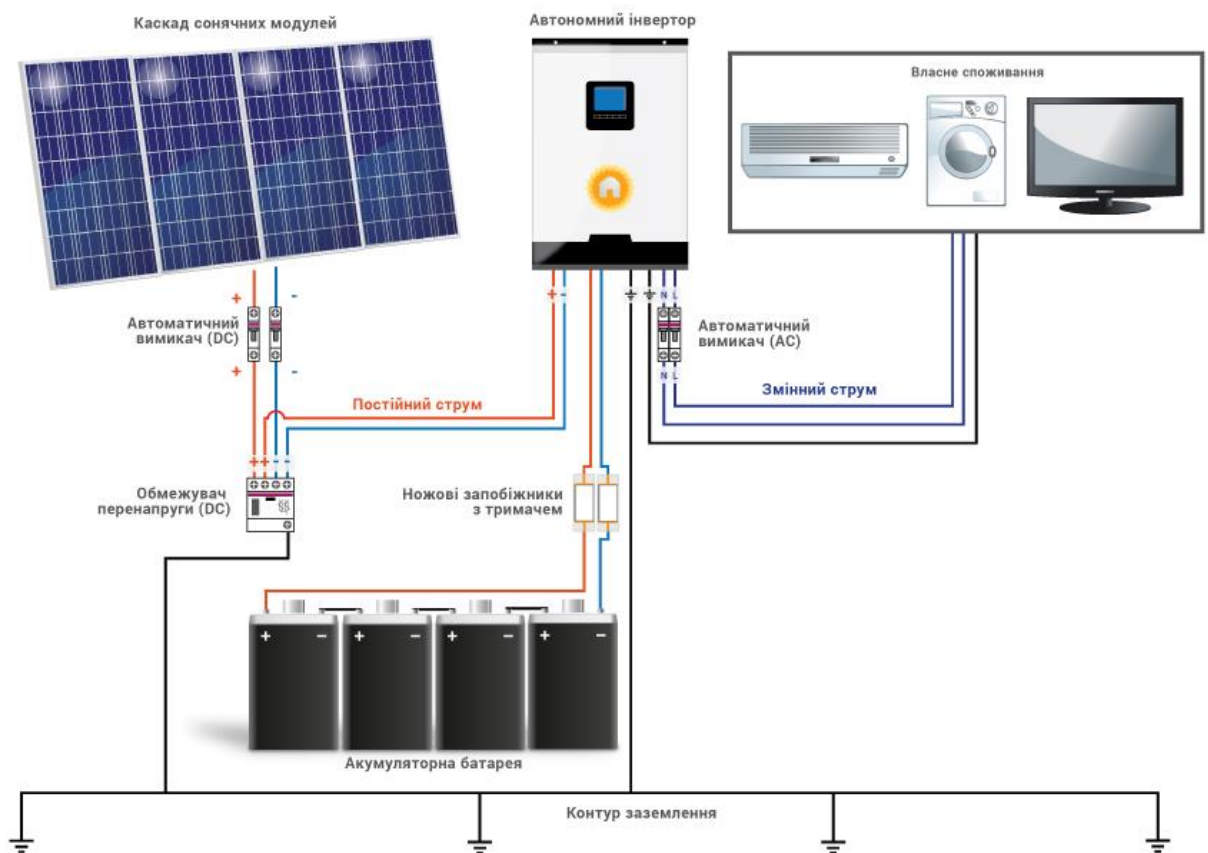


Рисунок 1.4 - Автономна система електропостачання з акумуляторами

Основною проблемою для автономних систем є проблеми, пов'язані з навантаженням. На відміну від підключеної до мережі системи, автономна система повинна забезпечувати живлення відповідно до навантаження додатків. Автономна система не має підтримки від електромережі на випадок надмірного навантаження.

## 1.4 Існуючі портативні сонячні зарядні станції



Рисунок 1.5 - Приклади ПСЗС, що є на ринку

Наразі портативні сонячні зарядні станції (ПСЗС), що пропонуються на ринку, є досить дорогими. Вони продаються на основі їх номінальної потужності. Перевагами ПСЗС є те, що вони можуть діяти як резервне джерело живлення в аварійних ситуаціях і можуть використовуватися як альтернативне джерело живлення. Недоліком ПСЗС на ринку є, як зазначалося вище, їхня висока ціна, не всі вони є портативними і не мають належної системи відстеження сонця. В даний час з їх ціновою категорією споживач вважає їх непотрібними. Тому слід поставити задачу перед розробниками виготовити ПСЗС за розумною ціною з портативністю та функцією відстеження сонця.

## 1.5 Фотоелектричний модуль

Сонячна енергія виробляється з сонячних фотоелектричних (ФЕ) елементів. ФЕ виробляє електроенергію, використовуючи унікальні властивості напівпровідників. Цей напівпровідник використовується для безпосереднього перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Напівпровідник має форму пластин. Це підвищує чутливість до сонячного світла. Під впливом світла він виробляє невеликий постійний струм. Цей процес також відомий як фотоэффект. Існує 3 типи сонячних елементів (табл..1.1): монокристалічні, полікристалічні та аморфні (тонкоплівкові)[4].

Таблиця 1.1 - Порівняння сонячних елементів

Сонячний елемент	Монокристалічні елементи	Полікристалічні елементи	Аморфні елементи
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> <li>- найвищий коефіцієнт корисної дії</li> <li>- компактність</li> <li>- довгий термін служби</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- виробництво дешевше і простіше</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- масове виробництво просте</li> <li>- привабливий зовнішній вигляд</li> <li>- гнучке</li> <li>- висока термостійкість</li> </ul>
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> <li>- найдорожчі</li> <li>- більш ефективні в теплу погоду</li> <li>- висока чутливість (коло може вийти з ладу, якщо сонячний елемент частково закритий)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ефективність низька (13%-16%)</li> <li>- займає більше місця</li> <li>- непривабливий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- займає більше місця</li> <li>- низька ефективність</li> <li>- швидше деградують</li> </ul>

## 1.6 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз особливостей поступлення сонячної енергії на поверхню земної кулі.
2. Розкрито взаємозв'язок між кутом падіння сонячного випромінювання та положенням приймальної поверхні, годиною дня та порою року.
3. Виконано аналіз конструкції базової портативної сонячної зарядної станції.
4. Проведено аналіз існуючих конструкцій портативних сонячних зарядних станцій, їх компонування та функції.
5. Розкрито переваги та недоліки різних типів сонячних фотоелектричних модулів.

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Методологія розробки портативної сонячної зарядної станції

Методологія поділяється на 5 основних етапів: планування, дослідження, аналіз, розробка та впровадження. Етап планування є найбільш важливим. На етапі планування визначаються очікувані проміжні результати і терміни завершення проекту. Це гарантує, що всі заходи будуть виконані за графіком, а розробка проекту буде завершена вчасно. На блок-схемі рис. 2.1 показано методологічний підхід для цієї розробки.



Рисунок 2.1 - Методологічний підхід

На етапі дослідження збирається вся інформація та вивчається огляд літератури відносно теми роботи. Етап дослідження включає пошук інформації про ПСЗС, геометрію сонця, фотоелектричні модулі та експерименти з сонячним випромінюванням. Далі, на етапі аналізу проводяться розрахунки та теоретичний аналіз. Цей процес включає визначення розміру фотоелектричних



модулів, вибір відповідного фотоелектричного модуля та розрахунок навантаження. Етап проектування визначає дизайн прототипу та його робочі компоненти. Вибір обладнання для прототипу також здійснюється на етапі проектування.

На етапі моделювання проводяться необхідні розрахунки ефективності майбутнього виробу.

Нарешті, завершальним етапом є виготовлення та випробування прототипу моделі. На цьому етапі прототип будується і випробовується. Процес тестування має на меті забезпечити функціональність прототипу та оптимальну продуктивність. Під час процесу тестування прототип також вдосконалюється, щоб переконатися у відсутності збоїв та покращень. У даній роботі останній етап не виконується. Його виконання заплановане при виконанні кваліфікаційної роботи магістра.

## **2.2 Аналіз роботи давачів у одновісній системі стеження за сонцем**

Для того, щоб знайти оптимальну характеристику сонячної фотоелектричної системи (СФЕС), було проведено порівняння СФЕС з функцією стеження за сонцем та без неї. Одна сонячна панель буде мати фіксований кут нахилу, в той час як на іншій буде застосована система відстеження сонця. Основними компонентами сонячної фотоелектричної системи є сонячні панелі, контролер заряду, акумулятор, інвертор і навантаження, яке може бути постійним і змінним.

Існують різні методи систем сонячного трекінгу, які використовуються для оцінки та зйомки положення фотоелектричних панелей перпендикулярно до сонця. Існує два основних типи сонячних трекерів: активні (електричні) та пасивні (механічні). Пасивний сонячний трекер - це система, в якій сонячна панель фіксується лицьовою стороною до неба. Більшість пасивних сонячних трекерів управляються вручну. З іншого боку, активний сонячний трекер - це автоматична система стеження за сонцем, яка базується на мікропроцесорах,

даних, що контролюються комп'ютером, і часу [5]. Більшість активних трекерів використовують датчик переміщення панелі, який реагує на сонячне світло [6]. Річне енергоспоживання двовісного сонячного трекера на 72 % більше, ніж одновісного. Двовісний сонячний трекер є більш складним, дорогим і вимагає високого рівня обслуговування в порівнянні з одновісним сонячним трекером [7]. У запропонованій системі сонячний трекер використовується тому, що сонячна панель не є рухомою, і це може підвищити ефективність використання енергії. Сонце рухається зі сходу на захід, але сонячна панель може стояти нерухомо. Вихідна потужність фотоелектричної панелі збільшується, коли сонячна панель рухається точно за допомогою системи стеження за напрямком сонячного світла. Рух сонця має певну орієнтацію площини на землі. Існує два типи кутів, по-перше, сонце рухається зі сходу на захід, і це визначається азимутальним кутом. Другий кут називається зенітним кутом, де висота сонця або додатковий кут. Сонячний трекер - це пристрій, за допомогою якого сонячні панелі можуть легко переміщатися з одного боку в інший бік за рухом сонця. Якщо фотоелектрична панель встановлена відповідно до шляху руху сонця і фокусується на сонячному світлі протягом усього дня, тоді буде вироблятися максимальна кількість електроенергії з сонячного світла [8-11]. Система відстеження сонячних панелей - це система для збільшення виробництва електроенергії та зменшення витрат на виробництво електроенергії. У запропонованій системі використовується фоторезистор (LDR) для точного відстеження положення сонця, мінімізації витрат і підвищення вихідної потужності.

Одновісний сонячний трекер буде призначений для відстеження азимутального обертання сонця, або, як його ще називають, добового шляху сонця з раннього ранку до пізнього вечора. LDR визначатиме положення сонця і надсилатиме сигнал на мікроконтролер для керування рухом двигуна.

Оптичний датчик, який називають фоторезистором, також відомий як LDR. Він може використовуватися як детектор світла і темряви та перемикач. Фоторезистор виготовляється з напівпровідника з високим опором. Опір LDR

змінюється в залежності від інтенсивності світла. У цьому дослідженні LDR використовується як датчик. Зображення LDR показано на рис. 2.2, а будову і схему підключення на рис. 2.3.



Рисунок 2.2 - Фоторезистор (LDR)

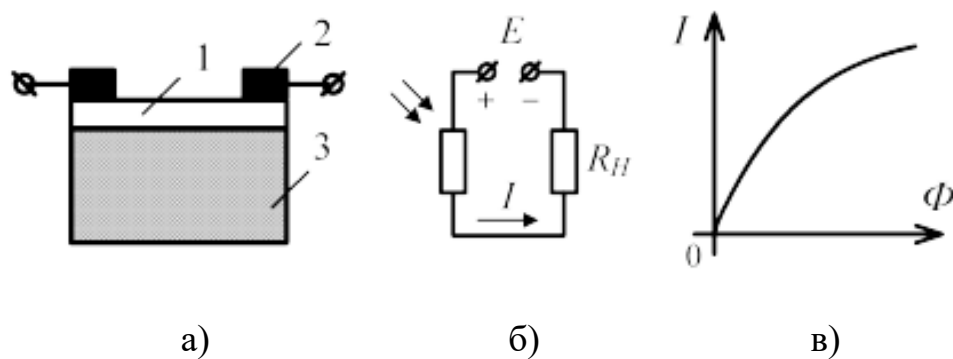


Рисунок 2.3 – Будова (а), схема вмикання (б) і статична характеристика фоторезистора (в)

1 – світлочутливий шар,

2 – електроди,

3 – діелектрик

Кількість світла можна виміряти за допомогою LDR. Це один з видів резисторів, величина якого залежить від кількості світла, що потрапляє на нього (рис. 2.3). Залежність між опором і кількістю світла виражається формулою

$$R=500/L \quad (2.1)$$

де  $R$  - опір,

$L$  - інтенсивність світла.

Можна використовувати змінний опір як подільник напруги, щоб отримати вручну регульовану вихідну напругу з фіксованої вхідної напруги, що подається на мікроконтроллер. Це найбільш поширеніше їх використання. Датчик LDR виконаний за схемою дільника напруги, як показано на рис. 2.4.

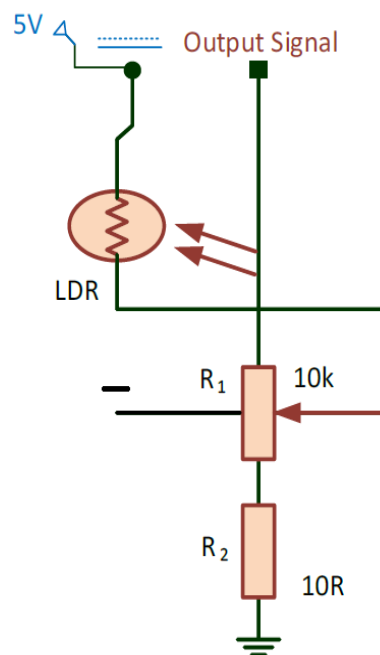


Рисунок 2.4 – Схема підключення фото резистора через подільник напруги

Виходячи з рис. 2.4, рівняння для LDR можна записати так

$$V_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + \frac{500}{L} \cdot 1000} V_1 \quad (2.2)$$

Де вихідний сигнал  $V_0$  залежить від інтенсивності світла та змінного опору  $R_3$ . Так, значення напруги максимальне коли на ЛДР падає пряме сонячне світло і  $R_3$  високий і мінімальне коли похмурий день і  $R_3$  високий.

Продуктивність LDR залежить від інтенсивності сонячного світла. Для абсолютного стеження за сонцем інтенсивність сонячного світла є основним

фактором для датчика.

У проєктованій установці давач положення сонця складається з фіксованого резистора та фоторезистора (LDR). Напруга живлення становить 5 В, і напруга LDR не може бути підключена безпосередньо до контролера. Тому для зчитування напруги LDR застосовується метод подільника напруги. Значення різниці напруги між двома LDR порівнюється з чутливістю, оскільки двигун не може обертатися кожен раз протягом усього дня. Система стеження призначена для обертання в напрямку направо або проти годинникової стрілки відповідно до більшого рівня напруги при різниці напруг двох LDR (рис. 2.5). Коли різниця напруг перевищує або не перевищує чутливість, двигун обертається у відповідному напрямку.

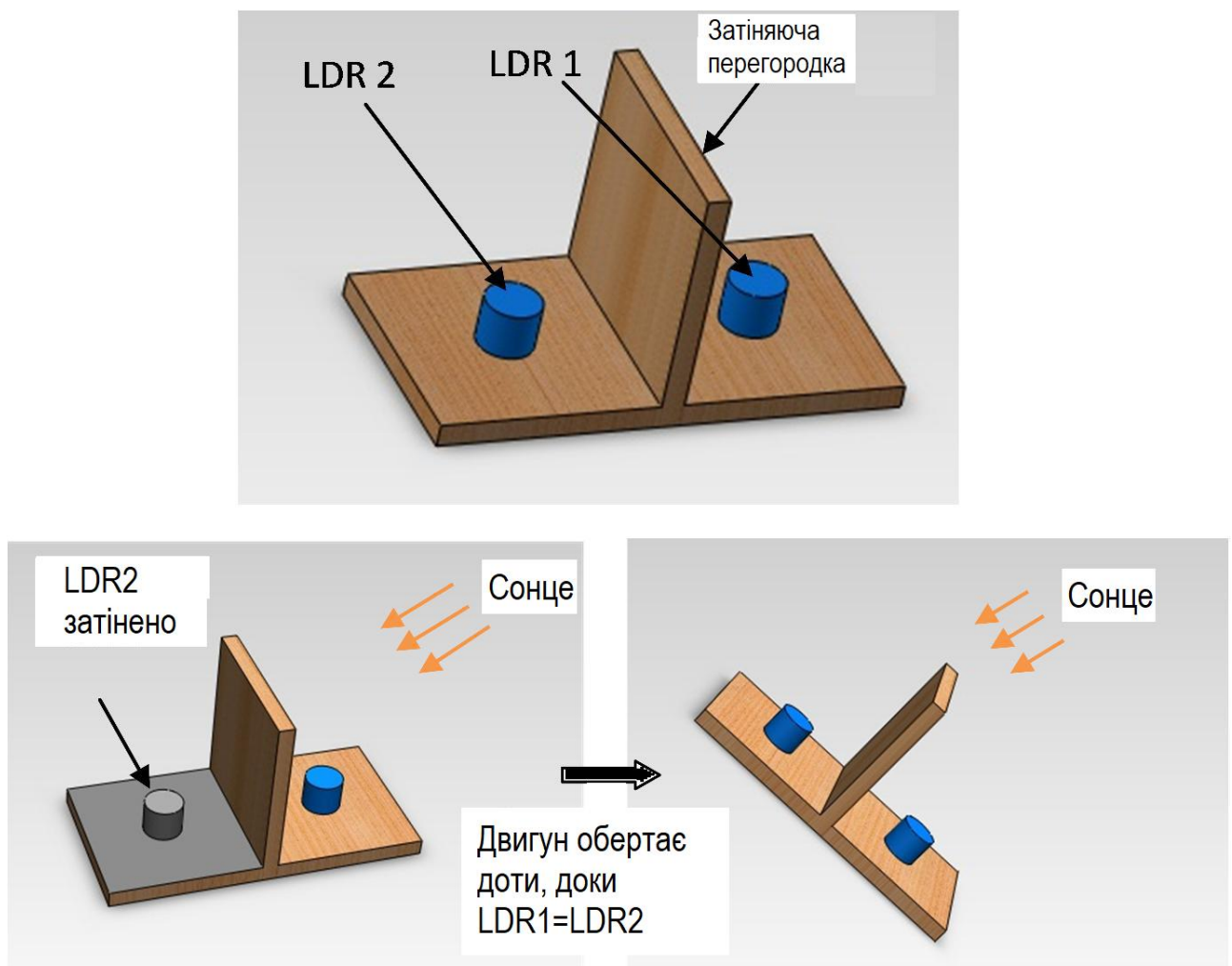


Рисунок 2.5 - Схема розташування давачів LDR

У запропонованій схемі для отримання необхідних сигналів вихідної напруги використовується додатковий резистор з номіналом 4,71 Ом. Напруга живлення становить 5В.

Вихідна напруга розрахована за допомогою рівняння (2.2) становить 4.12 В при заданому опорі резистора 4,71 Ом.

### 2.3 Опис запропонованої системи стеження за сонцем

Запропонована система - це змінна і компактна система на базі Arduino з одновісною системою стеження за сонячною батареєю. Arduino отримує дані від двох датчиків LDR для повороту сонячної панелі до місця освітлення за допомогою двигуна. В якості датчика напруги використовується метод дільника напруги. Акумулятор використовується для зберігання енергії від сонячної панелі і подачі її на навантаження. Структурна схема одновісної системи стеження за сонячною енергією показана на рис. 2.6.

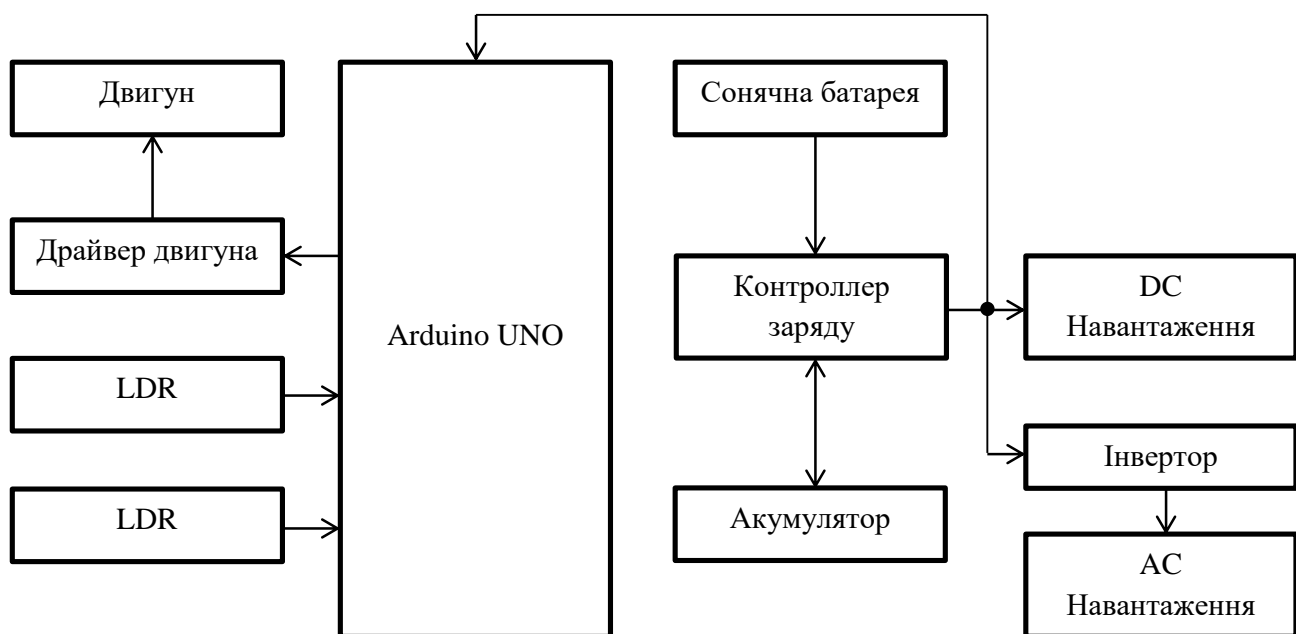


Рисунок 2.6 - Структурна схема портативної сонячної зарядної станції

Пропонується використати мікроконтролер Arduino Uno (рис. 2.7)- це

плата мікроконтролера на базі ATmega328. Вона має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можна використовувати як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, керамічний резонатор на 16 МГц, USB-роз'єм, роз'єм живлення, заголовок ICSP і кнопку скидання. Він містить все необхідне для підтримки мікроконтролера; просто підключіть його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або за допомогою адаптера змінного/постійного струму чи акумулятора, щоб почати роботу. Uno відрізняється від усіх попередніх плат тим, що в ній не використовується мікросхема драйвера FTDI USB-to-serial. Замість неї використовується Atmega16U2 (Atmega8U2 до версії R2), запрограмована як перетворювач USB в послідовний інтерфейс.

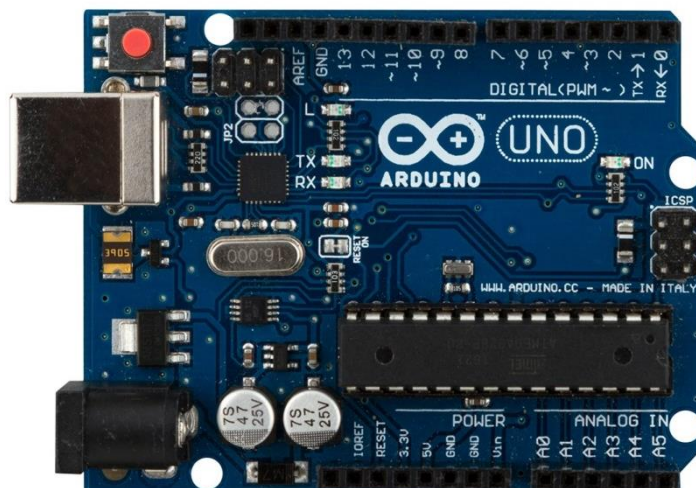


Рисунок 2.7 - Arduino Uno

Фотоелектричний елемент є основним блоком фотоелектричної системи. Окремі фотоелементи можуть мати розмір від 0,5 до 4 дюймів у ширину. Однак одна комірка може виробляти лише 1 або 2 вати, що недостатньо для більшості приладів. Продуктивність фотоелектричного модуля (рис. 2.8) залежить від сонячного випромінювання (рис. 2.9). Кліматичні умови, такі як хмари та туман, суттєво впливають на кількість сонячної енергії, яку отримує масив, а отже, і на його продуктивність. Більшість фотоелектричних модулів мають ефективність від 10 до 20 відсотків.



Рисунок 2.8 – Сонячна (фотоелектрична) батарея



Рисунок 2.9 – Залежність генерації фотоелектричної батареєю від сонячного випромінювання (хмарності)

Відповідно до аналізу навантаження загальна кількість ампер·годин на тиждень, використаних навантаженням постійного струму становить:

$$Q = \frac{840 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{тиждень}}{12 \text{ В}}$$

$$= 70 \text{ А} \cdot \text{год} / \text{тиждень}$$

Загальна середня кількість ампер·годин на добу:



$$Q_{\text{доб}} = \frac{70A \cdot \text{год} / \text{тиждень}}{7 \text{ днів}}$$

$$= 10A \cdot \text{год} / \text{день}$$

З розрахунку аналізу навантаження, загальна середня ампер·-годин на день = 10 А·год. Передбачається, що середня тривалість сонячного сьйва в рік в Україні становить 5 годин на день. Зі специфікації сонячної панелі, піковий струм сонячного модуля або струм при максимальній потужності = 0,83 А.

Загальна кількість ампер-годин на добу з урахуванням компенсації втрат при заряді/розряді акумулятора

$$C = 0.7 \cdot Q_{\text{доб}} = 0,7 \cdot 10 = 7 A \cdot \text{год}$$

Загальна потужність сонячної батареї, необхідна для системи становитиме 10 Вт.

Максимальна кількість похмурих днів поспіль, які очікуються в Україні, або кількість днів автономної роботи, яку може підтримувати система, приймається рівною 2 дням.

Кількість ампер-годин, необхідних для зберігання в акумуляторі

$$C = 7 A \cdot \text{год} / \text{день} \times 2 \text{ дні} = 14 A \cdot \text{год}$$

Враховуючи, що глибина розряду акумулятора або коефіцієнт безпеки для уникнення перерозряду акумулятора = 0,5 (50%)

$$C = \frac{14}{0,5} = 28A \cdot \text{год}$$

Зі специфікації батареї, загальна ємність батареї в ампер-годинах = 7,2 А·год. Отже, необхідна кількість паралельно з'єднаних батарей

$$n = \frac{28A \cdot \text{год} \text{ загальна ємність}}{7,2 \text{ загальна ампер} - \text{годинна ємність батареї}} = 4$$

Кількість акумуляторів, з'єднаних послідовно:

$$m = \frac{12V \text{ номінальна напруга}}{12V \text{ напруга батареї}} = 1$$

Двигун постійного струму. Серводвигун.

Серводвигун (сервопривід) складається з двигуна (постійного або змінного струму), потенціометра, редуктора та схеми керування (рис. 2.10). Серводвигуни - це спеціально розроблені двигуни для застосування в системах керування та робототехніці. Вони використовуються для точного регулювання положення і швидкості при високих крутних моментах. Серводвигуни доступні в діапазоні потужностей від часток вата до декількох 100 Ват. Вони мають високий крутний момент. Ротор серводвигуна має менший діаметр і більшу довжину, завдяки чому він має низьку інерційність.

Серводвигуни використовуються для дуже точного керування положенням і швидкістю, але в найпростішому випадку можна керувати лише положенням. Механічне положення вала можна визначити за допомогою потенціометра, який з'єднаний з валом двигуна через шестерні. Поточне положення валу перетворюється потенціометром в електричний сигнал і порівнюється з вхідним сигналом команди. У сучасних серводвигунах для визначення положення вала використовуються електронні енкодери або датчики.



Рисунок 2.10 – Будова серводвигуна

Підключення серводвигунів до мікроконтролера дуже просте. Сервоприводи мають три провідники, що виходять з них. З них два будуть використовуватися для живлення (позитивний і відємний), а один буде використовуватися для сигналу керування, який буде надсилатися з мікроконтролера. Серводвигун MG995 з металевою шестернею, який найчастіше використовується в машинах на радіокеруванні, гуманоїдних ботах зображено на рис. 2.10



Рисунок 2.11 – Серводвигун MG995

Всі серводвигуни працюють безпосередньо з шиною живлення +5В (рис.2.12), але слід бути обережними з кількістю струму, який споживає двигун, якщо планується використовувати більше двох серводвигунів, слід спроектувати відповідний екран сервоприводу.

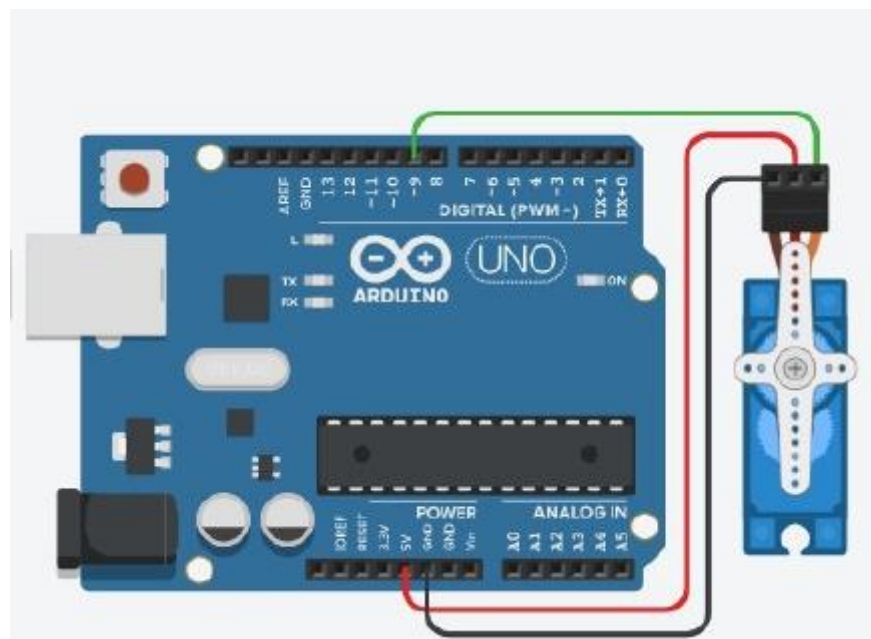


Рисунок 2.12 – Підключення серводвигуна до Arduino

Всі двигуни мають три дроти, що виходять з них. З них два будуть використовуватися для живлення (позитивний і негативний), а один буде використовуватися для сигналу, який буде надсилатися з МСU.

Серводвигун керується ШІМ (широотно-імпульсною модуляцією), яка подається через дроти керування. Існує мінімальний імпульс, максимальний імпульс і частота повторення. Серводвигун може повертатися на 90 градусів у будь-якому напрямку від свого нейтрального положення. Серводвигун очікує імпульс кожні 20 мілісекунд (мс), і довжина імпульсу визначає, наскільки далеко повернеться двигун. Наприклад, імпульс тривалістю 1,5 мс змусить двигун повернутися на 90°, тобто якщо імпульс коротший за 1,5 мс, вал повернеться на 0°, а якщо довший за 1,5 мс, то він поверне сервопривід на 180°.

Серводвигун працює за принципом ШІМ (широотно-імпульсної модуляції), тобто його кут повороту контролюється тривалістю імпульсу, що подається на його керуючий PIN-код. В основному серводвигун складається з двигуна постійного струму, який управляється змінним резистором (потенціометром) і декількох шестерень. Високошвидкісна сила двигуна постійного струму перетворюється на крутний момент за допомогою шестерень. Ми знаємо, що РОБОТА = СИЛА X ВІДСТАНЬ, в двигуні постійного струму сила менша, а відстань (швидкість) більша, а в сервоприводі сила більша, а відстань менша. Потенціометр підключений до вихідного валу сервоприводу, щоб розрахувати кут і зупинити двигун постійного струму на необхідний кут.

Серводвигун може обертатися в діапазоні від 0 до 180 градусів, але в залежності від типу може досягати 210 градусів. Цим ступенем повороту можна керувати, подаючи електричний імпульс відповідної ширини на його керуючий вивід. Сервопривід перевіряє імпульс кожні 20 мілісекунд. Імпульс тривалістю 1 мс (1 мілісекунда) може повернути серводвигун на 0 градусів, 1,5 мс - на 90 градусів (нейтральне положення) і 2 мс - на 180 градусів.

## 2.4 Блок-схема алгоритму роботи програми системи

Спочатку ініціалізуються заголовні файли, змінні, вхідні та вихідні виводи (рис. 2.13). Потім зчитуються дані з LDR. Порівнюється різниця між двома LDR і чутливість. Якщо виміряна різниця між набором датчиків більша за значення чутливості, вивід напрямку на Arduino встановлюється на HIGH. Двигун обертається в напрямку за годинниковою стрілкою. Якщо вивід напрямку на Arduino - LOW, і двигун обертається в напрямку проти годинникової стрілки.

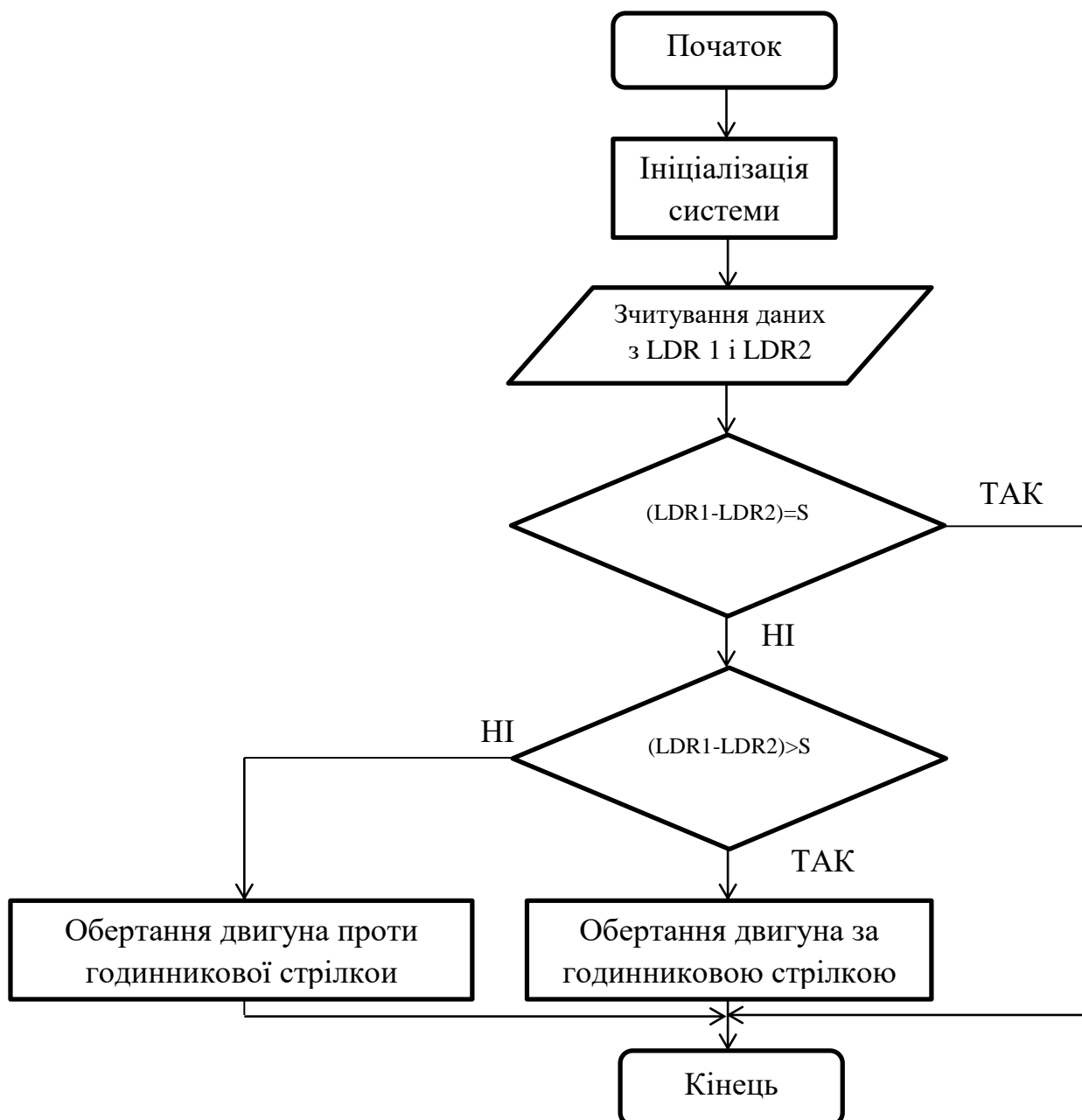


Рисунок 2.13 - Блок-схема програми стеження за сонцем

Для моделювання та компіляції всієї системи встановлено програмне забезпечення Arduino IDE. На рис. 2.14 показано результат тестування скомпільованого коду.

```

solar $
delay (10);
pyr = analogRead (0); //Sensor readings again for possible change
ltsensor = analogRead(1)*1.022;
rtsensor = analogRead(2)*1.007;
ldsensor = analogRead(3);
rdsensor= analogRead(4)*1.013;
dil = (ltsensor + ldsensor)/2; //Average sensors left
dir = (rtsensor + rdsensor)/2; //Average sensors right
diff2 = (dil - dir); //Difference between the level of radiation
delay (50);
if (-1*sen > diff2 || diff2 > sen) //If the measured difference between the set of sensors is
{
  if(dil < dir) //If the average of the left sensor is smaller than the right sensor
  {
    horStep.step (h); //Turn motor right
    delay (10);
  }
  else
  {
    horStep.step (-h); //Turn motor left
    delay (10);
  }
}

Done compiling.

Sketch uses 4918 bytes (15%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 262 bytes (12%) of dynamic memory, leaving 1786 bytes for local variables.
  
```

Рисунок 2.14 - Результат компіляції програми

## 2.5 Визначення параметрів сонячної фотоелектричної системи

### 1) Визначення потреб у споживаній потужності.

Першим кроком у проектуванні сонячної фотоелектричної системи є визначення загальної потужності та енергоспоживання всіх навантажень, які повинні живитися від сонячної фотоелектричної системи. Необхідні розрахунки наступні:

- а) Загальна кількість Вт·годин на добу для навантаження;
- б) розрахувати загальну кількість Вт·годин на добу, необхідну для фотоелектричних модулів;

## 2) Розмір фотомодулів.

Фотомодулі різного розміру мають різну потужність. Для того, щоб визначити розмір фотомодуля, нам потрібно знайти значення загальної пікової потужності ( $P_p$ ). На значення  $P_p$  впливають фотомодуль і клімат місцевості. Різні кліматичні умови дають різний "коефіцієнт генерації панелі". Необхідні розрахунки наступні:

- а) Загальна пікова потужність, необхідна для фотоелектричних модулів;
- б) Загальна кількість фотоелектричних панелей для системи.

## 3) Вибір розміру інвертора.

Інвертор використовується для перетворення постійного струму (DC) від фотоелектричних панелей або акумулятора в змінний струм (AC) для приладів, які використовують змінний струм як джерело живлення. Проект є автономною системою, тому використовуваний інвертор повинен бути достатньо великим, щоб впоратися з кількістю енергії, що використовується за один раз. Розрахунок потужності інвертора здійснюється наступним чином:

$$P_{инв} = P_{max} \cdot 3 \quad (2.3)$$

## 4) Вибір розміру акумулятора.

Батарея виконує функцію накопичувача електричної енергії для системи. Критерії вибору акумулятора залежать від загальної потреби в енергії (табл.2.1). Розрахунок ємності акумулятора в Вт·год показано в рівнянні (2.4).

$$Q_{АКБ} = P_{сум} \cdot t \cdot n \quad (2.4)$$

де  $Q_{АКБ}$  - енергія, що накопичена в акумуляторній батареї;

$P_{\text{сум}}$  - сумарне навантаження;

$n$  – кількість днів;

$t$  – час роботи на добу.

Таблиця 2.1 - Критерії вибору акумулятора

Критерії вибору акумулятора	
Загальна потужність, Вт·год	Напруга батареї, В
<1000	12
1000 до 2000	24
2000 до 3000	36
3000 до 4000	48
4000 до 5000	60

5) Вибір контролера сонячного зарядного пристрою.

Контролер сонячного заряду повинен мати достатню потужність для обробки струму від фотоелектричних модулів. Рівняння для сонячного зарядного пристрою показано в рівнянні (2.5).

$$P_{\text{конт}} = \frac{P_{\text{бат}}}{U_{\text{бат}}} \quad (2.5)$$

де  $P_{\text{конт}}$  - потужність контролера заряду;

$P_{\text{бат}}$  - потужність сонячної батареї;

$U_{\text{бат}}$  - напруга сонячної батареї.



## 2.6 Обґрунтування конструкції

Запропонована конструкція СЕС побудована за допомогою програмного забезпечення Sketch-up. Враховуючи портативність конструкції ПСЗС, її потрібно було легко переносити та збирати, коли вона потрібна для використання. Вирішено поєднати конструкцію ПСЗС з багажною сумкою, щоб забезпечити легкість доступу та переміщення ПСЗС (рис. 2.15). У верхньому відділенні сумки прикріплена сонячна батарея, а в нижній частині - схема системи ПСЗС.

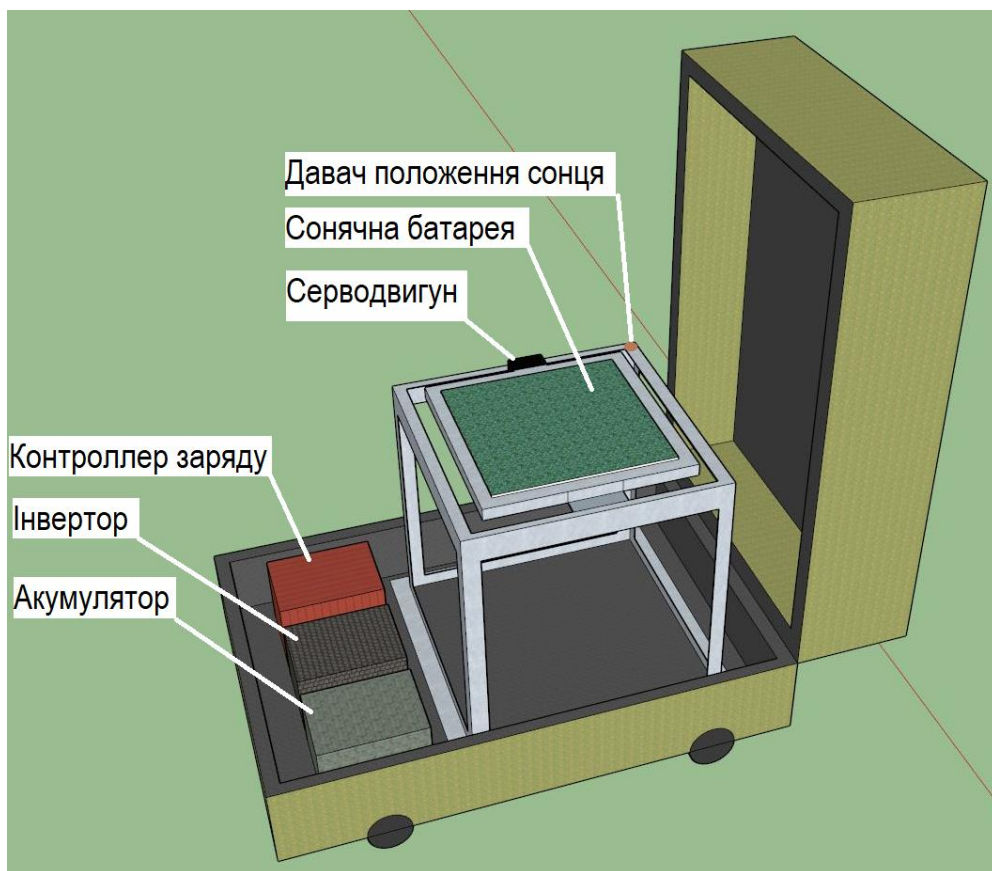


Рисунок 2.15 - Зовнішній вигляд ПСЗС

## 2.7 Необхідні технічні характеристики обладнання перетворення та накопичення електроенергії

Фотоелектрична панель (сонячна батарея).

Фотоелектричні панелі служать для виробництва електроенергії

постійного струму (DC) з сонячного випромінювання. Кількість виробленої електроенергії залежить від ефективності використаних елементів, площі та орієнтації панелі (табл.2.2).

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики полікристалічної фотоелектричної панелі

Тип	Сонячний модуль
Максимальна потужність	10 Вт
Максимальна напруга живлення	18 В
Максимальний струм живлення	0.56 А
Напруга холостого ходу	21.67 В
Струм короткого замикання	0.61 А
Розмір модуля	360*300*17
Вага	1.2 кг

Акумулятор.

Акумуляторна батарея використовується як допоміжна система, коли сонячна панель не може забезпечити достатню кількість енергії, наприклад, вночі або в похмурий день. Батареї доступні в багатьох типах і розмірах. Основні технічні характеристики акумулятора який пропонується використовувати у проекті наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики акумулятора

Тип	Залізо фосфатний (LiFePO4)
Номінальна напруга	12 В
Номінальна ємність	7 А·год

Контролер заряду.

Контролер заряду необхідний для захисту акумуляторної батареї від перезарядження. Він робить це шляхом моніторингу акумуляторної батареї. Коли батарея повністю заряджена, контролер перериває потік електроенергії від фотоелектричних панелей. В основному він використовується для

регулювання напруги і струму, що надходять від фотоелектричних панелей до батареї.

Нами обрано контролер заряду Juta 10A DY1024U 12/24В з дисплеєм + 2хUSB (рис. 2.16)



Рисунок 2.16 - Контролер заряду Juta 10A DY1024U 12/24В

Інвертор живлення.

Інвертор використовується для перетворення постійного струму з фотоелектричних панелей або вітрової турбіни в синусоїдний змінний струм для електроприладів змінного струму або для подачі назад в електромережу.

Обрано інвертор EASUN Power, 12-220 В, з піковою потужністю 1000 Вт (рис. 2.17). У даного інвертора вихідна змінна напруга має форму чистої синусоїди.



Рисунок 2.17 – Інвертор EASUN Power, 12-220 В

## 2.8 Висновки до розділу

1. Проведено аналіз роботи одновісної системи стеження за сонцем. Обґрунтовано її переваги перед двовісною в портативних зарядних пристроях.
2. Описано давач положення сонця на базі фоторезисторів.
3. Розроблено структурну схему портативної сонячної зарядної станції на основі мікроконтролера Arduino Uno.
4. Особливістю запропонованої портативної сонячної зарядної станції є наявність одновісної системи стеження за сонцем, яка реалізована на базі двигуна постійного струму - серводвигуна. Керування положення фотоелектричної панелі здійснюється мікроконтролером відповідно до сигналів давачів положення сонця.
5. Запропоновано алгоритм роботи портативної сонячної зарядної станції та описано програмне забезпечення для мікроконтролера.
6. Виконано обґрунтування конструкції портативної сонячної зарядної станції та описано стандартне обладнання, яке використано для виконання типових функцій. А це: контролер заряду, інвертор та акумуляторна батарея.

## 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Вихідні дані

Система стеження складається з двох основних частин: керуючої або командної частини і робочої частини. Блоки управління на основі мікроконтролера використовується для обробки інформації про положення сонця і передачі її виконавчому механізму для стеження за сонцем. Він також виконує інші функції, такі як управління механічними рухами системи шляхом обмеження кутів повороту від ( $0^\circ$  до  $180^\circ$  по горизонталі) і орієнтація панелі в кінці дня щодо початкового положення системи.

Роль системи керування полягає в тому, щоб сонячне випромінювання завжди було перпендикулярним до панелі. Два LDR давачі використовуються для вимірювання освітленості в напрямках Схід-Захід. Кожен LDR подає на контролер аналоговий сигнал в залежності від освітлення через дільник напруги  $V_{out}$ , який описується рівнянням (3.1), з опором  $R1$  LDR і опором  $R2$  стандарту. Контролер змінює напрямок руху двигуна[12]

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} V_{cc} \quad (3.1)$$

Принцип полягає в тому, що світло, отримане двома фоторезисторами LDR, є ідентичним, як тільки датчик орієнтований по осі світла. Світловий потік, отриманий кожним фоторезистором, пропорційний напрузі на них. Порівнюючи ці напруги програма, вказує серводвигуну напрямок обертання у сторону фоторезистора (фоторезисторів), який отримує найменше світла. Ми використовували резистор 1 кОм для вимірювання зміни напруги між фоторезистором і резистором 1 кОм (дільником напруги), розміщеним на блоці керування (плата Arduino).

Для моделювання в MATLAB необхідно здійснити опис моделей різних

блоків конструкції, а саме: модель двигуна постійного струму (серводвигуна) з ПІ-регулятором (пропорційно-інтегральною похідною), модель дільника для зміни напруги, модель кількості випромінювання, що падає на сонячну панель, модель сонця та модель фотоелектричної панелі.

### 3.2 Блок двигуна постійного струму

Для створення моделі двигуна постійного струму (серводвигуна) ми взяли до уваги його складові та їх характеристики, а саме електродвигун постійного струму з можливістю обертання в двох напрямках, редуктор, що приводить в дію важіль виносної осі, електронну схему управління двигуном і потенціометр.

Створення моделей фізичної системи двигуна в середовищі Simulink відбувалося за допомогою симулятора SimScape (моделювання фізичних систем), який є ефективним методом розробки математичної моделі проєктованої фізичної системи шляхом створення багатодоменної діаграми, заснованої на фізичних зв'язках.

Перетворювач постійного струму або DC-DC перетворювач є найбільш ефективним методом, оскільки він передбачає лише одноступеневе перетворення. Фіксована напруга постійного струму  $U$ , що надходить від джерела живлення, перетворюється в регульовану напругу постійного струму  $V$  за допомогою керуючого сигналу  $U_{com}$  зі змінним коефіцієнтом заповнення. Роль дільника в системі сонячного трекера полягає у зміні швидкості обертання двигунів постійного струму. Еквівалентна модель двигуна містить опір ( $R_m$ ), індуктивність ( $L_m$ ) та електрорушійну силу ( $E$ ). Крім того, обов'язково додаються елементи захисту, такі як діоди вільного ходу [6].

Перевагою PID регулятора є його динамічні характеристики, точність регулювання та стабільність. Елементами цього регулятора є комбінація P (пропорційної), I (інтегральної) та D (похідної) дії, які обираються відповідно до типу застосування. Наприклад, наш прототип використовував його для

моніторингу положення двигуна.

### 3.3 Ефективна кількість випромінювання, що попадає на сонячну панель

Для моделювання падіння сонячного випромінювання під іншим кутом, ніж фотоелектрична панель, була написана проста програма для отримання практичного співвідношення між сонцем і падаючим випромінюванням. На рис.3.1 показана еквівалентна блок-схема Simulink, яка була використана для моделювання кута між сонячним світлом і фотоелектричною панеллю на основі рівняння (2) [13].

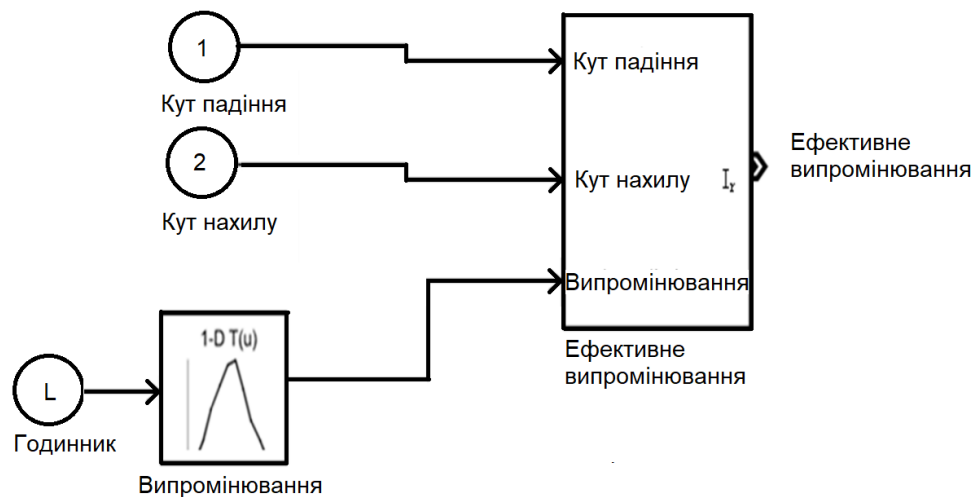


Рисунок 3.1 - Блок-схема моделювання кількості ефективного випромінювання

$$G_{ef} = G \cdot \left( \frac{-\theta_s - \theta_p + 180}{180} \right), \quad (3.2)$$

де  $G_{ef}$  - ефективне випромінювання,

$G$  - сонячне випромінювання,

$\theta_s$  - кут нахилу сонця,

$\theta_p$  - кут нахилу панелі.

Нерухома панель завжди паралельна землі під кутом  $45^\circ$  с.д.  $0^\circ$  для сходу сонця і  $180^\circ$  для заходу сонця. На сході сонця кут падіння сонця починається з  $0^\circ$ , а на заході - з  $180^\circ$  С. Щоб простежити за зміною кількості випромінювання і температури, яка падає на землю протягом дня, ми створили модель, яка імітує зміну кута падіння сонця з часом, використовуючи реальні дані, завантажені з сайту фотоелектричної системи. На рис.3.2 показана використана блок-схема Simulink.

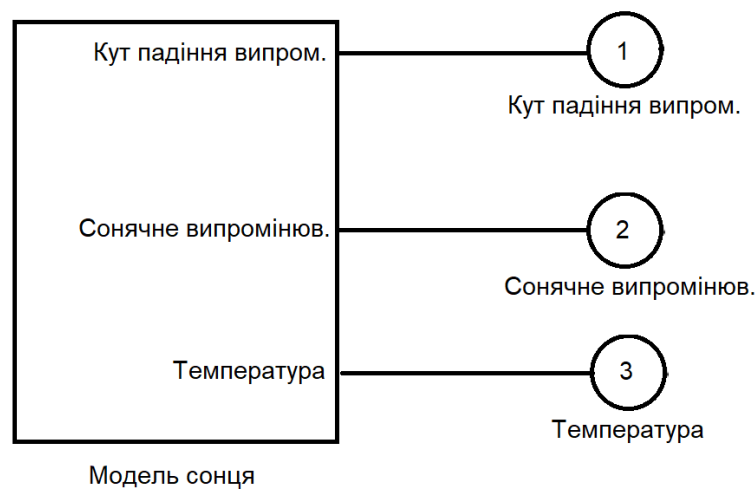


Рисунок 3.2 - Блок-схема для моделювання випромінювання сонця

### 3.4 Фотоелектрична панель в MATLAB-SIMULINK та її характеристики

Для моделювання блоку фотоелектричних панелей було обрано модуль PLM-010P-36. Цей модуль складається з монокристалічних кремнієвих елементів з максимальною потужністю 10 Вт. У таблиці 3.1 наведені параметри, які характеризують модуль за стандартних умов (рівень сонячного випромінювання:  $G = 1000 \text{ Вт/м}^2$ , температура елементів:  $25^\circ\text{C}$ ,  $AM = 1,5$ ).

Таблиця 3.1 - Характеристики модуля PLM-010P-36

Параметри/характеристики	Значення
Максимальна потужність	10мВт
Напруга при максимальній потужності	14,4 В
Струм короткого замикання	0,83 А



Параметри/характеристики	Значення
Температурний коефіцієнт $K_i$ (VOC)	-0.37101 %/K
Розміри сонячної батареї:	440*190*3 мм

На рис. 3.3 представлено структурну схему фотоелектричної панелі в MATLAB-SIMULINK.

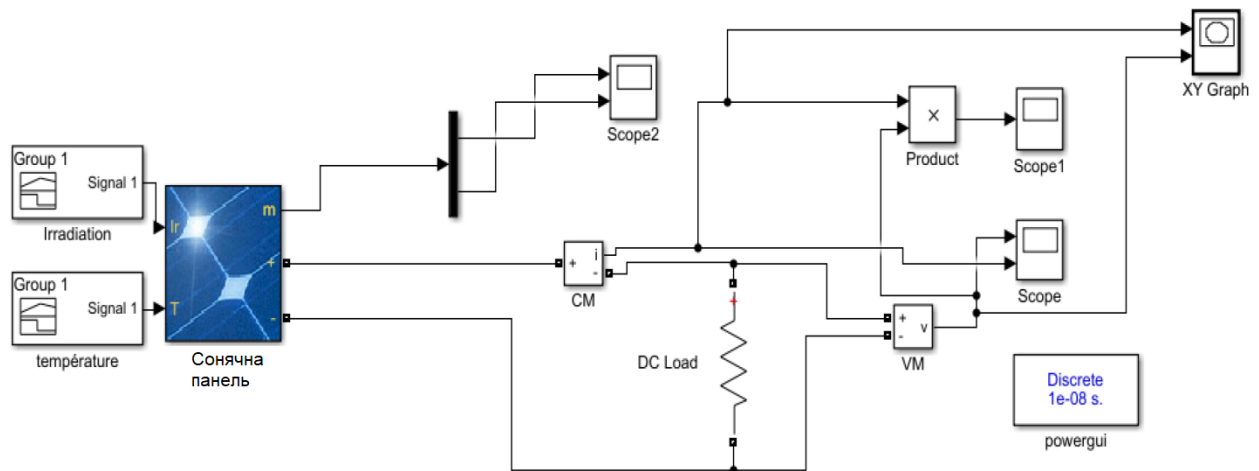


Рисунок 3.3 - Структурна схема фотоелектричної панелі в MATLAB-SIMULINK

Вольт-амперна характеристика (I-V) та вольт-ватна характеристика (P-V) фотомодуля ( $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $G = 1000 \text{ Вт/м}^2$ ) демонструють нелінійну залежність від температури та опромінення (рис. 3.4, 3.5). На цих кривих є унікальна точка, в якій вся система може працювати з максимальною ефективністю. Ця точка називається точкою максимальної потужності М.Р.Р. Для забезпечення роботи фотоелектричної системи в цій унікальній точці потрібні розрахунки, відстеження та методи управління, щоб досягти максимального збору електроенергії. Відстеження точки максимальної потужності (MPPT) - це спосіб вилучення максимальної енергії з фотоелектричних панелей при різних рівнях освітленості. На рис. 3.4 показані вольт-амперні характеристики фотоелектричного модуля для температури  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  і сонячного випромінювання  $G = 1000 \text{ Вт/м}^2$ . Ми знайшли струм короткого замикання або максимальний струм при нульовій напрузі  $I_{SC} = 0,8 \text{ А}$  і напругу холостого ходу

або максимальну напругу при нульовому струмі  $V_{OC} = 14,4$  В. Потужність, що виробляється фотоелектричними панелями, залежить від робочої точки. Точка максимуму являє собою максимальну потужність, що видається панеллю ( $P_{MPP} = I_{MPP} * V_{MPP}$ , де,  $V_{MPP}$  відповідає напрузі до максимальної потужності, що видається  $P_{MPP}$ , а  $I_{MPP}$  відповідає струму до максимальної потужності, що видається  $P_{MPP}$ ).

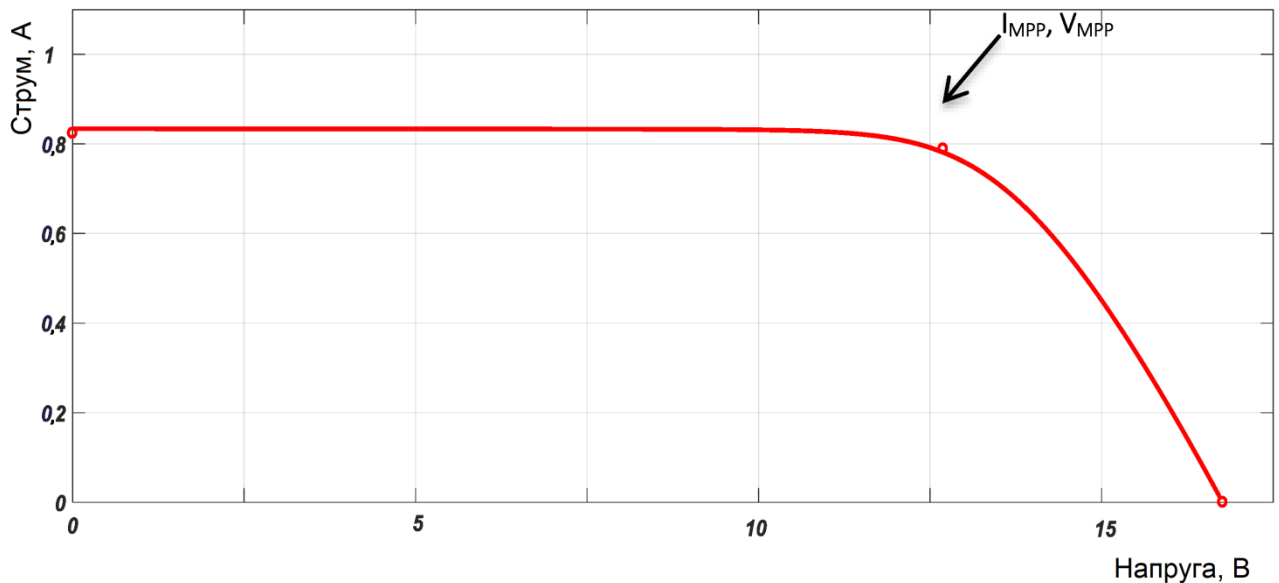


Рисунок 3.4 – Вольт-амперна характеристика фотоелектричного модуля, отримана в результаті імітаційного моделювання

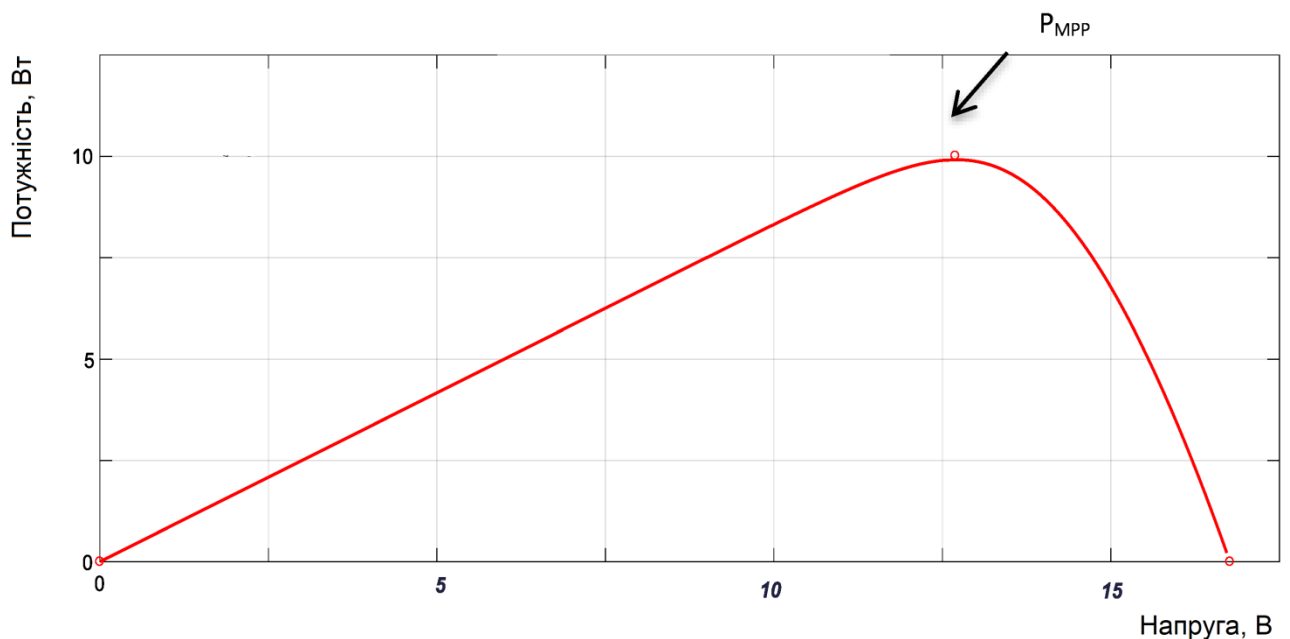


Рисунок 3.5 – Вольт-ватна характеристика фотоелектричного модуля, отримана в результаті імітаційного моделювання

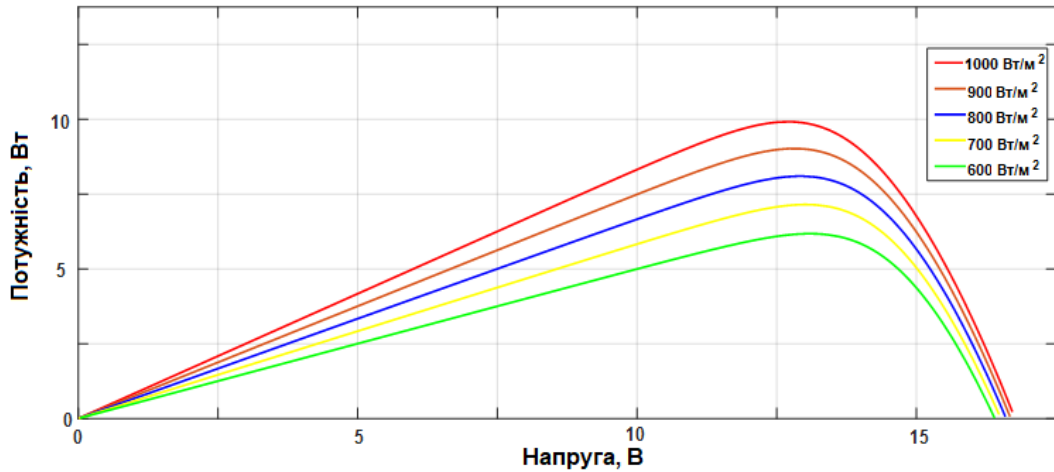


Рисунок 3.6 – Вольт-ватна характеристика фотоелектричного модуля для різного значення потужності сонячного випромінювання, отримана в результаті імітаційного моделювання

### 3.5 Керування серводвигуном для позиціонування панелі

Структурна схема, що використовується для моделювання двигуна постійного струму, показана на рис.3.7. Для нашого моделювання ми представили систему рівнянь двигуна постійного струму на цій блок-схемі. Вхідними параметрами є напруга живлення ( $U_a$ ) та момент опору ( $C_r$ ). Доступними вихідними параметрами є струм двигуна ( $i_a$ ), момент двигуна ( $C_e$ ) та швидкість обертання ( $W_m$ ) шляхом обчислення кута повороту двигуна  $\theta$  через інтегрування  $W_m$ .

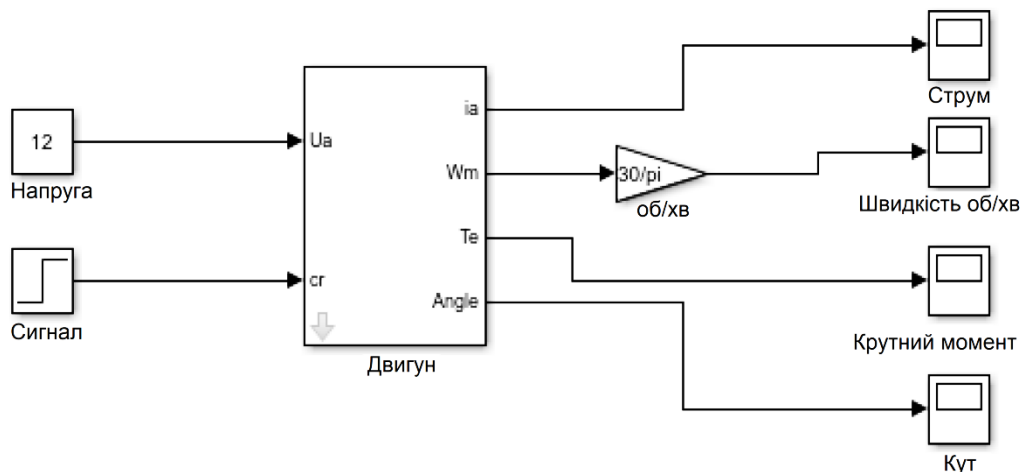


Рисунок 3.7 - Модель серводвигуна в Simulink

Для полегшення створення моделей серводвигунів у середовищі Simulink використано SimScape (simulation of physical systems), який є ефективним методом розробки математичної моделі фізичної системи шляхом створення багатодоменної діаграми, заснованої на фізичних зв'язках. Крім того, продукти SimScape дозволили варіювати дизайн системи без визначення та реалізації рівнянь системного рівня. На рис.3.8 показано блок-схему, яку використали для моделювання в SimScape. Блок-схема двигуна з живленням від мережі з використанням Simulink від SimScape.

На рис.3.8 показано результати моделювання серводвигуна з використанням заданого значення ( $90^\circ$ ) і коефіцієнтів підсилення наступного ПІ-регулятора:  $K_p = 100$ ,  $K_i = 1$  і  $K_d = 0$  для керування двигуном під потрібним кутом. Ступінчаста характеристика, наведена на рис.3.9, показує, що серводвигун досягає свого початкового положення під кутом  $90^\circ$  за час відгуку, який становить менше 1 с. Для нашого проекту ми вибрали двигун постійного струму на 12 В. Параметри і результати моделювання цього двигуна і подрібнювача, такі як зміна швидкості, струму і крутного моменту в часі, напруга на виході подрібнювача і ступінчаста характеристика серводвигуна з позиційним керуванням, будуть опубліковані незабаром в іншій статті.

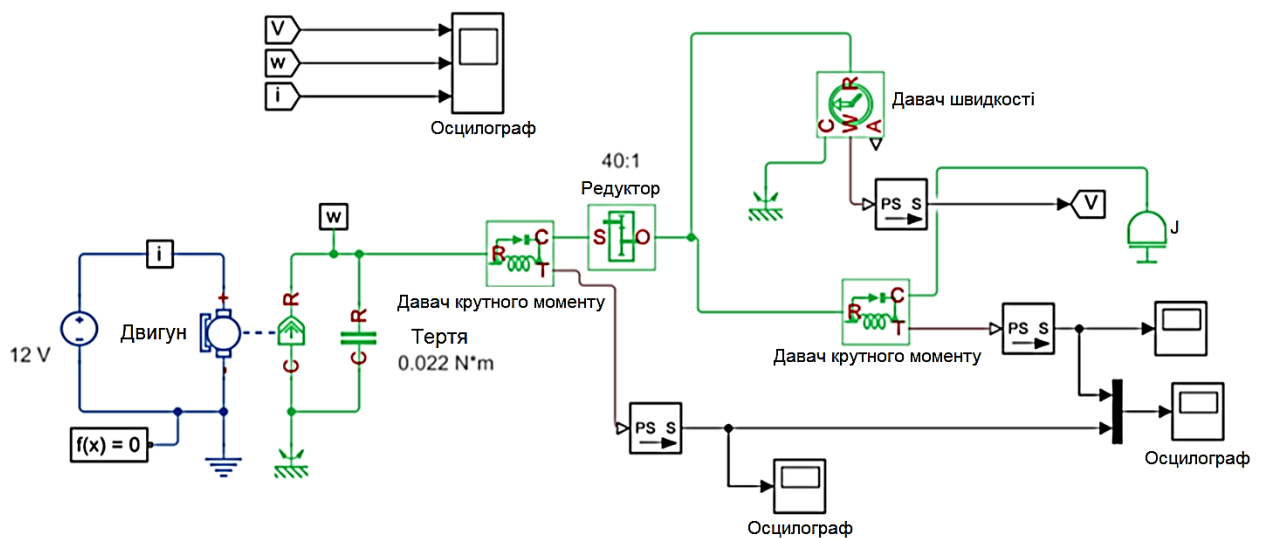


Рисунок 3.8 - Блок-схема серводвигуна в Simulink

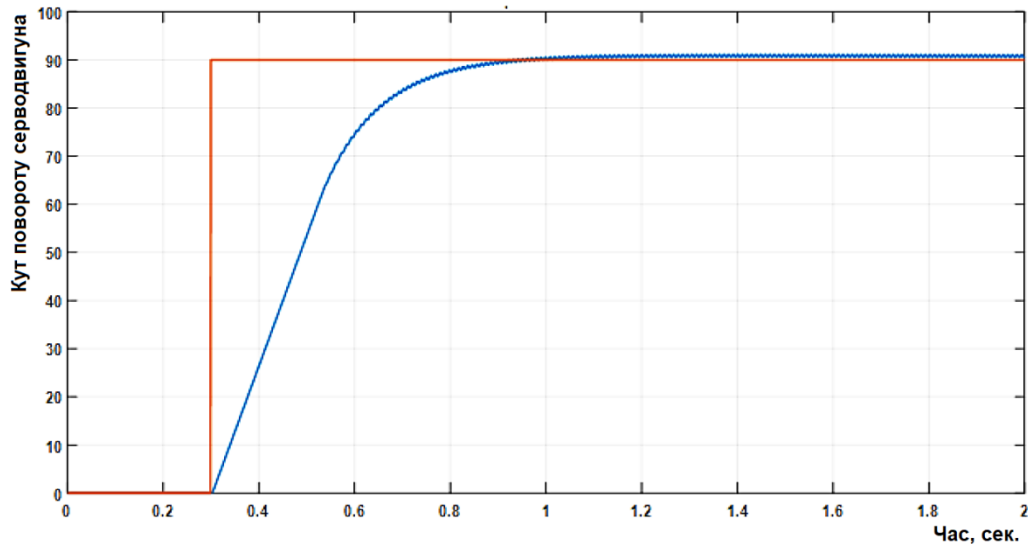


Рисунок 3.9 - Ступінчаста характеристики серводвигуна з позиційним керуванням, отримана в результаті імітаційного моделювання

### **3.6 Ефективність «вловлювання» сонячного випромінювання з використанням одновісного трекера**

Одновісні системи сонячного стеження обертаються навколо осі для відстеження сонця, поверненої на схід вранці і на захід вдень. Цей тип стеження потребує сезонного регулювання кута нахилу.

Оскільки світло з'являється щоранку зі сходом сонця, а температура зростає і починає зникати із заходом сонця, то незалежно від пори року, протягом дня спостерігається зміна освітленості. Видно (рис. 3.10), що опромінення досягає максимального значення о 14:00 і зменшується на заході сонця, коли стає холодніше, ніж вдень (рис. 3.11). Глобальне опромінення відповідає сонячній енергії, отриманій за один день; це опромінення пов'язане з іррадіацією. Помічено, що температура і радіація змінюються протягом року поступово; вони зростають від зими до літа і зменшуються від літа до зими. Це пояснюється висотою сонця, яка змінюється залежно від пори року: опівдні на літньому небі сонце стоїть вище, ніж на зимовому.

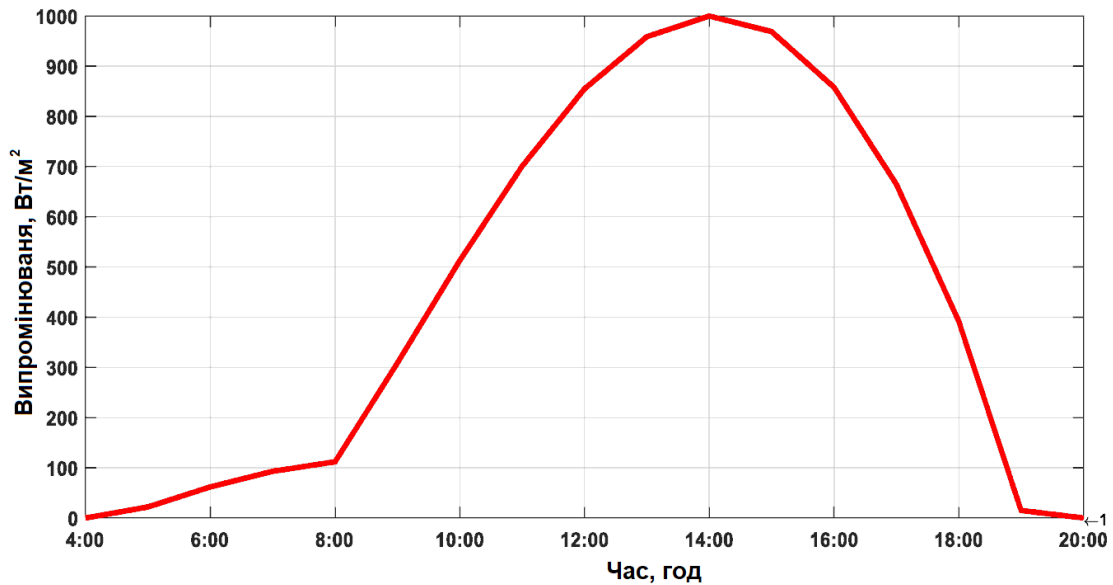


Рисунок 3.10 - Зміна потужності випромінювання в часі впродовж літнього дня

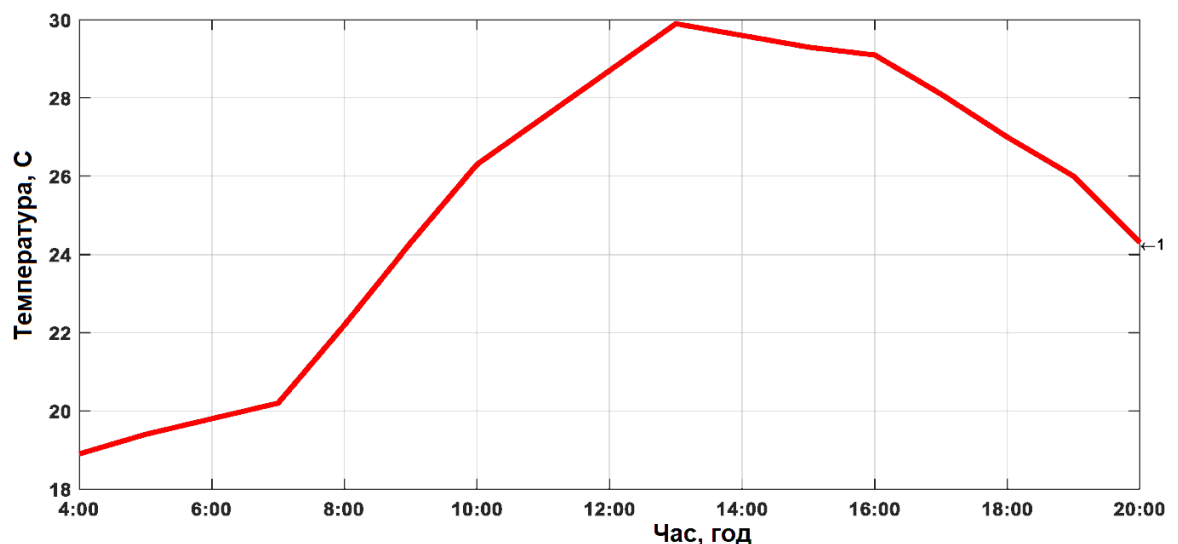


Рисунок 3.11 - Зміна температури в часі впродовж найбільш жаркішого літнього дня

Положення сонця задається зенітним кутом та азимутом. Зенітний кут - це кут між місцевою вертикаллю і лінією, яка з'єднує спостерігача з сонцем. Азимут Сонця - це відхилення положення Сонця від півдня. Зеніт і азимут залежать від місцевого часу доби ( $t$ ), дня року ( $d$ ) і широти ( $\varphi$ ) спостерігача ( $h$ ). На рис.3.12 показано, що майже опівдні годинний кут сонця дорівнює  $90^\circ$ , тому трекер перпендикулярний. На  $180^\circ$  о 20:00 трекер знаходиться в горизонтальному положенні і повертається у вихідну позицію.

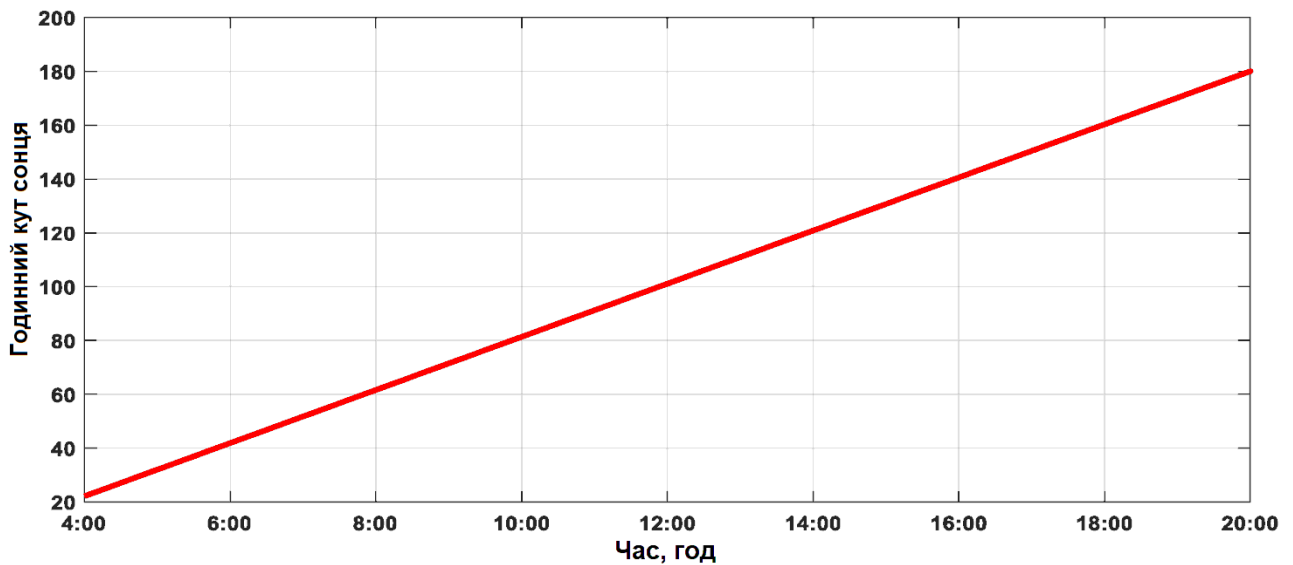


Рисунок 3.12 – Зміна годинного кута сонця впродовж доби

У декількох дослідженнях було проаналізовано ефективність виробництва енергії з використанням одновісних трекерів у порівнянні з фіксованими панелями. ВАНРАМІ та ін. [14] визначили, що збільшення виробництва сонячної енергії ФЕС з одновісними трекерами порівняно з системою з фіксованими панелями становить близько 17,22-31,23 % [15].

В процесі проектування нами проведено вимірювання поступлення сонячної енергії та генерування електроенергії у двох випадках монтажу сонячного модуля – фіксованому із одновісним трекером. Ми порівняли кут нахилу панелі і годинний кут сонця протягом цілого дня. На рис. 3.13 показано, що наявність сонячного трекера максимізує сонячне опромінення, утримуючи активну поверхню сонячного модуля вертикально під кутом до сонця. З полудня і до заходу сонця бачимо, що стаціонарна панель втрачає велику кількість сонячного випромінювання протягом дня.

На рис. 3.14 показано зміну освітленості сонячної панелі, виміряну сонячним ватметром. На рис. 3.15 показано зміну напруги, струму та потужності фотомодуля для двох випадків (з трекером та без нього), які порівнюються за період від сходу до заходу сонця. Коли криві розглядаються між 8:00 та 11:00, значення напруги, струму та потужності для обох випадків є

дещо близькими. З іншого боку, у другій половині дня, між 12:00 та 19:00, спостерігали значну різницю у величині напруги, струму та виробленої потужності. Ми дійшли висновку, що втрати енергії фіксованої панелі мали найбільшу вагу з полудня до заходу сонця.

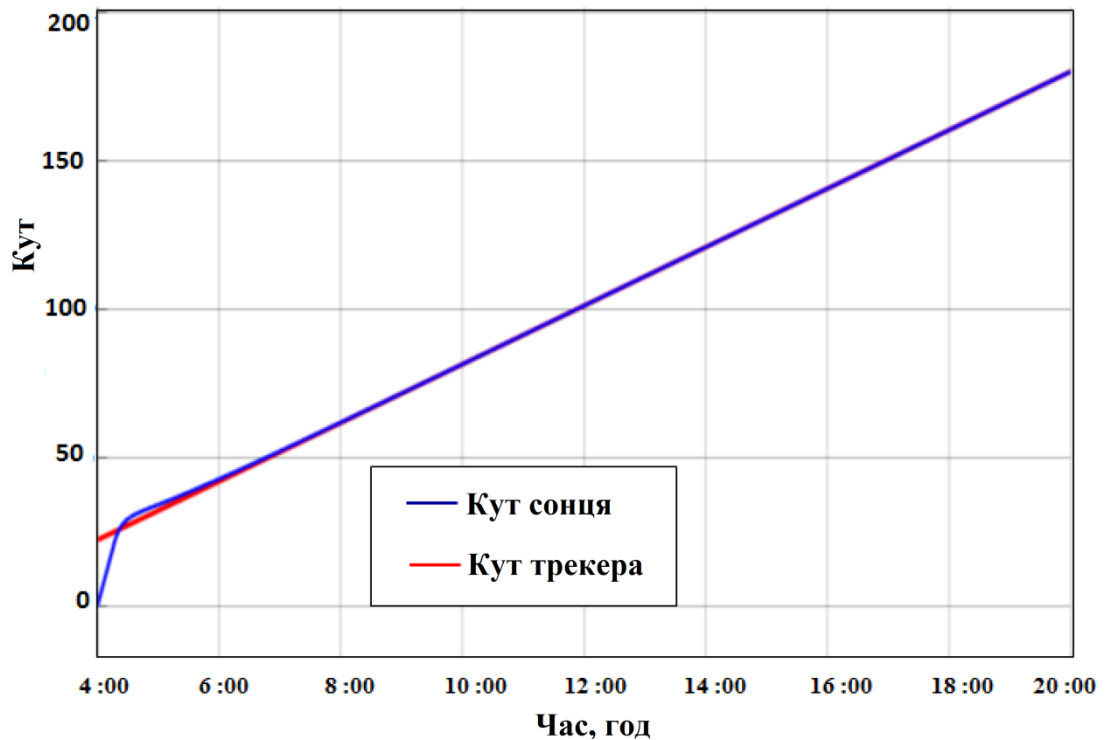


Рисунок 3.13 - Порівняння між годинним кутом сонця та кутом переміщення сонячного трекера

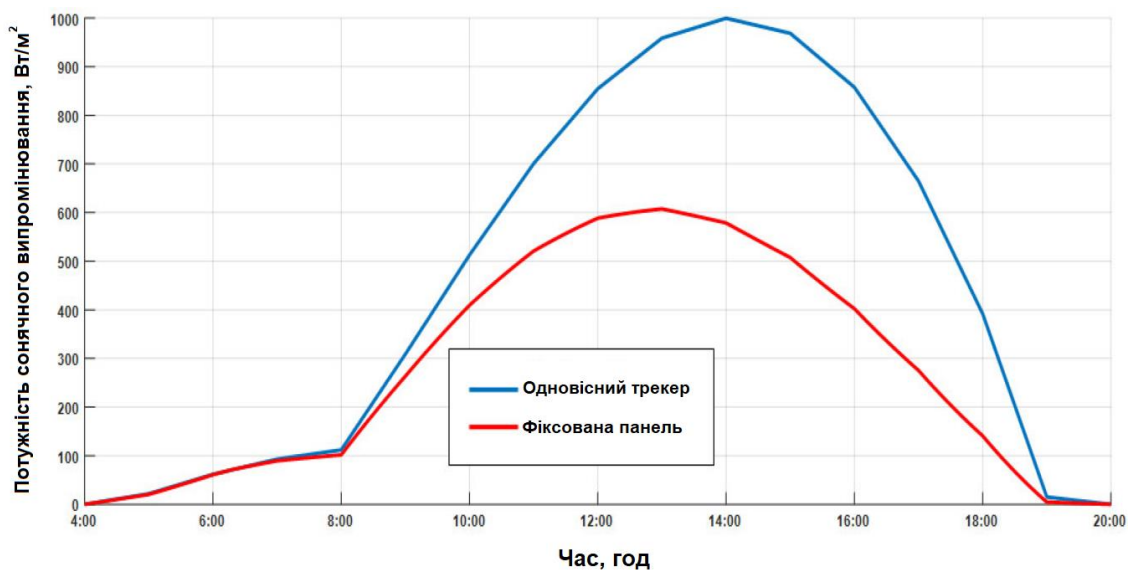


Рисунок 3.14 - Зміна енергії, що попадає на сонячну панель, виміряну сонячним ватметром



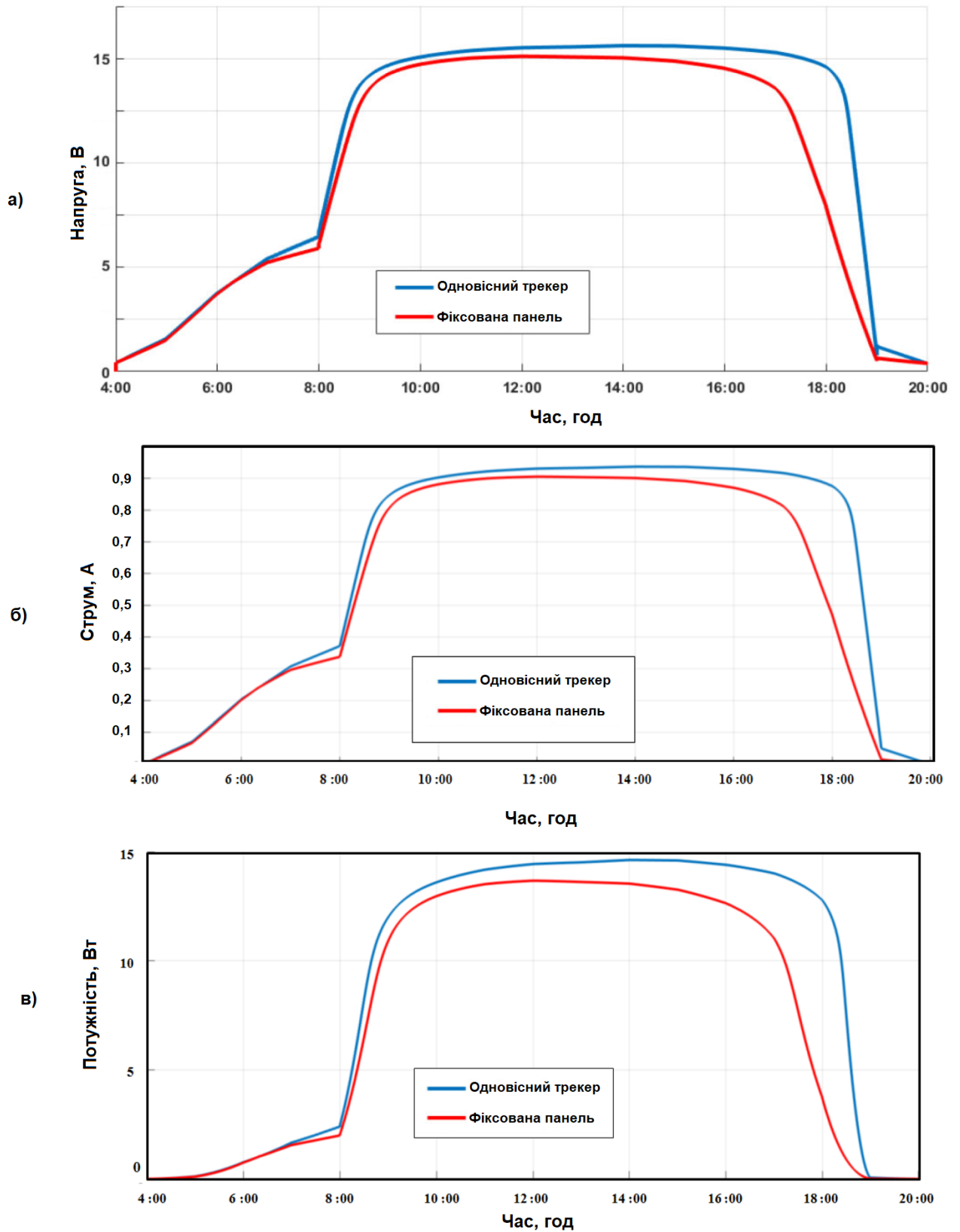


Рисунок 3.15 - Значення (а) напруги, (б) струму та (в) потужності, згенерованої фотоелектричною панеллю з сонячним трекером, порівняно з фіксованою фотоелектричною панеллю

### 3.7 Висновки до розділу

1. Розкрито питання системи керування у портативній сонячній зарядній станції, її роль та особливості роботи.
2. Для моделювання падіння сонячного випромінювання та його перетворення на електроенергія фотоелектричною панеллю використано можливості MATLAB-SIMULINK та запропоновано структурну схему фотоелектричної панелі, представленої на рис. 3.3. В результаті моделювання отримано вольт-амперні та вольт-ватні характеристики при різних рівнях сонячного випромінювання.
3. Розроблено структурну схему та блок-схему серводвигуна, що використовується для моделювання у середовищі SIMULINK. Отримано ступінчасту характеристику серводвигуна. Встановлено, що вона задовольняє умовам при використанні для приведення в рух механізму сонячного одновісного трекара.
4. Проведено дослідження роботи одновісного сонячного трекара для портативної сонячної зарядної станції. Встановлено, що його використання підвищує ефективність в межах від 17 % до 31 %. Основну роль він відіграє з полудня до заходу сонця бо тут втрати енергії фіксованої панелі мають найбільшу вагу.

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Заходи безпеки при монтажі енергоустановок

Роботи в електроустановках, що стосується заходів безпеки, діляться на три категорії [16]: 1) зі зняттям напруги; 2) без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них; 3) без зняття напруги не на струмовідних частинах, що знаходяться під напругою.

У випадку одночасної роботи в електроустановках напругою до і понад 1000 В категорії робіт визначаються як для установок більше 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які здійснюються в електроустановці (або її частини), в якій з струмопровідних частин знято напругу і доступ в електроустановки (або їх частини), що знаходяться під напругою, стало неможливим.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші - групу III.

В електроустановках напругою понад 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них слід виконувати із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмопровідних частин або від землі. У випадку ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати згідно спеціальних інструкцій або технологічними картами, в яких передбачені необхідні заходи безпеки.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу від них необхідно:

- захистити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, які знаходяться під напругою, і до яких можливо випадковий дотик;

- працювати в діелектричній взуття, стоячи або на ізолювальних підставці або на діелектричному килимі;

- застосовувати інструмент з ізолювальними рукавами (у викруток, крім того, повинен бути ізолюваний стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- Тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукави до обмежувального кільця;

- Розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю;

- Користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

У разі виявлення порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними забороняється.

У процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих коштів.

Всі працівники, які знаходяться у приміщеннях з чинним електрообладнанням електростанцій і підстанцій (за винятком щитів керування релейних та їм подібних приміщень), в ЗРУ, ВРУ, в колодязях, тунелях і траншеях зобов'язані користуватися захисними касками.

## **4.2 Допомога при ураженні електричним струмом в електроустановках напругою до 1000 В**

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними

працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога) [16]. Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

— усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;

— визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;

— виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);

— підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;

— викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Для звільнення потерпілого від струмоведачущих частин або провода напруженою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або; будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх

випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затруднює дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15—20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрозувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи

самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

### 4.3 Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [16].

Нормативами визначаються *сигнальні і розпізнавальні кольори*. Основними *сигнальними кольорами* є червоний - забороняючий, засвідчуючий про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

*Розпізнавальними кольорами* вважають зелений, червоний, синій, жовтий, оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди.

Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

Огородження небезпечних зон із зовнішнього боку фарбують в жовтий колір, із внутрішнього - в червоний.

Габарити проїздів, проходи і робочі місця на підлозі виробничих приміщень позначаються смугою чи штриховими лініями білого чи жовтого кольору.

Розпізнавальне фарбування однойменних струмоведучих шин у кожній електроустановці приймається однаковим.

При змінному струмі фаза А фарбується в жовтий колір, фаза В - зелений, фаза С - червоний, нульова (при ізольованій чи заземленій нейтралі) - в чорний; при однофазному струмі провідник, під'єднаний до початку обмотки джерела живлення, - в жовтий, до кінця обмотки - в червоний; при постійному струмі позитивна фаза "+" - в червоний, негативна "-" – в синій, нейтральна - в білий.

Стандартами передбачена система знаків безпеки, які повинні використовуватися не тільки в промисловості, але й в інших галузях народного господарства, а також передбачені знаки, які є загальними для багатьох виробництв і професій, але у разі необхідності вони можуть бути конкретизовані із використанням графічних зображень і надписів, що застосовуються в інших стандартах.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз конструкції базової портативної сонячної зарядної станції та проведено аналіз існуючих конструкцій портативних сонячних зарядних станцій, їх компонування та функції.
2. Завдяки вибору плати Arduino та розробленій програмі управління, вдалося спроектувати системи за власною конфігурацією, яка показала кращу чутливість у відстеженні траєкторії руху сонця.
3. Особливістю запропонованої портативної сонячної зарядної станції є наявність одновісної системи стеження за сонцем, яка реалізована на базі двигуна постійного струму - серводвигуна. Керування положення фотоелектричної панелі здійснюється мікроконтролером відповідно до сигналів датчиків положення сонця.
4. Виконано обґрунтування конструкції й розраховано параметри портативної сонячної зарядної станції та описано стандартне обладнання, яке використано для виконання типових функцій. А це: контролер заряду, інвертор та акумуляторна батарея.
5. Для моделювання падіння сонячного випромінювання та його перетворення на електроенергію фотоелектричною панеллю використано можливості MATLAB-SIMULINK та запропоновано структурну схему фотоелектричної панелі, представленої на рис. 3.3. В результаті моделювання отримано вольт-амперні та вольт-ватні характеристики при різних рівнях сонячного випромінювання.
6. Проведено дослідження роботи одновісного сонячного трекера для портативної сонячної зарядної станції. Випробування фотоелектричної панелі показало, що слідкування за сонцем принесе приріст у генеруванні електроенергії у фотоелектричній установці, яку використано у даному проекті. Встановлено, що наявність трекера підвищує ефективність в межах від 17 % до 31 %. Основну роль він відіграє з полудня до заходу сонця бо тут втрати

енергії фіксованої панелі мають найбільшу вагу.

7. Фотоелектричні трекерні системи є важливою сферою, в якій було проведено значну кількість досліджень. Однак сама сфера настільки широка, що завжди є місце для інновацій або вдосконалення. Це спонукало до вивчення цієї сфери досліджень, що дозволило розробити систему стеження за фотоелектричними модулями для підвищення їх ефективності і, отже, більшого генерування електроенергії.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коваль В. Залежність енергоефективності сонячних елементів від експлуатаційних факторів / В. Коваль // Збірник тез доповідей XVII наукової конференції ТНТУ ім. Івана Пулюя, 20-21 листопада 2013 року. — Т. : ТНТУ, 2013. — Том I : Природничі науки та інформаційні технології. — С. 53.
2. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 3. – С. 2-10
3. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.
4. Schwabe, Ulrich, and Peter Mark Jansson. "Performance measurement of amorphous and monocrystalline silicon PV modules in Eastern US Energy production versus ambient and module temperature." 2009 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. IEEE, 2009.
5. Mousazadeh, Hossein, et al. "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output." Renewable and sustainable energy reviews 13.8 (2009): 1800-1818.
6. Nuwayhid, R. Y., F. Mrad, and R. J. R. E. Abu-Said. "The realization of a simple solar tracking concentrator for university research applications." Renewable Energy 24.2 (2001): 207-222.
7. Chong, K. K., and C. W. Wong. "General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector." Solar energy 83.3 (2009): 298-305.
8. Іме А.Н. Підвищення ефективності сонячних панелей шляхом використання водяного охолодження/Аях Нсікак Іме, В.П.

- Коваль//Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року.—Т.: ТНТУ, 2020.—Том 2.— С. 80–81.а.
9. Vadym Koval, Bogdan Orobchuk, Nataliia Kuzemko, Gao Lijin. Measuring device for photovoltaic modules electrical characteristics testing // Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021
  - 10.Коваль В. П. Автоматизована вимірювальна установка для дослідження електричних характеристик фотоелектричних модулів/ В. П. Коваль, Б.Я. Оробчук, Л.М. Костик, Я.М.Осадца// Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 5. – С. 168-173.
  - 11.Герєга С. Збільшення ефективності використання сонячних панелей / Степан Герєга, Вадим Коваль, Ярослав Філюк // Матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 202.
  - 12.Afarulrazi, A. B., et al. "Solar tracker robot using microcontroller." 2011 International Conference on Business, Engineering and Industrial Applications. IEEE, 2011.
  - 13.Solar Angles & Tracking Systems. Photovoltaic Efficiency: Lesson 1, Fundamentals Article; Free STEM Curriculum for K-12.Available online: <https://www.TeachEngineering.org> (accessed on 22 August 2022)
  - 14.Koussa, M., et al. "Measured and modelled improvement in solar energy yield from flat plate photovoltaic systems utilizing different tracking systems and under a range of environmental conditions." Applied Energy 88.5 (2011): 1756-1771.

15. Antonanzas, J., et al. "Optimal solar tracking strategy to increase irradiance in the plane of array under cloudy conditions: A study across Europe." *Solar Energy* 163 (2018): 122-130.
16. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.