

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань _____ 15 Автоматизація та приладобудування _____

Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані
технології _____

на тему «Метод автоматичного керування положенням сонячного модуля»

КвРАКІТ. 2021/068.1.02.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група АКІТм-21-1


Підпис

Д.М.Хома
Ініціали, прізвище

Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Н.В.Моркун
Ініціали, прізвище



 Л.О.Корчук

До захисту допускаю:
Зав. кафедри АКІТ, д.т.н., проф.
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

В.В.Мартинюк
Ініціали, прізвище

08 12 2022 р

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій й

Освітній рівень другий (магістерський)


Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою АКІТ

 Морзун Н.В.
«1» 07 2022р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Хомі Денису Миколайовичу

1 Тема роботи: Метод автоматичного керування положенням сонячного модуля керівник роботи Морзун Н.В., д.т.н, професор.

Затверджено наказом по університету від «1» липня 2022р. № 83.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 02.12.2022р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи: розробка методу автоматичного керування положенням сонячного модуля

Об'єкт дослідження: процес керування положенням сонячного модуля

Предмет дослідження: розробка методу автоматичного керування положенням


4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. Аналітичний розділ. Розробка методу методу автоматичного керування сонячним модулем. Програмно-апаратна реалізація. Експериментальне дослідження методу керування положенням. Висновки.

Завдання отримав _____

Науковий керівник _____

5. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	к.т.н,доцент Корецька.Л.О,		
Антиплагіат	к.т.н,доцент Федула.М.В		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк етапів виконання роботи	виконання дипломної	Примітка
1	Вступ	10.09.2022р.		Виконано
2	Аналітичний розділ	25.09.2022р.		Виконано
3	Розробка методу методу автоматичного керування сонячним модулем	15.10.2022р.		Виконано
4	Програмно-апаратна реалізація	30.10.2022р.		Виконано
5	Експериментальне дослідження методу керування положенням	10.11.2022р.		Виконано
6	Висновки	15.11.2022р.		Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КР	20.11.2022р.		Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2022р.		Виконано

Студент _____


Підпис

D.M. Koles
Ініціали, прізвище

Керівник роботи _____


Підпис

М.В.Моркун
Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Принцип роботи сонячної панелі	8
1.2 Сонячні електростанції з статичними панелями	9
1.3 Актуальність розробки систем стеження за сонцем.....	10
1.4 Класифікація сонячних трекерів	13
1.5 Будова сонячного трекера.....	19
1.6 Способи управління системою орієнтації сонячного трекера	21
1.7 Огляд існуючих рішень.....	24
1.8 Постановка задачі проектування	30
1.9 Висновки до першого розділу	30
2 РОЗРОБКА МЕТОДУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ.....	31
2.1 Розробка алгоритму функціонування.....	31
2.2 Розробка структурної схеми пристрою слідкування за сонцем.....	33
2.3 Розробка функціональної схеми	35
2.4 Вибір елементної бази.....	38
2.5 Будова сонячного трекера для розроблюваного методу слідкування ...	52
2.6 Висновки до другого розділу.....	53
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ	54
3.1 Машинний зір.....	54
3.2 Бібліотека OpenCV	56
3.3 Розробка алгоритму роботи основного методу слідкування	57
3.4 Програмна реалізація алгоритму слідкування за сонцем.....	60
3.5 Математичне обґрунтування додаткового методу слідкування	65
3.6 Розробка алгоритму додаткового методу сонячного позиціонування ..	69
3.7 Програмна реалізація методу додаткового позиціонування.....	70
3.8 Висновки до третього розділу	74
4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ	75

4.1 Розрахунок потужності ФЕМ без трекера	75
4.2 Визначення вольт-амперної характеристики	79
4.3 Висновок до четвертого розділу	82
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86
Додаток А	89
Додаток Б	91
Стаття в науковому журналі	91
Додаток В	95

ВСТУП

В сучасному світі у всіх сферах життя людини використовується електроенергія, і з кожним роком використання її тільки збільшується. Через використання традиційних джерел енергії таких як: нафта, газ, вугілля, дуже сильно страждає екологія, а також запаси цих корисних копалин з кожним роком зменшуються. В зв'язку з цими факторами, з кожним роком збільшується використання нетрадиційних джерел енергії. До нетрадиційних джерел енергетики відноситься: вітрова, сонячна, геотермальна, енергія припливів, течії річок, також ці джерела енергії вважаються невичерпними, що дає можливість їх використання на довгі роки вперед.

Одним з найбільш перспективних та екологічно чистих використань відновлюваної енергетики є використання сонячної енергетики.

Використання сонячної енергії для виробництва електроенергії в Україні набуває великої популярності: розвиток сонячної енергетики віднесено до пріоритетних національних проєктів, а осінню 2010 року було введено в експлуатацію першу сонячну електростанцію України. Станом на початок 2018 року потужність побудованих сонячних електростанцій в Україні складає вже більше 752 МВт [1].

Найчастіше для сонячної енергетики використовується метод прямого перетворення енергії сонячного випромінювання в електроенергію. Цей метод є найбільш екологічно чистим методом використання відновлюваних джерел енергії, а також є найбільш зручним і простим для використання споживачами електроенергії.

Серед великої кількості позитивних факторів у використанні енергії сонця, є також декілька негативних. Одним головних негативних факторів при такому використанні є неможливість використання сонячних електростанцій в темну пору доби, а також досить сильний вплив погодніх умов на рівень генерації електроенергії. Наступним негативним фактором виступає проблематика технічної підтримки роботи модулів та їх обслуговування. Сонячні панелі необхідно вимивати з деяким проміжком часу від забруднень таких як пил бруд та сніг, при великих площах електростанції це завдання може створювати значні

труднощі. Сонячні панелі також страждають від інтенсивного нагріву сонячними променями. Науково доведено що при нагрівання сонячного модуля його коефіцієнт корисної дії зменшується. Тому важливо організувати певне охолодження для модулів. Однак основною проблемою використання сонячної енергетики є її пряма залежність від інтенсивності освітлення сонця. Оскільки сонце протягом дня змінює своє положення на небосхилі освітленість сонячної панелі постійно змінюється.

Більшість всіх сонячних панелей, що використовуються встановлюється статично під певним кутом нахилу до сонця і зазвичай мають південну орієнтацію. Такий спосіб установки панелей має безсумнівні переваги в дешевизні, простоті та надійності. Однак потрібно пам'ятати що чим більший кут між сонцем та площиною сонячної панелі, тим менше сонячного випромінювання потрапляє на панель, та менше виробляється електроенергії. Тому можна зробити висновок графік потужності сонячної панелі має форму параболи, де до середини дня потужність збільшується і сягає максимуму, а потім зменшується доки не настане ніч. Також окрім руху сонця днем потрібно враховувати те що кут падіння променів також змінюється в залежності від пори року.

За результатами фактичних експериментів було виявлено що кількість сонячного проміння що потрапляє на статично встановлений модуль, становить всього від 40 до 70% можливої сонячної енергії що можна отримати, якщо б модуль постійно був направлений на сонце перпендикулярно. Можливість збільшення сонячного проміння що потрапляє на фотоелектричну панель дає нескладний пристрій під назвою сонячний трекер. Сонячний трекер це пристрій що здійснює постійне слідкування за положенням сонця на небі, та повертає панелі в залежності від руху сонця. Живленням для трекера слугує енергія вироблена ФЕМ.

На сучасному ринку представлено дво та одно осьові трекери. Перший вид трекерів виконує слідкування та поворот сонячної панелі в двох площинах з сходу на захід та з півночі на південь. Одноосьові трекери виконують поворот сонячної панелі тільки в одно напрямку, зазвичай сходу на захід.

В ідеалі, для отримання максимального ККД фотоперетворювачів, трекер повинен встановлюватися на всі без винятку панелі. Це не так критично для малих електростанцій, де власник цілком може раз на місяць-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. 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% [2].

Об'єктом дослідження є метод і програмно-технічний засіб керування сонячним модулем.

Предметом дослідження є методи керування і програмно-технічні засоби керування сонячним модулем.

Метою дипломної роботи є розробка автоматичного методу керування сонячним модулем.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи визначення положення сонця на зображенні та визначення кута градуса повороту трекера за азимутом.

Наукова новизна отриманих результатів:

- Розроблено метод керування сонячною модулем;
- Удосконалено технічно-програмний засіб керування сонячним модулем.
- На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці методу керування сонячною панеллю за допомогою знімків неба та розробці технічно-програмного засобу керування сонячним модулем, які підвищують ефективність відстеження траєкторії сонця та управління трекером.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Принцип роботи сонячної панелі

Сенс роботи сонячної електростанції полягає в процесі перетворення енергії сонця в електричну енергію що використовується людьми. Існує досить багато детально розроблених установок для перетворення сонячної світлової енергії в електричну.

Найбільш відомі установки використовують принцип дії який полягає в явищі фотоефекту. Сонячні панелі складаються з багатьох фотоелектричних комірок що захоплюють фотони світла. Фотоелектричні комірки складаються із шарів кремнію з різними елементами для утворення стійкого р-n-переходу. Коли фотоелектричні комірки освітлюються, утворюється додаткова пара електродів. Однак, оскільки р-n-перехід створює різницю потенціалів електрони не мають можливості перейти на іншу сторону тому рухаються по металевому з'єднувачі через навантаження утворюючи цим електричний струм.

Збірка з багатьох фотоелектричних комірок розміщених на рівній основі і з'єднаних металевим провідником створює собою сонячну панель (рисунок 1.1), відповідно збірка з однієї або декількох сонячних панелей утворюють сонячну електростанцію.



Рисунок 1.1 – Сонячна панель

1.2 Сонячні електростанції з статичними панелями

Сонячні електростанції поділяються на ті що використовують сонячні треки і ті що стоять нерухомо.

СЕС що стоять нерухомо складаються із збірки сонячних панелей що встановлюються під певним кутом, відповідно до широти місця розташування СЕС, і знаходять в одному положенні постійно, незалежно від пори року і дня. Приклад стаціонарних нерухомих СЕС зображено на (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Стаціонарна нерухома СЕС

Данні СЕС можливо встановлювати як на поверхні землі, так і можливо використовувати похилі дахи житлових будинків, а також дахи промислових будівель, що є вагомим перевагою даних видів сонячних електростанцій. Ще однією з головних переваг є найнижча вартість встановлення і виготовлення такого типу СЕС.

Ефективність такого виду СЕС є меншою в порівнянні з електростанціями що використовують сонячні треки, оскільки кут падіння сонячних променів на панель змінюється на протязі дня і року. Саме неможливість підтримувати постійний постійний кут падіння сонячних променів і тим самим збільшити ККД установки, є головним недоліком даних видів систем.

1.3 Актуальність розробки систем стеження за сонцем

Сонячне світло потрапляє на сонячну панель під певним кутом. Кількість сонячного світла доступного для генерації електроенергії можна вирахувати за допомогою наступної формули:

$$W = A \lambda \cos (\theta) \quad (1.1)$$

де A – обмежувальний коефіцієнт перетворення в конструкції панелі;

λ – інтенсивність світла;

θ – кут нахилу сонячного світла до нормального кута.

Завдяки цьому розрахунку максимальна потужність, що генерується, буде тоді, коли сонячне світло потраплятиме у фотоелемент вздовж її нормальній зоні, і ніяка потужність не буде генеруватися, коли сонячне світло перпендикулярно до нормального. З фіксованою сонячною панеллю протягом дня виникає значна втрата потужності, оскільки панель не утримується перпендикулярно до сонячних променів. Система стеження може утримувати кут падіння в межах певної межі і зможе максимізувати генеровану потужність [3].

Оскільки відомо що для отримання максимального ККД виробництва електричної енергії можна лише при умові розміщення панелей під прямим кутом до падіння сонячних променів. Так як сонце на протязі дня рухається по небу, тому панелі встановлені нерухомо не зможуть віддати максимальну свою ефективність (рис. 1.3).

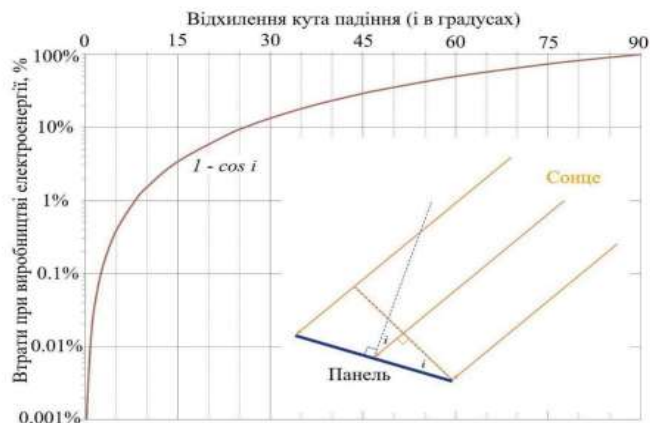


Рисунок 1.3 – Графік залежності втрат панелі

Із даного графіка можна зробити висновок що при використанні трекера із точністю до $\pm 5^\circ$ сонячна панель буде мати ефективність вловлення сонячних променів біля 99% .

Окрім руху сонця по неба напротязі дня із сходу на захід, також відбувається рух із півдня на північ і за рік таке відхилення становить близько 45° (рис 1.4). При встановленні панелей в середню позицію між максимальним положенням сонця на півночі та максимальним положенням на південь, зниження видобутку електроенергії протягом року від максимально можливого буде складати близько 9%.

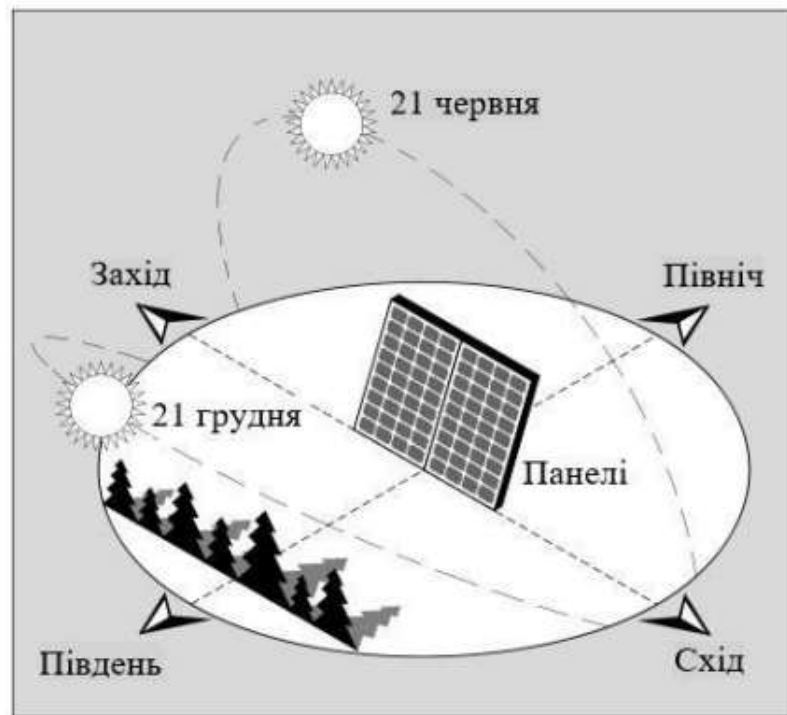


Рисунок 1.4 – Зміна кута нахилу сонця в залежності від пори року

Також важливим фактором в сонячній генерації є сонячне схилення (рис. 1.5). У будь-який день δ приймається за константу, яка змінюється на наступний день. Емпіричне співвідношення Купера для розрахунку кута сонячного схилення (в градусах):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin((284 + d) \cdot 360 / 365) \quad (1.2)$$

де d – день року

Сонячне схилення можна знаходити іншим методом – кут між лінією, що з'єднує центри Сонця і Землі, і її проекцією на екваторіальну площину. Схилення Сонця змінюється у зв'язку з обертанням земної кулі навколо своєї осі. Максимальне значення досягає $23,45^\circ$ 21 грудня, а мінімальне - $23,45^\circ$ 21 червня [4].



Рисунок 1.5 – Кут сонячного схилення

Враховуючи всю мінуси пов'язанні з рухом сонця по небу, можна зробити висновок, що для максимальної генерації сонячної енергії потрібно змінювати кут нахилу сонячних панелей постійно на протязі дня. Щоб постійно коригувати кут нахилу панелей використовують спеціальні пристрою – сонячні трекери. (рис. 1.6).

Використання трекера дозволяє збільшити ефективність сонячних панелей на 30-50% за рахунок того, що сонячні панелі повернуті під оптимальним кутом до сонця протягом всього дня. В результаті для отримання необхідної потужності потрібно менше панелей і скорочується вартість кінцевої сонячної установки [5].



Рисунок 1.6 – Обертання панелі з допомогою сонячного трекера

1.4 Класифікація сонячних трекерів

При виборі сонячних трекерів особливу увагу приділяють умовам середовища експлуатації. Ці умови включають в себе : доступну площу установки, широту місцевості, габарити установки, погодні умови та інше [6].

Сьогодні із багатьох видів систем установки ФЕМ, запропонованих зарубіжними та вітчизняними компаніями, можна виділити дві основні групи – динамічні та статичні.

Статичні системи – системи, що встановлюються орієнтацією на південь під певним кутом та забезпечують основне кріплення ФЕМ.

Динамічні системи – це системи автоматичної орієнтації і зміни положення ФЕМ на основі різних даних.

Класифікація сонячних трекерів відбувається за кількістю осей обертання і їхнього положення на сонячних панелях (рис 1.7).

Трекери з однією віссю обертання - Single axis trackers (SAT) називаються одноосьовими. Вісь обертання даного типу трекерів може розташовуватися в будь-яких координатних напрямках і використовувати будьякий алгоритм стеження, наприклад SPA (Solar Position Algorithm). Існує кілька реалізацій одноосьових трекерів. Вони включають в себе трекери з горизонтальною віссю обертання (HSAT), вертикальною віссю обертання 13 (VSAT), з похилою віссю обертання (TSAT) і з полярно-орієнтованою віссю обертання (PSAT) [7].



Рисунок 1.7 – Класифікація сонячних трекерів

Одноосьові сонячні трекери поділяються на :

1. Трекери з вертикальною віссю обертання - Vertical single axis tracker (VSAT), даний вид трекерів характеризується вертикальною віссю обертання сонячних панелей відносно поверхні землі. Такий вид трекерів ефективно використовувати у високих широтах. Положення сонячних модулів змінюється відносно зміни положення сонця. На СЕС побудованих на основі даних трекерів, необхідно враховувати затінення модулів від сусідніх рядів і розміщувати панелі найбільш ефективно, щоб уникнути втрат енергії при затіненні. Приклад трекера з вертикальною віссю обертання представлений на рисунку 1.8.

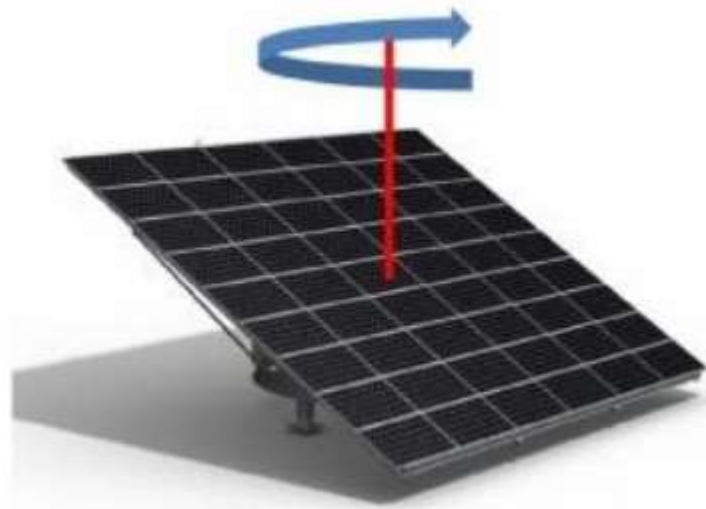


Рисунок 1.8 – Трекер з вертикально орієнтованою віссю

2. Трекери з горизонтальною віссю обертання - Horizontal single axis tracker (HSAT) пристрої з горизонтальною віссю обертання відносно землі.

Принцип роботи HSAT полягає в розміщенні ФЕМ на довгій горизонтально розміщенні труби на підшипникових опорах, встановлених на певній висоті над землею. Трубки розміщені кінцями в напрямку південь – північ і паралельні один одній. Протягом дня трубка обертається навколо своєї осі відповідно до положення сонця, тим самим виставляючи ефективний кут падіння променів сонця на ФЕМ.

СЕС побудовані з використанням трекерів HSAT мають велику гнучкість. Простота геометричної конструкції а також паралельні осі обертання всіх ФЕМ,

при дотриманні певного інтервалу між конструкціями, дозволяє максимізувати ефективність модулів незалежно від рельєфу і місцевості.

Також різновидом HSAT є трекери, встановлені на стінах великих будівель орієнтованих на південь - WHSAT (Wall Horizontal single axis tracker)[6]. На рисунку 1.9 представлено типовий трекер з горизонтально орієнтованою віссю.

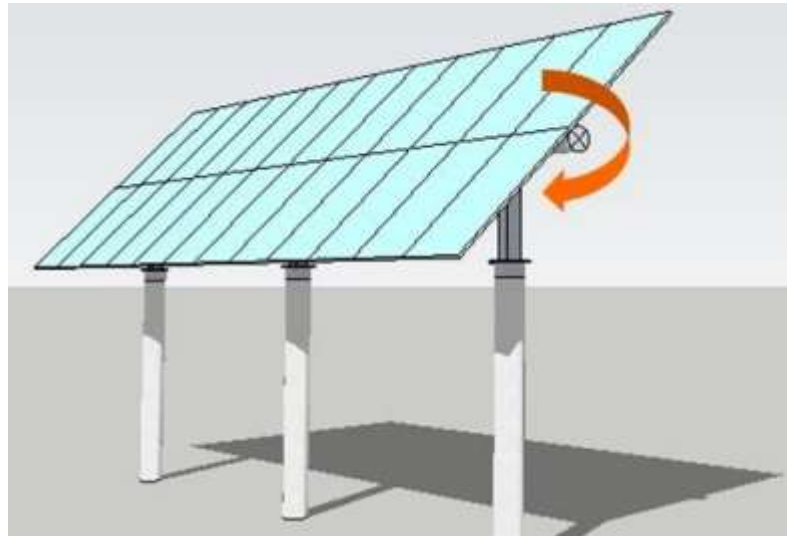


Рисунок 1.9 - Трекер з горизонтально орієнтованою віссю

3. Трекер з похилою віссю обертання - Tilted single axis tracker (TSAT) має одну похилу вісь обертання. Сонячні модулі встановлюються на трубу з підшипниковою опорою як у випадку з HSAT, відмінністю є те що вісь обертання встановлена під певним кутом до площини землі, відповідно до широти місця встановлення.

Трекер з двома осями обертання - Dual axis trackers (DAT) або двохосьовий трекер, містить дві осі обертання. DAT володіє більшим показником рівня свободи руху порівняно з SAT, завдяки тому що осі обертання зазвичай не пов'язані між собою. Трекери з двома осями обертання мають декілька видів реалізації і зазвичай класифікуються за напрямом основної осі обертання до поверхні землі. TTDAT і AADAT – це найбільш поширені конструкції трекерів з двома осями.

Трекери з кріпленням осей обертання на несучому стовпі - Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT), осі обертання трекера розміщені на кінці несучого стовпа через що була отримана відповідна назва. Керування положенням трекера зі сходу на захід відбувається за рахунок повороту всього масиву на закріпленому

обертівому підшипнику що знаходиться на несучому стовпі. Рух ФЕМ в горизонтальній площині відбувається за рахунок горизонтальної осі обертання подібної за конструкцією до HSAT. На рисунку 1.10 – зображено трекер TTDAT з двома осями обертання.

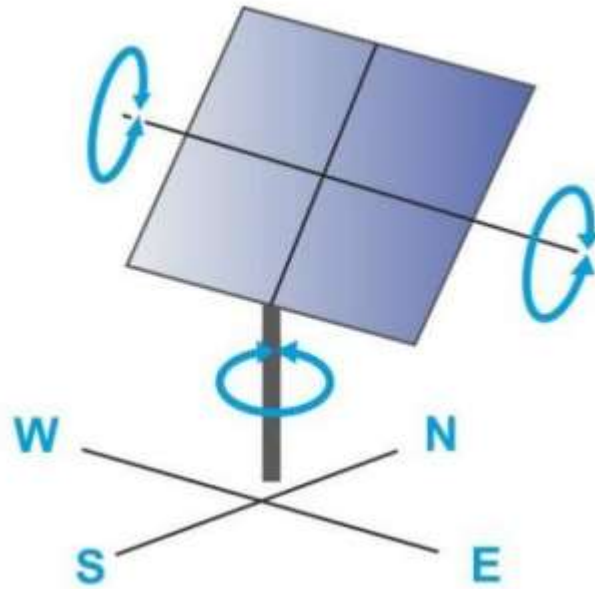


Рисунок 1.10 – Трекер з двома осями обертання

Зазвичай двохосьові трекери вирівнюються по лінії широти або через значення північного меридіана.

Трекер з двома осями обертання на опорною площиною – Azimuth altitude dual axis tracker (AADAT) представляє більш стабільнішу версію трекера TTDAT (зображено на рисунку 1.11). Відмінність трекера від описаного раніше полягає в способі повороту масиву ФЕМ навколо вертикальної осі. На відміну від TTDAT, AADAT системи використовують велике опорне кільце що встановлюється зазвичай на певну платформу, або землю. На кільце встановлюється весь масив сонячних модулів із горизонтальною віссю обертання. Система монтується на підшипникову платформу або спеціальні ролики, що дозволяє їй вільно обертатись навколо своєї осі.

Перевагою такої системи є збільшена опорна площа масиву, що дозволяє закріплювати масив із збільшеною кількістю сонячних панелей, без особливої втрати міцності та стійкості конструкції. Однак даний тип трекера не підходить

для щільної забудови площі СЕС, оскільки системи ААДАТ мусять мати відстань один до одного більшу ніж діаметр кільця повного оберту масиву ФЕМ.



Рисунок 1.11 – Двохосьовий трекер з опорною площиною

В загальному говорять тільки про плюси використання сонячних трекерів не говорячи при цьому про необхідність використовувати різні види трекерів в залежності від умов використання. Двохосьові трекери більш точно орієнтуються на сонце та максимізують виробництво електроенергії, але в той же час вони швидше втрачають свою надійність і є більш дорогівартісними ніж одноосьові. З іншої сторони одноосьові трекери є більш дешевшими у виробництві та установці, і мають більшу надійність через простішу конструкцію. Якщо брати до уваги похмурий день то можна вернути увагу що група двохосьових трекерів буде розсереджена в різні напрямки. В той же час група одноосьових трекерів з такими самими умовами забезпечить орієнтацію в одному напрямку і виробляться буде приблизно така сама кількість електроенергії як і на двохосьових трекерах але з меншими втратами (на рисунку 1.12 зображено порівняння двохосьового трекера з одноосьовим і статичною системою).

Використання трекерів має також недоліки:

- Солідні результати досягаються лише з використанням великої кількості ФЕМ;

- Наявність великої кількості рухомих частин потребує частого обслуговування;
- Збільшена вартість установки і експлуатації в порівнянні зі статичною системою.

Який саме вибрати тип сонячного трекера залежить від місця, де буде розташовуватися сонячні батареї.. У сонячних областях, таких як пустелі і екваторіальні регіони атмосфера зазвичай ясніша. Ці регіони мають високий "Індекс ясності неба" більший, ніж 0.8 або ще більше.

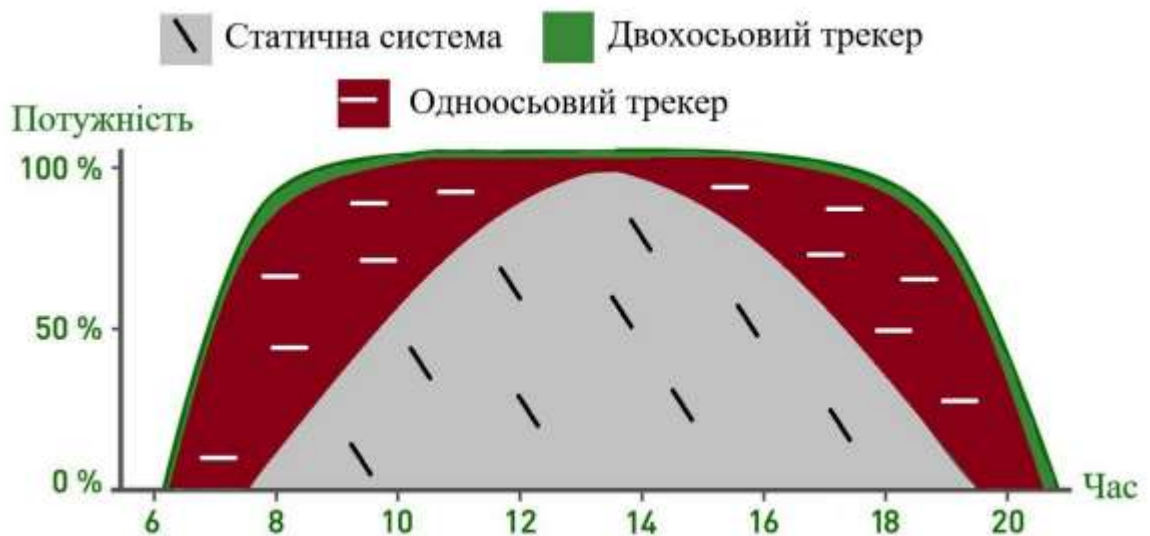


Рисунок 1.13 – Порівняння типів сонячних трекерів

Наведемо деякі статистичні дані для порівняння різних систем. Динамічна система кріплення ФЕМ із змінним вручну сезонним кутом нахилу :

- на 27% збільшується необхідна площа ділянки під СЕС по відношенню до статичної системи;
- на 25% збільшується вартість такої системи по відношенню до статичної;
- збільшуються витрати на обслуговування системи (4 людини змінюють кут нахилу ФЕМ за 2 дні на 1 МВт станції і так 2-4 рази на рік). Передбачуваний приріст генерації електроенергії по відношенню до статичної системи становить 4-5%. Динамічна система кріплення ФЕМ із змінним кутом нахилу «схід-захід» (одноосьовий сонячний трекер).

- на 30% збільшується кількість ФЕМ наявних на ділянці по відношенню до статичної системи (збільшується встановлена потужність СЕС), 19 відповідно при дефіциті площі під СЕС, доцільніше використовувати одноосьовий трекер;
- на 5% підвищується «зелений тариф» при виборі системи вітчизняного виробника;
- на 21% збільшується сума надходжень від продажу електроенергії в порівнянні зі статичною системою; – збільшення сумарних капіталовкладень в СЕС на 19% більше по відношенню до статичної системи. Передбачуваний приріст генерації електроенергії по відношенню до статичної системи становить 15 - 17% [8].

Для двохосьової системи велике значення має індекс ясності неба. Індекс ясності неба показує те як сильно хмари впливають на енергію що доходить до поверхні землі. Індекс ясності близько 0.8 вказує на дуже сонячний день малою хмарністю. При умові місцезоташування двохосьового трекера в районах з високим індексом вони виправдовують вартість встановлення і є економічно ефективними рішеннями для великих СЕС. Однак більшість розвинених країн розташовуються в помірному кліматі, де індекс ясності неба становить не більше 0.5. Також використання двохосьових систем доцільне у випадку переведення на автономні джерела живлення без використання зеленого тарифу. В такому випадку використовуючи досить малу площу можна збільшити рівень генерації в порівнянні із статичною системою.

1.5 Будова сонячного трекера

Будова сонячної електростанції із трекером наведена на рисунку 1.14. Взагалі існує велика кількість різноманітних комплектацій сонячних трекерів. До елементів конструкції трекера відносяться:

- фундамент або несуча частина і рухома частина, яка задає осі повороту платформи;
- різні підсистеми, до складу яких входять блок управління, безпеки, стабілізатори, метеостанція, грозозахист;

- пристрої управління рухомою платформою, що складається з двигунів, які ще називають актуаторами;
- контролер, призначений для обслуговування і налаштування енергосистеми;
- роутер, який підключений до мережі інтернет для відправки даних моніторингу системи, а також для віддаленого доступу до системи;
- система навігації, яка потрібна для визначення географічного положення панелей. На стаціонарні трекери система навігації встановлюється рідко. Часто при встановленні системи, дані про широту, довготу, висоту над рівнем моря задають вручну;
- інвертор, що здійснює перетворення постійної напруги в змінну [9].

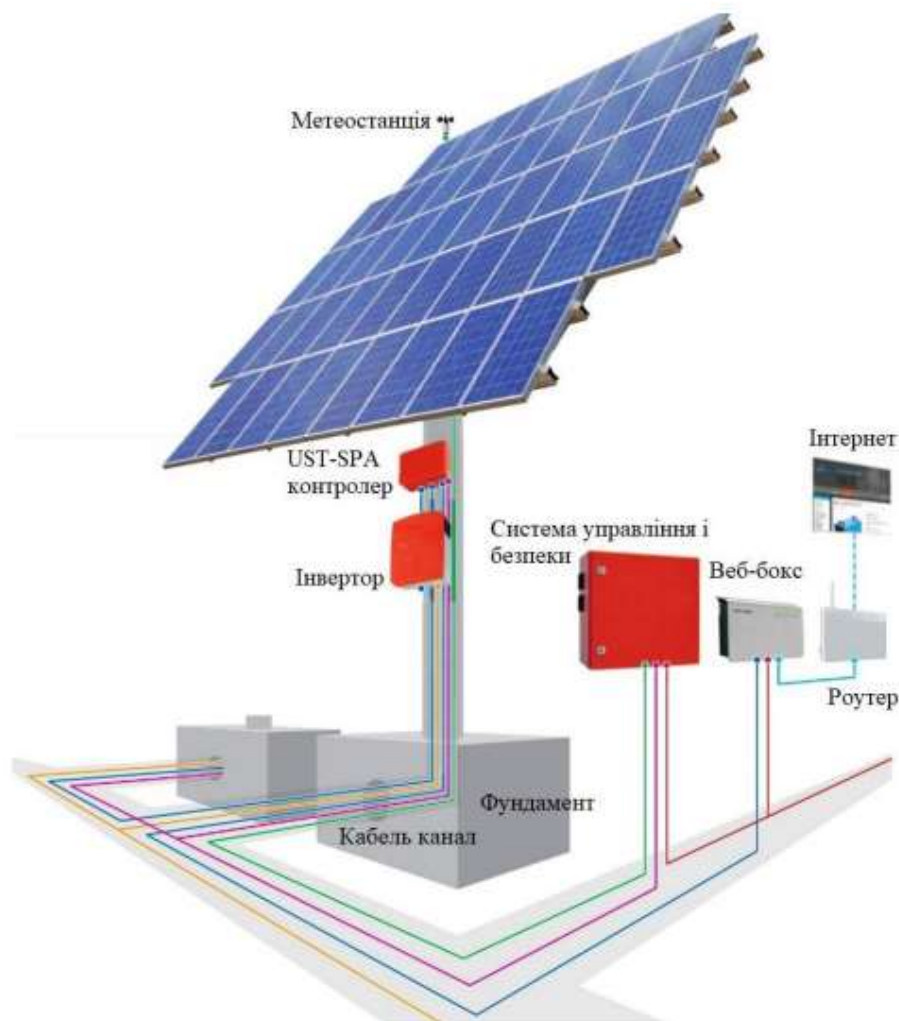


Рисунок 1.14 – Будова СЕС з трекером

Щоб здешевити конструкцію деякі елементи такі як веб-бокс з підключенням до роутера та інтернету можна не встановлювати.

1.6 Способи управління системою орієнтації сонячного трекера

Для досягнення максимальної ефективності генерації СЕС сонячні панелі потрібно точно орієнтувати на сонце. В цьому випадку призначенням трекера є приблизити кут падіння сонячних променів до значення в 90%. Орієнтація сонячних панелей змінюється або за допомогою ручного приводу або з допомогою спеціальних пристроїв – актуаторів.

Механізм стеження а сонцем зазвичай складається з алгоритму стеження, пристрою стеження, блоку управління, системи позиціонування, приводного механізму і датчиків. Алгоритми відстеження знаходять положення сонячного трекера. Використовується два типи алгоритмів відстеження – астрологічний алгоритм та алгоритм інтенсивності світла. Астрологічний алгоритм використовують заздалегідь відомі астрологічні дані про положення землі відносно сонця, завдяки яким і визначає положення масиву ФЕМ. На відміну від астрологічного, алгоритм інтенсивності світла використовує данні інтенсивності світла отримані в реальному часі. Блок управління займається виконанням алгоритму стеження і керує системою всіма іншими системами. Система позиціонування виконує керування приводного механізму відповідно до алгоритму стеження. Системи позиціонування існують електричні або гідравлічні. Привідний механізм виконує переміщення пристрою стеження до відповідної позиції. Чутливі пристрої, датчики відповідають за вимірювання інтенсивності світла та кута нахилу сонячної панелі.

Системи управління сонячним трекером бувають трьох видів:

1. Активна. Орієнтація сонячної панелі відбувається за допомогою активного сенсора. При порівнянні зі статичними системами приріст потужності до 50%.

2. Пасивна. Переорієнтація ФЕМ відбувається по сонячному календарю, при цьому ефективність збільшується на 40% при порівнянні зі статичною системою.

3. Комбінована. Система застосовується для підвищення надійності. У звичайному режимі система працює по активній системі, а у випадку проблем з визначенням інтенсивності сонячних променів переходить на пасивну. Якщо

сила вітру перевищує максимальну можливу то система переводить сонячні панелі в режим флюгера.

Також одним із рішень для підвищення ефективності сонячних панелей, без застосування механізації, є змінна кута орієнтації сонячних панелей за допомогою ручної праці. Зазвичай при використанні такого метода сонячні панелі розташовуються в напрямку північ – південь. В такій системі зміна положення сонячних панелей відбувається від мінімального 2 рази в рік (зима/літо) до максимального 4 рази (зима/весна/літо/осінь). Теоретично такий спосіб заслуговує на життя, оскільки розрахунки показують збільшення ефективності сонячної генерації СЕС на 4-5%.

Робота сонячних трекерів може бути реалізована на базі декількох концепцій. Наведемо основні них :

1 Робота актуаторів руху базується на показаннях отриманих від декількох фотоприймачів (рис. 1.15). Під час руху сонця по небосхилу рівень освітленості фотоприймачів приймає різні значення. Далі електричний блок керування робить аналіз отриманих даних з фотоприймачів і формує сигнали для системи переміщення, відбувається переміщення сонячної панелі до тих пір, доки показання освітленості з фотоприймачів не будуть співпадати один з одним. Зазвичай переміщення панелей відбувається в напрямку захід-схід.



Рисунок 1.15 – Трекер на фотоелементах

Перевагами використання таких систем є їхня дешевизна та простота конструкції. Недоліками системи є погана ефективність при хмарній погоді та у випадку забруднення поверхні фотоприймачів.

2. Керування орієнтацією сонячного трекера за допомогою Азимутального і Зенітного кутів. Принцип роботи такої системи полягає у використанні переміщення землі для точного позиціонування:

- переміщення сонця навколо своєї осі протягом дня;
- щорічне переміщення землі навколо сонця.

Пристрій з такою системою працює по зарання встановленій програмі. Рух актуаторів відбувається за допомогою таймера який на протязі дня через певних час посилає сигнали на зміну кута нахилу сонячної панелі. Точність таких систем невисока, по причині зміни сонцем місця заходу, зенітного кута і часу заходу.

3. Керування положенням ФЕМ відбувається за допомогою програми що визначає положення сонця в певні моменти часу і по отриманих координатах виконує позиціонування.

Положення сонця на небі можна визначити за допомогою двох показників зенітного та азимутального кута. Зенітний кут показує кут між поверхнею та лінією що сполучає спостерігача та сонце. Азимут це кут між сонцем і південним напрямом (рис. 1.16).

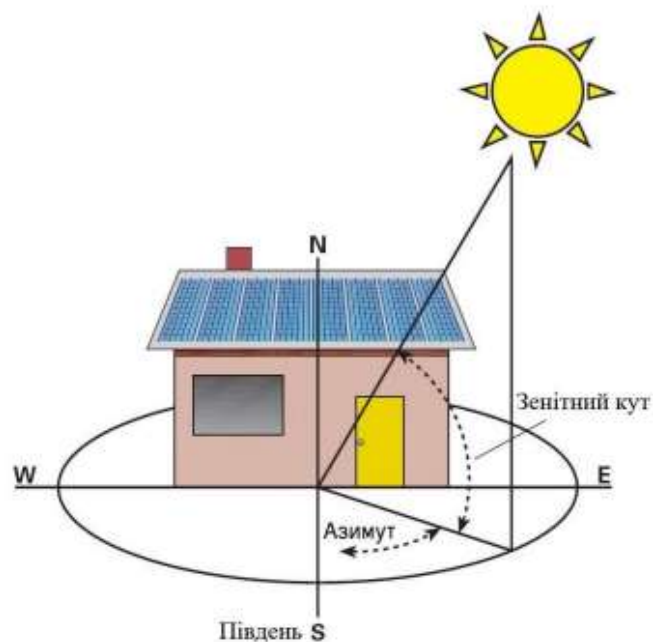


Рисунок 1.16 – Кути положення сонця

За допомогою вбудованого годинника реального часу пристрій вимірює значення зенітного кута та кута азимута. При вимірюванні обов'язково враховується широта та довгота місцеположення сонячного трекера та його висоту над рівнем моря.

Після отримання даних з датчиків та їх обробки відбувається зміна положення сонячних панелей відповідно до положення сонця.

Всі описані способи мають певні переваги в залежності від умов та місця використання трекера. Для приватних хазяйств підходять всі способи керування однак використання деяких трекерів може виявитись економічно не вигідне при малих масштабах. Можна виділити, що для промислового виробництва підходять трекери тільки з програмним способом керування трекером або використання статичних систем.

1.7 Огляд існуючих рішень

Протягом декількох десятиліть було розроблено велику кількість різноманітних сонячних трекерів з метою збільшення генерації сонячних панелей. В загальному всі ці пристрої об'єднує поєднання рухомої (обладнання для генерації енергії) та нерухомої (пристрою стеження) частини конструкції

Сонячну систему можна назвати ефективною, коли вона в стані спостерігати за положенням сонця, вертати трекер у вихідне положення при заході сонця, коректно працювати в умовах підвищеної хмарності [10].

Найбільш простою системою сонячного трекера є система з використанням датчиків освітленості, які вимірюють рівень освітленості і підбирають найоптимальніше положення сонячного модуля. Схему даної системи зображено на рисунку 1.17.

В цьому проекті в якості пристрою для переміщення панелей використовуються двигуни постійного струму. З'єднання сонячних панелей з двигуном відбувається через привідні шестерні. Завдяки обертанню двигуна переміщується панель, відповідно до показань датчиків.

В якості фотодатчиків система використовує два фоторезистора на кожен вісь обертання. Фоторезистори розташовуються таким чином щоб різниця між

показання датчиків в найкращій позиції до сонця була мінімальною. Точна орієнтація і позиціонування фоторезисторів один відносно одного відіграють головну роль, оскільки саме від різниці освітленості між датчиками буде залежати напрямок в якому буде обертатись двигун.

Блоком керування в такій системі виступає платформа Arduino.

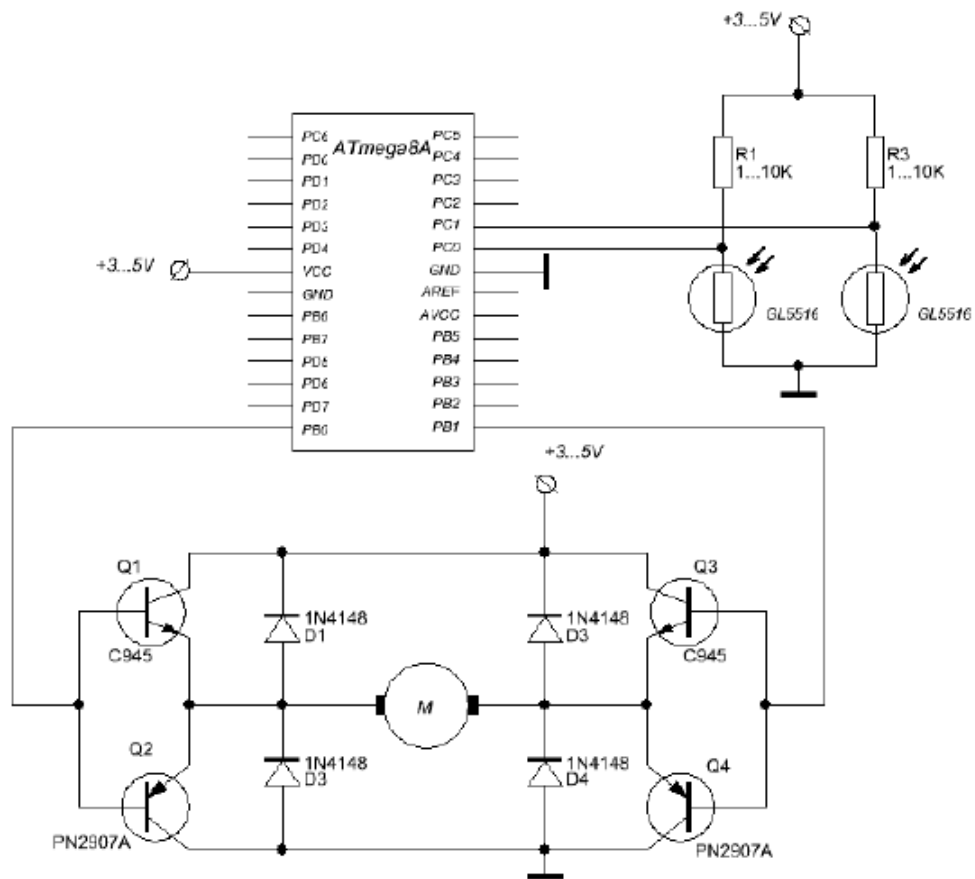


Рисунок 1.19 – Схема сонячного трекера на базі Arduino та фоторезисторів

Для орієнтування по двом осям потрібно зробити два незалежні канали з 4-ма фоторезисторами.

Такий вид системи стеження за сонцем можливо використовувати для виробництва електроенергії в невеликих масштабах у досить віддалених від цивілізації будинках, комплексах тваринництва, зрошувальних системах, системах автономного освітлення. Така система стеження здатна збільшити генерацію електроенергії до 55% відносно статичної системи.

Незрівнянною перевагою такого пристрою є простота у використанні та налаштуванні та відносна дешевизна всієї системи. Недоліками є низька чутливість фоторезисторів та їх погана завадостійкість.

Наступна система стеження працює на базі фотодатчиків та операційних підсилювачів. Система використовує двигуни які підключенні по (H-bridge) схемі. Схема системи зображена на рисунку 1.19.

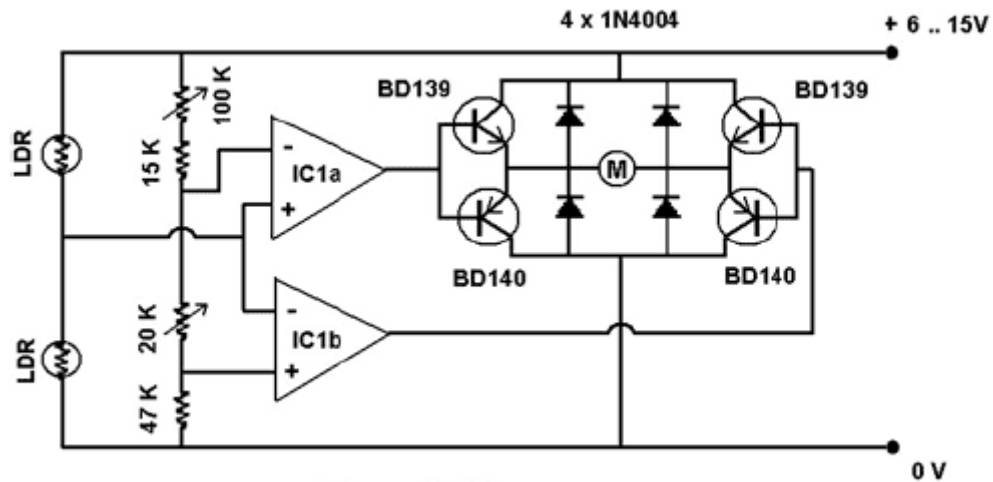


Рисунок 1.19 – Схема системи стеження на базі ОП

Принцип роботи схеми полягає в постійному порівнянні показань двох фотодатчиків, при однакових значеннях датчиків виходи ОП залишаються неактивними. При зміні положення сонця, показники датчиків відрізняються, і в цей момент змінюється значення на вході ОП та активується двигун який повертає трекер в потрібному напрямку допоки значення датчиків знову на зрівняються, відповідно виходи ОП знову стають неактивними [11]. Дана послідовність руху трекера відбувається протягом всього світлового дня допоки не настане ніч.

Обертання в різні сторони досягається шляхом роботи транзисторів попарно, комутуючи при цьому струм $+V_e$ або $-V_e$ і подаючи його на двигун.

Також в схемі використовується 4 діода для захисту двигуна від струму що виділяється двигуном внаслідок інерції що створюється обертовим моментом під час зупинки двигуна.

Система стеження на операційних підсилювачах здатна збільшити генерацію електроенергії на 25-30%. Перевагою такої системи є її мале

споживання. Погана робота в умовах похмурої роботи та позиціонування тільки по одній осі являються недоліками даної схеми.

Схема управління трекером на основі мікроконтролера та годинника реального часу була описана авторами статті [12]. Основою такої схеми стеження є мікроконтролер PIC та годинник реального часу (рис 1.20). Для переміщення трекера задіяний кроковий двигун із встановленим до нього драйвером.

Принцип роботи даної системи полягає в зміні свого положення через певний відрізок часу. Оскільки відомо що за одну годину кут падіння сонячних променів зміщується на 15° , мікропроцесор задає налаштування кроків двигуна таким чином щоб кожні 6 хвилин сонячна панель поверталась на $1,5^\circ$. По завершенню світлового дня система повертає панелі в початкову позицію.

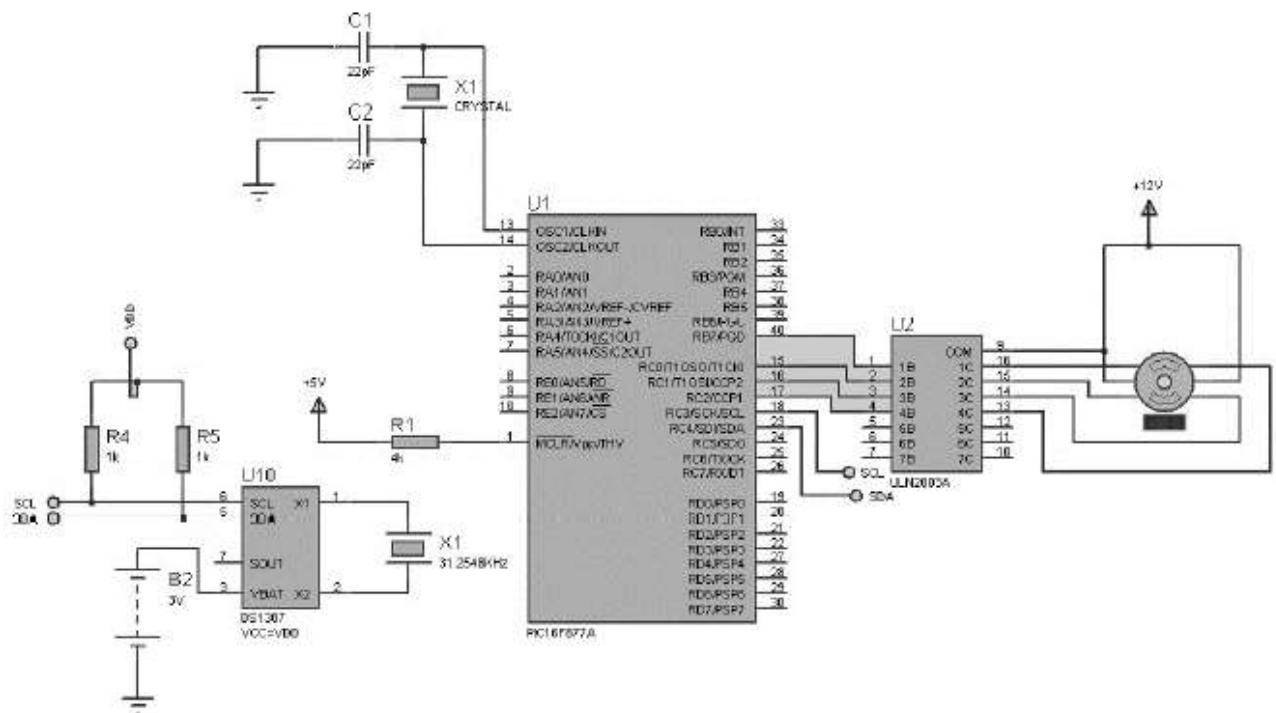


Рисунок 1.20 – Система з годинником реального часу

Перевагою такої системи є простота, досить стабільна робота протягом довгого періоду часу та висока заводостійкість. Недоліками являється її досить помірна ефективність в порівнянні з іншими трекерами та можливість орієнтації тільки в одній осі координат.

Система керування сонячним трекером з використанням АЦП та фотометричного датчика описано в патенті №137792 .

Система керування сонячним трекером містить фотометричний датчик з відповідними чотирьом сторонам горизонту фоточутливими елементами, що встановлюється на рухомий масив сонячних панелей з двоосьовим приводом та під'єднується через вбудований АЦП до входу контролера. Контролер містить на вході блок підготовки вхідних величин для рішення методом нечіткої логіки, блок бази даних множини можливих вхідних значень, що задає налаштування стеження, блок виконання закону керування, блок дешифрування лінгвістичних змінних у вихідні сигнали контролера, що керують приводом. У контролер додається блок формування цифрового сигналу "хмарно-сонячно" за сигналами фотометричного датчика; також додається таймер, що підключений до четвертого входу блока виконання закону керування [12].

Порядок роботи системи стеження відбувається в декілька етапів:

1. Фотометричний датчик направлений в чотири різні сторони зчитує параметри освітленості і передає на АЦП;
2. Після перетворення в цифровий сигнал визначається чи хмарна зараз погода та формуються вхідні величини освітленості;
3. У відповідності до визначеної погоди (хмарно/сонячно) визначається тип алгоритму за яким будуть оброблятися показники освітленості;
4. По сигналу таймера виконується закон керування пристроєм;
5. Отримані дані руху двигунів дешифруються і формуються відповідні вхідні сигнали що подаються на двигуни;
6. Сонячна панель виконує рух у відповідне положення.

Складові блоки контролера системи стеження, а також будову зображено на рисунку 1.21.

Перевагою даної системи стеження є можливість вибору алгоритму роботи при хмарній та сонячній погоді за рахунок цього підвищується точність позиціонування сонячних панелей, а також меншу кількість помилкових переміщень системи. Недоліком пристрою є можливе рискання в хмарну погоду при елевації.

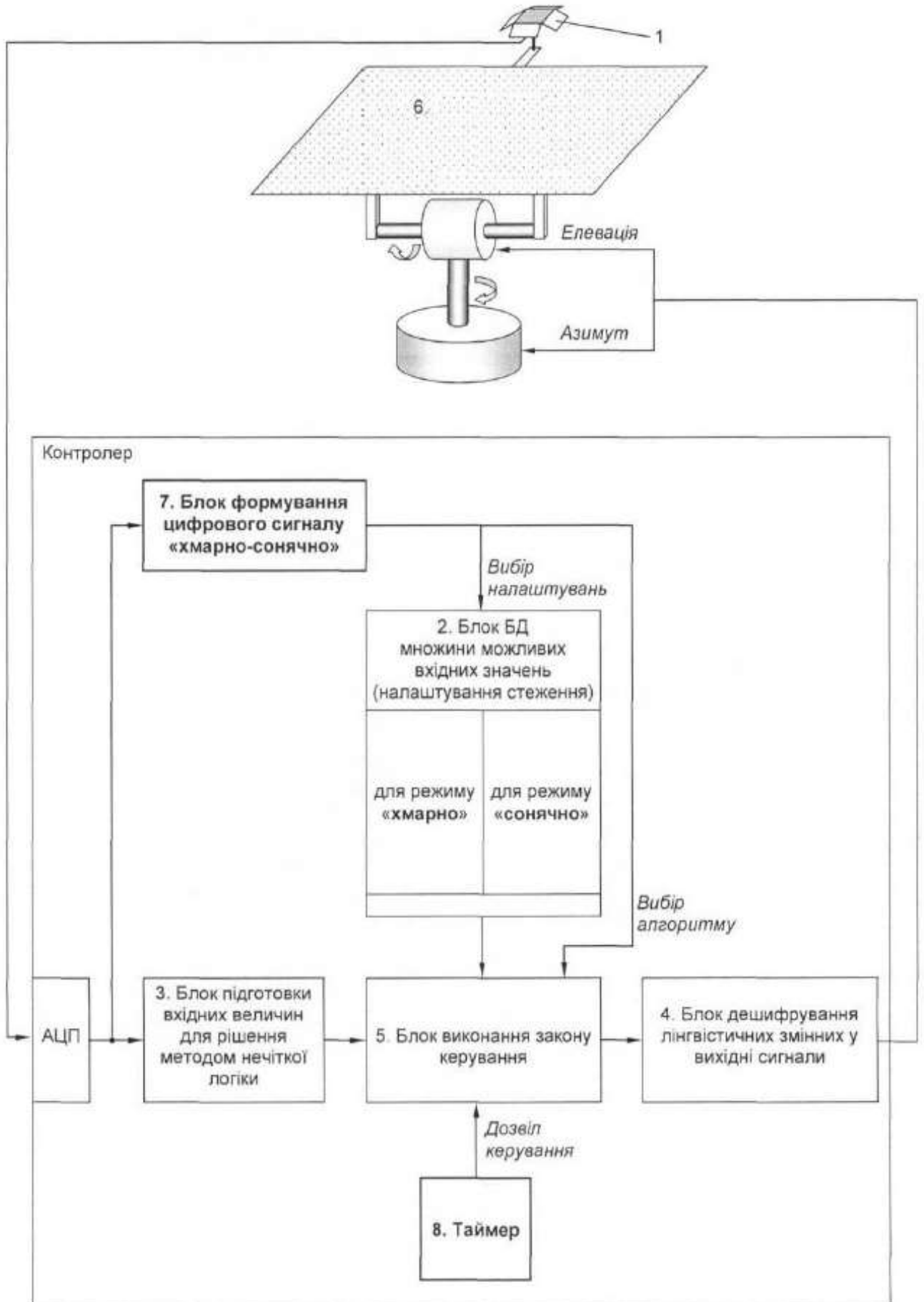


Рисунок 1.21 – Блок керування системою слідкування з використанням АЦП та фотодатчиків

1.8 Постановка задачі проектування

Беручи до уваги вище описаний матеріал та основну проблематику сфери сонячних трекерів, поставим наступні задачі по розробці сонячного трекера:

- 1) розробка алгоритму роботи методу автоматичного керування сонячним модулем;
- 2) розробка структурної схеми пристрою керування;
- 3) підбір елементної бази для пристрою;
- 4) розробка програмного забезпечення для методу автоматичного керування трекера.

Розроблений метод керуванням сонячного модуля повинен постійно слідкувати за сонцем, вимірювати значення азимуту та зенітного кута за допомогою датчиків та порівнювати їх з сонячним календарем і на основі отриманих даних встановлювати трекер у відповідне положення за допомогою двох двигунів.

1.9 Висновки до першого розділу

В першому розділі магістерської роботи було проведено глибокий аналіз сфери сонячних трекерів, а саме:

- Описано метод роботи та будову ФЕМ;
- Визначено актуальність розробки та використання сонячних трекерів в сонячних електростанціях різних типів;
- Досліджено методи орієнтації за сонцем різних трекерів;
- Проведено класифікації та опис сонячних трекерів за їх будовою та способом орієнтації за сонцем;
- Описано будову СЕС із використанням сонячного трекера;
- Досліджено існуючі рішення систем слідкування за сонцем із використанням різних методів;
- Поставлено задачі проектування та розробки методу слідкування за сонцем.

2 РОЗРОБКА МЕТОДУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ МОДУЛЕМ

2.1 Розробка алгоритму функціонування

Метод автоматичного керування сонячним модулем ставить на меті постійне підтримання прямого кута падіння сонячних променів на ФЕМ. Для найкращої ефективності було обрано комбінований метод сонячного позиціонування. Як основний спосіб позиціонування було запропоновано розробити метод слідкування за сонцем за допомогою фотокамери. Для забезпечення кращого позиціонування в умовах підвищеної хмарності неба було обрано метод позиціонування за допомогою значень кута азимута та зенітного кута. Додатковий метод керування сонячного модуля по кутах використовується тільки в тому випадку якщо основний метод не виявив особливої різниці в освітленні на отриманій фотографії неба, або при умові завершення сонячного дня (повернення на початкову позицію).

Алгоритм роботи методу позиціонування ФЕМ ображено на рисунку 2.1.

Ініціалізація пристрою відбувається з самого початку і являє собою завантаження всіх бібліотек даних, та ініціалізація всіх пристроїв в системі сонячного слідкування.

Після ініціалізації пристрої фотокамера здійснює фотозйомку неба і передає інформацію далі.

Наступним кроком роботи відбувається пошук найсвітлішого місця на фотографії неба. Якщо знімок виявляється однотонним (визначити світліше місце неможливо через підвищену хмарність неба), запускається додатковий алгоритм позиціонування за по кутам нахилу сонця. При чистому або малохмарному небі після визначення найсвітлішої точки на небі відбувається формування сигналів для двигунів на переміщення сонячних модулів на точку визначену методом автоматичного позиціонування.

При використанні додаткового методу відбувається математичне визначення положення сонця в даний час дня і пори року і підбираються кути положення сонячного модуля перпендикулярно сонцю. Одночасно з цим

відбувається опитування датчиків визначення азимута та зенітного кута і отримуються дані про положення сонячних панелей у відповідний час. Відбувається порівняння кутів отриманих математичним методом і від датчиків, якщо вони відрізняються, формуються сигнали переміщення на двигуни по різниці між отриманими кутами.

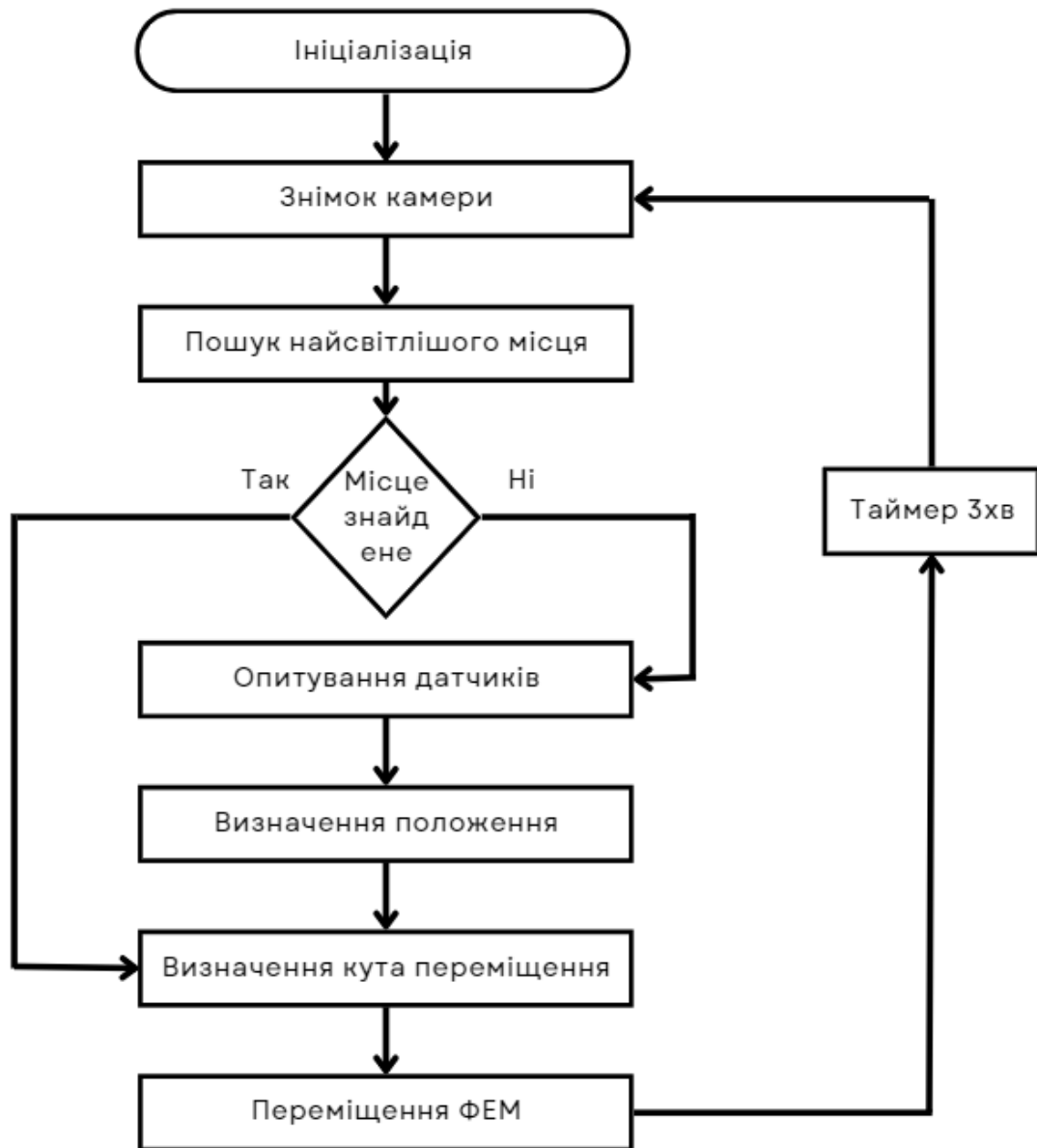


Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи пристрою стеження за сонцем

Сигнали про кут переміщення передаються на двигуни, що відповідно до поставленого завдання переміщують сонячний модуль у відповідне положення.

Для збільшення інертності системи та зменшення надлишкового руху сонячних панелей, а також збільшення завадостійкості, після переміщення сонячних панелей запускається таймер на три хвилини реального часу. Після

завершення часу, відведеного на неробочий період системи, алгоритм роботи пристрою запускається знову.

2.2 Розробка структурної схеми пристрою слідкування за сонцем

Пристрої стеження за сонцем в більшості своїй дуже схожі структурно один з одним. Однак для розроблюваного методу керування сонячною панеллю було створено досить унікальну структурну схему (рис 2.2).

Головним елементом будь-якого трекара, або системи стеження за сонцем є блок керування. Блок керування являє собою комп'ютер із достатньою обчислювальною потужністю та досить об'ємною пам'яттю для складних обчислень положення сонячного модуля, в реальному часі, та обчислень кута необхідного нахилу сонячної панелі



Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою слідкування за сонцем

Для використання основного методу визначення положення сонця необхідним елементом структурної схеми є камера. Камера необхідна в пристрої для здійснення фотозйомки неба. Фотокамера з'єднана напряму з блоком

керування усім пристроєм, і передає отримані знімки неба одразу на обробку в керуючий блок.

Якщо основний метод визначення положення сонця не використовуються, відбувається переключення на додатковий метод. Для додаткового методу необхідне використання двох датчиків. Датчик нахилу по горизонталі, а також датчик нахилу по вертикалі, відповідно датчик 1 та датчик 2. Датчики в схемі управління під'єднані незалежно один до одного, одразу до блоку керування пристроєм. Передача отриманої інформації від датчиків про кути нахилу відбувається по спеціальних сигнальних лініях зв'язку.

Наступним важливим елементом в структурній схемі пристрою відслідковування є годинник реального часу. Годинник підключається до блоку керування. В розроблюваному методі визначення положення сонця годинник реального часу необхідний для:

- Встановлення таймера між циклами обробки інформації та позиціонування сонячних панелей;
- Передача реального часу в блок керування, при використанні додаткового методу, для математичного визначення положення сонця в даний час на місцевості, а також визначення закінчення світлового дня для повернення сонячних панелей на початкову позицію.

Блок синхронізації в структурній схемі також підключається до блоку керування. Основними елементами блоку синхронізації є драйвера двигунів постійного струму, через які керується швидкість і сторони обертання двигунів що змінюють положення ФЕМ.

Двигуни постійного струму, відповідно двигун 1 та двигун 2, підключенні до блоку синхронізації. Двигуни необхідні в системі для механічного переміщення масиву сонячних панелей у відповідності до заданих блоком керування кутів переміщення. Для переміщення необхідно саме два двигуни оскільки здійснюється двохосьове позиціонування сонячних модулів.

2.3 Розробка функціональної схеми

Система буде базуватися на базі міні комп'ютера оскільки для проведення математичної обробки зображень потужності звичайного мікроконтролера не вистачить.

Для визначення положення модуля у просторі скористаємось модулем електронного компаса та акселерометром. Двох датчиків буде достатньо для визначення сторони напрямлення і кута нахилу сонячної панелі.

В якості датчика що вимірює кут нахилу сонячного модуля буде використовуватись акселерометр. Акселерометр це пристрій що вимірює значення різниці прискорення об'єкта із гравітаційним прискоренням. Завдяки значенням різниці прискорення датчик може видавати дані про своє положення в просторі. За допомогою математичних обчислень значення акселерометра буде переводитись в значення зенітного кута.

Другим датчиком в системі стеження за сонцем є датчик магнітного поля. Магнітометр – це пристрій що дозволяє вимірювати інтенсивність складових магнітного поля землі. Земля має магнітне поле, яке характеризується певним вектором напруженості в кожній точці, напрямок цього напруження визначається по трьох осях (X, Y, Z) в прямокутній системі координат (рис 2.3). Магнітне поле землі можна також описувати горизонтальною складовою напруженості отримавши при цьому значення азимутального кута.

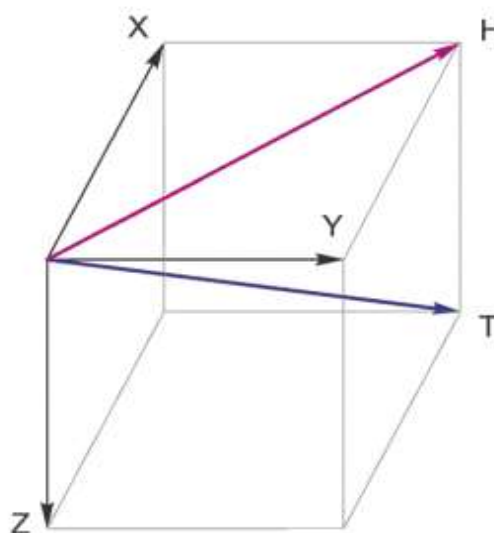


Рисунок 2.3 – Складові магнітного поля

Третім елементом системи являється годинник реального часу. Годинник потрібний для визначення дати і часу в реальності для вимірювання потрібного кута нахилу і повороту сонячної панелі. В нашому випадку годинник реального часу вже вбудований в середині контролера міні комп'ютера.

Для передачі інформації між датчиками та міні комп'ютером скористаємось інтерфейсом I²C / ІІС (Inter-Integrated Circuit) – це протокол передачі даних що створювався для зв'язку між інтегральними мікросхемами всередині пристрою. Основою для протоколу I²C слугує принцип передачі даних через 8-ми бітну шину даних. Завдяки цьому протоколу можна зв'язати різні блоки всередині електричного пристрою через одну шину передачі. Принцип дії протоколу полягає в передачі інформації від різних пристроїв іншим пристроям, просто додаючи адресу необхідного пристрою що має прийняти сигнал.

Схема роботи протоколу повинна містити мінімум два пристрої: 1) ведучий пристрій, зазвичай мікроконтролер, може бути тільки один; 2) введені пристрої що підключаються паралельно до шини передачі. Кожний пристрій в протоколі I²C повинен мати свою адресу яка ініціалізується в діапазоні від 7 до 127, також важливо щоб пристрої не мали однакових адрес.

Робота з протоколом I²C має багато переваг:

- –протокол працює завдяки по двох лініях- SDA (лінія даних) і SCL (лінія синхронізації);
- велика кількість введених пристроїв;
- керування всіма пристроями здійснюється тільки одним контролером;
- число можливих підключених мікросхем обмежується граничною ємністю;
- процедур діагностики не забирає багато часу, швидке налагодження системи після неполадки.
- Також в I²C існує декілька недоліків:
- ємнісне обмеження на лінії всього - 400 пФ;
- досить складна процедура програмування контролера якщо підключені інші пристрої;

Для того щоб підключити блок камери до міні комп'ютера скористаємось протоколом зв'язку Camera Serial Interface (CSI).

К) є специфікацією Альянсу мобільних промислових процесорів (MIPI). Він визначає інтерфейс між камерою та головним процесором. Останніми активними специфікаціями інтерфейсу є CSI-2 v3.0, CSI-3 v1.1 і CCS v1.0, які були випущені в 2019, 2014 і 2017 роках відповідно [14].

Специфікація MIPI CSI-2 v1.0 була випущена в 2005 році. Вона використовує або D-PHY, або C-PHY (обидва стандарти встановлені Альянсом MIPI) як варіант фізичного рівня [14]. Протокол розділений на наступні рівні:

1. Фізичний рівень (C-PHY/D-PHY);
2. Шар злиття смуг;
3. Рівень протоколу низького рівня;
4. Рівень перетворення пікселів у байт;
5. Рівень програми.

Протокол CSI використовує для з'єднання камери з мікропроцесором, шлейф із 15 контактними доріжками.

Camera Serial Interface поєднує в собі простоту використання та велику швидкість передачі даних зображену, в таблиці 1, між пристроями що дозволяє передавати зображення великого об'єму без затримки в часі.

Таблиця1 – Швидкість передачі даних CSI

Швидкість M-PHY	Тактова частота	Бітрейт
Перше покоління	G1a	1,25 Гбіт/с
	G1b	1,49 Гбіт/с
Друге покоління	G2a	2,5 Гбіт/с
	G2b	2,9 Гбіт/с
Третє покоління	G3a	5 Гбіт/с
	G3b	5,8 Гбіт/с

Функціональна схема пристрою сонячного трекера зображена на рисунку

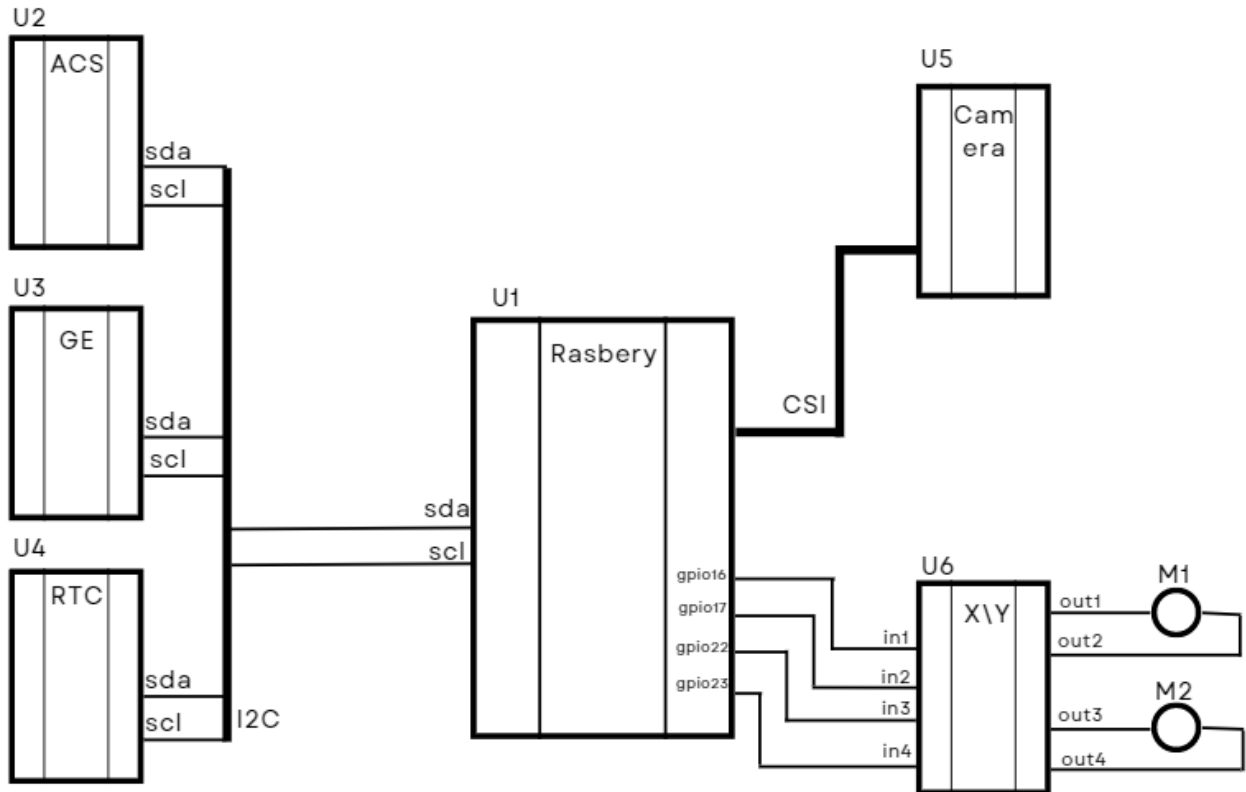


Рисунок 2.4 – Функціональна схема пристрою

2.4 Вибір елементної бази

Вибір міні-комп'ютера. Для використання процесу обробки зображень необхідна великі обчислювальні можливості контролера, тому вибір було покладено на міні комп'ютер. Серед великої різноманітності вибору на ринку, як блок керування було обрано міні комп'ютер Raspberry PI 3 Model B.

Raspberry PI – це міні комп'ютер зібраний на одному кристалі, він є дуже популярний при проектуванні комп'ютерних систем і займає третє місце по продажам в світі.

При невеликих габаритах Raspberry PI, платформа володіє досить великими функціональними можливостями. Міні комп'ютер володіє великим набором різних портів вводу та виводу, а також декілька роз'єми USB та роз'єм Ethernet для можливості доступу в мережу Internet. Структуру платформи та розміщення компонентів зображено на рисунку 2.5.

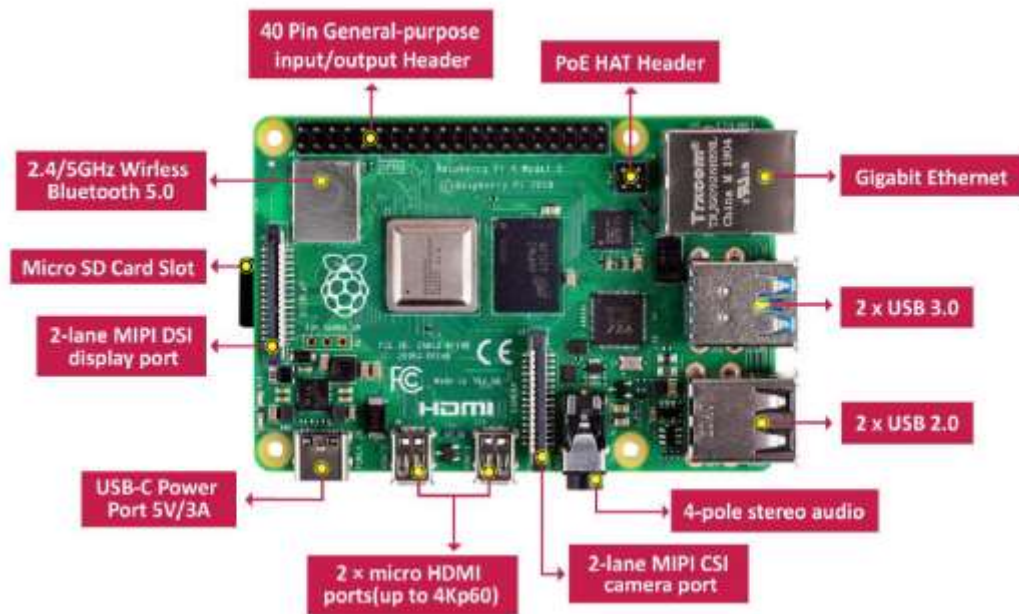


Рисунок 2.5 – Платформа Raspberry PI

Raspberry PI володіє досить широкою сферою застосування в різних проектах де не вистачає потужності звичайних мікроконтролерів. Також платформу часто застосовують в якості портативного комп'ютера для вирішення нескладних задач таких як:

- –таблична організація даних;
- створення прототипів ігор;
- –доступ до глобальної мережі Internet;
- –робота з текстовою інформацією;
- –процес обробки статичних та динамічних зображень .

Обмін інформацією між компонентами Raspberry PI відбувається через застосування інтерфейсу GPIO. Контакти GPIO забезпечують фізичне з'єднання та передачу даних між центральною системою платформи та периферійними пристроями, що підключаються. Застосування інтерфейсу GPIO дає можливість для реалізації наступних важливих функцій:

- можливість підключення до заданої величини напруги живлення. На вибір доступно значення напруги номіналом в 3.3В та 5В. Використання певної напруги живлення залежить від конкретного контакту та периферійного пристрою або модуля що підключається;

- можливість підключення заземлення, що збільшує захищеність модуля і забезпечує безпеку при використанні;
- забезпечення під'єднання сигналів керування – можливість передачі між платформою та периферією.

Завдяки GPIO забезпечується гнучкість платформи, оскільки одні й ті ж самі контакти можна використовувати в якості входу або виходу сигналу. Процес задання функції контактам відбувається на програмному рівні. Призначення контактів GPIO для Raspberry PI зображено на рисунку 2.6.

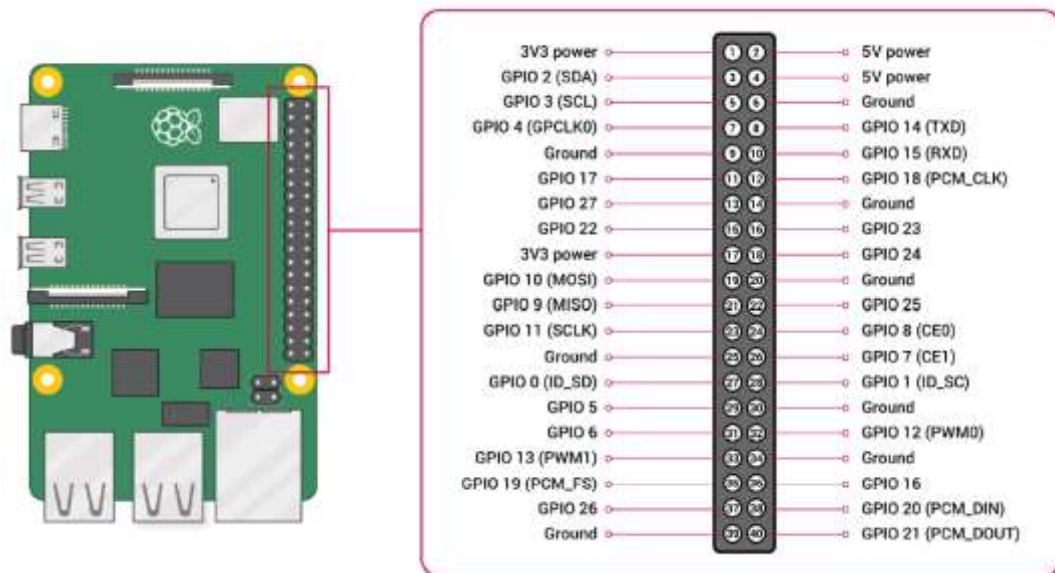


Рисунок 2.6 – Контакти платформи Raspberry PI

Характерною особливістю роботи з Raspberry PI є можливість приєднання периферійних пристроїв або модулів до будь-яких контактів. Однак в платформі присутні декілька контактів з спеціальним призначенням. До таких виходів належать контакти з номерами 27 та 28, або «VCM0» та «VCM1» відповідно. Призначенням цих контактів є підключення додаткових плат розширення, тому бажано не підключати до них зовнішні модулі. Також важливим аспектом у використанні контактів GPIO є використання їх тільки для передачі сигналів, оскільки максимально допустимий струм на контакт не більше 50mA. Використання контактів Raspberry PI в якості силових може призвести до перегорання контактів або виходу плати зі строю.

Управління контактами GPIO забезпечується на програмному рівні користувачем. Програмування поведінки платформи та керування користувацькими модулями, що підключені до плати можливе із застосуванням багатьох мов програмування. Однак найбільш оптимальною для програмування платформи вважається мова високого рівня Python. Серед переваг цієї мови програмування є однорідність щодо середовища функціонування та велика кількість розвинутих бібліотек для виконання будь-яких задач. Окрім мови програмування Python, керування міні комп'ютером можна організувати також такими мовами як: PHP; C/C++ та інших.

Наведемо основні технічні характеристики міні комп'ютера Raspberry PI 3 Model B:

- чотирьох-ядерний процесор Broadcom BCM2837 на базі ARMv7 Quad Core Processor вбудований в однокристальний Single Board Computer, з частотою 1.2GHz
- оперативна пам'ять – 1GB RAM;
- Bluetooth Low Energy;
- WiFi модуль BCM 43143;
- 4xUSB 2.0 порти;
- HDMI порт (Full size) –що забезпечує можливість підключення дисплея або монітора великою родільною здатністю;
- інтерфейс GPIO з 40 контактами;
- аудіо вихід і композитний відеопорт (CVP);
- DSI порт – для підключення сенсорного дисплею;
- Micro SD порт – для підключення карти пам'яті що використовується в якості основної пам'яті;
- порт CSI – для підключення камери;
- блок живлення Micro USB з підтримкою 2,4 А.

Завдяки великим функціональним можливостям, а також технічним характеристикам міні комп'ютер Raspberry PI здобув велику популярність в сфері розробок новітніх пристроїв і залишається затребуваною платформою вже багато років поспіль.

Камера для зйомки. Для зйомки неба було прийнято використати модуль широкоформатної камери для Raspberry Pi (рис 2.7), щоб забезпечити кращу сумісність компонентів системи. Модуль камери реалізовано на сенсорі IMX219-160 від компанії Sony. Дана камера володіє роздільною здатністю у 8 МП та фіксованим фокусом.



Рисунок 2.7 – Камера для Raspberry Pi

Завдяки потужному модулю сенсора IMX219-160 камера здатна знімати нерухомі зображення з роздільною здатністю 3280*2464 пікселів. Для відеоформату можливо використовувати роздільну здатність в 1080p30, 720p60 та 640x480p90.

Модуль камери має металевий каркас що забезпечує йому міцність, а кут огляду в 160 градусів забезпечить найкращу можливість для слідкування за сонцем.

Камера має наступні технічні характеристики:

- розмір матриці: 1/4“;
- діафрагма: 2.35f;
- фокусна відстань: 3.15 мм;
- кут огляду: 160°;
- спотворення: менше 14,3%;

- габаритні розміри 2,5 см x 2,4 см;
- діапазон фокусу: від 20 см;
- роздільна здатність нерухомого зображення: 3280x2464;
- підтримує запис відео: 1080p30, 720p60 та 640x480p90;

Модуль камери підключається через інтерфейс CSI. Це дає можливість використання камери в якості основної і не забирає контакти для підключення інших модулів.

Вибір датчика прискорення і нахилу. Для визначення точного положення сонячної панелі необхідно знати її кути нахилу. Щоб визначити кути нахилу найкраще використовувати датчик акселерометра.

Акселерометр – це пристрій, що дозволяє вимірювати проекції повного прискорення тіла, для виміру прискорення використовуються три чутливі осі: X, Y і Z [14].

При виборі датчика акселерометра важливо брати до уваги інформацію про точність приладу а також їх смуга пропускання. Використання аналогових датчиків підвищує чутливість системи, але для їх використання необхідно підключати зовнішню АЦП, для обробки даних. Цифрові датчики мають меншу чутливість, але таку що підходить для нашого проекту, тому в якості датчика акселерометра було обрано цифровий акселерометр ADXL345

ADXL345 – це модуль акселерометра що має три осі обертання та володіє високою роздільною здатністю в 13біт. Діапазон вимірювання прискорення датчика обирається серед наступних: $\pm 2 \text{ g}$, $\pm 4 \text{ g}$, $\pm 8 \text{ g}$ і $\pm 16 \text{ g}$. Результати вимірювання прискорення можна передати за допомогою інтерфейсів SPI або I2C. Зовнішній вигляд датчика ADXL345 представлений на рисунку 2.8.

Модуль ADXL345 побудований на принципі ємнісних акселерометрів. Смуга пропускання даного модуля знаходиться в межах (0,05 ... 1600 Гц), що є найкращим варіантом для вимірювання вібрацій з низькою частотою, та кутів відхилення менше 1.0° .

Здатність відчувати вібрації з високою частотою характеризує смуга пропускання акселерометра. Також на чутливість модуля впливає частота дискретизації вбудованого АЦП, дана характеристика мусить бути більшою

смуги пропускання мінімум в два рази, щоб давати можливість виявити вплив з коротким часовим періодом на датчик. Максимальна частота дискретизації в модулі ADXL345 становить 3200Гц, що є дуже хорошим показником і забезпечує добру точність вимірювання.

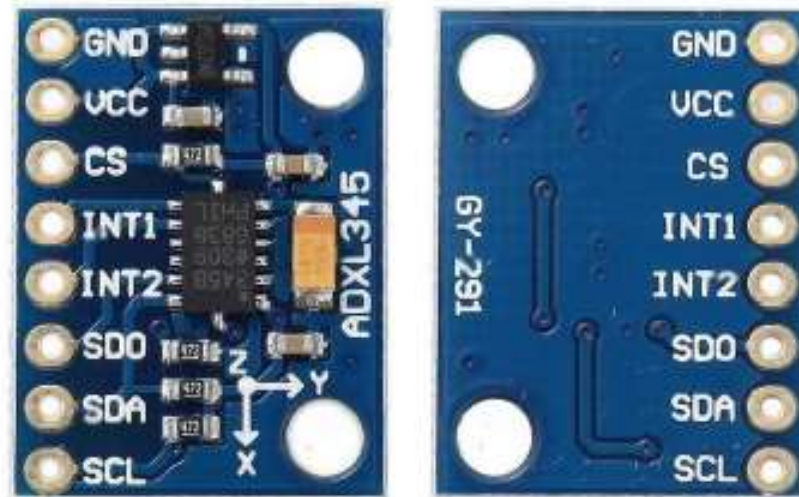


Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд акселерометра ADXL345

Лінія ALT_ADDRESS забезпечує адресу акселерометра при підключення до шини з протоколом I2C. При використанні високого логічного рівня по лінії, акселерометру прийнято присвоювати значення 0011101, під час використання низького рівня 1010011. Лінії підключення до протоколу I2C, а саме SDA і SCL потрібно підтягувати до напруги живлення, щоб забезпечити правильне функціонування послідовного інтерфейсу.

Далі представлено основні технічні характеристики модуля ADXL345:

- напруга живлення 2.0 ... 3.6 В;
- рівень споживання енергії: 25 ... 130 мкА в режимі вимірювання і 0,1 мкА в режимі очікування;
- інтерфейси SPI та I2C;
- можливість визначення вільного падіння;
- виявлення легких ударів;
- контроль активності / неактивності модуля
- можливість задання режимів переривання з вибором будь-якого (з 2-х можливих) виводів переривань;

- –забезпечення вибору роздільної здатності;
- діапазон вимірювання вибирається подачею спеціальної команди, так само як і смуга пропускання;
- –температурний діапазон (від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$)
- –ударостійкість до 10000g.

Дозволяється проводити вимірювання прискорення при дуже низькій потужності завдяки можливості реалізувати інтелектуальне керування системою живлення при заниженому енергоспоживанні.

Модуль ADXL345 має 12 контактів для підключення та мініатюрні габарити 3 мм на 5 мм на 1 мм.

Модуль магнітометра. Для визначення положення вертикальної осі важливою характеристикою є точність. Для таких цілей можна спробувати використати гіроскоп. Але гіроскоп не може нам показувати напрямок по сторонам світу, крім того в нього присутній дрейф. Тому для визначення напрямку по відношенню до вертикальної осі скористаємось модулем магнітометра на базі мікросхеми HMC5883L. Дана мікросхема має можливість підключення по інтерфейсу I2C, а також має достатню для нас точність.

Для спрощення використання мікросхеми HMC5883L скористаємось готовим модулем GY271 що побудований на базі магнітометра. Зовнішній вигляд модуля магнітометра GY271 зображено на рисунку 2.9.

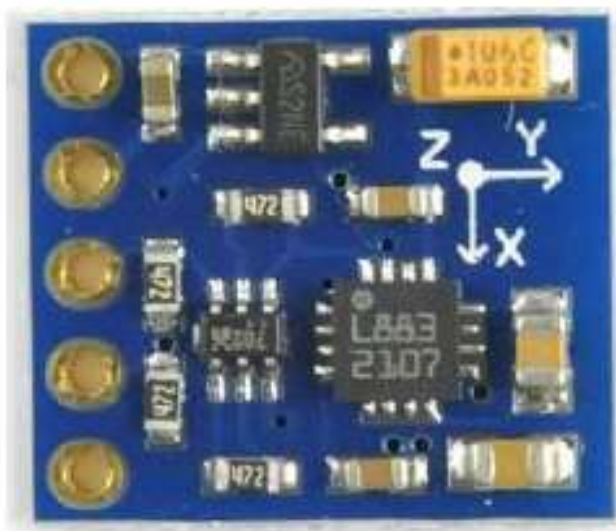


Рисунок 2.9 – Вигляд плати GY271

Під час повороту модуля в магнітному полі землі відбувається зміна значень по вимірюваних трьох осях. Визначити напрямок повертання до сторони світу можна, використовуючи вимірні дані про зміну магнітного поля. Використовуючи показання по осям X та Y можна визначити кут відхилення магнітометра від півночі. Вимірюючи тільки значення по цих двох осях модуль буде працювати, як компас. При вимірюваннях напрямку важливо міцно зафіксувати модуль щоб унеможливити його рух по осі Z, інакше запуститься вимірювання по трьом осям і модуль перестане виконувати роль компаса.

Характеристики магнітометра GY-271 представлені далі:

- напруга живлення 3.3 - 5 В (використовується стабілізатор живлення)
- магніторезистивний сенсор;
- діапазон вимірювань: ± 8 Гаусс;
- точність: ± 2 мілі Гаусса;
- струм при вимірюванні: 2.5 мА;
- струм в режимі сну: 0.1 мА;
- розрядність перетворення: 12 біт;
- підтримка інтерфейсу I2C;
- підтримка автоматичного калібрування;
- габарити модуля: 14.5 x 13.5 мм. 49

Вибір годинника реального часу. Знаючи що система стеження буде експлуатуватись в досить сурових погодних умовах, стояла задача обрати годинник реального часу з відсутністю впливу на нього погодних і температурних впливів. Було обрано годинник на основі мікросхеми DS1307, завдяки можливості підтримувати температурну стабілізацію частоти.

DS1307 – це модуль високоточного годинника реального часу (realtime clock, RTC) із вбудованим I2C інтерфейсом. Даний годинник має можливість підключення резервного джерела живлення щоб забезпечувати стабільну роботу при відсутності або розрядці основного джерела живлення. Годинник реального часу зображений на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Зображення годинника реального часу DS1307

Модуль годинника поставляється повністю зібраним із зарання запрограмованим годинником. Пристрій має акумуляторний відсік, та може підтримувати хронометрах акумуляторної батареї, для ситуацій коли живлення переривається. В якості акумулятора використовується літієва батарея з ємністю в 210mAh, що дозволяє працювати модулю не менше 5 років без потреби заміни акумулятора.

Крім мікросхеми DS1307 в модулі інтегрована мікросхема для підключення по протоколу I2C та інтерфейс для підключення температурного датчика. Завдяки наявності незалежної від енергії пам'яті, модуль може зберігати деякі дані отримання від контролера. Кристал резонатора що вмонтований в плату дозволяє підвищити точність пристрою в довгостроковій перспективі та зменшити кількість деталей виробничої лінії. Годинник на мікросхемі DS1307 має два варіанта виробництва: варіант доступний у промисловому виробництві та комерційний варіант.

DS1307 здатний видавати точну інформацію про час, в точності до секунди, та підтримує формат виведення дати день, місяць, рік. Для коректного виведення дати, наприкінці місяця вона автоматично корегується на місяці з кількістю в 30 днів, також в модулі присутнє автоматичне коригування дати в залежності від того чи високосний рік. Модуль спілкується з контролером, а

також передає свою адресу та інформацію про реальний час через двонаправлену шину передачі даних I2C.

Температурна компенсація напруги регулюється з використанням датчика температури DS18B20 та в комбінації компараторним монітором контролює вхід живлення VCC, щоб вчасно виявити відмову потужності, одразу перейти в автоматичному режимі на резервне джерело живлення та забезпечити успішне скидання вихідного сигналу.

Основні технічні характеристики модуля годинника реального часу на базі мікросхеми DS1307 :

- точність з термокомпенсацією і корекцією ходу;
- точність ± 2 ppm в діапазоні температур від від -40 °C до $+85$ °C;
- точність ± 3 °C цифрового виходу датчика температури;
- корекція точності ходу;
- режим роботи інтерфейсу I2C (400 кГц);
- напруга живлення від 2,3 В до 5,5 В;
- діапазон робочих температур: комерційний (від 0 °C до $+70$ °C),
- промисловий (від -40 °C до $+85$ °C);
- 56 байт енергонезалежної пам'яті;
- габаритні розміри: 38x22x14 мм;
- вага модуля годинника – 8 г.

Вибір поворотного приводу. Для зміни положення сонячного трекера, необхідно обрати виконавчий пристрій що буде перетворювати електричну енергію в механічний лінійний рух. Для виконання таких задач доцільно використовувати актуатори побудовані на базі редуктора із застосуванням двигуна постійного струму. Такий тип актуаторів забезпечує потрібну потужність при повороті великого масиву сонячних панелей. Важливим аспектом вибору актуатора є його висока надійність та можливість використання при екстремальних погодних умовах.

Для даного проекту ідеальним буде використання лінійного актуатора. Лінійні актуатори можна поділити на декілька типів за способом дії, а саме:

механічний, гідравлічний, пневматичний. Найбільшого поширення у використанні набув саме механічний лінійний актуатор. Принцип дії лінійного актуатора полягає у використанні електричного двигуна в якості джерела механічного руху, обертовий момент передається на спеціальну шестерню із прикріпленим на неї валом з нарізаною різьбою. При обертанні двигуна обертається вал, що спонукає гайку з поршнем накручену на валу здійснювати лінійний рух верх та вниз, залежно від сторони обертання двигуна. Сучасні моделі актуаторів виробляються із збільшеною кількістю зубці на шестерні, що збільшує точність позиціонування приладу, збільшує плавність та покращує зносостійкість системи. Важливим аспектом використання актуаторів в системах сонячних трекерів є можливість самоблокування системи в одному положенні. Будова лінійного механічного актуатора із використанням електричного двигуна зображено на рисунку 2.11.

Для нашої системи необхідно використання двох лінійних актуаторів, для зміни положення трекера в горизонтальній та вертикальній осі. Актуатор HARL3612 підходить під вимоги нашої системи трекера.

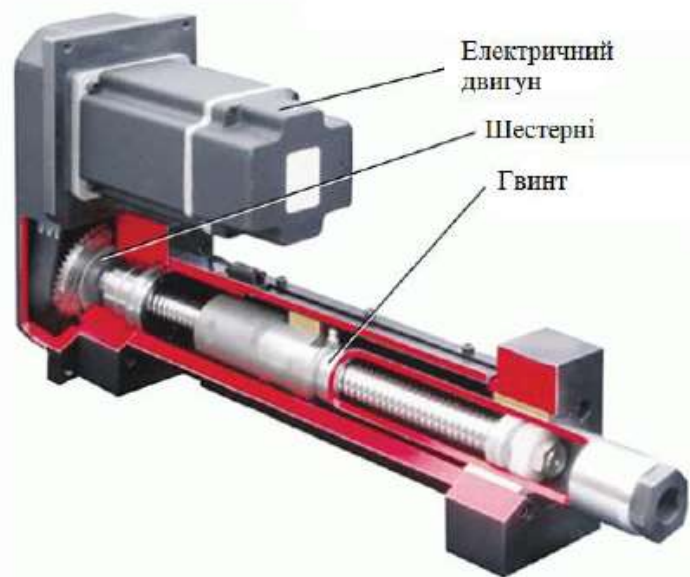


Рисунок 2.11 – Будова лінійного актуатора

Актуатор HARL3612 - це сучасна, стандартна модель актуатора, з довгим висувним штоком довжиною 12 дюймів та обладнаний кінцевими вимикачами для запобігання зайвого повороту.

Технічні характеристики актуатора HARL3612:

- регульований хід штока;
- наявність кінцевих вимикачів;
- волого / пило захисне виконання;
- підвищена антикорозійна якість;
- високий термін служби;
- висока точність;
- довжина ходу штока: 12 "(дюйм);
- номінальний струм навантаження $\leq 0.80\text{A}$;
- привід гвинта: гвинтовий, черв'ячний;
- статичне навантаження до 408,2кг (4000Н);
- швидкість холостого ходу 7.8мм / с.;
- робоча температура: від -15 до 40 °С.

Вибір драйвера для двигунів постійного струму. Для регулювання швидкості обертів актуатора та підключення їх до міні комп'ютера необхідно вибрати певний спосіб підключення. На виході платформи Raspberry підключати двигуни суворо заборонено через обмеження по силі струму на виходах GPIO.

Підключити двигуни до контролера можна використовуючи декілька способів:

1. Підключення двигуна через реле. При такому підключенні двигун підключається до реле що не зв'язане з контактами контролера. Реле активується по команді від контролера, розмикаючи або змикаючи ключ для контактів живлення двигуна. Відповідно двигун вимикається або вмикається. Простота це головна перевага такого способу, однак в ній присутні недоліки що не дозволяють її використання в треках, а саме неможливість керувати швидкістю обертання та напрямком.

2. Підключення через силовий транзистор. Під час такого підключення живлення двигуна також не з'єднане з контактами контролера і керування відбувається через активацію польового транзистора. В такому випадку можна керувати швидкістю обертання двигуна котролюючи рівень струму, що

проходить через транзистор. змінити напрямок руху, через контролер, при такому підключенні неможливо.

3. Motor Shield – плата для керування двигунами постійного постійного струму та крокових двигунів. Дозволяє змінювати напрямок руху та швидкість двигуна не підключаючи його напряму до контролера.

Для підключення двох актуаторів на базі двигунів постійного струму скористаємось модулем управління двигунами RKP-01A побудованого на базі мікросхеми L298N (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Модуль управління двигунами RKP-01A

Застосовується даний модуль для керування двигунами з напругою використання від 5В до 35В. Дана плата дозволяє одночасно керувати двома двигунами. Максимальний допустимий струм навантаження для кожного двигуна досягає 2А.

Модуль управління двигунами RKP-01A має наступні характеристики:

- мікросхема: L298N (з радіатором для охолодження);
- можливість живлення зовнішньої логіки (V_{ss}): + 5V ~ + 7V (внутрішній стабілізатор +5 В);
- вхідна напруга логічної частини (V_d): від 6V до 12V;
- вхідна напруга двигуна (V_s): від + 5V до + 35V;
- робочий струм зовнішньої логічної частини (I_{ss}): 0 ~ 36mA;
- струм навантаження кожної керованої частини (I_o): 2A;

- піковий струм навантаження кожного двигуна (I_o): 3А; –
- максимальна споживана потужність: 20 Вт;
- високий рівень вхідного сигналу (High): $2.3V = V_{in} = V_{ss}$;
- низький рівень вхідного сигналу (Low): $-0.3V = V_{in} = 1.5V$;
- робоча температура: від -25 до $+130$ °С;
- розміри модуля з радіатором L298: 53 x 47 x 27 мм;
- вага драйвера RKP-01A: 35 грам.

2.5 Будова сонячного трекера для розроблюваного методу слідкування

Будова сонячного трекера для розроблюваного автоматичного методу слідкування за сонцем зображено на рисунку 2.13.

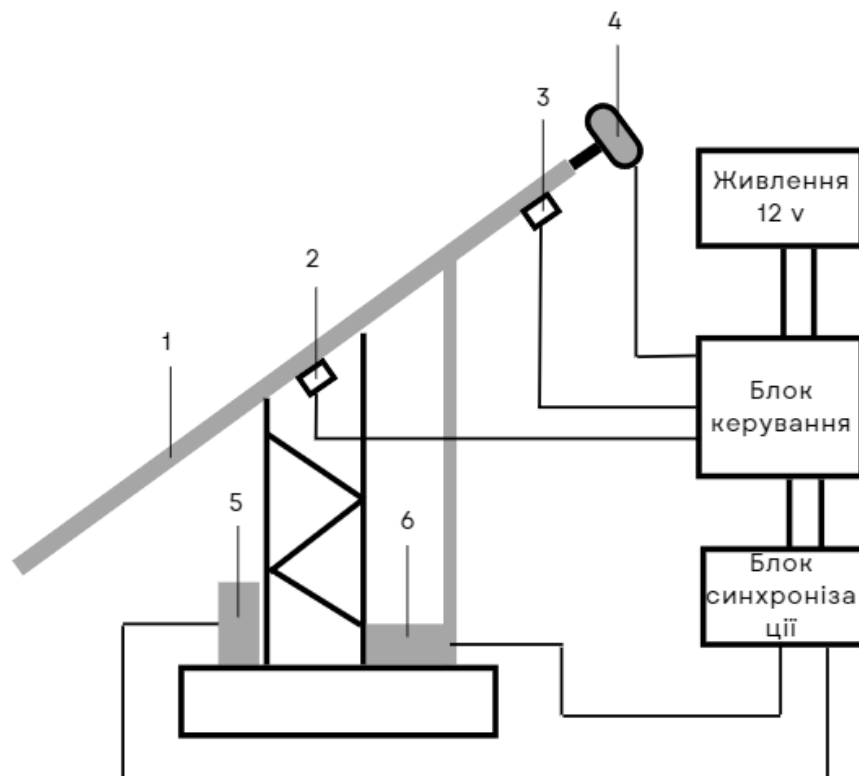


Рисунок 2.13 – Будова сонячного трекера

1. Масив сонячних панелей розміщується на міцному шарнірному каркасі для можливості руху ФЕМ та стійкості проти вітру.
2. Датчик магнітометра встановлюється при основі ФЕМ в горизонтальному положенні, так щоб він рухався тільки по вертикальній осі.

3. Модуль акселерометра кріпиться до сонячних панелей у верхній їх частині і реагує на рух панелей по горизонтальній осі.
4. Камера кріпиться зверху сонячних панелей суворо паралельно лінії масиву панелей.
5. Актуатор для руху трекера по горизонталі встановлюється в основі трекера і повертає весь масив сонячних панелей.
6. Актуатор для вертикального руху також встановлюється при основі і забезпечує рух панелей верх-вниз

2.6 Висновки до другого розділу

В другому розділі роботи магістра було проведено масштабну роботу з підбору необхідних елементів системи слідкування за сонцем для можливості використання автоматичного методу слідкування з використанням фотокамери. Для використання було обрано наступні модулі:

- в якості головного контролера, будемо використовувати міні-комп'ютер Raspberry PI Model B;
- для можливості робити знімки неба і передавати на міні-комп'ютер було обрано 8ми мегапіксельну камеру реалізовану на сенсорі IMX219-160, що має кут огляду в 160 градусів;
- щоб мати можливість міряти кут нахилу сонячної панелі в горизонтальній площині використано модуль акселерометра ADXL345;
- для відстеження напрямку направлення сонячного трекера по вертикальній осі взято модуль магнітометра GY271;
- для забезпечення руху трекера було обрано використати актуатори HARL3612;
- під час керування швидкістю на напрямком руху актуаторів буде використовуватись драйвер двигунів RKP-01A.

Також важливим аспектом розділу є пояснення роботи алгоритму роботи системи автоматичного слідкування за сонцем та побудова структурної схеми пристрою трекера що показує всі пристрої системи та схеми функціональної, що дає можливість зрозуміти способи з'єднання та обміну даними.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Машинний зір

Метод автоматичного слідкування на сонцем з використанням фотозйомки, побудований на використанні алгоритмів машинного зору.

Машинний зір – це науковий напрямок в області штучного інтелекту та пов'язані з ним технології аналізу зображень об'єктів реального світу, їх обробки і використання отриманих даних для вирішення різного роду прикладних задач без повної або за часткової участі людини. Деякі алгоритми машинного зору були розроблені для імітування зорового сприйняття людини, проте більша кількість унікальних методів були створені для обробки зображень і визначення відповідних їх властивостей[16].

Зазвичай системи машинного зору виконують певні вузькопрофільні задачі такі як: зчитування номерів, підрахунок предметів, пошук дефектів при виробництві. Швидкодія, точність та можливість постійного використання без перерв, являється головними перевагами використання систем машинного зору на виробництві. Машинний зір дуже широко використовується в промисловості на об'єктах виробництва, проте масштабність впровадження його використання в інших сферах не настільки велика.

Невпинне зростання технічного прогресу ставить все більш складні науково-технічні завдання для вчених тому впровадження систем машинного зору є все більш актуальним питанням. Можна сказати що успіх сучасного бізнесу ґрунтується якості виготовленої продукції. Для забезпечення якості продукції в першу чергу необхідний візуальний контроль на всіх етапах виробництва, що забезпечується впровадженням подібних систем. Область комп'ютерного зору є досить важливою в теперішній час і з кожним роком буде все більш розвиватись і впроваджуватись в нові сфери життя людини.

Важливими задачами машинного зору є виявлення та ідентифікація об'єктів, що перебувають у випадковому місці в площині бачення системи. Функції розпізнавання виконуються за допомогою спеціальних програмних продуктів, які мають велику потужність по забезпеченню обробки зображень.

Обробка зображень – це головна функція комп'ютерного зору. Категорії обробки зображень поділяються в залежності від призначення та структури. Багато операцій з обробки зображень призначенні тільки для підвищення якості зображень, проте більшість операцій спрямована на здобуття інформації із зображення для подальшої обробки пристроями автоматки. Окремі функції обробки можуть створювати неграфічні форми із отриманих зображень інші здатні генерувати нові зображення.

Програмування систем машинного зору можна проводити використовуючи велику кількість мов програмування, хоча найпопулярнішою мовою програмування для таких цілей є Python. Переваги використання мови Python для машинного зору полягають в ефективному підході мови для використання об'єктно-орієнтованого програмування та просту та ефективну структуру даних. Простий синтаксис мови Python, роблять її найкращою для написання скриптів швидкої роботи, що ідеально підходить для використання її в системах машинного зору. Ще однією позитивною ознакою використання мови Python є її зручність для написання програм розширення та налагодження.

Для ідентифікації об'єктів в системах машинного зору найчастіше використовують спеціально розроблені автономні бібліотеки:

IPSDK – бібліотека призначена для обробки 2D і 3D зображень використовує мову C++ та Python;

Keras – бібліотека для використання та створення нейронних мереж мова програмування Python;

PyTorchCV – фреймворк для виконання задач машинного зору. До складу бібліотеки крім класичних, входять також наступні моделі: AlexNet, ResNet, ResNeXt, PyramidNet, SparseNet, DRN-C/DRN-D, мова програмування Python;

OpenCV – бібліотека комп'ютерного зору, що використовується зазвичай для ідентифікації об'єктів на відео, мови C++, Python та інші;

Fastai – бібліотека для глибинного навчання нейронних мереж з можливістю використання технології комп'ютерного зору (Python);

SimpleCV – бібліотека комп’ютерного зору що дає можливість керувати відео-потоками та забезпечувати інтерфейс камери мова Python.

Спільними рисами всіх описаних бібліотек є можливість використання мови програмування Python та варіанти використання цих бібліотек на веб платформах. Остання опція зазвичай є платною.

3.2 Бібліотека OpenCV

Серед великої кількості бібліотек машинного зору загального призначення найбільш доцільними в освітньому процесі є застосування автономних бібліотек типу OpenCV, спільними рисами яких є вільні ліцензії та можливість використання Python для швидкого прототипування та нейронних мереж для розпізнавання.

OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library, бібліотека комп’ютерного зору з відкритим кодом) — бібліотека алгоритмів комп’ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом[17]. Дана бібліотека розроблялась корпорацією Intel. Основний код бібліотеки написаний на мові C++. OpenCV вільно використовується в навчальних та комерційних цілях та може використовуватись такими мовами програмування як Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та інших.

Бібліотека OpenCV розділена на багато модулів, їх можна умовно класифікувати наступним чином.

Алгоритмічні модулі. Даний набір модулів містить наступний функціонал: математичні функції, робота з XML, базові структури, аналіз руху об’єкта, методи та моделі машинного навчання, детектування об’єкту на зображенні, пошук найближчих сусідів, обробка тривимірних зображень. Назви модулів: core, imgproc, calib3d, video, ml, objdetect, features2d, photo, stitching, videostab, superres, contrib, legacy, nonfree, flann[18].

GPU модулі. Модулі для прискорення роботи деяких функцій OpenCV. Має всього 2 модулі: gpu, ocl.

Інфраструктурні модулі. Містить функціональні можливості для створення і використання інтерфейсу користувача, та можливості зберігати відео та зображення поза межами програми. Містить наступні модулі: highgui, world, python, java, androidcamera, ts.

3.3 Розробка алгоритму роботи основного методу слідкування

Обробка зображень для розроблюваного методу, з допомогою бібліотек машинного зору містить наступні етапи:

1 *Отримання зображення*, в даному випадку буде відбуватись шляхом зйомки, через підключену відеокамеру.

2 *Зниження кольорових просторів зображення*, відбудеться шляхом переведення зображення в чорно-білий формат. В цьому випадку зображення що має три кольорові канали трансформується в зображення з одним каналом.

3 *Фільтрація від шуму*. Зазвичай для обробки зображення його спочатку треба знешумити. Щоб краще зрозуміти процес фільтрації від шуму представим зображення у вигляді рівняння:

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y) \quad (3.1)$$

Де $f(x, y)$ - незашумлене зображення, $\eta(x, y)$ – шум.

Для видалення шуму в бібліотеці OpenCV існує декілька видів фільтрації:

Середньо-арифметичний метод фільтрації :

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum g(s, t) \quad (3.2)$$

Такий метод фільтрації є самим простішим але і самим найменш якісним. Під час фільтрації втрачається дуже багато важливих елементів зображення.

Середньо-геометричний метод:

$$f(x, y) = \exp\left(\frac{1}{MN} \sum \ln g(s, t)\right) \quad (3.3)$$

Результат фільтрації схожий із попереднім, однак при фільтрації втрачається менше елементів.

Середньо-гармонійний фільтр:

$$f(x, y) = \frac{MN}{\sum \frac{1}{g(s, t)}} \quad (3.4)$$

Використовується для фільтрації білого імпульсного шуму.

Фільтр Гаусса:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi r^2} \sum_{s, t} e^{-\frac{(s^2+t^2)}{2r^2}} g(x+s, y+t) \quad (3.5)$$

Розмиває різкі межі на зображенні зберігаючи при цьому маленькі деталі.

Медіанний фільтр:

$$f(x, y) = \text{med}\{g(s, t)\} \quad (3.6)$$

Ефективний для фільтрації імпульсного шуму та збереження різких меж зображення.

В нашому випадку при фільтрації зображення важливим елементом є розмиття різких меж на зображенні, оскільки при процесі знаходження найсвітлішої точки можуть виникнути помилки з виділенням області через різкі зміни освітленості. Фільтр Гаусса найкраще підійде для нашого методу.

4 *Знаходження найсвітлішої області*, відбувається шляхом проведення визначення тону кожного пікселя отриманого зображення в числовому

еквіваленті. Після визначення тону формується певна область ображення де тон кожного пікселя є найвищим.

Знаходження освітленості на зображенні необхідне для визначення положення сонця на зображенні. Оскільки сонце це дуже яскравий об'єкт при наведенні на нього об'єктиву камери, деякі області зображення будуть засвічені, саме ці області будуть мати найбільшу яскравість і відповідатимуть положенню сонця.

Задля найкращої точності знаходження положення, при обробці зображення розбивається на декілька частин, і при знаходженні найсвітлішої області можна вирахувати відстань яку потрібно пройти панелі щоб освітлена область була посередині зображення, відповідно сонячна панель розміщена перпендикулярно падінню сонячних променів.

Алгоритм роботи основного методу слідкування за сонцем зображено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи основного методу слідкування за сонцем

Після установки необхідної бібліотеки приступимо до написання програмної реалізації методу автоматичного слідкування за сонцем.

Для обробки зображення неба на визначення координат сонця необхідно спочатку отримати фотографію від підключеної камери. Для отримання фотографії скористаємось вбудованим методом, бібліотеки OpenCV для виклику камери та процесу відео-зйомки, функцію можемо побачити на лістингу 3.2.

Лістинг 3.2

```
cam = cv2.VideoCapture(0)
```

Даний метод викликає саме відео-зйомку, а для виконання алгоритму слідкування необхідно отримати фотографію з камери. Для створення фотографії спочатку запусимо відео-зйомку, і почнемо зчитування відео. Наступним кроком створимо умову під час якої буде здійснюватись створення фотографії. Задамо назву фотографії що створюється та за допомогою спеціальної функції запишемо отриману від камери інформацію у фотографію. Для створення фотографії використаєм програмний код зображений на лістингу 3.3

Лістинг 3.3 – Код отримання зображення

```
while True:
    ret, frame = cam.read()
    if not ret:
        print("failed to grab frame")
        break
    cv2.imshow("test", frame)
    k = cv2.waitKey(1)
    if k%256 == 27:
        print("Escape hit, closing...")
        break
    elif k%256 == 32:
        img_name = "opencv_frame.png".format(img_counter)
        cv2.imwrite(img_name, frame)
        print("{} written!".format(img_name))
        img_counter += 1
```

Відповідний код створює фотографію того що показує камера та зберігає її в корінь програми із розширенням (.png).

Щоб розпочати процес обробки отриманої фотографії неба необхідно викликати метод `imread` та вказати адресу на назву фотографії що буде використовуватись для обробки.

Відповідно до алгоритму роботи зображеному на рисунку 3.1 наступним кроком методу слідкування буде процес обробки зображення. Для кращої контрастності освітлення необхідно провести процес переведення зображення з кольорового формату RGB в чорно-білий формат даних. Переведення кольорової гамми зображення необхідне також щоб під час обробки користуватись значенням освітленості пікселя лише по одному кольоровому каналу. Програмний код трансформації кольорового формату зображення з RGB в BW зображено на лістингу 3.4

Лістинг 3.4 Трансформація кольорових форматів

```
img_gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

Фільтрація зображення від лишніх шумів та задля розмиття контурів здійснюється методом Гаусса відповідно до формули 3.6. Проведення фільтрації відбувається через використання вбудованого бібліотечного методу та описано в лістингу 3.5

Лістинг 3.5 Фільтрація

```
img_gaussian = cv2.GaussianBlur(img_gray, (5, 5), 0)
```

Після проведення фільтрації зображення необхідно перетворити отриманий результат до бінарного виду. Перетворення в бінарне зображення означає процес при якому всі світлі пікселі що перевищують певний поріг обробки отримують значення 1, а всі пікселі в яких рівень освітлення менший порогу отримують значення 0. Для розроблюваного методу встановимо поріг освітленості для перетворення в 240 з 255, що дасть можливість відсіяти всі більш темні ділянки зображення. Після перетворення зображення до бінарного виду отримаєм чорне зображення на якому буде біла пляма. Ця пляма і є місцем розташування сонця на небосхилі. Для перетворення скористаємось програмним кодом описаним в лістингу 3.6

Лістинг 3.6 – Метод бінарного перетворення

```
(thresh, im_bw) = cv2.threshold(img_gaussian, 0, 255,
cv2.THRESH_BINARY | cv2.THRESH_OTSU)
thresh = 240 #Поріг освітленості
im_bw = cv2.threshold(img_gaussian, thresh, 255,
cv2.THRESH_BINARY)[1]
```

Отримавши зображення в бінарному виді необхідно знайти координати розміщення тієї самої білої плями, що являє собою сонце. Для знаходження координат скористаємось методом пошуку компонентів, та обведем знайдений об'єкт в зелений прямокутним намалювавши його навколо нього. Щоб скористатись пошуком компонентів використаєм код ображений на лістингу 3.7.

Лістинг 3.7 – Код пошуку компонентів зображення

```
retval, labels, stats, centroids =
cv2.connectedComponentsWithStats(im_bw, connectivity=8)
x, y, w, h, s = stats[1, :]
cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 1)
```

Щоб знайти центр об'єкта, просто віднімемо координати об'єкта від висоти та ширини прямокутника та поділим отримане значення на 2.

Проведем перевірку розробленого метода, для цього на використаєм зображення неба отримане з веб камери.

За допомогою програмного коду проведем фільтрацію зображення та переведем його в чорно-білий формат (рис3.3).

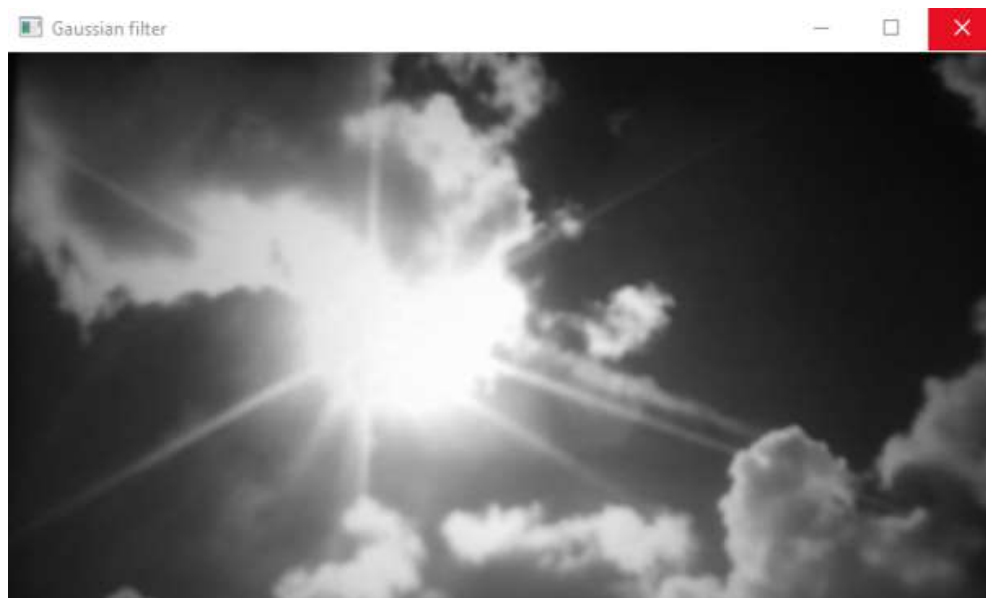


Рисунок 3.3 – Зображення після фільтрації

Наступним кроком потрібно перевести зображення в бінарний вид для цього скористаємось лістингом бінарного перетворення 3.6, результат роботи перетворення отримаєм на зображенні 3.4.



Рисунок 3.4 – Результат бінарного перетворення

Отримавши результат перетворення видно, що на зображенні чітко виділена біла пляма, яка є найсвітлішим об'єктом, та показує положення сонця. Далі визначимо координати білої плями та виділимо її на вхідному зображенні червоним прямокутником. На рисунку 3.5 зображено результат роботи методу слідкування.



Рисунок 3.5 – Результат роботи програми слідкування

Як видно з попередньої фотографії алгоритм слідкування за сонцем виконує свою роботу та знаходить найсвітліші об'єкти на зображенні використовуючи вбудовані функції бібліотеки OpenCV.

3.5 Математичне обґрунтування додаткового методу слідування

Оскільки розроблюваний метод слідування за сонцем є комбінованим, використовуються два способи слідування. Перший спосіб являє собою слідування за допомогою камери і визначення області найбільшого освітлення. Другий спосіб є додатковим і використовується в тому випадку якщо основний не може визначити вірне положення сонця (при сильній хмарності, або дощовій погоді).

Додатковий метод слідування за сонцем використовує математичні обчислення для визначення точного місцезнаходження сонця на небосхилі, а також датчик акселерометра та датчик магнітометра для визначення точного положення сонячної панелі в просторі.

Для правильного позиціонування ФЕМ необхідно обчислити кутову висоту сонця та кут азимуту в певний проміжок часу, і цей кут не може бути використаний в інший час.

Процедуру визначення положення сонця візьмем з The Astronomical Algorithm[19] [20], процедура базується на теорії що розроблена П.Бретаньоном в 1982 році.

Оскільки для вимірювання плоских кутів використовуються радіани, використаємо перетворення градусів в радіани наступною формулою:

$$Rad = \frac{\pi \cdot v}{180}, \quad (3.7)$$

де v – це значення кута в градусах.

Наступним буде розрахунок меридіани місцевого часу. Меридіан місцевого часу це еталонний меридіан, що використовується для розрахунку місцевого часу, він вираховується за формулою :

$$LSTM = 15 \cdot \Delta T_{UTC}, \quad (3.8)$$

де ΔT_{UTC} – часовий пояс розташування трекера сонячних панелей, він зазначений в Всесвітньому координованому часі (UTC).

Рівняння часу [53]. Так як сонце рухається не рівномірно тривалість дня то збільшується то зменшується, це видно на рисунку 3.6

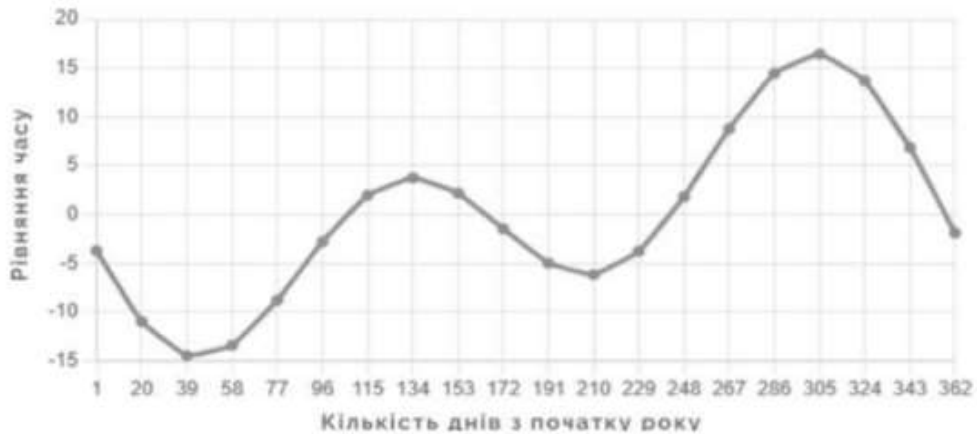


Рисунок 3.6 – Графік змін у рівнянні часу

Для визначення [21] рівняння часу скористаємось наступною формулою:

$$EoT = 9.87 \cdot \sin(2 \cdot Brad) - 7.53 \cdot \cos(Brad) - 1.5 \cdot \sin(Brad), \quad (3.9)$$

Де B має наступну формулу:

$$B = 360/365 \cdot (DY - 81), \quad (3.10)$$

де DY – це порядковий номер дня з початку року

Корекційний коефіцієнт часу [22]. Корекційний коефіцієнт часу необхідний щоб враховувати зміну місцевого часу відносно часу часового поясу. Корекційний коефіцієнт часу визначається наступним чином:

$$TC = 4 \cdot (Longitude - LSTM) \cdot EoT, \quad (3.11)$$

де $LSTM$ – це меридіан місцевого часу;

$Longitude$ – це значення довготи в радіанах;

ЕoT – це рівняння часу.

Місцевий сонячний час. Сонячний час для місця вимірювання. Щоб визначити місцевий сонячний час використаєм наступну формулу:

$$LST = H + TC/60 + M/60 , \quad (3.12)$$

де H – поточна година;

M – поточна хвилина;

TC – коефіцієнт часу.

Часовий кут показує значення руху сонця по небу в радіанах відносно місцевого сонячного часу і визначається наступною формулою:

$$HRA = 15 \cdot LST \cdot \pi / 180 , \quad (3.13)$$

де LST – це місцевий сонячний час.

Кут схилення сонця – це певний кут між вектором падіння сонячних променів та екватором Землі. Через обертання Землі даний кут змінюється кожного сезону. Кут схилення обчислюється наступним чином:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin (TCrad) \cdot \pi / 180 , \quad (3.14)$$

де TC – вираховується за формулою 3.11.

Кутова висота сонця – це висота сонця над горизонтом, вона змінюється протягом дня і сезону і виначається за формулою:

$$Elev = \arcsin ((\sin(\delta) \cdot \sin(Latitude)) + (\cos(\delta) \cdot \cos(Latitude) \cdot \cos (HRA)) \quad (3.15)$$

де δ – схилення Сонця;

Latitude – широта, в радіанх ;

HRA – часовий кут.

Азимутальний кут – це кут між напрямком на сонце та напрямом на північ. Азимутальний кут міняє своє значення постійно протягом дня та в залежності від сезону. Азимутальний кут вираховується за формулою:

$$Azimuth = \arccos (\cos(Latitude) \cdot \sin(\delta) - \cos(\delta) \cdot \sin(Latitude) \cdot \cos(HRA) \cos(Elev)), \quad (3.16)$$

де δ – кут схилення сонця;

Latitude – широта в радіанах;

HRA – це часовий кут;

Elev – кутова висота сонця.

Час сходу сонця [59]. Для коректного керування положенням ФЕМ необхідно знати час сходу сонця, тривалість дня та час заходу. Час сходу та заходу вираховуємо за наступними формулами:

$$Sunrise = 12 - \arccos (A) \cdot 0.261799 - TC \cdot 60 \quad (3.17)$$

$$Sunset = 12 + \arccos (A) \cdot 0.261799 - TC \cdot 60 \quad (3.18)$$

де TC – корекційний коефіцієнт часу;

A – визначається за наступною формулою:

$$A = -1 \cdot \sin(Latitude) \cdot \sin(\delta) \cos(Latitude) \cdot \cos(\delta) \quad (3.19)$$

де - Latitude це широта в радіанах;

δ - кут схилення.

Тривалість світлового дня можна розрахувати за наступною формулою:

$$DL = 24 \pi \cdot \arccos(-\operatorname{tg}(\text{Latitude}) \cdot \operatorname{tg}(\delta)), \quad (3.20)$$

де Latitude - координати широти, рад;

δ - кут схилення.

3.6 Розробка алгоритму додаткового методу сонячного позиціонування

Алгоритм роботи додаткового методу позиціонування складається з декількох послідовних дій:

1 Програма отримує данні про реальний час та дату на момент виконання, широту та висоту розташування трекера, а також показники положення сонячної панелі від датчика акселерометра та магнітометра;

2 Проводиться перевірка чи всі необхідні данні отримані, якщо перевірка успішна алгоритм продовжує своє виконання, якщо ні повертається на крок назад;

3 За формулами 3.7 – 3.20 виконується розрахунок азимутального кута відхилення та кута схилення сонця на даний період часу;

4 За показниками отриманими від датчиків встановлених на сонячних панелях визначаєм азимутальний кут нахилу сонячної панелі та кут схилення сонячної панелі. Порівнюємо отримані від датчиків значення із розрахованими математично, їхня різниця і відстанню на яку мають зміститись панелі, щоб відповідати положенню сонця розрахованого математично.

5 За результатами розрахунків передаєм інформацію про зміну положення на двигуни актуаторів і змінюємо положення сонячних панелей, відповідно до значень положення сонця.

Повна структура алгоритму додаткового методу позиціонування за сонцем ображено на рисунку 3.7

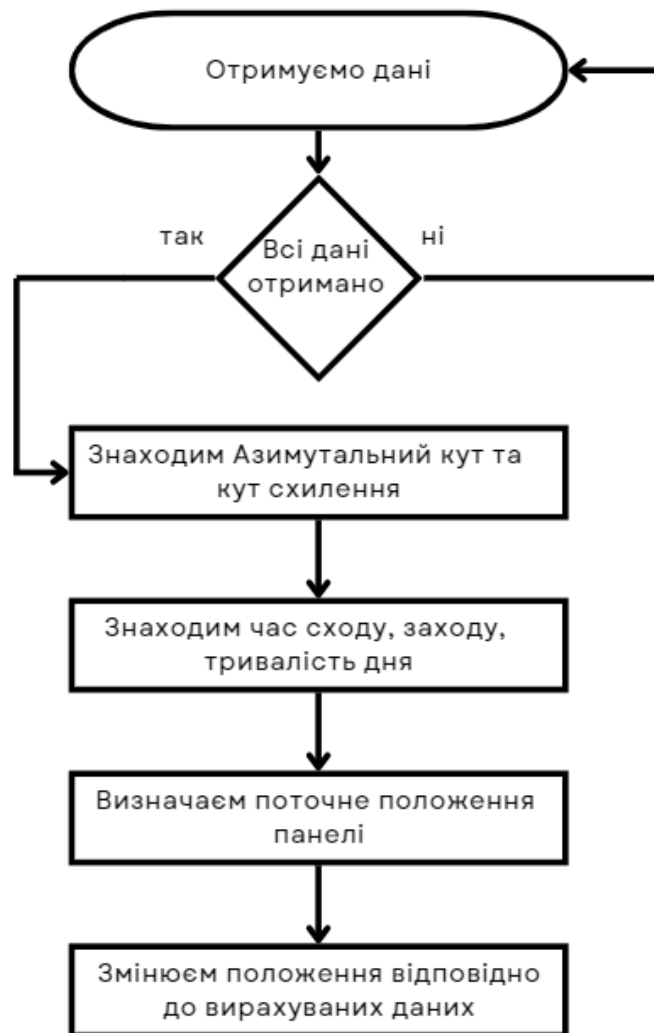


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи метода позиціонування

3.7 Програмна реалізація методу додаткового позиціонування

Оскільки в якості головного контролера в нас виступає міні-комп'ютер Raspberry Pi, для початку підключим програмно всі модулі та протокол зв'язку I2C.

Для того щоб підключити модулі по протоколу паралельного зв'язку спочатку необхідно дозволити використання такого інтерфейсу в Raspberry Pi. Заходимо в меню Raspberry Pi Configuration та біля протоколу I2C вибираємо значення дозволити, як це зображено на рисунку 3.8.

Наступним етапом використання датчиків буде встановлення бібліотеки роботи для кожного датчика.

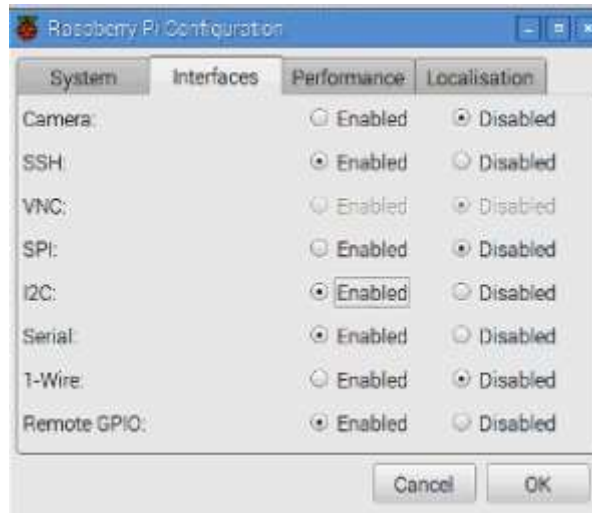


Рисунок 3.8 – Меню конфігурації Raspberry PI

Оскільки всі модулі підключаються по одному паралельному протоколу необхідно по черзі приєднати модулі і дізнатись їх адреси для зв'язку по протоколу передачі даних. Дізнатись адресу підключеного модуля можна, виконавши наступну команду в консолі міні-комп'ютера:

```
sudo i2cdetect -y 1
```

Отримавши адресу для кожного модуля зазначим її в основному кодї виконання програми. Код для кожного датчика наведений в лістингу 3.8 – 3.10

Лістинг 3.8 - Код налаштування часів реального часу.

```
ds1307 = SDL_DS1307.SDL_DS1307(1, 0x68) # налаштування часів
реального часу
ds1307.write_now()
```

Лістинг 3.9 - Код налаштувань датчика акселерометра.

```
bus = smbus.SMBus(0) # налаштування акселерометра
address = 0x68
hmc5883l = i2c hmc5883l.i2c hmc5883l(1)
```

Лістинг 3.10 - Код налаштувань датчика магнітометра.

```
hmc5883l.setContinuousMode() # налаштування магнітометра
hmc5883l.setDeclination(2, 15)
```

Для роботи кожного датчика, підключим необхідні бібліотеки. Для цього на початку програмного коду імпортуємо необхідні бібліотеки. Програмний код наведений в лістингу 3.11

Лістинг 3.11 - Код імпорту бібліотек.

```
import RPi.GPIO as IO #імпорт бібліотек
import datetime
import SDL_DS1307
from i2clibraries import i2c_hmc5883l
import smbus
import math
```

Як видно з попереднього лістингу було підключено бібліотеки: для роботи з виходами плати Raspberry PI, для роботи з часом та годинником реального часу, для можливості використання магнітометра, для датчика акселерометра та математичну бібліотеку для виконання математичних завдань.

Для визначення місцезнаходження сонця опишем формули 3.7 – 3.20 в програмному коді, зображеним в лістингу 3.12

Лістинг 3.12 - Код визначення положення сонця.

```
LSTM = 15 * T # меридіана місцевого часу
B = 360/365 * (Dy - 81) #
EoT = 9.87 * sin(2 * math.radians(B)) * 7.53 *
math.cos(math.radians(B)) * 1.5 * math.sin (math.radians(B)) #
рівняння часу
Tc = 4 * (Longr - LSTM) * EoT # корекційний коефіцієнт часу
Lst = ds1307._read_hours() + Tc/60 + ds1307._read_minutes()/60
#місцевиц сонячний час
Hra = 15 * Lst * math.pi/180 #часовий кут
Q = 23.45 * math.sin(math.radians(Tc)) * math.pi/180 # кут
схилення сонця
Elev = math.asin((math.sin(Q) * math.sin(Latr)) + (math.cos(Q) *
math.cos(Latr) * math.cos(Hra))) #кутова висота
Azim = math.acos(math.cos(Latr)*math.sin(Q) -
math.cos(Q)*math.sin(Latr)*math.cos(Hra)/math.cos(Elev)) #
азимутальний кут
A = -1 * math.sin(Latr) * math.sin(Q) / math.cos(Latr) * math.cos(Q)
Sunrise = 12 - math.acos(A) / 0.261799 - Tc / 60 # схід сонця
Sunset = 12 + math.acos(A) / 0.261799 - Tc / 60 # захід сонця
DL = 24 * math.pi * math.acos(- math.tan(Latr) * math.tan(Q)) # час світлового дня
```

За результатами проведених розрахунків дізнаємось кут схилення сонця Q , азимутальний кут $Azim$ та довжину світлового дня DL .

Отримавши дані про положення сонця, наступним кроком буде визначення положення сонячної панелі в просторі. Для цього зчитуємо значення кута відхилення по горизонтальній та вертикальній осях.

Для горизонтальної осі кут відхилення визначається бібліотечною функцією для зчитування кута відхилення акселерометра. Програмний код зображено на лістингу 3.13

Лістинг 3.13 - Код зчитування даних акселерометра.

```
accel_xout = read_word_2c(0x3b) # читаєм дані з акселерометра
accel_yout = read_word_2c(0x3d)
accel_zout = read_word_2c(0x3f)
```

Після масштабування отриманих даних, використовуючи функцію `Get_x_rotation`, знаходимо кути відхилень акселерометра по осям X та Y.

Оскільки на координатній прямій осі X та Y та точка їх з'єднання їх значень формують прямокутний трикутник, використаємо теорему синусів трикутника та теорему Піфагора, для знаходження кута схилення сонячної панелі (лістинг 3.14).

Лістинг 3.14 - Код визначення кута схилення панелі.

```
x_sun=get_x_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled,
accel_zout_scaled) # знаходимо кут положення X та Y
y_sun=get_y_rotation(accel_xout_scaled, accel_yout_scaled,
accel_zout_scaled)
sun_horizontal=math.sin(y_sun/(math.sqrt((y_sun*y_sun)+(x_sun*x_sun)))) # Знаходимо кут нахилу панелі по горизонтальній осі
```

Щоб знайти азимут відхилення сонячної панелі використаємо просту функцію, що показує значення компаса (лістинг 3.15).

Лістинг 3.15 - Код визначення азимута панелі.

```
azim_panel=hmc5883l.getHeadingString() # знаходимо азимут панелі
```

Кінцевим етапом програмного коду знайдемо кут на який необхідно перемістити сонячні панелі щоб вони стали паралельно сонячним променям. Для цього просто віднімемо значення кутів положення панелі від кутів визначених математично. Програмний код показаний в лістингу 3.16.

Лістинг 3.16 - Код позиціонування

```
X_panel_run=sun_horizontal - Q # Вираховуємо кут позиціонування
Y_panel_run=azim_panel - Azim
```

Значення змінних `X_panel_run` та `Y_panel_run` відповідають значенню необхідного переміщення сонячних панелей для їх точного позиціонування.

3.8 Висновки до третього розділу

В третьому розділі магістерської роботи було проведено опис програмної реалізації методу автоматичного слідкування за положенням сонця та визначенням його координат на небосхилі.

Першу частину даного розділу було присвячено опису поняття машинного зору, було проведено аналіз із сфер де він застосовується та методи обробки зображень які він використовує. Було описано мову програмування Python та проведено аналіз основних бібліотек цієї мови для роботи з машинним зором. Серед великої маси бібліотек було обрано саме OpenCV та описано основні можливості цієї бібліотеки.

Наступним етапом виконання роботи стала розробка алгоритмів роботи основного методу слідкування а сонцем. Було розроблено алгоритм методу та поетапно описано процеси, що будуть виконуватись програмою обробки. Також описано можливі методи фільтрації зображення за допомогою бібліотеки OpenCV та обрано той метод який найкраще підходить для системи.

Програмна реалізація основного методу слідкування була розроблена і впроваджена далі. Проведено опис кожного елементу програмного коду реалізації методу слідкування а сонцем за допомогою зображень неба, та налаштовано контролер Raspberry PI на якому буде виконуватись основна програма. Після написання програми провели тестування роботи системи по виявленню сонця на небі та описано позитивні результати тестування.

Для додаткового методу слідкування за сонцем, що буде використовуватись при неможливості використання основного, було описано математичну базу для його роботи. Для визначення положення сонця на небосхилі за допомогою математичних методів проведено аналіз можливих методів та описано математичні формули для знаходження кута схилення сонця та його азимутального кута в будь який період часу, знаючи при цьому тільки місце розташування та точне значення часу та дати.

Описано програмну алгоритм та програмну реалізацію додаткового методу слідкування. Зокрема описано процес підключення на зчитування інформації з датчиків що використовуються для додаткового методу.

4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ

4.1 Розрахунок потужності ФЕМ без трекера

Для перевірки результату роботи методу автома+тичного позиціонування за сонцем, було проведено вимірювання потужності сонячної панелі без встановленого на ній трекера. Вимірювання значень сили струму та напруги сонячної панелі проводилось на невеликій ФЕМ та двохосьовому трекері (рис 4.1), в першому випадку трекер не використовувався і панель стояла статично.

Результати вимірювання напруги та струму сонячної панелі без трекера представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 –Потужність сонячної панелі без трекера

Час T, год	Струм I, А	Напруга U, В	Потужність P, Вт
7	0,25	5,1	1,27
8	0,25	5,3	1,32
9	0,26	5,2	1,35
10	0,27	5,3	1,43
11	0,28	5,4	1,51
12	0,30	5,6	1,68
13	0,32	5,7	1,82
14	0,32	5,7	1,82
15	0,29	5,6	1,62
16	0,27	5,4	1,45
17	0,27	5,4	1,45
18	0,26	5,3	1,37
19	0,24	5,2	1,25
20	0,22	5,1	1,1
21	0,18	5,0	0,9

Визначення потужності виходу панелі проводилось за формулою 4.1

$$P=U*I \quad (4.1)$$

Де P – потужність, Вт;

U – напруга, В;

I – струм, А

Вимірювання були проведенні під час сонячного дня при високій інтенсивності випромінювання. Сонячна панель була направлення на південь.

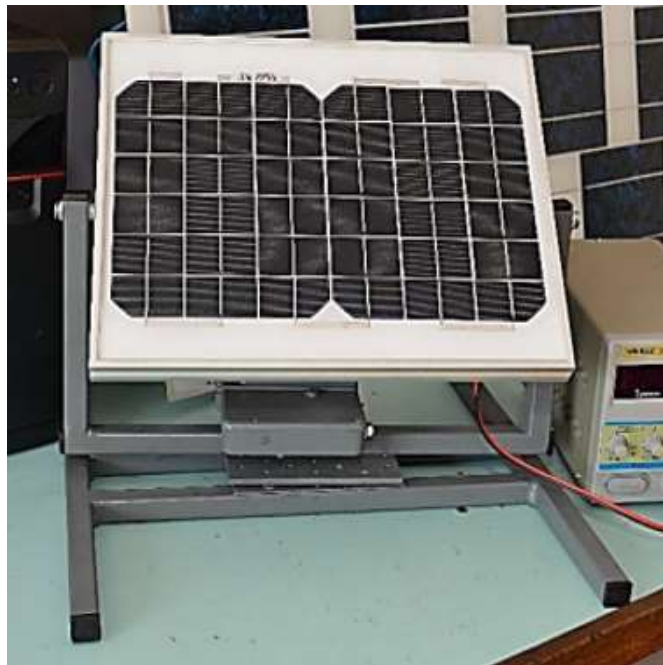


Рисунок 4.1 – Зображення досліджуваної установки

Обробивши отриманні дані з таблиці 4.1, було побудовано графік залежності потужності сонячної панелі від години її використання (рис4.2).

З отриманого графіка потужності зробимо висновок що потужність сонячної панелі протягом дня не є рівномірною, найбільшу потужність ФЕМ видає в середині світлового дня і до настання ночі значення потужності плавно падає. Середня потужність вироблення сонячної електроенергії протягом світлового дня, за результатами вимірювань складає 1.422 Вт.



Рисунок 4.2 – Графік потужності панелі без трекера

Під час проведення другого експерименту сонячна панель була підключена до трекера та до системи що використовує метод автоматичного відслідковування положення сонця. Проведення експерименту відбувалося в світлий день із високою інтенсивністю сонячного випромінювання. Отримані дані про силу струму та напругу сонячної панелі було систематизовано в таблиці 4.2. Вихідна потужність панелі розраховувалась за формулою 4.1.

Таблиця 4.2 – Потужність панелі з трекером

Час T, год	Струм I, А	Напруга U, В	Потужність P, Вт
7	0,28	5,5	1,27
8	0,28	5,6	1,32
9	0,29	5,7	1,35
10	0,31	5,7	1,43
11	0,32	5,8	1,51
12	0,32	5,9	1,68
13	0,31	5,9	1,82
14	0,32	5,9	1,82
15	0,32	5,9	1,62
16	0,30	5,8	1,45

Продовження таблиці 4.2

17	0,29	5,7	1,45
18	0,28	5,6	1,37
19	0,26	5,5	1,25
20	0,24	5,4	1,1
21	0,20	5,1	0,9

Зробивши аналіз таблиці 4.2 побудуємо графік залежності потужності від часу при застосуванні сонячного трекера (рис 4.3). Як видно з графіка робота сонячної панелі стала більш стабільнішою, а потужність стала більшою.



Рисунок 4.3 – Графік потужності панелі з трекером

Середня потужність панелі з використанням сонячного трекера та системи слідкування за сонцем склала 1.63 Вт. Даний показник більший на 0,202 Вт ніж при використанні панелі без сонячного трекера.

Для кращого порівняння роботи сонячної панелі з трекером та без накладом обидва графіки один на оден та побачим візуальну різницю в потужності (рис 4.4).

Отримавши графік бачим що потужність панелі з трекером (синя лінія) є більш стабільною протягом дня, а також що при такій роботі виробляється більша потужність що дає додаткову економічну вигоду для використання трекера. Сонячний трекер збільшує продуктивність роботи панелі до свого максимуму що

дає можливість виробити більшу кількість електричної енергії. Саме тому використання двохосьових трекерів для сонячних панелей є обґрунтованим і економічно доцільним.

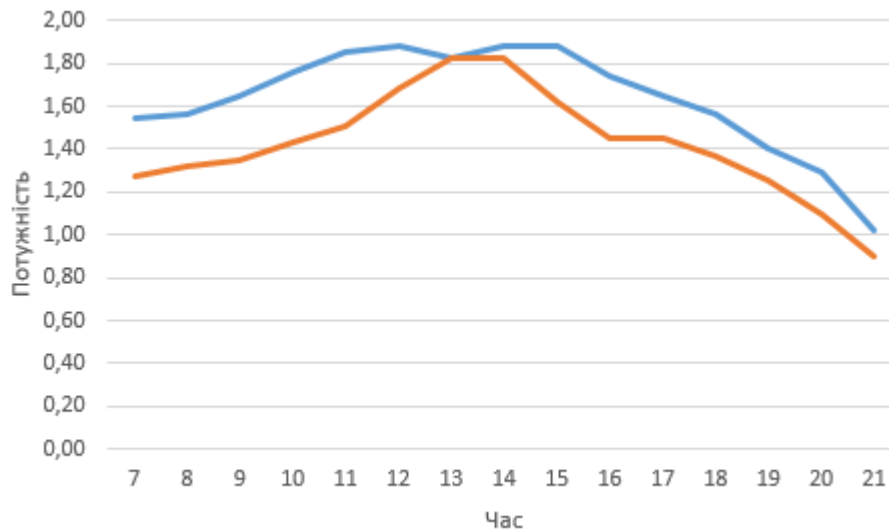


Рисунок 4.4 – Графік зіставлення потужності

4.2 Визначення вольт-амперної характеристики

При розробці методу слідкування за положенням сонця були зняті вольт-амперні характеристики з сонячної батареї в різних умовах та з різним рівнем освітлення.

Наведемо таблиці залежностей ВАХ при сильному сонячному випромінюванні і різними умовами.

1. $Im1$ - сонячна батарея перпендикулярна Сонцю;
2. $Im2$ - сонячної батарея перпендикулярна до Сонця і батарея знаходиться за склом;
3. $Im3$ – відхилення сонячної панелі від променів сонці складає 60 градусів
4. $Im4$ - відхилення сонячної панелі від променів сонці складає 60 градусів і батарея знаходиться за склом.

Результати вимірів потужності для панелі з умовами $Im1$ та $Im2$ представлено на таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – ВАХ сонячної панелі за умов l_{m1} і l_{m2}

R, Ом	l_{m1}			l_{m2}		
	U, В	I, мА	P, мВт	U, В	I, мА	P, мВт
6.7	0.83	125	103	0.7	104	71
44.7	5.21	117	606	4.22	95	396
110.4	9.85	90	878	6.64	79	674
922	13,51	16	199	13,29	15	192
477	13.31	29	372	12.28	37	443
340	13,06	39	501	12,28	37	443
230	12,83	57	716	11,97	53	622

Таблиця 4.4 – ВАХ сонячної батареї за умов l_{m3} і l_{m4}

R, Ом	l_{m3}			l_{m4}		
	U, В	I, мА	P, мВт	U, В	I, мА	P, мВт
6.7	0.8	95	103	0.7	85	71
44.7	5.1	80	606	4.22	68	396
110.4	8.4	70	878	6.64	57	674
252.7	11.94	42	654	12.02	35	571
477	12.21	19	372	12.28	10	443
274,7	12,9	48	606	12,16	45	538
922	13,51	16	199	13,29	15	192

Проведем процес інтерполяції визначених даних та образимо отримані ВАХ у вигляді графіка на рисунку 4.5.

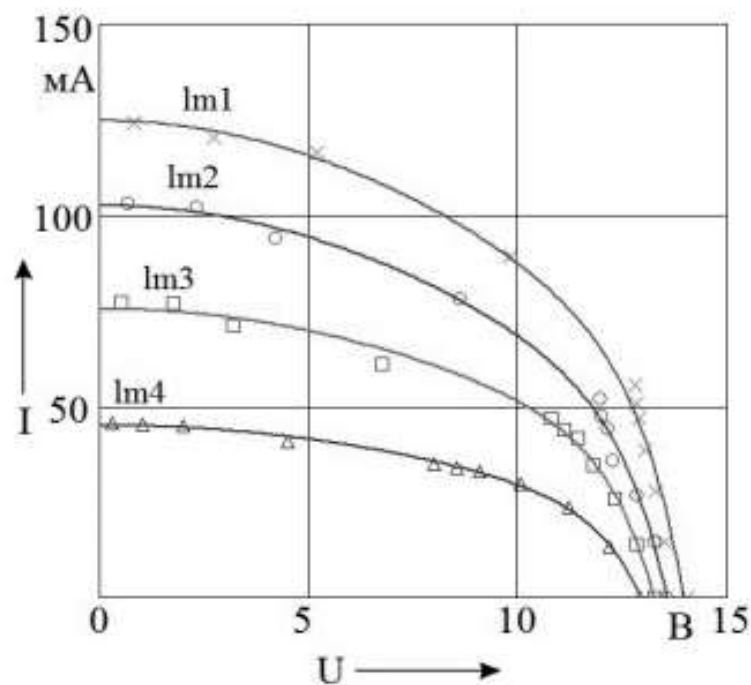


Рисунок 4.5 – ВАХ сонячної панелі при різному ступені освітленості

В результаті процесу інтерполяції була знайдена формула, яка показує функції ВАХ сонячної батареї:

$$f(u, K) = K_0 + K_1 e^u + K_2 u^2 \quad (4.2)$$

де u - напруга сонячної панелі;

K_0 - K_2 - коефіцієнти інтерполяції.

Беручи до уваги формулу 4.2 була проведена робота з підбору коефіцієнтів для кожного випадку освітленості. Коефіцієнти показані на рисунку 4.6.

$$K_{Im1} = \begin{pmatrix} 124.699 \\ -4.623 \times 10^{-5} \\ -0.363 \end{pmatrix} \quad K_{Im3} = \begin{pmatrix} 75.297 \\ -5.99 \times 10^{-5} \\ -0.224 \end{pmatrix}$$

$$K_{Im2} = \begin{pmatrix} 102.505 \\ -5.371 \times 10^{-5} \\ -0.329 \end{pmatrix} \quad K_{Im4} = \begin{pmatrix} 44.926 \\ -4.832 \times 10^{-5} \\ -0.147 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4.6 - інтерполяційні коефіцієнти ВАХ сонячної батареї при різній освітленості

Підставляючи коефіцієнти, наприклад, при освітленості $Im1$ отримаємо наступну формулу:

$$I = 124,699 - 4,623 \cdot 10^{-5} e^U - 0,363 \cdot U^2 \quad (3.2)$$

За результатами дослідження ВАХ можна робити висновок, що в разі розташування сонячної панелі за склом що відбиває частину сонячних променів, панель втратить 20-25% своєї потужності. Збільшення кута між панелю і сонячним промінням потужність також буде зменшуватись.

Проведем інтерполяцію залежності потужності від опору навантаження та представим отриманий графік на рисунку 4.7.

При умові $Im1$ в умовах доброго освітлення з навантаженням в 110.4 Ом сонячна панель показує найкращу ефективність роботи, але для подальшої

роботи краще встановити більше навантаження. З більшим навантаженням ФЕМ буде краще працювати в умовах підвищеної хмарності.

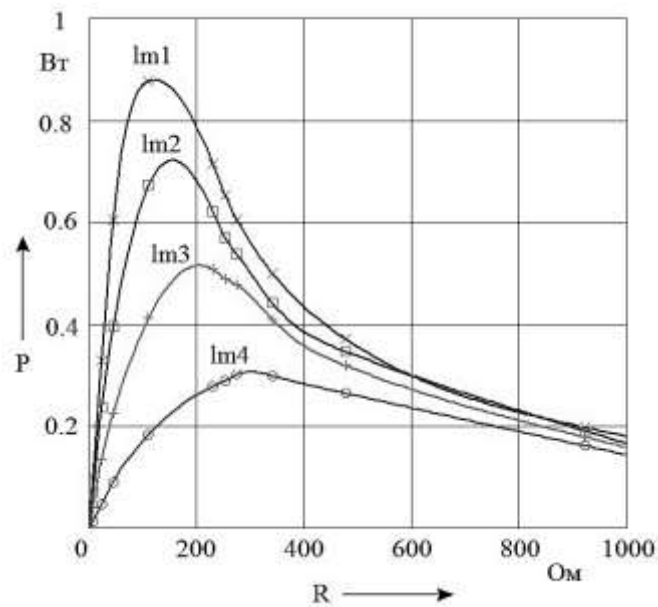


Рисунок 4.7 – Графік залежності потужності від опору

Отриманні залежності потужності від опору демонструють, що точка робоча точка сонячної панелі може бути зміщена в залежності від опору навантаження, тому важливо зробити узгодження сонячної панелі з навантаженням.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі магістерської роботи було проведено експериментальне тестування потужності сонячної панелі без використання сонячного трекера та з ним. Результат тестування засвідчив що в разі використання трекера та системи слідування за сонцем середня потужність сонячної панелі збільшується на 0.202 Вт. Також плюсом використання трекера є краща стабільність роботи сонячної панелі в порівнянні зі статичним розміщенням.

Друга частина розділу була присвячена знаходженню вольт-амперної характеристики сонячної панелі.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи було розроблено метод автоматичного керування положенням сонячного модуля.

Дана робота складається з чотирьох розділів і містить теоретичну та практичну інформацію використану для розробки методу слідкування.

Перший розділ роботи присвячений аналітичній роботі та поясненню принципів роботи та необхідності застосування сонячних трекерів. Проведено опис принципу роботи сонячних панелей та їхню будову. Описано принцип роботи статичних СЕС та визначено що ефективність роботи статичних електростанцій є менш ефективною ніж станцій що використовуються сонячні трекери.

Наступним етапом було проведено дослідження з визначення актуальності розробки нових систем стеження для трекерів. Виявлено що використання сонячних трекерів здатне збільшити рівень сонячної генерації СЕС приблизно на 30-50% в залежності від типу використаного трекера та місцероташування сонячної станції.

Для розуміння того які є види трекерів, проведена їх класифікація. Зокрема класифікація проводилась в основному за кількістю і типом осей обертання трекера. Виявлено що сонячні трекери можна поділити на наступні види:

1. Одноосьові трекери

- З вертикальною віссю обертання;
- З горизонтальною віссю обертання;
- З похилою віссю обертання;

2. Двохосьові трекери

- Висотно-азимутальний трекер;
- Трекер з полярно орієнтованою віссю.

За результатами класифікації знайдено недоліки використання трекерів, та визначено регіони де найкраще застосовувати той чи інший трекер.

Проведено аналіз способів управління положенням сонячного трекера, та систем для відслідковування сонця. Описано декілька різних систем позиціонування панелі відносно сонця. Поставлено задачі проектування.

В другому розділі магістерської роботи було проведено масштабну роботу з процесу підбору необхідних елементів для розробки системи слідкування за сонцем, та можливості використання методу автоматичного позиціонування. Для виконання методу автоматичного слідкування було обрано наступні елементи системи:

- міні-комп'ютер Raspberry PI Model B;
- камеру на сенсорі IMX219-160
- модуль акселерометра ADXL345;
- модуль годинника реального часу DS1307
- модуль магнітометра GY271;
- актуатори HARL3612;
- драйвер двигунів RKP-01A

Для кожного модуля системи було проведено опис його функціональних можливостей та вказано головні технічні характеристики.

Проведено розробку основного алгоритму роботи методу автоматичного слідкування за сонцем. Алгоритм було зображено на рисунку для кращого його розуміння, а також описано послідовно кожен дію, що виконується в алгоритмі.

Розроблено структурну схему пристрою, що буде використовувати метод слідкування. Визначено основні елементи структурної схеми, їх кількість та способи їх приєднання до основної плати контролера. Зроблено опис роботи методу слідкування.

Виконано процес розробки функціональної схеми пристрою слідкування. Було визначено основні протоколи зв'язку між модулями системи та головним контролером. В нашому випадку будуть використовуватись протокол паралельного зв'язку I²C для з'єднання модулів датчиків та годинника реального часу з контролером, для з'єднання камери використаєм протокол Camera Serial Interface (CSI). Також було побудовано функціональну схему пристрою та описано її для з'єднання.

Ключовим етапом другого розділу було проведено розробку схеми будови сонячного трека на основі використання розроблюваного методу. Описано способи та місця встановлення основних елементів системи.

Робота що була проведена в третьому розділі стосувалась головного етапу розробки, а саме програмно-апаратної реалізації розробленого методу.

Розроблений метод працює використовуючи принципи машинного зору, саме тому для початку було проведено короткий опис цього поняття.

Для програмування методу було обрано високу мову програмування Python, через її простий синтаксис та ефективну структурування даних.

Для процесу обробки зображення серед великої кількості бібліотек мови Python було обрано бібліотеку OpenCV. Дана бібліотека підтримує багато мов програмування серед яких є мова Python.

Перед проведенням самого програмування основного методу було розроблено докладний алгоритм роботи, а також описано його основні етапи. Для методу фільтрації шуму вибрали метод фільтрації Гаусса.

При програмуванні основного метода особливу увагу звернули налаштуванню платформи Raspberry Pi для можливості роботи з камерою та підключенню до неї бібліотек. Після проведення опису елементів програми було виконано тестування системи на предмет можливості знаходження положення сонця на небосхилі, тестування були успішні.

Під час програмування додаткового методу слідкування за сонцем також, спочатку розроблено алгоритм роботи методу та описано його дії. Важливим елементом додаткового методу є його математичне підґрунття, оскільки він будується чисто на математичних розрахунках. Приділено увагу також елементам програмування використання модулів встановлених в системі, розібрано лістинг коду процесу роботи модулів що використовується в сонячному трекері.

Для останнього розділу провели експериментальні розрахунки потужності сонячної панелі без використання трекера та з ним. За результатами досліджень, зроблено висновки, що використання трекера є обґрунтованим, оскільки значення потужності системи трекером було вищим і робота сонячної панелі більш стабільна і врівноважена.

Також було досліджено вольт-амперну характеристику сонячної панелі та визначено формулу ВАХ сонячної панелі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Українська сонячна енергетика: як не повторити долю Ікара[Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2019/02/15/645301/>
2. Трекери для сонячних електростанцій[Electronic resource]. URL: <https://ru.alternative-energy.com.ua/vocabulary/> трекери для сонячних електростанцій/ (accessed: 11.11.2018).
3. 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.
4. 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.
5. T. Twisha. Introducing Dual Axis Solar Tracker with Reflector to Increase Optimal Electricity Generation in Bangladesh // Dev. Renew. Energy Technol. – 2014. – № 3. – pp.1–6
6. Cooke D. Single vs. Dual Axis Solar Tracking // Altern. Energy e Magazine. 2011.
7. Jain P., Kaur T. Optimization of Solar PV System and Analysis of Tilt Angle // ACM Conf. Proc. eEnergy IS. 2015. P. 14–17
8. Одноосьові трекери [Electronic resource]. URL: <http://ussolar.com.ua/ua/news/6-odnoosnye-trekery-povyshayut-effektivnostsolnechnoy-stantsii-na-15-17> (accessed: 10.11.2018).
9. Студьонов Ю. Сонячні трекери: Відкритий електронний ресурс [Electronic resource]. URL: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/> (accessed: 01.11.2018).
10. Hafez A., Shazly J., Eteiba M. Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for solar tracking systems // Proc. Third Intentional Conf. Adv. Appl. Sci. Environ. Eng. 2015. P. 134–141.
11. Noorsal E. et al. An external control unit implemented for stimulator ASIC testing // J. Fundam. Appl. Sci. 2017. P. 710–733.

12. Elsherbiny M.S. et al. Design Of Single-Axis And Dual-Axis Solar Tracking Systems Protected Against High Wind Speeds // Int. J. Sci. Technol. Res. 2017. Vol. 6, № 09. P. 84–89.
13. Патент номер 137792 Система керування сонячним трекером / Пархомук Катерина Вікторівна (UA), Дрига Володимир Володимирович (UA), Швидкий Олександр Васильович (UA). – 1111. – С. 8.
14. Camera_Serial_Interface [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.wikiwand.com/en/Camera_Serial_Interface.
15. Marne N.S., Nagmode M.S., Komati R.D. Vibration Measurement System with Accelerometer Sensor Based on ARM // Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng. 2014. Vol. 4, № 4. P. 760–764.
16. MODERN DIRECTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT Proceedings of XIII International Scientific and Practical Conference Chicago, USA 15-17 June 2022 Chicago, USA 2022 3 UDC 001.1 The 13th
17. OpenCV [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wikiwand.com/uk/OpenCV>.
18. Adrian Kaehler; Gary Bradski (14 December 2016). Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library. O'Reilly Media. pp. 26ff. ISBN 978-1-4919-3800-3.
19. Trupke, T. and P. Würfel, "Fundamental Limits of Solar Energy Conversion". Photovoltaic Modeling Handbook, (2018): p. 7.
20. C. Sungur. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. Renewable Energy 2009. vol. 34, pp. 1119- 1125.
21. Ramli, M. A., Twaha, S., Ishaque, K., and Al-Turki, Y. A., "A review on maximum power point tracking for photovoltaic systems with and without shading conditions". Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2017). 67: p. 144-159.
22. C. Alexandru, and C. Pozna, (2010). Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A, Journal Power Energy, 224(6), pp. 797–811.

23. Форсайт Д. «Комп'ютерний зір. Сучасний підхід»/ Д. Форсайт, Ж. Понс // Вид. Дім «Вільямс» .— М.Вільямс, 2004. — 928 с.
24. Штучний інтелект та його вплив на комп'ютерний зір. URL: <https://controlengrussia.com/tehnicheskoe-zrenie/iskusstvennyj-intellekt-imashinnoezrenie/> (дата звернення 15.10.2022)
25. Ballard D. H. Computer Vision / Dana H. Ballard, Christopher M. Brown. — Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1982. — Access mode : <https://archive.org/details/computervision0000ball>

Додаток А

Лістинг програмного коду

```

import cv2

img = cv2.imread('imag/02.jpg')
cap = cv2.VideoCapture(0)
cap.set(3,400)
cap.set(4,400)
cv2.namedWindow("main")
cv2.setMouseCallback('main',Centre)
k = cv2.waitKey(1)

while True:
    ret, img = cap.read()
    img_gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    img_gaussian = cv2.GaussianBlur(img_gray, (5, 5), 0)
    cv2.imshow('Gaussian filter', img_gaussian)
    (thresh, im_bw) = cv2.threshold(img_gaussian, 0, 255,
    cv2.THRESH_BINARY | cv2.THRESH_OTSU)
    thresh = 240
    im_bw = cv2.threshold(img_gaussian, thresh, 255,
    cv2.THRESH_BINARY)[1]
    #if k%256 == 32:
    retval, labels, stats, centroids =
    cv2.connectedComponentsWithStats(im_bw, connectivity=8)
    x, y, w, h, s = stats[1, :]
    cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255),
    1)

    cv2.imshow('Binary', im_bw)
    cv2.imshow('main',img)

if cv2.waitKey(20) & 0xFF==27:
    break

    cap.release()
    # Destroy all the windows
    cv2.destroyAllWindows()

```

```

import cv2

cam = cv2.VideoCapture(0)

cv2.namedWindow("БФШТ")

```

```
img_counter = 0

while True:
    ret, frame = cam.read()
    if not ret:
        print("failed to grab frame")
        break
    cv2.imshow("test", frame)
    k = cv2.waitKey(1)
    if k%256 == 27:
        # ESC pressed
        print("Escape hit, closing...")
        break
    elif k%256 == 32:
        # SPACE pressed
        img_name = "opencv_frame.png".format(img_counter)
        cv2.imwrite(img_name, frame)
        print("{} written!".format(img_name))
        img_counter += 1

cam.release()

cv2.destroyAllWindows()
```

Додаток Б

Стаття в науковому журналі

УДК 621.315

Н.В. Моркун
Хмельницький національний університет
Д.М.ХОМА
Хмельницький національний університет

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЧНОЇ ПАНЕЛІ

В роботі наведено процес розробки методу автоматичного керування положенням сонячної панелі, встановлено основні вимоги до системи побудованої на основі даного методу та проведено експеримент з перевірки роботи методу. Запропонований метод автоматичного керування побудований на основі пошуку сонця на зображенні неба, отриманого за допомогою спеціальної камери і обробленого методами машинного зору бібліотеки OpenCV.

Keywords: сонячна панель, метод автоматизованого керування положенням, точка максимального освітлення.

N.V. Morcyn
Khmelnitsky national university
D.M.KHOMA
Khmelnitsky national university

METHOD OF AUTOMATIC CONTROL OF THE POSITION OF THE SOLAR PANEL

The work describes the process of developing a method of automatic control of the position of a solar panel, establishes the basic requirements for a system built on the basis of this method, and conducts an experiment to verify the operation of the method. The proposed automatic control method is built on the basis of finding the sun on the image of the sky, obtained with the help of a special camera and processed by the methods of machine vision of the OpenCV library.

Keywords: solar panel, method of automated position control, point of maximum illumination.

1. Вступ

Для досягнення максимальної ефективності генерації СЕС сонячні панелі потрібно точно орієнтувати на сонце. В цьому випадку призначенням трекера є приблизити кут падіння сонячних променів до значення в 90%. Орієнтація сонячних панелей змінюється або за допомогою ручного приводу або з допомогою спеціальних пристроїв – актуаторів.

Системи управління сонячним трекером бувають трьох видів:

1. Активна. Орієнтація сонячної панелі відбувається за допомогою активного сенсора. При порівнянні зі статичними системами приріст потужності до 50%.

2. Пасивна. Переорієнтація ФЕМ відбувається по сонячному календарю, при цьому ефективність збільшується на 40% при порівнянні зі статичною системою.

3. Комбінована. Система застосовується для підвищення надійності. У звичайному режимі система працює по активній системі, а у випадку проблем з визначенням інтенсивності сонячних променів переходить на пасивну. Якщо сила вітру перевищує максимальну можливу то система переводить сонячні панелі в режим флюгера.

Також одним із рішень для підвищення ефективності сонячних панелей, без застосування механізації, є зміна кута орієнтації сонячних панелей за допомогою ручної праці. Зазвичай при використанні такого метода сонячні панелі розташовуються в напрямку північ – південь. В такій системі зміна положення сонячних панелей відбувається від мінімального 2 рази в рік (зима/літо) до максимального 4 рази (зима/весна/літо/осінь).

Теоретично такий спосіб заслуговує на життя, оскільки розрахунки показують збільшення ефективності сонячної генерації СЕС на 4-5%.

Сонячну систему можна назвати ефективною, коли вона в стані спостерігати за положенням сонця, вертати трекер у вихідне положення при заході сонця, коректно працювати в умовах підвищеної хмарності [1].

2. Метод автоматичного керування положенням сонячної панелі

Метод автоматичного керування положенням сонячної панелі з використанням фотозйомки, побудований на використанні алгоритмів машинного зору.

Машинний зір – це науковий напрямок в області штучного інтелекту та пов'язані з ним технології аналізу зображень об'єктів реального світу, їх обробки і використання отриманих даних для вирішення різного роду прикладних задач без повної або за часткової участі людини. Деякі алгоритми машинного зору були розроблені для імітування зорового сприйняття людини, проте більша кількість унікальних методів були створені для обробки зображень і визначення відповідних їх властивостей[2].

Обробка зображень – це головна функція комп'ютерного зору. Категорії обробки зображень поділяються в залежності від призначення та структури. Багато операцій з обробки зображень призначенні тільки для підвищення якості зображень, проте більшість операцій спрямована на здобуття інформації із зображення для подальшої обробки пристроями автоматки. Окремі функції обробки можуть створювати неграфічні форми із отриманих зображень інші здатні генерувати нові зображення.

Програмування систем машинного зору можна проводити використовуючи велику кількість мов програмування, хоча найпопулярнішою мовою програмування для таких цілей є Python. Переваги використання мови Python для машинного зору полягають в ефективному підході мови для використання об'єктно-орієнтованого програмування та просту та ефективну структуру даних.

Серед великої кількості бібліотек машинного зору загального призначення найбільш доцільними в освітньому процесі є застосування автономних бібліотек типу OpenCV, спільними рисами яких є вільні ліцензії та можливість використання Python для швидкого прототипування та нейронних мереж для розпізнавання.

OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library, бібліотека комп'ютерного зору з відкритим кодом) — бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом[3]

Метод автоматичного керування положенням ґрунтується на знаходженні освітленості на зображенні необхідне для визначення положення сонця на зображенні. Оскільки сонце це дуже яскравий об'єкт при наведенні на нього об'єктиву камери, деякі області зображення будуть засвічені, саме ці області будуть мати найбільшу яскравість і відповідатимуть положенню сонця.

Обробка зображень для розроблюваного методу, з допомогою бібліотек машинного зору містить наступні етапи:

1 *Отримання зображення*, в даному випадку буде відбуватись шляхом зйомки, через підключену відеокамеру.

2 *Зниження кольорових просторів зображення*, відбудеться шляхом переведення зображення в чорно-білий формат. В цьому випадку зображення що має три кольорові канали трансформується в зображення з одним каналом.

3 *Фільтрація від шуму*. Зазвичай для обробки зображення його спочатку треба знешумити.

4 *Перетворення зображення із звичайного в бінарний тип*. Метод перетворення коли кожний піксель зображення має всього одне значення: 1 білий колір, 0 чорний колір. Перетворення відбувається на основі певного порогу освітлення, що вказується користувачем.

5 *Пошук найсвітлішої області зображення*. Пошук відбувається шляхом перебору всіх пікселів зображення і визначення значення. Коли область визначена, дані з координатами області передаються на пристрій формування сигналів для повороту сонячної панелі.

Для перевірки методу роботи було написано програму для знаходження положення сонця на небосхилі та проведено дослід з визначення роботоздатності системи.

Для цього на вхід програми було подано зображення сонячного неба. Результати роботи методу відслідковування зображено на рисунку 1.1 та 1.2.



Рисунок 1.1 Результат обробки зображення



Рисунок 1.2 – Результат роботи методу

По результату отриманому на рисунку 1.2, бачимо що метод вірно знайшов положення сонця на небі.

3. Висновки

Розроблений метод автоматичного керування позицією сонячної панелі має на меті покращення способу знаходження сонця на небосхилі. За результатами проведеної роботи розроблено метод що дозволяє за допомогою камери відслідковувати положення сонця на небі та керувати положенням сонячних панелей відносно сонця. Проведено перевірку методу, і доведено його роботоздатність для виконання необхідних завдань.

Література


1. Hafez A., Shazly J., Eteiba M. Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for solar tracking systems // Proc. Third Intentional Conf. Adv. Appl. Sci. Environ. Eng. 2015. P. 134–141.
2. MODERN DIRECTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT Proceedings of XIII International Scientific and Practical Conference Chicago, USA 15-17 June 2022 Chicago, USA 2022 3 UDC 001.1 The 13 th

3. OpenCV [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.wikiwand.com/uk/OpenCV>
4. Adrian Kaehler; Gary Bradski (14 December 2016). Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library. O'Reilly Media. pp. 26ff. ISBN 978-1-4919-3800-3.
5. Trupke, T. and P. Würfel, "Fundamental Limits of Solar Energy Conversion". Photovoltaic Modeling Handbook, (2018): p. 7.
6. Trupke, T. and P. Würfel, "Fundamental Limits of Solar Energy Conversion". Photovoltaic Modeling Handbook, (2018): p. 7.
7. C. Sungur. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. Renewable Energy 2009. vol. 34, pp. 1119- 1125.
8. Ramli, M. A., Twaha, S., Ishaque, K., and Al-Turki, Y. A., "A review on maximum power point tracking for photovoltaic systems with and without shading conditions". Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2017). 67: p. 144-159.
9. C. Alexandru, and C. Pozna, (2010). Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A, Journal Power Energy, 224(6), pp. 797–811.

Додаток В

Презентація

Слайд 1

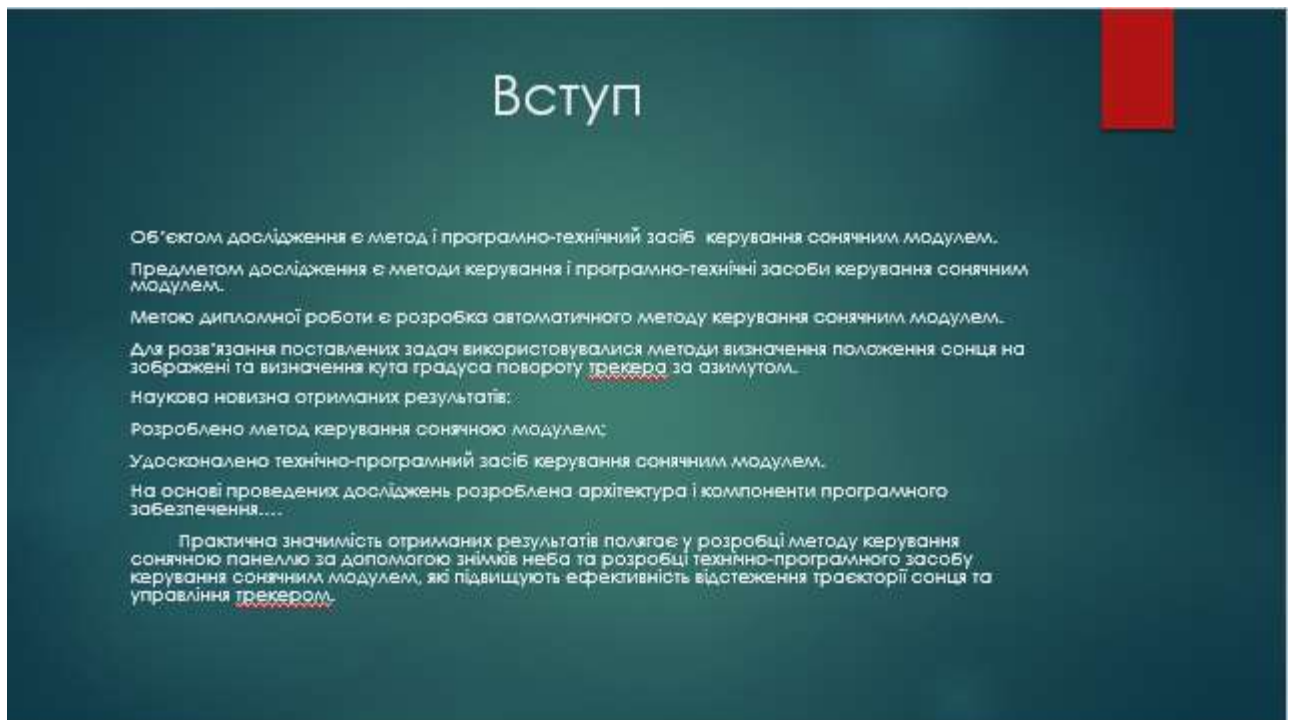


Дипломна робота магістра

ВИКОНАВ
СТ.ГР.АКІПМ-21-1
ХОМА ДЕНИС

Науковий керівник
Д.т.н., проф.
Моркун, Н. В.

Слайд 2



Вступ

- Об'єктом дослідження є метод і програмно-технічний засіб керування сонячним модулем.
- Предметом дослідження є методи керування і програмно-технічні засоби керування сонячним модулем.
- Метою дипломної роботи є розробка автоматичного методу керування сонячним модулем.
- Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи визначення положення сонця на зображенні та визначення кута градусу повороту трекера за азимутом.
- Наукова новизна отриманих результатів:
 - Розроблено метод керування сонячною модулем;
 - Удосконалено технічно-програмний засіб керування сонячним модулем.
- На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення....
- Практична значимість отриманих результатів полягає у розробці методу керування сонячною панеллю за допомогою знімків неба та розробці технічно-програмного засобу керування сонячним модулем, які підвищують ефективність відстеження траєкторії сонця та управління трекером.

Слайд 3

Типи сонячних трекерів



Слайд 4

Керування сонячним трекером

Системи управління сонячним трекером бувають трьох видів:

1. Активна. Орієнтація сонячної панелі відбувається за допомогою активного сенсора. При порівнянні зі статичними системами приріст потужності до 50%.

2. Пасивна. Переорієнтація ФЕМ відбувається по сонячному календарю, при цьому ефективність збільшується на 40% при порівнянні зі статичною системою.

3. Комбінована. Система застосовується для підвищення надійності. У звичайному режимі система працює по активній системі, а у випадку проблем з визначенням інтенсивності сонячних променів переходить на пасивну. Якщо сила вітру перевищує максимальну можливу то система переводить сонячні панелі в режим флюгера

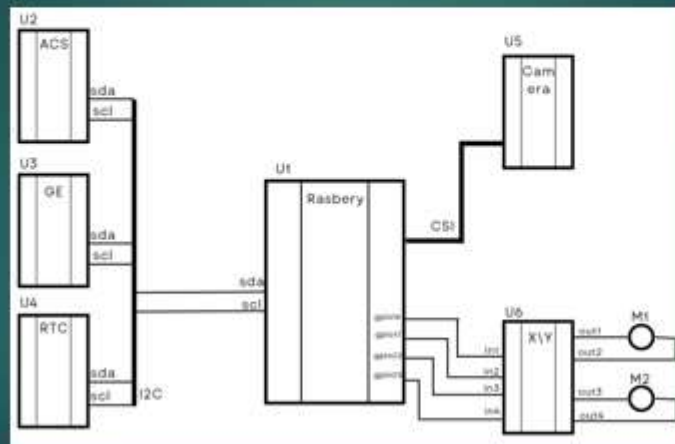
Слайд 5

Структурна схема пристрою керування положенням сонячного модуля



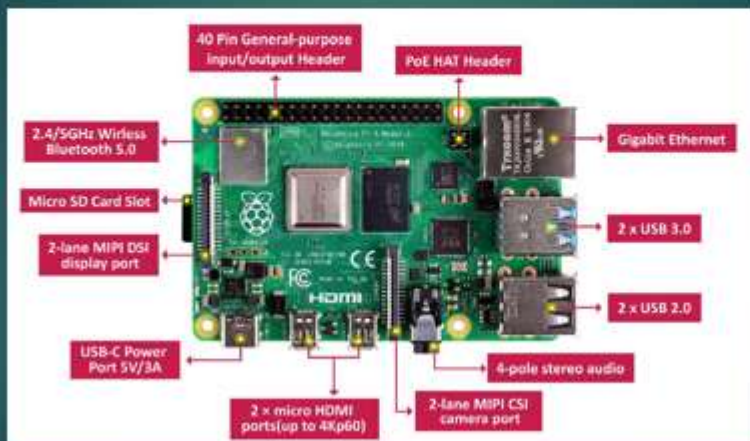
Слайд 6

Функціональна схема пристрою



Слайд 7

Контролер Raspberry Pi



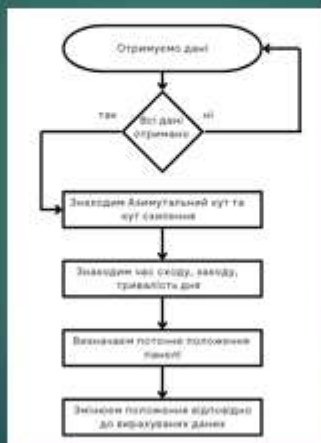
Слайд 8

Алгоритм роботи основного методу слідування



Слайд 9

Алгоритм роботи додаткового методу слідування



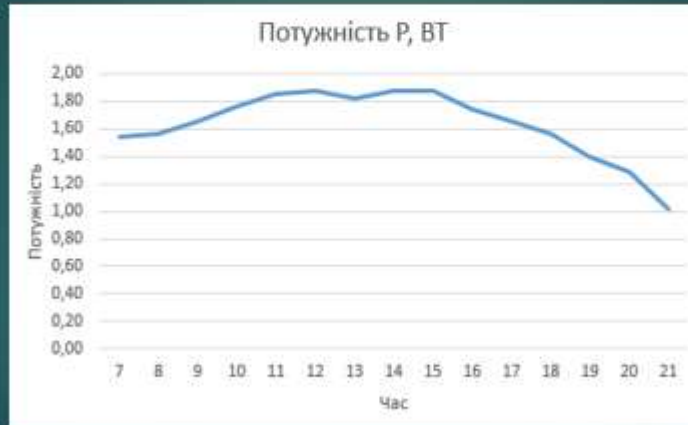
Слайд 10

Графік потужності сонячного модуля без використання трекера



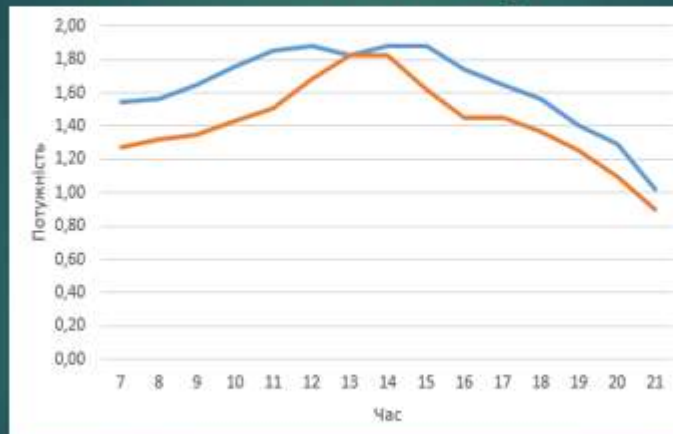
Слайд 11

Графік потужності модуля з використанням трекера



Слайд 12

Графік зіставлення потужностей СОНЯЧНОГО МОДУЛЯ



Слайд 13

ВИСНОВОК

За результатами виконаної роботи було розроблено метод автоматичного керування положенням сонячного модуля

Метод автоматичного керування об'єднує два методи автоматичного слідування за сонцем:

- ▶ Основний метод виконує слідування та позиціонування зчитуючи положення сонця з зображення неба
- ▶ Додатковий метод слідування використовує математичні розрахунки для виявлення точного місце положення сонця на небосхилі.

Дякую за увагу

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.00%

Словний перевіряє: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 9%

ID: 109309 Назва: МКР Метод автоматичного керування поведінкою сьвятого модуля Долено в БД: 2022-12-10 Автор: Хома Д. М. Керівник: Моркун Н.В., д.т.н., професор Консультації: Оповісти:	Документ		Суцільний збіг по Базі Даних	
	Словови	Лексеми	Словови	Лексеми
	84516	1350	1158 (1%)	23 (2%)

Джерело плагиату

ID	Опис	Навність плагиату в документі	
		Словови	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІПТК

ID перевірки:
1013236928

Дата перевірки:
08.12.2022 09:59:51 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
08.12.2022 10:08:36 EET

ID користувача:
100005862

Назва документа: Хома антиплагіат

Кількість сторінок: 81 Кількість слів: 14502 Кількість символів: 106987 Розмір файлу: 1.52 MB ID файлу: 1012996608

4.08% Схожість

Найбільша схожість: 3.28% з Інтернет-джерелом (<https://core.ac.uk/download/pdf/323536269.pdf>)

4.08% Джерела з Інтернету

11

Сторінка 83

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінокі символи

25

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу магістра Хоми Дениса Миколайовича на тему : “ Метод автоматичного керування положенням сонячним модуля”

Дипломну роботу магістра присвячено розробці методу автоматичного керування положенням. В цій роботі було описано процес розробки методу для автоматичного позиціонування фотоелектричних панелей за допомогою визначення положення сонця. Метод автоматичного позиціонування використовує зображення неба отримане з камери для визначення положення сонця на небосхилі. Головним контролером для використання методу виступає міні-комп'ютер Raspberry PI.

Проект складається з чотирьох розділів.

В першому розділі проведено дослідження з визначення актуальності розробки нових систем стеження для трекерів. Проведено аналіз способів управління положенням сонячного трекера, та систем для відслідковування сонця. Описано декілька різних систем позиціонування панелі відносно сонця. Поставлено задачі проектування.

В другому розділі магістерської роботи було проведено масштабну роботу з процесу підбору необхідних елементів для розробки системи слідкування за сонцем, та можливості використання методу автоматичного позиціонування. Виконано процес розробки функціональної схеми пристрою слідкування. Було визначено основні протоколи зв'язку між модулями системи та головним контролером.

Програмно-апаратна реалізація була представлена в третьому розділі. Для програмування методу було обрано високу мову програмування Python, через її простий синтаксис та ефективну структурування даних. Для процесу обробки зображення серед великої кількості бібліотек мови Python було обрано бібліотеку OpenCV. Дана бібліотека підтримує багато мов програмування серед яких є мова Python.

Розроблений метод автоматичного керування виконує коригування положення сонця отримуючи інформацію про положення сонця після обробки зображення неба і знаходження його координат.

В цілому проєкт «Метод автоматичного керування положенням сонячного модуля» виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних технологій автоматизації, а студент Хома. Д. М заслуговує оцінки «відмінно».

Реценент:



Клюва І. П.

Завідувачу кафедри АКІТ
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Хоми Дениса Миколайовича
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи АКІТм-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2022 (зі змінами від 26.11.2022), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

08.12.2022

дата



підпис

РІШЕННЯ КАФЕДРИ

АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматичного керування сонячного модуля

Автор: Хома Денис Миколайович

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Науковий керівник: д.т.н, проф. Моркун Наталія Володимирівна

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<u>Відповідає</u>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 0,14%, виявлені в роботі відповідають тексту стандартних бланків та списку літератури, решта запозичень є випадковими, або на них є посилання, тому ці запозичення не є плагіатом, бо вони не стосуються наукової новизни і практичної значущості роботи.

08.12.2022р.

Науковий керівник роботи:



Наталія МОРКУН

Зав. каф. АКІТ



Валерій МАРТИНЮК