

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Кафедра мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

ЦИФРОВИЙ ТРЕКІНГ СОНЯЧНОГО МОДУЛЯ

(тема)

Виконав:

студент 2-го курсу, групи МНПм-22-1

Кадаченко Сергій Юрійович

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

153 Мікро- та наносистемна техніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. МЕЕПП Пащенко О.Г.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Бондаренко І.М.

(прізвище, ініціали)

2023 р.

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри МЕЕПП

(підпис)

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Кадаченко Сергій Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Цифровий трекінг сонячного модуля»

затверджена наказом по університету від «20» 11 2023 року № 1368 Ст

2. Термін подання студентом роботи 15.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____

3.1 Об'єкт дослідження – слідкуюча цифрова система для сонячного трекера.

3.2 Метод дослідження – імітаційне моделювання, натурне моделювання, створення діючої моделі трекера за рахунок використання чотирьох фоторезисторів та спеціальної програмної обробки інформації отриманої з них;

3.3 _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Аналіз існуючих перетворювачів сонячної енергії та огляд алгоритмів керування для сонячних трекерів;

4.2 Розробка регулятора на основі вибраного критерію;

4.3 Моделювання одновісного трекера;

4.4 Вибір компонентної основи та створення програмного забезпечення.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 26 аркушів

Схеми: схема електрична принципова;

Кресленики: кресленик загального виду.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Найменування роботи	Зміст роботи	Термін виконання
Проведення теоретичних досліджень	Огляд сучасного стану сонячної енергетики	20.10.23
	Існуючих сонячних перетворювачів	25.10.23
Проведення експериментальних досліджень	Розроблений одновісний сонячний трекер	01.11.23
	Тестування макета	02.11.23
Впровадження результатів наукових досліджень (підготовка та опублікування тез доповідей на науково-практичних конференціях, підготовка, опублікування наукових статей, підготовка патенту на винахід)	Виконано його моделювання в середовищі Simulink	05.11.23
	створено макет разом із програмним керуванням	08.11.23

Дата видачі завдання 25 вересня 2023 р.

Студент Коз Кодаченко С.Ю.
(підпис)

Керівник роботи Пашенко доц. Пашенко О.Г.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 46 сторінок, 26 рисунків, 2 додатки, 20 використаних джерел.

АРДУІНО, КУТ НАХИЛУ, ПОТУЖНІСТЬ, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, СОНЯЧНИЙ ТРЕКЕР

Об'єкт дослідження – слідкуюча цифрова система для сонячного трекера.

Мета роботи – можливість підвищення рівня генерації сонячної електроенергії за рахунок удосконаленого трекера та мінімізації не ефективних втрат за допомогою оптимального відстеження положення Сонця.

Метод дослідження – вдосконаленні та підвищенні ефективності роботи сонячного трекера за рахунок використання чотирьох фоторезисторів та спеціальної програмної обробки інформації отриманої з них, що дозволяє точніше визначати положення Сонця і підвищити ефективність генерації енергії сонячною панеллю за рахунок максимізації потоку сонячних променів, які потрапляють на її поверхню.

Актуальність – найбільш популярними та використовуваним у наш час є перетворення сонячної енергії. Для зменшення втрат відтворюваної енергії використовуються слідкуючі системи за Сонцем, що повертають сонячний перетворювач вслід за сонячним світлом, вони називаються – сонячні трекери. Отже основною ціллю даної магістерської дисертації є дослідження сонячної енергетики, створення моделі та розробка вдосконаленого одновісного сонячного трекера порівняльного аналізу.

ABSTRACT

Explanatory note contains 46 pages, 26 images, 2 applications, 20 sources of literature.

ARDUINO, POWER, SOLAR PANEL, SOLAR TRACKER, TILT ANGLE.

Object of research - fresh digital system for solar tracker.

The goal of the work is the possibility of increasing the level of solar electricity generation due to an improved tracker and minimizing inefficient losses with the help of optimal tracking of the position of the Sun.

The research method is to improve and increase the efficiency of the solar tracker due to the use of four photoresistors and special software processing of the information obtained from them, which allows to more accurately determine the position of the Sun and increase the efficiency of energy generation by the solar panel due to the maximization of the flow of solar rays falling on its surface.

Be up to date - the most popular and used nowadays is the conversion of solar energy. To reduce the loss of renewable energy, solar tracking systems are used that turn the solar converter to follow the sunlight, they are called solar trackers. Therefore, the main goal of this master's thesis is the study of solar energy, the creation of a model and the development of an improved uniaxial solar tracker of comparative analysis.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ НАЯВНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	10
1.1 Використання сонячної енергії.....	10
1.2 Розподіл сонячних колекторів на групи за їхніми характеристиками.....	11
1.3 Історія застосування енергії Сонця.....	15
2 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА.....	19
2.1 Організація та методи управління сонячним трекером.	19
2.2 Серводвигун та його характеристики	24
2.3 Створення моделі сонячного трекера у середовищі Simulink.....	32
3 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ, НАСКІЛЬКИ ЕФЕКТИВНО ТРЕКЕР ВІДСТЕЖУЄ РУХ СОНЦЯ	38
3.1 Підбір компонентів та деталей, які будуть використовуватися для побудови сонячного трекера.....	38
3.2 Наукові вимірювання та результативності відстежування джерела світла.....	41
ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	45

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЕС – автономна електростанція;

PID – потенційно індуктивної деградації;

ARC – антирефлексивне покриття;

ГЕЕС – геліоелектростанція;

ГФП – геліо – фотоелектричні панелі;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

СБ – сонячна батарея;

СЕС – сонячна електростанція;

СК – сонячні колектори;

ФЕП – фотоелектричний перетворювач;

HSAT – Горизонтальний одновісний трекер;

VSAT – Вертикальний одновісний трекер;

TSAT – Одновісний трекер з нахилом вісі обертання;

PASAT – Одновісний трекер з полярно-орієнтованою вісі обертання.

ВСТУП

В даний час однією з найбільш швидко зростаючих галузей енерговидобутку є сонячна енергетика. За останні роки наша планета покрилася світлочутливими пристроями у вигляді сонячних електростанцій, дахів будинків, автомобілів і навіть кишенькових батарей, але найбільш поширені звичайні фотоелементи, що залишаються, а саме сонячні елементи у вигляді сонячних панелей і батарей, які прагнуть удосконалити не тільки в промислових масштабах.

Необхідність розробки системи відстеження для сонячного трекера виникає внаслідок неутримного технологічного прогресу, який розгортається з неймовірною швидкістю та завозить інновації у всі сфери. Автоматизація все більшої кількості робочих процесів призводить до створення нових підприємств, заводів і фабрик, що призводить до зростання виробництва та споживання електроенергії, що в свою чергу негативно впливає на довкілля. Ця ситуація заставляє нас шукати альтернативні способи отримання енергії.

Розв'язання цієї проблеми полягає в впровадженні автономних систем альтернативної енергетики, і серед них найвідомішою є сонячна енергетика, завдяки її широкому розповсюдженню, потужному потенціалу та довіллю приязній природі.

Використання сонячної енергії дозволяє вирішити низку соціально-економічних проблем, таких як забезпечення енергією житлових будинків, підприємств, сільськогосподарських господарств тощо. Крім того, це допомагає знизити негативний вплив на навколишнє середовище і забезпечує автономне енергопостачання в регіонах з невеликою щільністю населення.

Системи сонячної енергії також сприяють стабілізації централізованого мережевого енергопостачання, особливо в регіонах з дефіцитом потужності та великими втратами в сільському господарстві через нестабільність електромережі. Це підвищує надійність енергозабезпечення у всіх регіонах країни завдяки створенню додаткових автономних (резервних) джерел енергії.

Головною особливістю практичного використання сонячної енергії є вища вартість теплової та електричної енергії порівняно з традиційними джерелами енергії. Проте існує стійка тенденція до зниження витрат на сонячні енергоустановки (СЕС), обумовлена науковими досягненнями у вдосконаленні методів їх виробництва та ефективного використання. Також варто враховувати зростання вартості традиційних вугільних та газових джерел енергії через їхній дефіцит і складність видобутку.

Використання сучасних перетворювачів сонячної енергії супроводжується неминучими втратами та недоцільним розподілом енергії, що обмежує повний використання потенціалу цього джерела енергії. Саме ці проблеми знаходять своє рішення завдяки пристрою для просторового управління перетворювачем сонячної енергії. Він надає можливість керувати розподілом енергії, виявляти та контролювати втрати, що сприяє підвищенню ефективності використання перетворювача.

Отже, вдосконалення системи слідкування за сонячним трекером дозволить вирішити проблеми енергопостачання, зокрема, зменшить втрати енергії та знизить ризик забруднення навколишнього середовища.

Метою цієї магістерської кваліфікаційної роботи є покращення процесу генерації сонячної електроенергії шляхом вдосконалення системи слідкування за сонцем та мінімізації недоцільних втрат через оптимальне відстеження сонячного світла.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести огляд та аналіз існуючих пристроїв для перетворення сонячної енергії;
- аналізувати різні алгоритми керування сонячними трекерами та вибрати оптимальний алгоритм для однієї осі трекера;
- розробити програмний алгоритм для управління сонячним трекером;
- провести моделювання однієї осі трекера;
- розробити прототип сонячного трекера.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ НАЯВНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Використання сонячної енергії

Проблема використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії стає дедалі більш актуальною. Нетрадиційні джерела енергії включають сонячну, вітрову, геотермальну, біомасу та енергію Світового океану. Два століття тому людство обмежувалося всього трьома джерелами енергії. Першим з них було Сонце. Другим – енергія вітру, яка використовувалася для обертання крил вітряних млинів, де оброблялося зерно. Третім джерелом була енергія води, яка використовувалася, коли вода стікала вниз до моря від вище розташованого витoku, де річка наповнювалася від дощів.

Протягом останнього десятиліття інтерес до цих джерел енергії постійно зростає, оскільки вони є необмеженими та безпечними для планети та людства. У міру того, як постачання палива стає менш надійним та дорогим, ці джерела стають все більш привабливими та економічно вигідними. Підвищення цін на нафту та газ виграли головну роль у тому, що суспільство знову звертає увагу на альтернативні джерела енергії, такі як вода, вітер та сонячна енергія.

Здатність використовувати навіть найдрібніший відсоток енергії, яку надає Сонце, має потенціал забезпечити усі поточні потреби у світовій енергетиці, і лише 0,5% цієї енергії може повністю покрити майбутні потреби.

Сонячна енергія виникає як кінетична енергія випромінювання, яка утворюється в результаті реакцій в надрах Сонця. Оскільки запаси сонячної енергії практично нескінченні (астрономи підраховали, що Сонце "горітиме" ще мільйони років), її вважають поновлюваним джерелом енергії. У природних екосистемах лише дрібна частина сонячної енергії поглинається хлорофілом, який міститься в листях рослин і використовується для фотосинтезу - процесу, під час якого вуглекислий газ та вода перетворюються на органічні сполуки. Отже, сонячна енергія поглинається та накопичується у вигляді потенційної

енергії органічних речовин. Шляхом розкладу цих речовин задовольняються енергетичні потреби всіх інших складових екосистеми.

Сонячна енергія розподілена рівномірно по всій поверхні Землі і не досягає високої інтенсивності в жодній конкретній області. Тому для її використання необхідно великі площі, а також здатність концентрувати її і перетворювати на форму, яку можна використовувати для промислових, побутових і транспортних потреб. Також важливо мати засоби для зберігання сонячної енергії, щоб забезпечити її доступність вночі і в похмурі дні. Основне завдання полягає в тому, щоб використовувати сонячну енергію так, щоб її вартість була мінімальною або навіть дорівнювала нулю. З розвитком технологій та зростанням цін на традиційні джерела енергії, сонячна енергія знаходить все більше застосувань[1].

Сонце – це джерело енергії надзвичайної потужності. За всього 22 дні сонячного саява можна отримати енергію, що еквівалентна всім запасам органічного палива на нашій планеті.

1.2 Розподіл сонячних колекторів на групи за їхніми характеристиками

Геліоенергетика, що походить від грецького слова "Helios" що означає сонце, швидко розвивається у різних напрямках. В повсякденному житті сонячні батареї використовуються як електричні та теплові джерела енергії. Існують три основних типи пристроїв для перетворення сонячної енергії на електроенергію:

- фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) – це напівпровідникові пристрої, які перетворюють сонячну енергію у електричний струм. Кілька таких ФЕП, які об'єднуються, утворюють сонячну батарею (СБ);

- геліоелектростанції (ГЕЕС) – це сонячні установки, які використовують висококонцентроване сонячне випромінювання для приведення в рух теплових та інших машин, таких як парові турбіни, газотурбіни та термоелектричні генератори;

- сонячні колектори (СК) – це низькотемпературні сонячні системи, призначені для нагрівання рідини або повітря.

Найбільш ефективні пристрої для перетворення сонячної енергії в електричну енергію з енергетичної точки зору – це напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), оскільки вони здатні виконувати цей процес безпосередньо із високою ефективністю. Приблизно при температурі рівноваги, яка становить близько 300-350 Кельвінів, ФЕП мають теоретичний ККД (коефіцієнт корисної дії) більше 90%. Це означає, що через оптимізацію структури та параметрів перетворювача для зменшення необоротних втрат енергії можливо досягти практичного ККД близько 50% або навіть більше (в лабораторних умовах вже досягнуто ККД 40%). На рисунку 1.1 показаний сучасний фотоелектричний перетворювач.



Рисунок 1.1 – Фотоелектричний перетворювач

Теоретичні дослідження і практичні розробки у галузі фотоелектричного перетворення сонячної енергії підтвердили можливість досягнення високої ККД з фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) і визначили головні напрямки для досягнення цієї мети.

Принцип фотоелектричного перетворення енергії в ФЕП ґрунтується на фотоелектричному ефекті, який виникає у неоднорідних напівпровідникових структурах, під впливом сонячного випромінювання. Неоднорідність структури ФЕП може бути досягнута шляхом легування одного і того ж напівпровідника

різними домішками (створення р-п переходів), об'єднанням різних напівпровідників з різною шириною забороненої зони енергії відділення електрона від атома (створення гетеропереходів) або зміною хімічного складу напівпровідника, що призводить до появи градієнта ширини забороненої зони (створення варізонних структур).

Робота ФЕП може бути пояснена на прикладі р-п переходів, які активно використовуються у сучасних сонячних та космічних системах. Електронно-дірковий перехід створюється шляхом легування пластини монокристалічного напівпровідника домішкою певного типу провідності (р- або n- тип), що утворює поверхневий шар протилежної провідності. Концентрація легуючої домішки в цьому шарі має бути вищою, ніж в базовому матеріалі, щоб нейтралізувати наявні основні вільні носії заряду і створити провідність протилежного знаку. Біля кордону n- і р-шарів внаслідок перетікання зарядів утворюються збіднені зони з накопиченням позитивного заряду в n-шарі та негативного в р-шарі. Ці зони утворюють р-п перехід і створюють потенційний бар'єр, що перешкоджає проходженню основних носіїв заряду, таких як електрони з р-шару, але пропускає неосновні носії в протилежному напрямку. Ця особливість р-п переходів дозволяє отримувати фотоелектричні струми, коли фотоелектрони і фотодірки, створені сонячним випромінюванням, рухаються через перехід у протилежних напрямках.

Якщо підключити зовнішнє електричне коло до ФЕП, електрони з n-шару, працюючи на навантаженні, будуть повертатися в р-шар, де рекомбінуватимуться з дірками, які рухаються всередині ФЕП в протилежному напрямку. Для збору і відведення електронів зовнішнє коло використовує контактну систему на передній поверхні ФЕП. На освітленій поверхні контакти можуть мати вигляд сітки або гребінки, тоді як на тильній стороні вони можуть бути суцільними.

Основні незворотні втрати енергії в фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) пов'язані з різними фізичними процесами, які впливають на ефективність

перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Ці втрати включають [11]:

- втрати через відображення сонячного випромінювання від поверхні перетворювача: Частина сонячного випромінювання може бути відбита від поверхні ФЕП, що призводить до втрат енергії;

- втрати через проходження частини випромінювання через ФЕП без поглинання: Інша частина сонячного випромінювання може проходити через ФЕП, не взаємодіючи з ним, що також призводить до втрат;

- втрати через розсіювання на теплових коливаннях сітки надлишкової енергії фотонів: Деяка енергія фотонів може бути розсіяна на теплових коливаннях внутрішньої структури ФЕП, замість поглинання і генерації струму;

- втрати через рекомбінацію фотонів на поверхнях і в обсягах ФЕП: Рекомбінація фотонів внутрішній структурі ФЕП може призводити до втрат енергії;

- втрати через внутрішній опір перетворювача: Внутрішній опір ФЕП може призводити до втрат напруги і струму.

Для зменшення цих видів втрат енергії в ФЕП використовуються різні заходи, включаючи використання оптимальних напівпровідникових матеріалів, оптимізацію структури ФЕП, оптимізацію конструктивних параметрів, використання оптичних покриттів для захисту і покращення теплового режиму, а також створення багатофункціональних структур і використання різних методів для максимізації ККД ФЕП.

Важливо враховувати, що не всі типи ФЕП підходять для всіх застосувань, і вибір конкретного типу ФЕП залежить від специфічних вимог системи перетворення енергії, таких як ККД, стійкість до космічної радіації і інші фактори:

- надійність: СЕС повинні працювати надійно протягом тривалого періоду, а це десятиліття;

- доступність матеріалів: Вихідні матеріали для ФЕП повинні бути легко доступні та дозволяти масове виробництво елементів СЕС;

- терміни окупності: Створення СЕС повинно бути енергоефективним і відповідати прийнятним термінам окупності;
- мінімальні витрати енергії та маси: Система повинна мінімізувати витрати енергії та маси, пов'язані з управлінням та передачею енергії;
- зручність технічного обслуговування: СЕС повинні бути зручними для обслуговування.

Наприклад, деякі потенційні матеріали для ФЕП можуть бути обмежені в доступності через обмежені запаси вихідної сировини та складності переробки. Деякі методи поліпшення ФЕП можуть бути недоцільними через їх складну виробництво і високі витрати. Висока продуктивність може бути досягнута лише за умови автоматизованого виробництва ФЕП. ФЕП на основі сполуки миш'яку з галієм (GaAs) можуть мати більший теоретичний коефіцієнт конверсії енергії (ККД) порівняно з кремнієвими ФЕП завдяки своїй широкій забороненій зоні. Вони також стійкі до високих температур і можуть використовувати концентратори сонячного випромінювання.

Щодо інверторів, вони необхідні для забезпечення якісного електроживлення різної апаратури в умовах низької якості або відсутності електромережі змінного струму 220 В та інших аварійних ситуаціях. Інвертори перетворюють постійний струм у змінний струм, що дозволяє жити різне обладнання. Вони забезпечують стабільну напругу на виході і можуть використовуватися для електроживлення практично будь-якого обладнання.

Переваги фотоелектричних перетворювачів включають відсутність викидів токсичних газів, токсичних речовин та пилових забруднень, безшумну роботу, можливість використання їх як допоміжних джерел електроенергії, і простоту в установці та експлуатації.

1.3 Історія застосування енергії Сонця

На практиці, сонячна енергія може бути перетворена на електроенергію двома основними способами: прямим та непрямим.

Непряме перетворення використовує концентрацію сонячної радіації за допомогою дзеркал для того, щоб підвищити температуру і перетворити воду в пару. Пара потім використовується для створення електроенергії традиційними методами. Цей спосіб ефективний лише при прямому освітленні сонячними променями.

Пряме перетворення сонячної енергії в електричну енергію використовує фотоелектричний ефект. Спеціальні напівпровідникові матеріали, такі як силікон, генерують електричний струм, коли вони освітлені сонцем.

Також існують нові методи використання сонячної енергії, які не вимагають систем акумуляції, такі як перетворення різниці температур на поверхні та в глибині океану в електричну енергію.

Сонячна енергія застосовується в різних галузях, таких як теплопостачання, сушка продуктів, сільське господарство та промисловість.

У багатьох країнах розвиваються системи сонячного теплопостачання з використанням сонячних колекторів. Наприклад, в США діють сонячні колектори на площі 10 мільйонів квадратних метрів, що дозволяє економити значну кількість палива.

Сонячна енергія має безліч переваг. Вона допомагає зменшити забруднення повітря та води, зменшує залежність від імпорту викопного палива, допомагає знизити загрозу поширення атомної зброї. Крім того, сонячні установки не шкодять навколишньому середовищу, не мають рухомих частин, не потребують води, і можуть бути розташовані у віддалених або посушливих районах.

Зараз дуже важливо розвивати технології для використання сонячної енергії, оскільки ресурси викопного палива обмежені, і вони шкодять навколишньому середовищу. Сонячна енергія може стати важливою складовою суміші джерел енергії, що дозволить забезпечити стале енергозабезпечення і зберегти навколишнє середовище.

На схемі, наведеній на рисунку 1.2 можна побачити значний потенціал сонячної енергетики в Україні, оскільки є багато невикористаних територій. За

декілька років сонячна енергетика в Україні зростає дуже швидко: з менше ніж 1 ГВт у 2018 році до 5 ГВт на початку 2020 року. Цей ріст був викликаний зменшенням витрат на фотоелектричні системи (PV) та сприятливими місцевими тарифами на сонячну енергію.

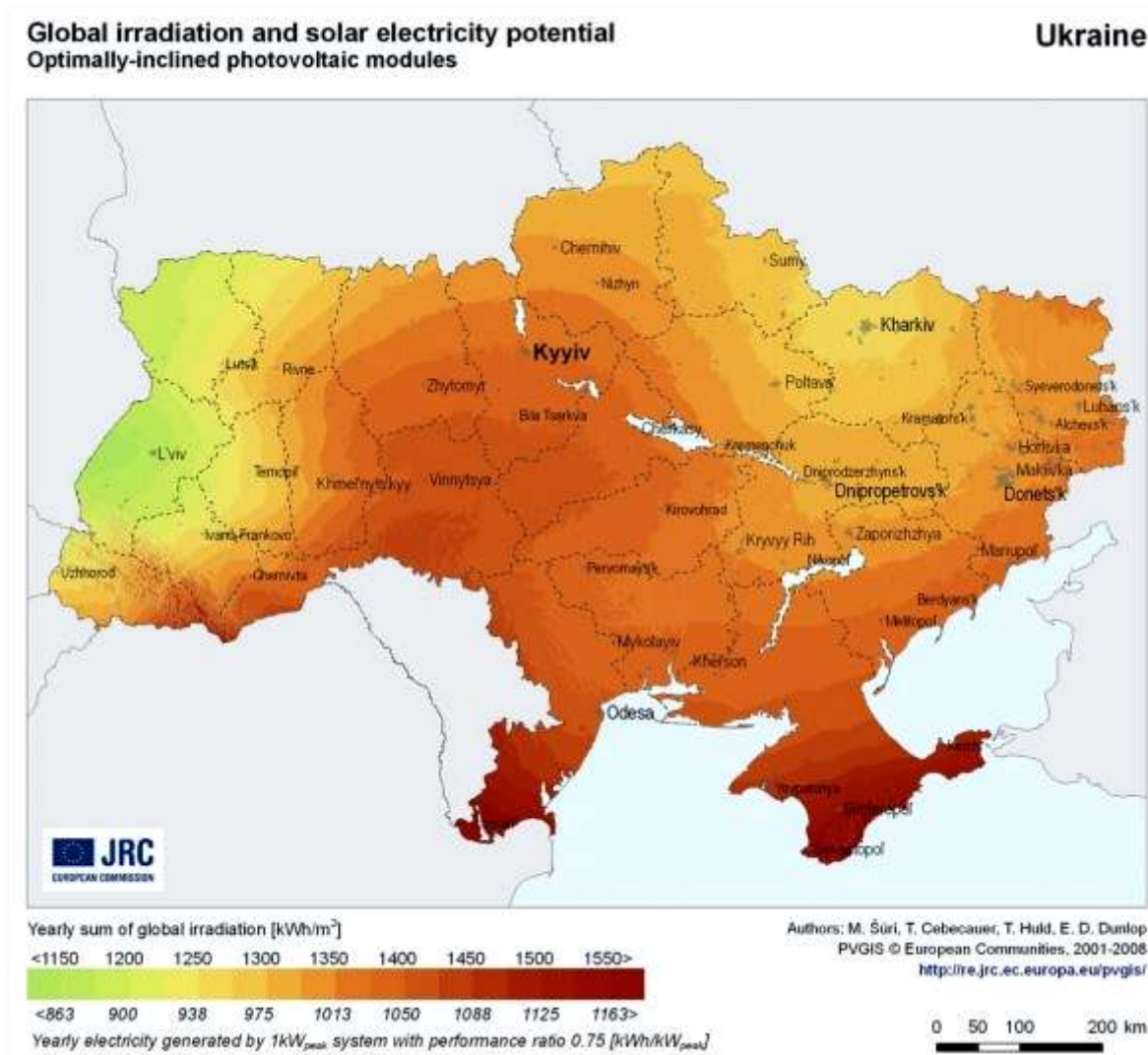


Рисунок 1.2 – Карта середнього місячного рівня сонячної радіації в містах України за даними НАСА

Аналіз різних альтернативних джерел енергії показує, що вітроенергетика та сонячна енергія вже готові до широкомасштабного впровадження. З урахуванням енергозбереження можна вирішити енергетичні проблеми, і, таким чином, будівництво нових атомних та теплових електростанцій може бути обмежено. З екологічної та сталого розвитку точки зору, ці альтернативні джерела енергії є надійними та дружніми до навколишнього середовища.

Альтернативні джерела енергії мають велике значення для нашого майбутнього. Важливо об'єднати зусилля для боротьби за чисте навколишнє середовище, чисте повітря та чисту воду.

2 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ОДНОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА

Сонячна енергія стає все більш популярним методом виробництва енергії завдяки зростанню попиту на чисту енергію і можливості виробництва електроенергії на місці споживання. Принцип роботи сонячних панелей полягає у прямому перетворенні сонячного світла на електроенергію. Однак ефективність цього процесу залежить від кута падіння сонячного світла на панелі, і цей кут змінюється протягом дня зі зміною положення Сонця.

Стандартні стаціонарні сонячні панелі не можуть максимально використовувати потенціал сонячної енергії через відсутність можливості коригування свого положення. Для досягнення більшої ефективності та зменшення втрат енергії використовують метод відстеження сонячного світла. Цей метод передбачає автоматичне відстеження руху Сонця протягом дня, щоб забезпечити оптимальний кут падіння сонячного світла на панелі [12].

2.1 Організація та методи управління сонячним трекером.

Для підвищення збору сонячної енергії використовуються сонячні трекери, які автоматично налаштовують позицію своїх сонячних панелей, щоб максимізувати ефективність поглинання сонячного світла. У цьому розділі буде досліджено процес моделювання та розробки одновісного сонячного трекера.

Сонячний трекер – це пристрій, який відстежує рух Сонця і орієнтує сонячні панелі таким чином, щоб їх ефективність була найвищою. На трекері розташовані датчики, які визначають оптимальний кут нахилу сонячних панелей, а серводвигун рухає панелі у відповідне положення. Ця система слідкує за тим, щоб сонячна панель завжди була орієнтована так, щоб промені світла падали перпендикулярно до неї.

Одновісний трекер – це система, яка може обертатися навколо однієї осі, при цьому інша ось зафіксована під певним кутом. Трекери з однією віссю мають

лише одну ступінь свободи, а саме обертання навколо осі. Зазвичай вісь обертання одновісного трекеру орієнтована вздовж дотичної до меридіана (північ-південь). Проте загалом можлива орієнтація вісі обертання у будь-яких координатних напрямках за допомогою алгоритму SPA (Solar Position Algorithm).

Існує декілька видів одновісних трекерів:

- горизонтальний одновісний трекер (HSAT);
- вертикальний одновісний трекер (VSAT);
- одновісний трекер з нахилом вісі обертання (TSAT);
- одновісний трекер з полярно-орієнтованою віссю обертання (PASAT).

Трекери з горизонтальною віссю (HSAT) мають вісь обертання, яка розташована горизонтально відносно земного горизонту.

Конструкція HSAT дуже адаптивна і передбачає, що всі осі обертання паралельні одна одній. Оптимальний інтервал між цими осями дозволяє максимізувати вироблення електроенергії, враховуючи місцевий рельєф, тінь і час доби.

Трекери з вертикальною віссю обертання (VSAT) мають вертикальну вісь обертання відносно земного горизонту. Вони обертаються від сходу на захід протягом дня і ефективніше на високих широтах, ніж HSAT. При розробці конструкції трекерів слід враховувати затінення від сусідніх трекерів для уникнення непотрібних втрат енергії та оптимізації використання землі.

Трекери з похилою віссю обертання (TSAT) мають вісь обертання, яка розташована між горизонтальною та вертикальною площиною. Трекери PASAT (трекери з полярно орієнтованою віссю обертання) вирівнюються за полярною зіркою, їх вісь обертання паралельна осі обертання Землі. Для PASAT кут нахилу платформи дорівнює широті установки.

Крім того, існують трекери з двома осями обертання (DAT), які мають дві ступені свободи для обертання. Вони можуть розглядатися як маючи основну та вторинну осі обертання, які можуть працювати разом або незалежно одна від одної.

Зображення на рисунку 2.1 показує, що сонячна панель має сталий нахил під кутом α до горизонтальної площини. Одновісний сонячний трекер обертається від сходу на захід протягом дня, слідкуючи за азимутальним кутом положення Сонця.

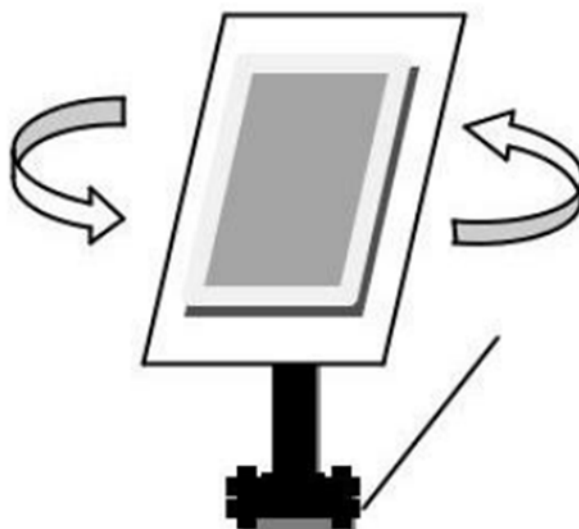


Рисунок 2.1 – Сонячний одновісний трекер

Двохосні сонячні трекери виявляються надзвичайно ефективними, оскільки вони мають можливість обертатися в двох напрямках, що дозволяє підвищити продуктивність сонячної панелі та зменшити втрати енергії. Важливою перевагою є той факт, що вони не піддаються впливу коливань температури та вологості, що дозволяє їх використовувати в будь-яких погодних умовах. Проте трекери DAT (двохосні) мають більш складну конструкцію порівняно з одновісними трекерами, і це може спричинити додаткові похибки через наявність двох осей обертання та відповідних похибок під час налаштування.

Сонячні трекери, що базуються на одновісних системах, мають лише одну ступінь свободи обертання, що в результаті призводить до меншого споживання енергії та більш простої конструкції порівняно з багатокординатними системами.

Необхідно також розглянути існуючі алгоритми функціонування сонячних трекерів. У роботі автором побудовано одновісний 3-х позиційний сонячний трекер, який може бути вбудований у стіну будинку. Конструкція трекера дозволяє роботу в трьох фіксованих положеннях. Сам трекер складається з простої конструкції та двигуна постійного струму для обертання монтажної рами. Алгоритм управління включає в себе вимірювання руху трекера, генерацію сонячного перетворювача та алгоритми управління, які реалізовані за допомогою мікроконтролера PIC18F452.

Чіном Ц.С. [18] та його команда розробила самостійний одновісний сонячний трекер, який включав в себе сонячну панель, серводвигун, акумулятор, зарядний пристрій, два фоторезистори та мікроконтролер. Цей трекер був створений для слідкування за Сонцем, рухаючись від сходу на захід, і обертання в одному напрямку. Інтенсивність сонячного світла визначалася фоторезисторами, які передавали сигнал мікроконтролеру для обертання панелі за допомогою серводвигуна. Усі компоненти пристрою живляться від свинцево-кислотної батареї, яка зберігає енергію через контролер заряду.

Інший алгоритм для одновісного сонячного трекера був розроблений Коном А. Та мандалом А.К. [19]. Він базується на автоматичному контролі положення плоского сонячного перетворювача або циліндричного параболічного відбивача в оптимальному положенні по одній осі, при цьому трекер керує обертанням в іншому напрямку, змінюючи азимутальний кут. Цей алгоритм призначений для досягнення максимального рівня сонячного освітлення в будь-якому положенні азимутального кута 360° . Трекер виконує повний оберт навколо своєї осі і не обмежений географічним положенням установки. В даній системі використовується схема ступінчастого відстеження замість безперервного відстеження, що дозволяє заощаджувати енергію, тримаючи двигуни у режимі холостого ходу.

У роботі алгоритм роботи сонячного трекера. Сонячний перетворювач подавав живлення на зарядний пристрій, який заряджав постійний струм акумулятора. Друга функція сонячного перетворювача полягала в наданні точної

напруги мікроконтролеру трекера для отримання найбільш ефективної орієнтації системи, що дозволяло отримувати максимальну кількість сонячного світла. Конструкція пристрою включала сонячний перетворювач, серводвигун, зарядний пристрій, три фоторезистори, розташовані на схемі ХОУ, і акумулятор, як показано на рисунку 2.2. Робота трекера полягала в порівнянні інформації з двох фоторезисторів Х та О, поки дані з фоторезисторів не ставали близькими за значенням. Цей цикл порівнянь керував серводвигуном до досягнення майже рівномірного розподілу світла. Фоторезистори Y та О використовувалися аналогічно.



Рисунок 2.2 – Розташування фоторезисторів по схемі ХОУ на сонячному перетворювачі [14]

На рисунку 2.3 показана структурна схема одновісного сонячного трекера, яка була розроблена в даній магістерській роботі. В цій схемі ключовим компонентом системи є мікроконтролер, який відповідає за налаштування кута панелі відносно сонячних променів і здійснює обмін даними з ланцюгом зворотного зв'язку, за допомогою якого передається інформація для подальших операцій.

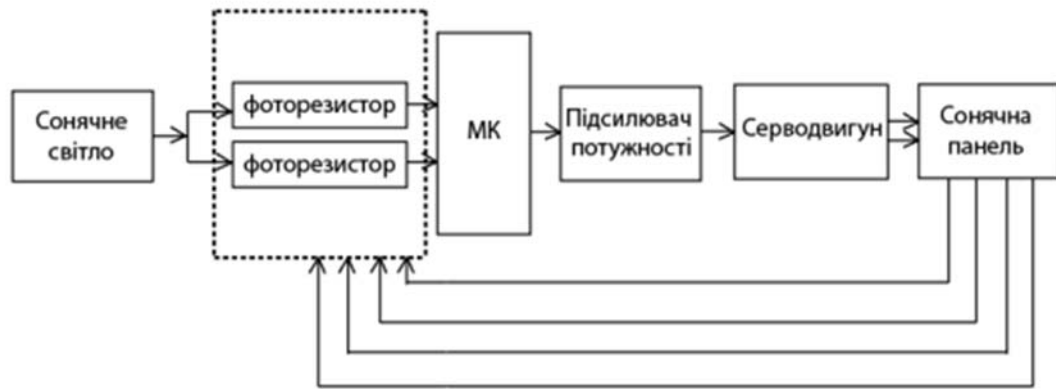
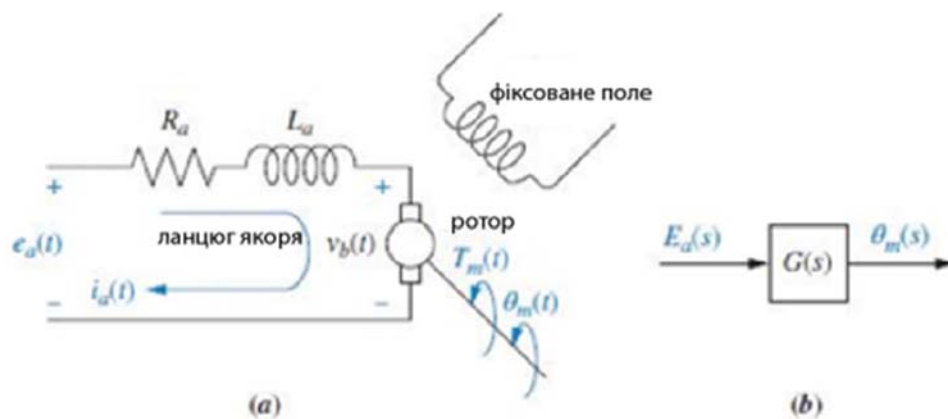


Рисунок 2.3 – Структура одновісного сонячного трекера

2.2 Серводвигун та його характеристики

Для створення одновісного сонячного трекера був використаний серводвигун.

Серводвигун відповідає за рух сонячної панелі так, щоб вона завжди була налаштована в напрямку сонячних променів, що падають на її поверхню. Принцип роботи серводвигуна показано на рисунку 2.4.



а) принципова схема двигуна постійного струму; б) блок-схема двигуна постійного струму

Рисунок 2.4 – Принципова схема двигуна постійного струму та його блок-схема

Елементи принципової схеми двигуна постійного струму, показаного на рисунку 2.4, наступні:

- R_a – опір якоря;

- L_a – індуктивність якоря;
- I_a – струм ланцюга якоря;
- E_a – напруга якоря;
- V_b – зворотня ЕРС;
- T_b – обертаючий момент двигуна;
- θ_m – кут повороту валу двигуна.

Оскільки швидкість обертання якоря пропорційна напрузі, на неї можна виразити таким чином:

$$V_b(t) = K_b \frac{d\theta_m(t)}{dt}, \quad (2.1)$$

де K_b - це константа пропорційності. За допомогою перетворення Лапласа, отримали такий вираз:

$$V_b(s) = K_b s \theta_m(s). \quad (2.2)$$

Використовуючи правило контурів (другий закон Кірхгофа) для системи, яка включає якор та оператори, ми отримали такий вираз:

$$R_a I_a(s) + L_a s I_a(s) + V_b(s) = E_a(s). \quad (2.3)$$

Момент сили, що викликає обертання двигуна (T_m), залежить від сили струму, яка протікає в ланцюгу якоря, пропорційно цій силі струму,

$$T_m(s) = K_t I_a(s), \quad (2.4)$$

де K_t – це константа, яка відповідає за постійний крутний момент.

Підставивши рівняння (2.2) і рівняння (2.4) в рівняння (2.3), отримуємо такий вираз:

$$\frac{(R_a + L_a s)}{K_t} T_m + K_b s \theta_m(s) = E_a(s). \quad (2.5)$$

Розкриваючи вираз, який визначає еквівалентне механічне навантаження на двигун, ми отримуємо такий вираз:

$$T_m(s) = (J_m s^2 + B_m s) \theta_m(s), \quad (2.6)$$

де J_T і B_T – це еквівалентний момент інерції якоря та коефіцієнт в'язкого демпфування якоря.

Після застосування рівняння (2.6) до рівняння (2.5) і після виведення відповідних залежностей між θ_m та E_a , ми отримуємо передатну функцію для серводвигуна згідно з виразом (2.7).

$$T(s) = \frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t}{s[(R_a + sL_a)(J_m s + B_m) + K_t K_b]} \quad (2.7)$$

За допомогою цієї передатної функції ми можемо аналізувати часові та частотні характеристики системи. Спочатку ми побудували перехідну характеристику, яка показує, як система реагує на вхідний одиничний сигнал у вигляді ступінчатої функції при нульових початкових умовах. Імпульсна характеристика показує реакцію системи на вхідний одиничний імпульс. Перехідна характеристика наведена на рисунку 2.5, а імпульсна на рисунку 2.6.

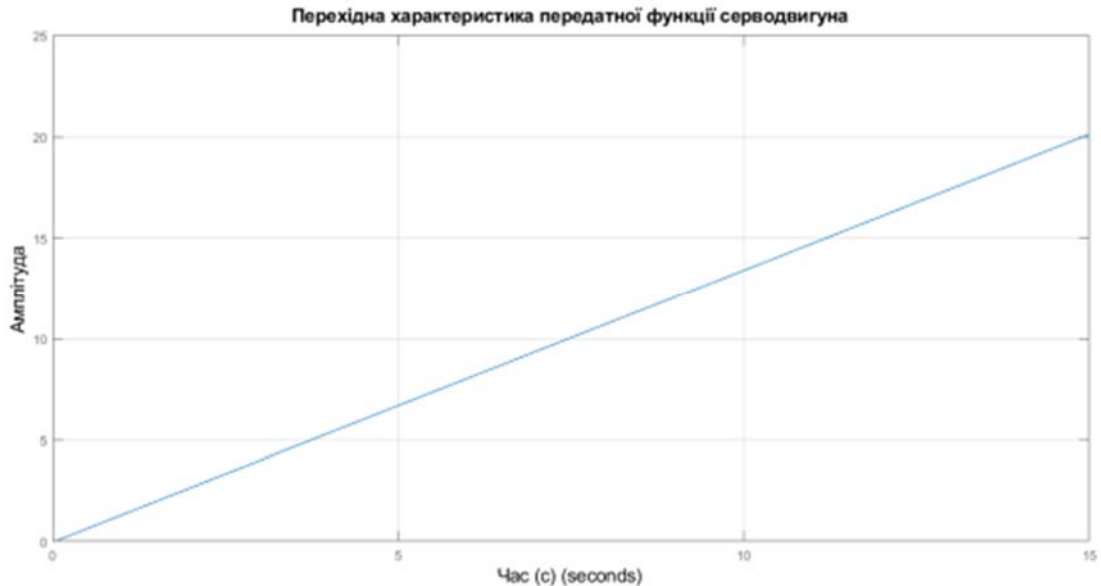


Рисунок 2.5 – Перехідна характеристика серводвигуна

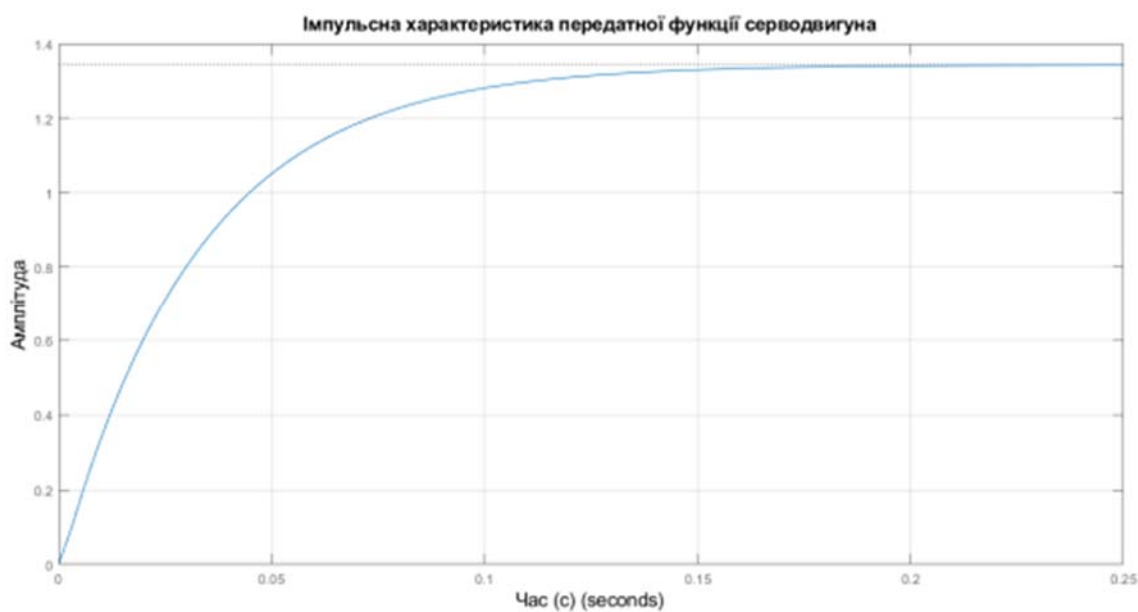


Рисунок. 2.6 – Імпульсна характеристика серводвигуна

На рисунку 2.7 представлені графіки, які показують, як змінюється амплітуда і фаза від частоти в логарифмічному масштабі. На рисунку 2.8 зображено графік, який називається годографом Найквіста.

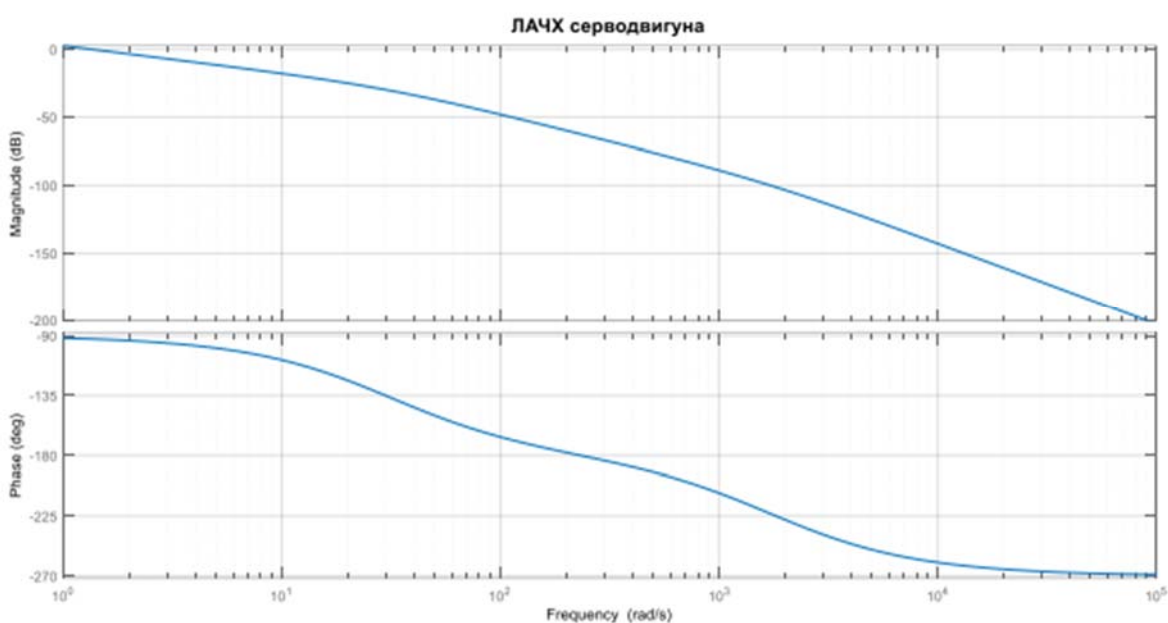


Рисунок 2.7 – ЛАЧХ серводвигуна

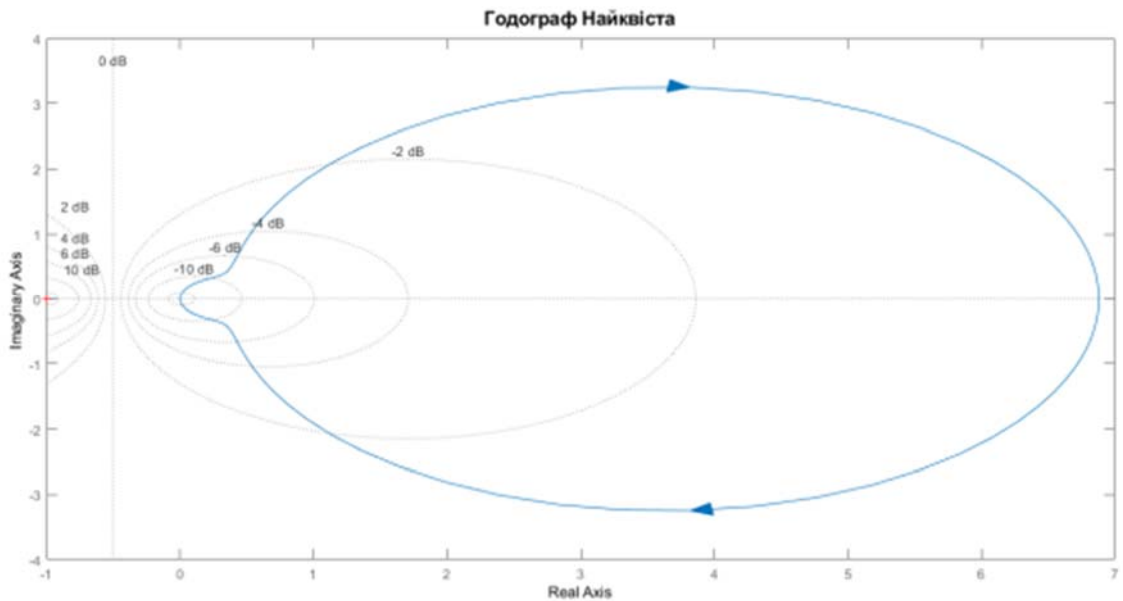


Рисунок 2.8 – Годограф Найквіста

Перед тим як створити модель сонячного трекера, спочатку проводять математичне моделювання трекера, використовуючи модель двигуна (рівняння (2.7)) та обраний алгоритм керування платформою. Цей підхід допомагає вивчити та передбачити, як відбуватиметься рух пристрою перед його фактичною розробкою. Також це дозволяє виявити будь-які можливі відхилення в роботі двигуна в порівнянні з оголошеними характеристиками виробника.

Для створення макету одновісного сонячного трекера вибрали серводвигун "MG996 tower pro", оскільки він має оптимальні параметри, які найкраще відповідають вимогам проекту. Цей двигун є дуже популярним у різних проектах. Важливо відзначити, що в "MG996 tower pro" була вдосконалена плата, система керування, редуктор і мотор, що зробило його точнішим в порівнянні з "MG995". Також це покращення дозволило зменшити "мертву" зону і покращити центрування.

Основні характеристики Towerpro MG996R такі [15]:

- робоча напруга: від 4.8В до 7.2 В;
- робоча швидкість: без навантаження при 4.8 В - 352,941 градусів в секунду, без навантаження при 6 В - 461.538 градусів в секунду;

- пусковий момент: при 4.8 В - 9 кг · см, при 6 В - 11 кг · см;
- робоча температура: 0-55 ° С; Розмір: 4 x 1.9 x 4.3 см;
- кут повороту: 180°.

Оскільки планується підвищити точність сонячного трекера та враховуючи його малі розміри, було обрано серводвигун Tower PROMG996 R.

Для моделювання одновісного сонячного трекера у роботі було використано програмне середовище MATLAB / Simulink.

На рисунку 2.9 показано Simulink-модель серводвигуна, яка реалізована як замкнута система керування по куту за допомогою передатних функцій серводвигуна постійного струму. В якості типового вхідного сигналу в цій моделі використовується гармонічне коливання.

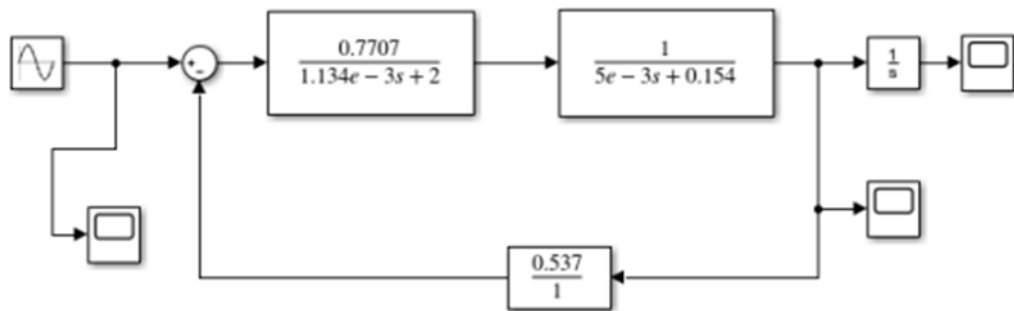


Рисунок 2.9 – Simulink-модель серводвигуна постійного струму із використанням гармонічного сигналу на вході системи

Для аналізу функціонування побудованої моделі потрібно подати на її вхід гармонічний сигнал з частотою 10 радіан на секунду і амплітудою 1, як показано на рисунку 2.10.

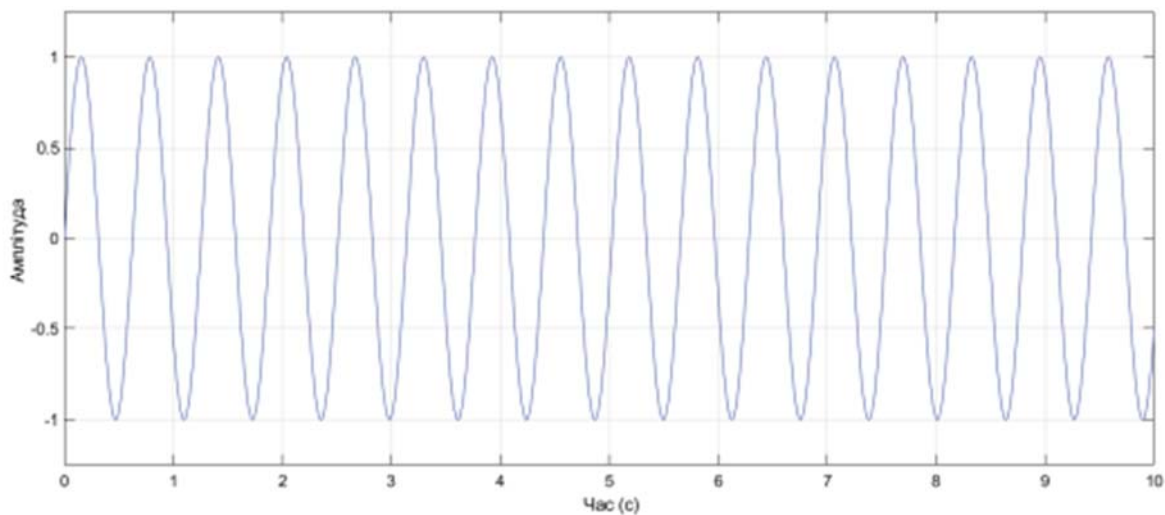


Рисунок 2.10 – Вхідний сигнал системи з частотою 10 рад/с

На рисунку 2.11 показано швидкість обертання валу серводвигуна, яка виражена в радіанах за секунду, в результаті моделювання без проходження через інтегратор. Рисунок 2.12 відображає кут обертання валу серводвигуна у радіанах після проходження сигналу через інтегратор.

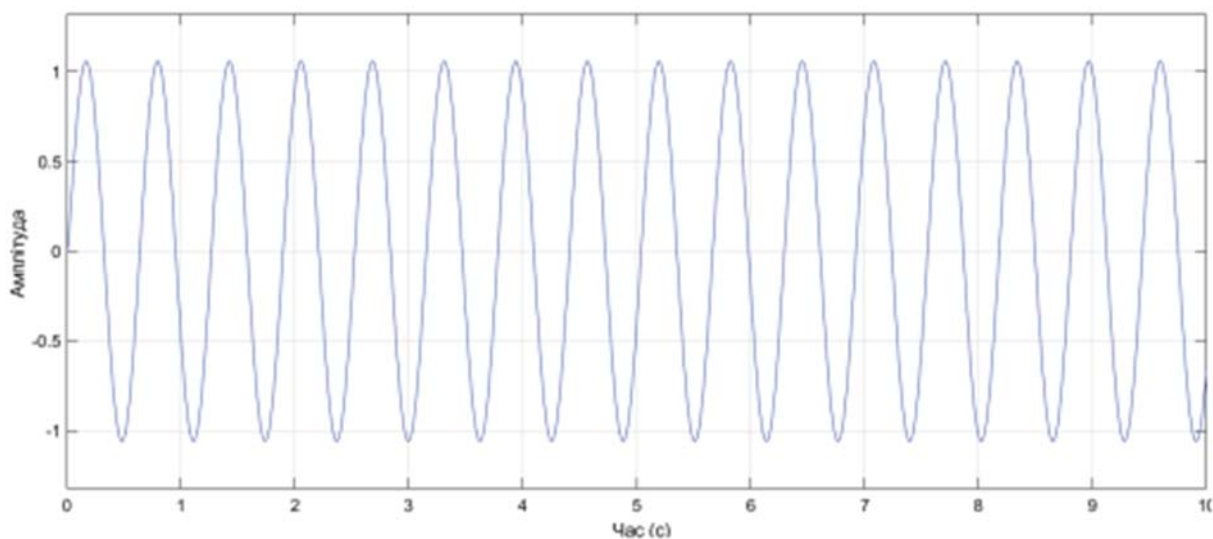


Рисунок 2.11 – Кутова швидкість повороту валу серводвигуна

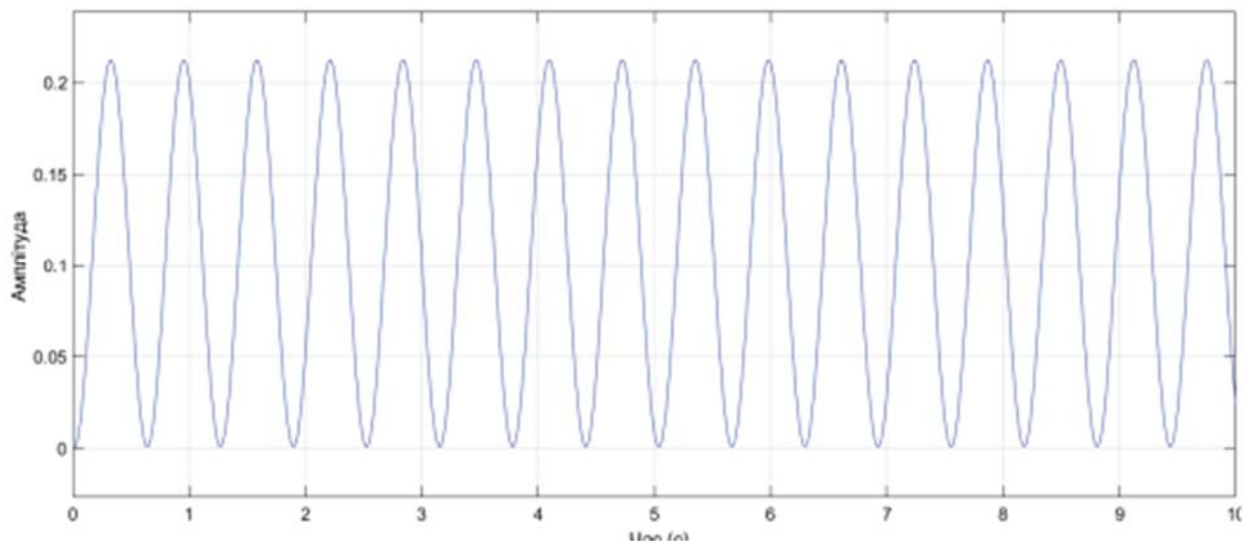


Рисунок 2.12 – Кут повороту вала серводвигуна

Згідно з вищезазначеними графіками, можна зробити висновок, що розроблена модель працює правильно. Цей висновок підкріплений даними про амплітуду, яка змінюється відповідно до закону інтегрування.

При аналізі роботи моделі при подачі постійної напруги на рівні 6 В було виявлено, що вихідна кутова швидкість моделі становить 6,41 радіан за секунду, з початковим перевищенням, яке досягає 6,75 радіанів за секунду. Зауважимо, що номінальна швидкість серводвигуна, визначена виробником, складає 6,34 радіана за секунду.

На рисунку 2.13 представлений вихідний сигнал моделі у вигляді кутової швидкості передатної функції серводвигуна без проходження через інтегратор. Цей сигнал виражений у радіанах за секунду. На рисунку 2.14 показаний сигнал кута обертання вала серводвигуна після проходження через інтегратор, і він виражений в радіанах [17].

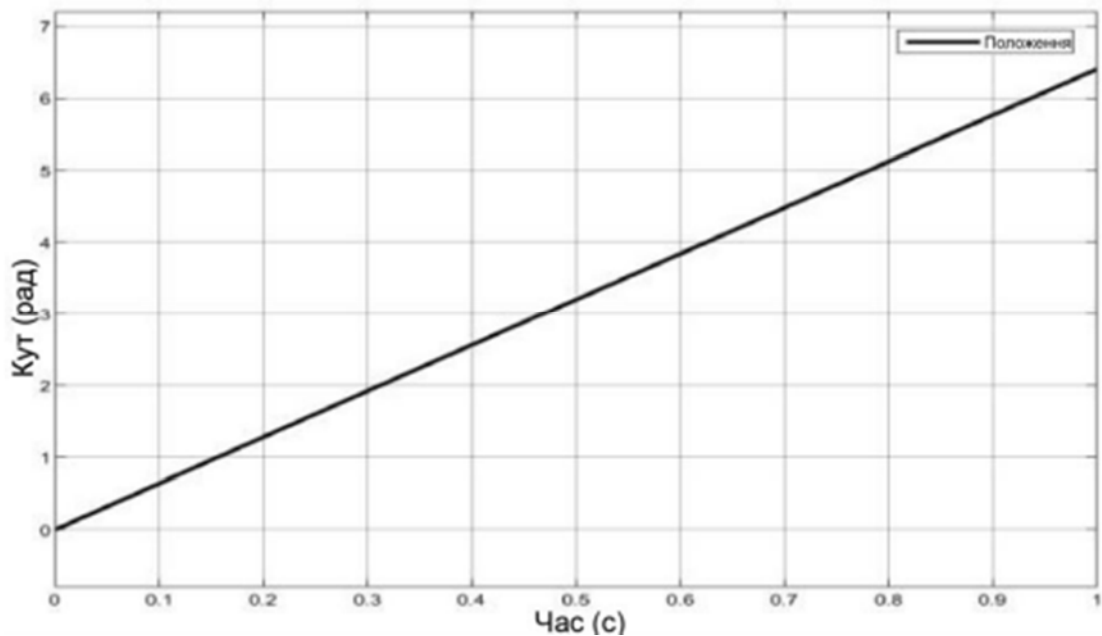


Рисунок 2.13 – Кут повороту серводвигуна

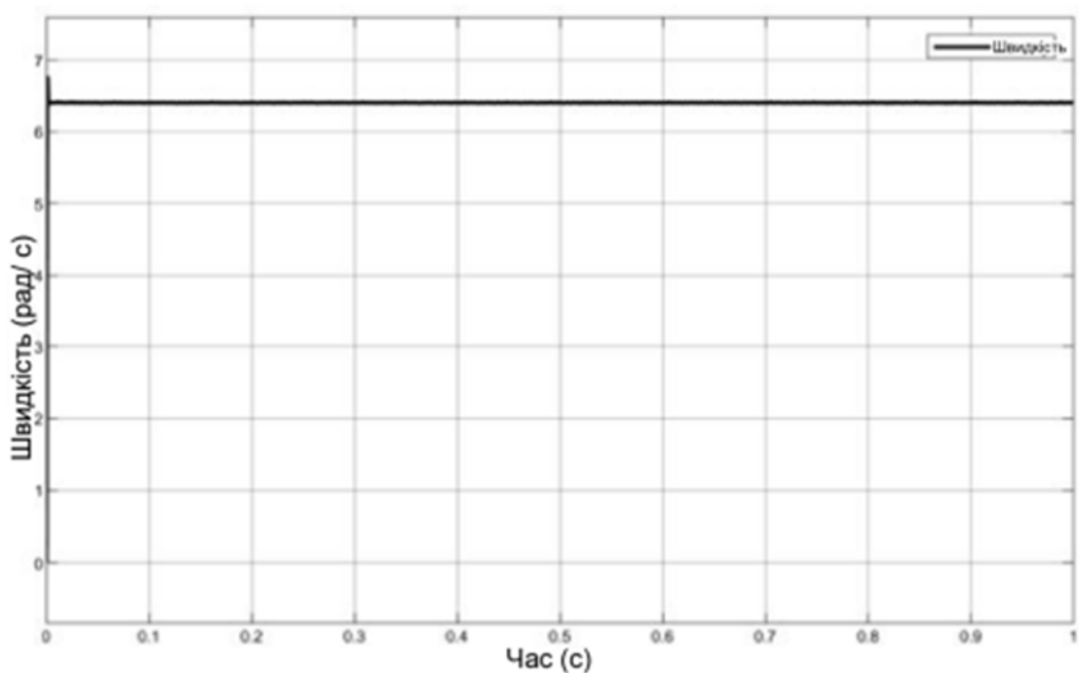


Рисунок 2.14 – Кутова швидкість серводвигуна

2.3 Створення моделі сонячного трекера у середовищі Simulink

Даний одновісний сонячний трекер призначений для автоматичного відслідковування руху Сонця на небі і забезпечення оптимальної орієнтації сонячної панелі. Він був розроблений та протестований для роботи на певному

місці, яке знаходиться приблизно за $50^{\circ} 27' 16''$ південної широти та $30^{\circ} 31' 25''$ східної довготи.

На рисунку 2.15 наведена докладна імітаційна модель цього одновісного сонячного трекера. Під час моделювання роботи трекера на вхід моделі надходить сигнал, який вказує азимутальний кут Сонця. Цей сигнал генерується за допомогою блоку "Stateflow", який містить діаграму станів, і він відповідає за логіку роботи моделі. Далі сигнали надсилаються до підсистеми моделі серводвигуна, який відповідає за обертання сонячної панелі згідно з первинними даними.

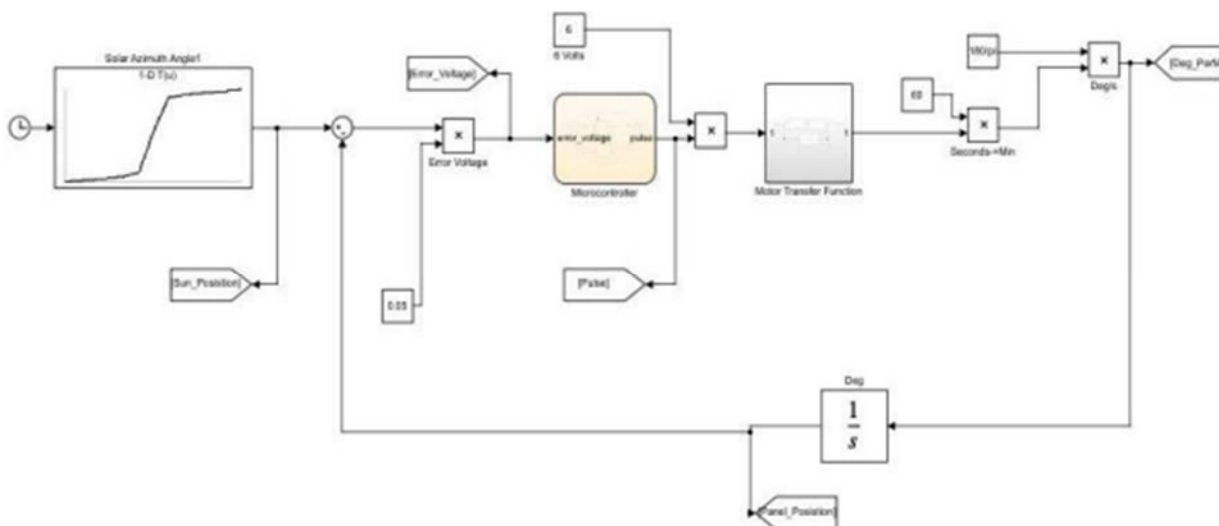


Рисунок 2.15 – Модель одновісного сонячного трекера у програмному середовищі Simulink

На рисунку 2.16 представлена модель зміни азимутального кута Сонця протягом дня, від моменту світанку (06:30) до моменту заходу Сонця (19:30).

Графік показує залежність азимутального кута Сонця від часу. Позначення "0 градусів" відповідає положенню Сонця над головою (зеніт) опівдні, коли Сонце розташоване прямо над поверхнею Землі. Кожна секунда в моделі відповідає одній хвилині реального часу.

Також у моделі передбачено допуск на зміну напруги в розташованих фоторезисторах, що відображається зміною положення сонячної панелі на 10 градусів відповідно до положення Сонця.

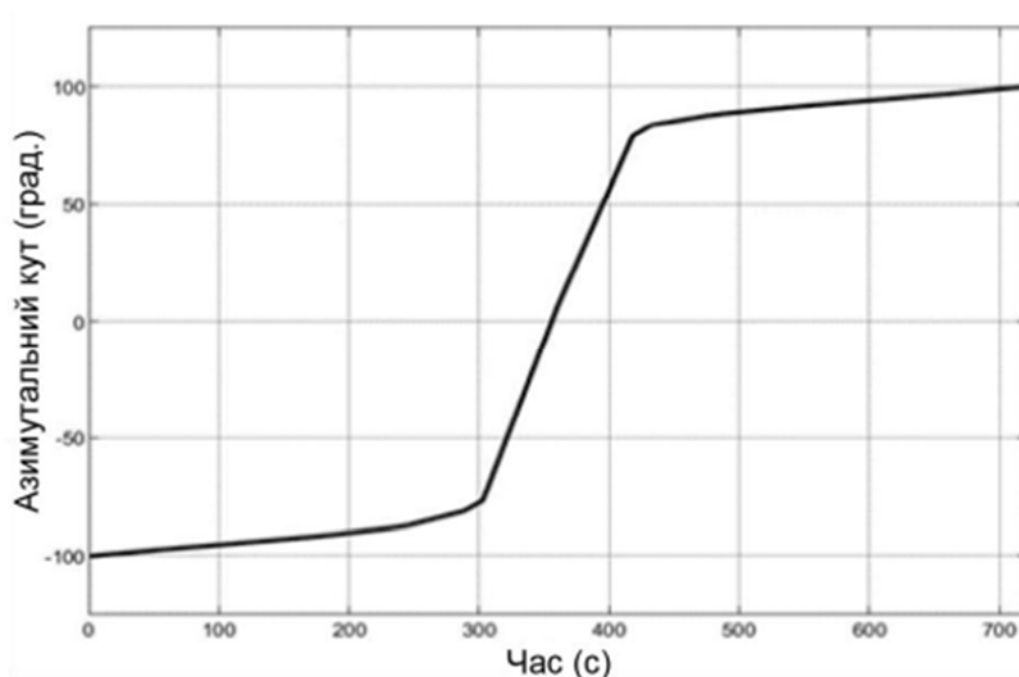


Рисунок 2.16 – Вихідний сигнал передатної функції серводвигуна (рад.)

Діаграма станів на рисунку 2.17 є основою для роботи моделі і містить наступні стани:

- "Стационарний стан": В цьому стані панель залишається нерухомою, і напруга похибки знаходиться в межах $\pm 0,3$ В;

- "Panel_Moves_1": Цей стан відповідає ситуації, коли напруга похибки становить $+0,3$ В. Це означає, що сонячна панель рухається зі сходу на захід, слідкуючи за Сонцем.;

- "Panel_Moves_2": У цьому стані напруга похибки становить $-0,3$ В. В даному випадку панель рухається із заходу на схід, і мікроконтролер переходить у цей стан при певних подіях, таких як похмура погода або зміна дня на ніч, коли панель повертається у вихідне положення.

Ці стани визначають логіку руху сонячної панелі відповідно до напруги похибки, і вони допомагають моделі відслідковувати Сонце і підтримувати оптимальне положення панелі для збору сонячної енергії.

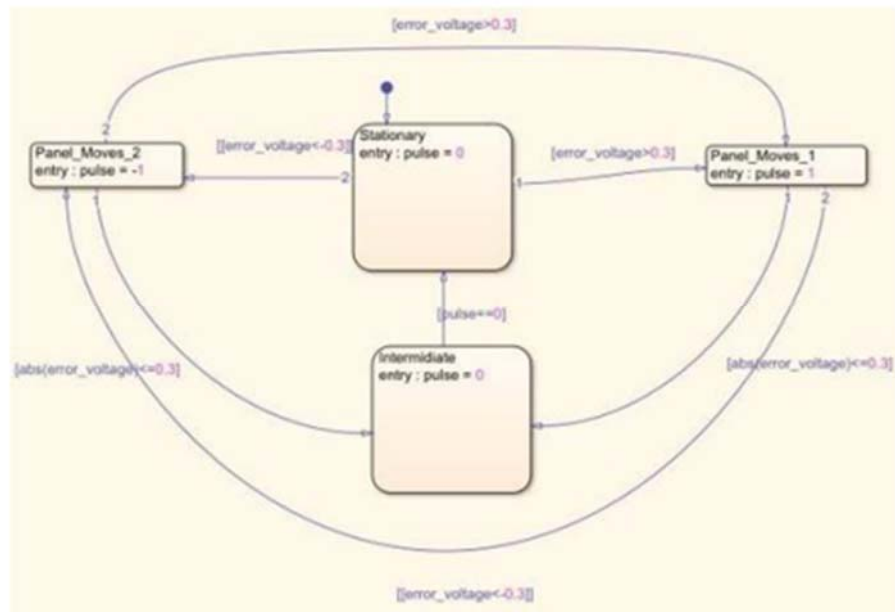


Рисунок 2.17 – Діаграма станів для логіки мікроконтролера

На рисунку 2.18 показано, як змінюється положення сонячної панелі і положення Сонця відносно азимутального кута. Сонячна панель рухається, щоб слідкувати за рухом Сонця на небі, і це зображено графічно.

Керуючий сигнал моделі, який відповідає за рух панелі, отримується шляхом обчислення різниці між заданим сигналом (поступовою інформацією про положення Сонця з блоку «Stateflow») та поточним положенням панелі. Цей сигнал показано на рисунку 2.19. Зміни в цьому керуючому сигналі дозволяють панелі коректно відслідковувати рух Сонця і наводити її по зору в оптимальне положення для збору сонячної енергії.

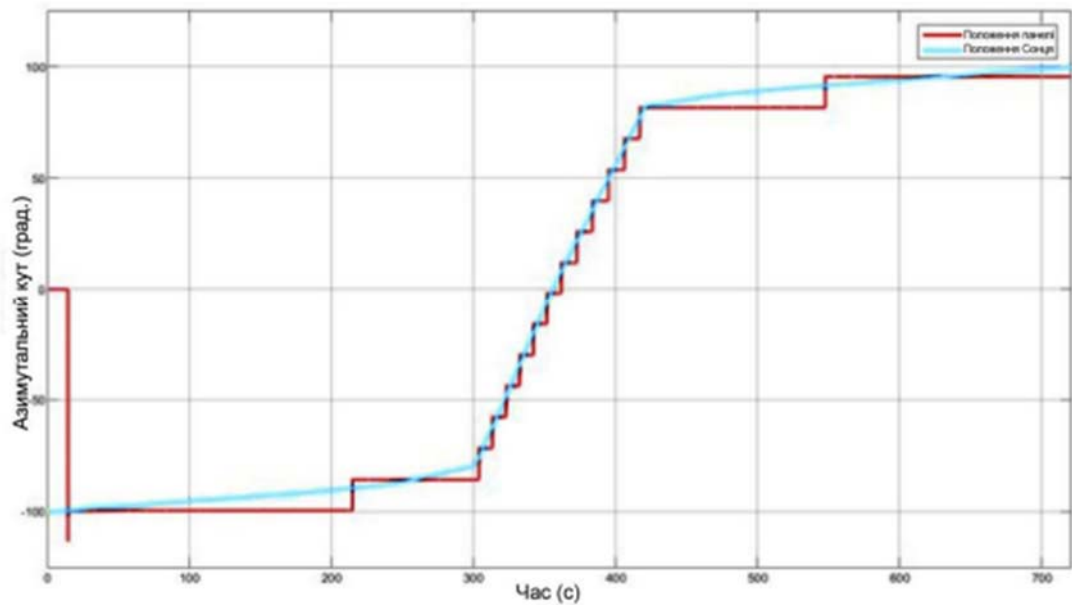


Рисунок 2.18 – Положення сонячної панелі (град)

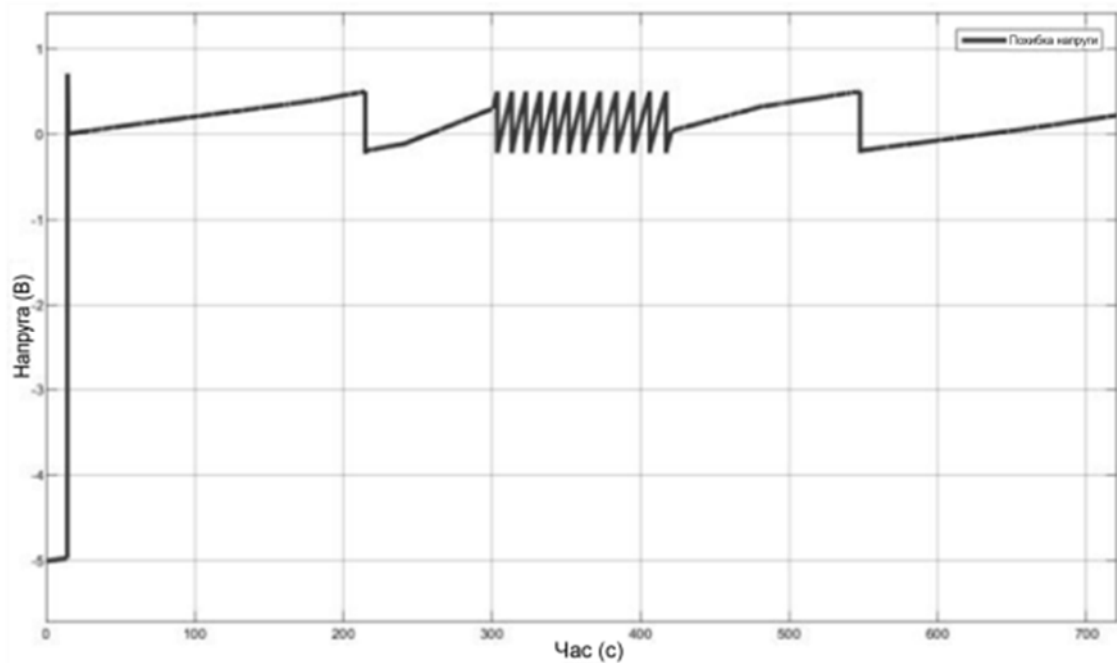


Рисунок 2.19 – Керуючий сигнал моделі (сигнал розузгодження) в залежності від часу

Для перевірки правильності роботи моделі одновісного сонячного трекера, необхідно зібрати дані про положення панелі в різні години доби. Ось список годин, в які необхідно зафіксувати дані. Дані в ці години допоможуть визначити, наскільки точно панель змінює своє положення відносно Сонця і чи вона відслідковує рух Сонця на небі відповідно до заданих параметрів моделі. Аналіз

цих даних дозволить підтвердити правильність роботи моделі та її здатність коректно реагувати на зміни положення Сонця протягом дня.

Розрахована похибка, яка не перевищує 10 градусів, є досить малою. Це означає, що дана модель одновісного сонячного трекера може бути успішно використана для розробки макетного зразка приладу. Такий маленький відхил від ідеального слідкування за Сонцем свідчить про ефективність роботи трекера та його здатність точно підтримувати положення сонячної панелі відносно Сонця на протязі дня.

3 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СОНЯЧНОГО ТРЕКЕРА ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ, НАСКІЛЬКИ ЕФЕКТИВНО ТРЕКЕР ВІДСТЕЖУЄ РУХ СОНЦЯ

3.1 Підбір компонентів та деталей, які будуть використовуватися для побудови сонячного трекера

Для розробки одновісного сонячного трекера необхідно вибрати елементну базу, яка включає мікроконтролер, серводвигун та фоторезистори.

Вибір мікроконтролера: При виборі мікроконтролера враховуються наступні критерії:

- здатність підключення до серводвигуна;
- обчислювальна потужність, яка повинна бути достатньою для управління трекером;
- вартість, оскільки важливо зберегти бюджет проекту;
- компактні розміри;
- можливість підключення до комп'ютера через USB.

В результаті порівняльного аналізу було обрано мікроконтролер Arduino, оскільки він відповідає усім вищезазначеним вимогам, доступний, має невелику вартість і широкий спектр застосувань.

Вибір плати Arduino: Існують різні типи плат Arduino, такі як Arduino UNO, Arduino NANO і Arduino MEGA. Для даного проекту обрано Arduino Nano (рисунок 3.1) через його компактність, низьку вартість і відповідність функціоналу.

- arduino UNO: Популярна плата з мікроконтролером ATmega 328, обчислювальна потужність 16 МГц, 14 цифрових і 6 аналогових портів, різні інтерфейси;

- arduino NANO: Схожа на UNO, але з меншими розмірами і відсутністю роз'єму живлення. Відмінність - компактність.

- arduino MEGA 2560: Багатофункціональна плата з обробкою даних з великою кількістю входів та виходів, обчислювальна потужність 16 МГц.

Оскільки Arduino Nano найбільш підходить для компактних проектів і відповідає вимогам проекту, він був обраний для розробки сонячного трекера.

3. Таким чином, для даного проекту вибрано мікроконтролер Arduino Nano як основу для управління одновісним сонячним трекером.



Рисунок 3.1 – Мікроконтролер Arduino Nano

Програмне середовище Arduino є ідеальним вибором для програмування сонячного трекера, незалежно від вашого рівня кваліфікації. Ця платформа має наступні переваги:

- зручність в користуванні: Arduino є дуже користувальницьким та дружнім середовищем, яке легко освоювати навіть для початківців. Воно часто використовується в освітніх закладах для навчання;

- гнучкість та універсальність: Arduino підтримує мову програмування C++, і ви можете розширити його функціональність, створюючи власні бібліотеки та інструменти;

- схеми та обладнання: Arduino використовує мікроконтролери Atmel ATMEGA8 і ATMEGA168, і схеми для модулів доступні під ліцензією Creative Commons. Це означає, що ви можете створити власні модулі, адаптовані до

- обраною сонячною панеллю для сонячного трекера є модель "SOLAR65X65-0.6W-5.5V", оскільки вона відповідає вимогам проекту, зокрема за розмірами та напругою. Нижче представлені характеристики цієї панелі:

- кількість елементів батареї: 12;
- максимальна потужність: 0.6 Вт. Робоча напруга: 5.5 В;
- робочий струм: від 80мА до 90 мА;
- напруга холостого ходу: від 5,4В до 5.6 В;
- струм короткого замикання: 90 мА;
- розміри: 65мм x 65 мм x 3 мм.

Ця сонячна панель ідеально підходить для проекту, оскільки вона має потрібну робочу напругу, невеликі розміри та забезпечує необхідну потужність для живлення сонячного трекера. Вигляд сонячної панелі показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Сонячна панель: «SOLAR-65X65-0.6W-5.5V»

3.2 Наукові вимірювання та результативності відстежування джерела світла

В цьому експерименті макет сонячного трекера був підданий перевірці на відстані до джерела світла: 15 см.

Коли джерело світла розташоване на відстані 15 см від сонячного трекера, результати експерименту представлені на графіках, наведених на рисунку 3.4 та рисунку 3.5, відповідно.

З графіків видно, що при таких умовах сонячний трекер працює надійно і швидко, що видно з кількості обертів, зроблених за вказаний час. Прилад здійснює 4,5 обертів протягом 24 секунд. Напруга на сонячній панелі майже рівномірно розподіляється протягом всього експерименту, і максимальне значення напруги становить 5 В у даному випадку.

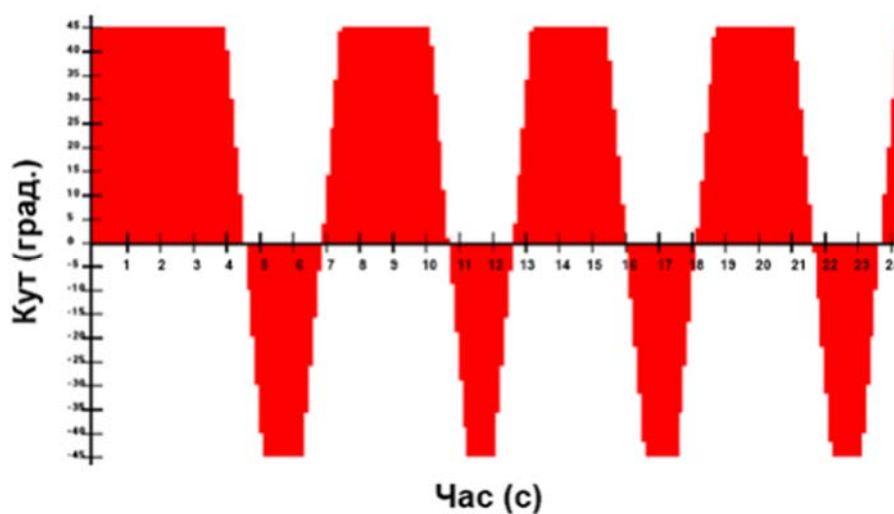


Рисунок 3.4 – Графік повороту сонячного трекера

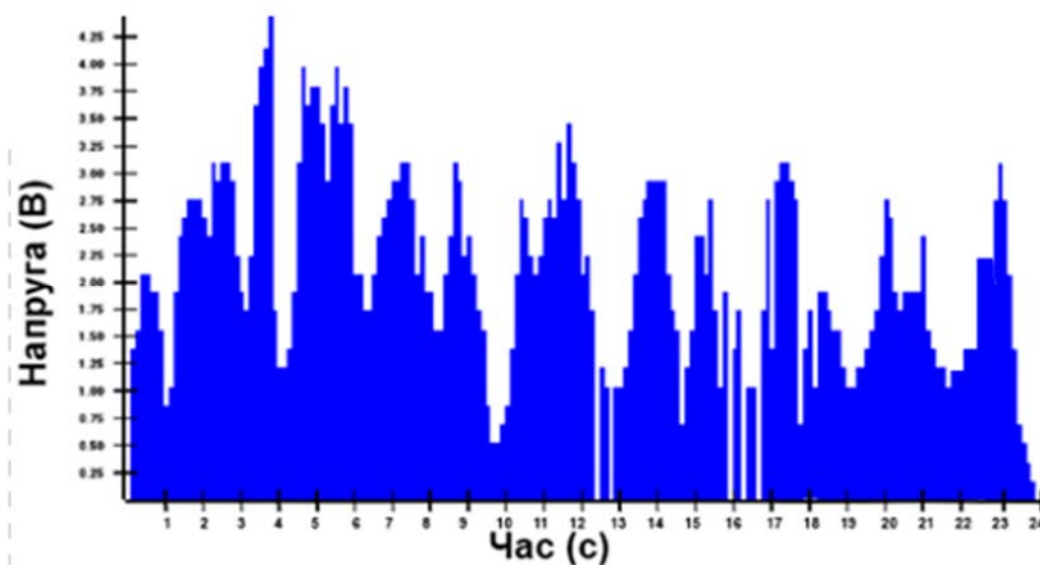


Рисунок 3.5 – Графік напруги сонячної панелі

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі проведено огляд сучасного стану сонячної енергетики та існуючих сонячних перетворювачів. Крім того, було створено модель та макет одновісного сонячного трекера. Під час огляду було виявлено, що сонячна енергетика є дуже популярним та доступним джерелом альтернативної енергії. Вона застосовується як в побуті, так і на великих підприємствах і фабриках, зокрема за допомогою фотоелектричних перетворювачів, геліоелектростанцій і сонячних колекторів.

В першому розділі було розглянуто джерела енергії, які можуть використовуватися як альтернатива традиційним джерелам. Особлива увага була приділена сонячній енергії. Ми дослідили сучасні перетворювачі сонячної енергії, такі як фотоелектричні перетворювачі, геліоелектростанції та сонячні колектори.

В другому розділі було проведено дослідження існуючих сонячних трекерів та розглянуто популярні методи управління одновісними сонячними трекерами. Була розроблена модель одновісного сонячного трекера та його серводвигуна в середовищі Matlab Simulink. Модель отримує сигнал азимутального кута, що генерується в блоці "Stateflow". Цей сигнал потім передається до підсистеми, яка моделює роботу серводвигуна, що відповідає за рух сонячної панелі відповідно до вхідних даних. Результатом є графіки, які відображають положення моделі та керуючий сигнал.

З метою поліпшення ефективності сонячних перетворювачів був розроблений одновісний сонячний трекер. Виконано його моделювання в середовищі Simulink та створено макет разом із програмним керуванням. Описано вибір компонентів для макету, включаючи сонячну панель, мікроконтролер Arduino Nano, серводвигун Tower Pro MG996R, фоторезистори та інші деталі.

Експериментальні дослідження включали в себе тестування макета на різних відстанях від джерела світла 15 см. Результати показали, що пристрій діє ефективно. Найкращі показники швидкості роботи та збирання енергії були досягнуті на відстані 15 см.

Таким чином, ця прототипна модель одновісного сонячного трекера готова для виготовлення реального пристрою та використання його в побуті або для різних інших завдань і застосувань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сонячна енергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://alteco.in.ua/technology/solar-energy>.
2. Дашеев С.С. Экологические последствия развития солнечной энергетики / С.С. Дашеев, Е.А Малышев // Вестник науки и образования – 2018. - № 17(53). – С. 53 – 55.
3. Дашеев С.С., Солнечная энергетика: состояние и перспективы/ С.С. Дашеев, Е.А Малышев // Вестник науки и образования – 2018. - № 17(53). – С. 51 – 53.
4. Сколько нефти осталось в мире и когда она закончится [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://amp/s/ria.ru/amp/20191012/1559682620.html>.
5. Боровик Ю.Т. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні / Ю.Т. Боровик, Ю.В Єлагін // Вісник економіки транспорту і промисловості № 65, Харків, 2019.
6. Ukrenergo - National power company [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ua.energy/connectionmap/?vde=vde_ses&reflecti=sun_regions.
7. A. Pashchenko, O. Gritsunov, O. Babichenko Energy states of particles in a quantum sized structure with a complex shaped band diagram // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries № 4 (14), 2020 p. 176-185; (DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.176>).
8. Афзель С.С. Огляд сучасного стану перетворювачів сонячної енергії та перспективи їх розвитку / С. Афзель // XIV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених: «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 2019. -С. 22.
9. Панченко В.А. Исследование фотоэлектрических преобразователей в концентраторном солнечном модуле / В. А. Панченко // Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия, Москва - 2020. — № 4(43) С. 394 – 402. 109.

10. Фотоэлектрические системы. Перспективы. Состав. Параметры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pochit.ru/fizika/32633/index.html>.
11. Фотоэлектрические преобразователи солнечной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – http://www.gigavat.com/ses_preobrazovатели_1.php.
12. Преимущества и недостатки малых фотоэлектрических систем | Энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://www.enersy.ru/energiya>
13. Солнечная перспектива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kommersant.ru/amp/2634026.
14. Попцова К.Э., Гелиоэлектростанции / К.Э. Попцова, Э.Г. Валиева // Журнал: «Актуальные проблемы авиации и космонавтики», Красноярск, 2020. – С. 523-524.
15. Гелевая технология [Электронный ресурс] // Электронне текстове видання – 2016. – Режим доступа: <https://www.varta-automotive.ru/ruru/technology/gel-battery-technology>
16. Автономная энергетическая установка с экстремальным шаговым регулятором мощности солнечных батарей / Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, А.В. Осипов, М.М. Черная // Альтернативная энергетика и экология – 2018. – № (8-9) – С. 12-18.
17. Солнечные электростанции. СЭС. Солнечная энергетика. Принцип работы солнечных электростанций [Электронный ресурс] // Электронне текстове видання – 2018. – Режим доступа: <http://www.gigavat.com/ses.php>.
18. Трекеры - системы ориентации солнечных батарей технология [Электронный ресурс] – 2019 – Режим доступа: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/2866/>
19. Huang BJ, Ding WL, Huang YC. Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker/ BJ Huang// Journal Sol Energy - 2016 - 85(9), p. 44
20. Солнечные батареи альтернативные источники энергии: Арсенидгаллиевые солнечные батареи. [Электронный ресурс] // Электронне текстове видання – 2018. - Режим доступа: <http://www.solarbattery.com.ua/arsenid-gallievyye-solnechnyye-batarei>.