

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Розробка установки для азимутально-зенітальної
орієнтації сонячних панелей**

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу групи ЕТ-20-1


Підпис

Кисляк М.О.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

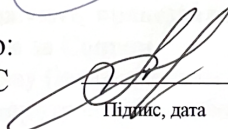
д.т.н., проф. Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

д.т.н., доц. Поліщук О.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

17 06 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

11.  2024

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кисляк Максим Олегович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка установки для азимутально-зенітальної орієнтації сонячних панелей**

керівник роботи **Білий Л.А., д.т.н., проф.**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру МАЕЕС

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики пристроїв для орієнтації сонячних панелей.**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Огляд існуючих технологічних і технічних рішень з тематики бакалаврської роботи

2 Розробка конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Пристрої для повороту сонячних батарей Док. оглядовий (A1).

Аркуш 2. Установка азимутально-зенітальної орієнтації. Схема

структурна (A2) + Установка азимутально-зенітальної орієнтації. Схема

функціональна (A2). Аркуш 3. Установка азимутально-зенітальної

орієнтації. Схема кінематична (A1). Аркуш 4. Керуюча плата. Схема

електрична принципова (A1). Аркуш 5. 3D модель сонячної установки.

Документ люстраційний (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд існуючих технологічних і технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	18.05.24р.	
2 Розробка конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем	07.06.24р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем	17.06.24р.	
4 Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	20.06.24р.	

Студент

Кирилюк
Підпис

М.О. Кирилюк
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

[Підпис]
Підпис

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Кисляк Максим Олегович**

2. Тема бакалаврської роботи
Розробка установки для азимутально-зенітальної орієнтації сонячних панелей

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 65

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

1 Огляд існуючих технологічних і технічних рішень з тематики бакалаврської роботи

2 Розробка конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем

Висновки

Перелік джерел посилання

Підпис студента Кисляк

" 11 " 06 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол № від " 21 " 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК добре / С

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____





Технічний секретар А

" 21 " 06 20 24 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд існуючих технологічних і технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	8
1.1 Загальні відомості про сонячну енергетику	8
1.2 Аналіз існуючих конструкцій слідування за Сонцем	18
1.3 Задачі, які необхідно вирішити в бакалаврській роботі	32
1.4 Висновки до першого розділу	32
2 Розробка конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем	33
2.1 Розробка кінематичної схеми пристрою	33
2.2 Розробка функціональної схеми пристрою	35
2.3 Розробка структурної схеми пристрою	38
2.4 Висновки до другого розділу	38
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції пристрою для автоматичного стеження за Сонцем	39
3.1 Вибір електродвигуна	39
3.2 Визначення передавальних функцій	40
3.3 Вибір електронних компонентів	43
3.4 Принципова схема пристрою	57
3.5 Алгоритми керування пристроєм	58
3.6 Висновки до третього розділу	61

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			
Виконав		Кисляк			Розробка установки для азимутально-зенітальної орієнтації сонячних панелей		
Перевір.		Білий					
Н.контр.					Літера	Аркуш	Аркушів
Затвер.		Поліщук			б	4	65
					ХНУ гр.ЕТ-20-1		

Висновки	62
Перелік джерел посилання	63
Додатки	65

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В умовах глобального потепління і зростання попиту на чисті джерела енергії. Збільшення ефективності сонячних панелей безпосередньо впливає на кількість виробленої електроенергії, що дозволяє зменшити залежність від традиційних, більш забруднюючих джерел енергії.

Сонячна енергія є одним із найбільш перспективних і екологічно чистих джерел енергії, однак ефективність її використання значною мірою залежить від того, наскільки оптимально панелі можуть вловлювати сонячні промені протягом усього дня. Установка для азимутально-зенітальної орієнтації дозволяє панелям слідкувати за рухом Сонця, утримуючи їх під оптимальним кутом для максимального поглинання світла. Це суттєво підвищує продуктивність системи, особливо в умовах обмеженого простору, де кожен додатковий відсоток ефективності може мати значний вплив.

Зокрема, в регіонах з мінливою хмарністю або великою кількістю сонячних днів протягом року, використання таких установок дозволяє забезпечити стабільніше та рівномірніше виробництво електроенергії. Це важливо не лише для окремих споживачів, але й для загальної енергосистеми, оскільки зниження пікових навантажень сприяє стабільності та надійності електропостачання.

Економічна доцільність також є важливим аспектом актуальності. Хоча початкові витрати на впровадження установок для азимутально-зенітальної орієнтації можуть бути вищими, їх використання забезпечує значну економію в довгостроковій перспективі. Збільшення продуктивності сонячних панелей означає зменшення витрат на електроенергію та швидше повернення інвестицій. Крім того, такі установки можуть сприяти отриманню додаткових доходів за рахунок продажу надлишкової енергії в мережу за "зеленим тарифом".

Суспільний і політичний контекст також підкреслює актуальність цієї розробки. Впровадження передових технологій для підвищення ефективності

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

використання відновлюваних джерел енергії відповідає глобальним тенденціям сталого розвитку та зменшення викидів парникових газів. Це сприяє виконанню міжнародних зобов'язань щодо боротьби зі змінами клімату та підтримує екологічну політику на національному рівні.

Крім того, розвиток і впровадження таких технологій стимулює науково-технічний прогрес і створює нові робочі місця в галузі зеленої енергетики. Це важливо для економічного розвитку, оскільки дозволяє розвивати нові сектори економіки та зменшувати безробіття.

Таким чином, розробка установки для азимутально-зенітальної орієнтації сонячних панелей має численні переваги та є важливим кроком у розвитку сучасних енергетичних систем. Вона сприяє підвищенню ефективності використання сонячної енергії, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, економічній доцільності та сталому розвитку. Усі ці фактори роблять цю технологію актуальною та необхідною для впровадження в сучасному світі.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Загальні відомості про сонячну енергетику

1.1.1 Природа сонячного випромінювання

Енергія сонячного випромінювання є основним джерелом енергії для атмосферних процесів. Вона вимірюється кількістю тепла і виражається в мегаджоулях на квадратний метр. Промениста енергія Сонця досягає земної поверхні, проходячи через шари атмосфери, яка частково поглинає, відбиває і розсіює сонячну радіацію.

Оскільки запаси сонячної енергії практично невичерпні (астрономи підраховали, що Сонце буде "горіти" ще кілька мільйонів років), її відносять до поновлюваних енергоресурсів.

Тепловий потік сонячного випромінювання, що досягає Землі, є надзвичайно великим. Він більш ніж у 5000 разів перевищує сумарне використання всіх видів паливно-енергетичних ресурсів у світі.

Випромінювання з поверхні Сонця має широкий енергетичний спектр, який приблизно відповідає спектру випромінювання "чорного тіла" при температурі 5800К. Максимум інтенсивності цього випромінювання знаходиться у видимій області спектра (0,35-0,75 мкм), де зосереджена майже половина всієї енергії. Інша частина сонячного випромінювання розподіляється між ультрафіолетовою областю з довжиною хвиль менше 0,3 мкм (менша частина) та інфрачервоною областю з довжиною хвиль більше 0,75 мкм (більша частина).

Інтенсивність сонячного випромінювання біля атмосфери Землі становить 1360 Вт/м², що відомо як сонячна стала АМ0. При проходженні через атмосферу Землі інтенсивність цього випромінювання зменшується через поглинання,

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

розсіювання та відбивання, які відбуваються при взаємодії з частинками пилу, киснем, озоном, вуглекислим газом і водяною парою. Поглинання сонячного випромінювання озоном та киснем відбувається переважно в ультрафіолетовій частині спектра, тоді як водяна пара та вуглекислий газ поглинають переважно в інфрачервоній частині. Через ці процеси сонячне випромінювання, що досягає земної поверхні, має меншу енергію і змінений спектр.

1.1.2 Використання сонячної енергії

Методи отримання електроенергії та тепла з сонячного випромінювання:

1. Використання фотоелементів - перетворення сонячної енергії безпосередньо в електроенергію.

2. Геліотермальна енергетика - нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені, і подальший розподіл та використання тепла. Наприклад, фокусування сонячного випромінювання на судині з водою для подальшого використання нагрітої води в системах опалення або для роботи парових електрогенераторів.

3. Сонячне вітрило - перетворення сонячного випромінювання в кінетичну енергію у вакуумі.

4. Термоповітряні електростанції - перетворення сонячної енергії в енергію повітряного потоку, який спрямовується на турбогенератор для виробництва електрики.

5. Сонячні аеростатні електростанції - генерація водяної пари всередині балона аеростата за рахунок нагрівання його поверхні, покритої селективно-поглинаючим матеріалом, сонячним випромінюванням. Перевага такої системи полягає в тому, що запасу пари в балоні вистачає для роботи електростанції в темний час доби та під час хмарної погоди.

Оскільки енергія сонячного випромінювання розподілена по великій площі (іншими словами, має низьку густину), будь-яка установка для прямого використання сонячної енергії повинна мати збираючий пристрій з достатньою

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

поверхнею. Найпростіший пристрій такого роду - плоский колектор; в принципі це чорна плита, добре ізольована знизу.

Вона прикрита склом або пластмасою, яка пропускає світло, але не пропускає інфрачервоне теплове випромінювання. У просторі між плитою і склом найчастіше розміщують чорні трубки, в яких тече вода, масло, повітря, сірчистий ангідрид і т.п. Сонячне проміння, проникаючи крізь скло або пластмасу в колектор, поглинається чорними трубками і плитою та нагріває робочу речовину в трубках. Теплове випромінювання не може вийти з колектора, тому температура в ньому значно вища (на 200-300 °С), ніж температура навколишнього повітря. У цьому виявляється так званий парниковий ефект.

1.1.3 Перспективи сонячної енергетики

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується там, де обмежений доступ до інших джерел енергії, а достатня кількість сонячного випромінювання робить її економічно вигідною.

Серед інших застосувань сонячної енергетики можна виділити:

- системи телекомунікації та зв'язку (ретранслятори, телеметрія);
- забезпечення електроенергією навігаційних вогнів, бакенів, дорожніх знаків, освітлення автошляхів у нічний час;
- антикорозійний захист металевих конструкцій та трубопроводів;
- живлення побутових приладів у віддалених неелектрифікованих оселях;
- системи охоронної сигналізації;
- сільське господарство та засушливі райони для добування та подачі води;
- створення мережі автоматичних постів з різними датчиками для моніторингу навколишнього середовища.

Особливо важливою є роль сонячних батарей у космічних апаратах та штучних супутниках, де вони забезпечують живлення бортової апаратури.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

холодильники, насоси, телевізори). Крім того, термін служби сонячних елементів практично необмежений і може становити десятки років.

Серед головних переваг сонячної енергії - її невичерпність та виняткова екологічна чистота. Сонячна енергія доступна на всій поверхні Землі, за винятком полярних районів, які страждають від її нестачі. Практично по всьому світу лише хмари та ніч перешкоджають постійному використанню цієї енергії. Така загальнодоступність робить цей вид енергії неможливим для монополізації, на відміну від нафти і газу.

Хоча вартість 1 кВт·год сонячної енергії наразі значно вища, ніж отриманої традиційними методами, лише п'ята частина сонячного світла перетворюється в електричний струм. Проте ця частка постійно зростає завдяки зусиллям учених та інженерів у всьому світі.

Основне завдання - використовувати сонячну енергію таким чином, щоб її вартість була мінімальною або навіть нульовою. З удосконаленням технологій і подорожчанням традиційних енергоресурсів, сонячна енергія буде знаходити все більше нових областей застосування.

1.1.4 Недоліки сонячної енергетики

Сонячна енергетика є одним з найбільш матеріалоемних способів виробництва енергії. Великомасштабне використання сонячної енергії спричиняє значне зростання потреби у матеріалах, а отже, у трудових ресурсах для видобутку сировини, її збагачення, виробництва матеріалів, виготовлення геліостатів, колекторів та іншої апаратури, а також їх перевезення. Ефективність сонячних електростанцій у регіонах, віддалених від екватора, досить низька через нестійкі атмосферні умови, відносно слабку інтенсивність сонячної радіації та її коливання, зумовлені чергуванням дня і ночі.

Через відносно невелику величину сонячної постійної для сонячної енергетики потрібно використовувати великі площі землі під електростанції.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, для електростанції потужністю 1 ГВт може знадобитися кілька десятків квадратних кілометрів. Проте цей недолік не є критичним, адже, наприклад, гідроенергетика виводить з користування значно більші ділянки землі. До того ж, фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях встановлюються на висоті 1,8-2,5 метра, що дозволяє використовувати землі під електростанцією для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби.

Проблема виділення великих площ землі для сонячних електростанцій вирішується за допомогою сонячних аеростатних електростанцій, які можуть базуватися на суші, морі або на великій висоті.

Потік сонячної енергії на поверхні Землі значно залежить від широти та кліматичних умов. У різних регіонах середня кількість сонячних днів на рік може суттєво відрізнятись. Сонячна електростанція не працює вночі та недостатньо ефективно працює під час ранкових і вечірніх сутінків. При цьому пік електроспоживання припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може швидко і несподівано змінюватися через погоду. Щоб подолати ці недоліки, необхідно використовувати ефективні електричні акумулятори (на сьогодні це складне завдання), будувати гідроакумуляуючі станції, які також займають значні площі, або впроваджувати концепцію водневої енергетики, яка поки не є економічно ефективною.

Залежність потужності сонячної електростанції від часу доби та погодних умов вирішується за допомогою сонячних аеростатних електростанцій.

Висока вартість сонячних фотоелементів є суттєвим недоліком, який, ймовірно, буде подолано з розвитком технологій. З 1990 по 2014 рік ціни на фотоелементи знижувалися в середньому на 4% на рік.

Недостатній ККД сонячних елементів, який, ймовірно, незабаром збільшиться.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Проблемою також є очищення поверхні фотопанелей від пилу та інших забруднень, що може стати складним завданням при їх великих площах, які можуть досягати декількох квадратних кілометрів.

Ефективність фотоелектричних елементів значно знижується при їх нагріванні, тому виникає необхідність встановлення систем охолодження, зазвичай водяних.

Через 30 років експлуатації ефективність фотоелектричних елементів починає знижуватися.

Незважаючи на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять токсичні речовини, такі як свинець, кадмій, галій, миш'як тощо, а їх виробництво споживає багато інших небезпечних речовин. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін служби (30-50 років), і масове їх використання в майбутньому підніме складне питання утилізації.

Останнім часом активно розвивається виробництво тонкоплівкових фотоелементів, які містять лише близько 1% кремнію. Завдяки низькому вмісту кремнію тонкоплівкові фотоелементи дешевші у виробництві, але поки що мають меншу ефективність. Наприклад, у 2015 році компанія «Shell» вирішила зосередитися на виробництві тонкоплівкових елементів і продала свій бізнес з виробництва кремнієвих фотоелектричних елементів.

1.1.5 Розвиток сонячної енергетики у світі

Сьогодні багато країн вкладають значні кошти в розвиток сонячної енергетики, що призводить до будівництва потужних електростанцій. Нещодавно в Іспанії запрацювала найбільша у світі сонячна електростанція. Десять тисяч будинків міста Севілья тепер отримують електроенергію від цієї станції. Іспанська компанія Abengoa Solar завершила останні тестові випробування цієї електростанції, яка постачатиме електроенергію мешканцям

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Очікується, що буде запущена сонячна електростанція в Об'єднаних Арабських Еміратах. Будівництво цієї станції коштуватиме уряду емірату Абу-Дабі 350 мільйонів доларів, а її потужність становитиме 500 МВт.

Франція оголосила про свої амбітні плани стати світовим лідером у сфері сонячної енергетики та планує збільшити потужність своїх сонячних електростанцій до 300 МВт. На даний момент Франція посідає четверте місце в ЄС за потужністю сонячних електростанцій зі встановленою потужністю 69 МВт. Уряд країни розробляє та впроваджує стимули для розвитку сонячної енергетики.

1.1.6 Розвиток сонячної енергетики в Україні

Доцільність розвитку сонячної енергетики в Україні визначається кількома основними чинниками: високий рівень надходження сонячної радіації, наявність потужних мікроелектронних і електротехнічних підприємств, які можуть швидко освоїти виробництво сонячних елементів і батарей у великих масштабах, а також наявність наукових установ і висококваліфікованих науково-технічних кадрів, що спеціалізуються на розробці сонячних елементів, обладнання та технологій їх виробництва.

За кліматичними умовами Україна належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Кількість сонячної енергії, що надходить на одиницю площі земної поверхні протягом року, становить 1000–1350 кВт·год/м². З урахуванням коефіцієнта корисної дії сонячних установок, для умов України щорічні ресурси сонячного гарячого водопостачання та опалення можуть становити до 28 кВт·год теплової енергії на 1 м² площі сонячних колекторів.

Для України найбільш перспективними є два основних напрями використання сонячної енергії: перетворення її в низькопотенційну теплову

енергію без концентрації сонячної радіації та перетворення її в електричну енергію постійного струму за допомогою фотоперетворювачів.

Використання сонячної енергії для гарячого водопостачання та опалення є найефективнішим і найбільш відпрацьованим методом. Основним елементом систем активного сонячного теплозабезпечення є плоский сонячний колектор, який складається з геліоприймального абсорбера, по якому циркулює теплоносій. Конструкція сонячного колектора теплоізолювана з тильної сторони і зашклена з лицьової сторони. Удосконалення таких колекторів ведеться у двох напрямках: пошук нових неметалевих конструкційних матеріалів та покращення оптико-теплових характеристик вузла "абсорбер - світлопроникний елемент".

В Україні є значний досвід використання сонячного теплозабезпечення, а технологічний потенціал вітчизняної промисловості дозволяє організувати масове виробництво геліотехнічного обладнання. Проектним інститутом нетрадиційних електротехнологій розроблено та запущено у виробництво два типи сонячних колекторів: з чорного (КС-3) та кольорового (КСБ-4.00) металів, які можуть використовуватися в будь-яких системах сонячного теплозабезпечення. Добова продуктивність цих колекторів, залежно від схеми та умов експлуатації, становить від 80 до 120 літрів гарячої води температурою 50-55°C з 1 м² робочої поверхні геліоприймача.

Науково-виробниче підприємство "Укреліопром" створило сонячний колектор, здатний нагрівати воду до максимальної температури 220°C, а також сонячний водонагрівач для індивідуальних і дачних будинків, промисловості та сільського господарства. Акціонерне товариство "ІНКОНМАШ" виробляє сонячний плоский колекторний водонагрівач КПЛШ-10.02, який забезпечує до 170 літрів гарячої води температурою 60°C за добу. Також розроблено інше геліотехнічне обладнання. Колектори сонячної енергії, розроблені в Україні, за теплотехнічними показниками не поступаються кращим світовим зразкам, проте

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

поки що мають вищу металомісткість і меншу довговічність основних елементів – поглинача теплової енергії та світлопроникного покриття.

Однак в Україні відсутнє серійне промислове виробництво сонячних колекторів, які є основним елементом теплового геліоенергетичного обладнання. Це є основною причиною, що стримує широке використання геліотехнічного обладнання в країні, зокрема для індивідуального споживача. Відсутність стимулюючої державної політики також гальмує впровадження сонячних колекторів у виробництво, враховуючи високі і постійно зростаючі ціни на матеріали.

Таким чином, використання альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, безсумнівно принесе користь Україні. З іншого боку, українська економіка має відповідні потужності для виробництва необхідних компонентів та створення інфраструктури для такої енергетики. Виробничі можливості таких гігантів мікроелектроніки, як виробничі об'єднання «КВАЗАР», «ІРВА» (м. Київ), «Гравітон» (м. Чернівці), «Хартрон» (м. Харків), «Гамма» і «Електроавтоматика» (м. Запоріжжя), «Дніпро» (м. Херсон), «Позитрон» (м. Івано-Франківськ) дозволяють здійснювати повний технологічний цикл створення сонячних елементів. Україна також має висококваліфікований науковий потенціал в цій галузі, представлений такими установами, як Інститут фізики напівпровідників та Інститут електродинаміки НАНУ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Національний технічний університет "КПІ" та інші університети.

1.2 Аналіз існуючих конструкцій слідкування за Сонцем

З досвіду відомо, що сонячні елементи генерують максимальну енергію лише тоді, коли вони розташовані точно перпендикулярно до сонячних променів, що відбувається лише один раз на день. В інший час їхня

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ефективність знижується до менше ніж 10%. Значно підвищити ефективність сонячного модуля можна, якщо оснастити його поворотним механізмом з автоматичною системою стеження за сонцем.

Система стеження за сонцем - це пристрій, який орієнтує панель сонячних батарей або утримує сонячний відбивач чи лінзу поверненими до сонця, подібно до геліостатів. Це один із способів підвищення продуктивності сонячних елементів. Висока точність таких пристроїв необхідна для забезпечення того, щоб зібрані сонячні промені падали прямо на відповідне пристосування.

Існує два основних типи поворотних механізмів для сонячних модулів: одновісний і двовісний (рисунок 1.3, лист [БРМА24.00.00.000ДО]). Одновісні реалізують поворот сонячного модуля навколо однієї центральної осі, що є зручним для великих електростанцій. Двовісні дозволяють більш гнучко відстежувати положення сонця, контролюючи як азимутний кут, так і кут нахилу сонця над горизонтом.

Пристрої зі системою стеження за сонцем можуть відрізнятися:

- за типом і видом використовуваних датчиків;
- за принципом функціонування системи керування;
- за конструктивними особливостями.

Розглянемо деякі типи таких пристроїв.



Рисунок 1.3 -Одновісні і двовісні сонячні установки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Система стеження за сонцем 01ARX1.

Система стеження за сонцем для сонячних батарей 01ARX1 (рисунок 1.4) включає фотодетектор, блок керування (рисунок 1.5) та GPS-приймач [10]. Вона може функціонувати з одним актуатором (для руху по одній осі) або з двома актуаторами (для руху по двох осях), що дозволяє повертати панель сонячних батарей слідом за сонцем.

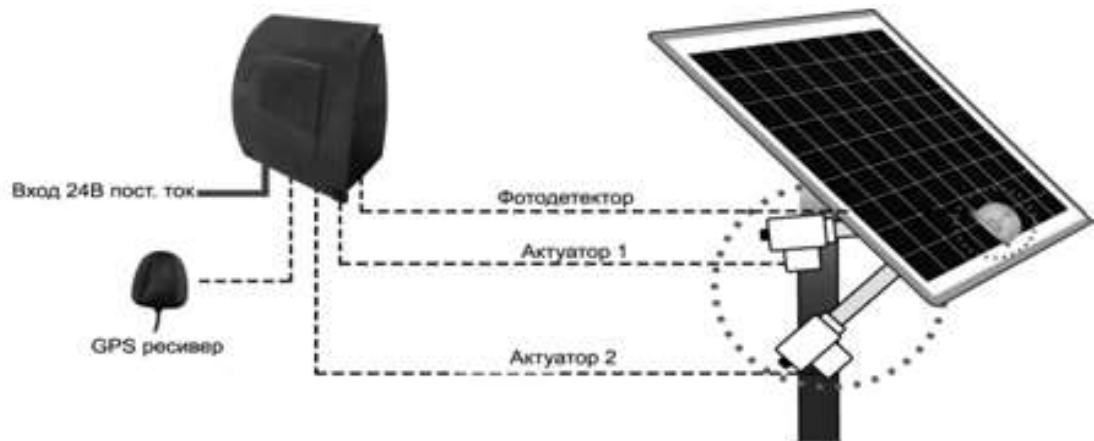


Рисунок 1.4 - Схема системи стеження за сонцем 01ARX1

В якості актуаторів використовуються пристрої для пересування панелі сонячних батарей 01G360 (рисунок 1.6, 1.7).

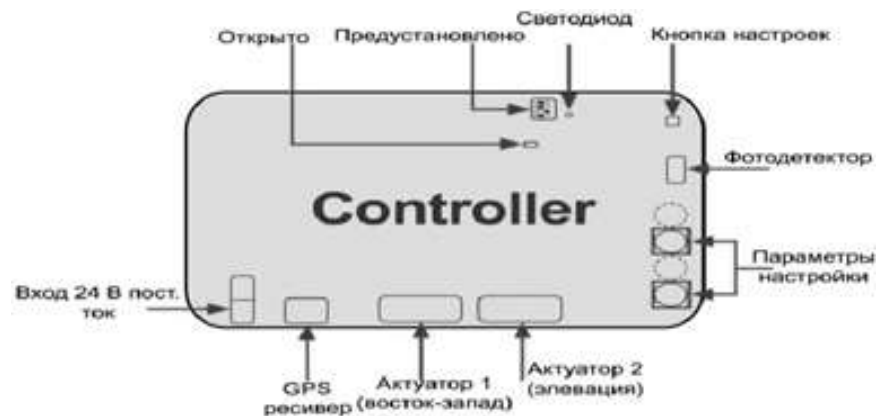


Рисунок 1.5 - Схема розміщення виводів контролера

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
20

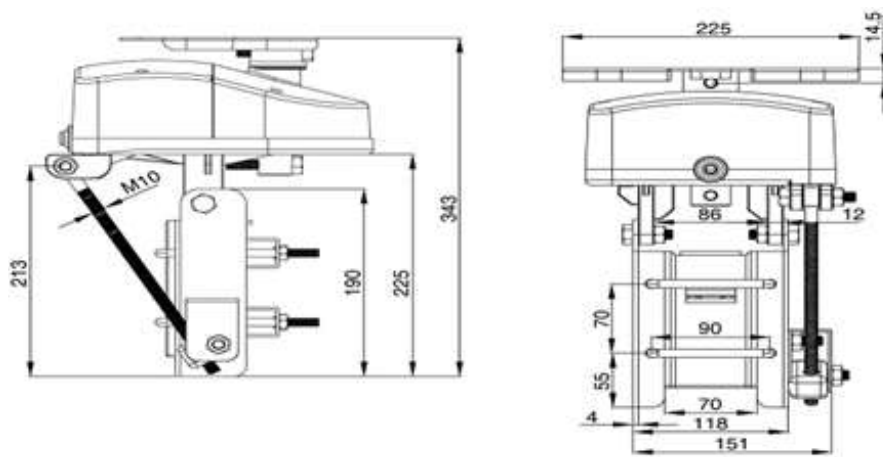


Рисунок 1.6 - Пристрої для пересування панелі сонячних батарей 01G360

Горизонтальні одновісні системи стеження зазвичай використовуються в сонячних електростанціях та великих проектах. Їхнє поєднання підвищеної енергоефективності, низької вартості та простоти монтажу забезпечує значну економію. Такі пристрої також значно підвищують продуктивність у весняний та літній періоди, коли сонце знаходиться високо в небі.



Рисунок 1.7 - Зовнішній вигляд пристрою 01G360

Жорсткість каркаса і простота механізму забезпечують високу надійність, що знижує витрати на технічне обслуговування. Оскільки панелі розташовані

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

горизонтально, їх можна компактно розмістити на трубчастій осі, не боячись затінення однієї панелі іншою, і залишити легкодоступними для очищення.

Вертикальні одновісні системи обертаються лише навколо вертикальної осі, при цьому панелі закріплюються вертикально під фіксованим, регульованим або відслідковуючим кутом нахилу. Такі системи з фіксованим або сезонно регульованим кутом нахилу підходять для високих широт, де верхня точка сонячної траєкторії не надто висока, але забезпечує довгі літні дні з довгими дугами руху сонця.

Зовнішній вигляд установки, обладнаної системою стеження 01ARX1, показано на рисунку 1.8.

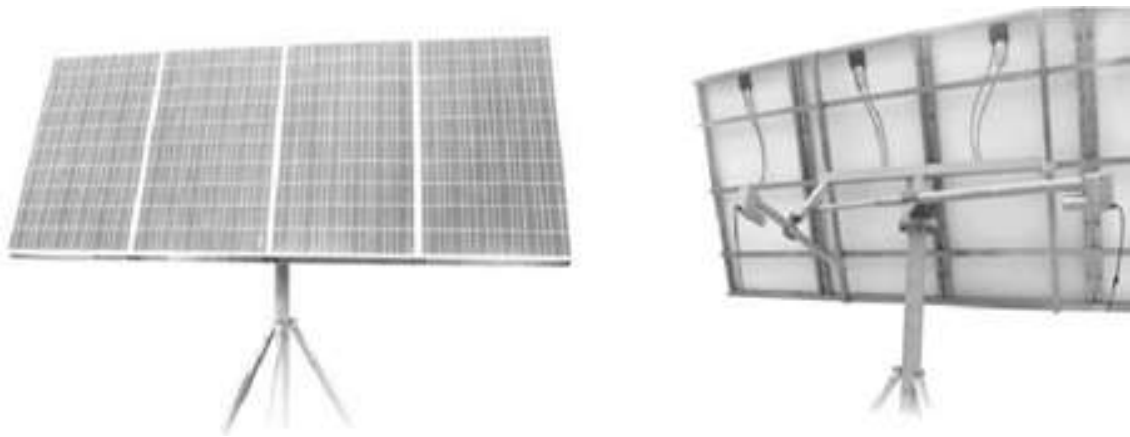


Рисунок 1.8 - Зовнішній вигляд установки, забезпеченою системою стеження 01ARX1

Переваги:

- встановлення панелей із сонячними елементами потужністю до 460 Вт (1,7 ...2,0 м² / 40 кг);
- здатність обертатися на 270° (схід / захід).

Технічні дані установки представлені в таблиці 1.1.

Сонячна фотоелектрична система від компанії "Невінпат".

Винахідники: Жорес Іванович Алферов; В'ячеслав Михайлович Андрєєв; Вадим Миколайович Зазимко; Валерій Романович Ларіонов; Валерій Дмитрович Румянцев; Олексій Євгенович Чалов.

Система орієнтації сонячної батареї на Сонце включає основний датчик 13 положення Сонця, розташований на другому рівні сонячної батареї (рисунок 1.9) [6]. Основний датчик 13 положення складається з затемнюючого екрана 14 (рисунок 2.10) з отвором 15 і восьми каскадних фотоелементів. Чотири з них, фотоелементи 16, розміщені зверху, знизу, праворуч і ліворуч по зовнішніх сторонах екрана, утворюючи канали азимутального і зенітального грубого наведення, які генерують сигнали при зміні положення Сонця.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики системи слідкування 01ARX1

№ п/п	Параметр	Технічна характеристика
Блок керування		
1	Максимальна потужність	4А, 24В пост. струму, до 2 актуаторів
2	Напруга живлення	24В пост. струму
3	Діапазон азимуту	До 180 ⁰ або 220 ⁰ (в залежності від керуючої системи)
4	Елевація	До 90 ⁰ (в залежності від керуючої системи)
5	Захист	Захист від перенавантаження
6	Розміри	110x220x300 мм
Фотодетектор		
7	Розміри	82x98x50 мм
GPS ресивер		
8	Енергоспоживання	36мА, 5В пост. струм
9	Розміри	50x60x22 мм

Інші чотири фотоелементи 17 розміщені зверху, знизу, праворуч і ліворуч по внутрішніх сторонах екрана, утворюючи канали точного наведення.

Додатковий датчик 18 положення Сонця складається з трьох каскадних фотоелементів (рисунок 2.10), підключених до азимутального каналу. Цей датчик встановлений у верхній частині підвішеної рами 2 і містить два каскадні фотоелектричні елементи 19, спрямовані праворуч і ліворуч відносно основного датчика 13. Третій фотоелектричний елемент 20 спрямований у протилежний бік від основного датчика 13, причому його полярність підключення змінюється спеціальним перемикачем при проходженні напрямку Південь-Північ.

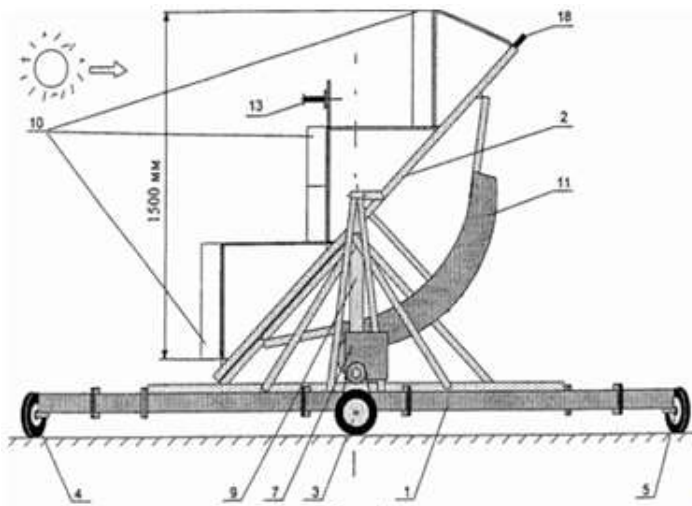


Рисунок 1.9 - Схематичне зображення сонячної фотоелектричної установки, вид збоку

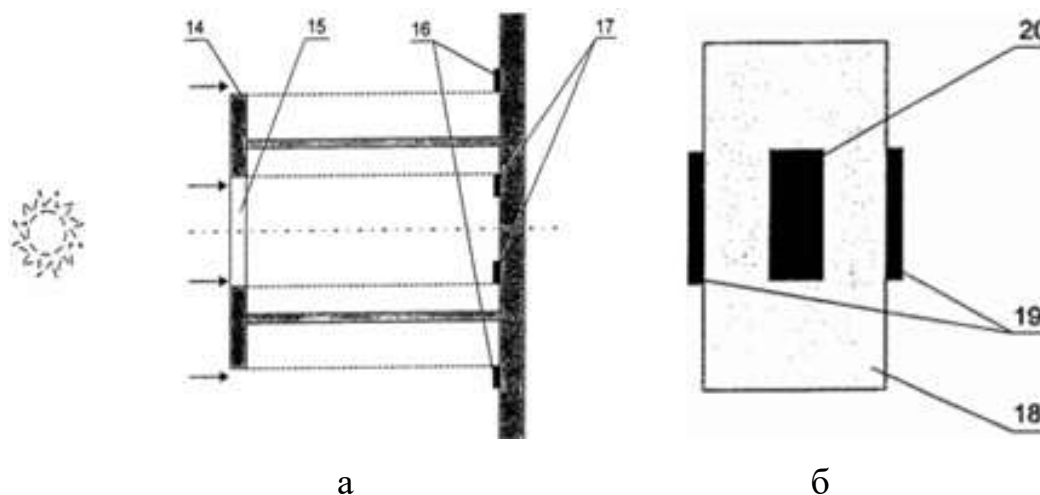
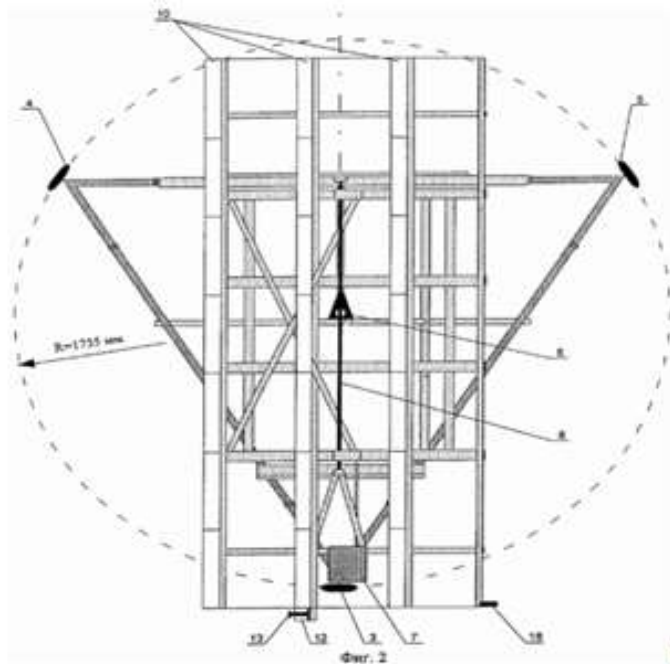


Рисунок 1.10 -Схематичне уявлення конструкції основного (а) і додаткового (б) датчиків положення Сонця

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
24



1 - базова рама; 2 - рама підвішена; 3, 4, 5 - колеса; 6 - нерухома вертикальна вісь азимутального обертання; 7 - привод; 8 - нерухома горизонтальна вісь зенітального обертання; 9 - кронштейн; 10 - сонячна панель, яка складається з модулів, що містять лінзи Френеля, концентратори сонячного випромінювання і фотоелектричні перетворювачі; 11 - зубчасті сектора; 12 - окрема сонячна батарея; 13 - датчик положення Сонця; 14 - затемнюючий екран; 15 - отвір; 16, 17- фотоелементи каскадного типу; 18 - датчик положення Сонця додатковий.

Рисунок 1.11 - Схематичне зображення сонячної фотоелектричної установки (вид зверху)

Поворотний механізм автоматичного слідкування за сонцем TITAN TRACKER (Іспанія). Titan Tracker (рисунок 1.12) - це обертова рамкова конструкція для сонячних модулів, що автоматично налаштовується на актуальне положення Сонця, забезпечуючи максимальну ефективність позиціонування сонячних панелей [7].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.12 - Поворотний механізм автоматичного стеження за Сонцем
TITAN TRACKER

Переваги сонячної установки TITAN TRACKER:

- велика продуктивність енергії, двовісьове стеження, починаючи з 10 градусів, що на 45% більше, ніж у фіксованих не рухомих систем (в 40° широти);
- достатня стійкість під вітровими навантаженнями, зокрема 5 точок кріплення витримують до 125 км/год (20м/с) в будь-якому місці;
- висока надійність конструкції: зібрана за допомогою гвинтів, без зварювання, без гідравліки у вигляді оцинкованої 3D структури з металу холодного формування. Вирішальне значення для надійності має незалежність між структурою і системою приводу;
- висока потужність установки, до 219 м² поверхні модулів;
- низька кінцева вартість, економія матеріалів (80% сталі і 35% бетону) в порівнянні зі змонтованими нерухомими системами;
- легке і швидке встановлення, менше гвинтів на модулі установки, ніж притаманна кількість у плоских установок;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
26

- скорочення обслуговування, яке є результатом застосування високотехнологічних розробок і матеріалів;

- точність наведення - близько 0,01 градуса. Дизайн трекера заснований на 5 несучих опорах: 1 фіксованій центральній і чотирьох роликових опор. Опори тримають дві симетричні рами для сонячних панелей (рисунок 1.13).

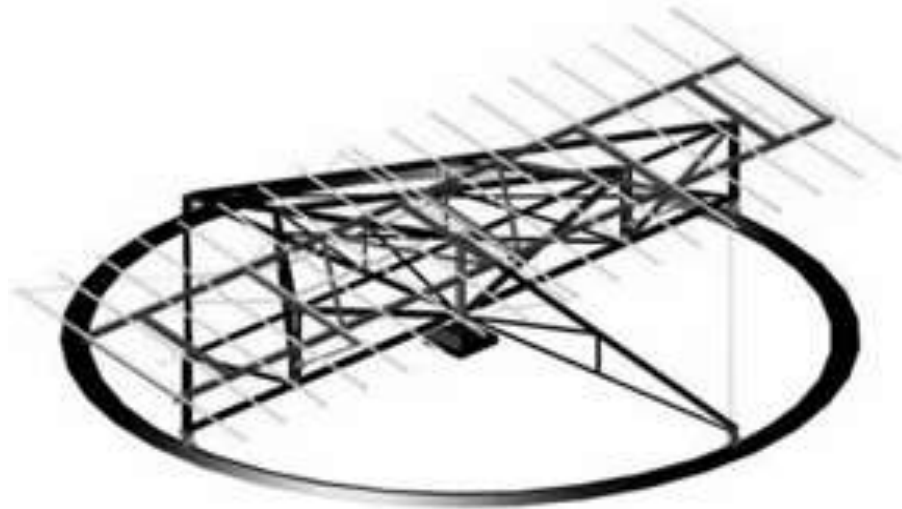


Рисунок 1.13 - Конструкція і дизайн опор трекера

Завдяки наявності нерухомих елементів, таких як вбудована осьова система, конструкція має мінімальну основу, що дозволяє значно зекономити матеріали: до 35% менше бетону та до 85% менше сталі порівняно з іншими поворотними сонячними установками (табл. 1.2). Це забезпечує основі щільність 1,5 кг/см².

Трекер оснащений запатентованим механізмом (рисунок 1.14), який адаптується до нерівностей поверхні, запобігаючи можливим помилкам наведення. Він не потребує ідеально рівної поверхні для монтажу та може бути встановлений на поверхнях з нахилом.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
27

Таблиця 1.2 – Показники використаних матеріалів

№ п/п	Назва	Матеріал	
		Бетон, м ³	Сталь, кг
1	Трек	9,6	147
2	Якор	3,9	50
	Всього	13,5	197

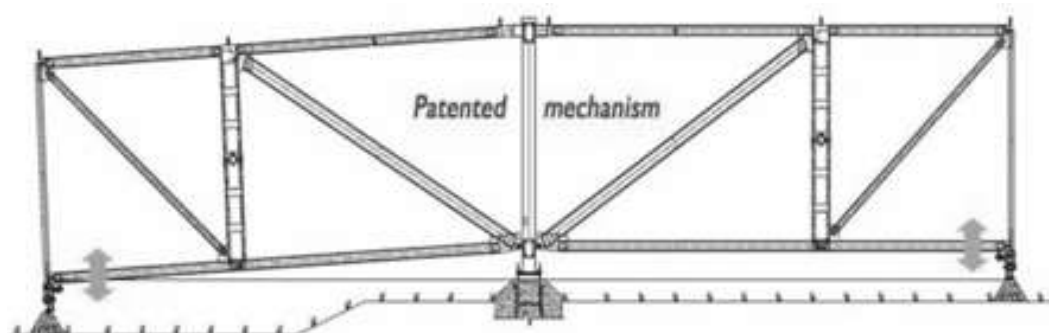


Рисунок 1.14 – Механізм трекера

Діапазон автоматичного стеження двох вісного сонячного трекера TITAN TRACKER приведено в табл.1.3.

Таблиця 1.3 – Діапазон автоматичного слідування двовісного сонячного трекера TITAN TRACKER

№ п/п	Вісь руху	Мінімум*	Максимум*
1	Перепад висот	від +10 ⁰	до +85*
2	Діапазон азимуту	від -180 ⁰	до +180*

Конструкція Titan Tracker встановлюється за допомогою автомобільного крана (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 - Процес установки TITAN TRACKER (ліворуч) і загальний вигляд встановлених модулів (праворуч)

На рисунку 1.16 представлено вид згори на геліо електростанцію, яка використовує модулі TITAN TRACKER.



Рисунок 1.16 - Вид згори геліо електростанції на основі модулів TITAN TRACKER

Сонячна установка з поворотним механізмом компанії «Український вітер» (рисунок 2.17) оснащена системою орієнтації сонячних модулів на Сонце,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
29

що значно підвищує ефективність роботи. Поворотний механізм поставляється разом із сонячним модулем [9].



Рисунок 1.17 - Сонячна установка компанії «Український вітер»

Переваги:

- довговічність, термін служби сонячного модуля становить не менше 10 років;
- міцність, сонячний модуль виконаний в ударостійкому варіанті, витримуючи удар градин діаметром 4 см зі швидкістю 15 м/сек.

Обслуговування модуля полягає у видаленні пилу та снігу з поверхні. При монтажі модуля на щоглі, сніг або воду можна легко видалити, тимчасово збільшивши кут нахилу. Навіть значний шар пилу знижує ефективність роботи модуля всього на 5-7%, тому він не потребує постійного догляду. Для

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
30

підвищення ККД бажано періодично повертати модуль за сонцем та орієнтувати його під кутом близько 90 градусів до сонячних променів.

Недоліки: основний недолік цієї сонячної установки полягає у відсутності автоматичної системи керування.

Для обґрунтування доцільності застосування системи автоматичного керування на сонячній поворотній установці, наведемо графік залежності втрат відсотка вироблюваної прямої потужності через неузгодженість (вертикальна вісь) від кута неузгодженості, тобто кута між орієнтацією сонячної батареї та падаючими на неї сонячними променями (рисунок 1.18).

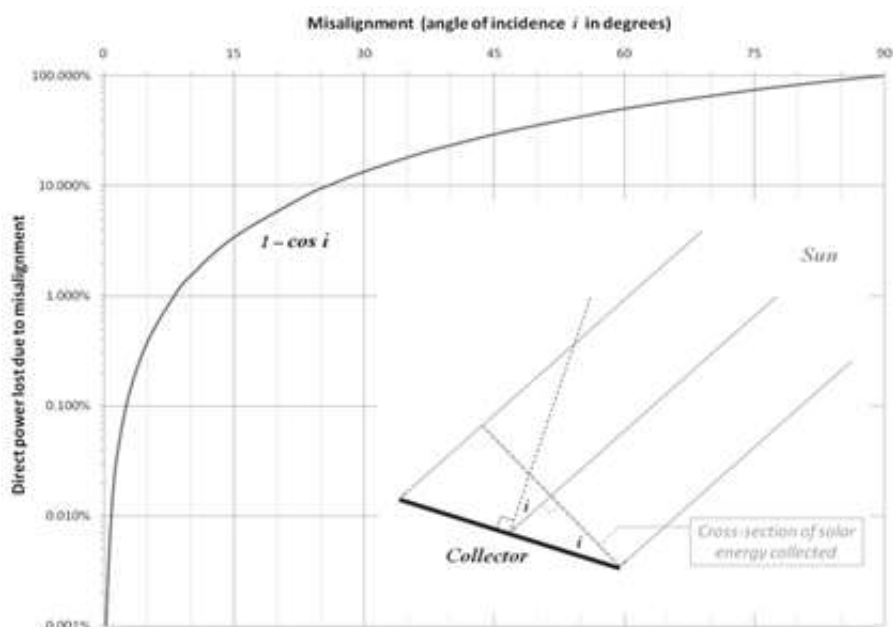


Рисунок 1.18 - Залежність відсотка потужності, що втрачається від кута неузгодженості

Ефективна частина фотоелектричного елемента, задіяна у виробленні електроенергії, змінюється зі зміною косинуса кута неузгодженості панелі з сонцем. Невеликі неузгодженості можуть бути прийнятними, оскільки вони призводять до незначних втрат ефективності (менше 1% при кутах до 8 градусів і менше 10% при кутах до 25 градусів). Однак, зі збільшенням кута

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

неузгодженості (більше 30 градусів) втрати потужності стають значними. Ці втрати можна мінімізувати, використовуючи автоматичну систему наведення.

1.3 Задачі, які необхідно вирішити в бакалаврській роботі

У бакалаврській роботі потрібно виконати наступні завдання:

- здійснити огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи.
- розробити конструкцію пристрою для повороту сонячних панелей.

1.4 Висновки до першого розділу

У цьому розділі проведено огляд наявних технологічних і технічних рішень, що стосуються теми бакалаврської роботи. Наведено загальні відомості про сонячну енергетику та сонячні панелі. Здійснено аналіз існуючих конструкцій систем стеження за Сонцем. Визначено завдання, які потрібно розв'язати в бакалаврській роботі.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ

2.1 Розробка кінематичної схеми пристрою

Оснащення сонячної батареї автоматичним поворотним механізмом вимагає відповідних рішень у механіці, електроніці та системі автоматичного керування [1]. Для точного відстеження положення сонця система повинна мати два ступені свободи. У цьому проекті це досягається за допомогою двох виконавчих механізмів: рухомого диска та рухомої платформи. На основі аналізу існуючих конструкцій пропонується наступна схема платформи автоматичного стеження за сонцем (рисунок 2.1, лист [БРМА24.00.00.000К2]).

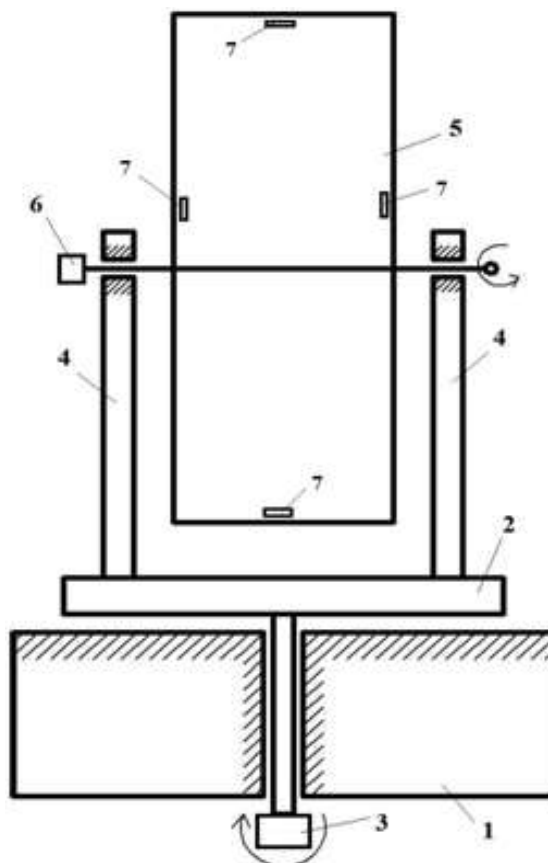


Рисунок 2.1 - Схема автоматичної сонячної установки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Пристрій складається з нерухомої основи (1) і рухомого диска (2), який приводиться в рух горизонтальним приводом (3). На двох стійках (4) розташована платформа із закріпленою на ній сонячною батареєю (5), яка приводиться в рух вертикальним приводом (6). Для забезпечення зворотного зв'язку пристрій також оснащено кількома датчиками рівня освітленості (7) і кінцевими датчиками. Крім основних датчиків освітленості, розташованих з боків рухомої платформи, є додатковий датчик, закріплений із зворотного боку платформи. Він використовується для вимірювання розсіяного випромінювання, усунення його впливу на два інших датчика і запуску системи в ранкові години.

Використання в цій конструкції двох приводів, керуючих обертанням по горизонтальній і вертикальній осях, є найбільш доцільним як з енергетичної, так і економічної точок зору. Два ступені свободи пристрою дозволяють гнучко реалізовувати відстеження положення сонця на будь-якій широті, контролюючи як кут нахилу сонця над горизонтом, так і кут азимутального обертання.

Для забезпечення обертання виконавчих органів установки в заданому діапазоні використовуються кінцеві датчики, розташовані попарно на кожному валу (рисунк 2.2). Коли вал (1) досягає межі діапазону обертання, один з упорів (2) зіштовхується з важелем (3), який перемикає один з кінцевих датчиків (4).

Було спроектовано конструкцію сонячної установки (лист [БРМА24.00.00.000ДІ]) [3]. При проектуванні переважно використовувалися стандартні деталі. Також була проведена оцінка напружено-деформованого стану основних деталей конструкції.

Замість сонячної батареї (фотоелектричного елемента) можна встановити сонячний колектор для збору теплової енергії Сонця або параболічний концентратор, у фокусі якого на кронштейні буде закріплено двигун Стірлінга.

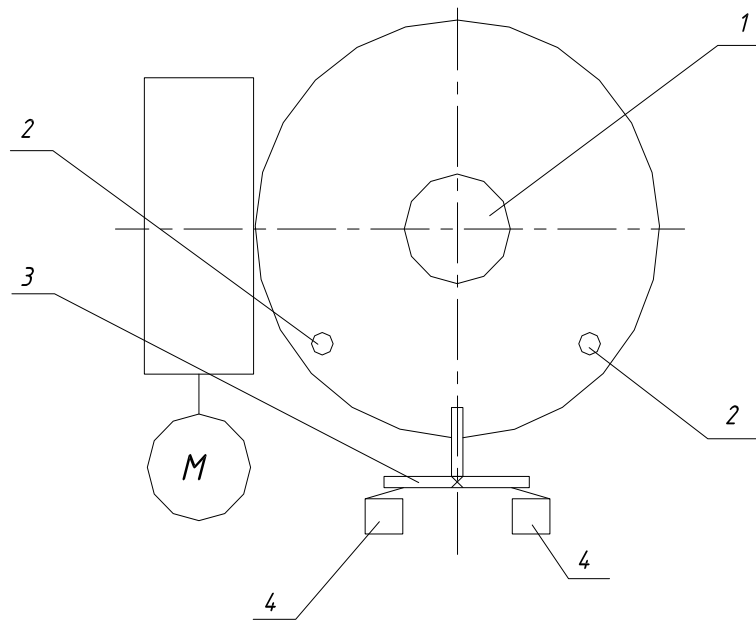


Рисунок 2.2 - Механізм обмеження сектора наведення для горизонтальної вісі

2.2 Розробка функціональної схеми пристрою

Датчики інтенсивності сонячного випромінювання, які є фоторезисторами, встановленими на рухомій платформі, вимірюють поточний рівень освітленості та передають ці дані на мікроконтролер (рисунок 2.4, лист [БРМА24.00.00.000С2]).

Програма, яка знаходиться в мікроконтролері, аналізує різницю між показниками датчиків, що контролюють горизонтальне та вертикальне обертання. Вона порівнює ці дані з заданими параметрами, а виявлені похибки у вигляді керуючих сигналів передаються до силового транзистора. Коли транзистор переходить в відкритий режим, він дозволяє струму протікати через мотор-редуктор, що активує виконавчий механізм — рухливий диск або платформу. Ці виконавчі елементи повертають сонячну панель на необхідний кут, оптимізуючи її орієнтацію відносно Сонця.

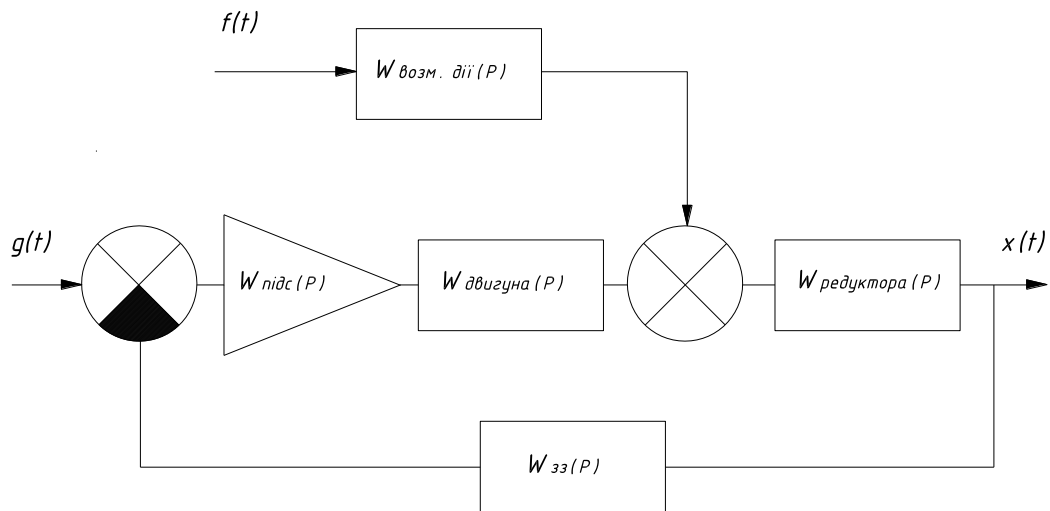


Рисунок 2.4 - Функціональна схема системи

Кінцеві датчики надсилають сигнал на мікроконтролер, коли рухлива частина досягає одного з крайніх положень. Це забезпечує можливість обертання рухомої платформи в межах від 0° до 90° і рухомого диска від 0° до 270° . Візуалізація функціональної схеми представлена на блок-схемі, зображеній на рисунку 2.5.

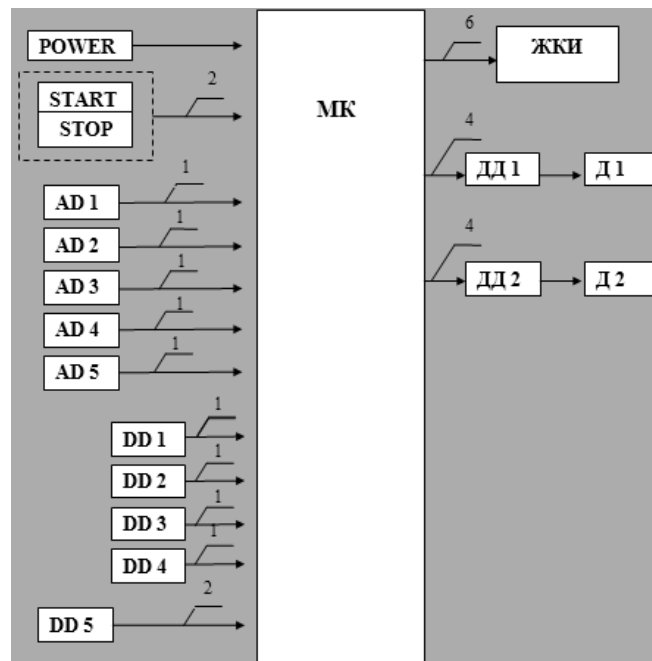


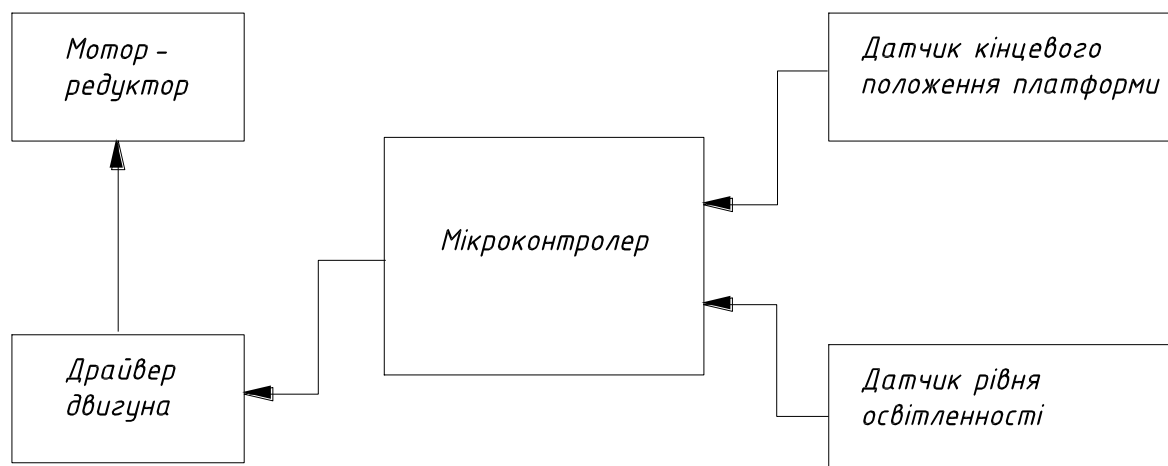
Рисунок 2.5 - Подання функціональної схеми у вигляді блок-схеми

На функціональній схемі (рисунок 2.5) використовуються наступні позначення:

- POWER - вимикач живлення установки;
- МК - мікроконтролер, який включає АЦП і ШІМ на кристалі. Мікроконтролер реалізує потрібні закони керування приводами, керує індикацією та обробляє інформацію, що надходить з датчиків;
- START - кнопка включення установки. При включенні здійснюється подача живлення на приводи і датчики, починається обробка даних з аналогових входів мікроконтролера, а РКІ переходить в режим відображення кута повороту вихідного валу приводу горизонтального обертання.
- STOP - кнопка вимикання установки;
- AD 1, AD 2, AD 3, AD 4, AD 5 - аналогові датчики рівня освітленості. Після натискання кнопки START на них подається живлення, і дані з цих датчиків потрапляють на входи АЦП мікроконтролера;
- DD 1, DD 2, DD 3, DD 4 - цифрові датчики кінцевого положення виконавчих ланок. Після натискання кнопки START на них подається живлення, і дані з цих датчиків потрапляють на входи АЦП мікроконтролера;
- DD 5 - цифровий датчик, що реєструє кут повороту рухомого диска - інкрементальний енкодер. Після натискання кнопки START дані з нього починають відображатися на рідкокристалічному дисплеї;
- РКІ - рідкокристалічний дисплей з вбудованим контролером, який після натискання кнопки START відображає значення вимірюваної величини (кут повороту валу приводу вертикального обертання);
- ДД 1, ДД 2 - драйвери електричних двигунів, що забезпечують силову розв'язку цифрової системи керування та електродвигуна;
- Д 1, Д 2 – електричні двигуни постійного струму.

2.3 Розробка структурної схеми пристрою

На рисунку 2.6 (лист [БРМА24.00.00.000С1]) представлена структурна схема системи автоматичного керування одним з приводів, у даному випадку - приводом вертикального обертання.



$W_{\text{підс}}(p)$ - передавальна функція підсилувача; $W_{\text{двигуна}}(p)$ - передавальна функція двигуна; $W_{\text{редуктора}}(p)$ - передавальна функція редуктора; $W_{\text{з.з}}(p)$ - передавальна функція зворотного зв'язку; $W_{\text{обур. дії}}(p)$ - передавальна функція обурюючої дії.

Рисунок 2.6 - Структурна схема керування приводом вертикального обертання:

2.4 Висновки до другого розділу

У цьому розділі розглядається розробка конструкції установки для азимутально-зенітальної орієнтації сонячних батарей. Здійснюється розробка кінематичної, функціональної і структурної схем пристрою.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЦЕМ

3.1 Вибір електродвигуна

Вибір електродвигуна буде здійснюватися на основі енергетичного розрахунку. Для визначення потужності та моменту на валу двигуна були знайдені моменти інерції частин конструкції, розрахунок яких базується на оцінці напружено-деформованого стану та розрахунку на міцність кожної з них, виконаних у середовищі твердотільного моделювання SolidWorks.

Для реалізації вертикального обертання пристрою був обраний двигун RE 50 Ø 50 мм, Graphite Brushes, 200 Watt з каталогу фірми Maxon. Основні параметри двигуна наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні параметри двигуна

№ п/п	Найменування параметра	Позначення	Значення
1	Індуктивність якоря	$L_{я}$	0.0000937 Гн
2	Момент інерції, приведений до валу	J	$58,4 \times 10^{-6}$ Н·м ²
3	Номінальний струм якоря	$i_{я\text{ ном}}$	9,15 А
4	Номінальна напруга	$U_{\text{ ном}}$	24 В
5	Кількість оборотів	N	5780 об/хв
6	Номінальний момент	$M_{\text{ ном}}$	0,354 Н·м
7	Опір в ланцюзі якоря	$R_{я}$	0,113 Ом

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

39

3.2 Визначення передавальних функцій

Оскільки двигун має два ступені свободи при фіксованому порушенні, необхідно розглянути два вихідних диференціальних рівняння для його опису. Перше рівняння можна отримати, застосовуючи другий закон Кірхгофа для ланцюга якоря, а друге рівняння описує закон рівноваги моментів на валу двигуна [2].

Таким чином, роботу приводу можна описати наступними рівняннями:

$$\begin{cases} L_{\text{я}} \frac{d}{dt} i_{\text{я}} + r_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}} = U(t) - C_e \cdot \omega \\ C_m \cdot i_{\text{я}} - M_n = J \frac{d}{dt} \cdot \omega \end{cases} \quad (3.1)$$

де $L_{\text{я}}$ - індуктивність ланцюга якоря;

$i_{\text{я}}$ - опір ланцюга якоря;

ω - кутова швидкість;

J - приведений до осі двигуна сумарний момент інерції;

M_n - момент навантаження, приведений до вала двигуна

$$C_e = \Phi C'_e \quad (3.2)$$

де C'_e - коефіцієнт пропорційності;

Φ - потік збудження;

$$C_m = \Phi C'_m \quad (3.3)$$

де C'_m - коефіцієнт пропорційності.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Кутова швидкість холостого ходу визначається за формулою:

$$w_{x.x} = \frac{2\pi N}{60}. \quad (3.4)$$

Тоді знаходимо:

$$w_{x.x} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5780}{60} = 604,97 c^{-1}.$$

Константу C_e знайдемо так:

$$C_e = \frac{U_{ном}}{w_{x.x}}, \quad (3.5)$$

$$C_e = \frac{24}{604,97} = 0,039.$$

Константу C_m знайдемо за формулою:

$$C_m = \frac{M_{ном}}{w_{я ном}}, \quad (3.6)$$

$$C_e = \frac{0,354}{9,15} = 0,0386$$

Запишемо систему рівнянь (2.1) для простору Лапласа:

$$\begin{cases} L_{я} p i_{я} + r_{я} \cdot i_{я} = U(t) - C_e \cdot w \\ C_m \cdot i_{я} - M_n = J \cdot p \cdot w \end{cases} \quad (3.7)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Виразимо з другого рівняння системи (3.7) струм і підставимо в перше.

Тоді знаходимо:

$$\begin{cases} i_{я}(L_{я}p + r_{я}) = U(t) - C_e \cdot w \\ i_{я} = \frac{J \cdot p \cdot w + M_n}{C_m} \end{cases}, \quad (3.8)$$

$$\frac{J \cdot p \cdot w + M_n}{C_m} (L_{я}p + r_{я}) = U(t) - C_e \cdot w \quad (3.9)$$

Розкриваючи дужки отримуємо:

$$\frac{L_{я} \cdot J \cdot p^2}{C_m} \cdot w + \frac{L_{я}}{C_m} \cdot p \cdot M_n + \frac{r_{я} \cdot J}{C_m} \cdot p \cdot w + \frac{r_{я}}{C_m} \cdot M_n = U(t) - C_e \cdot w \quad (3.10)$$

Перетворимо вираз (2.10) до такого вигляду:

$$w \left(\frac{L_{я} \cdot J \cdot p^2}{C_m} + \frac{r_{я} \cdot J}{C_m} \cdot p + C_e \cdot p \right) = E(t) - M_n \left(\frac{L_{я}}{C_m} p + \frac{r_{я}}{C_m} \right) \quad (3.11)$$

Звідси знаходимо передаточну функцію двигуна:

$$W_{об}(p) = \frac{1}{\frac{L_{я} \cdot J \cdot p^2}{C_m} + \frac{r_{я} \cdot J}{C_m} \cdot p + C_e}, \quad (3.12)$$

$$W_{об}(p) = \frac{1}{\frac{0,0000937 \cdot 58,4 \cdot 10^{-6}}{0,0386_m} \cdot p + \frac{0,113 \cdot 58,4 \cdot 10^{-6}}{0,0386_m} \cdot p + 0,039}$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

42

$$W_{\text{ос}}(p) = \frac{1}{0,0000001418 \cdot p + 0,000171 \cdot p + 0,039}.$$

Визначимо передаточну функцію збурючої дії:

$$W_{\text{збур.дії}}(p) = \frac{\frac{L_{\text{я}}}{C_{\text{м}}} \cdot p + \frac{r_{\text{я}}}{C_{\text{м}}}}{\frac{L_{\text{я}} \cdot J \cdot p^2}{C_{\text{м}}} + \frac{r_{\text{я}} \cdot J}{C_{\text{м}}} \cdot p + C_e}, \quad (3.12)$$

$$W_{\text{збур.дії}}(p) = \frac{\frac{0,0000937}{0,0386} \cdot p + \frac{0,113}{0,0386}}{\frac{0,0000937 \cdot 58,4 \cdot 10^{-6}}{0,0386_{\text{м}}} \cdot p + \frac{0,113 \cdot 58,4 \cdot 10^{-6}}{0,0386_{\text{м}}} \cdot p + 0,039},$$

$$W_{\text{збур.дії}}(p) = \frac{0,002427 \cdot p + 2,927}{0,0000001418 \cdot p + 0,000171 \cdot p + 0,039}.$$

Передаточна функція підсилювача становить: $W_{\text{підс.}}(p) = 24$

Передаточна функція зворотного зв'язку знаходиться: $W_{\text{з.з}}(p) = 1.$

Передаточна функція редуктора так $W_{\text{редуктора}}(p) = 0,00346.$

3.3 Вибір електронних компонентів

Розглядаючи функціональну схему пристрою (рисунок 2.5), можна зробити висновки про кількість необхідних компонентів для реалізації цифрової САУ.

Приводимо список необхідних компонентів:

- мікроконтролер;
- драйвери двигунів;
- датчики рівня освітленості;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

- кінцеві датчики;
- РКІ - дисплей;

3.3.1 Мікроконтролер

Для спроектованої системи автоматичного керування (САУ) доцільно використовувати компактний і недорогий мікропроцесор, який не потребує додаткових мікросхем та має достатню потужність для виконання поставленого завдання.

Мікроконтролером, обраним для цієї САУ, став Atmega16 (PDIP) виробника Atmel. Це економічний 8-бітовий КМОП мікроконтролер, створений на основі розширеної RISC архітектури AVR. Виконуючи одну команду за такт, Atmega16 (рисунок 3.1) забезпечує продуктивність близько 16 MIPS при частоті 16 МГц, що дозволяє розробникам створювати системи, оптимальні за швидкістю та споживанням енергії.



Рисунок 3.1 - Мікроконтролер ATmega16 компанії ATmel

В основі ядра AVR лежить розширена RISC архітектура, що поєднує розвинений набір команд і 32 регістри загального призначення. Усі 32 регістри безпосередньо підключені до арифметико-логічного пристрою (АЛП), що дає доступ до будь-яких двох регістрів за один машинний цикл. Така архітектура забезпечує десятикратний вигравш в ефективності коду порівняно з

традиційними CISC мікроконтролерами. Atmega16 пропонує наступні можливості:

- 16 кБ завантажувальної флеш-пам'яті;
- 512 байт EEPROM;
- 32 * 8 робочих регістрів;
- 32 ліній вводу / виводу загального призначення;
- настраюються таймери / лічильники з режимом співпадіння;
- зовнішні та внутрішні переривання;
- вбудований генератор;
- програмований універсальний послідовний порт;
- трьохканальний ШПМ;
- 8 - канальний 10 - бітний АЦП;
- вбудований аналоговий компаратор;
- сторожовий таймер.

Atmega16 є потужним мікроконтролером, який дозволяє створювати досить гнучкі й ефективні по вартості пристрої. Мікроконтролер живиться постійною напругою 4,5-5,5 В, робоча частота 0-16 МГц.

Розпіновка мікроконтролера зображена на рисунку 3.2.

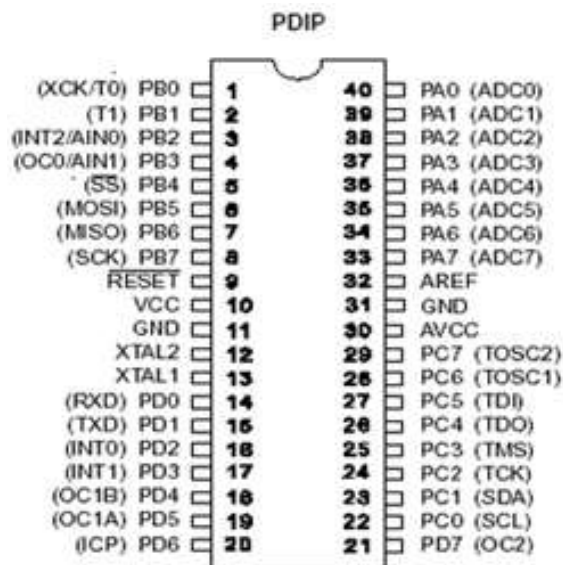


Рисунок 3.2 - Терморегулятори мікроконтролера
Atmega16

Нижче наведено опис виводів мікроконтролера Atmega16.

VCC - висновок джерела живлення

GND - земля

Port A (PA7..PA0). Порт А - це 8-розрядний двонаправлений порт введення-виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами до плюса (вибираються окремо для кожного розряду). Вихідні буфери порту А мають симетричну вихідну характеристику з однаковими вхідними і вихідними струмами. При введенні, лінії порту А діють як джерело струму, якщо ззовні діє низький рівень і увімкнені підтягуючі резистори.

Port B (PB7..PB0). Порт В - це 8-розрядний двонаправлений порт введення-виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами до плюса (вибираються окремо для кожного розряду). Вихідні буфери порту В мають симетричну вихідну характеристику з однаковими вхідними і вихідними струмами. При введенні, лінії порту В діють як джерело струму, якщо ззовні діє низький рівень і увімкнені підтягуючі резистори. Виводи порту В знаходяться у третьому (високоімпедансному) стані при виконанні умови скидання, навіть якщо синхронізація не запущена.

Port C (PC7..PC0). Порт С - це 8-розрядний двонаправлений порт введення-виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами до плюса (вибираються окремо для кожного розряду). Вихідні буфери порту С мають симетричну вихідну характеристику з однаковими вхідними і вихідними струмами. При введенні, лінії порту С діють як джерело струму, якщо ззовні діє низький рівень і увімкнені підтягуючі резистори. Виводи порту С знаходяться у третьому (високоімпедансному) стані при виконанні умови скидання, навіть якщо синхронізація не запущена.

Port D (PD7..PD0). Порт D - це 8-розрядний двонаправлений порт введення-виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами до плюса (вибираються окремо для кожного розряду). Вихідні буфери порту D мають симетричну вихідну характеристику з однаковими вхідними і вихідними

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

струмами. При введенні, лінії порту D діють як джерело струму, якщо ззовні діє низький рівень і увімкнені підтягуючі резистори. Виводи порту D знаходяться у третьому (високоімпедансному) стані при виконанні умови скидання, навіть якщо синхронізація не запущена.

RESET. Вхід скидання. Утримання на вході низького рівня протягом двох машинних циклів (якщо працює тактовий генератор) скидає пристрій.

XTAL1. Вхід інвертуючого підсилювача генератора та вхід зовнішнього тактового сигналу.

XTAL2. Вихід інвертуючого підсилювача генератора.

AVCC. Живлення аналогових частин мікроконтролера.

AREF. Вхід підключення джерела опорної напруги АЦП.

3.3.2 Драйвер двигунів

Для керування приводами необхідний підсилювач потужності, оскільки:

1. Рівень струму, що надходить з порту мікроконтролера (близько 200 мА), занадто малий для роботи приводів.
2. Напруга живлення електроприводів значно перевищує те, що може забезпечити мікроконтролер.
3. Електропривод є індуктивним навантаженням, тому безпосереднє підключення мікроконтролера до приводу може призвести до індуктивних викидів.

Як підсилювач потужності використовуватимемо двонаправлений драйвер двигунів постійного струму MoviPower Lite компанії Movicom (рисунки 3.3, 3.4, табл.3.2, 3.3).

Основні переваги драйвера включають:

1. Високий рівень потужності, що дозволяє ефективно керувати електроприводами.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2. Здатність працювати з великими струмами та високими напругами, необхідними для електроприводів.

3. Захист від індуктивних викидів, що забезпечує стабільну роботу системи.

4. Компактність і зручність інтеграції в загальну конструкцію системи.

5. Висока надійність і тривалий термін служби.

Драйвер MoviPower Lite є оптимальним рішенням для реалізації автоматичного керування приводами в нашій системі.

- робоча напруга: 5.5 ÷ 36 В;
- робочий струм: до 8 А;
- піковий струм: до 30 А;
- частота ШІМ (макс.): 20 кГц;
- регулювання заднього ходу;
- захист від перевантаження по струму і від перегріву;
- сплячий режим.

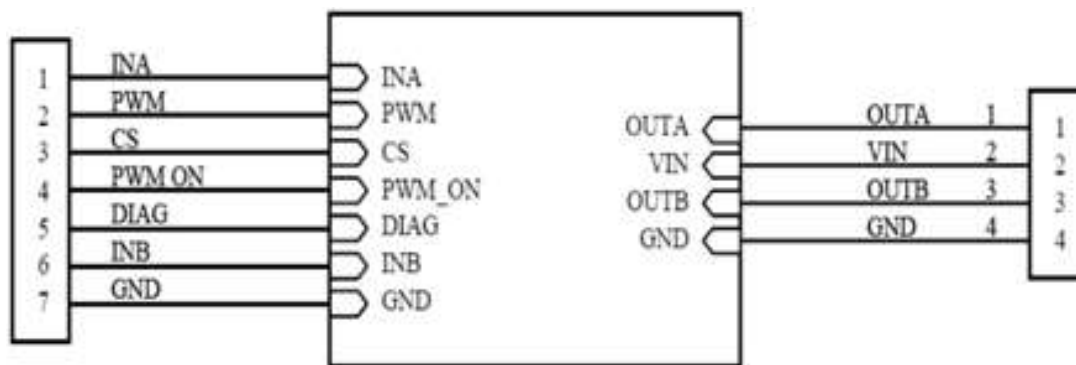


Рисунок 3.3 – Розпіновка роз'ємів підключення драйвера

Таблиця 3.2 –Сигнали керування, живлення і вихідні сигнали драйвера

INA	Перший вхід керування напрямком руху
PWM	Сигнал ШІМ (Широтно-імпульсної модуляції)
CS	Струмний сигнал пропорційний струму на двигуні
PWM_ON	Сигнал включення драйвера (1-включений, 0-сонний режим пониженого споживання)
DIAG	Сигнал перевантаження (1-нормально, 0-перевантаження)
INB	Другий вхід керування рухом
GND	Мінус живлення
OUTA	Від’ємний вихід на двигун
VIN	Плюс живлення (від +5,5 до 36В)
OUTB	Позитивний вихід на двигун
GND	Мінус живлення

Таблиця 3.3 - Істинності роботи драйвера (В - низький сигнал, Н високий сигнал)

NBA	INB	OUTA	OUTB	Коментарій
1	1	В	В	Гальмування, обмотки двигуна закорочені через плюс
1	0	В	Н	Рух за годинниковою стрілкою
0	1	Н	В	Рух проти годинникової стрілки
0	0	Н	Н	Гальмування, обмотки двигуна закорочені через мінус

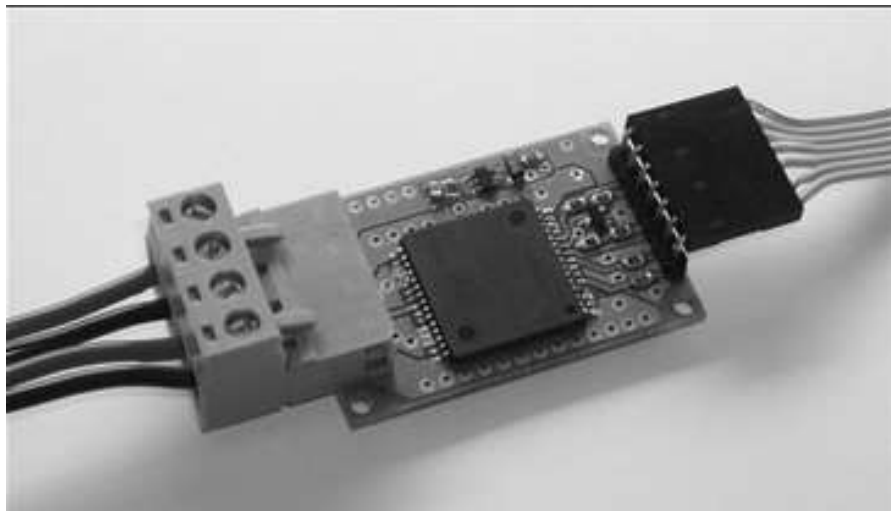


Рисунок 3.4 –Драйвер двигуна постійного струму Movipower

3.3.3 Датчики рівня освітленості

Як датчики рівня освітленості використовуватимемо датчики APDS-9002/3 із серії ALPS, які виробляє компанія Avago Technologies. Ці датчики створені на основі фотодіода (або фототранзистора) з максимальною спектральною чутливістю, що збігається з максимальною чутливістю людського ока, яка становить 550 нм. Завдяки цьому, датчики перевершують аналогічні виробни інших типів. На рисунку 3.5 (табл. 3.4) представлені характеристики чутливості датчиків ALPS та кремнієвих датчиків рівня освітленості залежно від джерела освітлення: флуоресцентна лампа, лампа розжарювання та галогенні лампи.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
50

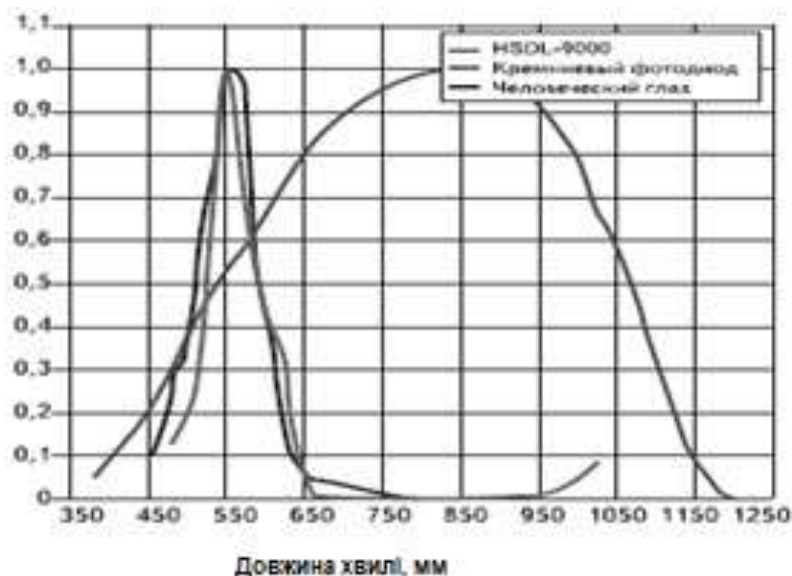


Рисунок 3.5 – Залежність чутливості датчиків від довжини хвилі⁴³

Таблиця 3.4 - Характеристики чутливості датчиків ALPS і кремнієвих датчиків рівня освітленості

Властивості	Фотодіод HSDL-9000	Кремнієвий фотодіод	Фототранзистор	LDR
Темновий струм	Низький (менше 1 мА)	Низький (менше 1 мА)	Середній (декілька мкА)	Середній/Високий (темновий опір від декількох кОм до декількох МОм)
Підсилення по струму	Ні	Ні	Да	Да
Споживана потужність	Незначна	Незначна	Середня	Середня/Велика
Час відклику	Малий (десятки мікросекунд)	Малий (десятки мікросекунд)	Середній (сотні мікросекунд)	Великий
Лінійність фотовідклику	Відмінна	Відмінна	Середня	Середня
Режим роботи	Фотонапруга або фотопровідність	Фотонапруга або фотопровідність	Фотопровідність	Фотопровідність
Спектральна чутливість	Вузький спектр з піком біля максимуму чутливості людського ока	Широкий спектр	Широкий спектр	Широкий спектр

Найбільш оптимальним за параметрами є датчик APDS-9002/3. Він, як і всі пристрої цієї серії, оптимізований під криву видимості людського ока, має аналоговий вихід і відмінну лінійність фотоструму в широкому діапазоні від 10

лк до 1 клк, низьку зміну чутливості залежно від різних джерел світла, напругу живлення від 2,2 В до 5,4 В, індустріальний температурний діапазон від -40 до +85 градусів Цельсія. Датчик також виконаний у мініатюрному недорогому корпусі для поверхневого монтажу chipLED (рисунок 3.6). Типова схема підключення датчика APDS-9002/3 наведена на рисунку 3.7. Діапазон зміни фотоструму від 10 до 400 мкА при зміні рівня освітленості до 600 лк.


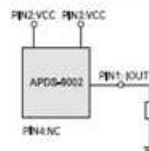
Параметр	APDS-9002/3
Размер (в×ш×д), мм и тип корпуса	APDS-9002: 0,8×2,00×1,25 APDS-9003: 0,55×1,6×1,5 стандартный chipLED
Вид	
Схема	
Тип выходного сигнала	аналоговый
Напряжение питания, В	2,4–5,5
Рабочая температура, °С	-40...+85
Ток	Темновой ток: 160 нА (тип.) Световой ток: 10 мкА до 400 мкА 250 мкА (тип.) при 100 Люкс

Рисунок 3.6 - Характеристики датчиків APDS-9002/3

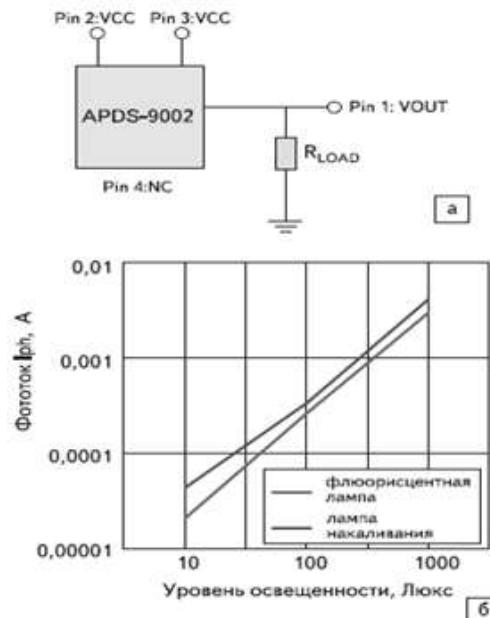


Рисунок 3.7 –Типова схема включення датчика рівня освітленості APDS – 9002/3 і графік залежності фотоструму від рівня його освітленості

3.3.4 Кінцеві датчики

В якості кінцевих датчиків будемо використовувати вимикачі серії Z компанії OMRON (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 - Кінцевий вимикач в базовому пластмасовому корпусі

Базові вимикачі серії Z у пластиковому корпусі забезпечують такі ж електричні та механічні характеристики, а також термін служби, як і стандартні кінцеві вимикачі. Водночас, базовий пластиковий корпус робить ці вимикачі ідеальним рішенням з оптимальним співвідношенням ціна-якість для застосування в безпечних середовищах або для окремої установки в компоновальних вузлах.

Переваги:

1. Недорогий пластиковий корпус, ідеальний для установки в компоновальних вузлах.
2. Такі ж електричні та механічні характеристики, як і у стандартних кінцевих вимикачів.

3.3.5 Рідкокристалічний індикатор

Для контролю кута повороту валу приводу вертикального обертання під час роботи установки передбачений ЖК-індикатор. Він має відображати частоту збурюючого впливу та значення одержуваних прискорень. У даній роботі

Таблиця 3.6 – Команди контролера HITACHI - HD44780U

R/S	R/W	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Команда	Код команди
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	5	14	13	12	11	10	9	8	7	Вхід/вихід даних	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Очищення дисплея	0x01
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Переміщення курсора в лівий кут (Home)	0x02 0x03
0	0	0	0	0	0	0	1	ID	S	Напрямок переміщення курсора	0x04 0x05 0x06 0x07
0	0	0	0	0	0	1	DE	C	B	Включення, виключення дисплея, курсора	0x08 0x0F
0	0	0	0	0	1	Sc	RL	*	*	Зміщення курсора/зсув зображення	0x100x1F
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Вибір режимів роботи	0x20 0x3F
0	0	0	1	A	A	A	A	A	A	Вибір позиції курсора в області символу	0x40 0x7F
0	0	1	A	A	A	A	A	A	A	Вибір позиції курсора на екрані	0x80 0xFF
0	1	BF	*	*	*	*	*	*	*	Флажок зайнятості	
1	0	D	D	D	D	D	D	D	D	Записати код символу	
1	1	D	D	D	D	D	D	D	D	Рахувати 5 код символу	

* - стан бітів байдужий;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

ID - якщо біт = 1, то після запису символу курсор переміщується на наступну позицію;

S - якщо біт = 1, то зображення зміщується;

DE - включити/виключити дисплей;

C - включити/виключити курсор;

V - включити/виключити миготіння курсору;

Sc - включити/виключити режим зсуву зображення на екрані;

RL - напрямок зсуву курсора (0 - вліво, 1 - вправо);

DL - розрядність даних (0 - 4-х розрядні, 1 - 8-ми розрядні);

N - число рядків на екрані (0 - одна, 1 - дві);

F - розмір символів (0 - 5x7, 1 - 5x10);

A - адреса;

D - дані;

BF - дорівнює 1, якщо РКІ зайнятий виконанням операції.

3.3.6 Енкодер

Використаємо інкрементний енкодер ECW1J-B28-BC0024L компанії Bourns (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 - Інкрементний енкодер ECW1J-B28-BC0024L
компанії Bourns

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
56

3.4 Принципова схема пристрою

З урахуванням обраних компонентів будемо проектувати керуючу плату. Її принципова схема зображена на рисунку 3.10 (ліст [БРМА24.00.00.000Е3]).

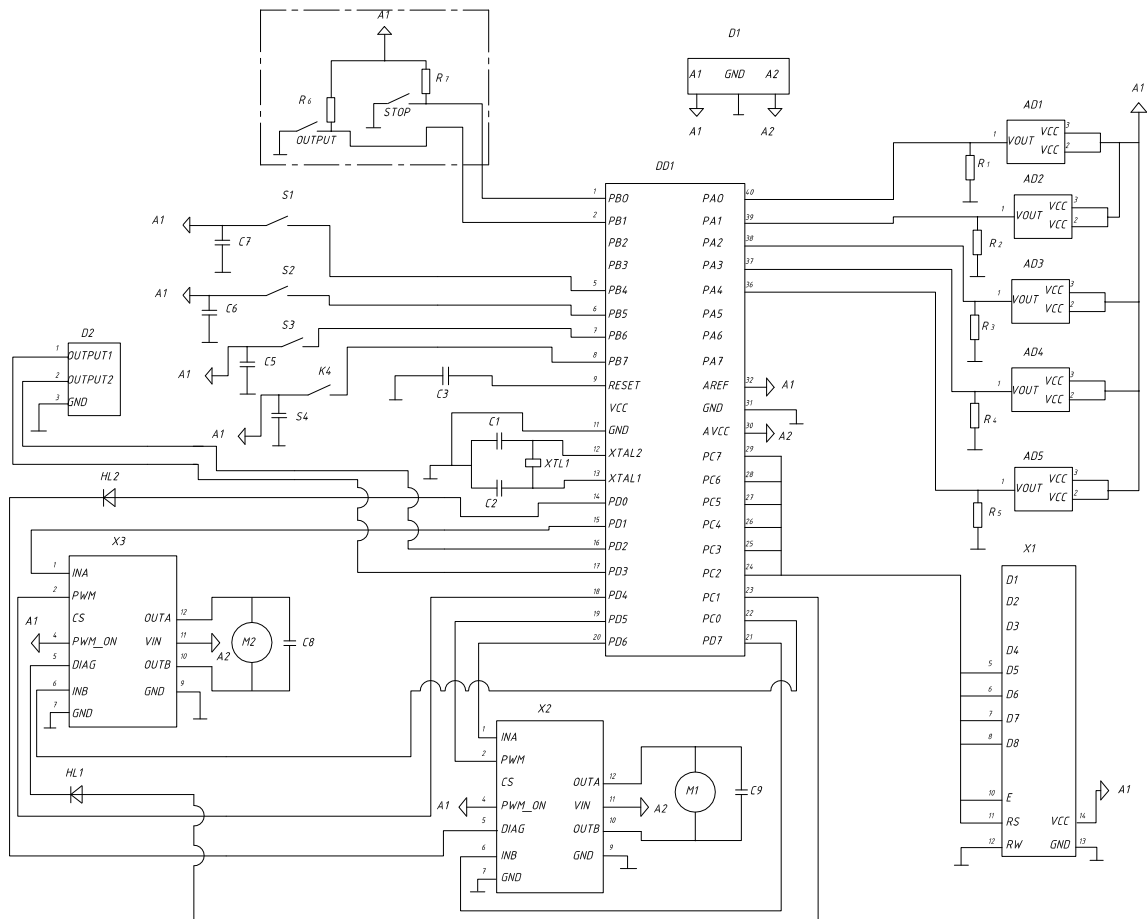


Рисунок 3.10 - Принципова схема керуючої плати

Список компонентів схеми:

- D1 - роз'єми живлення на 24 і 5 В;
- D2 - інкрементний енкодер ECW1J-B28-BC0024L;
- DD1 - мікроконтролер ATmega16;
- X1 - рідкокристалічний індикатор HITACHI - HD44780U;
- X2, X3 –драйверні схеми Movi Power Lite;

AD1, AD2, AD3, AD4, AD5 – датчики рівня освітленості APDS - 9002/3;
S3, S4, S5, S6 – кінцеві датчики;
M1, M2 - електродвигуни;
XTL1 - кварцевий резонатор на 8МГц;
R1, R2, R3, R4, R5 - резистори на 220 Ом;
R6, R7 – резистори на 4,7 кОм;
C1, C2 – конденсатори по 22 пФ;
C3 – конденсатор на 0,1 мкФ;
C4, C5, C6, C7 – конденсатори по 47 мкФ;
HL1, HL2 – світлодіоди.

3.5 Алгоритми керування пристроєм

З урахуванням усіх технічних деталей спроектованої цифрової системи автоматичного керування [4], ми розробимо алгоритм для керуючої програми (рисунок 3.11). Давайте детальніше описати процес обробки даних з датчиків рівня освітленості.

Спочатку система зчитує дані з горизонтальної пари датчиків, які регулюють обертання вздовж вертикальної осі (рисунок 3.26). Якщо дані з датчиків збігаються, платформа правильно орієнтована відносно вертикальної осі, а кут відхилення менший за 10° . У разі різниці між показниками датчиків визначається їх дисбаланс, і залежно від знака цієї різниці мікроконтролер видає сигнал на привод вертикального обертання для корекції позиції, чи то прямий, чи реверсивний. Цей процес повторюється доки різниця між показаннями датчиків не стане нульовою.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

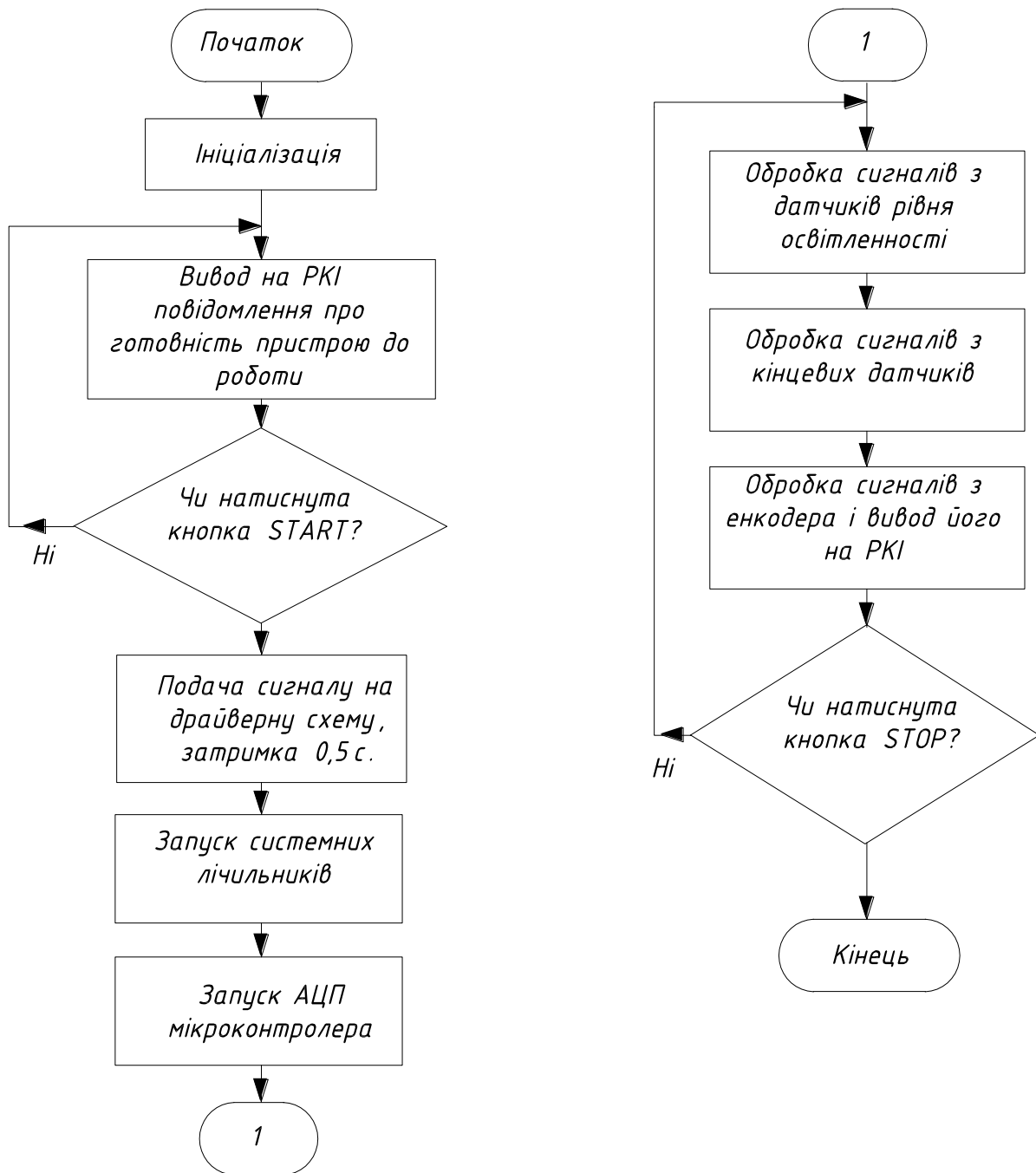


Рисунок 3.11 - Алгоритм функціонування керуючої програми

Далі відбувається налаштування в горизонтальній площині, що виконується за аналогічним принципом (рисунок 3.12). В цьому випадку зчитування даних проводиться з вертикальної пари датчиків. Процес наведення завершується, коли різниця в показаннях цих датчиків зрівнюється з нулем.

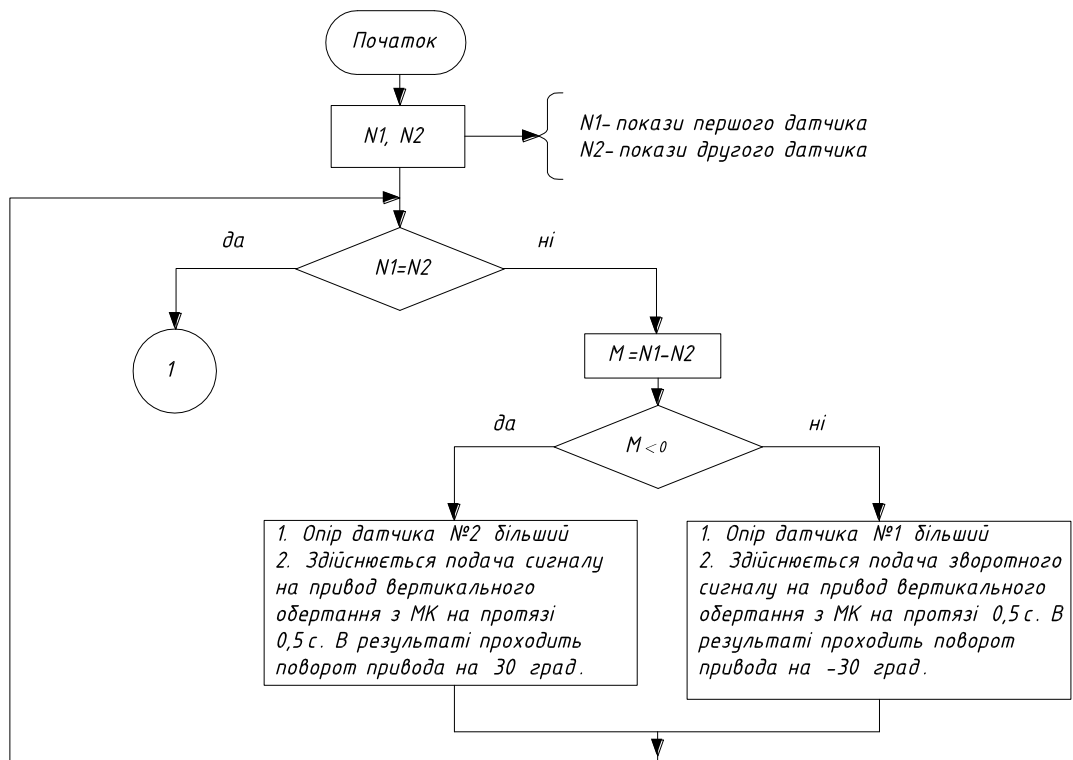


Рисунок 3.12 - Алгоритм наведення пристрою у вертикальній площині

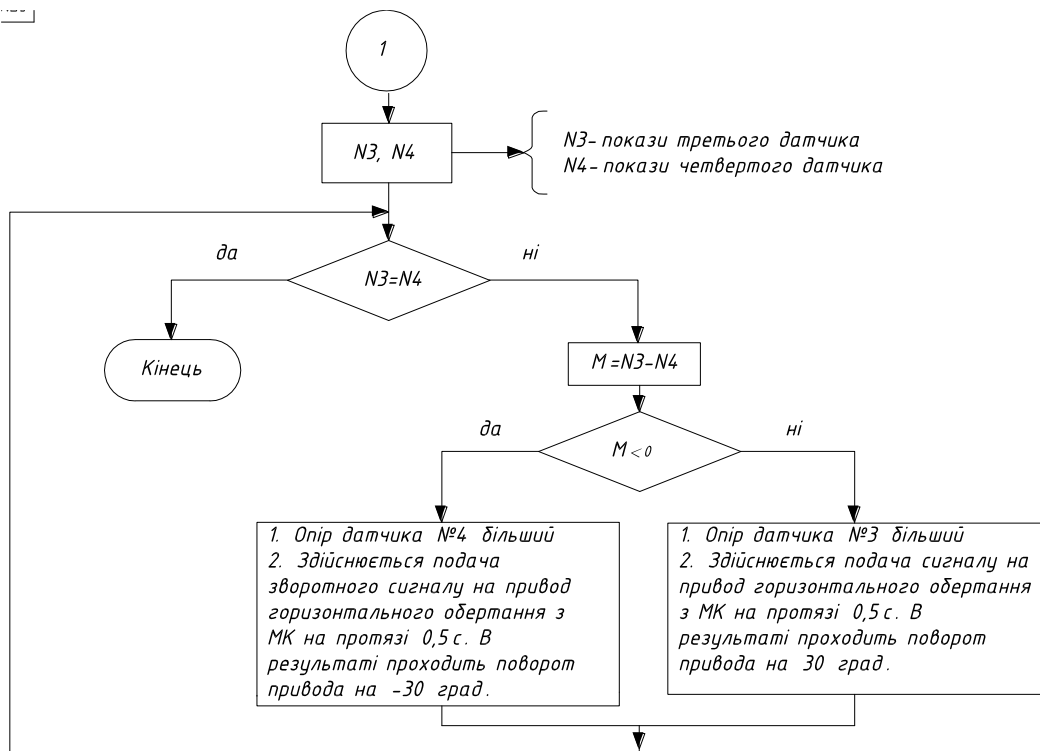


Рисунок 3.13 - Алгоритм наведення пристрою в горизонтальній площині

3.6 Висновки до третього розділу

У цьому розділі проведені розрахунки, які демонструють функціональність запропонованої конструкції. Було виконано підбір електродвигуна і електронних компонентів. Також розроблена принципова схема пристрою і алгоритм його керування.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В першому розділі було проведено огляд існуючих конструкцій пристроїв для повороту сонячних батарей, виявлено їх недостатки. На основі даного огляду було визначено пристрій, який взятий за прототип і було визначено задачі для вирішення.

В другому розділі було здійснено розробку пристрою для повороту сонячних батарей. Розроблено кінематичну, функціональну та структурну схеми.

В третьому розділі здійснено розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції. Проведено розрахунок та здійснено вибір електродвигуна, електронних компонентів, Розроблено принципову схему пристрою та алгоритм керування ним.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.
2. Попович М.Г., Ковальчук О.П., Теорія автоматичного керування. – К.: Либіль, 2007. – 656с.
3. МЕХАТРОНІКА (мехатроніка та інтелектуальна автоматика): навчальний посібник – Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. – 342с.
4. Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі [Електронний ресурс]. Режим доступу:
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskyj_elektronni_systemy/44.htm
5. Цифрові системи керування електротехнічними комплексами [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/svoclo>.
6. Патент на корисну модель № 154008. Автоматизована сонячна установка. Сігорських С.В. Дата публікації відомостей про видачу патенту 27.09.2023.
7. Компанія DomusRapide [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://domusrapide.com.ua>.
8. Датчики освітленості (фотореле) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://e27.com.ua/category/twilight-sensors>.
9. Поворотний пристрій слідкування за сонцем [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://alternative-energy.com.ua/uk/povorotnij-pristrij-slidkuvannya-za-sonczem/>
10. Система стеження за сонцем ST1500 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://greenchip.com.ua/0-0-196-1.html>
11. Програмне забезпечення взаємодії мікроконтролера та ЕОМ у складі лабораторного стенда з дослідження функціонування сонячних панелей [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/323731391_Programne_zabezpecenna_vzae

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		