

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Пристрій керування трекером сонячної панелі

Назва теми

КвРАКІТ. 2020046.01.02.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент 4 курсу, група АКІТ-20-1

  
Підпис

Віталій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

д-р техн. наук, проф.

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації,  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«24» червня 2024 р.

Хмельницький 2024

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою АКТІТІР Р

В. Мартинюк  
«10» 01 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ





Мартинюк Віталій Богданович

- 1 Тема роботи: Пристрій керування трекером сонячної панелі  
керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н, професор  
Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №8.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2024р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина.  
Розробка програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі.  
Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу: 11 презентаційних слайдів.

Завдання отримав \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдань « 10 » 01 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	15.03.2024р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2024р.	Виконано
4	Розробка програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі	10.05.2024р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2024р.	Виконано

Студент

  
Підпис

  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

  
Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Пристрій керування трекером сонячної панелі».

Автор роботи: Мартинюк Віталій Богданович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 67 с., 37 рис., 1 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

### ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ, ТРЕКЕР СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ, ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка пристрою керування трекером сонячної панелі, який використовується для наведення поверхні сонячної панелі під кутом  $90^\circ$  до сонячного випромінювання, шляхом розробки алгоритму взаємодії програмованого логічного контролера із двигуном постійного струму в реальному масштабі часу.

Розроблено та промодельовано пристрій керування трекером сонячної панелі. Розроблено контуру керування двигуном постійного струму трекера сонячної панелі, що використовує зворотний зв'язок із застосуванням енкодера та пропорційно-інтегрального контролера. Керування трекером сонячної панелі виконується за допомогою програмованого логічного контролера, який широко використовується в промислових системах керування. Виконано аналіз продуктивності та ефективності розробленого пристрою керування трекером сонячної панелі.

  
Підпис студента

03.06.2024  
Дата

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .	6
1.1. Особливості трекара сонячної панелі.....	6
1.2. Автоматизований процес відстеження позиції сонця .....	9
1.3. Висновки до першого розділу .....	18
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА .....	19
2.1. Математична модель двигуна трекара сонячної панелі .....	19
2.2. Визначення параметрів моторедуктора ME241 .....	25
2.3. Розробка пристрою керування трекаром сонячної панелі .....	34
2.4. Висновки до другого розділу .....	40
3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ ТРЕКАРОМ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ .....	41
3.1. Алгоритм роботи пристрою керування трекаром сонячної панелі.....	41
3.2. Розробка програми роботи пристрою керування трекаром сонячної панелі .....	48
3.3. Висновки до третього розділу.....	57
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	59
Додатки.....	65

КРБАКІТ. 2020046.01.02.ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Мартинюк В.Б.		29.06.24р.
Перевір		Мартинюк В.В.		27.06.24р.
Т.Конт				
Н.контр.		Корецька Л.О.		27.06.24р.
Затвер.		Мартинюк В.В.		27.06.24р.
Пристрій керування трекаром сонячної панелі Пояснювальна записка				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		у	2	64
ХНУ, АКІТ-20-1				

## ВСТУП

Актуальність теми. Трекер сонячної панелі - це пристрій, який відстежує рух сонця протягом дня для максимальної енергоефективності сонячної панелі.

Трекер сонячної панелі розташовує сонячну панель перпендикулярно до променів сонця. Цього можна досягти за допомогою двох різних підходів: контролерів із замкнутим і розімкнутим контуром керування.

Системи із замкнутим контуром керування (контролери зі зворотним зв'язком) зазвичай використовують датчики освітленості для визначення поточного положення сонця. Однак проблеми виникають, коли система працює в умовах низької інсоляції, наприклад, у похмурі дні або на світанку; трекери починають плутатися, оскільки датчики не отримують надійних даних.

З іншого боку, контролери з розімкнутим контуром керування не використовують датчики, натомість покладаючись на заздалегідь визначений набір даних про положення сонця, щоб керувати рухом панелі.

Актуальність роботи обумовлена розробкою автоматизованого трекера сонячної панелі, який розташовує сонячну панель перпендикулярно до променів сонця.

Метою роботи є розробка автоматизованого трекера сонячної панелі, який розташовує сонячну панель перпендикулярно до променів сонця, шляхом розробки алгоритму взаємодії програмованого логічного контролера системи керування та електричних двигунів трекера в реальному масштабі часу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- розробити структурну схему керування трекера сонячної панелі;

- розробити алгоритм роботи трекера сонячної панелі;
- розробити програму роботи трекера сонячної панелі.

Об'єктом дослідження є процес керування трекером сонячної панелі.

Предметом дослідження є системи автоматичного керування трекером сонячної панелі.

Практична значимість отриманих результатів:

У роботі розроблено трекер сонячної панелі та програмне забезпечення його роботи. Використання автоматизованого трекера сонячної панелі дозволяє підвищити ефективність перетворення сонячної енергії в електричну енергію.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 1 додатку. Загальний обсяг роботи складає 64 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 37 рисунки, список використаних джерел вміщує 40 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: особливості автоматизованого трекера сонячної панелі, автоматизований процес керування трекером сонячної панелі.

У другому розділі розглянута математична модель автоматизованого трекера сонячної панелі, розроблено імітаційну модель автоматизованого трекера сонячної панелі.

У третьому розділі розроблено структурну схему автоматизованого трекера сонячної панелі, розроблено пропорційно-

диференційний регулятор автоматизованого трекера сонячної панелі,  
розроблено програму роботи автоматизованого трекера сонячної панелі.

					КРБАКІТ. 2020046.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1 Особливості трекара сонячної панелі

Дослідження трекара сонячної панелі проводяться вже більше п'ятдесят років з моменту їх початку. Перший успішний трекара сонячної панелі був створений у 1968 році [1]. Однак це був пасивний сонячний трекара.

Це був немоторизований трекара на стовпі, який використовував холодоагент і рефлектори з алюмінієвих каналів для переміщення фотоелектричних панелей у бік сонця. Очікувалося вивести цей трекара сонячної панелі на комерційний ринок протягом 1970 року, але ідея не втілювалася в життя.

Протягом десятиліття розвиток у галузі фоточутливих елементів породив концепцію активного сонячного трекара. У 1977 році ARCO Solar почала виробництво сонячних панелей у відповідь на нафтову та енергетичну кризу.

Перші великомасштабні сонячні трекари були побудовані в 1983 році на рівнинах Каррізо в Каліфорнії. ARCO орендувала землю на рівнинах Каррізо та збрала дві складно сконструйовані та керовані фотоелектричні станції із двоосьовим трекаром загальною потужністю 5,2 МВт [2].

Однак електроенергія з цих станцій продавалася в мережу лише за 0,04 долара за кіловат-годину. Оскільки ці сонячні електростанції були економічно не вигідними, їх зрештою розпродали та розібрали.

У 1980-х роках ідея оптично керованого сонячного трекера стала реальністю, але дослідження щодо його розробки разом із комерційним виробництвом все ще тривають.

Протягом 1990-х років дослідження сонячних трекерів повністю зосередилися на електрооптичних датчиках. Ключовими датчиками були фотопровідники, фототранзистори та фотодіод. Однак з'явилася також ідея використання сонячної батареї для визначення інтенсивності випромінювання. Але технологія сонячних батарей на той час не була розроблена. Крім того, такий датчик був у багато разів дорожчим за інші доступні датчики.

З 1995 року до теперішнього часу велика кількість людей проводили дослідження одноосьового та двоосьового відстеження Сонця. Через механічні труднощі двоосьового сонячного трекера дослідники зосередилися на одноосьовому сонячному трекері.

Одноосьовий трекер того часу мав три фотосенсиори, два датчики зі схемою компаратора для визначення положення, а третій для вимірювання рівня освітленості. Для керування двигуном використовувався Н-міст.

З появою мікропроцесора схему управління зробили інтелектуальною. Двоосьове відстеження також використовувало ту саму технологію, і її широкі дослідження почалися з 2002 року. Останнім часом сонячні батареї замінюють традиційні датчики для сонячних трекерів.

На основі обертання сонячних модулів активні сонячні трекери можна класифікувати на два основні типи: одноосьові та двоосьові.

У одноосьових трекерах (ООТ) сонячні фотоелектричні панелі обертаються навколо однієї осі, яка зазвичай узгоджується з північним

меридіаном. ООТ можна конфігурувати кількома способами відповідно до положення осі відносно землі:

- нахилений одноосьовий трекер (НООТ);
- горизонтальний одноосьовий трекер (ГООТ);
- вертикальний одноосьовий трекер (ВООТ).

ООТ дозволяє сонячним модулям обертатися зі сходу на захід відповідно до положення Сонця. ООТ забезпечує достатньо хороший баланс між гнучкістю, простотою та продуктивністю. Різні конфігурації ООТ показано на рисунку 1.1 [3].

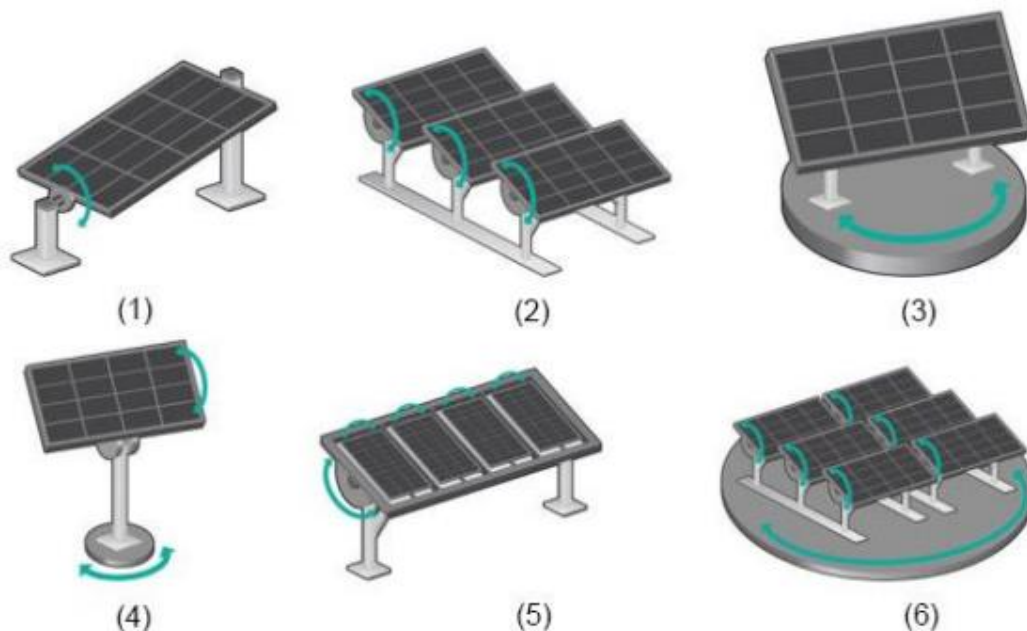


Рисунок 1.1 - Типові конфігурації активних систем відстеження сонячних променів [3]:

- 1 - нахилений одноосьовий трекер (НООТ);
- 2 - горизонтальний одноосьовий трекер (ГООТ);
- 3 - вертикальний одноосьовий трекер (ВООТ);
- 4 - вертикальний нахилений двоосьовий трекер (ВНДОТ);
- 5 - горизонтальний двоосьовий трекер (ГДОТ);
- 6 - азимутно-висотний двоосьовий трекер (АВДОТ)

Двоосьовий трекер (ДОТ) можна вважати модернізацією ООТ, де свобода руху розширена за двома окремими напрямками. На рисунку 1 також показано три типові конфігурації ДОТ:

- вертикальний нахилений двоосьовий трекер (ВНДОТ);
- горизонтальний двоосьовий трекер (ГДОТ);
- азимут-висота двовісний трекер (АВДОТ).

Необхідно чітко розуміти термін ефективність у контексті вдосконалення системи стеження. У цьому випадку це означає, як трекер може використовувати фотоелектричні модулі найкращим чином, враховуючи, що використовується певний тип фотоелектричних модулів.

Звичайно, ДОТ не можуть підвищити ефективність перетворення сонячної енергії в електричну фотоелектричних матеріалів, але такі системи допомагають отримати найкращий рівень поглинання сонячного випромінювання.

## 1.2 Автоматизований процес відстеження позиції сонця

У 1975 році компанія McFee представила одну з перших автоматичних систем стеження за Сонцем [4-7], в якій був розроблений алгоритм для обчислення сумарної отриманої потужності і розподілу щільності потоку в сонячній енергетичній системі центрального приймача [4].

Розділивши кожне дзеркало на 484 елементи і додавши внески всіх елементів, можна визначити положення Сонця з допустимим відхиленням похибки відстеження 0,5 – 1.

Кілька років потому Семма та Імамру використали простий мікропроцесор для адаптивного налаштування положення сонячних

колекторів у фотоелектричному концентраторі таким чином, щоб вони постійно були спрямовані на Сонце [7]. Розроблено також математичні теорії розподілу похибок відстеження для удосконалення алгоритмів визначення положення Сонця [8, 9].

У зв'язку зі швидким прогресом в області комп'ютерних технологій і систем управління в останні десятиліття, література в даний час містить багато складних систем відстеження сонця, призначених для максимізації ефективності сонячних теплових і фотоелектричних систем. У широкому сенсі ці системи можна класифікувати як системи із розімкнутим або замкнутим контуром керування.

Алгоритм з розімкнутим контуром керування базується на розрахунку азимута та кута висоти сонця на суто математичній основі астрономічних даних. Алгоритм з розімкнутим контуром керування необхідний, тому що сонце може бути закрите хмарами, усуваючи або спотворюючи сигнали зворотного зв'язку.

Замкнуті типи систем стеження за сонцем базуються на принципах керування зі зворотним зв'язком. У цих системах певна кількість взідних сигналів поступає на контролер від датчиків, які виявляють відповідні параметри, індуковані сонцем. Далі ці сигнали обробляються у контролері, а потім поступають на виходи.

У 1986 році Ахмедьяров [10] вперше збільшив вихідну потужність сонячної фотоелектричної станції в Казахстані з 357 Вт до 500 Вт, інтегрувавши станцію з автоматичною системою стеження за сонцем.

Кілька років по тому Мейш [11] розробив систему керування під назвою SolarTrak, щоб забезпечити відстеження сонця, нічне та аварійне зберігання, зв'язок і ручне управління приводом для одно- і двоосьових сонячних трекерів в недорогому, зручному для користувача корпусі.

Алгоритм керування використовував процедуру самовирівнювання на шість градусів і час спрацьовування двигуна, що саморегулюється, щоб підвищити як точність наведення, так і надійність системи. Експериментальні результати показали, що система керування дозволила досягти точності наведення протягом цілого дня вище  $\pm 0,1$ .

У 1992 році Агарвал [12] представив двоосьову систему відстеження, що складається з черв'ячних передач і чотирьох кінематичних зв'язків стержневого типу для полегшення точного фокусування відбивачів в системі сонячних концентраторів.

У тому ж році Енслін [13] застосував принципи відстеження точки максимальної потужності (ТМП) для реалізації силового електронного перетворювача для перетворення вихідної напруги сонячної панелі в необхідну напругу шини акумулятора постійного струму.

Система ТМП складається з двох основних компонентів: перетворювача режимів перемикання і секції управління/стеження. Імпульсний перетворювач є ядром всієї системи і дозволяє отримувати енергію з одного потенціалу, зберігати її у вигляді магнітної енергії в котушці індуктивності, а потім вивільняти з іншим потенціалом.

Налаштувавши секцію перемикання в різних топологіях, можна сконструювати перетворювачі високої або низької напруги. Мета системи ТМП полягає в тому, щоб забезпечити фіксовану вхідну напругу та/або струм, таким чином, щоб сонячна панель утримувалася в точці максимальної потужності, дозволяючи при цьому вихідній напрузі відповідати напрузі акумулятора.

У [14] перетворювач був керований для відстеження точки максимальної потужності джерела вхідного сигналу при змінних вхідних і вихідних параметрах і показав, що він забезпечує мінімальну економію вхідного джерела в розмірі 15% для систем 3-5 кВт-год/добу.

Браун і Стоун [15] розробили систему стеження за сонячними концентраторами, в якій нейронна мережа була застосована до моделі помилок з метою компенсації помилок відстеження. Дані випробувань показали, що отримана система здатна зменшувати похибку відстеження до значення менше 0,01 (0,2 мрад).

Калогіроу [16] представив одноосьову систему стеження за сонцем з використанням трьох світло залежних резисторів (СЗР). Перший LDR виявляв стан фокусування колектора, тоді як другий і третій СЗР були розроблені для встановлення наявності (або відсутності) хмарного покриву та розрізнення дня та ночі відповідно.

Вихідні сигнали від трьох СЗР подавалися на електронну систему керування, яка приводила в дію низько швидкісний двигун постійного струму напругою 12 В таким чином, щоб обертати колектор таким чином, щоб він залишався спрямованим до сонця.

У 1997 році Стоун і Сазерленд [17] представили багаторазову систему вимірювань, що включає понад 100 геліостатів для щогодинного відстеження положення Сонця з раннього ранку до пізнього вечора.

Хуа і Шен [18] порівняли ефективність відстеження сонячної енергії різних алгоритмів ТМП і застосували простий метод керування, який поєднував дискретну схему керування, часом і пропорційно-інтегральний (ПІ) контролер для відстеження ТМП сонячної батареї.

У 1998 році Халіфа і Аль-Мутаваллі [19] розробили двоосьову систему стеження за сонцем для підвищення теплових характеристик складного параболічного концентратора. Система була розроблена таким чином, щоб відстежувати положення Сонця кожні три-чотири хвилини в горизонтальній площині і кожні чотири-п'ять хвилин у вертикальній площині.

Ссистема стеження складалася з двох однакових підсистем, по одній для кожної осі, причому кожна підсистема складалася з двох сусідніх фототранзисторів, розділених перегородкою певної висоти.

Під час операції відстеження різниця сигналів напруги двох фототранзисторів була підсилена і використовувалася як командний сигнал для керування колектором навколо відповідної осі до тих пір, поки різниця напруг не зменшиться до нуля, що вказує на те, що сонячні промені знову стали нормальними для поверхні колектора.

Було показано, що система відстеження має енергоспоживання всього 0,5 Вт-год і дає поліпшення зібраної сонячної енергії приблизно на 75% в порівнянні з стаціонарним колектором еквівалентних розмірів.

Юсеф [20] розробив систему стеження за сонцем, в якій нелінійна динаміка механізму стеження контролювалася за допомогою алгоритму управління нечіткою логікою, реалізованого на ПК і підтримуваного сполучною картою, що складається з функції збору даних датчиків, схем приводу двигуна, кіл формування сигналу і послідовного зв'язку.

Кім [21] запропонував алгоритм управління контролера ТМП з розширеною інкрементною провідністю для визначення робочої точки фотоелектричної енергетичної системи, що піддається швидко мінливим рівням сонячної радіації.

Фалбел [22] представив орієнтовану на Сонце систему керування положенням у поєднанні з концентруючою сонячною панеллю для використання в супутнику. Сонячний датчик мав вигляд двоосьового аналогового пристрою, який вимірював розташування Сонця відносно його оптичної осі на основі диференціального сигналу, отриманого від квадрантного кремнієвого детектора, на якому було зображено круглу пляму, створену сонячним випромінюванням. Результати калібрування



автоматичним калібруванням дешевих датчиків сонячної вказівки на вихідну потужність масиву.<sup>o</sup>

У 2004 році Рот [26, 27] спроектував і побудував систему стеження за Сонцем, в якій піргеліометр використовувався для вимірювання прямої сонячної радіації. Керування системою здійснювалося за допомогою сервосистеми із замкнутим зворотнім зв'язком, що складалася з чотирьохквadrантного фотоприймача, щоб визначити положення Сонця.

Два невеликих двигуни постійного струму приводили в рух платформу приладу таким чином, щоб зображення Сонця залишалося в центрі чотириквadrантного детектора в будь-який час.

У тому ж році Беренгуель [28] розробив автоматичну систему управління корекцією зміщення геліостата на основі техніки штучного зору та обладнання загального пристрою із зарядовим зв'язком (ПЗЗ).

У запропонованому підході чорно-біла ПЗЗ-камера робила знімки Сонця, спроектовані з геліостатів, з роздільною здатністю 640×380 або 768×576 і надавала зображення в режимі реального часу на комп'ютер через фреймграббер з шиною PCI.

Потім зображення порівняли з еталонними зображеннями, на яких сонячні промені падали в нормальному напрямку на поверхню геліостата. Різниця між двома зображеннями була використана для обчислення командного сигналу, який потім передавався в систему управління геліостатом і використовувався для приведення в дію серводвигунів геліостата таким чином, що поверхні геліостата відновлювалися під кутом 90 градусів до сонячних променів.

Абдалла [29] досліджував відповідний вплив чотирьох різних електромеханічних систем стеження за сонцем на поточні, вольтні та енергетичні характеристики плоскої фотоелектричної системи.

Результати показали, що системи відстеження, які складаються з двох осей, однієї вертикальної осі, однієї осі схід-захід і однієї осі північ-південь, а також однієї осі північ-південь, збільшили вихідну потужність фотоелектричної системи приблизно на 43,87%, 37,53%, 34,43% і 15,69% відповідно, порівняно з тими, що були отримані від фотоелектричної системи з фіксованою поверхнею, нахиленою під кутом 32 на північ.

Аль-Мохамад [30] використовував програмований логічний контролер (ПЛК) для управління фотоелектричним модулем для стеження за випромінюванням Сонця. Було показано, що, збираючи та зберігаючи дані, пов'язані з сонячним випромінюванням, і використовуючи цю інформацію для керування фотоелектричним модулем, добова вихідна потужність фотоелектричної системи може бути збільшена більш ніж на 20% порівняно з отриманою від стаціонарного модуля.°

Айучі [31] представив простий фотодатчик стеження за Сонцем, призначений для забезпечення постійного напрямку відбитого сонячного випромінювання. У запропонованому пристрої дві фотокомірки були розміщені поруч на дні коробки з отвором.

Коли відбите сонячне випромінювання проходило через отвір, фотоелементи частково освітлювалися і виробляли електричний струм, пропорційний розміру освітлюваної площі.

Постійний напрямок відбитого сонячного випромінювання підтримувався простим контролем вихідних сигналів двох фотоелементів і регулюванням кута відбиття дзеркала в міру необхідності, щоб гарантувати, що два сигнали завжди залишаються рівними. Було показано, що отримана система досягла похибки відстеження менше 0,6 мрад у сонячний день.

У 2005 році Алата [32] розробив та змодельовав три системи відстеження Сонця, а саме:

- одновісне відстеження Сонця з нахиленою апертурою, що дорівнює куту широти;
- екваторіальне двовісне відстеження Сонця;
- відстеження Сонця за азимутом/висотою.

Для кожної системи стеження завдання моделювання та проектування контролерів виконувалися за допомогою системи нечіткого висновку Сугено першого порядку.

Крім того, інсоляційний інцидент на двовісній системі стеження за сонцем був визначений відповідно до нечітких правил якщо-то. Після генерації вхідних/вихідних даних було застосовано алгоритм субтрактивної кластеризації та схему оцінки найменших квадратів для створення набору нечітких правил, за допомогою яких можна передбачити сонячні кути за місцевим часом.

Нарешті, нечіткі правила були налаштовані за допомогою адаптивної інтерфейсної системи на основі нейронної нечіткої логіки і реалізовані в системі управління з відкритим контуром.

У 2007 році Кім [33] представив надійну систему ТМП на основі контролера ковзного режиму (ККР) для трифазної фотоелектричної системи, підключеної до мережі. Запропонована система складалася як з контролера ТМП, так і з контролера струму.

Контролер ТМП генерував опорний струм безпосередньо з інформації про потужність сонячної батареї, тоді як контролер струму використовував інтегральну схему ковзного режиму для забезпечення жорсткого контролю струму. Запропонована система продемонструвала надійну продуктивність відстеження за наявності як невизначеностей моделювання, так і варіацій параметрів.

### 1.3 Висновки до першого розділу

1. Прогрес в алгоритмах систем відстеження положення сонця дозволив в останні роки розробити багато сонячних теплових і фотоелектричних систем для різноманітних застосувань.

2. У порівнянні зі своїми традиційними аналогами з фіксованим положенням сонячних панелей, сонячні системи, які відстежують зміни траєкторії руху Сонця протягом дня, збирають набагато більшу кількість сонячної енергії і, отже, генерують значно більшу вихідну потужність.

3. Показано, що алгоритми стеження за сонцем можуть бути широко класифіковані як системи із замкнутим або розімкнутим контуром, залежно від способу керування.

4. Проаналізовані системи підтверджують ефективність використання трекерів сонячних панелей для широкого спектру високопродуктивних додатків на основі сонячної енергії.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Математична модель двигуна трекера сонячної панелі

В якості двигунів трекера сонячної панелі використаємо два моторредуктора ME241. Фотографія моторредуктора ME241 зображена на рисунку 2.1.



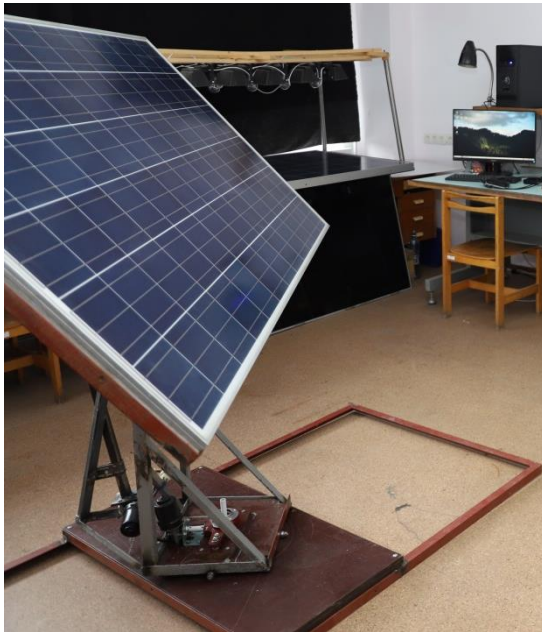
Рисунок 2.1 - Моторредуктор ME241

Основні параметри моторредуктора ME241:

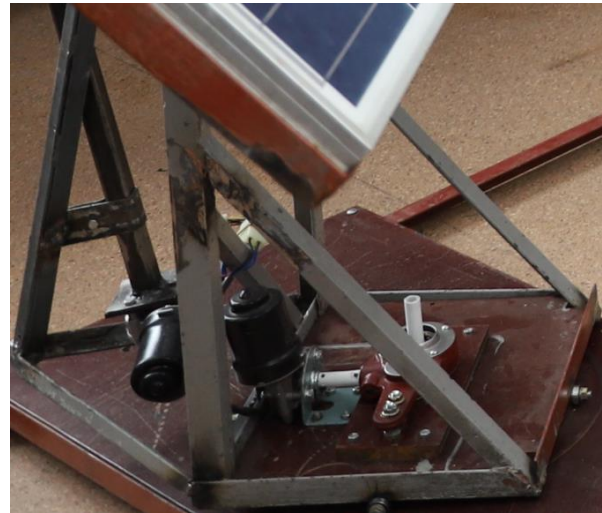
- номінальна напруга -12 В;
- номінальна потужність – 6 Вт;
- максимальний струм – 2,8 А;
- номінальна частота обертання на валу редуктора – 60 об/хв;
- коефіцієнт передачі черв'ячного редуктора 50:1;
- частота обертання на валу моторредуктора – 3000 об/хв;
- маса – 1,24 кг.

Фотографія трекера сонячної панелі із встановленими двома моторредукторами ME241 зображена на рисунку 2.2. Перший моторредуктор ME241 здійснює обертання сонячної панелі навколо

вертикальної осі обертання, а другий моторедуктор ME241 здійснює обертання сонячної панелі навколо горизонтальної осі обертання.



а)



б)

Рисунок 2.2 - Фотографія трекера сонячної панелі із встановленими двома моторедукторами ME241:

- а) загальний вигляд трекера сонячної панелі;
- б) збільшений вигляд моторедукторів ME241

Структурна схема системи керування кутом повороту сонячної панелі за допомогою моторедуктора ME241 зображена на рисунку 2.3. На вході системи встановлюється заданий кут повороту сонячної панелі  $\theta_3$ , а на виході маємо отриманий кут повороту сонячної панелі  $\theta_{II}$ .

Контролер виробляє сигнал керування, який поступає на блок живлення. На виході блоку живлення отримуємо напругу  $v_{я}(t)$ , яка подається на якір моторедуктора ME241.

Якір моторедуктора ME241 починає обертатися з кутовою частотою  $\omega_{я}(t)$  і створює крутний момент  $T_{я}(t)$ . Редуктор зменшує кутову

частоту обертання якоря в 50 раз, а крутний момент на валу панелі  $T_p(t)$  збільшується в 50 раз у порівнянні із крутним момент якоря  $T_a(t)$ .

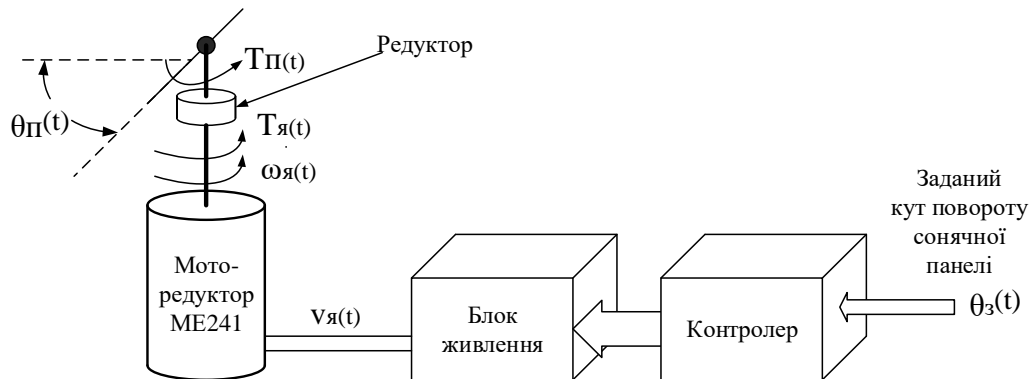


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи керування кутом повороту сонячної панелі за допомогою моторредуктора ME241

Еквівалентна схема заміщення моторредуктора ME241 зображена на рисунку 2.4.

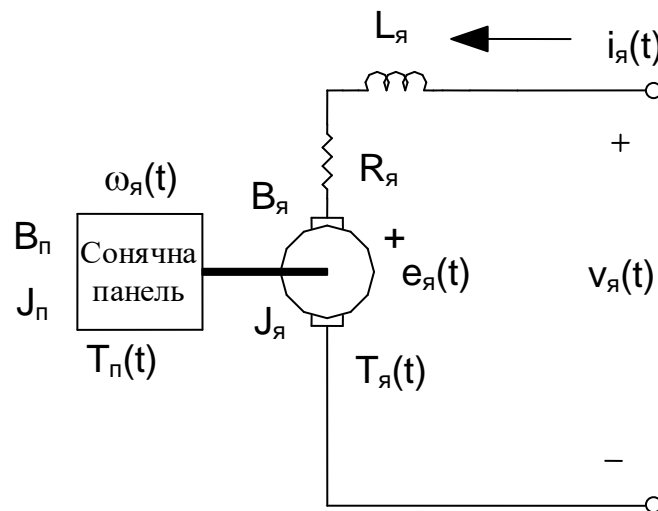


Рисунок 2.4 – Еквівалентна схема заміщення моторредуктора ME241

До складу еквівалентної схеми заміщення моторредуктора ME241 входять наступні елементи:

$v_a(t)$  - напруга якоря;

$i_{\text{я}}(t)$  - струм якоря;  
 $e_{\text{я}}(t)$  - зворотна ЕРС якоря;  
 $T_{\text{я}}(t)$  - момент якоря;  
 $\omega_{\text{я}}(t)$  – кутова швидкість обертання якоря;  
 $T_{\text{п}}(t)$  - момент сонячної панелі;  
 $R_{\text{я}}$  - опір якоря;  
 $L_{\text{я}}$  - індуктивність якоря;  
 $B_{\text{я}}$  - в'язке тертя якоря;  
 $B_{\text{п}}$  - в'язке тертя сонячної панелі;  
 $J_{\text{я}}$  - момент інерції якоря;  
 $J_{\text{п}}$  - момент інерції сонячної панелі.

Система рівнянь, яка поєднує електричні та механічні параметри моторредуктора ME241, описується виразами (2.1):

$$\begin{cases} \frac{di_{\text{я}}(t)}{dt} = -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} \cdot i_{\text{я}}(t) - \frac{K_e}{L_{\text{я}}} \cdot \omega_{\text{я}}(t) + \frac{v_{\text{я}}(t)}{L_{\text{я}}} \\ \frac{d\omega_{\text{я}}(t)}{dt} = \frac{K_m}{J_{\text{я}} + J_{\text{п}}} \cdot i_{\text{я}}(t) - \frac{B_{\text{я}} + B_{\text{п}}}{J_{\text{я}} + J_{\text{п}}} \cdot \omega_{\text{я}}(t) - \frac{T_{\text{п}}(t)}{J_{\text{я}} + J_{\text{п}}} \end{cases} \quad (2.1)$$

До складу системи рівнянь (2.1) входять два коефіцієнти пропорційності  $K_e$  та  $K_m$ . Електричний коефіцієнт пропорційності  $K_e$  перетворює кутову частоту обертання якоря  $\omega_{\text{я}}(t)$  у зворотна ЕРС якоря  $e_{\text{я}}(t)$ . Механічний коефіцієнт пропорційності  $K_m$  перетворює електричний струм якоря  $i_{\text{я}}(t)$  у момент якоря  $T_{\text{я}}(t)$ . Ці перетворення описуються рівняннями (2.2) та (2.3):

$$T_{\text{я}}(t) = K_m \cdot i_{\text{я}}(t), \quad (2.2)$$

$$e_{\text{я}}(t) = K_e \cdot \omega_{\text{я}}(t). \quad (2.3)$$

Тоді систему рівнянь (2.1) можна записати у вигляді (2.4):

$$\begin{cases} v_{я}(t) - e_{я}(t) = L_{я} \frac{di_{я}(t)}{dt} + i_{я}(t) \cdot R_{я} \\ T_{я}(t) = (J_{я} + J_{п}) \frac{d\omega_{я}(t)}{dt} + (B_{я} + B_{п}) \cdot \omega_{я}(t) + T_{п}(t) \end{cases} \quad (2.4)$$

У системі рівнянь (2.4) можна позначити суму моментів інерції якоря  $J_{я}$  та сонячної панелі  $J_{п}$  через  $J_{заг}$ , а суму в'язкого тертя якоря  $B_{я}$  та в'язкого тертя панелі  $B_{п}$  через  $B_{заг}$ . Тоді систему рівнянь (2.4) можна у вигляді:

$$\begin{cases} v_{я}(t) - e_{я}(t) = L_{я} \frac{di_{я}(t)}{dt} + i_{я}(t) \cdot R_{я} \\ T_{я}(t) = J_{заг} \frac{d\omega_{я}(t)}{dt} + B_{заг} \cdot \omega_{я}(t) + T_{п}(t) \end{cases} \quad (2.5)$$

Застосовуємо перетворення Лапласа до лівої та правої частини системи рівнянь (2.5):

$$\begin{cases} I_{я}(s) = \left[ \frac{1}{L_{я}s + R_{я}} \right] \cdot (V_{я}(s) - E_{я}(s)) \\ \Omega_{я}(s) = \left[ \frac{1}{J_{заг}s + B_{заг}} \right] \cdot (T_{я}(s) - T_{п}(s)) \end{cases} \quad (2.6)$$

У графічному вигляді систему (2.6) можна зобразити, використовуючи пряме коло передачі напруги якоря  $V_{я}(s)$  та зворотне коло передачі частоти обертання якоря  $\Omega_{я}(s)$ .

В результаті отримуємо структурну схему системи моторедуктор ME241-сонячна панель, яка зображена на рисунку (2.5).

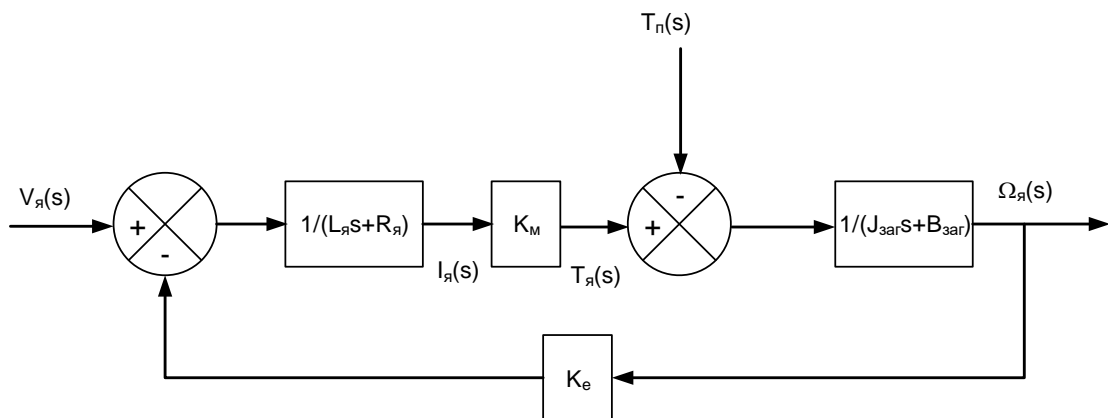


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи моторедуктор ME241-сонячна панель

У структурній схемі системи моторедуктор ME241-сонячна панель, яка зображена на рисунку (2.5), на виході отримуємо кутову частоту обертання якоря  $\Omega_я(s)$ .

Кутова частота обертання якоря  $\omega_я(t)$  моторедуктора ME241 визначається як похідна у часі кута повороту якоря  $\theta_я(t)$  у відповідності до рівняння (2.7).

$$\frac{d\theta_я(t)}{dt} = \omega_я(t). \quad (2.7)$$

Тоді структурна схема системи моторедуктор ME241-сонячна панель буде доповнена блоком інтегрування  $1/s$  на виході системи після отримання частоти обертання якоря  $\Omega_я(s)$ .

Вираз (2.8) описує зв'язок між частотою обертання якоря  $\Omega_я(s)$  та кутом повороту якоря  $\theta_я(s)$ . Отримана структурна схема зображена на рисунку 2.6.

$$\frac{\Omega_{я}(s)}{s} = \theta_{я}(s). \quad (2.8)$$

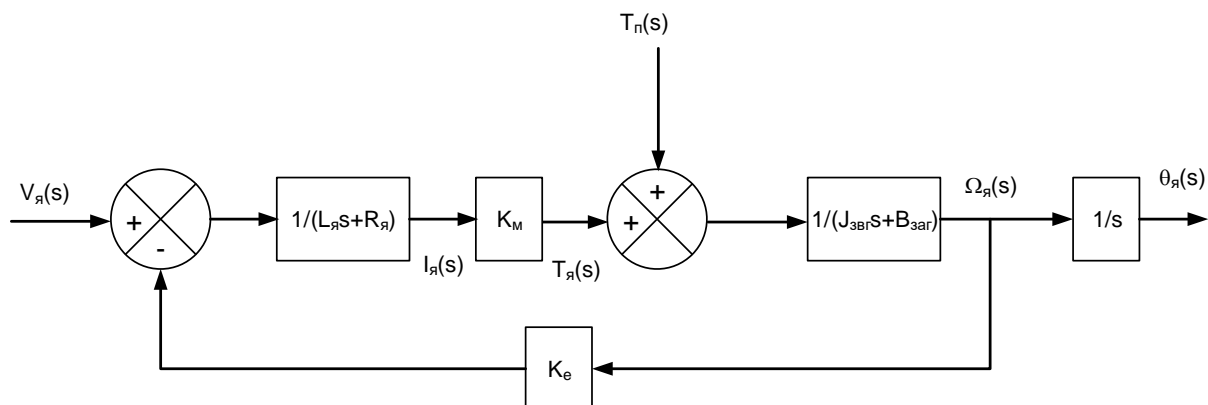


Рисунок 2.6 – Структурна схема системи моторредуктор ME241-сонячна панель доповнена блоком інтегрування  $1/s$  на виході системи

## 2.2 Визначення параметрів моторредуктора ME241

У паспорті на моторредуктор ME241 вказуються лише основні його параметри:

- номінальна напруга -12 В;
- номінальна потужність – 6 Вт;
- максимальний струм – 2,8 А;
- номінальна частота обертання на валу редуктора – 60 об/хв;
- коефіцієнт передачі черв'ячного редуктора 50:1;
- частота обертання на валу моторредуктора – 3000 об/хв;
- маса – 1,24 кг.

Для моделювання моторредуктора ME241 в середовищі Matlab/Simulink створимо його імітаційну модель, яка зображена на рисунку 2.7. До складу імітаційної моделі моторредуктора ME241 входять дві передавальні функції, які моделюють електричну та механічну частини моторредуктора ME241.

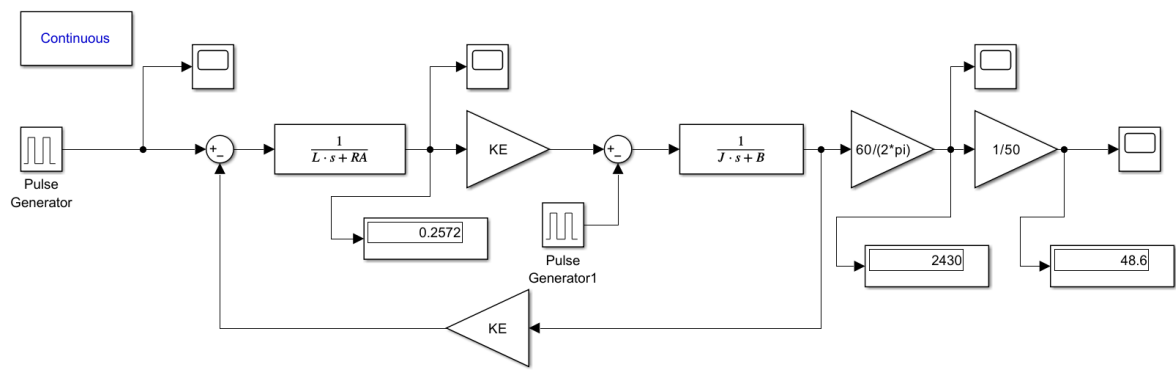


Рисунок 2.7 – Імітаційна модель моторедуктора ME241 в середовищі Matlab/Simulink

Передавальна функція, яка моделює електричну частину, описується рівняння (2.9):

$$W_e(s) = \frac{1}{L_{я} \cdot s + R_{я}} \quad (2.9)$$

Передавальна функція, яка моделює механічну частину, описується рівняння (2.10):

$$W_M(s) = \frac{1}{J_{заг} \cdot s + B_{заг}} \quad (2.10)$$

Також до складу імітаційної моделі моторедуктора ME241 входять два блоки множення на коефіцієнти пропорційності  $KE=K_e=K_m$ . Параметри моторедуктора ME241  $L_{я}$ ,  $R_{я}$ ,  $J_{заг}$  та  $B_{заг}$  не вказані у паспорті на моторедуктор ME241, тому їх потрібно визначити.

Для визначення параметрів моторедуктора ME241  $L_{я}$ ,  $R_{я}$ ,  $J_{заг}$  та  $B_{заг}$  було проведено вимірювання його частоти обертання при подачі на моторедуктор ME241 імпульсної напруги живлення амплітудою  $U_m=12$  В, частотою  $f=0,5$  Гц та тривалістю імпульсів  $t_{ім}=1$ с у відповідності до рисунку 2.8.

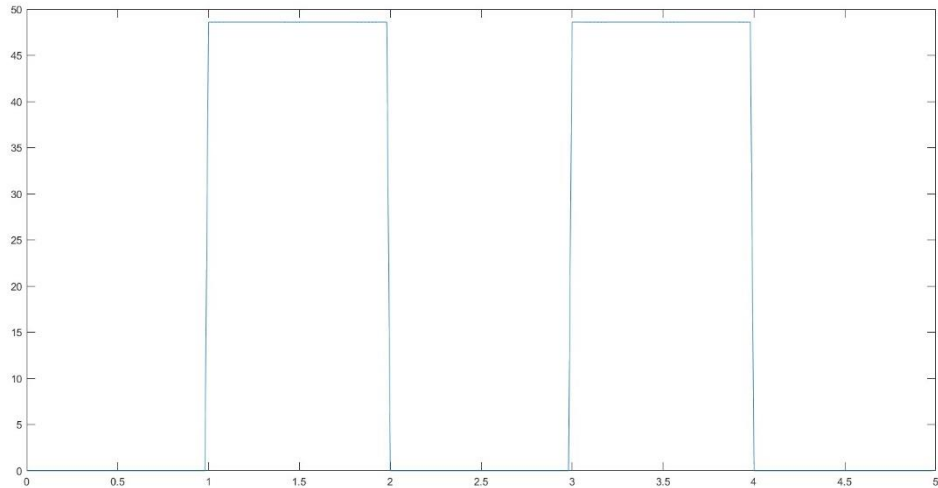


Рисунок 2.8 – Осцилограма імпульсної напруги живлення моторедуктора ME241

До складу імітаційної моделі моторедуктора ME241 входять два блоки Імпульсний Генератор (Pulse Generator) та Імпульсний Генератор1 (Pulse Generator1). Перший блок Імпульсний Генератор (Pulse Generator) моделює імпульсну напругу живлення моторедуктора ME241 у відповідності до рисунка 2.9.

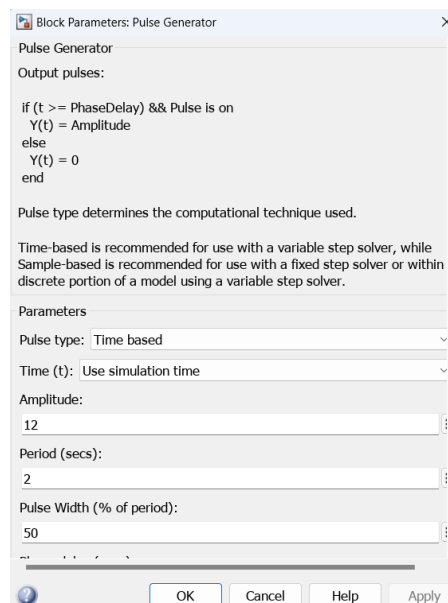


Рисунок 2.9 – Параметри блоку Імпульсний Генератор (Pulse Generator)

Другий блок Імпульсний Генератор1 (Pulse Generator1) моделює імпульсний момент сонячної панелі  $T_{п}(t)$  у відповідності до рисунка 2.10.

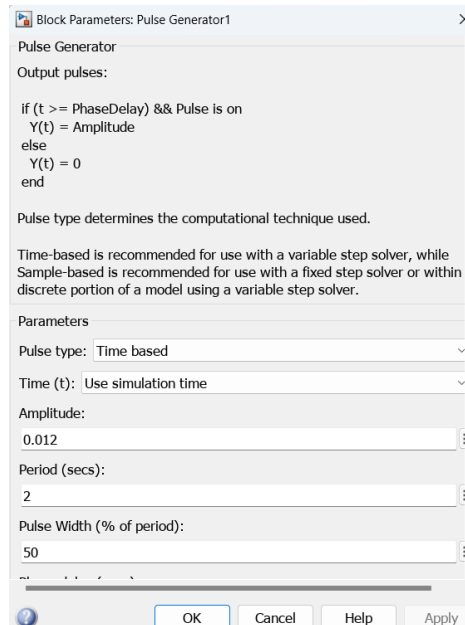


Рисунок 2.10 – Параметри блоку Імпульсний Генератор1 (Pulse Generator1)

Для визначення параметрів моторедуктора ME241 Ля, Ря, Јзаг та Взга було використано додаток Оцінювач параметрів (Parameter Estimator), який здійснює оцінку параметрів та початкові стани моделі Simulink, використовуючи дані вимірювань.

Додаток підвищує точність моделі, щоб модель відображала виміряну поведінку моторедуктора ME241. Було здійснено автоматичне оцінювання опору, індуктивності та інерції моторедуктора ME241 за виміряними даними напруги та частоти обертання моторедуктора ME241.



Simscape - це інструмент, який дозволяє швидко створювати моделі фізичних систем в середовищі Simulink. Simscape також надає додаткові складні компоненти та можливості аналізу.

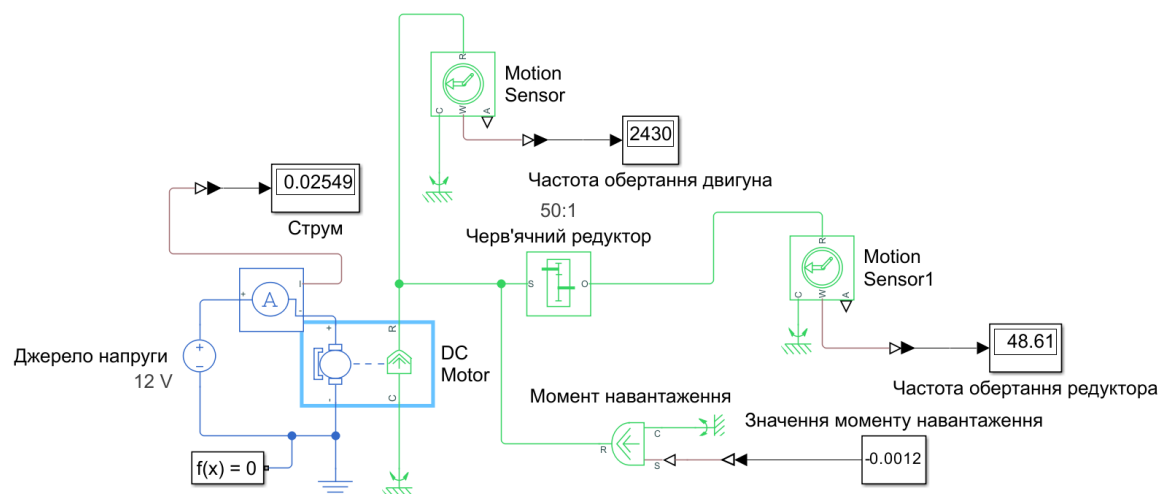


Рисунок 2.12 – Імітаційна модель моторредуктора ME241 в середовищі Matlab/Simulink з використанням Simscape

Передавальна функція моторредуктора ME241 описується виразом (2.11):

$$FT(s) = \frac{K}{J_{\text{заг}} \cdot L_{\text{я}} \cdot s^2 + (J_{\text{заг}} \cdot R_{\text{я}} + B_{\text{заг}} \cdot L_{\text{я}}) \cdot s + B_{\text{заг}} \cdot R_{\text{я}} + K^2}. \quad (2.11)$$

В середовищі Matlab не дозволено використовувати українські букви, тому перепишемо вираз (2.11) без українських букв:

$$FT(s) = \frac{K}{J \cdot L \cdot s^2 + (J \cdot R + B \cdot L) \cdot s + B \cdot R + K^2}. \quad (2.12)$$

Задамо параметри моторредуктора ME241 та його передавальну функцію моторредуктора ME241 FT(s) у вигляді m файлу.

$$J = 2.9895e-5;$$

$$K = 0.04665;$$

$$B = 1.4834e-9;$$

$$L = 0.001176;$$

$$R = 0.50181;$$

$$FT = tf(K, [J*L J*R+B*L K*K+B*R])$$

bodeplot (FT);

В результаті отримаємо вираз передавальної функції моторедуктора ME241.

$$FT = \frac{0.04665}{3.516e-08 s^2 + 1.5e-05 s + 0.002176}$$

Амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики моторедуктора ME241 зображені на рисунку 2.13.

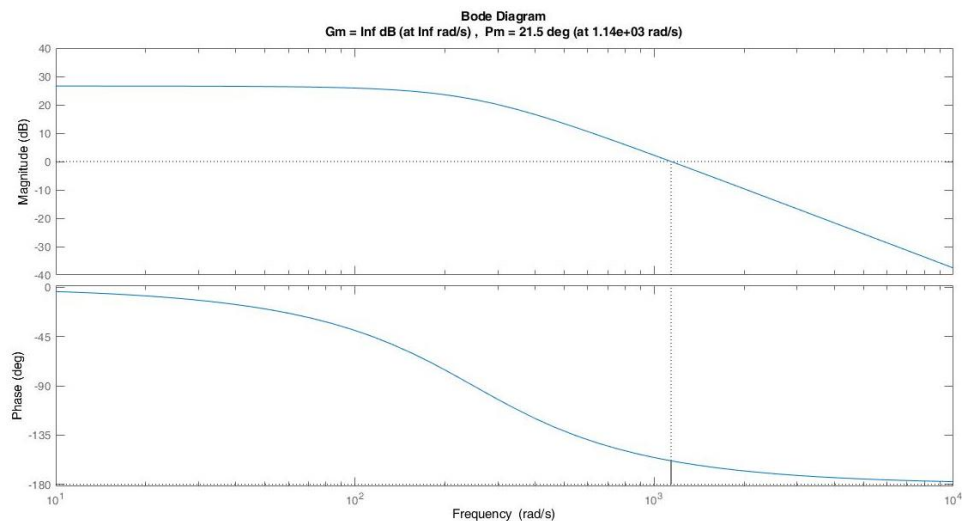


Рисунок 2.13 – Амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики моторедуктора ME241

Аналізуючи графіки амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик моторедуктора ME241, які зображені на рисунку 2.13, можна зробити висновок, що запас підсилення розімкнутого контуру керування складає  $G_m = \infty$  дБ, а запас по фазі складає  $P_m = 21,5^\circ$  на частоті  $\omega_{зр} = 1140$  рад/с.

Звідси можна зробити висновок, що система із розімкнутим контуром, яка моделює моторедуктор ME241, є стійкою. На частотах від  $\omega_0 = 0$  рад/с до  $\omega_{зр} = 1140$  рад/с коефіцієнт підсилення більший за 0 дБ.

На рисунку 2.14 зображена перехідна характеристика моторедуктора ME241.

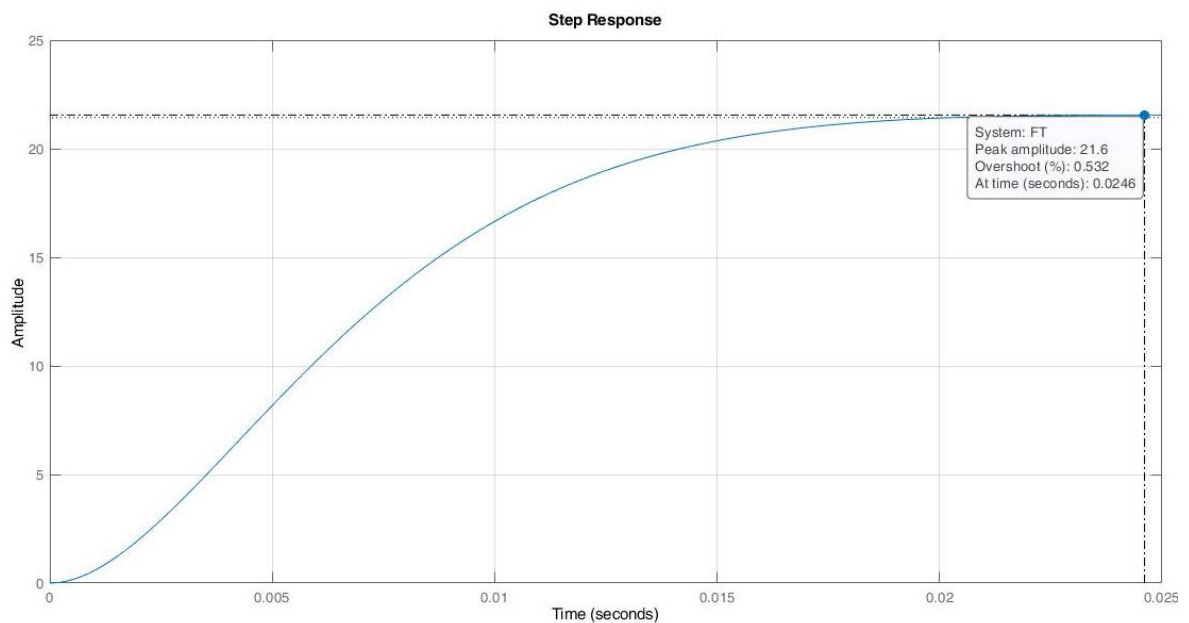


Рисунок 2.14 – Перехідна характеристика моторедуктора ME241

Аналізуючи перехідну характеристику моторедуктора ME241 можна зробити висновок, що вона стабілізується на значенні 21,6 через час 0,0246 с.

Звідси можна зробити висновок, що розімкненому контуру керування моторедуктором ME241 буде важко відстежувати різні вхідні сигнали без похибки. Тому необхідно зменшити коефіцієнт підсилення для розімкненого контуру керування моторедуктором ME241 на величину  $K_p = 1/21,6$ .

Модифіковані амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики моторедуктора ME241 зображені на рисунку 2.15.

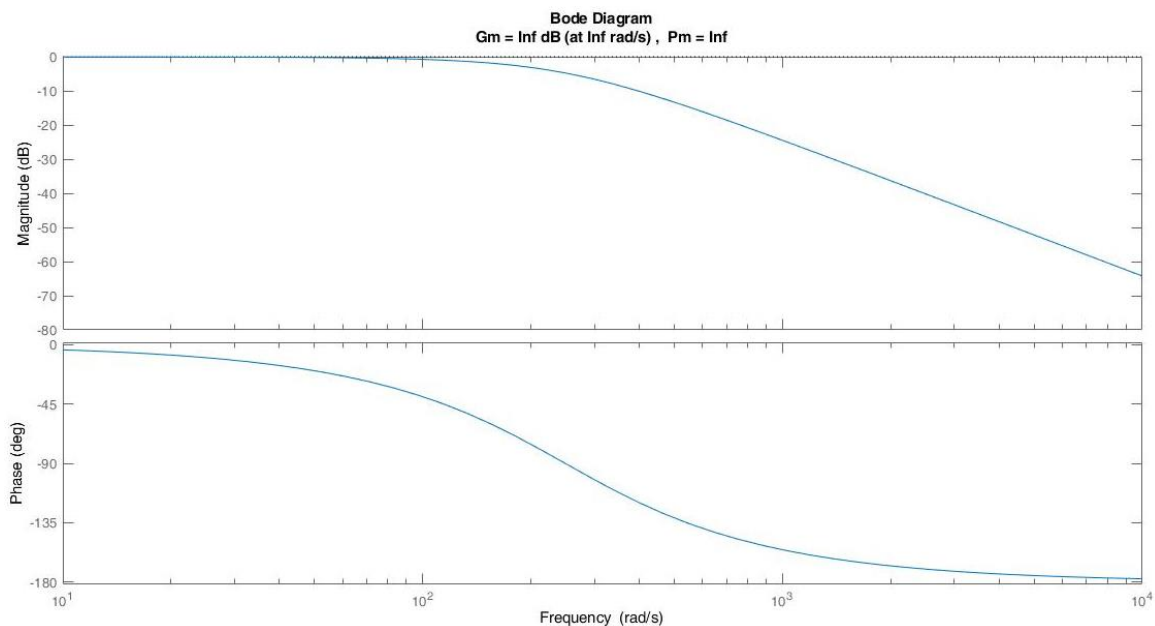


Рисунок 2.15 – Модифіковані амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики моторедуктора ME241

Аналізуючи модифіковані амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики моторедуктора ME241 можна зробити висновок, що використання пропорційного коефіцієнта підсилення  $K_p = 1/21,6$  для розімкненого контуру керування моторедуктором ME241 змістило вниз амплітудно-частотну характеристику до 0 дБ.

На рисунку 2.16 зображена модифікована перехідна характеристика моторедуктора ME241.

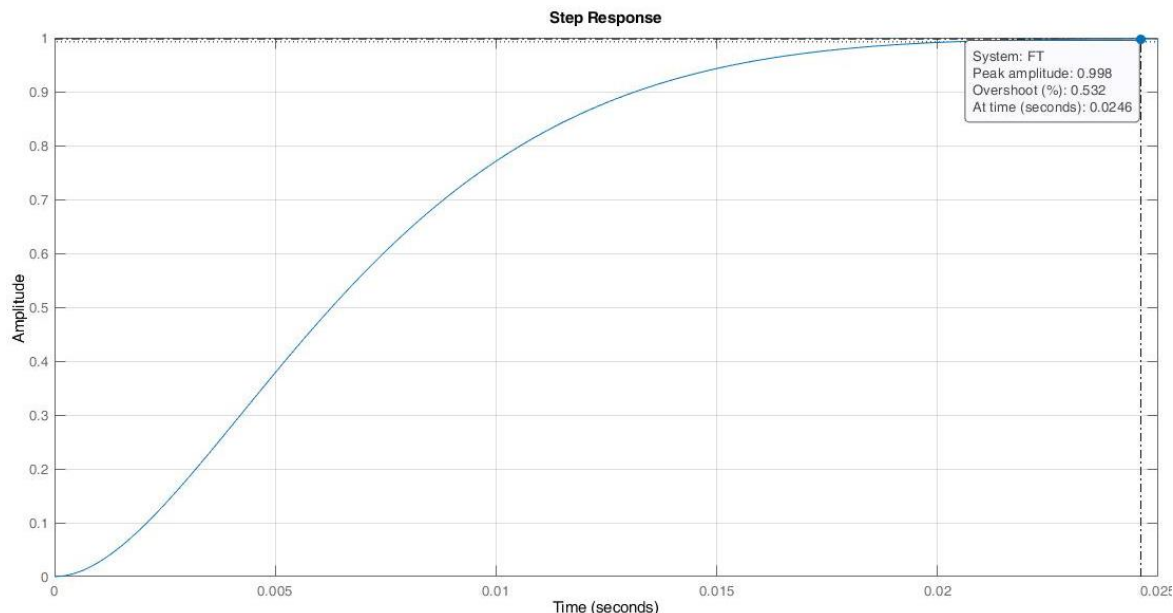


Рисунок 2.16 – Модифікована перехідна характеристика моторедуктора ME241

### 2.3 Розробка пристрою керування трекером сонячної панелі

Пристрій керування трекером сонячної панелі побудовано за замкнутою структурною схемою, яка зображена на рисунку 2.17.

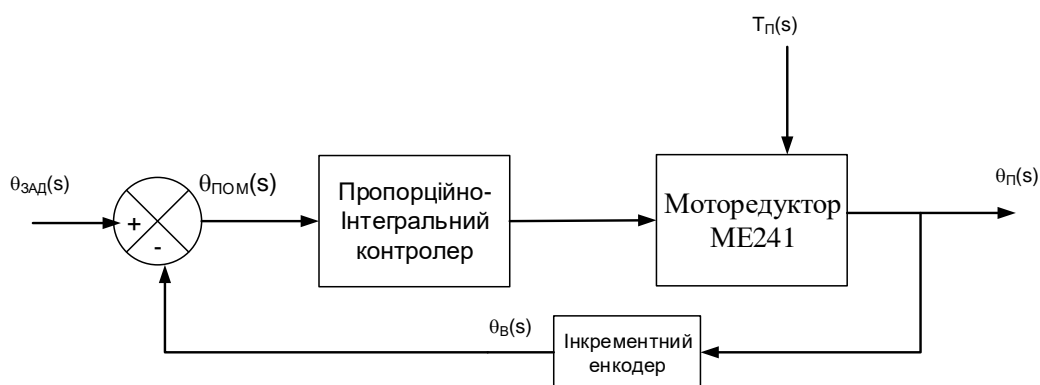


Рисунок 2.17 – Пристрій керування трекером сонячної панелі

До складу пристрою керування трекером сонячної панелі пропорційно-інтегральний контролер, моторредуктор ME241 та інкрементний енкодер, який зображено на рисунку 2.18.



Рисунок 2.18 – Інкрементний енкодер

Інкрементний енкодер вимірює поточне значення кута повороту сонячної панелі  $\theta_{\Pi}(s)$ . На виході інкрементного енкодера отримуємо вимірне значення кута повороту сонячної панелі  $\theta_B(s)$ .

Вимірне значення кута повороту сонячної панелі  $\theta_B(s)$  поступає на вхід схеми де віднімається від заданого значення кута повороту сонячної панелі  $\theta_{\text{Зад}}(s)$  у відповідності до виразу (2.13):

$$K_{EH} \cdot (\theta_{\text{Зад}}(s) - \theta_B(s)) = \theta_{\text{Пом}}(s), \quad (2.13)$$

де  $K_{EH}$  - коефіцієнт передачі інкрементного енкодера (для спрощення  $K_{EH} = 1$ ;

$\theta_{\text{Зад}}(s)$  - задане значення кута повороту сонячної панелі;

$\theta_B(s)$  - вимірне значення кута повороту сонячної панелі;

$\theta_{\text{ПОМ}}(s)$  - значення помилки кута повороту сонячної панелі.

Пропорційний режим керування приймає вхідний сигнал помилки та підсилює його на константу. Використання цього режиму керування може призвести до великих коефіцієнтів підсилення для досягнення прийнятної стаціонарної помилки, що може призвести до нестабільного режиму роботи системи.

Інтегральний режим керування накопичує (інтегрує) сигнал помилки з часом і може з часом звести похибку усталеного режиму системи до нуля. На рисунку 2.19 зображені структурні схеми пропорційно-інтегрального контролера.

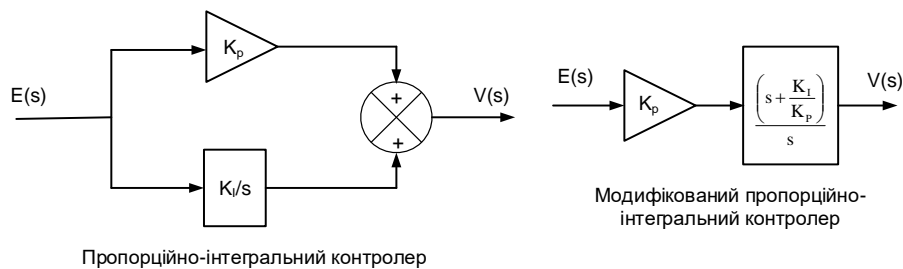


Рисунок 2.19 – Структурні схеми пропорційно-інтегрального контролера

На рисунку 2.19 показано два варіанти реалізації пропорційно-інтегрального контролера. Перша модель пропорційно-інтегрального контролера використовує суматор для об'єднання дій пропорційного P та інтегрального I контролерів.

Друга схема використовує алгебраїчно зменшену версію з двома каскадними блоками. ПІ-контролер вводить в систему один полюс, розташований у точці  $s=0$ , та один нуль, який розташований у точці  $s=-K_I/K_p$ . Регулювання значень  $K_p$  і  $K_I$  змінює реакцію системи та усуває помилку усталеного режиму.

У системах, які вже містять інтегратор, додавання полюса та нуля зменшує помилку відстеження до нуля. Використання пропорційно-інтегрального призводить до нульової помилки відстеження кута повороту сонячної панелі після деякої затримки.

Однією з переваг використання від'ємного зворотного зв'язку є те, що керована система прагне повернутися до бажаного значення вихідного сигналу після впливу на неї зовнішніх перешкод. На рисунку 2.20 показана структурна схема системи, на яку діє завада, яка поступає на вихід контролера.

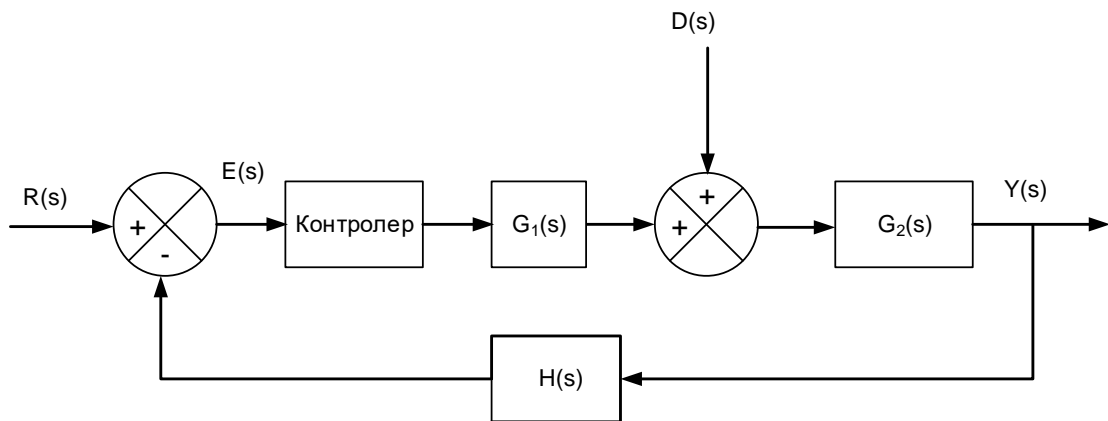


Рисунок 2.20 – Структурна схема системи, на яку діє завада

Зовнішнє збурення  $D(s)$  впливає на вихідний сигнал системи  $Y(s)$ , щоб змінити його значення, яке визначається заданим вхідним значенням системи  $R(s)$ .

У випадку пропорційного контролера, вихідний сигнал системи  $Y(s)$  описується виразом (2.14):

$$Y(s) = \left[ \frac{K_p \cdot G_1(s) \cdot G_2(s)}{1 + K_p \cdot G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot H(s)} \right] \cdot R(s) + \left[ \frac{G_1(s)}{1 + K_p \cdot G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot H(s)} \right] \cdot D(s). \quad (2.14)$$

Це рівняння показує, що якщо значення  $K_p \gg 1$ , то коефіцієнт множення на  $R(s)$  наближається до одиниці. Це означає, що вихідні дані відстежуватимуть вхідні дані без помилок у стаціонарному режимі. Другий член показує, що для пропорційного підсилення величина збурення зменшується, коли значення  $K_p$  стає дуже великим.

Рівняння (2.15) показує таке ж співвідношення, як (2.14), тільки з використанням пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора. ПІ-регулятор додає полюс при  $s=0$  і нуль при  $s=-K_I/K_p$ .

$$Y(s) = \left[ \frac{K_p \cdot (s + \alpha) \cdot G_1(s) \cdot G_2(s)}{s + GH(s)} \right] \cdot R(s) + \left[ \frac{s \cdot G_1(s)}{s + GH(s)} \right] \cdot D(s), \quad (2.15)$$

де -  $GH(s) = K_p \cdot (s + \alpha) \cdot G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot H(s)$ ;

$$\alpha = K_I / K_p.$$

Рівняння (2.15) має два параметри,  $K_p$  і  $K_I$ , які керують реакцією системи. Встановлення нуля ПІ-регулятора, який є параметром  $\alpha=K_I/K_p$ , на значення, менше ніж домінуючий полюс системи з відкритим контуром, змінює продуктивність системи.

Домінуючим полюсом є корінь полінома знаменника передавальної функції з найменшим числовим значенням, який є найбільшою сталою часу. Це скасовує деякі ефекти домінуючого полюса та може збільшити швидкість реакції системи.

Встановлення значення нуля регулятора точно на значенні домінуючого полюса в цьому випадку змушує систему коливатися для всіх значень  $K_p$ . Встановлення нульового значення більшим за домінуючий полюс призводить до нестабільності вихідного сигналу. Цей аналіз передбачає, що збурення дорівнює нулю.

Усі корені характеристичного рівняння повинні мати додатні дійсні числа для стабільності системи. Характеристичне рівняння для ПІ-регулятора задається формулою:

$$s + K_p \cdot (s + \alpha) \cdot G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot H(s) = 0. \quad (2.16)$$

Підтримка постійного  $\alpha$  під час регулювання  $K_p$  вимагає зміни  $K_I$ . Для фіксованого нульового розташування  $\alpha$  це співвідношення виконується.

$$K_I = \alpha \cdot K_p. \quad (2.17)$$

На рисунку 2.21 зображено структурну схему пристрою керування трекером сонячної панелі із використанням ПІ-регулятора.

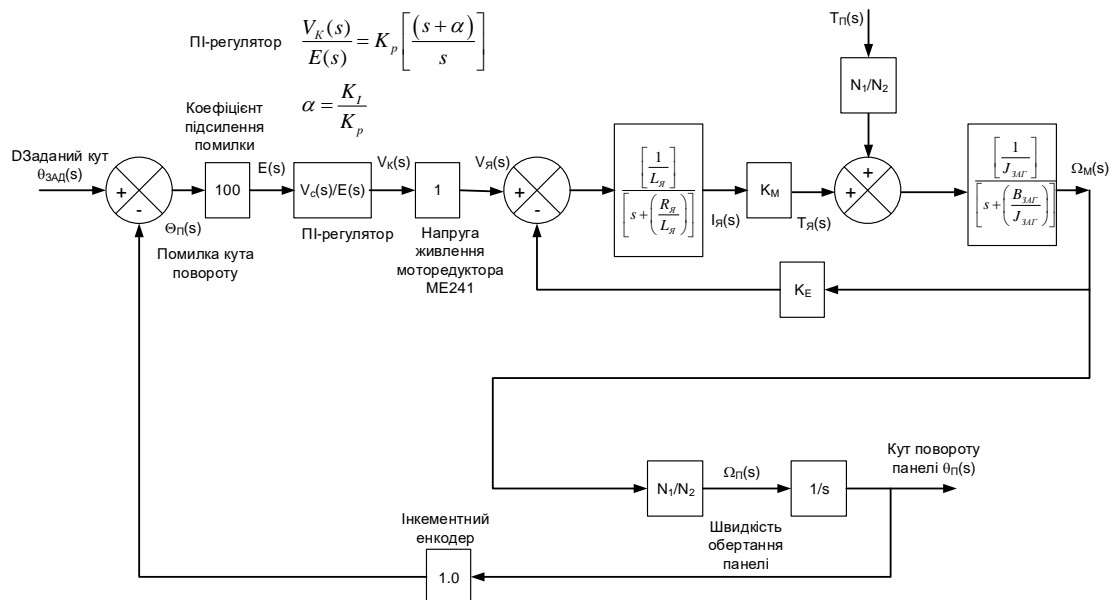


Рисунок 2.20 – Структурна схема пристрою керування трекером сонячної панелі із використанням ПІ-регулятора

## 2.4 Висновки до другого розділу

1. В якості двигунів трекера сонячної панелі використаємо два моторедуктора ME241. Для моделювання моторедуктора ME241 в середовищі Matlab/Simulink розроблена його імітаційна модель. До складу імітаційної моделі моторедуктора ME241 входять дві передавальні функції, які моделюють електричну та механічну частини моторедуктора ME241.

2. Для визначення параметрів моторедуктора ME241  $Lя$ ,  $Rя$ ,  $Jзаг$  та  $Bзаг$  було використано додаток Оцінювач параметрів (Parameter Estimator), який здійснює оцінку параметрів та початкові стани моделі Simulink, використовуючи дані вимірювань.

3. Додаток підвищує точність моделі, щоб модель відображала виміряну поведінку моторедуктора ME241. Було здійснено автоматичне оцінювання опору, індуктивності та інерції моторедуктора ME241 за виміряними даними напруги та частоти обертання моторедуктора ME241.

4. До складу пристрою керування трекером сонячної панелі пропорційно-інтегральний контролер, моторедуктор ME241 та інкрементний енкодер. Інкрементний енкодер вимірює поточне значення кута повороту сонячної панелі  $\theta_{п}(s)$ . На виході інкрементного енкодера отримуємо виміряне значення кута повороту сонячної панелі  $\theta_{в}(s)$ .

5. Однією з переваг використання від'ємного зворотного зв'язку є те, що керована система прагне повернутися до бажаного значення вихідного сигналу після впливу на неї зовнішніх перешкод.

### 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ ТРЕКЕРОМ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

#### 3.1 Алгоритм роботи пристрою керування трекером сонячної панелі

Пристрій керування трекером сонячної панелі – це пристрій, який відстежує рух сонця протягом дня для досягнення максимальної енергоефективності роботи сонячної панелі шляхом розташовування площини сонячної панелі перпендикулярно до сонячного випромінювання.

При визначенні позиції сонця необхідно враховувати ряд параметрів, таких як азимут, зеніт і кут підйому Сонця, які необхідно використовувати для розташовування площини сонячної панелі перпендикулярно до сонячного випромінювання.

На рисунку 3.1 показано позицію Сонця з топоцентричної точки зору з позначенням всіх необхідних кутів.

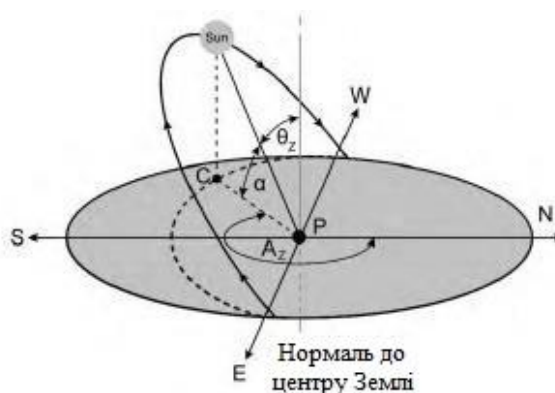


Рисунок 3.1 – Позиція Сонця з топоцентричної точки зору

$\theta_z$  - кут між топоцентричним зенітом і вектором Сонця, відомий як зеніт;

$A_z$  - кут між вертикаллю Сонця та вертикаллю півночі, відомий як азимут;

$\alpha$  - кут між площиною і вектором Сонця, відомий як кут підйому;

P - точка зору спостерігача;

C - точка перетину сонячної вертикалі з площиною.

Вектор Сонця складається з азимута  $\theta_z$  та кута піднесення  $A_z$ . Це справжнє положення сонця, як його бачить спостерігач на поверхні Землі.

У відповідності до рисунку 3.1 можна визначити, що топоцентричний зеніт є нормальним кутом до горизонтальної площини і є сумою кута піднесення і зеніту у відповідності до формули (3.1):

$$Z = \theta_z + \alpha = 90^\circ. \quad (3.1)$$

Найпоширенішим алгоритмом роботи пристрою керування трекером сонячної панелі є алгоритм сонячної позиції (АСП), який розроблений Національною лабораторією відновлюваної енергії (НЛВЕ) у травні 2003 року та переглянутий у січні 2008 року. Компанія Siemens використовує АСП для створення власних інструментів відстеження сонця.



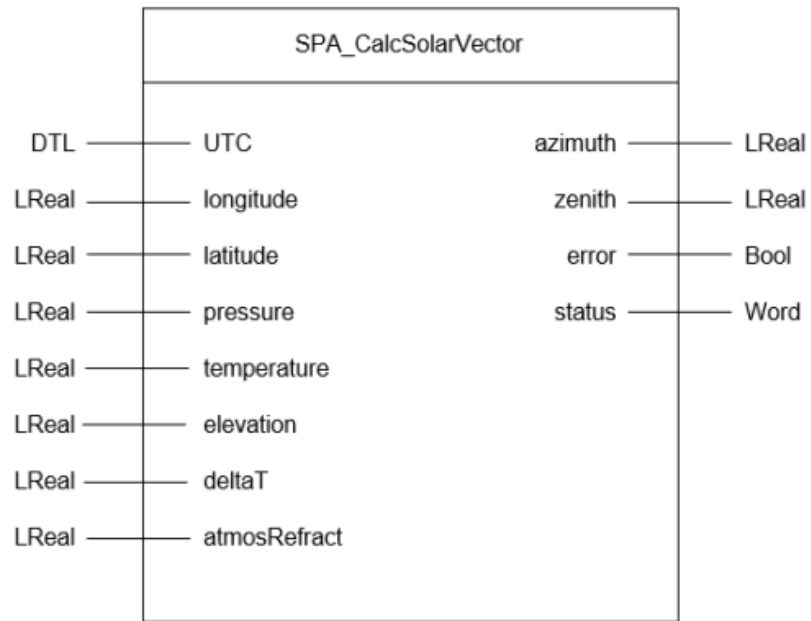


Рисунок 3.3 – Функціональний блок SPA\_CalcSolarVector в TIA Portal

Вхідним параметром блоку SPA\_CalcSolarVector є UTC (Universal Time Coordinated) - всесвітній координований час. UTC визначається із системного часу процесора. Системний час процесора визначається за допомогою блоку RD\_SYS\_T у відповідності до рисунку 3.4.

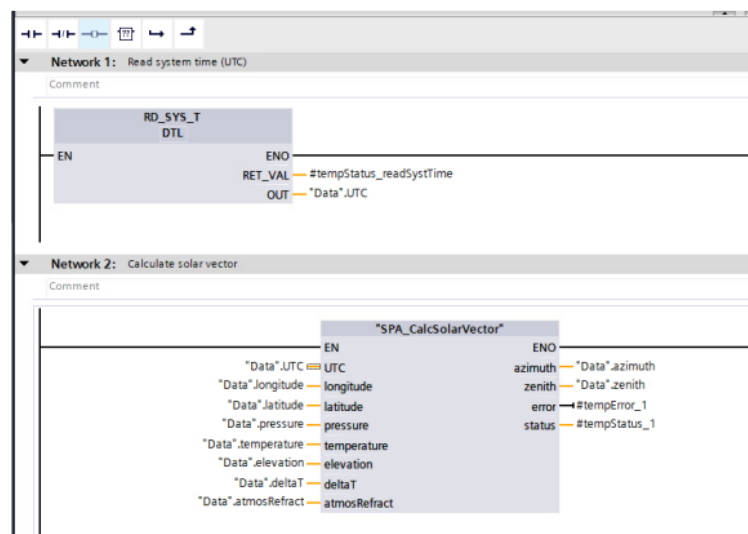


Рисунок 3.4 – Функціональний блок RD\_SYS\_T та SPA\_CalcSolarVector

Блок схема алгоритму роботи пристрою керування трекером сонячної панелі зображена на рисунку 3.5.

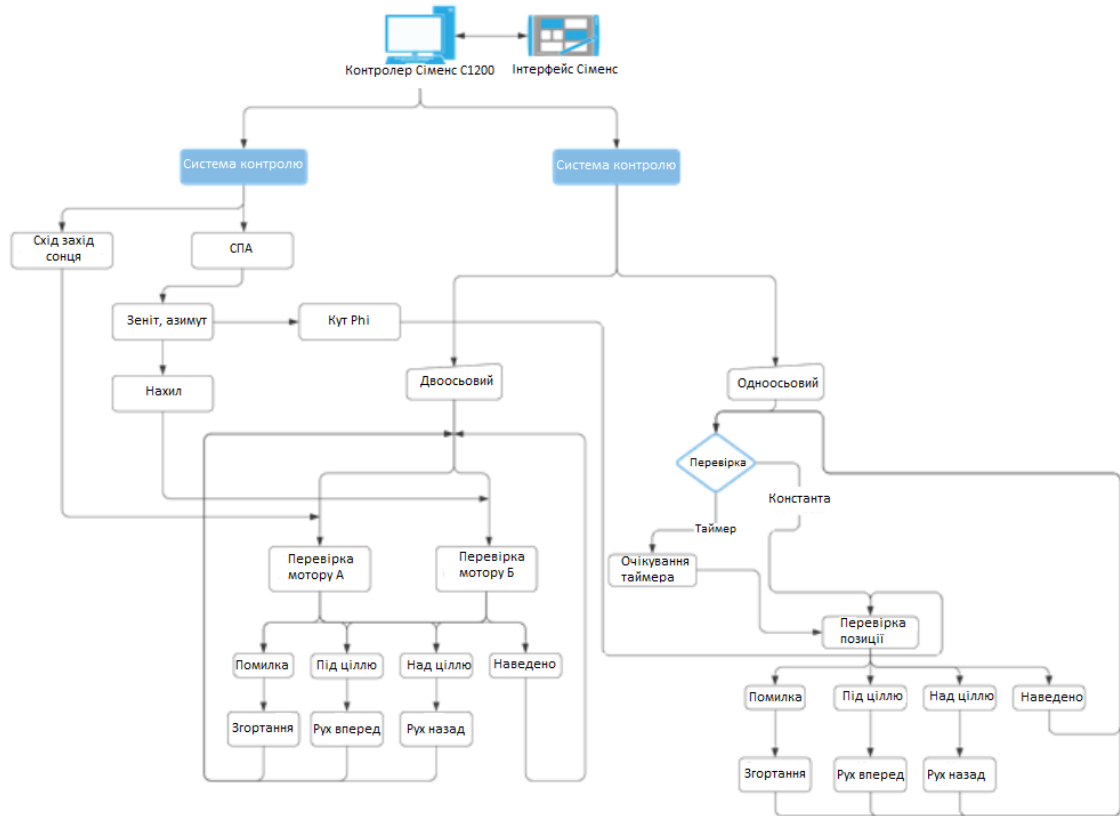


Рисунок 3.5 – Блок схема алгоритму роботи пристрою керування трекером сонячної панелі

Блок схема алгоритму роботи пристрою керування трекером сонячної панелі розділена на дві основні частини: система керування двигунами та система стеження за сонцем.

Система стеження за сонцем генерує дані, необхідні для системи керування, щоб спрямовувати та переміщати лінійні двигуни. Як згадувалося раніше, в цій програмі було два режими відстеження: двоосьовий та одноосьовий.



З цього моменту можливі чотири варіанти розвитку подій. Якщо в системі відстеження виникне помилка, панель буде рухатися до середнього положення, поки помилка не буде усунена. Дві інші можливості - реальний кут нижче або вище заданого кута.

Якщо це так, двигун або висунеться, або втягнеться в потрібне положення. Якщо після порівняння кутів кут "Phi" не збігається з кутом панелі, процес повторюється доти, доки це не станеться. Режим з таймером має ті ж самі результати з додатковим кроком очікування закінчення таймера перед початком будь-яких рухів.

Якщо відстеження налаштоване на дві осі, система функціонує зовсім по-іншому. У цьому випадку система відстеження повинна забезпечити кожному двигуну власну уставку.

Для двигуна осі Y (двигун B) - це кут підйому, відрахований від zenіту. Для двигуна осі X (двигун A) задається час доби, який пізніше порівнюється з мінімальною і максимальною точками цього дня (схід і захід Сонця) і дає число в діапазоні від -90 до 90, що відповідає істинному куту нахилу сонця.

На відміну від одноосної системи, у двовісній системі немає режимів, з яких можна було б вибирати, все відстеження є автоматизованим. Коли задані значення подаються від системи стеження, система керування порівнює положення обох двигунів і вибирає один з чотирьох результатів, як і в одновісному режимі.

### 3.2 Розробка програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі

Програма роботи пристрою керування трекером сонячної панелі розроблена на мові функціональних блок-схем (ФБС). Організаційні блоки – це інтерфейс між операційною системою ПЛК та програмою користувача. Будь-який ПЛК матиме дві різні програми: програму виконання, яка є операційною системою ПЛК, і програму користувача, яка є логікою або кодом для керування певним процесом.

Основним циклічним блоком є організаційний блок OB1, який відповідає за циклічне виконання логіки ПЛК. Щоразу, коли створюється новий проект і додається ПЛК, автоматично створюється основний циклічний блок OB1 програмним забезпеченням TIA Portal.

До складу основного циклічного блоку OB1 програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі входять наступні процеси.

#### 1. Процес збору даних.

Цей процес є ключовим елементом програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі для отримання необхідних даних:

- азимуту;
- зенітного кута;
- кута "Phi".

#### 2. Процес ручного керування.

3. Процес автоматичного керування.

4. Процес переміщення сонячної панелі на заданий кут.

5. Процес переміщення сонячної панелі на заданий кут за розкладом.

6. Процес конфігурації дисплея HMI.

На відміну від конфігурації двигуна А, двигун В має власний функціональний блок. Однак функціональний блок двигуна В викликається з організаційного блоку OB1.

Функція SPA\_CalcSolarVector створена компанією Siemens і обчислює значення сонячного азимута і зеніту, які згодом використовуються при обчисленні кута "Phi" у відповідності до рисунку 3.6.

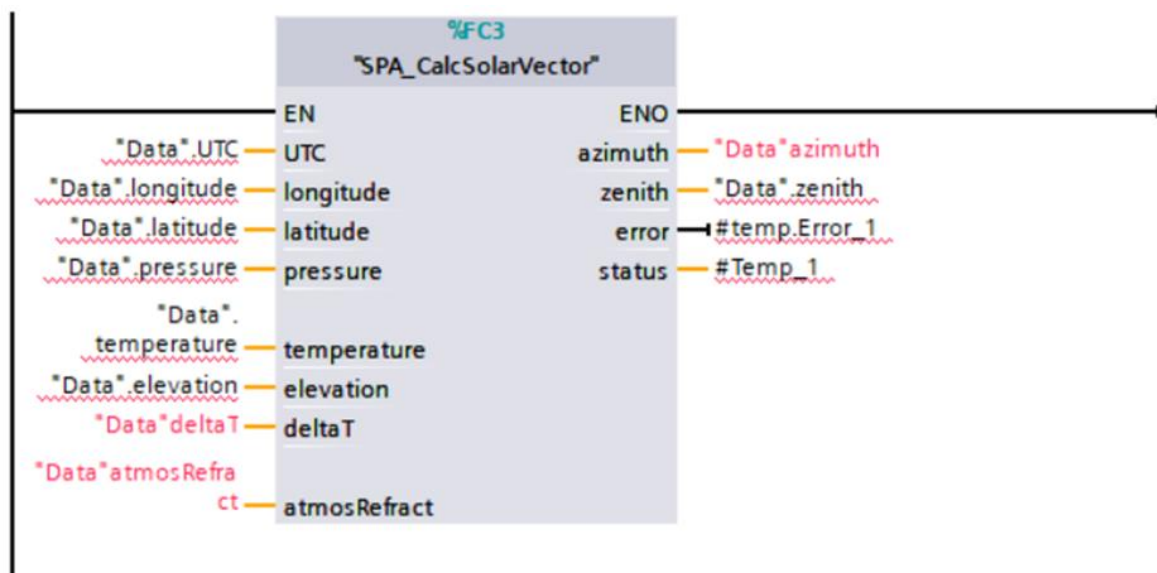


Рисунок 3.6 – Функція SPA\_CalcSolarVector

Вхідними параметрами функції є UTC (всесвітній координований час), довгота, широта, тиск, температура, висота, дельта\_T та атмосферна рефракція.

Якщо будь-який з параметрів вхідної змінної виходить за межі допустимого діапазону, то вихідна функція #tempError\_1 переходить у стан 1 зі стану 0, який пізніше у програмі використовується для налаштування глобальної помилки.

Функція CalcOneAxisVector обчислює кут "Phi", який визначає найбільш ефективний кут відстеження панелі. Значення кута "Phi" використовується двигуном A для одноосьового переміщення. Ця функція розроблена компанією Siemens і зображена на рисунку 3.7.

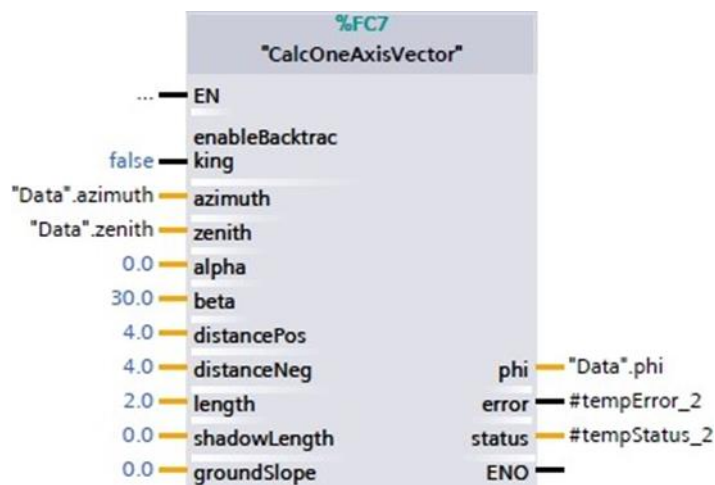


Рисунок 3.7 – Функція CalcOneAxisVector

Інтеграція позиційного зворотного зв'язку двигунів налаштовується за допомогою декількох функцій, які підтримуються Siemens TIA Portal, як показано на рисунку 3.8. Значення опору, отримані від двигунів, зчитуються як цілий тип на входах модуля вводу/виводу ПЛК.





Функція In-range активує завдання "Stop compare", якщо значення "Motor Position" знаходиться між "Minimum Phi" і постійним значенням 180°, яке є одним з двох входів функції OR, яка запускає скидання функції SR, що в кінцевому підсумку зупиняє двигун у відповідності до рисунку 3.11.

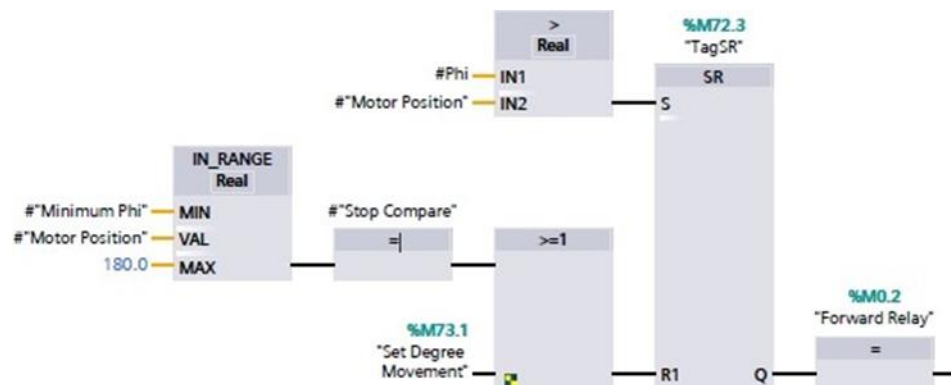


Рисунок 3.11 – Команда автоматичного руху двигуна вперед

Команда реверсивного автоматичного руху двигуна має більш складну логіку порівняно з мережею прямого руху. Двигун рухається у зворотному напрямку, тільки якщо увімкнено реле зворотного руху. Реле зворотного руху може вмикатися за різних умов. Це реле буде активоване у трьох випадках.

1. Реле зворотного руху на заданий кут увімкнено, а ручний режим вимкнено.
2. Увімкнено ручний режим та реверсна команда.
3. Ручний режим вимкнено, а реле зворотного руху за таймером увімкнено.

Команда реверсивного автоматичного руху двигуна зображена на рисунку 3.12.

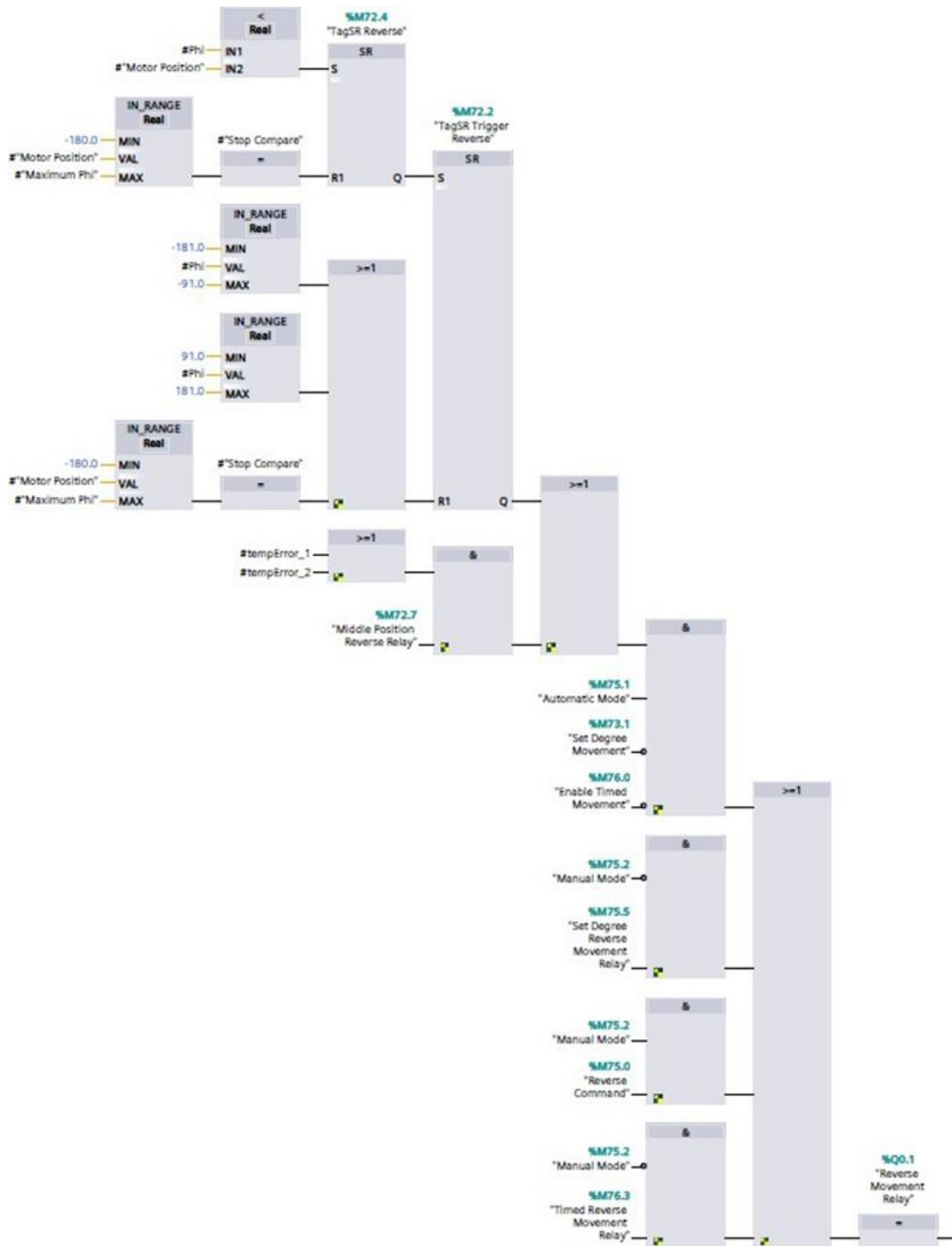


Рисунок 3.12 – Команда реверсивного автоматичного руху двигуна

Програма роботи пристрою керування трекером сонячної панелі має три різні автоматичні режими роботи. Користувач може вибрати будь-який з цих режимів для роботи пристрою. Цей процес вибору працює за допомогою простої конфігурації функції I. На рисунку 3.13 зображено команду вмикання постійного руху.

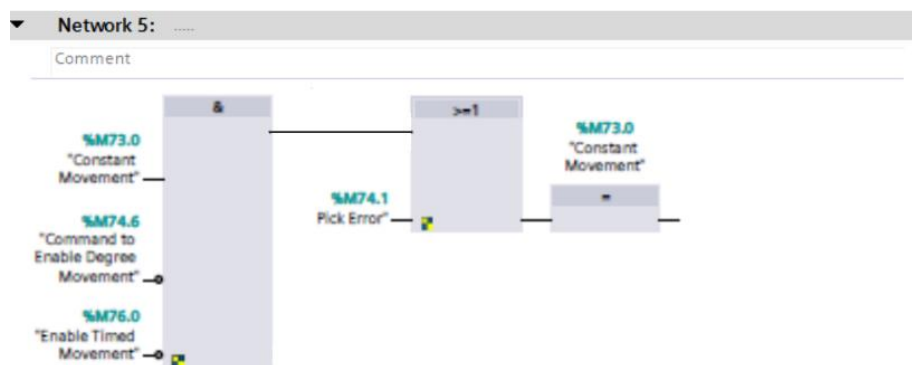


Рисунок 3.13 – Команда вмикання постійного руху двигуна

На рисунку 3.14 зображено команду переміщення двигуна на заданий кут.



Рисунок 3.14 – Команда переміщення двигуна на заданий кут

Режим автоматичного руху трекера сонячної панелі за часом має два процеси. Один для руху вперед і один для руху назад. Цей режим має вбудований таймер ІЕС на додаток до функцій перевірки та порівняння діапазону. Різницю між прямим і зворотним рухом можна побачити на рисунку 3.15 і рисунку 3.16. У цьому режимі оператор може ввести на екрані НМІ запланований час для руху двигуна через певні проміжки часу.

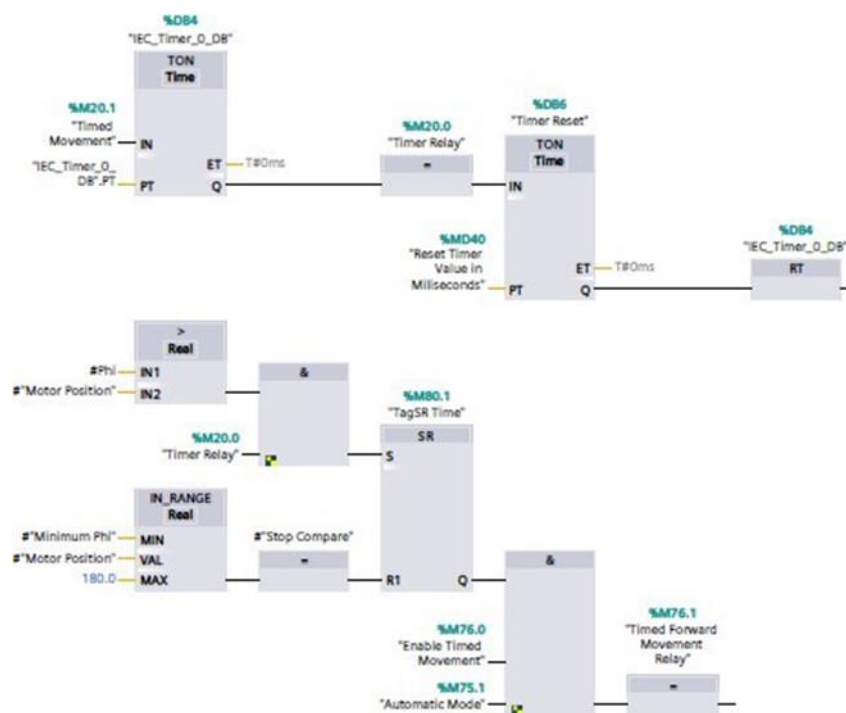


Рисунок 3.15 – Автоматичний рух вперед за часом

Двигун рухається в зворотному напрямку в режимі "Рух за часом", тільки якщо увімкнено реле зворотного руху за часом. Це реле активується коли увімкнено "Рух за розкладом" і "Автоматичний режим", або коли в системі є помилка або коли є вихід "Реверс тригера TagSR".

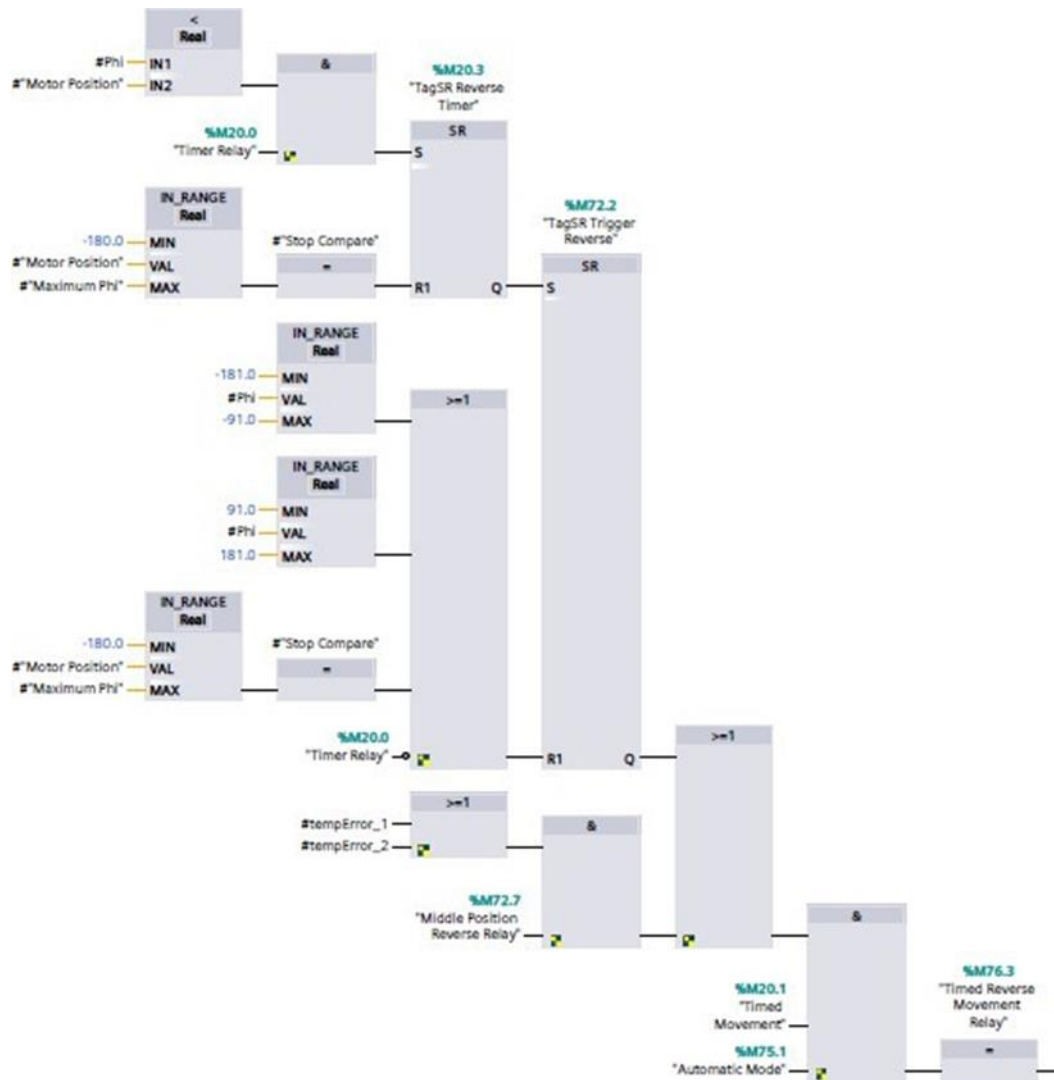


Рисунок 3.16 – Автоматичний реверсивний рух за часом

### 3.3 Висновки до третього розділу

1. При визначенні позиції сонця необхідно враховувати ряд параметрів, таких як азимут, зеніт і кут підйому Сонця, які необхідно використовувати для розташування площини сонячної панелі перпендикулярно до сонячного випромінювання.

2. Найпоширенішим алгоритмом роботи пристрою керування трекером сонячної панелі є алгоритм сонячної позиції (АСП), який розроблений Національною лабораторією відновлюваної енергії (НЛВЕ) у травні 2003 року та переглянутий у січні 2008 року. Компанія Siemens використовує АСП для створення власних інструментів відстеження сонця.

3. Блок схема алгоритму роботи пристрою керування трекером сонячної панелі розділена на дві основні частини: система керування двигунами та система стеження за сонцем.

4. Програма роботи пристрою керування трекером сонячної панелі розроблена на мові функціональних блок-схем (ФБС). Організаційні блоки – це інтерфейс між операційною системою ПЛК та програмою користувача. Будь-який ПЛК матиме дві різні програми: програму виконання, яка є операційною системою ПЛК, і програму користувача, яка є логікою або кодом для керування певним процесом.

5. До складу основного циклічного блоку ОВ1 програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі входять наступні процеси: процес збору даних, процес ручного керування, процес автоматичного керування, процес переміщення сонячної панелі на заданий кут, процес переміщення сонячної панелі на заданий кут за розкладом та процес конфігурації дисплея НМІ.

## ВИСНОВКИ

В процесі розробки пристрою керування трекером сонячної панелі розроблено структурну схему системи моторедуктор ME241-сонячна панель та програмне забезпечення в середовищі TIA Portal.

В першому розділі показано, що алгоритми стеження за сонцем можуть бути широко класифіковані як системи із замкнутим або розімкнутим контуром, залежно від способу керування.

У другому розділі розроблено модель пристрою керування трекером сонячної панелі. Розроблено принцип роботи пристрою керування трекером сонячної панелі. Виконано розрахунок параметрів пристрою керування трекером сонячної панелі. Було обрано моторедуктор ME241.

У третьому розділі розроблено алгоритм керування пристроєм керування трекером сонячної панелі. Розроблено програмне забезпечення для пристрою керування трекером сонячної панелі в середовищі TIA Portal.

Програма роботи пристрою керування трекером сонячної панелі розроблена на мові функціональних блок-схем (ФБС). Організаційні блоки – це інтерфейс між операційною системою ПЛК та програмою користувача.

Будь-який ПЛК матиме дві різні програми: програму виконання, яка є операційною системою ПЛК, і програму користувача, яка є логікою або кодом для керування певним процесом.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 Raed Alahmdi, Abdulrahman Alansari, Mohanad Abualkhair, and Abdulrahman Almoghamisi. Empirical Evaluation of Fixed and Single-Axis Tracking Photovoltaic System: Case of ASHRAE Solar Radiation Modelling for Medina, Saudi Arabia, Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 9, No. 3, pp. 33-38, 2021.

2 Найстаріша сонячна електростанція в США. Режим доступу:  
<https://www.landgate.com/news/the-oldest-solar-farm-in-the-us>

3 Danish Mushtaq Sheikh, Baljit Kaur. Harvesting solar energy using dual axis solar tracker with added real-time monitoring through gsm. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), volume 08, issue 06, pp.707-712, 2021.

4 McFee R.H. Power collection reduction by mirror surface nonflatness and tracking error for a central receiver solar power system. Appl. Opt. Vol. 14, pp. 1493–1502, 1975.

5 Carden P.O. Steering a field of mirrors using a shared computerbased controller. Sol. Energ. Vol. 20, pp. 343–355, 1977.

6 Hughes R.O. Effects of tracking errors on the performance of point focusing solar collectors. Sol. Energ. Vol. 24, pp. 83–92, 1980.

7 Semma R.P., Imamura M.S. Sun tracking controller for multi-kW photovoltaic concentrator system. Proceedings of the 3rd International Photovoltaic Sol Energy Conf; Cannes, France. Oct. 27-31, 1980.

8 Badescu V. Une evaluation probabiliste pour l'erreur d'orientation des heliostats. Rev. Phys. Appl. Vol. 17, pp. 421–434, 1982.

9 Badescu V. Theoretical derivation of heliostat tracking error distribution. Sol. Energ. Vol. 82, pp. 1192–1197, 2008.

10 Akhmedyarov K.A., Bazarov B.A., Ishankuliev. B., Karshenas K.E., Schaimerdangulyev G. Economic efficiency of the FV-500 solar photoelectric station with automatic tracking of the sun. Appl. Solar Energ. 1986;22:44–47. [Google Scholar]

11 Maish A.B. Performance of a self-aligning solar array tracking controller. Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference; Kissimimee, FL, USA. May 21-25, 1990.

12 Agarwal A.K. Two axis tracking system for solar concentrators. Renew. Energ. Vol. 2, pp. 181–182, 1992.

13 Enslin J.H.R. Maximum power point tracking: a cost saving necessity in solar systems. Renew. Energ. Vol. 2, pp. 543–549, 1992.

14 Brown D.G., Stone K.W. High accuracy/low cost tracking system for solar concentrators using a neural network. Proceedings of the 28th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference; Atlanta, GA, USA. Aug. 8-13, 1993.

15 Kalogirou S.A. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. Sol. Energ. Vol. 57, pp. 465–469, 1996.

16 Stone K.W., Sutherland J.P. Solar two heliostat tracking performance. Proceedings of International Solar Energy Conference; Washington DC, USA. Apr. 27-30, 1997.

17 Hua C, Shen C. Comparative study of peak power tracking techniques for solar storage system. Proceedings of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition; Anaheim, CA, USA. Feb. 15-19, 1998.

18 Khalifa A.N., Al-Mutawalli S.S. Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators. *Energ. Convers. Manage.* Vol. 39, pp. 1073–1079, 1998.

19 Yousef H.A. Design and implementation of a fuzzy logic computer-controlled sun tracking system. *Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics*; Bled, Slovenia. Jul. 12-16, 1999.

20 Kim T.Y., Ahn H.G., Park S.K., Lee Y.K. A novel maximum power point tracking control for photovoltaic power system under rapidly changing solar radiation. *Proceedings of ISIE*; Pusan, Korea. Jun. 12-16, 2001.

21 Falbel G., Puig-Suari J., Peczalski A. Sun oriented and powered, 3 axis and spin stabilized cubesats. *Proceedings of IEEE Aerospace Conference*; Big Sky, MT, USA. Mar. 9-16, 2002.

22 Urbano J.A., Matsumoto Y, Asomoxa R. 5 Wp PV module-based stand-alone solar tracking system. *Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*; Osaka, Japan. May 11-18, 2003.]

23 Jiang W., Cao M. Emulation sunflower. *Proceedings of the International Symposium on Test and Measurement*; Shenzhen, China. Jun. 1-5, 2003.

24 Luque-Heredia I., Martin C., Mananes M.T., Moreno J.M., Auger J.L., Bodin V., Alonso J., Diazr V., Sala G. A subdegree precision sun tracker for 1000X microconcentrator modules. *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*; Osaka, Japan. May 11-18, 2003.

25 Roth P., Georgieg A., Boudinov H. Design and construction of a system for sun-tracking. *Renew. Energ.* Vol. 29, pp. 393–4022004.

26 Georgiev A., Roth P., Olivares A. Sun following system adjustment at

the UTFSM. *Energ. Convers. Manage.* Vol. 45, pp. 1795–1806, 2004.

27 Berenguel M., Rubio F.R., Valverde A., Lara P.J., Arahál M.R., Camacho E.F., López M. An artificial vision-based control system for automatic heliostat positioning offset correction in a central receiver solar power plant. *Sol. Energ.* Vol. 76, pp. 563–575, 2004.

28 Abdallah S. The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. *Energ. Convers. Manage.* Vol. 45, pp. 1671–1679, 2004.

29 Al-Mohamad A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a sun-tracking system. *Appl. Energ.* Vol. 79, pp. 345–354, 2004.

30 Aiuchi K., Nakamura M., Yoshida K., Katayama Y., Nakamura K. Sun tracking photo-sensor for solar thermal concentrating system. *Proceedings of International Solar Energy Conference; Portland, OR, USA. Jul. 11-14, 2004.*

31 Alata M., Al-Nimr M.A., Qaroush Y. Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control. *Energ. Convers. Manage.* Vol. 46, pp. 1229–1245, 2005.

32 Kim I.S. Robust maximum power point tracker using sliding mode controller for the three-phase grid-connected photovoltaic system. *Sol. Energ.* Vol. 81, pp. 405–414, 2007.

33 Siemens SIMATIC S7-1200 Programmable controller. Режим доступу:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741593/simatic-s7-s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-UA>

34 Siemens Delivery Release SIMATIC STEP 7 Professional/Basic V15.1  
Режим доступу:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109758795/delivery-release-simatic-step-7-professional-basic-v15-1?dti=0&lc=en-US>

35 Tang, Y. Effects of parameters on NREL Solar Position Algorithm (SPA) and SIMATIC S7-1200 SPA\_Calc\_SunVector library accuracy. Journal of Applied Engineering Technology, 2(1), 133-150.

36 Reca-Cardena, J., & López-Luque, R. Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems. In J. Reca-Cardena, R. López-Luque & I. Yahyaoui, Advances in Renewable Energies and Power Technologies: Volume 1: Solar and Wind Energies (pp. 295-333).

37 Reda, I., Andreas, A. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. United States Government, U.S. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory. Режим доступу: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/34302.pdf>

38 Prinsloo, G., Dobson, R. Solar Tracking. SolarBooks.

39 Idin, S.S., Abd-Elhady, M., Kandi, H. Feasibility of solar tracking systems for PV panels in hot and cold regions. Renewable Energy, v. 85, P. 228-233.

40 Dakkak, M., Babelli, A. Design and Performance Study of a PV Tracking System (100W-24Vdc/220Vac). Energy Procedia, v. 19, P. 91-95.

## ДОДАТКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:**

**Пристрій керування трекером сонячної панелі**

**Виконав**

**ст. гр. АКІТ-20-1**

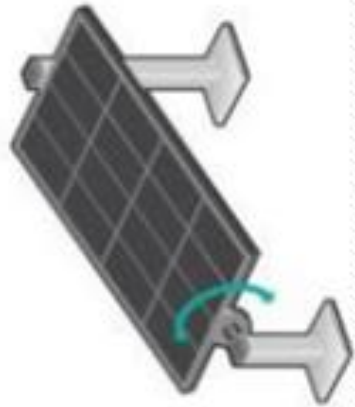
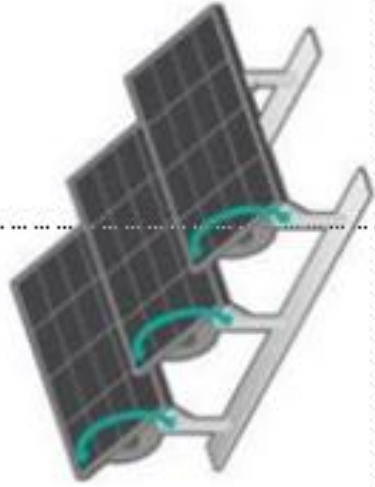
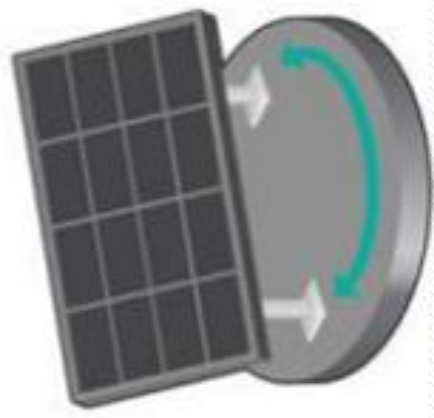
**Віталій МАРТИНЮК**

**Науковий керівник**

**д.т.н., проф.**

**Валерій МАРТИНЮК**

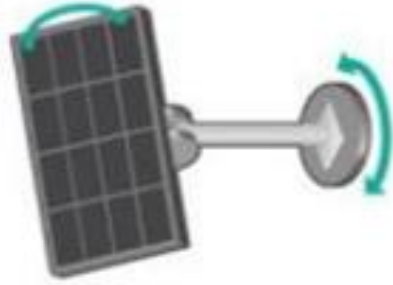
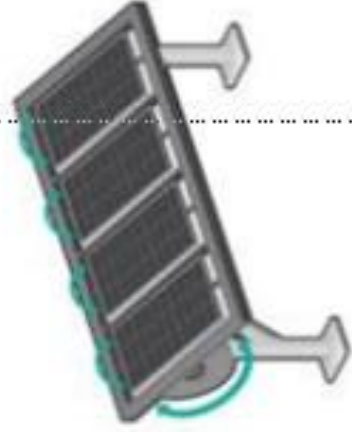
# Типові конфігурації активних систем відстеження сонячних променів



(3)

(2)

(1)



(6)

(5)

(4)

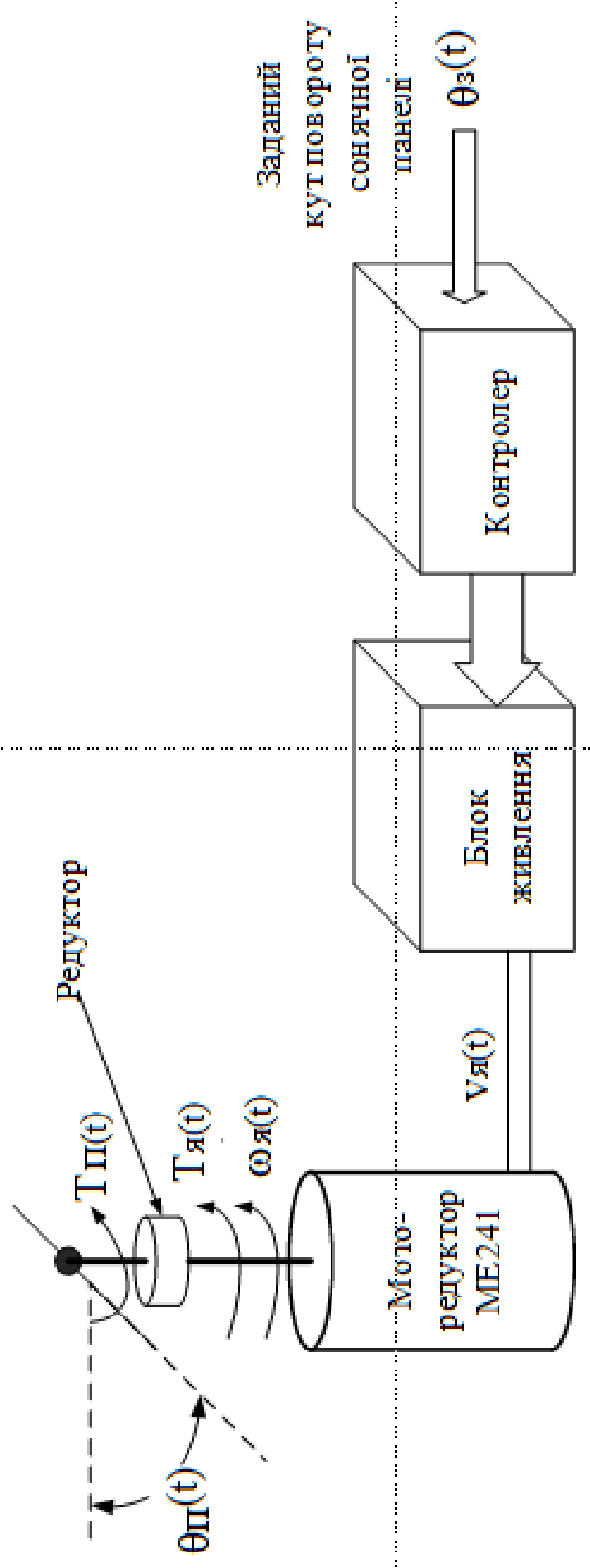
3  
Фотографія трекера сонячної панелі із встановленими двома  
моторедукторами ME241



# Моторедуктор ME241

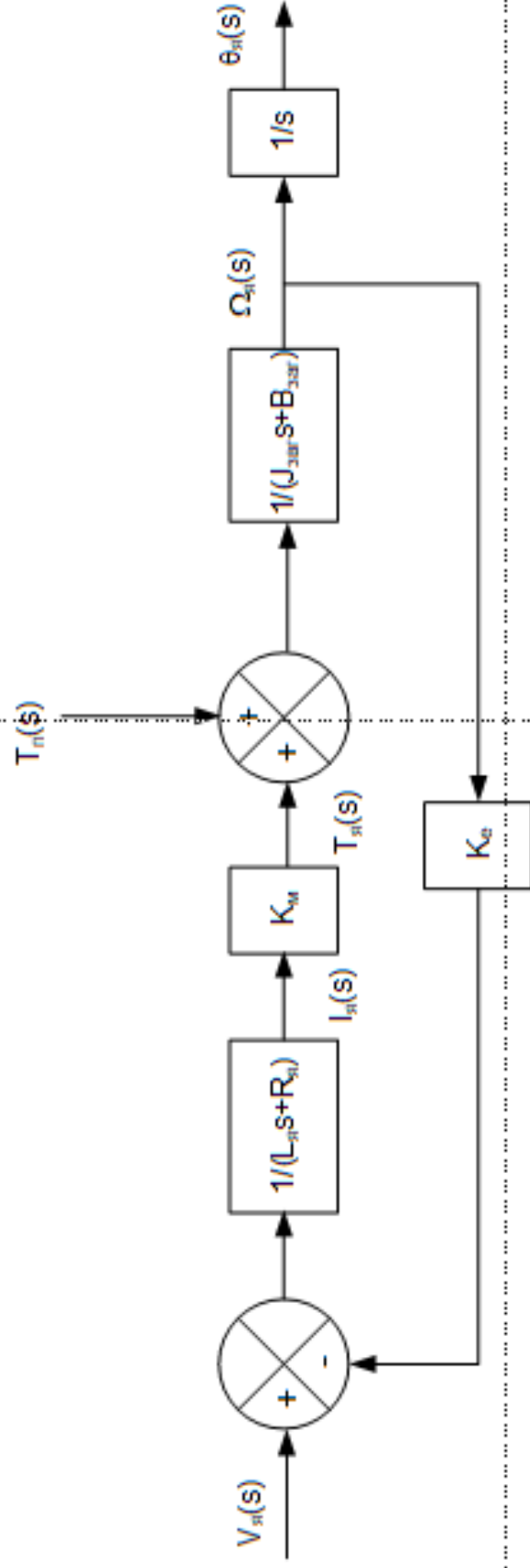


# Структурна схема системи керування кутом повороту сонячної панелі за допомогою моторредуктора ME241



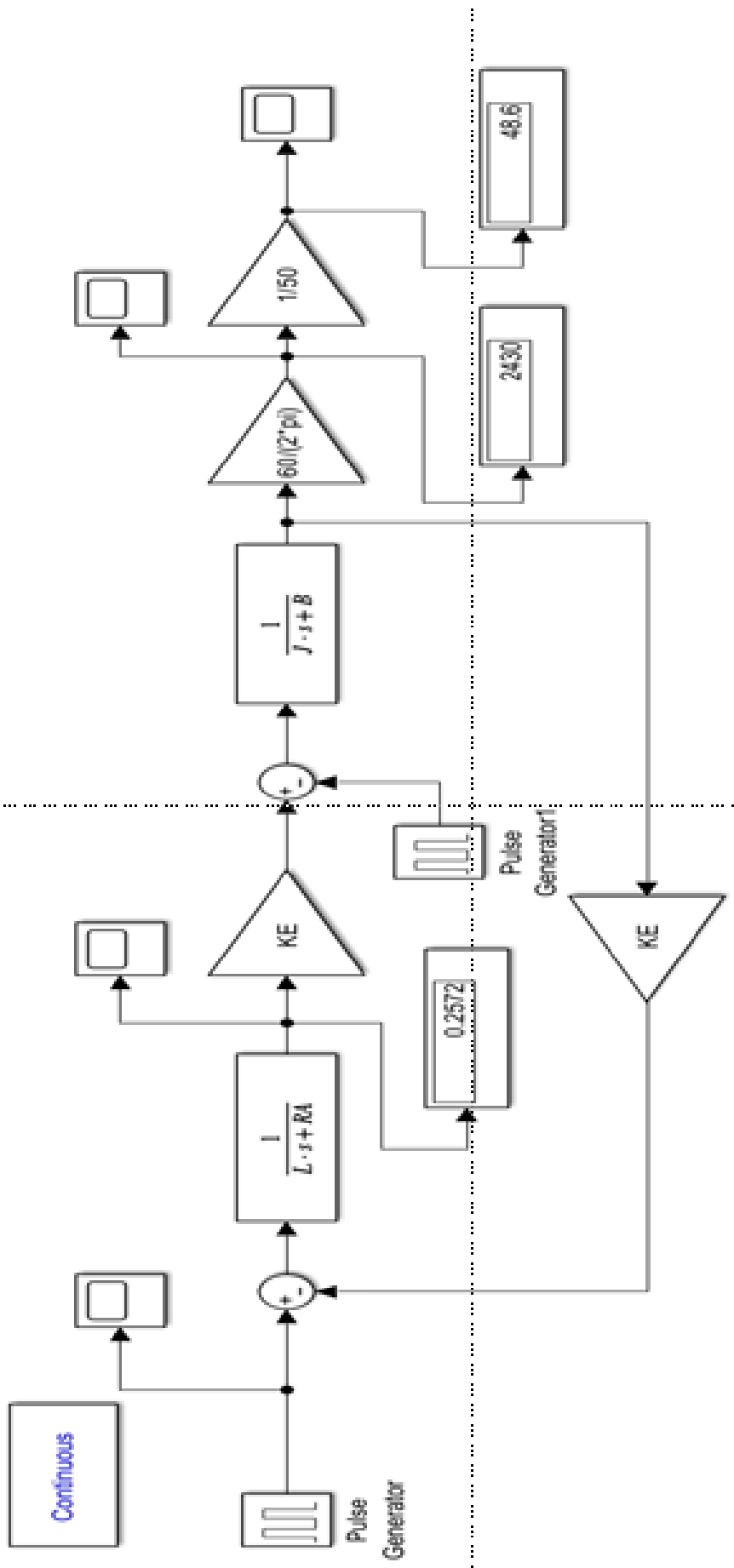
Структурна схема системи моторедуктор ME241-сонячна панель 6

Доповнена блоком інтегрування  $1/s$  на виході системи

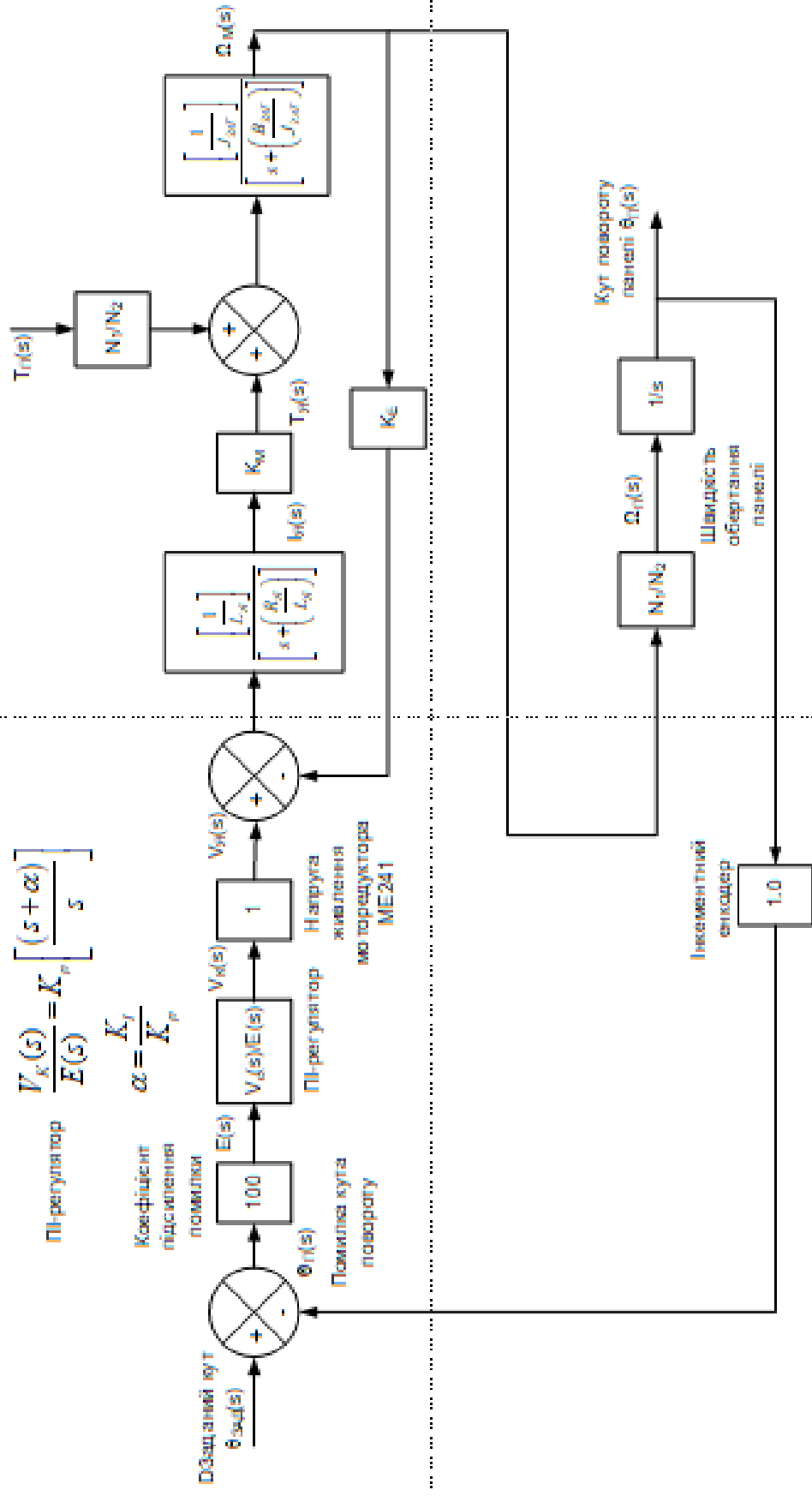


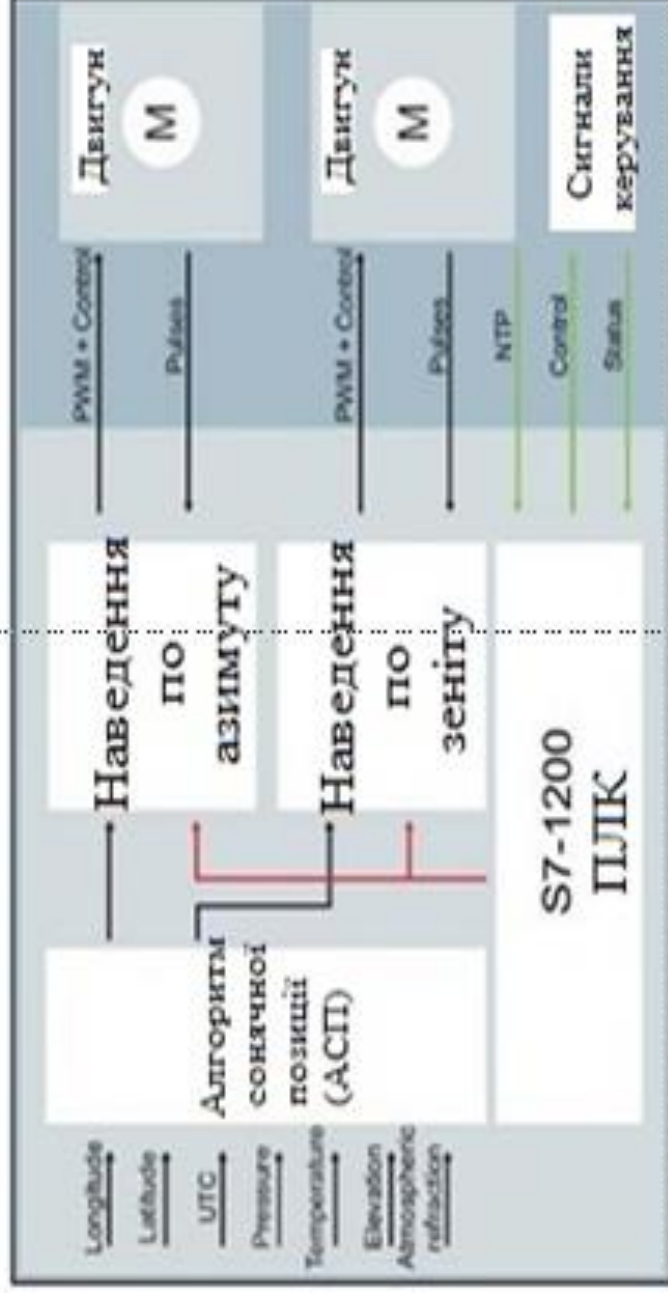
# Імітаційна модель моторедуктора ME241 в середовищі Matlab/Simulink

7

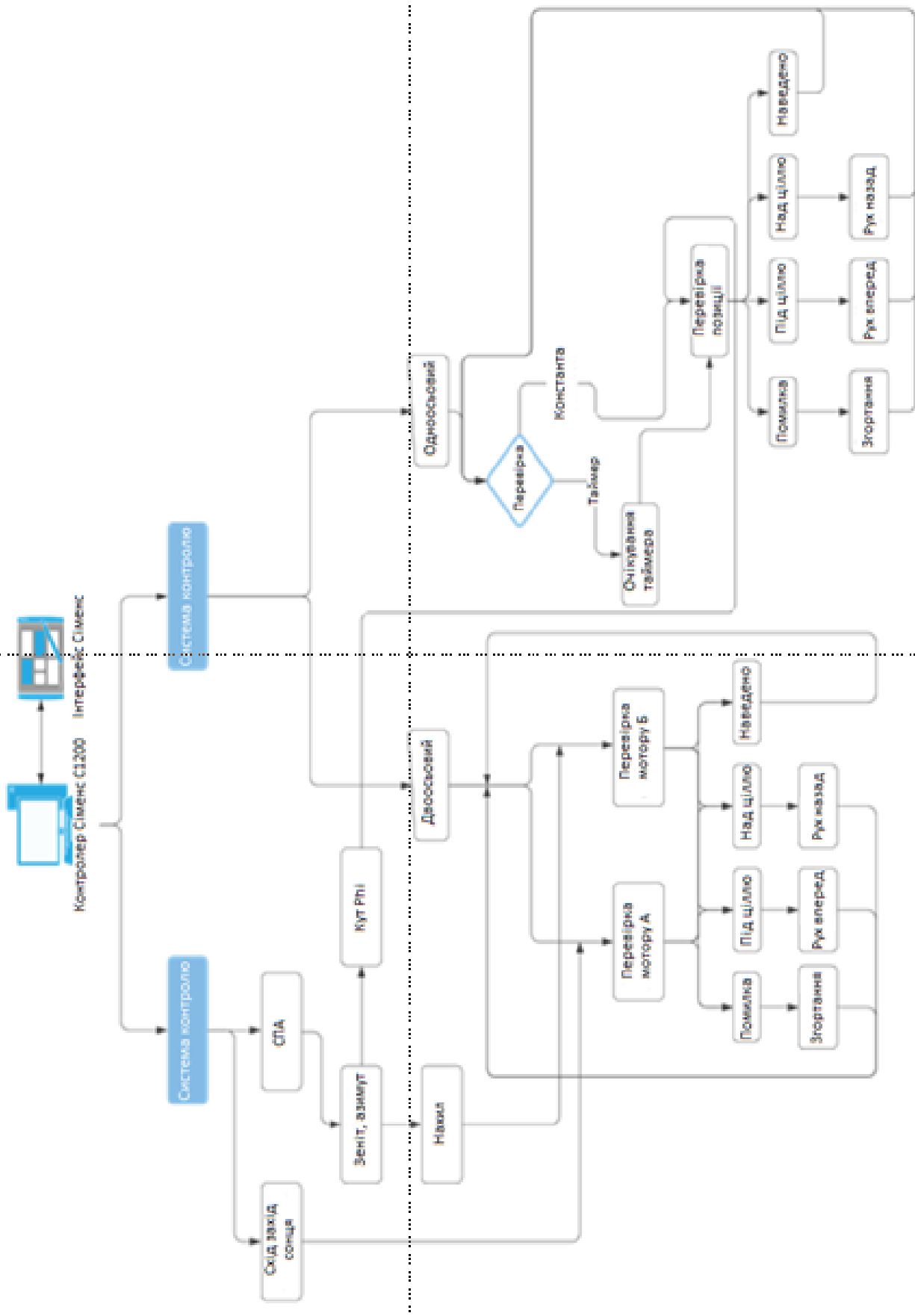


## Структурна схема пристрою керування трекером сонячної панелі із використанням ПІ-регулятора





# Блок схема алгоритму роботи пристрою керування трекером сонячної панелі



В процесі розробки пристрою керування трекером сонячної панелі розроблено структурну схему системи моторедуктор ME241-сонячна панель та програмне забезпечення в середовищі TIA Portal.

В першому розділі показано, що алгоритми стеження за сонцем можуть бути широко класифіковані як системи із замкнутим або розімкнутим контуром, залежно від способу керування.

У другому розділі розроблено модель пристрою керування трекером сонячної панелі. Розроблено принцип роботи пристрою керування трекером сонячної панелі. Виконано розрахунок параметрів пристрою керування трекером сонячної панелі. Було обрано моторедуктор ME241.

У третьому розділі розроблено алгоритм керування пристроєм керування трекером сонячної панелі. Розроблено програмне забезпечення для пристрою керування трекером сонячної панелі в середовищі TIA Portal.

Програма роботи пристрою керування трекером сонячної панелі розроблена на мові функціональних блок-схем (ФБС). Організаційні блоки – це інтерфейс між операційною системою ПЛК та програмою користувача.

Будь-який ПЛК матиме дві різні програми: програму виконання, яка є операційною системою ПЛК, і програму користувача, яка є логікою або кодом для керування певним процесом.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

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

Мартинюк В.Б.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи АКІТ-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

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

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

03.06.2024

дата



підпис

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІПІТК

ID перевірки:  
1016383346

Дата перевірки:  
23.06.2024 12:18:16 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
23.06.2024 12:55:58 EEST

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Мартинюк\_антиплагіат

Кількість сторінок: 63 Кількість слів: 8861 Кількість символів: 65681 Розмір файлу: 4.30 MB ID файлу: 1016193689

1280 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 6.21% Схожість

Найбільша схожість: 5.07% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015731167)

1.41% Джерела з Інтернету

104

Сторінка 65

5.76% Джерела з Бібліотеки

46

Сторінка 65

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

## 0.03% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0.03% Вилучення з Інтернету

25

Сторінка 66

0% Вилученого тексту з Бібліотеки

27

Сторінка 66

## Модифікації

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

Замінені символи

87

Підозріле форматування

16  
сторінок

**Anti-Plagiarism v-15.257****Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%****Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 13%**

ID: 132257 Назва: БКР Пристрій керування трекером сонячної панелі Додано в БД: 2024-06-23 Автора: Віталій МАРТИНЮК Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	55007	458	1879 (3%)	24 (5%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломниця: Мартинюк Віталій Богданович

Тема: Пристрій керування трекером сонячної панелі

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 11 Кількість сторінок записки 67

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина. Розробка програми роботи пристрою керування трекером сонячної панелі. Висновки.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи В першому розділі показано, що алгоритми стеження за сонцем можуть бути широко класифіковані як системи із замкнутим або розімкнутим контуром, залежно від способу керування. У другому розділі розроблено модель пристрою керування трекером сонячної панелі. У третьому розділі розроблено алгоритм керування пристроєм керування трекером сонячної панелі. Розроблено програмне забезпечення для пристрою керування трекером сонячної панелі в середовищі TIA Portal.
4. Позитивні сторони роботи: виконано розрахунок параметрів пристрою керування трекером сонячної панелі.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється розробці процесу конфігурації дисплея НМІ.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3,25/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Михайло Віктор Володимирович, доцент  
кафедри ТМІТ

"24" червня 2024 р.

 (підпис)

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

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

Назва: Пристрій керування трекером сонячної панелі

Автор: Мартинюк Віталій Богданович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 6,21% і адресується до 150 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК