

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором

Назва теми

КвРАКІТ. 2022133.01.01.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 3 курсу, група АКІТс-22-1



Підпис

Михайло СТАРИНЧУК

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

« 16 » . червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК

07 лютого 2025р.



**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Старинчуку Михайлу Михайловичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором

Керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н, професор

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

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.





3 Вихідні дані до роботи Забезпечення точності наведення не гірше $\pm 0,5^\circ$.

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

Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина. Розробка програми роботи автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025р.

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором».

Автор роботи: Старинчук Михайло Михайлович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 72 с., 46 рис., 1 таб. 6 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

СОНЯЧНИЙ КОНЦЕНТРАТОР, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, SOLAR POSITION ALGORITHM, SIEMENS S7-300, ЕНКОДЕР, АЗИМУТ, ELEVATION, ДВОСОСЬОВЕ СТЕЖЕННЯ.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором, здатного точно орієнтувати систему відповідно до положення Сонця.

Розроблено структурну та електричну схеми системи, виконано підбір елементної бази, до складу якої увійшли ПЛК, панель оператора, енкодери, датчики положення та сервоприводи. Здійснено програмну реалізацію алгоритмів керування з урахуванням автоматичного та ручного режимів, одно- та двоосьового стеження. Впроваджено функціональні блоки обробки астрономічних даних, масштабування сигналів з енкодерів і керування приводами по кутах азимуту та нахилу. Особливу увагу приділено використанню мережі PROFINET для взаємодії між пристроями.


Підпис студента

16.06.25
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	5
1.1. Особливості сонячних концентраторів.....	5
1.2. Особливості конструкції сонячного концентратора.....	11
1.3. Висновки до першого розділу.....	15
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	16
2.1. Розробка структурної схеми автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.....	16
2.2. Підбір блоків та пристроїв для структурної схеми автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.....	18
2.3. Розробка електричної схеми автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.....	26
2.4. Висновки до другого розділу.....	34
2. 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНИМ КОНЦЕНТРАТОРОМ.....	36
3.1. Алгоритм автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.....	36
3.2. Розробка програми роботи автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.....	38
3.3. Висновки до третього розділу.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	61
Додатки.....	65

КРБАКІТ. 2022133.01.01.ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Старинчук М.М.		13.06.2022		у		
Перевір		Мартинюк В.В.		13.06.2022			2	72
Т.Контр.								
Н.контр.		Корецька Л.О.		13.06.2022				
Затвер.		Мартинюк В.В.		16.06.2022				
						ХНУ, АКІТс-22-1		

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах енергетичної трансформації та зростання попиту на відновлювані джерела енергії особливої ваги набувають технології, що забезпечують ефективне використання сонячного випромінювання.

Одним із перспективних напрямів є застосування сонячних концентраторів - оптичних систем, що фокусують сонячне світло в невеликій області для підвищення температури та отримання теплової або електричної енергії. Такі системи активно використовуються в сонячній термальній енергетиці, промисловому нагріванні, а також у дослідницьких установках.

Автоматизоване стеження за Сонцем дозволяє в реальному часі адаптувати положення концентратора до змін інсоляції, погодних умов і географічного положення. Це значно підвищує коефіцієнт корисної дії системи, знижує втрати енергії та забезпечує довготривалу автономну роботу без постійного втручання оператора.

Таким чином, розробка автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором є актуальним напрямом, що сприяє розвитку екологічно чистої енергетики, впровадженню енергоефективних технологій та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Метою роботи є розробка автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором, здатного точно орієнтувати систему відповідно до положення Сонця.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз існуючих систем автоматизованого сонячними концентраторами та оцінити їхні переваги й недоліки;
- розробити структурну схему автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором;

- виконати вибір апаратних компонентів та сенсорів, необхідних для забезпечення стабільної роботи сонячного концентратора;
- створити електричну принципову схему пристрою;
- розробити програмне забезпечення автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.

Предметом дослідження є апаратно-програмний комплекс для автоматизованого позиціювання сонячного концентратора з урахуванням динаміки сонячного руху та навколишніх факторів.

Практична значимість результатів полягає у створенні доступного та енергоефективного рішення для точного керування сонячними концентраторами.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 6 додатків. Загальний обсяг роботи складає 72 сторінки комп'ютерного тексту, у тому числі: 46 рисунків, 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 сонячного концентратора, автоматизований процес керування сонячним концентратором.

У другому розділі розроблено електричну схему автоматизованого пристрою керування, яка охоплює силову частину, модулі аналогового та цифрового вводу/виводу, схеми живлення, підключення сервоконтролерів та частотних перетворювачів.

У третьому розділі розроблено алгоритм керування та розроблено програму автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Особливості сонячних концентраторів

У зв'язку зі зростанням попиту на енергію та зміною клімату потрібні альтернативи традиційним викопним джерелам енергії. Викиди вуглекислого газу можуть бути зменшені шляхом подальшого розширення використання відновлюваних джерел енергії та перерозподілу викопних джерел енергії, що необхідно для уповільнення зміни клімату [1].

Використання сонячної енергії має особливо високий потенціал у районах з високим рівнем сонячного випромінювання і може зробити значний внесок у забезпечення електроенергією [2]. Основною перевагою сонячних теплових електростанцій, порівняно з більшістю інших варіантів відновлюваної енергетики, є можливість зберігати теплову енергію і, отже, постачати енергію для аварійних потужностей.

Більшість таких теплових електростанцій використовують технологію концентрованої сонячної енергії (КСЕ). Завдяки процесу концентрації ці технології мають найкращий потенціал у регіонах з високим рівнем прямого сонячного випромінювання [2]. На рисунку 1.1 показано середня світова пряма нормальна інсоляція ПНІ (англійською мовою Direct Normal Irradiance DNI).

Середня світова річна та добова DNI (Direct Normal Irradiance, українською мовою - пряма нормальна інсоляція ПНІ) - це важливі параметри для визначення потенціалу сонячної енергії на певній місцевості. Вони вказують на кількість сонячної енергії, що потрапляє на одиницю площі в одиницю часу і орієнтовані безпосередньо на Сонце.

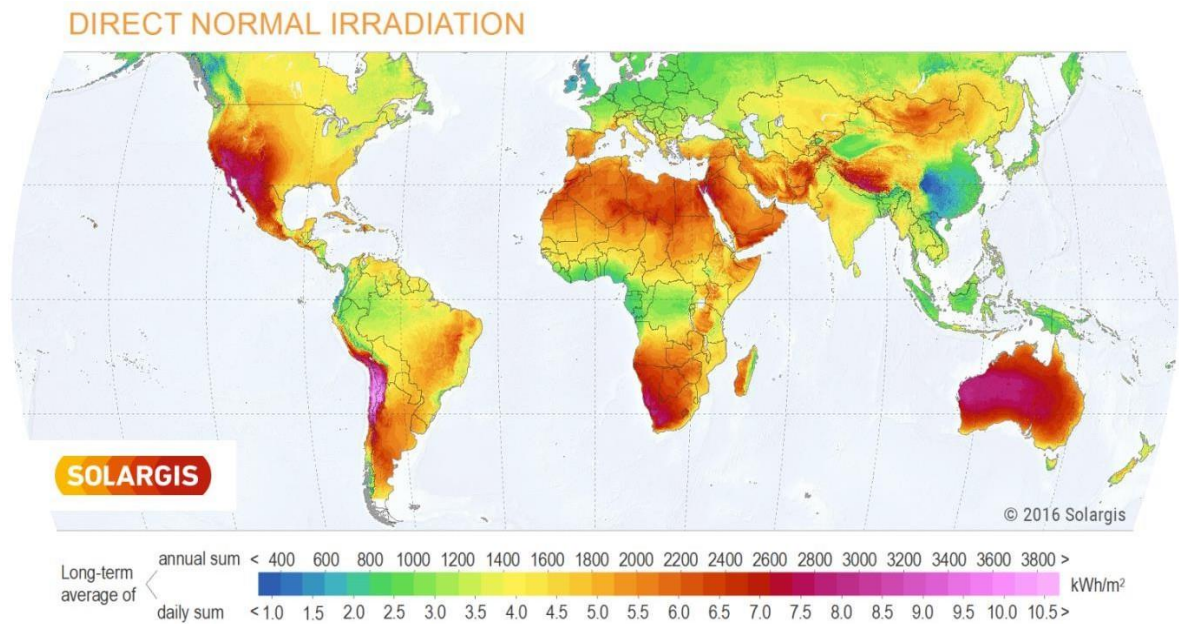


Рисунок 1.1 - Середній світовий річний та добовий DNI на горизонтальній площині [3]

Середня світова річна DNI.

Це середнє значення прямої нормальної інсоляції (DNI), що потрапляє на горизонтальну площину протягом року (звичайно вимірюється в кВт·год/м²/рік). Він враховує сезонні варіації, географічне положення, атмосферні умови та інші фактори, що можуть впливати на інсоляцію. Це важливий параметр для оцінки потенціалу сонячної енергетики в різних частинах світу.

Середня світова добова DNI:

Це середнє значення прямої нормальної інсоляції за один день (звичайно вимірюється в кВт·год/м²/добу). Він показує, скільки сонячної енергії потрапляє на площину, орієнтовану прямо на Сонце, протягом одного добового циклу.

Ці параметри часто використовуються при проектуванні сонячних електростанцій, щоб оцінити кількість сонячної енергії, яку можна отримати в різних регіонах. Чим вище значення DNI, тим більше енергії можна зібрати за допомогою сонячних панелей, орієнтованих прямо на

Сонце.

Сонячні концентратори - це системи, які збирають та фокусують сонячне випромінювання для підвищення температури в заданій точці, що дозволяє використовувати сконцентровану енергію в різноманітних застосуваннях: від термальної генерації електроенергії до нагріву теплоносіїв та хімічних реакцій [1, 2]. Високий потенціал подібних систем стимулює інженерно-технічне удосконалення їх компонентів, зокрема систем орієнтування.

Ефективність роботи сонячного концентратора значною мірою залежить від його здатності точно слідкувати за положенням Сонця протягом доби. В традиційних конструкціях використовуються фіксовані або ручні системи регулювання положення, однак це призводить до суттєвих втрат енергії через зміну кута падіння сонячного світла [3]. Тому в останні роки активно досліджуються та впроваджуються автоматизовані системи стеження за Сонцем, які дозволяють забезпечити постійне фокусування відбитого променя на тепловому елементі або світлочутливому приймачі [4, 5].

В літературі [6, 7] наводяться підходи до реалізації слідкувальних систем двох типів:

- астрономічні алгоритми, які розраховують положення Сонця на основі географічних координат, часу та дня року;
- сенсорні методи, що використовують фотодатчики, які вимірюють інтенсивність світла та автоматично вирівнюють дзеркала або лінзи до максимального освітлення.

Також існують гібридні системи, які поєднують переваги обох підходів, що забезпечує вищу точність позиціонування в умовах змінної хмарності [8]. Особливу увагу приділено впровадженню енергоефективних контролерів на базі Arduino, STM32, ESP32 тощо, які здатні працювати автономно з мінімальним споживанням енергії [9, 10].

Окремі дослідження [11, 12] розглядають вплив пилу, забруднення лінз або дзеркал на ефективність роботи, а також пропонують алгоритми самокалібрування та корекції положення, що дозволяє підтримувати робочі характеристики навіть у несприятливих умовах.

Також важливим аспектом є зберігання та моніторинг даних, отриманих у процесі роботи системи. Використання бездротових модулів зв'язку (Wi-Fi, GSM, LoRa) забезпечує віддалений контроль над роботою концентратора, а реалізація веб-інтерфейсів та мобільних застосунків дозволяє користувачу здійснювати моніторинг без фізичної присутності [13, 14].

Таким чином, аналіз наукових джерел підтверджує ефективність використання автоматизованих слідкувальних пристроїв для сонячних концентраторів і вказує на актуальність подальшої розробки таких систем з урахуванням простоти реалізації, енергоефективності та адаптації до зовнішніх умов.

Концентрована сонячна енергія.

Концентровані сонячні електростанції (КСЕ) збирають сонячну енергію у вигляді тепла, зберігають це тепло, якщо це необхідно, і, нарешті, транспортують його до енергетичного блоку, в якому тепло перетворюється на електроенергію за допомогою парової або газової турбіни.

Для підвищення температури та ефективності технологія КСЕ використовує великі дзеркала для концентрації сонячного світла на невеликому приймачі (сонячні вежі або сонячні параболічні тарілки) або на довгих приймальних трубах (лінійні колектори Френеля або параболічні жолоби).

Параболічний жолоб.

Параболічні жолобчасті колектори (ПЖК) є найпоширенішою комерційною технологією КСЕ на даний момент. Основними елементами

параболічних колекторів є дзеркала параболічної форми та абсорбційна труба, яку також називають теплозбірним елементом (ТЗЕ), де ТЗЕ знаходиться у фокальній точці відбивачів.

Для більшості комерційних застосувань поздовжня вісь конструкції орієнтована з півночі на південь. Для того, щоб стежити за рухом Сонця, використовується одноосьова система відстеження, що рухається в напрямку зі сходу на захід.

Таке сузір'я зазвичай призводить до вищих середньорічних значень. Тим не менш, для дослідницьких цілей або для місць, розташованих на більш високих широтах, більш придатною може бути орієнтація споруди зі сходу на захід у поєднанні з південно-північною або навіть двовісною системою відстеження. Схематичне зображення на рисунку 1.2 демонструє принцип параболічного жолобчастого колектора.

Теплоносій прокачується через трубку абсорбера. Як правило, теплоносій - це мастило, яке можна нагрівати до температури до 400 °С (сучасні кремнієві мастила дозволяють нагрівати до 450 °С). У теплообміннику тепло передається або накопичувачу теплової енергії (НТЕ), або воді або парі.

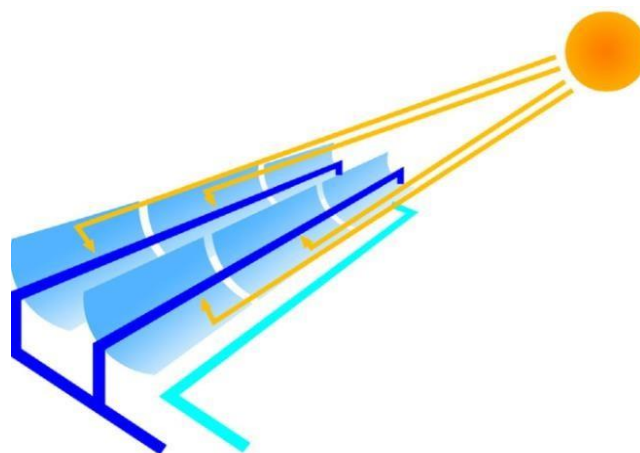


Рисунок 1.2 - Схема параболічного жолоба [4]

Пара приводить в дію генератор для виробництва електроенергії або

може бути використана як технологічна енергія. На рисунку 1.3 показано фото чотирьох елементів сонячного колектора "Euro Trough" [5].



Рисунок 1.3 - Елементи сонячного колектора "EuroTrough" [5]

Належне стеження за сонцем має важливе значення для отримання високої ефективності і може бути досягнуто за допомогою різних методів і технологій. Узагальнюючи, можна сказати, що існує два основних методи: астрономічні та оптичні системи стеження.

Нарешті, ПТК переміщується на позицію за допомогою системи керування рухом, що складається з гідравлічного приводу і датчика положення. На відміну від цього, оптичні системи стеження використовують сонячні датчики для вимірювання різниці між фактичним положенням і оптимальним положенням для центрування ПЖК в межах фокусу. Такий сонячний датчик показаний на рисунку 1.4.

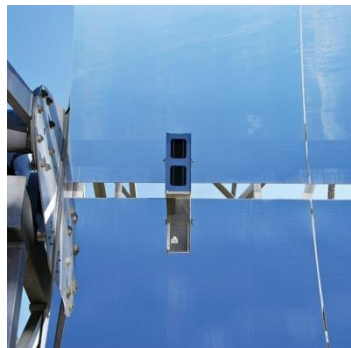


Рисунок 1.4 - Датчик сонця [7]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2022133.01.01.ПЗ

Арк.
10

1.2 Особливості конструкції сонячного концентратора

Послідовне з'єднання декількох елементів сонячного концентратора (ЕСК) утворює збірку сонячного концентратора (ЗСК), як показано на рисунку 1.5. Опори служать для підтримки осей.

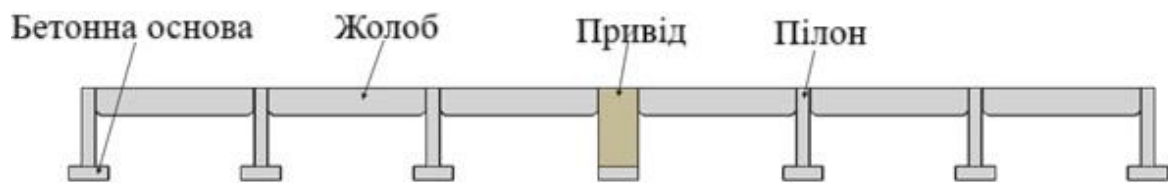


Рисунок 1.5 - Конструкція сонячного концентратора [8]

У комерційних електростанціях з параболічним жолобом декілька послідовно з'єднаних ЗСК утворюють колекторний контур. На рисунку 1.6 показано схематичне зображення колекторного контуру та його з'єднання з так званим колекторним трубопроводом.

На рисунку 1.7 показано кілька параболічних жолобів на електростанції Noor 1 в марокканській провінції Уар-Зазат. Станція була підключена до мережі в лютому 2016 року [10].

За винятком джерела тепла, основна функція електростанції подібна до традиційних електростанцій. Завдяки використанню розплавленої солі, тепло можна зберігати при високих температурах. Це дозволяє електростанції працювати повний робочий день, як під час низької радіації, так і вночі

Акумуляція тепла також дозволяє регулювати виробництво електроенергії та відпуск електроенергії відповідно до замовлення, що також називається "диспетчеризацією". Це призводить до основної переваги електростанцій, що робить їх цікавою технологією на ринку відновлюваної енергетики.

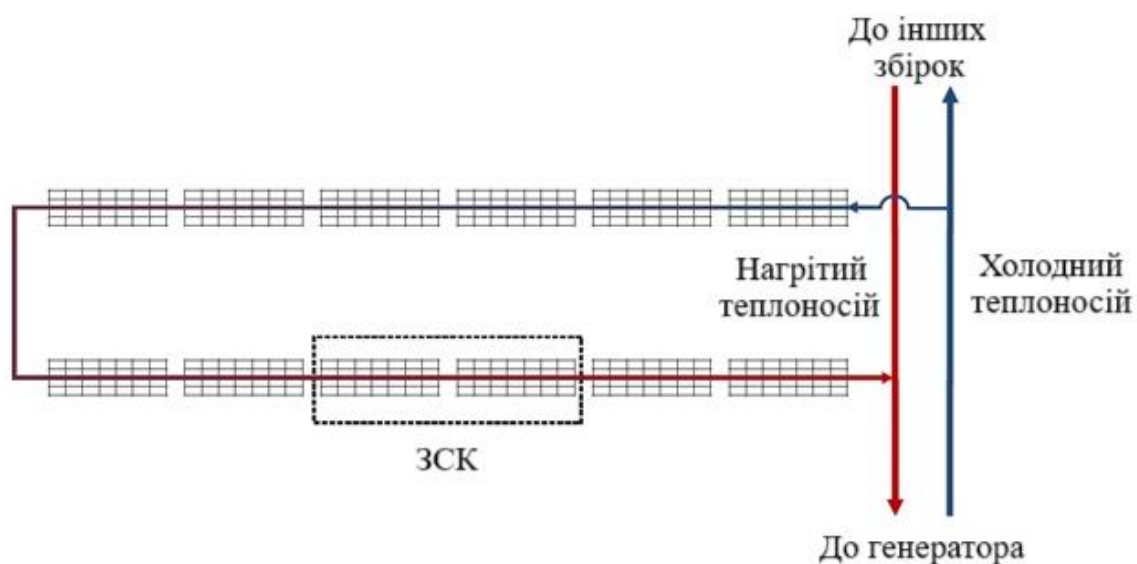


Рисунок 1.6 - Схема колекторного контуру [8]



Рисунок 1.7 - Електростанція Noor 1 в Марокко [9]

На рисунку 1.8 показано три електростанції Andasol 1-3, розташовані в провінції Гранада, Іспанія. Кожна з електростанцій має електричну потужність 50 МВт і сховище теплової енергії [11].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.8 - Електростанція Andasol 1-3 [12]

Для того, щоб сфокусувати відбите і сконцентроване сонячне світло на поглинаючій трубці, параболічні рефлектори повинні рухатися, тому зазвичай використовується одноосьова система стеження. У найпоширеніших випадках вісь обертання колектора не співпадає з фокальною лінією, що супроводжує лінійне теплове розширення теплозбираючого елемента, яке необхідно компенсувати.

Для того, щоб встановити зв'язок між обертовим і розширюваним і жорсткою системою, використовуються так звані вузли, що забезпечують обертання і розширення (англійською мовою REPA - Rotation and Expansion Performing Assemblies).

На сьогоднішній день існує дві конкуруючі технології, так звані шарнірні з'єднання та ротаційні гнучкі шланги. Як і шарнірні з'єднання так ісротаційні гнучкі шланги є ізольовані для зменшення теплових втрат.

Кульковий шарнірний вузол складається з трьох кулькових шарнірів, які компенсують як обертання, так і розширення сонячного колектора. Кульковий шарнірний вузол без ізоляції показаний на рисунку 1.9.

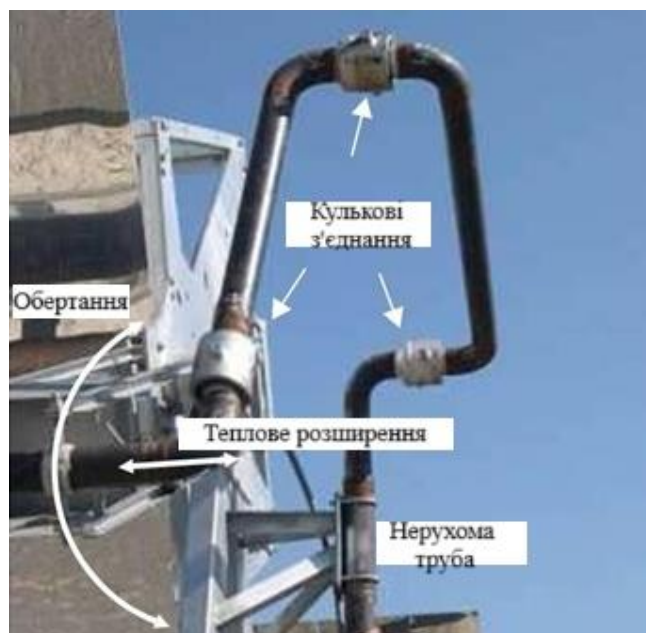


Рисунок 1.9 - Кульовий шарнір у зборі (без теплоізоляції)

Поворотні гнучкі шлангові з'єднання компенсують основну частину обертального руху за допомогою шарнірного з'єднання. Так званий моментний меч служить для встановлення з'єднання між віссю обертання і шарнірним з'єднанням. Гофрований металевий шланг забезпечує додаткову гнучкість, необхідну для компенсації теплового розширення. На рисунку 1.10 показано такий гофрований металевий шланг.



Рисунок 1.10 - Поворотний гнучкий шланг у зборі

На типовому сонячному полі зі зразковими 120 колекторними петлями встановлено 960 REPA. Сума інвестицій у ці гнучкі з'єднання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2022133.01.01.ПЗ

Арк.
14

становить близько одного мільйона євро [13].

1.3 Висновки до першого розділу

1. Проведений аналіз літературних джерел свідчить про актуальність автоматизації сонячних концентрувальних систем як ефективного способу підвищення продуктивності відновлюваних джерел енергії, зокрема в галузі сонячної термальної енергетики.

2. Встановлено, що найефективнішими є слідкуючі системи керування, які забезпечують точне орієнтування концентрувальних елементів відносно Сонця впродовж усього світлового дня, що дозволяє значно збільшити кількість зібраної енергії.

3. В наукових дослідженнях розглянуто різні підходи до реалізації слідкування за Сонцем, зокрема: астрономічні алгоритми, сенсорні методи на основі фотодатчиків та гібридні схеми. Кожен з них має свої переваги та обмеження щодо точності, вартості та енергоспоживання.

4. Огляд сучасних рішень показав, що автоматизовані системи керування концентраторів, побудовані на базі мікроконтролерів (Arduino, ESP32 тощо), є доступними, гнучкими та достатньо ефективними для реалізації в малих і середніх енергетичних установках.

5. Виявлено, що однією з проблем сучасних систем є залежність точності слідкування від погодних умов (хмарність, запилення), що потребує впровадження додаткових алгоритмів самокалібрування, зворотного зв'язку та автономного живлення.

6. Таким чином, створення автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором з урахуванням точності позиціонування, енергоефективності та можливості адаптації до умов навколишнього середовища є доцільним і перспективним напрямом дослідження.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором призначений для забезпечення точного орієнтування оптичних елементів системи на джерело сонячного випромінювання з метою максимізації ефективності збору енергії.

Для досягнення цього завдання застосовується структурно-програмний підхід, у якому основну роль відіграє система автоматичного регулювання на базі програмованого логічного контролера (ПЛК). Структурна схема автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором зображена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Структурна схема автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

Структурна схема автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором відображає основні функціональні компоненти системи та їх взаємозв'язки. До складу системи входять наступні ключові елементи.

1. Блок живлення, який забезпечує енергоживлення контролера, приводів та сенсорів. Блок живлення - це стабілізований блок постійного струму на напругу 24 В.

2. Програмований логічний контролер виконує збір даних від датчиків, здійснює обробку інформації та формує сигнали керування сервоприводами у відповідності до алгоритму стеження за Сонцем.

3. Сервоприводи реалізують обертання сонячного концентратора у двох площинах: по азимуту (горизонтальна вісь) і по висоті (вертикальна вісь).

4. Механізм обертання сонячного концентратора забезпечує фізичне переміщення параболічного жолоба відповідно до керуючих сигналів. Передбачене зчитування зворотного зв'язку за допомогою енкодерів.

5. Сенсор температури для моніторингу температури довкілля або елементів конструкції задля запобігання перегріванню і реалізації аварійних режимів.

6. Людино-машинний інтерфейс у вигляді сенсорної панелі оператора, який дозволяє здійснювати керування пристрою керування сонячним концентратором, змінювати режими роботи або виводити діагностичні повідомлення.

Програмований логічний контролер керує сервоприводами через драйвери, формуючи сигнали відповідно до результатів аналізу сигналів зворотного зв'язку. Такий підхід дозволяє реалізувати замкнену систему керування з високою точністю позиціювання.

Впровадження описаної структурної схеми забезпечує адаптацію системи до зміни інсоляції та гнучкість реалізації алгоритму роботи пристрою керування сонячним концентратором.

За допомогою людино-машинного інтерфейсу є можливість віддаленого моніторингу і керування, а також забезпечення енергоефективності завдяки застосуванню автономного живлення та економних електроприводів.

Розроблена структурна схема є основою для створення надійного, адаптивного та високоефективного пристрою керування сонячним концентратором.

2.2 Підбір блоків та пристроїв для структурної схеми автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

Для реалізації автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором необхідно здійснити обґрунтований вибір функціональних блоків та елементів обладнання, які забезпечують стабільну та ефективну роботу пристрою в реальних умовах експлуатації.

Центральним елементом пристрою керування сонячним концентратором є програмований логічний контролер. З огляду на наявні напрацювання, доступність технічної документації та досвід використання в промислових системах, було вибрано ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP каталожний номер 6ES7315-2EH14-0AB0.

Незважаючи на те, що дана модель контролера формально застаріла, вона й надалі широко застосовується в автоматизованих системах управління, зокрема в енергетичних та дослідницьких установках.

Програмований логічний контролер S7-300 CPU 315-2 PN/DP забезпечує достатню обчислювальну потужність для реалізації алгоритмів стеження за Сонцем. Наявність вбудованих інтерфейсів PROFINET та Profibus DP для гнучкого обміну даними з периферійними пристроями дозволяє ПЛК здійснювати підтримку модульної архітектури з можливістю підключення аналогових, цифрових, імпульсних

входів/виходів. На рисунку 2.2 зображено ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP [15].



Рисунок 2.2 - ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP [15]

Програмований логічний контролер S7-300 CPU 315-2 PN/DP забезпечує сумісність з пакетом інженерного програмного забезпечення TIA Portal V17.

Для забезпечення стабільної роботи всіх компонентів автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором обрано стабілізоване джерело живлення постійного струму на 24 В Siemens PS307 10 А каталожний номер 6ES7307-1KA02-0AA0, який зображено на рисунку 2.3 [16].



Рисунок 2.3 – Блок живлення Siemens PS307 10 А [16]

Функціональна схема приєднання датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP зображена на рисунку 2.4.

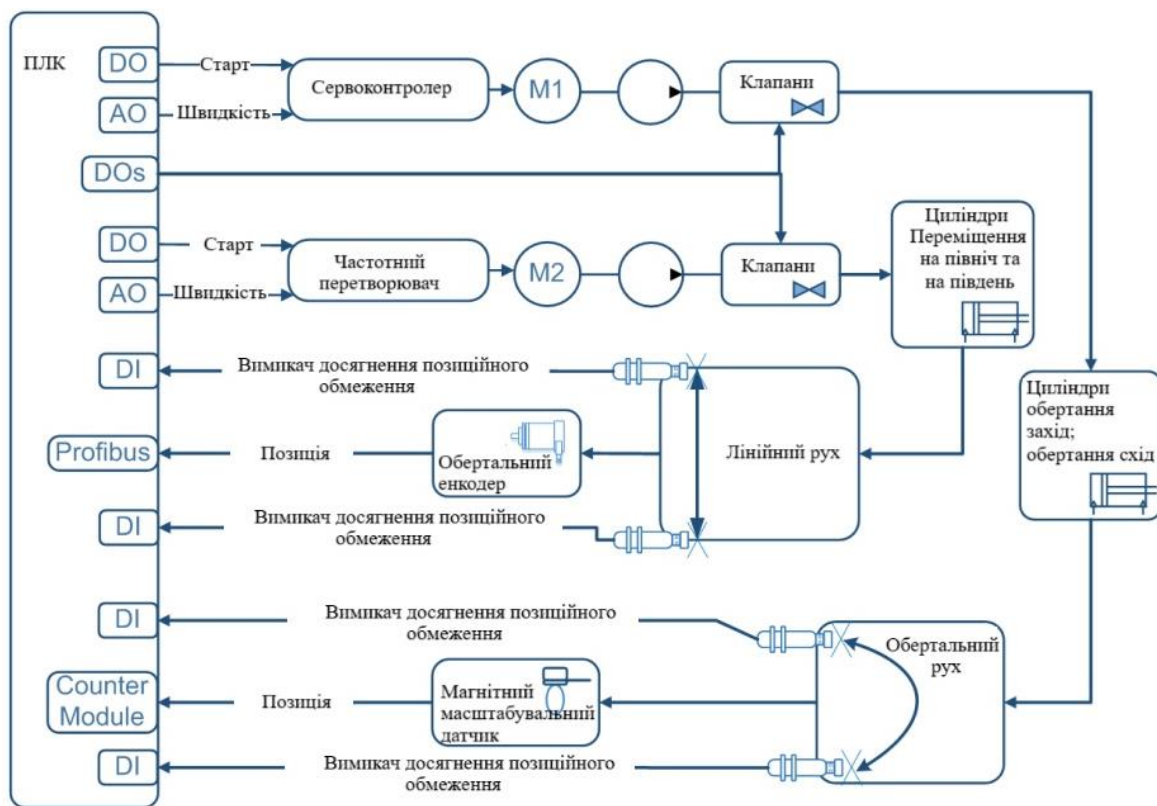


Рисунок 2.4 – Функціональна схема приєднання датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP

Функціональна схема приєднання датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP ілюструє двокоординатну систему автоматичного позиціонування сонячного концентратора на основі програмованого логічного контролера.

Функціональна схема приєднання датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP забезпечує лінійний та обертальний рух фокусуєчого елемента параболічного жолоба для точного стеження за положенням Сонця протягом доби.

Програмований логічний контролер Керуючий блок є центральним обчислювальним елементом системи. Через цифрові (DO) та аналогові

виходи (АО), а також цифрові входи (DІ) програмований логічний контролер керує електроприводами та клапанами.

Також програмований логічний контролер зчитує сигнали з датчиків положення контролює досягнення межових позицій, а також здійснює зв'язок із датчиками положення через інтерфейс Profibus та модуль підрахунку імпульсів.

Сигнал керування лінійним рухом DO (Старт) подає команду на запуск сервоконтролера, який керує двигуном M1. Сигнал керування АО (Швидкість) задає аналогову величину швидкості обертання.

Вихід сервоконтролера активує електромагнітні клапани, які приводять в дію пневмоциліндри переміщення на північ/південь.

Паралельно активується датчик положення - обертальний енкодер, підключений через Profibus. Він фіксує реальне положення платформи в системі координат.

Кінцеві вимикачі сигналізують досягнення обмежень по крайніх точках ходу, підключені до входів DІ ПЛК. Керування обертальним рухом відбувається через частотний перетворювач (ЧП), який керує двигуном M2. Він, у свою чергу, активує інші електромагнітні клапани, що керують пневматичними циліндрами обертання (захід/схід).

Рух платформи фіксується за допомогою магнітного масштабовального датчика, який видає імпульси на модуль підрахунку ПЛК (Counter Module).

Як і в попередньому випадку, кінцеві вимикачі забезпечують контроль досягнення граничних положень і убезпечують систему від механічного перевантаження.

Енкодер і шкальний датчик забезпечують точний зворотний зв'язок про положення платформи у реальному часі. Використання Profibus гарантує надійний обмін даними з енкодером та іншими інтелектуальними пристроями.

Цифрові входи DI отримують сигнали від кінцевих вимикачів, що дозволяє контролеру реагувати на аварійні або граничні стани. Функціональна схема приєднання датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP забезпечує точне двохосьове позиціонування платформи (лінійне та обертальне).

Для реалізації системи обертального позиціонування в автоматизованому пристрої керування сонячним концентратором будемо використовувати сервоконтролер Siemens, який забезпечить точне керування положенням і швидкістю виконавчого механізму.

З огляду на сумісність із системою S7-300 виберемо сервоконтролер Siemens SINAMICS S120 каталожний номер 6SL3420-1TE21-8AA1, який зображено на рисунку 2.5 [17].



Рисунок 2.5 – Сервоконтролер Siemens SINAMICS S120 [17]

Siemens SINAMICS S120 - це модульна система сервоприводів, яка чудово підходить для прецизійного керування та має розвинені можливості інтеграції з ПЛК Siemens S7-300 через PROFIBUS або PROFINET.

Siemens SINAMICS S120 забезпечує підтримку точного керування

положенням параболічного жолоба в обох координатах (оберт та нахил). Siemens SINAMICS S120 забезпечує повну сумісність із Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP через PROFIBUS/PROFINET.

Наявність інтегрованих функцій PID-регулятора та програмованих позицій, а також можливість реалізації енергозберігаючого режиму, є особливо актуальним для автономного живлення.

Для реалізації лінійного приводу в автоматизованому пристрої керування сонячним концентратором доцільно застосувати частотний перетворювач ACS400 виробництва компанії АВВ, який зображений на рисунку 2.6 [18].



Рисунок 2.6 – Перетворювач частоти ACS400 компанії АВВ [18]

Даний перетворювач забезпечує гнучке, надійне та енергоефективне керування асинхронним електродвигуном змінного струму в системах середньої складності.

Функціональні можливості перетворювача частоти ACS400 компанії АВВ.

1. Плавний пуск/зупинка двигуна для зменшення механічних навантажень.
2. Захист від перевантаження, перегріву, перенапруги.

3. Інтегрована панель керування для локального налаштування та тестування.

4. Можливість налаштування PID-регулятора для замкненого керування процесом.

5. Підтримка аналогового керування швидкістю (0–10 В, 4–20 мА), що дозволяє інтеграцію з ПЛК через аналоговий вихід (АО).

Вибір частотного перетворювача ABB ACS400 дозволяє реалізувати надійне та енергоефективне керування приводом лінійного переміщення в системі сонячного концентратора. Його інтеграція з ПЛК S7-300 забезпечує повноцінну взаємодію в складі загальної автоматизованої системи, включаючи підтримку алгоритмів стеження за положенням Сонця.

Для реалізації високоточного зворотного зв'язку за положенням у системі автоматизованого керування сонячним концентратором доцільно застосувати обертальний енкодер Kubler Sendix S5858FS3, який забезпечує точне визначення кута повороту параболічного жолоба в обох координатах (азимут/висота). Енкодер Kubler Sendix S5858FS3 – це сучасний високоякісний енкодер для систем позиціонування, який зображений на рисунку 2.7 [19].



Рисунок 2.7 – Енкодер Kubler Sendix S5858FS3 [19]

Енкодер Kubler Sendix S5858FS3 забезпечує точний кутовий

зворотний зв'язок, просте підключення через PROFINET, стабільну діагностику та параметризацію та відповідає сучасним промисловим стандартам.

Виберемо магнітний масштабувальний датчик Temposonics R-Series V PROFINET, який зображено на рисунку 2.8 [20].



Рисунок 2.8 – Магнітний масштабувальний датчик Temposonics R-Series V PROFINET [20]

Для виявлення крайніх положень у конструкції сонячного концентратора використовуємо індукційний кінцевий датчик 3RG4041-6KD00 (SIMATIC PXI340), який зображено на рисунку 2.9 [21].

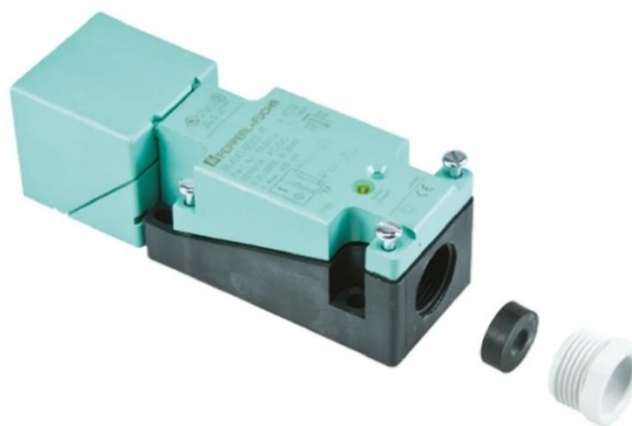


Рисунок 2.9 – Індукційний кінцевий датчик 3RG4041-6KD00 (SIMATIC PXI340) [21]

Siemens 3RG4041-6KD00 - це сучасний і надійний кінцевий індукційний датчик, оптимально пристосований для використання в системах захисту від перевантажень і обмежень ходу в автоматизованому пристрої керування сонячним концентратором. Його характеристики забезпечують чітке реагування на крайні положення пристрою, надійне з'єднання з ПЛК, а також довговічність і стійкість в польових умовах.

2.3 Розробка електричної схеми автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

На рисунку 2.10 зображено фрагмент силової електричної схеми, яка відповідає за розподіл та захист електроживлення пристрою керування. Схема побудована на основі трифазної мережі живлення змінного струму (L1, L2, L3, PEN), що є стандартом для промислових електроустановок.

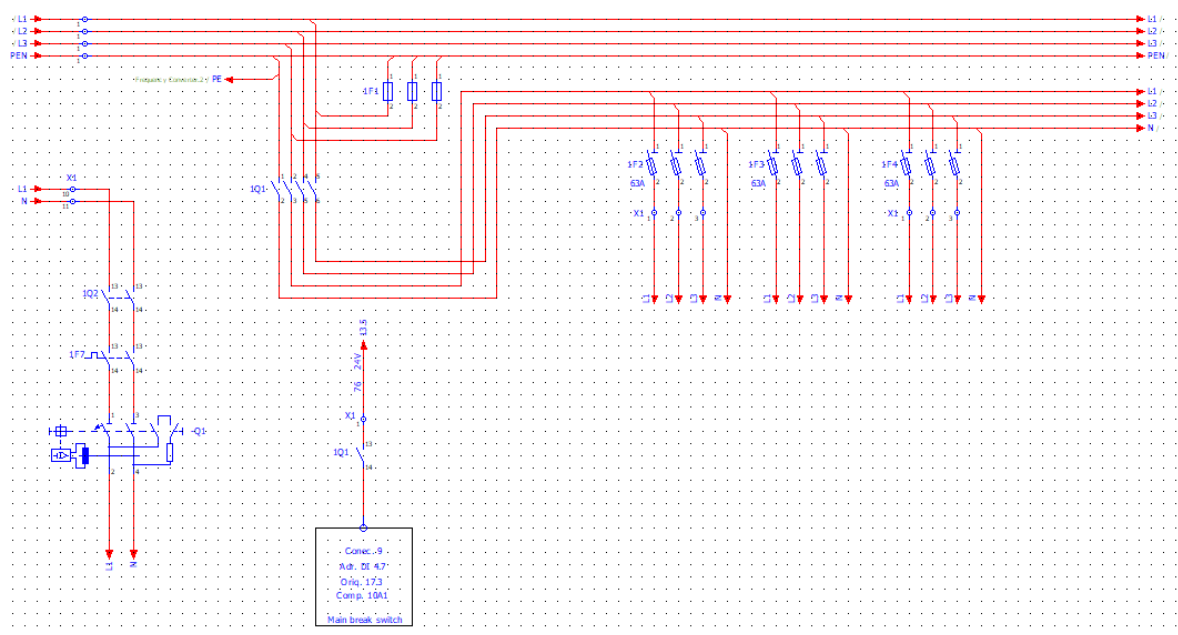


Рисунок 2.10 – Фрагмент силової електричної схеми, яка відповідає за розподіл та захист електроживлення автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

Основні елементи та їх функції фрагменту силової електричної схеми, яка відповідає за розподіл та захист електроживлення автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.

1. Ввідна частина живлення.

L1, L2, L3, PEN - трифазне живлення з PEN-провідником (нейтраль + заземлення).

2. X1 - клемна колодка для підключення зовнішнього вводу.

3. Q1 - автоматичний вимикач (main break switch), який забезпечує загальне відключення електроживлення всієї системи.

4. Система захисту та фільтрації.

1F1, 1F2, 1F3 - модулі фільтрації (варистори), які захищають від перенапруг і високочастотних завад.

5. 1Q2 - додатковий автомат для ізоляції окремих кіл живлення.

Паралельно до них підключено заземлення PE - це забезпечує захист від ураження електричним струмом.

Вихідні групи живлення надходять на розгалуження трифазної напруги через запобіжники (1F4, 1F5, 1F6, 1F7, 1F8) на окремі споживачі.

Кожна пара запобіжників підключена до вихідних клемних груп X2, які використовуються для живлення частотного перетворювача, сервоприводу, блоку живлення ПЛК та допоміжних навантажень - панелі оператора.

Виходи N і PEN продовжуються до споживачів і клем, забезпечуючи повну трифазну систему з нейтраллю. Розрив схеми здійснюється через вимикач Q1. Вимикач Q1 пов'язаний із зовнішнім органом керування (кнопкою) через контакт X1:9. Ця кнопка відповідає за аварійне або планове відключення електроживлення.

Схема є силовою частиною системи живлення і забезпечує подачу трифазного живлення до всіх виконавчих пристроїв, а також здійснює незалежний захист кожної лінії. Електробезпека забезпечується через

заземлення і модулі фільтрації. Забезпечена можливість оперативного керування живленням системи через вимикачі.

Наведена силова схема є критично важливою для коректного та безпечного функціонування пристрою керування сонячним концентратором. Вона гарантує надійне підключення до електромережі, забезпечує індивідуальний захист виконавчих контурів, а також умови для стабільної роботи електронних компонентів (ПЛК, НМІ, приводи тощо).

На рисунку 2.11 зображено повну схему підключення частотного перетворювача ACS 400, який керує електродвигуном насоса теплоносія. Схема містить як силову, так і керуючу частини, а також сенсори зворотного зв'язку.

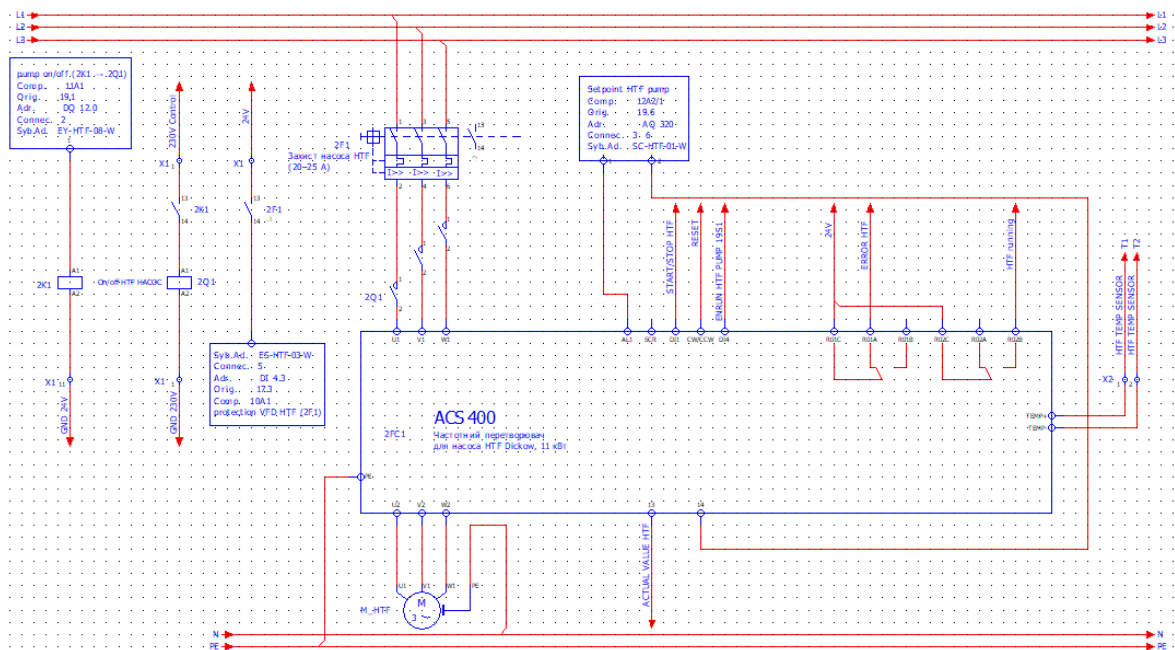


Рисунок 2.11 – Повна схема підключення частотного перетворювача ACS 400

Напруга живлення 3×400 В АС подається на клеми L1, L2, L3 перетворювача ACS 400. Через модуль 2F1 (автомат захисту 25 А) реалізується захист від перевантаження по струму. Виходи U2, V2, W2 частотного перетворювача підключені до трифазного двигуна M_HTF.

Відповідні аналогові сигнали цих модулів.

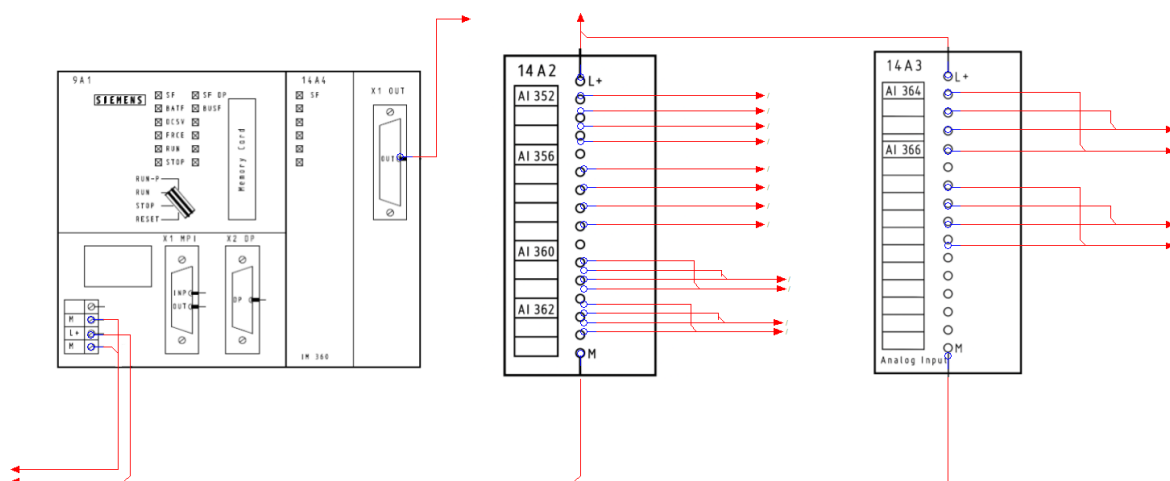


Рисунок 2.12 – Схема підключення модулів аналогового вводу до центрального ПЛК Siemens S7-300

Модуль CPU Siemens S7-300 CPU оснащений в центральній стійці інтерфейсним модулем розширення IM 360 для комунікації. Інтерфейс MPI/DP використовується для обміну даними з HMI, а лінії L+ та M використовуються для живлення цифрових та аналогових модулів.

Аналогові модулі вводу 14A2, 14A3 побудовані за допомогою модулів SM 331, які мають 8 AI з 12-bit перетворенням та ізольованими входами. Аналогові модулі вводу 14A2, 14A3 забезпечують прийом аналогових сигналів з діапазоном від 0 В до 10 В або від 4 мА до 20 мА.

У першому аналоговому модулі 14A2 використовуються канали AI 352, 356, 360, 362. Ці канали призначені для зчитування аналогових сигналів з датчика температури НТФ, тиску та положення. Живлення аналогового модуля 14A2 здійснюється за допомогою ліній L+ (плюсова шина) та M (загальна земляна шина).

У другому аналоговому модулі 14A3 використовуються канали AI 364, 366 та резервні канали. Другий аналоговий модуль вводу 14A3 використовується для прийому сигналів з масштабовального магнітного

датчика, температурного сенсора та інших аналогових пристроїв, які потребують високої точності.

Схема підключення модулів аналогового вводу до центрального ПЛК Siemens S7-300 забезпечує надійне зчитування аналогових сигналів у системі керування сонячним концентратором. Завдяки використанню модулів SM 331, система має гнучкість у підключенні сенсорів різного типу і забезпечує високу точність вимірювання, що критично важливо для точного керування положенням параболічного жолоба, температурним режимом та системами безпеки.

На рисунку 2.13 зображено схему низьковольтного живлення 24 В для автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором. Схему низьковольтного живлення містить два окремі блоки живлення, модулі вибіркового захисту та розгалуження живлення на окремі функціональні вузли: керування, сервоприводи та датчики.

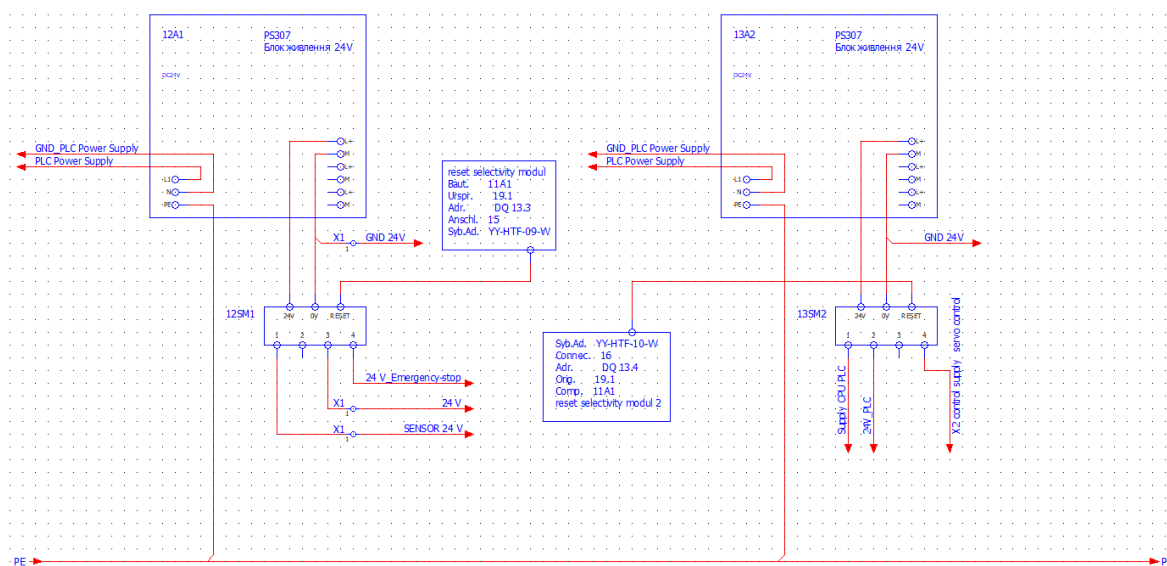


Рисунок 2.13 – Схема низьковольтного живлення 24 В

Схема низьковольтного живлення 24 В містить два окремі блоки живлення PS307, які приєднані до мережі змінного струму 230 В через відповідні вводи L, N та PE.

Перше джерело живлення 12А1 використовується для живлення сенсорів, логіки та аварійної зупинки. Друге джерело живлення 13А2 використовується для живлення сервоприводів, CPU та актуаторів.

Модулі вибіркового скидання (reset selectivity modules) YY-HTF-09-W та YY-HTF-10-W використовуються для вибіркового перезапуску (reset) та забезпечують селективний захист і швидке відновлення окремих гілок живлення.

Їхні вхідні сигнали приходять від виходів контролера (DQ 13.3 та DQ 13.4). Вони використовуються для живлення аварійної зупинки Emergency stop, а також для живлення аналогових та цифрових сенсорів Sensor 24 V.

Всі виходи об'єднані по шині GND 24 V. Через модулі 12SM1 та 13SM2 подається живлення на Supply CPU PLC для програмованого логічного контролера. Вивід X2 control servo control використовується для керування двигунами та обертальними механізмами.

Автоматичні вимикачі вбудовані в PS307 та забезпечують захист від коротких замикань. Усі блоки мають чітко позначене заземлення PE, що відповідає вимогам електробезпеки. Схема низьковольтного живлення 24 В забезпечує енергетичну ізоляцію функціональних блоків, селективність захисту, гнучке розширення та безпечне обслуговування системи.

На рисунку 2.14 зображено схему підключення сервоконтролера, який керує трифазним серводвигуном M1 у системі автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.

Схема містить кола подачі живлення, кола захисту та фільтрації, інтерфейс керування з ПЛК, коло зворотного зв'язку з двигуна, а також кола діагностики та безпеки.

Силова частина містить лінії L1, L2 та L3 трифазного живлення для сервоконтролера, які подаються через автоматичний вимикач SF1 з

зворотного зв'язку поступають від серводвигуна та надходять до ПЛК. Ці сигнали визначають стан приводу (running, ready та fault), а також стан перевантаження та аварійна зупинка двигуна підключені через модулі DI 15.1, DI 15.2 та DI 15.3.

Контур захисту від обертання реалізований через релейну схему (SCS1 Safety Relay). У разі аварії розмикається розмикається, блокує живлення через контактор SF1 та знімає дозвіл з сервоконтролера.

Контролюється також наявність 24 В на сервоконтролері, що дає змогу реалізувати "безпечне відключення моменту" (Safe Torque Off - STO). Сервоконтролер забезпечує прецизійне керування обертанням платформи сонячного концентратора, швидке позиціонування у реальному часі, а також захист від механічних перевантажень та коротких замикань.

Сервоконтролер у схемі підключення сервоконтролера реалізує повнофункціональне керування виконавчим механізмом, що відповідає за точне орієнтування параболічного жолоба концентратора. Архітектура сервоконтролера базується на принципах надійності, безпеки та модульності, а реалізована схема забезпечує повну інтеграцію з системою керування на базі ПЛК Siemens S7-300.

Розроблена електрична схема автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором відповідає стандартам Siemens для систем автоматизації.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі було здійснено повний цикл технічного обґрунтування, вибору та проектування складових автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором. Основною метою розділу було формування архітектури системи керування, яка здатна забезпечити точне стеження за положенням Сонця в режимі реального часу.

1. Розроблено структурну схему пристрою, яка містить всі основні функціональні компоненти: джерело живлення, програмований логічний контролер, виконавчі механізми, датчики положення, температурні сенсори, а також людино-машинний інтерфейс. Схема побудована відповідно до принципів модульності.

2. Виконано техніко-функціональний підбір обладнання, а саме вибір контролера Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP, блоку живлення PS307, сервоконтролера SINAMICS S120, частотного перетворювача ABB ACS400, енкодера Siemens 6FX2001-5FN25, масштабувального датчика Temposonics R-Series V, а також індукційного кінцевого датчика 3RG4041-6KD00. Вибране обладнання відповідає вимогам промислової надійності, точності, енергоефективності та сумісності з системами PROFINET/PROFIBUS.

3. розроблено електричну схему керування, яка містить схему живлення від трифазної мережі змінного струму (силова частина), схему низьковольтного живлення 24 В постійного струму, схему підключення частотного перетворювача до насоса теплоносія, схему вводу аналогових сигналів, а також схему підключення сервоконтролера та сигналів зворотного зв'язку.

4. Наведені схеми виконані згідно з вимогами електробезпеки, мають захист від перевантажень та передбачають селективне відключення окремих гілок живлення. Особлива увага приділена модульності, що дозволяє швидко масштабувати або модифікувати систему в майбутньому.

У другому розділі було створено концептуальну, функціональну та електричну основу для реалізації надійного, адаптивного й високоефективного пристрою керування сонячним концентратором. Запропонована система забезпечує точне позиціонування платформи у двох координатах та готова до впровадження в умовах реального промислового середовища.

панелі оператора. Блок-схема алгоритму роботи автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором відображує два основні процеси.

1. Визначення кутів повороту на основі сонячного алгоритму.
2. Вибір режиму роботи системи, а саме одно- або двоосьовий режим роботи.

Система керування взаємодіє з панеллю оператора, за допомогою якої здійснюється вибір режиму роботи, діагностика та ручне керування. Визначення кутів повороту здійснюється за допомогою алгоритму SPA (Solar Position Algorithm).

Програмований логічний контролер отримує координати Сонця на основі астрономічних даних і розраховує значення положення сонця зеніт, азимут та кут нахилу параболічного жолоба.

В результаті роботи SPA-алгоритму отримуємо значення кута Φ , який передається на координатні приводи. У двоосьовому режимі кут Φ розділяється на дві складові: азимутальний кут і висотний кут.

У двоосьовому режимі здійснюється паралельна перевірка мотору А, який відповідає за вісь обертання та мотору В, який відповідає за вісь нахилу. Для кожного двигуна здійснюється перевірка положення. Якщо відхилення під ціллю, то виконується команда "Рух вперед". Якщо відхилення над ціллю, то виконується команда "Рух назад".

У випадку, коли було здійснено наведення, тоді відбувається зупинка, а у випадку помилка, здійснюється блокування, та перехід до стану "Згортання".

В одноосьовому режимі роботи відбувається перевірка за таймером або константною уставкою. В цьому випадку відбувається очікування проходження таймера та перевірка положення подібно до двоосьового режиму роботи.

Наведена блок-схема демонструє деталізований алгоритм двоосьового

та одноосьового керування положенням платформи сонячного концентратора, з урахуванням астрономічного розрахунку координат Сонця (SPA), покрокового контролю стану приводів, реалізації зворотного зв'язку та контролю помилок.

3.2 Розробка програми роботи автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

Для реалізації алгоритму було створено проект автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором в середовищі Siemens TIA Portal V17.

На рисунку 3.2 показано конфігурацію ПЛК з джерелом живлення, CPU, інтерфейсами розширення, модулем лічильника та різними цифровими та аналоговими входами та виходами.

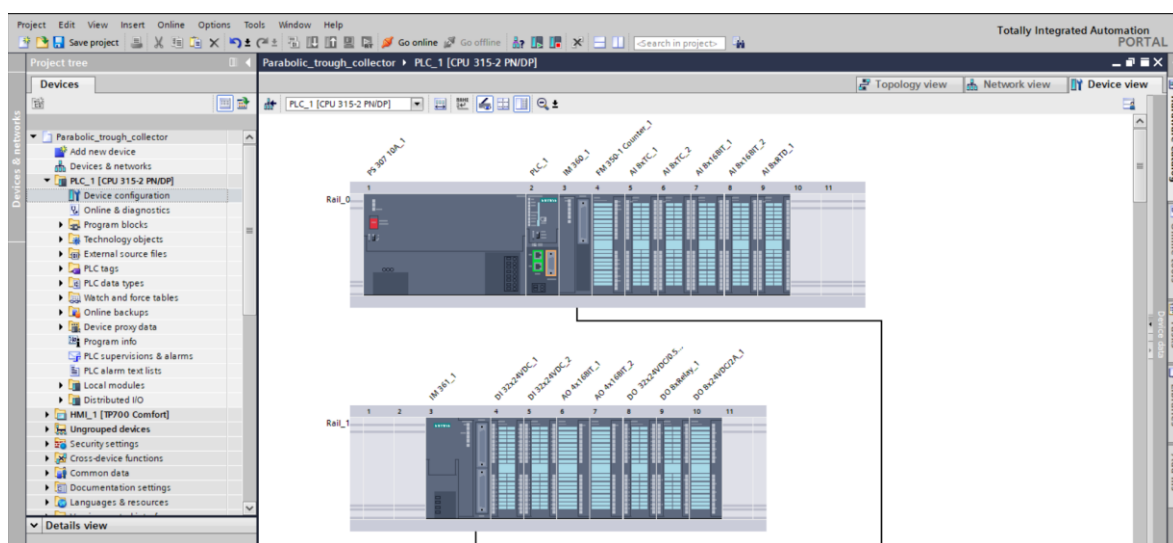


Рисунок 3.2 – Конфігурацію ПЛК з джерелом живлення, CPU, інтерфейсами розширення, модулем лічильника та різними цифровими та аналоговими входами та виходами

Інтегроване програмне середовище Siemens TIA Portal V17 дозволяє

здійснювати повний цикл розробки, налагодження та візуалізації програмного забезпечення для автоматизованих систем на базі ПЛК Siemens.

У створеному проєкті використовується програмований логічний контролер Simatic S7-300 CPU 315-2 PN/DP, який підтримує протоколи PROFINET і PROFIBUS, а також забезпечує взаємодію з аналоговими, цифровими та імпульсними модулями вводу/виводу, модулями енкодерів, сервоконтролером Sinamics S120 та панеллю оператора SIMATIC TP700 Comfort, які зображені на рисунку 3.3.

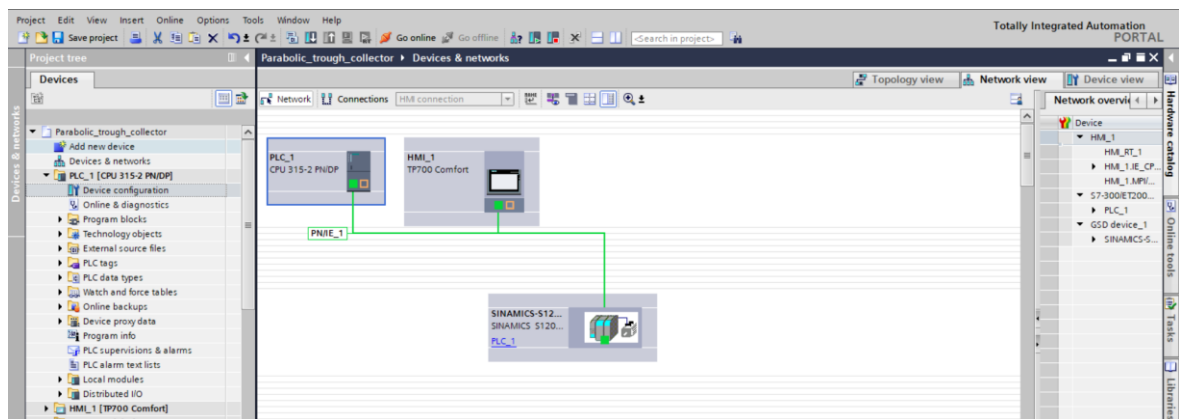


Рисунок 3.3 – PROFINET мережа Simatic S7-300 CPU 315-2 PN/DP, Sinamics S120 та Simatic TP700 Comfort

Стійка Simatic S7-300 CPU 315-2 PN/DP містить п'ять модулів аналогових входів, які контролюють датчики термопари та RTD, а також сигнали, що передаються аналоговим сигналом від перетворювача.

Два модулі цифрових входів отримують переважно сигнали від допоміжних контактів або датчиків, що виявляють двійковий стан, таких як кінцеві вимикачі. Два аналогові виходи використовуються для виведення заданих значень для обладнання, такого як частотні перетворювачі або електричні клапани.

За допомогою цифрових виходів керуються двійкові клапани та

електричне обладнання, таке як контактори та реле. Крім того, активація силових електронних елементів, таких як частотний перетворювач та сервоконтролер, контролюється через цифрові виходи.

Для інтеграції магнітного датчика ваги потрібен модуль лічильника FM 350-1. CPU 315 дозволяє розміщувати максимум 8 модулів на одній стійці, тому для розширення ПЛК за допомогою другої стійки використовуються модулі IM 360 та IM 361.

Розробку програми роботи автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором створимо таблицю тегів таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Таблиця тегів програми роботи автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором

№	Назва тега	Тип даних	Адреса	Призначення
1	2	2	4	4
1. Загальні сигнали				
1	System_Ready	Bool	M0.0	Система готова до роботи
2	Power_On	Bool	I0.0	Живлення подано
3	Global_Error	Bool	I0.1	Глобальна помилка
4	Emergency_Stop	Bool	I0.2	Аварійне вимкнення
2. Режим роботи				
5	Auto_Mode	Bool	M1.0	Автоматичний режим
6	Manual_Mode	Bool	M1.1	Ручний режим
7	Two_Axis_Mode	Bool	M1.2	Двоосьовий режим
8	One_Axis_Mode	Bool	M1.3	Одноосьовий режим
3. Кутіві координати (SPA)				
9	Phi_Target_Azimuth	Real	MD100	Розрахований кут азимута
10	Phi_Target_Elevation	Real	MD104	Розрахований кут нахилу
4. Зворотний зв'язок (датчики положення)				
11	Phi_Actual_Azimuth	Real	MD110	Поточне значення кута азимута
12	Phi_Actual_Elevation	Real	MD114	Поточне значення кута нахилу
13	Azimuth_Actual_Deg	Real	%MD116	Поточне значення кута азимута в градусах
14	Elevation_Actual_Deg	Real	%MD118	Поточне значення кута нахилу в градусах
15	Encoder_Azimuth	Word	%IW12	Значення з енодера по азимуту
16	Encoder_Elevation_Pos	Word	%IW40	Значення з датчика нахил
5. Команди до приводів				

17	Azimuth_Start	Bool	Q0.0	Пуск сервоприводу по азимуту
18	Elevation_Start	Bool	Q0.1	Пуск приводу нахилу

Продовження таблиці 3.1

1	2	2	4	4
19	Azimuth_Dir_Forward	Bool	Q0.2	Рух азимутного приводу вперед
20	Azimuth_Dir_Back	Bool	Q0.3	Рух азимутного приводу назад
21	Elevation_Dir_Up	Bool	Q0.4	Підняття платформи
22	Elevation_Dir_Down	Bool	Q0.5	Опускання платформи

6. Системний час

23	Year	Int	%MW100	Поточний рік
24	Month	Int	%MW102	Поточний місяць
25	Day	Int	%MW104	Поточне число
26	Hour	Int	%MW106	Поточна година
27	Minute	Int	%MW108	Поточна хвилина
28	Second	Int	%MW110	Поточна секунда
29	Prev_Minute	Int	%MW120	Для порівняння хвилини у циклі

7. Географічні параметри

30	Latitude	Int	%MW200	Географічна широта
31	Longitude	Int	%MW204	Географічна довгота
32	Timezone	Int	%MW208	UTC-зміщення

8. Масштабування та обчислення

33	Phi_Diff	Real	Temp	Різниця між фактичним і цільовим кутом Elev.
34	Scale_Factor	Real	Local	Масштабування з WORD до градусів
35	Angle_Real	Real	Local	Результат конверсії WORD_TO_REAL
36	Angle_Deg	Real	Local	Масштабоване значення кута

9. Відлагодження / системні змінні

37	Ret_Clock	Int	%MW0	Код повернення RD_SYS_T
38	Time	DATE_AND_TIME	%DB2.DBX0.0	Поточний час у форматі структури

10. Внутрішні значення алгоритмів

39	Zenith	Real	%MD100	Кут зеніту з Solar Position Algorithm
40	Azimuth	Real	%MD104	Кут азимуту з Solar Position Algorithm

11. Алгоритм керування FB2/FB3

41	Azimuth_Tolerance	Real	%MD120	Допуск по азимуту
42	Elevation_Tolerance	Real	%MD124	Допуск по нахилу

На рисунку 3.4 зображено вікно таблиці тегів у TIA Portal V17.

Parabolic_trough_collector > PLC_1 [CPU 315-2 PN/DP] > PLC tags > Default tag table [44]							
Default tag table							
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Visibl...	Comment
1	System_Ready	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Система готова до роботи
2	Power_On	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Живлення подано
3	Global_Error	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Глобальна помилка
4	Emergency_Stop	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Аварійне вимкнення
5	Auto_Mode	Bool	%M1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Автоматичний режим
6	Manual_Mode	Bool	%M1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ручний режим
7	Two_Axis_Mode	Bool	%M1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Двоосьовий режим
8	One_Axis_Mode	Bool	%M1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Одноосьовий режим
9	Phi_Target_Azimuth	Real	%MD100		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Розрахований кут азимута
10	Phi_Target_Elevation	Real	%MD104		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Розрахований кут нахилу
11	Phi_Actual_Azimuth	Real	%MD110		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточне значення кута азимута
12	Phi_Actual_Elevation	Real	%MD114		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточне значення кута нахилу
13	Azimuth_Start	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Пуск сервоприводу по азимуту
14	Elevation_Start	Bool	%Q0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Пуск приводу нахилу
15	Azimuth_Dir_Forward	Bool	%Q0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Рух азимутного приводу вперед
16	Azimuth_Dir_Back	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Рух азимутного приводу назад
17	Elevation_Dir_Up	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Підняття платформи
18	Elevation_Dir_Down	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Опускання платформи
19	Limit_Azimuth_Min	Bool	%I1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Мінімум по азимуту
20	Limit_Azimuth_Max	Bool	%I1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Максимум по азимуту
21	Limit_Elevation_Min	Bool	%I1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Мінімум по висоті
22	Limit_Elevation_Max	Bool	%I1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Максимум по висоті
23	Azimuth_Error	Bool	%M10.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Помилка приводу по азимуту
24	Elevation_Error	Bool	%M10.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Помилка приводу по нахилу
25	Drive_Trip	Bool	%I2.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Помилка від сервоконтролера
26	Temp_Alarm	Bool	%I2.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Перевищення температури
27	Year	Int	%MW100		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточний рік з SFC1
28	Month	Int	%MW102		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточний місяць з SFC1
29	Day	Int	%MW104		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточне число
30	Hour	Int	%MW106		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточна година
31	Minute	Int	%MW108		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточна хвилина
32	Second	Int	%MW110		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточна секунда
33	Prev_Minute	Int	%MW120		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Для порівняння з MW108, визначення ...
34	Latitude	Int	%MW200		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Географічна широта
35	Longitude	Int	%MW204		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Географічна довгота
36	Timezone	Int	%MW208		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	UTC-зміщення

Рисунок 3.4 - Вікно таблиці тегів у TIA Portal V17

На рисунку 3.5 зображений головний програмний цикл (англійською мовою - Main Program Sweep (Cycle)) та Мережа 1: Ініціалізація системи (англійською мовою -Network 1).

Мережа 1 перевіряє одночасне виконання трьох умов:

- %I0.0 (Power_On) - увімкнення живлення;
- %I0.1 (Global_Error) - перевірка на відсутність загальної помилки;
- %I0.2 (Emergency_Stop) - перевірка на відсутність аварійного натискання STOP.

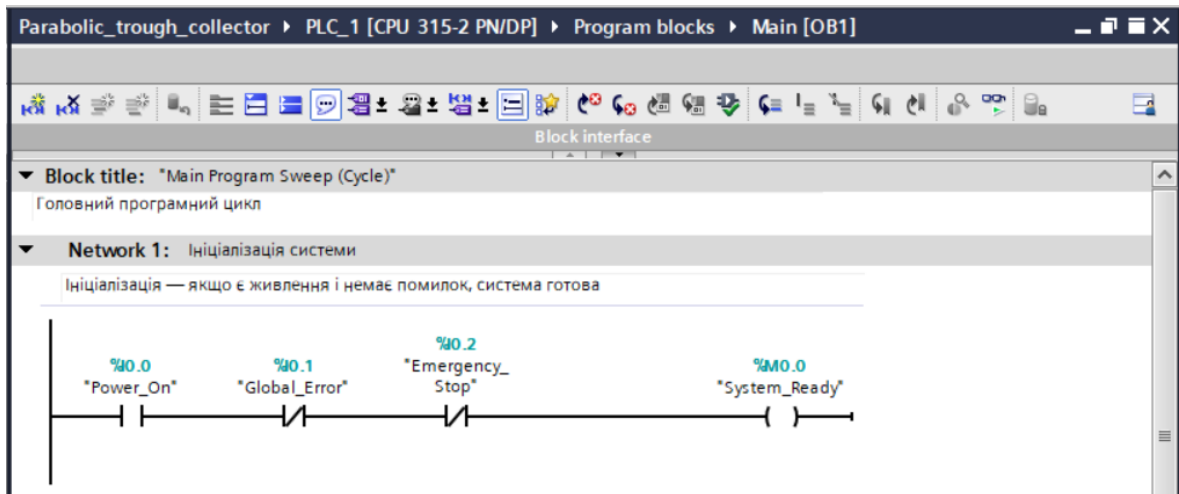


Рисунок 3.5 - Головний програмний цикл та Мережа 1: Ініціалізація системи

Якщо всі три умови виконуються, тоді в активується комірка пам'яті %M0.0 (System_Ready) і автоматизований пристрій керування сонячним концентратором переходить у стан готовності. Далі програма переходить до виконання мережі 2: Автоматичний режим роботи, яка зображена на рисунку 3.6

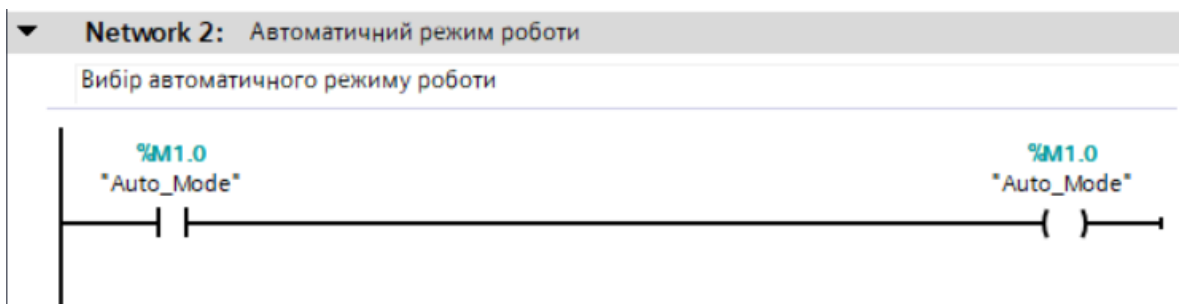


Рисунок 3.6 - Мережа 2: Автоматичний режим роботи

Комірка пам'яті %M1.0 активується натискання кнопки «Автоматичний режим роботи» на панелі оператора. Це встановлює прапорець автоматичного режиму роботи.

Якщо кнопка «Автоматичний режим роботи» на панелі оператора не натискалася, тоді це прапорець не активований і програма переходить до

виконання мережі 3: Ручний режим роботи, яка зображена на рисунку 3.7.

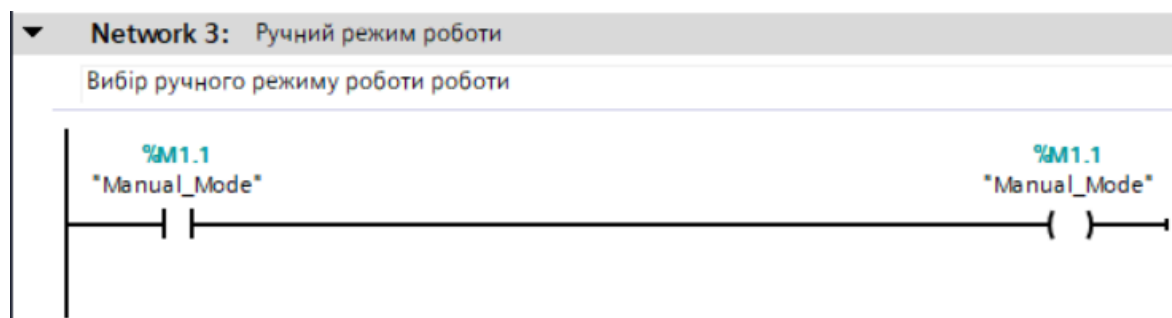


Рисунок 3.7 - Мережа 3: Ручний режим роботи

Ручний режим роботи активується натискання кнопки «Ручний режим роботи» на панелі оператора, в результаті чого активується прапорець і комірка %M1.1 встановлюється в активний стан.

На рисунку 3.8 зображена Мережа 4: Зчитування системного часу.

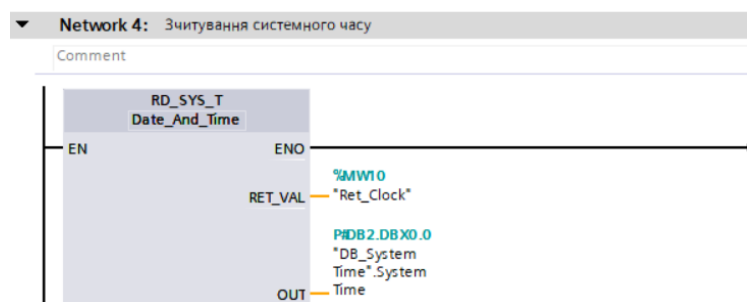


Рисунок 3.8 - Мережа 4: Зчитування системного часу

Ця мережа виконує зчитування поточної дати й часу із внутрішнього системного годинника контролера за допомогою функціонального блоку RD_SYS_T.

Блок RD_SYS_T (Read System Time) - це стандартна функція для читання системного часу в контролерах Siemens S7-300/S7-1500. Вхід EN (Enable) - активує зчитування часу, коли на вході лог. «1» (у цьому випадку блок завжди увімкнений, оскільки мережа активна без умов). Вихід RET_VAL - повертає код результату виконання функції.

Значення записується в змінну %MW10, тег: Ret_Clock. Вихід OUT - це структура типу DATE_AND_TIME, яка містить повну дату та час, що зчитуються з системного годинника. Значення передається в змінну DB2.DBX0.0, що зберігається в DB_System.Time.

Отримане значення дати й часу (із Time) використовується у наступних мережах для виділення року, місяця, дня, години, хвилини та секунди з допомогою команд MOVE та інших блоків.

На рисунку 3.9 зображена Мережа 5: Виділення року з системної дати.

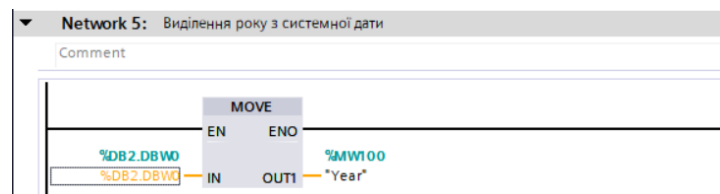


Рисунок 3.9 - Мережа 5: Виділення року з системної дати

Мережа 5 призначена для виділення року з попередньо зчитаної системної дати/часу (блоком RD_SYS_T) і запису його у внутрішню змінну Year, яку буде використано далі в алгоритмі SPA (Solar Position Algorithm).

MOVE - це стандартна команда передачі значення з одного регістра в інший без змін. Вхід IN - DB2.DBW0, тобто перші два байти системного часу, зчитаного з DATE_AND_TIME структури, яка зберігається у DB2.

У структурі DATE_AND_TIME два перших байти зберігають рік у форматі BCD або двійковий код, залежно від обробки. Вихід OUT1 - %MW100, тег Year, типу INT. Значення року буде збережено у вигляді десяткового цілого числа.

На рисунку 3.10 зображена Мережа 6: Виділення місяця з системної дати.

Блок MOVE виконує копіювання байта з адреси DB2.DBB3 (байт дня в структурі DATE_AND_TIME) до тега %MW104. Вхід IN - DB2.DBB3: четвертий байт системної дати, що містить значення дня (від 1 до 31). Вихід OUT1 - %MW104, тег Day, у який заноситься значення поточного дня у форматі INT.

Оскільки вихід DB2.DBB3 має тип BYTE, а змінна Day типу INT, відбувається автоматичне перетворення типу під час виконання команди MOVE.

На рисунку 3.12 зображена Мережа 8: Виділення години з системної дати та часу.

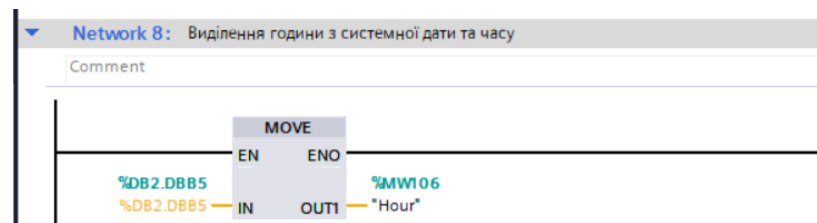


Рисунок 3.12 - Мережа 8: Виділення години з системної дати та часу

Ця мережа забезпечує зчитування поточної години доби із структурованої змінної типу DATE_AND_TIME, що зберігається в DB2, та збереження її значення у змінну Hour (%MW106) для подальшого використання в астрономічних або часових обчисленнях у SPA-алгоритмі.

Блок MOVE виконує копіювання байта з адреси DB2.DBB5 (байт, що містить значення години) у слово пам'яті %MW106, яке асоційоване з тегом Hour. Вхід IN %DB2.DBB5: містить значення поточної години з діапазону 0...23 у форматі BYTE. Вихід OUT1 %MW106 - це внутрішній тег Hour типу INT, який зберігає зчитане значення години для подальших обчислень.

Враховуючи, що типи BYTE та INT не є прямо сумісними, блок

MOVE допускає неявне перетворення в TIA Portal, тому результат буде коректно перенесений у змінну типу INT.

На рисунку 3.13 зображена Мережа 9: Виділення хвилин з системної дати та часу.

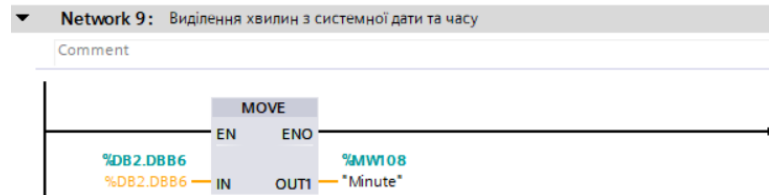


Рисунок 3.13 - Мережа 9: Виділення хвилин з системної дати та часу

Мережа зчитує поточне значення хвилин з системного блоку DATE_AND_TIME, розміщеного у DB2, і передає це значення у змінну Minute (%MW108) типу INT. Ця інформація використовується для часових розрахунків у Solar Position Algorithm.

Блок MOVE копіює байт із системного блоку DB2.DBW6 (де зберігається кількість хвилин) у внутрішній регістр %MW108, що представляє тег Minute.

Вхід IN %DB2.DBW6 - це байт, який містить значення хвилин (0...59). Вихід OUT1 %MW108 - це змінна Minute типу INT, яка отримує скопійоване значення для подальшого використання в обчисленнях.

Хоча дані зчитуються з байтової адреси, вони переносяться у 16-бітну змінну типу INT, що є припустимим у середовищі TIA Portal, оскільки значення хвилин завжди міститься в межах, які не призводять до помилок конверсії.

На рисунку 3.14 зображена Мережа 10: Виділення хвилин з системної дати та часу. Ця мережа виконує копіювання значення секунд, зчитаного з системного блоку типу DATE_AND_TIME (у Data Block DB2), у внутрішній тег Second (%MW110). Отримані дані використовуються для обчислень у SPA (Solar Position Algorithm), де потрібна точна поточна секунда доби.

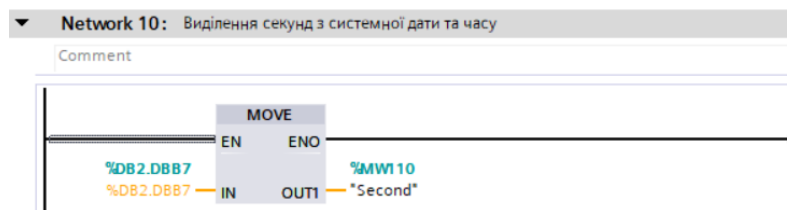


Рисунок 3.14 - Мережа 10: Виділення секунд з системної дати та часу

Блок MOVE переносить значення з байтової змінної %DB2.DBB7, де зберігається кількість секунд (0–59), у внутрішній регістр %MW110 типу INT.

Вхід IN %DB2.DBB7 - це байт із блока системного часу, який містить секунди. Вихід OUT1 %MW110 - це тег Second типу INT, у який записується значення.

Хоча передача значення з BYTE у INT не є явною конверсією, в середовищі ПІА Portal така операція виконується коректно, якщо значення знаходиться в допустимих межах типу BYTE, тобто до 255. У випадку секунд це завжди в межах 0...59.

На рисунку 3.15 зображена Мережа 11: Виклик Solar Position Algorithm (SPA) щохвилини. Ця мережа виконує обчислення астрономічних координат Сонця зеніту (Zenith) та азимута (Azimuth) за допомогою виклику функціонального блоку FB1 "Solar Position Algorithm".

Обчислення запускається автоматично, але лише один раз на хвилину, коли змінюється значення хвилини в системному годиннику та виконуються наступні умови.

1. Система готова до роботи (%M0.0 = TRUE).
2. Активний автоматичний режим (%M1.0 = TRUE).
3. Значення хвилини (%MW108) відрізняється від попереднього значення (%MW120), тобто час збільшився на одну хвилину.

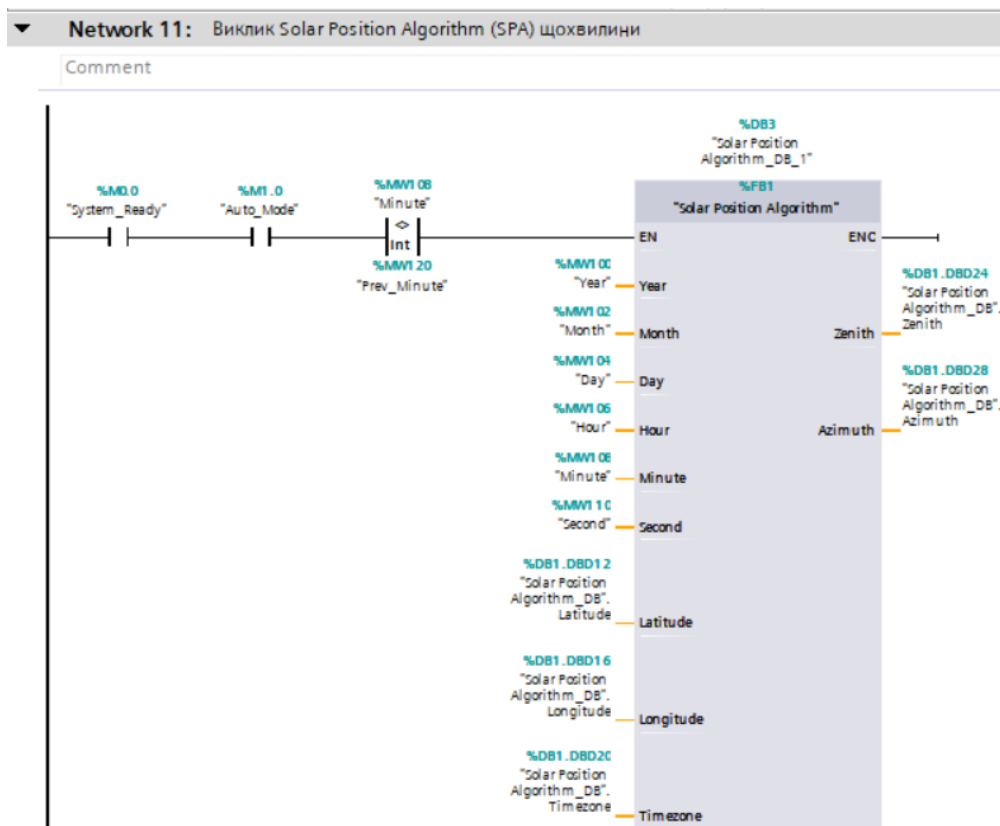


Рисунок 3.15 - Мережа 11: Виклик Solar Position Algorithm (SPA)
ЩОХВИЛИНИ

Якщо всі умови виконуються, тоді здійснюється викликається FB1 Solar Position Algorithm. На вхід FB1 передаються поточні дата і час, а саме %MW100 (рік), %MW102 (місяць), %MW104 (день), %MW106 (година), %MW108 (хвилина), %MW110 (секунда).

Також на вхід FB1 передаються географічні координати з DB, а саме %DB1.DBD12 висота (англійською мовою Latitude), %DB1.DBD16 довгота (англійською мовою Longitude) та %DB1.DBD20 часовий пояс (англійською мовою Timezone).

Результати обчислення з FB1 записуються у %DB1.DBD24, де зберігається обчислений кут зеніту (англійською мовою Zenith), а також у %DB1.DBD28, де зберігається обчислений кут азимута (англійською мовою Azimuth).

Функціональний блок FB1 "Solar Position Algorithm" реалізований

мовою програмування SCL і наведений у додатку А. Алгоритм реалізує базовий варіант алгоритму NREL SPA без врахування рефракції. Результати обмежені у межах: Zenith $\in [0; 180]$, Azimuth $\in [0; 360]$.

В алгоритмі NREL SPA використовуються константи DegToRad та RadToDeg, які застосовуються в якості коефіцієнтів для перетворення між градусами та радіанами.

Також використовується UTC-час у десятковому форматі T_UTC := Hour + Minute/60 + Second/3600. Юліанська дата (JD) вираховується за класичною формулою з урахуванням року, місяця, дня, часу та часового поясу.

Далі розраховується юліанське століття (T) у відповідності до виразу $T := (JD - 2451545.0) / 36525.0$.

Середня довгота Сонця (L0), середня аномалія (M) та ексцентриситет (E) позраховуються на основі T – часу в юліанських століттях. Далі використовується рівняння центра орбіти (C) у вигляді астрономічної поправки до довготи Сонця.

Істинна довгота Сонця (TrueLong) віднімається від абераційної корекції (λ) у відповідності до виразу $\text{LambdaSun} := \text{TrueLong} - \text{абераційна поправка}$. Також в алгоритмі NREL SPA використовуються нахил екліптики (ϵ) з урахуванням нутації (вплив обертання Землі), а також пряме піднесення (α) і схилення (δ) з урахуванням астрономічних координати Сонця в екваторіальній системі.

Місцевий зоряний час (LST) розраховується залежно від Юліанської дати та довготи спостерігача, а годинний кут (HA) розраховується як різниця $HA := LST - \alpha$.

Для розрахунку зенітного кута (Zenith) застосовується формула косинуса зенітного кута $\cos(Z) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(HA)$. Далі обчислюється азимут Сонця (Azimuth), як арктангенс від відношення синуса й косинуса $Az = \arctan(-\sin(HA) / [\tan(\delta) \cdot \cos(\varphi) -$

$\sin(\varphi) \cdot \cos(\text{HA})$]).

На рисунку 3.16 зображена Мережа 12: Збереження попереднього значення хвилини.

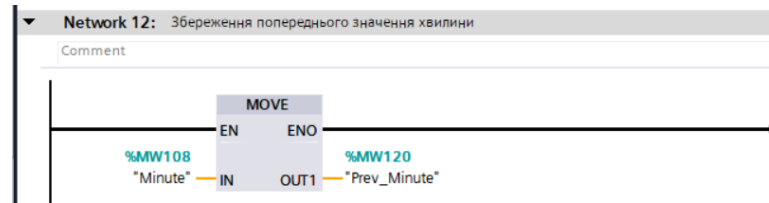


Рисунок 3.16 - Мережа 12: Збереження попереднього значення хвилини

Мережа 12 у вигляді LAD-діаграми виконує одну просту, але критично важливу операцію, а саме збереження попереднього значення хвилини, щоби надалі використовувати його для порівняння з поточним значенням часу у хвилинах.

Ця операція дозволяє виконувати розрахунок положення Сонця щохвилини, уникаючи повторного виклику блоку Solar_Position_Algorithm в кожному циклі ОВ1, що підвищує ефективність ПЛК та зменшує навантаження.

На рисунку 3.17 зображена Мережа 13: Перетворення кута азимута з типу WORD у тип REAL.



Рисунок 3.17 - Мережа 13: Перетворення кута азимута з типу WORD у тип REAL

Мережа 13 призначена для перетворення отриманого з енкодера кута повороту за азимутом значення у форматі WORD %IW12 у

числовий формат REAL з подальшим збереженням результату у змінній %MD110 з назвою Phi_Actual_Azimuth.

У мережі 13 викликається функція FC1 "WORD_TO_REAL", яка написана мовою SCL.

```
#Output_Int := WORD_TO_INT(#Input_Word);
```

```
#Output_Real := INT_TO_REAL(#Output_Int);
```

Функція FC1 "WORD_TO_REAL" виконує послідовне перетворення спочатку з типу WORD у тип INT, а потім з типу INT у тип REAL. Вхідна змінна Input_Word %IW12 (Encoder_Azimuth) - це отримане цифрове значення азимута з енкадера. Вихідна змінна Output_Real %MD110 (Phi_Actual_Azimuth) є перетвореним значенням кута азимута в числовому форматі REAL.

Ця мережа є підготовчим етапом для масштабування та подальшого керування приводом за азимутом. Вона дозволяє оперувати з кутом у десятковому вигляді, що є необхідним для коректного математичного обчислення відхилення та реалізації контролю положення.

На рисунку 3.18 зображена Мережа 14: Масштабування кута азимута з енкадера у градуси.



Рисунок 3.18 - Мережа 14: Масштабування кута азимута з енкадера у градуси

Мережа 14 виконує масштабування фактичного значення кута азимута, отриманого з енкадера у форматі REAL, у фізичне значення в

градусах (діапазон [0...360°]). Для цього у мережі 14 викликається функція FC2 “REAL_TO_ANGLE”.

```
#Scale_Factor := 360.0 / 65535.0;
```

```
#Angle_Deg := #Angle_Real * #Scale_Factor;
```

Вхідне значення Phi_Actual_Azimuth (%MD110) у форматі REAL, попередньо отримане з модуля перетворення WORD_TO_REAL в мережі 13, множиться на масштабний коефіцієнт (англійською мовою Scale_Factor).

Результат зберігається у комірці пам'яті %MD116 (Phi_Actual_Azimuth_Deg) для подальшого порівняння з розрахунковим кутом у SPA та керування приводом.

Мережа 14 дозволяє привести цифрове значення з енкодера у зручний для людини формат градусів, забезпечуючи інтерпретацію реального положення параболічного жолоба за азимутом. Масштабований кут потім буде порівнюватися з розрахунковим (цільовим) значенням у блоці керування.

На рисунку 3.19 зображена Мережа 15: Керування азимутальним приводом за кутом.

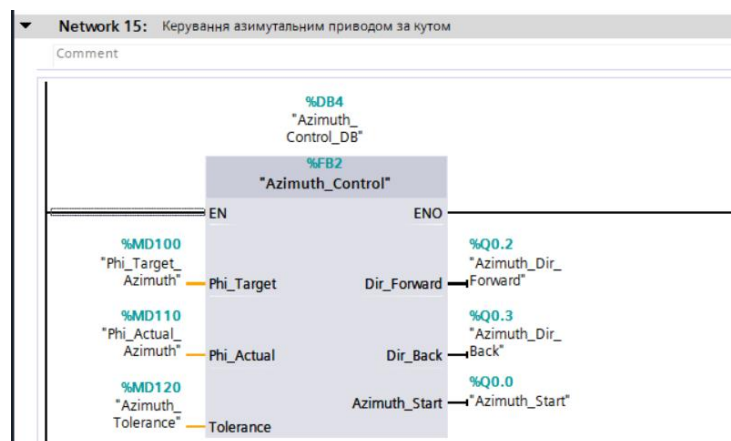


Рисунок 3.19 - Мережа 15: Керування азимутальним приводом за кутом

Мережа 15 здійснює виклик функціонального блоку

Azimuth_Control (FB2), який реалізує логіку автоматичного позиціювання азимутального приводу сонячного концентратора.

Функціональний блок FB2 "Azimuth_Control" реалізований мовою програмування SCL і наведений у додатку Б. У функціональному блоці FB2 "Azimuth_Control" порівнюється розрахункове значення кута азимута з фактичним, визначається напрямок та ініціюється рух параболічного жолоба по азимуту.

У функціональному блоці FB2 "Azimuth_Control" розраховується різниця між Phi_Target та Phi_Actual. Якщо різниця $\text{Phi_Target} - \text{Phi_Actual} > \text{Tolerance}$, тоді активується Dir_Forward і параболічний жолоб рухається вперед (за часовою стрілкою).

Якщо різниця $\text{Phi_Target} - \text{Phi_Actual} < \text{Tolerance}$, тоді активується Dir_Dir_Back і параболічний жолоб рухається назад (проти часової стрілки).

Мережа 15 забезпечує автоматичне наведення параболічного жолоба на заданий кут за азимутом у режимі реального часу з урахуванням похибки.

На рисунку 3.20 зображена Мережа 16: Перетворення сигналу з енкодера нахилу в дійсне число.

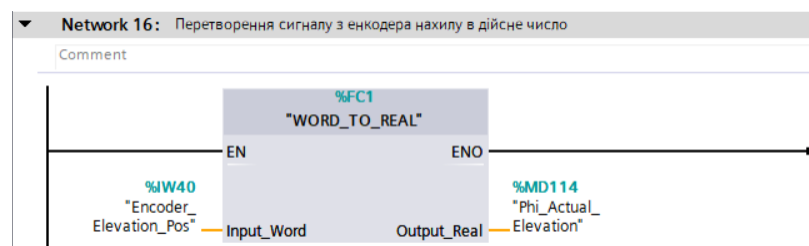


Рисунок 3.20 - Мережа 16: Перетворення сигналу з енкодера нахилу в дійсне число

Мережа 16 виконує перетворення значення з магнітного енкодера положення (Temposonics), що надходить у форматі WORD, у тип REAL.

Отримане значення зберігається у змінній, що представляє фактичний кут нахилу (elevation) сонячного концентратора.

На рисунку 3.21 зображена Мережа 17: Масштабування кута нахилу з енкодера в градуси.



Рисунок 3.21 - Мережа 17: Масштабування кута нахилу з енкодера в градуси

Мережа 17 виконує перетворення реального значення кута нахилу, отриманого з енкодера Temposonics, у фізичну величину в градусах. Значення масштабується з урахуванням діапазону енкодера, що забезпечує правильне відображення кута нахилу в системі керування.

Масштабування є ключовим етапом для синхронізації даних з енкодера з розрахунковими значеннями кута нахилу (SPA), оскільки забезпечує одиницю вимірювання градуси, необхідну для подальшого порівняння та керування.

На рисунку 3.22 зображена Мережа 18: Керування приводом кута нахилу (Elevation).

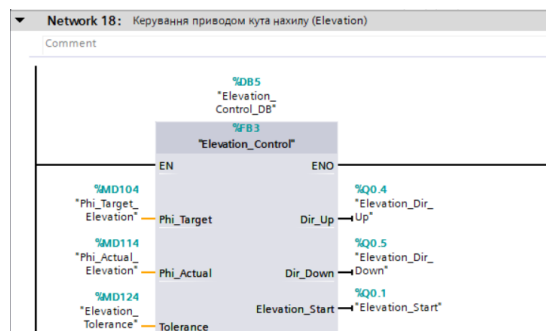


Рисунок 3.22 - Мережа 18: Керування приводом кута нахилу (Elevation)

сервоприводів і вибір напрямку обертання.

3. З метою забезпечення гнучкості й модульності, у програмі реалізовано окремі функціональний блок FB1 - Solar Position Algorithm (розрахунок координат Сонця), допоміжні функції конверсії та масштабування FC1, FC2, FC3, а також керування азимутальним приводом FB2 та функціональний блок керування приводом зміни кута нахилу FB3.

4. Реалізована програма є структурованою, адаптивною та придатною до подальшого розширення, включаючи підтримку нових режимів керування або інтеграцію з системами моніторингу. Запропоноване рішення забезпечує високу точність наведення концентруючої поверхні, що є ключовим чинником для ефективного використання сонячної енергії.

					КРБАКІТ. 2022133.01.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено, автоматизований пристрій керування сонячним концентратором, який ґрунтується на використанні сучасних засобів автоматизації та астрономічного алгоритму визначення координат Сонця (SPA).

1. Проведено детальний аналіз літературних джерел і патентних матеріалів щодо конструкцій, принципів дії та методів автоматизації сонячних концентраторів. Встановлено доцільність впровадження слідкуючих систем, що базуються на астрономічних алгоритмах, які забезпечують високу точність позиціонування та підвищують енергоефективність.

2. Сформовано структурну архітектуру автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором, яка містить ПЛК Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP, серводвигуни, датчики положення (енкодери Kubler та Temposonics), панель оператора SIMATIC TP700, частотні перетворювачі, датчики температури та кінцеві вимикачі. Вибір обладнання обґрунтований технічними характеристиками, функціональністю та сумісністю.

3. Розроблено електричну схему автоматизованого пристрою керування, яка охоплює силову частину, модулі аналогового та цифрового вводу/виводу, схеми живлення, підключення сервоконтролерів та частотних перетворювачів. Забезпечено захист обладнання, електробезпеку та модульність розширення.

4. Розроблено програму роботи пристрою в середовищі TIA Portal V17. Вона реалізує функції ініціалізації, обробки системного часу, розрахунку координат Сонця, масштабування сигналів від енкодерів, керування приводами по азимуту та куту нахилу у двоосьовому режимі. Впроваджено функціональні блоки FB1, FB2 та FB3, які забезпечують точне

наведення.

5. Забезпечено щохвилинне оновлення координат Сонця згідно з алгоритмом SPA, реалізованим мовою SCL. Отримані дані координат порівнюються з фактичними значеннями з датчиків, на основі чого формується команда керування приводами у відповідному напрямку.

6. Підготовлено повну таблицю тегів (змінних), яка забезпечує організоване зберігання та обробку всіх необхідних параметрів, включаючи сигнали стану системи, вхідні/вихідні сигнали, обчислювані координати, географічні параметри та проміжні величини.

7. Розроблений автоматизований пристрій керування сонячним концентратором є модульним, масштабованим та придатним до подальшої адаптації, зокрема для інтеграції з хмарними системами моніторингу, впровадження адаптивного регулювання або розширення функціональності до повноцінної енергетичної установки з накопиченням енергії.

8. Розроблений автоматизований пристрій керування сонячним концентратором відповідає вимогам точності, надійності та енергоефективності, а також може бути використаний у складі експериментальних або маломасштабних промислових установок для підвищення ефективності перетворення сонячної енергії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1 Kalogirou S. A. Solar Energy Engineering. Processes and Systems. Academic Press. 2020. 840 p.
2. Lovegrove K., Stein W. Concentrating Solar Power Technology. Woodhead Publishing. 2021. 792 p.
3. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley. 2013. 936 p.
4. Abdallah S., Nijmeh S. Two-axis sun tracking system with PLC control. Energy Conversion and Management. 2004. № 45. С. 1931–1939.
5. Mousazadeh H., et al. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. Vol. 13(8). P. 1800–1818.
6. Rezaeian M., Aghaei M. Development of a sensor-based sun tracking system. Solar Energy. 2020. № 206. С. 813–820.
7. Eke R., Senturk A. Performance comparison of dual-axis sun tracking vs. fixed PV systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. № 16(8). С. 5381–5389.
8. Botros A., et al. Development of hybrid sun tracking system for parabolic concentrator. Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 331. 129973 p.
9. Мельник І. В. Мікроконтролери в системах слідкування за Сонцем. Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Автоматика. 2020. № 3. С. 25–30.
10. Паламарчук С. Є. Реалізація слідкувального приводу на базі ESP32 для сонячного концентратора. Технічні науки та технології. 2021. № 2. С. 47–52.
11. Rajagopalan P. Dust effect on solar concentrators. A review. Solar Energy. 2021. Vol. 218. P. 370–385.
12. Zhu G., et al. Optical performance analysis of parabolic solar

parabolic dish. Renewable Energy. 2018. Vol. 115. P. 123-130.

23. Sheng L., et al. FPGA implementation of sun tracking controller. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019. Vol. 66(4). P. 2913-2921.

24. Patel S. Adaptive control algorithm for sun-following systems. Control Engineering Practice. 2017. Vol. 65. P. 10-18.

25. Singh R., Kumar S. Photodiode-based active solar tracking mechanism. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2015. Vol. 140. P. 52-60.

26. Zhang T., et al. Machine learning approach in sun tracking control. Energies. 2021. Vol. 14(1). P. 100.

27. Liu H., et al. Self-cleaning mechanism for solar concentrators. Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 219. P. 545-553.

28. Ahmed K. Optimization of dual-axis solar tracker using fuzzy logic. Renewable Energy. 2020. Vol. 147. P. 293-303.

29. Lopez G., et al. Reliability assessment of sun-tracker systems under dynamic loads. Renewable Energy. 2018. Vol. 121. P. 183-192.

30. Zhang X., et al. Experimental study of two-axis solar tracker in high-latitude regions. Solar Energy. 2016. Vol. 127. P. 80-89.

31. Kim J., et al. Solar dish concentrator efficiency improvement via structural analysis. Energy Conversion and Management. 2022. Vol. 255. P. 115210.

32. NREL. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. 2021. 34 p.

33. ISA. ANSI ISA-88 Batch Control Standard. 2019. 102 p.

34. Stefano F., et al. Real-time solar tracking system using STM32 microcontroller. Journal of Renewable Energy and Power Quality. 2020. Vol. 18. P. 025-032.

35. Martinez L., et al. Cloud-adaptive sun tracking using Kalman filter. Solar Energy. 2022. Vol. 235. P. 198-207.

36. Gomez S., et al. High-precision tracking accuracy analysis of

parabolic concentrators. Renewable Energy. 2021. Vol. 164. P. 1463-1475.

37. Singh P., et al. Smart sun tracker with fault detection using PLC and SCADA. Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems. 2021. Vol. 15(2). P. 45-52.

38. Costa A., Silva F. Real-time FPGA-based solar tracking for parabolic concentrators. Renewable Energy. 2023. Vol. 205. P. 1273-1281.

39. Williams J., Brown T. IoT-enabled fault detection and diagnostics in sun-tracking systems. IEEE Internet of Things Journal. 2022. Vol. 9(15). P. 12545-12558.

40. Chen Y., Li Z. Precise elevation control in dual-axis solar trackers using PID tuning. Solar Energy. 2024. Vol. 245. P. 1125-1134.

					КРБАКІТ. 2022133.01.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник Старинчук Михайло Михайлович

Тема: Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором

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

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 72

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором, здатного точно орієнтувати систему відповідно до положення Сонця

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: У першому розділі розглянуто особливості режимів роботи сонячних концентраторів. У другому розроблено електричну схему автоматизованого пристрою керування, яка охоплює силову частину, модулі аналогового та цифрового вводу/виводу, схеми живлення, підключення сервоконтролерів та частотних перетворювачів. У третьому розділі розроблено алгоритм керування та розроблено програму автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором.

4. Позитивні сторони роботи: Розроблений автоматизований пристрій керування сонячним концентратором є модульним, масштабованим та придатним до подальшої адаптації, зокрема для інтеграції з хмарними системами моніторингу, впровадження адаптивного регулювання або розширення функціональності до повноцінної енергетичної установки з накопиченням енергії.

5. Негативні сторони роботи: не виконано порівняння розробленого автоматизованого пристрою керування сонячним концентратором із відомими автоматизованими пристроями керування сонячними концентраторами.

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 технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) К.Г.Н., доцент каф кібербезпеки Тітов В.Ю.

"13" 06 2025 р.

 (підпис)

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

Старинчука М.М.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курс, групи АКІТс-22-1

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 (StrikePlagiarism 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.

02.06.25

дата



підпис

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 10%

ID: 245971 Title: БКР Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором Added in a DB: 2025-06-16 Authors: Михайло СТАРИНЧУК Heads: Валерій МАРТИНЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	60061	976	1161 (2%)	18 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Михайло СТАРИНЧУК

Співавтор:

Назва: Старинчук на антиплагіат

Експерт:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:0.9%

Коефіцієнт подібності 2:0.5%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 2

Дата створення звіту: 2025-06-15 20:27:44.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-15



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

**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: Автоматизований пристрій керування сонячним концентратором

Автор: Старинчук Михайло Михайлович

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.	відповідає
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 0,9% і адресується до 7 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