

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«13» червня 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Управління, захист та автоматизація енергосистем»

**спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» на тему:**

**«Побудова сучасних систем АСУ ТП електроенергетичних об'єктів із
використанням програмованих логічних контролерів»**

Виконав:

студент 4 курсу, групи ЕК-91
Слюсар Єгор Володимирович

Керівник:

старший викладач, кандидат технічних наук
Тимохін Олександр Вікторович

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма – «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«13» червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Слюсару Єгору Володимировичу

1. Тема проєкту «Побудова сучасних систем АСУ ТП електроенергетичних об'єктів із використанням програмованих логічних контролерів», керівник проєкту Тимохін Олександр Вікторович ст. вик., к.т.н., затверджені наказом по університету від «25» 05 2023 р. № 1969-с
2. Термін подання студентом проєкту 13.06.2023
3. Вихідні дані до проєкту підстанція 110/10 кВ «Бастіонна», Київ, довідкові матеріали, література
4. Зміст пояснювальної записки Опис підстанції, розрахунок струмів КЗ, перевірка обладнання. Системи АСУ ТП в структурі керування електроенергетичними об'єктами. Реалізація системи стеження за сонячним випромінюванням на основі ПЛК.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема ПС «Бастіонна» 110/10 кВ , Схема ПЛК та структурна схема пристроїв АСУ ТП , Логічна схема керування системою стеження за сонячним випромінюванням.

6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Робота з літературними джерелами за темою роботи	01.03.2023	
2	Аналіз електричної схеми підстанції «Бастіонна», розрахунок струмів КЗ, аналіз відповідності встановленого електроустаткування	20.03.2023	
3	Аналіз підходів до побудови систем АСУ ТП підстанцій	12.04.2023	
4	Аналіз місця ПЛК в системах АСУ ТП	25.04.2023	
5	Реалізація системи стеження за сонячним випромінюванням на основі ПЛК	15.05.2023	
6	Оформлення графічної частини	03.06.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06.2023	
8	Попередній захист	13.06.2023	

Студент _____

Єгор СЛЮСАР

Керівник _____

Олександр ТИМОХІН

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листків	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	1	
2	A4	141.ЕК9116.016.ДБ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	141.ЕК9116.016.ТК1	Схема ПС «Бастіонна» 110/10 кВ	1	
4	A1	141.ЕК9116.016.ТК2	Схема ПЛК та структурна схема пристроїв АСУ ТП	1	
5	A1	141.ЕК9116.016.ТК3	Логічна схема керування системою стеження за сонячним випромінюванням	1	

141.ЕК9116.016.ДБ

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата				
Розробив		Слюсар Є.В.		...	Відомість дипломного проєкту	Літера	Лист	Листів
Перевірів		Тимохін О.В.		...			3	1
Н.контр.		Настенко Д.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
Затверд.		Марченко А.А.						

Пояснювальна записка до дипломного проєкту
на тему: «Побудова сучасних систем АСУ ТП електроенергетичних
об'єктів із використанням програмованих логічних контролерів»

Київ – 2023 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт виконаний на 69 аркушах та містить 13 рисунків, 12 таблиць, 3 листи графічної частини та 31 літературних посилань.

Об'єкт дослідження – програмований логічний контролер в системах АСУ ТП.

Предмет дослідження – опис характеристик, переваг, недоліків, вимог та застосування програмованих логічних контролерів.

Мета дослідження – створення системи стеження за сонячним випромінюванням на основі програмованого логічного контролера.

Публікації за тематикою досліджень – Тимохін О.В., Слюсар Є.В. Сучасні підходи до автоматизації електроенергетичних об'єктів. // Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики" – 2022.

Ключові слова: АСУ ТП, ПЛК, SCADA, RTU, ПС, ТП, РЕМ, РП, РУ, ПОНИЖУЮЧИЙ (BUCK) ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

ABSTRACT

The diploma project is completed on 69 pages, 13 figures, 12 tables, 3 pages of graphical part and 31 links.

Object of study – A programmable logic controller in the automated process control systems.

Subject of research – A description of the characteristics, advantages, disadvantages, requirements and application of programmable logic controllers.

The aim – To create a solar tracking system based on a programmable logic controller.

Publications on research topics – Timohin O.V., Sliusar Y.V. Modern approaches to the automation of electric power facilities // International scientific and technical journal "Modern problems of electric power engineering and automation" - 2022.

Key words: APCS, PLC, SCADA, RTU, SUBSTATION, TS, POWER DISTRIBUTION NETWORK, SWITCHGEAR (SWGR), STEP-DOWN (BUCK) CONVERTER.

					141.EK9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ОПИС ПІДСТАНЦІЇ.....	12
1.1 Підстанція - складова РЕМ.....	12
1.2 Схеми електричних розподільчих пристроїв і підстанцій.....	17
1.3 Опис об'єкта дослідження – підстанція.....	23
1.4 Розрахунок струмів короткого замкнення на підстанції.....	28
1.5 Перевірка обладнання.....	31
Висновки.....	35
2 СИСТЕМИ АСУ ТП В СТРУКТУРІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ.....	36
2.1 Вимоги та засоби вирішення задач АСУ ТП в системі керування електроенергетичними об'єктами.....	36
2.2 Основні переваги, недоліки та можливості сучасних систем АСУ ТП електроенергетичних об'єктів.....	41
2.3 Задачі ПЛК в системах АСУ ТП електроенергетичних об'єктів.....	46
2.4 Вимоги до ПЛК в системах АСУ ТП електроенергетичних об'єктів.....	51
Висновки.....	54
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТП НА ОСНОВІ ПЛК.....	55
3.1 Характеристика компонентів, що використовуються в системі керування сонячною панеллю.....	56
3.2 Створення програмного забезпечення та опис автоматичної системи стеження за сонячним випромінюванням.....	61
Висновки.....	64
ВИСНОВКИ.....	65

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ ТП – Автоматизована система управління технологічним процесом.

ПЛК – Програмований логічний контролер.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – Диспетчерське управління і збір даних.

RTU (Remote terminal unit) – Пристрій зв'язку з об'єктом, віддалений пристрій телеметрії.

ПС – Електрична підстанція.

ТП – Трансформаторна підстанція.

РЕМ – Розподільна електрична мережа.

РП або РУ – Розподільчий пристрій, розподільна установка.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

В електроенергетиці часто з'являється багато різноманітних завдань, більшість з яких стандартні засоби АСУ ТП можуть вирішити, але також присутні нестандартні завдання, такі завдання можуть включати необхідність проведення розрахунків, логічних операцій, звичайні засоби автоматики не призначені для вирішення подібних проблем.

Програмований логічний контролер може застосовуватися для передачі інформації між пристроями, як заміна стандартним засобам АСУ ТП, а також оброблювати таку інформацію та подавати на вихід сигнал до іншого пристрою. На відміну від схожих пристроїв, при необхідності комунікації з іншим пристроєм ПЛК має можливість використовувати протоколи передачі інформації, які можна створити власноруч в пристрої, також підтримує велику кількість стандартних протоколів.

Програмований логічний контролер достатньо компактний, що розширює можливість використання пристрою на підприємстві, контролер може витримувати більшість факторів впливу навколишнього середовища на його роботу, але для коректної роботи потрібно дотримуватися нормованих величин на прикладі температури, яка повинна знаходитися в діапазоні 0-55°C.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

1 ОПИС ПІДСТАНЦІЇ

1.1 Підстанція - складова РЕМ

Низьковольтну електричну мережу, до якої підключаються електроустановки будівель (сукупність взаємопов'язаного електрообладнання, встановленого в будівлі, що має узгоджені характеристики) називають розподільною електричною мережею або РЕМ. Напряга систем розподілу електричної енергії знаходиться в діапазоні від 6 до 150 кВ, в деяких випадках може бути і до 220 кВ.

Функцією розподільних електричних мереж є розподіл електричної енергії з підстанцій системо-утворювальної мережі і до центрів живлення міських, промислових, а також і сільських електроспоживачів.

В складі такої мережі присутні: трансформаторна підстанція та повітряна чи кабельна лінія електропередачі, яка починається від низьковольтного розподільного пристрою трансформаторної підстанції та закінчується на ввідних затискачах ВРП (Ввідно-розподільний пристрій) або ВП (Ввідний пристрій), встановленого в будівлі.

Технологічні особливості РЕМ:

- При великій сумарній протяжності мереж напругою 0,4 до 110 кВ, довжини ліній електропередач між об'єктами РЕМ набагато менше, порівнюючи з довжинами між об'єктами магістральних мереж від 220 до 750 кВ.
- При невеликій встановленій потужності РЕМ присутня значна кількість об'єктів РЕМ (тобто ТП, ПС, РП);
- Можливість міграції об'єктів розподільної електричної мережі, тобто переключення до інших джерел енергії.

Оперативні особливості РЕМ:

141.ЕК9116.016.ДБ

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата				
Розробив		Слюсар Є.В.			Опис підстанції	Літера	Лист	Листів
Перевірів		Тимохін О.В.					12	23
Н.контр.		Настенко Д.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
Затверд.		Марченко А.А.						

- На напрузі об'єктів від 0,4 – 35 кВ не присутній черговий оперативний персонал, але можуть бути винятки на 110 кВ.
- Автоматизоване керування об'єктами РЕМ на низькому рівні [1].

Електрична установка, що застосовується для отримання та зміни напруги в мережі має назву трансформаторної підстанції (ТП). Трансформаторна підстанція складається з: розподільчих пристроїв (РП), силових трансформаторів, а також пристроїв автоматичного керування та захисту.

Відповідно до відстані між споживачем і джерелом живлення, а також від кількості споживаної енергії класифікують основні види трансформаторних підстанцій:

- Вузлова розподільна підстанція;
- Підстанція глибокого вводу;
- Головна понижувальна підстанція;
- Трансформаторний пункт.

Також трансформаторні підстанції діляться на:

- понижувальні
- підвищувальні

Перші підстанції виконують перетворення первинної напруги електромережі у значно нижчу вторинну. Другий тип трансформаторних підстанцій, здебільшого, споруджуються при електричних станціях, призначення цього типу – це перетворення напруги, що виробляється генераторами у вищу напругу, яку далі легше передавати на великі відстані.

Вузлова розподільна підстанція (ВРП) - це підстанція, що приймає від енергосистеми електричну енергію від 110 до 220 кВ напругою, а далі без трансформації або з частковою трансформацією розподіляється на підстанціях глибокого вводу, які знаходяться на території промислового підприємства.

У випадку якщо ВРП розрахована для живлення кількох підстанцій глибокого вводу на єдиному підприємстві, тоді можливе розташування ВРП на

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						13
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

території такого підприємства, тоді працівники підприємства здійснюють експлуатацію підстанції.

Підстанція глибокого вводу (ПГВ) - це підстанція, яка приймає напругу від 35 до 220 кВ, в основному, виконана за допомогою спрощених схем комутації на боці первинної напруги, живлення передається від центрального розподільчого пункту на самому підприємстві чи від електричної системи безпосередньо.

ПГВ призначено для живлення конкретного об'єкта на підприємстві або для групи установок підприємства. Експлуатація підстанцій має бути без обслуговуючого персоналу при централізованому управлінні фідерами з диспетчерського пункту.

Головною понижувальною підстанцією (ГПП) називається підстанція, що виконує функцію розподілу електроенергії на підприємстві зі значеннями вже доволі зниженої напруги, живлення такої підстанції відбувається від районної електричної системи, вхідна напруга зазвичай 35-220 кВ. Як правило, на ГПП черговий персонал проводить контроль роботи електричного обладнання.

Трансформаторним пунктом (ТП) називається підстанція з первинною напругою 6, 10 або 35 кВ, що живить приймачі електроенергії напругою 400 і 230 В.

Підстанції енергосистеми, які призначені для електропостачання районів, у яких розташовані промислові підприємства, міські, сільськогосподарські та інші споживачі електроенергії, називаються районними підстанціями. Первинна напруга районних підстанцій характеризується значеннями 110, 150, 220, 330, 500, 750 кВ, а вторинна – 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220 кВ. Районні підстанції слугують вузловими точками мережі енергосистеми, від яких електроенергія передається далі споживчим підстанціям [2, 3].

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо також класифікують цифрові підстанції. Такий вид підстанцій має цифрові пристрої (термінали), що дозволяють розв'язувати проблеми АСУ ТП і релейного захисту та автоматики, на прикладі моніторингу контролю якості електричної енергії, реєстрації та аналізу аварійних подій.

Характеристики:

- Кібербезпека
- Цифрове управління
- Моніторинг стану

Введення стандарту МЕК 61850 сприяло появі цифрової підстанції, даний нормативний технічний документ має вимоги до системи збору даних, до зв'язку між інтелектуальними електронними пристроями в межах підстанції, щоб забезпечити функціональну сумісність.

Такі підстанції дають змогу проводити збір даних, моніторинг стану обладнання, обробку даних, віддалене обслуговування в режимі цілодобово, а також проводити моніторинг стану силового обладнання, наприклад трансформатора в режимі реального часу [4].

В складі підстанцій існують розподільчі пристрої (РП) – це електроустановки, призначення яких є прийом і розподіл електроенергії.

РП складаються з пристроїв автоматики, вимірювальних приладів, присутні з'єднувальні та збірні шини, а також комутаційні апарати та інші додаткові пристрої.

Розподільчі пристрої (РП) класифікують таким чином:

- Закриті розподільні пристрої (ЗРП)
- Відкриті розподільні пристрої (ВРП)

Електроустановки, призначенням яких є отримувати та розподіляти електроенергію, а компоненти знаходяться в спеціальних кожухах, які захищають від контакту з навколишнім середовищем або в закритих приміщеннях називаються закритими розподільчими пристроями (ЗРП).

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Як правило, використання закритих розподільчих пристроїв знаходяться на напрузі до 35 кВ, але існують винятки для більш високих напруг, серійно випускається обладнання на напругу до 800 кВ.

На високих напругах ЗРП може використовуватись за таких умов:

- Місцевість з не сприятливою погодою, наприклад морський вітер, підвищене запилення, холодний клімат.
- Якщо умови для будівництва достатньо обмежені.
- при великому рівні шуму, на прикладі міських умов.

Відкритий розподільний пристрій (ВРП) – електроустановка, яка на відміну від ЗРП має обладнання, що розміщується на просторому місці, компоненти ВРП розташовуються на фундаментах металевих або ж бетонних. Також, відповідно розташування елементів вибирають згідно з ПУЕ.

Для зниження вірогідності пожежі та забезпеченні мінімальних пошкоджень при аваріях для масляних трансформаторів, вимикачів, реакторів під пристроями ставлять заповнені гравієм ями – маслоприймачі, застосовується це від 110 кВ та для більшої напруги [5, 6].

Використовуються два варіанти збірних шин ВРП:

- тип жорстких труб,
- тип гнучких проводів.

Використовуючи опорні ізолятори встановлюються жорсткі труби на стійках, у випадку гнучких проводів підвішуються на портали для таких цілей застосовують підвісні ізолятори. Місцевість, де працює ВРП, повинна бути огорожена.

Переваги ВРП

- Сприяють можливості застосування великих електричних пристроїв, що і пояснює створення ВРП на високих напругах.
- Зменшення витрат, так як не потрібне створення приміщень.
- Більші можливості модернізації та збільшення у ВРП ніж у ЗРП.
- Візуальне відображення всіх елементів ВРП

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки ВРП

- Погані погодні умови можуть сприяти швидшому зносу або ж старінню обладнання, так як всі елементи на відкритому повітрі.
- Потребують не обмежених умов, так як використовується багато території, більше ніж у ЗРП.

1.2 Схеми електричних розподільчих пристроїв і підстанцій

Електричні схеми розподільчих установок класифікують: РУ з однією системою шин, РУ з двома системами шин та РУ за схемами кільцевого типу.

РУ з однією системою збірних шин

Для всіх приєднань застосовується вимикач, а також лінійний роз'єднувач і шинний роз'єднувач. При виконанні будь-яких операцій з роз'єднувачами потрібно відключити вимикач того приєднання, з яким буде відбуватись робота, РУ має невелику вартість та є доволі простою.

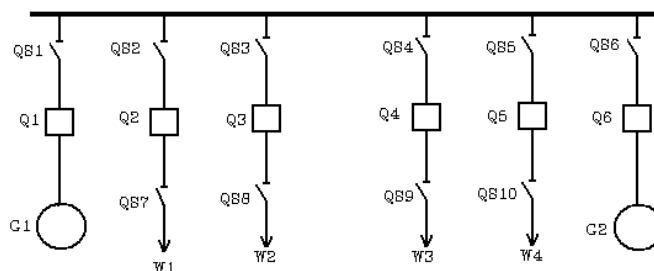


Рисунок 1.1 - РУ з однією системою збірних шин.

Недоліки схеми:

- Вимкнення приєднання на період проведення ремонту (при ремонті роз'єднувачів і вимикачів), що негативно впливає на систему.
- Розподільна установка може повністю вимкнутися від КЗ в районі збірних шин.
- РУ не захищена від відключень, якщо вимикач вийшов з ладу або відбулось зовнішнє коротке замикання – це гарантовано призводить до вимкнення РУ.

Розподільна установка з однією системою збірних шин та секційним вимикачем.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

Якщо виконати секціонування збірних шин, тобто розділенням на частини-секції, встановивши секційні вимикачі в відповідні точки розподілу, при цьому всі секції повинні мати джерело живлення, то можна уникнути частину недоліків, що є в попередній схемі.

Секціонування забезпечує більш надійну роботу РУ, при умові якщо не буде КЗ на секційному вимикачі, так як це може призвести до відключення двох секцій. Знайшли застосування такі схеми в РУ напругою 6-10 кВ, застосовуються розімкнуті секційні вимикачі, щоб понизити струми КЗ, але також додаються пристрої автоматичного включення резерву.

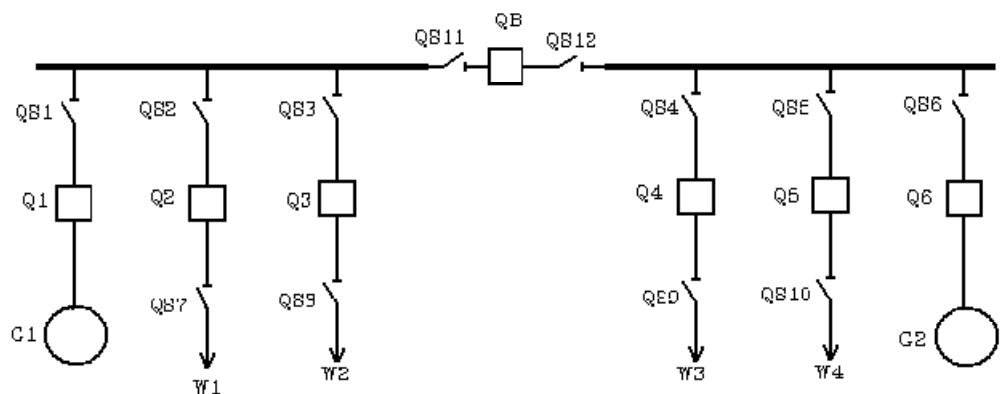


Рисунок 1.2 - РУ з однією системою збірних шин та секційним вимикачем.

РУ з однією системою збірних шин, секційним вимикачем та обхідною системою шин. Розраховані вже для більших напруг від 110 до 220 кВ, з метою більшої “гнучкості” системи, іншими словами при необхідності виконати ремонтні роботи на вимикачах забезпечити стабільне електропостачання споживачів, описуючи принцип роботи обхідний вимикач здійснює функції робочого вимикача, поки той в стані ремонту.

Переваги РУ:

- Стабільність електричного живлення споживачів, припускається по черзі ремонт збірних шин.

- Забезпечується перемикання збірних шин згідно з розпорядком роботи РУ.

Недоліки РУ:

- ремонтні роботи навантажують іншу систему шин, кожне приєднання переключається на робочу систему, таким чином надійність зменшується.

- у випадку КЗ на шино-з'єднувальному вимикачі або зовнішнього КЗ в будь-якому приєднанні з умовою виходу з ладу вимикача на приєднанні будуть вимкнені всі системи шин.

- Схема доволі складна

- Збільшується шанс пошкоджень в районі збірних шин, при великій кількості переключень роз'єднувачів.

Якщо приєднань багато, тоді використовується секціонування обох систем збірних шин. Для напруги 110-220 кВ розподільні установки станцій секціонують з використанням замкнених ШЗВ, тобто РУ розділяється на 4 частини. Щоб була можливість по черзі проводити ремонтні роботи вимикачів застосовуються як обхідні вимикачі так і обхідна система шин. Функції ШЗВ та обхідного вимикача поєднуються, щоб понизити кількість вимикачів. Якщо є дві секції, відповідно потрібно 2 вимикача. Подібна схема має велику складність.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

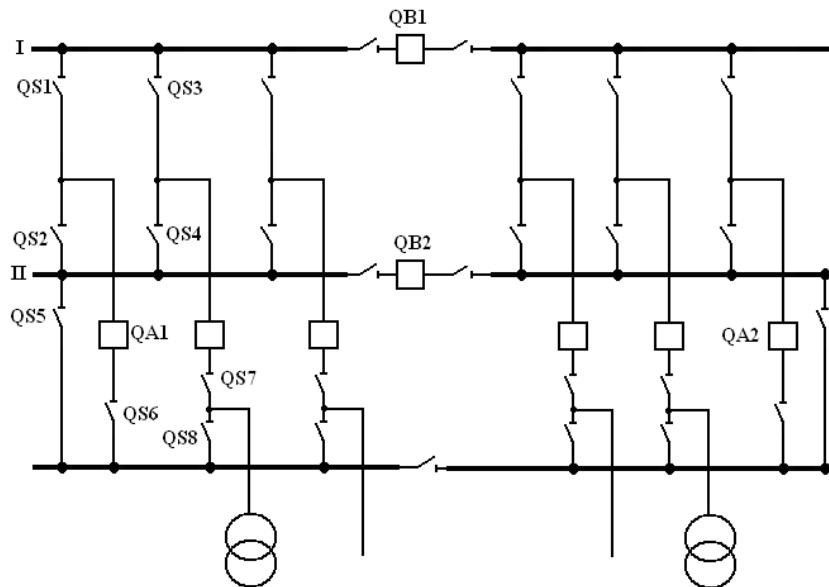


Рисунок 1.5 - Обхідна схема шин і обхідні вимикачі.

Схеми кільцевого типу. Такий тип схем означає кільце або поєднаних кілька кілець один з одним, а також сполучаються з джерелами енергії та навантаженнями.

Зазвичай за допомогою двох вимикачів відбувається роз'єднання кожної гілки, можливо відключення часткових гілок з використанням трьох вимикачів. Вимикачі секціонують кільця згідно з кількістю приєднань, також схема характеризується можливістю ремонту довільного вимикача з забезпеченням стабільного функціонування гілок, схема надійна, так як при пошкодженні в зоні РУ не буде вимкнення цілого пристрою.

Проста кільцева схема. Унікальність подібних схем в збірних шинах, що пов'язані (замкнені) у кільце, а секціонування здійснюється з використанням вимикачів за кількістю підключень.

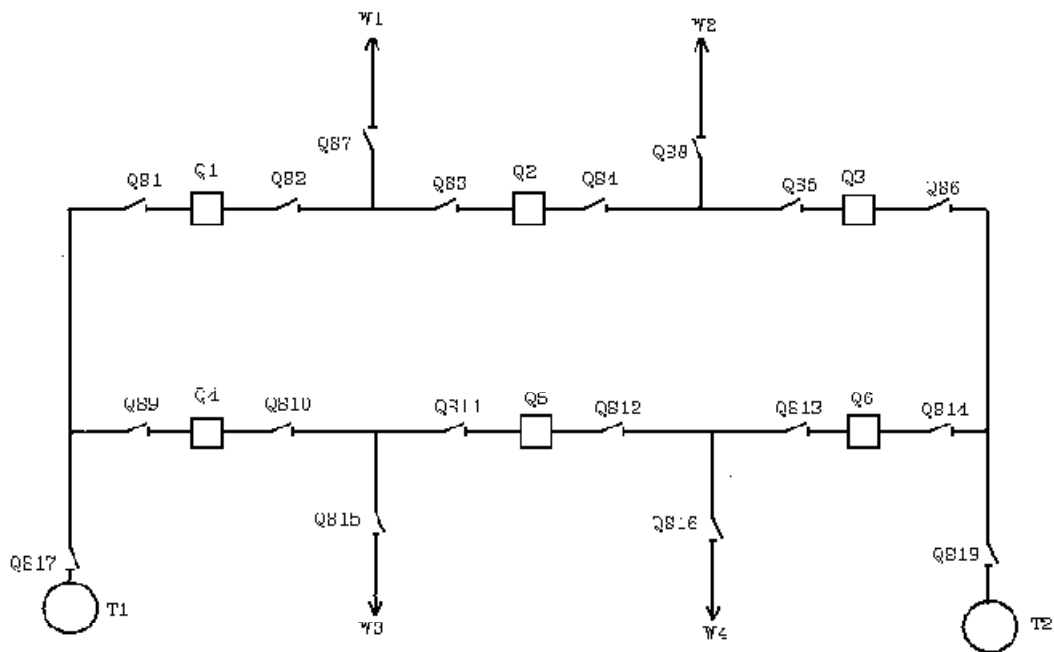


Рисунок 1.6 - Проста кільцева схема

Можна відімкнути зовнішнє замикання з забезпеченням стабільного функціонування гілок, за винятком пошкодженої, в результаті кільце стає розімкненим, додатково відмикають з використанням лінійного роз'єднувача пошкоджену гілку і включають вимикачі з метою замкнення кільця.

КЗ між вимикачами сприяє замиканню на відгалуженні, що зумовлює відімкнення тільки 1 підключення. Вихід з ладу вимикача чи замикання в ньому за умови зовнішнього замикання має зв'язок з відімкненням обох гілок.

У схеми розподільної установки з одним кільцем можуть бути відключені неушкоджені гілки, на прикладі зовнішнього замикання при ремонтних роботах на вимикачі. Така особливість пов'язана з тим, що один вимикач виконує функцію захисту для пари гілок, додатково, якщо увімкнути вимикачі та роз'єднувач неураженої гілки, то функціонування такої гілки продовжиться. З рисунку 1.6, ремонтні роботи на вимикачі Q1, за умови що буде КЗ на лініях W2 чи W3, тоді маємо відімкнення як на тій лінії де відбулось замкнення, так і лінії W1 чи трансформатору T1.

Схеми зв'язаних кілець. Знайшли застосування подібні схеми, де присутні багато з'єднань, на прикладі рисунку 1.7 використовується 9 приєднань, з кількістю вимикачів на один більше з'єднань.

										Арк.
										22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9116.016.ДБ					

Порівнюючи з схемою простого кільця, схема з 9 приєднаннями характеризується тим, що гілки (приклад W1 та W2) відключаються з використанням трьох вимикачів. Така схема забезпечує надійність і зменшений шанс відімкнення робочих гілок при ремонтних роботах або зовнішніх КЗ, так як кільця пов'язані між собою [7, 8].

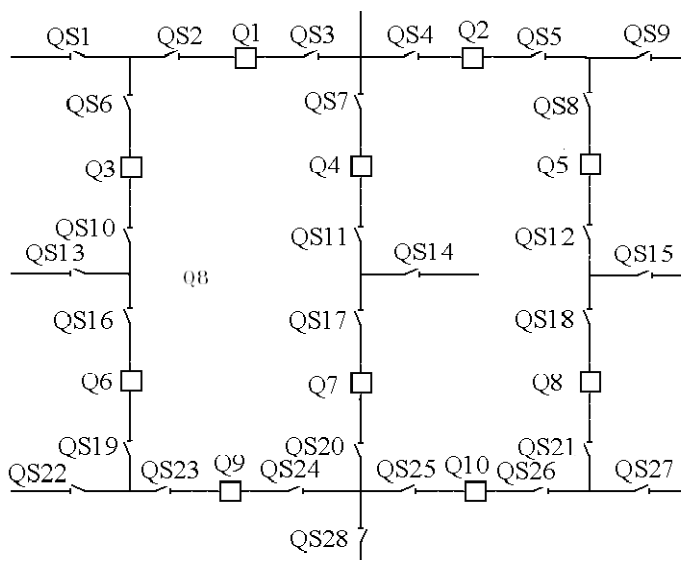


Рисунок 1.7 - Схема два кільця з дев'ятьма приєднаннями.

1.3 Опис об'єкта дослідження – підстанція

В роботі використовується ПС «Бастіонна» 110/10 кВ, схема на рисунку 1.8. Досліджувана підстанція має клас напруг 110 кВ та 10кВ. Розподільчі пристрої на стороні ВН виконуються за схемою містка з ремонтною перемичкою, на стороні НН схема з подвійною системою збірних шин.

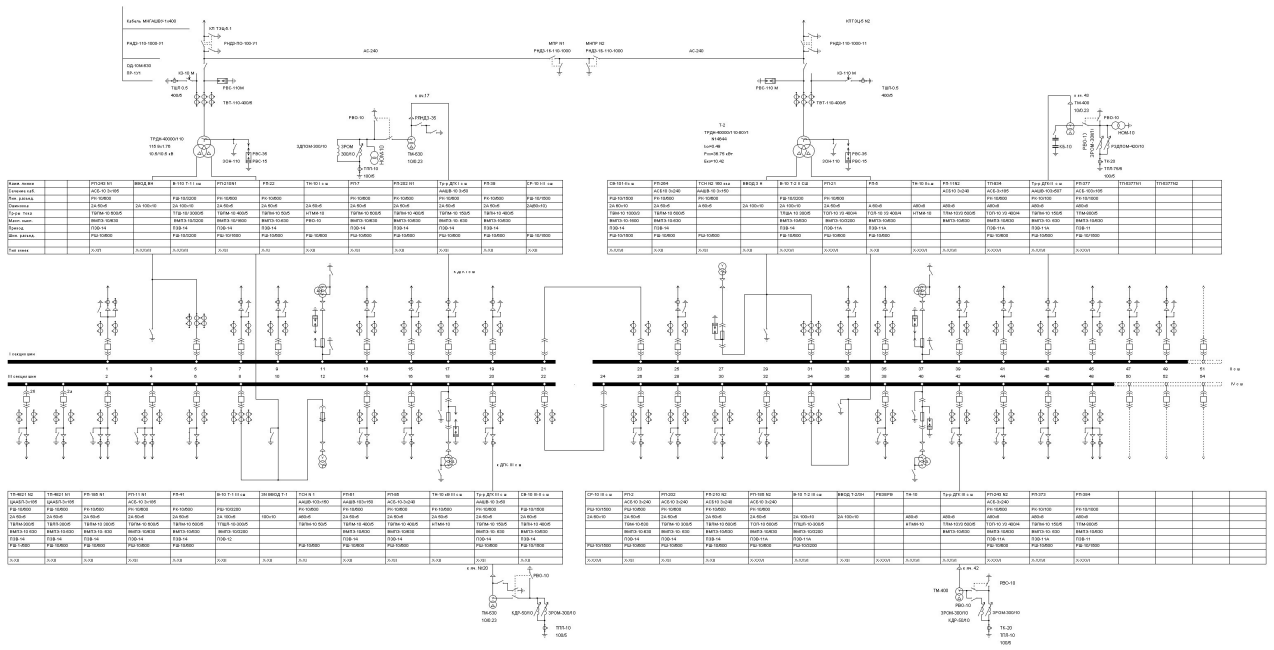


Рисунок 1.8 – Схема ПС «Бастіонна» 110/10 кВ

Основним обладнанням підстанції є:

- силові трансформатори;
- вимикачі та роз'єднувачі;
- вимірювальні трансформатори струму та напруги;
- обмежувачі перенапруги, функцією яких є захист обладнання;
- трансформатори власних потреб;
- вимірювальні прилади;
- прилади автоматики підстанції та релейного захисту (МСЗ, тобто максимальний струмовий захист та ін.).

Трансформатор силовий - пристрій з двома або більше обмотками, який за допомогою ефекту електромагнітної індукції може перетворювати змінну напругу і струм до необхідної величини, в залежності від під'єднання може знижувати або підвищувати їх.

В даній підстанції використовується 2 силових трансформатори типу ТРДН 40000/110, масляні трьохфазні трьохобмоткові з пристроєм РПН (регулювання під навантаженням) зі ступенем регулювання $\pm 9 \times 1,78\%$.

Таблиця 1.1 – Параметри силових трансформаторів

Тип	Номинальна потужність, МВА	Номинальні напруги, кВ		Втрати, кВт		Напруга КЗ, %	Струм ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ	ВН-НН	
ТРДН – 40000/110-У1	40	115	11	34	170	10,5	0,55

Трансформатор струму - це пристрій, призначений для вимірювання великих струмів. Такий пристрій перетворює струм великої величини до значення, яке зручно вимірювати.

Підстанція на стороні ВН має трансформатор струму ТВТ-110-400/5 – трансформатор струму, вбудований, для силових трансформаторів і автотрансформаторів.

Таблиця 1.2 – Параметри трансформатору струму ВН

Тип	Ном. напруга, кВ	Ном. первинний струм, А	Ном. вторинний струм, А	Номинальна гранична кратність для захисту	Кратність струму термічної стійкості
ТВТ-110-400/5	110	400	5	20	25

На стороні НН присутній трансформатор струму ТОЛ-10 УЗ 400/5, трансформатор струму опорний з литою епоксидною ізоляцією;

Таблиця 1.3 – Параметри трансформатору струму НН

Тип	Ном. напруга, кВ	Ном. первинний струм, А	Ном. вторинний струм, А	Номинальна гранична кратність для захисту	Струм односекундної термічної стійкості, кА
ТОЛ-10 УЗ 400/5	10	400	5	10	31,5

Захисне обладнання підстанції складається з обмежувачів перенапруг і вентильних розрядників, такі пристрої виконують функцію захисту від перенапруг, що виникають через зовнішні фактори.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

Розрядник – електричний пристрій, що має за мету захист електротехнічних установок і електричних мереж від перенапруг шляхом розряду і розсіювання надлишкової енергії. Використовується розрядник типу РВС-110 М.

Таблиця 1.4 – Параметри розрядника ВН

Тип	Номинальна напруга, кВ	Імпульсна пробивна напруга при значенні передрозрядного часу від 2 до 20 мкс, кВ	Пробивна напруга в сухому стані та під дощем, не менше (не більше), кВ	Струмова пропускна здатність 20 імпульсів струму прямокутної хвилею тривалістю 2000 мкс, А
РВС-110 М	110	285	200 (250)	150

На стороні НН присутній розрядник типу РВС-15, в табл. 1.5 характеристики.

Таблиця 1.5 – Параметри розрядника НН

Тип	Номинальна напруга, кВ	Імпульсна пробивна напруга при значенні передрозрядного часу від 2 до 20 мкс, кВ	Пробивна напруга в сухому стані та під дощем, не менше (не більше), кВ	Струмова пропускна здатність 20 імпульсів струму прямокутної хвилею тривалістю 2000 мкс, А
РВС-15	15	67	38 (48)	150

Роз'єднувач – пристрій, який призначений для замикання та розмикання електричних ланцюгів напругою понад 1 кВ без струму та для гарантування безпеки під час роботи шляхом створення видимого розриву таких ланцюгів при їх роз'єднанні.

Роз'єднувач на стороні ВН тип РНДЗ-110/1000У1, роз'єднувач високовольтний зовнішньої установки.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 1.6 – Параметри роз'єднувача

Тип	Ном. напруга, кВ	Макс. робоча напруга, кВ	Номінальне значення струму, А	Граничний струм термічної стійкості, кА	Час протікання граничного струму термічної стійкості, с
РНДЗ-110/1000У1	110	126	1000	31,5	3

Короткозамикач - це швидкодіючий контактний апарат, який є однополюсним або двополюсним (залежно від системи робочого заземлення мережі) роз'єднувачем, оснащений пружинним приводом для автоматичного ввімкнення та призначений для з'єднань проводів трифазної системи із землею за способом ручного керування або від релейного захисту. У разі потреби короткозамикач можна також ввімкнути вручну. Відключити ж його можна виключно під час ручного оперування.

Короткозамикач на стороні ВН тип КЗ-110, таблиці 1.7 вказані параметри пристрою.

Таблиця 1.7 – Параметри короткозамикачів

Тип	Номінальна напруга, кВ	Опір ізоляції тяги, МОм	Повний час увімкнення, не більше, с	Відстань між крайньою точкою ножа і контакту (у положенні вимкнено), мм
КЗ-110	110	1000	0,4	880-920

Також підстанція використовує такі прилади як заземлювачі нейтралі трансформатора, функцією є забезпечення заземлення нейтралей силових агрегатів, щоб запобігти замиканню на землю. Їх застосування дає змогу вберегти працівників від ураження електричним струмом, а обладнання - від виходу з ладу. Складовою підстанції є заземлювач типу ЗОН-110М-І УХЛ1-заземлювач, однополюсний, зовнішньої установки.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 1.8 – Параметри заземлювача

Тип	Номінальна напруга, що відповідає найбільшій робочій напрузі, кВ	Номінальний струм, А	Струм електродин. стійкості, кА	Струм терм. стійкості, кА	Час протікання струму терм. стійкості, с
ЗОН-110М-I УХЛ1	110 (126)	400	15,75	6,3	3

Вимикач - це електричний комутаційний пристрій, функцією якого є вмикання і вимикання кола в усіх можливих режимах роботи: увімкнення і вимкнення номінального струму, струму короткого замикання, струму холостого ходу трансформатора, ємнісного струму конденсаторних батарей і довгих ліній.

Масляний вимикач є таким типом вимикача, який використовував масло в якості діелектрика або ізолюючого середовища для гасіння дуги. В масляному вимикачі контакти вимикача виконані для відділення в межах ізолюючого масла. При виникненні несправності в системі контакти вимикача розмикаються під теплоізоляційним маслом, між ними розвивається дуга, а теплота дуги випаровується в навколишньому маслі [9].

Підстанція 110/10 кВ застосовує вимикач типу ВМПЕ-10-3200-20.

Таблиця 1.9 – Параметри вимикача

Тип	Ном. напруга, макс. робоча напруга, кВ	Ном. струм, А	Номінальний струм відключення, кА	Час вимкнення вимикача до згасання дуги, не більше, с	Власний час увімкнення вимикача, с, не більше
ВМПЕ-10-3200-20	10 (12)	3200	20	0,12	0,3

1.4 Розрахунок струмів короткого замикання на підстанції

Визначаємо струми короткого замикання для точки K_1 – на системі шин 110 кВ (сторона ВН).

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

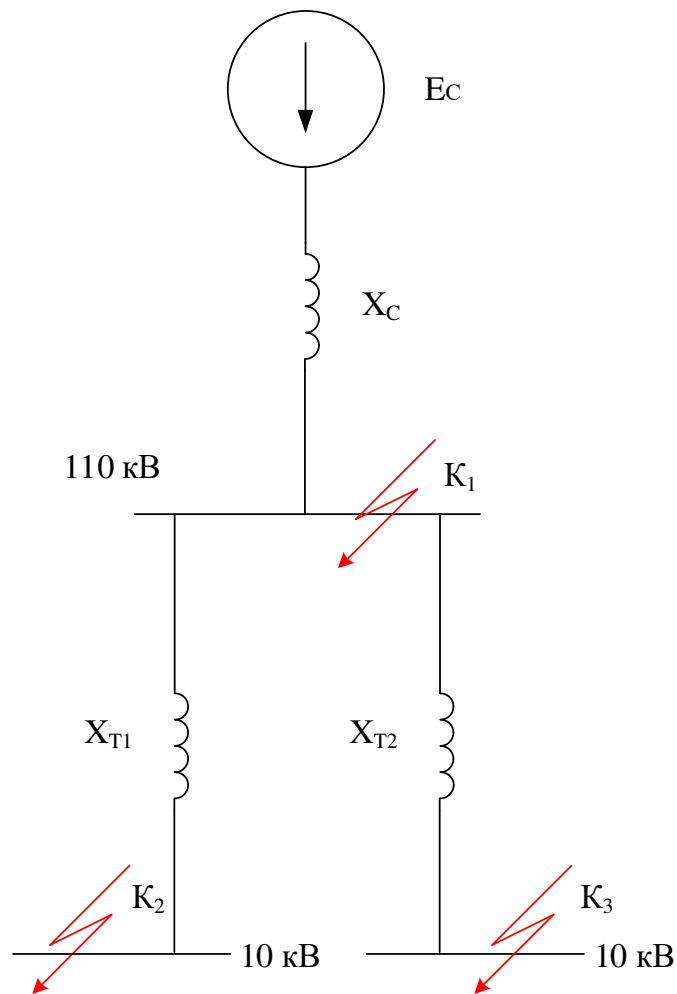


Рисунок 1.9 - Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ

Опір системи визначається за формулою:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср}}^2}{S_{\text{К.З}}}$$

Де $U_{\text{ср}}$ - середнє значення напруги в точці короткого замкнення, $S_{\text{К.З}}$ - потужність КЗ [10, с.71].

Опір системи: $x_c = 40$ (Ом);

Еквівалентний опір для точки короткого замикання K_1 :

$$x_{\text{екв}} = x_c = 40 \text{ (Ом)}$$

Розрахунок базисного струму:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} * U_B} = \frac{100}{\sqrt{3} * 115} = 0.502 \text{ (кА)}$$

Струм трифазного короткого замикання:

						141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
							29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

$$I_{K3_1} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} * x_{екв}} = \frac{110}{\sqrt{3} * 40} = 1.587 \text{ (кА)}$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{\frac{0.01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{0.01}{0.115}} = 2.091$$

Де T_a - постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання [11, с.20]. $T_a = 0.115$ (с).

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2}k_y * I_{K3_1} = \sqrt{2} * 2.091 * 1.587 = 4.693 \text{ (кА)}$$

Для точки K_2 короткого замкнення – на системі шин 10 кВ:

Опори трансформаторів ТРДН - 40000/110-У1:

$$x_1 = x_2 = \frac{U_{K3\%} * U_{Тр}^2}{100 * S_{Тр}} = \frac{10.5 * 115^2}{100 * 40} = 34.7156 \text{ (Ом)}$$

Де $S_{Тр}$ – потужність трансформатора;

$U_{Тр}$ – напруга трансформатора ВН;

$U_{K3\%}$ – напруга короткого замикання;

Еквівалентний опір для точки короткого замикання K_2 :

$$x_{екв} = x_c + x_{Т1} = 40 + 34.7156 = 74.7156 \text{ (Ом)}$$

Струм трифазного короткого замикання:

$$I_{K3_2} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} * \frac{x_{екв}}{K_T^2}} = \frac{10}{\sqrt{3} * \frac{74.7156}{\left(\frac{115}{11}\right)^2}} = 8.4457 \text{ (кА)}$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{\frac{0.01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{0.01}{0.095}} = 2.111$$

Де $T_a = 0.095$ (с).

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2}k_y * I_{K3_2} = \sqrt{2} * 2.111 * 8.4457 = 25.2138 \text{ (кА)}$$

Для точки K_3 короткого замкнення – на системі шин 10 кВ:

Еквівалентний опір для точки короткого замикання K_3 :

									Арк.
									30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9116.016.ДБ				

$$x_{\text{екв}} = x_c + x_{T1} = 40 + 34.7156 = 74.7156(\text{Ом})$$

Струм трифазного короткого замикання:

$$I_{\text{кз}_3} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} * \frac{x_{\text{екв}}}{K_T^2}} = \frac{10}{\sqrt{3} * \frac{74.7156}{\left(\frac{115}{11}\right)^2}} = 8.4457(\text{кА})$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{\frac{0.01}{T_a}} = 1 + e^{\frac{0.01}{0.095}} = 2.111$$

Де $T_a = 0.095(\text{с})$.

Ударний струм:

$$i_y = \sqrt{2}k_y * I_{\text{кз}_2} = \sqrt{2} * 2.111 * 8.4457 = 25.2138 (\text{кА})$$

Струм через трансформатори:

$$1) I_2 = I_1 = \frac{z_2}{z_2+z_1} * I_k = \frac{74.7156}{74.7156+74.7156} * 8.4457 = 4.223(\text{кА})$$

1.5 Перевірка обладнання

1) Перевірка вимикача

Визначаємо розрахунковий і максимальний струми для 10 кВ:

$$I_{\text{розр}} = I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном.нн}}} = \frac{40}{\sqrt{3} * 10} = 2.3094 (\text{кА})$$

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{розр}} * K = 2.3094 * 1.3 = 3.002 (\text{кА})$$

Де $S_{\text{ном.т}}$ – апаратна потужність навантаження;

$U_{\text{ном.нн}}$ – напруга сторони НН;

K – коефіцієнт, що враховує резерв на безпеку, знаходиться в діапазоні від 1.2 до 1.5;

Для трьохфазної системи застосовується коефіцієнт зі значенням $\sqrt{3}$.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.10 Паспортні дані вимикача

Тип	Ном. напруга, макс. робоча напруга, кВ	Ном. струм, А	Номінальний струм відключення, А	Час вимкнення вимикача до згасання дуги, с, не більше	Повний час вимкнення вимикача з приводом, с, не більше ніж	Власний час увімкнення вимикача, с, не більше	Граничні струми термічної стійкості для проміжку часу 4 с, кА
ВМПЕ-10-3200-20	10 (12)	3200	20 (31,5)	0,095	0,12	0,3	20; 31,5

Перевірка за значенням напруги:

$$U_{\text{НОМ.ВИМ}} = 12 \text{ кВ} \geq U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$$

де $U_{\text{НОМ.ВИМ}}$ - номінальна напруга вимикача, кВ;

$U_{\text{НОМ}}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ;

Перевірка за тривалим струмом нормального режиму:

$$I_{\text{розр}} = 2.3094 \text{ кА} \leq I_{\text{НОМ}} = 3.200 \text{ кА}$$

Перевірка за максимальним тривалим струмом:

$$I_{\text{макс}} = 3.002 \text{ кА} \leq I_{\text{НОМ}} = 3.200 \text{ кА}$$

де $I_{\text{НОМ}}$ - номінальний струм вимикача (кА)

$I_{\text{макс}}$ - максимальний струм післяаварійного або ремонтного режиму (кА)

Перевірка на термічну стійкість:

$$T_a = 0.06 \text{ (с)}$$

За формулою знаходиться час протікання струму КЗ:

$$t_{\text{відкл}} = t_{\text{р.з.мах}} + t_{\text{повне відкл.}} = 0.1 + 0.12 = 0.22 \text{ (с)}$$

Де $t_{\text{р.з.мах}}$ - максимальний час спрацьовування основного або резервного релейного захисту і припускається від 0.1 до 4 с;

$t_{\text{повне відкл.}}$ - повний час відключення вимикача, с;

Перевіряються вимикачі за тепловим імпульсом струму КЗ на термічну стійкість:

$$B_k = I_T^2 * t_{\text{терм}} \geq B_p = I_{\text{по}}^2 * (t_{\text{відкл}} + T_a)$$

$$B_k = 31.5^2 * 4 \geq B_p = 8.4457^2 * (0.22 + 0.06)$$

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						32
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_k = 3969 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)} \geq B_p = 19.972 \text{ (кА}^2 \cdot \text{с)}$$

де B_k - каталожний тепловий імпульс, (кА² * с);

B_p - розрахунковий тепловий імпульс, (кА² * с);

I_T - струм термічної стійкості (кА);

$t_{\text{терм}}$ - час протікання струму термічної стійкості (с);

$t_{\text{відкл}}$ - час протікання струму КЗ (с);

T_a – постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ (с), так як КЗ на приєднанні вторинної напруги підстанції $T_a = 0.06$;

$I_{\text{по}}$ - періодична складова струму КЗ у початковий момент часу (кА);

Вимикач заданого типу задовольняє вимоги [12].

2) Перевірка роз'єднувача

Визначаємо розрахунковий і максимальний струми для 110 кВ:

$$I_{\text{розр}} = I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.нн}}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0.210 \text{ (кА)}$$

$$I_{\text{макс}} = I_{\text{розр}} \cdot K = 0.20994 \cdot 1.3 = 0.273 \text{ (кА)}$$

Таблиця 1.11 – Паспортні дані роз'єднувача

Тип	Номинальна напруга, кВ	Макс. робоча напруга, кВ	Ном. струм, А	Найбільший допустимий струм термічної стійкості, кА	Час протікання граничного струму терм. стійкості, с
РНДЗ-110/1000У1	110	126	1000	31,5	3

Перевірка за тривалим струмом нормального режиму:

$$I_{\text{розр}} = 0.210 \text{ кА} \leq I_{\text{ном}} = 1.000 \text{ кА}$$

Перевірка за максимальним тривалим струмом:

$$I_{\text{макс}} = 0.273 \text{ кА} \leq I_{\text{ном}} = 1.000 \text{ кА}$$

Перевірка на термічну стійкість

$$B_k = I_T^2 \cdot t_{\text{терм}} \geq B_p = I_{\text{по}}^2 \cdot t_{\text{прот.гран.струму}}$$

$$B_k = 31.5^2 \cdot 4 \geq B_p = 1.587^2 \cdot 3$$

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$B_k = 3969 (\text{кА}^2 * \text{с}) \geq B_p = 7.556 (\text{кА}^2 * \text{с})$$

Роз'єднувач також задовольняє вимоги.

3) Перевірка вимірювального трансформатору струму

Таблиця 1.12 – Паспортні дані вимірювального трансформатору струму ВН

Тип	Ном. значення напруги, кВ	Ном. первинний струм, А	Ном. вторинний струм, А	Номінальна гранична кратність для захисту	Кратність струму термічної стійкості
ТВТ-110-400/5	110	400	5	20	25

Перевірка за тривалим струмом нормального режиму:

$$I_{\text{розр}} = 0.210 \text{ кА} \leq I_{\text{ном}} = 0.400 \text{ кА}$$

Перевірка за максимальним тривалим струмом:

$$I_{\text{макс}} = 0.273 \text{ кА} \leq I_{\text{ном}} = 0.400 \text{ кА}$$

Перевірка на термічну стійкість

$$B_k = (K_T I_T)^2 * t_{\text{терм}} \geq B_p = I_{\text{по}}^2 * t_{\text{прот.гран.струму}}$$

$$B_k = (25 * 0.400)^2 * 4 \geq B_p = 1.587^2 * 3$$

$$B_k = 400 (\text{кА}^2 * \text{с}) \geq B_p = 7.556 (\text{кА}^2 * \text{с})$$

Перевірка на динамічну стійкість

$$K_{\text{дин}} * \sqrt{2} * I_{1\text{ном}} \geq i_y$$

$$20 * \sqrt{2} * 0.400 \geq 4.693$$

$$11.3137 \text{ кА} \geq 4.693 \text{ кА}$$

Де

$K_{\text{дин}}$ – електродинамічна кратність, що визначається по характеристикам чи каталогам, може бути застосована до обраного трансформатора;

$I_{1\text{ном}}$ – первинний струм, А або кА;

i_y – ударний струм короткого замикання, А або кА.

Трансформатор струму задовольняє вимогам [10, с.103].

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В першому розділі роботи описана класифікація підстанцій та види розподільчих пристроїв напругою до 220 кВ включно. Згідно досліджувальній підстанції «Бастіонна» 110/10 кВ розподільчі пристрої на стороні ВН виконуються за схемою два блоки з віддільниками і неавтоматичною перемичкою з боку лінії, на стороні НН схема 4 секції шин з секційними вимикачами, виконано розрахунок струмів короткого замикання на стороні ВН (110 кВ) та НН (10 кВ).

В результаті розрахунку струмів КЗ для точки K_1 – на системі шин 110 кВ було отримано струм трифазного короткого замикання $I_{K3_1} = 1.587$ (кА), а ударний струм $i_y = 4.693$ (кА), відповідно для точок K_2 та K_3 на збірних шинах 10 кВ, маємо струм трифазного короткого замикання $I_{K3_2} = 8.4457$ (кА), ударний струм $i_y = 25.2138$ (кА), потім була проведена перевірка обладнання за тривалим струмом нормального режиму, за максимальним тривалим струмом, перевірка на термічну стійкість, а також на динамічну стійкість.

В результаті перевірки обладнання всі елементи підстанції задовольняють вимогам.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2 СИСТЕМИ АСУ ТП В СТРУКТУРІ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Система керування електроенергетичними об'єктами - це комплекс програмних та апаратних засобів, які призначені для керування та моніторингу різноманітних об'єктів електроенергетичної системи, таких як електростанції, трансформаторні підстанції, тощо.

Така система забезпечує автоматизоване керування та контроль за роботою електроенергетичних об'єктів, що дозволяє знизити ризик виникнення аварій, покращити якість електропостачання та збільшити ефективність енергосистеми в цілому. Система керування може включати в себе різноманітні компоненти, такі як сенсори, пристрої збору даних, програмне забезпечення, системи моніторингу, автоматичні регулятори та інші компоненти.

2.1 Вимоги та засоби вирішення задач АСУ ТП в системі керування електроенергетичними об'єктами

Основна задача систем керування електроенергетичними об'єктами полягає в забезпеченні стабільної та ефективної роботи електроенергетичних систем, зменшення втрат електроенергії, покращення якості електропостачання та забезпечення безпеки працівників та обладнання.

Ідея децентралізованого керування є найбільш поширена, такий вид керування забезпечує кращу ефективність та надійність управління, ніж при інших видах керування, якщо відбудеться вимкнення одної підсистеми, то інші мають змогу продовжувати свою роботу. Таким чином, децентралізоване керування означає розподіл функцій керування між різними підсистемами, тобто автоматизоване управління окремими електроенергетичними об'єктами, такими як електростанціями, трансформаторними підстанціями та ін.

					141.ЕК9116.016.ДБ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	Слюсар Є.В.				Системи АСУ ТП в структурі керування електроенергетичними об'єктами	<i>Літера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>	Тимохін О.В.						36	18
<i>Н.контр.</i>	Настенко Д.В.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
<i>Затверд.</i>	Марченко А.А.							

Наступною ідеєю керування є побудова системи централізованого керування – єдина система керування, яка складається з підсистем. Перевагами централізованого управління є точність та швидкість прийняття рішень, а також спрощена взаємодія між підсистемами і єдність в управлінні процесами.

Системи керування електроенергетичними об'єктами повинні виконувати:

- Точне та ефективне вимірювання і контроль параметрів електроенергетичної системи, таких як напруга, струм, потужність, та ін.
- Розподіл електроенергії та керування навантаженням, щоб забезпечити стабільність роботи енергетичної системи та запобігти перевантаженням.
- Оперативне надання даних про поточний режим диспетчерському персоналу;
- Забезпечення стійкості до різних випробувань та аварійних ситуацій та підтримку неперервної роботи об'єктів електроенергетики.
- Моніторинг та керування електропостачанням для забезпечення безпеки та надійності електричних мереж та обладнання.
- Керування генерацією електроенергії, включаючи розподіл навантаження між різними генеруючими станціями та регулювання їх потужності.
- Автоматизоване керування роботою обладнання електроенергетичної системи, зокрема трансформаторів, вимикачів, розподільних пристроїв та іншого обладнання.
- Розподіл потоків електроенергії між різними регіонами та країнами [13].

АСУ ТП підстанції - це функціональний програмно-технічний комплекс, створений, щоб забезпечувати контролю і управління енергооб'єктами, процесами генерації та розподілу, оперативно-диспетчерського управління та моніторингу роботи підстанції.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлення АСУ ТП на підстанціях дозволяє досягти наступних цілей

- Управління процесами передачі та розподілу електроенергії;
- підвищення надійності електропостачання споживачів
- Зниження витрат на обслуговування підстанції; і
- Діагностувати технічний стан обладнання;
- Підвищення ефективності роботи електроустановок;
- Забезпечити безаварійну роботу електрообладнання;
- Істотно знизити комерційні втрати електроенергії.

Встановлення автоматизованої системи управління технологічними процесами підстанцій дозволяє виконувати наступні функції:

- Збір та обробка дискретної та аналогової інформації, що характеризує роботу основного електрообладнання підстанції;
- Управління розподільчими пристроями.
- Керування перемикачами за допомогою РПН трансформаторів;
- Контроль релейного захисту і автоматики; реєстрація аварійних і перехідних процесів;
- Вимірювання споживання електроенергії та контроль якості електроенергії;
- Моніторинг роботи обладнання та каналів зв'язку;
- Відображення інформації для оперативного персоналу для моніторингу та контролю енергоспоживання;
- Підвищення рівня інформаційної та загальної безпеки технічного комплексу.

В системах керування електроенергетичними об'єктами використовуються пристрої автоматичного управління, основні види таких рішень є:

Технологічна автоматика (ТА) – такі пристрої забезпечують пуск (зупинку) агрегатів, переведення з режиму генератора в режим синхронного компенсатора і назад. Технологічна автоматика має спеціальну програму

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

управління, що відповідає вимогам до енергопостачання, на всіх станціях. Застосовується вона для управління потоками потужності між енергосистемами і налаштовується відповідно до графіків перетікань потужності.

Від командного імпульсу на пуск агрегату, який задає людина, автоматизовано весь процес до включення агрегату в мережу, агрегат за дві-три хвилини вмикається автоматично, що значно швидше за виконання такої операції вручну, оперативність включення створює гідроагрегатам величезні переваги для регулювання потужності.

Автоматика нормальних режимів забезпечує завантаження-розвантаження агрегатів за заданою програмою. Програма спеціально розраховується для конкретних умов. Якщо умови змінюються, то програма також змінюється. Є автоматика розподілу і регулювання активної та реактивної потужності, напруги, розподілу резервів.

Автоматика протиаварійного керування (ПАА) забезпечує спеціальне керування під час важких системних аварій (у разі порушення стійкості, коротких замикань).

Релейний захист захищає обладнання від пошкоджень під час аварій. Для завдання програми його дії розраховуються важкі режими.

Автоматика нормального режиму відіграє велику роль в управлінні режимами і забезпечує безперервну відповідність між генерацією і споживанням електроенергії. При досить високому рівні її виконання вона називається системою автоматичного управління роботою енергосистем за частотою та активною потужністю. Така система може керувати активними потужностями електростанцій, енергосистем і об'єднань.

Автоматика нормальних режимів може виконувати і станційні функції. На станціях є автоматика групового керування активною потужністю (ГРАМ), яка забезпечує оптимальне завантаження агрегатів під час роботи станції за заданим графіком. На станціях є також автоматика групового регулювання

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

реактивної потужності агрегатів, за допомогою якої завантаження агрегатів відбувається відповідно до заданого графіка напруги.

Автоматика аварійних режимів. Протиаварійна автоматика підвищує стійкість енергосистем та їх надійність.

Автоматика передбачає поділ кільцевої схеми системи на "здорову" і "хвору" частини завдяки відключенню вимикачів у спеціальних перетинах, через які протікає мінімальний струм. Це дає змогу уникнути поширення аварії на всю систему. Розвантаження генераторів здійснюється в тій частині системи, де є надлишок потужності. Без цього генератори системи "розганяються" до неприпустимих швидкостей. У разі нестачі потужності передбачається автоматичне вимкнення навантаження. Таким чином, відновлюється баланс потужності. Автоматика протиаварійного керування використовує всі інші засоби автоматики з управління режимами генераторів, турбін, навантаження. Це дуже "розумна" автоматика.

Функціональні групи режимної автоматики. Наприклад на основі великого блоку ТЕС, функціональна автоматика потрібна, щоб децентралізувати управління дуже складним об'єктом, таким як великий блок ТЕС. Без такої декомпозиції процес керування стає складним. Кожна функціональна система має свої цілі і являє собою локальну систему автоматики. Приблизний перелік функціональних систем великого блоку наведено нижче. У ньому 21 система. Оперативно-диспетчерський персонал контролює роботу цих систем.

Функціональна автоматика котлів

- Система живлення котлів.
- Система подачі твердого пилоподібного палива.
- Система подачі рідкого (газоподібного) палива.
- Система подачі та підігріву повітря.
- Система розпалювання розпалювальних пальників.
- Система видалення та очищення димових газів.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Система управління пароперегрівачами.

Функціональна автоматика турбін і допоміжного обладнання

- Система постачання мастила.

- Система постачання регульовальної рідини (акумуляторний бак, центральний насос).

- Система постачання пари.

- Система постачання перегрітої пари.

- Управління охолоджувальними установками.

- Управління насосами (конденсатними та ін.).

- Управління знесолювальною установкою.

- Управління живильно-деаераторною установкою.

- Система підігрівачів середнього тиску.

- Система підігрівачів високого тиску.

Функціональна автоматика генераторів

- Система охолодження.

- Система збудження.

- Система синхронізації [14].

2.2 Основні переваги, недоліки та можливості сучасних систем АСУ ТП електроенергетичних об'єктів

Переваги АСУ ТП:

- система енергозбереження в компанії;
- зниження впливу людського фактору;
- підвищення надійності системи;
- повний контроль над роботою пристрою;
- створення архівів і звітів.

Технічні питання при реалізації АСУ ТП, що виникають у процесі автоматизації виробництва, пов'язані насамперед із необхідністю внесення конструктивних змін у структуру підприємства. В такому випадку йдеться, насамперед, про монтаж автоматизованого обладнання та такі аспекти:

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- реконструкція виробничих приміщень;
- зміна системи електропостачання;
- реорганізація взаємодії модернізованої ділянки з іншими;
- внесення змін до технологічних регламентів підприємства [15, 16].

Класифікація АСУ ТП, всі АСУ ТП поділяють на чотири глобальні класи:

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерський контроль і збір даних). Цей термін можна перекласти як "система телемеханіки" / "телеметрії" / "управління трансмісією". Останнє визначення найточніше відображає сутність і мету системи - контроль і моніторинг об'єктів диспетчером.

Термін SCADA поширений у вужчому сенсі: багато хто називає його програмним пакетом для візуалізації процесів. Однак у цьому розділі слово SCADA означає цілий клас систем.

ПЛК і DCS мають апаратні пакети, але SCADA цього не має, SCADA не буде посилати двійковий або аналоговий сигнал на польові пристрої для управління процесом. SCADA буде керувати процесом тільки за допомогою певних контролерів, таких як ПЛК, DCS або PID.

Основні функції SCADA:

- Збір даних (Показує оператору інформацію про стан і дані вимірювань)
- Управління (Оператор може керувати пристроєм відповідно до отриманих даних)
- Обробка даних (Перевірка якості та цілісності даних)
- Тегування (Ідентифікація конкретних суб'єктів або пристроїв, щоб запобігти їх несанкціонованому використанню)
- Сигналізація (Оператор буде сповіщений тривожним сигналом у разі незапланованих операцій або в разі небажаних умов експлуатації)
- Ведення журналу (Всі дії оператора, тривоги, вибрані записи будуть реєструватися в журналі)

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Побудова трендів (Вимірювання буде відображатися у вибраному масштабі, щоб надати інформацію про тенденції, такі як одна хвилина, одна година і т.д.)
- Історична звітність (Це дозволить зберігати та аналізувати історичні дані, що є корисним для управління майбутніми процесами)

Переваги системи управління SCADA:

- Простота в обслуговуванні
- Забезпечує доступ до даних в режимі реального часу
- Інструменти впровадження є вдосконаленими
- Надійність
- Безперервна робота
- Обслуговування обладнання може бути покращено
- Процес можна контролювати віддалено

Недоліки системи управління SCADA

- Впровадження потребує спеціальних навичок
- Обробка даних можлива лише тоді, коли система доступна
- Необхідно перевірити сумісність з ПЛК

Застосування системи управління SCADA:

- Виробництво, передача та розподіл електроенергії
- Водопостачання та водовідведення
- Будівельні споруди та навколишнє середовище
- Обробна промисловість
- Громадський транспорт
- Світлофорна сигналізація
- Сталеливарна промисловість
- Хімічна промисловість

DCS (Distributed Control System) – це система, яка складається з великої кількості пристроїв, розподілених у просторі, кожне з яких не залежить від інших, але взаємодіє з ними для виконання спільного завдання. Система

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

управління технологічним процесом, що вирізняється побудовою розподіленої системи вводу-виводу та децентралізацією обробки даних. Елементи системи можуть перебувати на досить великій відстані, а зв'язок між ними може виконуватися через мережу інтернет.

Основні функції DCS:

- Контроль
- Збір даних
- Сигналізація
- Ведення журналів і формування звітів
- Зберігання історичних даних
- Діагностика та безпека системи

Переваги DCS:

- Для управління різними процесами використовуються окремі контролери, завдяки чому вихід з ладу однієї станції управління не вплине на роботу всієї установки
- Доступ до великої кількості поточної інформації з магістралі даних
- Можна відстежувати минулі тенденції стану процесу
- Менше перевантаження системи
- Надійність
- Висока швидкість роботи
- Інформація про процес може бути візуалізована користувачем у різних форматах

Недоліки DCS:

- Дорогокоштовна
- Потребує регулярного обслуговування
- Більш схильна до загроз кібербезпеки, якщо не захищена належним чином

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Потребує регулярного оновлення системи, коли технологія розвивається, наприклад, ОС Windows застаріває, OEM-підтримка DCS для певної версії відсутня тощо.

Застосування DCS:

- Електрична мережа
- Нафтова і газова промисловість
- Хімічна промисловість
- Системи управління водними ресурсами
- Фармацевтичне виробництво [17, 18].

RTU (Remote terminal unit, віддалений термінал) - це мікропроцесорний електронний пристрій, який з'єднує об'єкти фізичного світу з розподіленою системою управління або системою SCADA (диспетчерського управління і збору даних), передаючи телеметричні дані в головну систему і використовуючи повідомлення від головної системи управління для управління підключеними об'єктами.

До переваг RTU слід віднести:

- Наявність простого інтерфейсу та відсутність необхідності у складному програмуванні, яке по суті зводиться до конфігурування пристрою;
- Наявність великої кількості аналогових та дискретних входів та виходів;
- Можливість роботи в промислових умовах;

До недоліків RTU слід віднести:

- Відсутність можливості обробки зібраних даних та можливості реалізовувати на їх основі алгоритми автоматичного керування;

ПЛК (Programmable Logic Controller) – контролер, такий пристрій часто називають апаратним модулем для реалізації алгоритмів автоматичного керування. Однак термін ПЛК має більш загальне значення і часто використовується для позначення всього класу системи.

Переваги ПЛК:

- Компактність;

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Широкі можливості програмування.
- Підтримка різних мов програмування, що розраховані на користувачів з різним рівнем підготовки;
- Можливість роботи в промислових умовах;
- Можливість автоматичного керування об'єктами керування на основі зібраних даних та реалізованих алгоритмах без зв'язки із системою АСУ ТП;

Недоліки ПЛК:

- Необхідність у певних знаннях для програмування ПЛК;
- Можливість збоїв у роботі ПЛК, що обумовлені помилками у програмах ПЛК, які можуть бути при програмуванні.
- Повільніша робота у порівнянні із спеціалізованими пристроями [19].

Більш детальний опис функцій та можливостей ПЛК наведено нижче.

2.3 Задачі ПЛК в системах АСУ ТП електроенергетичних об'єктів

Переваги використання ПЛК в автоматизації станцій та підстанцій

Надійність, велика база встановлення, широкі ресурси підтримки та низькі витрати - ось деякі з переваг використання ПЛК в якості основи для автоматизації підстанцій і систем SCADA.

ПЛК надзвичайно надійні. Вони були розроблені для застосування в суворих промислових середовищах. Вони призначені для коректної роботи в широкому діапазоні температур і в умовах дуже високому рівні електромагнітного шуму і вібрації. Вони також можуть працювати в запиленому або вологому середовищі, а також в умовах підвищеної вологості. Кількість ПЛК (мільйони), які були застосовані в різних середовищах, дозволила розробникам ПЛК вдосконалити стійкість до негативного впливу суворих умов експлуатації.

ПЛК мають широку підтримку в більшості країн світу. ПЛК виробники мають велику кількість представництв, дистриб'юторів та авторизованих

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

системних інтеграторів. Більшість технічних шкіл і коледжів пропонують курси по застосуванню ПЛК, програмуванню та обслуговуванню ПЛК [20].

Однією з проблем електромеханічних або статичних реле є те, що вони не знаходяться в робочому стані під час нормальної роботи енергосистеми. Вони спрацьовують лише при ненормальному або несправному стані енергосистеми. Це може траплятися не дуже часто, а в деяких випадках - дуже рідко. Тому надійність роботи реле може бути підтверджена лише частими випробуваннями реле. Не існує безперервної перевірки їх операційної цілісності. Використання цифрового комп'ютера для захисту енергосистеми та цифрового захисту на базі ПЛК вирішує цю дуже складну проблему.

Однією з дуже важливих переваг цифрового захисту на базі ПЛК є те, що він може виконувати функції захисту, вимірювання та керування одночасно. Оскільки національні та міжнародні енергосистеми мають довгі лінії електропередач надвисокої напруги, якими передається основна частина електроенергії, використання цифрового захисту на базі ПЛК є не тільки ефективним, але й більш-менш необхідним [21].

Основна відмінність від інших комп'ютерів являється те, що ПЛК мають широкі можливості для введення/виведення (вводу/виводу).

Вони з'єднують ПЛК з датчиками та виконавчими механізмами. ПЛК зчитують кінцеві вимикачі, аналогові технологічні змінні процесу (такі як температура і тиск), а також положення складних систем позиціонування.

З боку приводів ПЛК керують електродвигунами, пневматичними або гідравлічними циліндрами, магнітними реле, соленоїдами або аналоговими виходами. Пристрої вводу/виводу можуть бути вбудовані в простий ПЛК, або ПЛК може мати зовнішні модулі вводу/виводу, підключені до комп'ютерної мережі, яка підключається до ПЛК [22].

Кілька прикладів використання ПЛК на підстанціях:

1. Розробка високонадійних систем керування для елегазових вимикачів:

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

ПЛК з'єднаний з центральною панеллю керування за допомогою кабелів керування. Для визначення стану вимикача використовуються оптичні датчики положення. Також додана функція підтримки технічного обслуговування для моніторингу наступних величин:

- час роботи вимикача
- кількість спрацьовувань автоматичного вимикача
- час роботи масляного насоса вимикача
- кількість спрацьовувань гідравлічного масляного насоса вимикача
- аварійні сигнали (низька щільність газу, низький тиск масла)

Для визначення стану вимикача використовуються оптичні датчики положення. Оптичні датчики положення - це пристрої, які використовують світло для вимірювання положення рухомого об'єкта. Оптичні датчики положення можуть працювати на різних принципах, наприклад, на принципі відбивного світла або на принципі пропускання світла. В обох випадках, сенсор здатен реєструвати зміну світлового потоку, що відбивається від поверхні рухомого об'єкта або проходить через нього. Ці зміни світлового потоку аналізуються електронікою в датчику, яка перетворює їх на електричний сигнал, який потім може бути оброблений контролером [23].

2. Застосування ПЛК для онлайн-моніторингу силових трансформаторів:

Пристрій на базі ПЛК дозволяє виконувати всі розрахунки безпосередньо на трансформаторі, що робить його менш залежним від ліній зв'язку. Завдяки ефективній мові програмування (ІЕС 1131-3) вартість і тривалість розробки значно скорочуються, а впровадження нової функціональності та адаптація до технологій, що розвиваються, полегшуються завдяки великій базі знань, доступній від виробника ПЛК. Це модульна концепція, де інвестиції можуть бути розподілені поетапно відповідно до потреб. Витрати на встановлення зменшуються, а бездротовий зв'язок може бути легко застосований, що полегшує проекти модернізації.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В порівнянні з ПК, який є менш надійним: середній час напрацювання на відмову (Mean time between failures - MTBF) становить 37 000 годин проти 300000 годин для найбільш чутливого модуля ПЛК. Це дуже важливо, якщо врахувати функції управління системою охолодження та теплового захисту від перегріву обмоток.

Щоденний трендовий звіт дозволяє користувачеві візуалізувати деякі з аналогових сигналів і розрахункових значень, записаних за останні 24 години. До параметрів, що відображаються в щоденному звіті, відносяться: струм навантаження, температура масла, температура навколишнього середовища і температура гарячої точки обмотки. Ця функція безпосередньо вбудована в ПЛК.

Модель температури гарячої точки обмотки безперервно обчислює температуру найгарячішої точки обмотки, використовуючи виміряну верхню температуру масла та приріст гарячої точки, розрахований за струмом навантаження, характеристиками трансформатора та з використанням алгоритмів, наданих керівництвами з навантаження IEEE або IES. Попередження та аварійні сигнали можна генерувати відповідно до налаштованих користувачем уставок. Таким чином можна попередити персонал, якщо температура обмотки буде вищою за верхню температуру масла.

Зазвичай, бездротовий датчик температури має вбудований передавач, який відправляє дані про температуру масла до приймача, що може бути підключений до ПЛК. Приймач може бути підключений до ПЛК за допомогою різних протоколів зв'язку, таких як Modbus, Profibus, або за допомогою Ethernet.

Приймач передає дані про температуру масла до ПЛК, де вони можуть бути оброблені та збережені в системі моніторингу трансформатора. За допомогою програмування ПЛК, можна налаштувати різні рівні тривоги та

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

заходи контролю, такі як аварійне відключення трансформатора, якщо температура масла перевищує задані межі [24].

3. Просторова орієнтація сонячних панелей:

Для підвищення ефективності та захисту апаратного забезпечення системи, програмне забезпечення сповіщає систему управління про захід сонця на день.

Програмований логічний контролер отримує сигнали про режим "укладання" панелі від датчиків, які розташовані на самій панелі. Ці датчики монтувалися на кріпленнях панелі та визначають її нахил.

Отримані дані про нахил панелі передаються до ПЛК, який у свою чергу виконує необхідні дії для відповідного управління панеллю. Якщо нахил панелі не відповідає заданому режиму, то ПЛК може виконати необхідні корекції з метою забезпечення оптимальної роботи панелі.

Через 30 хвилин темряви ПЛК дає команду системі перейти в режим "укладання", ставлячи панелі в захисне положення, спрямоване прямо в небо. Таким чином, вони не будуть пошкоджені, якщо вночі здійметься сильний вітер. Аналогічно, якщо контролер виявить пориви, що досягають 35 миль/год або вище вдень, система перейде в захисний режим. Через хвилину після того, як вітер стихає до 35 миль/год, система передислокує трекери, щоб відновити їх первинне позиціонування за сонцем [25].

4. Проектування геотермальних електростанцій з використанням PLC та SCADA:

В такому проекті система складається з наступних компонентів:

Датчик низького/високого рівня рідини баку, датчик вимірювання швидкості турбіни, датчик температури, двигун турбіни, блок вхідних/вихідних реле, ПЛК (Omron), система SCADA.

Принцип роботи геотермальної електростанції з використанням ПЛК і SCADA полягає в тому, що ПЛК і SCADA є основними процесорними блоками. Так як ПЛК - це програмований логічний контролер, який керує

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

всіма основними операціями системи, він має спеціальне програмне забезпечення, яке ідентично керує системою. На вхід ПЛК підключаються датчик швидкості турбіни, який контролює швидкість турбіни, датчик високого/низького рівня в резервуарі, який вимірює рівень води/пари в резервуарі, датчик температури для вимірювання відповідної температури. ПЛК має визначені значення для всіх цих датчиків і працює відповідно до використання.

Геотермальна електростанція використовує 190 °С для виробництва електроенергії, яка виробляється за рахунок того, що підземні води перетворюються на пару при високій температурі, і, отже, ця пара використовується для обертання турбіни для виробництва електроенергії. Але, використовуючи ПЛК, теплова електростанція може також виробляти електроенергію при температурі нижче 190 °С, використовуючи датчик температури і швидкості турбіни в якості основного чутливого елемента.

По-перше, датчик швидкості вимірює швидкість турбіни і, отже, надсилає дані до ПЛК, де дані перевіряються і надсилаються на вихід. Далі відповідно отриманих даних водяний насос перекачує воду. Ця вода потрапляє до ґрунтових вод через водні канали. Вода перетворюється на пару за рахунок вищої температури. Ця пара знову подається до турбіни, і відбувається її обертання. Коли швидкість обертання турбіни дорівнює необхідній для виробництва електроенергії, ПЛК автоматично вимикається, і, отже, електроенергія виробляється. А коли обертання/швидкість турбіни менша за необхідну, процес продовжується, щоб відповідна кількість води перетворилася на пару і, таким чином, обертала турбіну [26].

2.4 Вимоги до ПЛК в системах АСУ ТП електроенергетичних об'єктів

Вимоги до програмованих логічних контролерів (ПЛК) можна умовно розділити на технічні та функціональні.

Технічні вимоги:

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Надійність: ПЛК повинен працювати стабільно та надійно в умовах електромагнітної сумісності та забезпечувати захист від перенапруг та короткого замикання.

2. Відповідність стандартам: ПЛК повинен відповідати стандартам, які регулюють його роботу та безпеку використання.

3. Висока швидкість обробки даних: ПЛК повинен забезпечувати швидку обробку даних та швидке виконання програм.

4. Модульність: ПЛК повинен бути модульним, щоб забезпечити можливість зміни окремих модулів, які відповідають за різні функції.

5. Масштабованість: ПЛК повинен бути масштабованим та забезпечувати зручне додавання нових модулів та розширення функціональності.

6. Простота використання та програмування: ПЛК повинен бути легким у використанні та програмуванні, щоб спростити роботу технічних спеціалістів.

7. Наявність вбудованих інтерфейсів: ПЛК повинен мати вбудовані інтерфейси для зв'язку з іншими пристроями та системами.

Функціональні вимоги:

1. Підтримка різноманітних входів та виходів: ПЛК повинен підтримувати різноманітні входи та виходи, щоб забезпечити можливість підключення різних датчиків та виключників.

2. Підтримка різноманітних комунікаційних протоколів: ПЛК повинен підтримувати різноманітні комунікаційні протоколи, такі як Modbus, Profibus, Ethernet, CAN і т.д., щоб забезпечити зв'язок з іншими системами та пристроями.

3. Можливість зберігання програм: ПЛК повинен забезпечувати можливість зберігання програм та налаштувань у внутрішній пам'яті, щоб забезпечити зручну конфігурацію та розгортання.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Підтримка безпеки: ПЛК повинен забезпечувати підтримку безпеки використання, таку як можливість встановлення паролів, підтримка захисту від несанкціонованого доступу та інші функції безпеки.

5. Підтримка різноманітних функцій: ПЛК повинен забезпечувати можливість виконання різних функцій, таких як логічні операції, арифметичні операції, керування рухом механізмів та ін.

6. Можливість моніторингу: ПЛК повинен забезпечувати можливість моніторингу його роботи та стану, а також підтримку діагностичних функцій.

7. Можливість віддаленого керування: ПЛК повинен забезпечувати можливість віддаленого керування та моніторингу з використанням мережевих технологій.

Вимоги до навколишнього середовища:

Хоча більшість ПЛК розроблені для роботи в жорстких фізичних умовах, такі проблеми, як пил, вібрація, температура або специфічні коди об'єкта, можуть вплинути на вашу програму. Наприклад, екстремальні температури можуть бути проблематичними. Типовий робочий діапазон для ПЛК становить 0-55 градусів за Цельсієм (32-130 градусів за Фаренгейтом), але якщо температура навколишнього середовища на вашому об'єкті виходить за межі цього діапазону або є інші нетипові вимоги до навколишнього середовища, вам потрібно буде більш ретельно вивчити інші потенційні кандидати на використання ПЛК [27, 28].

Висновки

У другому розділі дипломного проєкту були розглянуті автоматизовані системи управління технологічним процесом, вимоги до цих систем та варіанти вирішення задач АСУ ТП. Також описані переваги та недоліки сучасних засобів збору та обробки інформації. Система DCS (розподілена система управління) досить надійна, так як якщо одна зі станцій управління перестане працювати, це не вплине на роботу всієї установки, завдяки використанню окремих контролерів для кожного процесу, але потребує підтримки та оновлення системи, а має велику економічну вартість в порівнянні з іншими засобами. SCADA виконує функції моніторингу, дозволяє контролювати процес віддалено, але впровадження системи потребує спеціальних навичок, а також слід перевірити сумісність з ПЛК. RTU підходить для передачі інформації між пристроями без обробки її.

Основна частина розділу складається з опису можливостей ПЛК та вимог до цього пристрою. Програмований логічний контролер дозволяє вирішувати як стандартні задачі, наприкладі простої передачі інформації, так і нестандартні задачі електроенергетичних об'єктів, такі як просторова орієнтація сонячних панелей, контроль роботи геотермальної електростанції та ін.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ СТЕЖЕННЯ ЗА СОНЯЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ НА ОСНОВІ ПЛК

Автоматична система стеження за сонцем на основі сонячної панелі складається з ПЛК, блоку датчиків, фотоелектричного модуля, магнітних герконів, релейних модулів, електромагнітного та механічного керування рухом та модуля живлення. Запропонована структурна схема системи показана на рис. 3.1.

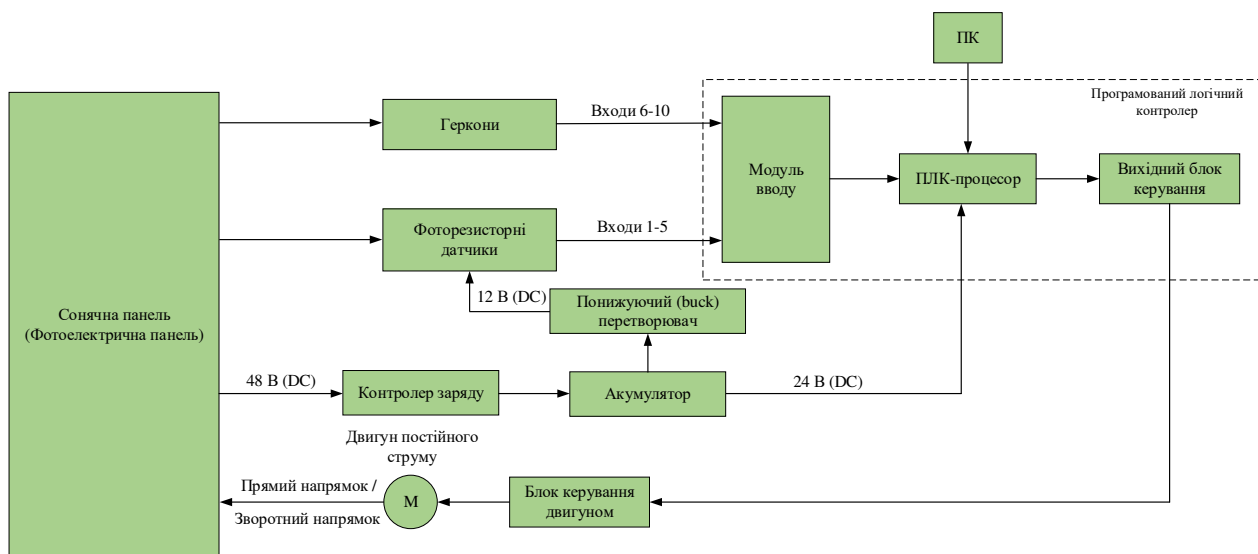


Рисунок 3.1 – Блок-схема системи стеження за сонцем

Система використовується для визначення інтенсивності сонячного випромінювання, що падає на сонячну панель, за допомогою фоторезисторів, які розміщені під різними кутами навколо панелі в напрямку зі сходу на захід. Коли світло падає на певний світлозалежний резистор, ланцюг світлозалежних резисторів посилає сигнал в блок обробки ПЛК, щоб привести в дію двигун, підключений до вихідного модуля, до тих пір, поки геркон не активується за допомогою підключеного до нього вхідного релейного модуля.

ПЛК обробляє ці дані і генерує логічний сигнал для управління двигуном, щоб перенаправити панель для отримання максимальної

					141.ЕК9116.016.ДБ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	Слюсар Є.В.				Розробка автоматичної системи стеження за сонячним випромінюванням на основі ПЛК	<i>Літера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>	Тимохін О.В.						55	9
<i>Н.контр.</i>	Настенко Д.В.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
<i>Затверд.</i>	Марченко А.А.							

інтенсивності на сонячній панелі і зупиняє обертання панелі, коли вона отримує максимальну інтенсивність. Після завершення одного оберту зі сходу на захід, панель автоматично повертається у вихідне положення, коли світло падає на перший світлозалежний резистор. Y0 і Y1 - це дві котушки реле, за допомогою яких вихід ПЛК підключається для управління фотоелектричною (ФЕ) панеллю в двох різних напрямках, вперед і назад. Для досягнення плавного керування двигун з'єднаний з фотоелектричним модулем (сонячною панеллю) за допомогою зубчастої передачі.

3.1 Характеристика компонентів, що використовуються в системі керування сонячною панеллю

А. Програмований логічний контролер ПЛК

В автоматичній системі стеження ПЛК використовується як контролер стеження, він є ядром системи стеження, на якому зосереджені дослідження системи. ПЛК серії DVP-ES DELTA є представницьким малогабаритного ПЛК MPU з максимальною кількістю точок вводу/виводу 256. DVP24ES00R2 має власну мову програмування, реалізовану в програмному забезпеченні WPL з вбудованими комунікаційними портами RS-232 і RS-485, які використовуються для центрального процесора (ЦП) в додатку. Програмне забезпечення CPU Delta WPL завантажується в ПЛК через кабель зв'язку RS-232, оскільки передача даних здійснюється на меншу відстань. Зв'язок RS-232 дозволяє здійснювати односторонню передачу даних, тобто від передавача до приймача з відносно низькою швидкістю передачі даних (до 20 тис. біт/с) і на невеликі відстані (до 50 футів = 15,24 метрів). Оскільки управління розроблено та оптимізовано за допомогою ПЛК, буде забезпечено централізоване управління від польових пристроїв до системи відстеження фотоелектричної батареї.

Контролер стеження — це горизонтальний одноосьовий спеціальний контролер, що застосовується в сонячних панелях. Контролер використовує метод астрономічного календаря, щоб обчислити алгоритм траєкторії руху

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сонця, тобто визначається в реальному часі положення руху кронштейна, а також надсилає сигнал для обертання двигуна. Коли двигун обертається це дає змогу створити регулювання кута кронштейна, загалом така система відстежує сонячні випромінювання в реальному часі і має точність керування діапазоном в 2 градуси [29].

Контролер відстеження має високу точність, оскільки відстеження автоматично досягається безпосередньо через світлозалежні резисторні датчики і герконові перемикачі під п'ятьма різними кутами зі сходу на захід. На рисунку 3.2 показана апаратна конфігурація вводу/виводу ПЛК.

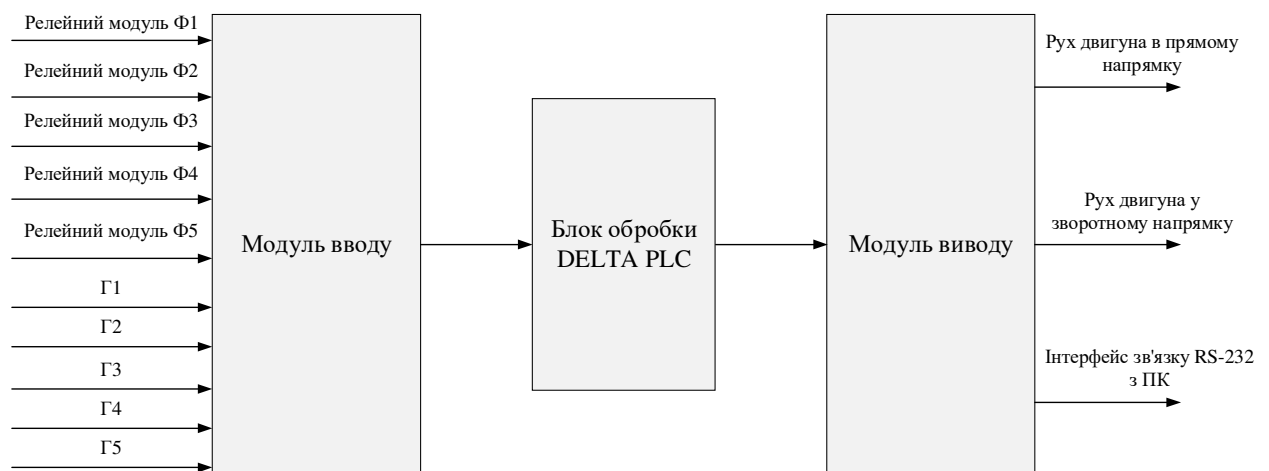


Рисунок 3.2 – Конфігурація апаратного забезпечення вводу/виводу ПЛК

Де Г – геркон; Ф – фоторезистор.

В. Виявлення датчиків при відстеженні сонячної активності

Сонячне випромінювання змінюється в залежності від місця та часу, тому необхідно визначати положення сонця, якщо потрібно відстежувати сонячне світло. Існує чотири методи, які зазвичай використовуються для підвищення ефективності сонячної системи. Це метод визначення часу, метод координат, відносне наближення сили сонячного світла до сонячних панелей і метод відносного покращення сили сонячного світла за допомогою електрооптичних датчиків. Проаналізувавши чотири методи, можна припустити, що метод синхронізації доволі простий, але менш точний в управлінні; метод координат має кращий контроль, але система управління

складна; відносний підхід до сили сонячного світла робить ефективне використання сонячної енергії не оптимальним; а відносний метод покращення сили сонячного світла за допомогою електрооптичного датчика досягнув простої апаратної схеми та максимального використання сонячної енергії.

З цих причин, запропонований проєкт реалізується з простою схемою і високою точністю системи управління, використовуючи відносний підхід до сонячної енергії з використанням фотоопору.

Світлозалежний резистор використовується в якості датчика в системі стеження для виявлення сонячних променів, що падають на сонячну панель. Світлозалежний резистор - це елемент з сульфїду кадмію, величина опору якого змінюється в залежності від інтенсивності світла.

Коли світло падає на світлозалежний резистор, значення опору зменшується зі збільшенням інтенсивності світла через збільшення кількості електронів провідності.

У даній роботі запропонованої системи відстеження було використано п'ять світлозалежних резисторів. Ці світлозалежні резистори розміщені в п'яти різних положеннях і під п'ятьма різними кутами навколо панелі зі сходу на захід. Світлозалежні резистори оточені плівкою, яка пропускає світло. Коли сонячне світло падає вертикально на сонячні панелі, двигун не обертається. Якщо з'являється кінцеве кутове розходження між орієнтацією сонячного світла і вертикальним напрямком сонячних променів на сонячну панель, значення опору світлозалежного резистора, що приймає сонячне світло, зменшується, а це приводить в дію реле, пов'язане з ланцюгом світлозалежного резистора, і приводить в дію двигун, поки не активується магнітний геркон (RS – reed switch), розташування якого показано на рисунку 3.3. Вихід схеми світлозалежного резистора підключений як вхід до ПЛК через релейний модуль для виявлення сонячного світла, і він буде керувати

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуном або за годинниковою стрілкою, або проти годинникової стрілки, залежно від положення сонця.

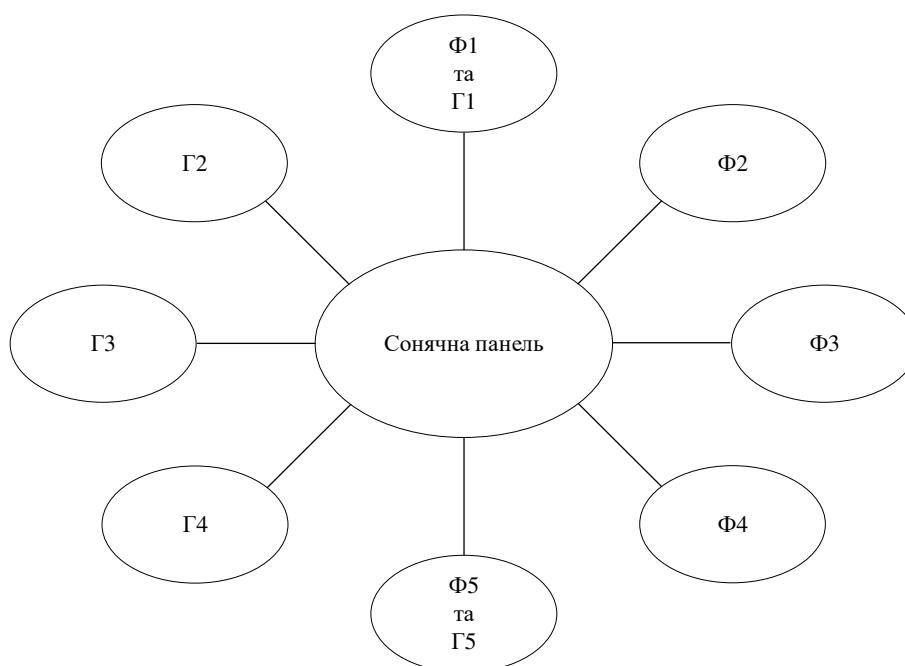


Рисунок 3.3 – Система виявлення сонячного випромінювання

Де Г – геркон; Ф – фоторезистор.

С. Фотоелектричний модуль

У запропонованій системі відстеження використовується сонячна панель 300 Вт, 24 В, що складається з 72 фотоелементів. Її основні технічні параметри мають струм при максимальній потужності 7.88 А, напруга може досягати значення 30.8 В при максимальній потужності, а також струм КЗ рівний 8,49 А, допустимим відхиленням параметрів є значення в $\pm 3\%$. Вони були протестовані за стандартних умов експериментальних випробувань: потужність 1000 Вт/м², ізоляція АМ 1.5, температура фотоелектричних комірок 25 °С.

Д. Геркони

У цій роботі для визначення положення використовуються геркони. В складі мають пару магнітних стержнів, покритих родієм або рутенієм на золоті (Au), міді (Cu) або вольфрамі (W), запаяних у скляну трубку, заповнену інертним газом. Коли магнітне поле від електромагніту або постійного магніту

										Арк.
										59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9116.016.ДБ					

розміщується поблизу магнітних стержнів, стержні намагнічуються і вступають в контакт, утворюючи замкнутий ланцюг, таким чином визначаючи положення, посилається сигнал на ПЛК, щоб зупинити обертання двигуна після отримання бажаного положення.

Е. Регулювання напруги

Для забезпечення живлення ланцюга управління в системі відстеження використовується акумулятор, що живиться через контролер заряду від сонячної панелі, напруга панелі 48 В. Напруга такого акумулятора 24 В, далі постійний струм подається на програмований логічний контролер значенням напруги в 24 В. Також струм надходить з акумулятора до фоторезисторів, так як напруга таких фоторезисторів 12 В, то використовується імпульсний понижуючий (buck) перетворювач напруги, щоб змінити значення напруги до потрібної величини.

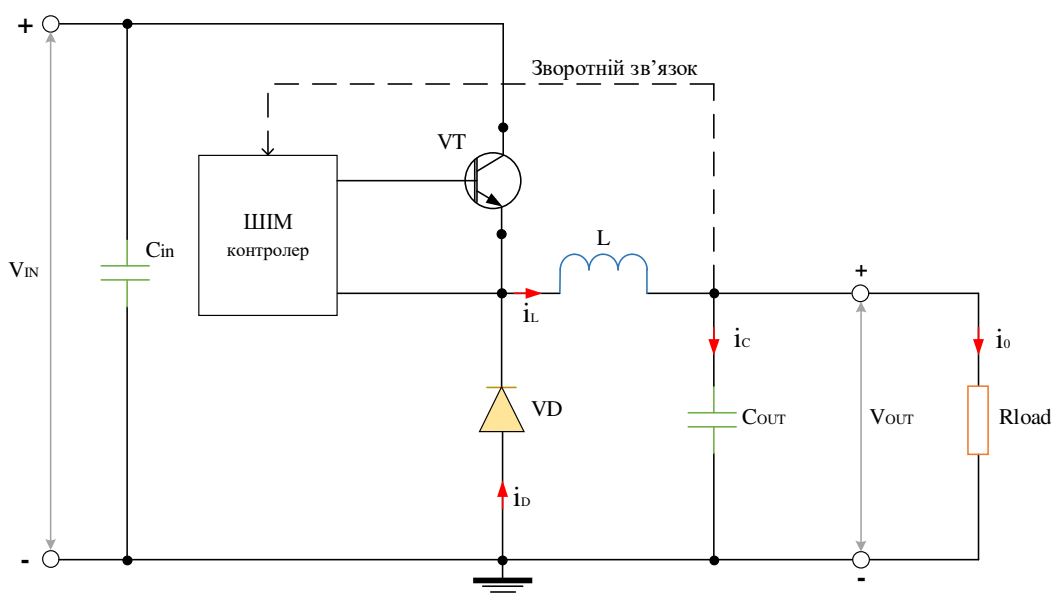


Рисунок 3.4 – Структурна схема імпульсного понижуючого (buck) перетворювача

В основі роботи імпульсного понижуючого перетворювача лежить принцип накопичення енергії в котушці індуктивності. Падіння напруги на котушці індуктивності пропорційне зміні електричного струму, що протікає через пристрій. Між входом і виходом використовується перемикаючий транзистор для безперервного вмикання і вимикання на високій частоті. Для

підтримання безперервної потужності схема використовує енергію, накопичену в котушці індуктивності.

У цій схемі вхідна напруга підключається до керованого твердотільного пристрою, який працює як перемикач. На схемі зображено цей перемикач, яким є транзистор VT. У схемі використовується ще один перемикач, який є діодом з вільним ходом (VD). Перемикач і діод VD підключені до LC-фільтра низьких частот, щоб зменшити пульсації струму і напруги, які допомагають генерувати регульований вихід постійного струму.

Керований перемикач вмикається і вимикається за допомогою ШІМ (широкоімпульсної модуляції). ШІМ може бути часовою або частотною. Модуляція на основі часу здебільшого використовується в перетворювачах, оскільки вона проста в побудові та використанні. У цьому типі ШІМ-модуляції частота залишається постійною. Тоді як частотна модуляція має широкий діапазон частот для досягнення бажаного управління перемикачем і має складну конструкцію для низькочастотного LC-фільтра.

Існує два режими роботи понижуючого (buck) перетворювача. Це:

Режим I: перемикач 1 (S1) увімкнено, а діод VD вимкнено;

Режим II: перемикач 1 (S1) вимкнений, а діод VD увімкнений [30];

3.2 Створення програмного забезпечення та опис автоматичної системи стеження за сонячним випромінюванням

Програмна розробка ПЛК спрощує реалізацію і має зрозумілу обробку даних, що дає користувачеві чітке уявлення про те, що відбувається в полі, щоб діяти моментально і контролювати процес. Вона складається з двох основних частин: програмне управління ПЛК і моніторинг перебігу процесу та моніторинг на ПК.

А. Програмне керування та моніторинг ПЛК

У запропонованій системі програмування ПЛК реалізовано у двох режимах: режим сходової діаграми та режим списку команд. Логіка сходів є широко використовуваною мовою програмування, оскільки вона проста в

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

реалізації програми для критично важливих систем управління. У режимі драбинчастої діаграми буде декілька сходинок, які представляють собою послідовність потоку керуючих операторів. Оскільки керуючі оператори представляють процес, це основна складова системи стеження за сонячною енергією, і для програмування використовувалося програмне забезпечення WPLSoft 2.20 від Delta. DELTA PLC - це один з найсучасніших контролерів, який використовується у всіх промислових додатках для досягнення високої швидкості, стабільної та надійної роботи. Для з'єднання ПК і ПЛК використовується комунікаційний кабель RS-232, який вставляється у відповідний роз'єм RS-232 для завантаження/вивантаження програми. ПЛК відстежує дані в режимі реального часу, змінює і редагує програму в автономному режимі, скидає відредаговану програму в ПЛК, завантажуючи її в ПЛК з ПК через кабель зв'язку, і зручно зчитує оброблені дані з ПЛК. ПЛК виконує наступні завдання:

- 1) ПЛК зчитує дані вхідних пристроїв, підключених до модуля вводу.
- 2) Обробляє входи відповідно до програми і активує вихідні контакти, підключені до вихідного модуля.
- 3) Він контролює та контролює відстеження сонячної енергії.
- 4) Ми можемо зберігати оброблені дані сонячної електростанції, якщо вона підключена до мережевої фотоелектричної системи, в пам'яті, щоб помітити вихід постійного струму, отриманий протягом місяця, потім він відображається на екрані ПК.

В. Моніторинг та обробка даних на ПК

Мова програмування WPL software 2.0 використовується для виконання наступних функцій:

- 1) Порт зв'язку RS-232 комп'ютера автоматично визначає стан з'єднання з ПЛК, коли він підключений до нього.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						62
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Під час обробки відстежує фактичне положення і обертання двигуна, а також стан активації світлозалежних резисторів і герконів, підключених до ПЛК.

3) RS-232 створює платформу для інтерфейсу програми між ПК та ПЛК, за допомогою якої ми можемо контролювати стан входів та виходів та обробляти інструкції для ПЛК, щоб керувати відстеженням під час відхилення від норми [31].

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

Висновки

В цьому розділі була спроектована автоматична система стеження за сонцем з використанням ПЛК, така система має змогу обирати найбільш оптимальне положення сонячної панелі, щоб підтримувати генерацію на високому рівні. Застосовується фотоелектрична панель 300 Вт, 24 В, що складається з 72 фотоелементів, а також 5 герконів та 5 фоторезисторів, що встановлені на панелі. На сонячній панелі знаходяться фоторезистори, вони виконують функцію “зчитування” сонячного випромінювання, ПЛК отримує відповідні сигнали від світлозалежних резисторів та оброблює їх, сигнал направляється до блоку керування двигуном, а від цього блоку запускається в дію двигун, що переміщає панель до того моменту поки не замкнуться контакти геркону і буде подано сигнал на ПЛК, що відповідно відключить двигун і положення сонячної панелі буде змінено. Для живлення програмованого логічного контролера використовується підсистема, принцип дії якої полягає в подачі електроенергії від сонячної панелі на контролер заряду, що зменшує напругу та подає струм на акумулятор, так як напруга акумулятора та ПЛК однакова в 24 В, то електроенергія подається напряму для його живлення. Для живлення фото резисторів використовується понижуючий (buck) перетворювач, що зменшує напругу 24 В до необхідного значення в 12 В.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті була надана інформація про структуру та характеристики електричної підстанції 110/10 кВ «Бастіонна». В першому розділі були проведені розрахунки струмів КЗ, а потім перевірка елементів підстанції, з метою досягнення стабільної та надійної роботи обладнання в нормальних та аварійних режимах.

Другий розділ бакалаврської роботи дав загальну характеристику АСУ ТП, пристроям які використовуються в таких системах, описані переваги і недоліки різних засобів АСУ ТП. Надано детальну характеристику програмованих логічних контролерів, описані технічні, функціональні вимоги та вимоги до навколишнього середовища до використання таких пристроїв. Через компактність та універсальність на рівні програмування та можливості підтримки широкого спектру протоколів для забезпечення сумісності та зв'язку з різноманітними пристроями і системами ПЛК має безліч варіантів використання, зазначено їх застосування в різних нестандартних задачах.

В третій частині роботи була продемонстрована система стеження за сонячним випромінюванням на основі програмованого логічного контролера, така система обирає позицію, в якій панель отримує максимальну кількість сонячної енергії, був наданий опис всіх елементів такої системи, а також графічне зображення зв'язку між пристроями в системі.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Яндульський О. С. Передача інформації РЕМ: конспект лекцій. Київ, 2023 – 25 с.
2. Види трансформаторних підстанцій: стаття. URL: <http://www.maksvel.com.ua/index.php/statti/72-vydy-transformatornykh-pidstantsii> (дата звернення: 11.06.2023).
3. German Portillo. Electrical substations // RenewableGreen. URL: <https://www.renovablesverdes.com/uk/subestaciones-electricas/> (дата звернення: 11.06.2023).
4. Онуфрийчук А. Цифрові підстанції майбутнього // Сіменс Україна. Київ, 2021. URL: <https://new.siemens.com/ua/uk/kompaniya/realizovani-proekty/infrastructure/tsyfrovi-pidstantsiyi-maybutnoho.html> (дата звернення: 11.06.2023).
5. Закриті розподільні пристрої, Лекція № 34, КОНСТРУКЦІЇ І КОМПОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ, Класифікація РУ. Основні вимоги. URL: http://ni.biz.ua/8/8_15/8_150809_zakritie-raspredelitelnie-ustroystva.html (дата звернення: 11.06.2023).
6. Підстанції й розподільні пункти. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=459498> (дата звернення: 11.06.2023).
7. Головні схеми електростанцій і підстанцій: стаття. URL: <https://forca.com.ua/knigi/navchannya/glavnye-shemy-elektrostantsii-i-podstantsii.html> (дата звернення: 11.06.2023).
8. Гаряжа В. М., Карюк А. О. КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з курсу «ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ», частина 1, Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018 – 149 с.
9. ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ: ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 – 70 с.

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66

10. С. Я. Свирен, Электрические станции, подстанции и сети, пособие по курсовому и дипломному проектированию, Киев, 1962 – 282 с.

11. Орлович А.Ю., Співак О.В. ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА СТАНЦІЙ ТА ПІДСТАНЦІЙ // Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Кропивницький, 2020 - 49 с.

12. Вибір і перевірка вимикачів напругою 1...220 кВ: стаття. URL: http://ni.biz.ua/13/13_13/13_130107_vibor-i-proverka-viklyuchateley-napryazheniem---kv.html (дата звернення: 11.06.2023)

13. Кігель А. Г. Шляхи підвищення ефективності автоматизованого керування об'єктами енергетичних компаній та систем. //Електротехніка і енергетика. Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, - 2011. - №11. – С.178 – 181.

14. Засоби та системи керування енергетичними об'єктами: веб-сайт. URL: https://studref.com/570284/tehnika/sredstva_sistemy_upravleniya_energeticheskimi_obektami (дата звернення: 11.06.2023)

15. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: веб-сайт. URL: <https://mdiod.com/avtomatyzovani-systemy-upravlinnya-tehnologichnymu-procesamy-asutp/> (дата звернення: 11.06.2023)

16. АБРАКИТОВ В. Е. Конспект лекцій з курсу Автоматизація технологічних процесів Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016 – 80 с.

17. Comparison between PLC, DCS, and SCADA: web-site. URL: <https://automationforum.co/comparison-between-plc-dcs-and-scada/>

18. What is DCS? (Distributed Control System): article. URL: <https://instrumentationtools.com/distributed-control-systems-dcs/>

19. Viral Nagda. Difference Between PLC and RTU? : Technical article URL: <https://instrumentationtools.com/difference-between-plc-and-rtu/>

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
						67
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Tom Wilson, PLC BASED SUBSTATION AUTOMATION AND SCADA SYSTEMS And Selecting a Control System Integrator, Presented at the Western Electric Power Institute Distribution/Substation Automation Workshop March 17-19, 1999 – 14 c.

21. Kishan Marathe, Vandit Patel, Arjun Shah, Dharendra Rana. PLC BASED INTELLIGENT CONTROL OF SUBSTATION: article. // Vadodara institute of engineering, Kotambi, Vadodara-390018, Gujarat, India. April-2018 – 4 p. URL: <https://www.irjet.net/archives/V5/i4/IRJET-V5I4315.pdf>

22. FRANK LAMB. Six key differences between PLCs and computers: web-site. URL: <https://www.controleng.com/articles/six-key-differences-between-plcs-and-computers/>

23. K. Mizuno, M. Tsutsumi, M. Matsumura, Y. Yagi. Development of Highly Reliable Control Systems for the Gas-Insulated Switchgear: article. January 1996, Tokyo, Japan. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/484019>

24. Bruno Georges, Jacques Aubin. Application of PLC for on-line monitoring of power transformers: article. Pointe-Claire, (Qukbec), 2001, Canada. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/916893>

25. Solar Panel System Maker Uses Micro PLCs: case study – October 1, 2013. URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/company/news/case-studies/solar-panel-system-maker-uses-micro-plcs.html>

26. Aman Soni, Debashis Singh Deo. Geothermal Power Plant Design using PLC and SCADA: research paper // Department of Electronics and Instrumentation, Bharath University, Chennai-76 – May-2013. URL: <https://www.ijser.org/researchpaper/geothermal-power-plant-design-using-plc-and-scada.pdf>

27. Mike Jeffries. Choosing the Right PLC: 6 Things to Consider: web-site. February 15, 2021. URL: <https://www.maderelectricinc.com/blog/choosing-the-right-plc-6-things-to-consider>

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

28. John McDonald, P.E. Substation Automation Basics - The Next Generation: Technical article. URL: <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/321/article/Substation-Automation-Basics-The-Next-Generation.htm>

29. Контролер стеження: веб-сайт URL: <https://uk.chnpowernice.com/tracking-controller.html>

30. Basanta Subedi. Buck Converter: Basics, Working, Design & Application. URL: <https://how2electronics.com/buck-converter-basics-working-design-application/>

31. Betha Karthik Sri Vastav, Dr.Savita Nema, Dr. Pankaj Swarnkar, Doppllapudi Rajesh. Automatic Solar Tracking System using DELTA PLC // Department of Electrical Engineering, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal (M.P.), India. December 14-16, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/316906193_Automatic_solar_tracking_system_using_DELTA_PLC

					141.ЕК9116.016.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69