

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

МІЛЯН Ростислав Сергійович

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ СИЛОВОГО
ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ. /
AUTOMATED SYSTEM OF MONITORING THE CONDITION OF POWER
ELECTRICAL EQUIPMENT OF A TRANSFORMER SUBSTATION.

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконав: студент групи АКІТ–41
Р. С. Мілян

Науковий керівник:
А. М. Шевчук

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2025 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

_____ А. І. Сегін
" ____ ". _____ 2024р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мілян Ростиславу Сергійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Автоматизована система контролю стану силового електроустаткування трансформаторної підстанції. / Automated system for monitoring the condition of power electrical equipment of a transformer substation

керівник роботи к.е.н. доцент Шевчук А. М.

затверджено наказом по університету від « 28 » листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

30 травня 2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Структура та принцип дії трансформаторних підстанцій, типові елементи електроустаткування.

2. Нормативні вимоги та технічна документація щодо моніторингу і діагностики ТП.

3. Інформація про сенсорні пристрої (температури, тиску, струму, положення, газу) та їх застосування у моніторингових системах.

4. Відомості про сучасні засоби автоматизації: програмовані логічні контролери (ПЛК), SCADA-системи, візуальні інтерфейси.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Проаналізувати функціонування трансформаторних підстанцій та визначити критичні параметри для моніторингу.

2. Дослідити принципи роботи та призначення сенсорів для контролю стану силового електроустаткування.

3. Розробити загальну концепцію автоматизованої системи моніторингу з використанням ПЛК і SCADA

4. Простий інтерфейс для моніторингу показників і подій у реальному часі.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

- 1. Структурна схема трансформаторної підстанції.
- 2. Таблиця порівняння характеристик датчиків.
- 3. Блок-схема роботи автоматизованої системи.
- 4. Візуалізація інтерфейсу розробленої системи моніторингу.
- 5. Приклад інтерфейсу SCADA-системи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А.І.		
2	Шевчук А. М.		
3	Сегін А.І.		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичне дослідження, підбір джерел	грудень 2024 – лютий 2025	
2	Розробка структури роботи, створення схем і прикладів	лютий – квітень 2025	
3	Завершення оформлення, редагування, підготовка до захисту	травень 2025	

Студент

(підпис)

Мілян Р. С.

Керівник роботи

(підпис)

Шевчук А.М

АНОТАЦІЯ

Мілян Р. С. Автоматизована система контролю стану силового електроустаткування трансформаторної підстанції. – Рукопис.

Дослідження на здобування освітнього ступеня “бакалавр” за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійною програмою – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено підходи до побудови автоматизованої системи контролю стану силового електроустаткування трансформаторної підстанції. Проаналізовано принципи роботи ключових типів сенсорів (температури, тиску, струму, положення, газів), що забезпечують первинний збір даних. Особливу увагу приділено інтеграції програмованих логічних контролерів (ПЛК) та SCADA-систем, що є основними компонентами сучасних комп’ютерно-інтегрованих технологій керування. Розроблено власну концепцію інтерфейсу моніторингу, орієнтованого на зручність оператора, наочне відображення стану обладнання та фіксацію подій. Отримані результати демонструють можливість ефективної автоматизації процесу спостереження та аналізу технічного стану ТП, що сприяє підвищенню надійності та безпеки енергетичних систем.

ANNOTATION

Milyan R. S. Automated system for monitoring the condition of power electrical equipment of a transformer substation. – Manuscript.

Research for obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program - Automation and computer-integrated technologies. – Western Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

This qualification work explores the development of an automated system for monitoring the condition of power equipment at a transformer substation. It analyzes the operation principles of key sensors (temperature, pressure, current, position, and gas) responsible for initial data collection. Special emphasis is placed on the integration of Programmable Logic Controllers (PLC) and SCADA systems, which represent core components of modern computer-integrated control technologies. A custom monitoring interface was designed to enhance operator convenience, provide clear visualization of equipment status, and log critical events. The results confirm the feasibility of efficient automation in condition monitoring, contributing to improved reliability and safety of power infrastructure.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТП — Трансформаторна підстанція

КТП — Комплектні трансформаторні підстанції

ПЛК — програмованих логічних контролерів

RTD — резистивний температурний датчик (Resistance Temperature Detector)

SCADA — Supervisory Control and Data Acquisition

СТ — трансформатори струму

IIoT — Industrial Internet of Things

LL — Ladder Logic

HMI — людино-машинний інтерфейс

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	12
1.1 Призначення, класифікація та основні характеристики трансформаторних підстанцій.....	12
1.2 Шлях електроенергії від її генерації до споживача.....	14
2. ДАТЧИКИ ВИЯВЛЕННЯ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ І ЗАПОБІГАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ.....	16
2.1 Датчики та моніторинг температурних параметрів у трансформаторних підстанціях.....	16
2.2 Принципи дії датчиків тиску: Дистанційний та безпосередній моніторинг.....	19
2.3 Пристрої вимірювання струму: трансформатори струму (Current Transformers).....	22
2.4 Принципи роботи датчиків положення: індуктивний та електромеханічний методи вимірювання.....	26
2.5 Датчики газу та аналіз розчинених газів (DGA) для моніторингу трансформаторного обладнання.....	28

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат	Автоматизована система контролю стану електроустаткування трансформаторної			Літ.		Арк.	Акрушів	
Розроб.		Мілян Р.С								7	50	
Перевір.		Шевчук А. М.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41				
Консульт.		Сегін А.І.										
Н. Контр.		Заставний										
Затверд.		Сегін А. І.										

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ.....	31
3.1 Програмовані логічні контролери (ПЛК) та їх роль у автоматизації.....	31
3.2 SCADA-системи: Принцип дії, структура та сучасна роль у моніторингу електрообладнання.....	34
3.3 Власна концепція автоматизованої системи моніторингу ТП.....	38
ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТОК А.....	50

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Електроенергетика є однією з ключових галузей сучасної економіки. Вона забезпечує функціонування промисловості, транспорту, комунікаційної інфраструктури та життєдіяльність населення. Надійність та безперебійність електропостачання є критично важливою для сталого розвитку суспільства. Однією з найважливіших ланок у системі передачі та розподілу електричної енергії є трансформаторні підстанції, які здійснюють перетворення рівня напруги та безпечний розподіл електроенергії між споживачами.

Силове електроустаткування трансформаторних підстанцій, таке як трансформатори, роз'єднувачі, вимикачі, струмопроводи та інше, працює в складних умовах під впливом значних електричних, теплових та механічних навантажень. З часом ці фактори призводять до зносу обладнання, погіршуються його ізоляційні характеристики та зростає ризик виникнення аварійних ситуацій. А в свою чергу несвоєчасне виявлення та усунення дефектів може призвести до значних економічних втрат, порушення електропостачання та навіть загрози безпеці.

Традиційні методи контролю стану силового електроустаткування, що базуються на періодичних ручних оглядах та вимірюваннях, є трудомісткими, можуть бути суб'єктивними та не завжди дозволяють оперативно виявляти розвиток дефектів на ранніх стадіях. Людський фактор також може відігравати негативну роль, що може призводити до пропуску важливих ознак несправності, що знову ж таки є небезпечним.

У зв'язку з цим, розробка та впровадження автоматизованих систем контролю стану силового електроустаткування трансформаторних підстанцій є актуальним та своєчасним завданням. Автоматизація процесів моніторингу

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

дозволяє здійснювати безперервний контроль ключових параметрів обладнання в режимі реального часу, оперативно виявляти відхилення від норми, прогнозувати можливі несправності та приймати обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування та ремонту.

Мета кваліфікаційної роботи. Аналізувати можливості автоматизації контролю стану електроустаткування трансформаторної підстанції та формування теоретичної моделі такої системи на основі сучасних підходів.

У процесі виконання роботи були вирішені такі завдання:

1. Проаналізовано конструкцію та принципи роботи основного силового обладнання трансформаторної підстанції.
2. Досліджено сучасні методи і засоби моніторингу технічного стану електроустаткування.
3. Розроблено структурну модель автоматизованої системи контролю стану обладнання.
4. Реалізовано базову логіку взаємодії між ПЛК та SCADA-системою для збору, обробки та візуалізації даних.

Предмет дослідження. Автоматизована система, яка здійснює моніторинг та діагностику технічного стану обладнання.

Об'єкт дослідження. Процес контролю стану електроустаткування на трансформаторній підстанції.

Методи дослідження. Аналіз технічної літератури щодо трансформаторних підстанцій та їх елементів. Вивчення типів датчиків для моніторингу стану обладнання (температури, рівня масла, струму, газу). Огляд та аналіз структури і принципів роботи SCADA-систем, зокрема програмного забезпечення Ignition. Розробка логіки обробки даних та взаємодії між ПЛК і SCADA.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

Практичне значення одержаних результатів:

Система автоматичного контролю підвищує надійність і безпеку роботи трансформаторної підстанції, запобігаючи аваріям.

Напрямки подальшого розвитку: Розвиток системи через впровадження штучного інтелекту і розширення моніторингу з використанням хмарних технологій.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

1.1 Призначення, класифікація та основні характеристики трансформаторних підстанцій

Трансформаторна підстанція (ТП) — це елемент електроенергетичної системи, який виконує приймання, перетворення та розподіл електроенергії. Основне завдання ТП — зниження або підвищення напруги до рівня, необхідного для передачі та/або безпечного споживання.

ТП є невід’ємною частиною електропостачання в промисловості, житлово-комунальному господарстві, транспорті та сільському господарстві. Вони забезпечують безперервність, надійність та безпеку енергопостачання [1].



Рисунок 1.1– Приклад вигляду трансформаторної підстанції [2]

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

Залежно від розташування та функціонального призначення, ТП поділяються на [3] :

За розміщенням:

- Зовнішні (відкриті) — розміщуються на відкритому повітрі.
- Внутрішні (закриті) — встановлюються всередині будівель.

За конструкцією:

- Комплектні трансформаторні підстанції (КТП) — постачаються як повністю змонтовані блоки.
- Стаціонарні — зібрані на місці, часто в спеціальних будівлях.

За функціональністю:

- Понижувальні — знижують високовольтну напругу до нижчого рівня, безпечного для використання споживачами.
- Підвищувальні — використовуються перед лініями електропередач для зменшення втрат при транспортуванні електроенергії.

За типом[4]:

- Масляні трансформатори
- Сухі трансформатори
- З водяним охолодженням

Тип трансформатора обирається з урахуванням умов експлуатації: у приміщеннях — сухі, на відкритому повітрі — масляні. Від типу охолодження залежить спосіб виявлення перегріву та автоматизація захисту трансформатора.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2 Шлях електроенергії від її генерації до споживача

Щоб зробити електроенергію можливою для використання споживачами, її необхідно знизити, таким чином, електроенергія проходить довгий шлях (див. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Загальна схема шляху електроенергії [5]

Також ми можемо спостерігати етапи трансформації напруги в електроенергетичній системі [5]:

1. АЕС – електроенергія генерується на рівні 750-1000 кВ
2. Перша підстанція – знижує напругу до 400 кВ
3. Трансформаторна підстанція – знижує напругу до 110-220 кВ
4. Лінії низької напруги – напруга 10-35 кВ
5. Розподільча підстанція – знижується до 220 В
6. Споживач – отримує електрику на безпечному рівні в 220 В

На рисунку подано загальну спрощену схему процесу передачі електроенергії від джерела до споживача. Умовні позначення вибрано довільно з метою наочності.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

2. ДАТЧИКИ ВИЯВЛЕННЯ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ І ЗАПОБІГАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ

2.1 Датчики та моніторинг температурних параметрів у трансформаторних підстанціях

Моніторинг стану силового електроустаткування трансформаторних підстанцій є критично важливим аспектом, що допомагає забезпечити їх безперебійність та безпечну роботу. Сучасні системи контролю базуються на використанні різноманітних датчиків, які збирають інформацію про температуру, тиск, газ та інші параметри обладнання. Отримані дані обробляються за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), що забезпечують оперативне реагування на можливі відхилення та аварійні ситуації.

Одним із найважливіших параметрів, які визначають стан силового трансформатора, є температура його обмоток і трансформаторного масла. Перегрів є критичним фактором, що може призвести до деградації ізоляції, прискореного старіння елементів, а у гіршому випадку — до повної відмови обладнання чи пожежі. Тому контроль температури є обов'язковим елементом системи автоматизованого моніторингу.

Для цього в трансформаторних підстанціях використовуються контактні температурні датчики — здебільшого терморезистивного типу Pt100. Ці датчики мають бути встановлені в точках з найбільшим тепловиділенням: у масляних ваннах трансформатора або безпосередньо в обмотках.

Основним завданням таких датчиків є безперервне вимірювання температури та передача даних до ПЛК. Він обробляє ці дані та, у разі перевищення гранично допустимих значень температури, подає сигнал на аварійне вимкнення, запуск охолоджуючих систем або відображення тривоги оператору.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Кількість тепла, яка виділяється в обмотці трансформатора через протікання струму, можна описати законом Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

де:

- Q — кількість теплоти, Дж;
- I — струм у обмотці, А;
- R — опір обмотки, Ом;
- t — час роботи, с.

Припустимо, що вторинна обмотка трансформатора має опір $R = 0.25 \Omega$ через неї протікає струм $I = 25 \text{ A}$, а час роботи становить $t = 3600 \text{ s}$ (1 година).

Тоді отримаємо:

$$Q = 25^2 \cdot 0.25 \cdot 3600 = 156250 \text{ Дж}$$

Для оцінки того, наскільки нагріється мідна обмотка під дією цієї енергії, застосуємо формулу:

$$\Delta \theta = \frac{Q}{m \cdot c}$$

де:

- $\Delta \theta$ — приріст температури, °C;
- m — маса обмотки, кг (приймемо $m = 12 \text{ кг}$);
- c — питома теплоємність міді ($385 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$).

Рахуємо:

$$\Delta \theta = \frac{156250}{12 \cdot 385} \approx 33.85^\circ\text{C}$$

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

З розрахунків виходить, що за годину роботи трансформатора при струмі 25А температура обмотки може зрости на 33,85°C, тому встановлення датчика температури є вкрай важливим для своєчасного виявлення перегріву техніки, та запобіганню її пошкодження. Автоматизована система контролю, яка збирає такі дані за допомогою ПЛК, дозволяє оперативно реагувати на аварійні стани.

Для ефективного контролю температури трансформаторів застосовуються різні типи датчиків залежно від конструкції та типу трансформатора — сухий чи масляний. Датчик температури PT100 (Orion Italia) — це резистивний температурний датчик (Resistance Temperature Detector - RTD), який широко використовується для сухих трансформаторів. Він працює на принципі зміни електричного опору платинової нитки при зміні температури (див. рис. 2.1). PT100 характеризується високою точністю та стабільністю показників у діапазоні температур, типово від -50°C до +150°C, що дозволяє надійно контролювати нагрівання сухого трансформатора[6].



Рисунок 2.1 – Датчик температури PT100 (PT100 Sensor Orion Italia [7])

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

Для трансформаторів із масляним охолодженням взятий до прикладу імерсійний датчик температури WIKA TSD-30, його зображено на рисунку 2.2, він занурюється безпосередньо в трансформаторне масло. Цей датчик вимірює температуру масла, що є критично важливим показником для безпечної експлуатації трансформатора, тому що масло виконує роль охолоджуючого середовища і ізолюючого матеріалу. WIKA TSD-30 забезпечує високу точність і надійність вимірювань у широкому температурному діапазоні.



Рисунок 2.2 – Масляний датчик температури WIKA TSD-30 [8]

2.2 Принципи дії датчиків тиску: Дистанційний та безпосередній моніторинг

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

Для контролю рівня масла у трансформаторах використовуються різні типи датчиків. Серед них — занурювальні датчики тиску (як WIKA Model LF-1) та механічні або електронні індикатори рівня (як Qualitrol 035). Приклади цих датчиків зображені на рисунках 2.3 та 2.4.

Можна використати формулу гідростатичного тиску[9] для занурювального датчика тиску (WIKA LF-1):



Рисунок 2.3 – Занурювальний датчик тиску WIKA Model LF-1[10]

Гідростатичний тиск на датчику пропорційний висоті стовпа масла:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

де:

p — тиск, що вимірює датчик, Па (паскалі),

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

ρ — густина масла, кг/м³ (приблизно 880 кг/м³),

g — прискорення вільного падіння, 9.81 м/с²,

h — висота стовпа масла над датчиком, м.

Відповідно, рівень масла h можна обчислити як:

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

Припустимо, датчик показує тиск $p = 4418$ Па.

Тоді рівень масла:

$$h = \frac{4418}{880 \cdot 9.81} = \frac{4418}{8628.8} \approx 0.512 \text{ м}$$

Отже, висота рівня масла — приблизно 51 см.

Датчик WIKA LF-1 дає точні цифрові значення, що є дуже зручним значенням для передачі на ПЛК. Через те що можна задати граничні значення, в свою чергу це може застосовуватися для наприклад для аварійних сигналів. Це означає, що він може підійти для використання в моніторингу, включаючи SCADA.

В свою чергу індикатор типу Qualitrol 035 має свої особливості, в першу чергу це більш простий пристрій, він дає змогу оператору перевіряти рівень олії на місці, локально, також може сигналізувати про низький або високий рівень олії в баку. Це означає що цей варіант не підходить для дистанційного моніторингу, або для передачі інформації з нього, тільки візуальний перегляд значень під час перевірки.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20



Рисунок 2.4 – Малий індикатор рівня олії – Qualitrol 035 [11]

Таблиця 2.1 – Порівняння датчиків WIKA LF-1 та Qualitrol 035

Параметр	WIKA LF-1	Qualitrol 035
Тип вимірювання	Гідростатичний тиск	Механічний рівень
Точність	Висока (цифровий вихід)	Середня
Підключення до ПЛК	Так (аналоговий/цифровий вихід)	Часто ні
Застосування	Автоматизовані системи контролю	Візуальний контроль, аварійні сигнали

Хоча в технічній документації виробника приклади застосування датчика WIKA LF-1 здебільшого подаються на основі води, там також зазначено що він стійкий в жорсткому середовищі. У випадку з трансформаторною оливою достатньо врахувати її густину при розрахунках. Датчик сумісний з нафтовими рідинами, а отже, підходить для використання в системах

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

контролю рівня масла трансформаторів [12]. В свою чергу виробник на сайті датчика Qualitrol 035 зазначив, що він сумісний з трансформаторами[11].

2.3 Пристрої вимірювання струму: трансформатори струму (Current Transformers)

У складі трансформаторної підстанції важливою частиною системи моніторингу є трансформатори струму (СТ), які дозволяють безпечно та точно вимірювати величини високих струмів, зводячи їх до стандартного рівня для подальшої обробки мікропроцесорними пристроями, зокрема ПЛК.

Шиновий трансформатор струму ТР-420-58-500А є прикладом компактного, надійного пристрою, призначеного для встановлення на шину (busbar). Він забезпечує високоточне перетворення струму до стандартного значення (наприклад, 5 А), і має чітко визначені параметри: номінальний первинний струм 500 А, вторинний — 5 А. Його конструкція адаптована для швидкого монтажу та інтеграції в автоматизовані системи керування. На рисунку 2.5 знаходиться його зображення.

Трансформатор струму знижує величину великого первинного струму до безпечного вторинного струму для вимірювальних приладів.

Формула струмового перетворення трансформатора[13]:

$$I_s = \frac{I_p}{N}$$

де:

I_s — вторинний струм (А),

I_p — первинний струм (А),

N — коефіцієнт трансформації (відношення первинного струму до вторинного).

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Приклад (для ТР-420-58-500А):

- Номінальний первинний струм: $I_p = 500 \text{ А}$
- Номінальний вторинний струм: $I_s = 5 \text{ А}$

Коефіцієнт трансформації:

$$N = \frac{500}{5} = 100$$

Отже отримуємо:

$$I_s = \frac{I_p}{100}$$

Застосування цього на практиці — припустимо що через первинний контур проходить 300А, то вторинний струм буде:

$$I_s = \frac{300}{100} = 3 \text{ А}$$



Рисунок 2.5 – Шиновий трансформатор струму Circutor ТР-420-58-500А [14]

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Також, кільцевий трансформатор струму (наприклад, Taped Type CT) — це ще один поширений тип, який зазвичай використовується тоді, коли кабелі або провідники проходять крізь отвір (серцевину) трансформатора. Такі трансформатори часто можуть виготовляються під індивідуальні технічні вимоги, з варіативними характеристиками та діаметрами, що забезпечує більшу гнучкість. Вони також відповідають міжнародним стандартам, зокрема ІЕС 61869-2, і призначені для роботи в широкому діапазоні струмів — від 1 А до 5000 А, що зазначено на сайті виробника Nobut [15].



Рисунок 2.6 – Кільцевий трансформатор струму Nobut Taped Type CT[15]

Це співвідношення [13], дозволяє здійснювати непряме, безпечне та електрично ізольоване вимірювання струму, що проходить через високовольні частини трансформаторної підстанції.

Завдяки поєднанню стандартизованого рішення TP-420-58-500A та гнучкого підходу у вигляді як Taped Type CT, можливо охопити широкий спектр задач: від точного вимірювання потужності до реалізації систем захисту та автоматики. Саме така комбінація відповідає сучасним вимогам енергоефективності та надійності в інфраструктурі електропостачання.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

З технічної точки зору, трансформатори струму є аналоговими вимірювальними пристроями, що перетворюють великі значення струму у значно менші, пропорційні вихідні сигнали. Наприклад, Taped Type СТ зазвичай мають вихід 1 А або 5 А [16], тоді як шинові трансформатори на кшталт TP-420-58-500А можуть мати вихід у вигляді аналогового сигналу 4–20 mA, що є стандартом для промислових систем автоматизації.

Тож такі сигнали легко інтегруються в аналогові входи ПЛК, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг стану силового електроустаткування та формувати сигнали тривоги у випадку відхилень від норми.

2.4 Принципи роботи датчиків положення: індуктивний та електромеханічний методи вимірювання

Датчики положення відіграють важливу роль у системах контролю та автоматизації трансформаторних підстанцій. Вони дозволяють визначати точне положення рухомих елементів [17] обладнання, таких як рубильники, перемикачі чи важелі, що забезпечує безпечну і надійну роботу системи. Серед найбільш поширених датчиків положення варто виділити механічні мікроперемикачі та індуктивні датчики.

Індуктивний датчик Balluff BES00ZA [18] призначений для виявлення металевих об'єктів у межах зони чутливості (див. рис. 27). Завдяки безконтактному принципу дії, відсутнє механічне зношування, що забезпечує високу довговічність у промислових умовах. Датчик має циліндричний корпус із нержавіючої сталі [19], стійкий до впливу вологи, пилу та вібрацій, що дозволяє застосовувати його у складних середовищах, характерних для трансформаторних підстанцій.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.7 – Індуктивний датчик Balluff BES00ZA

Кінцевий вимикач Omron D4N-912G [20] є контактним електромеханічним пристроєм, який спрацьовує при фізичному зусиллі на приводний елемент — у цьому випадку пружинний штовхач з роликом, зображення датчика знаходиться на рисунку 2.8. Такий тип датчиків доцільний у системах, де потрібна фіксація точного моменту досягнення кінцевого положення, наприклад, у приводах або запобіжних механізмах.



Рисунок 2.8 – Кінцевий вимикач Omron D4N-912G

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

Balluff BES00ZA, передає аналоговий сигнал (наприклад, змінну напругу або струм), який ПЛК може читати через аналоговий вхід для визначення точного положення об'єкта. Тобто цей датчик може передавати сигнал на ПЛК і дає безперервну інформацію. В свою чергу Omron D4N-912G передає сигнал 1 або 0, тобто чи контакт замкнуто чи розімкнуто.

2.5 Датчики газу та аналіз розчинених газів (DGA) для моніторингу трансформаторного обладнання

Розчинені гази в трансформаторному маслі є ключовими індикаторами стану електроустаткування та ознаками різних видів внутрішніх дефектів. Як зазначено в статті [21], аналіз газів дозволяє своєчасно виявити такі проблеми, як часткові розряди, термічні пошкодження або електричні дуги, що істотно підвищує надійність експлуатації трансформаторів.

Для ефективного моніторингу використовуються спеціалізовані онлайн DGA-аналізатори, які вимірюють концентрації кількох ключових газів одночасно, що дає змогу комплексно оцінити стан трансформатора. Одним із провідних прикладів сучасних рішень є прилад Qualitrol DGA-LT1 [22], який відзначається високою точністю і стабільністю вимірювань у реальному часі.



Рисунок 2.9 – Датчики газу Qualitrol DGA-LT1

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

Проте, незважаючи на його безперечні переваги, інтеграція таких датчиків до систем автоматизації, зокрема ПЛК, може викликати складнощі. Qualitrol DGA-LT1 переважно функціонує в рамках власної екосистеми виробника і не має прямого інтерфейсу для підключення до ПЛК без використання додаткових конверторів або шлюзів. Це обмеження слід враховувати при проектуванні систем контролю та діагностики, адже ефективність збору та обробки даних багато в чому залежить від простоти та надійності комунікації між датчиками і контролерами.

Отже, вибір DGA-датчиків для трансформаторних підстанцій має враховувати не лише їх технічні характеристики, але й можливості інтеграції у загальну систему управління, що забезпечує оперативне реагування на зміни стану обладнання.

Крім того, важливо враховувати, наскільки просто інтегрувати такі пристрої в існуючу інфраструктуру. Відсутність уніфікованих протоколів або складність підключення може ускладнити реалізацію проекту, особливо в системах, де використовується обладнання різних виробників. У таких випадках ключову роль відіграє надійність комунікації між компонентами системи, що безпосередньо впливає на ефективність контролю та своєчасність реагування на зміну стану електроустаткування.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

3.1 Програмовані логічні контролери (ПЛК) та їх роль у автоматизації

Всі вищенаведені приклади приладів та сенсорів забезпечують постійний контроль за критично важливими параметрами силового електроустаткування. Проте для ефективної обробки, аналізу та реагування на ці дані необхідна автоматизована система керування, здатна не лише зчитувати показники, а й виконувати логіку управління, сигналізації та взаємодії з іншими системами.

Саме тому ключову роль у побудові таких систем відіграють ПЛК, які стають центральною ланкою між польовими пристроями та вищими рівнями управління, такими як SCADA-системи.

Програмований логічний контролер (ПЛК, англ. Programmable Logic Controller) — це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, який широко використовується для автоматизованого управління промисловими процесами [23]. ПЛК спроектований таким чином, щоб забезпечити надійну роботу в умовах впливу пилу, вологи, вібрацій та електромагнітних завад, що робить його незамінним у виробництві, енергетиці та системах керування обладнанням.

Один із яскравих прикладів — MicroLogix 1400 [24] від компанії Rockwell Automation. Цей контролер підтримує Ethernet/IP, має вбудований дисплей і досить легко конфігурується через середовище RSLogix 500. Завдяки своїй надійності він часто використовується саме в енергетичній галузі.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 3.1 – ПЛК Rockwell Automation MicroLogix 1400

Основна функція ПЛК полягає у зчитуванні даних з різноманітних вхідних пристроїв (датчиків, перемикачів, аналогових сигналів тощо), їхній обробці згідно з закладеною логікою, а також формуванні відповідних керуючих дій через вихідні модулі. Вся логіка роботи ПЛК задається за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке дозволяє створювати програми у вигляді логічних схем або мовою релейної логіки (Ladder Diagram) [25], але також іншими мовами, передбаченими стандартом ІЕС 61131-3.

Ladder Logic (LL) — графічна мова програмування ПЛК, яка імітує електричну схему. Кожен "рядок" (rung) виконує певну логічну операцію[25]. Найчастіше використовується в системах автоматичного керування завдяки простоті та зручності читання.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

До прикладу візьмемо, коли натискається кнопка, то включається лампа [26]:

|—[Button]—(Lamp)—|

IF Button = TRUE THEN

Lamp := TRUE;

ELSE

Lamp := FALSE;

END_IF;

Пояснення:

- Button — це кнопка, тобто вхід
- Lamp — це лампа, тобто вихід
- Якщо кнопка натиснута, лампа включається



Рисунок 3.2 – Загальна схема логіки виконання операції ПЛК

Завдяки модульній будові, ПЛК можна адаптувати до конкретних потреб об'єкта, підключаючи до нього необхідну кількість вхідних/вихідних модулів, комунікаційних інтерфейсів або спеціалізованих плат. У сучасних системах автоматизації ПЛК також активно взаємодіє з вищими рівнями керування, наприклад, з SCADA-системами або хмарними платформами,

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

забезпечуючи не лише локальне управління, а й централізований моніторинг та аналітику.

Сьогодні розвиток ПЛК спрямований на підвищення продуктивності, гнучкості та інтеграції з іншими цифровими технологіями, зокрема у напрямі IIoT (Industrial Internet of Things). Це відкриває нові можливості для прогнозного обслуговування, віддаленого доступу та глибокої оптимізації промислових процесів.

3.2 SCADA-системи: Принцип дії, структура та сучасна роль у моніторингу електрообладнання

У той час як ПЛК відповідає за обробку сигналів та виконання логіки керування в реальному часі, SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) беруть на себе роль центральної нервової системи всієї автоматизації. Вони збирають, зберігають, аналізують і візуалізують дані, надаючи оператору повну картину стану об'єкта — трансформаторної підстанції, зокрема.

SCADA — це комплекс апаратних та програмних засобів, які дозволяють дистанційно контролювати та управляти технологічними процесами. Їхня головна мета — надання оператору в реальному часі даних про роботу обладнання, з можливістю оперативного втручання у випадку аварій, зміни параметрів або профілактичного обслуговування [27].

Основними компонентами SCADA-системи:

1. HMI (людино-машинний інтерфейс)
Графічне середовище, через яке оператори взаємодіють із системою. Воно дозволяє бачити схеми підстанції, сигнали з датчиків і перемикачі.
2. PLC/RTU (програмовані логічні контролери / віддалені термінали)
Вони безпосередньо зчитують показники з обладнання та передають ці дані до SCADA.
3. Комунікаційна інфраструктура

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

4. Використовує стандартні протоколи (наприклад, Modbus, DNP3, OPC UA), щоб дані з пристроїв потрапляли на сервер або хмару SCADA-системи.
5. Сервери даних (Data Historian)
6. Відповідають за зберігання історії подій, журналів помилок, змін параметрів — це дозволяє проводити аналіз заднім числом.

Ідея SCADA — не просто бачити, а розуміти, що відбувається на об'єкті. Наприклад, раптове зростання температури трансформатора може бути виявлено завдяки швидкому оновленню графіків у HMI, що дозволяє миттєво реагувати [28].

SCADA та ПЛК працюють в парі: ПЛК збирає інформацію на місці (від температурних, газових, струмових датчиків), а SCADA — «перекладає» ці сигнали у зручні для людини графіки, таблиці та сигнали тривоги. Це — як кермо і приладова панель авто: перше керує, друге показує все, що відбувається. Їх командну роботу зображено на рисунку 3.3.

Один із найпопулярніших SCADA-продуктів на ринку — Ignition від Inductive Automation. Він підтримує web-доступ, OPC-сервер, модульну структуру та гнучке розгортання як у локальній мережі, так і в хмарі [30].

Сучасні SCADA вже не обмежуються диспетчерською кімнатою:

- Хмарні SCADA дозволяють інженерам контролювати об'єкти з будь-якої точки світу.
- Мобільні HMI доступні через браузер або смартфон.
- Безпека — окрема тема. У сучасних системах реалізується шифрування, авторизація, логування дій оператора.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33



Рисунок 3.3 – Загальна схема моніторингу температури ТП [29]

У сучасних автоматизованих системах, зокрема при моніторингу стану електроустаткування трансформаторних підстанцій, важливо не лише зчитувати дані з ПЛК, але й мати гнучке, масштабоване і зручне у використанні програмне забезпечення SCADA-класу. Одним з найбільш перспективних рішень у цій сфері є Ignition від американської компанії Inductive Automation [30].

Ignition — це сучасна платформа SCADA/HMI/MES, яка працює на базі Java та має веб орієнтовану архітектуру. Вона дозволяє створювати

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

інтерактивні візуальні інтерфейси, контролювати обладнання в реальному часі, обробляти події, вести історію змін та забезпечувати доступ до системи з будь-якого пристрою через браузер.

Основні можливості:

- Безшовна інтеграція з більшістю ПЛК (через OPC-UA, Modbus TCP та інші протоколи).
- Потужна система візуалізації даних: створення графіків, анімацій, сповіщень.
- Вбудований скриптовий рушій на Python.
- Підтримка масштабування та кластеризації.
- Кросплатформеність — працює на Windows, Linux, macOS.

Трансформаторна підстанція — це складний об'єкт, що потребує безперервного контролю температури, струму, навантажень та інших критичних параметрів. Ignition дозволяє:

- Централізовано збирати дані з усіх ПЛК, що обслуговують силове електроустаткування.
- Реалізувати інтуїтивно зрозумілу панель оператора, на якій в режимі реального часу відображатимуться температури трансформаторів, статуси датчиків, графіки змін тощо.
- Автоматично створювати події та сповіщення про перевищення критичних значень, з можливістю інтеграції SMS або email-оповіщення.
- Архівувати дані для подальшого аналізу та формування звітів про стан обладнання.

Однією з ключових переваг Ignition є ліцензія без обмежень по тегах, клієнтах чи підключеннях до ПЛК [31]. Це означає, що система легко масштабується з локального об'єкта (наприклад, окремої ТП) до регіонального енергетичного підприємства. Крім того, веб інтерфейс забезпечує зручний віддалений доступ до системи моніторингу. Отже Ignition

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

є потужним інструментом для реалізації SCADA-системи в контексті автоматизованого моніторингу трансформаторної підстанції. Його гнучкість, модульність та сумісність із промисловим обладнанням дозволяє ефективно реалізувати контроль, візуалізацію та аналітику в рамках автоматизованої системи. На рисунку додатку А наведено приклад інтерфейсу в середовищі Ignition[32].

Тобто SCADA не керує напряму — вона дає оператору можливість приймати рішення залежно від ситуації.

3.3 Власна концепція автоматизованої системи моніторингу ТП

Сучасні умови експлуатації трансформаторних підстанцій вимагають підвищеної надійності, оперативного реагування на відхилення параметрів та зменшення впливу людського фактора на процес контролю. Як було проаналізовано в попередніх розділах, технічні засоби, що використовуються для моніторингу стану електроустаткування, дозволяють отримувати в реальному часі дані про температуру, струм, рівень масла, газовий стан трансформатора тощо. Проте ефективне об'єднання цих даних в єдину систему із централізованим управлінням потребує відповідного програмного та апаратного рішення.

У межах даної кваліфікаційної роботи пропонується концепція автоматизованої системи моніторингу трансформаторної підстанції, що базується на використанні ПЛК у поєднанні зі SCADA-системою. Такий підхід забезпечує гнучкість налаштування, масштабованість та зручність у реалізації як локального, так і віддаленого доступу до даних.

Система має на меті не лише збір показників з різних датчиків, а й обробку даних, сигналізацію про вихід параметрів за допустимі межі, а також зберігання інформації для подальшого аналізу. Застосування подібного

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

підходу дозволяє виявляти потенційні несправності на ранніх етапах, запобігати аварійним ситуаціям та оптимізувати технічне обслуговування.

Окрім технічної ефективності, система також сприяє підвищенню загальної безпеки об'єкта, зменшенню експлуатаційних витрат і втрат електроенергії внаслідок аварій чи несанкціонованих втручань. Особливу увагу в реалізації приділено простоті інтерфейсу та мінімізації складності під час обслуговування — як для операторів, так і для технічного персоналу.

Впровадження запропонованої системи є доцільним як у нових трансформаторних підстанціях, так і як етап модернізації існуючих об'єктів. З огляду на доступність необхідного обладнання та програмного забезпечення, реалізація системи можлива в межах обґрунтованого бюджету без потреби в дороговартісних рішеннях. Уявімо ситуацію: трансформатор на підстанції перегрівається.

1. Датчик температури зчитує значення 85°C.
2. Це значення надходить до ПЛК, який розпізнає, що це вище за норму температура. ПЛК передає це значення до SCADA-серверу по протоколу Modbus TCP.
3. У НМІ з'являється попередження: «УВАГА: Перегрів трансформатора».
4. Оператор бачить сигнал і приймає рішення — наприклад, вмикає вентилятор або відключає трансформатор.

На рисунку 3.4 зображено загальну логіку роботи автоматизованої системи: датчики (температури, тиску, струму, положення тощо) зчитують параметри в реальному часі та передають сигнали до ПЛК. ПЛК обробляє вхідні дані та формує відповідні сигнали управління. Одночасно дані передаються до SCADA-системи, де зберігаються у журналі подій, можуть архівуватись у хмарному середовищі та візуалізуються на моніторі оператора. Оператор, отримавши сигнал про аварійну чи нестандартну

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

ситуацію, може вжити дій через інтерфейс SCADA, які будуть передані назад до ПЛК для виконання.

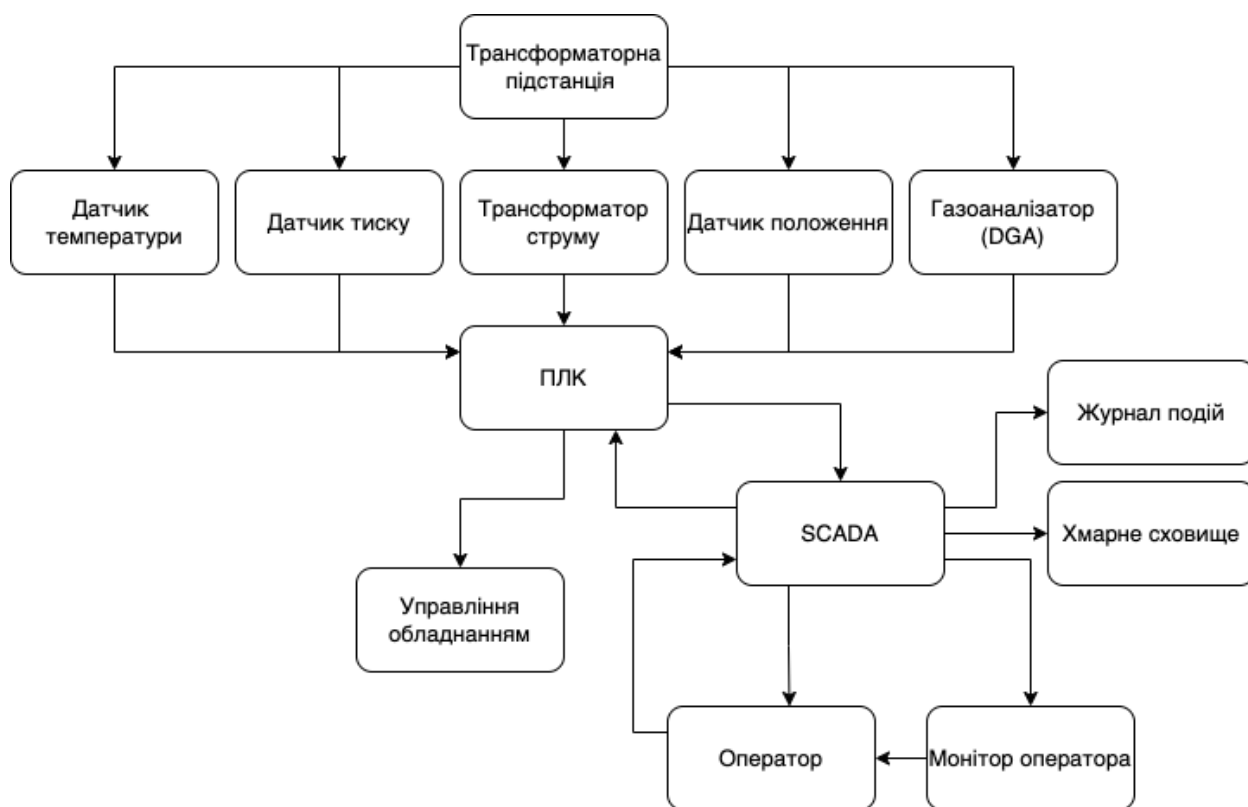


Рисунок 3.4 – Узагальнена структура автоматизованої системи контролю трансформаторної підстанції

У процесі роботи над цією темою стало зрозуміло, що сучасні трансформаторні підстанції потребують не лише якісного обладнання, а й ефективного способу моніторингу. Людина фізично не встигає слідкувати за всіма параметрами одночасно, особливо якщо йдеться про великий обсяг даних. Тому автоматизовані системи керування — це вже не просто допоміжний інструмент, а обов’язкова частина сучасної енергетики.

Поєднання ПЛК зі SCADA-системою дозволяє вчасно отримувати інформацію, реагувати на аварійні ситуації та навіть запобігати серйозним

несправностям. ПЛК виконує роль “мозку” на місці, реагуючи миттєво на зміну сигналів, а SCADA, в свою чергу, дає можливість бачити загальну картину і приймати рішення на основі всіх даних.

Крім цього, така система дозволяє зменшити людський фактор. Наприклад, якщо датчик виявляє підвищення температури, оператор бачить попередження на екрані і може одразу вжити заходів. Це значно швидше, ніж якщо б кожен параметр перевіряли вручну. При цьому важливо, щоб інтерфейс був зрозумілим, а логіка взаємодії ПЛК і SCADA — простою й надійною.

Інтерфейс — це саме те, з чим має справу оператор щодня. У системах типу SCADA зручність і зрозумілість інтерфейсу прямо впливають на швидкість реакції та правильність прийняття рішень. Тому в системі контролю за електрообладнанням особливу увагу слід приділити тому, як саме виглядає й поводить себе робоче середовище оператора.

Приклад реалізації інтерфейсу представлено на рисунку 3.5. Він демонструє спрощену SCADA-панель для моніторингу основних параметрів трансформаторної підстанції. Оператор бачить у реальному часі температуру, струм, напругу та частоту, що супроводжуються кольоровими індикаторами стану. Також передбачено журнал подій, у якому фіксуються зміни, тривоги або відхилення. Для оперативного реагування реалізовано кнопки: «Скинути тривогу», «Вимкнути» та «Тест».

Значення температури, струму, тощо, у цій візуалізації подані умовно — для демонстрації структури інтерфейсу. У реальній системі вони залежать від типу обладнання і встановлюються відповідно до технічних паспортів трансформаторів

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

Моніторинг трансформаторної підстанції	
Температура: °C	■
Струм: A	■
Напруга: кВ	■
Частота: Гц	■
	Журнал подій
	12:00 — ■
	12:05 — ■
	12:10 — ■
Скинути тривогу Вимк. Тест	

Рисунок 3.5 – Графічний інтерфейс для моніторингу стану трансформаторної підстанції

ВИСНОВКИ

У ході виконання дослідження було проаналізовано ключові аспекти автоматизації контролю стану електроустаткування трансформаторної підстанції. Розглянуто як загальну структуру та принцип дії трансформаторних підстанцій, так і роль сучасних технологій у забезпеченні надійної роботи їхнього обладнання.

Було з'ясовано, що ефективна система моніторингу не може існувати без інтеграції сучасних датчиків, програмованих логічних контролерів та SCADA-систем, які забезпечують оперативний збір, обробку та візуалізацію даних. Зокрема, дослідження охопило як класичні складові SCADA, так і новітні програмні рішення, серед яких особливу увагу приділено платформі Ignition, що забезпечує гнучкість, масштабованість та зручність при побудові автоматизованих систем контролю.

У результаті виконаної роботи було сформовано теоретичну модель автоматизованої системи, що дозволяє в реальному часі стежити за критичними параметрами трансформаторного обладнання, реагувати на аварійні ситуації та запобігати потенційним несправностям. Вона базується на поєднанні перевірених інженерних рішень та сучасних ІТ-підходів, які відповідають актуальним вимогам до безпеки, надійності та цифрової трансформації енергетичної галузі.

Крім того, під час написання роботи особливу увагу було приділено практичним аспектам візуалізації даних у SCADA-системах. Продемонстровано приклад побудови графічного інтерфейсу моніторингу, що дозволяє користувачу в режимі реального часу зчитувати показники, виявляти відхилення та приймати обґрунтовані рішення. Такий підхід сприяє не лише підвищенню технічної ефективності, а й зручності обслуговування об'єкта. Перспективи подальших досліджень можуть включати впровадження

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

механізмів машинного навчання для прогнозування відмов, а також створення мобільних інтерфейсів для віддаленого доступу до системи.

Таким чином, поставлену мету дослідження досягнуто, а отримані результати можуть стати основою для подальшої розробки практичної реалізації системи контролю на конкретному енергетичному об'єкті.

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Попадченко С. А., Савченко О. А. Основи електропостачання : метод. вказівки до виконання лабораторної роботи «Вивчення комплектних трансформаторних підстанцій 6–10 / 0,38 кВ» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / С. А. Попадченко, О. А. Савченко. – Харків : Державний біотехнологічний університет, 2023. – 32 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/42619>
2. Pixabay [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pixabay.com/photos/transformer-power-supply-connection-5724320/>
3. Купчик В. О. Підвищення пропускної здатності ПС-110/10 кВ «Галицька» : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / В. О. Купчик. – Тернопіль : ТНТУ, 2022. – 72 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39414>
4. Босенко В. Е. Модернізація трансформаторної підстанції : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Босенко Владислав Едуардович. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 73 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/71980>
5. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Основи електропостачання : конспект лекцій для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" денної форми здобуття вищої

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

освіти / О. М. Циганов, В. А. Мардзявко, А. Ю. Руденко. – Миколаїв : МНАУ, 2023. – 229 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13354>

6. How to Monitor Dry-Type Transformers Temperature with PT100 Probe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.orionitalia.com/blog/1/how-to-monitor-dry-type-transformers-temperature-with-pt100-probe>
7. Cable sensors for the TR42 Temperature Control Relay [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.orionitalia.com/temperature-control/sensor/temperature-sensor-pt-100>
8. Electronic temperature switch with display WIKA TSD-30 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.wika.com/en/tsd_30.WIKA?highlightedText=TSD-30
9. Гідростатичний тиск [Електронний ресурс] / МійКлас — Освітня платформа. – Режим доступу: <https://www.miyklas.com.ua/p/fzika/7-klas/tisk-tverdikh-til-ridin-i-gaziv-16558/gidrostatichnii-tisk-16569/re-cbf8ac8c-f55e-4168-9888-2469de400b14>
10. Submersible pressure sensor WIKA Model LF-1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.wika.com/en-us/lf_1.WIKA?highlightedText=WIKA
11. Qualitrol 035 Small Oil Level Indicator [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.qualitrolcorp.com/products/liquid-level-gauges/small-oil-level-indicators/qualitrol-035-small-oil-level-indicator/>
12. WIKA Model LF-1, Data sheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.wika.com/media/Data-sheets/Level/Submersible-pressure-sensors/ds_lm4004_en_co.pdf

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

13. Electronics Tutorials. The Current Transformer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html>
14. Circutor TP-420-58-500A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://circutor.com/en/products/current-transformer-with-converter/current-transformer-with-converter-4...20-ma/split-core-current-transformer-with-4...-20-ma-transducer-50x80-cm-busbar/product/M70223/>
15. Hobut Taped Type current transformers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hobut.co.uk/instrumentation-and-control-products/current-transformers-range/toroidal-ring-type-cts-2/>
16. Hobut Ring Type Current Transformers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.hobut.co.uk/wp-content/uploads/2022/01/Ring_type_CTs.pdf
17. Geraldo Rocha, David Dolezilek, Fernando Ayello, and Carlos Oliveira, Distribution Substation Monitoring System. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://selinc.com/api/download/10632/>
18. Balluff BES00ZA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.balluff.com/de-de/products/BES00ZA>
19. Balluff BES00ZA Datenblatt [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://publications.balluff.com/pdfengine/pdf?type=pdb&id=247337&con=de>
20. Omron D4N-912G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://industrial.omron.eu/en/products/D4N-912G>
21. Sun, H.-C., Huang, Y.-C., & Huang, C.-M. (2012). A review of dissolved gas analysis in power transformers. Procedia Engineering, 14, 1220–1225. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211044997>

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

22. Qualitrol DGA-LT1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.qualitrolcorp.com/products/dissolved-gas-analyzers/single-gas-analyzers/dga-lt1/>
23. Inductive Automation. PLC: Programmable Logic Controller. PLC Basics, Operation, Programming and the Future of PLCs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-a-PLC>
24. MicroLogix 1400 Programmable Logic Controller Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/micro-controllers/micrologix-family/micrologix-1400-controllers.html>
25. Faylor J. PLC Programming Languages: Go Beyond Ladder Logic [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/blog/plc-programming-languages-go-beyond-ladder-logic>
26. PLC Programming. Ladder Logic Examples and PLC Programming Examples [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.plcademy.com/ladder-logic-examples/>
27. Inductive Automation. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. What is SCADA, Who Uses it and How SCADA Has Evolved [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>
28. Mondi Anderson. What Is SCADA? (Supervisory Control and Data Acquisition) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.realpars.com/blog/scada>
29. Inductive Automation. Innovative SCADA Software for Process Control and Data Management [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/scada-software/>

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

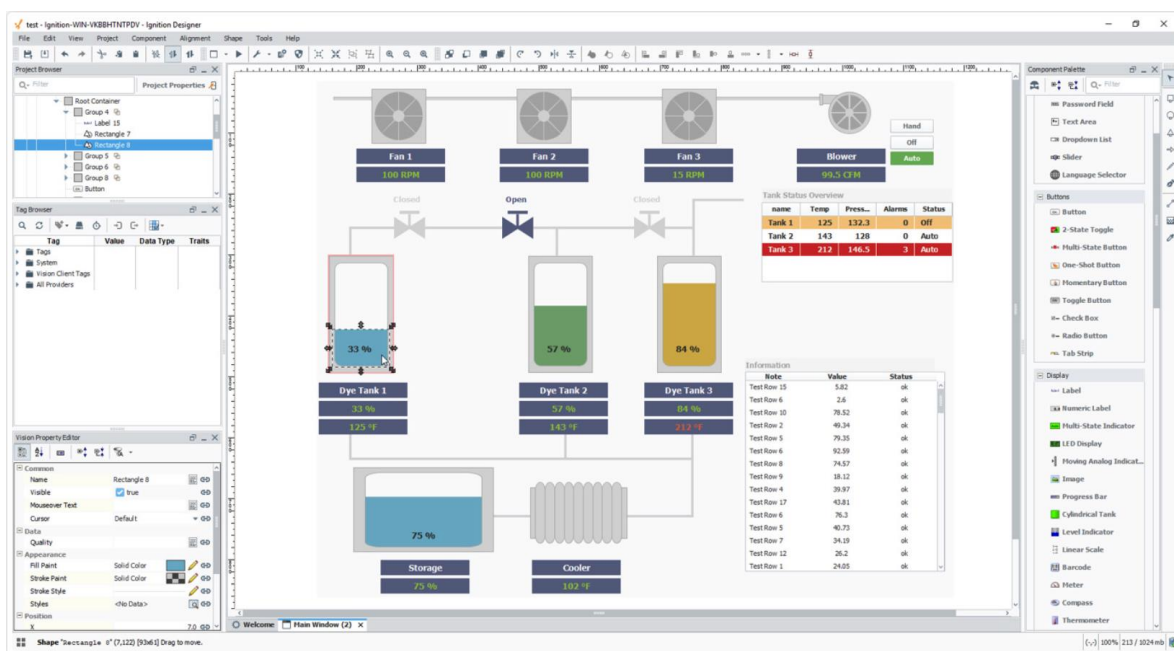
30.Ignition. The Platform for Unlimited Digital Transformation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/ignition/>

31.Inductive Automation. Everything You Need for One Affordable Price [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/ignition/unlimited>

32.Inductive Automation. Beautifully Unified, Simply Powerful [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inductiveautomation.com/ignition/designer>

					ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Дизайн інтерфейсу SCADA-системи в середовищі Ignition



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.9643204.00.00.000 ПЗ

Арк.

48