

# **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

КРБ.СІ-05.00.00.000 ПЗ

Група СІ-21-1

Юліанна Кертис

2025

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем

# БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Розроблення бездротової системи передачі даних для інформаційно-діагностувальних систем енергетичних установ

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

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Студент: 4 курсу, групи СІ-21-1

\_\_\_\_\_ Ю.Ю. Кертис  
(підпис) (дата) (розшифровка підпису)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ К.Т.Н. доц. Х.В. Паньків  
(посада) (підпис) (дата) (розшифровка підпису)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Л.М. Заміховський  
(посада) (підпис) (дата) (розшифровка підпису)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет **інформаційних технологій**

Кафедра **інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем**

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

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ІТТС**

**д.т.н., проф. Л.М. Заміховський**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ **2025 року**

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТОВІ**

**Кертис Юліанні Юрївні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи: Розроблення бездротової системи передачі даних для інформаційно-діагностувальних систем енергетичних установ.**

**2. Керівник роботи к.т.н., доц. Паньків Христина Василівна,**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “05” травня 2025 року № 281/7

3. Строк подання студентом роботи **15 червня 2025 року**

4. Вихідні дані до роботи: **тема бакалаврської роботи, знання та матеріали отримані під час проходження переддипломної виробничої практики на ПС 750кВ «Західноукраїнська».**

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розібрати):

**Вступ**

**1 Ознайомлення з ПС 750кВ «Західноукраїнська», програмним забезпеченням підстанції.**

**2 Дослідження видів бездротового зв'язку**

**3 Розробка та реалізація проєкту бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнська».**

**Висновки**

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

**1 Структурна схема проєкту**

**2 Структурна схема моніторингу елегазових вимикачів**

**3 Розміщення обладнання в шафі моніторингу СМЕВ**

7. Дата видачі завдання **01.03.2025**

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської випускної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.03.25	виконала
2	Пошук, дослідження та оформлення інформації про ПС 750кВ «Західноукраїнська»	17.03.25	виконала
3	Пошук, дослідження та оформлення інформації про МПП «Анігер»	23.03.25	виконала
4	Пошук, дослідження та оформлення інформації про програмне забезпечення для інформаційно-діагностичних процесів та моніторингу на ПС 750кВ «Західноукраїнська»	15.04.25	виконала
5	Пошук, дослідження та оформлення інформації про історію та види бездротового зв'язку	19.04.25	виконала
6	Розробка проєкту	25.04.25	виконала
7	Створення структурної схеми	03.05.25	виконала
8	Написання коду програми	21.05.25	виконала
9	Написання висновку	13.06.25	виконала
10	Оформлення і завершення бакалаврської роботи	15.06.25	виконала

Студент

Кертис Ю. Ю.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Паньків Х. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

В бакалаврській роботі розроблено бездротову системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнська».

Досліджено структуру і принципи роботи системи моніторингу елегазових вимикачів та шафи моніторингу СМЕВ.

Підібрано обладнання, протоколи зв'язку, серверна інфраструктура та кібербезпека для реалізації проекту.

Також розроблено структурну схему бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ на базі системи моніторингу елегазових вимикачів та програмне забезпечення – лістинг програми, який написаний на мові програмування C++ у середовищі розробки Visual Studio Code.

**Ключові слова:** БЕЗДРОТОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ПС 750КВ «ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКА», СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ, ШАФА МОНІТОРИНГУ СМЕВ, STARLINK.

## **ABSTRACT**

In the bachelor's thesis, a wireless data transmission system for power plant monitoring systems was developed based on the SF6 circuit breaker monitoring system of the 750 kV Zakhidnoukrainska substation.

The structure and principles of operation of the SF6 circuit breaker monitoring system and the SMEV monitoring cabinet were studied.

Equipment, communication protocols, server infrastructure and cybersecurity were selected for the project implementation.

A structural diagram of a wireless data transmission system for power plant monitoring systems based on the SF6 circuit breaker monitoring system and software were also developed - a program listing, written in the C++ programming language in the Visual Studio Code development environment.

**Keywords:** WIRELESS COMMUNICATION, 750KV SUBSTATION "ZAKHIDNOUKRAYNSKA", MONITORING SYSTEM, MONITORING SYSTEM OF SF6 CIRCUIT BREAKERS, SMEV MONITORING CABINET, STARLINK.

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 52 сторінки, 18 рисунків, 1 додаток, 18 посилань на джерела.

Об'єкт дослідження – Системи моніторингу енергетичних установ на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнській».

Предмет дослідження – Розроблення бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ.

Мета роботи – Розробити бездротову систему передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ на базі ПС 750кВ «Західноукраїнській».

Код програми написаний на мові програмування C++ у середовищі розробки Visual Studio Code.

У дослідженні проаналізовано інформацію про програмне забезпечення для інформаційно-діагностичних процесів та моніторингу на ПС 750кВ «Західноукраїнська» і на базі отриманих знань розроблено бездротову систему передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ.

**БЕЗДРОТОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ПС 750КВ «ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКА», СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ, ШАФА МОНІТОРИНГУ СМЕВ, STARLINK.**

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ</b> .....	9
<b>ВСТУП</b> .....	10
<b>РОЗДІЛ 1. ПС 750кВ «ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКА»</b> .....	11
1.1. ПС 750кВ «Західноукраїнська».....	11
1.2. Системи моніторингу ПС 750кВ «Західноукраїнська». Технічне забезпечення від МПП «Анігер».....	12
1.2.1. Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна».....	13
1.2.2. Система моніторингу перехідних режимів WAMS «Регіна Ч».....	13
1.2.3. Автоматизована система управління підстанцією.....	15
1.2.4. Система моніторингу елегазових вимикачів.....	15
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ</b> .....	19
2.1. Види бездротового зв'язку.....	19
2.2. Starlink. Історія розробки. Технічні характеристики і особливості роботи.....	23
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ БЕЗДРОТОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВ НА БАЗІ ПС 750кВ «ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКА»</b> .....	27
3.1. Дослідження структури і принципу роботи системи моніторингу елегазових вимикачів.....	27
3.2. Дослідження структури і принципу роботи шафи моніторингу СМЕВ.....	29
3.3. Дослідження та підбір обладнання для реалізації проекту.....	33
3.4. Протоколи зв'язку, серверна інфраструктура та кібербезпека.....	36

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення бездротової системи передачі даних для інформаційно-діагностувальних систем енергетичних установ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Кертис						
Перевір.		Паньків					7	
Реценз.						ІФНТУНГ СІ-21-1		
Н. Контр.		Возний						
Затверд.		Заміховський						

3.5. Розробка структурної схеми та програмного забезпечення.....	38
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>44</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>45</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>48</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА.....</b>	<b>52</b>

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ІДК	інформаційно-діагностичний комплекс
МПП	мале приватне підприємство
ПК	персональний ком'ютер
ПС	підстанція
СМЕВ	система моніторингу елегазових вимикачів

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

**Тема:** Розроблення бездротової системи передачі даних для інформаційно-діагностувальних систем енергетичних установ.

**Актуальність:** Енергетичні установи є однією з основних складових сучасного світу, наш комфорт прямопропорційно залежить від злагодженої роботи цих підприємств. Саме тому системи моніторингу для запобігання поломок та вчасного реагування на їх виникнення є дуже важливими. Автоматизація значно прискорює та полегшує цей процес.

Під час проходження переддипломної виробничої практики на ПС 750кВ «Західноукраїнська» було виявлено недолік у системі моніторингу підстанції. Всі об'єкти підприємства з'єднані з системами моніторингу або інформаційно-діагностичними комплексами оптоволоконом. У випадку пошкодження кабелю з'єднання втрачено і на сервер більше не надходить інформація про стан об'єкта.

Проблема особливо актуальна через російсько-українську війну, що розпочалась у 2014 році. Після початку повномасштабного вторгнення 24 лютого 2022 року станом на сьогодні на територію підстанції було запущено 22 ракети, з яких було близько 12 влучань. Внаслідок російської агресії оптоволоконно було неодноразово пошкодження. Це призвело до порушення роботи ПС 750кВ «Західноукраїнська», через що тисячі українців залишилось без електроенергії на довготривалий час.

Суть проекту полягає в розробленні бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ. Це вирішить проблему з розірванням зв'язку через пошкодження кабелів і дозволить будувати об'єкти на більшій відстані тому, що більше не буде обмежень через довжину обладнання. Проект буде реалізовано на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнській».

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1. ПС 750кВ «ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКА»

### 1.1. ПС 750кВ «Західноукраїнська»

Підстанція 750кВ «Західноукраїнська» є однією з найбільших електропідстанцій у Європі з встановленою потужністю 3000 МВА. Вона з'єднана електромережами напругою 750кВ з Рівненською та Хмельницькою атомними електростанціями, а також мережами напругою 330 кВ з Бурштинською тепловою електростанцією та енерговузлами Рівного і Львова.

На підстанції постійно проводяться роботи зі заміни та модернізації обладнання. Це охоплює оновлення реакторів, автотрансформаторів, роз'єднувачів, трансформаторів напруги та шинних опор. Ці заходи спрямовані на підвищення надійності та економічності функціонування підстанції, а також на створення умов для впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами.

Автоматизація підстанції передбачає впровадження релейного захисту та системи автоматики. Це дозволяє експлуатувати підстанцію в автоматизованому режимі без постійної присутності персоналу з обслуговування, що значно знижує витрати на обслуговування та підвищує ефективність її роботи.

Підстанція 750кВ «Західноукраїнська» має багатогранну історію, починаючи з 1970-х років. Її будівництво було розпочато 28 лютого 1974 року, коли СРСР, Болгарія, Угорщина, НДР, Польща та Чехословаччина підписали угоду про будівництво лінії електропередач потужністю 750кВ між містами Ходорів (Україна) та Альбертірша (Угорщина). Лінія електропередачі 750кВ «Вінницька — Західноукраїнська» була частиною колишньої енергосистеми «Мир», яка забезпечувала передачу електроенергії між СРСР та країнами РЕВ. Лінія електропередачі довжиною 479 км з'єднувала підстанцію Альбертірша (Угорщина) із Західноукраїнською підстанцією на захід від Ходорова (Україна).

Виведення з експлуатації цієї лінії відбулося у 1993 році через синхронізацію енергосистеми Угорщини з UCTE (ENTSO-E) та економічні причини. Проте, після створення Бурштинського енергоострову лінію знову

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ввели в експлуатацію у 2002 році. У 2017 році Угорщина розпочала будівництво нової підстанції 750/400 кВ Саболчбака, що призвело до переведення сегмента лінії «Західноукраїнська — Альбертірша» у клас напруги 400кВ.

Ця історія підкреслює важливу роль підстанції 750кВ «Західноукраїнська» в енергосистемі України та її зв'язках із європейськими країнами.

## **1.2. Системи моніторингу ПС 750кВ «Західноукраїнська». Технічне забезпечення від МПП «Анігер»**

На підстанції 750кВ «Західноукраїнська» впроваджено сучасні системи моніторингу стану обладнання, які відіграють важливу роль у забезпеченні надійної роботи та своєчасному виявленні можливих несправностей. Вони сприяють стабільному та безперебійному функціонуванню підстанції, а також дають змогу оперативно реагувати на будь-які відхилення чи потенційні загрози.

На підстанції активно використовується обладнання від МПП «Анігер», що відіграє важливу роль у забезпеченні надійної та ефективної роботи. Це обладнання дає змогу здійснювати моніторинг, контроль і керування різними технологічними процесами.

Одним із ключових елементів є інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна», призначений для реєстрації аналогових і дискретних сигналів. Він дає змогу проводити детальний аналіз аварійних ситуацій, оцінювати роботу релейного захисту та автоматики, а також визначати місця пошкоджень, що важливо для оперативного реагування.

Ще одна важлива система — система моніторингу перехідних режимів WAMS. Вона передає як виміряні, так і розраховані значення через виділений або комутований канал зв'язку, що дає змогу отримувати точні та своєчасні дані про стан обладнання та мережі.

Автоматизована система керування підстанцією є повнофункціональним комплексом моніторингу та дубльованою системою управління. Вона забезпечує централізований контроль усіх технологічних процесів на підстанції, підвищуючи її надійність та ефективність.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система моніторингу елегазових вимикачів також відіграє важливу роль, контролюючи стан високовольтних вимикачів і даючи змогу прогнозувати основні технологічні параметри. Це допомагає вчасно виявляти та усувати можливі несправності, забезпечуючи стабільну роботу підстанції.

Використання обладнання від МПП «Анігер» сприяє підвищенню загальної ефективності та надійності підстанції 750кВ «Західноукраїнська», що є важливим для стабільного постачання електроенергії споживачам.

### **1.2.1. Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна»**

Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна» призначений для реєстрації аналогових та дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінки функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, визначення місця пошкодження при коротких замиканнях на лініях електропередачі, визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, побудови добової відомості режимів, проведення фазового та гармонічного аналізу синусоїдальних сигналів, виділення симетричних складових в трифазних мережах змінної напруги, виведення інформації у вигляді текстових повідомлень, графіків і таблиць на екран дисплею і на друк, а також передачі зареєстрованої та обробленої інформації на будь-які вищі рівні керування.

Базовим елементом інформаційно-діагностичного комплексу «Регіна» є реєстратор аналогових та дискретних сигналів. Реєстратор фіксує електричні сигнали змінного та постійного струму, змінної та постійної напруги, а також дискретні сигнали типу «сухий контакт» або потенційні. Живлення кожного реєстратора здійснюється напругою 220В змінного та/або постійного струму [1].

### **1.2.2. Система моніторингу перехідних режимів WAMS «Регіна Ч»**

Система WAMS «Регіна Ч» (рисунок 1.1) призначена для:

1. Моніторингу в реальному часі режимних параметрів роботи енергосистем, стійкості, коливань, поточних значень кутів та частоти, режимів роботи основних механізмів АЕС, в тому числі ГЦН, при пуску, роботі та гальмуванні агрегатів, стану засобів регулювання напруги.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2. Вимірювання сили, напруги, потужності, фази та частоти змінного струму.
3. Автоматичної реєстрації ненормальних режимів роботи.
4. Зберігання в пам'яті результатів вимірювань.
5. Програмної обробки вимірювальної інформації, виведення її у вигляді цифрових масивів та текстових повідомлень, графіків і таблиць на монітор та друк, а також передачі її на будь-які рівні з прив'язкою до сигналів точного часу, які отримують від GPS приймача.

Система може використовуватись для контролю електричних параметрів іншими користувачами в різних галузях, в тому числі, в складі інформаційно-вимірювальних та комплексів керування [2].



Рисунок 1.1 – Система моніторингу перехідних режимів WAMS «Регіна Ч»

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.2.3. Автоматизована система управління підстанцією

Автоматизована система управління підстанцією (рисунок 1.2) – це повнофункціональний комплекс моніторингу та повністю дубльована система управління. Це принципово новий об’єктно-орієнтований підхід до розробки автоматизованої системи управління, в якому реалізована сукупність засобів та методів, що забезпечують різке скорочення затрат праці і підвищення надійності створюваної системи.

Єдине середовище розробки автоматизованої системи управління підстанцією дозволяє: вирішувати проблеми програмного стикування різних пристроїв системи та суміжних модулів; створювати розподілені за пристроями алгоритми контролю, керування та блокування; мати доступ з будь-якого робочого місця до всієї інформації, що є в системі, у відповідності до наданих повноважень [3].



Рисунок 1.2 – Автоматизована система управління підстанцією

### 1.2.4. Система моніторингу елегазових вимикачів

Система моніторингу параметрів елегазових вимикачів призначена для контролю стану високовольтних вимикачів (рисунок 1.3) з метою визначення

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

поточних параметрів та прогнозованого розрахунку основних технологічних величин.

З впровадженням системи підвищується якість обслуговування елегазових вимикачів, встановлених в основній мережі ОЕС України, що веде до більш надійної роботи обладнання. Реалізація функцій прогнозування дозволяє вчасно запобігти несправностям вимикачів. Аналіз кожного вимкнення струму короткого замикання вимикачем, отримання достовірних даних про часові параметри при роботі вимикача та про величину вимкненого струму КЗ дозволяє в автоматичному режимі розрахувати залишковий комутаційний ресурс вимикача. Порівняння з попередніми вимкненнями надає можливість відслідкувати динаміку швидкості комутаційної операції та визначити необхідність проведення ремонтних робіт.

Система моніторингу параметрів елегазових вимикачів має двохрівневу структуру. Нижній рівень утворюють шафи у навісному виконанні з пристроями вводу аналогових та дискретних сигналів, розподілених на об'єкті. Число шаф визначається кількістю елегазових вимикачів. Верхній рівень утворює обчислювальний модуль, який виконує функції аналізу (розрахунку) параметрів з усіх шаф моніторингу та видачі інформації до SCADA системи.

Шафи моніторингу та обчислювальний модуль з'єднуються оптичними лініями зв'язку.

Пристрої системи моніторингу параметрів елегазових вимикачів призначені для роботи в умовах підстанції високої напруги і виконують функції збору, обробки та зберігання інформації. Кола сигналізації, кола струму ТС вимикача, виходи датчиків переміщення траверси, датчиків густини та температури елегазу приєднуються до блоків системи моніторингу параметрів елегазових вимикачів.

Шафа моніторингу елегазових вимикачів розташована на території ВРП безпосередньо біля центральної шафи керування вимикачем. Конструктив

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

виконаний на базі промислової шафи у навісному виконанні з підведенням зовнішніх кіл через нижні кабельні гермовводи.

Система моніторингу параметрів високовольтних елегазових вимикачів надає інформацію в режимі реального часу та за запитом.

Постійний контроль параметрів елегазових вимикачів в реальному часі виконаний з дискретністю оновлення інформації 1,0 с:

1. Контроль положення вимикача.
2. Контроль ковзного контакту.
3. Контроль зниження тиску елегазу.
4. Контроль готовності приводу.
5. Контроль часу готовності приводу.
6. Вимірювання густини та температури газової суміші з аналізом тренду (SF6 та CH4).
7. Вимірювання температури в шафі моніторингу, шафі приводу, довкілля.
8. Розрахунок кількості комутаційних операцій в нормальних та аварійних режимах.

Після виконання кожної комутаційної операції проводиться збір інформації та її оцінювання. Інформація про операцію реєструється, зберігається в пам'яті і за запитом передається на верхній рівень.

Основні параметри, які фіксуються при записі осцилограм:

1. Струм вимкнення вимикачем.
2. Швидкість переміщення контактів вимикача.
3. Максимальний (пусковий) струм роботи електричного двигуна заряду пружини.
4. Час роботи електричного двигуна заряду пружини.
5. Контроль роботи котушки ВМК/ВИМК (електромагніта).
6. Наявність напруги оперативного струму.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Система здійснює постійний контроль параметрів вимикачів та блоків. При виникненні аварійної ситуації черговий персонал отримує інформацію про розвиток та характер аварійних процесів. Відбувається накопичення даних про аварійні події, архів яких доступний користувачу для перегляду. Оперативні та архівні дані системи доступні користувачам на вищих ієрархічних рівнях загальної системи моніторингу [4].



Рисунок 1.3 – Високовольтні вимикачі

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

### 2.1. Види бездротового зв'язку

На сьогодні існує безліч видів бездротового зв'язку. Давайте розглянемо їх і оцінімо особливості їхньої роботи, технічні характеристики та сфери застосування.

Радіозв'язок – використовується для радіомовлення, телебачення, радіолокації та комунікації між пристроями на великих відстанях. Радіозв'язок зародився наприкінці XIX століття завдяки експериментам Гульєльмо Марконі, який у 1896 році продемонстрував першу успішну бездротову передачу сигналу на відстань. У 1901 році він здійснив передачу через Атлантичний океан. Цей тип зв'язку використовує електромагнітні хвилі для передачі інформації. Його частотний діапазон від кількох кГц до сотень ГГц, а амплітудна (АМ) і частотна (FM) модуляція для передачі звуку. Дальність роботи радіозв'язку від кількох метрів до тисяч кілометрів. Радіостанції (рисунок 2.1) можуть транслювати сигнал на сотні кілометрів, а короткохвильове радіо – навіть міжконтинентально.



Рисунок 2.1 – Радіоантени на радіостанції

Мобільний зв'язок – включає технології мобільних мереж (1G, 2G, 3G, 4G, 5G), які забезпечують передачу голосових та цифрових даних через стільникові

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

мережі. Перші мобільні мережі (1G) з'явилися в 1979 році в Японії. Друге покоління (2G) стартувало у 1991 році та принесло цифрову передачу голосу. 3G (2001 рік) покращило швидкість передачі даних, а 4G (2009 рік) забезпечило мобільний інтернет із високою пропускнуою здатністю. Сучасне покоління 5G розгортається з 2020-х років. 1G – це аналоговий зв'язок, його швидкість передачі <math><10\text{ Кбіт/с}</math>. 2G є цифровим зв'язком, тому його швидкість до 64 Кбіт/с. У 3G швидкість до 42 Мбіт/с. 4G – LTE, швидкість до 1 Гбіт/с, а 5G є найновішим ультрашвидкісним зв'язком із мінімальними затримками [5]. Дальність мобільного зв'язку до кількох десятків кілометрів між базовими станціями (рисунок 2.2). Наприклад у сільській місцевості мобільна вежа може покривати до 35 км, у міських зонах – приблизно 5 км через перешкоди.



Рисунок 2.2 – Вежа (базова станція) мобільного зв'язку

Wi-Fi – локальна бездротова мережа, що дозволяє підключати пристрої до Інтернету або внутрішніх мереж у межах будівель, громадських місць та

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

підприємств. Wi-Fi був розроблений у 1997 році як частина стандарту IEEE 802.11 [6]. Технологія дозволила бездротове підключення до мережі на невеликих дистанціях. Wi-Fi 6 використовує частоти 2,4 ГГц, 5 ГГц і 6 ГГц, а його швидкість до 9,6 Гбіт/с. Дальність роботи Wi-Fi до 100 метрів у відкритому просторі, до 30 метрів у приміщенні. Домашній роутер покриває квартиру, але сигнал слабшає через стіни.

Bluetooth – технологія для передачі даних на короткій відстані між пристроями, зокрема навушниками, колонками, телефонами та іншими гаджетами [7]. Розроблений у 1994 році компанією Ericsson, Bluetooth спершу використовувався для бездротового зв'язку між мобільними пристроями. Дальність передачі даних на старих версіях Bluetooth від 10 метрів, а у версії Bluetooth 5.0 – до 100 метрів.

Інфрачервоний зв'язок (IR) – використовується для передачі даних на дуже коротких відстанях 1-5 метрів, наприклад, у пультах дистанційного керування та деяких медичних пристроях. Інфрачервоний зв'язок використовувався ще у 1950-х роках. Передача даних відбувається на частоті 300 ГГц - 400 ТГц.

NFC (Near Field Communication) – передача даних між пристроями на дуже короткій відстані (кілька сантиметрів), часто використовується для безконтактних платежів. NFC з'явився у 2002 році для безконтактних платежів та обміну даними між пристроями. Дальність роботи всього лиш до 4 см і працює на частоті 13,56 МГц. Використовується для мобільних платежів та електронних пропусків.

Li-Fi – новітня технологія, яка передає дані через світлові сигнали, потенційно може стати альтернативою Wi-Fi в майбутньому. Вперше запропонований у 2011 році. Технологія використовує світлові сигнали замість радіохвиль. Його астота понад 400 ТГц, а швидкість – до 10 Гбіт/с. Цей вид зв'язку використовується у сфері IoT та корпоративних мережах.

Супутниковий зв'язок – це технологія передачі даних через штучні супутники Землі [8]. Він забезпечує глобальне покриття для навігаційних систем

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(GPS), телевізійних трансляцій, військових і комерційних комунікацій. Перший комунікаційний супутник Telstar запущено у 1962 році [9].

Супутниковий зв'язок (рисунк 2.3) поділяється на кілька основних типів залежно від його призначення:

1. Фіксований супутниковий зв'язок (FSS) – використовується для передачі даних між стаціонарними наземними станціями [10].
2. Рухомий супутниковий зв'язок (MSS) – забезпечує зв'язок для мобільних пристроїв, таких як супутникові телефони.
3. Супутникове телебачення (DTH – Direct-to-Home) – передача телевізійного сигналу безпосередньо до користувачів.
4. Супутниковий Інтернет – забезпечує доступ до мережі в регіонах, де немає наземної інфраструктури.
5. Навігаційні системи (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) – використовуються для визначення місцезнаходження та навігації.
6. Військовий супутниковий зв'язок – застосовується для безпечної передачі даних у військових цілях.



Рисунок 2.3 – Супутник зв'язку TDRS (Tracking and Data Relay Satellite)

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Існує багато технологій супутниковго зв'язку.

VSAT – це супутникова технологія, яка використовує малі антени (зазвичай діаметром менше 2,5 метрів) для забезпечення зв'язку через геостаціонарні супутники.

MEO (Medium Earth Orbit) – середньоорбітальні супутники (2000–20000 км), використовуються в навігаційних системах (GPS, Galileo).

GEO (Geostationary Orbit) – геостаціонарні супутники (35786 км), застосовуються для телебачення, VSAT-зв'язку.

CubeSat – малі супутники для наукових досліджень та IoT.

Найпопулярнішою супутниковою технологією в сучасному світі є система на базі низькоорбітальних супутників LEO (Low Earth Orbit). LEO-супутники розташовані на висоті 500–2000 км над Землею, що забезпечує меншу затримку сигналу та вищу швидкість передачі даних. Як працюють LEO-системи? Супутники рухаються навколо Землі, створюючи глобальне покриття, а користувачі підключаються до найближчого супутника, який передає сигнал між наземними станціями. Завдяки великій кількості супутників забезпечується безперервний зв'язок. У цієї технології дуже низька затримка, всього до 50мс, що ідеально наприклад для відеозв'язку та онлайн-ігор, а також висока пропускна здатність і це забезпечує швидкісний Інтернет навіть у віддалених регіонах. Прикладом такої технології є Starlink, OneWeb [11], Amazon Kuiper, Iridium.

## **2.2. Starlink. Історія розробки. Технічні характеристики і особливості роботи**

Starlink — це масштабний супутниковий інтернет-проект, започаткований компанією SpaceX у 2015 році з ініціативи Ілона Маска [12]. Його головною метою стало забезпечення надійного та швидкісного інтернет-зв'язку для користувачів у будь-якому куточку планети, особливо в тих регіонах, де традиційна інфраструктура є недостатньою або повністю відсутньою. Перші випробувальні супутники Tintin-A і Tintin-B були виведені на орбіту у 2018 році,

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

а вже через рік було здійснено перший масовий запуск з шістдесятьма супутниками [13]. Із кожним новим етапом проєкт стрімко розширювався — у першій половині 2020-х років Starlink уже складався з тисяч супутників, а загальна кількість, згідно з планами, може перевищити 40 000 одиниць. Назва системи була натхнена романом Джона Ґріна «Провина зірок» і символізує мережу зв'язку, що об'єднує весь світ [14].

Принцип роботи Starlink базується на взаємодії супутникового сузір'я (рисунок 2.4), яке обертається навколо Землі на висоті приблизно 550 км, із наземною інфраструктурою та користувачькими терміналами [15]. Супутники передають сигнал у режимі реального часу, встановлюючи зв'язок із відповідним наземним обладнанням, яке здатне автоматично налаштовуватися на найближчий супутник. Особливістю мережі є використання лазерного міжсупутникового зв'язку, що дозволяє обходити наземні ретранслятори, зменшуючи затримки і підвищуючи стабільність передачі даних. Наземні станції слугують точками входу у глобальну інтернет-мережу, а користувачі отримують сигнал за допомогою спеціальних тарілок (рисунок 2.5), оснащених фазованими антенами, які динамічно адаптуються до змін положення супутників.



Рисунок 2.4 – Супутникове сузір'я

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Модем Starlink

Застосування Starlink охоплює широкий спектр сфер. У контексті збройної агресії проти України ця технологія стала критично важливою для Збройних Сил, волонтерів та гуманітарних організацій — вона забезпечила стабільний зв'язок там, де інші засоби були знищені або недоступні. У бізнес-середовищі Starlink відкрив можливості для офісів, транспорту та логістики – навіть у морських і повітряних умовах [16]. У сфері освіти та медицини інтернет із супутника дозволив організувати дистанційне навчання, телемедицину та інші цифрові сервіси в найвіддаленіших районах. Не менш важливою є його роль у зонах природних катастроф, де Starlink дозволяє відновити зв'язок у критичні моменти. А в аграрному секторі фермери активно використовують його для автоматизованого моніторингу полів, роботи дронів та систем точного землеробства.

Таким чином, Starlink — це не лише технологічна інновація, а й потужний інструмент розширення доступу до знань, комунікації та життєво необхідних

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сервісів. Він змінює уявлення про зв'язок, роблячи його дійсно глобальним, доступним і надійним.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ БЕЗДРОТОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВ НА БАЗІ ПС 750КВ «ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКА»

### 3.1. Дослідження структури і принципу роботи системи моніторингу елегазових вимикачів

Комплекс системи моніторингу елегазових вимикачів (СМЕВ) (рисунок 3.1) є важливим елементом у структурі сучасних диспетчерських систем контролю, які застосовуються на об'єктах електроенергетики. Його головна місія — забезпечити безперервне, точне та своєчасне отримання інформації про стан елегазових вимикачів, які є критично важливими для надійного функціонування підстанцій високої напруги. Завдяки впровадженню СМЕВ, енергетичні підприємства мають змогу оперативно реагувати на аварійні ситуації, здійснювати технічну діагностику та прогнозувати відмови обладнання ще до того, як вони виникнуть.

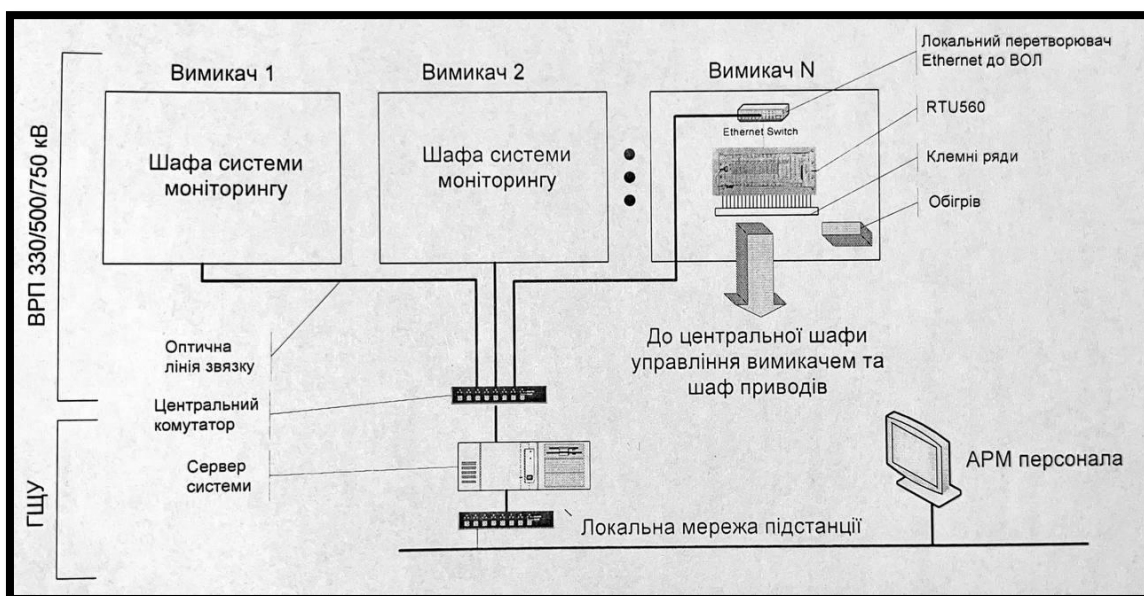


Рисунок 3.1 – Системи моніторингу елегазових вимикачів (СМЕВ)

Серцевиною комплексу є шафа СМЕВ, яка відповідає за збір і передачу телевимірювань (ТВ) та телесигналізації (ТС). Телевимірювання — це аналогові значення фізичних параметрів, що відображають фактичний стан вимикача: напруга, струм, температура тощо. Ці показники постійно надходять із сенсорів,

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

розташованих на вимикачі, й передаються через модулі шафи на вищий рівень автоматизованої системи управління. Телесигнали ж передають дискретну інформацію — наприклад, стан «вимкнено/ввімкнено», спрацювання захисту або виявлену несправність. Завдяки цьому, диспетчер або технічний персонал миттєво отримує сповіщення про будь-які зміни в роботі обладнання.

Ще одним важливим елементом комплексу є вузол комунікацій, який виконує роль посередника між локальним рівнем (тобто між самими вимикачами та шафами СМЕВ) і центральною диспетчерською системою. Саме тут зосереджується уся інформація, що надходить із нижніх рівнів, зберігається для подальшого аналізу та передається далі — на сервер або до автоматизованих робочих місць персоналу. Вузол комунікацій забезпечує надійність передачі даних, унеможливорюючи втрату важливої інформації, яка може бути вирішальною в умовах аварійних ситуацій.

Крім апаратного забезпечення, до складу комплексу входить і автоматизоване робоче місце (АРМ) чергового диспетчера. Це сучасна програмно-апаратна платформа, завдяки якій фахівець має змогу бачити в реальному часі всю інформацію щодо роботи елегазових вимикачів на схемі конкретної підстанції. Інтерфейс АРМ інтуїтивно зрозумілий: диспетчер може спостерігати поточні показники телевимірювань, оперативно оцінювати зміни стану обладнання, отримувати звукові та візуальні сигнали тривоги у разі виявлення відхилень.

Додатково, АРМ має доступ до архіву телевимірювань, що дає змогу здійснювати історичний аналіз роботи вимикачів. Це дозволяє виявляти повторювані тенденції, визначати потенційно небезпечні режими роботи та планувати профілактичні дії. Також тут зберігається журнал подій, у якому фіксуються як планові технічні перемикання, так і аварійні відключення, що дає повну картину про події на підстанції за будь-який проміжок часу. Уся ця інформація розміщується на центральному сервері СМЕВ, який забезпечує її цілісність, захист та доступність для авторизованих користувачів.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, СМЕВ не просто збирає технічні дані — це система, що перетворює їх у значиму аналітичну інформацію, яка допомагає оперативно приймати рішення щодо експлуатації складної високовольтної інфраструктури. В її основі — поєднання фізичних пристроїв, комунікаційних рішень і програмного забезпечення, що разом формують єдиний інтелектуальний контур моніторингу. Завдяки цьому диспетчери й інженери отримують у реальному часі достовірну інформацію про стан обладнання, можуть передбачати потенційні загрози та ефективно управляти енергетичними об'єктами.

### **3.2. Дослідження структури і принципу роботи шафи моніторингу СМЕВ**

Шафа системи моніторингу елегазових вимикачів (рисунок 3.2), встановлена на підстанції типу БРПІ 330/750 кВ, виконує ключову роль у контролі та підтримці надійності роботи високовольтного обладнання. Вона сконструйована у формі навісної металеві шафи з нижніми кабельними гермовводами, через які підключаються всі зовнішні лінії зв'язку та живлення. Всередині розташовано набір спеціалізованих пристроїв та модулів, кожен з яких виконує конкретну функцію в загальній системі моніторингу.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

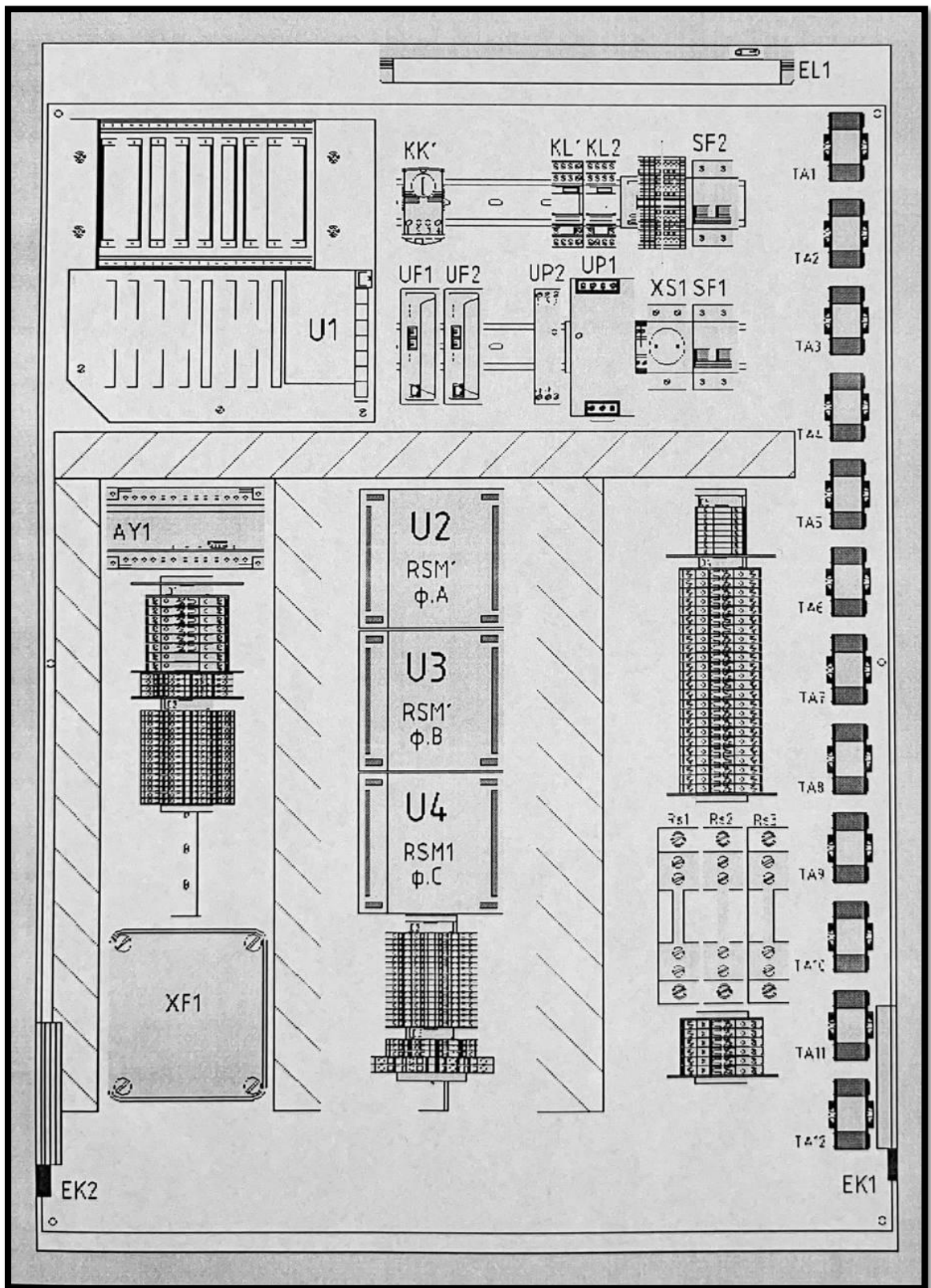


Рисунок 3.2 – Шафа системи моніторингу елегазових вимикачів

SF1 — автоматичний вимикач блока живлення UP1 та UP2. Його основне завдання — забезпечити захист ланцюгів живлення від перевантаження або короткого замикання.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ

Арк.

30

SF2 — автоматичний вимикач для обігрівача EK1, лампи освітлення EL1 та розетки XS1. Цей вимикач дозволяє відокремити допоміжні системи (освітлення та обігрів) у разі аварії або технічного обслуговування.

UP1, UP2 — блоки живлення, що перетворюють вхідну напругу 220 В у стабілізовану вихідну напругу +24 В. Ці блоки є основним джерелом енергії для низьковольтних компонентів шафи.

UF1, UF2 — оптичні конвертори, які слугують для передачі інформації на вищі рівні системи моніторингу (СМЕВ), використовуючи оптоволоконні канали зв'язку для забезпечення високої швидкості та надійності обміну даними.

KK1 — термореле, яке контролює температуру всередині шафи, забезпечуючи увімкнення або вимкнення обігріву у разі відхилення температури від заданого діапазону.

XF1 — оптичний бокс, у якому розміщуються оптичні з'єднання для організації зручного та безпечного з'єднання волокон.

AУ1 — модуль для збору аналогових телевимірювань, зокрема струму, що протікає через вимикач. Це дає змогу відстежувати навантаження та оперативно реагувати на його зміни.

01–05 — клеми, призначені для підключення зовнішніх пристроїв та передачі сигналів між шафою та іншими частинами системи.

ТА1–ТА12 — трансформатори струму, які реєструють струм у соленоїдах (електромагнітах), що приводять у дію механізм вимикача. Це важливо для контролю правильності його спрацювання.

RS1–RS3 — шунти, за допомогою яких здійснюється вимірювання струму, споживаного приводами вимикача. Це дозволяє оцінити навантаження та виявити відхилення в роботі механізму.

U2–U4 — модулі, які відповідають за збір аналогових телевимірювань і дискретних сигналів (наприклад, положення вимикача, спрацювання захистів) та передачу цієї інформації на вищий рівень керування.

U1 — каркас, у якому встановлено низку функціональних модулів:

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CMU02 — центральний процесор, що обробляє всі вхідні сигнали і передає результати аналізу до АСУ (автоматизованої системи управління).

23BE23 — плата для прийому і передавання дискретних сигналів (наприклад, сигнали "ввімкнено/вимкнено").

23AE23 — плата збору аналогових вимірювальних сигналів (напруги, струми).

23BA20 — плата керування, яка взаємодіє з іншими модулями, здійснюючи логіку функціонування системи.

Конструкція каркасу U1 передбачає встановлення модулів справа наліво. CMU02 завжди має бути змонтований у позицію S01 — це забезпечує чітке структурування даних та безперебійне функціонування процесора.

XS1 — розетка на 220 В, яка слугує для обслуговування або підключення додаткового обладнання.

EK1, EK2 — електричні обігрівачі потужністю 150 Вт кожен, які підтримують стабільну температуру всередині шафи, захищаючи електроніку від впливу низьких температур.

KL1 — реле, що контролює наявність живлення в шафі. У разі його зникнення подає сигнал на систему моніторингу.

KL2 — реле, яке стежить за живленням обігріву. Якщо живлення на обігрівачах відсутнє, система отримує сигнал про порушення температурного режиму.

EL1 — внутрішня освітлювальна лампа потужністю 8 Вт на 220 В, яка забезпечує зручне технічне обслуговування шафи в умовах недостатнього освітлення.

Загалом, уся ця система — складний, інтегрований механізм, який підтримує безперебійну роботу вимикача, дає змогу вчасно виявляти потенційні несправності та забезпечує передавання критичних параметрів на вищі рівні керування енергосистемою. Це надважливий елемент сучасної автоматизованої інфраструктури, де точність, стабільність і надійність — ключові чинники.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

### 3.3. Дослідження та підбір обладнання для реалізації проєкту

Суть проєкту полягає у розробці бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ. Даний проєкт реалізовано на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнська».

Завдання полягає в тому щоб замінити передачу даних з інформаційно-діагностичних систем та систем моніторингу на сервер через оптоволокно на бездротовий спосіб передачі.

У межах підстанції високовольтних ліній можливо ефективно використовувати систему Starlink для організації бездротового зв'язку, але для стабільної роботи слід враховувати низку технічних нюансів. Насамперед необхідно забезпечити антени вільний доступ до неба, адже будь-які перешкоди можуть знизити якість супутникового сигналу. Хоча поблизу високовольтних ліній можуть виникати електромагнітні поля, у більшості випадків вони не мають значного впливу на роботу обладнання, особливо якщо правильно обрати місце для розміщення терміналу. Саме тому антену доцільно встановлювати на безпечній відстані від джерел перешкод, дотримуючись вимог електробезпеки.

Живлення відіграє ключову роль — термінал Starlink потребує стабільного джерела електроенергії, а отже, на підстанції має бути забезпечено резервне живлення, зокрема через джерела безперебійного живлення або альтернативні рішення, як-от сонячні панелі чи генератори. Для передавання даних можна застосовувати мініатюрні комп'ютери, зокрема Raspberry Pi або Intel NUC, які збирають показники з сенсорів і передають їх через мережу Starlink за допомогою Ethernet або Wi-Fi.

Raspberry Pi та Intel NUC — це два компактні обчислювальні пристрої, які широко використовуються для реалізації різноманітних систем моніторингу, зокрема в енергетичній сфері. Попри схожість за призначенням, між ними існують суттєві відмінності, що безпосередньо впливають на вибір пристрою залежно від умов експлуатації та вимог до системи.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Raspberry Pi (рисунок 3.3) малопотужний, але енергоощадний одноплатний комп'ютер, який чудово підходить для виконання базових завдань збору й передавання даних. Його перевагою є низьке енергоспоживання, компактність, широке ком'юніті розробників та велика кількість периферійних модулів, які легко інтегруються через GPIO-інтерфейси. Завдяки цьому Raspberry Pi є ідеальним рішенням для проєктів, де важливо зберігати енергетичну автономність, зокрема при живленні від сонячних панелей або при використанні в польових умовах. Утім, його обчислювальна потужність обмежена, тож у випадках, коли необхідна паралельна обробка великого обсягу даних чи виконання складних алгоритмів, можливості Raspberry Pi можуть бути недостатніми [17].

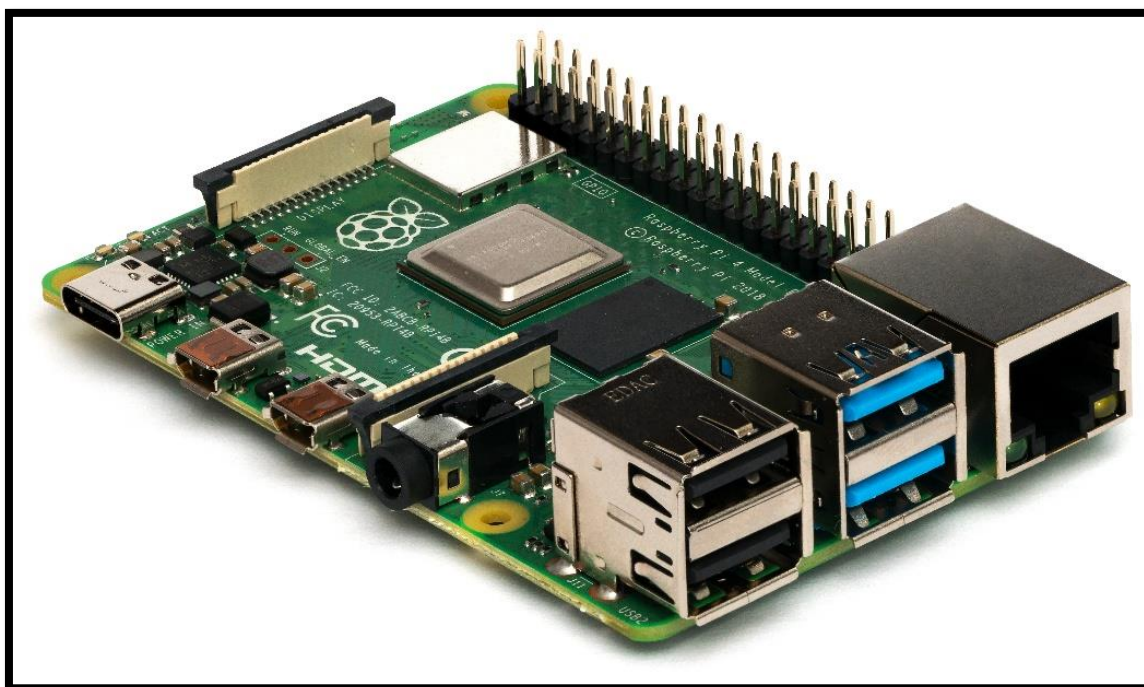


Рисунок 3.3 – Raspberry Pi

Intel NUC (рисунок 3.4) , натомість, повноцінна мініатюрна комп'ютерна станція, яка за технічними характеристиками майже не поступається класичним десктопам. Вона підтримує роботу з операційними системами корпоративного рівня, має більший обсяг оперативної пам'яті та продуктивніший процесор. Це дозволяє в реальному часі аналізувати потоки даних, обробляти візуальну інформацію, використовувати складне програмне забезпечення моніторингу без

						КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

ризик перевантаження системи. Водночас такі можливості потребують більшого енергоспоживання та ефективної системи охолодження, а отже — стабільного та потужного джерела живлення [18].



Рисунок 3.4 – Intel NUC

У контексті побудови бездротової системи передавання даних для моніторингу енергетичних об'єктів вибір між цими двома платформами залежить від конкретного сценарію використання. Якщо система розгортається в умовах з обмеженим доступом до енергії, має просту логіку обробки сигналів і потребує лише передавання базових параметрів — Raspberry Pi буде оптимальним вибором завдяки своїй економності й гнучкості. Якщо ж ідеться про центр збору й аналітики даних, що оперує складною інфраструктурою й потребує високої швидкодії та стабільності, перевагу слід надавати Intel NUC, який краще витримує навантаження та забезпечує резерв потужності для масштабування системи в майбутньому.

Саме тому Intel NUC чудово підходить для реалізації — його цілком можливо запрограмувати на автономну безперервну роботу, без потреби в

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

постійному втручанні людини. Завдяки своїм апаратним можливостям і підтримці повноцінних операційних систем, він може функціонувати як надійний вузол збору й передачі даних протягом тривалого часу.

Для реалізації безперервної системи моніторингу елегазових вимикачів на підстанції найкраще підійде Intel NUC 13 Pro Kit (наприклад, модель RNUC13ANKI30002). Цей пристрій має шестиядерний процесор Intel Core i3-1315U з частотою до 4.5 ГГц, підтримує Wi-Fi, Bluetooth, має достатню кількість портів (USB, HDMI, LAN) і при цьому залишається енергоефективним та компактним. Він забезпечує баланс між продуктивністю та споживанням енергії, що критично важливо для тривалої автономної роботи в умовах підстанції.

Intel NUC можна повноцінно запрограмувати мовою C++. Оскільки цей пристрій підтримує повноцінні операційні системи користувач може встановити будь-яке середовище розробки. Щоб реалізувати безперервну передачу даних, можна написати програму на C++, яка працює в нескінченному циклі, опитує сенсори, обробляє дані та надсилає їх на сервер.

У випадку, якщо Starlink є єдиним каналом зв'язку, рекомендовано впроваджувати дублюючий канал, як-от LTE або 5G-зв'язок, що зможе підтримати зв'язок у разі відмови основної системи. Водночас важливо оптимізувати мережевий трафік — наприклад, за допомогою QoS — щоб критично важливі для моніторингу дані мали пріоритет. У комплексі ці технічні рішення дозволяють створити надійну, автономну систему збору та передавання інформації для моніторингу енергетичних установ, зокрема елегазових вимикачів, яка відповідає вимогам як сучасної автоматизації, так і кіберзахисту.

### **3.4. Протоколи зв'язку, серверна інфраструктура та кібербезпека**

У сучасних автоматизованих системах збору та обробки даних, особливо тих, що стосуються промислової автоматики та енергетичної інфраструктури, надзвичайно важливо забезпечити стабільний, швидкий і захищений зв'язок між пристроями нижнього рівня та центральними серверами обробки. У таких умовах особливо зручними та ефективними виявляються протоколи MQTT та

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

HTTPS, які не лише забезпечують передачу даних, а й адаптовані до вимог надійності, безпеки та масштабованості.

MQTT — це легковаговий телеметричний протокол, спеціально розроблений для передавання невеликих обсягів даних з високою частотою в реальному часі. Його основна перевага — мінімальні затримки в роботі, висока стійкість до втрати з'єднання та здатність адаптуватись до нестабільного мережевого середовища. Завдяки тому, що він використовує модель «публікатор-підписник», дані передаються миттєво лише тим системам, які на них підписані, без зайвого навантаження на канал зв'язку. У промисловості MQTT особливо цінується за простоту впровадження в системах із численними сенсорами або контролерами, де критично важливо отримувати та обробляти інформацію без затримки.

На відміну від MQTT, протокол HTTPS орієнтований на безпеку — це розширення звичного протоколу HTTP, яке включає шифрування даних за допомогою TLS. Він дозволяє створити надійний тунель між клієнтом і сервером, через який передається конфіденційна або критична для роботи системи інформація. У випадку з моніторингом інфраструктури, HTTPS використовується для забезпечення безпечного обміну інформацією з веб-інтерфейсами, доступу до панелей управління або взаємодії з хмарними сервісами. Таким чином, ці два протоколи доповнюють один одного: MQTT забезпечує швидкість і мінімальне навантаження, тоді як HTTPS — конфіденційність і цілісність даних.

Проте для того, щоб такий обмін даними був не лише можливим, але й ефективним, потрібна серверна інфраструктура, здатна в режимі реального часу обробляти запити від великої кількості пристроїв. Таку інфраструктуру часто будують із поєднанням локальних серверів і хмарних платформ. Локальні сервери забезпечують мінімальні затримки при взаємодії з обладнанням, тоді як хмара надає гнучкість, масштабованість і додаткові ресурси для зберігання й аналізу великих масивів даних.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Для організації ефективної інфраструктури збору й контролю інформації використовують спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє відстежувати роботу всієї мережі пристроїв у реальному часі, миттєво фіксувати порушення в роботі системи та запобігати виникненню аварійних ситуацій. Серед найбільш популярних рішень — Zabbix, Nagios і PRTG. Кожен із цих інструментів має свої переваги: Zabbix забезпечує масштабованість і розширені можливості візуалізації, Nagios відомий гнучкістю в налаштуванні перевірок, а PRTG — зручністю у впровадженні й широким набором шаблонів для типових задач моніторингу.

Ще одним наріжним каменем побудови стабільної інформаційної системи є забезпечення кібербезпеки. Адже будь-який витік або перехоплення даних у критичній інфраструктурі може призвести до серйозних наслідків. Тому сучасні системи обов'язково використовують VPN-тунелі, які створюють захищене середовище для обміну інформацією між пристроями. Додатково впроваджується шифрування трафіку, що унеможливорює його зчитування злоумисниками навіть у разі перехоплення. Надійна аутентифікація користувачів, складні паролі, а також міжмережеві екрани (файрволи) захищають систему від несанкціонованого доступу та злоумисних атак ззовні.

У сукупності всі ці елементи — протоколи зв'язку, серверне середовище, моніторингове програмне забезпечення і засоби захисту — формують єдиний високонадійний контур передачі, обробки й захисту даних. Такий підхід дозволяє створити не просто мережу пристроїв, а інтелектуальну систему, здатну самостійно виявляти загрози, реагувати на нештатні ситуації та підтримувати безперервну і безпечну роботу промислових об'єктів.

### **3.5. Розробка структурної схеми та програмного забезпечення**

Для реалізації проєкту було розроблено структурну схему бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнська» (рисунок 3.5).

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

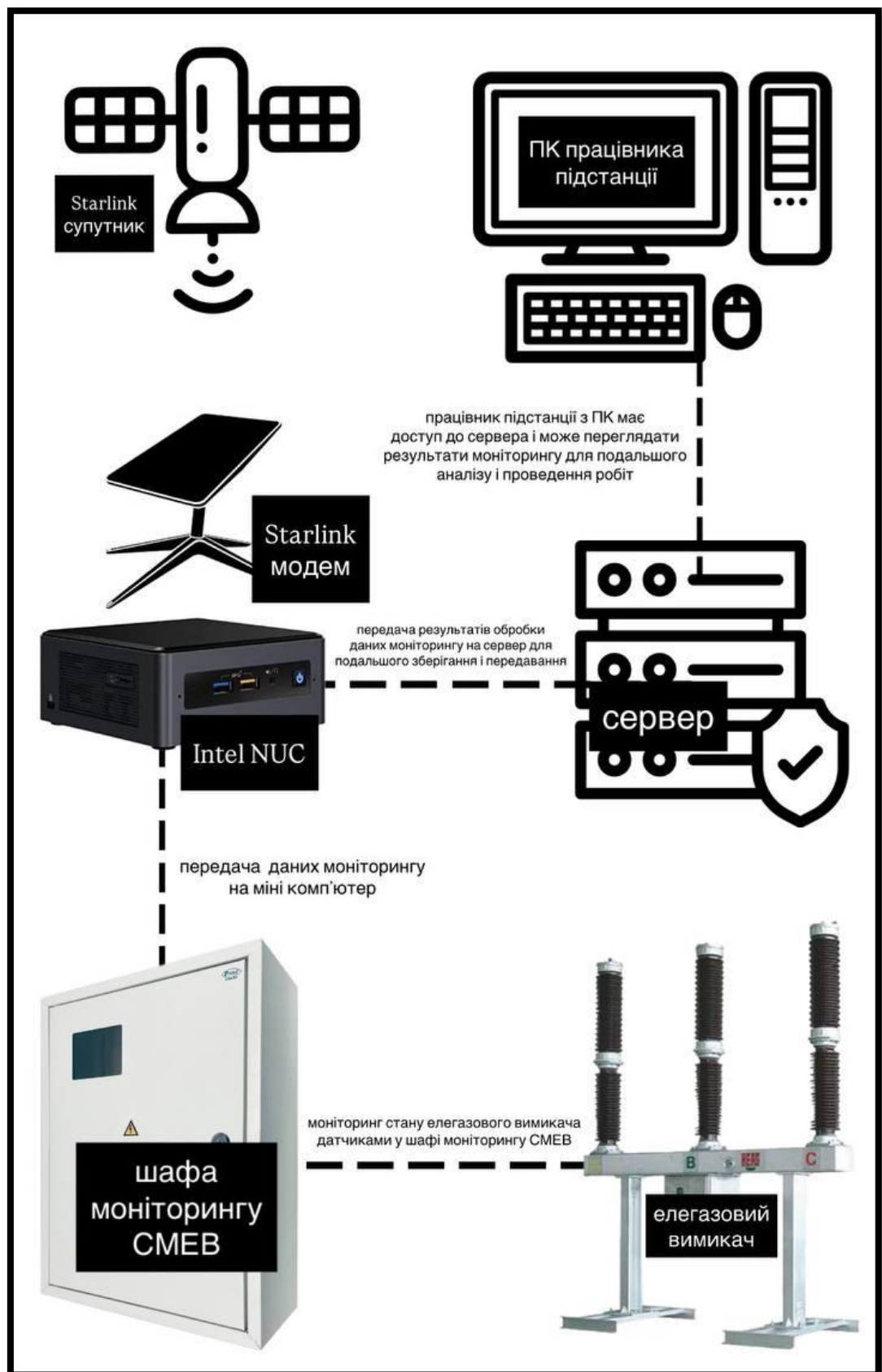


Рисунок 3.5 - Структурну схему бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнська»

						КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			39

У сучасних системах моніторингу стану високовольтного обладнання особливе значення має детальний і безперервний контроль роботи елегазових вимикачів, адже від їхньої справності залежить надійність та безпека експлуатації всієї електроенергетичної інфраструктури. У межах побудованої архітектури СМЕВ (системи моніторингу елегазових вимикачів) реалізована складна схема збору та обробки діагностичних даних, яка охоплює численні критично важливі параметри.

На першому етапі вся інформація фіксується безпосередньо у спеціалізованій шафі моніторингу, де встановлені датчики й контролери, здатні здійснювати постійний збір даних. Тут контролюється положення головного механізму вимикача, що дозволяє точно знати — чи він перебуває у відкритому, закритому чи проміжному стані. Паралельно відстежується стан ковзного контакту, адже його зношення може призвести до погіршення якості з'єднання та виникнення дуг при комутації.

Одним із ключових показників для безпеки є тиск елегазу всередині вимикача. Зниження тиску цієї газової суміші може призвести до зменшення її ізоляційних властивостей, що вкрай небезпечно в умовах високої напруги. Крім того, система контролює готовність приводу — електромеханізму, який запускає сам процес комутації, а також вимірює час, необхідний для досягнення стану готовності, що є індикатором технічного стану механізму.

Окреме місце займає аналіз стану газової суміші SF<sub>6</sub> та CH<sub>4</sub>. Система вимірює як її температуру, так і густину, а також проводить трендовий аналіз змін, щоб заздалегідь виявити тенденції, які можуть свідчити про деградацію середовища. Також замірюється температура у самій шафі моніторингу, у шафі приводу та зовнішньому середовищі — що дозволяє оцінити тепловий режим функціонування всієї установки.

Система фіксує кількість комутацій, які відбуваються як у штатному, так і в аварійному режимі. Такі дані потрібні для оцінки ресурсу вимикача. Аналізується струм вимкнення, що дозволяє оцінити навантаження в момент

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комутації, а також швидкість переміщення контактів, яка є важливим індикатором зношення механіки. Серед додаткових параметрів — пусковий струм електродвигуна заряду пружини та час, за який цей двигун виконує свою функцію, що вказує на стан привідної частини.

Не менш важливим є контроль роботи електромагнітних котушок умикання/вимикання (ВМК/ВИМК), адже ці елементи безпосередньо керують процесом комутації. Також система перевіряє наявність оперативної напруги — тобто забезпечення живленням, без якого неможлива нормальна робота пристроїв.

Усі ці дані в режимі реального часу передаються на обробку до компактного й потужного мінікомп'ютера Intel NUC 13 Pro Kit, на якому встановлено операційну систему Windows і розроблене програмне середовище Visual Studio Code. Тут, за допомогою створеного мовою C++ програмного коду, здійснюється аналіз, обробка та формування попереджень про можливі збої. Обчислення виконуються щосекунди, що дає змогу виявити навіть найменші відхилення від нормативних параметрів.

У разі виявлення таких відхилень система негайно передає попереджувальне повідомлення на центральний сервер. Крім цього, всі отримані дані записуються на сервер для подальшого аналізу або архівації. Це дозволяє оперативному персоналу підстанції здійснювати дистанційний контроль стану вимикача, переглядаючи інформацію через ПК, підключений до сервера.

Зв'язок мінікомп'ютера із сервером організовано через мережу Starlink, що дозволяє гарантувати стабільну передачу даних навіть у віддалених районах, де традиційний канал зв'язку може бути відсутнім або нестабільним. А ось метод підключення самих ПК працівників до сервера адміністрація підстанції може обирати на власний розсуд, адаптуючи його під специфіку локальної мережі або безпекові вимоги.

Уся ця система, від фіксації параметрів до їх обробки та передавання, створює надійну цифрову оболонку навколо елегазового вимикача, дозволяючи

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



```
[INFO] Час: 2025-06-19 13:20:10
[ALARM] Виявлено несправність котушки.
[ALARM] Відсутня оперативна напруга.
```

Рисунок 3.8 – Попередження про несправність котушки

```
[INFO] Час: 2025-06-19 13:20:11
[ALARM] Пусковий струм двигуна перевищено: 85.79 А
[ALARM] Відсутня оперативна напруга.
```

Рисунок 3.9 – Попередження про перевищення струму

```
[INFO] Час: 2025-06-19 13:20:12
[ALARM] Тиск SF6 занадто низький: 0.26 МПа
[ALARM] Виявлено несправність котушки.
```

Рисунок 3.10 – Попередження про занадто низький тиск

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У результат виконання бакалаврської роботи отримано знання про інформаційно-діагностичні комплекти та системи моніторингу енергетичних установ, зокрема про програмне забезпечення ПС 750кВ «Західноукраїнська».

В ході розробки бездротової системи передачі даних для систем моніторингу енергетичних установ було досліджено структуру і принципи роботи системи моніторингу елегазових вимикачів та шафи моніторингу СМЄВ і підібрано обладнання, протоколи зв'язку, серверні інфраструктури та засоби кібербезпеки для реалізації проєкту.

Розроблено бездротову систему передачі даних на базі системи моніторингу елегазових вимикачів ПС 750кВ «Західноукраїнська». Складено структурну схему і написано код програми на мові С++ для збору, аналізу і передачі даних про стан елегазового вимикача.

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ІДК «Регіна». Інформація про компанію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.regina.org.ua/Pages/IDKRegina.html>
2. ІДК «Регіна». Система моніторингу перехідних режимів WAMS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.regina.org.ua/Pages/WAMS.html>
3. ІДК «Регіна». Автоматизована система управління підстанцією [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.regina.org.ua/Pages/SCADA.html>
4. ІДК «Регіна». Система моніторингу елегазових вимикачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.regina.org.ua/Pages/CBMonitoring.html>
5. Rappaport, T. S. Wireless Communications: Principles and Practice. 2nd ed. – Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2002. – 736 p.
6. IEEE Std 802.11-1997. Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – New York : IEEE, 1997.
7. Bluetooth Special Interest Group. Bluetooth Core Specification v5.4 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.bluetooth.com/specifications>
8. Elbert, B. R. Introduction to Satellite Communication. 3rd ed. – Boston : Artech House, 2008. – 372 p.
9. International Telecommunication Union. Handbook on Satellite Communications [Електронний ресурс]. – Женева : ITU, 2022. – Режим доступу: <https://www.itu.int/en/publications/ITU-R/pages/default.aspx>

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

10. European Space Agency. Telecommunications and Integrated Applications (ARTES) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://www.esa.int/Applications/Telecommunications\\_Integrated\\_Applications](https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications)

11. OneWeb. Глобальна супутникова система Інтернету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oneweb.world>

12. Starlink. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.starlink.com/ua/business>

13. Starlink: історія успіху // Expedicia.org : сайт. – 2024. – 14 березня [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://expedicia.org/istoriya-uspikhu-starlink>

14. Starlink — революція у світі супутникового інтернету // Karalevna : стаття. – 2023. – 11 липня [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://karalevna.com.ua/articles/starlink-revoluciya-u-sviti-suputnikovogo-internetu>

15. Starlink: принцип роботи // Astroport : інформаційний портал. – 2025. – 24 березня [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://astroport.com.ua/ua/2025/03/24/starlink>

16. Застосування супутникового зв'язку Starlink: курс військового користувача. Версія 2.0b [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://www.nvkarta.com/project/library/uploads/military/communication/\(uk\)\\_zastosuvannya\\_suputnykovoho\\_zvyazku\\_starlink,\\_ver2.0b.pdf](https://www.nvkarta.com/project/library/uploads/military/communication/(uk)_zastosuvannya_suputnykovoho_zvyazku_starlink,_ver2.0b.pdf)

17. Кустовський, О. Л., Петрик, В. Ф. Бездротова передача даних у неруйнівному контролі [Електронний ресурс] / О. Л. Кустовський, В. Ф. Петрик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – Режим доступу:

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20823/1/bezdrotova%20peredacha.pdf>

18. Зуєв, А. О., Караман, Д. Г. Система моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури з використанням БПЛА [Електронний ресурс] // Сучасні напрямки забезпечення надійності електроенергетичного обладнання : зб. наук. праць. – 2022. – № 1. – С. 26–34. – Режим доступу: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/1270/1070/2254>ІДК

					КРБ.СІ-05.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТОК А

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
#include <thread>
#include <chrono>
#include <ctime>
#include <random>

const double SF6_PRESSURE_THRESHOLD = 0.3;
const double MOTOR_CURRENT_THRESHOLD = 80.0;

bool connect_to_server(const std::string& ip, int port) {
    std::cout << "[INFO] Підключення до сервера за адресою "
    << ip << ":" << port << " ...\n";

    std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(1000));
    std::cout << "[INFO] З'єднання успішно встановлено.\n";
    return true;
}

std::random_device rd;
std::mt19937 gen(rd());
std::uniform_real_distribution<> pressure_dist(0.2, 0.6);
std::uniform_real_distribution<> motor_current_dist(30.0,
90.0);
std::uniform_int_distribution<> bool_dist(0, 1);
std::uniform_real_distribution<> temp_dist(-10.0, 40.0);
std::uniform_real_distribution<> time_dist(0.3, 1.2);
std::uniform_real_distribution<> speed_dist(0.5, 2.5);
std::uniform_real_distribution<> current_break_dist(0, 2000);
std::uniform_real_distribution<> gas_density_dist(5.8, 6.3);
std::uniform_real_distribution<> ch4_density_dist(0.5, 1.6);

std::string get_current_time() {
    std::time_t now = std::time(nullptr);
    char buffer[64];
    std::strftime(buffer, sizeof(buffer), "%Y-%m-%d %H:%M:%S",
std::localtime(&now));
    return std::string(buffer);
}

struct SwitchData {
    std::string timestamp;
    std::string position;
    bool sliding_contact_ok;
    double sf6_pressure;
```

```

bool drive_ready;
double drive_ready_time;
double gas_density;
double gas_temp;
double ch4_density;
double ch4_temp;
double temp_monitor;
double temp_drive;
double temp_env;
int switch_ops_normal;
int switch_ops_fault;
double break_current;
double contact_speed;
double motor_current_peak;
double motor_time;
std::string coil_status;
std::string control_voltage;
};

SwitchData get_data() {
    SwitchData data;
    data.timestamp = get_current_time();
    data.position = bool_dist(gen) ? "ON" : "OFF";
    data.sliding_contact_ok = bool_dist(gen);
    data.sf6_pressure = pressure_dist(gen);
    data.drive_ready = bool_dist(gen);
    data.drive_ready_time = time_dist(gen);
    data.gas_density = gas_density_dist(gen);
    data.gas_temp = temp_dist(gen);
    data.ch4_density = ch4_density_dist(gen);
    data.ch4_temp = temp_dist(gen);
    data.temp_monitor = temp_dist(gen);
    data.temp_drive = temp_dist(gen);
    data.temp_env = temp_dist(gen);
    data.switch_ops_normal = rand() % 5000 + 1000;
    data.switch_ops_fault = rand() % 6;
    data.break_current = current_break_dist(gen);
    data.contact_speed = speed_dist(gen);
    data.motor_current_peak = motor_current_dist(gen);
    data.motor_time = time_dist(gen);
    data.coil_status = bool_dist(gen) ? "OK" : "FAIL";
    data.control_voltage = bool_dist(gen) ? "PRESENT" :
"MISSED";
    return data;
}

void check_alarms(const SwitchData& d) {
    if (d.sf6_pressure < SF6_PRESSURE_THRESHOLD) {

```

```

        std::cout << "[ALARM] Тиск SF6 занадто низький: " <<
d.sf6_pressure << " МПа\n";
    }
    if (d.motor_current_peak > MOTOR_CURRENT_THRESHOLD) {
        std::cout << "[ALARM] Пусковий струм двигуна
перевищено: " << d.motor_current_peak << " А\n";
    }
    if (d.coil_status == "FAIL") {
        std::cout << "[ALARM] Виявлено несправність
катушки.\n";
    }
    if (d.control_voltage == "MISSING") {
        std::cout << "[ALARM] Відсутня оперативна напруга.\n";
    }
}

void log_data(const SwitchData& d, const std::string& filename)
{
    std::ofstream log(filename, std::ios::app);
    log << d.timestamp << " | "
        << "Положення: " << d.position
        << ", SF6: " << d.sf6_pressure << " МПа"
        << ", CH4: " << d.ch4_density << " кг/м³"
        << ", Струм двигуна: " << d.motor_current_peak << " А"
        << ", Катушка: " << d.coil_status
        << ", Напруга: " << d.control_voltage
        << "\n";
    log.close();
}

int main() {
    const std::string log_file = "switch_monitor.log";
    const std::string server_ip = "127.0.0.1";
    const int server_port = 5173;

    if (!connect_to_local_server(server_ip, server_port)) {
        std::cerr << "[ERROR] Помилка з'єднання з
пристроєм.\n";
        return 1;
    }

    std::cout << "[INFO] Система моніторингу запущена.
Оновлення кожну секунду\n";

    while (true) {
        SwitchData data = generate_data();
        std::cout << "\n[INFO] Час: " << data.timestamp <<
"\n";
    }
}

```

```
        check_alarms(data);
        log_data(data, log_file);
        std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(1));
    }

    return 0;
}
```

## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: Розроблення бездротової системи передачі даних для інформаційно-діагностувальних систем енергетичних установ.

Обсяг пояснювальної записки: 52 аркуші.

### Перелік графічного матеріалу:

БР.СІ – 05.00.00.001 Структурна схема проєкту (аркушів – 1).

БР.СІ - 05.00.00.002 Структурна схема системи моніторингу елегазових вимикачів (аркушів – 1).

БР.СІ - 05.00.00.003 Розміщення обладнання в шафі моніторингу СМЄВ (аркушів – 1).

Дата закінчення

бакалаврської роботи

15 червня 2025 р.

Студент

\_\_\_\_\_