

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
Автоматизована система обліку електроенергії на основі PLC-зв'язку
(тема)

Виконав:

здобувач 2025 року навчання,
групи СКСм-24-1

Райцев К. І.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна
інженерія

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані
комп'ютерні системи

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Філіппенко І. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)

Чумаченко С.В.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки


Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва)

Тип програми освітньо–професійна
(освітньо–професійна або освітньо–наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри 
(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Райцеву Костянтину Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система обліку електроенергії на основі PLC-зв'язку

затверджена наказом університету від 07 11 2025 р. № 1012 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 31 12 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Лічильники електроенергії типу NIK з підтримкою PLC-зв'язку

Концентратор даних

Модулі PLC-комунікації

Програмне забезпечення АРМ контролера обліку

Середовище розробки

LAN-інтерфейс або UART для обміну з сервером АСКОЕ

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Провести аналіз сучасних автоматизованих систем

Які особливості мають сучасні електrolічильники та які протоколи

Як реалізується PLC-зв'язок у системах обліку

Які переваги використання ARM-платформ

Яким чином здійснюється зчитування, обробка та аналіз даних

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
15 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2025 – 02.09.2025	
2	Аналіз предметної області, нормативної бази	03.09.2025 – 06.09.2025	
3	Дослідження технологій PLC-зв'язку	07.09.2025 – 10.09.2025	
4	Формування набору вхідних даних	11.09.2025 – 14.09.2025	
5	Аналіз параметрів роботи лічильників	15.09.2025 – 18.09.2025	
6	Дослідження коректності підключення	19.09.2025 – 25.09.2025	
7	Оцінювання небалансів	26.09.2025 – 02.10.2025	
8	Формування висновків дослідження	03.10.2025 – 10.10.2025	
9	Оформлення пояснювальної записки	11.10.2025 – 21.11.2025	
10	Оформлення графічного матеріалу	22.11.2025 – 4.12.2025	
11	Перевірка виконаного проекту керівником	5.12.2025 – 12.12.2025	
12	Захист роботи	22.12.2025	

Дата видачі завдання 01 вересня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Філіппенко І. В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 73 сторінки, 2 таблиці, 31 рисунок та 9 джерел за переліком посилань.

АСКОЕ, PLC, ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, СИСТЕМА ОБЛІКУ, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ, ЛІЧИЛЬНИК, КОНЦЕНТРАТОР, СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, СМАРТ ГРІД, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження роботи автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії на основі PLC-зв'язку та аналіз параметрів вузлів обліку для виявлення аномалій і відхилень у процесах передавання та формування енергетичних даних. У ході виконання роботи було проаналізовано принципи функціонування систем АСКОЕ та їх роль у забезпеченні точності комерційного обліку, досліджено особливості технології PLC та фактори, що впливають на якість передачі даних у низьковольтних електричних мережах. Отримано та опрацьовано реальні показання лічильників і службові дані з АРМ контролера, включаючи векторні діаграми, добові графіки навантаження, журнали подій та інформацію про роботу каналу PLC.

На основі цих даних виконано оцінювання поведінкових характеристик системи, встановлено типові сценарії відхилень, визначено наявність технічних та комерційних небалансів, а також проаналізовано коректність підключення трансформаторів струму та напруги. Дослідження дозволило сформулювати висновки щодо достовірності та стабільності обліку, а також визначити індикатори, за якими можливо своєчасно виявляти порушення та аномальні режими роботи у системах комерційного обліку електроенергії.

ABSTRACT

The explanatory note contains 73 pages, 2 tables, 31 figures, and 9 sources in the reference list.

AMR, PLC, ELECTRICITY, METERING SYSTEM, ENERGY MANAGEMENT, METER, CONCENTRATOR, DATA TRANSMISSION SYSTEM, COMMUNICATION CHANNEL, SMART GRID, AUTOMATION, SOFTWARE MODULE, ENERGY BALANCE.

The purpose of the qualification work is to study the operation of an automated commercial electricity metering system based on PLC communication and analyze the parameters of metering nodes to detect anomalies and deviations in the processes of transmitting and forming energy data. During the work, the principles of operation of ASKOE systems and their role in ensuring the accuracy of commercial metering were analyzed, the features of PLC technology and factors affecting the quality of data transmission in low-voltage electrical networks were studied.

Real meter readings and service data from the controller's workstation were received and processed, including vector diagrams, daily load graphs, event logs and information about the operation of the PLC channel. Based on these data, an assessment of the behavioral characteristics of the system was performed, typical deviation scenarios were established, the presence of technical and commercial imbalances was determined, and the correctness of the connection of current and voltage transformers was analyzed. The study allowed us to draw conclusions regarding the reliability and stability of accounting, as well as to identify indicators by which it is possible to timely detect violations and abnormal operating modes in commercial electricity accounting systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	11
1.1 Проблематика обліку електроенергії в сучасних мережах.....	11
1.2 Призначення та основні завдання автоматизованих систем обліку ...	14
1.3 Існуючі рішення та технології передачі даних.	16
1.4 Мета і завдання роботи.....	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ PLC-ЗВ'ЯЗКУ	20
2.1 Принцип роботи PLC-технології.....	20
2.2 Стандарти та протоколи PLC.....	23
2.3 Обмеження і проблеми PLC-комунікації	24
2.4 Переваги використання PLC в системах обліку	26
3 АЛГОРИТМ ТА АПАРАТНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ	27
3.1 Апаратна архітектура	27
3.1.1 Основний алгоритм модулів.....	27
3.1.2 Додаткові алгоритми модулів	30
3.2 Читання даних з лічильника за допомогою MODBUS.....	32
3.2.1 Підключення пристроїв та налаштування.....	33
3.2.2 Налаштування програмного забезпечення.....	33
3.2.3 Перевірка з'єднання та моніторинг	35
3.2.4 Обробка даних на ARM за допомогою мови програмування C ..	35
3.3 Аналіз даних	39

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБЛІКУ	40
4.1 Аналіз інформаційних потоків та стабільності збору даних	40
4.2 Збір вузла обліку електричної енергії	41
4.2.1 Лічильник НІК 2308	41
4.2.2 Трансформатор струму Т-0,66А	44
4.2.3 Клемна колодка НІК КР-25А	45
4.3 Збір схеми обліку електричної енергії	47
4.4 Автоматизоване робоче місце	51
4.4.1 Структура збереження та обробки даних	52
4.4.2 Формування пакету для передачі на сервер	53
4.4.3 Обробка даних на сервері	54
5 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ	55
5.1 Використання АРМ	55
5.2 Аналіз векторних діаграм фазних напруг і струмів	56
5.3 Аналіз добових графіків роботи лічильників	59
5.4 Аналіз таблиць показань та споживання	62
5.5 Виявлення аномалій та небалансів за даними PLC	64
5.6 Інтерпретація результатів	67
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	73
ДОДАТОК А	74
ДОДАТОК Б	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСКОЕ – Автоматизована система комерційного обліку електроенергії;
PLC – Power Line Communication, технологія передачі даних по силових електричних мережах;

PRIME – Powerline Intelligent Metering Evolution, стандарт PLC зв'язку;
G3-PLC – Global G3 Power Line Communication, міжнародний стандарт PLC-зв'язку;

EIC – Energy Identification Code, енергетичний ідентифікаційний код точки обліку;

АРМ – Автоматизоване робоче місце, програмний комплекс для контролера або оператора АСКОЕ;

КТП – Комплектна трансформаторна підстанція;

U – фазні напруги;

I – фазні струми;

Журнал подій – реєстр аварій, знеструмлень, змін стану лічильника;

Навантажувальна крива – графік зміни потужності або енергії в часі;

Знеструмлення – повна відсутність напруги на вводі лічильника;

Концентратор – пристрій збору PLC-даних від групи лічильників;

Тарифна зона – період доби, у межах якого діє певний тариф;

Векторна діаграма – графічне подання фазних величин напруги та струму;

Завади PLC – електромагнітні спотворення, що впливають на передачу даних;

Технічні втрати – втрати енергії, зумовлені фізичними властивостями мережі.

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку енергетичної галузі одним із ключових напрямів є підвищення ефективності обліку та використання електроенергії. Традиційні методи зняття показів лічильників поступово втрачають актуальність через низьку оперативність, високу ймовірність помилок та значні витрати на обслуговування. У зв'язку з цим особливого значення набуває впровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії, які забезпечують безперервний дистанційний збір, обробку та аналіз даних споживання.

Одним із найефективніших способів організації зв'язку між лічильниками та центральним сервером обліку є використання технології Power Line Communication, яка передбачає передачу даних електричними мережами без потреби у додаткових комунікаційних лініях. Це дає змогу суттєво зменшити вартість впровадження системи, підвищити надійність та забезпечити моніторинг у реальному часі. Застосування PLC-зв'язку відкриває широкі можливості для побудови гнучких і масштабованих систем, здатних не лише збирати покази, а й виконувати попередню аналітику – наприклад, виявлення аномалій у споживанні, виявлення крадіжок електроенергії чи оцінку перевантаження мережі.

Актуальність теми зумовлена потребою енергетичних компаній у підвищенні точності комерційного обліку, зменшенні технологічних втрат і скороченні випадків несанкціонованого споживання електроенергії. В умовах дефіциту енергоресурсів та зростаючої ролі енергоефективності автоматизовані системи стають необхідним елементом інфраструктури сучасних електромереж.

У межах даної роботи передбачається комплексне дослідження та розробка автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії з використанням PLC-зв'язку та ARM-платформи. Планується здійснити

детальний аналіз існуючих систем АСКОЕ, оцінити їх архітектуру, функціональні можливості та способи збору, передачі та обробки даних. Особливу увагу буде приділено нормативним вимогам щодо точності та надійності комерційного обліку, а також питанням безпеки та захисту інформації у сучасних енергомережах. Дослідження включає вивчення принципів роботи та стандартів PLC-технології, зокрема PRIME та G3-PLC, що забезпечують передачу даних електричними мережами. Аналіз особливостей сигналу, завадостійкості та швидкості обміну дозволить обґрунтувати технічні вимоги до розроблюваної системи.

Окремо планується дослідити технічні характеристики лічильників електроенергії, їхні інтерфейси зв'язку та протоколи передачі даних. На основі отриманих даних буде розроблено структурну схему системи та алгоритм її роботи, що визначатиме взаємодію між лічильниками, PLC-модемами, контролерами та сервером.

Для перевірки працездатності системи планується моделювання процесу збору даних на прикладі групи споживачів, що відображатимуть різні режими споживання електроенергії протягом визначеного періоду. Результати моделювання дозволять оцінити ефективність передачі даних через PLC-канал, виявити можливі похибки та перевірити стабільність роботи системи. На завершальному етапі передбачається проведення аналітичного дослідження отриманих даних для виявлення аномалій, перевантажень мережі та потенційних випадків несанкціонованого підключення, що дозволить сформулювати висновки щодо ефективності розробленої системи та надати рекомендації для її практичного впровадження.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Проблематика обліку електроенергії в сучасних мережах

Проблематика обліку електроенергії в сучасних мережах є однією з найкритичніших інженерно-економічних задач, вирішення якої безпосередньо впливає на стійкість, ефективність та інвестиційну привабливість енергетичного сектору. Сучасні електричні мережі, що характеризуються значною протяжністю, високим рівнем зносу інфраструктури та зростаючою складністю управління навантаженням, постійно стикаються з комплексом технічних та комерційних втрат, які потребують негайного впровадження високоточних та інтелектуальних рішень.

Основна проблема зосереджена навколо величини та структури втрат. Технічні втрати, спричинені фізичними явищами, такими як опір провідників, ефект Джоуля-Ленца та втрати на перемагнічування в трансформаторах, є невід'ємною складовою процесу передачі енергії (рисунок 1.1). Однак їхній надмірний рівень, часто спричинений застарілим обладнанням, неоптимальними режимами роботи та низькою якістю електроенергії.

Ключовим чинником комерційних втрат є крадіжка електроенергії, яка здійснюється різними методами – від прямого несанкціонованого підключення до втручання у вимірювальні прилади та схеми їх підключення. Такі дії не лише спричиняють суттєві фінансові збитки для енергопостачальних компаній, але й формують загрозу для надійності мережі, провокуючи локальні перевантаження та аварійні режими. Виявлення подібних випадків у межах традиційних систем обліку є надзвичайно складним, трудомістким і часто малоефективним, що

обумовлює потребу у впровадженні автоматизованих систем моніторингу та аналізу споживання.

Представлені результати дослідження були апробовані та доповідалися на тринадцятій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації», яка відбулася 27-28 листопада 2025 року за участі Інституту систем управління МНО Азербайджанської Республіки, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харківського національного університету радіоелектроніки, Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», а також Університету технології і гуманітарних наук (м. Бельсько-Бяла, Польща).

Апробація результатів на міжнародному рівні підтверджує їх актуальність, наукову новизну та практичну значущість для подальшого розвитку систем автоматизованого комерційного обліку електроенергії та побудови сучасних Smart Grid-архітектур.



Рисунок 1.1 – Візуалізація втрат електроенергії на лінії електропередачі внаслідок ефекту Джоуля-Ленца та інших фізичних явищ

Не менш важливою є недосконалість ручного обліку, який все ще широко використовується в багатьох розподільчих компаніях. Залежність від людського фактора призводить до систематичних помилок при зніманні показників, затримки в обробці даних та, як наслідок, неточного балансування енергії (рисунок 1.2). Відсутність можливості отримувати профіль навантаження в режимі реального часу не дозволяє оперативно виявляти аномалії споживання, оптимізувати роботу мережі та ефективно планувати ресурси.



Рисунок 1.2 – Облік електроенергії

Таким чином, гостра необхідність вирішення цієї триєдиної проблеми – зменшення технічних втрат, усунення крадіжок та подолання недоліків ручного обліку – обумовлює критичну важливість переходу до автоматизованих систем обліку. Лише такі системи, що забезпечують високу точність, оперативну діагностику та дистанційне керування, можуть створити

прозоре енергетичне середовище, мінімізувати втрати та забезпечити економічну стійкість функціонування сучасних електричних мереж.

1.2 Призначення та основні завдання автоматизованих систем обліку

Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії – це стратегічний імператив для сучасних енергетичних систем, що виступає ключовим технологічним інструментом для подолання дисбалансів, втрат та неефективності, що притаманні традиційним методам обліку (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії

Призначення АСКОЕ аксіоматично детермінується необхідністю забезпечення максимальної достовірності, точності та оперативності вимірювань обсягів електричної енергії, що є критично важливим для коректного проведення комерційних розрахунків між суб'єктами енергоринку. Таким чином, основна функціональна місія системи полягає у трансформації первинних вимірювальних даних у юридично значущу комерційну інформацію.

Реалізація цього призначення досягається через виконання низки фундаментальних завдань. Першочерговим завданням є автоматизований

збір, валідація та архівування вимірювальної інформації. Система повинна забезпечувати високоточне вимірювання активної та реактивної енергії, а також потужності за заданими інтервалами часу, повністю елімінуючи вплив людського фактора та виключаючи помилки ручного введення даних. Консолідація цих даних у централізованій базі дозволяє створювати уніфікований інформаційний простір для всіх зацікавлених сторін.

Наступним критичним завданням є технологічний моніторинг та оперативне управління режимами функціонування електромережі. АСКОЕ надає можливість не просто фіксувати факт споживання, а й будувати детальні профілі навантаження в часі, що є незамінним інструментом для планування генерації, оптимізації режиму роботи мережевого обладнання та прогнозування споживання.

Особливе значення в контексті мінімізації втрат має завдання формування енергетичних балансів на всіх ієрархічних рівнях мережі: від фідера та підстанції до кінцевого споживача. Шляхом порівняння обсягів відпущеної та спожитої енергії АСКОЕ забезпечує точкову ідентифікацію зон дисбалансу, що є прямим індикатором наявності комерційних втрат, спричинених крадіжками або технічними неполадками. З цим тісно пов'язана функція виявлення несанкціонованого споживання, яка реалізується через автоматичний аналіз аномалій у профілях навантаження, фіксацію спроб несанкціонованого доступу до вимірювальних комплексів та дистанційну діагностику стану лічильників і допоміжного обладнання.

АСКОЕ виконує функцію інформаційної інтеграції та підтримки взаємодії. Система забезпечує безшовний обмін даними з зовнішніми інформаційними системами, такими як білінгові системи для формування рахунків, SCADA-системи для оперативно-диспетчерського управління та ERP-системи для корпоративного планування. Це забезпечує єдиний, узгоджений потік даних, що є передумовою для переходу до моделі Smart Grid та ефективного функціонування конкурентного енергетичного ринку.

1.3 Існуючі рішення та технології передачі даних

Забезпечення функціонування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії нерозривно пов'язане із застосуванням ефективних та надійних каналів передачі даних, оскільки саме комунікаційний рівень є ланкою, що сполучає первинні вимірювальні прилади (лічильники) з центральним сервером збору та обробки інформації. Вибір технології передачі даних визначається топологією мережі, економічною доцільністю, вимогами до швидкості, надійності та захищеності інформаційного потоку. Аналіз існуючих рішень виявляє чотири домінуючі технології, кожна з яких має специфічні переваги та обмеження у контексті розгортання АСКОЕ.

Одним із найбільш поширених рішень для організації каналів передавання даних у системах автоматизованого обліку є використання технологій мобільного зв'язку GSM, GPRS, 3G та LTE. Їхня популярність зумовлена високим рівнем доступності та сформованою інфраструктурою операторів мобільного зв'язку, яка охоплює практично всю територію України, включаючи малонаселені та віддалені регіони.

Аксіоматичною перевагою GSM-технологій у контексті енергетичного моніторингу є можливість оперативної передачі даних на великі відстані з мінімальною участю людського ресурсу. Це робить мобільний зв'язок особливо ефективним для точок обліку, розташованих поза межею щільної міської забудови, або для об'єктів, до яких відсутня можливість прокладання кабельних мереж. У таких випадках GSM-модулі виконують роль універсального інструменту комунікації, забезпечуючи отримання показань лічильників, інформації про якість електроенергії, журнали подій та сигнали тривоги у режимі, наближеному до реального часу.

Проте разом із очевидними перевагами мобільний зв'язок має і низку суттєвих обмежень. Це призводить до пропусків телеметрії, зростання кількості повторних запитів, зниження достовірності добових графіків, що в кінцевому підсумку впливає на якість енергетичного балансу.

На протилежному полюсі знаходяться провідні технології, зокрема Ethernet, що базується на оптоволоконних або мідних лініях зв'язку. Цей канал є еталонним з точки зору пропускної здатності, надійності та інформаційної безпеки, забезпечуючи практично нульовий рівень помилок (рисунок 1.4). Його використання виправдане на магістральних ділянках, для зв'язку між центральним сервером та точками концентрації даних на високовольтних та районних підстанціях. Однак, застосування Ethernet на рівні кінцевого споживача є фінансово недоцільним через екстремально високі витрати на прокладання спеціалізованої кабельної інфраструктури.

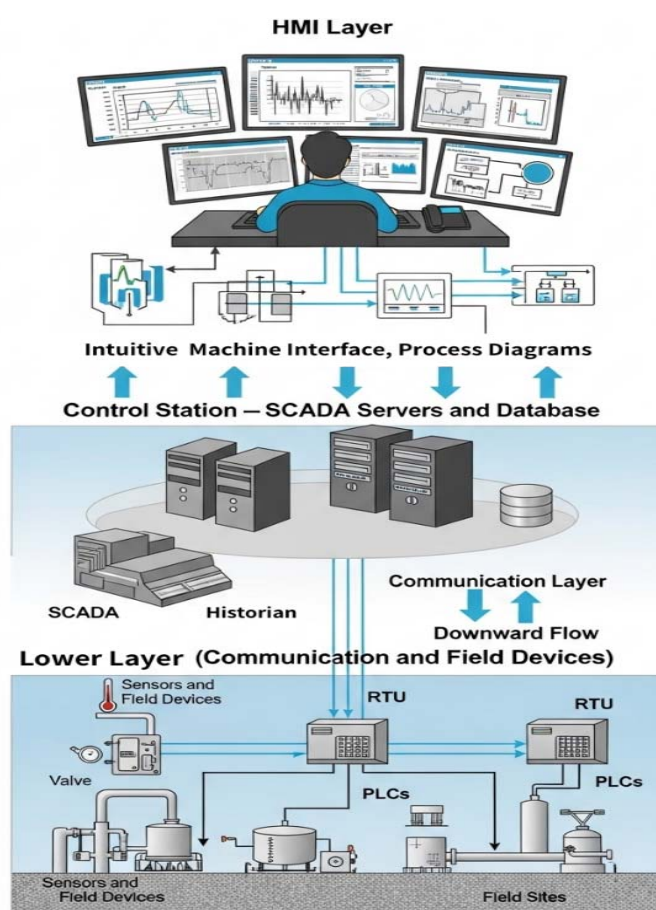


Рисунок 1.4 – Використання систем передачі даних

Іншою категорією є бездротові радіочастотні технології, що працюють у безліцензійних діапазонах частот. Їхня ключова особливість – можливість

створення самоорганізованих Mesh-мереж. У таких мережах кожен лічильник може функціонувати як ретранслятор, передаючи дані від сусідніх пристроїв до найближчого концентратора, що забезпечує високу надійність маршрутизації та ефективне покриття в умовах міської забудови. RF-рішення мають низьке енергоспоживання і відносно низьку вартість обладнання, але їхня дальність передачі обмежена.

Технологія передачі даних по силових лініях – Power Line Communication, є унікальною, оскільки вона використовує існуючі електричні дроти низької напруги 0,4 кВ, як інформаційний канал. Це усуває необхідність прокладання додаткових ліній зв'язку, забезпечуючи мінімальні капітальні витрати на інфраструктуру «останньої милі». Однак, PLC є найбільш технологічно складною та вразливою технологією: сигнал схильний до значного загасання, чутливий до високочастотних шумів і перешкод від комутаційних процесів у мережі, а його поширення обмежене трансформаторними підстанціями. Це вимагає використання складних та дорогих алгоритмів модуляції та корекції помилок для забезпечення необхідної надійності передачі.

Таким чином, сучасне розгортання АСКОЕ здебільшого базується на гібридних комунікаційних архітектурах, які поєднують у собі переваги декількох технологій передавання даних. PLC або RF-модулі виступають основним інструментом для збору інформації безпосередньо з лічильників, забезпечуючи можливість роботи у розгалужених мережах з великою кількістю кінцевих вузлів. GSM-зв'язок відіграє ключову роль у передачі даних від віддалених концентраторів до головного сервера, дозволяючи забезпечити стабільний канал у випадках, коли проводова інфраструктура відсутня або економічно недоцільна. Водночас Ethernet використовується як високошвидкісний та надійний магістральний канал, який забезпечує гарантовану пропускну здатність для великих промислових об'єктів, вузлів обліку підвищеної відповідальності та центрів обробки даних.

1.4 Мета і завдання роботи

Метою даної роботи є дослідження роботи автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії, що функціонує на базі технологій PLC-зв'язку та сучасних лічильників виробництва, а також аналіз достовірності переданих даних, виявлення закономірностей у споживанні та ідентифікація можливих аномалій у роботі облікових пристроїв та фідерів. Основна увага спрямована не на розробку нової системи обліку, а на вивчення її практичної ефективності, діагностичних можливостей та здатності забезпечувати точний і стабільний збір даних у реальних умовах роботи розподільчих електричних мереж.

У межах дослідження передбачається вирішити низку ключових завдань. Теоретична частина включає аналіз технічних характеристик лічильників, їх функціональних можливостей, підтримуваних інтерфейсів зв'язку, типів журналів подій та енергетичних параметрів, що підлягають фіксації.

Окремим напрямом є оцінка надійності роботи PLC-каналів, стабільності передачі пакетів, впливу навантаження та асиметрії фаз на якість сигналу. Також розглядаються можливості сучасних обчислювальних платформ (зокрема ARM-рішень), здатних виконувати збір, первинну обробку та агрегування даних у системах комерційного обліку.

Практична частина роботи спрямована на аналіз реальних даних, отриманих із програмного комплексу АРМ контролера, включаючи векторні діаграми, добові графіки, журнали подій та таблиці показань. На основі цих даних здійснюється оцінювання стану вузлів обліку, виявлення випадків знеструмлення, нестабільності PLC-зв'язку, технічних та комерційних небалансів, а також визначення потенційних аномалій, що можуть бути пов'язані з порушенням правильності підключення або втручанням у роботу лічильників.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ PLC-ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Принцип роботи PLC-технології

Принцип роботи технології Power Line Communication (рисунок 2.1) полягає у використанні існуючої електричної інфраструктури, що першочергово призначена для передачі енергії на частоті 50/60 Гц, як вторинного фізичного каналу для передачі високочастотних цифрових даних. Фундаментальним аспектом PLC є частотне мультиплексування, що дозволяє накладати інформаційний сигнал на силовий без взаємного впливу.



Рисунок 2.1 – Power Line Communication

Цифрові дані модулюються на несучих частотах, які знаходяться поза межами основного діапазону енергетичної частоти. У контексті автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії домінує вузькосмугова PLC, що оперує в діапазоні частот від 3 кГц до 500 кГц, згідно

з такими стандартами як CENELEC, FCC та ARIB, оскільки цей діапазон оптимальний для забезпечення балансу між дальністю зв'язку та пропускнуою здатністю.

Ключовим елементом фізичного рівня є техніка модуляції. Сучасні стандарти NB-PLC, зокрема G3-PLC та PRIME, використовують метод ортогонального частотного мультиплексування. Суть OFDM полягає у розподілі високошвидкісного потоку даних на велику кількість повільних паралельних потоків, кожен з яких передається на власній ортогональній піднесучій частоті. Цей підхід є критично важливим для боротьби з неоднорідністю імпедансу та частотно-вибірковим загасанням, що є основними деградаційними факторами у силових лініях.

Фізичне підключення PLC-модемів до силової мережі здійснюється через спеціалізовані зв'язуючі фільтри, які виконують функцію відділення високочастотного інформаційного сигналу від низькочастотного силового струму. Зв'язуючі фільтри забезпечують інжекцію та виділення сигналів, запобігаючи при цьому поширенню високочастотних перешкод на інші ділянки мережі та захищаючи чутливу електроніку модемів (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – PLC-модем

Основна технологічна складність впровадження PLC полягає у силовій мережі як каналу зв'язку. Електричні дроти не є коаксіальними або екранованими лініями, що призводить до значного загасання сигналу зі збільшенням відстані та проходженням через комутаційні апарати, трансформатори та різноманітні навантаження. Крім того, силова мережа характеризується високим рівнем шуму, включаючи широкосмугові шуми від імпульсних джерел живлення та вузькосмугові перешкоди від частотних перетворювачів та електродвигунів. Ці фактори спричиняють неоднорідність імпедансу та відбиття сигналу, значно погіршуючи якість зв'язку.

На мережевому рівні, забезпечення надійності даних у складній топології мережі низької напруги досягається завдяки вбудованим механізмам Mesh-маршрутизації (рисунок 2.3). У Mesh-мережі кожен інтелектуальний лічильник функціонує не лише як кінцева точка обліку, а й як ретранслятор, що дозволяє передавати дані від сусідніх лічильників до найближчого концентратора даних.



Рисунок 2.3 – Mesh маршрутизація

Ця самоорганізована архітектура забезпечує самозагоєння та автоматичне перемаршрутування даних у разі відмови або погіршення якості зв'язку на прямій лінії, що є ключовим фактором для гарантованого збору інформації з усіх точок обліку в межах зони обслуговування трансформаторної підстанції. Застосування цих комплексних рішень забезпечує технологічну основу для реалізації АСКОЕ з необхідним рівнем оперативності та достовірності.

2.2 Стандарти та протоколи PLC

Основними міжнародними специфікаціями, що визначають фізичний та каналний рівні вузькосмугового PLC для Smart Grid, є G3-PLC та PRIME. Обидва стандарти базуються на високотехнологічному методі модуляції ортогонального частотного мультиплексування, що є обов'язковою умовою для стійкої передачі даних в умовах значного шуму та неоднорідності імпедансу, які характерні для мереж низької напруги. OFDM дозволяє динамічно адаптувати параметри модуляції до локальної якості каналу, підвищуючи надійність. G3-PLC додатково посилює свою стійкість використанням механізмів Mesh-маршрутизації, що забезпечує автоматичне перенаправлення даних у разі виходу з ладу окремих комунікаційних вузлів.

Критично важливим елементом сучасного PLC-стеку є мережевий протокол. Стандарт G3-PLC набув стратегічної переваги завдяки інтеграції протоколу IPv6 через адаптаційний рівень IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Networks. Це рішення дозволяє присвоювати унікальні глобальні IP-адреси кожному інтелектуальному лічильнику. Така архітектура забезпечує End-to-End зв'язок і дозволяє масово масштабувати АСКОЕ, інтегруючи її безпосередньо в глобальні мережі та хмарні сервіси. Стандарт PRIME також підтримує Mesh-маршрутизацію, проте G3-PLC чітко позиціонується як технологія, орієнтована на відкриту інтернет-архітектуру.

На міжнародному рівні ці зусилля консолідуються стандартом IEEE 1901.2, який надає універсальну основу для NB-PLC.

Над цими комунікаційними рівнями домінує прикладний протокол обліку, який є універсальним для більшості сучасних систем незалежно від фізичного каналу зв'язку. Протокол Device Language Message Specification та Companion Specification for Energy Metering виконує функцію семантичного посередника. Він визначає логічну структуру вимірювальних даних, використовуючи Obis-коди для ідентифікації параметрів та регламентує механізми доступу до цих даних, включаючи аутентифікацію та шифрування. Таким чином, успішна реалізація АСКОЕ на базі PLC є результатом безшовної взаємодії трьох рівнів: надійної OFDM-модуляції G3/PRIME, масштабованого мережевого рівня IPv6/6LowPAN та уніфікованого прикладного рівня DLMS/COSEM.

2.3 Обмеження і проблеми PLC-комунікації

Незважаючи на значні економічні переваги використання існуючої інфраструктури, технологія Power Line Communication впроваджується в автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії з урахуванням низки критичних технічних обмежень та експлуатаційних викликів. Принципова складність полягає у тому, що силова мережа, не оптимізована як канал зв'язку, є джерелом та середовищем, що спричиняє значну деградацію сигналу. Головним фактором є високе та нерівномірне загасання, яке посилюється з відстанню та є прямим наслідком неконтрольованих змін електричного імпедансу мережі, що виникають при підключенні та відключенні індуктивних, ємнісних та імпульсних навантажень. Більше того, знижувальні трансформатори фактично діють як фільтри, різко обмежуючи поширення високочастотного PLC-сигналу в межах однієї зони низької напруги.

Критичним викликом для забезпечення надійності передавання даних у системах АСКОВЕ є агресивне шумове середовище, притаманне силовим електричним мережам. Канал PLC-трансмiсії характеризується високою варіативністю спектру завад, що істотно ускладнює підтримання стабільного та передбачуваного рівня сигналу. До найнебезпечніших типів перешкод належать імпульсні шуми, спричинені комутаційними процесами, роботою силових перетворювачів, індуктивними розрядами та пусками електродвигунів. Такі шуми мають широкий спектр і здатні повністю руйнувати передані пакети даних, викликаючи необхідність повторної передачі, що в свою чергу збільшує навантаження на мережу та погіршує швидкодiю системи. Не менш важливими є вузькосмугові перешкоди, які генерує побутова та промислова електронiка, включно з джерелами живлення, LED-драйверами, імпульсними блоками та системами кондиціонування. Вони здатні формувати стійкі резонансні «заглушення» на окремих частотних діапазонах, що суттєво зменшує ефективність окремих піднесучих у складі OFDM-модуляції.

На експлуатаційному рівні виникають проблеми, пов'язані з непередбачуваністю каналу та складністю пусконаладження. На відміну від радіотехнологій, якість PLC-зв'язку не може бути постійно оцінена за статичними параметрами, а вимагає безперервної адаптації та моніторингу. У трифазних мережах ефективна комунікація між пристроями, підключеними до різних фаз, ускладнена і потребує встановлення міжфазних зв'язувачів phase couplers на підстанції, що збільшує архітектурну складність та вартість розгортання. Також слід враховувати залежність від безперебійності енергопостачання, оскільки локальне знеструмлення миттєво припиняє комунікацію з лічильниками, що вимагає впровадження механізмів резервування каналів, наприклад, через GSM/GPRS для критично важливих точок обліку.

2.4 Переваги використання PLC в системах обліку

Використання технології Power Line Communication у системах автоматизованого комерційного обліку електроенергії забезпечує низку вагомих техніко-економічних переваг, які обумовлюють її доцільність для масового розгортання в мережах низької напруги. Принципова перевага PLC полягає у мінімізації капітальних витрат CAPEX, оскільки вона використовує існуючу силову інфраструктуру як фізичний канал передачі даних. Цей підхід повністю нівелює необхідність прокладання додаткових комунікаційних ліній або створення нових радіомереж, що суттєво скорочує терміни та вартість розгортання системи на рівні «останньої милі», особливо у щільній міській забудові або у важкодоступних сільських районах.

Надійність комунікаційного каналу забезпечується завдяки архітектурним та протокольним рішенням. Сучасні стандарти, такі як G3-PLC та PRIME, імплементують Mesh-архітектуру, в якій кожен інтелектуальний лічильник функціонує не лише як кінцевий вимірювальний прилад, але й як активний ретранслятор даних. Ця самоорганізована та самозагоювальна self-healing топологія гарантує множинні шляхи маршрутизації інформації до концентратора, забезпечуючи стійкість зв'язку навіть у випадку локального погіршення якості каналу або тимчасового виходу з ладу окремих вузлів. Технологічне підґрунтя цієї стійкості забезпечується застосуванням модуляції OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing, яка динамічно адаптується до високого рівня шумів та неоднорідності імпедансу, максимізуючи спектральну ефективність та достовірність передачі даних.

Функціональне значення PLC для АСКОЕ виявляється в її здатності забезпечувати високу оперативність збору даних. Автоматизований і регулярний збір погодинних профілів навантаження створює необхідну інформаційну базу для формування точних енергетичних балансів на рівні трансформаторної підстанції.

3 АЛГОРИТМ ТА АПАРАТНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

3.1 Апаратна архітектура

Системи енергетичного моніторингу вимагають ефективної інтеграції апаратних та програмних компонентів для збору, обробки і передачі даних про споживану енергію. Така інтеграція включає не лише відповідні алгоритми обробки даних, але й вибір апаратних платформ, які забезпечують необхідну продуктивність, енергоефективність і надійність. Для реалізації таких систем широко використовуються ARM-платформи, які дозволяють ефективно здійснювати обчислення, збирання даних з різних сенсорів та лічильників, а також забезпечувати їхнє передавання через різноманітні канали зв'язку.

Основна мета системи енергетичного моніторингу полягає в точному та своєчасному зборі інформації про споживання енергоресурсів, що дозволяє знизити витрати енергії та покращити керування енергетичними потоками. Для цього необхідно не лише забезпечити надійне апаратне забезпечення, але й розробити алгоритми, які здатні ефективно обробляти величезний обсяг даних, що генеруються в реальному часі. Алгоритми повинні бути оптимізовані для швидкої обробки, забезпечення безпеки передачі даних та їхньої інтеграції в єдину систему моніторингу.

3.1.1 Основний алгоритм модулів

Сучасні лічильники електроенергії є складними електронними пристроями, які забезпечують точний облік спожитої енергії завдяки чіткому алгоритму роботи. Цей процес включає низку послідовних етапів – від вимірювання основних параметрів електричної мережі до обчислення, зберігання та відображення даних. Алгоритми лічильника електричної енергії

у виконанні з електромеханічним відліковим пристроєм зображено на рисунках 3.1 та 3.2.

Система моніторингу енергоспоживання, яку ми розглядаємо, складається з кількох важливих компонентів, кожен з яких виконує свою функцію у зборі та обробці даних про енергоспоживання.

Основним компонентом є блок живлення, який забезпечує стабільну енергію для роботи всієї системи. Без цього компоненту система не змогла б функціонувати.

Першочергово, в системі використовуються перетворювачі напруги та струму. Перетворювач напруги, у вигляді резистивного подільника, зменшує напругу до рівня, який можна виміряти. Це необхідно для точних вимірювань енергоспоживання. Що стосується перетворювача струму, то він представляє собою трансформатор струму та шунт, які вимірюють струм, що протікає через лінію. Це дозволяє точно відслідковувати величину споживаної енергії.

Всі дані обробляє центральний компонент системи – мікроконтролер Energy Meter IC Maxim Teredian 71M6521FE. Цей мікроконтролер аналізує сигнали від перетворювачів напруги та струму і використовує їх для обчислення загального енергоспоживання.

Щоб забезпечити віддалений моніторинг, система оснащена радіоканалом для передачі зібраних даних на віддалений пристрій або сервер. Це дозволяє користувачам отримувати актуальну інформацію в реальному часі.

Для керування енергоспоживанням передбачено реле управління навантаженням. Це дозволяє вмикати або вимикати навантаження за потреби, що може бути корисно для економії енергії або забезпечення безпеки.

Система також оснащена датчиками, зокрема датчиком електромагнітного поля та датчиком магнітного поля. Вони моніторять фізичні зміни навколишнього середовища, які можуть впливати на роботу системи, такі як зміни в електричному чи магнітному полі.



Рисунок 3.1 – Структурна схема лічильника електричної енергії у виконанні з електромеханічним відліковим пристроєм

Для забезпечення безперебійної роботи система має резервне джерело живлення. Воно дозволяє підтримувати функціонування системи навіть у разі відключення основного джерела живлення.

Вихідні компоненти включають кнопку «Перезавантаження», яка дає можливість перезавантажити систему або скинути помилки в її роботі. Світлодіоди індикації функціонування вказують на поточний стан системи, дозволяючи користувачеві швидко визначити, чи все працює належним чином. Випробувальні виходи використовуються для перевірки правильності роботи всіх компонентів системи.

Для зручного підключення до інших пристроїв або мереж, система оснащена оптичним портом. Це дозволяє здійснювати передачу даних між різними елементами системи або з іншими зовнішніми пристроями.

Щодо пам'яті, система має FRAM пам'ять для зберігання важливих даних, які не втрачаються навіть при відключенні живлення, а також EEPROM пам'ять для зберігання налаштувань та конфігурацій системи.

Резервна батарея підтримує роботу системи у разі відключення живлення, що є додатковим заходом безпеки та забезпечує безперебійне функціонування системи в непередбачуваних ситуаціях.

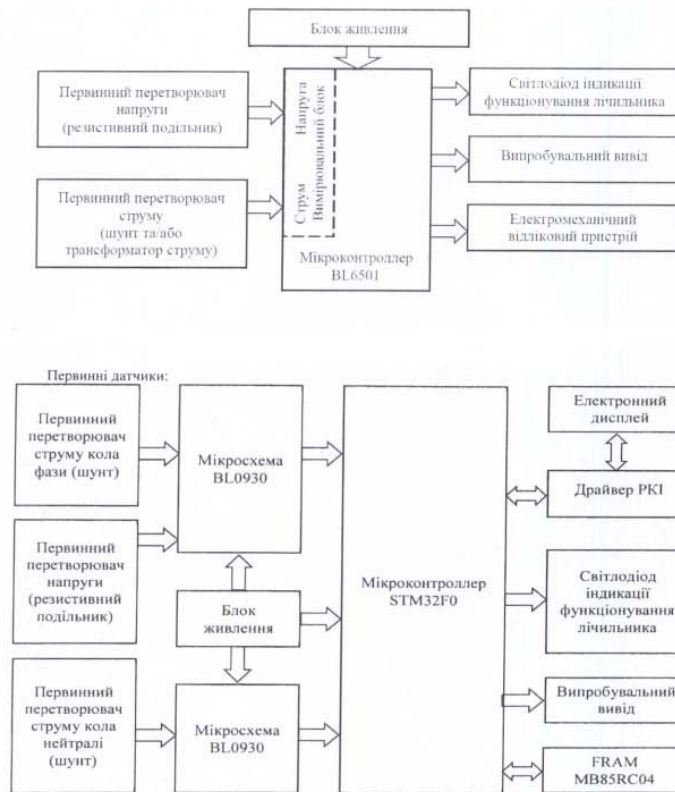


Рисунок 3.2 – Структурна схема лічильника електричної енергії у виконанні з електромеханічним відліковим пристроєм

3.1.2 Додаткові алгоритми модулів

Лічильник електроенергії працює за чітким алгоритмом, який забезпечує точний облік спожитої енергії. Процес починається з блоку живлення, який отримує енергію безпосередньо з вимірюваної мережі. Цей блок перетворює вхідну напругу до необхідного рівня для роботи електронних компонентів, забезпечуючи стабільну роботу навіть при коливаннях напруги в мережі. Він має вбудований захист від перенапруг та ефективну фільтрацію перешкод, що гарантує надійність системи.

Основу вимірювальної системи складають первинні датчики. Резистивний подільник безперервно вимірює миттєві значення напруги в мережі, тоді як шунти фіксують значення струму у фазному та нульовому проводах. Ці аналогові сигнали проходять попередню обробку, яка включає фільтрацію від високочастотних перешкод та нормалізацію амплітуди для подальшого точного аналізу.

Спеціалізована мікросхема BL0930 відіграє ключову роль у процесі аналого-цифрового перетворення. Вона отримує оброблені аналогові сигнали та виконує високоточне оцифрування з частотою до 1 кГц. На цьому етапі також здійснюється попередній розрахунок миттєвих значень потужності та корекція фазового зсуву між струмом і напругою, що є критично важливим для точного вимірювання спожитої енергії.

Мікроконтролер STM32F0 виконує основні обчислювальні операції. Він аналізує отримані цифрові дані та розраховує активну потужність за формулою $P = U \times I \times \cos\phi$, а в деяких модифікаціях - і реактивну потужність $Q = U \times I \times \sin\phi$. Потім система інтегрує значення потужності за часом для визначення спожитої енергії, враховуючи при цьому встановлені тарифні зони. Цей процес відбувається з високою точністю, що забезпечує коректний облік електроенергії.

Отримані дані зберігаються у кількох типах пам'яті для надійності та зручності доступу. FRAM пам'ять MB85RC04 забезпечує енергонезалежне зберігання інформації, тоді як внутрішня flash-пам'ять мікроконтролера дозволяє швидко оперувати даними. Система також веде архівні записи, фіксуючи щогодинні та щоденні показники споживання, що є важливим для аналізу та перевірки.

Для відображення інформації лічильник використовує кілька каналів. У деяких модифікаціях застосовується електромеханічний лічильний механізм, який забезпечує наглядність показників. Електронний 7-сегментний індикатор відображає поточні значення, а світлодіодні індикатори сигналізують про стан пристрою та можливі проблеми.

Важливим елементом системи є випробувальний вивід, який виконує кілька функцій. Він генерує імпульси, пропорційні спожитій енергії, що дозволяє проводити перевірку точності лічильника. Також через цей вивід можна виконувати калібрування пристрою, що особливо важливо під час первинного введення в експлуатацію або після тривалого періоду використання.

Лічильник оснащений рядом додаткових функцій, які підвищують його надійність та захищеність. Система детектує магнітний вплив та фіксує спроби механічного втручання, записуючи всі події в журнал з точними мітками часу. У разі перевантаження лічильник автоматично відключається, запобігаючи пошкодженню пристрою та забезпечуючи безпеку електромережі.

Весь процес вимірювання та обробки даних відбувається з високою частотою – від 500 до 1000 разів на секунду. Така циклічність забезпечує високу точність вимірювань навіть при швидких змінах навантаження в мережі. Кожен цикл включає повний набір операцій - від вимірювання основних параметрів до оновлення відображуваних даних, що гарантує актуальність інформації в будь-який момент часу.

3.2 Читання даних з лічильника за допомогою MODBUS

Протокол MODBUS є одним з найбільш використовуваних стандартів у промислових системах для організації обміну даними між різними пристроями. Він забезпечує надійну і ефективну комунікацію через серійні інтерфейси або TCP/IP мережу, що робить його ідеальним для використання в системах моніторингу та автоматизації. У даному випадку, читання даних з лічильника електроенергії за допомогою протоколу MODBUS дає можливість інтегрувати систему обліку енергії в більш широку мережу для аналізу і контролю споживання електричної енергії.

3.2.1 Підключення пристроїв та налаштування

Для налаштування зчитування даних з лічильника за допомогою MODBUS, першим кроком є підключення лічильника до роутера, який підтримує перетворення протоколу MODBUS RTU в MODBUS TCP (рисунок 3.3). Лічильники електроенергії, як правило, мають інтерфейс RS232 або RS485, через який відбувається передача даних. Для коректного підключення лічильника до роутера Milesight використовуються відповідні порти або перехідники USB-RS232/RS485, що дозволяє здійснити підключення до серійного порту роутера.

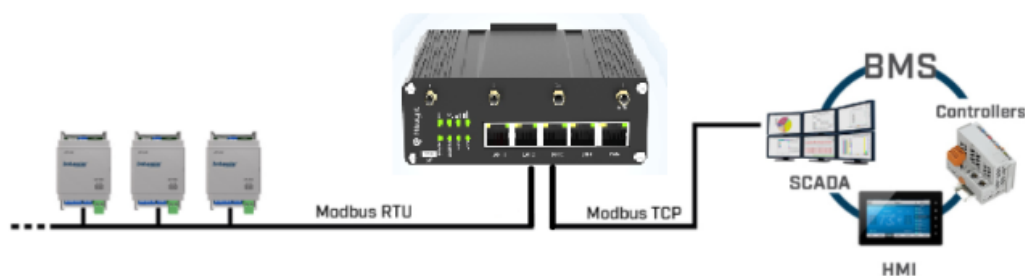


Рисунок 3.3 – Підключення пристроїв

Після підключення необхідно налаштувати сам роутер для підтримки необхідного режиму зв'язку. У веб-інтерфейсі роутера слід увімкнути функцію серійного порту та встановити його в режим DTU Mode, що дозволяє передавати дані через серійну лінію. Важливо налаштувати також протокол Modbus для того, щоб роутер коректно працював з лічильником, та вибрати порт для зв'язку, як правило, це порт 502.

3.2.2 Налаштування програмного забезпечення

Наступним етапом є налаштування програмного забезпечення на комп'ютері для зчитування даних через протокол MODBUS. Для цього на ПК використовуються програми, що підтримують режим Modbus Slave та

Modbus TCP (рисунок 3.4). Програма Modbus Slave дозволяє створити віртуальний модбас-слейв для зчитування даних з лічильника, тоді як програма Modbus Poll використовується для організації з'єднання через Modbus TCP/IP (рисунок 3.5). В налаштуваннях програмного забезпечення важливо вказати правильні параметри з'єднання, включаючи СОМ порт, режим RTU та параметри, що відповідають обраним даним лічильника, наприклад, облік активної енергії.

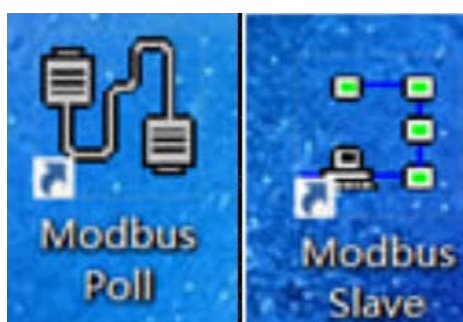


Рисунок 3.4 – Підключення пристроїв

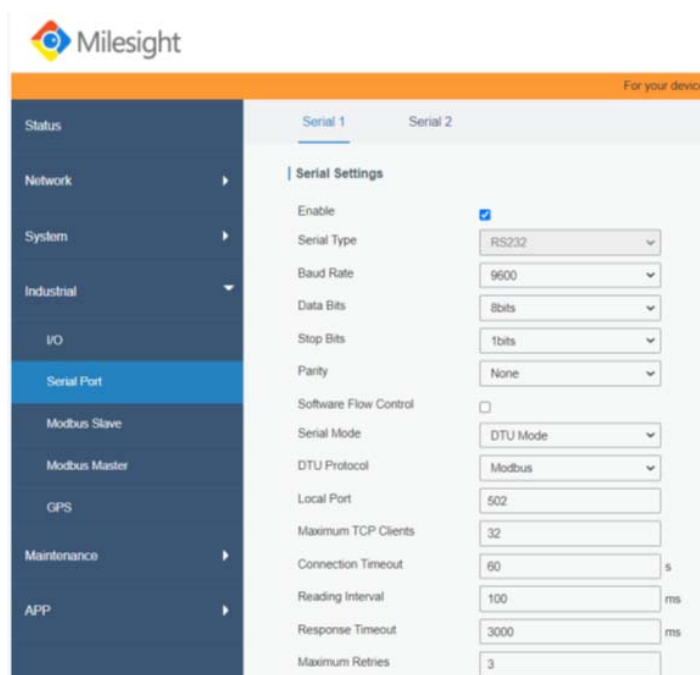


Рисунок 3.5 – Modbus TCP/IP

3.2.3 Перевірка з'єднання та моніторинг

Після налаштування всіх компонентів та програмного забезпечення система готова до зчитування даних з лічильника. Програма Modbus Poll починає отримувати інформацію з лічильника і виводити її на екран комп'ютера (рисунк 3.6). Важливо, щоб з'єднання між лічильником, роутером і комп'ютером було стабільним.

Також необхідно впевнитися, що роутер має публічну IP-адресу для зручності підключення до мережі. Залежно від конкретних налаштувань мережі, роутер може потребувати коригування параметрів доступу для забезпечення безпечного обміну даними.

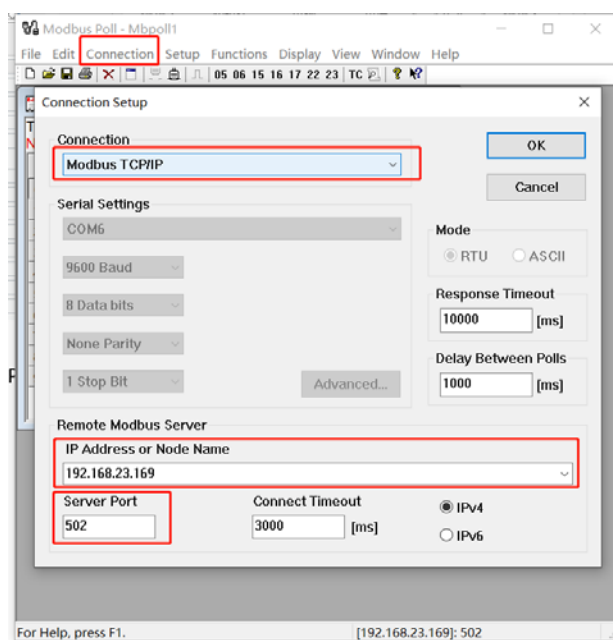


Рисунок 3.6 – Перевірка з'єднання

3.2.4 Обробка даних на ARM за допомогою мови програмування C

Мова C надає прямий доступ до апаратних ресурсів мікроконтролера, що дозволяє з мінімальними витратами реалізовувати ефективну обробку даних у реальному часі. Вона дає змогу керувати пам'яттю, обробляти

переривання, взаємодіяти з портами вводу-виводу, таймерами, АЦП та іншими периферійними модулями без значних накладних витрат. Також мова С має широку підтримку з боку розробницьких середовищ, таких як STM32CubeIDE, Keil MDK, IAR Embedded Workbench, що забезпечує зручну інтеграцію з бібліотеками HAL або CMSIS – стандартами для роботи з ARM-пристроями.

Розглянемо мікроконтролер ARM Cortex-M, що обробляє аналоговий сигнал від датчика струму. Для цього за допомогою аналогово-цифрового перетворювача відбувається перетворення сигналу в цифрову форму. Далі мікроконтролер у середовищі С проводить фільтрацію, нормалізацію та обчислення середнього значення сигналу. У разі перевищення допустимого порогу система генерує сигнал тривоги або передає дані далі, наприклад, через UART або по протоколу Modbus.

Main(void) – серце програми. Після ініціалізації HAL, системної частоти, GPIO, ADC та UART починається нескінченний цикл:

- зчитуються 64 значення з аналогового входу;
- обчислюється їх середнє;
- порівнюється із заданим порогом;
- результат передається через UART;
- світлодіод сигналізує перевищення порогу.

Лістинг 3.1 – Функція Main(void)

```
int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_ADC1_Init();
    MX_USART1_UART_Init();

    while (1)
    {
        adc_sum = 0;
```

```

        for (uint8_t i = 0; i < ADC_BUFFER_SIZE; i++)
        {
            HAL_ADC_Start(&hadc1);
            HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1,
HAL_MAX_DELAY);
            adc_buffer[i] = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
            adc_sum += adc_buffer[i];
        }

        adc_avg = adc_sum / ADC_BUFFER_SIZE;

        snprintf(uart_msg, sizeof(uart_msg), "ADC average:
%u\r\n", adc_avg);
        HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)uart_msg,
strlen(uart_msg), HAL_MAX_DELAY);

        if (adc_avg > THRESHOLD)
        {
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_13,
GPIO_PIN_RESET); // LED ON
        }
        else
        {
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_13,
GPIO_PIN_SET); // LED OFF
        }

        HAL_Delay(500);
    }
}

```

Блок `MX_ADC1_Init` конфігурує одноканальний аналогово-цифровий перетворювач. Вибрано `ADC_CHANNEL_0`, встановлено ручний запуск (`software start`), налаштування для простого сканування без безперервного режиму.

Лістинг 3.2 – Блок `MX_ADC1_Init`

```

void MX_ADC1_Init(void)
{
    hadc1.Instance = ADC1;
    hadc1.Init.ScanConvMode = ADC_SCAN_DISABLE;
    hadc1.Init.ContinuousConvMode = DISABLE;
    hadc1.Init.NbrOfConversion = 1;
    HAL_ADC_Init(&hadc1);
}

```

```

ADC_ChannelConfTypeDef sConfig = {0};
sConfig.Channel = ADC_CHANNEL_0;
sConfig.Rank = 1;
sConfig.SamplingTime = ADC_SAMPLETIME_28CYCLES_5;
HAL_ADC_ConfigChannel(&hadc1, &sConfig);
}

```

Налаштовано UART1 з параметрами: 9600 бод, 8 біт даних, без парності, один стоп-біт. Передача і прийом активовані. Через цей порт ми виводимо оброблені результати (ADC-значення) на термінал.

Лістинг 3.3 – Налаштування UART

```

void MX_USART1_UART_Init(void)
{
    huart1.Instance = USART1;
    huart1.Init.BaudRate = 9600;
    huart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
    huart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
    huart1.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
    HAL_UART_Init(&huart1);
}

```

Порт PC13 налаштований як вихід. На більшості плат STM32 він підключений до вбудованого світлодіода. Ми керуємо цим світлодіодом як сигналом про перевищення допустимого значення з датчика.

Лістинг 3.4 – Використання портів

```

static void MX_GPIO_Init(void)
{
    __HAL_RCC_GPIOC_CLK_ENABLE();

    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
    GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_13;
}

```

```
GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;  
GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;  
GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;  
HAL_GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStruct);  
}
```

3.3 Аналіз даних

Після збору цифрових даних з енергетичного лічильника або сенсорів наступним етапом є їх обробка та аналіз. Цей процес виконується або безпосередньо мікроконтролером, або передається на вищий рівень – наприклад, сервер чи периферійний шлюз. Метою аналізу є отримання достовірної інформації про стан електромережі, рівень споживання електроенергії, а також виявлення відхилень або аварійних ситуацій.

Першим етапом є фільтрація даних та усереднення значень. Це необхідно з огляду на присутність шумів у вимірювальних сигналах, викликаних електромагнітними завадами або динамічними навантаженнями. Для цього застосовуються програмні алгоритми осереднення, наприклад, ковзне середнє з вікном у 64 або більше вимірювань. Це дозволяє зменшити похибку та забезпечити стабільність показників.

Далі виконується розрахунок миттєвої потужності, що базується на значеннях напруги та струму. У випадку змінного струму додатково враховується фазовий зсув між сигналами, а розрахунок активної потужності здійснюється з урахуванням коефіцієнта потужності ($\cos \phi$).

Після визначення миттєвої потужності відбувається накопичення значень енергії. Це реалізується за допомогою цифрового інтегрування потужності за певний часовий інтервал. У спрощеному вигляді обчислення енергії виконується як добуток середньої потужності на тривалість інтервалу спостереження.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБЛІКУ

4.1 Аналіз інформаційних потоків та стабільності збору даних

Основна увага зосереджується на фактичній роботі системи комерційного обліку електроенергії у реальних умовах експлуатації та аналізі того, як відбувається формування, передавання та обробка даних у процесі щоденної роботи. Технічні аспекти архітектури, принципи функціонування обладнання та структура облікових вузлів наведені раніше, тому подальший акцент робиться на поведінкових характеристиках системи, стабільності каналів зв'язку та особливостях зміни параметрів у часі.

Дослідження параметрів дає змогу визначити чутливість системи до режимів роботи мережі, встановити характер реакції лічильників на зміни навантаження, зникнення фаз, асиметрію напруги та рівень завад у PLC-каналі. Важливим напрямом є спостереження за тим, як саме змінюється точність і повнота передавання даних у різних умовах та наскільки стабільно лічильники фіксують події, пов'язані зі знеструмленням, відновленням живлення, зміною фазності чи порушенням взаємодії з концентратором.

Оцінювання поведінки системи включає аналіз добових і погодинних графіків, особливостей приросту показань, інтервалів відсутності телеметрії, випадків затримки оновлення даних, а також характерних відхилень, які можуть свідчити про технічні або комерційні порушення. Значну увагу приділяється зіставленню фактичних показань лічильників із груповими даними та реальними величинами споживання, що дозволяє визначити величину небалансів і встановити їх можливі причини.

Спостереження за поведінкою окремих параметрів – таких як струм по фазах, кут між напругою та струмом, величина активної й реактивної потужності, наявність гармонік або короточасних провалів PLC-зв'язку створює можливість визначити закономірності, неочевидні при стандартному

перегляді показань. Саме через такі параметри виявляються аномальні режими, включаючи занижені показання, випадки відсутності приросту електроенергії, некоректне підключення трансформаторів струму, зворотний напрямок потоку енергії, втручання у роботу лічильника або проблеми з якістю електричної мережі.

4.2 Збір вузла обліку електричної енергії

Вивчення та систематичний огляд основних компонентів системи обліку електричної енергії, таких як лічильник, трансформатор струму та клемна колодка, є критично важливим для забезпечення коректного функціонування всієї системи. Такий аналіз дозволяє визначити технічні характеристики, взаємозв'язки та можливі обмеження кожного елемента, що є необхідною умовою для точного вимірювання електричних величин та надійної передачі даних.

4.2.1 Лічильник NIK 2308

Лічильник NIK 2308 ARTT.1620.MC.24 є сучасним багатофункціональним електронним приладом обліку, призначеним для вимірювання та реєстрації активної та реактивної електроенергії в трифазних чотирипровідних мережах змінного струму. Лічильник зображено на рисунку 4.1.

Модель NIK 2308 ARTT.1620.MC.24 вирізняється розширеним функціоналом, що є стандартом для сучасних інтелектуальних лічильників:

- лічильник здатний вести облік енергії за чотирма тарифами та 12 сезонами. Це дозволяє гнучко впроваджувати диференційовані тарифи, стимулюючи споживачів до перенесення навантаження на нічний час;

- прилад фіксує не лише обсяги спожитої енергії, але й параметри якості електроенергії, такі як напруга, струм, частота, коефіцієнт потужності;

– функція AP забезпечує зберігання детальних даних про середню потужність за встановлені інтервали часу, наприклад, 30 хвилин. Це є критично важливим для енергетичного аудиту, аналізу споживання та прогнозування навантаження в мережі;

– лічильник реєструє важливі події: спроби несанкціонованого втручання, відкриття кришки, вплив магнітного поля, зникнення та поява напруги, перехід на літній та зимовий час, зміна тарифного розкладу;

– наявність інтерфейсів RS-485 та технології PLC.



Рисунок 4.1 – Лічильник електроенергії NIK 2308 ARTT.1620.MC.24

Включення електронного лічильника NIK 2308 ARTT.1620.MC.24 до вимірювального комплексу обумовлює необхідність детального аналізу його ключових технічних параметрів, які визначають його метрологічні характеристики та особливості інтеграції у трифазну мережу. З огляду на його трансформаторну схему підключення 5-10 Ампер, критично важливим є розуміння його номінальних значень, класів точності та комунікаційних можливостей. Основні технічні характеристики та специфіка підключення

даної моделі представлені у таблиці 4.1, що ілюструє його відповідність стандартам комерційного обліку.

Таблиця 4.1 – Основні технічні характеристики

Характеристика	Значення	Призначення
Тип мережі	Трифазна, чотирипровідна	Для обліку у промислових та потужних побутових мережах.
Тип вимірювання	Активна та Реактивна енергія	Облік спожитої (активна) та реактивної (індуктивна/ємнісна) енергії.
Клас точності	1,0 (для активної енергії)	Відповідає вимогам комерційного обліку.
Номінальна напруга	3×220/380 В або 3×230/400 В	Стандартна напруга для більшості мереж України.
Номінальний (максимальний) струм	5 (10) А	Вказує на підключення через трансформатори струму (ТТ).
Інтерфейси	PLC, Оптопорт, RS-485 (літера А в кодї)	Забезпечує віддалений збір даних та інтеграцію в АСКОЕ.
Багатотарифність	Багатозонний (до 4 тарифів)	Дозволяє обліковувати енергію за різними цінами (день/ніч).
Профіль навантаження	Наявний (R в кодї)	Записує інтегральні значення потужності з певним інтервалом (наприклад, 30 хвилин).

Здатність лічильника до інтеграції в автоматизовані системи підкреслюється наявністю вбудованих комунікаційних інтерфейсів. Літера А в кодї моделі вказує на підтримку інтерфейсу RS-485, який разом із технологією Power Line Communication забезпечує високу надійність та оперативність дистанційного збору даних і управління параметрами. Додатково, внутрішній журнал подій фіксує всі важливі інциденти, включаючи спроби несанкціонованого доступу або зміни параметрів мережі, що підвищує рівень безпеки та достовірності обліку. Таким чином, NIK 2308

ARTT.1620.MC.24 позиціонується як багатofункціональне рішення для сучасних вимог енергообліку.

4.2.2 Трансформатор струму T-0,66A

Трансформатор струму T-0,66A (рисунок 4.2) є ключовим статичним електричним апаратом, що використовується в мережах змінного струму з номінальною напругою до 0,66 кВ.

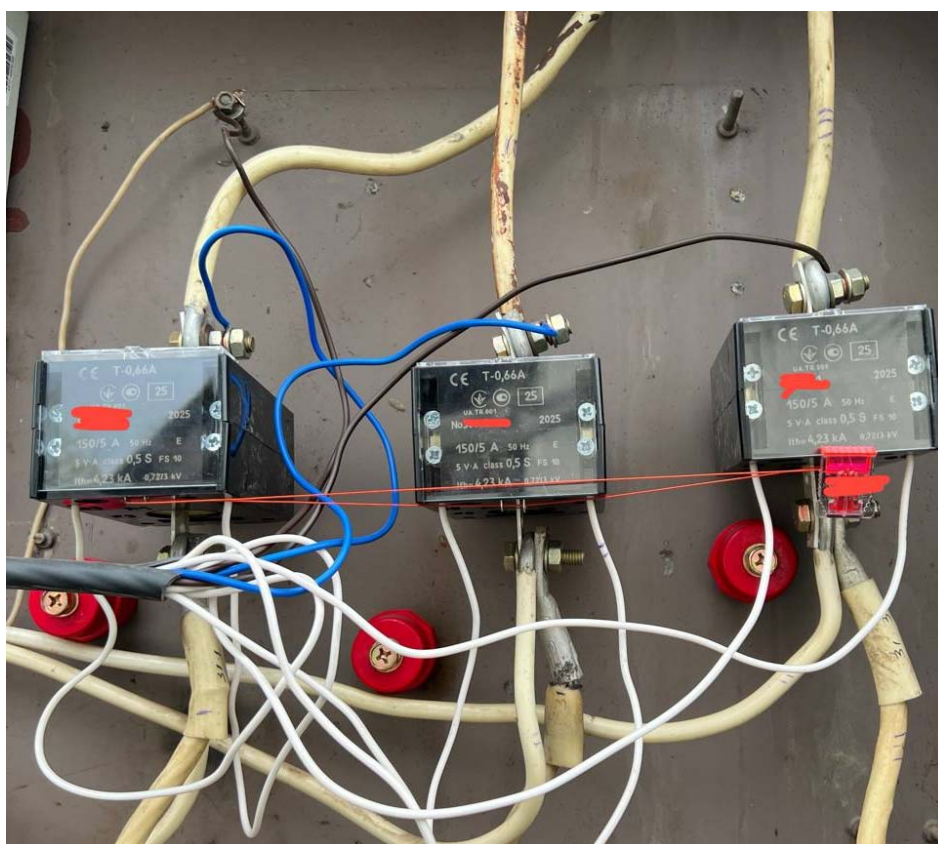


Рисунок 4.2 – Трансформатори струму T-0,66A

Його фундаментальна роль полягає у здійсненні лінійного масштабування високих значень первинного струму до низьких стандартизованих величин вторинного струму, які зазвичай становлять 5 А або 1 А. Ця функція є критично важливою для забезпечення гальванічної ізоляції вторинних вимірювальних та захисних кіл від високої напруги

первинної мережі, а також для уніфікації вторинного обладнання, такого як лічильники електроенергії, амперметри та пристрої релейного захисту. Конструктивно Т-0,66А реалізований як опорний трансформатор із литою ізоляцією. Сердечник, як правило, має кільцеву конфігурацію, що мінімізує потік розсіювання і є необхідною умовою для досягнення високих класів точності. Обмотки вбудовані у міцний корпус з епоксидного компаунду, що забезпечує високу механічну стійкість та надійну ізоляцію. Первинна обмотка часто може бути представлена прохідною шиною або одним витком, тоді як вторинна обмотка містить необхідну кількість витків для забезпечення заданого коефіцієнта трансформації. Експлуатаційні характеристики апарата визначаються його номінальним первинним струмом, який відображає максимально допустиму похибку. Метрологічна достовірність вимірювань, що використовують Т-0,66А, безпосередньо залежить від його струмової та кутової похибок.

Струмова похибка являє собою відхилення фактичного коефіцієнта трансформації від номінального значення, тоді як кутова похибка характеризує фазовий зсув між первинним та інвертованим вторинним струмами. Для комерційного обліку електроенергії, де потрібна висока точність розрахунків, перевага надається трансформаторам класів 0,5 та вище. При цьому критично важливо підтримувати навантаження вторинного кола в межах номінальної вторинної потужності, оскільки відхилення від цього діапазону призводить до нелінійних спотворень і зростання похибок, спричинених насиченням магнітопроводу.

4.2.3 Клемна колодка NIK KP-25A

Колодка комутаційна NIK KP-25 (рисунок 4.3) є допоміжним елементом у складі вузла обліку електричної енергії, призначеним для підключення та комутації лічильників у трифазних електричних мережах. Її основне призначення полягає у забезпеченні безпечного, надійного та

зручного підключення лічильників електричної енергії як з безпосереднім, так і з трансформаторним включенням.

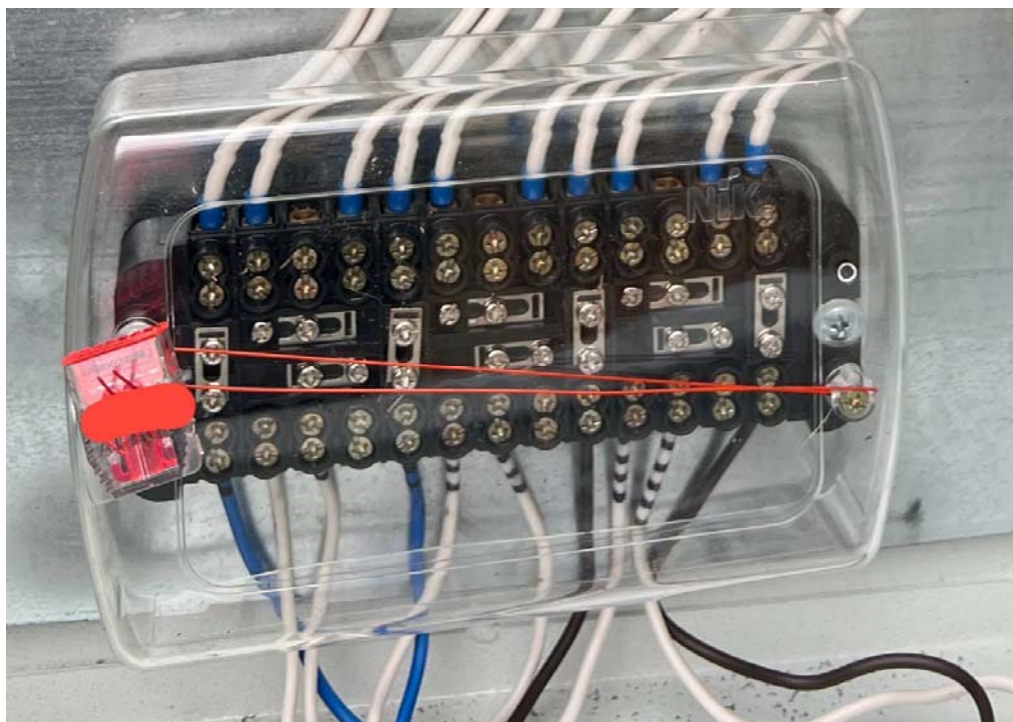


Рисунок 4.3 – Колодка комутаційна NIK KP-25

Застосування колодки KP-25 дозволяє здійснювати підключення або заміну лічильника без необхідності розриву силового кола, що є суттєвою перевагою у системах комерційного обліку електроенергії. Завдяки цьому підвищується рівень електробезпеки обслуговчого персоналу, скорочується час технічного обслуговування та зменшується ризик виникнення аварійних ситуацій у процесі експлуатації.

Конструктивно колодка складається з ізоляційного корпусу, набору струмопровідних шин, клем для підключення провідників та перемичок, які забезпечують можливість переходу між різними режимами роботи, робочий, перевірочний тощо. Корпус виготовлений із термостійкого ізоляційного матеріалу, що має високу механічну міцність та стійкість до впливу навколишнього середовища. Для зручності візуального контролю стану

з'єднань передбачено прозору кришку з полікарбонату, яка забезпечує огляд внутрішньої частини колодки без її демонтажу.

У робочому режимі колодка забезпечує з'єднання вторинних кіл трансформаторів струму з відповідними струмовими входами лічильника. Для кожної фази передбачено окрему пару клем, що дозволяє уникнути взаємовпливу між фазами та забезпечує точність вимірювань. Перемички між клемми забезпечують замкнене вторинне коло трансформатора, що є обов'язковою умовою безпечної експлуатації. У разі відключення лічильника перемички дозволяють уникнути розімкнення вторинних обмоток трансформаторів струму, запобігаючи виникненню небезпечних перенапруг.

Колодка КР-25 розрахована на роботу у трифазній мережі напругою $3 \times 220/380$ В із номінальною частотою 50 Гц. Максимальний робочий струм становить 25 А, що забезпечує достатній запас для підключення більшості побутових та промислових лічильників електроенергії. Конструкція колодки відповідає вимогам електробезпеки згідно з ДСТУ EN 61010-1:2014 та має ступінь захисту корпусу IP30. Робочий температурний діапазон становить від -40 °С до $+50$ °С, що дозволяє експлуатувати пристрій у внутрішніх приміщеннях щитового виконання та в умовах помірного клімату.

Застосування колодки NIK КР-25 у схемах трансформаторного включення дає змогу реалізувати гнучку комутаційну структуру, що спрощує перевірку лічильника, його заміну або тимчасове відключення без зняття навантаження.

4.3 Збір схеми обліку електричної енергії

На першому етапі здійснюється підключення лічильників до електричної мережі та їх обв'язка відповідно до вимог електробезпеки та нормативної документації. У роботі розглядаються електролічильники NIK із підтримкою стандарту DLMS/COSEM, які забезпечують вимірювання активної та реактивної енергії, фіксацію пікових навантажень і формування

профілю навантаження з прив'язкою до часу. Лічильники обладнані вбудованими PLC-модулями, які дають змогу здійснювати передачу даних безпосередньо через силові лінії живлення, що виключає необхідність прокладання додаткових комунікаційних каналів.

Схема обліку електричної енергії (рисунок 4.4) є невід'ємною складовою системи електропостачання, що забезпечує точне вимірювання параметрів споживання електроенергії та передачу даних до системи комерційного або технічного обліку. Основними елементами такої схеми є лічильник електричної енергії, клемна колодка та вимірювальні трансформатори струму, які спільно утворюють вузол обліку. Лічильник виконує функцію вимірювання активної та реактивної енергії, трансформатори струму знижують величину первинного струму до рівня, безпечного для вимірювання, а клемна колодка забезпечує надійне та безпечне з'єднання між ними.

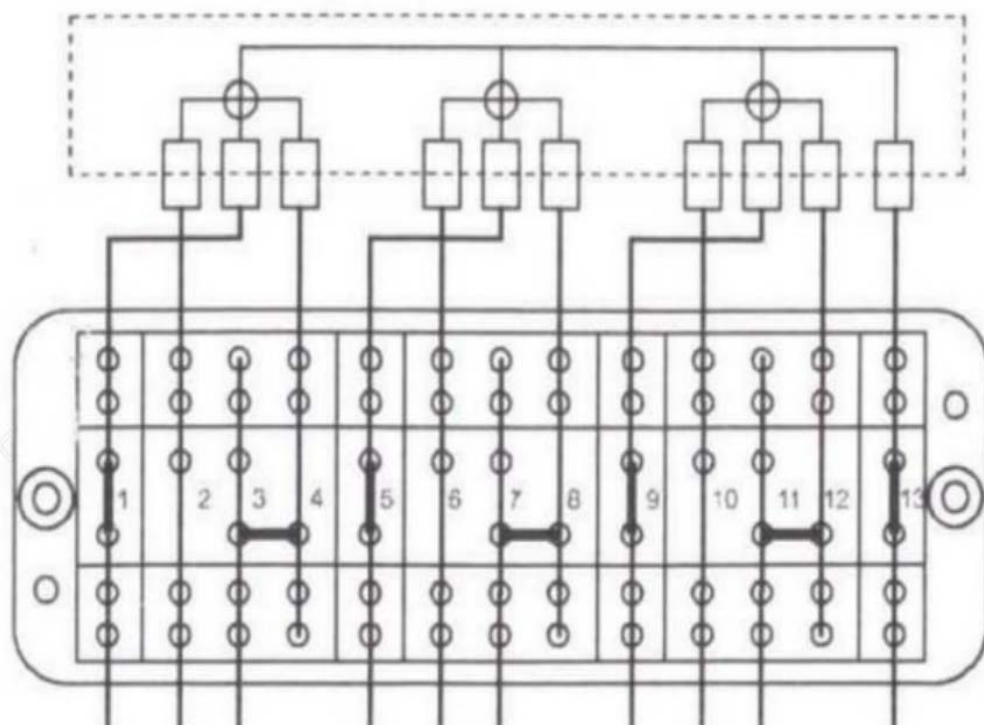


Рисунок 4.4 – Схема з'єднань колодки з лічильником трансформаторного включення по струму в робочому режимі

На рисунку 4.5 представлено схему з'єднань колодки з лічильником електричної енергії трансформаторного типу при роботі в режимі трансформаторного включення по струму. У цьому разі використовується система вимірювальних трансформаторів струму, які забезпечують приведення реальних струмів навантаження до номінальних значень, що відповідають входам лічильника.



Рисунок 4.5 – Підключення колодки з лічильником електричної енергії трансформаторного типу

Колодка з'єднань виконує функцію проміжного комутаційного елемента між вторинними обмотками трансформаторів струму та струмовими входами лічильника. Така конструкція забезпечує зручність у підключенні, технічному обслуговуванні, а також безпечне виконання операцій зі зняття або заміни лічильника без розриву вторинних кіл трансформаторів струму.

На схемі передбачено три окремі кола для кожної фази мережі А, В та С. Відповідно, для кожної фази використовується власний трансформатор струму, вторинна обмотка якого підключається до пари клем колодки:

- клеми 1-3 для фази А;
- клеми 4-6 для фази В;
- клеми 7-9 для фази С.

Кожна пара клем утворює повне вторинне коло відповідного трансформатора струму. Перемички, встановлені між клемми 3-4, 7-8, 11-12, забезпечують безперервність струмового кола та дозволяють виключити можливість розімкнення вторинної обмотки трансформатора струму під час роботи. Клеми 10-13 призначені для підключення нейтрального провідника та допоміжних сигнальних кіл, які можуть використовуватися для організації обліку або контролю параметрів мережі.

У робочому режимі вторинні струми з трансформаторів надходять через колодку на струмові входи лічильника, який одночасно отримує інформацію про напругу кожної фази. На основі цих сигналів здійснюється вимірювання активної та реактивної електричної енергії. Зібрану схему зображено на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Трифазна схема підключення лічильника

4.4 Автоматизоване робоче місце

Програмна реалізація передбачає створення програмного модуля, який здійснює опитування електрولیчильника NIK, обробку отриманих даних та передачу їх на сервер верхнього рівня. Для цього використовується середовище UNIK, що забезпечує підтримку протоколу DLMS/COSEM та дозволяє конфігурувати лічильники через інтерфейси RS-485 або PLC.

Алгоритм роботи ARM-системи умовно поділяється на такі етапи:

- ініціалізація системи та конфігурація інтерфейсів зв'язку;
- встановлення сеансу обміну з лічильником;
- зчитування параметрів обліку, активна та реактивна енергія, напруга, струм, час;
- тимчасове збереження отриманих даних у буфері;
- передача агрегованих даних на сервер по мережі Ethernet або GSM;
- перевірка успішності обміну та завершення сеансу.

Лістинг 4.1 – Основні функції

```
// Ініціалізація основних модулів
INIT_SYSTEM()
{
    ConfigureUART(baudrate = 9600, mode = RS485);
    ConfigurePLC();
    ConfigureNetwork(Ethernet);
    LoadMeterList();
}
```

У наведеному прикладі показано типову логіку роботи ARM-системи збору даних. На етапі INIT_SYSTEM() відбувається ініціалізація периферійних інтерфейсів – послідовного порту для обміну з лічильником, PLC-модуля для передачі даних по силовій лінії, а також мережевого модуля для відправлення даних на сервер.

Основна функція MAIN_LOOP() реалізує циклічне опитування всіх підключених приладів. Обмін з лічильником здійснюється відповідно до протоколу DLMS/COSEM через унікальні OBIS-коди, які ідентифікують параметри обліку. Зібрані показники тимчасово зберігаються у буфері пам'яті ARM-системи.

Передача реалізується функцією SendToServer(), яка передбачає встановлення TCP-з'єднання, шифрування даних і відправлення пакетів у заздалегідь визначену точку збору.

4.4.1 Структура збереження та обробки даних

Після завершення сеансу обміну між ARM-системою та лічильником, зчитані параметри проходять первинну обробку, нормалізацію форматів і записуються у локальну базу даних або файлову систему для подальшої передачі на центральний сервер.

Для зберігання використовується структурована таблиця 4.2, що відповідає загальним вимогам до баз даних систем комерційного обліку енергоресурсів.

Таблиця 4.2 – Структура бази даних

Поле	Тип даних	Опис
Meter_ID	Цілочисельний (INT)	Унікальний ідентифікатор лічильника
Timestamp	Дата/час (DATETIME)	Час зняття показників
Active_Energy	Дійсне число (FLOAT)	Обсяг спожитої активної енергії (кВт·год)
Reactive_Energy	Дійсне число (FLOAT)	Обсяг спожитої реактивної енергії (кВАр·год)
Voltage	Дійсне число (FLOAT)	Напруга в момент зчитування (В)
Current	Дійсне число (FLOAT)	Струм у фазі (А)
Power_Factor	Дійсне число (FLOAT)	Коефіцієнт потужності
Signal_Level	Цілочисельний (INT)	Рівень сигналу зв'язку при передачі даних
Status	Текстовий (VARCHAR)	Статус передачі (OK / ERROR / RETRY)

Зберігання даних у такій структурі дозволяє ефективно виконувати запити до бази, здійснювати статистичний аналіз, будувати графіки навантаження та формувати звіти для контролю споживання.

4.4.2 Формування пакету для передачі на сервер

Перед відправкою даних до центрального вузла ARM-система формує пакет у стандартизованому форматі JSON або XML, що забезпечує сумісність із серверною частиною системи.

Лістинг 4.2 – Структура переданого пакету

```
{
  "device_id": "NIK23014567",
  "timestamp": "2025-10-12T18:30:00Z",
  "measurements": {
    "active_energy": 15423.56,
    "reactive_energy": 624.13,
    "voltage": 229.4,
    "current": 3.21,
    "power_factor": 0.98
  },
  "signal_level": 87,
  "status": "OK"
}
```

Перед передачею здійснюється:

- перевірка цілісності даних, CRC або SHA-контрольна сума;
- шифрування пакету з використанням алгоритму AES-128 або TLS при передачі через GSM-мережу;
- відправлення пакету на вказану IP-адресу сервера за допомогою протоколу HTTP POST або MQTT.

4.3.3 Обробка даних на сервері

Серверна частина приймає дані, розшифровує їх і зберігає у централізованій базі даних. На цьому рівні виконується:

- перевірка достовірності значень, відкидання аномальних даних;
- архівація історичних записів;
- формування графіків навантаження та звітів для оператора;
- визначення технічних втрат у мережі.

Завдяки такій архітектурі ARM-система виступає не лише як збирач даних, а й як інтелектуальний шлюз, що попередньо фільтрує, аналізує та оптимізує потік інформації для серверної частини АСКОЕ.

База даних формується у вигляді реляційної структури, де кожен запис відповідає певному сеансу вимірювання. Записи містять часові мітки, показники активної та реактивної енергії, а також додаткові параметри, що характеризують стан лінії та якість зв'язку. Такий підхід дозволяє здійснювати фільтрацію, сортування, аналітичний пошук та побудову графічних залежностей. У більшості випадків серверна частина системи реалізується на основі MySQL або PostgreSQL, які мають необхідні інструменти для масштабування, підтримки транзакцій та високої надійності при великій кількості одночасних запитів.

Передача даних від ARM-пристрою на сервер виконується з використанням протоколів прикладного рівня – HTTP/HTTPS, MQTT або FTP, залежно від конфігурації системи. На рівні додатку застосовується формування структурованих пакетів у форматах JSON або XML, що забезпечує сумісність з більшістю серверних рішень. У процесі обміну передбачено багаторівневу перевірку достовірності даних: контрольні суми, цифрові підписи та шифрування трафіку із застосуванням TLS 1.3.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

5.1 Використання АРМ

Для дослідження роботи автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії у межах даної дипломної роботи було застосовано програмний комплекс Автоматизованого Робочого Місця контролера (рисунок 5.1). Дане програмне забезпечення є основним інструментом, що використовується оператором обленерго для моніторингу параметрів електричних мереж, контролю якості електроенергії, перегляду журналів подій та оцінювання стану каналів зв'язку системи PLC.

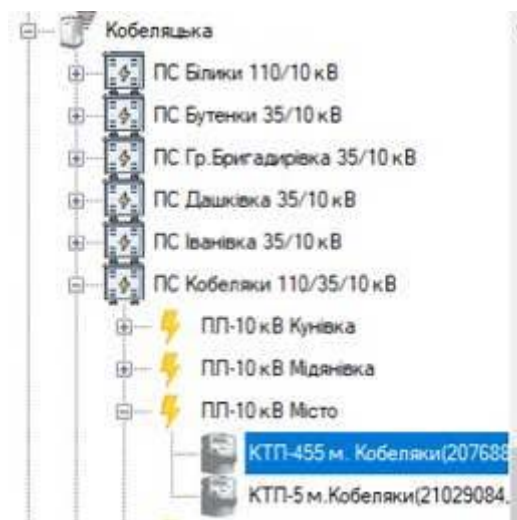


Рисунок 5.1 – Комплекс автоматизованого робочого місця

АРМ забезпечує доступ до повної інформаційної моделі вузлів обліку, включаючи дані з лічильників електроенергії, трансформаторних підстанцій, фідерів та окремих споживачів. Завдяки інтеграції з лічильниками типу NIK, система дозволяє отримувати дані у режимі наближеному до реального часу, що робить її ключовим інструментом у процесі технічного контролю та енергетичного аналізу.

У межах дослідження було використано низку рисунків, сформованих засобами АРМ, які демонструють роботу системи в реальних умовах експлуатації. На цих рисунках відображено:

- векторні діаграми фазних напруг та струмів;
- добові графіки зміни показників активної й реактивної енергії;
- табличні дані показань за певний період;
- графічні режими аналізу якості напруги;
- інформацію про структуру підстанцій і фідерів, до яких належать точки обліку.

Кожен із цих рисунків відіграє окрему роль у процесі дослідження та дозволяє комплексно оцінити функціонування системи обліку. Зокрема, векторні діаграми дають змогу проаналізувати правильність підключення трансформаторів струму та напруги, визначити кутові зсуви, зворотні потоки потужності та можливі помилки фазування. Добові графіки наочно демонструють характер зміни навантаження, виявляють моменти знеструмлення, стрибки навантаження, нестабільність електропостачання або відсутність приросту показань. Табличні дані дозволяють оцінити обсяги споживання у вибраному часовому проміжку, визначити динаміку змін та виконати порівняльний аналіз між різними точками обліку.

Використання АРМ контролера у процесі дослідження забезпечило можливість здійснити повноцінний аналіз роботи системи обліку, виявити характерні аномалії у споживанні та оцінити достовірність даних, що передаються каналами PLC.

5.2 Аналіз векторних діаграм фазних напруг і струмів

На рисунку 5.2 із програмного комплексу АРМ, наведено векторні діаграми фазних напруг та струмів. Векторна діаграма є одним із ключових інструментів контролю правильності підключення вузла обліку, оцінювання стану навантаження та детектування можливих порушень у роботі

трансформаторів струму і напруги. Використання такого типу відображення дає можливість виконувати швидкий і наочний аналіз електричних параметрів у трифазній системі.

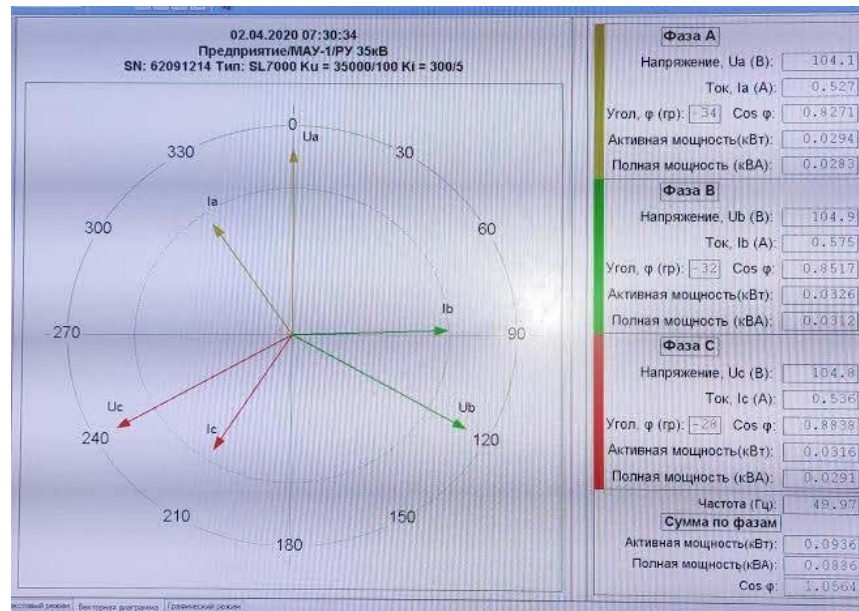


Рисунок 5.2 – Векторна діаграма напрямку струму

Основним призначенням векторної діаграми є відображення взаємного розташування векторів напруги та струму, а також фіксація кутів зсуву між ними. У нормальному режимі напруги U_a , U_b і U_c мають становити між собою зсув у 120 градусів, залишаючись симетричними за амплітудою. Струми I_a , I_b і I_c також повинні відповідати фазам напруги та мати характерні кути зсуву залежно від типу навантаження. Відхилення від зазначених умов свідчать про наявність аномалій у роботі вузла обліку або у мережі загалом.

На рисунках видно, що кожен вектор має власний напрямок, довжину модуля та фазовий кут. У правій інформаційній панелі відображено активну та повну потужності по кожній фазі, значення коефіцієнта потужності, величину фазного струму та величину напруги. Також подано інформацію

щодо напрямку потоку енергії та кутів зсуву між напругою та струмом, що дозволяє комплексно оцінювати характер навантаження на кожну фазу.

Практичне значення аналізу таких діаграм є суттєвим для контролера. За векторною діаграмою можна визначити, наскільки правильно підключені трансформатори струму, чи не допущено інверсії фази, переплутування вторинних обмоток або порушення чергування фаз. У разі неправильної схеми підключення вектори струмів зміщуються на некоректні кути або спрямовані в протилежний бік, що вказує на можливі помилки під час монтажу, це зображено на рисунку 5.3. У випадку появи зворотного потоку енергії, наприклад, при встановленні генерації або втручанні у схему обліку, вектор струму змінює напрямок відносно вектора напруги, а коефіцієнт потужності набуває від'ємного значення.

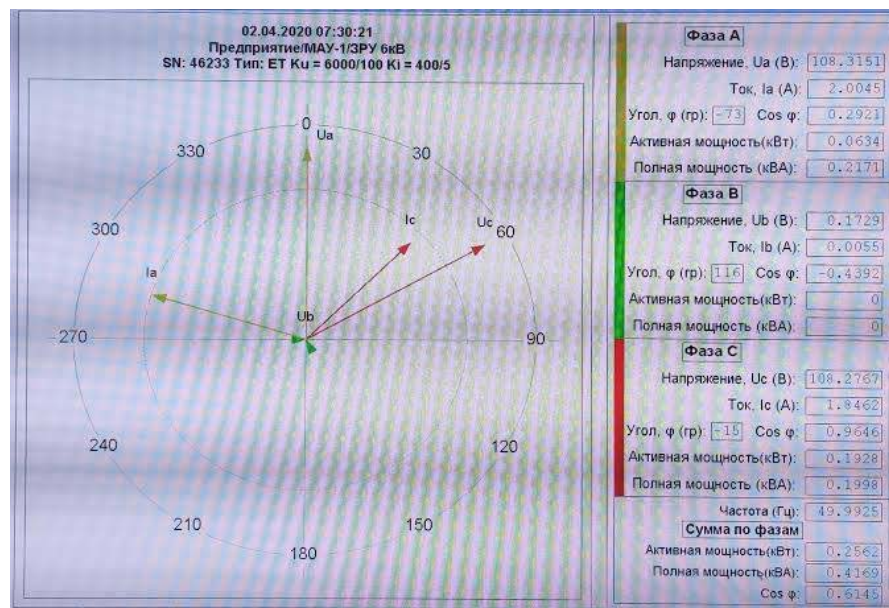


Рисунок 5.3 – Неправильна збірка схеми підключення

Векторна діаграма також дозволяє виявити перекіс фаз, занижені або підвищені значення напруги, а також відсутність однієї з фаз. У разі виникнення таких аномалій довжина відповідного вектора або його кут

значно відрізняються від норми, що сигналізує про погіршення параметрів електропостачання або аварійний режим мережі.

Таким чином, аналіз векторних діаграм є критично важливим для первинної діагностики роботи системи обліку, визначення коректності монтажу та оперативного виявлення технічних і комерційних порушень. Застосування цього інструмента дає змогу забезпечити високу достовірність даних обліку та підтримувати стабільний контроль за станом електричних мереж.

5.3 Аналіз добових графіків роботи лічильників

У рамках дослідження роботи автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії було проаналізовано добові графіки активної та реактивної енергії, отримані за допомогою програмного комплексу АРМ контролера. На відповідних рисунках подано зміну показань лічильників упродовж доби з деталізацією до 30-хвилинних або годинних інтервалів. Такий формат представлення даних дозволяє оцінити динаміку споживання, визначити характер навантаження та виявити можливі аномалії у роботі вузла обліку або мережі.

Добові графіки відображають значення активної енергії $A+$, реактивної енергії $R+$ та $R-$ (рисунок 5.4), а також показують швидкість приросту споживання у часі. На основі цих даних можна визначити періоди максимального та мінімального навантаження, відслідкувати характер добового циклу споживача та виявити відхилення, нехарактерні для нормального режиму роботи. На значній частині графіків простежується рівномірний приріст показань, що характерно для стабільного споживання. Такий режим притаманний комунальним об'єктам, водоканалам, системам вентиляції, підприємствам із постійним технологічним навантаженням або побутовим споживачам у період відсутності різких змін у роботі електроприладів.

Споживання						
Добовий графік						
Показання						
Параметри якості						
Журнал подій						
Показання						
за період		з 27.11.2025	по 27.11.2025	Канали		
		-M -1 +1 +M	-M -1 +1 +M	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> Тариф загальний
				<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 4	<input checked="" type="checkbox"/> Тариф А <input checked="" type="checkbox"/> Тариф В <input checked="" type="checkbox"/> Тариф С
Розташува...	Точка обліку	Кана...	На початок 27.11.2025	На початок 27.11.2025	Споживання	
▶ АТ ПОЛТА...	(кобел) ТОВ "Левада" ...	A+	605540.00000	605540.00000	0.00000	
АТ ПОЛТА...	(кобел) ТОВ "Левада" ...	A+	171379.00000	171379.00000	0.00000	
АТ ПОЛТА...	(кобел) ТОВ "Левада" ...	A+	313164.00000	313164.00000	0.00000	
АТ ПОЛТА...	(кобел) ТОВ "Левада" ...	A+	120995.00000	120995.00000	0.00000	

Рисунок 5.4 – Добові графіки активної енергії

Аналіз наведених рисунків дає змогу відзначити декілька типових сценаріїв поведінки споживачів. У ряді випадків спостерігаються періоди, коли графік миттєво падає до нульових значень. Такі ділянки можуть свідчити як про повне зникнення живлення на вводі, так і про порушення роботи каналу PLC-зв'язку, через що лічильник тимчасово не передає показання. Подібні «плаваючі» знеструмлення особливо важливі для подальшого аналізу (рисунок 5.5), оскільки можуть бути ознакою аварійних режимів або технічних проблем у мережі.

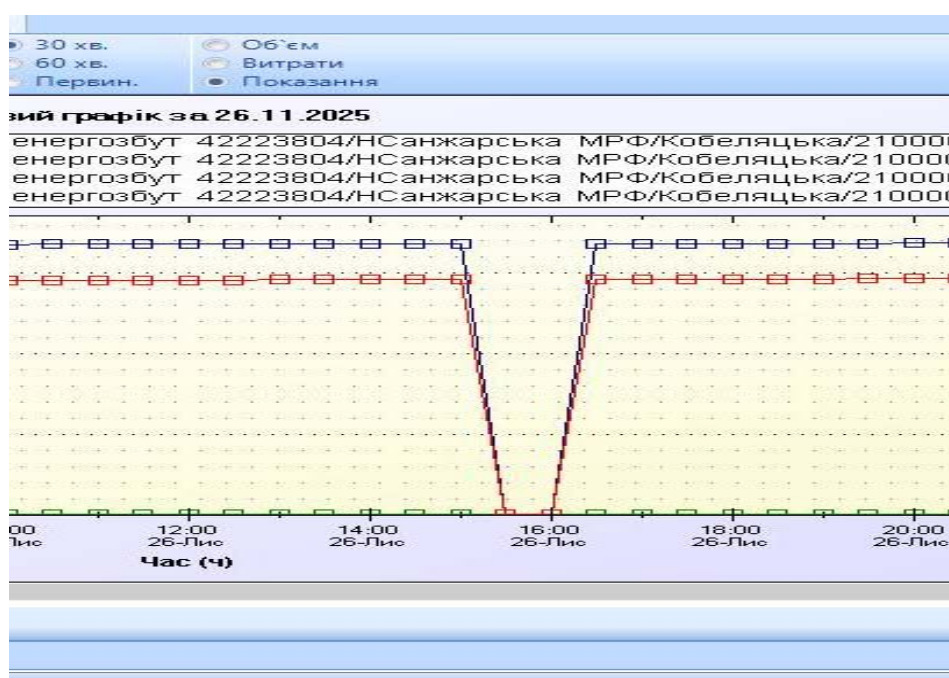


Рисунок 5.5 – Знеструмлення фаз

У деяких випадках на графіках спостерігаються ступінчасті зміни або різкі зміни нахилу лінії. Подібні стрибки можуть бути спричинені підключенням або вимкненням потужного обладнання, переходом споживача в інший технологічний режим або змінами характеру навантаження. Також такі ділянки можуть сигналізувати про некоректне налаштування параметрів імпульсної передачі лічильника або про перехід системи у аварійний режим. Виявлення таких моментів є важливим для вчасного встановлення потенційних проблем на стороні споживача або в мережі.

Додатково було виконано порівняння поведінки каналів A+, A-, R+ та R (рисунок 5.6). Аналіз співвідношення між цими параметрами дозволяє встановити наявність генерації на об'єкті, визначити, чи відбувається компенсація реактивної потужності, а також оцінити відповідність параметрів ДСТУ EN 50160 щодо якості електроенергії. Значення реактивної енергії, що перевищують нормативні рівні, можуть свідчити про використання некоректно налаштованого або застарілого обладнання, що потребує технічного втручання.

Тип дати	Канали			
день	27.11.2025	27.11.2025	27.11.2025	27.11.2025
Розташування	АТ ПОЛТАВАОБЛЕНЕРГ ...	АТ ПОЛТАВАОБЛЕНЕРГ ...	АТ ПОЛТАВАОБЛЕНЕРГ ...	АТ ПОЛТАВАОБЛЕНЕРГ ...
Точка обліку	(кобел) ТОВ ЗОРЯ ЗТП-...	(кобел) ТОВ ЗОРЯ ЗТП-...	(кобел) ТОВ ЗОРЯ ЗТП-...	(кобел) ТОВ ЗОРЯ ЗТП-...
Канал обліку	A+ (Лічильник) Основн.	A- (Лічильник) Основн.	R+ (Лічильник) Основн.	R- (Лічильник) Основн.
Час \\\ дата	27.11.2025	27.11.2025	27.11.2025	27.11.2025
00:00	1470.24853	1.69917	1687.94714	0.34407
00:30	1470.48345	1.69917	1688.15829	0.34407
01:00	1470.72169	1.69917	1688.37378	0.34407
01:30	1470.95287	1.69917	1688.58308	0.34407
02:00	1471.19564	1.69917	1688.80314	0.34407
02:30	1471.41671	1.69917	1689.02490	0.34407
03:00	1471.66081	1.69917	1689.24696	0.34407
03:30	1471.90472	1.69917	1689.47046	0.34407
04:00				

Рисунок 5.6 – Аналіз співвідношення споживання

Таким чином, добові графіки, представлені на рисунках, є важливим аналітичним інструментом, що дає змогу комплексно оцінити поведінку

споживачів, виявити аномалії у роботі вузлів обліку та підтвердити достовірність даних, отриманих каналами PLC. Їх застосування у межах дослідження дозволяє сформувати повне уявлення про реальний стан роботи системи АСКОЕ та ефективно виявляти відхилення у споживанні електроенергії.

5.4 Аналіз таблиць показань та споживання

Для оцінювання достовірності роботи автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії було проаналізовано табличні дані, отримані в режимі «Показання» програмного комплексу АРМ контролера (рисунок 5.7). На відповідних рисунках наведено формування звітів за вибраний період часу, що включають початкові та кінцеві показання лічильників, величини добового або періодичного споживання, а також значення за окремими тарифами. Такий формат подання інформації є стандартом для систем комерційного обліку та забезпечує можливість оперативного аналізу роботи як окремих точок обліку, так і цілих груп споживачів.

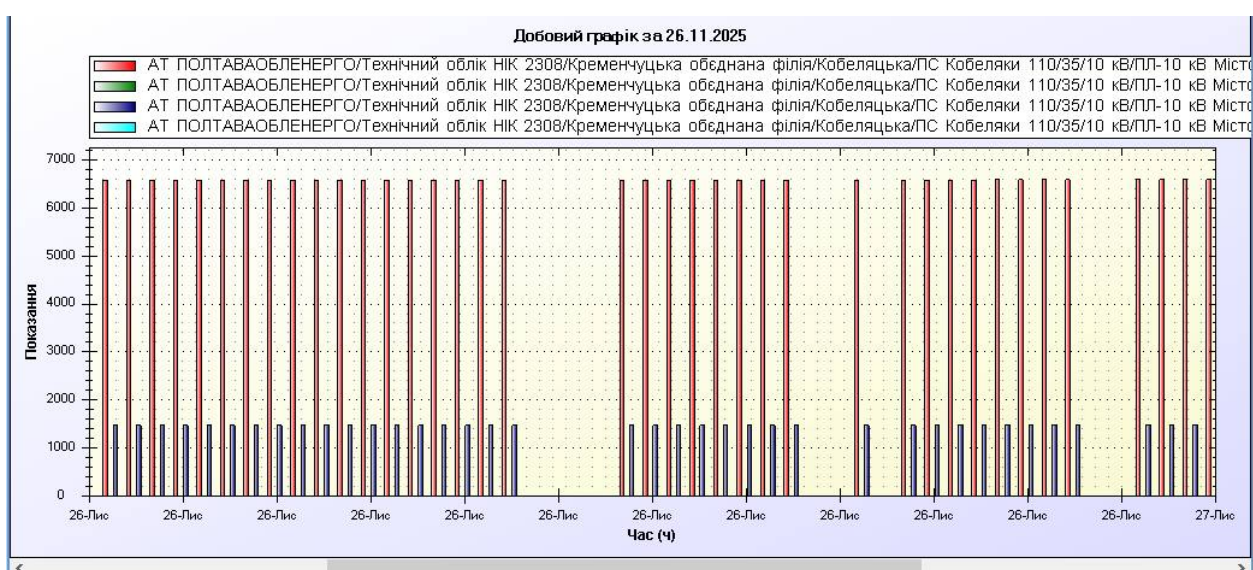


Рисунок 5.7 – Дані споживання в режимі графіку

Табличні дані дозволяють виконувати ретельний контроль приросту показань активної енергії $A+$, активної енергії зворотного напрямку $A-$, а також реактивної енергії $R+$ та $R-$. На основі цих величин можливо оцінити фактичну електричну активність об'єкта, встановити наявність генерації, визначити баланс реактивної потужності та виявити потенційні відхилення у схемі електропостачання. Зокрема, відсутність споживання у каналі $A+$, незважаючи на наявне підключення до мережі, є одним з ключових індикаторів неправомірного втручання у вузол обліку або відсутності навантаження, нехарактерної для звичайного режиму споживача.

Особливу увагу під час аналізу було приділено випадкам, коли добовий приріст показань є аномально малим або дорівнює нулю. Подібні ситуації можуть свідчити про некоректну роботу приладу обліку, зниження переданих показань або навмисне втручання у схему. У таких випадках таблиці АРМ дозволяють миттєво ідентифікувати відхилення, оскільки система відображає одночасно і початкові, і кінцеві показання, що робить неможливим їх приховування у межах окремого періоду.

У межах окремих точок обліку (рисунок 5.8) також спостерігалися значення споживання, що дорівнювали нулю при наявності активного підключення. Подібні випадки потребують обов'язкового додаткового контролю, оскільки можуть бути спричинені:

- блокуванням роботи лічильника;
- втручанням у вторинні кола трансформаторів струму;
- порушенням послідовності фаз;
- розмиканням кола живлення приладу;
- переходом вузла обліку у обхідний режим.

Такі дані є підставою для проведення технічних перевірок та виїздів на об'єкти споживачів. Під час інспекцій особлива увага приділяється перевірці цілісності пломб, правильності підключення, стану трансформаторів струму та напруги, а також відповідності фактичного навантаження даним, що передаються АСКОЕ. Завдяки цьому таблиці показань є не лише

інструментом обліку, а й важливим діагностичним засобом для виявлення технічних порушень та можливих випадків розкрадання електроенергії.

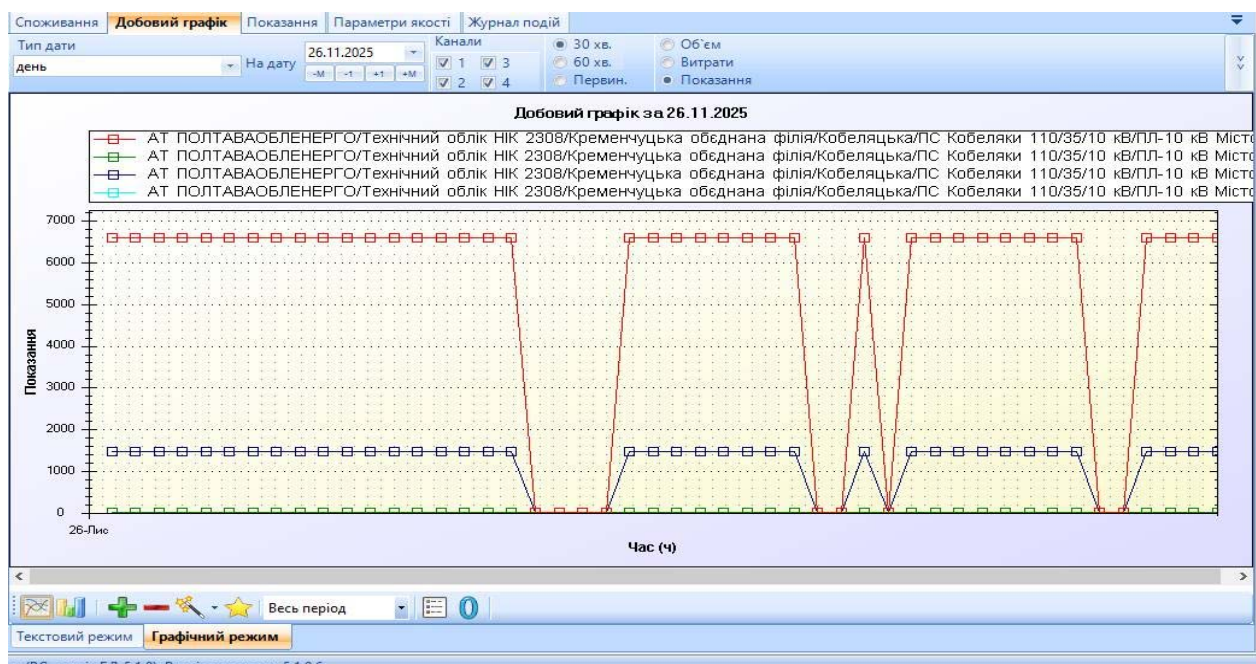


Рисунок 5.8 – Точка обліку з нульовим споживання у певному періоді часу

Таким чином, аналіз табличних даних споживання, сформованих у режимі «Показання», дозволяє всебічно оцінити поведінку споживачів, виявити невідповідності між фактичним та задекларованим споживанням, а також забезпечити своєчасне реагування на аномалії, які впливають на формування енергетичного балансу. Застосування цих даних у дипломній роботі дозволяє продемонструвати практичну цінність АРМ контролера та його роль у забезпеченні точності комерційного обліку.

5.5 Виявлення аномалій та небалансів за даними PLC

Окрім фіксації показань електроенергії, автоматизована система комерційного обліку, що працює на базі PLC-технології, забезпечує отримання великого обсягу діагностичної інформації, яка є критично

важливою для аналізу стану мережі та виявлення порушень. У програмному комплексі АРМ контролера відображаються дані щодо пропусків пакетів, відсотка успішних прийомів PLC-кадрів, періодів нестабільності або повної втрати зв'язку, а також рівні сигналу на кожній із фаз. Такі параметри дозволяють формувати комплексну оцінку якості взаємодії між лічильником і концентратором та визначати технічні або комерційні відхилення у роботі системи.

Аналіз показників PLC є одним із найефективніших способів виявлення аномального споживання. У випадках, коли лічильник протягом тривалого часу не виходить на зв'язок, але на фідері спостерігаються істотні небаланси, особливо між фазами або між сумарним споживанням групи та показаннями конкретної точки, це може бути ознакою неправомірного втручання в схему обліку або технічного порушення. Такі ситуації часто супроводжуються погіршенням рівня сигналу PLC або періодичними розривами зв'язку, що дозволяє оперативно виявляти потенційно проблемні об'єкти.

Виявлення небалансів фаз є ще одним важливим аспектом роботи PLC-системи. На відповідних векторних діаграмах можна встановити, чи має одна з фаз суттєве перевантаження, занижену величину струму, зміну фазного кута або повну відсутність навантаження. Подібні відхилення можуть бути зумовлені:

- нерівномірним розподілом навантаження між фазами;
- підключенням потужних однофазних приладів;
- обгоранням контактів у шафі обліку або підстанції;
- порушенням у вторинних колах трансформаторів струму.

Також за допомогою PLC-телеметрії можливо виявити помилки монтажу. Якщо кут між струмом та напругою значно відхиляється від нормативних значень або має протилежний напрямок, це може свідчити про переплутані вторинні обмотки трансформаторів струму, інверсію полярності, неправильну схему підключення фаз або зворотний напрямок потоку енергії.

Такі ситуації характерні як для споживачів, так і для помилок, допущених під час встановлення чи заміни лічильника.

Добові графіки (рисунок 5.9), що відображають передані PLC-пакети, дозволяють фіксувати часові ділянки повного зникнення живлення у точці обліку. Коли в графіку спостерігаються періоди з нульовими значеннями, це свідчить про знеструмлення споживача, спрацювання автоматичного вимикача або аварійну ситуацію в мережі. У реальних умовах такі ділянки часто збігаються з записами в журналах подій лічильника, що дозволяє отримати повну картину розвитку аварії.

Розташува...	Точка обліку	Кана...	На початок 12.11.2025	На початок 27.11.2025	Споживання
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A+	6400.03800	6593.55300	193.51500
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A+			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A+			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A+			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A-	0.01300	0.01300	0.00000
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A-			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A-			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	A-			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R+	1426.92700	1472.51400	45.58700
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R+			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R+			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R+			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R-	0.19700	0.19700	0.00000
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R-			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R-			
АТ ПОЛТА...	КТП-455 м. Кобеляки	R-			

Рисунок 5.9 – Добові графіки напруги, струму та споживання

Окремим видом відхилень є можливість перевантаження ліній. Аналіз темпу приросту потужності або різких пікових значень у добових графіках дає змогу виявляти потенційні передаварійні режими, пов'язані з увімкненням потужного обладнання або зростанням навантаження на конкретному фідері. Такі ситуації є критично важливими, оскільки можуть призвести до спрацювання захисних пристроїв, перегріву кабельних ліній або пошкодження комутаційної апаратури.

5.6 Інтерпретація результатів

Отримані та опрацьовані дані з програмного комплексу АРМ, а також результати пофідерного аналізу дозволили сформувавши комплексну оцінку стану роботи системи обліку на рівні трансформаторних підстанцій, окремих фідерів і споживачів. Завдяки поєднанню векторних діаграм, добових графіків, таблиць показань і порівняльних даних SAP-аналізу вдалося визначити як загальні закономірності роботи системи, так і конкретні типові аномалії.

Система АСКОЕ демонструє можливість детального контролю роботи кожного лічильника, оцінки працездатності PLC-каналу та фіксації змін електричних параметрів у режимі, наближеному до реального часу. На основі цих даних можливо визначити факти короточасних і тривалих знеструмлень, що було зафіксовано на добових графіках кількох точок обліку. У випадках із різкими падіннями показань до нульових значень підтверджено характерні ознаки повного зникнення напруги на вводі або відсутності PLC-зв'язку з приладом обліку.

Аналіз таблиць пофідерного SAP-звіту дозволив оцінити якість формування енергетичного балансу та виявити наявність або відсутність небалансів. Наприклад, КТП-5 м. Кобеляки (рисунок 5.10) показала значний небаланс електроенергії: при загальному споживанні ТП 23 108 кВт·год сума споживання усіма приєднаними споживачами становила 11 684 кВт·год, що сформувало дельту 11 424 кВт·год та небаланс 49,44 %. Додатково виявлено ще одну дельту в обсязі 1 286 кВт·год зі значенням небалансу 7,84 %. Така картина характерна для ТП зі значними технічними втратами, можливими пошкодженнями кабельних ліній або наявністю споживачів, які не передають показання повністю або частково. Аналіз підлеглих ЕІС-кодів підтвердив, що частина споживачів має нульове або мінімальне споживання у межах місяця, що вказує на можливі порушення у схемі підключення або неповну передачу даних.

Назва ТП	Назва ПС 110/35/10-6	Назва коміррки 6-10 кв	ЕІС код	споживання	ЕІС код	споживання	Розхід на ТП	Сума е/е спожитої усіма споживачами	Дельта	% небалансу
КТП-5 м.Кобеляки	[PO-BAS-	[PO-BAS-	88	10459	5	1225	23108	11684	11424	49,44
			62Z83024	195	62Z78966	187	0	382	0	0
			62Z60619	47	62Z23313	272	0	319	0	0
			62Z52354	221	62Z98605	0	0	221	0	0
			62Z49706	158	62Z50828	375	0	533	0	0
			62Z00859	65	62Z86365	391	0	456	0	0
			62Z77741	6		0	0	6	0	0
			62Z50394	155		0	0	155	0	0
			62Z56568	88		0	0	88	0	0
			62Z37160	11		0	0	11	0	0
			62Z86224	192		0	0	192	0	0
			62Z02533	154		0	0	154	0	0
			62Z91810	91		0	0	91	0	0
			62Z36466	0		0	0	0	0	0
			62Z92064	305		0	0	305	0	0
			62Z02247	294		0	0	294	0	0
			62Z12901	189		0	0	189	0	0
			62Z47761	138		0	0	138	0	0
			62Z11063	110		0	0	110	0	0
			62Z12056	39		0	0	39	0	0
			62Z47317	355		0	0	355	0	0
			62Z53132	0		0	0	0	0	0

Рисунок 5.10 – Аналіз таблиць пофідерного SAP-звіту КТП-5

На КТП-561 м. Кобеляки (рисунок 5.11) також спостерігаються небаланси, проте вони мають іншу структуру. При споживанні ТП 29 367 кВт·год споживачі сукупно віддали 22 114 кВт·год, що сформувало небаланс 24,7 %. Крім того, дані за попередні періоди демонструють значні різноспрямовані відхилення:

- місяць 1, дельта 5 623 кВт·год 31,17 %;
- місяць 2, дельта 3 331 кВт·год(17,93 %;
- місяць 3, дельта 7 075 кВт·год 30,67 %.

Такі повторювані небаланси вказують не лише на технічні втрати чи пропуски PLC-зв'язку, а й на системні проблеми у передачі показань окремими ЕІС-кодами. Частина споживачів цього фідера передає лише часткові значення або демонструє різкі стрибки споживання, що є типовими ознаками некоректної роботи лічильників або втручання в облік.

	Місяць - 1		Місяць - 2		Місяць - 3	
Т	Дельта	% небалансу	Дельта	% небалансу	Дельта	% небалансу
4	7253	24,7	5623	31,17	3331	17,93
'8	0	0	0	0	0	0
.6	0	0	0	0	0	0
:2	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
'2	0	0	0	0	0	0
:5	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
'8	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
'0	0	0	0	0	0	0
.1	0	0	0	0	0	0
'5	0	0	0	0	0	0

Рисунок 5.11 – Аналіз таблиць пофідерного SAP-звіту КТП-561

Особливу увагу привертає поведінка КТП-294 с. Придніпрянське (рисунок 5.12), де було зафіксовано критичний небаланс у розмірі 100 %. При споживанні ТП 35 508 кВт·год сума спожитої енергії за групою становила 0 кВт·год, що сформувало дельту $-35\,509$ кВт·год. Усі попередні періоди також показали небаланс 100 %. Така ситуація виникає у випадках, коли:

- жоден із лічильників не передає дані в АСКОЕ;
- ТП живить споживачів без обліку;
- відсутній PLC-зв'язок;
- усі точки обліку передають нульове споживання через пошкодження обладнання або втручання.

На підставі векторних діаграм можна зробити висновки щодо технічного стану мережі. Для кількох об'єктів зафіксовано зміщення кутів між струмами та напругами, що свідчить про можливе переплутання фаз, інверсію ТТ або зворотний потік енергії. Деякі діаграми вказують на асиметрію напруг і різний ступінь завантаження фаз, що підтверджує наявність небалансів споживання, показаних у таблицях SAP-аналізу.

			Побутовий		НЕ побутовий						
Назва ТП	Назва ПС 110/35/10-6	Назва комірки 6-10 кв	ЕІС код	споживання	ЕІС код	споживання	Розхід на ТП	Сума е/е спожитої усіма споживачами	Дельта	% небалансу	Д
КТП-294 с. Придніпрян	[PO-BAS-	[PO-BAS-	122	35508	2	1	0	35509	-35509	100	
			62Z03106	6	62Z70765	0	0	6	0	0	
			62Z68825	1	62Z06057	1	0	2	0	0	
			62Z33817	1		0	0	1	0	0	
			62Z83425	194		0	0	194	0	0	
			62Z02433	143		0	0	143	0	0	
			62Z89765	149		0	0	149	0	0	
			62Z25713	371		0	0	371	0	0	
			62Z15345	569		0	0	569	0	0	
			62Z42105	341		0	0	341	0	0	
			62Z28925	99		0	0	99	0	0	
			62Z27405	405		0	0	405	0	0	
			62Z26643	768		0	0	768	0	0	
			62Z21081	230		0	0	230	0	0	
			62Z85277	59		0	0	59	0	0	
			62Z19234	221		0	0	221	0	0	
			62Z74495	131		0	0	131	0	0	
			62Z77316	456		0	0	456	0	0	

Рисунок 5.12 – Аналіз таблиць пофідерного SAP-звіту КТП-294

Таким чином, інтеграція всіх отриманих даних – векторних діаграм, добових графіків, таблиць показань та SAP-аналізу – дозволяє сформувати об’єктивну картину технічного та комерційного стану системи обліку на різних рівнях. Застосування таких методів підвищує точність виявлення аномальних режимів, забезпечує можливість ідентифікації технічних втрат та дозволяє своєчасно проводити заходи з відновлення коректної роботи облікових приладів і каналів PLC-зв’язку.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було комплексно досліджено сучасні підходи до побудови автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії, проаналізовано їх технологічну основу, засоби передачі даних, алгоритми обробки інформації, апаратні платформи та практичні аспекти застосування на рівні трансформаторних підстанцій і кінцевих споживачів. Отримані результати підтверджують важливість впровадження інтелектуальних систем обліку в умовах підвищених вимог до енергетичної безпеки, точності балансу та оперативного контролю режимів споживання.

У межах аналізу предметної області було визначено ключові проблеми традиційних систем обліку, серед яких – залежність від ручного знімання показань, високий рівень технічних і комерційних втрат, відсутність можливості оперативного виявлення аварійних режимів, а також низька ефективність контролю якості електроенергії. Було встановлено, що впровадження автоматизованого збору даних є критичним фактором для підвищення ефективності роботи енергетичних компаній, а також для рівномірного розподілу навантажень у розподільчих мережах.

У розділі, присвяченому технологічним основам PLC-зв'язку, розглянуто принципи передачі даних по силових лініях, архітектуру PLC-каналів, модулювання сигналів, стійкість до завад та обмеження такої технології. Досліджено, що PLC є ефективним способом організації зв'язку в сільських, малонаселених або складних у доступі мережах, де інші методи телекомунікацій або економічно недоцільні, або технічно неможливі. Водночас визначено фактори, що впливають на якість PLC-передачі – зокрема стан ліній, асиметрію фаз, навантаження та наявність імпульсних завад.

У частині роботи, присвяченій алгоритмам та апаратній платформі енергетичного моніторингу, було розроблено узагальнену структуру

взаємодії між лічильником, каналом зв'язку, концентраторами та серверними компонентами АСКОЕ. Розглянуто принципи формування пакетів даних, обробки показань, відстеження якості напруги, генерації подій та виконання валідації отриманої інформації. Окрема увага приділена апаратним характеристикам сучасних лічильників, їх можливостям щодо векторного аналізу, контролю фазності, визначення напрямку потужності та фіксації інцидентів.

У розділі з проєктування системи обліку було розглянуто побудову структурних і функціональних схем, вибір методів передавання даних, логіку взаємодії апаратних модулів, питання коректного монтажу та дотримання нормативних вимог до вузлів обліку. Сформовано вимоги до програмної та апаратної частини системи, окреслено критерії достовірності вимірювань і необхідні засоби діагностики. Наведені рішення забезпечують ефективність інтеграції лічильників у загальну систему АСКОЕ та підвищують точність формування енергетичних балансів.

Найбільш практично орієнтована частина роботи – дослідження роботи системи – була виконана на основі реальних даних із АРМ контролера. Проведено аналіз векторних діаграм, добових графіків, таблиць споживання та пофідерного SAP-аналізу. Результати дозволили виявити ключові закономірності роботи споживачів, визначити відхилення у режимах навантаження, оцінити якість PLC-каналу.

Результати кваліфікаційної роботи підтверджують, що впровадження сучасних систем обліку є необхідним кроком для підвищення енергетичної ефективності, зниження небалансів та переходу до інтелектуальних мереж Smart Grid. Отримані висновки можуть бути використані як для подальшого удосконалення систем АСКОЕ, так і для розробки нових рішень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Коцар О. В. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням : навч. посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 104 с.
2. Паливода А. В. Кодекс комерційного обліку електричної енергії : практичний коментар. – Київ : ТОВ «Юрінком-Інтер», 2020. – 256 с.
3. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії : затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 17.05.2002 № 428. – Київ : Мінпаливенерго, 2002. – 72 с.
4. ДСТУ EN 61010-1:2014. Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 1. Загальні вимоги. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 122 с.
5. UART – Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/UART](http://www.wikipedia.org/wiki/UART) (11.10.2025р.) – Загол. з екрану.
6. Unitronics – Що таке програмований логічний контролер (PLC) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL: https://www.unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/](http://www.unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/) (01.10.2025р.) – Загол. з екрану.
7. NIK – Облік електроенергії [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www / URL: https://nik.net.ua/product-category/oblik-elektroenergiyi](http://www.nik.net.ua/product-category/oblik-elektroenergiyi) (11.09.2025р.) – Загол. з екрану.
8. Digital Image Processing (3rd Edition) Gonzalez R. C. Digital Image Processing (3rd Edition) / R. C. Gonzalez, R. E. Woods., 2008. – 954 с
9. Райцев К. І. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ PLC-ЗВ'ЯЗКУ / К.І. Райцев // Матеріали тез 29-го міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» – м. Харків, травень 2025. – С. 106.